K2000GtC*i*磨床用数控系统

编程手册

北京凯恩帝数控技术有限责任公司

B025B-0602-W31N-0001
© KND CO., LTD.

K2000GtC*i*磨床用数控系统　编程手册　B025B-0602-W31N-0001

WWW.KND.COM.CN

说明书使用注意事项

在对本产品进行安装连接、编程和操作之前，必须详细阅读本说明书以及机床厂家提供的说明书，严格按照说明书的要求进行操作，否则可能导致产品损坏、工件报废甚至人身伤害。

本说明书描述的产品功能、技术指标仅针对本产品。安装了本产品的数控机床的实际功能和技术性能由机床厂家的设计决定，关于数控机床的具体指标请以机床厂家的说明书为准。

本说明书的内容可能随产品更新而变动，恕不另行通知。

本产品支持电子盘功能。机床调试完毕后，请将系统参数备份在电子盘中。当机床运行过程中发生数据紊乱或工作异常等情况时，读取电子盘操作可使系统快速恢复到备份前的状态。具体操作方法请参见操作篇内容。

本说明书发布于 2014-08-27，基于以下软硬件版本编制：
主板版本号：0025I-0200-W01Z-0101
软件版本号：K2000GtCi_A01L_V3.1.12_150906
PLC 版本号：KTC_STD_1.0_20140516
其它版本的不同之处请参考相关补充说明书。

本说明书的版权归“北京凯恩帝数控技术有限责任公司”所有。如有疑问，请垂询我公司技术人员，或使用以下沟通渠道联系我公司。

网址：http://www.knd.com.cn　E-mail：bj@knd.com.cn
总机：010-63701999　销售部：010-63701981

产品使用注意事项

运输与储存

产品包装箱堆叠不可超过六层
不可在产品包装箱上攀爬、站立或放置重物
不可使用与产品相连的电缆拖动或搬运产品
严禁碰撞、划伤面板和显示屏
产品包装箱应避免潮湿、暴晒以及雨淋

开箱检查

打开包装后请确认是否是您所购买的产品
检查产品在运输途中是否有损坏
对照清单确认各部件是否齐全，有无损伤
如存在产品型号不符、缺少附件或运输损坏等情况，请及时与我公司联系

接线

参加接线与检查的人员必须是具有相应能力的专业人员
产品必须可靠接地，接地电阻应小于 4 欧姆，不能使用中性线（零线）代替地线
接线必须正确、牢固，以免导致产品故障或出现意想不到的后果
与产品连接的浪涌吸收二极管必须按规定方向连接，否则会损坏产品
插拔插头或打开产品机箱前，必须切断产品电源

检修

检修或更换元器件前必须切断电源
发生短路或过载时应检查故障，故障排除后方可重新启动
不可对产品频繁通断电，断电后若须重新通电，相隔时间至少 1 分钟

目 录

I 概述篇 1

1 概要 3

1.1 概述 3
1.2 规格一览表 4
1.3 CNC 机床的一般操作 7
1.4 阅读说明书注意事项 7

II 编程篇 9

1 概述 11

1.1 插补功能 11
1.2 进给功能 12
1.3 加工图纸和刀具的运动 13
1.3.1 参考点（特定的机械点） 13
1.3.2 加工图纸上的坐标系和 CNC 指令的坐标系 13
1.3.3 刀具运动指令尺寸的表示方法（绝对值和增量值指令） 15
1.4 主轴功能 17
1.5 刀具功能 17
1.6 辅助功能 18
1.7 程序的构成 18
1.8 刀具补偿功能 20
1.9 行程 21

2 控制轴 22

2.1 控制轴数 22
2.2 轴名称 22
2.3 轴类型 22
2.4 同步轴 23
2.5 单位 23
2.6 最大行程 25

3 准备功能（G 功能） 26

4 插补功能 30

4.1 定位（G00） 30

4.2 直线插补（G01）.....31
4.2.1 直线插补说明.....31
4.2.2 旋转轴速度单位缩小功能.....32
4.3 圆弧插补（G02，G03）.....34
4.3.1 圆弧插补说明.....34
4.3.2 圆弧插补精度控制机能.....36
4.4 螺旋线插补（G02，G03）.....37
4.5 空间三点圆弧插补（G02.1）.....38
4.6 螺线插补.....42
4.6.1 平面等速螺线插补（G02.2，G03.2）.....42
4.6.2 空间等速螺线插补（G02.3，G03.3）.....45
4.6.3 平面等角螺线插补（G02.4，G03.4）.....47
4.6.4 空间等角螺线插补（G02.5，G03.5）.....49
4.7 极坐标插补（G12.1，G13.1）.....51
4.8 圆柱插补（G07.1）.....53
4.9 假想轴插补（G07）.....55
4.10 等螺距螺纹切削（G32）.....57
4.11 变螺距螺纹切削（G34）.....62
4.12 数字主轴螺纹插补（G07.2）.....63
4.13 数字主轴螺纹切削循环（G78.1）.....65

5 进给功能.....71

5.1 快速进给.....71
5.2 切削进给.....71
5.2.1 每分进给（G98）.....71
5.2.2 每转进给（G99）.....72
5.2.3 输入单位与输出范围.....72
5.3 高速高精进给控制.....73
5.3.1 加减速控制.....73
5.3.2 拐角控制.....75
5.3.3 轨迹光顺功能.....76
5.3.4 刀具轴向设定功能.....77
5.3.5 编程允差设定功能.....77
5.3.6 预先预读功能.....77
5.3.7 速度平滑控制.....78
5.3.8 修改参数（G05）.....79
5.4 暂停（G04）.....79

6 参考点.....81

6.1 自动返回参考点（G28）和从参考点移动（G29）.....81
6.2 自动返回第 2、第 3 参考点（G30）.....83
6.3 返回参考点检查（G27）.....83

7 坐标系 84

7.1 机床坐标系 84
7.1.1 机床坐标系的设定 84
7.1.2 机床坐标系定位（G53） 84
7.1.3 快速机床坐标系定位（G153） 85
7.1.4 程序控制加减速度和加减速曲线 85
7.2 工件坐标系 85
7.2.1 工件坐标系的设定 85
7.2.2 工件坐标系的移动或变更 89
7.3 局部坐标系（G52） 91
7.4 笛卡尔坐标轴设定（G54.9） 91
7.5 平面选择（G17，G18，G19） 92
7.6 倾斜平面指定 93

8 坐标值和尺寸 94

8.1 绝对指令和增量指令（G90，G91） 94
8.2 极坐标指令（G15，G16） 95
8.3 比例缩放（G50，G51） 97
8.4 坐标旋转（G68.1，G69.1） 101
8.5 英制与公制的转换（G20，G21） 105
8.6 小数点编程 106
8.7 直径和半径编程（G10.9） 107
8.7.1 直径指定和半径指定 107
8.7.2 直径和半径可编程切换（G10.9） 108

9 测量机能 109

9.1 跳跃机能（G31） 109
9.2 多级跳跃机能 110
9.3 自动刀具测量补偿（G36，G37） 111

10 主轴功能（S 功能） 115

10.1 主轴速度指令 115
10.1.1 S2 位数（主轴档位输出） 115
10.1.2 S5 位数（主轴模拟输出） 115
10.2 模拟主轴换档 116
10.2.1 模拟主轴自动换档机能 116
10.2.2 模拟主轴手动换档机能 117
10.3 恒线速控制（G96，G97） 117
10.4 主轴卡盘控制 121
10.5 台尾设置 122
10.6 主轴设置 122

11 刀具功能（T 功能）.....125

12 辅助功能（M 功能）.....127

12.1 辅助功能代码.....127
12.2 特殊 M 代码.....129
12.2.1 用户接口转跳机能（M91/M92、M93/M94）.....129
12.2.2 特殊 M 代码（M21/M22/M71/M72、M23/M24/M73/M74）.....130
12.3 辅助功能参数.....131
12.4 与辅助功能相关的报警.....131

13 程序的构成.....133

13.1 程序.....133
13.1.1 主程序和子程序.....133
13.1.2 程序号.....136
13.1.3 顺序号和程序段.....136
13.1.4 跳过任选程序段.....136
13.1.5 注释节.....137
13.1.6 字和地址.....137
13.1.7 基本地址和指令值范围.....138
13.1.8 扩展 NC 字和地址.....138
13.2 程序结束.....139
13.3 文件结束.....139

14 简化编程功能.....140

14.1 钻孔固定循环.....140
14.1.1 高速深孔加工循环（G83.5）.....143
14.1.2 反攻丝循环（G84.5）.....145
14.1.3 精镗循环（G86.5）.....147
14.1.4 钻孔循环、点钻循环（G81）.....149
14.1.5 钻孔循环、镗阶梯孔循环（G82）.....150
14.1.6 深孔加工循环（G83）.....152
14.1.7 攻丝循环（G84）.....154
14.1.8 镗削循环（G85）.....155
14.1.9 镗削循环（G86）.....157
14.1.10 镗削循环、反镗循环（G87）.....159
14.1.11 镗孔循环（G88）.....161
14.1.12 镗孔循环（G89）.....162
14.1.13 固定循环取消（G80）.....164
14.1.14 钻孔固定循环实例（使用刀具长度补偿）.....165
14.2 攻丝固定循环.....168
14.2.1 模拟主轴攻丝（G93）.....168

14.2.2 数字主轴刚性攻丝（G84、G84.5） 169
14.3 单一型固定循环（G90、G92、G94） 174
14.3.1 外圆/内圆车削循环（G90） 174
14.3.2 螺纹切削循环（G92） 177
14.3.3 端面车削循环（G94） 180
14.3.4 单一型固定循环的使用方法 181
14.4 复合型车削固定循环（G70~G76） 183
14.4.1 外圆粗车循环（G71） 184
14.4.2 端面粗车循环（G72） 187
14.4.3 封闭切削循环（G73） 190
14.4.4 精加工循环（G70） 192
14.4.5 端面深孔加工循环（G74） 195
14.4.6 外圆、内圆切槽循环（G75） 197
14.4.7 复合型螺纹切削循环（G76） 199
14.4.8 复合型固定循环（G70~G76）的注意事项 205
14.5 倒角和倒圆编程 206
14.6 直线角度编程功能 208
14.7 刀具 X 轴镜像（G68、G69） 210

15 补偿功能 211

15.1 刀具长度补偿 211
15.2 刀尖半径补偿（G40~G42） 214
15.2.1 概要 214
15.2.2 假想刀尖 215
15.2.3 补偿指令 219
15.2.4 刀尖半径补偿的注意事项 222
15.2.5 刀尖半径补偿的详细说明 223
15.3 拐角圆弧插补功能（G39） 249
15.4 补偿量的程序输入功能（G10） 252

16 用户宏程序（宏 B） 254

16.1 变量 254
16.2 基本数据类型 256
16.2.1 整型常量 256
16.2.2 实型常量 257
16.2.3 类型转换 258
16.3 系统变量 258
16.4 算术、逻辑和关系运算 262
16.5 加工程序语句 264
16.6 控制语句 264
16.6.1 无条件转移（GOTO 语句） 264
16.6.2 条件转移（IF 语句） 265

16.6.3 循环（WHILE 语句） 266
16.7 命令语句 267
16.7.1 字符串 267
16.7.2 MSG 命令 267
16.7.3 ERR 命令 268
16.7.4 OPENWRITE 命令 268
16.7.5 CLOSEWRITE 命令 268
16.7.6 WRITE 命令 269
16.8 宏程序调用 269
16.8.1 G65 宏程序调用 269
16.8.2 自定义 G 代码宏程序调用 270
16.8.3 自定义 M 代码宏程序调用 272
16.8.4 自定义 T 代码宏程序调用 273
16.8.5 CALL 调用 274
16.9 变量索引和数组 275
16.9.1 变量索引 275
16.9.2 数组 276
16.10 中断型用户宏程序 277
16.11 用户宏程序库及实数标准 279
16.11.1 用户宏程序数学库函数 279
16.11.2 函数功能说明 280
16.11.3 实型数与 IEEE754 标准 288
16.12 常见问题解释 290

Ⅰ　概述篇

1 概要

1.1 概述

本手册详细阐述了磨床用数控系统的使用说明，包括全部选择功能说明。“规格一览表”中列出了该系统具有的各种功能。数控机床实际具备的功能、机床操作面板规格及使用方法请参照机床厂家发行的说明书。系统软硬件特性如下：

- 性能强劲
  - 采用伺服总线闭环控制技术。
  - 采用高性能 ARM9 微处理器实现高速高精控制，插补周期 2 毫秒，内部控制精度 1 纳秒。
  - 可实现多程序段预读，速度平滑，圆弧插补精度控制功能。
  - 采用插补前加减速控制，可跨多段自动加减速。
  - 具备 1000 条/秒的程序指令处理能力，可实现高速小线段加工。
- 美观可靠
  - 控制主板采用六层 PCB 板设计，使用表贴元件，集成度更高。
  - 采用 TFT 彩色液晶显示器，有多种结构、规格可供选择。
  - 应用全新工艺结构，抗干扰能力更强，可靠性更高。
  - 采用国际流行色的全新模具面板，外形美观大方。
- 功能丰富
  - 提供 4 轴、8 轴两种规格，轴名可自定义。
  - 支持国际标准 G 指令，与 FANUC 系统指令兼容。
  - 具有单一固定循环、复合固定循环、钻孔循环、倒角过渡圆等简化编程功能。
  - 支持丰富的软件功能：宏程序 B、局部坐标系、机床坐标系、附加工件坐标系、坐标旋转、极坐标、比例缩放、螺旋线等。
  - 具有刚性攻丝功能。能加工单头/多头公英制螺纹（直螺纹、锥螺纹、端面螺纹、变螺距螺纹）。
  - 可选配绝对值编码器电机，开机不必回零即可加工。
  - 支持开放式 PLC，满足二次开发需求，可显示和监控梯图程序。
  - 具有 PLC 轴功能，可用来控制刀库、刀架旋转、交换工作台、分度工作台和其他外围装置。
  - 机床用数字和模拟接口可通过伺服总线扩展，DI/DO 可扩展 512/512 点。
  - 提供断点管理，断电管理功能。
  - 具有同步轴功能。
- 信息安全
  - 具有限时保护，开机、参数、程序密码等多种操作权限控制功能。
  - 支持电子盘数据备份功能。
  - 支持 U 盘接口，可实现系统与 U 盘间的数据互存，支持 U 盘 DNC 加工功能。
  - 支持以太网接口，可实现系统与计算机间的数据互存，支持以太网 DNC 加工功能。
  - 内置 640K 程序存储空间，可编辑和运行 U 盘内的程序。
- 界面友好
  - 支持中文、英文两种操作界面，提供完整的帮助信息，使操作更方便。
  - 系统参数按功能分类排列，使用更方便。
  - 支持 3D 图形显示功能，能描绘毛坯、加工过程、加工后的形状、坐标变换、剖视图等。

1.2 规格一览表

- **结构规格**

规格	显示屏		面板	
	类型	尺寸	按键类型	面板尺寸
K2000GtC1	TFT 液晶	8.4 英寸	贴膜键	400×200
K2000GtC2	TFT 液晶	8.4 英寸	贴膜键	260×320
K2000GtC3	TFT 液晶	10.4 英寸	贴膜键	430×230
K2000GtC4	TFT 液晶	10.4 英寸	贴膜键	310×365

- **基本功能**

名称	K2000GtCi 规格		
	4 轴	6 轴	8 轴
NC 轴数	4	6	8
PLC 轴数（最多）	5	7	8
Cs 轮廓轴	4	6	8
数字主轴	1	1	1
模拟主轴	1	1	1
G 代码体系	A/B 可选	B	B
轴类型	可设置为直线轴、A 类旋转轴、B 类旋转轴、C 类旋转轴、D 类旋转轴		
同步轴功能	有		
插补周期	2ms		
最小指令单位	公制 0.0001mm（默认 0.001mm）、英制 0.00001inch（默认 0.0001inch）		
最大指令值	默认 ±999999.999mm		
快速进给速度	默认最大 240000mm/min		
快速进给倍率	F0，25，50，100%		
最高进给速度	默认最大 60000mm/min		
电子齿轮比	1~65535：1~65535		
自动加减速	有		
进给速度倍率	0~150%		
螺纹功能	模拟主轴攻丝、数字主轴攻丝，单头/多头公英制螺纹（直螺纹、锥螺纹、端面螺纹、变螺距螺纹），端面中心攻丝、端面非中心攻丝、侧面攻丝		
手动连续进给	1 轴或 2 轴		
定位	G00（可直线插补定位）		
插补	• 直线（G01） • 圆弧、螺旋线（G02/G03） • 极坐标插补（G12.1/G13.1） • 圆柱插补（G07.1） • 空间三点圆弧插补（G02.1） • 平面等速螺线插补（G02.2，G03.2） • 空间等速螺线插补（G02.3，G03.3） • 平面等角螺线插补（G02.4，G03.4） • 空间等角螺线插补（G02.5，G03.5）		

名称	K2000GtCi 规格
	• 假想轴插补（G07） • 数字主轴螺纹插补（G07.2） • 数字主轴螺纹切削循环（G78.1）
扩展 NC 字和地址	支持
高速高精功能	多段预读，速度平滑处理，跨段自动加减速，拐角和圆弧控制
PLC 功能	开放式 PLC，梯图显示与实时监控，PLC 轴控制
PLC 轴功能	有
简易 PLC 轴	有（8 通道）
返回参考点	自动返回参考点（G28），从参考点自动返回（G29），第 2、3 参考点（G30）
返回参考点检查	G27
LCD/MDI	8.4/10.4 英寸液晶屏，横式、竖式两种面板
MDI 软体键	5+2 个
单步进给	×1，×10，×100，×1000
通讯接口	RS232C，RS485，U 盘接口，以太网
外置手轮接口	有
I/O 接口	非总线：40 个 DI 点、24 个 DO 点 总线：本机 20 个 DI 点，标配 IO 扩展模块提供 32 个 DI、DO 点。
暂停（秒）	有
机床锁住	全部轴
存储行程检查	有
准停状态	有
准停	有
存储型螺距误差补偿	有
MDI 运转	有，支持多段运行
复位	有
空运转	有
单程序段	有
程序保护信号	有
自诊断功能	有
紧急停	有
状态输出	CNC 准备完毕信号，伺服准备完毕信号
	报警信号
	分配完毕信号
	自动运转中信号
	自动运转启动中信号
	自动运转休止中信号，电源准备完毕信号
	复位信号
电源	单相 AC220V +10%-15%，50Hz ±1Hz
坐标系	机床坐标系（G53），工件坐标系（G52，G54~G59），局部坐标系（G52），坐标系平面指定（G17/G18/G19），笛卡尔坐标系（G54.9）

名称	K2000GtCi 规格
自动坐标系设定	有
小数点输入	有
补偿数据的程序输入	有
用户宏程序	宏 B，中断型用户宏程序
英制/公制转换	有
刀具补偿	刀具半径补偿 C，拐角弧圆弧补偿
固定循环	单一固定循环（G90/G92/G93/G94）， 复合固定循环（G70~G76），钻孔固定循环（G80~G89）
反向间隙补偿	有
圆弧半径 R 指定	有
X 轴镜像功能	有
网络 DNC	有
DNC 帧	有（支持特大程序、支持 M98、M99、复合车削循环、宏程序跳转等）
轴诊断画面	有（支持 NC、PLC 和简易 PLC 轴各通道诊断）
指令数据输出	有（G65.1）

- **辅助功能**

名称	规格
辅助功能	M2 位数，M 代码自定义，手动/MDI/自动方式控制主轴正转、反转、停止；控制冷却液启、停；控制润滑启、停。
辅助功能锁住	有

- **主轴功能**

名称	规格
主轴功能	档位控制（S01~S08）、模拟控制（S4 位数）、数字主轴、主轴定位、刚性攻丝。
主轴模拟输出	有
模拟主轴换档	有
主轴倍率	50~120%

- **刀具功能**

名称	规格
刀具功能	T01~T12
刀具补偿存储器	32 个
刀具补偿	长度补偿、半径补偿

- **编辑，操作**

名称	规格
编辑功能	参数、诊断按位输入、程序复制/移动/合并、MDI 多程序段执行
存储容量	640KB
存储程序个数	512 个
电子盘	内置，3 个区
U 盘	可编辑，可直接运行：10~30MB，DNC 运行：容量无限制
程序号的显示	有

顺序号检索	有
程序号检索	有
跳过任选程序段	1 个
程序开关	有
断点管理	有
断电管理	有
PLC 梯图在线编辑	有
网络程序编辑及运行	有
网络输入/输出程序	有
网络输入/输出参数	有
网络输入/输出刀补	有
网络输入/输出宏变量	有
网络输入/输出工件坐标系	有
程序目录画面增强	支持程序注释或部分内容预览
增量编码器回零	支持

- **显示**

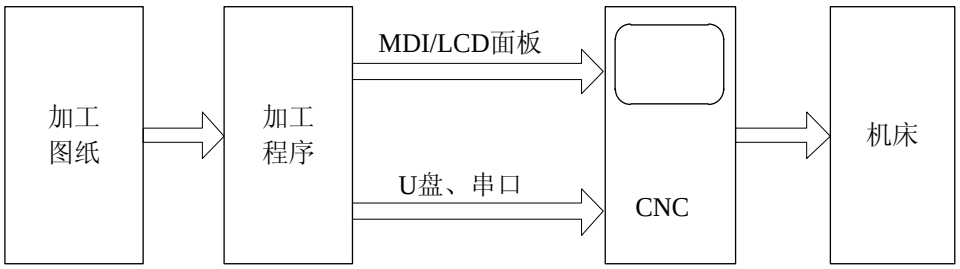
名称	**规格**
显示	中文，英文
加工时间、零件数显示	有
实际速度显示	有
主轴转速，M/S/T 指令	有
图形显示	刀具轨迹图形、3 维实体图形

1.3 CNC 机床的一般操作

用 CNC 机床加工零件时，首先要编制程序，然后用该程序控制 CNC 机床。

1 根据加工图纸编制零件加工程序。编程手册详细地介绍了编程方法。

2 CNC 读入程序后，把零件和刀具装在机床上，刀具按着程序运动，加工实际零件。操作手册详细介绍了如何操作。



参考“编程篇” 参考“操作篇”内容

3 连接调试手册详细介绍了系统外形尺寸，信号说明及日常维护等信息。

1.4 阅读说明书注意事项

1 数控机床的功能不仅由数控系统决定，还与机床结构、配电柜、驱动系统等因素有关。

由此图可知，CNC 系统一般由基本功能、选择机能、接口部分组成。不同的机床可能选择不同的接口设计和选择机能，所以机床操作人员需要参阅机床厂家发行的说明书。

2 本手册介绍了数控系统与连接调试相关的说明。机床设计人员除了需要阅读本说明书外，还要结合编程操作手册相关内容，才能全面了解系统的功能。在此基础上才能使机床达到最佳性能。由于功能不同，订购的费用也不一样，详细情况请参照 KND 公司订货清单。

3 本手册以下列软硬件版本为基础阐述：

系统主板版本：0025I-0200-W01Z-0101

系统软件版本：K2000GtCi_A01L_V3.1.12_150906

PLC 版本：KTC_STD_1.0_20140516

4 其它版本软件的不同之处请参看相关“补充说明书”。

5 若需要编制 PLC 程序，请参考《KND PLC 用户手册》进行 PLC 二次开发。

★ 重要提示

本系统提供电子盘功能。机床调试完毕后，请将系统当前数据备份在电子盘中。当机床运行过程中发生数据丢失、数据紊乱或不能工作等情况时，恢复电子盘操作可使系统快速恢复到备份前的状态。具体操作方法请参见《操作手册》。

II　编程篇

1 概述

1.1 插补功能

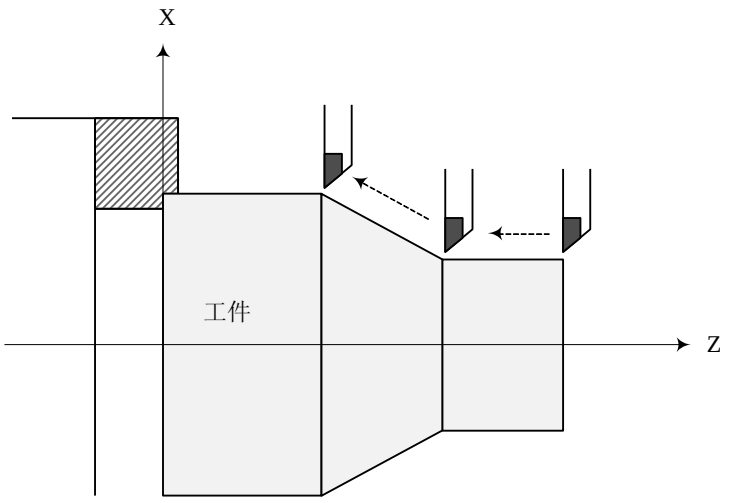
刀具沿着构成工件的直线和圆弧运动。（参见 II-4）

注

在实际机床中，有可能刀具不动，而工作台运动。本手册假定刀具相对工件运动来进行说明。

解释

- **刀具沿着直线运动**

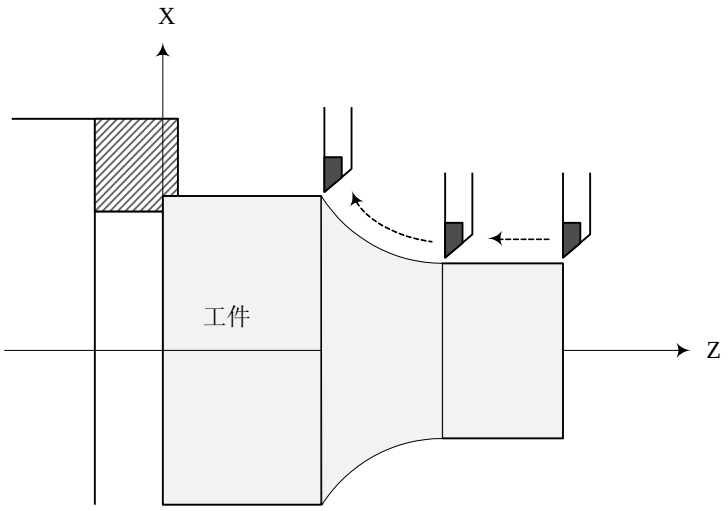


指令程序

G01 Z_ ;

X_ Z_ ;

- **刀具沿着圆弧运动**



指令程序

G02 X_ Z_ R_ ;

或

G03 X_ Z_ R_ ;

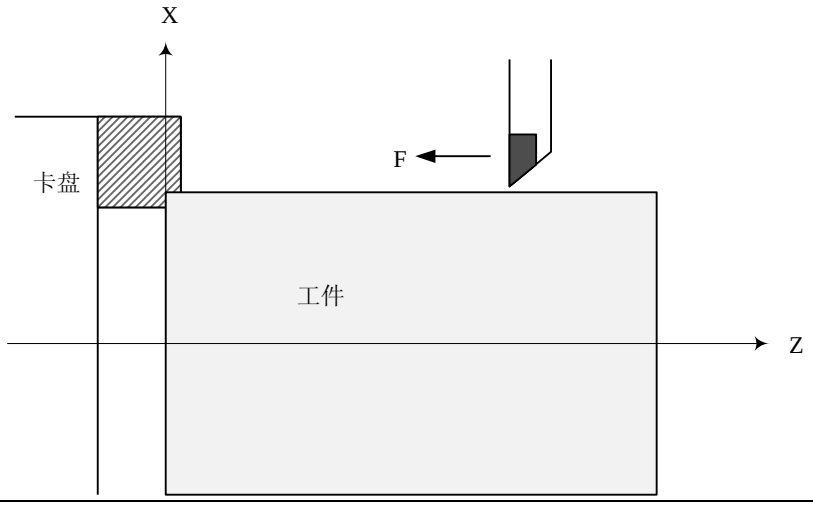
把刀具沿着直线、圆弧运动的功能称为插补功能。

编程指令 G01、G02、G03 等称为准备功能，用于指示数控装置进行何种插补。

1.2 进给功能

为了切削零件，用指定的速度使刀具运动称为进给。（参见 II-5）

解释



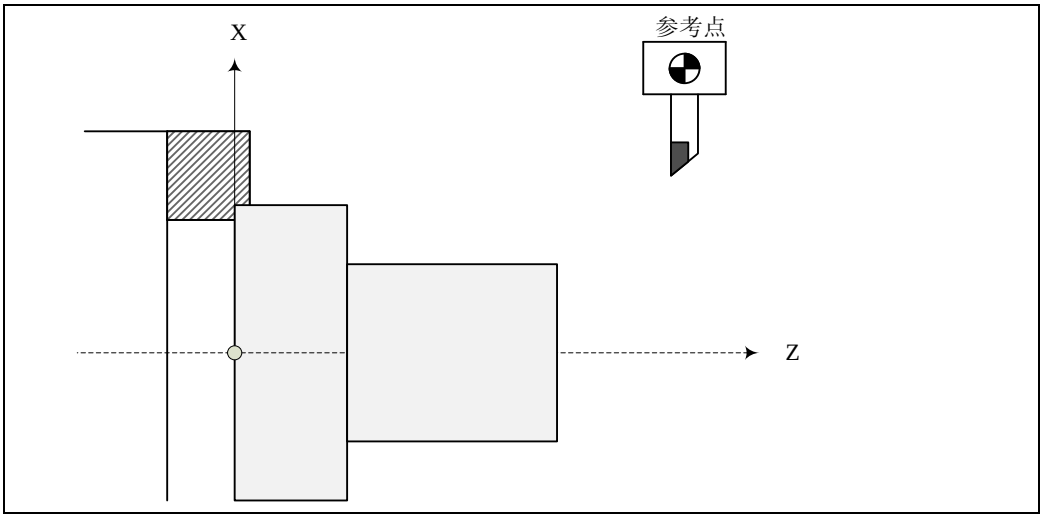
进给速度可用数值指令。例如，让刀具以 150mm/min 进给时，程序指令为：F150.0。

决定进给速度的功能称为进给功能。

1.3 加工图纸和刀具的运动

1.3.1 参考点（特定的机械点）

在 CNC 机床上，设计有特定的机械装置，通常在这个位置换刀和进行后面将要讲述的坐标系设定，这个位置称为参考点。



解释

要使刀具移动到参考点，有下面两种方式：

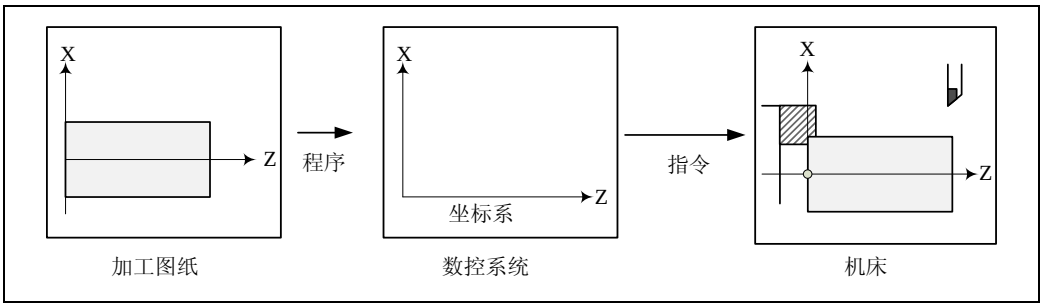
1 手动返回参考点（参见操作手册）

通过手动方式按照操作返回参考点。

2 自动返回参考点（参见 II-6）

通常，接通电源后，首先手动返回参考点。之后，为了更换刀具而将刀具移动到参考点时，使用自动返回参考点。

1.3.2 加工图纸上的坐标系和 CNC 指令的坐标系



解释

- **坐标系**

坐标系根据设定的地方不同，有下面两种（参见 II-7）：

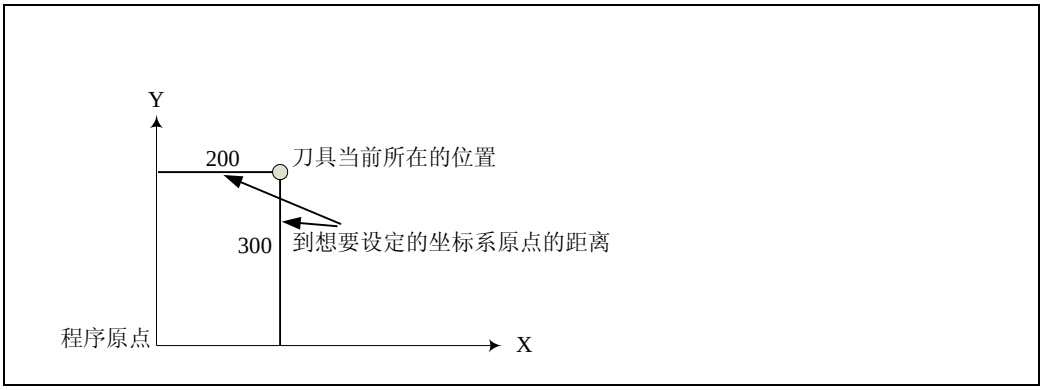
1 加工图纸上的坐标系

这个坐标系画在加工图纸上，程序中的数据使用这个坐标系的坐标值。

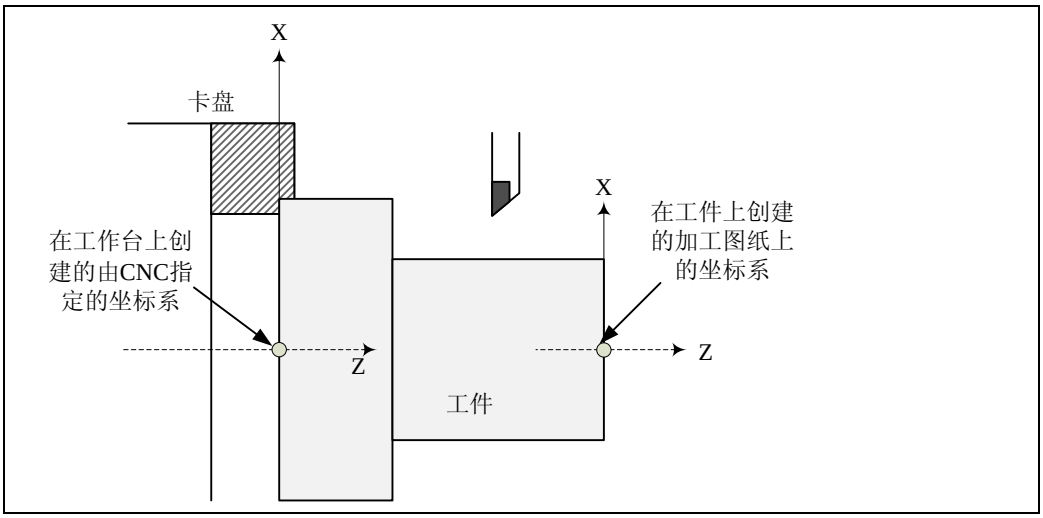
2 CNC 指令的坐标系

这个坐标系实际设定在机床工作台上。根据程序，指令从现在的刀具位置到要设定的坐标系原点的

距离，这样就设定了工作台上的坐标系。



工件一装在工作台上，就产生了这两个坐标系的相对关系。

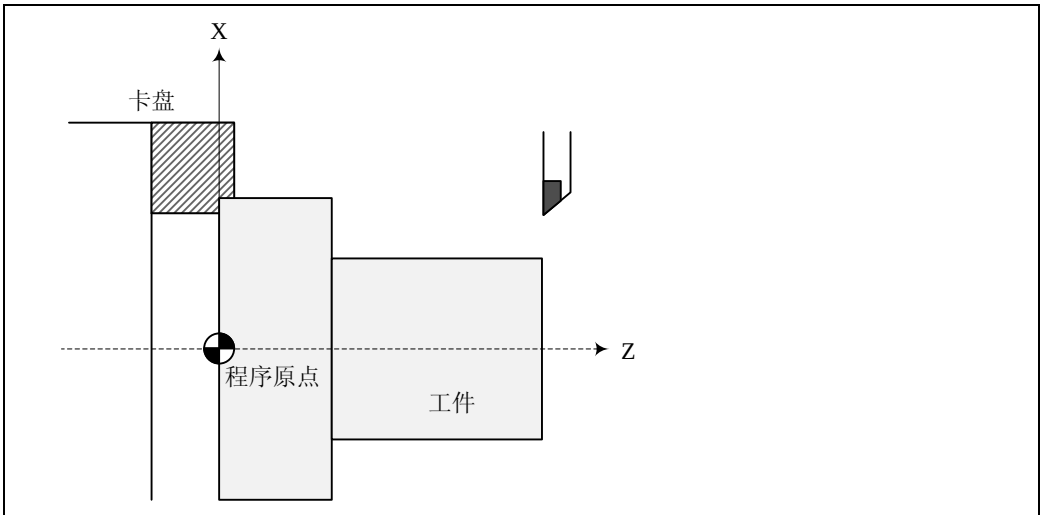


刀具在 CNC 指令的坐标系上，按照加工图纸上坐标系的指令程序把工件切削成图纸上的形状，因此，要把零件正确地加工出图纸所示的形状，必须把这两个坐标系确定在同一位置上。

- **将两个坐标系设定在相同位置的方法**

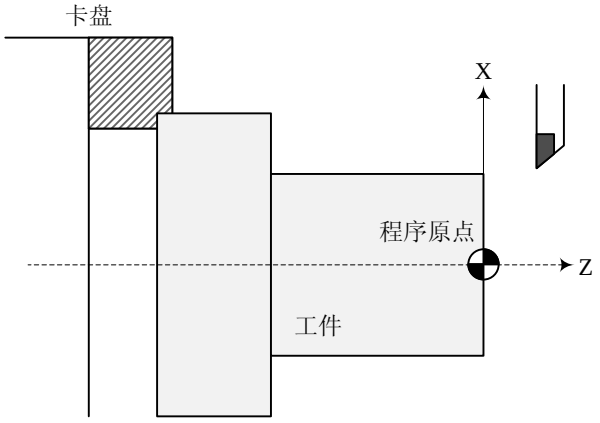
对于如何确定这两个坐标系在同一位置，可根据零件的形状、加工数量等采用不同的方法。

1 把坐标系原点设在卡盘面上



加工图纸上的坐标系和由 CNC 指定的坐标系一致时，可以在卡盘面上设定程序原点。

2 把坐标系原点设在零件端面上



加工图纸上的坐标系和由 CNC 指定的坐标系一致时，可以在工件端面上设定程序原点。

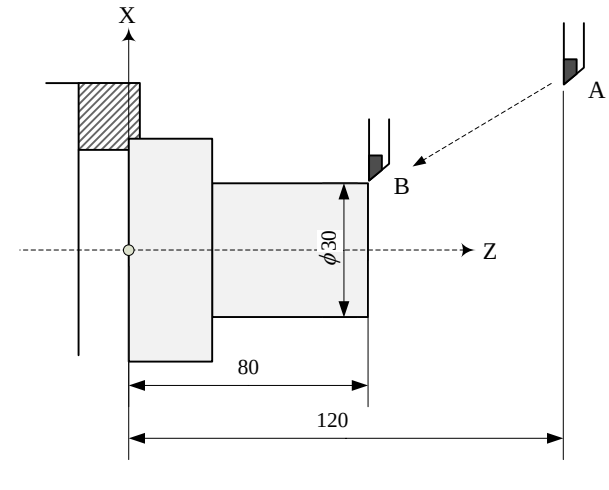
1.3.3 刀具运动指令尺寸的表示方法（绝对值和增量值指令）

刀具运动指令的坐标值有绝对值和增量值两种。（参见 II-8.1）

解释

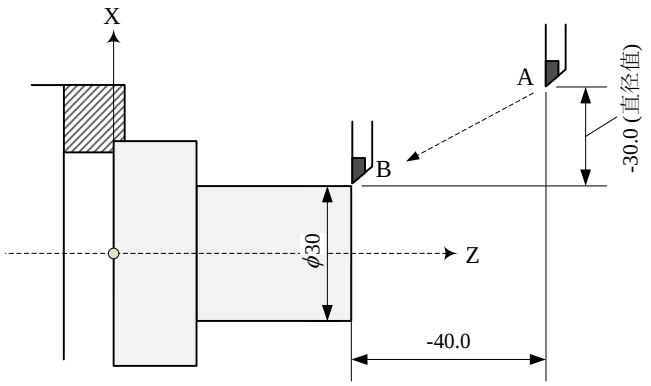
- **绝对指令**

指定“自坐标系原点的距离”，即以坐标值指定刀具的移动位置。



- **增量指令**

指定刀具由上一位置到下一位置的距离。

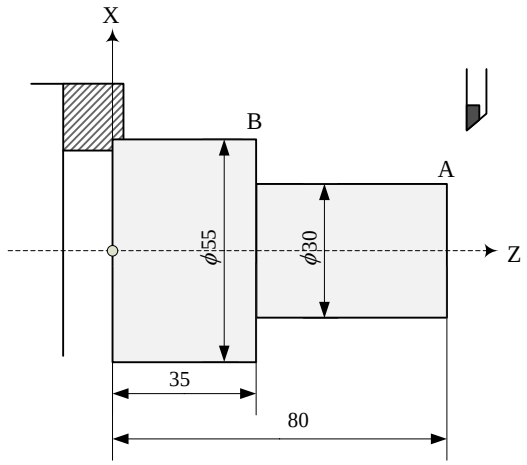


- **直径指定和半径指定**

指令 X 轴尺寸时，可以用直径值或半径值。（参见 II-8.7）事先由机床厂家决定。

直径指定

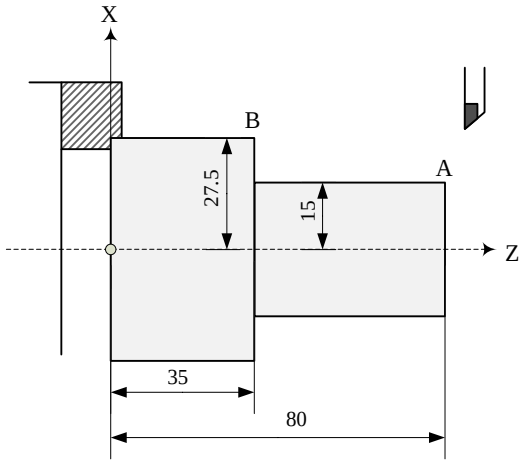
直径指定时，X 轴的值就是图纸上给出的直径值。



A、B 点的坐标值分别为：A（30.0，80.0）、B（55.0，35.0）。

半径指定

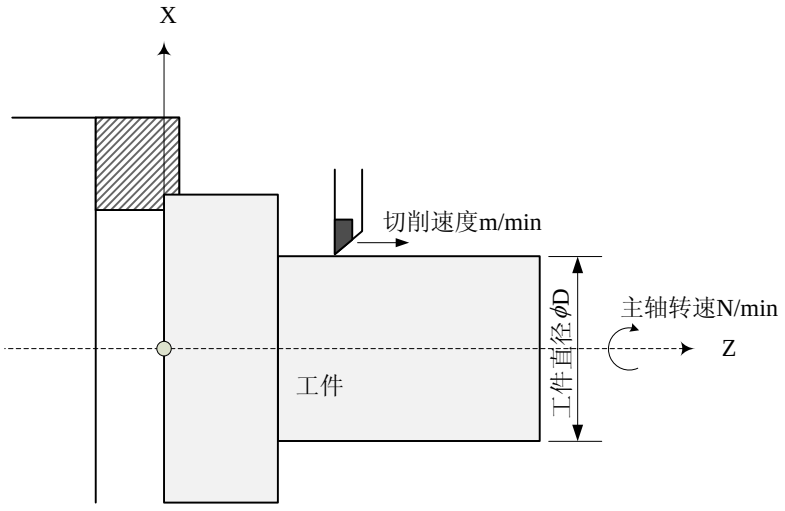
半径指定时，X 轴的坐标值是离开零件中心的距离，即指令半径值。



A、B 点的坐标值分别为：A（15.0、80.0）、B（27.5、35.0）。

1.4 主轴功能

把切削工件时刀具相对工件的速度称为切削速度。CNC 可以用主轴转速 RPM 来指令这个切削速度。



工件直径为 100 毫米，切削速度用 80 米/分加工时，根据主轴转速 N=1000V/πD 的关系，主轴转速约 250RPM，指令为：S250

把有关主轴转速的指令称为主轴功能。（参见 II-10）

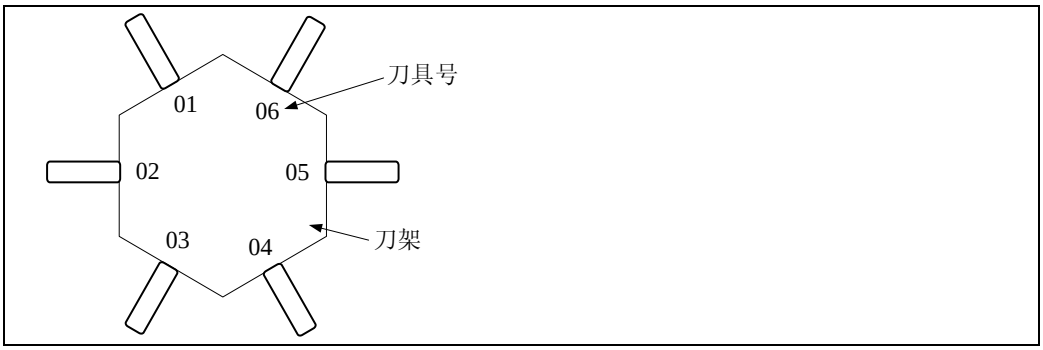
当选择了恒线速度控制功能时，指定切削速度 V（米/分），即使在工件直径不断变化的锥面切削中，主轴速度不断改变，从而保持切削线速度不变。（参见 II-10.3）

1.5 刀具功能

根据各种加工（铣削加工下为钻孔/攻丝/镗孔/铣削等，车削加工下为粗削/半光洁/精削/螺纹切削/开槽等），选择各自所需的刀具。

给每个刀具赋予一个编号，通过程序指定该编号，即可选择相应的刀具。

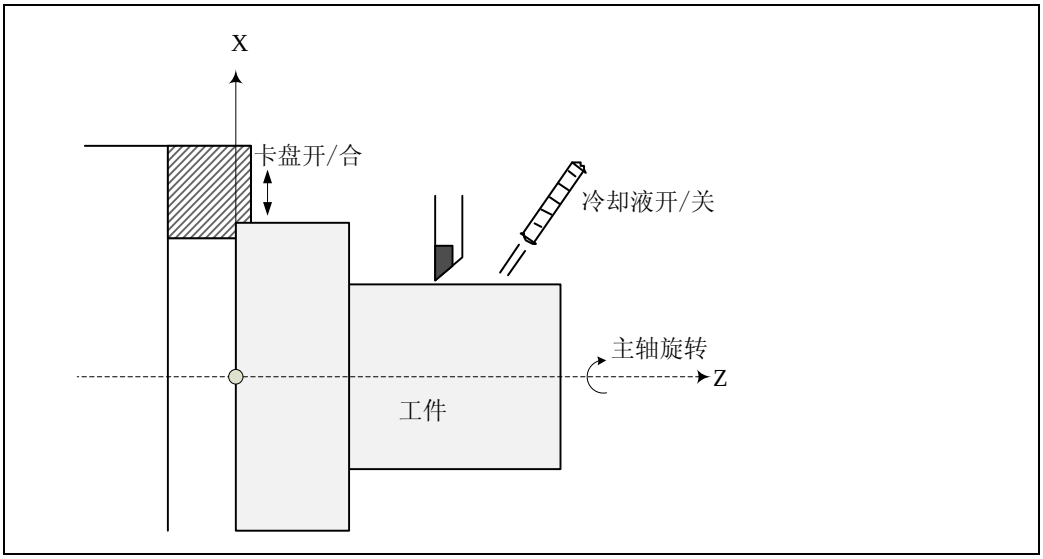
举例



某粗车用刀具号为 01 号，在刀库 01 号的位置上，通过指令：T0101 就可以选择该刀具。
把这个功能称为刀具功能。（参见《编程手册》刀具功能）

1.6 辅助功能

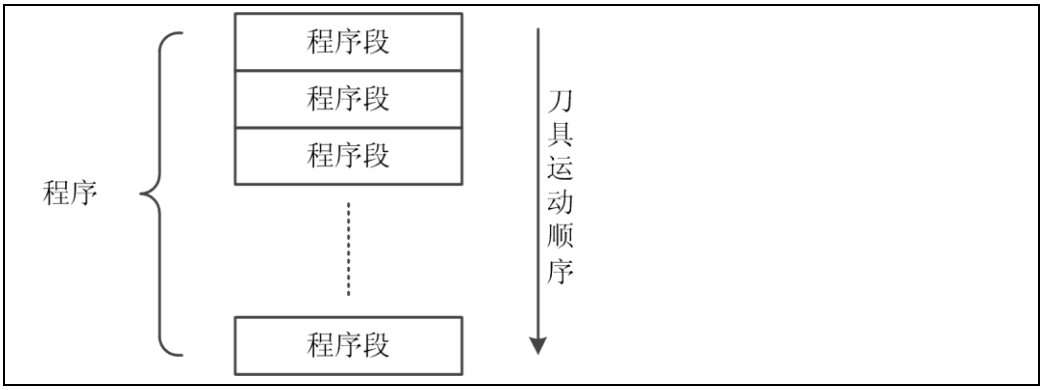
刀具开始加工工件时，要使主轴回转，供给冷却液，关闭卡盘，为此必须控制机床主轴电机和冷却油泵的开/关、卡盘的开合。



指定机床各种设备开/关操作的功能称为辅助功能，通常用 M 代码指定。（参见 II-12）
例如，M03 表示机床主轴正转。

1.7 程序的构成

为操作机床而给 CNC 发出的一组指令，称为程序。
在发出指令后，使刀具沿直线或圆弧移动，或使主轴电机开始或停止旋转。
在程序中，是按刀具的实际移动顺序发出指令的。



每一顺序的指令组，称为程序段。

对一个加工系列，整个程序由多个程序段组成。

识别各个程序段的号码称为顺序号，而识别各个程序的号码称为程序号。（参见 II-13）

解释

- **程序段**

一个程序段

N**** G** X**.* Y**.* M** S**** T**** ;

N：顺序号

G：准备功能

X、Y：运动尺寸

M：辅助功能

S：主轴功能

T：刀具功能

分号（;）：程序段结束

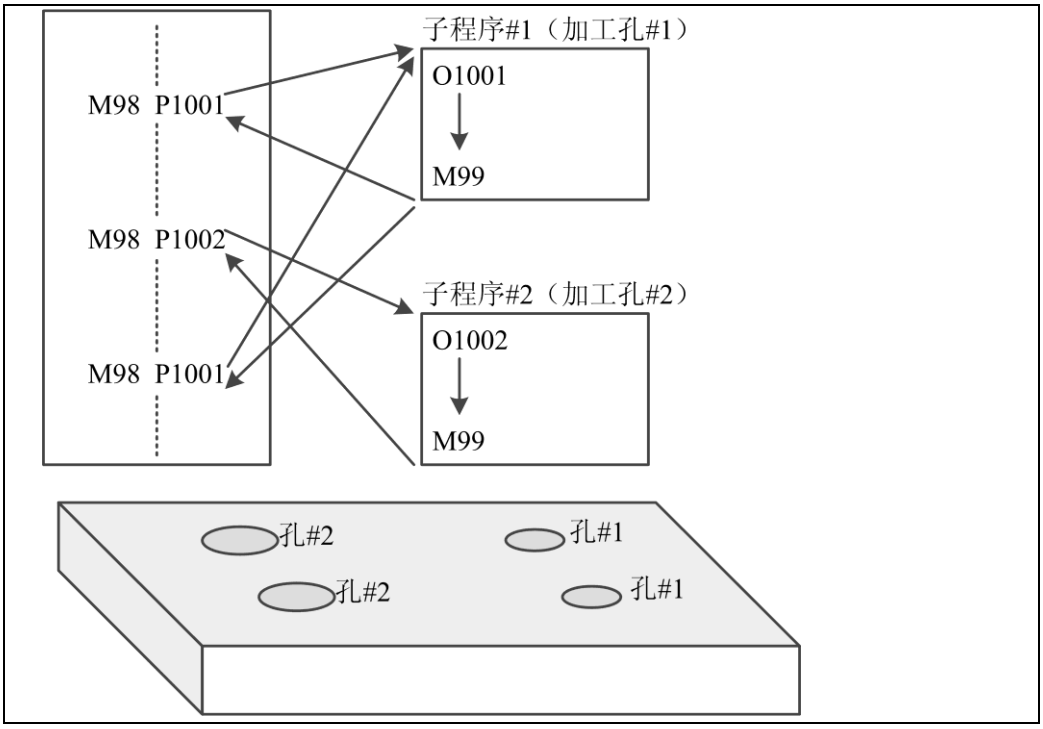
一个程序段的开头是表示 CNC 运动顺序的顺序号，末尾是表示这个程序段结束的分号（;）。

- **程序**

通常在程序的开头是程序号，以地址符 O 开头。在程序的结尾是 M30 或 M99，表示程序结束。

- **主程序和子程序**

编写加工程序时，如果要在工件的不同地方加工同样的图形，则往往先把这部分图形的程序单独编写出来，把它称为子程序。相对于子程序来说，程序的本体就称为主程序。在执行主程序时，如果有调用子程序的指令，则执行子程序。子程序执行完后，再返回执行主程序的指令。

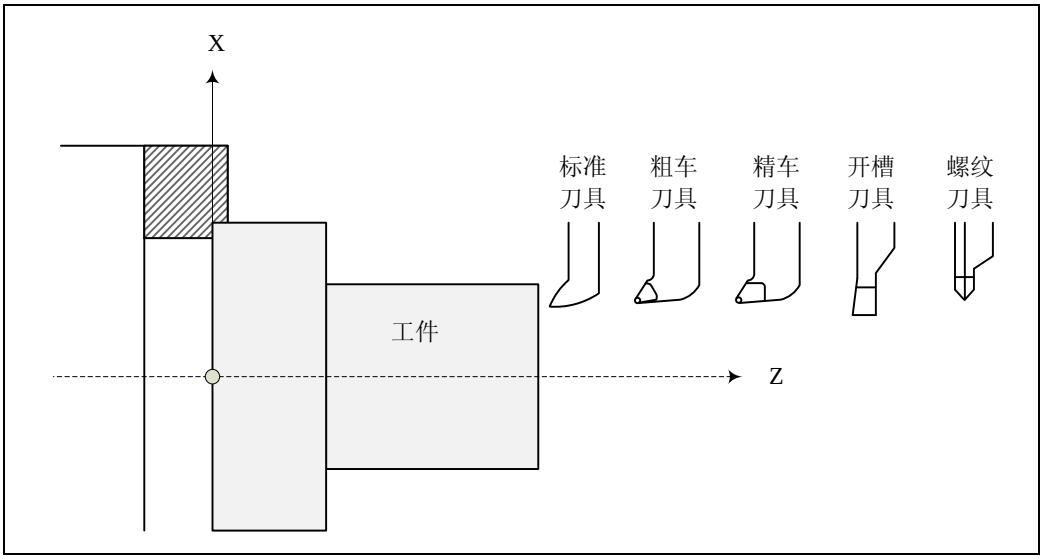


1.8 刀具补偿功能

解释

- **刀具长度补偿功能**

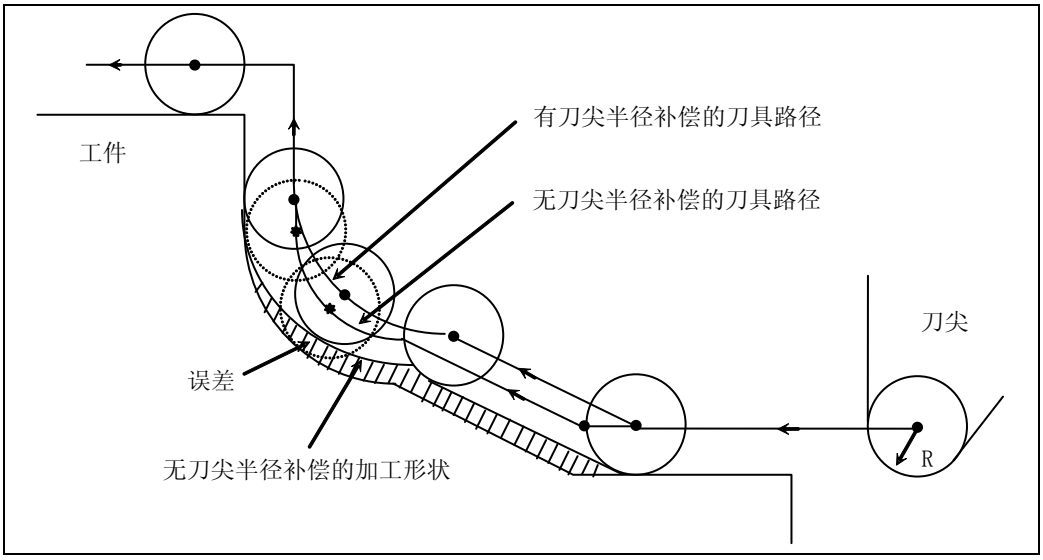
通常加工一个工件时，要使用多把刀具。各刀具有不同的形状，按照这些刀具来改变程序，非常麻烦。为此，事先测量出各刀具的刀尖位置，然后把它们与标准刀具刀尖位置的差设定给系统（参见操作手册），这样，即使换刀，程序也不需要变更就可以加工了。这个功能称为刀具长度补偿。（参见 II-15）



- **刀尖半径补偿功能**

由于实际刀尖都是圆形的，并不是假想刀尖那样的理想尖角，因此只用刀具长度补偿功能进行圆弧切削和锥度切削时，很难达到精度上的要求。事先把刀尖半径存在系统中，刀具就能沿着正确的轨

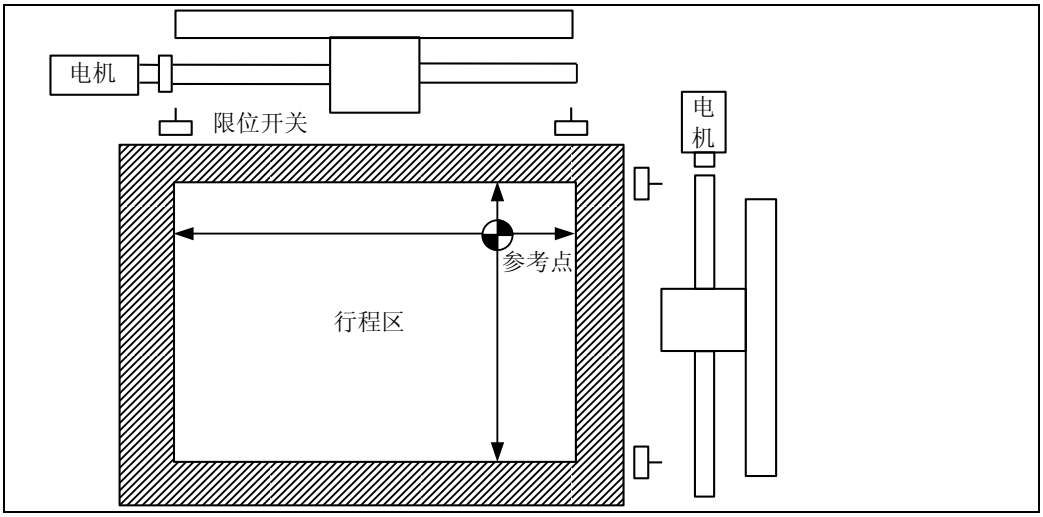
迹运动。这个功能称为刀尖半径补偿功能。（参见 II-15）



1.9 行程

机床上每个轴的端点都装有限制开关，以防止刀具移动超出端点。

刀具可以移动的范围称为行程。



2 控制轴

2.1 控制轴数

型号	K2000GtC	K2000Gt6C	K2000Gt8C
控制轴数	4	6	8

2.2 轴名称

赋给机床移动轴的名称，叫做轴名称。

轴名称可通过参数“自定义轴地址字符”（《连接调试手册》第 136 页 P0420）设定。可供选择的轴名称如下：

A、B、C、U、V、W、X、Y、Z、H

2.3 轴类型

控制轴的类型包括：直线轴、A 类旋转轴、B 类旋转轴、C 类旋转轴和 D 类旋转轴。可通过参数“轴类型”（《连接调试手册》第 134 页 P0412）进行选择。

解释

- **A 类旋转轴**

绝对坐标不受任何限制，机床坐标被限制在 0~360 度之间。

N1 G90 C0;	顺序号	实际移动量	终点绝对坐标值	终点机床坐标值
N2 G90 C200.0;	N2	200.0	200.0	200.0
N3 G90 C540.0;	N3	340.0	540.0	180.0
N4 G91 C720.0;	N4	720.0	1260.0	180.0

- **B 类旋转轴**

绝对坐标和机床坐标被限制在 0~360 度之间。对于自动运行，所有程序段的起点都被限制在 0~360 度之间，但是本段可以指令超过 360 度的运动。

G90 C0;	顺序号	实际移动量	终点绝对坐标值	终点机床坐标值
N1 G90 C-150.0;	N1	-150.0	210.0	210.0
N2 G90 C540.0;	N2	330.0	180.0	180.0
N3 G90 C-620.0;	N3	-800.0	100.0	100.0
N4 G91 C380.0;	N4	380.0	120.0	120.0
N5 G91 C-840.0;	N5	-840.0	0	0

- **C 类旋转轴**

绝对坐标和机床坐标被限制在 0~360 度之间，并在绝对编程时执行最短路径。增量指定时，移动量就是指令值；绝对指定时执行最短路径，移动量限定在-180 度~+180 度之间（包括-180 度和+180 度）。

G90 C0;	顺序号	实际移动量	终点绝对坐标值	终点机床坐标值
N1 G90 C-150.0;	N1	-150.0	210.0	210.0
N2 G90 C540.0;	N2	-30.0	180.0	180.0

N3 G90 C-620.0;	N3	-80.0	100.0	100.0
N4 G91 C380.0;	N4	380.0	120.0	120.0
N5 G91 C-840.0;	N5	-840.0	0	0

- **D 类旋转轴**

绝对坐标和机床坐标被限制在-180~180 度之间，并在绝对编程时执行最短路径。增量指定时，移动量就是指令值；绝对指定时执行最短路径，移动量限定在-180 度~+180 度之间（包括-180 度和+180 度）。

G90 C0;	顺序号	实际移动量	终点绝对坐标值	终点机床坐标值
N1 G90 C-150.0;	N1	-150.0	-150.0	-150.0
N2 G90 C540.0;	N2	-30.0	-180.0	-180.0
N3 G90 C-620.0;	N3	-80.0	100.0	100.0
N4 G91 C380.0;	N4	380.0	120.0	120.0
N5 G91 C-840.0;	N5	-840.0	0	0

注

1 使用 B/C/D 类旋转轴时，应特别注意，以防止发生干涉、碰撞。

2 使用 C/D 类旋转轴时，如果进行圆弧插补，那么最好用相对量指定圆弧终点坐标。

2.4 同步轴

机床上有时需要采用两台伺服电机驱动同一个轴。在系统中，通过控制一个轴的运动，使两台电机同步运动的功能称为同步轴功能。

解释

- **主动轴**

直接控制的轴称为主动轴

- **从动轴**

与主动轴同步运动的轴称为从动轴

- **设定方法**

轴型参数“从动轴对应主动轴号”（《连接调试手册》第 135 页 P0415）用于设定从动轴对应的主动轴号。主动轴的 P0415 必须设置为 0，从动轴的 P0415 应设置为其对应的主动轴的轴号，一个主动轴可以带多个从动轴。

- **控制方式**

从动轴跟随主动轴运动，不能单独运动，不能进行手动、回零、单步、手轮等手动控制，也不能在自动加工时通过编程指令其运动。但是从动轴有独立的间隙补偿和螺距误差补偿。

- **回零处理**

当主动轴回到零点时，从动轴也视为回到零点，并进行回零后处理。

2.5 单位

系统涉及到的单位包括最小输入单位、最小输出单位、最小移动单位和最小插补单位。

1 最小输入单位

也称最小设定单位或最小编程单位，指的是编程时移动量的最小单位，或绝对坐标的最小单位。以 mm、inch 或 deg（度）表示。

2 最小输出单位

也称最小机床单位，指的是机床坐标的最小单位。以 mm、inch 或 deg（度）表示。

3 最小移动单位

发送给驱动器的指令的最小单位（系统电子齿轮比 1:1 时，表示 1 个脉冲代表的长度或角度）。以 mm、inch 或 deg（度）表示。

4 最小插补单位

为最小移动单位的千分之一（当最小编程单位为微米时实现纳米级插补，当最小编程单位为纳米时，实现皮米级插补）。系统电子齿轮实际分频系数为参数设定分频系数的 1000 倍。

解释

- **直线轴的最小单位**

直线轴的**最小输入单位**包括公制和英制两种，由 G 代码（G20/G21）选择或通过设置页面选择。而**最小输出单位**和**最小移动单位**的公英制选择由参数“SCW”（《连接调试手册》第 132 页 P0400.3）控制。

直线轴小数位数由参数“直线轴小数位数”（《连接调试手册》第 131 页 P0042）设定。参数设置可参照下表。

P0042 设定数值	最小输入单位	最小输出单位	最小移动单位	最小插补单位
1	0.1mm	0.1mm	0.05mm	0.00005mm
	0.01inch	0.01inch	0.005inch	0.000005inch
2	0.01mm	0.01mm	0.005mm	0.000005mm
	0.001inch	0.001inch	0.0005inch	0.0000005inch
3	0.001mm	0.001mm	0.0005mm	0.0000005mm
	0.0001inch	0.0001inch	0.00005inch	0.00000005inch
4	0.0001mm	0.0001mm	0.00005mm	0.00000005mm
	0.00001inch	0.00001inch	0.000005inch	0.000000005inch

- **旋转轴的最小单位**

旋转轴的单位没有公英制之分，默认情况下单位是度（deg）。

旋转轴小数位数由参数“旋转轴小数位数”（《连接调试手册》第 131 页 P0045）设定。参数设置可参照下表：

P0045 设定数值	最小输入单位	最小输出单位	最小移动单位	最小插补单位
1	0.1deg	0.1deg	0.05deg	0.00005deg
2	0.01deg	0.01deg	0.005deg	0.000005deg
3	0.001deg	0.001deg	0.0005deg	0.0000005deg
4	0.0001deg	0.0001deg	0.00005deg	0.00000005deg

- **暂停最小单位**

暂停最小单位为 0.001 秒，与直线轴或旋转轴的最小单位无关。详细设定单位请参见机床制造厂家的说明书。

注

1 公制下导程 F 的小数位数=公制直线轴小数位数+1；英制下导程 F 的小数位数=英制直线轴小数位数+2。公制下导程变化量 K 的小数位数=公制直线轴小数位数+1；英制下导程变化量 K 的小数位数=英制直线轴小数位数+2。

2 本版本最小移动单位为最小输出单位的一半。而此前版本除了车床 X 轴直径编程时最小移动单位为最小输出单位的一半外，最小移动单位与最小输出单位相同。请注意电子齿轮比的设定。

2.6 最大行程

机床各控制的实际行程范围由“正向行程限位”（《连接调试手册》第 137 页 P0610）和“负向行程限位”（《连接调试手册》第 137 页 P0611）设定，参数值必须在最大行程范围之内。

解释

机床各控制轴的最大行程由“允许数据位数”和最小输出单位决定。如下表所示。

允许数据位数	最大行程
7	最小输出单位×± 9999999
8	最小输出单位×± 99999999
9	最小输出单位×± 999999999

注

1 允许数据位数参数由数控系统厂家设定。

2 不可指定超过最大行程的指令。

3 当正负向行程限位超过最大行程时，以最大行程进行限制。

3 准备功能（G 功能）

准备功能由 G 代码（G 地址及其后数值）表示，规定其所在的程序段的意义。

格式

格式 1：Gxxxx

4 位数 G 代码

格式 2：Gab.c

2 位数带 1 位小数 G 代码，等价于 Gcab。

例如 G10.9 等价于 G910（编程时这两种方式都支持）。

自定义 G 代码范围为 G0~G9999，但是 G999 以后 G 代码无法用相应的带小数点的 G 代码表示。

类型

类型 1：非模态 G 代码

只在被指令的程序段有效

类型 2：模态 G 代码

在同组其它 G 代码指令前一直有效

例

G00 和 G01 为同组模态 G 代码。加工程序如下：

G00 X__ ； （G00 有效）

Y__ ； （G00 有效）

G01 Z__ ； （G01 有效）

X__ ； （G01 有效）

G 代码列表

参数 GSP(P0001.6)	G 代码体系	
	2~4 轴	5~8 轴
0	G 代码体系 A	G 代码体系 B
1	G 代码体系 B	

G 代码体系		组别	功能
A	B		
G04	G04	00	暂停，准停
G10	G10		可编程数据输入
G27	G27		返回参考点检查
G28	G28		返回参考点
G29	G29		从参考点返回
G30	G30		返回第 2 第 3 参考点
G31	G31		跳跃机能
G36	G36		各轴自动刀偏设定

G 代码体系		组别	功能
A	**B**		
G37	G37		各轴自动刀偏设定
G39	G39		拐角偏移圆弧插补
G50	G92		工件坐标系设定/主轴最高转速钳制
G52	G52		局部坐标系设定
G53	G53		机床坐标系定位（快速移动）
G65	G65		宏程序命令
G70	G70		精加工循环
G71	G71		外圆粗车循环
G72	G72		端面粗车循环
G73	G73		封闭切削循环
G74	G74		端面深孔加工循环
G75	G75		外圆、内圆切槽循环
G76	G76		复合形螺纹切削循环
G10.9(G910)	G10.9(G910)		直径半径可编程切换
G54.9(G954)	G54.9(G954)		笛卡儿坐标系坐标轴设定
G07.1(G107)	G07.1(G107)		圆柱插补
G05	G05		参数修改指令
G07	G07		假想轴插补
G07.2(G207)	G07.2(G207)		数字主轴螺纹插补
G65.1	G65.1		指令数据输出
*G00	*G00		定位（快速移动）
*G01	*G01		直线插补（切削进给）
G02	G02		圆弧插补 CW（顺时针）
G03	G03		圆弧插补 CCW（逆时针）
G02.1	G02.1		空间三点圆弧插补
G02.2	G02.2		平面等速螺线插补 CW（顺时针）
G03.2	G03.2		平面等速螺线插补 CCW（逆时针）
G02.3	G02.3		空间等速螺线插补 CW（顺时针）
G03.3	G03.3		空间等速螺线插补 CCW（逆时针）
G02.4	G02.4	01	平面等角螺线插补 CW（顺时针）
G03.4	G03.4		平面等角螺线插补 CCW（逆时针）
G02.5	G02.5		空间等角螺线插补 CW（顺时针）
G03.5	G03.5		空间等角螺线插补 CCW（逆时针）
G32	G32		螺纹切削
G34	G34		变螺距螺纹切削
G90	G77		外圆,内圆车削循环
G92	G78		螺纹切削循环
G93	G93		攻丝固定循环
G94	G79		端面切削循环

G 代码体系		组别	功能
A	B		
G78.1(G178)	G78.1(G178)		数字主轴螺纹切削循环
G17	G17	02	XY 平面选择
*G18	*G18		ZX 平面选择
G19	G19		YZ 平面选择
—	*G90	03	绝对值编程
—	G91		增量值编程
—	*G98	04	在固定循环中返回初始平面
—	G99		在固定循环中返回 R 点平面
*G54	*G54	05	工件坐标系 1
G55	G55		工件坐标系 2
G56	G56		工件坐标系 3
G57	G57		工件坐标系 4
G58	G58		工件坐标系 5
G59	G59		工件坐标系 6
G20	G20	06	英制数据输入
G21	G21		公制数据输入
*G40	*G40	07	刀尖半径补偿取消
G41	G41		刀尖半径补偿（左）
G42	G42		刀尖半径补偿（右）
*G80	*G80	09	固定循环注销
G81	G81		钻孔循环（点钻循环）
G82	G82		钻孔循环（镗阶梯孔循环）
G83	G83		深孔钻循环
G84	G84		攻丝循环
G85	G85		镗孔循环
G86	G86		钻孔循环
G87	G87		反膛循环
G88	G88		镗孔循环
G89	G89		镗孔循环
G83.5	G83.5		高速深孔加工循环
G84.5	G84.5		反攻丝循环
G86.5	G86.5		精镗循环
*G98	*G94	10	每分进给
G99	G95		每转进给
*G15	*G15	11	极坐标指令注销
G16	G16		极坐标指令指定
—	*G50	12	比例缩放取消
—	G51		比例缩放开始
G68.1(G168)	G68.1(G168)	13	坐标旋转开始

G 代码体系		组别	功能
A	B		
*G69.1(G169)	*G69.1(G169)		坐标旋转取消
G96	G96	14	恒线速 ON
*G97	*G97		恒线速 OFF
G68	G68	15	X 轴镜像 ON
*G69	*G69		X 轴镜像 OFF
*G13.1(G113)	*G13.1(G113)	16	极坐标插补取消
G12.1(G112)	G12.1(G112)		极坐标插补开始

注

1 带*记号的 G 代码为系统默认 G 代码，系统启动时，同组模态 G 代码处于默认状态。

2 01 组 G 代码中的 G00、G01 需要通过参数“G01”（《连接调试手册》第 149 页 P2500.7）来选择哪个作为默认 G 代码。

3 06 组 G 代码中 G20、G21 的开机状态与上次系统关机前保持一致。

4 00 组的 G 代码是非模态 G 代码，只在当前程序段有效。

5 如果使用了 G 代码列表中未列出或未使能的 G 代码，则出现报警（PS1205）。

6 在同一个程序段中可以指令几个不同组的 G 代码。如果在同一个程序段中指令了多个同组 G 代码，则最后一个 G 代码有效。

7 在固定循环（09 组 G 代码）中，如果指令了 01 组的 G 代码，固定循环则自动被取消，变成 G80 状态。但 01 组的 G 代码不受固定循环 G 代码的影响。

8 对于 G 代码体系 A，其绝对/增量方式不是由 G 代码 G90/G91 区分，而是由地址 X/U、Z/W、Y/V、C/H 区分。

9 对于 G 代码体系 A，在 09 组 G 代码固定循环中只能返回初始平面。

10 对于 G 代码体系 A，没有比例缩放功能。

4 插补功能

4.1 定位（G00）

用 G00 定位，刀具以快速移动速度移动到由 IP 指定的位置。

格式

G00 IP__ ;

IP：X、Y、Z、U、V、W 等，表示任意轴的组合。对绝对指令为刀具移动的终点坐标值，对增量指令为刀具的移动量。

分号（;）：表示程序段结束。

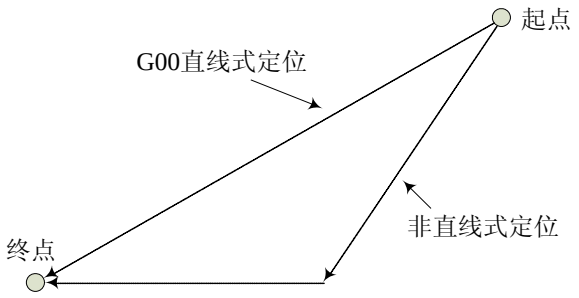
解释

G00 为 01 组代码，指定 G00 后，在指定同组 G 代码前一直有效。

G00 定位方式可由参数“LRP”（《连接调试手册》第 128 页 P0004.1）选择：

- LRP=0：G00 使用非直线方式定位。各轴按照快速速度独立运动，直到到达定位点。平均加减速由参数“轴快速独立运动时的加减速度”（《连接调试手册》第 174 页 P6440）设定。
- LRP=1：G00 使用直线插补方式定位。刀具沿着直线移动到指定点，运行轨迹与 G01 相同。刀具在最短的时间定位，各轴定位速度不超过各自的“快速速率”（《连接调试手册》第 138 页 P0711）。但要注意的是，此时仍然是各轴独立控制加减速，由参数“快速加速曲线”（《连接调试手册》第 172 页 P6412）和“快速减速曲线”（《连接调试手册》第 172 页 P6413）控制。G00 定位示意图如下：

非直线定位、直线插补方式定位示意图



限制

1 进行“自动手轮”功能控制时，如果使用非直线定位，那么手轮正转和反转影响 G00 定位路径；反转只能保证回到起点，但路径与正转路径不重合。直线插补定位则无此影响。

2 直线插补定位时，加速度由参数“快速运动平均加速度”（《连接调试手册》第 173 页 P6432）给定，减速度由“快速运动平均减速度”（《连接调试手册》第 173 页 P6433）给定。非直线插补定位时，各轴加减速度由参数“轴快速独立运动时的加减速度”（《连接调试手册》第 174 页 P6440）给定。

3 同一个程序段，相同参数下，直线插补定位与非直线定位的执行时间相同。建议使用直线插补定位。

4 以下情况中的定位自动使用直线插补定位，与 LRP 的设定无关：

- G70~76 循环中的定位运动
- G80~89 钻孔循环中的定位运动
- G178 指令中的定位运动
- G90~G94 中的定位运动
- G36~37 指令定位运动
- 当前段为 G00 定位指令，但前一段为螺纹指令
- 刀具半径补偿插入的定位段

5 其余情况的定位与 LRP 设定有关，主要包括：

- G00 指令（前一段不是螺纹指令）
- G27~G30 指令
- G53 指令

4.2 直线插补（G01）

4.2.1 直线插补说明

G01 是以当前点为起点，用 IP 指定终点，以 F 值为指定速度，从当前点到终点做直线插补运动的切削指令。

格式

G01 IP__ F__ ;

IP：对绝对指令为刀具移动的终点坐标值，对增量指令为刀具的移动量。

F：刀具的进给速度。

解释

F 指定的进给速度，在指定新值前总是有效，因此不需对每个程序段一一指定。

由 F 指定的速度是刀具沿着直线移动的合成速度。若没有在任何情况下指定过 F，则发出报警（PS0011）。

沿各轴方向的速度如下：

G01 Xα Yβ Zγ Ff ;

X 轴方向的速度：$F_X = \frac{\alpha}{L} \times f$

Y 轴方向的速度：$F_Y = \frac{\beta}{L} \times f$

Z 轴方向的速度：$F_Z = \frac{\gamma}{L} \times f$

$L = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}$

若同时对直线轴 α 和旋转轴 β 进行直线插补，则分别以 mm/min 和 deg/min 为单位的 α 、β 的切线速度为 F(mm/min)。β 轴的速度是通过 F 求出所需时间后再将其换算为 deg/min 而求得的。

G01 U40.0 V20.0 F300.0 ;（旋转轴特殊控制机能无效）

假定以公制输入时的旋转轴（相对坐标地址为 V）的 20.0deg 为 20mm。

分配所需时间为：

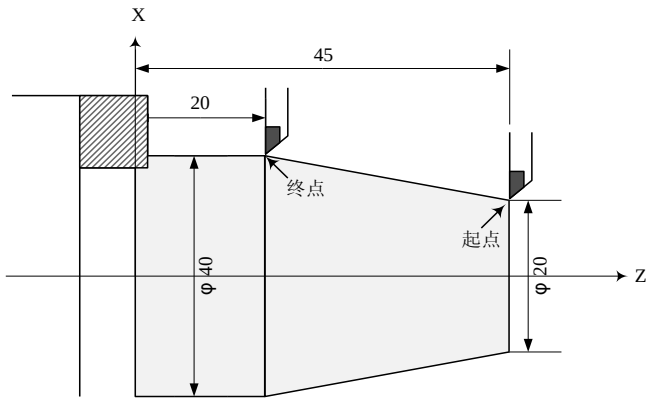
$$\frac{\sqrt{40^2+20^2}}{300}=0.14907\text{min}$$

旋转轴的速度为：

$$\frac{20\text{deg}}{0.14907\text{min}}=134.2\text{deg/min}$$

举例

- **直线轴插补**



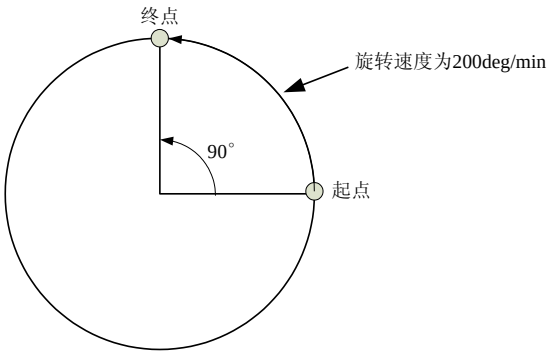
直径编程条件下的直线插补：

G01 X40.0 Z20.0 F200. ; （绝对方式）

或

G01 U20.0 W-25.0 F200. ; （增量方式）

- **旋转轴插补**



G01 V90.0 F200.0 ;（旋转轴特殊控制机能无效）

旋转轴（相对坐标地址为 V）以 200deg/min 的进给速度，逆时针旋转 90 度。

4.2.2 旋转轴速度单位缩小功能

旋转轴的单位为“度”，为解决旋转轴大传动比时速度和加速度数值过大的问题，本系统提供了“旋转轴速度单位缩小功能”。由参数“RAUM”（《连接调试手册》第 132 页 P0400.6）和“旋转轴速度与加速度单位缩小倍数”（《连接调试手册》第 135 页 P0416）控制。

1 当 RAUM 设为 0 时，旋转轴速度单位为“0.1 转/分”，加速度单位为“（100 转/分）/秒”

2 当 RAUM 设为 1 时，速度单位和加速度单位受参数 P0416 的影响：

(1) 速度单位为：$\frac{0.1}{\text{P0416}}$转/分 $=\frac{36}{\text{P0416}}$度/分

(2) 加速度单位为：$(\frac{100}{\text{P0416}}$转/分)/秒 $=(\frac{36000}{\text{P0416}}$度/分)/秒

解释

下面以 RAUM 设为 1，P0416 设为 36 时的情况描述插补计算的过程。

- **名义移动量**

直线轴名义移动量=直线轴实际移动量（单位：毫米或英寸）

$$\text{旋转轴名义移动量}=\frac{\text{旋转轴实际移动量}}{\text{P0416}}=\frac{\text{旋转轴实际移动量}}{36}$$（单位：0.1 转）

- **名义长度**

$$\text{名义长度}=\sqrt{\sum\text{名义长度}^2}=\sqrt{\sum\text{直线轴名义移动量}^2+\sum\text{旋转轴名义移动量}^2}$$

- **直线插补时的速度和加速度**

$$\text{直线轴分速度}=\frac{\text{直线轴名义移动量}}{\text{名义长度}}\times\text{本段速度}$$（单位：毫米/分）

$$\text{旋转轴分速度}=\frac{\text{旋转轴名义移动量}}{\text{名义长度}}\times\text{本段速度}$$（单位：$\frac{0.1}{\text{P0416}}$转/分 或 $\frac{36}{\text{P0416}}$度/分）

$$\text{直线轴分加/减速度}=\frac{\text{直线轴名义移动量}}{\text{名义长度}}\times\text{本段加/减速度}$$（单位：mm/min/s）

$$\text{旋转轴分加/减速度}=\frac{\text{旋转轴名义移动量}}{\text{名义长度}}\times\text{本段加/减速度}$$（单位：$\frac{100\text{ 转/分}}{P0416}$/秒）

注

1 该机能对定位运动、直线运动、圆弧等的附加直线运动、以及 PLC 轴控制中的直线插补运动都有效。

2 该机能不影响旋转轴小数位数，也不影响插补分辨率。

3 该机能对已经使用“转”（速度[转/分]、加速度[(转/分)/秒]）为单位的机能无影响。刚性攻丝机能（参数 P6434/P6435 单位均为[(转/分)/秒]），以及 PLC 轴控制中的速度指令（平均加速度 DATA6 和平均减速度 DATA7 单位均为[(转/分)/秒]）均不受该机能影响。

举例

加工程序

G01 W50. V9000. F5099.020 ; // W 为直线轴 Z 的相对地址，V 为旋转轴 Y 的相对地址。

分速度计算

设 RAUM=1，P0416=36

直线轴名义移动量=50.0[mm]

旋转轴轴名义移动量=9000.0/36=250.0[0.1 转]

$$\text{名义长度}=\sqrt{50.0^2+250.0^2}=254.951$$

直线轴分速度=50.0/254.951*5099.020=1000.000[mm/min]

旋转轴分速度=250.0/254.951*5099.020=5000.000[0.1 转/min]=500[转/min]

4.3 圆弧插补（G02，G03）

4.3.1 圆弧插补说明

在指定平面上，使刀具沿着圆弧进行切削运动。

格式

XY 平面的圆弧

$$G17\ \begin{Bmatrix}G02\\G03\end{Bmatrix}\ X_P_Y_p_\ \begin{Bmatrix}R_\\I_J_\end{Bmatrix}\ F_;$$

ZX 平面的圆弧

$$G18\ \begin{Bmatrix}G02\\G03\end{Bmatrix}\ Z_P_X_p_\ \begin{Bmatrix}R_\\K_I_\end{Bmatrix}\ F_;$$

YZ 平面的圆弧

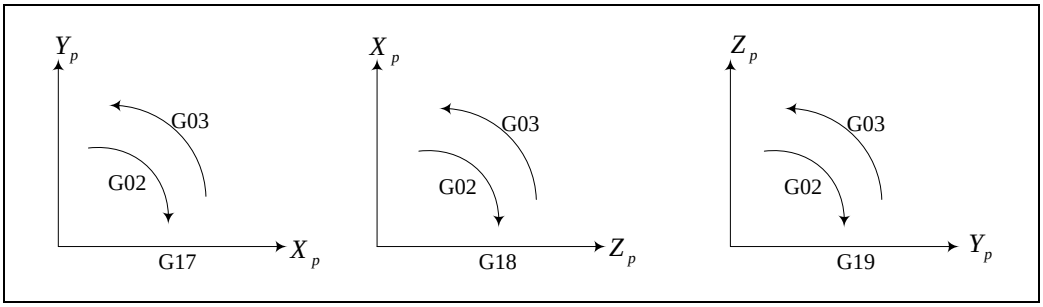
$$G19\ \begin{Bmatrix}G02\\G03\end{Bmatrix}\ Y_P_Z_p_\ \begin{Bmatrix}R_\\J_K_\end{Bmatrix}\ F_;$$

项目	指定内容	命令	描述
1	平面指定	G17	XY 平面圆弧指定
		G18	ZX 平面圆弧指定
		G19	YZ 平面圆弧指定
2	插补方向	G02	顺时针圆弧插补（CW）
		G03	逆时针圆弧插补（CCW）
3	终点位置或距离	Xp、Yp、Zp 中的两轴	绝对坐标系中的终点位置
		U、V、W 或 G91 下 Xp、Yp、Zp 中的两轴	从始点坐标到终点坐标的距离
4	圆心位置或半径	I、J、K 中的两轴	从始点坐标到圆心坐标的距离
		R	圆弧半径
5	进给速度	F	圆弧进给的切线速度

解释

- **圆弧插补的方向**

所谓顺时针（G02）和逆时针（G03）是指在右手直角坐标系中，对于 XpYp 平面（ZpXp 平面、YpZp 平面）从 Zp 轴（Yp 轴、Xp 轴）的正方向往负方向看而言，如下图所示：



- **圆弧上的移动量**

对于 G 代码体系 A，用地址 Xp、Yp 或 Zp 指定圆弧终点的绝对值，用地址 U、V 或 W 指定增量

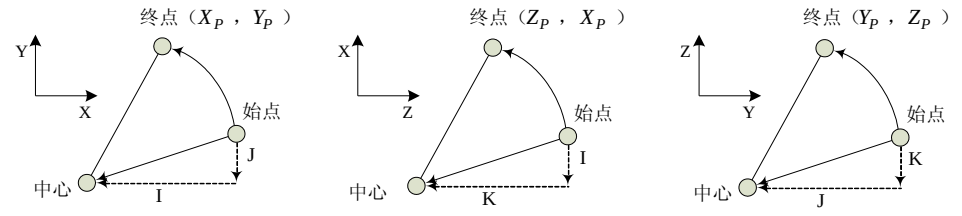
值；对于 G 代码体系 B，用地址 Xp、Yp 或 Zp 指定圆弧的终点，G90 指令下表示绝对值，G91 指令下表示增量值。增量值是从圆弧始点到终点的距离值。

注

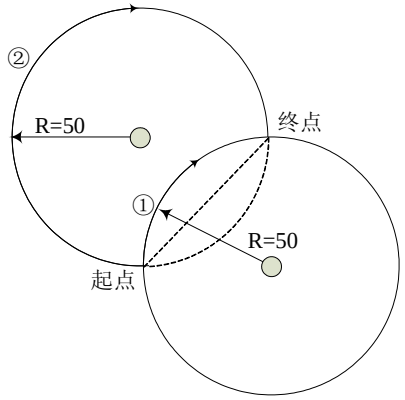
如无特别说明，对于系统所有功能，本手册均以 G 代码体系 A 进行解释与举例。

- **圆弧中心**

圆弧中心用地址 I、J、K 指定，它们分别对应于 Xp、Yp、Zp。I、J、K 后面的数值是从圆弧始点到圆心的矢量分量，是含符号的增量值。如下图所示：



- **圆弧半径**



（半径编程）

①的圆弧小于 180° 时，执行 G 代码 G02 U60.0 W50.0 R50.0 F300.0 ;

②的圆弧大于 180° 时，执行 G 代码 G02 U60.0 W50.0 R-50.0 F300.0 ;

- **圆弧中心检查功能**

当参数“RIKALM”（《连接调试手册》第 150 页 P2501.7）设为 1 时，该功能有效。当 G02/G03 未指令圆心或者圆心错误时发出 PS329 报警。包括以下情况：

1 指令“R0”，立即报警

2 指令“I0 J0 K0”，立即报警

3 同时用 R 和 IJK 指令圆心时，立即报警

4 未指令 R 和 IJK 时，若当前段包括 G02/G03，则立即报警；若当前是 G02/G03 模态，则指令轴运动时报警；

- **进给速度**

圆弧插补的进给速度用 F 指定，为刀具沿着圆弧切线方向的速度。

注

1 当 I、J 或 K 为 0 时，该地址可以省略。

2 当忽略所有圆弧上的移动量（X、Y、Z、U、V、W），则终点与起点位置相同，若用 I、J、K 指定圆心，则指定的是一个整圆。

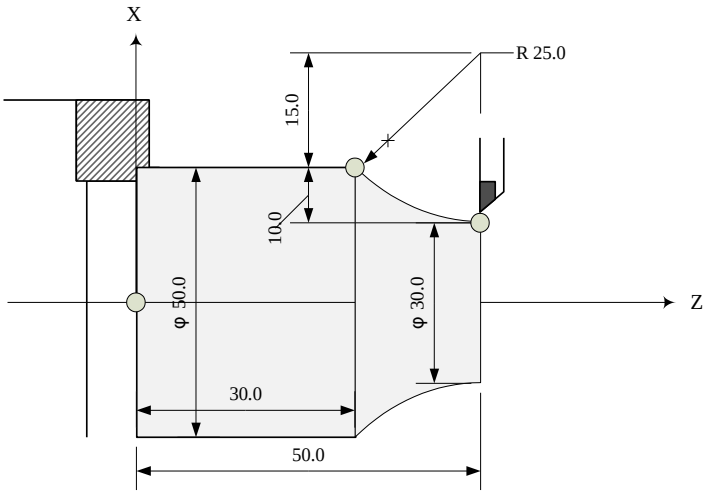
3 终点与起点位置相同时使用 R，则生成 0 度的弧，即不移动。

4 刀具实际移动速度相对于指定速度的误差在±2%以内，而指定速度是刀具沿着半径补偿后的圆弧运动的速度。

5 R 指令圆弧半径时，需满足$2R + e \geq \overrightarrow{AB}$，e 为“圆弧起点和终点极半径允许偏差量”（《连接调试手册》第 174 页 P6450），$\overrightarrow{AB}$为圆弧起点到终点的矢量大小，否则系统报警。

6 通过指令 G54.9 Pijk，可实现任意两轴圆弧插补。G54.9 的设定对本指令的格式会产生影响。此时，Xp、Yp、Zp 分别为 G54.9 设定的第 1/2/3 个轴。

举例



把图中的轨迹分别用绝对方式和增量方式编程：

绝对方式

G02 X50.0 Z30.0 I25.0 F30 ；（I，K 指定）

或

G02 X50.0 Z30.0 R25.0 F30 ；（R 指定）

增量方式

G02 U20.0 W-20.0 I25.0 F30 ；（I，K 指定）

或

G02 U20.0 W-20.0 R25.0 F30 ；（R 指定）

4.3.2 圆弧插补精度控制机能

解释

“圆弧或螺线插补精度”（《连接调试手册》第 174 页 P6451）又称弓高误差，用于控制圆弧插补精度。用户可以利用该机能独立控制圆弧或扩展弧线速度。

假设圆弧半径为 r（mm），“圆弧或螺线插补精度”为δ nm，插补周期 itp（ms），那么速度v 计算公式为：

$v = 120 \times \sqrt{2 \times r \times \delta} / itp$ （mm/min）

在不同的半径、精度、插补周期下，速度对照表如下：

半径和精度	1ms 插补周期速度	2ms 插补周期速度
R=4mm， δ =5nm	759mm/min	380mm/min
R=4mm， δ =10nm	1073mm/min	537mm/min
R=4mm， δ =20nm	1518mm/min	759mm/min
R=4mm， δ =100nm	3394mm/min	1697mm/min
R=4mm， δ =200nm	4800mm/min	2400mm/min
R=40mm， δ =5nm	2400mm/min	1200mm/min
R=40mm， δ =10nm	3394mm/min	1697mm/min
R=40mm， δ =20nm	4800mm/min	2400mm/min
R=40mm， δ =100nm	10733mm/min	5367mm/min
R=40mm， δ =200nm	15179mm/min	7589mm/min

注

1 “圆弧或螺线插补精度”设为 0 时，该机能无效。

2 该机能仅用于控制速度，通过降低速度达到减小伺服跟随误差的目的，实际上达不到这样的精度。

3 相同的圆弧插补精度，在不同插补周期下，对圆弧的速度限制是不一样的；插补周期越小，相同精度下，圆弧加工速度越快。

4.4 螺旋线插补（G02，G03）

如果指定圆弧插补的同时，指令了指定平面外的轴，则刀具螺旋运动。

格式

XY 平面的圆弧

$$G17 \begin{Bmatrix} G02 \\ G03 \end{Bmatrix} X_P_Y_p_ \begin{Bmatrix} R_ \\ I_J_ \end{Bmatrix} NIP_ \quad P_ \quad F_ \ ;$$

ZX 平面的圆弧

$$G18 \begin{Bmatrix} G02 \\ G03 \end{Bmatrix} Z_P_X_p_ \begin{Bmatrix} R_ \\ K_I_ \end{Bmatrix} NIP_ \quad P_ \quad F_ \ ;$$

YZ 平面的圆弧

$$G19 \begin{Bmatrix} G02 \\ G03 \end{Bmatrix} Y_P_Z_p_ \begin{Bmatrix} R_ \\ J_K_ \end{Bmatrix} NIP_ \quad P_ \quad F_ \ ;$$

$NIP_$：平面外轴指令。插补时，与平面内圆弧插补同时开始同时结束。

P_：附加整圆数（<=10000000）。

其余符号同圆弧插补说明。

解释

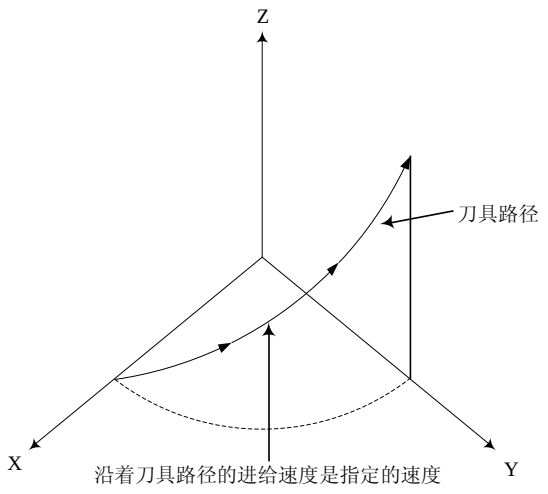
F 指令指定的是沿着刀具路径的进给速度，是投影圆弧切线速度与直线轴速度的合成，如下图所示。

圆弧（XY 平面）切线速度为：

$$F \times \frac{\text{圆弧弧长}}{\sqrt{(\text{圆弧弧长})^2 + (\text{直线轴长})^2}}$$

直线轴（Z 轴）的进给速度为：

$$F \times \frac{\text{直线轴长}}{\sqrt{(\text{圆弧弧长})^2 + (\text{直线轴长})^2}}$$



注

在指定进给速度 F 时，直线轴的速度不要超过任何极限值。

4.5 空间三点圆弧插补（G02.1）

通过指定圆弧中间点和终点，可以在三维空间内进行圆弧插补。属于 01 组模态 G 代码。

格式

G02.1 I_ J_ K_ Xp_ Yp_ Zp_ NIP_ F_ ;

I_ J_ K_：

圆弧中间点 Q 相对于起点 P 的增量坐标（即：矢量 PQ）。I、J 和 K 分别对应于笛卡尔坐标系 Xp，Yp 和 Zp 轴。只能用增量指定。

Xp_ Yp_ Zp_：

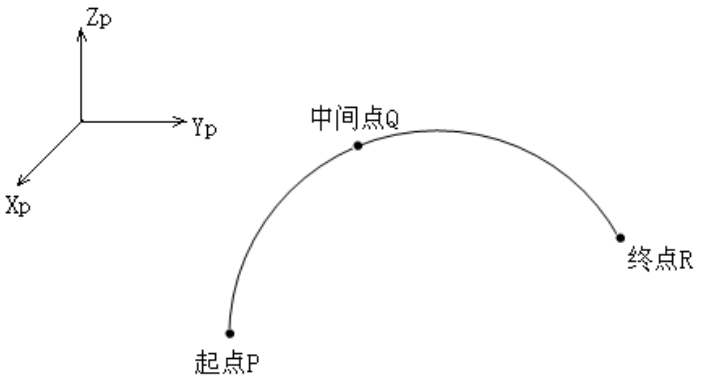
圆弧终点坐标 R。可增量指定或绝对指定。

NIP_：

笛卡尔坐标系外轴指令（非 Xp，Yp 和 Zp 轴）。插补时，与圆弧插补同时开始同时结束。可增量指定或绝对指定。

F_：

进给速度。



解释

- **半径补偿**

  不支持半径补偿，如果半径补偿有效时指令了空间圆弧插补指令，那么报警（PS0048）。

- **缩放和旋转**

  可以进行缩放和旋转。

  对缩放的处理与圆弧插补类似，即仅针对指令向量进行缩放，而不是轨迹本身。

- **插补精度控制机能**

  与平面圆弧插补精度控制相同。

- **任意轴插补机能**

  通过指令 G54.9 Pijk，可变更插补轴。此时，X_P 、Y_P 、Z_P 分别为 G54.9 设定的第 1/2/3 个轴。

注

1 当起点 P、中间点 Q、终点 R 三点共线（包括存在两点重合的情况）时，改走直线 PR（忽略中间点）。

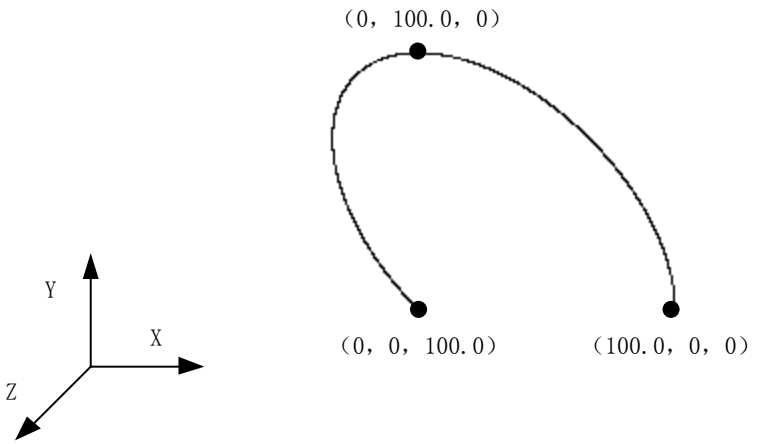
2 无法用单条指令指定整圆。

3 G102 与 G02.1 等价。

4 不建议在极坐标变换下（G16），使用空间圆弧插补。当 G16 有效时，空间圆弧中间点的 I、J、K 不会变换。

举例

- **一般的空间圆弧插补**



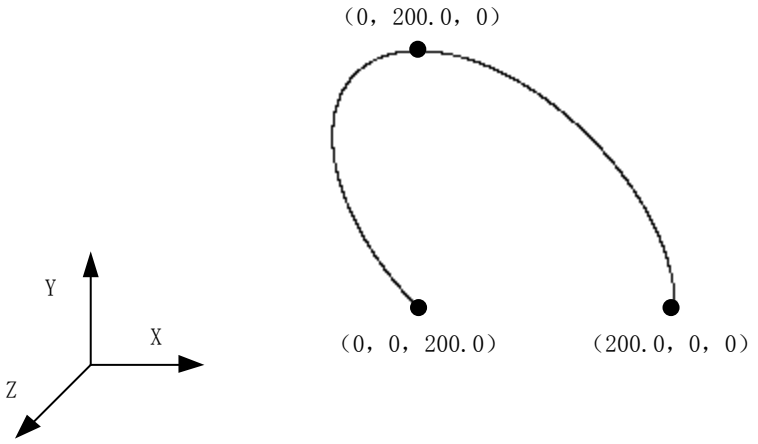
过（100.0，0，0）、（0，100.0，0）、（0，0，100.0）三点的弧。

加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X100. Y0 Z0 ;
G02.1 I-100. J100. X0 Y0 Z100. F500. ;
```

- **比例缩放有效时的空间圆弧插补**



过（100.0，0，0）、（0，100.0，0）、（0，0，100.0）三点的弧，以（0，0，0）为中心放大 2 倍。

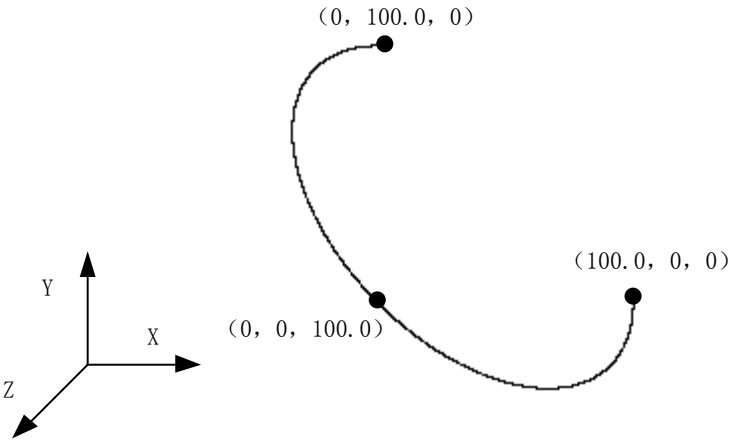
等价于过（200.0，0，0)、（0，200.0，0）、（0，0，200.0）三点的弧。

加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X0 Y0 Z0 ;
G51 X0 Y0 Z0 P2000 ;
G00 X100. Y0 Z0 ;
G02.1 I-100. J100. X0 Y0 Z100. F500. ;
G00 X0 Y0 Z0 ;
G50 ;
```

- **坐标旋转有效时的空间圆弧插补**



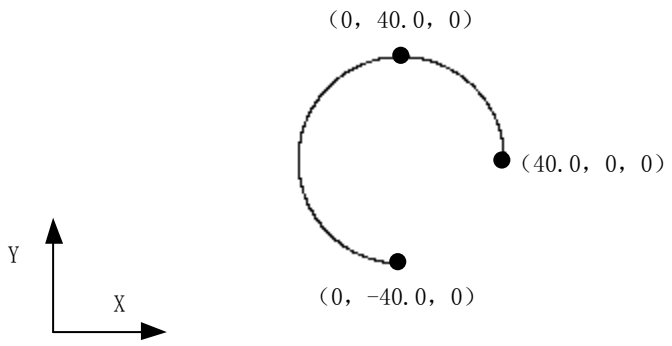
过（100.0，0，0）、（0，100.0，0）、（0，0，100.0）三点的弧，绕（0，0，0）到（1.0，1.0，1.0）点的直线旋转 120 度。等价于过（0，100.0，0）、（0，0，100.0）、（100.0，0，0）三点的弧。

加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X0 Y0 Z0 ;
G68.1 X0 Y0 Z0 I1. J1. K1. R120. ;
G00 X100. Y0 Z0 ;
G02.1 I-100. J100. X0 Y0 Z100. F500. ;
G00 X0 Y0 Z0 ;
G69.1 ;
```

- **圆弧速度自动限制**



过（40.0，0，0）、（0，40.0，0）、（0，-40.0，0）三点的弧。假设参数“圆弧或螺线插补精度”（《连接调试手册》第 174 页 P6451）设为 1nm，插补周期为 2ms。那么半径 40mm 的圆弧限制速度为：$120 \times \sqrt{2 \times 40 \times 1} \div 2 = 536.656\ mm/min$

加工程序

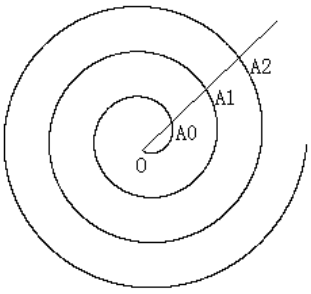
（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X40. Y0 Z0 ;
G02.1 I-40. J40. X0. Y-40. F4000. ;// 实际圆弧速度被限制在 536.656mm/min，本段执行时间 21s。
```

4.6 螺线插补

4.6.1 平面等速螺线插补（G02.2，G03.2）

一动点以常速 v 沿一射线运动，而这一射线又以定角速度 ω 绕极点 O 转动时，该动点所描成的轨迹为“阿基米德螺线”，亦称“等速螺线”。如下图所示。



等速螺线具有等距性特点：过极点的射线与曲线交于 A0、A1、A2……，它们是等间距的。（当常速 v =0 时的等速螺线为圆弧。）

格式

- **格式 1：起点或终点为极点**

XY 平面的等速螺线

G17 $\begin{Bmatrix} G02.2 \\ G03.2 \end{Bmatrix}$ Xp_ Yp_ NIP_ P_ Q_ F_ ；

ZX 平面的等速螺线

G18 $\begin{Bmatrix} G02.2 \\ G03.2 \end{Bmatrix}$ Zp_ Xp_ NIP_ P_ Q_ F_ ；

YZ 平面的等速螺线

G19 $\begin{Bmatrix} G02.2 \\ G03.2 \end{Bmatrix}$ Yp_ Zp_ NIP_ P_ Q_ F_ ；

G17/G18/G19：平面指定。

G02.2/G03.2：G02.2 为顺时针等速螺线，G03.2 为逆时针等速螺线。两者为 01 组模态 G 代码。

Xp_Yp_/Zp_Xp_/Yp_Zp_：G17/G18/G19 平面内等速螺线的终点（增量编程或绝对编程）。若起点与终点重合，则不运动，并产生报警（PS0272）。

NIP_：平面外轴指令。插补时，与平面内等速螺线插补同时开始同时结束。

P_：0-起点为极点，1-终点为极点，其它-报警（PS0268）。P0 可以不输入。

Q_：等速螺线绕极点转过的角度（Q>0，否则报警（PS0267）），Q 必须输入。

F_：进给速度。

- **格式 2：不包含极点**

XY 平面的等速螺线

G17 $\begin{Bmatrix} G02.2 \\ G03.2 \end{Bmatrix}$ Xp_ Yp_ I_ J_ NIP_ P_ F_ ；

ZX 平面的等速螺线

G18 $\begin{Bmatrix} G02.2 \\ G03.2 \end{Bmatrix}$ Zp_ Xp_ K_ I_ NIP_ P_ F_ ；

YZ 平面的等速螺线

G19 $\begin{Bmatrix} G02.2 \\ G03.2 \end{Bmatrix}$ Yp_ Zp_ J_ K_ NIP_ P_ F_ ；

G17/G18/G19：平面指定。

G02.2/G03.2：G02.2 为顺时针等速螺线，G03.2 为逆时针等速螺线。两者为 01 组模态 G 代码。

Xp_Yp_/Zp_Xp_/Yp_Zp_：G17/G18/G19 平面内等速螺线的终点（增量编程或绝对编程）。当终点和起点重合时，系统按照圆弧进行插补，角度为$(p+1)\times 360$度。

I_J_/K_I_/J_K_：G17/G18/G19 平面内等速螺线的极点相对于起点的矢量（增量编程）。

NIP_：平面外轴指令。插补时，与平面内等速螺线插补同时开始同时结束。

P_：附加整圈数（<=10000000，超出报警（PS0117））。

F_：进给速度。

解释

- **半径补偿**

不支持半径补偿，如果半径补偿有效时指令了平面等速螺线插补指令，那么报警（PS0048）。

- **格式区分**

系统根据指令 Q，区分指令格式 1 和指令格式 2。

- **缩放和旋转**

进行缩放和旋转后，系统改用空间等速螺线插补。

对缩放的处理与圆弧插补类似，即仅针对指令向量进行缩放，而不是轨迹本身。

- **插补精度控制机能**

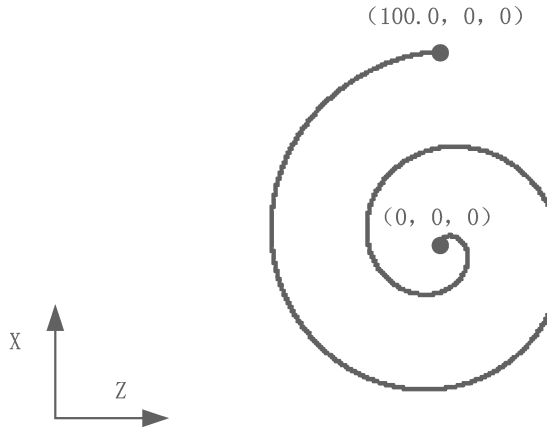
与圆弧插补精度控制相同（参数 P6451）。由于螺线曲率半径是不断变化的，因此，不同位置限制速度是不一样的。曲率半径越小，限制速度越低，但不会低于参数“圆弧或螺线控制插补精度时的最低速度”（《连接调试手册》第 174 页 P6448）。

- **任意轴插补机能**

通过指令 G54.9 Pijk，可变更插补轴。此时，X_P、Y_P、Z_P 分别为 G54.9 设定的第 1/2/3 个轴。

举例

- **格式 1**



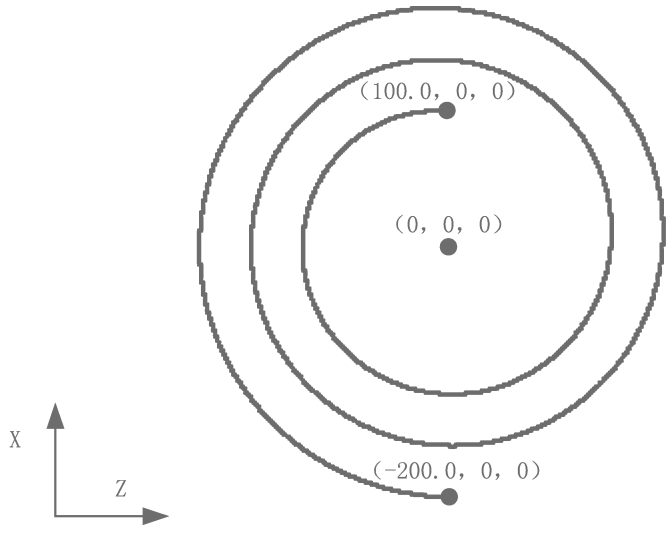
在 G18 平面（ZX 平面）上等速螺线起点为（100.0，0，0），逆时针（G03.2）转过 720 度，到达极点（0，0，0）。然后由极点顺时针（G02.2）反向运动到起点。

加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X100.0 Y0 Z0 ;
G18 G03.2 X0 Q720. P1 F500. ;      // 运动至极点
G18 G02.2 X100. Q720. P0 F500. ;  // 由极点反向运动至起点
```

- **格式 2**



在 G18 平面（ZX 平面）上等速螺线起点为（100.0，0，0），以点（0，0，0）为极点，逆时针（G03.2）转动 2 圈半，到达终点（-200.0，0，0）。然后再顺时针（G02.2）反向运动到起点。

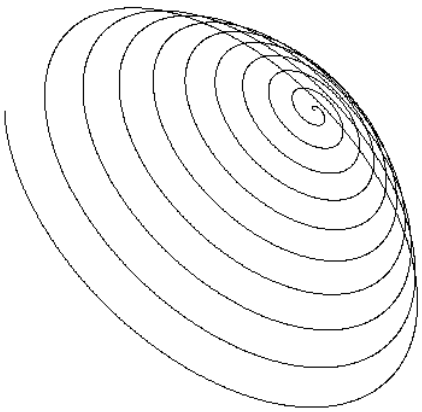
加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X100.0 Y0 Z0 ;
G18 G03.2 X-200. I-100.0 P2 F500. ;
G18 G02.2 X100. I200.0 P2 F500. ;  // 上一段的反向运动
```

4.6.2 空间等速螺线插补（G02.3，G03.3）

将平面等速螺线所在平面旋转，得到空间等速螺线。空间等速螺线仍然在一个平面内，但该平面不一定是基本坐标平面(G17/G18/G19 平面)，需要指定该平面的法矢量。空间等速螺线为平面等速螺线在空间中的扩展。如下图所示。



当螺线与其所在平面的法矢量呈右手螺旋法则时，螺线为逆时针方向，否则为顺时针方向。

格式

- **格式 1：起点或终点为极点**

$$\begin{cases}\text{NX_ NY_ NZ_}\\ \textit{NI}\text{_ NJ_ NK_}\end{cases}\quad\begin{cases}G02.3\\ G03.3\end{cases}\quad \text{Xp_ Yp_ Zp_ NIP_ P_ Q_ F_ ;}$$

$\begin{cases}\text{NX_ NY_ NZ_}\\ \textit{NI}\text{_ NJ_ NK_}\end{cases}$：

指定空间等速螺线所在平面的法矢量（长度任意，应尽量提高有效位数）。其中，NX_ NY_ NZ_为一次性指定，而 NI_ NJ_ NK_为模态指定，当无一次性指定时，模态值有效。

G02.3/G03.3：

G02.3 为顺时针空间等速螺线，G03.3 为逆时针空间等速螺线。两者为 01 组模态 G 代码。

Xp_ Yp_ Zp_ ：

空间等速螺线的终点（增量编程或绝对编程）。起点和法矢量可确定空间等速螺线所在的平面。当等速螺线终点不在该平面上时，系统将终点向该平面投影得到该平面内的一条螺线，并附加从投影点到终点的直线运动。插补时，该附加直线与平面内等速螺线插补同时开始同时结束。若起点与终点重合，则不运动，并产生报警（PS0272）。

NIP_：非空间基本坐标轴指令。插补时，与空间等速螺线插补同时开始同时结束。

P_：0-起点为极点，1-终点为极点，其它-报警（PS0268）。P0 可以不输入。

Q_：等速螺线绕极点转过的角度（Q>0，否则报警（PS0267）），Q 必须输入。

F_：进给速度。

- **格式 2：不包含极点**

$\begin{cases}\mathbf{NX_\ NY_\ NZ_}\\ \boldsymbol{NI_}\ \mathbf{NJ_\ NK_}\end{cases}\ \begin{cases}\boldsymbol{G02.3}\\ \boldsymbol{G03.3}\end{cases}\ \mathbf{Xp_\ Yp_\ Zp_\ I_\ J_\ K_\ NIP_\ P_\ F_\ ;}$

$\begin{cases}\mathrm{NX_\ NY_\ NZ_}\\ \boldsymbol{NI_}\ \mathrm{NJ_\ NK_}\end{cases}$：

指定空间等速螺线所在平面的法矢量（长度任意，应尽量提高有效位数）。其中，NX_ NY_ NZ_为一次性指定，而 NI_ NJ_ NK_为模态指定，当无一次性指定时，模态值有效。

G02.3/G03.3：

G02.3 为顺时针空间等速螺线，G03.3 为逆时针空间等速螺线。两者为 01 组模态 G 代码。

Xp_ Yp_ Zp_ ：

空间等速螺线的终点（增量编程或绝对编程）。起点和法矢量可确定空间等速螺线所在的平面。当等速螺线终点不在该平面上时，系统将终点向该平面投影得到该平面内的一条螺线，并附加从投影点到终点的直线运动。插补时，该附加直线与平面内等速螺线插补同时开始同时结束。当终点和起点重合时，系统按照圆弧进行插补，角度为$(\mathrm{p}+1)\times 360$度。

I_ J_ K_：

等速螺线的极点相对于起点的矢量（增量编程）。极点应该在螺线平面上。当极点距螺线平面距离不超过参数“螺线中心距螺线平面距离的允许偏差量”（《连接调试手册》第 174 页 P6449）时，系统将其在螺线平面上的投影点作为修正后的极点，否则系统报警（PS0275）。修正后的极点相对于起点的矢量不能为 0，否则报警（PS0263）。

NIP_：非空间基本坐标轴指令。插补时，与空间等速螺线插补同时开始同时结束。

P_：附加整圈数（<=10000000，超出报警（PS0117））。

F_：进给速度。

解释

- **半径补偿**

不支持半径补偿，如果半径补偿有效时指令了空间等速螺线插补指令，那么报警（PS0048）。

- **格式区分**

系统根据指令 Q，区分指令格式 1 和指令格式 2。

- **缩放和旋转**

可以进行缩放和旋转。

对缩放的处理与圆弧插补类似，即仅针对指令向量进行缩放，而不是轨迹本身。

- **插补精度控制机能**

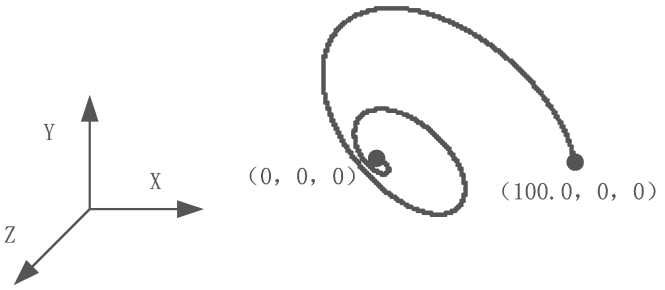
与圆弧插补精度控制相同（参数 P6451）。由于螺线曲率半径是不断变化的，因此，不同位置限制速度是不一样的。曲率半径越小，限制速度越低，但不会低于参数“圆弧或螺线控制插补精度时的最低速度”（《连接调试手册》第 174 页 P6448）。

- **任意轴插补机能**

通过指令 G54.9 Pijk，可变更插补轴。此时，X_P 、Y_P 、Z_P 分别为 G54.9 设定的第 1/2/3 个轴。

举例

- **格式 1**



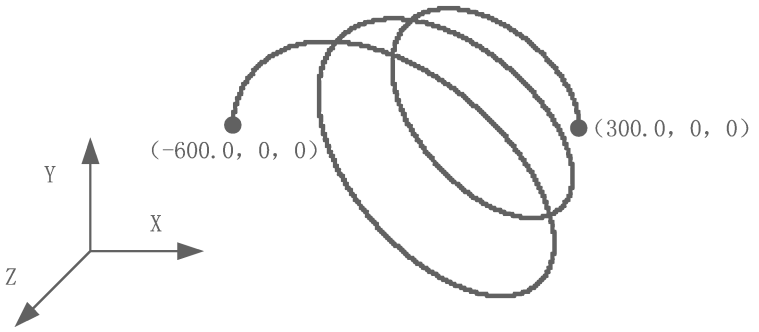
空间等速螺线起点为（100.0，0，0），所在平面法矢量为（1.0，1.0，1.0），逆时针（G03.3）转过 720 度，到达极点（0，0，0）。然后由极点顺时针（G02.3）反向运动到起点。

加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X100. Y0 Z0 ;
NX1. NY1. NZ1. G03.3 X0 Q720. P1 F500. ;          // 运动至极点
NX1. NY1. NZ1. G02.3 X100. Q720. P0 F500. ;       // 由极点反向运动至起点
```

- **格式 2**



空间等速螺线起点为（300.0，0，0），所在平面法矢量为（1.0，1.0，1.0），以点（100.0，100.0，100.0）为极点，逆时针（G03.3）转动 2 圈半，到达终点（-600.0，0，0）。然后再顺时针（G02.3）反向运动到起点。

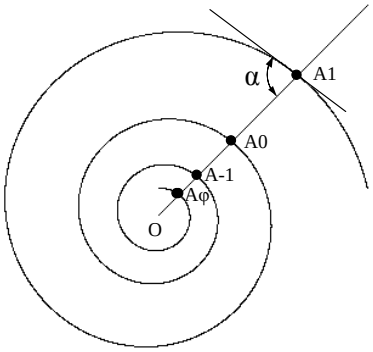
加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X300. Y0 Z0 ;
NX1. NY1. NZ1. G03.3 X-600. I-200. J100. K100. P2 F500. ;
NX1. NY1. NZ1. G02.3 X300. I400. J-200. K-200. P2 F500. ;      // 上一段的反向运动
```

4.6.3 平面等角螺线插补（G02.4，G03.4）

曲线与所有过极点的射线的交角都相等（皆为 α ， $k=ctg\alpha$ ），当 $\varphi \to -\infty$ 时，曲线沿顺时针或逆时针方向绕极点转动而趋于极点（但无法到达极点）。此为“对数螺线”，亦称“等角螺线”。如下图所示。



等角螺线具有等比性特点：过极点的射线与曲线交于……、A_{-1}、A_0、A_1、……，则……、OA_{-1}、OA_0、OA_1、……各线段成等比级数（公比为 $e^{2k\pi}$）。（当 $\alpha=\frac{\pi}{2}$ 时为圆弧）

格式

XY 平面的等速螺线

G17 $\begin{Bmatrix}G02.4\\G03.4\end{Bmatrix}$ Xp_ Yp_ I_ J_ NIP_ P_ F_ ；

ZX 平面的等速螺线

G18 $\begin{Bmatrix}G02.4\\G03.4\end{Bmatrix}$ Zp_ Xp_ K_ I_ NIP_ P_ F_ ；

YZ 平面的等速螺线

G19 $\begin{Bmatrix}G02.4\\G03.4\end{Bmatrix}$ Yp_ Zp_ J_ K_ NIP_ P_ F_ ；

G17/G18/G19：平面指定。

G02.4/G03.4：G02.4 为顺时针等角螺线，G03.4 为逆时针等角螺线。两者为 01 组模态 G 代码。

Xp_Yp_/Zp_Xp_/Yp_Zp_：G17/G18/G19 平面内等角螺线的终点（增量编程或绝对编程）。当终点和起点重合时，系统按照圆弧进行插补，角度为$(p+1)\times 360$度。如果起点到极点距离与终点到极点距离相同，那么此时$\alpha=\pi/2$，轨迹为圆弧。

I_J_/K_I_/J_K_：G17/G18/G19 平面内等角螺线的极点相对于起点的矢量（增量编程）。

NIP_：平面外轴指令。插补时，与平面内等角螺线插补同时开始同时结束。

P_：附加整圈数（<=10000000，超出报警（PS0117））。

F_：进给速度。

解释

- **半径补偿**

不支持半径补偿，如果半径补偿有效时指令了平面等角螺线插补指令，那么报警（PS0048）。

- **缩放和旋转**

进行缩放和旋转后，系统改用空间等角螺线插补。

对缩放的处理与圆弧插补类似，即仅针对指令向量进行缩放，而不是轨迹本身。

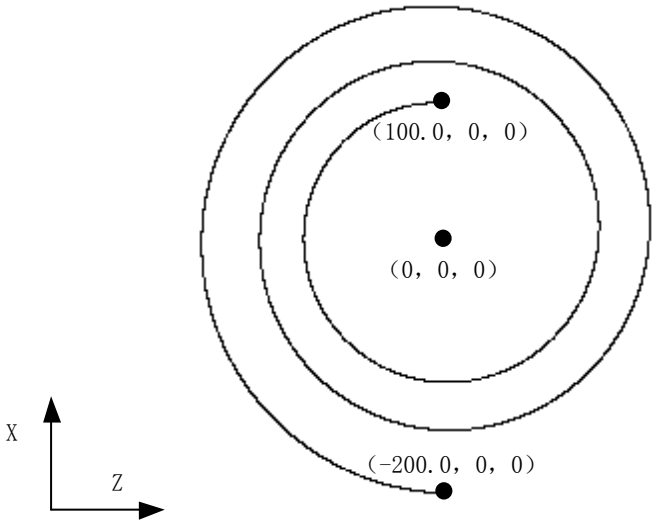
- **插补精度控制机能**

与圆弧插补精度控制相同（参数 P6451）。由于螺线曲率半径是不断变化的，因此，不同位置限制速度是不一样的。曲率半径越小，限制速度越低，但不会低于参数“圆弧或螺线控制插补精度时的最低速度”（《连接调试手册》第 174 页 P6448）。

- **任意轴插补机能**

通过指令 G54.9 Pijk，可变更插补轴。此时，Xp，Yp，Zp 分别为 G54.9 设定的第 1/2/3 个轴。

举例



在 G18 平面（ZX 平面）上等角螺线起点为（100.0，0，0），以点（0，0，0）为极点，逆时针（G03.4）转动 2 圈半，到达终点（-200.0，0，0）。然后再顺时针（G02.4）反向运动到起点。

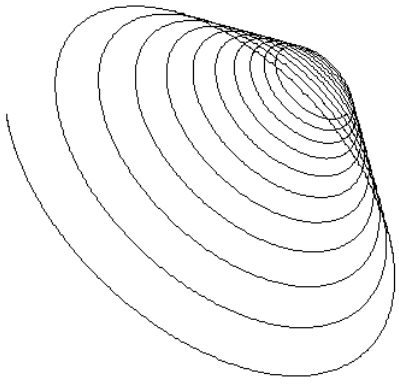
加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X100. Y0 Z0 ;
G18 G03.4 X-200. I-100. P2 F500. ;
G18 G02.4 X100. I200. P2 F500. ;    // 上一段的反向运动
```

4.6.4 空间等角螺线插补（G02.5，G03.5）

将平面等角螺线所在平面旋转，得到空间等角螺线。空间等角螺线仍然在一个平面内，但该平面不一定是基本坐标平面（G17/G18/G19 平面），需要指定该平面的法矢量。空间等角螺线为平面等角螺线在空间中的扩展。如下图所示。



当螺线与其所在平面的法矢量呈右手螺旋法则时，螺线为逆时针方向，否则为顺时针方向。

格式

$\begin{cases} \mathbf{NX_\ NY_\ NZ_} \\ \boldsymbol{NI}\mathbf{_\ NJ_\ NK_} \end{cases} \begin{cases} \boldsymbol{G02.5} \\ \boldsymbol{G03.5} \end{cases}$ **Xp_ Yp_ Zp_ I_ J_ K_ NIP_ P_ F_ ;**

$\begin{cases} \mathbf{NX_\ NY_\ NZ_} \\ \boldsymbol{NI}\mathbf{_\ NJ_\ NK_} \end{cases}$：指定空间等角螺线所在平面的法矢量（长度任意，应尽量提高有效位数）。

其中，NX_NY_NZ_为一次性指定，而 NI_NJ_NK_为模态值，当无一次性指定时，模态值有效。

G02.5/G03.5：G02.5 为顺时针空间等角螺线，G03.5 为逆时针空间等角螺线。两者为 01 组模态 G 代码。

Xp_Yp_Zp_：

空间等角螺线的终点（增量编程或绝对编程）。起点和法矢量可确定空间等角螺线所在的平面。当等角螺线终点不在该平面上时，系统将终点向该平面投影得到该平面内的一条螺线，并附加从投影点到终点的直线运动。插补时，该附加直线与平面内等角螺线插补同时开始同时结束。当终点和起点重合时，系统按照圆弧进行插补，角度为$(\mathrm{p}+1)\times 360$度。

I_J_K_：

等角螺线的极点相对于起点的矢量（增量编程）。极点应该在螺线平面上。当极点距螺线平面距离不超过参数“螺线中心距螺线平面距离的允许偏差量”（《连接调试手册》第 174 页 P6449）时，系统将其在螺线平面上的投影点作为修正后的极点，否则系统报警（PS0275）。修正后的极点相对于起点的矢量不能为 0，否则报警（PS0263）。

NIP_：非空间基本坐标轴指令。插补时，与空间等角螺线插补同时开始同时结束。

P_：附加整圈数（<=10000000，超出报警（PS0117））。

F_：进给速度。

解释

- **半径补偿**

  不支持半径补偿，如果半径补偿有效时指令了空间等角螺线插补指令，那么报警（PS0048）。

- **缩放和旋转**

  可以进行缩放和旋转。

  对缩放的处理与圆弧插补类似，即仅针对指令向量进行缩放，而不是轨迹本身。

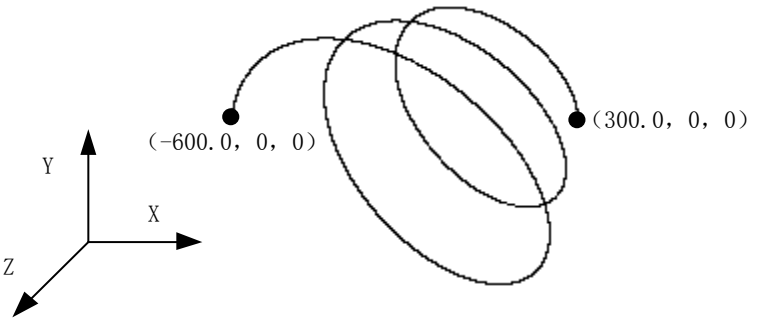
- **插补精度控制机能**

  与圆弧插补精度控制相同（参数 P6451）。由于螺线曲率半径是不断变化的，因此，不同位置限制速度是不一样的。曲率半径越小，限制速度越低，但不会低于参数“圆弧或螺线控制插补精度时的最低速度”（《连接调试手册》第 174 页 P6448）。

- **任意轴插补机能**

  通过指令 G54.9 Pijk，可变更插补轴。此时，X_P、Y_P、Z_P 分别为 G54.9 设定的第 1/2/3 个轴。

举例



空间等角螺线起点为（300.0，0，0），所在平面法矢量为（1.0，1.0，1.0），以点（100.0，100.0，100.0）为极点，逆时针（G03.2）转动 2 圈半，到达终点（-600.0，0，0）。然后再顺时针（G02.2）反向运动到起点。

加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

G90 G00 X300. Y0 Z0 ;

NX1. NY1. NZ1. G03.5 X-600. I-200. J100. K100. P2 F500. ;

NX1. NY1. NZ1. G02.5 X300. I400. J-200. K-200. P2 F500. ; // 上一段的反向运动

4.7 极坐标插补（G12.1，G13.1）

极坐标插补是一种轮廓控制。它把笛卡尔坐标系内的编程指令转换为直线轴的移动（刀具移动）和旋转轴的移动（工件旋转）。这种方法可用于凸轮磨削。

格式

G12.1 Pij ； 启动极坐标插补

……

G13.1 ； 取消极坐标插补

G12.1 和 G13.1 由单程序段指定，也可分别代之以 G112 和 G113。

i 为直线轴轴号，j 为旋转轴轴号，数值为 1~8，分别对应第 1~8 轴。

解释

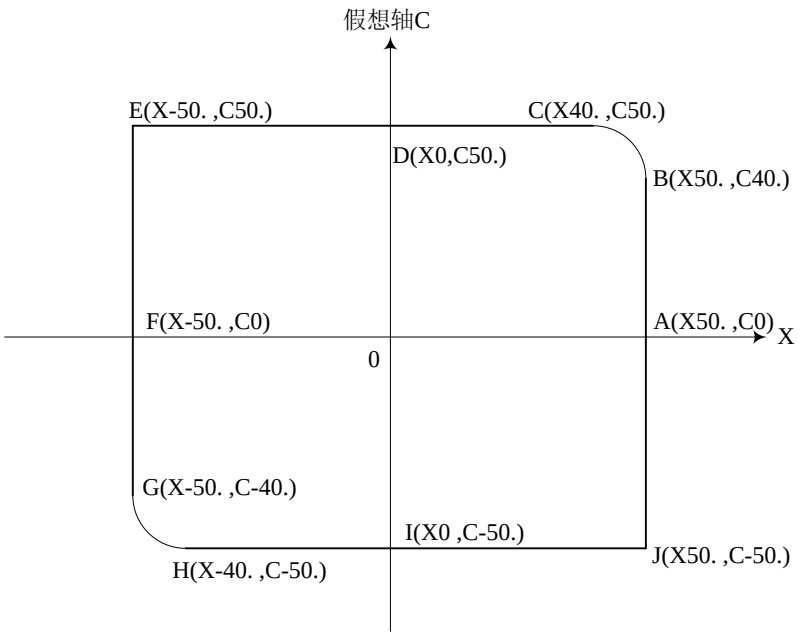
在未进入极坐标插补时，直线轴和旋转轴组成极坐标系。进入极坐标插补后，用户使用假想直角坐标系编程（笛卡尔坐标系），系统会自动将该假想直角坐标系转化为极坐标系。通过这种方式，可以达到简化编程的目的。

假想直角坐标系编程时，第 1 个轴使用的地址符为上述直线轴地址符，第 2 个轴使用的地址符为上述旋转轴地址符。编程时，第 2 个轴小数位数仍然为旋转轴的小数位数。当旋转轴与直线轴小数位数不同时，编程时应特别注意第 2 个轴的单位。

注

1 G12.1/G13.1 指令必须独占一段指令，同段中不能有其他 G 代码，否则报警（PS0009）。
2 i 指定的轴必须是直线轴，j 指定的轴必须是旋转轴，否则报警（PS0120）。
3 非 MDI 方式复位时自动取消极坐标插补，进入 G13.1 状态。
4 系统在取消极坐标插补时，自动重新设置参与极坐标插补的直线轴和旋转轴的绝对坐标。
5 极坐标插补不影响手动模式。应在进入手动模式前取消极坐标插补，否则，显示上绝对坐标更新正常，实际上机床在进行极坐标插补。
6 如果参与插补的旋转轴设定为 B/C/D 类旋转轴，那么进入极坐标插补后，自动转化为 A 类旋转轴，退出时恢复为 B/C/D 类旋转轴。
7 只有在取消状态（G13.1），才能指令 G12.1，否则 G12.1 被忽略。
8 如果在进入极坐标插补后进行刀具补偿，那么应该在退出极坐标插补前取消补偿。
9 在进入极坐标插补后不能进行工件坐标系设定。

举例



G12.1G13.1 应用示例图（路径：A->B->…->J->A）

加工程序

```
O0012 ;                程序中 X 轴使用半径编程
G00 X50. Z0. Y0. C0. ;  定位到开始位置
G54.9 P142 ;           将默认笛卡尔坐标系 XYZ 更改为 XCZ
G17 ;                  设置平面为 XC 平面
G12.1 P14 ;            启动极坐标插补，直线轴为 X 轴，旋转轴为 C 轴
G01 C40. F500. ;       直线运动
G03 X40. C50. I-10. ;  XC 平面圆弧运动
G01 X-50. ;
C-40. ;
G03 X-40. C-50. I10. ;
X50. ;
C0. ;
G13.1 ;                取消极坐标插补
G54.9 ;                恢复默认笛卡尔坐标系（XYZ）
M30 ;
```

4.8 圆柱插补（G07.1）

圆柱插补是一种轮廓控制。它把笛卡尔坐标系内的编程指令转换为旋转轴的角度量输出。

格式

G07.1 IP r ； 启动圆柱插补

……

G07.1 IP 0 ； 取消圆柱插补

G07.1 由单程序段指定，可代之以 G107。

IP：一个旋转轴的地址

r：工件半径

解释

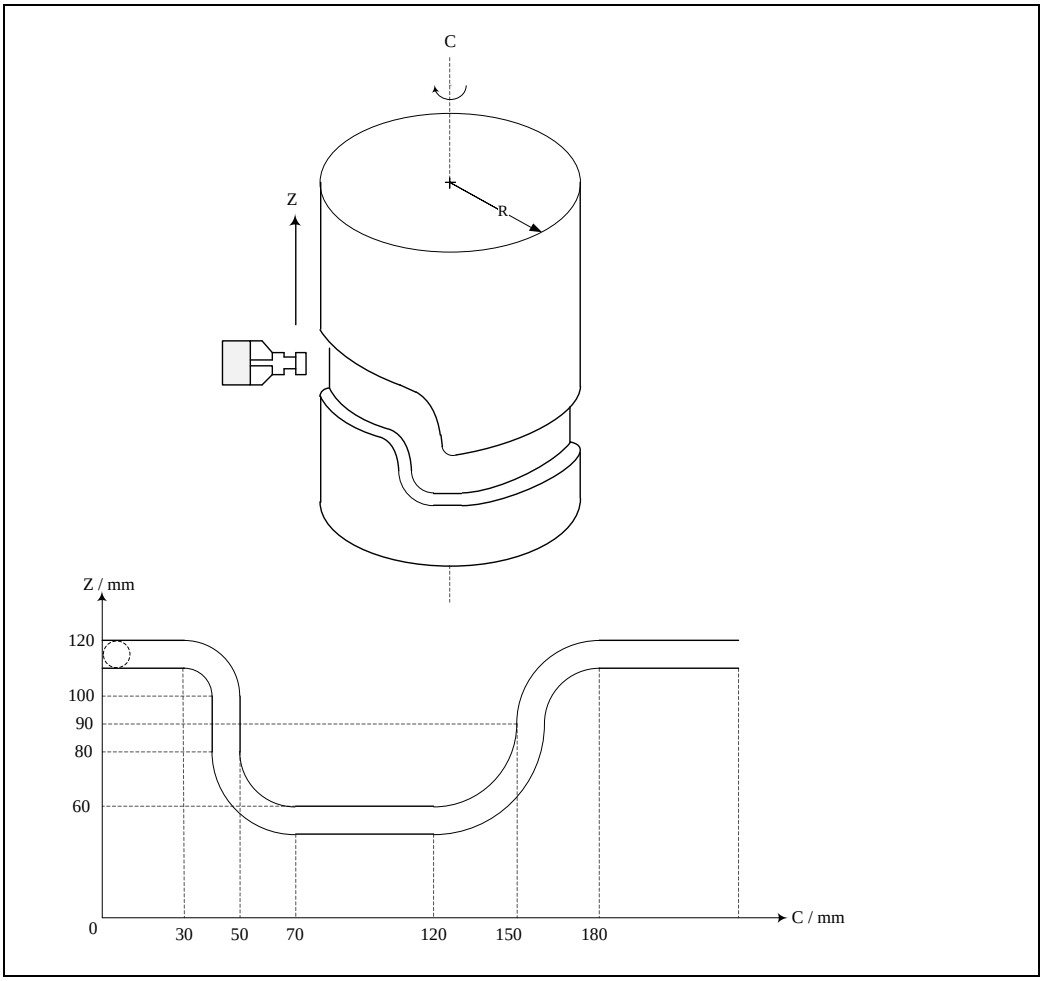
在进入圆柱插补时，系统将旋转轴的角度值按侧面展开，转化为长度量。进入圆柱插补后，用户可以按展开面编程，系统自动将指令的长度量转化为角度量输出。退出圆柱插补时，又将长度量转化回角度量使用。

编程时，小数位数为旋转轴的小数位数。当旋转轴与直线轴小数位数不同时，应特别注意编程单位。

注

1 G07.1 指令必须独占一段指令，否则报警（PS0047）。
2 指令时必须处于补偿取消状态，否则报警（PS0048）。
3 指定的轴必须是旋转轴，否则报警（PS0108）。
4 非 MDI 方式复位时自动取消圆柱插补。
5 系统在取消圆柱插补时，自动重新设置参与圆柱插补的旋转轴的绝对坐标。
6 圆柱插补不影响手动模式。应在进入手动模式前取消圆柱插补，否则，显示上绝对坐标更新正常，实际上机床在进行圆柱插补。
7 如果参与插补的旋转轴设定为 B/C/D 类旋转轴，那么进入圆柱插补后，自动转化为 A 类旋转轴，退出时恢复为 B/C/D 类旋转轴。
8 如果在进入圆柱插补后进行刀具补偿，那么应该在退出圆柱插补前取消补偿。
9 在进入圆柱插补后不能进行工件坐标系设定。

举例



加工程序

O0107 ;	程序中 X 轴使用半径编程
G00 X100. Z120. Y0. C0. ;	定位到开始位置
G54.9 P142 ;	将默认笛卡尔坐标系 XYZ 更改为 XCZ
G07.1 C100. ;	启动圆柱插补，半径 100.0mm
G42 G01 C30. D01 F500. ;	直线运动
G19 G02 Z100. C50. K-20. ;	CZ 平面圆弧运动
G01 Z80. ;	
G03 C70. Z60. J20. ;	
G01 C120. ;	
G03 C150. Z90. K30. ;	
G02 C180. Z120. J30. ;	
……	
G07.1 C0 ;	取消圆柱插补
G54.9 ;	恢复默认笛卡尔坐标系（XYZ）
M30 ;	

4.9 假想轴插补（G07）

假想轴与非假想轴区别是：自动方式下，插补结束后，假想轴会清除插补输出的脉冲，因此实际不运动，机床坐标不更新，但绝对坐标更新；在取消假想轴后，恢复绝对坐标。

格式

G07 IP 0 ; **启动假想轴插补**

……

G07 IP 1 ; **取消假想轴插补**

IP：轴地址。指令其它非 0 数据，系统认为取消假想轴插补。

解释

- **半径补偿**

当假想轴位于半径补偿平面时，半径补偿自动取消。

- **假想轴的使用**

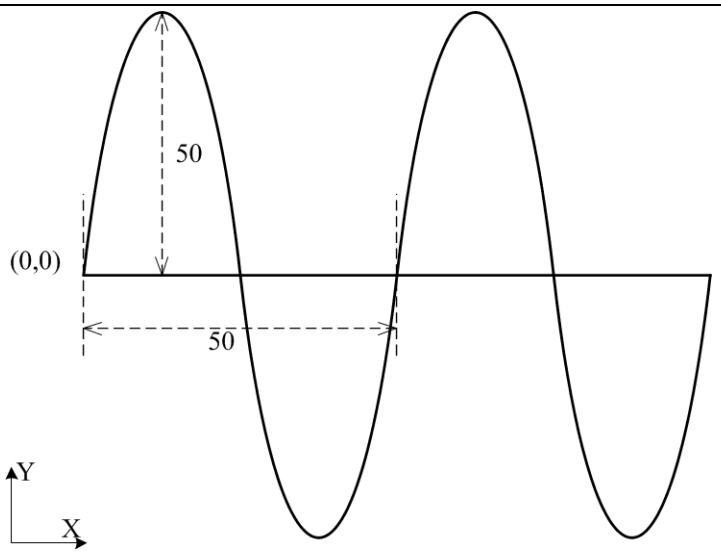
利用假想轴功能，由圆弧插补可得到正弦变化的移动速度，由螺旋线插补可得到正弦插补，由空间圆弧插补可得到椭圆插补等。

注

1 G07 指令应独占一段指令。
2 非 MDI 方式复位时自动取消假想轴插补。
3 系统在取消假想轴插补时，自动重新设置该轴的绝对坐标。
4 假想轴插补不影响手动模式。
5 未指定轴自动取消假想轴插补功能。单独的 G07 指令取消所有假想轴插补。
6 设定的进给速度为假想轨迹速度，实际轨迹进给速度会小于等于该设定值。

举例

- **正弦插补**



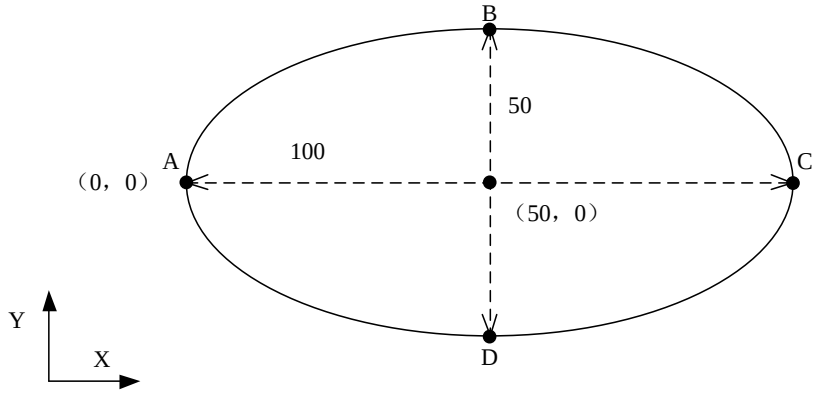
在 XY 平面上正弦插补。

起点（0，0），终点（100.0，0），长度 100.0，2 个完整周期，振幅 50，周期 50。

加工程序

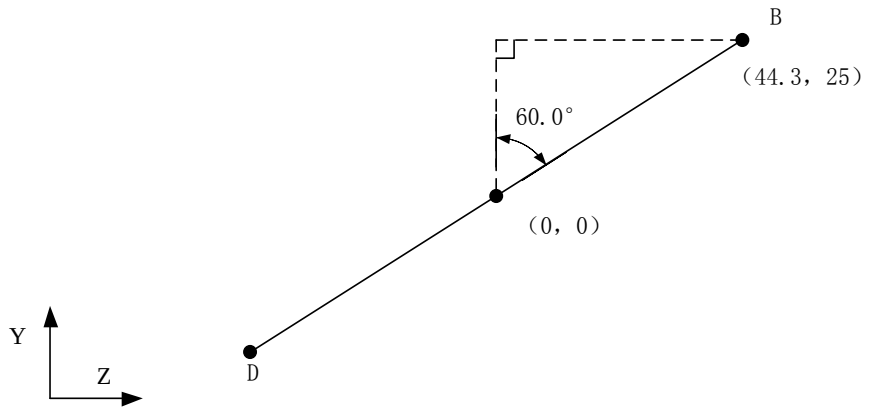
```
（G 代码体系 B，半径编程）
G90 G00 X0 Y0 Z0 ;
G07 Z0 ;
G19 G03 K50. X100. P1 F500. ;      // 在 YZ 平面完成两周整圆轨迹
G07 Z1 ;
```

- **椭圆插补**



在 XY 平面上椭圆插补，中心为（50.0，0），长轴为 100.0，短轴为 50.0。

利用假想轴 Z 与 X 轴 Y 轴组成假想空间，从 A 点过 B 点到 C 点完成上半圆加工，从 C 点过 D 点到 A 点完成下半圆加工。假想空间的 YZ 平面如下图所示。



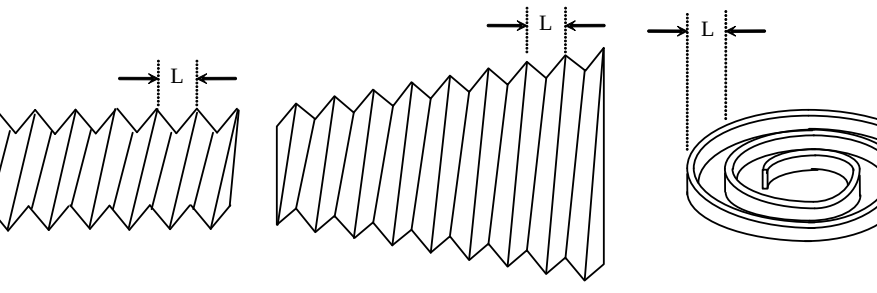
加工程序

（G 代码体系 B，半径编程）

```
G90 G00 X0 Y0 Z0 ;              // 起点（0，0）
G07 Z0 ;
G02.1 I50. J25. K43.3 X100. F500. ; // 上半弧
I-50. J-25. K-43.3 X0. ;            // 下半弧
G07 Z1 ;
```

4.10 等螺距螺纹切削（G32）

用 G32 指令，可以切削相等导程的直螺纹、锥螺纹和端面螺纹。如下图所示，L 为导程。



格式

G32 Xp__ Zp__ F__ Q__ ;

Xp__：指定 X 轴终点坐标。

Zp__：指定 Z 轴终点坐标。

F__：指定长轴方向的导程。

Q__：指定偏移角度（0~360 度）。

解释

- **螺纹切削类型**

G32 为模态指令。螺纹导程是指主轴转一圈长轴的位移量（X 轴位移量按半径值）。

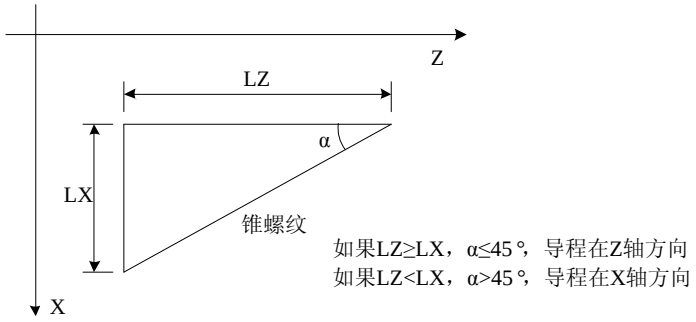
起点和终点的 Xp 坐标相同时，进行直螺纹切削；起点和终点的 Zp 坐标相同时，进行端面螺纹切削；起点和终点 Xp、Zp 坐标都不相同时，进行锥螺纹切削。

- **多次螺纹切削**

一般加工一根螺纹时，从粗车到精车，用同一轨迹要进行多次螺纹切削。进行多次螺纹切削时，零件圆周上的切削点仍是相同的，工件上的螺纹轨迹也是相同的。但是从粗车到精车，主轴的转速必须是一定的。当主轴转速变化时，螺纹有可能会产生偏差。

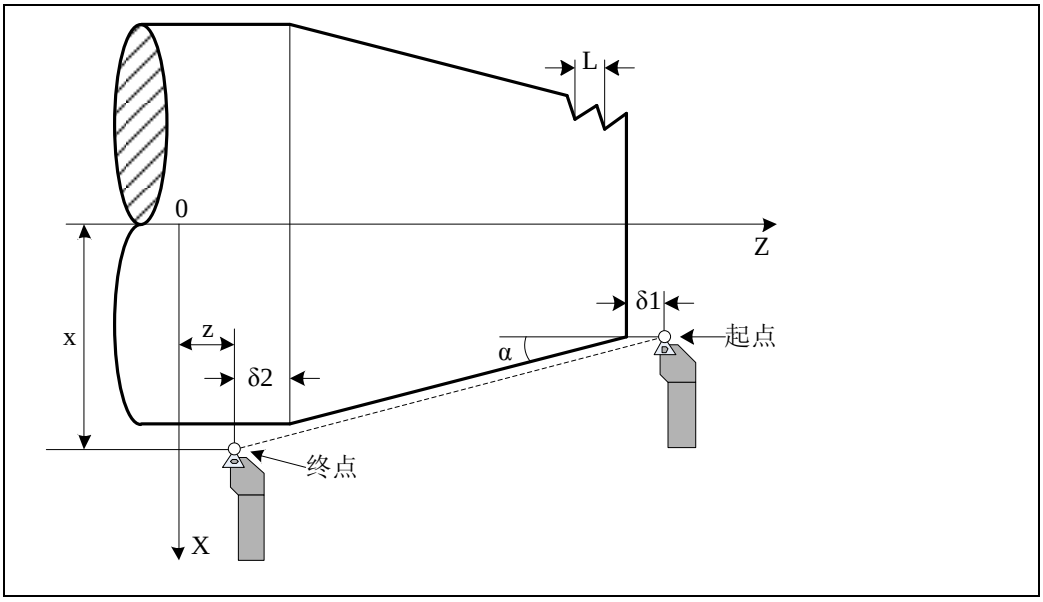
- **螺纹的导程**

螺纹的导程，是指长轴方向的导程。如下图所示。



导程通常用半径指定。

在螺纹切削开始及结束部分，一般由于升降速的原因，会出现导程不正确部分，考虑此因素影响，指令螺纹长度比需要的螺纹长度要长。如下图所示。



可以指令的导程与软件配置有关。公制下导程 F 的小数位数=公制直线轴小数位数+1；英制下导程 F 的小数位数=英制直线轴小数位数+2。

注

1 在螺纹切削中，进给速度倍率无效，固定在 100%。

2 在螺纹切削中，主轴不能停止，如果进给停止，切深会急剧增加，产生危险。因此进给保持在螺纹切削中无效。

3 在进入螺纹切削状态后的一个非螺纹切削程序段时，如果又按了一次进给保持按钮（或者持续按着），则在非螺纹切削程序段中停止。

4 如果在单程序段状态进行螺纹切削时，在执行完非螺纹切削程序段后停止。

5 在螺纹切削过程中，由自动方式变为手动方式时，与持续按进给保持按钮（注 3）相同，在非螺纹切削程序段的开始，进给保持停止。但是，从自动方式变为其他方式时，和注 4 同样，在执行完非螺纹切削程序段后，用单程序段状态停止。

6 当前一个程序段为螺纹切削程序段，而现在程序段也是螺纹切削时，进行连续螺纹切削。

G32 Z__ F__ ;

Z__ ; 连续螺纹加工

G32__ ; 连续螺纹加工

Z__ F__ ; 连续螺纹加工

7 在切端面螺纹和锥螺纹时，也可进行恒线速控制，但由于转速改变，将难保证正确的螺纹导程。因此切螺纹时，指令 G97，即不使用恒线速控制。

8 在螺纹切削前的移动指令程序段可指定倒角，但不能指定圆角 R。

9 在螺纹切削程序段中，不能指定倒角和圆角 R。

10 在螺纹切削中主轴倍率有效，但在切螺纹中，如果改变了倍率，由于升降速的影响等因素不能切出正确的螺纹。

- **英制螺纹切削机能**

螺纹切削（G32、G92）或攻丝（G93、G84、G84.5）时，螺纹导程如果用 I 指定，其单位为：牙/英寸。

I 的指令范围与软件配置有关。

例

1 切削 $2\frac{1}{8}$ 牙/英寸的螺纹时，指定 I2.125。

2 切削 $50\frac{4}{5}$ 牙/英寸的螺纹时，指定 I50.8。

3 切削 6 牙/英寸的螺纹时，指定 I6.0。

注

1 当在程序段同时指定 F 和 I 时，F 有效。

2 I 编程时可带小数点，小数点前单位为牙/英寸，小数位数与直线轴小数位数相同。

3 指令 I 后，系统自动由 I 计算 F。F 的单位与编程单位有关，而 I 的单位固定为牙/英寸，与编程单位无关。公制编程时，F=25.4/I，英制编程时，F=1/I。

- **加工螺纹时起始角偏移**

用于加工多头螺纹。加工时，主轴先偏移 Q__指定的角度后，再进行螺纹加工。

注

1 Q 仅在编入的程序段有效，其小数位数与直线轴小数位数相同。

2 当 Q 超出 360 时无效，按 0 度处理。

3 连续 G32 时，Q 仅在第一个 G32 程序段有效，第二个 G32 程序段中指定的 Q 无效。

- **连续螺纹切削**

为了在螺纹切削中，进行控制以消除连续的程序段加工中的移动中断引起的不连续部分，可以连续指定螺纹切削的程序段。程序段间的连接处，被控制为尽可能保持与主轴同步。

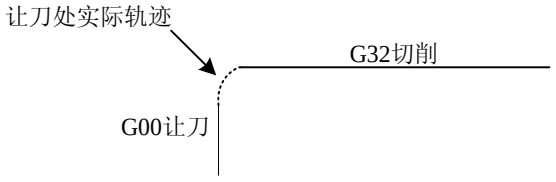
例

```
G00 X50.0 Z2.0 ;
G32 Z-50. F8. Q180 ;
G32 Z-100. F10. ;
G32 Z-150. F12. ;
```

- **退尾处理**

关于螺纹加工中的进刀、切削、让刀、返回等术语的定义参考以下示意图。

- 让刀段不论是 G00 还是 G01 都自动采用快速退尾，速度受参数“螺纹让刀运动速度上限”（《连接调试手册》第 178 页 P6484）限制。
- 螺纹切削段加减速曲线采用直线加减速，加/减速度由参数 P6480/P6481 设定。
- 让刀加减速曲线由参数 P6482 设定，让刀加速度由参数 P6483 设定。
- 退尾效果由“螺纹切削平均减速度”（《连接调试手册》第 177 页 P6481）、“螺纹让刀加减速曲线”（《连接调试手册》第 178 页 P6482）与“螺纹让刀平均加减速度”（《连接调试手册》第 178 页 P6483）、“螺纹让刀运动速度上限”（《连接调试手册》第 178 页 P6484）共同决定，实际轨迹如下图所示。



注

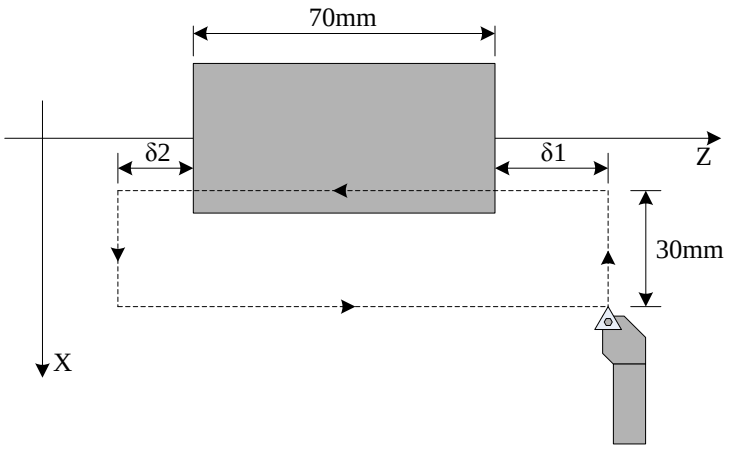
G32 中螺纹切削的回退功能无效，让刀和返回步骤，需用户编程实现。

- **笛卡尔坐标轴变更影响**

G54.9 的设定对本指令的格式会产生影响。在 G32 指令中，Xp、Zp 应分别为 G54.9 设定的第 1 轴、第 3 轴。

举例

- **直螺纹切削**

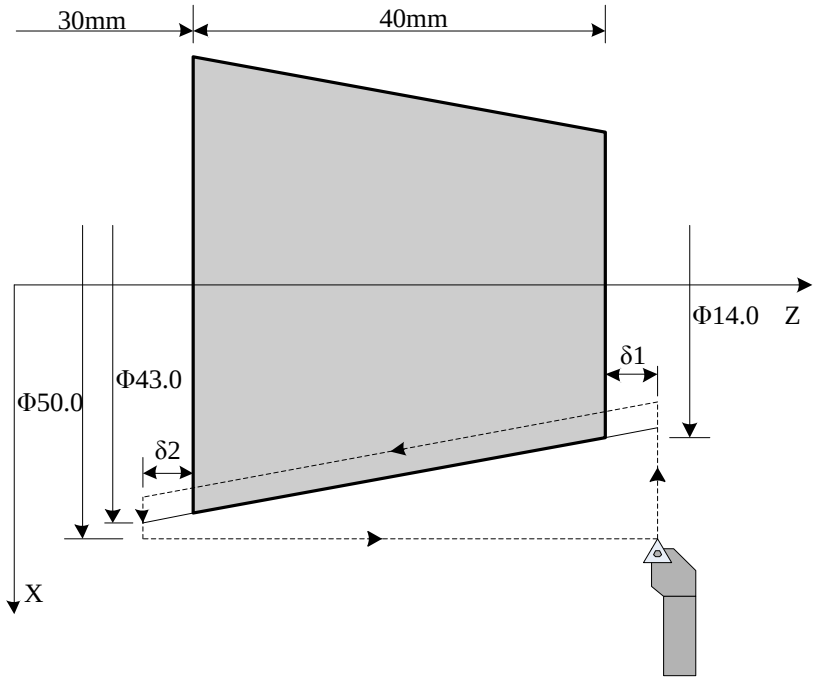


螺纹导程为 4mm，δ1=3mm，δ2=1.5mm，在 X 方向切深为 1mm（两次切入）。

加工程序（公制输入，直径编程）

```
G00 U-62.0 ;
G32 W-74.5 F4.0 ;
G00 U62.0 ;
W74.5 ;
U-64.0 ;（第二次再切入 1mm）
G32 W-74.5 ;
G00 U64.0 ;
W74.5 ;
```

- **锥螺纹切削**



螺纹导程为 3.5mm，δ1=2mm，δ2=1mm，在 X 方向切深为 1mm（两次切入）。

加工程序（公制输入，直径编程）

```
G00 X12.0 Z72.0 ;
G32 X41.0 Z29.0 F3.5 ;
G00 X50.0 ;
Z72.0 ;
X10.0 ;（第二次再切入 1mm）
G32 X39.0 Z29.0 ;
G00 X50.0 ;
Z72.0 ;
```

4.11 变螺距螺纹切削（G34）

变螺距螺纹切削通过对每个导程指令增加或减少一个固定值来实现。

格式

G34 Xp__ Zp__ F__ K__ Q__ ;

Xp__：指定 X 轴终点坐标。

Zp__：指定 Z 轴终点坐标。

F__：指定长轴方向的导程。

K__：指定主轴每转导程的增减量。

Q__：指定偏移角度（0~360 度）。

解释

- **每转导程增减量**

除 K 外其它地址与 G32 指令相同。

K 值的范围为[-50mm，50mm]。当 K 值超过上述范围，或因 K 的增加或减小使导程超过允许值或者导程出现负值时产生报警（PS0014）。

如果导程过大，应该采用较低的主轴转速。否则，容易产生 22 号驱动报警（Z 轴指令速率过大）。

- **多头变螺距螺纹加工**

和 G32 一样，加工时，主轴先偏移 Q__指定的角度后，再进行螺纹加工。

注

连续 G34 时，Q 仅在第一个 G34 程序段有效，第二个 G34 程序段中指定的 Q 无效。

例

G34 Z-50. F8. K0.5 Q180 ;

G34 Z-100. F20. K-0.5 ;

- **退尾处理**

与 G32 的处理相同。

注

G34 中螺纹切削的回退功能无效，让刀和返回步骤，需用户编程实现。

- **笛卡尔坐标轴变更影响**

G54.9 的设定对本指令的格式会产生影响。在 G34 指令中，Xp、Zp 应分别为 G54.9 设定的第 1 轴、第 3 轴。

4.12 数字主轴螺纹插补（G07.2）

数字主轴螺纹插补是指使用数字主轴代替模拟主轴进行螺纹加工。

格式

G07.2 Pij NF_ NP_ ; **启动数字主轴螺纹插补**

…… NF_ ;

……

…… NF_ ;

G07.2 ; **取消数字主轴螺纹插补**

Pij：

i 为螺纹导程方向轴的轴号（直线轴），j 为主轴轴号（旋转轴），数值为：1~8，分别对应第 1~8 轴。

NF_：

G07.2 程序段的 NF_为启动数字主轴螺纹插补后第 1 个程序段的起点导程。后面的 NF_为当前段终点导程（也是下一段起点导程）。

NP_：

主轴转动方向。

NP0：直线轴正向移动时，主轴正向运动；直线轴负向运动时，主轴反向运动。

NP1：直线轴正向移动时，主轴反向运动；直线轴负向运动时，主轴正向运动。NP0 可忽略。

解释

数字主轴螺纹插补有效时，除定位程序段（G00）外，主轴跟随指定的直线轴运动。主轴最高转速为：$\text{主轴转速} = \frac{\text{直线轴移动速度}}{\text{导程}}$

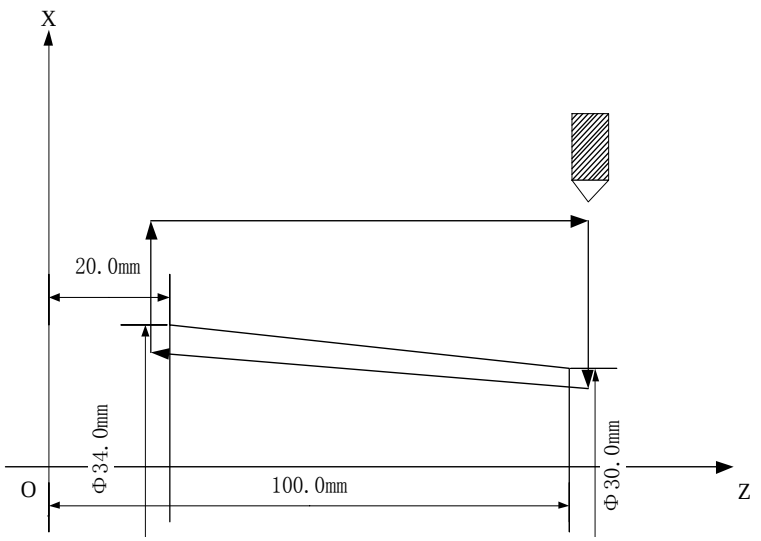
数字主轴螺纹插补有效时，“数字螺纹加速曲线”（《连接调试手册》第 172 页 P6418）和“数字螺纹减速曲线”（《连接调试手册》第 172 页 P6419）有效，“数字螺纹切削主轴平均加速度”（《连接调试手册》第 173 页 P6438）和“数字螺纹切削主轴平均减速度”（《连接调试手册》第 174 页 P6439）有效。快速加减速曲线和加减速度不受影响。

起点导程和终点导程不同时，导程在起点和终点间线性变化（变螺距螺纹）。

注

1 G07.2 指令应独占一段指令。
2 非 MDI 方式复位时自动取消数字主轴螺纹插补。
3 数字主轴螺纹插补不影响手动模式。
4 数字主轴螺纹插补有效，指令 NF 为 0 时，视为主轴不动（或导程无穷大）。
5 数字主轴螺纹插补有效时，系统只考虑起点到终点直线轴的移动量，而不考虑实际是否有移动。如果该移动量为 0，那么主轴不动。
6 数字主轴螺纹插补有效时，过高的直线轴移动速度或过小的导程，可能会导致主轴转速过高。
7 数字主轴螺纹插补有效时，螺纹加工、攻丝循环（G93）、钻孔循环（包括刚性攻丝）不可使用。
8 G07.2 启动数字主轴螺纹插补时，系统自动插入 M05 指令。数字主轴螺纹插补有效时，不要再指令主轴正/反转（M03/M04），否则主轴转速为正/反转转速与数字主轴螺纹插补时主轴转速的叠加。

举例



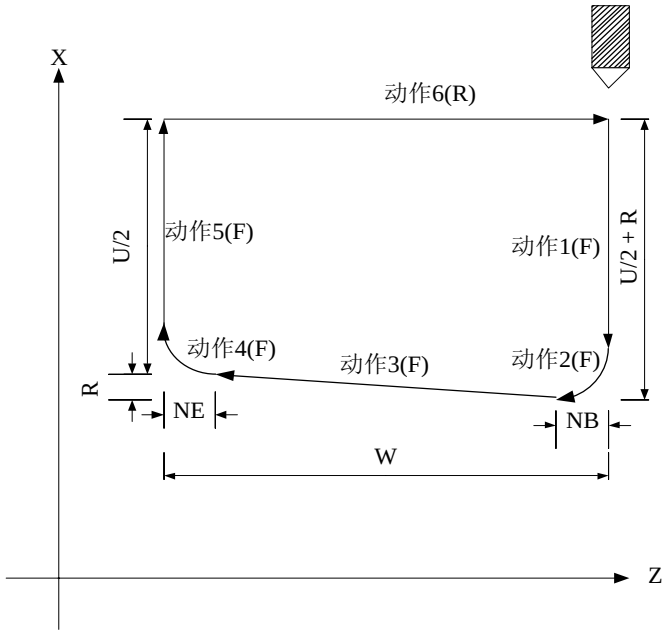
加工 80.0mm 长的螺纹，导程为 5.0mm，X 方向切深为 1mm（2 次切入）。

加工程序

```
G00 X80. Z102.0 ;
G07.2 P24 NF5. ;
X30. ;
G01 X34. Z18. F50. ;
G00 X80. ;
Z102. ;
X28. ;
G01 X32. Z18. F50. ;
G00 X80. ;
Z102. ;
G07.2 ;
```

4.13 数字主轴螺纹切削循环（G78.1）

数字主轴螺纹切削循环（G78.1）利用固定循环功能，在一个程序段中实现螺纹切削的进刀，加工，退刀，返回等多个动作，用于简化数字主轴螺纹插补时的编程，提高编程效率。G78.1 固定循环由 6 个动作完成，如下图所示。



G78.1固定循环动作顺序：
动作1：切削进给进刀；
动作2：切削进给旋入；
动作3：切削进给加工；
动作4：切削进给旋出；
动作5：切削进给退刀；
动作6：快速进给返回；

格式

G78.1 X(U)_ Z(W)_ R_ Q_ NB_ NE_ NP_ L_ F_ ;

X(U)_：X 向终点坐标或者移动量。

Z(W)_：Z 向终点坐标或者移动量。

R_：锥度螺纹最大端和最小段的半径差。

Q_：第一头螺纹的起始偏移角度。

NB_：螺纹旋入阶段的宽度。

NE_：螺纹旋出阶段的宽度。

NP_：指定 NP1 时多头螺纹的偶数头反向加工，指定 NP0 时正常加工多头螺纹。

L_：螺纹头数。

F_：切削进给速度。

解释

- **使用要点和注意事项**

1 在指定 G78.1 之前，需要先指定 G07.2 进入到数字主轴螺纹插补模式，否则报警（PS0287）。

2 G78.1 是模态指令，在未指令 01 组其他 G 代码时一直有效，指令 01 组其他 G 代码后清除 G78.1 的模态信息。

3 非 MDI 复位时，G78.1 被替换为 01 组上电时默认 G 代码。

4 不可在坐标变换（包括极坐标变换、比例缩放和坐标旋转）有效状态下指定 G78.1，否则报警（PS0288）。

5 X(U)_，Z(W)_在每个程序段都必须指令，如果只指令其中一个，则报警（PS0292）；同时不允许 X，Z 轴以外的其他轴输入，否则报警（PS0290）。

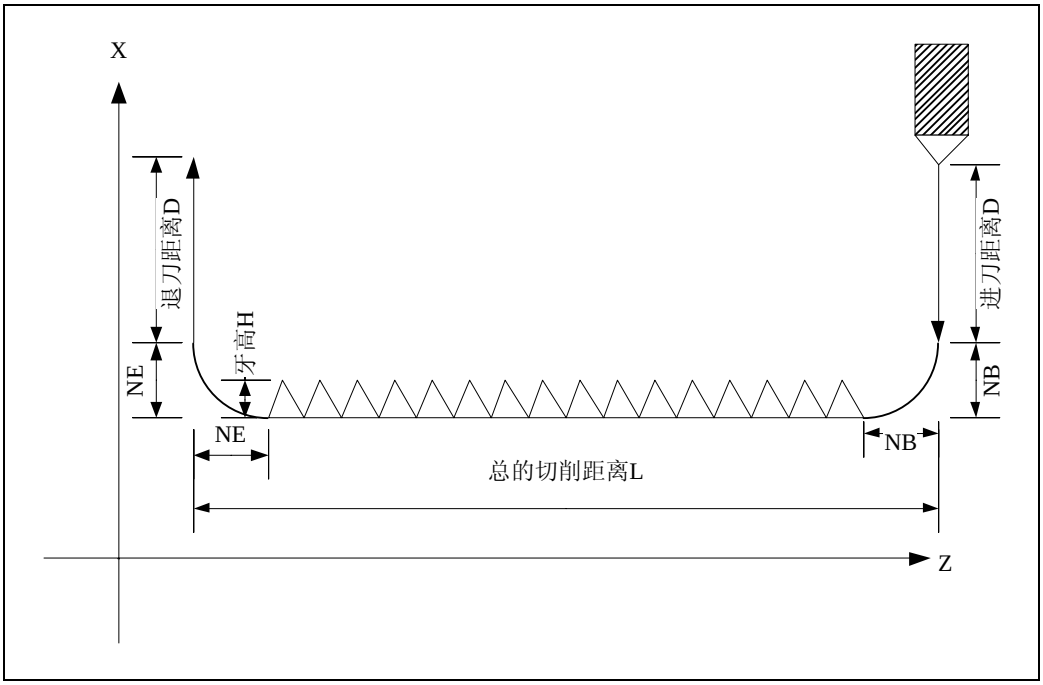
6 如果 X(U)_，Z(W)_都没有输入时，系统将只记录模态信息而不运动。

7 固定循环从旋入阶段到旋出阶段禁止单段停止。

8 动作 6（快速返回到循环起点）的过程中，主轴自动旋转至零点，为下一次循环作准备。系统根据退刀时主轴的位置，自动采取正转、反转或不转动的方法将主轴位置调整到零位。

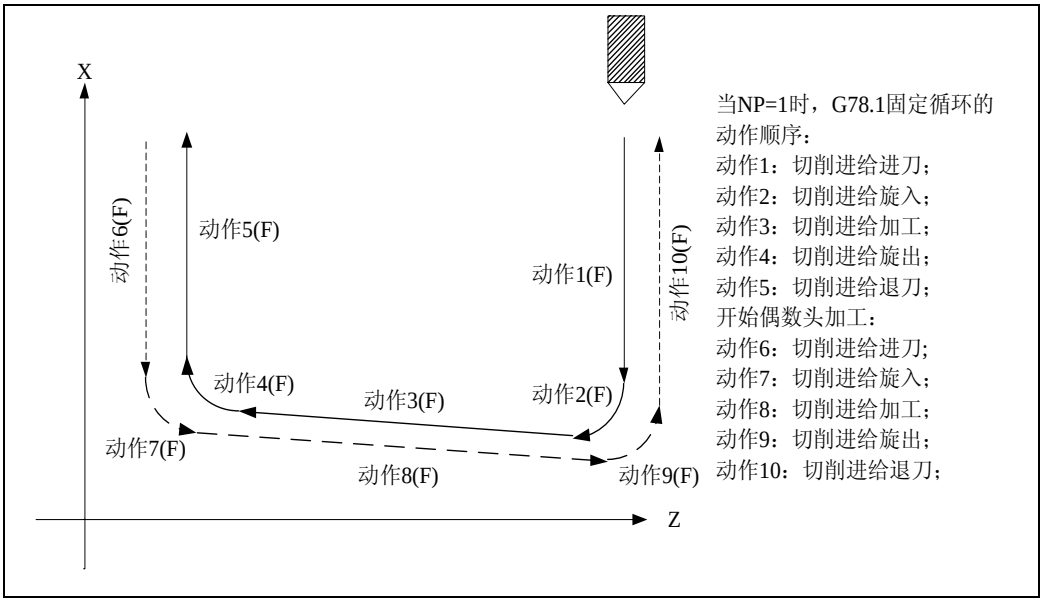
- **NB 和 NE 的意义**

在螺纹旋入阶段或者螺纹旋出阶段，由于升降速的原因需要一段加速或减速的距离，以实现刀具的旋入或旋出。系统在旋入或旋出阶段，根据 NB 或 NE 的值自动插入一段小圆弧指令实现该加减速过程，如下图所示。其中 NB 或 NE 的距离应大于螺纹牙高 H，并且远小于进刀或者退刀距离 D，同时 NB 与 NE 的和不能超过 Z 轴的总进给量 L。



- **NP 的意义**

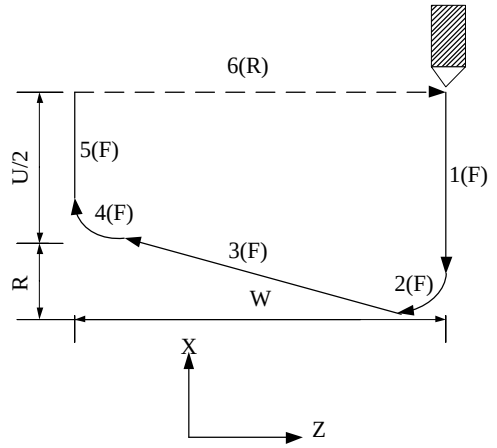
NP 为 1 时，多头螺纹加工的偶数头将进行反向加工，省去了快速运动回到初始点的过程，提高了加工效率。当不是多头螺纹或者 NP 等于 0 时，将正常加工多头螺纹，即快速运动回到起始点后继续正向加工下一头螺纹。指定 NP1 的加工情况如下图所示。



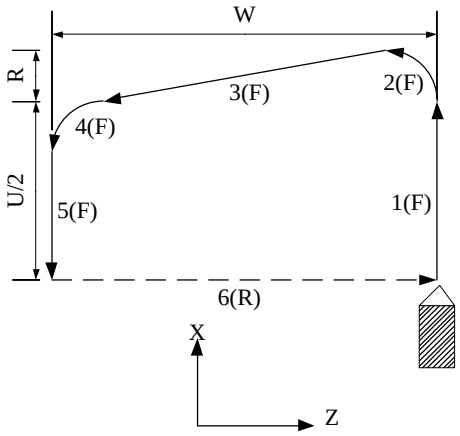
- **地址 U、W、R 符号与轨迹的关系**

增量值指定时，地址 U、W、R 后数值的符号和刀具轨迹的关系如下所示。

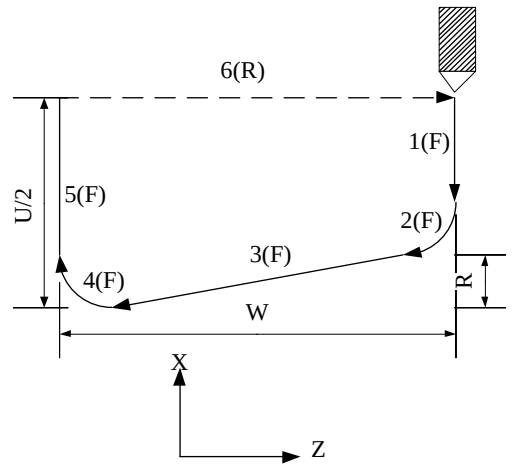
（1）U<0，W<0，R<0



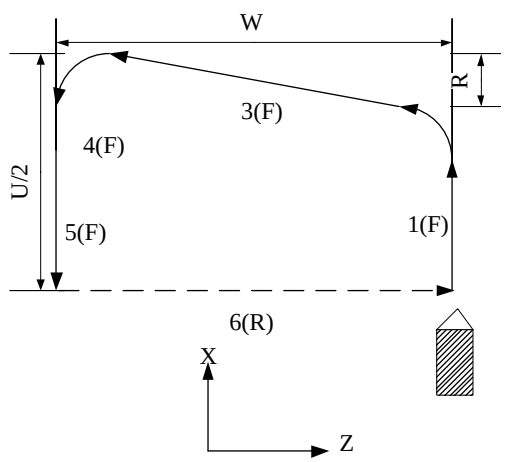
（2）U>0，W<0，R>0



（3）U<0，W<0，R>0，但｜R｜≤｜U/2｜

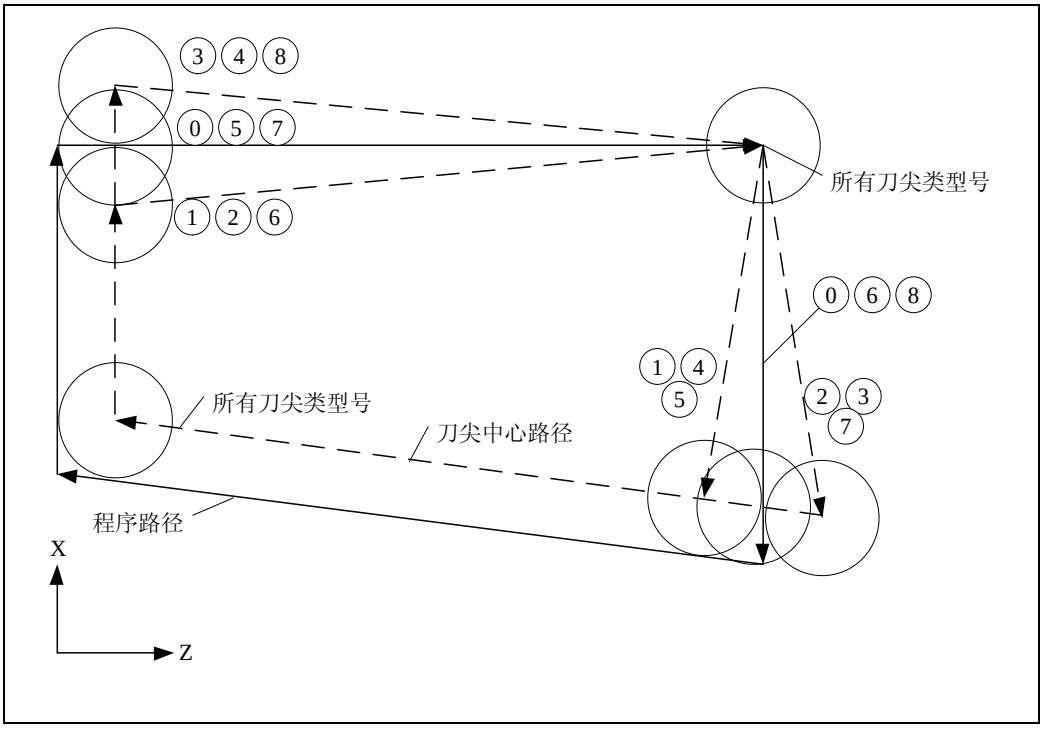


（4）U>0，W<0，R<0，但｜R｜≤｜U/2｜

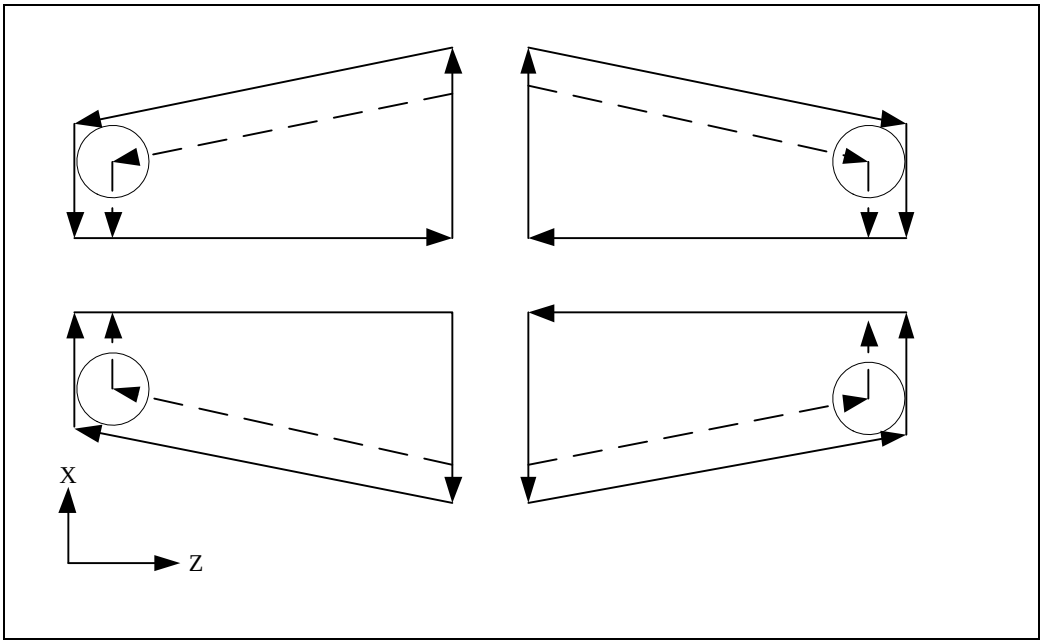


- **半径补偿**

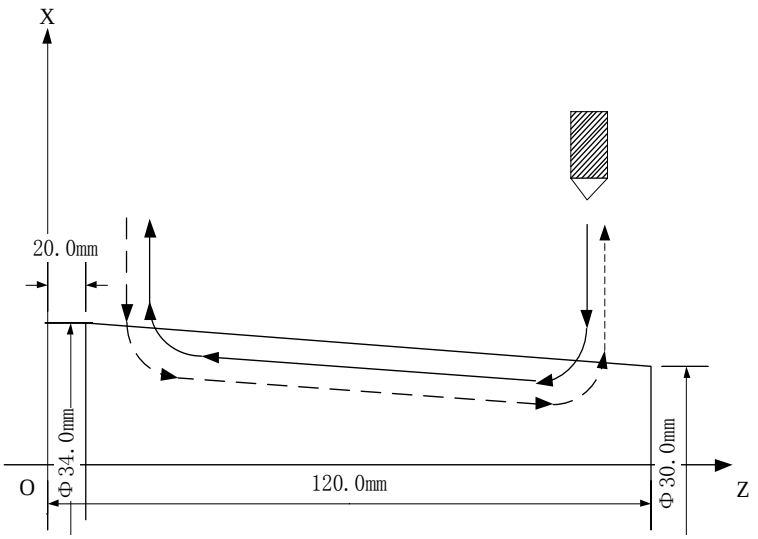
对于 G78.1 固定循环的刀尖中心路径，通常平行于程序路径，如下图所示。



无论 G41 还是 G42 方式，补偿方向如下图所示。



举例



加工 80.0mm 长的双头螺纹，导程为 5.0mm，X 方向切深为 1.5mm（6 次切入）。

加工程序

```
G18 G00 X80. Z100.0 ;
G07.2 P24 NF5. ;
G78.1 X34. Z20. R-2. NB3.0 NE3.0 NP1 L2 F50. ;
X29. Z20. ;
X28. Z20. ;
X27.5 Z20. ;
X27.2 Z20. ;
X27. Z20. ;
G07.2 ;
```

5 进给功能

5.1 快速进给

用定位指令（G00）进行快速定位。每个轴的快速进给速度都可以用参数来设定，所以在指令中不需要指定。

格式

G00 IP__ ;

G00：定位（快速移动）指令。

IP__：指定终点坐标。

解释

定位过程中各轴速度由参数“快速速率”（《连接调试手册》第 138 页 P0711）设定。

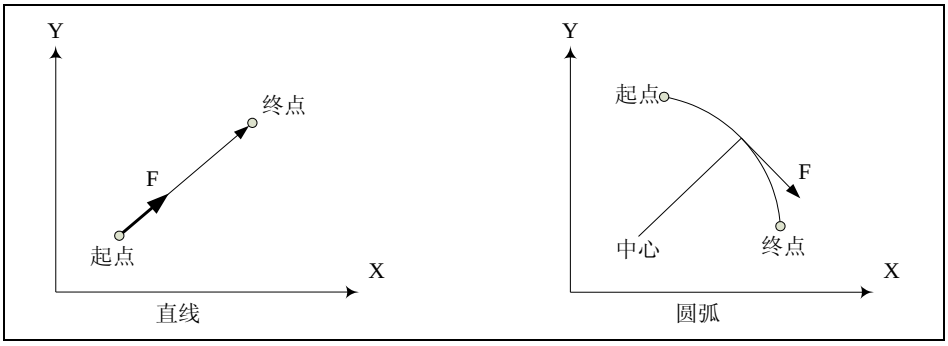
对于快速移动速度的倍率控制，利用机床操作面板上的按键，可得到如下倍率：

F0、25%、50%、100%

F0：由参数“快速倍率最低挡速率 F0”（《连接调试手册》第 138 页 P0712）设定

5.2 切削进给

在直线插补（G01）和圆弧插补（G02、G03）中用 F 代码后面的数值来指定刀具的进给速度。切削进给速度的方向指向刀具移动的切线方向。如下图所示：



切削进给支持两种指令方法：一种是每分进给，F 值表示刀具每分钟的进给量；另一种是每转进给，F 值表示主轴每转一圈刀具的进给量。

5.2.1 每分进给（G98）

格式

G98 ;

F__ ;

G98：每分进给指令

F__：进给速度（毫米/分或英寸/分）

解释

1 在每分进给方式下，刀具每分钟的进给量直接由 F 的数值决定。每分进给 G 代码是模态的，一旦指定将一直有效，直到同组的每转进给 G 代码被指定。

2 系统接通电源后，即被设定在每分进给方式。

3 实际的切削速度（使用倍率后的进给速度）如果超过了参数“切削进给上限速度”（《连接调试手册》第 138 页 P0713）设定值，则被限制在上限值上。上限值以毫米/分或英寸/分为单位进行设定。

4 进给倍率通过操作面板上的倍率开关控制，可以使用 0~150%（每档 10%）的倍率。

5.2.2 每转进给（G99）

格式

G99 ;

F__ ;

G99：每转进给指令

F__：进给速度（毫米/转或英寸/转）

解释

1 在每转进给方式下，主轴每转一圈刀具的进给量直接由 F 的数值确定。每转进给 G 代码是模态的，一旦指定将一直有效，直到同组的每分进给 G 代码被指定。

2 进给倍率通过操作面板上的倍率开关控制，可以使用 0~150%（每档 10%）的倍率。

3 使用每转进给时，主轴上必须装有位置编码器。

4 当位置编码器的转速在 1rev/min 以下时，进给速度会出现不均匀。如果不要求速度均匀的加工，可用 1rev/min 以下的转速。这种不均匀会达到什么程度，不能一概而论，不过在 1rev/min 以下，转速越慢，进给速度越不均匀。

5.2.3 输入单位与输出范围

在默认参数设置下（直线轴小数位数 P0042 为 3，允许数据位数 P0015 为 9，最大切削速度 P0020 为 60000，最大切削转速度 P0022 为 2000），每分进给和每转进给方式的最小输入单位和最大输出范围，如下表所示：

输入/输出方式	每分进给		每转进给	
	最小输入单位	最大输出范围	最小输入单位	最大输出范围
公制输入/输出	0.001mm/min	60000.0mm/min	0.0001mm/rev	2000.0mm/rev
英制输入/输出	0.0001inch/min	2362.2inch/min	0.000001inch/rev	2000.0inch/rev

注

1 每分进给方式的速度，在上述最大输出范围内，还受切削进给上限速度参数（P0713）的限制。

2 进给速度指令值在系统中的运算误差为 ±2%。当达到稳定状态后，误差是通过测定移动 500mm 以上的距离来求得的。

3 对于如螺纹切削和攻丝等指令，进给倍率无效。

5.3 高速高精进给控制

5.3.1 加减速控制

本系统自动进行加减速控制，不但能够使刀具的启动和停止更加平稳，而且在运行过程中也可以使速度平稳的变化。因此，编程时不需要对加减速进行考虑，但要提前设置好加减速相关参数。

加减速控制有插补前加减速控制和插补后加减速控制之分，本系统在插补前进行加减速控制，并可跨多段加减速。

解释

- **加减速曲线类型**

本系统提供 5 种加减速曲线类型供用户选择，分别为：直线（2 次）、2.5 次曲线、S 曲线（3 次）、4 次曲线、三角曲线。曲线次数是从位移与时间关系计算得出的。加速和减速可选择不同的曲线类型，并可分别选用不同的加速度。相关参数如下：

1 自动方式相关参数：

- 切削加速曲线（P6410）/切削减速曲线（P6411）
- 快速运动加速曲线（P6412）/快速运动减速曲线（P6413）
- 刚性攻丝加速曲线（P6414）/刚性攻丝减速曲线（P6415）
- 紧急减速曲线（P6416）
- 数字螺纹加速曲线（P6418）/数字螺纹减速曲线（P6419）
- 螺纹让刀加速曲线（P6482）

其中紧急减速曲线用于复位/暂停/轴锁等情况，急停或限位报警时立即停止输出，无减速过程。

2 手动模式相关参数：

- 手动加速曲线（P5210）/手动减速曲线（P5211）
- 单步或手轮加速曲线（P5410）/单步或手轮减速曲线（P5411）
- 回零加速曲线（P5110）/回零减速曲线（P5111）

- **加速度与减速度数值**

不管是哪一种加减速曲线，当加速度太大时，都会逼近直线，影响加工的平稳性，因此要合理设置加速度和减速度。数值太小会影响加工效率，太大会造成机床震动。为方便用户调试，系统使用平均加减速度参数，通过最大速度和平均加减速度可计算出加减速时间。

例

假设：编程最大速度为 2 米/分，平均加速度（20 米/分）/秒，平均减速度为（10 米/分）/秒。

那么刀具从停止加速到最大速度的时间为 0.1 秒（2÷20），

从最大速度减速到停止的时间为 0.2 秒（2÷10）。

平均加速度或减速度适用于各种曲线类型。多轴联动时，加速度或减速度均指的是切线方向的平均加减速度。相关参数如下：

1 自动方式相关参数：

- 切削平均加速度（P6430）/切削平均减速度（P6431）
- 快速运动平均加速度（P6432）/快速运动平均减速度（P6433）
- 刚性攻丝平均加速度（P6434）/刚性攻丝平均减速度（P6435）
- 紧急减速系数（P6436）
- 数字螺纹平均加速度（P6438）/数字螺纹平均减速度（P6439）
- 螺纹切削平均加速度（P6480）/螺纹切削平均减速度（P6481）

其中，紧急减速系数用于复位/暂停/轴锁等情况，急停或限位报警时立即停止输出，无减速过程。

2 手动模式相关参数：

- 手动平均加速度（P5212）/手动平均减速度（P5213）
- 单步或手轮平均加速度（P5412）/单步或手轮平均减速度（P5413）
- 回零平均加速度（P5112）/回零平均减速度（P5113）
- 手轮平滑时间（P5414）
- 手轮或单步速率限制（P5420）

- **加减速相关参数显示设置**

系统支持对加减速曲线类型和加减速度参数的显示进行设置。

加减速曲线类型参数是否显示受参数“FACDCT”（《连接调试手册》第 129 页 P0005.2）控制。

加减速度参数的单位由参数“ACDCMS”（《连接调试手册》第 129 页 P0005.4）控制。

加减速度参数合并功能是否有效由参数“ACDCM”（《连接调试手册》第 129 页 P0005.4）控制。

- **加减速控制方式**

插补功能	可用加速曲线类型	可用减速曲线类型	
		正常情况	复位/暂停/轴锁/急停/限位等紧急情况
直线/圆弧/螺线插补（每分进给）	所有曲线类型 [相关参数] P6410/P6412/P6430/P6432	所有曲线类型 [相关参数] P6411/P6413/P6431/P6433	所有曲线类型 [相关参数] P6416/P6436
直线/圆弧/螺线插补（每转进给）	√（2 次）直线 [相关参数] P6430/P6432	所有曲线类型 [相关参数] P6411/P6413/P6431/P6433	所有曲线类型 [相关参数] P6416/P6436
直线/圆弧插补（自动手轮控制） 注：自动手轮控制对螺纹切削部分无效（包括 G93 攻丝）	√（2 次）直线 [相关参数] P5310	√（2 次）直线 [相关参数] P5310	√（2 次）直线 [相关参数] P5310
螺纹切削	√（2 次）直线 [相关参数] P6480	√（2 次）直线 [相关参数] P6481	所有曲线类型 [相关参数] P6416/P6436
螺纹让刀	所有曲线类型 [相关参数] P6482	与让刀段指令（G00/G01）有关。	与让刀段指令（G00/G01）有关。
数字主轴刚性攻丝	所有曲线类型 [相关参数] P6414/P6434	所有曲线类型 [相关参数] P6415/P6435	所有曲线类型 [相关参数] P6416/P6436
数字主轴螺纹插补	所有曲线类型 [相关参数] P6418/P6438	所有曲线类型 [相关参数] P6419/P6439	所有曲线类型 [相关参数] P6416/P6436
手动方式/单步方式/	所有曲线类型	所有曲线类型	所有曲线类型

插补功能	可用加速曲线类型	可用减速曲线类型	
		正常情况	复位/暂停/轴锁/急停/限位等紧急情况
回零方式	[相关参数] P5110/P5210/P5410	[相关参数] P5111/P5211/P5411	[相关参数] P5111/P5211/P5411
手轮模式	√（2 次）直线 [相关参数] P5414/P5420	√（2 次）直线 [相关参数] P5414/P5420	√（2 次）直线 [相关参数] P5414/P5420

5.3.2 拐角控制

解释

- **基于角度的控制**

参数“切削拐角角度”（《连接调试手册》第 174 页 P6453）用于判断两程序段是否相切。

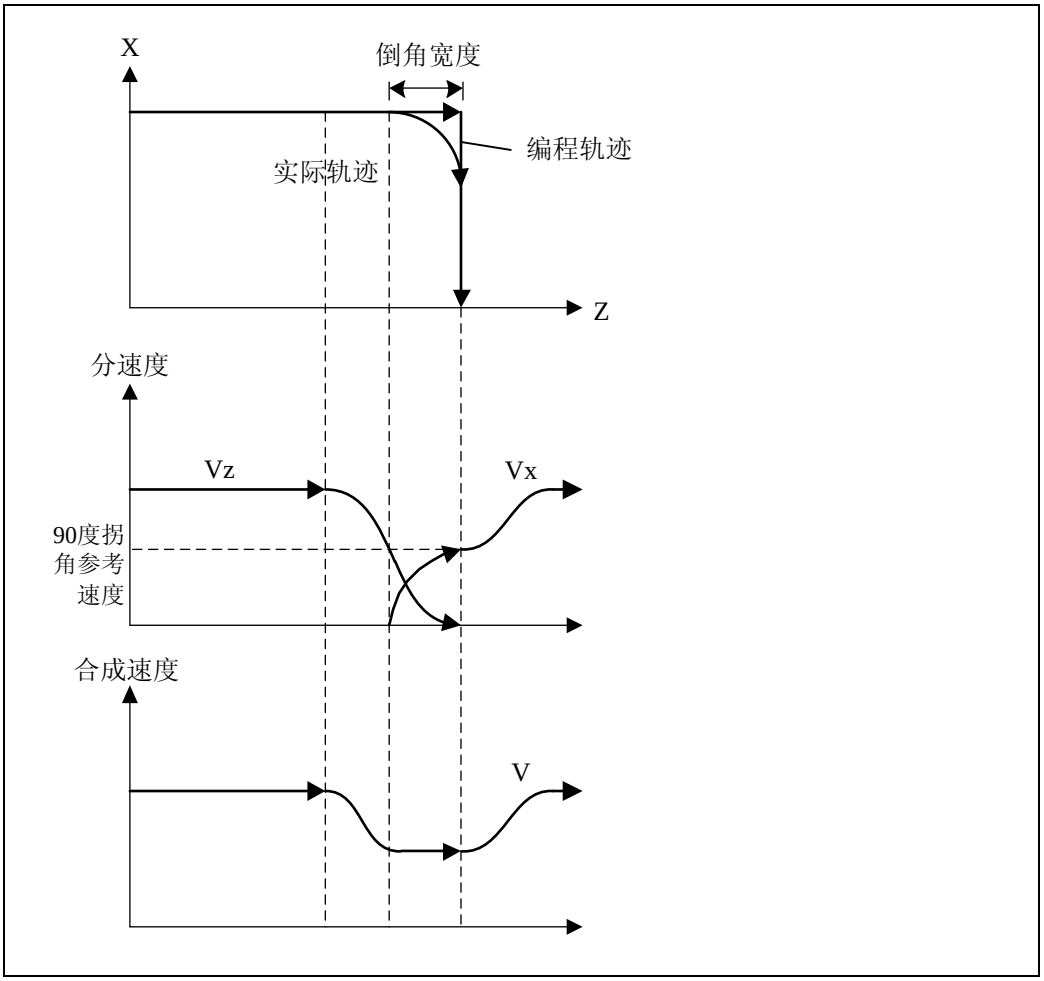
注

1 增大此参数时，如果机床产生冲击，应设置“切削平滑系数”（《连接调试手册》第 175 页 P6457）。

2 模具加工时，有时需要在大转角处（接近或超过 90 度）不减速，否则表面加工质量不好；此时，可将该参数设置为较大值（必须<180 度）。

- **倒角宽度控制机能**

该机能允许一定的过切量，用于防止刀具相对工件表面运动速度过低，或者在允许一定过切量的情况下提高加工效率。由参数“90 度拐角参考速度”（《连接调试手册》第 177 页 P6475）控制。如下图所示：在拐角处，当 Z 轴减速到“90 度拐角参考速度”时，X 轴就开始启动加速，两轴的合成速度不会继续下降，所以拐角处的加工效率会提高，但刀具实际轨迹存在误差。



注

1 使用该机能后，如果紧急停止信号（外部急停/外部复位/键盘复位）在倒角宽度控制开始前出现，那么倒角宽度控制机能无效，系统立即减速停止；如果紧急停止信号在倒角宽度控制开始后出现，那么在倒角控制结束后减速停止。

2 小线段加工或要求轮廓精度较高的地方，可以禁用该功能（设为 0），或设为较小的数值。

5.3.3 轨迹光顺功能

使用轨迹光顺功能，允许轮廓有一定的误差，减小机床震动。

相关参数为：

第 1 轨迹误差控制机能：第 1 轨迹误差控制基系数（P6457）/第 1 轨迹误差控制阶数（P6458）

第 2 轨迹误差控制机能：第 2 轨迹误差控制基系数（P6459）/第 2 轨迹误差控制阶数（P6460）

两机能基本相同，可同时使用。

注

1 在振动允许范围内，设置时应让阶数尽量高，基系数尽量小，这样可兼顾精度和加工平稳性。但过高的阶数可能会导致 PS0002 报警（当阶数倍增时，系统负载率会显著增大）。

2 加工螺纹或每转进给时，如果对跟随性要求较高，那么可以减小 P6457~P6460 数值，或直接禁用这两个功能。

3 两个轨迹误差控制机能共同特点是：都有轨迹光顺作用，但对直线轨迹影响基本可忽略，同时不会造成同一轨迹往复加工不重合问题。不同点是：第 1 轨迹误差控制机能在更新坐标前控制。而第 2 轨迹误差控制机能在更新坐标后控制；其输出存在滞后，在碰到限位后按减速停止（会走完滞后量）。

4 第 2 轨迹误差控制机能与通常意义上的后加减速共同点是：存在滞后量。不同点是：其影响仅在附近的若干插补周期，对直线轨迹部分无影响，不会造成往复加工同一轨迹不重合现象；后加减速可能对直线轨迹会产生平移（与原轨迹平行，但有一定的偏移），往复加工同一轨迹不重合。

5 建议驱动器前馈设置为 100%，并且不要使用驱动器的限位功能，这会造成较大的冲击，限位最好由系统处理。当驱动器前馈设置较大时，限位冲击较大，此时除了可通过设置工作区进行减速外，也可适当设置 P6459/P6460 减小冲击。

5.3.4 刀具轴向设定功能

设定刀具轴向，即与哪个进给轴平行，可优化刀具方向固定的小线段加工。相关参数为刀具轴向设定（P6455）和小线段最大长度值（P6454）。

注

1 如果刀具轴向设定参数被设定为 0 或程序段 4 轴及以上联动，则该机能无效。

2 使用该机能，可能会引起较大的震动，这时可设置参数 P6457 以便减小震动。

3 当该机能有效时，如果连续两段长度均大于参数 P6454 设定值，那么临时禁用刀具轴向控制机能。

5.3.5 编程允差设定功能

设定编程允许误差，可优化小线段加工。相关参数为编程允许误差（P6456）和 TDIRC（P6400.1）。

注

1 “编程允许误差”（《连接调试手册》第 175 页 P6456）不能设定过大。当 CAM 软件生成小线段时选择的最小编程单位与系统相同时，应设定该参数为 4 个最小编程单位（或略微大些）。当 CAM 软件生成小线段时选择的最小编程单位大于系统最小编程单位时，应设定该参数为 4 个 CAM 软件生成程序时选择的最小编程单位（或略微大些），如：CAM 软件生成时选择 1μm 为单位，而系统最小编程单位是 0.1μm，那么设定该值为 40（=4μm）或略大。当 CAM 软件生成小线段时选择的最小编程单位小于系统最小编程单位时，设定该参数为 4 个系统的最小编程单位（或略微大些），如：CAM 软件生成时选择 0.1μm 为单位，而系统最小编程单位是 1μm，那么设定该值为 4（=4μm）或略大。

2 同时设定刀具轴向和允许误差（当 TDIRC=1 时），可以使用较小的切削拐角角度（如：10 度~20 度）加工出合格的工件。

5.3.6 预先预读功能

通常情况系统边预读边加工，但如果存在大量的程序段长度小于单插补周期内进给量，那么最终预

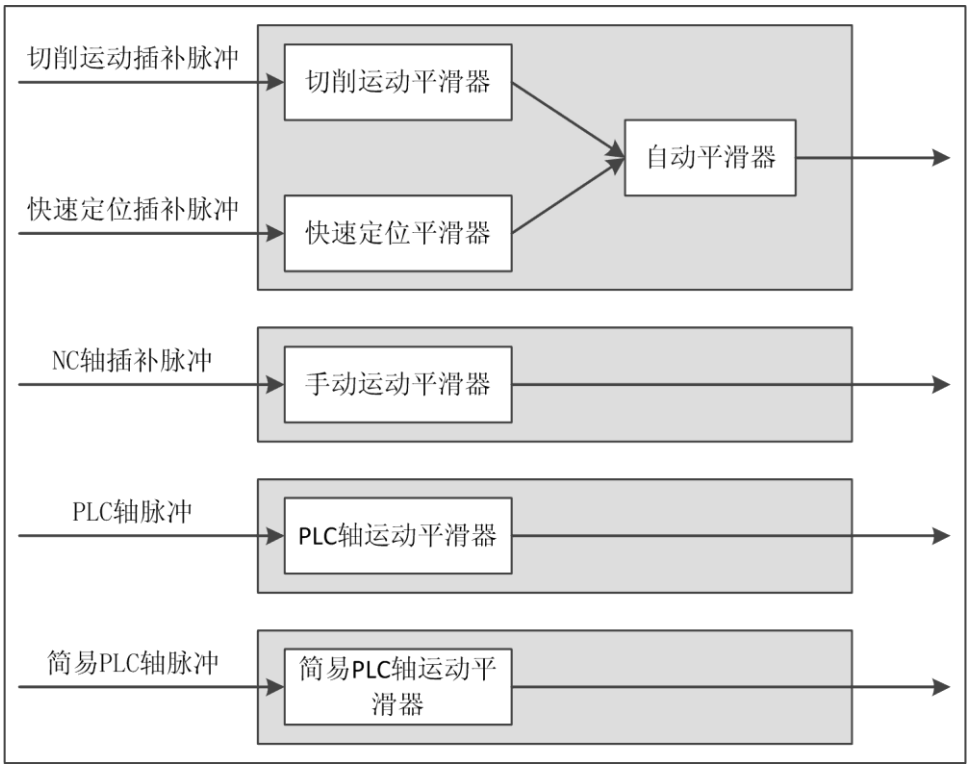
读可能跟不上进给。（尽量不要生成这种程序，CAM 输出时可适当降低分辨率。）本机能启用后，必要时会在速度为 0 处预先填充预读控制器，填充时轴无输出，并在运行状态处显示“预读”。相关参数为预读控制器最小负载百分比（P6470）。

注

使用该机能后，可能会延长加工时间。

5.3.7 速度平滑控制

系统提供 6 个通道的速度平滑控制功能，它们分别用于控制切削运动、快速定位运动、手动运动、PLC 轴运动和简易 PLC 轴运动。如下图所示：



系统为每个平滑器分配两个数据参数。如下表所示：

平滑系数	平滑阶数	说明
P6457	P6458	切削运动平滑器控制参数
P6459	P6460	自动平滑器控制参数（对切削运动和快速定位都有效）
P6461	P6462	手动模式平滑器控制参数
P6463	P6464	PLC 轴平滑器控制参数
P6465	P6466	简易 PLC 轴平滑器控制参数
P6467	P6468	快速平滑器控制参数

解释

速度平滑控制功能可以光顺轴运动轨迹，减少机床震动。设置合适的参数可在允许的加工精度范围内尽可能的增加加工效率。各平滑器的控制算法相同，只是控制参数的范围和默认值不同。

在允许的机床震动范围内，应尽量设置大的平滑阶数和小的平滑系数，这样可兼顾加工精度和加工平稳性。但提高平滑阶数会显著增大 CPU 负载，过大的阶数可能会导致 PS002 报警。

5.3.8 修改参数（G05）

G05 指令可用于修改以下参数：

- “切削平滑系数”（《连接调试手册》第 175 页 P6457），用 R 指定。
- “自动平滑系数”（《连接调试手册》第 175 页 P6459），用 E 指定。
- “切削拐角角度”（《连接调试手册》第 174 页 P6453），用 Q 指定。

格式

G05 Rr Ee Qq ;

r 为切削平滑系数，数值范围：0~4。

e 为自动平滑系数，数值范围：0~4。

q 为切削拐角角度，数值范围为：10.0~179.999999。

注

1 G05 指令必须独占一段指令。

2 可以只修改某一个参数，指令执行后，立即将新的参数存入非易失性存储器。

3 Q 的有效小数位数为系统直线轴的小数位数，与旋转轴小数位数或参数显示的小数位数无关。建议输入时带上小数点。

4 不同的程序要求不同，有些程序要求高精度，而有些程序允许轮廓有一定程度的失真。因此，不同的程序可能需要不同的参数，这时可在程序开头或其它适当地方插入 G05 指令，而不必打开程序开关手工修改这些参数。

5.4 暂停（G04）

利用暂停指令，可以推迟下个程序段的执行，推迟时间为指令的时间。

格式

G04 X__ ;

或

G04 U__ ;

或

G04 P__ ;

X：暂停时间设置（可使用小数）。

U：暂停时间设置（可使用小数）。

P：暂停时间设置（不可使用小数）。

解释

利用暂停指令，可以使下一程序段的执行推迟指定的一段时间。

指令字	指令范围	指令单位
X	0.001~99999.999	秒
U	0.001~99999.999	秒
P	1~99999999	0.001 秒

注

1 X/U/P 指令单位与直线轴或旋转轴的最小单位无关。

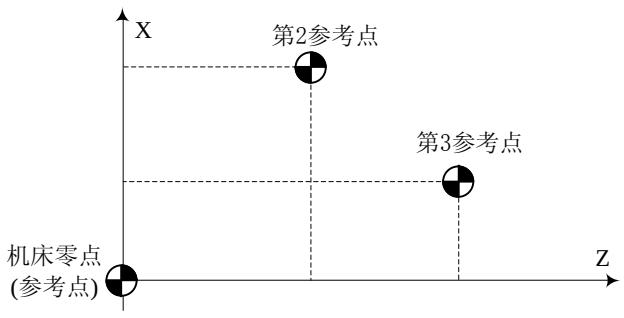
2 如果省略了 P、U、X 指令则可看作是准确停。

3 执行 G04 指令将自动禁止预读与缓冲。

6 参考点

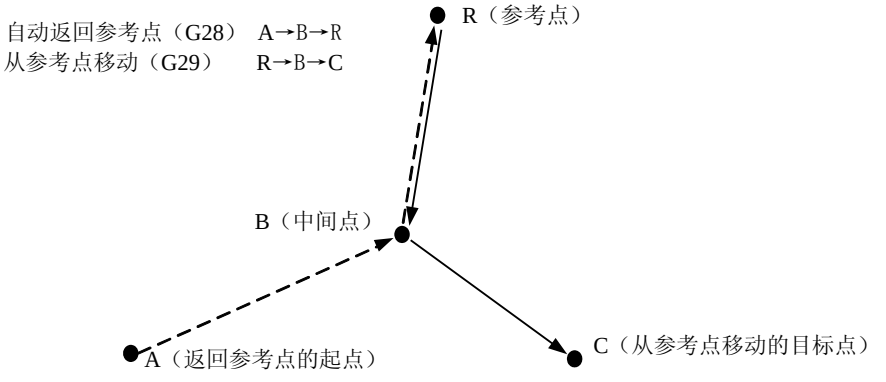
参考点是指机床上某一固定位置。加工时，可把参考点作为自动换刀的位置，通过返回参考点功能将刀具移动到该位置。

本系统最多可以指定三个参考点，第 1 参考点的机床坐标始终为 0，即机床零点，“第 2 参考点机床坐标”（《连接调试手册》第 136 页 P0511）和“第 3 参考点机床坐标”（《连接调试手册》第 136 页 P0512）分别用于设定第 2、3 参考点的机床坐标，如下图所示。



6.1 自动返回参考点（G28）和从参考点移动（G29）

自动返回参考点功能（G28）可使指定轴经中间点自动返回到参考点，返回完毕，回零灯亮。从参考点移动功能（G29）可使指定轴经中间点移动到指定位置。如下图所示。



格式

G28 IP__ ;

G28：自动返回参考点指令。

IP__：自动返回参考点时途经的中间点坐标，绝对或增量值指定。

G29 IP__ ;

G29：从参考点移动指令。

IP__：最终移动到的目标点坐标，绝对或增量值指定。

解释

1 执行 G28 过程中，以快速移动速度进行中间点和参考点的定位。

2 在机床锁住状态，G28 无法从中间点快速定位到参考点，回零灯也不会亮。

3 G28 一般在自动换刀时使用，因此原则上要提前取消刀具半径、长度等补偿量。

4 只有在 G28 程序段中指定的坐标才能作为中间点被存储。对于还未在 G28 中指定的坐标，则用之前指定 G28 的中间点坐标作为当前中间点坐标。

例

N1 G28 X40.0 ; X 轴移动到参考点，中间点（X40.0）被存储起来。

N2 G28 Z60.0 ; Z 轴移动到参考点，中间点（Y60.0）被存储起来。

N3 G29 X10.0 Z20.0 ; X 轴和 Z 轴经 G28 指定的中间点（40.0，60.0），返回到 G29 指定的目标点（10.0，20.0）。

5 参数“回零后自动坐标系设定的坐标值”（《连接调试手册》第 136 页 P0510）可指定刀具在返回参考点后的工件坐标。

6 G29 要在通过 G28 或 G30 返回参考点的状态下指定。

7 对于 G29 的增量指令，指定值指定的是从中间点开始的增量值。

8 在 G29 移动到中间点和指令点中，都是以快速移动速度进行的。

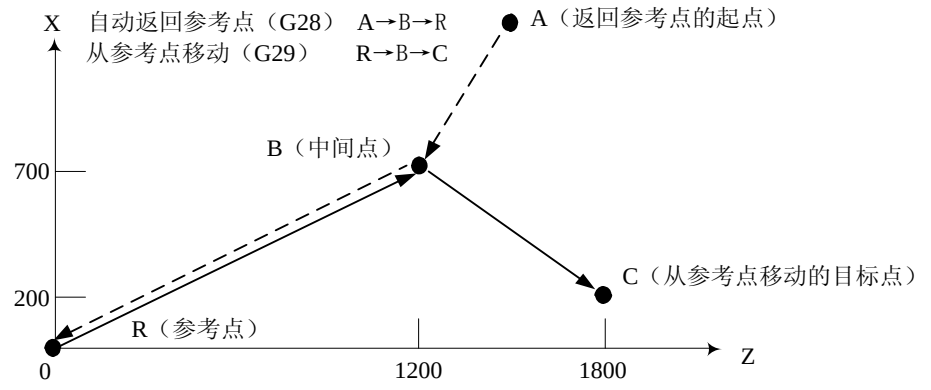
注

1 通电后，如果一次也没进行手动返回参考点，指令 G28 时，从中间点到参考点的运动和手动返回参考点时相同。

2 用 G28 指令通过中间点到参考点后，变更工件坐标系时，中间点也移动到新坐标系。此后指令 G29 时，在新坐标系中，通过中间点在指定的位置定位。

3 G28、G30 指令从中间点到参考点快速移动时，由于各轴运动独立，最终的轨迹往往是折线而非直线。

举例



加工程序

G28 X700.0 Z1200.0 ; （A→B→R 的程序）

…… ;

G29 X200.0 Z1800.0; （R→B→C 的程序）

6.2 自动返回第 2、第 3 参考点（G30）

格式

G30 P2 IP__ ;

返回第 2 参考点（P2 可以省略）

G30 P3 IP__ ;

返回第 3 参考点

IP__：自动返回参考点时途经的中间点坐标，绝对或增量值指定。

解释

1 只有在执行过 G28 或手动返回参考点之后，方可使用返回第 2、3 参考点功能。通常当刀具自动交换（ATC）位置与第 1 参考点不同时使用 G30 指令。

2 第 2、3 参考点的位置由系统参数“第 2 参考点机床坐标”（《连接调试手册》第 136 页 P0511）和“第 3 参考点机床坐标”（《连接调试手册》第 136 页 P0512）设定，参数的含义是第 2、3 参考点相对于第 1 参考点的距离，单位与机床坐标系的单位一致。

3 在第 1 参考点未建立之前，执行了返回第 2、3 参考点指令，则产生报警（PS0093）。

4 指令 G30 时，P 值非 2 或 3，则产生报警（PS0094）。

5 在机床锁住状态，G30 无法从中间点快速定位到参考点，回零灯也不会亮。

6 G30 一般在自动换刀时使用，因此原则上要提前取消刀具半径、长度等补偿量。

6.3 返回参考点检查（G27）

G27 是用来检查为返回参考点而编写的快速移动程序是否能准确返回参考点的功能。

格式

G27 IP__ ;

IP__：指定参考点的坐标（绝对值/相对值指定）。

解释

G27 指令使刀具以快速移动速度定位到 IP 指定的位置。如果刀具到达参考点（机床零点），参考点返回灯点亮，否则产生报警（PS0092）。

7 坐标系

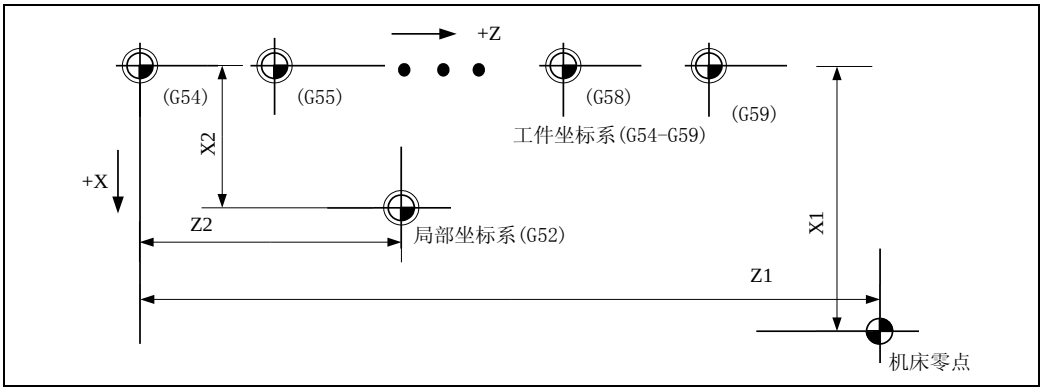
机床工作时，刀具按照加工程序指定的坐标运动到指定位置。坐标值由坐标轴的分量来指定，如X_ Y_ Z_。本系统使用机床坐标系、工件坐标系、局部坐标系之一来指定坐标位置。

1 机床坐标系是以机床上的固定点为原点的，是其他坐标系的基准，一旦建立，系统将其保存，在重新设定前一直有效。

2 工件坐标系是基于机床坐标系中的子坐标系，可以设置和更改其在机床坐标系内的位置。

3 局部坐标系是基于工件坐标系中的子坐标系，可以设置和更改其在工件坐标系内的位置。

各坐标系关系如下图：



7.1 机床坐标系

机床零点（参考点）是机床制造商为机床设定固定基准点。以机床零点为坐标原点的坐标系叫做机床坐标系。

7.1.1 机床坐标系的设定

通常情况下，系统开机后，用户要对机床坐标系进行重新设定。

在对各坐标轴进行手动回零，或由 G28 指令进行返回参考点运动后，系统即可根据机床零点建立机床坐标系。

此坐标系将保存在系统中，直到用户重新设定。

7.1.2 机床坐标系定位（G53）

根据指定的机床坐标，将刀具快速移动到目标位置。

格式

G53 IP__ ;

IP__：目标点在机床坐标系下的绝对坐标

解释

1 由于一般定位指令（G00）只能指定工件坐标系下的目标点，如果用户要将刀具移动到机床的特殊位置时（如换刀位置），用 G53 指令更方便。

2 G53 是非模态 G 代码，仅在当前程序段有效。

3 G53 指令必须是绝对指令。如果是增量指令，则产生报警（PS0241）。

注

1 当指定 G53 指令时，将自动清除刀具半径、长度等补偿量。

2 G53 抑制 G 代码预读。

3 在圆柱插补、极坐标插补、假想轴插补或数字主轴螺纹插补状态下，执行 G53 指令，会产生报警（PS0049）。

7.1.3 快速机床坐标系定位（G153）

格式

G153 IP__ NF__ ;

IP__：目标点在机床坐标系下的绝对坐标

NF__：运动速率

解释

NF 指令的速率对 G153 为模态数据，在非 G153 或 G04 指令段清除。速率上限受参数“最大快速速度”限制。

G153 可加快换刀速度，使用 NF 可以不影响用户指令的进给速率。

G153 指令运动类型为快速运动，使用快速平滑器和快速加减速曲线类型及快速加减速度。可用 CT/AD/AC/DC 指令修改加减速曲线和加减速度。

7.1.4 程序控制加减速度和加减速曲线

用户可以使用 CT，AD，AC 和 DC 指令在加工程序中控制加减速度和加减速曲线类型。

CT：曲线类型，十位数为加速曲线类型，个位数为减速曲线类型。

AD：加减速度

AC：加速度

DC：减速度

AD，AC 和 DC 的单位与加减速度是否用时间表示无关，与公英制无关。不影响螺纹切削段、刚性攻丝切削段、进入数字螺纹控制的程序段。

例

G153 Z200. NF12000. CT11 AD80. ;

编写 G153 换刀程序时，可以指定加减速曲线和加减速度，以便防止用户修改加减速度和加减速曲线后影响换刀时间。

7.2 工件坐标系

加工零件使用的坐标系称为工件坐标系。工件坐标系在加工前需要提前设定，也可以通过移动原点来改变已设定的工件坐标系。

7.2.1 工件坐标系的设定

工件坐标系有三种设定方法：

1 G50 设定工件坐标系

2 自动设定工件坐标系

3 选择 G54~G59 工件坐标系

7.2.1.1 G50 设定工件坐标系

格式

G50 IP__ ;

IP__：指定当前点在设定工件坐标系下的坐标。

工件坐标系的建立方式是使指定坐标值（IP__）成为当前刀具上的点（如刀尖）在设定工件坐标系中的绝对坐标值。

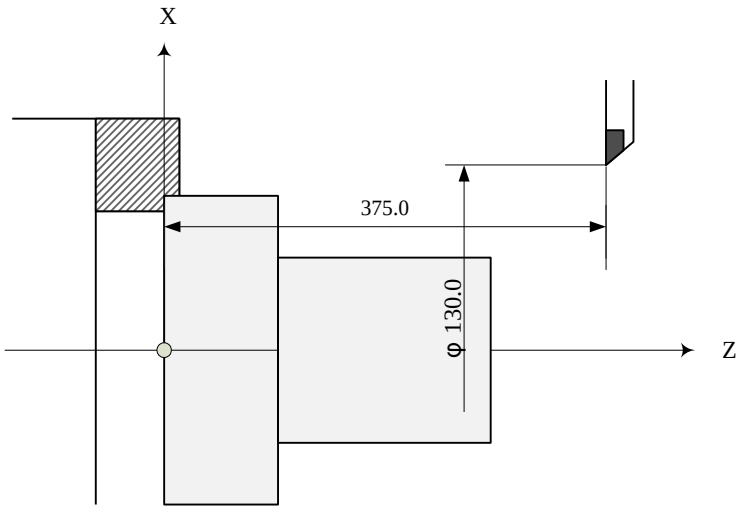
1 IP__为增量值时，指令前刀具坐标值与增量相加，作为 G50 指定的绝对坐标。

2 如果在刀具补偿期间用 G50 设置坐标系，那么刀补前的位置与 G50 设置的位置相符。通常情况下，在指定刀具补偿前请先设定工件坐标系。

3 当用 G50 设置了工件坐标系后，刀尖所处的位置就是 G50 设定的位置。程序中的绝对指令都是以工件坐标系原点为起点来表示的。

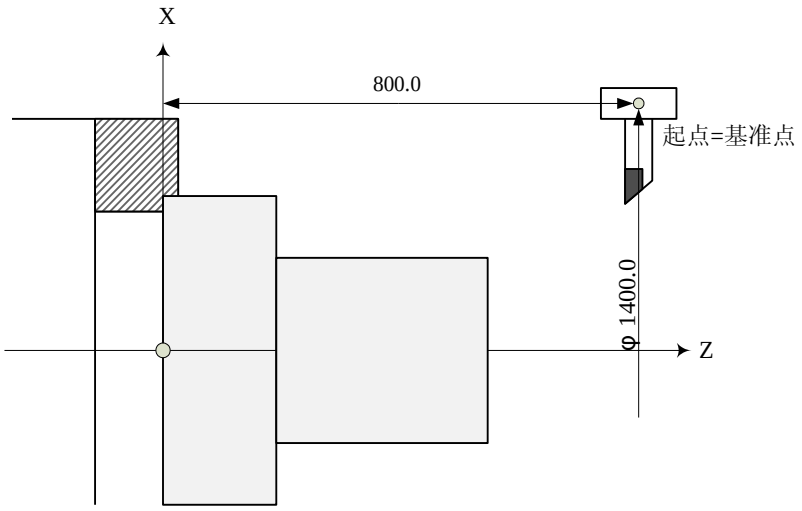
举例

以刀尖为指定点设定工件坐标系



G50 X130.0 Z375.0 ;

以刀架基准点为指定点设定工件坐标系



G50 X1400.0 Z800.0 ;

建立坐标系后，在绝对方式下，指令基准点移动到被指定的位置时，必须加刀具长度补偿，补偿值为基准点到刀尖的差。

7.2.1.2 自动设定工件坐标系

手动或自动返回参考点后，系统将自动设定工件坐标系。如果 α、β、γ 分别为参数“回零后自动坐标系设定的坐标值”（《连接调试手册》第 136 页 P0510）的值，则返回参考点后，刀架基准点或刀尖位置的绝对坐标值为 X=α，Y=β，Z=γ。这样就设定了工件坐标系。此方法与在参考点上执行下面指令设定是等效的。

G50 Xα Zγ ;

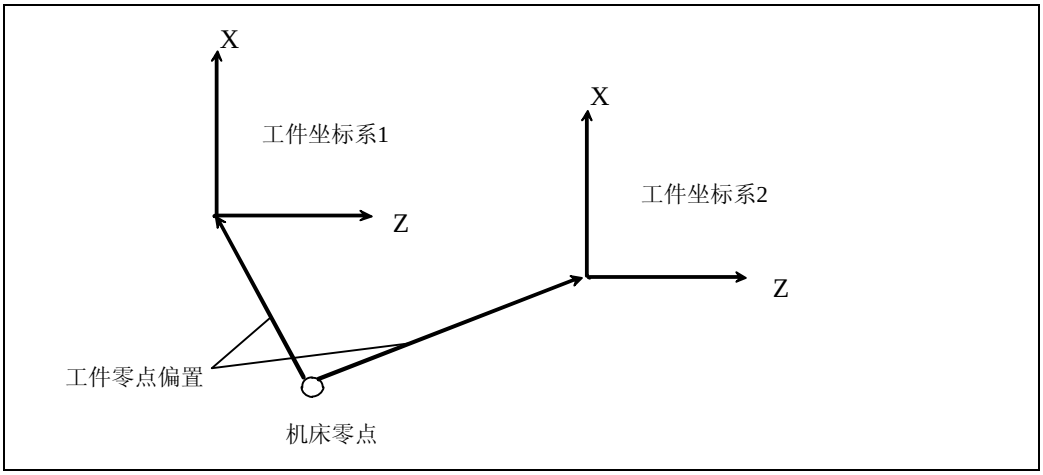
7.2.1.3 选择工件坐标系（G54~G59）

系统提供G54~G59六个基本坐标系，用户可通过系统MDI面板设定各坐标系的工件零点偏置数据，然后选择任意一个工件坐标系。开机后，默认选择 G54 坐标系。

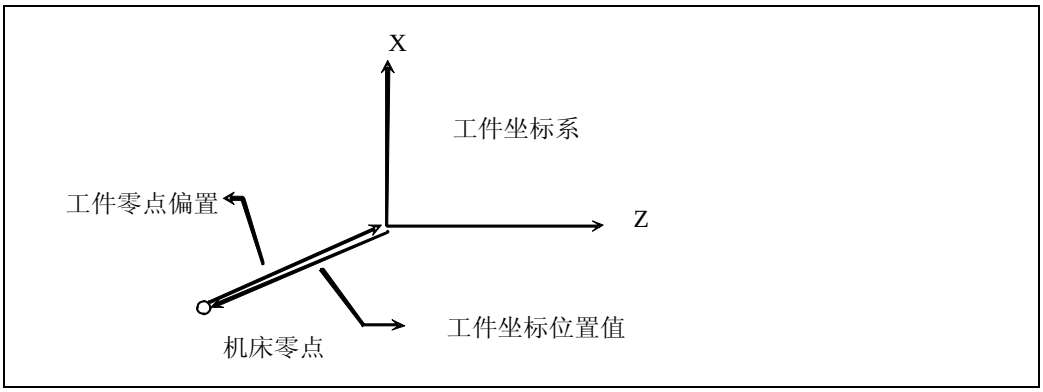
G54	工件坐标系 1
G55	工件坐标系 2
G56	工件坐标系 3
G57	工件坐标系 4
G58	工件坐标系 5
G59	工件坐标系 6

解释

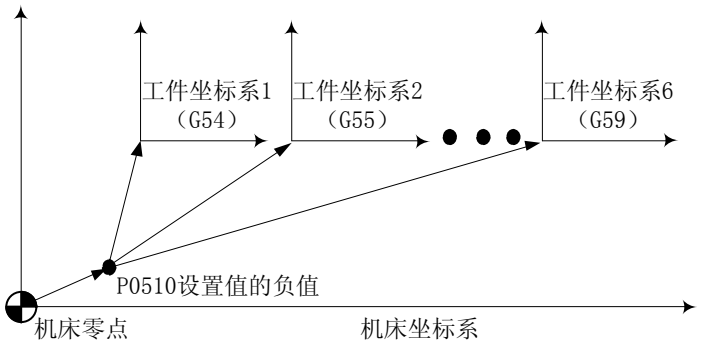
1 这六个工件坐标系是由从机床零点到各自坐标系零点的距离（工件零点偏置）设定的，如下图所示。



2 返回参考点后，绝对位置为工件零点偏置的负值，如下图所示。



3 如果选择了工件坐标系，一般情况下设置参数（P0510）为零。如果设定值不为零，返回参考点后，所有的工件坐标系偏移该参数设定值的负值。

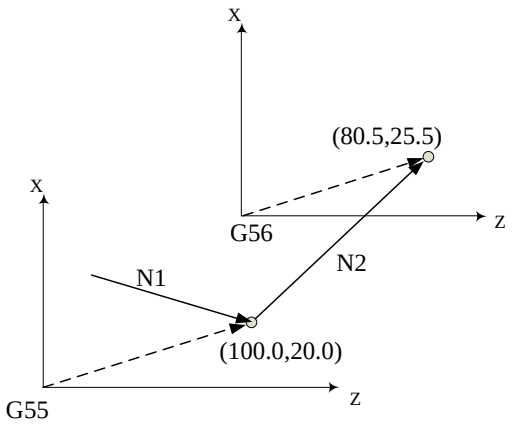


注

1 当选择工件坐标系后，一般不需 G50 设定坐标系。如用 G50 设定则会移动工件坐标系 1~6。因此，勿将 G50 与 G54~G59 混用，除非要移动工件坐标系 1~6。

2 相对位置是否随工件坐标系的设置而改变，取决于参数“PPD”（《连接调试手册》第 145 页 P2300.3）。。

举例



加工程序

N10 G55 G00 X20.0 Z100.0 ;

N20 G56 X25.5 Z80.5;

7.2.2 工件坐标系的移动或变更

选择 G54~G59 工件坐标系后，如果需要移动或变更工件坐标系，可以通过以下两种方法实现：

1 使用系统 MDI 面板修改 G54~G59 数据；

2 在加工程序中使用 G50 或 G10 修改。

7.2.2.1 用 G50 移动工件坐标系

格式

G50 Xα Zγ ;

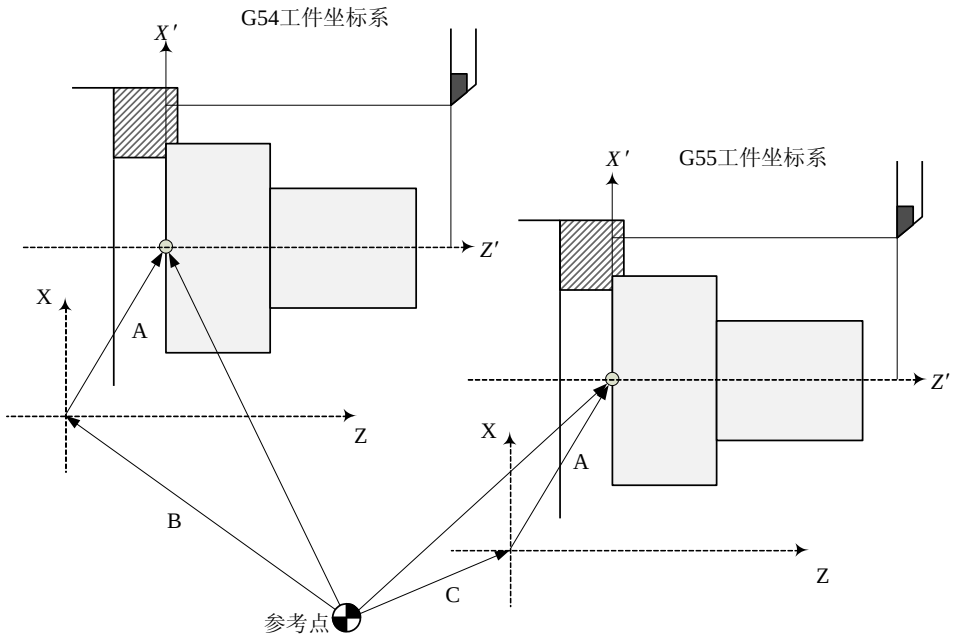
IP__：指定当前点在设定工件坐标系中的坐标。

解释

1 在已选择的工件坐标系（G54~G59）中执行 G50 指令，可以使所有原来的工件坐标系同步发生偏移而产生新的坐标系，所有工件坐标系偏移量相同。

2 如果 G50 指令中，指令的 IP__为增量值，则坐标系偏移量为增量值取反。

举例



X’-Z’：新工件坐标系

X-Z：原工件坐标系

A：由 G50 产生的偏移量

B：G54 中的工件零点偏置量

C：G55 中的工件零点偏置量

7.2.2.2 用 G10 变更工件坐标系

当工件坐标系不足或由于加工程序不同而要求变更工件坐标系时，可使用 G10 指令，代替 MDI 面板手动输入，变更各坐标系的工件零点偏置量。

格式

G10 L2(或 L1) Pp IP__ ;

p：要变更的坐标系选择。p=0~5 对应工件坐标系 G54~G59。

IP__：若是绝对指令，则为每轴的工件零点偏置量；若为增量指令，则将改值加到对应轴的原工件零点偏置量上。

注

如 P 未编入或超出范围时，则产生报警（PS0032）。

7.3 局部坐标系（G52）

当在工件坐标系中编写加工程序时，为了简便，可以在工件坐标系中再设定一个子坐标系。这个子坐标系称为局部坐标系。

格式

G52 IP__； 设定局部坐标系

……

G52 IP0； 取消局部坐标系

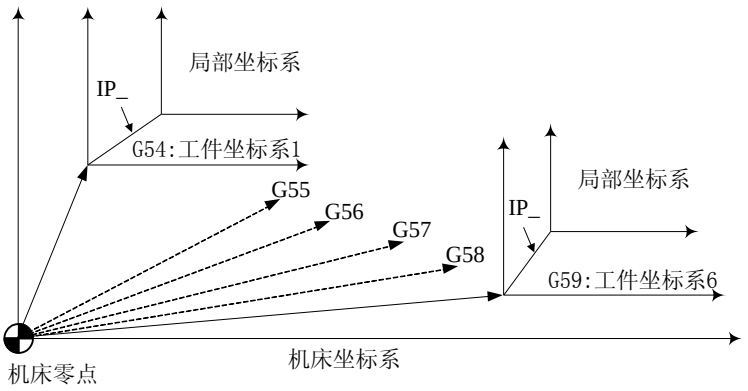
IP__：指定局部坐标系原点在工件坐标系中的绝对坐标。

解释

当设定局部坐标系时，指定的 IP__无论是绝对方式还是相对方式，其数值都表示局部坐标系原点在工件坐标系中的绝对坐标。同时，系统界面显示的绝对坐标也是局部坐标系中的坐标。在工件坐标系中用 G52 指定局部坐标系的新零点，可以改变局部坐标系。

一旦用 G52 指定了局部坐标系，则此局部坐标系将在其对应的工件坐标系中一直有效，直到指令 G52 IP0 ;使局部坐标系零点与工件坐标系零点一致。

与 G50 指令不同，G52 只在其对应的工件坐标系中起作用，如下图所示。



注

1 当一个轴自动或手动返回参考点时，该轴的局部坐标系零点与工件坐标系零点一致，即取消了局部坐标系。这与指令 G52 α0 ;（α：返回参考点的轴）的效果相同。

2 局部坐标系设定不改变工件坐标系和机床坐标系。

3 复位时是否清除局部坐标系，取决于参数的设定。当参数“CLRG52”（《连接调试手册》第 136 页 P0500.6）设置为 1 时，复位时局部坐标系被取消。

4 当用 G50 设定工件坐标系时，局部坐标系被取消。如果未指令所有轴的坐标值，则未指定坐标值的轴的局部坐标系并不取消，而是保持不变。

5 G52 暂时取消刀具半径补偿。

6 G52 程序段执行后，绝对坐标立即显示局部坐标系中的坐标。

7.4 笛卡尔坐标轴设定（G54.9）

空间笛卡尔坐标系的三个坐标轴，通过指令 G54.9 可以修改。主要与极坐标插补、圆柱插补配合使用。

格式

G54.9 Pijk ; **设定笛卡尔坐标轴**

……

G54.9 P0 ;或 G54.9; **恢复默认笛卡尔坐标轴设定**

i/j/k：分别为空间笛卡尔坐标系第 1/2/3 轴。数值为：1~8，分别对应控制轴 1~8。

解释

默认控制轴 1~3 为 X、Z、Y 轴，笛卡尔坐标轴 1~3 为 X、Y、Z 轴，因此默认 G54.9 P132 ;

注

1 该指令必须独占一个程序段。指令时必须处于刀具补偿取消/极坐标取消/比例缩放取消/旋转取消的状态。

2 设定后系统屏幕右下方显示笛卡尔坐标轴的设定。

3 可用于实现任意两轴圆弧插补。

4 非 MDI 方式下复位时，恢复默认笛卡尔坐标轴设定。

举例

XZYC 四轴 T 系列指令：

G54.9 P142 ; 笛卡尔坐标系从 XYZ，转换为 XCZ。

……

G54.9 ; 笛卡尔坐标系从 XCZ，转换回 XYZ。

7.5 平面选择（G17，G18，G19）

用 G 代码进行圆弧插补、刀具半径补偿、坐标旋转缩放、钻孔等平面的选择。

格式

G17 ;

指定 XpYp 平面（笛卡尔坐标系）

G18 ;

指定 ZpXp 平面（笛卡尔坐标系）

G19 ;

指定 YpZp 平面（笛卡尔坐标系）

解释

在没指令 G17，G18，G19 的程序段里，平面不发生变化。

直线移动指令与平面选择无关。

系统开机时，G18（ZpXp 平面）被选定。

注

本手册中带有下标 p 的坐标轴，均指笛卡尔坐标轴。即 Xp、Yp、Zp 分别为笛卡尔坐标轴 1~3。

举例

G18 G01 Z10. X20. F100. ;	选择 ZpXp 平面
Z30. ;	平面不变
G17 Z50. ;	直线移动指令与平面无关

7.6 倾斜平面指定

空间插补指令（包括空间等速螺线和空间等角螺线指令）可以指定一个倾斜平面。具体使用方法请参见 II-4.6.2 和 II-4.6.4

格式

- **格式 1**

NX_ NY_ NZ_

一次性指定倾斜平面的法矢量

- **格式 2**

NI_ NJ_ NK_

模态指定倾斜平面的法矢量

注

1 NX、NY、NZ 分别代表空间笛卡尔坐标系的第 1、2、3 个轴。NI、NJ、NK 同样分别代表空间笛卡尔坐标系的第 1、2、3 个轴。

2 当 NX、NY、NZ 这三个一次性地址符中有一个输入时，那么格式 1 有效。NX0、NY0 或 NZ0 可以省略，但 NX、NY 和 NZ 不能同时为 0。

3 当 NX、NY、NZ 这三个一次性地址符都未输入时，那么格式 2 有效。NI、NJ、NK 是模态地址符，上电时清 0。

4 法矢量可以为任意长度。

8 坐标值和尺寸

8.1 绝对指令和增量指令（G90，G91）

指令轴移动有绝对指令和增量指令两种方法。绝对指令是用轴移动的终点位置坐标值进行编程的方法。增量指令是用轴移动量直接编程的方法。

格式

- **G 代码体系 A**

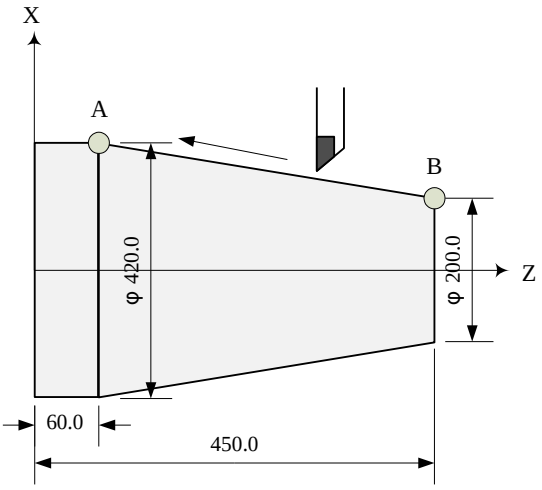
指令轴	绝对指令	增量指令
X 轴移动指令	X	U
Z 轴移动指令	Z	W
Y 轴移动指令	Y	V
C 轴移动指令	C	H

- **G 代码体系 B**

G90 IP__ ;	**绝对指令**
G91 IP__ ;	**增量指令**

举例

刀具从 B 点移动到 A 点，X 轴为直径编程。



指令方式	G 代码体系 A	G 代码体系 B
绝对指令	X420.0 Z60.0 ;	G90 X420.0 Z60.0 ;
相对指令	U220.0 W-390.0 ;	G91 X220.0 Z-390.0 ;

注

G 代码体系 A 中，同轴的绝对指令和增量指令（X 和 U 或者 W 和 Z 等）在一个程序段中不可同时使用；非同轴的绝对指令和增量指令在一个程序段内可以混用。上例也可以编程为：“X420.0 W-390.0 ;”。

8.2 极坐标指令（G15，G16）

坐标值可以用极坐标（半径和角度）输入。

角度的正向是所选平面第 1 轴正向的逆时针转向，而负向是顺时针转向，第 1 轴正向角度为 0。

半径和角度可以用绝对方式或增量方式来指定。

格式

$$\begin{Bmatrix} G17 \\ G18 \\ G19 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G90 \\ G91 \end{Bmatrix} G16;$$

开始极坐标方式

G00 IP__ ;

……

G15 ; **取消极坐标方式**

G16：极坐标开始指令。

G15：极坐标取消指令。

G17/G18/G19：：极坐标平面选择。

G90/G91：在 G16 程序段中，G90 指定工件坐标系的零点作为极坐标系中心；G91 指定当前位置作为极坐标系中心。G 代码体系 A，由于不能指令 G90 和 G91，故只能指定工件坐标系的零点作为极坐标系中心。

IP__：指定极坐标系选择平面的轴地址及其值。第 1 轴指定半径，第 2 轴指定角度。

解释

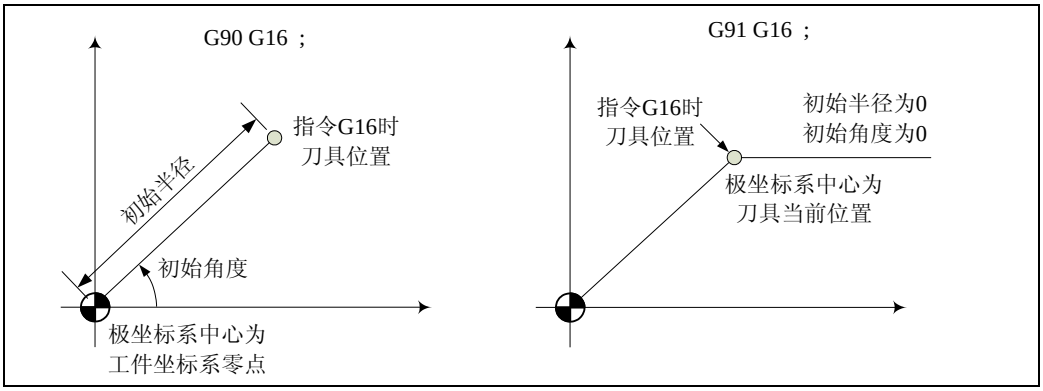
- **极坐标系的建立**

1 新建极坐标系中心的位置由 G16 程序段中指令 G90 还是 G91 决定，并且在重新指令 G16 前不会改变。

2 当 G16 程序段中指令 G90 时，工件坐标系零点成为极坐标系中心，当使用局部坐标系 G52 时，局部坐标系零点成为极坐标系中心。同时自动计算当前刀具位置在新建极坐标系中的半径和角度，作为极坐标系的起始半径和角度。

3 当 G16 程序段中指令 G91 时，刀具当前位置成为极坐标系中心，极坐标系的起始半径和角度皆为 0。

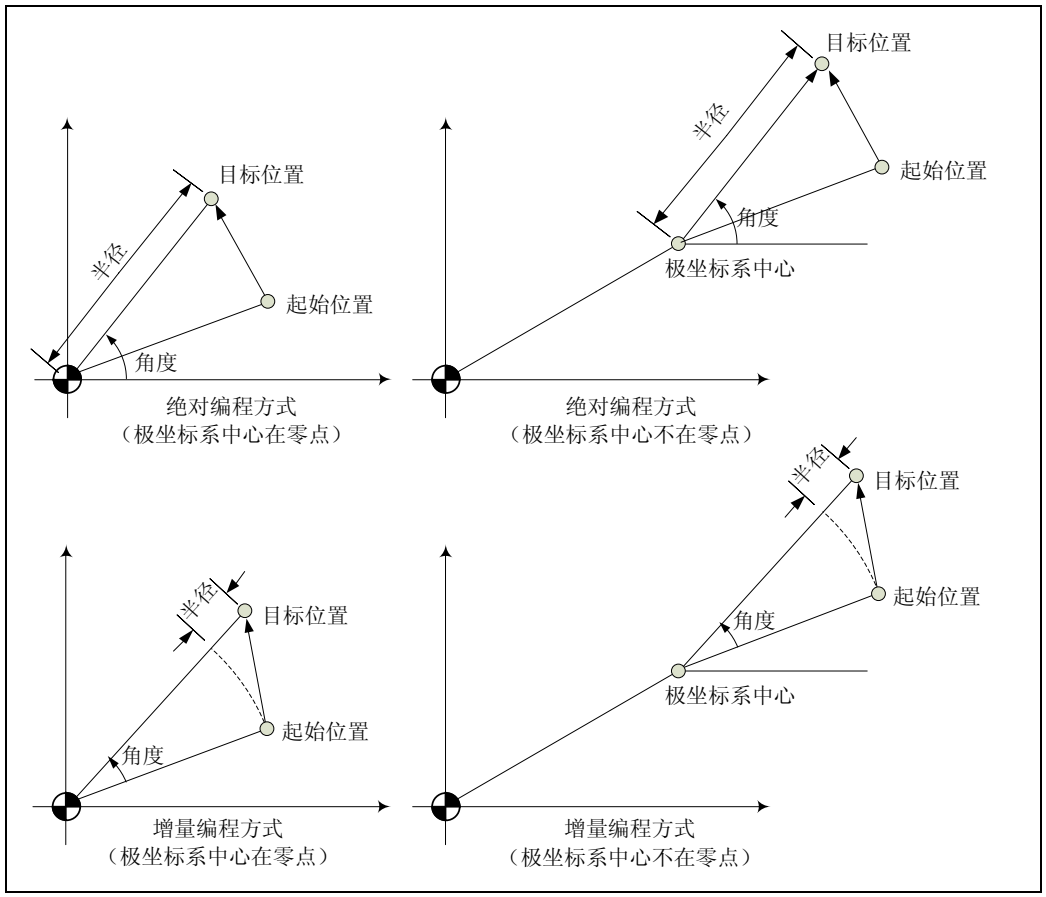
4 分别在绝对和增量方式下，建立极坐标系，示意图如下。



- **半径和角度的指定**

1 半径和角度是绝对指令还是增量指令，由当前程序段状态为 G90 还是 G91 决定。

2 分别在绝对和增量方式下，指定极坐标半径和角度的示意图如下。



限制

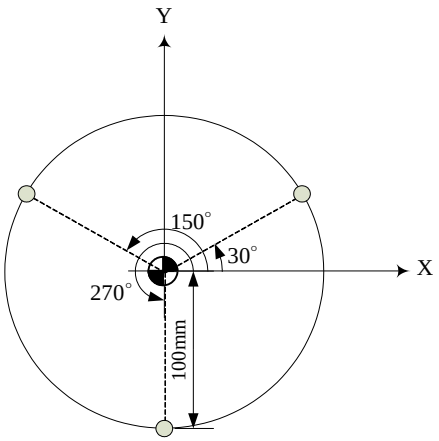
- **极坐标方式下圆弧和螺旋插补**

  在极坐标方式下，圆弧插补或螺旋线插补（G02，G03）时，使用 R 来指定半径。

- **极坐标方式下指令轴不受极坐标影响的指令包括：**
  - 暂停（G04）
  - 可编程数据输入（G10）
  - 局部坐标系设定（G52）
  - 工件坐标系移动（G50）
  - 机床坐标系定位（G53）
  - 坐标旋转（G68）
  - 比例缩放（G51）

举例

加工螺栓孔（半径编程，G 代码体系 B）



用绝对方式指定角度和半径

N1 G17 G90 G16 ; 指定极坐标指令和选择 XY 平面，设定工件坐标系的零点作为极坐标系的原点。

N2 G81 X100.0 Y30.0 Z-20.0 R-5.0 F200.0 ; 指定半径 100mm，角度 30deg

N3 Y150.0 ; 指定半径 100mm，角度 150deg

N4 Y270.0 ; 指定半径 100mm，角度 270deg

N5 G15 G80 ; 取消极坐标指令

用增量方式指定角度而用绝对方式指令半径

N1 G17 G90 G16 ; 指定极坐标指令和选择 XY 平面，设定工件坐标系的零点作为极坐标系的原点。

N2 G81 X100.0 Y30.0 Z-20.0 R-5.0 F200.0 ; 指定半径 100mm，角度 30deg

N3 G91 Y120.0 ; 指定半径 100mm，角度+120deg

N4 Y120.0 ; 指定半径 100mm，角度+120deg

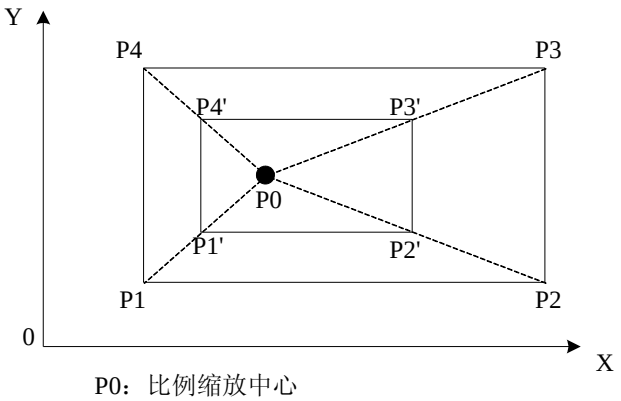
N5 G15 G80 ; 取消极坐标指令

8.3 比例缩放（G50，G51）

编程形状成比例的放大或缩小，称为比例缩放。

G 代码体系 B 支持此功能，体系 A 不支持。

各轴放大或缩小的比例可以相同，也可以不同。比例可以在程序中指定，也可以用参数指定。如下图所示。



P0：比例缩放中心

P1~P4：加工程序的形状（比例缩放前）

P1'~P4'：比例缩放后的形状

格式

- **沿所有轴以相同比例缩放**

G51 IP__ P__ ; **缩放开始**

……

G50 ; **缩放取消**

IP__：比例缩放中心坐标值的绝对值指令。

P__：缩放比例。

- **沿各轴以不同比例缩放（镜像）**

G51 IP_ I_ J_ K_ ; **缩放开始**

……

G50 ; **缩放取消**

IP__：比例缩放中心坐标值的绝对值指令。

I_ J_ K_：X、Y、Z 各轴对应的缩放比例。

解释

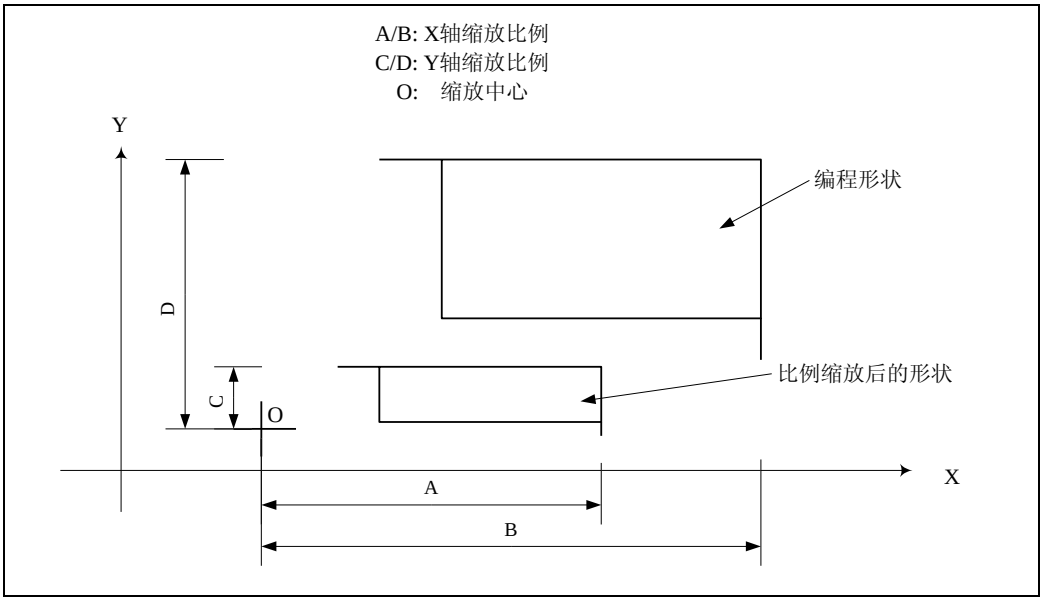
- **以相同比例沿所有轴缩放**

在这种方式下，P__必须输入，否则被认为是各轴比例缩放（I、J、K）格式。如果省略 IP__，则以指令 G51 时的刀具位置作为缩放中心。

缩放比例 P 单位为 0.001，与系统最小单位无关，与公英制无关。

- **沿各轴比例缩放与可编程镜像（负的比例）**

各轴用不同的比例缩放，如下图所示。



各轴的比例（I、J、K）的最小输入单位为该轴的最小输入单位。建议输入时带小数点，以便加工程序在最小输入单位不同的系统上运行。

如果设置负值，则成为镜像。

如果某一轴未使用 I/J/K 指定比例，则参数“比例缩放指令 G51 的缩放比例”（《连接调试手册》第 160 页 P3611）设定值有效。

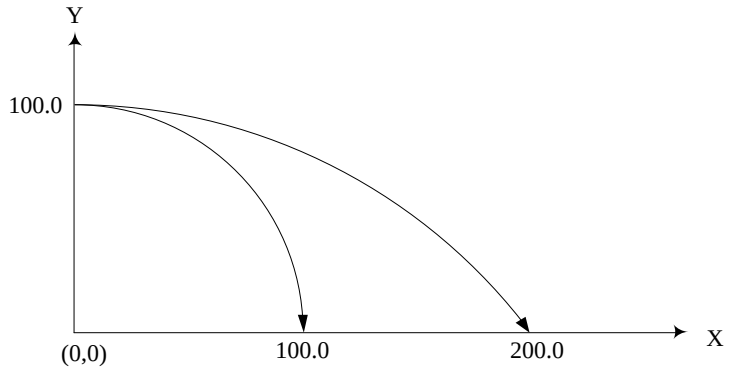
注

使用 G54.9 变换笛卡尔坐标系以后，再使用 G51 缩放指令时，请不要使用参数 P3611，应使用 IJK 方式指令每一个轴的缩放系数，或使用 P 指令各轴一致的缩放系数，否则变换结果将与期望不同。

- **圆弧插补的比例缩放**

即使对圆弧插补的各轴指定不同的缩放比例，刀具也不会画出椭圆轨迹。

当各轴的缩放比例不同，圆弧插补用半径 R 编程时，其插补的图形如下图所示（X 轴的比例为 2，Y 轴的比例为 1）。圆弧终点根据缩放中心和比例，在 X 方向放大到 2 倍，圆弧半径取缩放比例中的最大值，放大至 2 倍。



G90 G00 X0.0 Y100.0 ;
G51 X0.0 Y0.0 I2.0 J1.0 ;
G02 X100.0 Y0.0 R100.0 F500.0 ;
上述指令与下面的指令效果相同
G90 G00 X0.0 Y100.0 ;
G02 X200.0 Y0.0 R200.0 F500 ;
半径R的缩放比例取I和J两者中的大值

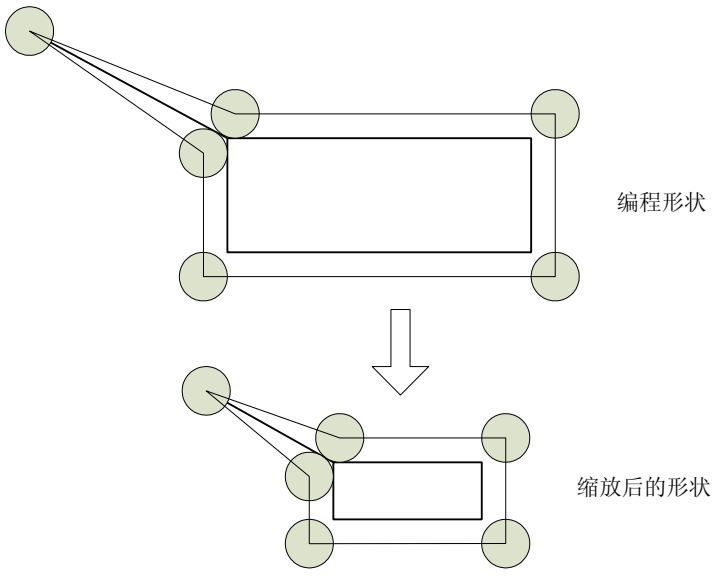
当各轴的缩放比例不同，圆弧插补用 I、J、K 编程时，圆弧终点根据缩放中心和比例确定位置，圆弧中心根据缩放后的 I、J、K 得到，通常这样会使圆弧起始半径和终点半径不同，易产生报警（PS0200）。因此，对于圆弧插补的比例缩放，建议用户不要使用 I、J、K 指定圆心编程。

- **参数 EMPNM 对比例缩放的影响**

当参数“EMPNM”（《连接调试手册》第 160 页 P3600.0）设置为 1 时，如果未指定笛卡尔坐标轴（1~3 轴），那么不进行坐标变换，1~3 轴不移动。通常情况应将该参数设置为 1，以防止空行因坐标变换而产生移动。

- **刀具半径补偿**

刀具半径补偿值不缩放，如下图所示。



刀具半径补偿值不缩放

- **刀具长度补偿**

  刀具长度补偿应在 G50 状态进行。G51 状态时，不应指令长度补偿指令，也不应通过 G10 修改长度补偿值。

- **比例缩放无效**

  以下几种情况，比例缩放无效：

  - 在固定循环（G83.5、G84.5、G86.5、G81~G89）中，Z 轴移动的缩放无效。
  - 深孔钻循环（G83，G83.5）的切入值 q 和返回值 d 的缩放无效。
  - 精镗循环（G86.5）、反镗循环（G87）中 X 轴和 Y 轴偏移值 q 的缩放无效。
  - 手动运行时，移动距离不能用缩放功能增减。

- **关于参考点和坐标系的指令**

  在缩放状态，不能指令返回参考点的 G 代码（G27~G30）和指令坐标系的 G 代码（G52~G59、G50），也不能通过 G10 修改当前工件坐标系。若必须指令这些 G 代码，应在取消缩放功能后指令。

注

1 G 代码体系 A 中没有比例缩放功能。

2 必须在单独程序段内指定 G51。在图形缩放后，指定 G50 取消缩放方式。

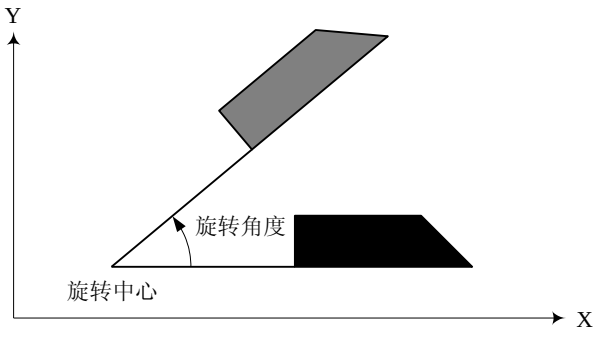
3 如果在指定 G50 取消缩放方式时 G68.1 有效，那么由于当前位置在比例缩放取消后发生变化，即便 G50 单独一段，也可能会有运动。这时应在指令 G50 前回到缩放中心或同时指令 G50 和 G69.1。

4 如果比例缩放的结果被四舍五入，移动量可能为 0。此时，该程序段被认为是不移动的程序段。

5 倒角/过渡圆尺寸值不随比例缩放变化，缩放后可能会触发报警 PS0055。

8.4 坐标旋转（G68.1，G69.1）

使用坐标旋转指令，可将工件旋转某一指定的角度，以便于加工在位置上需要旋转的工件。另外，如果工件的形状由多个相同的图形圆周排列组成，可先将图形单元编成子程序，然后用主程序的旋转指令调用。这样可节省用户编程时间和系统存储空间。示意图如下。



格式

- **工件绕平行于坐标轴的直线旋转**

$$G68.1\begin{Bmatrix} G17 & X\alpha & Y\beta \\ G18 & Z\gamma & X\alpha \\ G19 & Y\beta & Z\gamma \end{Bmatrix} R\theta;$$

坐标旋转开始

……

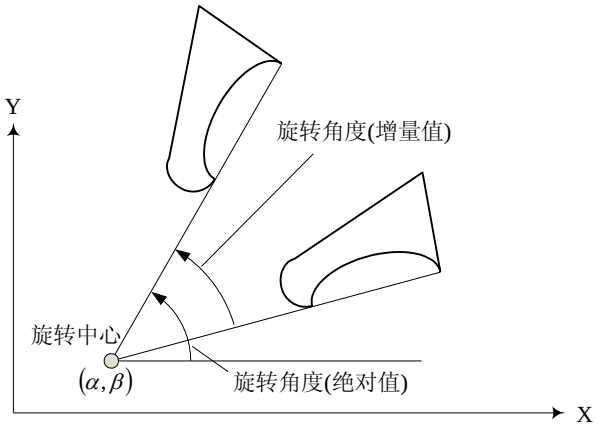
G69.1 ; **坐标旋转取消**

$G17$ $X\alpha$ $Y\beta$：工件绕平行于 Z 轴的直线$\begin{cases} X=\alpha \\ Y=\beta \end{cases}$旋转

$G18$ $Z\gamma$ $X\alpha$：工件绕平行于 Y 轴的直线$\begin{cases} Z=\gamma \\ X=\alpha \end{cases}$旋转

$G19$ $Y\beta$ $Z\gamma$：工件绕平行于 X 轴的直线$\begin{cases} Y=\beta \\ Z=\gamma \end{cases}$旋转

$R\theta$：工件绕指定直线旋转θ度，遵循右手法则，逆时针为正。回转角根据当前编程处于绝对方式还是增量方式，来确定是绝对值还是增量值。编程平面的初始角度为绝对值 0 度。



- **工件绕空间任意直线旋转**

G68.1 Xα Yβ Zγ Iμ Jν Kω Rθ; **坐标旋转开始**

……

G69.1 ; **坐标旋转取消**

空间直线$\overline{AB}$（A（α, β, γ），B（μ, ν, ω））为旋转轴，工件形状绕该轴旋转。

注

当 G68 与 Xp、Yp、Zp（笛卡尔坐标系三轴）、I、J、K 六个地址同时输入时，系统按格式 2（绕空间任意直线旋转）理解；否则，系统按格式 1（绕平行于坐标轴的直线旋转）理解。

解释

- **平面选择 G 代码：（G17、G18 或 G19）**

用户应在 G68.1 程序段之前指定平面选择代码（G17、G18 或 G19），不能在 G68.1 程序段中指定平面选择代码。

- **旋转中心**

当没有指定旋转中心时，旋转中心默认为指令 G68.1 时的刀具位置。

- **角位移**

  若程序中未编制 R 值，则参数 P3610 中的值被认为是角度位移值。

- **坐标旋转取消指令**

  G69.1 可以指定在其它指令的程序段中。

- **刀具补偿**

  在坐标旋转之后，可执行刀具半径、长度补偿操作。

限制

- **与返回参考点和坐标系有关的指令**

  在坐标旋转方式中，与返回参考点有关 G 代码（G27~G30）和与坐标系有关的 G 代码（G52~G59、G50 等）不能指令。这些 G 代码只有在取消坐标旋转方式后才能指令。

- **增量值指令**

  指令 G69.1 后的第一个移动指令必须用绝对方式指定。如果用增量值指令，将不会执行正确的移动。

- **工件绕空间任意直线旋转时的圆弧插补**

  除非旋转轴$\overrightarrow{AB}$与坐标轴平行，否则旋转后的图形可能不是用户需要的。请尽量不要在工件绕空间任意直线旋转时进行圆弧插补。

- **参数 EMPNM 的影响**

  当参数“EMPNM”（《连接调试手册》第 160 页 P3600.0）设为 1 时，如果未指定笛卡尔坐标轴（1~3 轴），那么不进行坐标变换，1~3 轴不移动。通常情况应将该参数设置为 1，以防止空行因坐标变换而产生移动。

> **注**
>
> 如果在指定 G69.1 取消坐标旋转方式时，G51 有效，那么由于当前位置在坐标旋转取消后发生变化，即使 G69.1 单独一段，也可能会有运动。这时应在指令 G69.1 前回到旋转中心或同时指令 G50 和 G69.1。

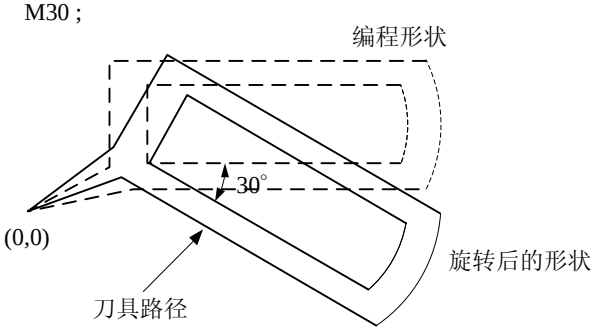
举例

- **刀具半径补偿和坐标旋转**

  在刀具半径补偿中可以指定 G68.1/G69.1。旋转平面必须与刀具半径补偿的平面一致。

（半径编程）

```
G50 X0 Z0 G69.1 G18 T0101 ;
G01 G41 X100 Z100 F2000 ;
G68.1 R-30. ;
G01 U500 ;
G02 W100 R50 F500 ;
G01 U-500 F2000 ;
G01 W-100 ;
G69.1 G40 X0 Z0 ;
M30 ;
```

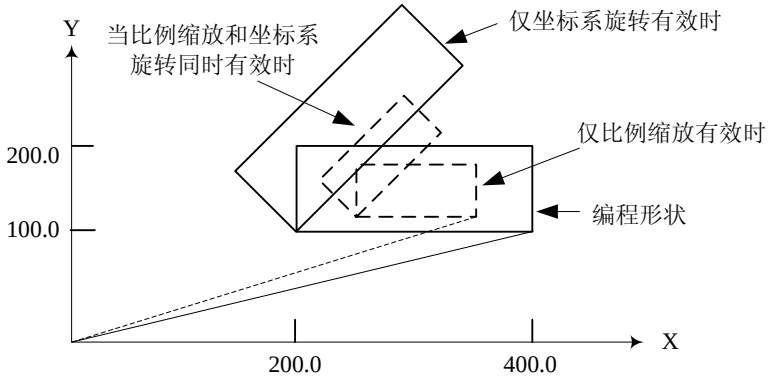


- **比例缩放和坐标旋转**

如果在比例缩放方式（G51）中执行坐标旋转指令（G68.1），旋转中心的坐标值也被缩放。但是，不缩放旋转角。

（半径编程，G代码体系B）

```
G90 G17 X0 Y0;
G51 X300.0 Y150.0 P500;
G68.1 X200.0 Y100.0 R45.0;
G90 G01 X400.0 Y100.0;
G91 Y100.0;
X-200.0;
Y-100.0;
X200.0;
```



- **坐标旋转的重复指令**

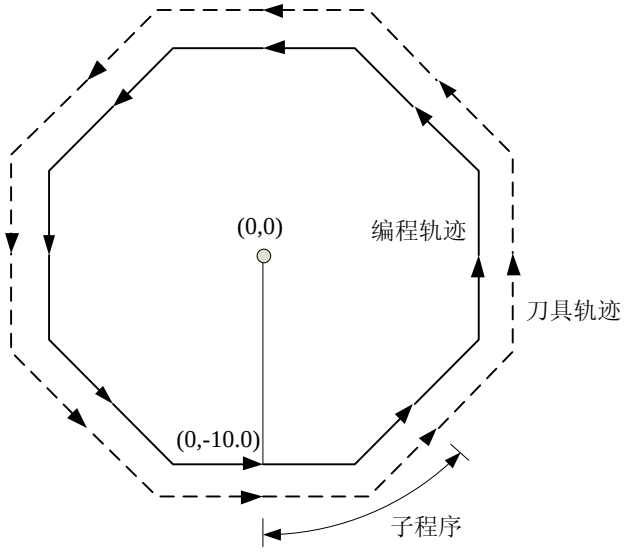
可将一个程序作为子程序存储，通过改变角度来多次调用子程序。

（半径编程，G代码体系B）

```
G92 X0 Y0 G69.1 G17;
G01 F200 T0101;
M98 P2100;
M98 P072200;
G00 G90 X0 Y0;
M30;

O2200;
G68.1 X0 Y0 G91 R45.0;
G90 M98 P2100;
M99;

O2100;
G90 G01 G42 X0 Y-10.0;
X4.142;
X7.071 Y-7.071;
G40;
M99;
```



8.5 英制与公制的转换（G20，G21）

用 G20 和 G21 来选择系统数据的输入单位（最小设定单位或最小编程单位）是英制还是公制。

格式

G20 ;	**英制输入**
G21 ;	**公制输入**

解释

G20 或 G21 要在程序开头，坐标系设定之前，用单独的程序段指令。指令之后，输入数据的单位就成为对应的英制或公制最小设定单位（参见 II-2.4）。下列数据的单位会根据 G20 或 G21 指令变化：

- F 指定的进给速度值
- 位置相关的指令值
- 工件坐标系零点偏置值
- 刀具补偿值
- 手摇脉冲发生器 1 个刻度的值
- 单步进给的移动量。
- 部分参数值

注

1 当参数“INCV”（《连接调试手册》第 126 页 P0001.5）设为 0 时，系统数据输入单位的公英制与参数“SCW”（《连接调试手册》第 132 页 P0400.3）一致，不受 G20 和 G21 的控制。

2 开机时，G20 或 G21 保持上次关机前的状态。

3 在加工程序运行时，不要中途转换 G20 和 G21 的状态。

4 当最小移动单位和最小输入单位不同时，出现的最大误差只是最小移动单位误差的一半，此误差不累积。

5 G20 和 G21 切换时，要根据新的输入单位修改工件零点偏置和刀具补偿。

8.6 小数点编程

数值可以带小数点输入。对于表示距离、时间和速度单位的指令值可以使用小数点，这样的地址值如下所示。

X，Y，Z，U，V，W，A，B，C，I，J，K，Q，R，F，E，H，NX，NY，NZ，NU，NV，NW，NA，NB，NC，NI，NJ，NK，NQ，NR，NF，NE，ND，NH，NL，NO

根据不同地址和指令，小数点的位置可以是毫米、英寸、度或秒的位置。

解释

- **有无小数点处理**

系统对有无小数点的处理完全不同。有小数点时，单位为毫米、英寸、度或秒，无小数点时，单位为最小输入单位。

例

G21 ;	公制输入，默认位置地址最小输入单位 0.001mm。
X1. ;	X 位置为 1mm。
X1 ;	X 位置为 0.001mm。
G20 ;	英制输入，默认位置地址最小输入单位 0.0001inch。
X1. ;	X 位置为 1inch。
X1 ;	X 位置为 0.0001inch。

- **有无小数点混用**

有小数点的数值和无小数点的数值可以混用。

例

```
X1000 Z23.7 ;
X10. Z22359 ;
```

- **最小输入单位限制**

如果指定的数值小于最小输入单位时，则最小输入单位以后的数字被舍去。

例

指定 X1.23456 时，在默认情况下，对于公制输入，按 X1.234 处理；对于英制输入，按 X1.2345 处理，并且数字位数不能超过允许数据位数（7~9）。

输入带小数点的数值时，系统会根据最小输入单位将它改写成整数，并进行位数校验，如果超过允许数据位数，则产生报警（PS1204）。

例

X1234567.8→X1234567800（公制输入），此时超过 9 位数，产生报警。

- **默认小数点（PODI）**

使能参数“PODI”（《连接调试手册》第 149 页 P2500.3），可以使具有小数点编程功能的地址在编程时，如果没有编入小数点，则自动在数值最后添加小数点。

例

X100 自动认为是 X100.0，即 100mm。此时，如果想编程 100μm，应输入 X0.1，而不能输入 X100。

- **强制输入小数点（POD）**

使能参数“POD”（《连接调试手册》第 149 页 P2500.3），强制可带小数点的地址必须编入小数点。如果没有编入小数点，则产生报警（PS1202）。

- **暂停指令（G04）**

指定暂停时，地址 X 可以输入小数点，但地址 P 不能用小数点。

使用暂停指令时，在一个程序段内要先指定 G04。

例

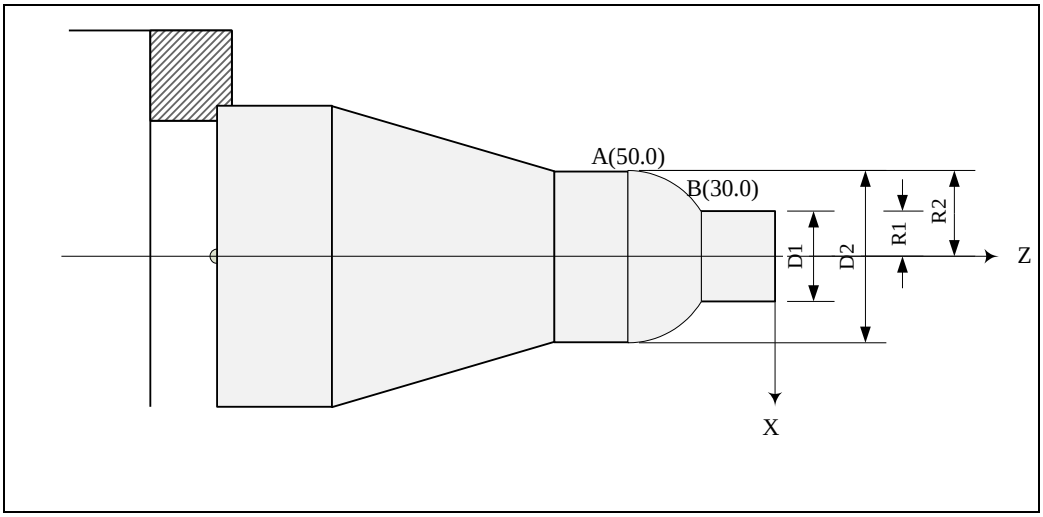
X1.0 G04 ; X 地址作为位置地址处理，X1.0 在公制单位下暂停 1 秒，英制单位下暂停 10 秒。

G04 X1.0 ; X 地址作为时间地址处理，X1.0 相当于 X1000，结果暂停 1 秒。

8.7 直径和半径编程（G10.9）

8.7.1 直径指定和半径指定

T 系列在编写加工程序时，因为零件截面一般都是圆形，所以有直径指定和半径两种指定方法。如下图所示。



直径编程	半径编程
O0001 ;	O0001 ;
G00 X0. Z2. ;	G00 X0. Z2. ;
G01 Z0. F200. ;	G01 Z0. F200. ;
X30. ;	X15. ;
W-10. ;	W-10. ;
G03 X50. W-10. R10. ;	G03 X25. W-10. R10. ;
G00 X60. ;	G00 X30. ;
Z50. ;	Z50. ;
M30 ;	M30 ;

解释

如上述程序，当选择半径编程时，X 轴的坐标使用半径值指定；选择直径编程时，X 轴的坐标使用直径值指定。两种方式可通过参数“XRC”（《连接调试手册》第 127 页 P0003.0）或 G 代码（G10.9）选择。

- **直径指定时的注意事项**

项目	注意事项
Z 轴指令	与直径、半径无关
X 轴指令	用直径指令
地址 U 的增量指令	用直径指令
坐标系设定（G50）	用直径指令 X 轴坐标值
刀具补偿量的 X 轴的值	用参数“ORC”（《连接调试手册》第 155 页 P3200.4）指定直径编程或半径编程
单一型固定循环中 X 轴的切深量	用半径值指令
圆弧插补的半径指令（R、I、K）	用半径值指令
X 轴方向的进给速度	用半径变化/min 或半径变化/rev 指令
X 轴的位置显示	用直径值显示

注

1 在说明书中，如果没有特别指出直径或半径指定，那么，当直径指定时，X 轴为直径值，当半径指定时，X 轴为半径值。

2 关于刀具补偿使用直径的意义，是指当刀具补偿量改变时，工件外径的直径值变化。如果不换刀具，补偿量改变 10mm，则切削工件外径的直径值改变 10mm。

3 关于刀具补偿使用半径的意义，是指刀具本身的长度。

8.7.2 直径和半径可编程切换（G10.9）

可利用 G10.9 切换直径编程和半径编程方式。

格式

G10.9 X0 ;	**X 轴半径编程**
G10.9 X1 ;	**X 轴直径编程**

注

1 G10.9 指令必须独占一个程序段。

2 非 MDI 方式复位时，自动复位为参数“XRC”（《连接调试手册》第 127 页 P0003.0）设定的编程状态。

3 参数 XRC 与之前版本的区别是：更改参数 XRC 后不用更改电子齿轮比，X 轴半径编程和直径编程时的最小移动单位一样。

4 当 X 轴当前的编程状态与位参数 XRC 设定的编程状态不一致时，系统在屏幕上方中间显示当前的编程状态。

9 测量机能

9.1 跳跃机能（G31）

在 G31 中指定进给轴的移动，可以执行与 G01 相同的直线插补。如果在轴移动过程中系统接收到了跳跃信号，则终止执行剩余运动，而开始执行下个程序段。该机能主要用于由外部信号控制的加工跳转情况，或用来测量工件的尺寸。

格式

G31 IP__ F__ ;

G31：跳跃指令，非模态，仅在本程序段中有效。

IP__：指定移动终点坐标。

F__：指定进给速度。

解释

- **跳跃信号**

来自高速输入接口 HDI2（X8.2）或 G11.7。

- **进给速度**

参数“SKPF”（《连接调试手册》第 163 页 P4500.7）可以选择 G31 是以参数设定的速度进给还是以 F 指令的速度进给。当 SKPF 设为 1 时，以“G31 低速速度”（《连接调试手册》第 164 页 P4510）作为进给速度。

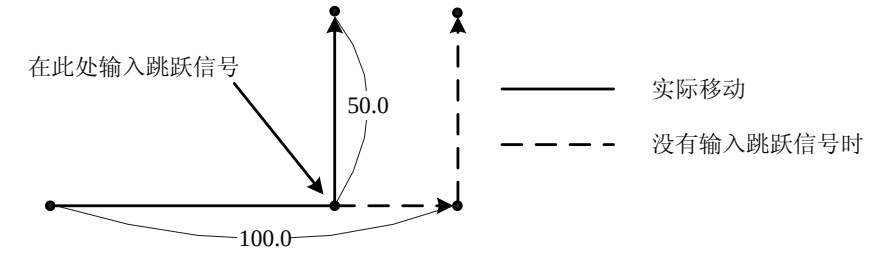
- **跳跃点位置**

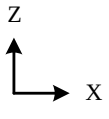
跳跃信号为 ON 时，读取宏变量#5041~#5048 的值可以获得跳跃点的绝对坐标值，方便测量。在移动量不明确时，也可以使用跳跃机能。

举例

- **G31 后程序段是增量指令**

从跳跃信号中断的位置用增量值运动。同时将跳跃点 X 轴绝对坐标保存到宏变量#1 中。





（G代码体系A）

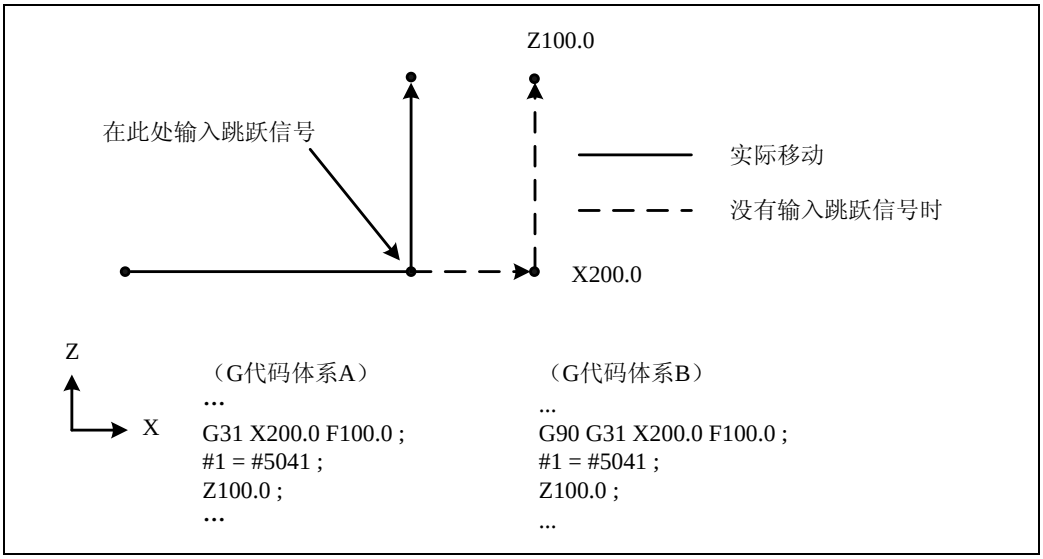
```
…
G31 U100.0 F100.0 ;
#1 = #5041 ;
W50.0 ;
…
```

（G代码体系B）

```
...
G91 G31 X100.0 F100.0 ;
#1 = #5041 ;
Z50.0 ;
...
```

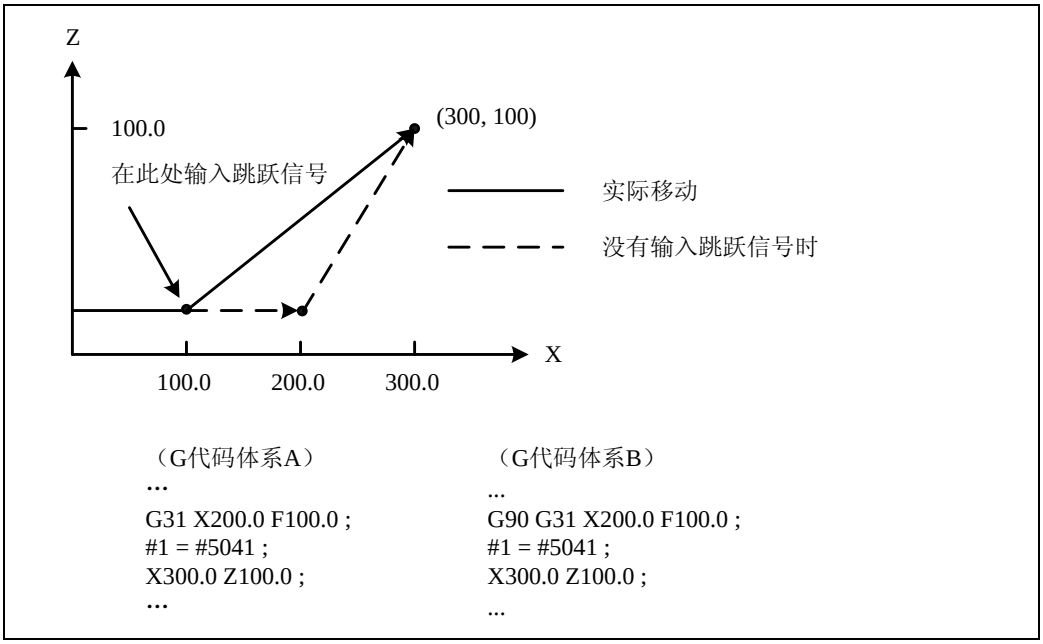
- **G31 后用绝对指令只指定 1 个轴**

指令轴移动至指令位置，没有指定的轴保持在跳跃信号输入位置。同时将跳跃点 X 轴绝对坐标保存到宏变量#1 中。



- **G31 后用绝对指令指定 2 个轴**

无论跳跃信号从什么时候输入，刀具都移动至下个程序段指定的位置。同时将跳跃点 X 轴绝对坐标保存到宏变量#1 中。



9.2 多级跳跃机能

当参数“SKPN”（《连接调试手册》第 130 页 P0006.4）设为 1 时，多级跳跃机能有效。G31 指令再增加 5 个跳跃信号。

格式

G31 IP__ F__ P__ ;

G31：跳跃指令，非模态，仅在本程序段中有效。

IP__：指定移动终点坐标。

F__：指定进给速度。

P__：跳跃信号编号。范围 1~5。P1~P5 分别对应跳跃信号 SKP1~SKP5。P 未输入或输入 P0 时使用原 G31 信号，超出 0~5 范围则触发 PS340 号报警。

解释

- **跳跃信号**

使用总线 IO 模块 1 的低 5 位输入点。默认情况下总线 IO 模块的起始地址偏移为 12，那么跳跃信号使用 X12.0~X12.4。

各跳跃信号的有效电平可以由参数 P4501 设置。

- **进给速度**

参考章节 II-9.1 说明。

- **跳跃点位置**

参考章节 II-9.1 说明。

9.3 自动刀具测量补偿（G36，G37）

当用 G36 或 G37 指令刀具移动到测量位置时，系统自动计算当前坐标值与指令测量坐标值之间的差值，并将此值作为刀具补偿量。在刀补状态下执行 G36 或 G37 时，计算出的测量结果用于更新补偿量，使当前补偿量变为新补偿量。

格式

G36 IPa ;

G36：自动刀具测量指令。也可以使用 G37，G36 与 G37 功能完全相同，与测量轴无关。

IPa：指定测量轴位置的绝对坐标。只能指定 1 个轴，如 Xa、Ya、Za 等。

解释

- **坐标系**

因为测量位置使用绝对编程指令，所以在指令 G36 或 G37 前，必须预先设定好工件坐标系。

- **移动至测量位置**

在 MDI 或 AUTO 方式，首先调用刀具，然后用 G36 或 G37 指令将刀具移动至测量位置。注意只能指定一个轴，同时测量位置必须是绝对指令，否则报警（PS0083）。

G36 或 G37 指令执行时，刀具以快速进给向测量位置移动，在中途降低进给速度，然后继续移动直到从测量仪器发出终点到达信号为止。即当刀尖到达测量位置时，测量仪器传送一个信号至系统使刀具停止。

测量输入信号与相应轴减速信号共用输入点，如 PLC 接口 X0.5、X1.5 等。参数“DECI”（《连接调试手册》第 143 页 P2105.0）对测量输入信号同样有效，但不进行滤波处理。

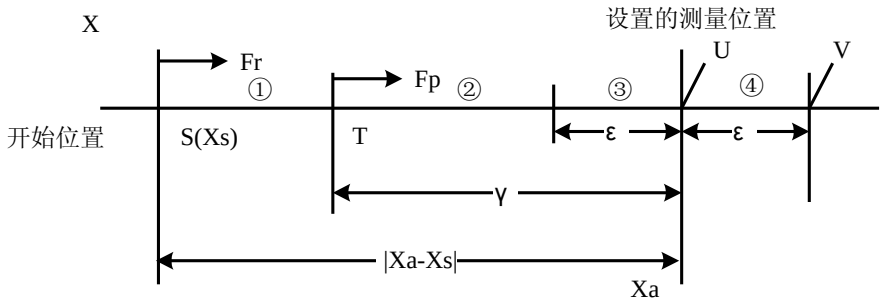
- **补偿**

在刀补状态下，刀补被进一步补偿，其补偿量是刀具测量位置的坐标值 α 与 G36 或 G37 指令指定的 a 值之间的差值。即：

新形状补偿量 = 当前形状补偿量 + 当前磨损补偿量 +（α– a）
新磨损补偿量 = 0

这些补偿量也可从 MDI 键盘变更。

- **进给速度和报警（以 X 轴为例）**



Fr : 快速进给速度
Fp : 测量速度（参数P4610）
γ ：参数P4611
ε ：参数P4612

当刀具从开始位置向 G36 或 G37 指令的 Xa 位置移动时，首先以快速进给速度 Fr 通过区域①。然后刀具从点 T（Xa- γ ）开始，以参数“刀具补偿自动测量中的低速速度”（《连接调试手册》第 164 页 P4610）设定值 Fp 移动通过区域②、③和④。如果在移动通过区域②时触发终点到达信号，会产生报警（PS0080）。如果在点 V 前仍未触发终点到达信号，刀具停止在点 V 并产生报警（PS0080）。

注

1 在指令 G36 或 G37 时，如果长度补偿无效，会产生报警（PS0081）。

2 在 G36 或 G37 指令的同一程序段中变更长度补偿时，会产生报警（PS0082）。

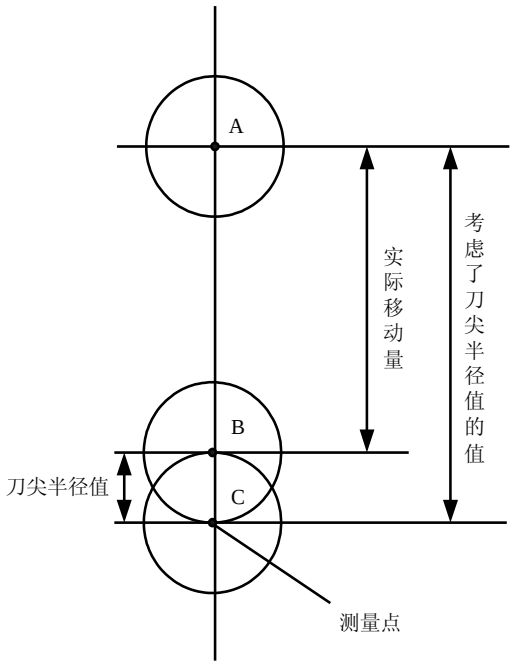
3 测量速度 Fp、γ和ε由参数设定。这些值已经由机床制造厂家设定。

4 γ及ε必须是正数，且γ > ε 。

5 在指令 G36 或 G37 前，必须取消刀尖半径补偿。

6 以测量速度移动时，如果插入一个手动移动，重新启动前，应将刀具回到插入手动移动前的位置。

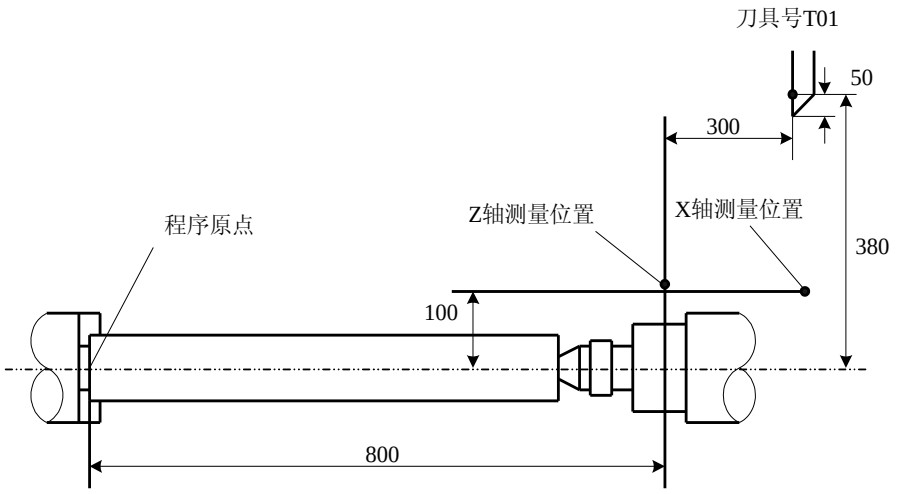
7 当刀尖半径补偿机能有效，计算刀补时应考虑刀尖半径值，确保刀尖半径设定正确。刀具实际上是从 A 点移动到 B 点，但是补偿量的计算是假设刀具考虑了刀尖半径值而移动到 C 点。



8 测量完后立即更新绝对坐标。

9 如果指令了不能进行长度补偿的轴，则产生报警（PS0237）。

举例



补偿量	测量前	测量后
X	100.000	98.000
Z	0	4.000

G50 X760.0 Z1110.0 ;	绝对坐标系设定。
S01 M03 T0101 ;	指定刀具 1，补偿号 1 及主轴正转。
G36 X200.0 ;	向 X 轴测量位置移动。如果刀具已经到达测量位置 X198.0，由于正确的测量位置时 200mm，则补偿量变化：198.0-200.0=-2.0mm。
G00 X204.0 ;	沿 X 轴移开一点距离。
G37 Z800.0 ;	向 Z 轴测量位置移动。如果刀具已经到达测量位置 Z804.0，由于正确的测量位置时 800mm，则补偿量变化：804.0-800.0=4mm。测量完成后补偿量立即更新。

10 主轴功能（S 功能）

10.1 主轴速度指令

将地址 S 及其后面的数值，译码后送给机床，用于机床的主轴控制。在一个程序段中可以指令一个 S 代码，如果指令多个，系统只识别最后一个。

关于可以指令 S 代码的位数以及如何使用 S 代码等，请参照机床制造厂家的说明书。

当移动指令和 S 代码在同一程序段时，移动指令和 S 代码可同时开始执行。

注

1 如果主轴转速和移动指令在同一程序段，可能当刀具快速移动到工件时，主轴仍未达到指定的速度。建议 S 代码和移动指令不要写在同一程序段。

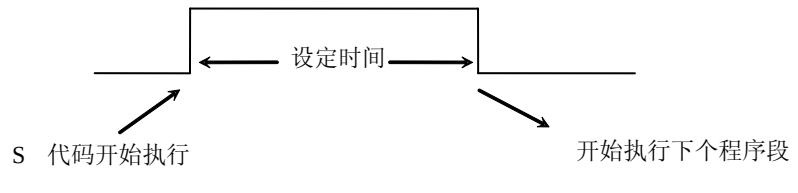
2 S 代码需要和主轴 M 指令配合使用。

10.1.1 S2 位数（主轴档位输出）

用地址 S 和其后面 2 位数控制主轴转速。

系统可提供 8 级主轴机械换档（S01~S08）。当没有选择模拟主轴机能时，即参数“SANG”（《连接调试手册》第 126 页 P0001.4）设为 0 时，S 代码与主轴的转速的对应关系及机床提供几级主轴变速，请参照机床制造厂家的说明书。

S 代码的执行时间可由定时器 T01 设定。



注

1 当在程序中指定了上述以外的 S 代码时，系统将产生外部报警（02：S 代码错）并停止执行。

2 S2 位数有效时，若指令 S4、5 位数，则后 2 位数有效。

3 S 代码设定时间参数请参见 II-12.3。

10.1.2 S5 位数（主轴模拟输出）

解释

- **自动方式**

用地址 S 及其后面的 5 位数值，直接指令主轴的转速（rev/min），不同的机床厂家转速的单位也往往不同。

- **手动方式**

当系统使用模拟主轴时，即参数“SANG”（《连接调试手册》第 126 页 P0001.4）设为 1 时，参数“JOGS”（《连接调试手册》第 152 页 P2700.2）可选择在手动方式下模拟主轴速度的控制方式：

- JOGS＝1 时，模拟主轴速度由编程的 S 代码控制。
- JOGS＝0 时，在手动方式下，模拟主轴速度由以下参数决定：

(1) 参数“手动方式下主轴速度的初值”（《连接调试手册》第 153 页 P2711）设定开机时手动方式下模拟主轴转速的初始值，单位为 rev/min。

(2) 参数“手动方式下主轴速度的增量”（《连接调试手册》第 154 页 P2713）设定手动方式下的模拟主轴转速每次的增减值。增加时以参数“手动方式下主轴速度最大值”（《连接调试手册》第 153 页 P2712）为上限。

位置页面的 S 值在手动方式下显示手动主轴转速。

- **其他方式**

在其它方式时，主轴以指定的 S 代码旋转。

注

1 参数指定的转速是最终主轴输出的转速，而不是主轴电机的转速。其模拟电压的输出值取决于主轴的档位，由系统内部控制调节。

2 当参数“JOGS”（《连接调试手册》第 152 页 P2700.2）设为 0 且主轴旋转时，在手动与非手动间切换，主轴速度会发生变化。

3 本节描述中的手动方式指手动连续进给、手轮、单步或回零（机械或程序回零）方式。

10.2 模拟主轴换档

10.2.1 模拟主轴自动换档机能

解释

- **M 代码对应的档位转速**

M41：主轴 1 挡，最高转速设定在诊断数据表 D040。

M42：主轴 2 挡，最高转速设定在诊断数据表 D044。

M43：主轴 3 挡，最高转速设定在诊断数据表 D048。

M44：主轴 4 挡，最高转速设定在诊断数据表 D052。

- **相关诊断参数**

1 “GEARKP”（《连接调试手册》第 228 页 K004.6）：1/0，上电时，恢复/不恢复断电前的档位。

2 “SORCH”（《连接调试手册》第 228 页 K004.5）：1/0，换档时，模拟电压输出基准选择第一档/当前档。

3 “AGIM”（《连接调试手册》第 228 页 K004.4）：1/0：主轴档位反馈信号有效电平为高电平/低电平。

4 “AGIN”（《连接调试手册》第 228 页 K004.3）：1/0：自动换档时，总是检查/出现新 S 时检查换档到位信号。

5 “AGEARM”（《连接调试手册》第 228 页 K004.2）：1/0：主轴通过 M 指令换档/根据 S 指令自动换档。

6 “AGST”（《连接调试手册》第 228 页 K004.1）：1/0：自动换档时，需要/不需要手动完成换档（即档位到位信号输入后，是否需按“循环启动”键才能完成换档）。

7 “AGEAR”（《连接调试手册》第 228 页 K004.2）：1/0：选择模拟主轴自动换档/手动换档。

- **M 指令换档过程**

当程序自动运行 M41~M44 时，过程如下：

1 检查系统是否有模拟主轴功能，且诊断参数“AGEAR”是否设置为 1。否则产生外部报警（01：M 代码错）。

2 检查指令代码的档位与当前输出的档位是否一致。如果一致，M 代码结束，不进行换档。如果

不一致，进行以下换档过程。

3 使主轴转速为诊断数据表“主轴换档低速”(《连接调试手册》第 236 页 D0056）设置的转速。如果进给轴有运动，则暂停运动。

4 延迟“主轴换档定时器 1”(《连接调试手册》第 241 页 T010）设定的时间后，关闭原档位输出信号，同时输出新档位信号。

5 若诊断参数“AGIN”(《连接调试手册》第 228 页 K004.3）设为 1，跳至第 6 步，否则跳至第 7 步。

6 检查档位到位输入信号，如果到位，跳至第 7 步。

7 延迟“主轴换档定时器 2”(《连接调试手册》第 241 页 T011）设定的时间后，如果诊断参数 AGST 为 0，则跳至第 9 步，否则跳至第 8 步。

8 按“取消”按键取消报警，然后等待“循环启动”键，按下后执行第 9 步。

9 按新的档位输出模拟主轴转速，换档 M 指令结束。

- **S 指令换档过程**

1 轴运动停止，模拟主轴输出“主轴换档低速”(《连接调试手册》第 236 页 D0056）设定的转速。

2 延迟“主轴换档定时器 1”(《连接调试手册》第 241 页 T010）设定的时间后，输出换档信号 GEAR1~4。

3 检测档位信号 GEAR1~4 是否到位。

4 到位后，延迟“主轴换档定时器 2”(《连接调试手册》第 241 页 T011）设定的时间。如果诊断参数 AGST 为 0，则跳至第 6 步，否则跳至第 5 步。

5 按“取消”按键取消报警，然后等待“循环启动”键，按下后执行第 6 步。

6 按新的档位输出模拟主轴转速，S 指令结束。

10.2.2 模拟主轴手动换档机能

解释

- **主轴输入接口换档**

诊断参数“AGEAR”(《连接调试手册》第 228 页 K004.2）设为 0 时，为模拟主轴手动换档，根据输入接口的情况来确定主轴档位。

输入信号 GEAR4I（X1.2）=1，系统按“主轴 4 档最大速度”(《连接调试手册》第 236 页 D0052）设置的最高主轴转速输出。

输入信号 GEAR3I（X1.3）=1，系统按“主轴 3 档最大速度”(《连接调试手册》第 236 页 D0048）设置的最高主轴转速输出。

输入信号 GEAR2I（X1.6）=1，系统按“主轴 2 档最大速度”(《连接调试手册》第 236 页 D0044）设置的最高主轴转速输出。

输入信号 GEAR2I~GEAR4I 全为 0 时，系统按“主轴 1 档最大速度”(《连接调试手册》第 236 页 D0040）设置的最高主轴转速输出。

注

1 模拟主轴手动换档时，档位输入信号级别最低，如果选择该点为其它功能，则档位输入信号无效。

2 如果选择了模拟主轴手动换档时，不想换档，可以将 D40/D44/D48/D52 设置为相等。

10.3 恒线速控制（G96，G97）

所谓恒线速控制是指刀具相对旋转主轴夹持工件的线速度是恒定的，随着刀具位置的变化，根据线

速度计算出主轴转速，并把与其对应的电压值输出给主轴控制部分，使得刀具与工件接触点的速度保持恒定，不受工件半径的影响。

对于线速度的单位，公制为 m/min（米/分），英制为 feet/min（英尺/分）。线速度单位根据机床厂家不同有时会不同。

格式

- **恒线速指令**

G96 S__ ;　　恒线速开始

S__：指定线速度，单位 m/min 或 feet/min。

……

G97 S__ ;　　恒线速取消

S__：指定主轴转速，单位 rev/min。

- **主轴最高转速钳制指令**

G50 S__ ;　　用于 G 代码体系 A

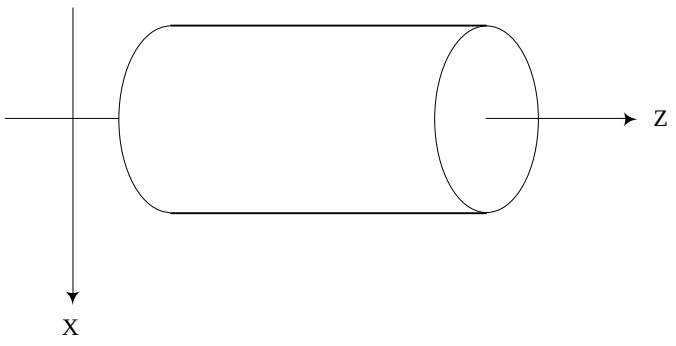
G92 S__ ;　　用于 G 代码体系 B

S__：主轴最高转速，单位 rev/min。

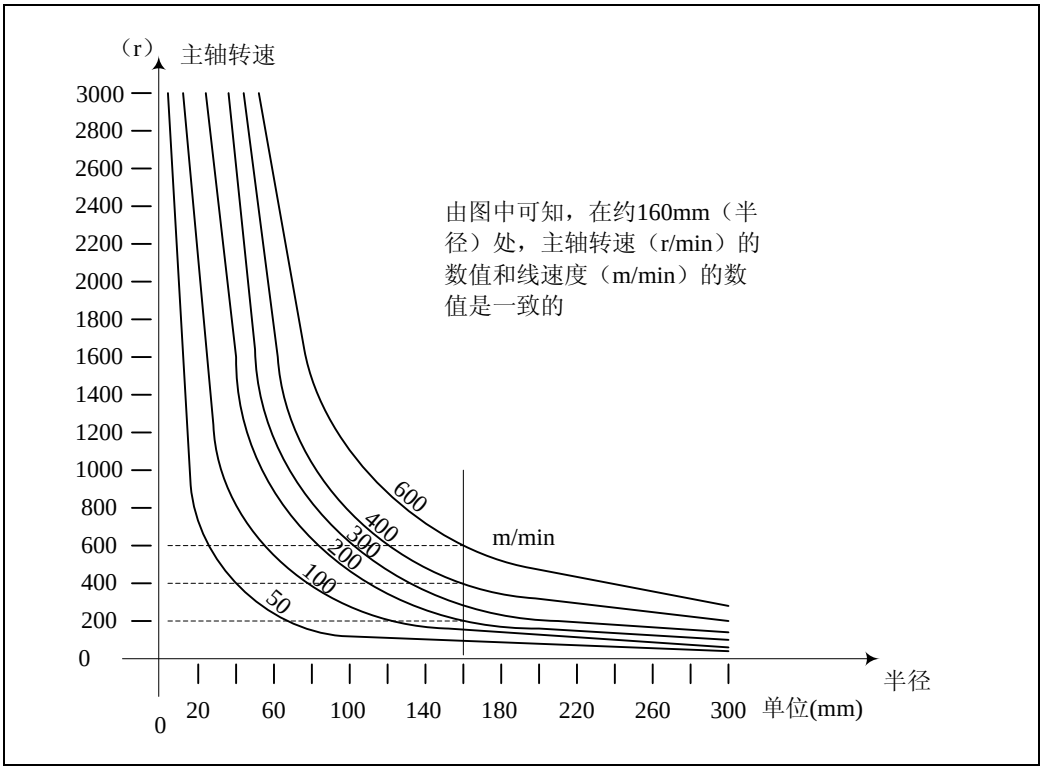
解释

- **恒线速控制**

在执行恒线速控制前，必须设置工件坐标系。使 X 轴（恒线速控制的轴）的中心坐标值为 0。如下图所示。



G96 是模态 G 代码。指定后，随着工件程序执行中工件半径的增大或减小，主轴转速同步发生改变，以保持表面线速度恒定，直到指定 G97 前一直有效。在 G96 程序段中主轴转速为 0，直到出现 M03（主轴正转）或 M04（主轴反转），恒线速功能才有效。主轴转速、工件半径和表面速度之间的关系，如下图所示。



- **主轴速度倍率**

  对于指定的线速度或转速，根据主轴倍率选择，可以使用 50~120％的倍率。

- **主轴最高转速钳制**

  在恒线速控制时，如果主轴转速超过了 G50/G92 指定的 S__值，则主轴以 S__指定的值旋转。若不设定主轴最高转速值，则主轴速度不会被箝制。

- **快速移动（G00）时的恒线速控制**

  对于用 G00 指令的快速进给程序段，当恒线速控制时，不对时刻变化的刀具位置进行线速度控制，而是计算程序段终点位置的线速度。这是因为默认快速移动时不进行切削的缘故。

注

1 当电源接通时，如果没设定主轴最高转速的状态，即为不限制状态。

2 对于设定主轴最高转速的状态，只适用于 G96 状态，G97 状态时不限制。

3 G50/G92 S0 ;表示限制到 0rev/min。

4 在 G96 状态中，被指令的 S 值，即使在 G97 状态中也保持着。当返回到 G96 状态时，其值恢复。

```
G96 S50 ;        （50m/min 或 50feet/min）
G97 S1000 ;      （1000rev/min）
G96 X3000 ;      （50m/min 或 50feet/min）
```

5 机床锁住时，进给轴不动，但对应程序中 X 坐标值的变化，主轴仍进行恒线速控制。

6 切螺纹时，恒线速控制也是有效的。因此切螺纹时，应通过 G97 方式使恒线速控制无效，使主轴以同一转速转动。

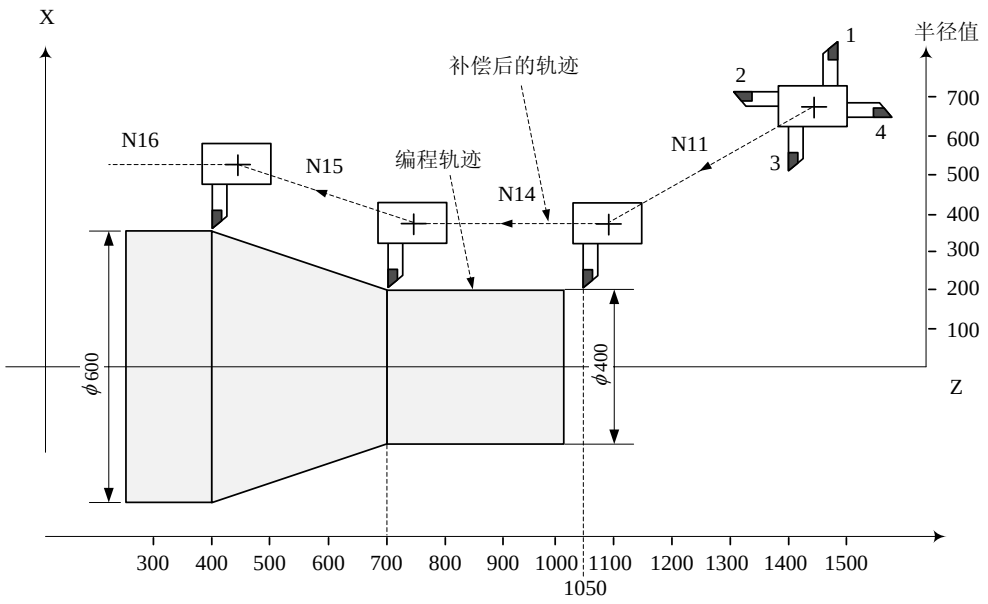
7 每转进给（G99），在恒线速控制方式下（G96），虽然无使用意义，但仍有效。

8 从 G96 状态变为 G97 状态时，G97 程序段如果没有指令 S 码（转/分），那么 G96 状态的最后转速作为 G97 状态的 S 值使用。X 是 N3 前一个程序段的转速，即从 G96 状态变为 G97 状态时，主轴速度不变。

```
N1 G97 S800 ;    （800rev/min）
N2 G96 S100 ;    （100m/min）
N3 G97 ;         （Xrev/min）
```

9 恒线速控制中指定的线速度是相对于编程轨迹的，而不是刀补后的位置的线速度。

举例



加工程序

N8 T0303 ; （直径指定）

N9 G00 X1000.Z1400. ;

N11 X400.Z1050. ;

N12 G50 S3000 ; （指定最高转速）

N13 G96 S200 ; （线速度 200m/min）

N14 G01 Z700. F1000. ;

N15 X600. Z400. ;

N16 Z_ ;

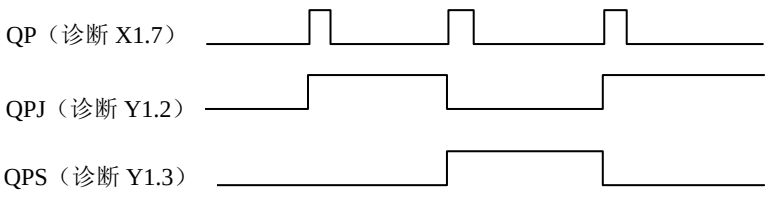
系统通过程序中的 X 坐标值进行线速度计算，使其达到指定的线速度。当有补偿时，不是用补偿后的 X 值进行计算的。上例的 N15 的终点，不是转塔中心，而是刀尖。也就是说，在Φ600 处，线速度为 200m/min。X 值为负时，取绝对值进行计算。

10.4 主轴卡盘控制

解释

- **卡盘手动控制（输入信号 QP）**

当“QPSL”（《连接调试手册》第 231 页 K008.0）设为 1 时，卡盘机能有效。当卡盘控制脚踏开关有动作时，卡盘控制时序图如下。



- **卡盘自动控制（M10、M11）**

  M10：输出卡盘紧信号。

  M11：输出卡盘松信号。

- **卡盘反馈信号检查**

  诊断参数“QPIN”（《连接调试手册》第 231 页 K008.1）设为 1 时，使能卡盘反馈信号检查功能。启动主轴时，除检查是否有卡盘紧信号输出外，还要检查卡盘紧反馈信号，如果卡盘紧反馈不到位，则不能启动主轴，产生外部报警；使用卡盘自动控制（M10、M11）时，也要等待反馈信号，才能继续执行；卡盘手动控制不需要反馈信号。

- **卡盘输出方式设置**

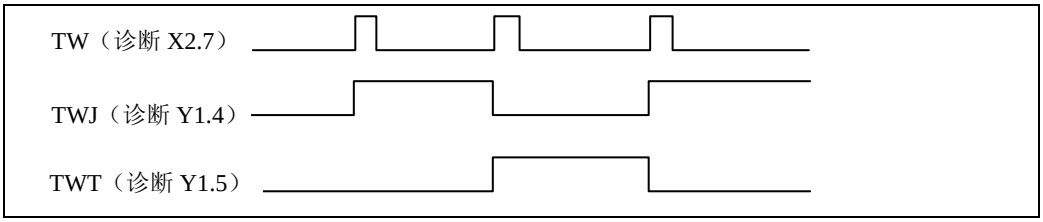
  若诊断参数“QPLS”（《连接调试手册》第 231 页 K008.2）设为 0，则卡盘输出信号 QPS/QPJ 为电平方式；若 QPLS 设为 1，则卡盘输出信号 QPS/QPJ 为脉冲方式，脉冲信号的宽度由诊断“卡盘脉冲宽度”（《连接调试手册》第 241 页 T012）设置。

10.5 台尾设置

解释

- **台尾手动控制（输入信号 TW）**

  当台尾控制脚踏开关有动作时，台尾控制时序图如下。



- **台尾自动控制（M78、M79）**

  M78：输出台尾进信号。

  M79：输出台尾退信号。

- **台尾输出方式设置**

  若诊断参数“TPLS”（《连接调试手册》第 231 页 K008.4）设为 0，则台尾控制输出信号 TWJ/TWT 为电平方式；若 TPLS 设为 1，则台尾控制输出信号 TWJ/TWT 为脉冲方式，脉冲信号的宽度由诊断参数“台尾脉冲宽度”（《连接调试手册》第 241 页 T013）设置。

10.6 主轴设置

总线系统接口提供了主轴接口和主轴编码器反馈接口，主轴接口可连接数字主轴和模拟主轴。同时，用户可以使用伺服总线来连接主轴。通过设定“主轴 1 轴号”（《连接调试手册》第 155 页 P2730）来指定 NC 轴作为主轴，编码器数据来自对应伺服驱动器。

相关参数

“SPFBS”（《连接调试手册》第 152 页 P2700.6）：主轴闭环时，主轴数据来自位置环输出/编码器反馈。

“主轴 1 轴号”（《连接调试手册》第 155 页 P2730）：主轴 1 轴号（0 不指定，1~8）

注

1 被指定为主轴的 NC 轴必须是旋转轴，否则报警 PS277。

2 主轴 1 编码器来源正常设定后，位置页面主轴转速显示有效，每转进给（包括螺纹加工、G93 攻丝）可正常工作。螺纹加工、G93 攻丝不再查找一转信号，只需要在主轴驱动器就绪后，执行一次回零操作即可。

3 系统对主轴反馈数据进行转换，转换公式如下：

$$\text{主轴反馈数据} = \left(\frac{\text{主轴实际反馈脉冲数}}{\text{主轴编码器线数}}\right) \times 2^{20}$$

诊断“主轴 1 脉冲累计”（《连接调试手册》第 245 页 N905）和“主轴 2 脉冲累计”（《连接调试手册》第 246 页 N911）为转换后的数据。

4 “主轴 1 轴号”（《连接调试手册》第 205 页 F0150）和“主轴 2 轴号”（《连接调试手册》第 205 页 F0151）为主轴对应的 NC 轴号。

螺纹加工

- **主轴开环进行螺纹加工**

主轴位置环无法闭环时（某些变频器无法闭环），可开环控制。螺纹加工前检查以下设置：

1 设置主轴为开环控制，即设置“系统位置环比例增益”（《连接调试手册》第 141 页 P1121）为 0

2 正确设置主轴轴号

注

1 开环时“SPFBS”（《连接调试手册》第 152 页 P2700.6）设定无效，主轴反馈数据来自编码器反馈。

2 未设定时，位置页面主轴转速为 0，PLC 接口“主轴位置”（《连接调试手册》第 199 页 F0040）为 0，无法加工螺纹（G32/G76/G92/G93）。

- **主轴闭环进行螺纹加工**

当主轴闭环控制时，螺纹加工前检查以下设置：

1 设置主轴为闭环控制，即设置“系统位置环比例增益”（《连接调试手册》第 141 页 P1121）不为 0

2 正确设置主轴轴号

3 设定“SPFBS”（《连接调试手册》第 152 页 P2700.6）。如果使用反馈数据，那么 SPFBS 设为 1；如果使用位置环输出数据，那么 SPFBS 设为 0

注

1 未设定时，位置页面主轴转速为 0，PLC 接口“主轴位置”（《连接调试手册》第 199 页 F0040）为 0，无法加工螺纹（G32/G76/G92/G93）。

2 无论 SPFBS 设为 0 或 1，非数字螺纹加工（G32/G76/G92/G93）时，主轴都不需要回零；但数字主轴螺纹加工（G07.2 机能）前需将主轴回零。

总线扩展主轴参考点建立提示机能

- **轴地址符红色提示（需要回零）**

1 参数“ZRS”（《连接调试手册》第 132 页 P0405.5）设为 1

2 DAL 位参数设置为 1（接入总线式伺服轴）

3 参考点未建立（F53 相应位为 0，代表该轴未建立相应参考点）

注

回零后，如果修改 P1130（电机每转机械移动量分子）/P1131（电机每转机械移动量分母）参数，那么系统将清除 F53 相应位。此时，该轴需要重新回零，轴地字符以红色提示。

- **轴地址符蓝色提示**

1 在参考点（F49 相应位为 1，代表该轴在参考点）

2 绝对编码器坐标系设定完毕（F48 相应位为 1，代表该轴绝对编码器坐标系设定完毕）

11 刀具功能（T 功能）

用地址 T 及其后面 2 位数来选择机床上的刀具。在一个程序段中，可以指令一个 T 代码。移动指令和 T 代码在同一程序段中指令时，移动指令和 T 代码同时开始。

系统可提供的刀具数由诊断数据“总刀具数”（《连接调试手册》第 235 页 D0007）设定。

格式

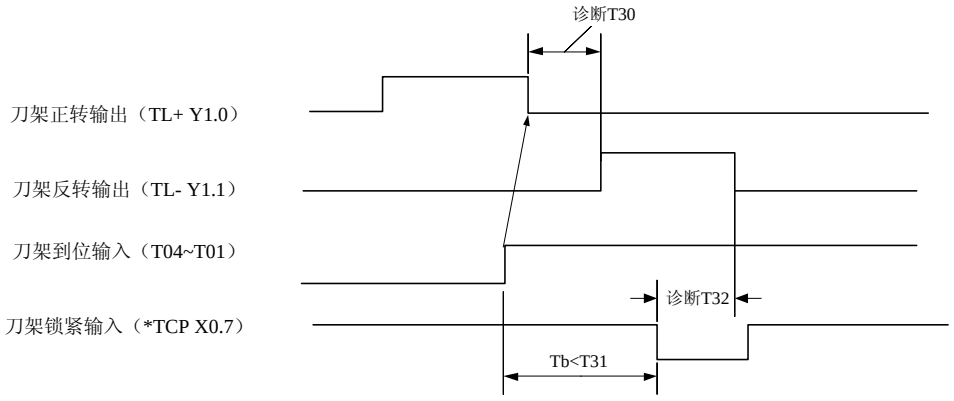
TOOXX；

OO：刀具选择号

XX：刀补号

解释

- **换刀过程（以宏达刀架为例）**



T30：刀架正转停止到反转锁紧输出的延迟时间。

T31：刀架到位到锁紧的允许时间。

T32：刀架锁紧到位到反转锁紧停止的延迟时间。

换刀过程如下：

1 T 代码开始执行时，首先输出刀架正转信号（TL+），使刀架旋转。

2 当接收到 T 代码指定的刀具到位信号后，关闭刀架正转信号。

3 延迟 T30 时间后，刀架开始反转而进行锁紧（TL-），并开始检查锁紧信号*TCP。

4 当接收到该信号后，延迟诊断号 T32 设置的时间，关闭刀架反转信号（TL-）。

5 换刀结束，程序转入下一程序段继续执行。如指定的刀号与现在的刀号（自动记录在 PLC 参数）一致时，则换刀指令立即结束，并转入下一程序段执行。

注

1 当系统输出刀架反转信号后，在诊断号 T31 设定的时间内，如果系统没有接收到*TCP 信号，系统将产生报警，并关闭刀架反转信号。即当 Tb≥T31 时，产生外部报警。

2 换刀所需的最长时间设置在诊断参数 T03。换刀时间超过设定值，产生外部报警。

- **刀架输入信号检查机能**

诊断参数“TCKI”（《连接调试手册》第 234 页 K016.7）设置为 1 时，检查刀架输入信号。完成以下机能：

在换刀完成后，一直检查刀位输入信号。如果刀位输入信号和当前刀位不一致，即应该接通的没接

通，则产生外部报警。

注

1 按诊断数据 D7 设置的刀具数量，检查对应的输入信号个数。

2 如果不需检查或使用排刀时，可设置 TCKI=0。

- **后刀架选择机能**

当诊断参数“RVX”（《连接调试手册》第 234 页 K016.4）设为 1 时，选择后刀架机能。此时，原手动 X 轴＋、－运动反向。同时相应键上的指示灯亮。

- **输入信号有效电平**

刀架到位信号（T01 等）有效电平由诊断参数“TSGN”（《连接调试手册》第 234 页 K016.1）设定；刀架锁紧信号（*TCP）由“TCPS”（《连接调试手册》第 234 页 K016.0）设定。

注

1 一般情况下，接外部信号时，选择高电平作为有效信号。否则，当信号线断开时，会立刻认为有效。

2 当无刀架锁紧信号时，可以不接该信号，设置 TCPS 为低电平有效，通过设置时间 T32 来设置反转锁紧时间。

12 辅助功能（M 功能）

如果在地址 M 后面指令了 2 位数值，那么就把对应的信号送给机床，用来控制机床辅助功能的开关。M 代码在一个程序段中只允许一个有效。位置移动指令和 M 指令在同一个程序段中时，两者同时开始执行。

12.1 辅助功能代码

本系统提供 M00~M99 共一百个 M 代码。除了已经固定的 M 代码外，其余 M 代码均可由机床厂商自行定义。

解释

- **标准辅助功能 M 代码**

名称	功能
M00	程序暂停
M01	程序选停
M03	主轴正转
M04	主轴反转
M05	主轴停止
M08	冷却开
M09	冷却关
M10	卡盘卡紧
M11	卡盘松开
M13	第 2 主轴正转
M14	第 2 主轴反转
M15	第 2 主轴停止
M19	第 1 主轴主轴定向
M21	特殊 M 代码
M22	特殊 M 代码
M23	特殊 M 代码
M24	特殊 M 代码
M26	吹气开
M27	吹气关
M06	调用子程序
M30	程序结束
M31	加工计数
M38	C 轴（主轴）夹紧
M39	C 轴（主轴）松开
M98	调用子程序
M99	子程序返回
M32	润滑开

名称	功能
M33	润滑关
M41	模拟主轴档位第一档
M42	模拟主轴档位第二档
M43	模拟主轴档位第三档
M44	模拟主轴档位第四档
M48	进给倍率固定 100%
M49	进给倍率恢复
M60	C 轴模式（主轴位置控制）进入
M61	C 轴模式（主轴位置控制）退出
M62	同步轴功能建立
M63	同步轴功能解除
M71	特殊 M 代码
M72	特殊 M 代码
M73	特殊 M 代码
M74	特殊 M 代码
M78	台尾进
M79	台尾退
M91	特殊 M 代码
M92	特殊 M 代码
M93	特殊 M 代码
M94	特殊 M 代码
M96	宏中断功能开启
M97	宏中断功能关闭

注

1 当在程序中指定了上述以外的 M 代码时，系统将产生外部报警（01：M 代码错）并停止执行。

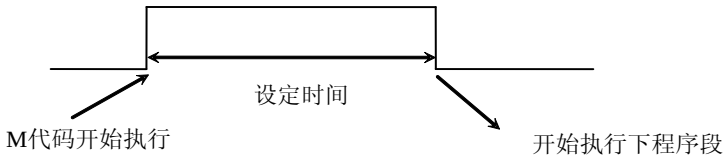
2 M 启动后，即使系统工作方式改变，也仍然保持。用手动方式按键无法关闭，可按“复位”键关闭。

3 PLC 可自定义 M 代码。

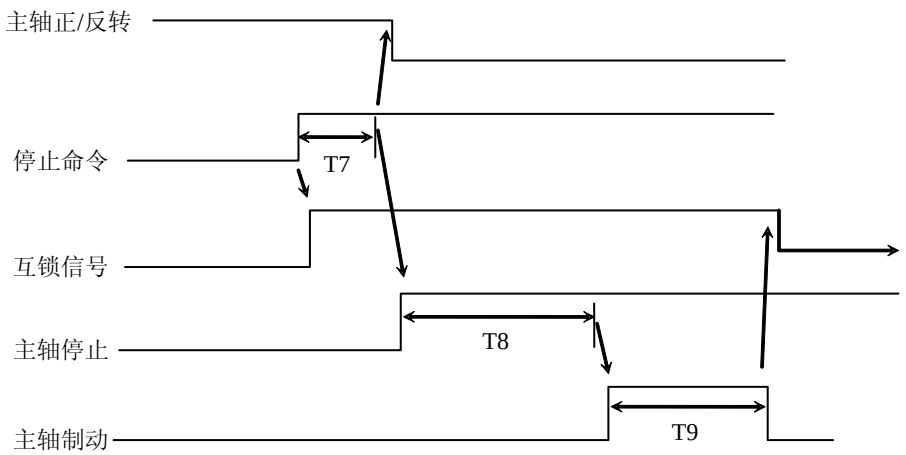
4 M 代码输出为脉冲或电平由 PLC 程序控制。

- **相关定时器**

除 M30 外，其他 M 代码的执行时间可由定时器 T00 设定。示意图如下。



主轴正反转、停止、制动等时序图及设定时间，如下所示。



T7：主轴在转动时，当发出主轴停止（自动或手动）命令后，先使能轴互锁信号，延迟 T7 后，发出主轴停止信号。该值设定在定时器 T 区 T7。

T8：从发出主轴停止信号到发出主轴制动信号的延迟时间。该值设定在定时器 T 区 T8。

T9：主轴制动时间。该值设定在定时器 T 区 T9。

- **特殊意义 M 代码**

下面的 M 代码规定了特殊的使用意义，由系统实现功能：

1 M02/M30：程序结束，编程时必须单独一行。步骤如下：

(1) 停止自动运转，处于复位状态。

(2) 根据参数 M30（P2500.6），光标返回到主程序开头或保持不变。

(3) 根据参数 MCNO（P0001.0），加工件数由 NC 决定或由 PLC 决定。

2 M00：程序停。当执行了 M00 的程序段后，停止自动运行。与程序单段停一样，把之前的模态信息全部保存起来。重新按下“启动”键后，再继续自动运行。

3 M01：程序选停。“机床索引”页面上的“程序选停”为开时有效。

4 M98/M99：子程序调用。详情参见 II-13.1.1.2

5 M96/M97：中断型宏程序调用。详情参见 II-16.10。

注

1 M00、M01、M30 的下一个程序段即使存在，也不进入缓冲存储器中。

2 执行 M96/M97 和 M98/M99 时，代码信号不传送给 PLC。

12.2 特殊 M 代码

12.2.1 用户接口转跳机能（M91/M92、M93/M94）

系统自动运行这些 M 代码时，会根据输入接口信号的状态进行程序跳转。

格式

M9* Pn ;

*：1~4

Pn：指定程序段

解释

当条件满足时，转跳到 Pn 指定的以 N 开头的程序段。若 n 未检索到，则产生报警（PS0128）。

1 M91：当输入信号 M91I=0，转跳。输入信号 M91I=1，顺序执行下一程序段。
2 M92：当输入信号 M91I=1，转跳。输入信号 M91I=0，顺序执行下一程序段。
3 M93：当输入信号 M93I=0，转跳。输入信号 M93I=1，顺序执行下一程序段。
4 M94：当输入信号 M93I=1，转跳。输入信号 M93I=0，顺序执行下一程序段。

举例

```
N50 M92 P100 ;
N60 G00 X100. Z100. ;
N70 ... ;
N100 G00 X0. Z0. ;
```

当程序执行到 N50 时，如果输入接口 M91I=1，则转跳执行 N100；如果输入接口 M91I=0，则顺序执行 N60。

12.2.2 特殊 M 代码（M21/M22/M71/M72、M23/M24/M73/M74）

这些 M 代码可作为一般 M 代码使用，也可设置执行的时间宽度，还可以等待输入信号的到来而结束程序段。

解释

- **相关参数**

诊断参数“SM21”（《连接调试手册》第 233 页 K013.6）决定 M21/M22/M71/M72 代码功能有效/无效。

诊断参数“SM23”（《连接调试手册》第 233 页 K013.7）决定 M23/M24/M73/M74 代码功能有效/无效。

- **相关接口**

输入接口有 M21I（X1.2）和 M23I（X1.3）。

输出接口有 M21O（Y2.6）和 M23O（Y2.7）。

- **使用说明**

1 M21：同一般的 M 代码。如果参数 SM21 设置为 1，则输出接口 M21O 有输出。
2 M22：同一般的 M 代码，如果参数 SM21 设置为 1，则关闭接口 M21O 的输出。
3 M71：执行“M21 功能定时器”（《连接调试手册》第 241 页 T024）指定的时间后，结束该程序段。如果参数 SM21 设置为 1，则输出接口 M21O 有输出，结束时，关闭输出接口 M21O。
4 M72：检测输入信号 M21I，如果 M21I=0，则等待。如果 M21I=1，结束该程序段，这时，如果参数 SM21 设置为 1，则输出接口 M21O 有输出。
5 M23：同一般的 M 代码。如果参数 SM23 设置为 1，则输出接口 M23O 有输出。
6 M24：同一般的 M 代码，如果参数 SM23 置为 1，则关闭接口 M23O 的输出。
7 M73：执行“M23 功能定时器”（《连接调试手册》第 241 页 T025）指定的时间后，结束该程序段。如果参数 SM23 设置为 1，则输出接口 M23O 有输出，结束时，关闭输出接口 M23O。
8 M74：检测输入信号 M23I，如果 M23I=0，则等待。如果 M23I=1，结束该程序段，这时，如果参数 SM23 设置为 1，则输出接口 M23O 输出。

注

1 急停时关闭 M21、M23 输出。
2 按复位键关闭 M21、M23 输出。

12.3 辅助功能参数

诊断号 T 区为 PLC 参数，用户可根据实际情况进行设定。设定方式参见操作手册。

定时器	功能
T00	M 代码执行时间
T01	S 代码执行时间
T02	T 代码执行时间
T03	换刀过程定时器
T05	自动润滑打开时间定时器
T06	自动润滑关闭时间定时器
T07	互锁开始到主轴停止输出的延时
T08	主轴停止输出到主轴制动输出的延时
T09	主轴制动输出到互锁解除的延时
T10	主轴换档定时器 1 AGEAR1
T11	主轴换档定时器 2 AGEAR2
T12	主轴换档定时器 3 AGEAR3
T14	M 代码脉冲输出宽度
T18	外部蜂鸣器输出定时器
T19	M10 延时定时器
T20	断续吹气输出定时器
T40	刀具未松开到位延时报警定时器（斗笠、圆盘刀库共用）
T41	刀具未夹紧到位延时报警定时器（斗笠、圆盘刀库共用）
T42	刀套未倒下/刀库未伸出到位延时报警定时器（斗笠、圆盘刀库共用）
T43	刀套未抬起/刀库未拉回到位延时报警定时器（斗笠、圆盘刀库共用）
T46	圆盘刀库机械手扣刀信号错误延时报警定时器
T47	圆盘刀库机械手原点信号错误延时报警定时器

12.4 与辅助功能相关的报警

与辅助机能相关的报警通过“外部报警”页面显示。常用外部报警号如下：

外部报警号	报警信息
01	M 代码错。（程序中编入了非法的 M 代码）
02	S 代码错。（程序中编入了非法的 S 代码）
03	T 代码错。（程序中编入了非法的 T 代码）
04	刀盘故障或者换刀时间设定错。
05	刀位异常。当“TCKI”（《连接调试手册》第 234 页 K016.7）设为 1 时有效。
06	M03、M04 代码指定错。（主轴正/反转时，没有停止就指定了主轴反/正转）
07	主轴旋转时指定了 S。（当主轴正在旋转时，指定了 S 代码进行主轴换档）
08	总刀位数参数设定错。
09	请进行手动主轴换档，完成后，按循环启动。
10	启动自动循环时，防护门未关闭。
11	主轴单元报警。

外部报警号	报警信息
13	请手动换档，完成后，按循环启动（选择模拟主轴时）。
14	卡盘松时，起动了主轴。
15	卡盘压力不足。

13 程序的构成

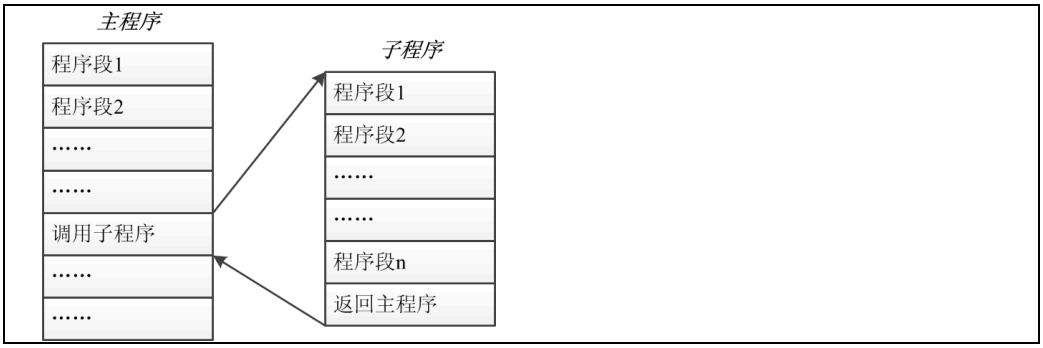
13.1 程序

程序是由多个程序段构成的，而程序段又是由字构成的，各程序段用程序段结束代码（EOB）分隔开。

13.1.1 主程序和子程序

13.1.1.1 主程序

程序分为主程序和子程序。通常系统是按主程序的指令运动的，如果主程序上遇有调用子程序的指令，则系统按子程序运动，在子程序中遇到返回主程序的指令时，系统便返回主程序继续执行。

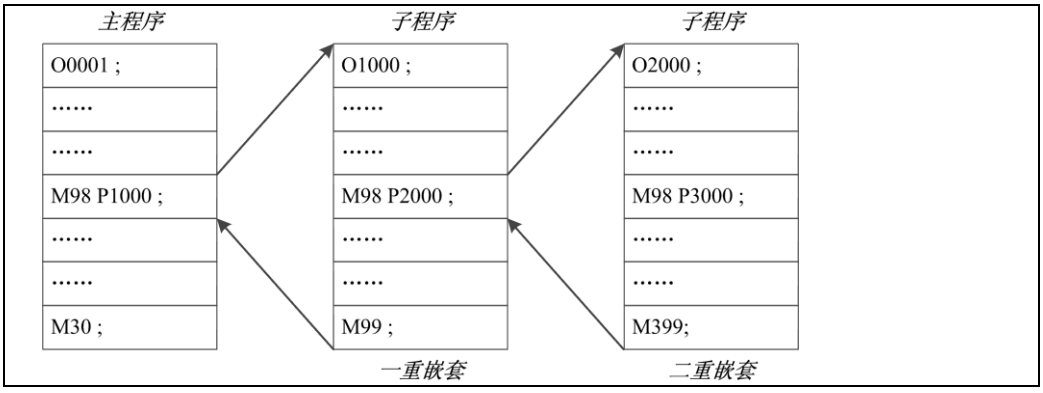


在系统存储器内，主程序和子程序合计可存储 512 个程序（标准机能），选择其中一个主程序后，便可按其指示控制数控机床工作。

关于程序的存储、选择等方法，请参见《操作手册》程序编辑。

13.1.1.2 子程序

在程序中存在某一些固定顺序且重复出现的指令时，便可把它们作为子程序事先存到存储器中，这样可以使程序变得非常简单。子程序可以在自动方式下调出，并且被调出的子程序还可以调用另外的子程序。子程序嵌套级数最多为 63 级，超出则产生报警（PS0077）。

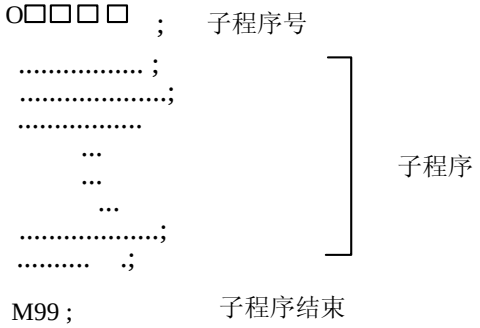


可以用一条调用子程序指令连续重复调用同一子程序，最多可重复调用 9999 次。

解释

- **编写子程序**

按下面格式写一个子程序：



在子程序的开头，地址 O 后写上子程序号，在子程序最后是 M99 指令。

关于子程序的存储方法请参见操作手册。

- **子程序的执行**

子程序由主程序或子程序调用指令调出执行。调用子程序的指令格式如下：

M98 POOOOXXXX ;

OOOO：重复调用次数。

XXXX：被调用的子程序号。

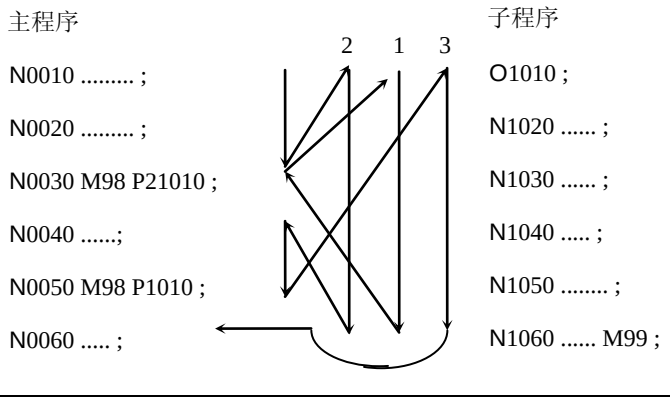
如果省略了重复次数，则认为重复次数为 1 次。

例

M98 P51002 ;

表示号码为 1002 的子程序被连续调用 5 次。

从主程序调用子程序执行的顺序，如下例所示。



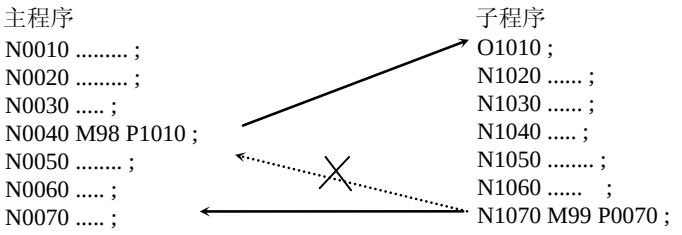
在子程序中调用子程序与在主程序中调用子程序的情况一样。

注

当检索不到用地址 P 指定的子程序号时，产生报警（PS0078）。

- **特殊使用方法**

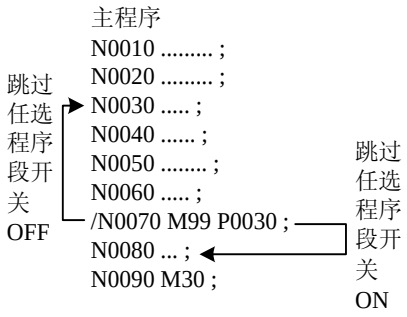
1 如果用 P 指定顺序号，当子程序结束时，不返回到调用此子程序的程序段的下一个程序段，而是返回到用 P 指定的顺序号的程序段，但是主程序在非存储器运转方式工作时，P 不起作用。这种方法返回到主程序与一般方法相比占用时间较多。



注

M99 中 P 指定的顺序号有效位为 4 位，多出的位无效。

2 在主程序中，如果执行 M99，则返回到主程序的开头继续重复执行。例如，在主程序中有个程序段/M99，若跳过任选程序段开关是 OFF 状态，则执行 M99，返回主程序的开头，并从开头重复执行。在跳过任选程序段为 OFF 状态期间，一直反复执行，当跳过任选程序段开关为 ON 状态时，则跳过/M99 程序段，而执行其下个程序段。若此时是/M99 Pn ;程序段时，则不返回到程序的开头，而返回到顺序号 n 的地方，但返回到 n 处时间较长。



注

MDI 模式下单独执行 M99 时，跳转到程序开头后停止，按启动键可再次运行。

3 DNC 运行调用子程序

在 DNC 方式下，可以调用子程序。调用的子程序必须预先保存在 CMOS 中。调用子程序的过程和自动方式下完全相同，同样支持子程序嵌套调用。

M06 在 DNC 方式下也可以调用子程序，这样，用户可以在 DNC 加工时，进行较复杂的换刀。

4 M06 调用子程序

(1) 自动或者 DNC 方式运行 M06 时，系统自动调用一个系统内子程序。子程序名为 Oxxxx，程序号由参数（P2510）设置。通常，M06 代码和 T 代码配套使用，通过调用子程序控制进给轴到达指定换刀位置。T 代码的处理方式不变。

(2) 如果系统参数 CM98（P2500.5）=0，该机能无效，取零盘时，CM98 默认设为 0。程序号参数 P2510 设置为 0，该机能无效。如果参数“M06 调用的子程序号”（《连接调试手册》第 150 页 P2510）不存在，会导致报警（PS0078）。

(3) 参数 CM98（P2500.5）=1，参数 P2510=9006，如下程序在执行到 M06 时会自动调用子程序 O9006：

```
O0001 ;
M06 T01 ;
M30 ;
```

13.1.2 程序号

系统的存储器里可以存储多个程序，为了把这些程序相互区别开，在程序的开头，冠以用地址 O 及后续四位数值构成的程序号。程序从程序号开始，到 M30 或 M99 结束。

格式

Oxxxx

O：程序号地址。

xxxx：程序号（1~9999，前导零可省略。）

13.1.3 顺序号和程序段

程序是由多个指令构成的。一个指令单位称为一个程序段。程序段之间用程序段结束符 EOB（;）隔开。

在程序段的开头可以用地址 N 和后续五位数构成顺序号。前导零可省略。

格式

Nxxxxx

N：顺序号地址。

xxxxx：顺序号（1~99999，前导零可省略。）

解释

顺序号的顺序是任意的，其间隔也可不等。可以全部程序段都带有顺序号，也可以在重要的程序段带有。但按一般的加工顺序，顺序号要从小到大。在程序的重要地方带上顺序号是方便的。例如，换刀时，或者工作台分度移到新的加工面时等。

13.1.4 跳过任选程序段

自动运行方式下，开头带有斜杠（/）的程序段，在机床界面的程序选跳开关为 ON 或机床面板按下“跳段”键时，被系统跳过，不予执行。如果选跳开关为 OFF 且没有按下“跳段键”，则仍照常执行该段。也就是说带有斜杠的程序段，根据操作的选择，可以跳过或不跳过。

例

```
N100 X100.0 ;
/N101 Z100.0 ;
N102 X200 ;
```

在上面的程序中，如果选跳开关为 ON 或按下“跳段键”，则 N101 程序段被跳过。

注

1 斜杠（/）必须处于程序段开头，否则产生报警（PS1109）。

2 跳过任选程序段是从存储器把信息读到缓冲存储器时处理的。已读入到缓冲寄存器中的信息，即使开关置于 ON，已读入的程序段仍有效。

3 在顺序号检索中，本功能也有效。

4 在程序通过接口传入存储器中时，此功能无效。即无论跳过任选程序段的开关状态为何，含有斜杠的程序段都被存入。

5 存储器内程序输出时，也与跳过任选程序段开关状态无关。

13.1.5 注释节

用户可以在注释节中，用任意的代码描述标题、注释和提示等。

格式

（……）
（：注释节开始
）：注释节结束
……：用户添加的注释

解释

注释节与加工程序一起传输、存储和显示。

在存储器运行或 DNC 运行加工程序期间，所有注释节被忽略。

注
不可在注释中出现 EOB（;）或%。

13.1.6 字和地址

字是构成程序段的要素，由地址和其后面的数值构成（有时在数值前带有+、-符号）。

格式

X1000
X：地址
1000：数值

解释

地址是英文字母（A~Z）中的一个字母，它规定了其后数值的意义。根据不同的准备功能，有时一个地址也有不同的意义。在本系统中，可以使用的地址和它的意义如下表所示。

功能	地址	意义
程序号	O	程序号
顺序号	N	顺序号
准备功能	G	指定动作状态（直线、圆弧等）
尺寸字	X Y Z C U W H V A B	坐标轴移动指令
	R	圆弧半径
	I J K	圆弧中心坐标
进给速度	F	进给速度指定
主轴功能	S	主轴转速指定
刀具功能	T	刀具号的指定
辅助功能	M	控制机床方面 ON/OFF 的指定
补偿号	H	补偿号的指定
暂停	P X	暂停时间的指定
子程序号和重复调用次数指定	P	指定子程序号和子程序的重复调用次数

功能	地址	意义
参数	P Q R	固定循环参数

13.1.7 基本地址和指令值范围

基本地址和指令值范围如下表所示（默认状态：允许数据位数为 9，直线轴小数位数为 3）。

功能	地址	毫米输入	英寸输入
程序号	O	1~9999	1~9999
顺序号	N	1~99999	1~99999
准备功能	G	0~999	0~999
尺寸字	X Y Z U V W A B C I J K Q R	±99999.999	±9999.9999
每分进给	F	0.001~60000.0	0.0001~2362.2
主轴功能	S	0~99999	0~99999
刀具功能	T	0~99	0~99
辅助功能	M	0~99	0~99
暂停	X/P	0~99999.999s	0~99999.999s
G74/G75 的 X 方向移动量	P	±99999.999	±9999.9999
子程序号重复调用次数指定	P	1~99999999	1~99999999
刀尖号	Q	0~9	0~9
顺序号	P/Q	1~99999	1~99999

这些全部都是对系统的限制值，与对机床方面的限制完全无关，请特别注意这一点。例如，对于系统，可以指令 X 轴移动量约到 100m（公制），而实际机床 X 轴行程可能是 2m。编程时要参照本说明书，同时也要参照机床厂家发行的说明书，在很好理解对编程限制的基础上编制程序。

13.1.8 扩展 NC 字和地址

基本 NC 字是由“单个大写字母（A~Z）”+“数字”组成的单字母地址字，如：X200.000，Y200.000。

扩展 NC 字有两种表示法：

1 由“N”+“单个大写字母（A~Z）”+“数字”组成的双字母地址字，如：NX200.000，NY200.000。

2 与基本 NC 字一样，由“单个大写字母（A~Z）”+“数字”组成，但要在该字前加逗号。

基本 NC 字和扩展 NC 字可以在同一段中。

例

X200.000 Y100.000 NA300.000 ,X300.000 NC150.000 NZ300.000 ;

该段由 6 个字和一个段落结束符“;”组成。其中有两个基本字（前两个字），四个扩展字（后四个字）。逗号的作用是将紧跟其后的那个基本字转化为扩展字，对双字母地址表示的扩展字不影响。该段与下面的程序段等价：

X200.000 Y100.000 NA300.000 NX300.000 NC150.000 NZ300.000 ;

注

参数“CENCW”（《连接调试手册》第 149 页 P2500.2）控制扩展 NC 字的逗号表示法（第 2 种表示法）是否有效，如果 CENCW 为 0，则逗号表示法无效。

13.2 程序结束

程序的最后有 M30 或 M99 时，表示该程序结束。

格式

M30 ;	**程序结束并返回程序开头**
M99 ;	**子程序结束**

解释

程序执行中，如果检测出上述代码，系统结束程序执行，进入复位状态。执行 M99 后，光标返回到调用该子程序的主程序中；执行 M30 后，光标是否返回程序开头由参数“M30”（《连接调试手册》第 149 页 P2500.6）控制。

13.3 文件结束

在程序结束的后面，用%表示文件的结束。如果在程序结尾未执行 M30 就执行%，则系统变成复位状态。

14 简化编程功能

14.1 钻孔固定循环

钻孔用固定循环可以用包含 G 代码的一个程序段来完成，这样便可省掉在钻孔加工中通常要用多个程序段来指定使用频率较高的几个加工动作。因此，可以使程序得以简化。钻孔固定循环一览表如下。

G 代码	开孔动作	孔底动作	退刀动作	用途
G80	——	——	——	取消
G81	切削进给	——	快速进给	钻，点钻
G82	切削进给	暂停	快速进给	钻，镗阶梯孔
G83	间歇进给	——	快速进给	深孔加工循环
G84	切削进给	暂停，主轴反转	切削进给	攻丝
G85	切削进给	——	切削进给	镗
G86	切削进给	主轴停	快速进给	镗
G87	切削进给	主轴正转	快速进给	反镗
G88	切削进给	暂停，主轴停	手动	镗
G89	切削进给	暂停	切削进给	镗
G83.5	间歇进给	——	快速进给	高速深孔加工循环
G84.5	切削进给	暂停，主轴正转	切削进给	反攻丝循环
G86.5	切削进给	主轴准停	快速进给	精镗

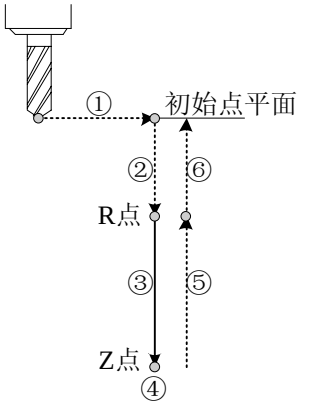
格式

G__ IP__ R__ Q__ P__ J__ F__ L__ ;

其相关地址说明如下表：

指定内容	地址	说明
孔加工方式	G	选择固定循环 G80~89、G83.5、G84.5、G86.5。
孔加工方向	J	X 向：J1 Y 向：J2 Z 向：未输入或输入非 1 或 2，如 J0。 当“DRG954”（《连接调试手册》第 157 页 P3300.6）设为 1 时，钻孔固定循环中可以重新指定空间笛卡尔坐标系的轴。那么孔加工方向不再局限于 X/Z 轴，J1 对应笛卡尔坐标系的第一轴，J2 对应笛卡尔坐标系的第二轴，未输入 J 或输入其它值则对应笛卡尔坐标系的第三轴。
孔位置数据	IP 中非孔加工方向轴地址	用绝对值或增量值指定孔的位置，控制与 G00 定位时相同。 当“DRPNCA”（《连接调试手册》第 157 页 P3300.3）设为 1 时，钻孔固定循环中允许使用空间外轴参与孔位置定位。
孔加工数据	IP 中孔加工方	如下图所示，用增量值指定从 R 点到孔底的距离或者用绝对值指令孔底的坐标值。进给速度在动作 3 中是用 F 指定的速度，在动作 5 中根

指定内容	地址	说明
	向地址	据孔加工方式不同，为快速进给或者用 F 代码指令的速度。
	R	如下图所示，用增量值指定的从初始点平面到 R 点的距离，或者用绝对值指定 R 点的坐标值。进给速度在动作 2 和动作 6 中全都是快速进给。
	Q	指定 G83.5、G83 中每次切入量或者 G86.5、G87 中平移量（增量值）。
	P	指定在孔底的暂停时间。时间与指定数值的关系和 G04 指定相同。
	F	指定切削进给速度。
循环次数	L	指令重复执行次数，未输入时为 1 次。



固定循环一般由下述六个动作组成：
①：定位
②：快速进给到R点
③：孔加工
④：孔底的动作
⑤：退回到R点
⑥：快速进给到初始点平面

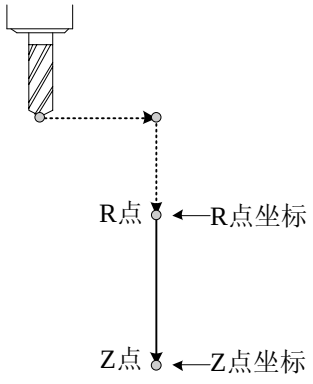
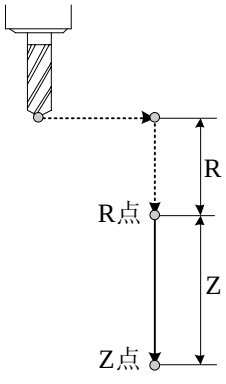
快速进给
切削进给

解释

- **绝对编程与相对编程**

  - 对于 G 代码体系 A，用地址 X、Z 和 U、W 来区分绝对编程和相对编程。
  - 对于 G 代码体系 B，用 G 代码 G90 和 G91 来区分绝对编程和相对编程。

  通常，G 代码体系 A 只使用绝对编程。G 代码体系 B 的情况如下图所示。

G90（绝对值指令）	G91（增量值指令）
	

注

使用 G91 对 X 编程时，注意其同时对 R、Z 的影响。

- **指定钻孔轴**

1 指令 J1，表示钻孔轴为 X 轴。

2 指令 J2，表示钻孔轴为 Y 轴。

3 指令 J0 或不指令 J，表示钻孔轴为 Z 轴。

当“DRG954”（《连接调试手册》第 157 页 P3300.6）设为 1 时，钻孔固定循环中可以重新指定空间笛卡尔坐标系的轴。那么孔加工方向不再局限于 X/Y/Z 轴，J1 对应笛卡尔坐标系的第一轴，J2 对应笛卡尔坐标系的第二轴，未输入 J 或输入其它值则对应笛卡尔坐标系的第三轴。

J 指令在连续的钻孔固定循环指令中模态保存，示例如下。

例

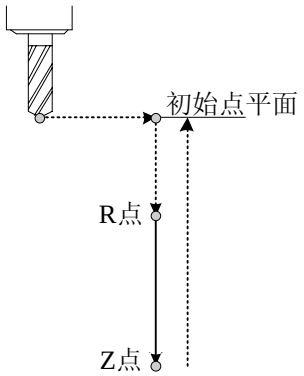
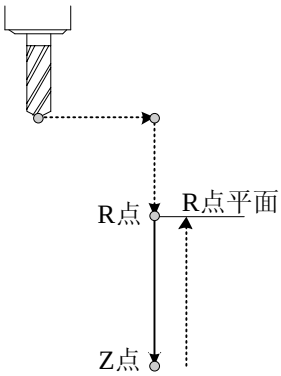
```
G84 X-50. F2. J1 ;   // X 向攻丝
X-80. ;              // X 向攻丝
G00 ;                //  出现非钻孔循环指令，前面的 J 模态数据被清除
G84 Z-50. F4. ;      // Z 向攻丝（未指令 J，默认 Z 向）
Z-60. ;              // Z 向攻丝
X-60. J1 ;           // X 向攻丝
```

- **返回点平面**

1 指令 G98，表示返回初始点平面。

2 指令 G99，表示返回 R 点平面。

通常，最初的孔加工用 G99，最后加工时用 G98。用 G99 状态加工孔时，初始点平面也不变化。如下图所示。

G98（返回到初始点平面）	**G99（返回到 R 点平面）**
	

注

1 初始点平面是表示从取消固定循环状态到开始固定循环状态的孔加工轴方向的绝对位置。

2 **G98 和 G99 指令仅在 G 代码体系 B 中支持。G 代码体系 A 中使用钻孔固定循环时，系统默认使用 G98 模态，即刀具只能从孔底返回到初始点平面。**

- **孔加工方式**

可供选择的孔加工固定循环指令包括：G80~G89、G83.5、G84.5、G86.5，都是模态 G 代码。

固定循环指令指定了固定循环的全部数据，包括孔加工方式、孔加工方向、孔位置数据、孔加工数据等，使之构成一个程序段。

一旦指令了孔加工方式和数据，一直到指定取消固定循环的 G 代码（G80 及 01 组 G 代码）之前一直保持有效（L 地址除外），所以连续进行同样的孔加工时，不需要每个程序段都指定孔加工方式和数据。在固定循环开始，把必要的孔加工数据全部指定出来，在其后的固定循环中只需指定变更的数据。

在固定循环中，如果复位，则孔加工数据、孔位置数据均被消除。上述的保持数据和清除数据的实例如下所示。

例

N1 G00 X_ M3 ;	
N2 G81 X_ Z_ R_ F_ ;	因为是开始，对 Z、R、F 要指定需要的值。
N3 X_ ;	因为和 N2 中已指定的孔加工方式及孔加工数据相同，所以 G81、Z、R、F 全可省略。用 G81 方式加工孔进一次。
N4 G82 X_ P_ ;	相对于 N3 位置只在 X 轴方向移动。用 G82 方式加工，并用 N2 中已指定的 Z、R、F 和 N4 中指定的 P 为孔加工数据进行孔加工。
N5 G80 G00 X_ M05 ;	不进行孔加工。取消全部孔加工数据，F 除外。
N6 G85 X_ Z_ R_ P_ ;	因为在 N5 中取消了全部数据，所以 Z、R 需要再次指定，F 与 N2 中指定的相同，故可省略。P 在此程序段中不需要，只是保存起来。
N7 X_ Z_ ;	只是与 N6 的 Z 值不同的孔加工，并且孔位置在 X 轴方向有移动。
N8 G89 X_ ;	把 N7 中已指定的 Z，N6 中已指定的 R、P 和 N2 中指定的 F 作为孔加工数据，进行 G89 方式的孔加工。
N9 G01 X_ Z_ ;	消除孔加工方式和孔加工数据，F 除外。

注

F 指令的切削速度，即使取消了固定循环也保持。

- **K 地址的指定**

当参数“KOE”（《连接调试手册》第 157 页 P3300.7）设为 1 时，在孔加工指令中，如果 K0 被指定，则保存孔加工数据，并定位到钻孔位置，但不向下钻孔。

注

1 如果 K 地址的指定值非 0，则产生报警（PS0195）。

2 如果未使能参数 KOE，当 X、Z、R 都未输入时，不执行任何动作，也不保存钻孔数据。

- **固定循环的取消**

使用与固定循环同组的 G80 或 01 组代码均可取消固定循环。

14.1.1 高速深孔加工循环（G83.5）

G83.5 循环为高速深孔钻循环，执行间歇进给直到孔底。

格式

G83.5 IP_ R_ Q_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

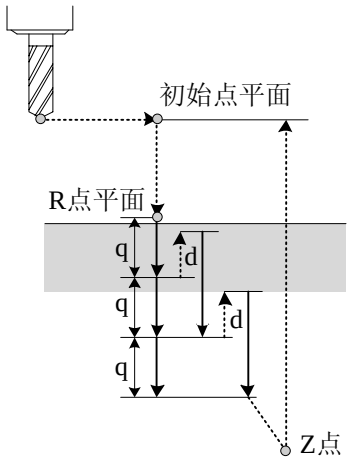
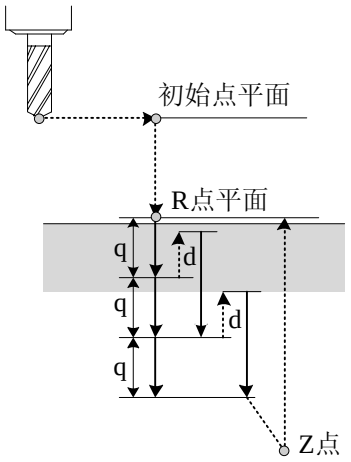
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

Q_：每次切削进给的进给量

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G83.5（G98）	G83.5（G99）
	

解释

高速深孔钻循环沿钻孔轴间歇进给，到孔底后，用快速退回。当使用这个循环时，因为设定了回退量，所以切屑可以跟随刀具的回退排出孔外，提高钻孔速度和精度。

注

1 退刀量 d 可用参数（P3310）设定，钻孔轴方向间歇进给，为使深孔加工容易排屑。退刀量可设定为微小量，这样可以提高工效。退刀运动采用快速移动。

2 Q 值在固定循环内保持模态值，在 G86.5、G87 中用作孔底平移量，请小心指定。

3 指定 G83.5 前，先启动主轴旋转。如果 G83.5 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

4 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

5 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

6 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

7 固定循环中刀具偏移指令无效。

8 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

9 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101	T0101
M03 S800 ; 主轴旋转	M03 S800 ; 主轴旋转
G00 X0 Z50.0	G00 X0 Z50.0
G83.5 Z-50. R5.0. Q10. F100. ;	G99 G83.5 Z-50. R5.0. Q10. F100. ;
定位，钻孔然后返回初始点平面	定位，钻孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点
M05 ; 主轴停止	M05 ; 主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202 ;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 C 轴夹紧
M13 S800 第二主轴正转	M13 S800 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G83.5 X-5. R5. Q10.0 F100 J1 ; 钻侧面孔	G99 G83.5 X-5. R5. Q10.0 F100 J1 ; 钻侧面孔
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.1.2 反攻丝循环（G84.5）

G84.5 循环为左旋攻丝循环，用于加工反螺纹。

格式

G84.5 IP_ R_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

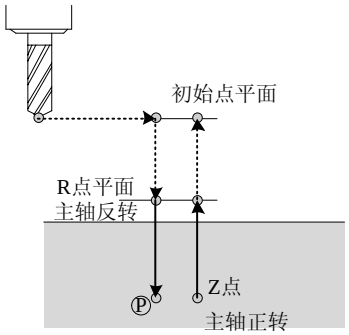
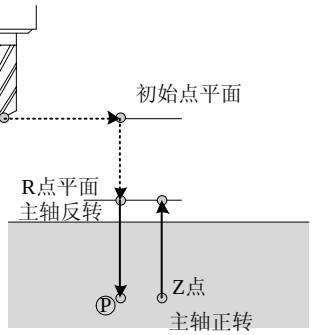
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：孔底暂停时间（单位 0.001 秒）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G84.5（G98）	G84.5（G99）
 Ⓟ：代表暂停	 Ⓟ：代表暂停

解释

该循环执行左旋攻丝，主轴反转状态攻入，到达孔底后主轴暂停时间 P，主轴正转退出，完成左旋攻丝动作。

注

1 G84.5 反攻丝循环中，进给速度倍率和进给保持无效。即使按下“进给保持”按键，在返回动作结束前也不停止。

2 指定 G84.5 前，先启动主轴旋转。如果 G84.5 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

3 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

4 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

5 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

6 固定循环中刀具偏移指令无效。

7 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

8 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔攻丝**

以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101 ;	T0101;
M04 S1000 ; 主轴反转	M04 S1000 ; 主轴反转
G00 X0 Z30.;	G00 X0 Z30.;
G84.5 X0. Z-20. R5. P100 F1.5 ;	G99 G84.5 X0. Z-20. R5. P100 F1.5;
G80 ;	G80 ;
M05 ;	M05 ;
M30 ;	M30 ;

- **侧面孔攻丝**

以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝。机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202; M38 ; C 轴夹紧 M14 S1000 ; 第二主轴反转 G00 X50 Z-10.; G84.5 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝 Z-30.0 ; G80 ; M39 ; C 轴松开 M15 ; 第二主轴停止 M30 ;	T0202; M38 ; C 轴夹紧 M13 S1000 ; 第二主轴反转 G00 X50 Z-10.; G99 G84.5 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝 Z-30.0 ; G80 ; M39 ; C 轴松开 M15 ; 第二主轴停止 M30 ;

14.1.3 精镗循环（G86.5）

精镗循环用于镗削精密孔。当到达孔底后，主轴停止，刀具离开工件表面并退回。

格式

G86.5 IP_ R_ Q_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

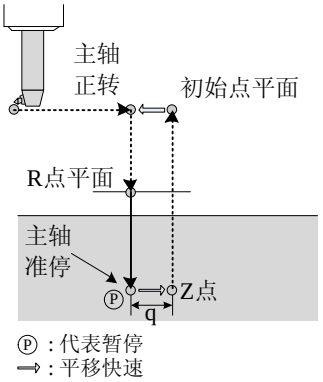
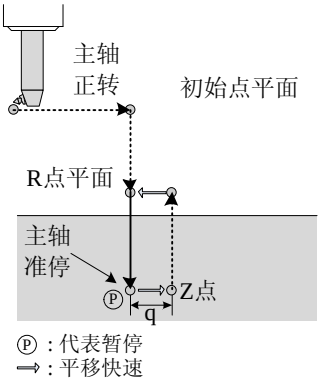
P_：孔底暂停时间（单位 0.001 秒）

Q_：孔底的偏移量

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

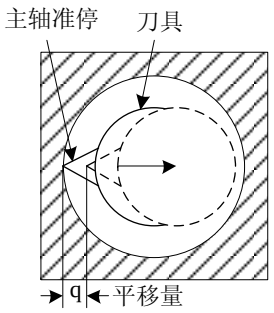
L_：循环次数

G86.5（G98）	G86.5（G99）
	

解释

精镗循环用于精密孔的镗削加工，主轴正转状态镗削至孔底，执行主轴准停，暂停时间 P，刀具以刀尖相反的方向平移距离 Q，使得刀具离开工件表面，刀具快速退回，完成精镗循环。

如下图所示，在孔底，通过定向信号，主轴停止在固定的回转位置上，向与刀尖相反的方向移动后退，不擦伤加工面，进行高精度、高效率镗削加工。



注

1 用地址 Q 指定位移量，Q 值必须是正值。即使用负值，符号也不起作用。位移方向（+X、-X、+Y、-Y）的选择，事先用参数 PM1（P3300.4）和 PM2（P3300.5）设定。

2 Q 值在固定循环内保持模态值，在 G83、G83.5 中用作每次切削深度，请小心指定。

3 指定 G86.5 前，先启动主轴旋转。如果 G86.5 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

4 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

5 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

6 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

7 固定循环中刀具偏移指令无效。

8 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

9 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **精镗端面中心孔**

以 1200rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度镗孔。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		**G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面**	
T0101		T0101	
M03 S1200 ;	主轴旋转	M03 S1200 ;	主轴旋转
G00 X0 Z50.0		G00 X0 Z50.0	
G86.5 Z-50. R5.0.P1000 Q0.5. F100. ;		G99 G86.5 Z-50. R5.0. Q0.5 P1000 F100. ;	
	定位，钻孔然后返回初始点平面		定位，钻孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点
M05 ;	主轴停止	M05 ;	主轴停止

- **精镗侧面孔**

以 1200rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度镗孔，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202; M38 ; C 轴夹紧 M13 S1200 ; 第二主轴正转 G00 X50 Z-10.; G86.5 X15. R5. P1000 F100 Q0.5 J1 ; 精镗侧面孔 Z-30.0 ; G80 ; M39 ; C 轴松开 M15 ; 第二主轴停止 M30 ;	T0202; M38 ; C 轴夹紧 M13 S1200 ; 第二主轴正转 G00 X50 Z-10.; G99 G86.5 X15. R5. P1000 F100 Q0.5 J1 ; 精镗侧面孔 Z-30.0 ; G80 ; M39 ; C 轴松开 M15 ; 第二主轴停止 M30 ;

14.1.4 钻孔循环、点钻循环（G81）

G81 是通用钻孔加工循环指令。

格式

G81 IP_ R_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

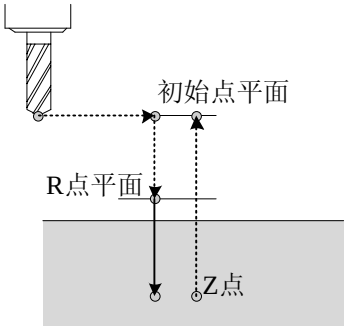
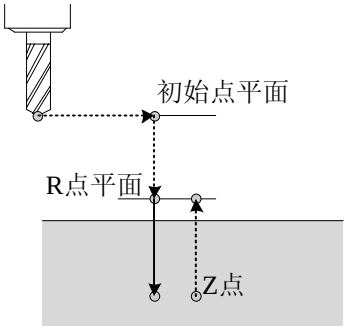
IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G81（G98）	G81（G99）
	

解释

刀具定位后，快速移动到 R 点，沿着钻孔轴方向钻到孔底，然后刀具快速退回。

注

1 指定 G81 前，先启动主轴旋转。如果 G81 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

2 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

3 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

4 固定循环中刀具偏移指令无效。

5 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

6 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面	
T0101		T0101	
M03 S800 ;	主轴旋转	M03 S800 ;	主轴旋转
G00 X0 Z50.0		G00 X0 Z50.0	
G81 Z-20. R5.0 F100. ;		G99 G81 Z-20. R5.0 F100. ;	
	定位，钻孔然后返回初始点平面		定位，钻孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点
M05 ;	主轴停止	M05 ;	主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面	
T0202;		T0202;	
M38 ;	C 轴夹紧	M38 ;	C 轴夹紧
M13 S800 ;	第二主轴正转	M13 S800 ;	第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;		G00 X50 Z-10.;	
G81 X15. R5. F100 J1 ;	钻侧面孔	G99 G81 X15. R5. F100 J1 ;	钻侧面孔
Z-30.0 ;		Z-30.0 ;	
G80 ;		G80 ;	
M39 ;	C 轴松开	M39 ;	C 轴松开
M15 ;	第二主轴停止	M15 ;	第二主轴停止
M30 ;		M30 ;	

14.1.5 钻孔循环、镗阶梯孔循环（G82）

G82 是通用钻孔加工循环指令，刀具在孔底暂停后返回。由于孔底暂停，在盲孔加工中，可提高孔深的精度。

格式

G82 IP_ R_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

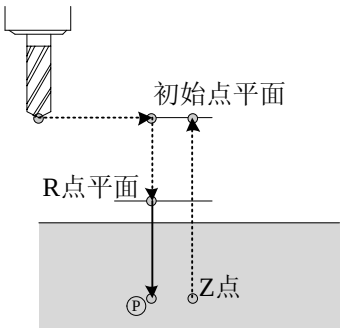
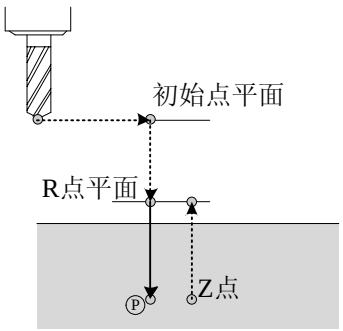
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：孔底暂停时间（单位 0.001 秒）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G82（G98）	G82（G99）
	
Ⓟ代表暂停	Ⓟ代表暂停

解释

刀具在定位后，快速移动到 R 点，沿着钻孔轴方向钻到孔底，暂停时间 P，然后刀具快速退回。

注

1 指定 G82 前，先启动主轴旋转。如果 G82 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

2 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

3 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

4 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

5 固定循环中刀具偏移指令无效。

6 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

7 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101	T0101
M03 S800 ; 主轴旋转	M03 S800 ; 主轴旋转
G00 X0 Z50.0	G00 X0 Z50.0
G82 Z-20. R5.0 P1000 F100. ;	G99 G82 Z-20. R5.0 P1000 F100. ;
定位，钻孔然后返回初始点平面	定位，钻孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点
M05 ; 主轴停止	M05 ; 主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M13 S800 ; 第二主轴正转	M13 S800 ; 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G82 X15. R5. P1000 F100 J1 ; 钻侧面孔	G99 G82 X15. R5. P1000 F100 J1 ; 钻侧面孔
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.1.6 深孔加工循环（G83）

G83 是深孔加工循环指令，执行间歇攻孔到孔底，然后快速退出。

格式

G83 IP_ R_ Q_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

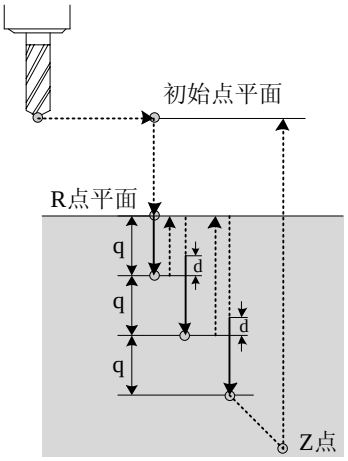
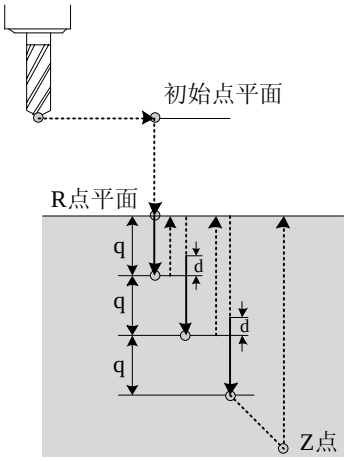
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

Q_：每次切削进给的进给量

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G83（G98）	G83（G99）
	

解释

按上述格式指令，Q 为每次的切入量，用增量值指令。当第二次以后切入时，先快速进给到距刚加工完的位置 d（毫米或英寸）处，然后变为切削进给。Q 值必须是正值，即使指令了负值，符号也无效。d 用参数（P3311）设定。

注

1 Q 值在固定循环内保持模态值，在 G86.5、G87 中用作孔底平移量，请小心指定。

2 指定 G83 前，先启动主轴旋转。如果 G83 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

3 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

4 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

5 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

6 固定循环中刀具偏移指令无效。

7 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

8 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面	
T0101		T0101	
M03 S800 ;	主轴旋转	M03 S800 ;	主轴旋转
G00 X0 Z50.0		G00 X0 Z50.0	
G83 Z-50. R5.0. Q5.0 F100. ;		G99 G83.5 Z-50. R5.0. Q5.0 F100. ;	
	定位，钻孔然后返回初始点平面		定位，钻孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点
M05 ;	主轴停止	M05 ;	主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M13 S800 ; 第二主轴正转	M13 S800 ; 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G83 X-5. R5. Q5.0 F100 J1 ; 钻侧面孔	G99 G83 X-5. R5. Q5.0 F100 J1 ; 钻侧面孔
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.1.7 攻丝循环（G84）

G84 循环为攻丝循环，用于加工正旋螺纹。

格式

G84 IP_ R_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

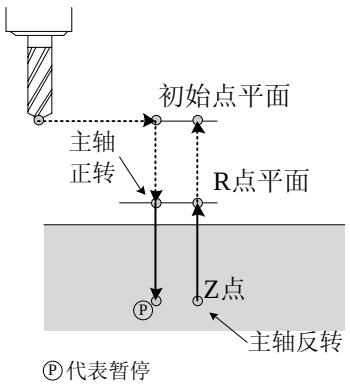
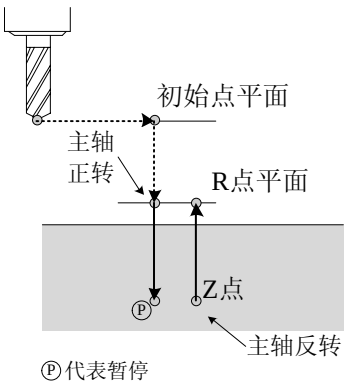
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：孔底暂停时间（单位 0.001 秒）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G84（G98）	G84（G99）
	

解释

该循环执行攻丝循环，主轴正转状态攻入，到达孔底后主轴暂停时间 P，主轴反转退出，完成攻丝动作。

注

1 G84 攻丝循环中，进给速度倍率和进给保持无效。即使按下“进给保持”按键，在返回动作结束前也不停止。

2 指定 G84 前，先启动主轴旋转。如果 G84 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

3 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

4 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

5 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

6 固定循环中刀具偏移指令无效。

7 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

8 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔攻丝**

以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101 ;	T0101;
M03 S1000 主轴正转	M03 S1000 主轴正转
G00 X0 Z30.;	G00 X0 Z30.;
G84 X0. Z-20. R5. P100 F1.5 ;	G99 G84 X0. Z-20. R5. P100 F1.5;
G80 ;	G80 ;
M05 ;	M05
M30 ;	M30 ;

- **侧面孔攻丝**

以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M13 S1000 ; 第二主轴正转	M13 S1000 ; 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G84 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝	G99 G84 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.1.8 镗削循环（G85）

G85 用于镗削加工，加工完后，可以再用 G86.5 进行精镗。循环过程同 G84，只是在孔底主轴不反转，也没有暂停时间。

格式

G85 IP_ R_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

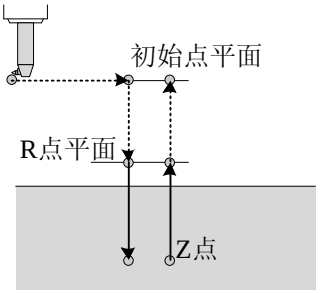
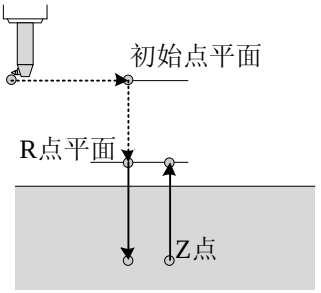
IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G85（G98）	G85（G99）
	

解释

刀具在定位后，快速移动到 R 点，沿着 Z 向切削到孔底，再以切削速度退出，然后刀具返回 R 点或初始平面。

注

1 指定 G85 前，先启动主轴旋转。如果 G85 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

2 固定循环状态时，如果指令了 X、Y、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

3 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

4 固定循环中刀具偏移指令无效。

5 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

6 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101	T0101
M03 S800 ; 主轴旋转	M03 S800 ; 主轴旋转
G00 X0 Z50.0	G00 X0 Z50.0
G85 Z-20. R5.0 F100. ;	G99 G85 Z-20. R5.0 F100. ;
定位，钻孔然后返回初始点平面	定位，钻孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点
M05 ; 主轴停止	M05 ; 主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M13 S800 ; 第二主轴正转	M13 S800 ; 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G85 X15. R5. F100 J1 ; 钻侧面孔	G99 G85 X15. R5. F100 J1 ; 钻侧面孔
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.1.9 镗削循环（G86）

G86 用于镗削加工，加工完后，可以再用 G86.5 进行精镗。循环过程同 G81，只是在孔底主轴停转。

格式

G86 IP_ R_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

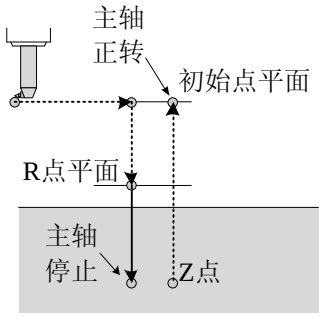
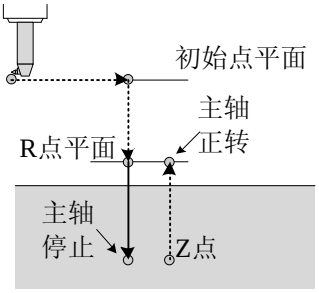
IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G86（G98）	G86（G99）
	

解释

刀具在定位后，快速移动到 R 点，沿着 Z 向切削到孔底，主轴停转，然后刀具快速返回 R 点或初始平面，主轴正转启动。

注

1 指定 G86 前，先启动主轴旋转。如果 G86 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

2 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

3 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

4 固定循环中刀具偏移指令无效。

5 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

6 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面	
T0101		T0101	
M03 S800 ;	主轴旋转	M03 S800 ;	主轴旋转
G00 X0 Z50.0 ;		G00 X0 Z50.0 ;	
G86 Z-20. R5.0 F100. ;		G99 G86 Z-20. R5.0 F100. ;	
	定位，钻孔然后返回初始点平面		定位，钻孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点
M05 ;	主轴停止	M05 ;	主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202; M38 ; C 轴夹紧 M13 S800 ; 第二主轴正转 G00 X50 Z-10.; G86 X15. R5. F100 J1 ; 钻侧面孔 Z-30.0 ; G80 ; M39 ; C 轴松开 M15 ; 第二主轴停止 M30 ;	T0202; M38 ; C 轴夹紧 M13 S800 ; 第二主轴正转 G00 X50 Z-10.; G99 G86 X15. R5. F100 J1 ; 钻侧面孔 Z-30.0 ; G80 ; M39 ; C 轴松开 M15 ; 第二主轴停止 M30 ;

14.1.10 镗削循环、反镗循环（G87）

G87 循环用于镗削精密孔。

格式

G87 IP_ R_ Q_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到指定位置的距离（增量值）或指定位置的坐标（绝对值）

R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

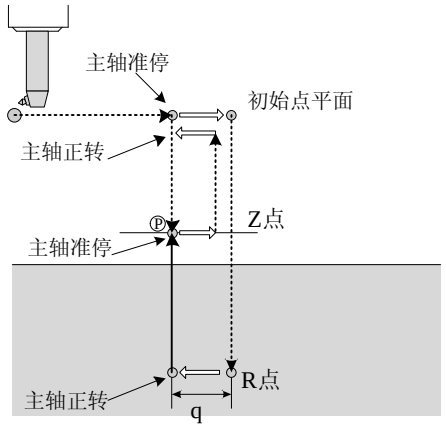
P_：孔顶 Z 点暂停时间（单位 0.001 秒）

Q_：孔底的偏移量

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G87（G98）	G87（G99）
 Ⓟ 代表暂停	不适用

解释

定位后，主轴在预定的回转位置停止，然后向刀具的相反方向位移 Q，用快速进给在孔底（R 点）定位，然后在此位置快速进给一个位移量 Q，主轴正转后沿钻孔轴的正向镗孔到钻孔轴指令位置。

在此位置，使主轴再次停止在预定的位置后，再向刀尖反方向位移 Q，然后刀具从孔中退出。返回到初始点后，进给一个位移量，主轴正转，进行下个程序段动作。关于位移量及其方向，与 G86.5 完全相同。主轴预定回转位置的工作方式如下：

诊断参数“M19S”（《连接调试手册》第 229 页 K005.2）设为 1，系统运行 G86.5 或 G87 指令，动作执行到主轴定向时，系统发出主轴定向信号（即输出口 M19O=1），然后等待，当定向完成（即输入口 M19I=1），系统继续往下执行，完成循环过程。

注

1 用地址 Q 指定位移量，Q 值必须是正值。即使用负值，符号也不起作用。位移方向（+X、-X、+Y、-Y）的选择，事先用参数 PM1（P3300.4）和 PM2（P3300.5）设定。

2 Q 值在固定循环内保持模态值，在 G83、G83.5 中用作每次切削深度，请小心指定。

3 指定 G87 前，先启动主轴旋转。如果 G87 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

4 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

5 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

6 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

7 固定循环中刀具偏移指令无效。

8 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

9 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **反精镗端面中心孔**

以 1200rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		**G 代码体系 B，刀具返回到初始点平面**	
T0101		T0101	
M03 S1200 ;	主轴旋转	M03 S1200 ;	主轴旋转
G00 X0 Z50.0		G00 X0 Z50.0	
G87 Z5.0. R-30.0.P1000 Q0.5. F100. ;	定位，向刀尖相反方向偏移，快速进给到初始平面，进刀偏移，镗 1 孔到 Z 点，暂停，主轴停转，主轴定向，退刀偏移，快速退出，偏移，返回到初始平面	G98 G87 Z5.00. R-30.0 Q0.5 P1000 F100. ;	定位，向刀尖相反方向偏移，快速进给到初始平面，进刀偏移，镗 1 孔到 Z 点，暂停，主轴停转，主轴定向，退刀偏移，快速退出，偏移，返回到初始平面
G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点
M05 ;	主轴停止	M05 ;	主轴停止

- **反精镗侧面孔**

以 1200rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到初始点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M13 S1200 ; 第二主轴正转	M13 S1200 ; 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G87 X30.0. R-20. P1000 F100 Q0.5 J1; 精镗侧面孔	G98 G87 X30.0. R-20. P1000 F100 Q0.5 J1; 精镗侧面孔
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.1.11 镗孔循环（G88）

G88 循环自动进给，手动退出。

格式

G88 IP_ R_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

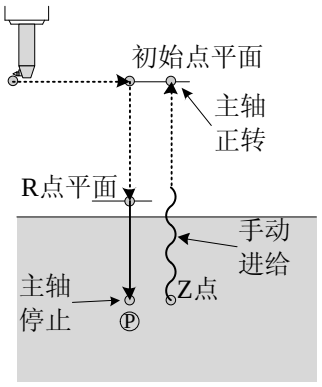
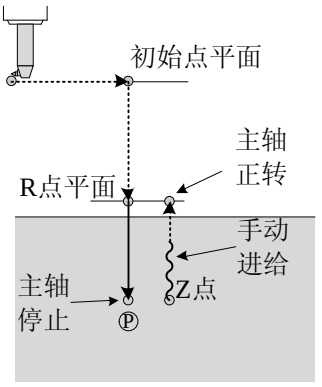
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：孔底暂停时间（单位 0.001 秒）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G88（G98）	G88（G99）
 Ⓟ：代表暂停	 Ⓟ：代表暂停

解释

刀具定位后，快速移动到 R 点，执行镗孔到孔底，在孔底暂停，主轴停转。此时切换成手动状态，可以手动移出刀具。无论进行什么样的手动操作，都要以刀具从孔中安全退出为原则。再开始自动加工时，快速返回 R 点或初始平面后，主轴正转启动。

注

1 指定 G88 前，先启动主轴旋转。如果 G88 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

2 固定循环状态时，如果指令了 X、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

3 在可进行孔加工动作的程序段中可以指令孔加工数据 Q、P。在不可进行孔加工的程序段中指令孔加工数据 Q、P 也不能作为模态数据被储存。

4 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

5 固定循环中刀具偏移指令无效。

6 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

7 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		**G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面**	
T0101		T0101	
M03 S800 ;	主轴旋转	M03 S800 ;	主轴旋转
G00 X0 Z50.0		G00 X0 Z50.0	
G88 Z-20. R5.0 P1000 F100. ;		G99 G88 Z-20. R5.0 P1000 F100. ;	
	定位，镗孔然后返回初始点平面		定位，镗孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ;	取消固定循环，返回到加工起点
M05 ;	主轴停止	M05 ;	主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面		**G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面**	
T0202;		T0202;	
M38 ;	C 轴夹紧	M38 ;	C 轴夹紧
M13 S800 ;	第二主轴正转	M13 S800 ;	第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;		G00 X50 Z-10.;	
G88 X15. R5. P1000 F100 J1 ;	镗侧面孔	G99 G88 X15. R5. P1000 F100 J1 ;	镗侧面孔
Z-30.0 ;		Z-30.0 ;	
G80 ;		G80 ;	
M39 ;	C 轴松开	M39 ;	C 轴松开
M15 ;	第二主轴停止	M15 ;	第二主轴停止
M30 ;		M30 ;	

14.1.12 镗孔循环（G89）

G89 用于镗削加工，加工完后，可以再用 G86.5 进行精镗。循环过程同 G85，只是在孔底有暂停时间。

格式

G89 IP_ R_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

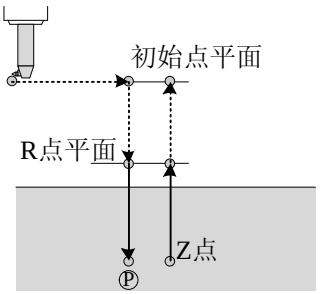
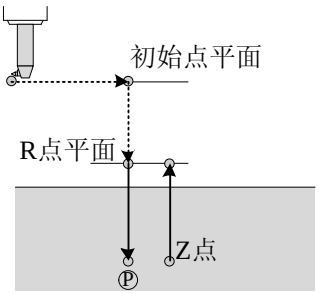
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：在孔底的暂停时间（0.001 秒）

J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F_：切削进给速度

L_：循环次数

G89（G98）	G89（G99）
	
Ⓟ：代表暂停	Ⓟ：代表暂停

解释

G89 循环和 G85 一样，只是在孔底增加了暂停时间，可以提高盲孔的加工精度。

注

1 指定 G89 前，先启动主轴旋转。如果 G89 和 M 代码在同一程序段指定，则在最初定位时送出 M 代码，并等待 M 代码执行结束后，才进行下个循环动作。

2 固定循环状态时，如果指令了 X、Y、Z、R 数据中的任意一个，就进行孔加工，如果程序段中不包含其中任意一个数据，则不进行孔加工。当 X 是和 G04 同时指定时，也不进行孔加工。

3 刀具长度补偿应在固定循环指令之前指令。

4 固定循环中刀具偏移指令无效。

5 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

6 必须在改变钻孔轴或加工平面之前取消固定循环。

举例

- **端面中心孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101	T0101
M03 S800 ; 主轴旋转	M03 S800 ; 主轴旋转
G00 X0 Z50.0 ;	G00 X0 Z50.0 ;
G89 Z-20. R5.0 P1000 F100. ;	G99 G89 Z-20. R5.0 P1000 F100. ;
定位，镗孔然后返回初始点平面	定位，镗孔然后返回 R 点平面
G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点	G80 G00 X0.Z50. ; 取消固定循环，返回到加工起点
M05 ; 主轴停止	M05 ; 主轴停止

- **侧面孔**

以 800rev/min 的主轴转速，F100mm/min 的速度加工，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M13 S800 ; 第二主轴正转	M13 S800 ; 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G89 X15. R5. P1000 F100 J1 ; 镗侧面孔	G99 G89 X15. R5. P1000 F100 J1 ; 镗侧面孔
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.1.13 固定循环取消（G80）

G80 用于取消固定循环状态。

格式

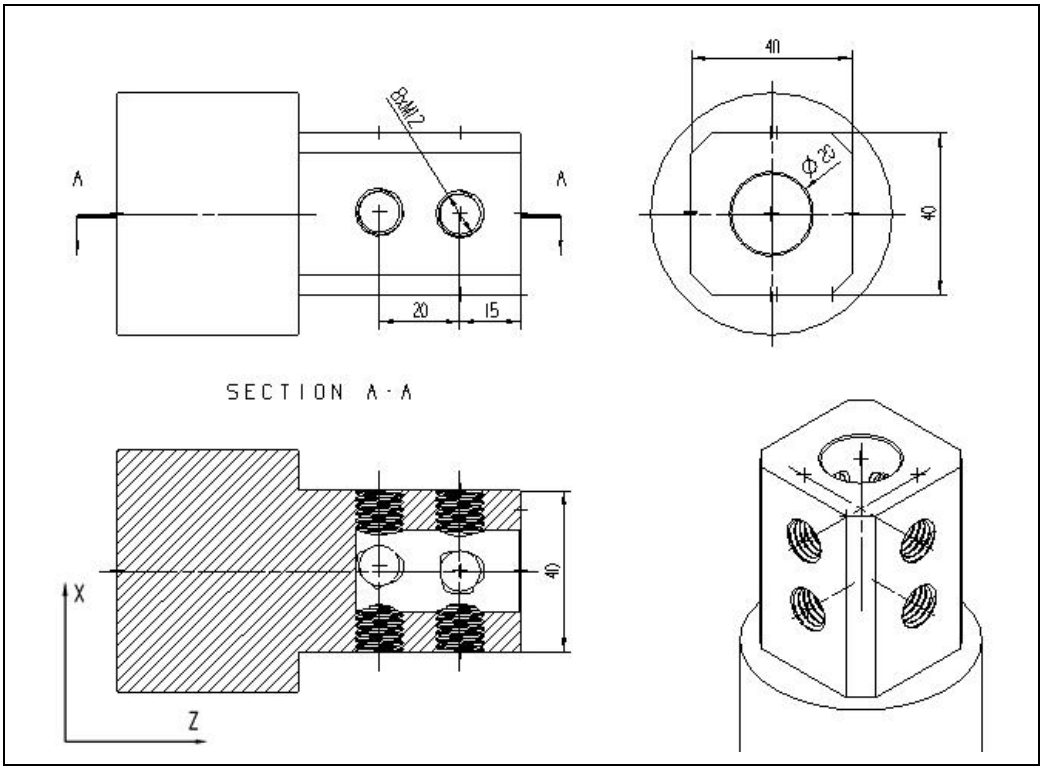
G80 ;

解释

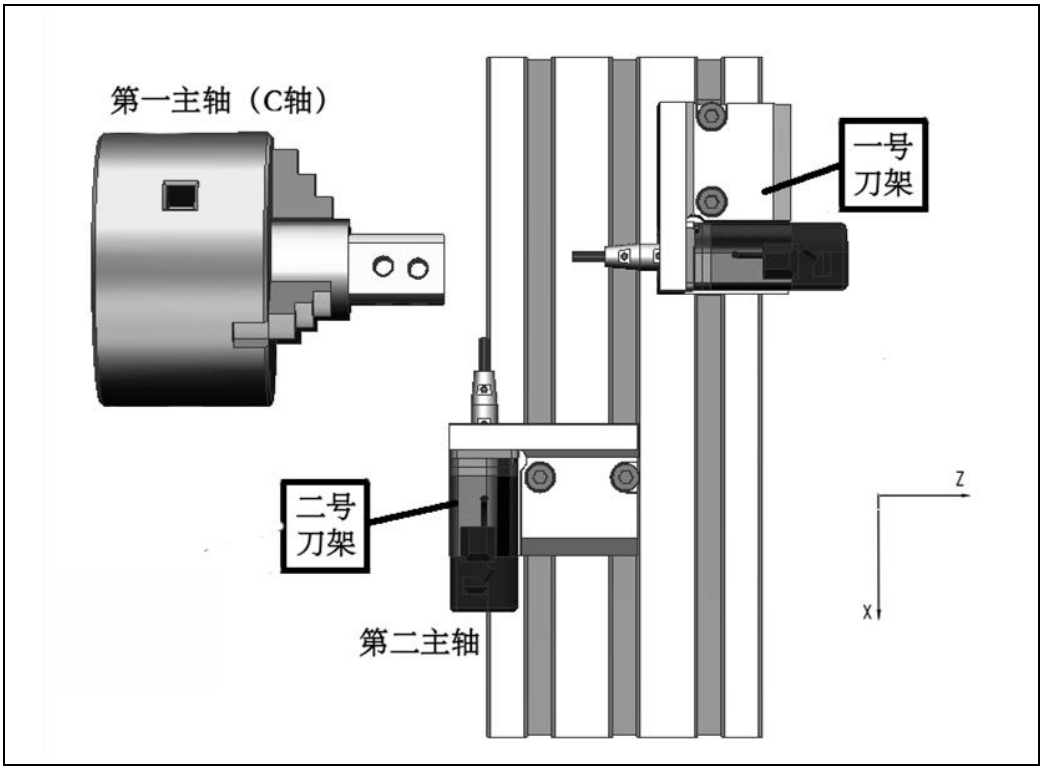
用于取消所有固定循环（G83.5、G84.5、G86.5、G81~G89）的所有加工数据，以后按通常动作加工。

14.1.14 钻孔固定循环实例（使用刀具长度补偿）

- **工件尺寸数据 1**



- **车铣复合结构简图**



- **工艺步骤分析及刀具选择**

根据图纸标识，按如下工艺步骤加工：

1 端面中心Φ20 的孔，选用Φ8，Φ16，Φ19 钻头粗加工，再选用镗刀粗镗Φ20 的孔

(1) 钻Φ8 的孔，深 45，采用深孔加工循环 G83 指令

(2) 钻Φ16 的孔，深 45，采用高速深孔加工循环 G83.5 指令

(3) 钻Φ19 的孔，深 45，采用钻孔循环 G82 指令

(4) 粗镗Φ20 的孔，深 42，采用镗削循环 G85 指令

2 侧面 8 个 M12 的螺纹孔，底径为 10.25，选用Φ10.5 的钻头钻孔，最后选择 M12 丝锥攻丝

(1) 钻Φ10.5 的 8 个孔，深,18，采用点钻循环 G81 指令

(2) 攻 M12 的孔深 18，采用 G84 右旋攻丝指令

3 精镗端面Φ20 的孔，采用 G86.5 指令

刀架及刀具编号：

1 平行于 Z 轴为 1 号刀架，安装Φ8，Φ16，Φ19.5 钻头和精镗刀，Φ8 钻头选用刀补号 1，Φ16 钻头选用刀补号 2，Φ19 钻头选用刀补号 3，粗镗刀选用刀补号 4，精镗刀选用刀补号 7

2 垂直于 Z 轴为 2 号刀架，安装Φ10.5 钻头和 M12 丝锥，Φ10.5 钻头选用刀补号 5，M12 丝锥选用刀补号 6

3 采用绝对对刀方式，逐一对刀，输入测量值到相应的刀补号中。

- **加工程序**

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	**G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面**
O8000	O8000
T0101 ; 调用Φ8 钻头	T0101 ; 调用Φ8 钻头
M03 S800 ; 第一主轴正转	M03 S800 ; 第一主轴正转
G00 X0 Z50.0 ;	G00 X0 Z50.0 ;
G83 Z-45.0 R5.0. Q5.0 F100 ; 加工Φ8 的孔	G98 G83 Z-45.0 R5.0. Q5.0 F100 ; 加工Φ8 的孔
G80 ;	G80 ;
T0102 ; 调用Φ16 钻头	T0102 ; 调用Φ16 钻头
G00 X0 Z50.0 ;	G00 X0 Z50.0 ;
G83.5 Z-45.0 R5.0. Q10.0 F100 ; 加工Φ16 的孔	G98 G83.5 Z-45.0 R5.0. Q10.0 F100 ; 加工Φ16 的孔
G80 ;	G80 ;
T0103 ; 调用Φ19 钻头	T0103 ; 调用Φ19 钻头
G00 X0 Z50.0 ;	G00 X0 Z50.0 ;
G82 Z-45.0 R5.0 P1000 F100 ; 加工Φ19 的孔	G98 G82 Z-45.0 R5.0 P1000 F100 ; 加工Φ19 的孔
G80 ;	G80 ;
T0104 ; 调用粗镗刀	T0104 ; 调用粗镗刀
S1200 ; 升高转速	S1200 ; 升高转速
G00 X0 Z50.0 ;	G00 X0 Z50.0 ;
G85 Z-42.0 R5.0 F100 ; 粗镗孔	G98 G85 Z-42.0 R5.0 F100 ; 粗镗孔
G80 ;	G80 ;
G00 X80.0 Z100.0 ; 退刀到安全位置	G00 X80.0 Z100.0 ; 退刀到安全位置
M05 ; 第一主轴停止	M05 ; 第一主轴停止
T0205 ; 调用Φ10.5 钻头	T0205 ; 调用Φ10.5 钻头
M60 ; C 轴进入位置模式	M60 ; C 轴进入位置模式

G00 C0 ; C 轴分度到 0 度 M38 ; C 轴夹紧 M13 S800 ; 启动第二主轴 G00 X80.0 Z-15.0 ; G81 X18.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C90.0 ; C 轴分度到 90 度 M38 ; C 轴夹紧 G81 X18.0 Z-15.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C180.0 ; C 轴分度到 180 度 M38 ; C 轴夹紧 G81 X18.0 Z-15.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C270.0 ; C 轴分度到 270 度 M38 ; C 轴夹紧 G81 X18.0 Z-15.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 Z-35.0 ; G80 ; 四面八个孔加工完成 M39 ; C 轴放松 M15 ; 第二主轴停止 T0206 ; 调用 M12 的丝锥 M13 S800 ; 启动第二主轴 G00 X80.0 Z-15.0 ; G00 C0 ; C 轴分度到 0 度 M38 ; C 轴夹紧 G84 X18.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ; 侧面攻丝 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C90.0 ; C 轴分度到 90 度 M38 ; C 轴夹紧 G84 X18.0 Z-15.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ; 侧面攻丝 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C180.0 ; C 轴分度到 180 度 M38 ; C 轴夹紧 G84 X18.0 Z-15.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ; 侧面攻丝 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松	G00 C0 ; C 轴分度到 0 度 M38 ; C 轴夹紧 M13 S800 ; 启动第二主轴 G00 X80.0 Z-15.0 ; G99 G81 X18.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 G98 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C90.0 ; C 轴分度到 90 度 M38 ; C 轴夹紧 G99 G81 X18.0 Z-15.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 G98 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C180.0 ; C 轴分度到 180 度 M38 ; C 轴夹紧 G99 G81 X18.0 Z-15.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 G98 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C270.0 ; C 轴分度到 270 度 M38 ; C 轴夹紧 G99 G81 X18.0 Z-15.0 R5.0 F100 ; 加工Φ10.5 的孔 G98 Z-35.0 ; G80 ; 四面八个孔加工完成 M39 ; C 轴放松 M15 ; 第二主轴停止 T0206 ; 调用 M12 的丝锥 M13 S800 ; 启动第二主轴 G00 X80.0 Z-15.0 ; G00 C0 ; C 轴分度到 0 度 M38 ; C 轴夹紧 G99 G84 X18.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ; 侧面攻丝 G98 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C90.0 ; C 轴分度到 90 度 M38 ; C 轴夹紧 G99 G84 X18.0 Z-15.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ; 侧面攻丝 G98 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松 G00 C180.0 ; C 轴分度到 180 度 M38 ; C 轴夹紧 G99 G84 X18.0 Z-15.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ;侧面攻丝 G98 Z-35.0 ; M39 ; C 轴放松

G00 C270.0 ; C 轴分度到 270 度 M38 ; C 轴夹紧 G84 X18.0 Z-15.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ; 侧面攻丝 Z-35.0 ; G80 ; 四面 8 个孔加工完成 M39 ; C 轴放松 M61 ; 轴退出位置模式 M15 ; 第二主轴停止 G00 X80 Z100.0 ; 退刀到安全位置 T0107 ; 调用精镗刀 M03 S1200 ; 第一主轴正转 G00 X0 Z50.0 ; G86.5 Z-42.0 R5.0.P1000 Q0.5. F100 ; 精镗Φ20 的孔 G80 ; M05 ; 第一主轴停止 M30 ; 程序结束	G00 C270.0 ; C 轴分度到 270 度 M38 ; C 轴夹紧 G99 G84 X18.0 Z-15.0 R5.0 P1000 F1.75 J1 ; 侧面攻丝 G98 Z-35.0 ; G80 ; 四面 8 个孔加工完成 M39 ; C 轴放松 M61 ; C 轴退出位置模式 M15 ; 第二主轴停止 G00 X80 Z100.0 ; 退刀到安全位置 T0107 ; 调用精镗刀 M03 S1200 ; 第一主轴正转 G00 X0 Z50.0 ; G86.5 Z-42.0 R5.0.P1000 Q0.5. F100 ; 精镗Φ20 的孔 G80 ; M05 ; 第一主轴停止 M30 ; 程序结束

14.2 攻丝固定循环

14.2.1 模拟主轴攻丝（G93）

格式

G93 Zp_ F/I_ Q_ L_ P_ ;

Zp_：指定 Zp 轴终点坐标。

F/I_：攻丝导程。I 为英制导程指定，F 为公制导程指定。

Q_：起始角偏移。

L_：加工头数。

P_：每头螺纹加工完后的暂停时间。

解释

G93 为 01 组模态 G 代码。一般情况下，G93 后应指定 01 组其它模态 G 代码。

例

```
G93 Z-100. F5. ;    攻丝循环到 Z-100.后返回。
G00 X50. ;          X 向快速定位。
```

- **执行过程**

G93 执行过程如下：

1 Zp 轴向负方向按每转进给方式（切螺纹）进给。

2 运动到程序指定的坐标后，自动停止主轴转动。主轴完全停止后，自动反向旋转主轴，Zp 退回到起始位置。

3 停止主轴旋转，恢复程序段前指定的方向旋转主轴。

- **其他说明**

1 与螺纹加工相同，在 G93 攻丝过程中，加减速曲线为直线，加/减速度由参数（P6480/P6481）

设定。

2 如果 Zp 正向运动后执行 G93，由于反向运动，系统会先执行反向间隙补偿。如果配步进电机堵转，可设置更小的间隙补偿速度，或在执行 G93 前，先指令 Zp 轴负向运动。

3 主轴制动时间参数的设置会影响主轴停止后反向启动旋转的时间，请注意设置。

注

1 Zp 必须为负向运动，否则产生报警（PS0012）。

2 不能编入除 Zp 以外的其它轴指令，否则产生报警（PS0012）。

3 G93 模态有效时，如果 Zp 轴未指令，则系统产生报警（PS0012）。（之前版本在 G93 模态有效时，如果 Zp 轴未指令，则按上次保存值运动。）

4 执行 G93 之前，必须启动主轴旋转。

5 要求机床的主轴刹车时间短。系统准备时按运动值+50.000，要求输出主轴停止时，运动长度不能超出 50mm 以上。

6 要求主轴转速不能过高。

7 指定地址 I 时，为英制螺纹指定。可理解为移动 1 英寸时主轴的圈数，单位为牙/英寸。

8 笛卡儿坐标系设定会更改攻丝进给轴。

9 本版本有 F122（FG93S1/FG93S3）输出信号和 G122（NG93W1/NG93W3）等待输入信号控制功能。具体参考 PLC 接口相关说明。

14.2.2 数字主轴刚性攻丝（G84、G84.5）

当机床配数字主轴时，可采用攻丝循环指令（G84）和左旋攻丝循环指令（G84.5）实现刚性攻丝。这时，主轴电机的工作和进给轴电机一样，由攻丝进给轴和主轴之间的插补来执行攻丝。刚性方式执行攻丝时，主轴每旋转一周，沿攻丝轴产生一定的进给（螺纹导程）。即使在加减速期间，这个操作也不变化。这样的攻丝方式，不用标准攻丝方式中使用的浮动丝锥卡头，可得到较快和较精确的攻丝。

G98 和 G99 指令仅在 G 代码体系 B 中支持。如果要在 G 代码体系 A 中使用钻孔固定循环，系统默认使用 G98 模态，即刀具只能从孔底返回到初始点平面。

14.2.2.1 刚性攻丝（G84）

格式

G84 IP_ R_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非攻丝轴）：孔位置数据

IP_（攻丝轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

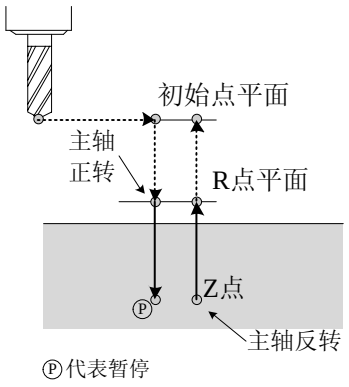
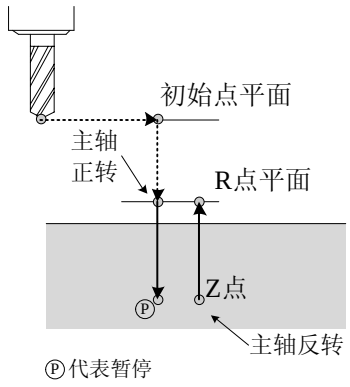
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：孔底暂停时间（单位 0.001 秒）

J_：攻丝方向，参考第 140 页说明

F/I_：攻丝导程。I 为英制导程指定，F 为公制导程指定。

L_：循环次数

G84（G98）	G84（G99）
	

解释

- **运动过程**

  定位后，执行快速移动到 R 点。从 R 点到孔底执行攻丝。当攻丝完成时，主轴停止并执行暂停，然后主轴以相反方向旋转，刀具退回到 R 点，主轴停止。然后，执行快速移动到初始位置。当攻丝正在执行时，进给速度倍率和主轴倍率始终保持 100%。

- **主轴转速**

  主轴转速由 S 指定，S 指令在 G84 之前或者和 G84 在同一程序段。

- **攻丝进给速度**

  在攻丝加工中，进给轴的进给速度=导程 F*主轴转速 S。系统实际的进给速度为进给轴与主轴的合成速度，这由系统自动计算。显示上，攻丝过程中 F 值显示为进给轴的进给速度。进给轴的进给速度不超过参数（P0713）设置的切削进给上限速度。

- **加减速控制**

  数字主轴刚性攻丝加减速由曲线参数（P6414/P6415）和速度参数（P6434/P6435）设定。

- **数字主轴功能与 G120 接口**

  数字主轴功能指的是专用数字主轴功能，非 NC 轴，NC 不能指令。G120 接口功能，可以指令 NC 轴作为 G84、G84.5 指令的攻丝主轴。这两个功能不能同时使用。

  使用 G120 接口功能进行攻丝时，应将参数 UG120（P2700.3）设置为 1，否则为模拟主轴攻丝。配置数字主轴功能的系统应将参数 UG120（P2700.3）固化为 0。

  有关 G120 接口功能详细说明，请参考 PLC 接口 G120 的有关说明。

注

1 当配置数字主轴功能时，在攻丝过程中，主轴工作方式不可以改变，否则产生报警（PS186）。
2 进给轴和主轴脉冲输出频率超过系统上限时，产生驱动器报警（3 指令速率过大）。
3 S 指令不可以为 0，否则产生报警（PS0011）。
4 G84 指令中，指定的攻丝长度不可以大于螺纹导程 F*1491，否则报警（PS0187）。
5 固定循环中刀具偏移指令无效。
6 固定循环中指定 01 组代码，则固定循环功能被取消。

举例

- **端面中心孔攻丝**

  以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101 ;	T0101;
M03 S1000; 主轴正转	M03 S1000; 主轴正转
G00 X0 Z30.;	G00 X0 Z30.;
G84 X0. Z-20. R5. P100 F1.5 ;	G99 G84 X0. Z-20. R5. P100 F1.5;
G80 ;	G80 ;
M05 ;	M05
M30 ;	M30 ;

- **侧面孔攻丝**

以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M13 S1000 ; 第二主轴正转	M13 S1000 ; 第二主轴正转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G84 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝	G99 G84 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.2.2.2 左旋刚性攻丝（G84.5）

格式

G84.5 IP_ R_ P_ J_ F_ L_ ;

IP_（非攻丝轴）：孔位置数据

IP_（攻丝轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

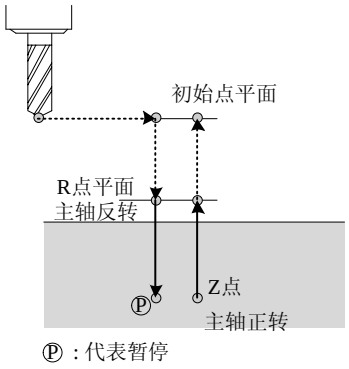
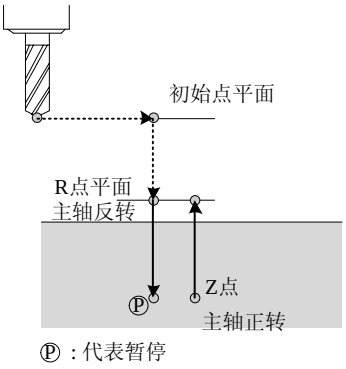
R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：孔底暂停时间（单位 0.001 秒）

J_：攻丝方向，参考第 140 页说明

F/I_：攻丝导程。I 为英制导程指定，F 为公制导程指定。

L_：循环次数

G84.5（G98）	G84.5（G99）
	

解释

与刚性攻丝（G84）唯一的区别是主轴反转攻入，正转退出。其他解释和注意事项请参考刚性攻丝（G84）。

举例

- **端面中心孔攻丝**

以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0101 ;	T0101;
M04 S1000 ; 主轴反转	M04 S1000 ; 主轴反转
G00 X0 Z30.;	G00 X0 Z30.;
G84.5 X0. Z-20. R5. P100 F1.5 ;	G99 G84.5 X0. Z-20. R5. P100 F1.5;
G80 ;	G80 ;
M05 ;	M05 ;
M30 ;	M30 ;

- **侧面孔攻丝**

以 1000rev/min 的主轴转速，1.5mm 导程攻丝，机床具有第二主轴功能。

G 代码体系 A，刀具返回到初始点平面	G 代码体系 B，刀具返回到 R 点平面
T0202;	T0202;
M38 ; C 轴夹紧	M38 ; C 轴夹紧
M14 S1000 ; 第二主轴反转	M13 S1000 ; 第二主轴反转
G00 X50 Z-10.;	G00 X50 Z-10.;
G84.5 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝	G99 G84.5 X15. R5. P100 F1.5 J1 ; 侧面孔攻丝
Z-30.0 ;	Z-30.0 ;
G80 ;	G80 ;
M39 ; C 轴松开	M39 ; C 轴松开
M15 ; 第二主轴停止	M15 ; 第二主轴停止
M30 ;	M30 ;

14.2.2.3 深孔刚性攻丝（排屑）循环（G84、G84.5）

在刚性攻丝方式中，深孔攻丝可能是困难的，因为切屑阻止刀具运动或者增加切削阻力。在这样的情况下，可使用深孔刚性攻丝（排屑）循环。在此循环中，系统会执行数次进刀直到孔底。深孔攻

丝循环有两种方式：高速深孔攻丝循环和标准深孔攻丝循环，用参数“PCP”（《连接调试手册》第 152 页 P2700.7）来选择。

格式

G84/G84.5 IP_ R_ P_ Q_ J_ F_ L_ ;

IP_（非孔加工轴）：孔位置数据

IP_（孔加工轴）：从 R 点到孔底的距离（增量值）或孔底的坐标（绝对值）

R_：从初始点平面到 R 点的距离（增量值），或 R 点的坐标（绝对值）

P_：孔底暂停时间（0.001 秒）

Q_：每次切削进给的进给量

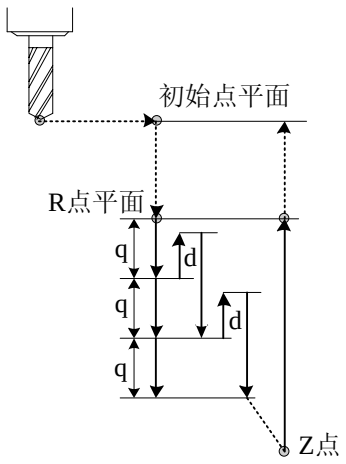
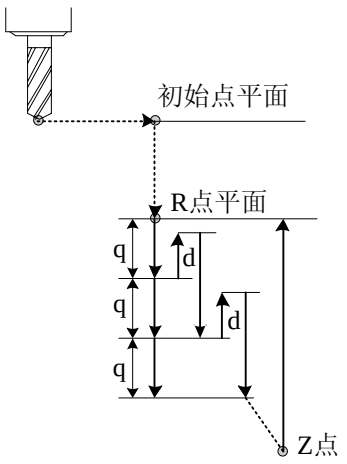
J_：孔加工方向，参考第 140 页说明

F/I_：攻丝导程。I 为英制导程指定，F 为公制导程指定。

L_：循环次数

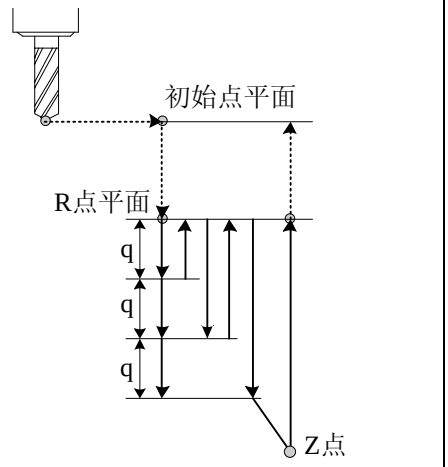
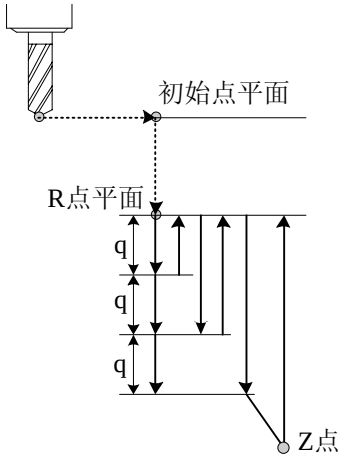
解释

- **高速深孔攻丝循环（PCP=1）**

G84/G84.5（G98）	G84/G84.5（G99）
	

如上图所示，攻丝孔位定位后，执行快速移动到 R 点。从 R 点用进刀深度 Q（每次切削进给的进给量）执行切削，然后刀具退回距离 d。当到达 Z 点时，主轴停止，然后以相反方向旋转后退。在参数“深孔刚性攻丝循环后退距离 d”（《连接调试手册》第 160 页 P3410）中设定后退距离 d。

- **标准深孔攻丝循环（PCP=0）**

G84/G84.5（G98）	G84/G84.5（G99）
	

如上图所示，攻丝孔位定位后，执行快速移动到 R 点。从 R 点用进刀深度 Q（每次切削进给的进给量）执行切削，然后返回到 R 点。再从 R 点开始下一次进刀。当到达 Z 点时，主轴停止，然后以相反方向旋转后退。

注

1 必须在攻丝程序段中指定 Q。如果在非攻丝程序段中指定 Q，则不能作为模态数据存储。当 Q0 被指定时，不执行深孔刚性攻丝循环。

2 其他注意点参考刚性攻丝（G84）的说明。

14.3 单一型固定循环（G90、G92、G94）

在有些特殊的粗车加工中，由于切削量大，同一加工路线要反复切削多次。此时可利用固定循环功能，用一个程序段可实现通常由 3~10 多个程序段指令才能完成的加工路线。并且在重复切削时，只需改变数值。这个固定循环对简化程序非常有效。

有三种单一型固定循环：外圆/内圆车削循环（G90）、螺纹切削循环（G92）、端面车削循环（G94）。

单一型固定循环指令只能在 ZX 平面运行。

在下面的说明中，都是以 X 轴用直径指定为例。如果用户要以 X 轴为半径指定，则用 U/2 替代 U，X/2 替代 X。

要取消单一型固定循环方式，需指定 G90、G92、G94 以外的 01 组 G 代码。

14.3.1 外圆/内圆车削循环（G90）

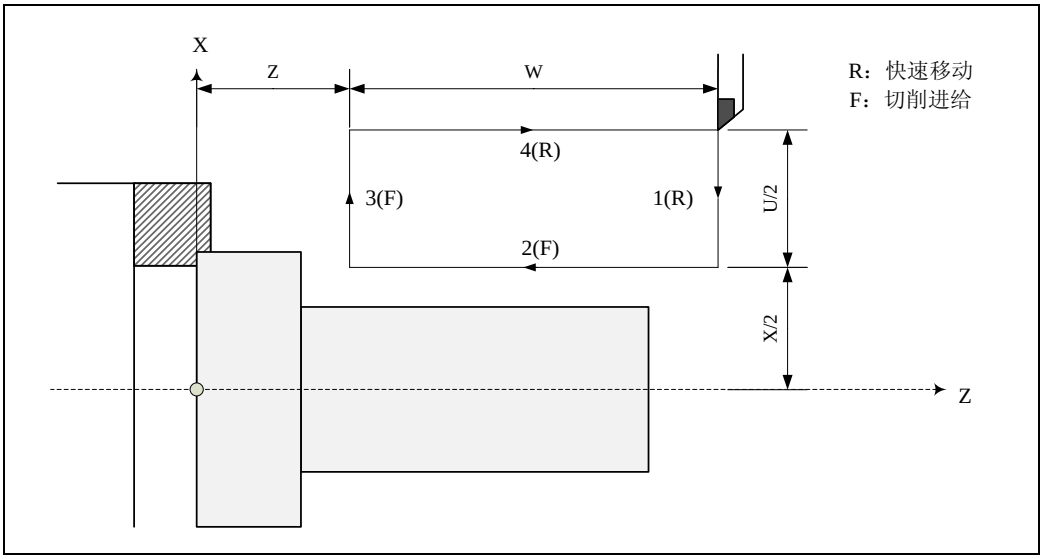
14.3.1.1 圆柱切削循环

格式

G90 X(U)__ Z(W)__ F__ ;

X(U)__ Z(W)__：纵向终点坐标（下图步骤 2 与 3 交点）或到纵向终点的移动量

F__：进给速度



解释

如上图所示，增量值指令时，地址 U、W 后的数值的符号，由轨迹 1 和 2 的方向来决定。在上述循环中，U 是负，W 也是负。在单程序段条件下，将连续执行 1、2、3、4 动作。

举例

加工程序

O0001 ;	程序号
M03 S500 ;	指定主轴正转
G00 X50. Z2. ;	刀具定位
G90 X45. Z-20. F100. ;	指定 G90 循环和 F 值
G00 X100. Z50. ;	刀具回退
M30 ;	程序结束

14.3.1.2 圆锥切削循环

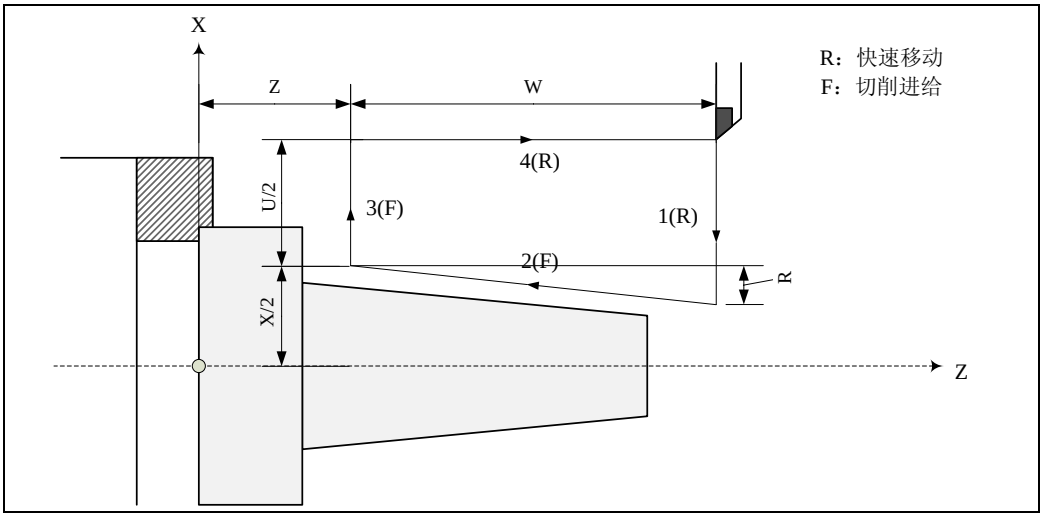
格式

G90 X(U)__ Z(W)__ R__ F__ ;

X(U)__ Z(W)__：纵向终点坐标（下图步骤 2 与 3 交点）或到纵向终点的移动量

F__：进给速度

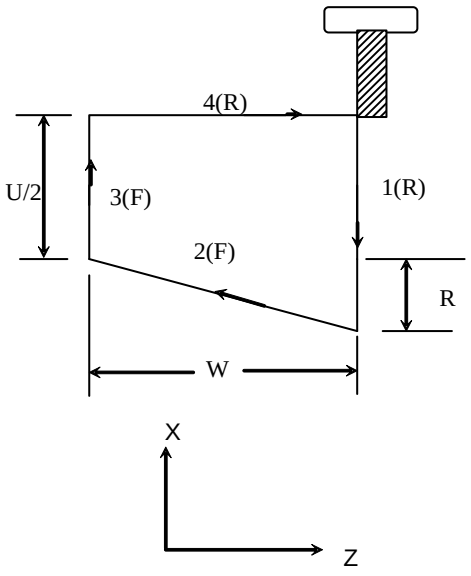
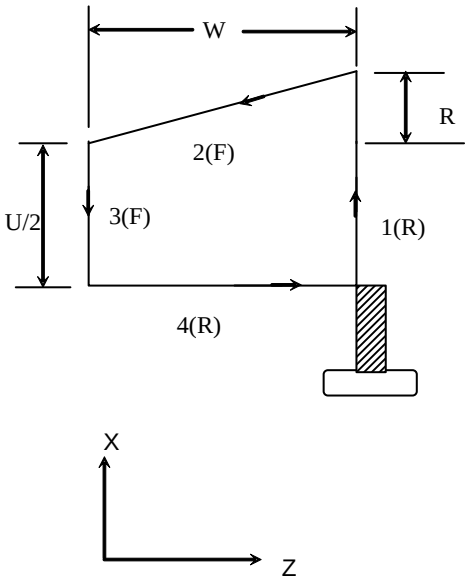
R__：最大端和最小端的半径差

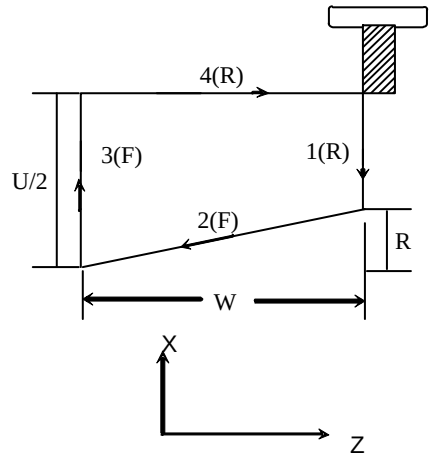
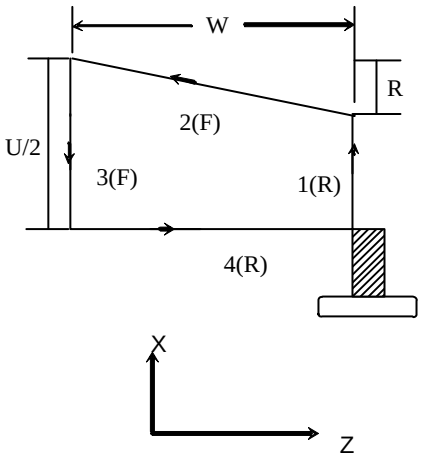


解释

如上图所示，R 值的正负决定工件正锥还是反锥体。

增量值指定时，地址 U、W、R 后数值的符号和刀具轨迹的关系如下所示。

（1）U<0，W<0，R<0	（2）U>0，W<0，R>0
	

（3）U<0，W<0，R>0，但｜R｜≤｜U/2｜	（4）U>0，W<0，R<0，但｜R｜≤｜U/2｜
	

14.3.2 螺纹切削循环（G92）

14.3.2.1 直螺纹切削循环

格式

G92 X(U)__ Z(W)__ F(I)__ L(Q)__ P__ J(aj) K(ak);

X(U)__ Z(W)__：纵向终点坐标（下图步骤 2 与 3 交点）或到纵向终点的移动量。

F__：公制螺纹的导程。单位：mm，范围：0.0001~500.0000。

I__：英制螺纹的牙数，可理解为长轴移动 1 英寸时主轴的圈数。单位：牙/英寸，范围：0.060~254000.000。非模态值。

L__：多头螺纹的头数。范围：1~99。模态值。超出范围进行单头螺纹加工。

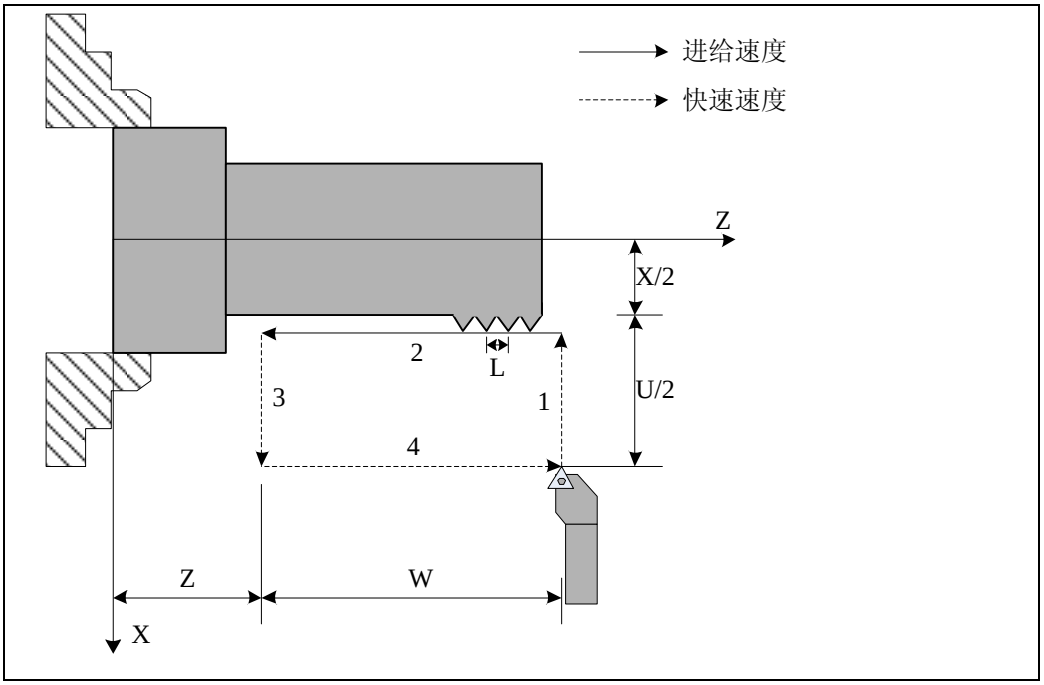
Q__：螺纹切削起始偏移角度。单位：度，范围：0~360。

P：螺纹倒角量。同 G76 中的 r，参考 G76 指令说明。

aj/ak：让刀平均加减速度系数，其比值影响退尾速度。

螺纹让刀平均加减速度实际值等于 P6483×aj/ak，aj 和 ak 可以输入任意值，只要其比值在 0.01~4.0 范围内即可。aj 和 ak 未输入时，都默认为 1.0。aj 和 ak 未输入小数点时，数据处理受 PODI 参数影响：

- PODI=1 时，J1 等价于 J1.0；
- PODI=0 时，J1 等价于 J0.001（与编程位数相关，此处以 3 位小数为例）



解释

如上图所示，增量值指令的地址 U、W 后续数值的符号，根据轨迹 1 和 2 的方向决定。即如果轨迹 1 的方向是 X 轴的负向，则 U 的数值为负。螺纹导程范围，主轴速度限制等，与 G32 的螺纹切削相同。

单程序段时，用循环起动进行 1、2、3、4 的动作。

注

1 要使用多头螺纹加工（L__）、起始角偏移螺纹加工（Q__）功能，需将参数“QSEL”（《连接调试手册》第 171 页 P6300.6）设为 1。

2 有关螺纹切削的参数与注意事项与 G32 相同，请参考 II-4.10。

3 要取消单一型固定循环方式，需指定 G90、G92、G94 以外的 01 组 G 代码。

14.3.2.2 圆锥螺纹切削循环

格式

G92 X(U)__ Z(W)__ R__ F(I)__ L(Q)__ P__ J(aj) K(ak) ;

X(U)__ Z(W)__：纵向终点坐标（下图步骤 2 与 3 交点）或到纵向终点的移动量。

R__：最大端和最小端的半径差。

F__：公制螺纹的导程。单位：mm，范围：0.0001~500.0000。

I__：英制螺纹的牙数，可理解为长轴移动 1 英寸时主轴的圈数。单位：牙/英寸，范围：0.060~254000.000。非模态值。

L__：多头螺纹的头数。范围：1~99。模态值。

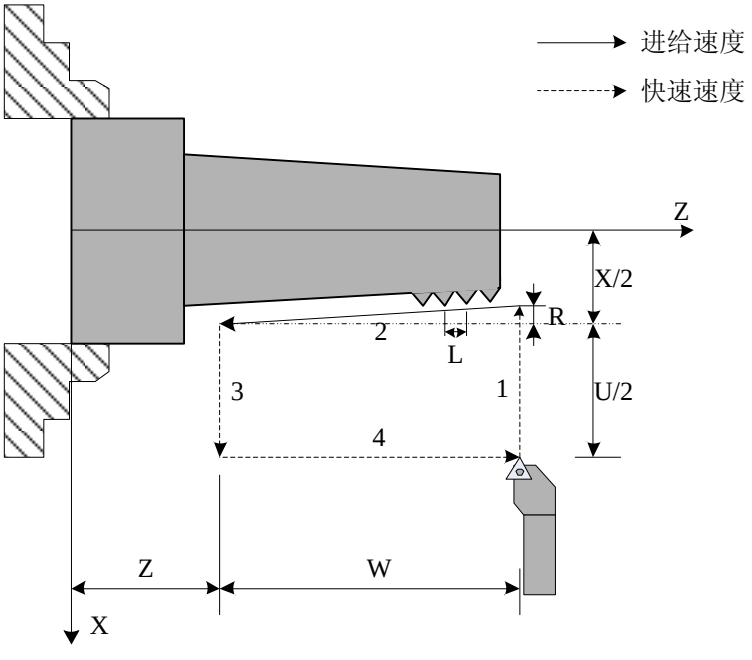
Q__：螺纹切削起始偏移角度。单位：度，范围：0~360。

P：螺纹倒角量。同 G76 中的 r，参考 G76 指令说明。

aj/ak：让刀平均加减速度系数，其比值影响退尾速度。

螺纹让刀平均加减速度实际值等于 P6483×aj/ak，aj 和 ak 可以输入任意值，只要其比值在 0.01~4.0 范围内即可。aj 和 ak 未输入时，都默认为 1.0。aj 和 ak 未输入小数点时，数据处理受 PODI 参数影响：

- PODI=1 时，J1 等价于 J1.0；
- PODI=0 时，J1 等价于 J0.001（与编程位数相关，此处以 3 位小数为例）



解释

说明与注意事项请参见上一小节“直螺纹切削循环”。

14.3.3 端面车削循环（G94）

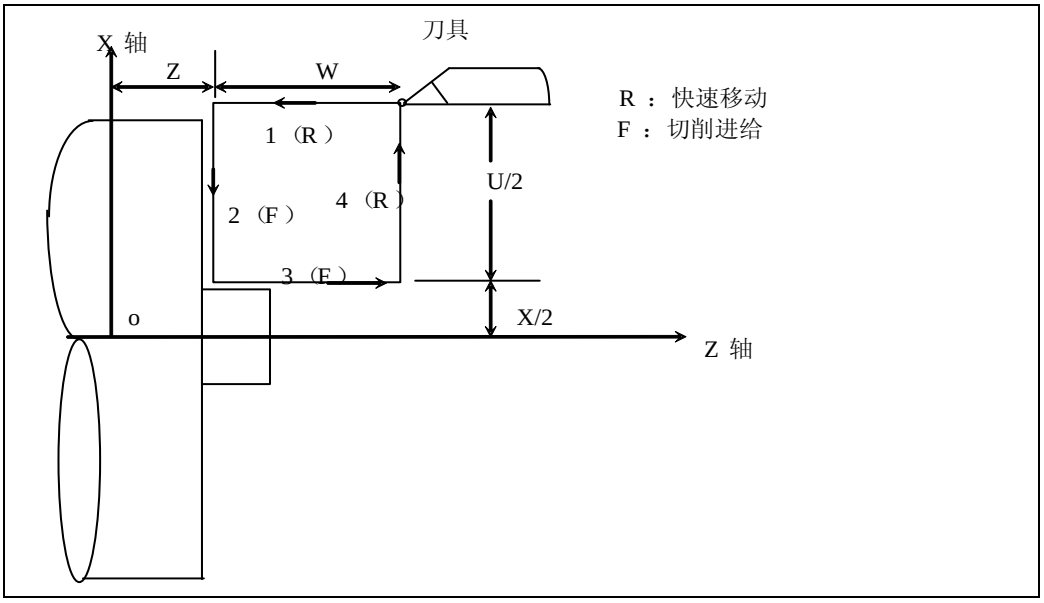
14.3.3.1 端面切削循环

格式

G94 X(U)__ Z(W)__ F__ ;

X(U)__ Z(W)__：侧向终点坐标（下图步骤 2 与 3 交点）或到侧向终点的移动量。

F__：进给速度



解释

如上图所示，增量值指令时，地址 U、W 后的数值的符号，由轨迹 1 和 2 的方向来决定。即如果轨迹 1 的方向是 Z 轴的负向，则 W 为负值。在单程序段条件下，将连续执行 1、2、3、4 动作。

14.3.3.2 锥度端面切削循环

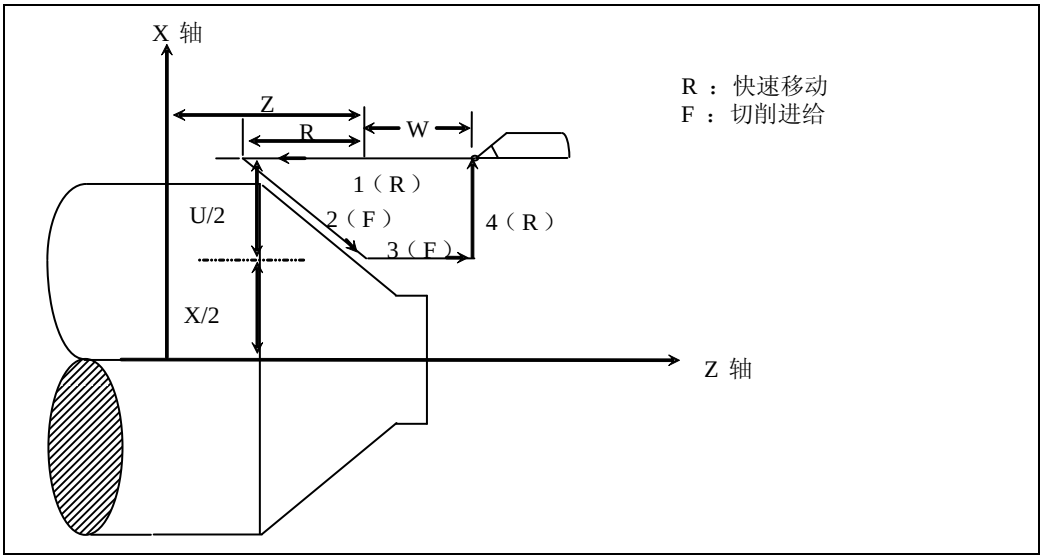
格式

G94 X(U)__ Z(W)__ R__ F__ ;

X(U)__ Z(W)__：侧向终点坐标（下图步骤 2 与 3 交点）或到侧向终点的移动量。

R__：锥度量

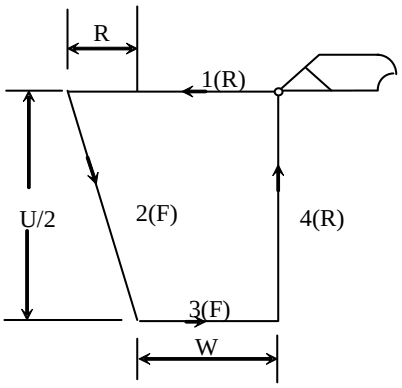
F__：进给速度



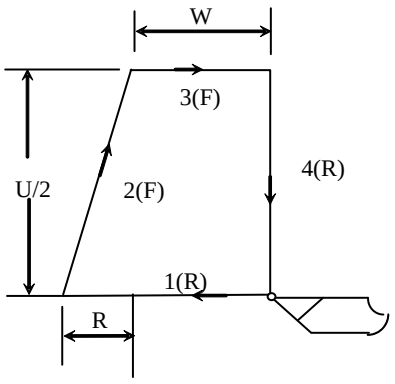
解释

增量值指定时，地址 U、W、R 后数值的符号和刀具轨迹的关系如下所示。

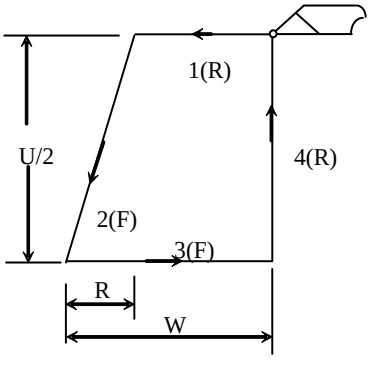
（1）U<0，W<0，R<0



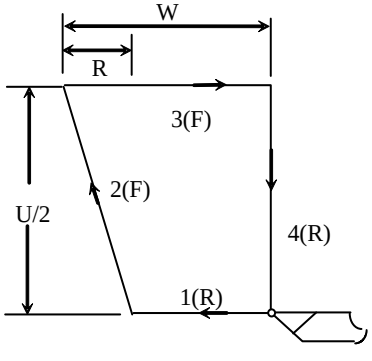
（2）U>0，W<0，R<0



（3）U<0，W<0，R>0 (｜R｜≤｜W｜)

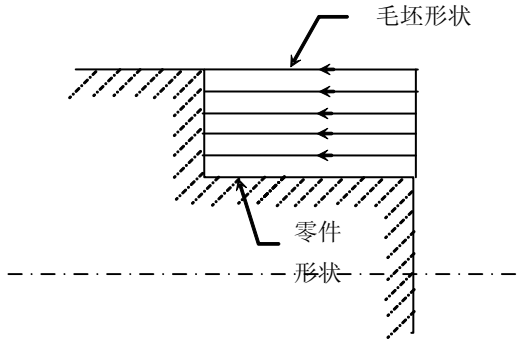
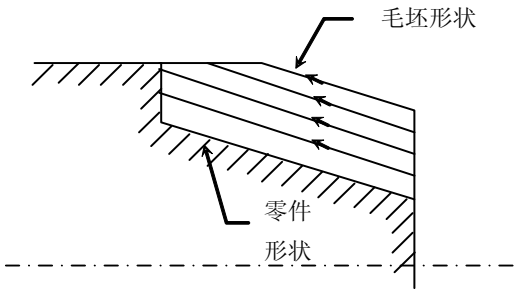


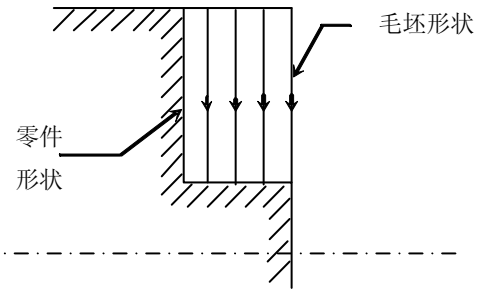
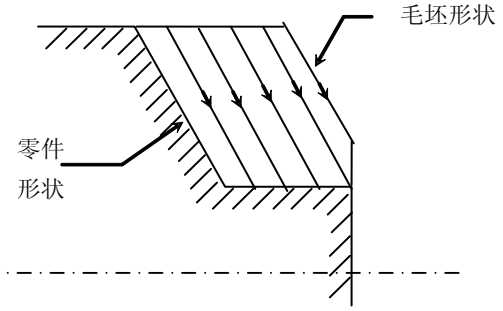
（4）U>0，W<0，R>0 (｜R｜≤｜W｜)



14.3.4 单一型固定循环的使用方法

根据毛坯形状和零件形状，选择适当的固定循环。

（1）圆柱切削循环（G90）	（2）圆锥切削循环（G90）
	

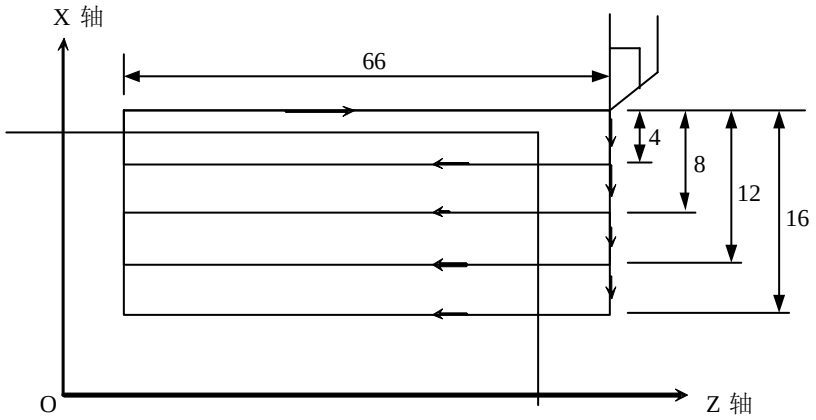
（3）端面切削循环（G94）	（4）锥度端面切削循环（G94）
	

解释

- **模态**

固定循环中的数据 X(U)、Z(W)、R 和 G90、G92、G94 一样，都是模态值。所以当没有指定新的 X(U)、Z(W)、R 时，前面指令的数据均有效。在实际使用中，Z 轴移动量相同，根据 X 轴移动指令变化，可以重复固定循环。另外，对于 X(U)、Z(W)、R 的数据，当指令了 G04 以外的非模态 G 代码或 G90、G92、G94 以外的 01 组的代码时，被清除。

例




```
O0001 ;
N020 G00 X100. Z70. ;
N030 G90 U-8.0 W-66.0 F400 ;
N040 U-16.0 ;
N050 U-24.0 ;
N060 U-32.0 ;
N070 G00 X100. Z100. ;
M30 ;
```

- **特殊使用方法**

1 固定循环程序段后面的程序段中，如果只包含 EOB（;）或者无移动指令，则重复此固定循环。

2 用 MDI 方式指令固定循环时，当此程序段运行结束后，只要移动光标到 EOB（;）处，再次按下“启动”按键，即可以进行和前面同样的固定循环。

3 在固定循环状态中，如果指令了 M、S、T，则固定循环可以和 M、S、T 功能同时执行。如果如下述例子所示那样指令 M、S、T 后，取消了固定循环（由于指令 G00、G01），再次指令固定循环即可。

例

```
O0001 ;
N003 T0101 ;
……
N010 G90 X20.0 Z-10.0 F200. ;
N011 G00 T0202 ;
N012 G90 X20.5 Z-10.0 ;
M30;
```

14.4 复合型车削固定循环（G70~G76）

复合型车削固定循环是为进一步简化编程提供的固定循环。例如，只给出精加工形状的轨迹，即可以自动决定中途进行粗车的刀具轨迹。并且，还有用于螺纹切削的固定循环。

复合型固定循环可以在 G17/G18/G19 平面中进行。

在下面的说明图中，都是以 ZpXp 平面(G18 平面)为例说明。说明中 X 轴用直径指定，如果用户要以 X 轴为半径指定，则用 U/2 替代 U，X/2 替代 X。

14.4.1 外圆粗车循环（G71）

格式

ZpXp 平面(G18 平面)

G71 U(Δd) R(e) ;

G71 P(ns) Q(nf) W(Δw) U(Δu) F(f) M(m) S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

YpZp 平面(G19 平面)

G71 W(Δd) R(e) ;

G71 P(ns) Q(nf) V(Δw) W(Δu) F(f) M(m)S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

XpYp 平面(G17 平面)

G71 V(Δd) R(e) ;

G71 P(ns) Q(nf) U(Δw) V(Δu) F(f) M(m)S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

下图中 A→A'→B 的精加工形状的移动指令，由顺序号 ns 到 nf 的程序来指令。

Δd：进刀量。切入方向由 AA'方向决定。该指定是模态的，一直到下次指定以前均有效。并且用参数（P3312）也可以指定，根据该指定，参数值也改变。

e：退刀量。该指定是模态的，在下次指定前均有效。用参数（P3313）也可设定，根据该指定，参数值也改变。

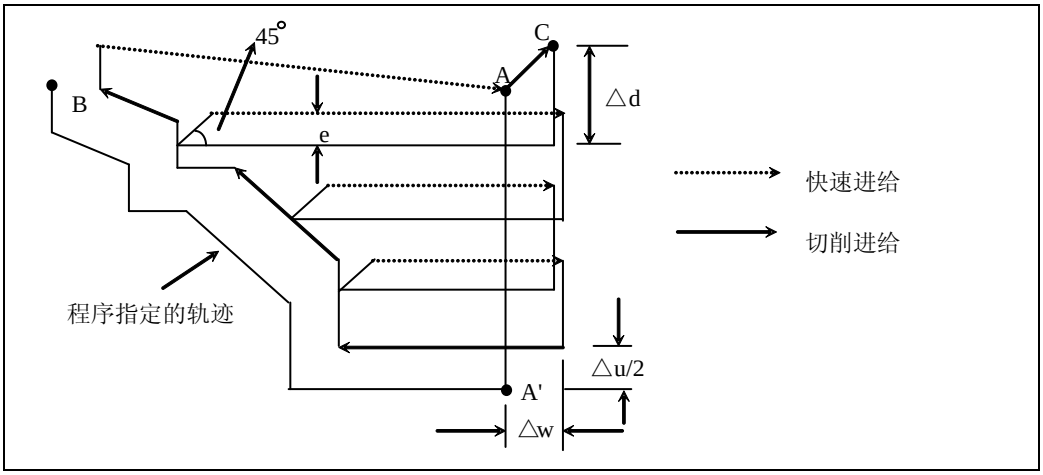
ns：精加工形状程序段群的第一个程序段的顺序号。

nf：精加工形状程序段群的最后一个程序段的顺序号。

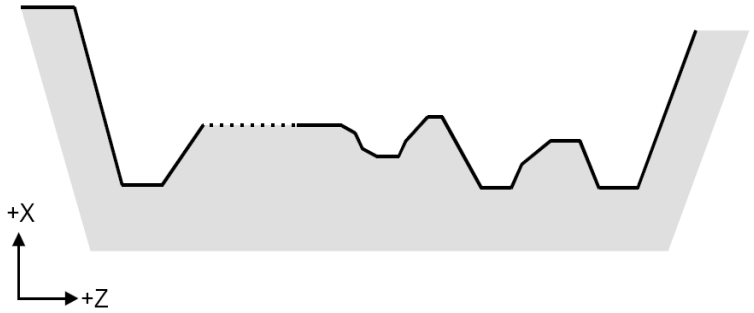
Δu：平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向的精加工余量的距离及方向，不设置时默认为 0。

Δw：平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向精加工余量的距离及方向，不设置时默认为 0。

f、m、s、t：在 G71 循环中，顺序号 ns~nf 之间程序段中的 F、M、S、T 功能均无效，全部被忽略。仅在有 G71 指令的程序段中，F、M、S、T 是有效的。



多槽孔加工

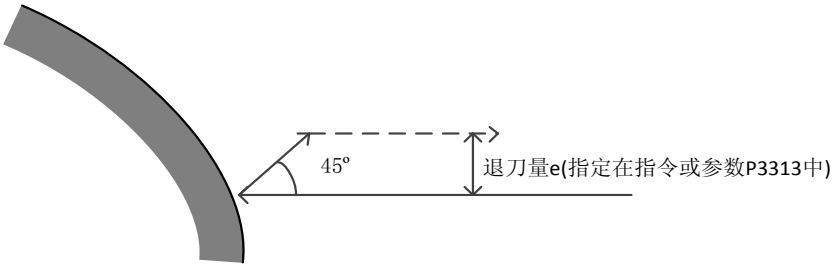


可加工如上图所示槽孔。粗车时，由离起点最近的槽孔加工起，依次加工完所有槽孔。槽孔数量不限。

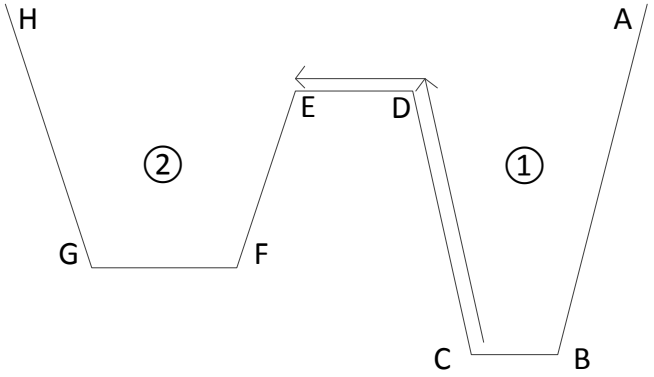
每个粗车子循环由最多 6 个阶段组成，包括“进刀”、“沿轮廓切入”、“粗车”、“沿轮廓切出”、“退刀”、“返回”。当“FCRPN”（《连接调试手册》第 157 页 P3301.7）设为 0 时，无“沿轮廓切出”阶段，否则有该阶段。

- **FCRPN=0**

无轮廓切出阶段时，采用 45 度退刀(如下图)。但是，在当前槽孔粗车完后，以切削方式沿精车轮廓走到下一个槽孔起点，开始粗车下一个槽孔。沿轮廓走到下一个槽孔的过程，可以省去粗车完所有槽孔后，不需要再进行粗车轮廓。

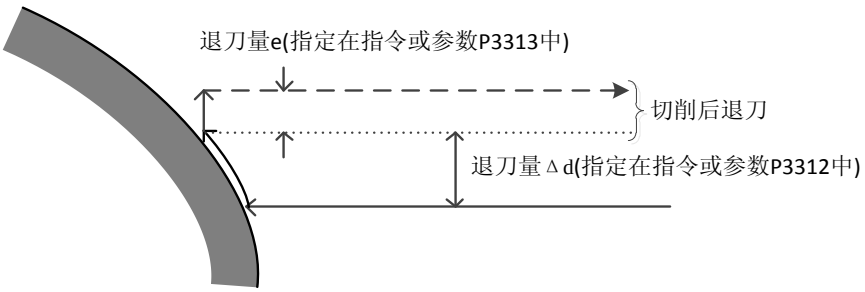


无轮廓切出阶段时，从槽①底部到槽②时沿轮廓切削路径示意图如下：

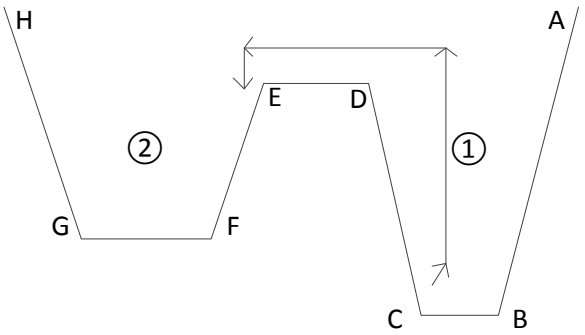


- **FCRPN=1**

有轮廓切出阶段时，粗车后沿轮廓切出，然后再退刀。但是，在当前槽孔粗车完后，沿 45 度方向让刀，然后定位到下一个槽孔起点，开始粗车下一个槽孔。有了轮廓切入和轮廓切出阶段，粗车完所有槽孔后，也不需要再进行粗车轮廓。



有轮廓切出阶段时，从槽①底部到槽②时定位路径示意图



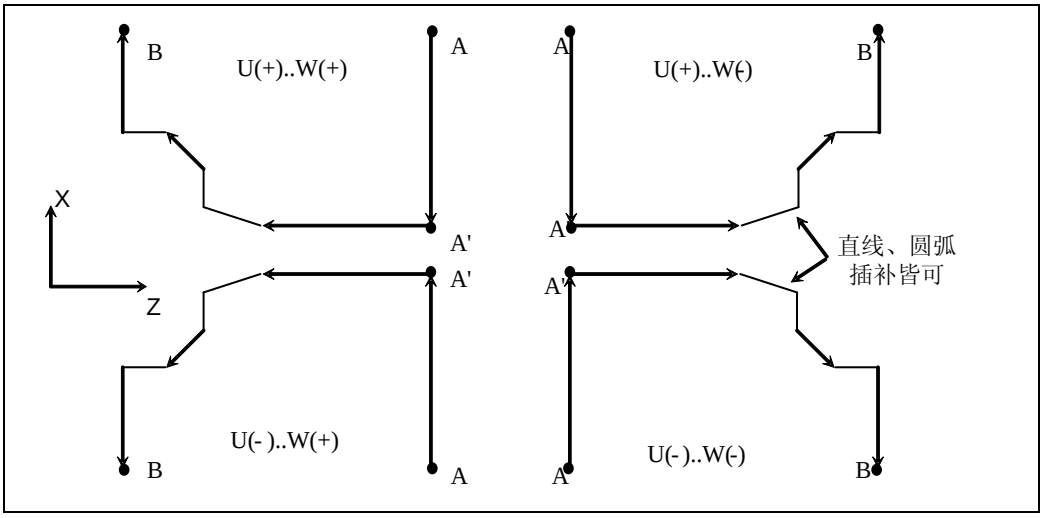
解释

- **动作**

如上图所示，在程序中，给出 A→A'→B 之间的精加工形状。留出ΔU/2、ΔW 精加工余量，用Δd 表示每次的切削的进刀量。执行完沿平面第 2 轴（ZX 平面时为 X 轴）方向的最后切削后，沿着精削形状进行粗车轮廓切削。等粗车轮廓加工结束后，执行由 Q 指定的程序段的下一个程序段。

- **形状**

根据Δu、Δw 的符号，用 G71 切削的形状，具有下述四种情况。无论哪种都是将刀具平行移动到平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)后切削工件，此时Δu、Δw 的符号如下图所示。



- **单调性检查**

对平面第 1 轴的单调性进行检查，如果非单调变化，那么报警 PS0381。

在 U(+)的情况下，不可加工具有比循环起点更高位置的形状。在 U(-)的情况下，不可加工具有比循环起点更低位置的形状。

设置参数“NCCDMN”（《连接调试手册》第 157 页 P3301.5）可屏蔽此项检查，但不建议使用。

- **开头程序段**

需要在精削形状程序的开头程序段(顺序号 ns 的程序段中 A-A'间的指令)中指定 G00 或 G01 指令，否则报警 PS0065。

注

1 Δd 和 Δu 都用同一地址指定，其区分是根据该程序段有无指定 P、Q。
2 当 Δd/Δu/Δw 所用地址与平面所要求的地址不符时，产生报警(PS0391)。
3 循环动作由 P、Q 指定的 G71 指令进行。
4 在 A 至 B 间的移动指令中的 F、M、S、T 无效，G71 程序段或以前指令的 F、M、S、T 有效。
5 当具有恒线速控制选择功能时，在 A 至 B 间移动指令中的 G96 或 G97 无效，在 G71 或之前程序段中有效。
6 当具有每转进给功能时，在 A 至 B 间移动指令中的 G94 或 G95 无效，在 G71 或之前程序段中有效。
7 在顺序号 ns 到 nf 的程序段中，不能调用子程序。
8 在程序段 ns~nf 之间，可以指定 G70 精加工循环时所需的 F、M、S、T 值。
9 P、Q 地址此处指定时不允许带小数点，否则产生报警（PS1202）。

14.4.2 端面粗车循环（G72）

与 G71 相同，G72 用与平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)平行的动作进行切削。

格式

ZpXp 平面(G18 平面)

G72 W(Δd) R(e) ;

G72 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) M(m) S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

YpZp 平面(G19 平面)

G72 V(Δd) R(e) ;

G72 P(ns) Q(nf) W(Δu)V(Δw) F(f) M(m)S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

XpYp 平面(G17 平面)

G72 U(Δd) R(e) ;

G72 P(ns) Q(nf) V(Δu) U(Δw) F(f) M(m)S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

下图中 A→A'→B 的精加工形状的移动指令，由顺序号 ns 到 nf 的程序来指令。

Δd：进刀量。切入方向由 AA'方向决定。该指定是模态的，一直到下次指定以前均有效。并且用参数（P3312）也可以指定，根据该指定，参数值也改变。

e：退刀量。该指定是模态的，在下次指定前均有效。用参数（P3313）也可设定，根据该指定，参数值也改变。

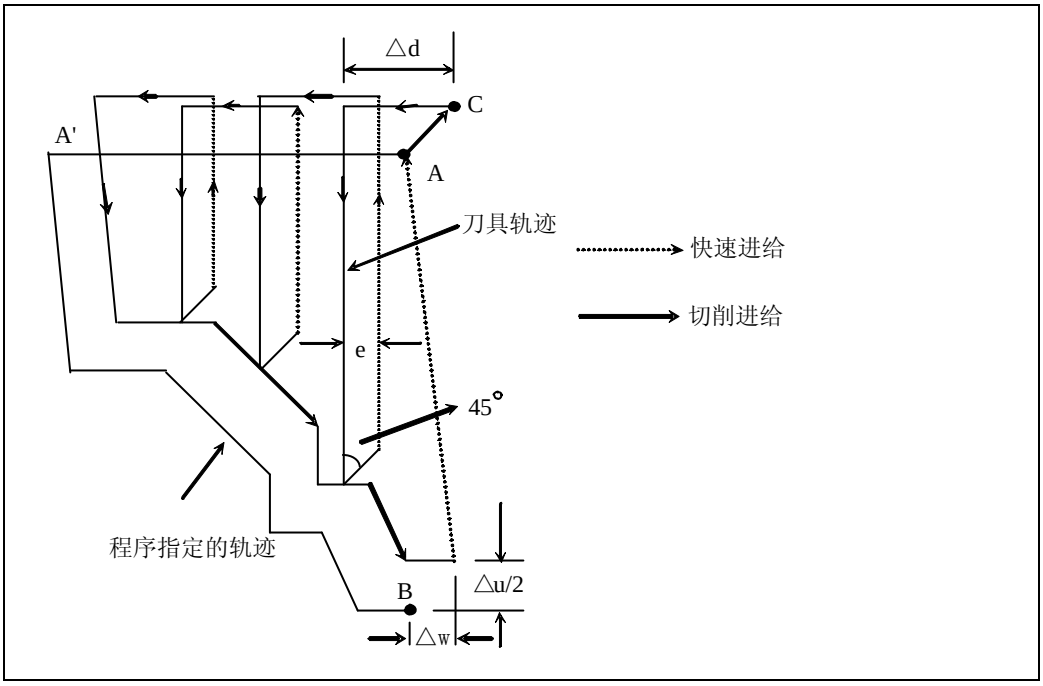
ns：精加工形状程序段群的第一个程序段的顺序号。

nf：精加工形状程序段群的最后一个程序段的顺序号。

Δu：平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向的精加工余量的距离及方向，不设置时默认为 0。

Δw：平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向精加工余量的距离及方向，不设置时默认为 0。

f、m、s、t：在 G72 循环中，顺序号 ns~nf 之间程序段中的 F、M、S、T 功能均无效，全部被忽略。仅在有 G72 指令的程序段中，F、M、S、T 是有效的。



多槽孔加工

请参考 G71 说明，这里仅描述与 G71 的不同之处。

G72 通过平行于平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)移动刀具来切削工件。

形状在平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向不必是单调增加或单调减少，可以设置凹陷部分(槽孔)。但是，平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向，必须是单调变化。

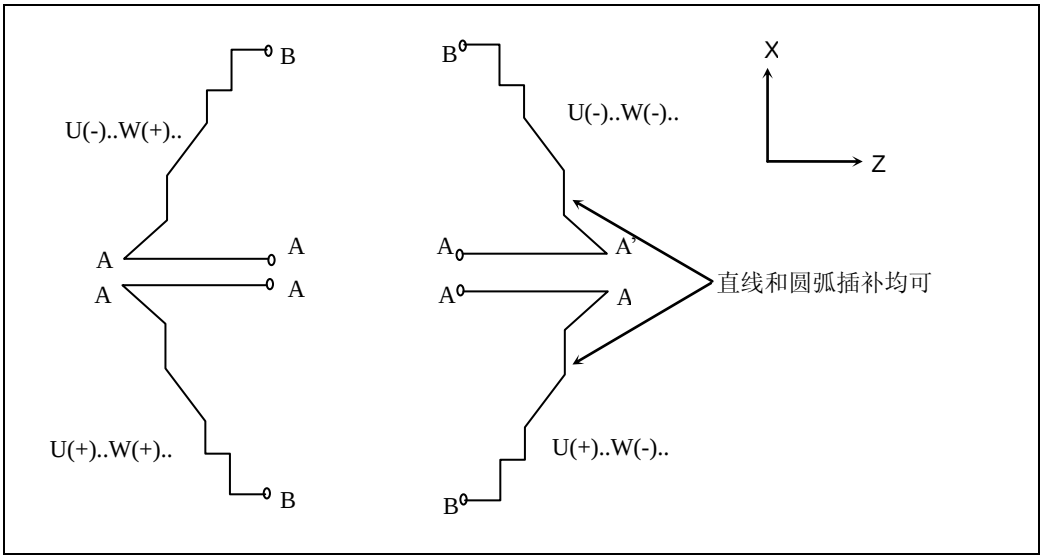
解释

- **动作**

如上图所示，在程序中，给出 A→A'→B 之间的精加工形状。留出 Δ U/2、Δ W 精加工余量，用 Δ d 表示每次的切削的进刀量。

- **形状**

根据 Δ u、Δ w 的符号，用 G72 切削的形状，具有下述四种情况。无论哪种都是根据刀具平行移动到平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)后切削工件，此时 Δ u、Δ w 符号如下图所示。



- **单调性检查**

对平面第 2 轴的单调性进行检查，如果非单调变化，那么报警 PS0381。

在 W(+)的情况下，不可加工具有比循环起点更高位置的形状。在 W(-)的情况下，不可加工具有比循环起点更低位置的形状。

设置参数“NCCDMN”(《连接调试手册》第 157 页 P3301.5）可屏蔽此项检查，但不建议使用。

- **开头程序段**

需要在精削形状程序的开头程序段(顺序号 ns 的程序段中 A-A'间的指令)中指定 G00 或 G01 指令，否则报警 PS0065。

注

1 Δd 和Δu 都用同一地址指定，其区分是根据该程序段有无指定 P、Q。
2 当Δd/Δu/Δw 所用地址与平面所要求的地址不符时，产生报警(PS0391)。
3 循环动作由 P、Q 指定的 G72 指令进行。
4 在 A 至 B 间的移动指令中的 F、M、S、T 无效，G72 程序段或以前指令的 F、M、S、T 有效。
5 当具有恒线速控制选择功能时，在 A 至 B 间移动指令中的 G96 或 G97 无效，在 G72 或之前程序段中有效。
6 当具有每转进给功能时，在 A 至 B 间移动指令中的 G94 或 G95 无效，在 G72 或之前程序段中有效。
7 在顺序号 ns 到 nf 的程序段中，不能调用子程序。
8 在程序段 ns~nf 之间，可以指定 G70 精加工循环时所需的 F、M、S、T 值。
9 P、Q 地址此处指定时不允许带小数点，否则产生报警（PS1202）。

14.4.3 封闭切削循环（G73）

利用该循环，可以按同一轨迹重复切削，每次切削刀具向工件移动一次。因此，对于锻造、铸造等粗加工已初步形成的毛坯，可以高效率地加工。

格式

ZpXp 平面(G18 平面)

G73 W(Δk) U(Δi) R(d) ;

G73 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) M(m) S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

YpZp 平面(G19 平面)

G73 V(Δk) W(Δi) R(d) ;

G73 P(ns) Q(nf) W(Δu) V(Δw) F(f) M(m) S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

XpYp 平面(G17 平面)

G73 U(Δk) V(Δi) R(d) ;

G73 P(ns) Q(nf) V(Δu) U(Δw) F(f) M(m) S(s) T(t) ;

N(ns) ;

……

N(nf) ;

下图中 A→A'→B 的精加工形状的移动指令，由顺序号 ns 到 nf 的程序来指令。

Δi：平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向退刀的距离及方向。这个指定是模态的，一直到下次指定前均有效。并且用参数（P3314）也可设定，根据该指定，参数值也改变。

Δk：平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向退刀的距离及方向。这个指定是模态的，一直到下次指定前均有效。并且用参数（P3315）也可设定，根据该指定，参数值也改变。

d：分割次数，等于粗车次数。该指定是模态的，直到下次指定前均有效。也可以用参数（P3316）指定，根据该指定，参数值也改变。如编入 R5，会分割 5 次。

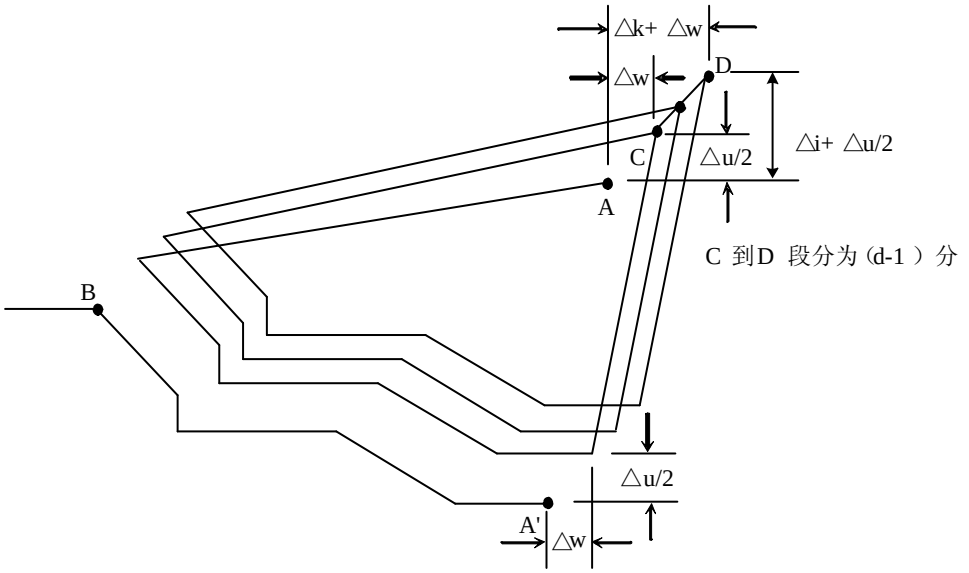
ns：精加工形状程序段群的第一个程序段的顺序号。

nf：精加工形状程序段群的最后一个程序段的顺序号。

Δu：平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向精加工余量的距离及方向，不设置时默认为 0。

Δw：平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向精加工余量的距离及方向，不设置时默认为 0。

f、m、s、t：在 G73 循环中，顺序号 ns~nf 之间程序段中的 F、M、S、T 功能均无效，全部被忽略。仅在有 G73 指令的程序段中，F、M、S、T 是有效的。



注

1 Δi、Δk、Δu、Δw 都用地址 U、W 指定，其区分是根据改程序段有无指定 P、Q。

2 当Δi/Δk/Δu/Δw 所用地址与平面所要求的地址不符时，产生报警(PS0391)。例如：G18 平面需要使用 W、U 指定Δk、Δi 时，如果输入 V 地址，那么报警。

3 循环动作由 P、Q 指定的 G73 指令进行。

4 G73 的切削形状同 G71 一样可分为四种，编程时请注意Δi、Δk、Δu、Δw 的符号。循环结束后，刀具返回 A 点。

5 G73 可以加工内凹的工件，所以在指定退刀量时要格外小心，一旦指定得不合理，则在退刀时有可能会撞上前面凸出的部位。一般选取退刀量时可以设定为最大余量的单边值。

6 P、Q 地址此处指定时不允许带小数点，否则产生报警（PS1202）。

7 R 地址此处指定时不应带小数点，如果编入小数点，那么自动取整数部分。

14.4.4 精加工循环（G70）

在用 G71、G72 或 G73 粗车后，可用 G70 精车。

格式

G70 P(ns) Q(nf) ;

ns：精加工形状程序段群的第一个程序段的顺序号。

nf：精加工形状程序段群的最后一个程序段的顺序号。

注

1 在 G71、G72、G73 程序段中指令的 F、M、S、T，对 G70 程序段无效。而顺序号 ns~nf 间指令的 F、M、S、T 对 G70 有效。

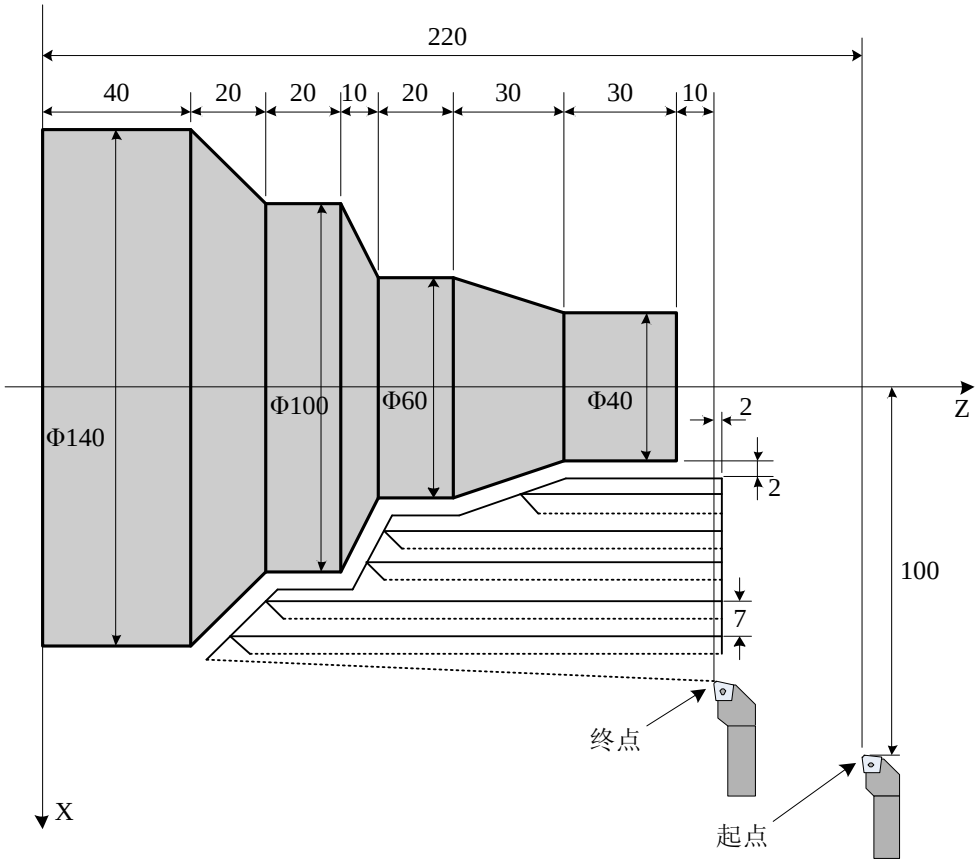
2 G70 的循环一结束，刀具就快速移动返回始点，并开始读入 G70 循环的下个程序段。

3 指令 G70~G73 时，在被使用的顺序号 ns~nf 间的程序段中，不能调用子程序。

4 P、Q 地址此处指定时不允许带小数点，否则产生报警（PS1202）。

举例

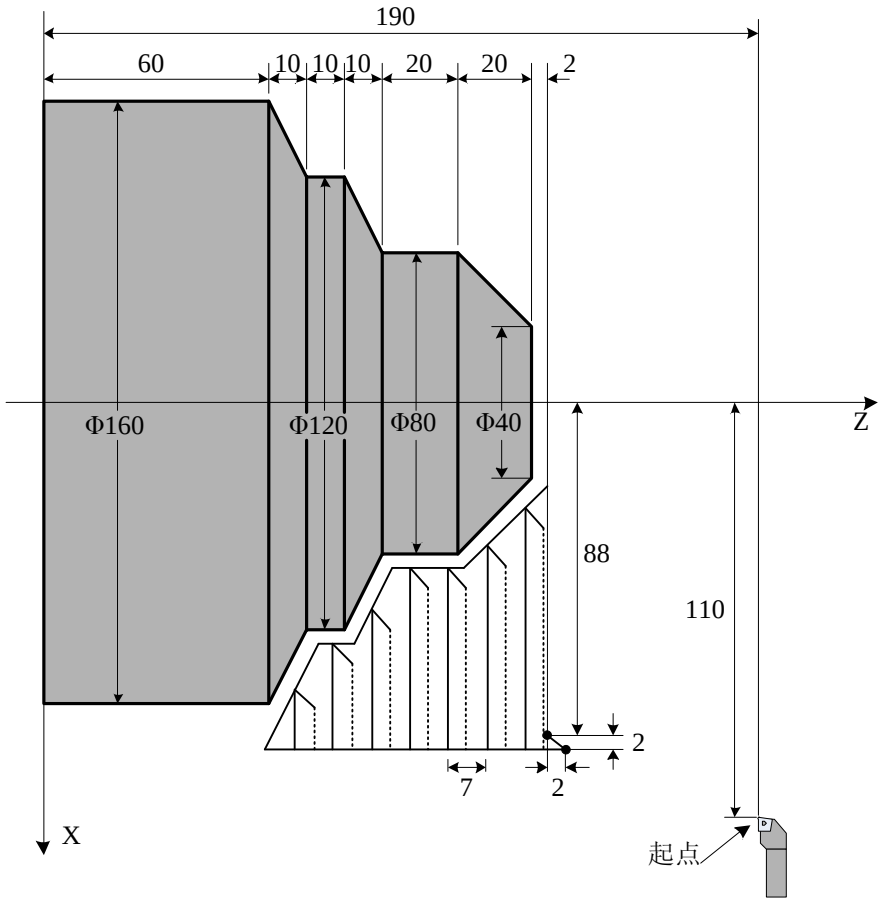
- **复合型固定循环（G70、G71）的实例**



（直径指定，公制输入）

```
N010 G50 X200.0 Z220.0 ;
N011 G00 X160.0 Z180.0 ;
N012 G71 U7.0 R1.0 ;
N013 G71 P014 Q020 U4.0 W2.0 F300.0 S800 ;
N014 G00 X40.0 F100.0 S1000 ;
N015 G01 W-40.0 ;
N016 X60.0 W-30.0 ;
N017 W-20.0 ;
N018 X100.0 W-10.0 ;
N019 W-20.0 ;
N020 X140.0 W-20.0 ;
N021 G70 P014 Q020 ;
```

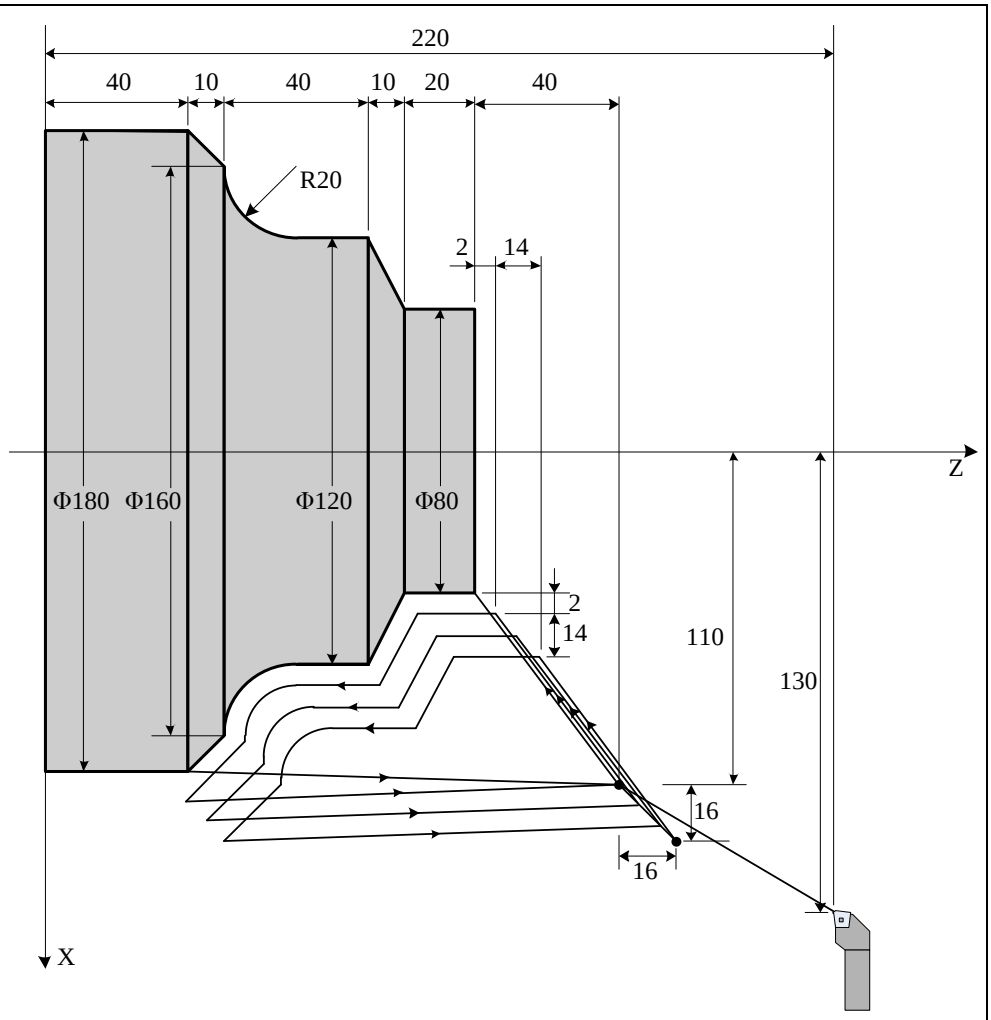
- **复合型固定循环（G70、G72）的实例**



（直径指定，公制输入）

```
N010 G50 X220.0 Z190.0 ;
N011 G00 X176.0 Z132.0 ;
N012 G72 W7.0 R1.0 ;
N013 G72 P014 Q019 U4.0 W2.0 F300 S800 ;
N014 G00 Z56.0 S1000 ;
N015 G01 X120.0 W14.0 F150.0 ;
N016 W10.0 ;
N017 X80.0 W10.0 ;
N018 W20.0 ;
N019 X36.0 W22.0 ;
N020 G70 P014 Q019 ;
```

- **复合型固定循环（G70、G73）的实例**



（直径指定，公制输入）

```
N010 G50 X260.0 Z220.0 ;
N011 G00 X220.0 Z160.0 ;
N012 G73 U14.0 W14.0 R3 ;
N013 G73 P014 Q019 U4.0 W2.0 F300 S0180 ;
N014 G00 X80.0 W-40.0 ;
N015 G01 W-20.0 F150.0 S0600 ;
N016 X120.0 W-10.0 ;
N017 W-20.0 S0400 ;
N018 G02 X160.0 W-20.0 R20.0 ;
N019 G01 X180.0 W-10.0 S0280 ;
N020 G70 P014 Q019 ;
```

14.4.5 端面深孔加工循环（G74）

G74 指令可以进行外圆切削的断屑处理。另外，如果省略 X(U)、P，只进行 Z 轴动作，则变为深孔钻循环。

格式

ZpXp 平面(G18 平面)

G74 R(e) ;

G74 Z(W) X(U) Q(Δk) P(Δi) R(Δd) F(f) ;

YpZp 平面(G19 平面)

G74 R(e) ;

G74 Y(V) Z(W) Q(Δk) P(Δi) R(Δd) F(f) ;

XpYp 平面(G17 平面)

G74 R(e) ;

G74 X(U) Y(V) Q(Δk) P(Δi) R(Δd) F(f) ;

e：回退量。这个指定是模态的，在下次指定前一直有效。并且用参数（P3317）也可设定，根据该指定，参数值也改变。

X(U)：指定平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向的终点坐标值，绝对值或相对值指定。

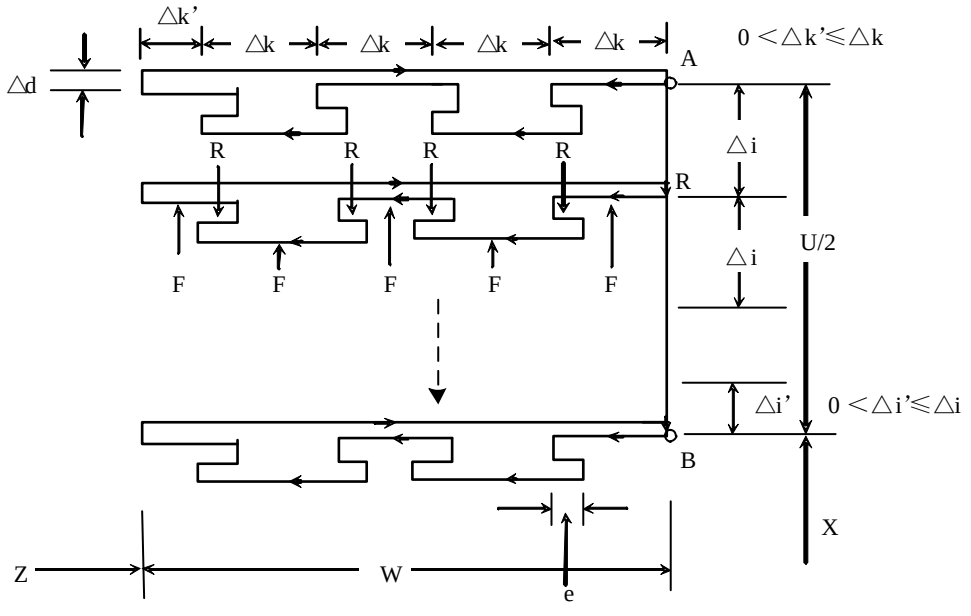
Z(W)：指定平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向的终点坐标值，绝对值或相对值指定。

Δi：平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向的移动量

Δk：平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向的移动量

Δd：刀具在切削底部时，平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向的退刀量。打直孔时通常不需要设定。设定时请考虑退刀值是否满足实际情况。

f：进给速度。



注

1 e 和Δd 都用地址 R 指定，它们的区别根据有无指定平面内轴来确定。即如果指定轴指令，则 R 指定的是Δd。

2 循环动作通过指定轴指令的 G74 指令进行。

3 当参数“G74S”(《连接调试手册》第 157 页 P3300.2）设为 1 时，系统具有回退到加工起点功能。该机能有效时，加工循环中，每次的回退位置为超过加工起始位置距离 e 处，下一步再快速进给到新的加工点之前距离 e 处。其它循环过程不变。

4 Δd 通常以正值指定，但是，当省略平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)或平面第 2 轴移动量为 0 时，即深孔钻循环，可以指定退刀方向的符号，此时Δi 指定无意义。

5 P、Q 地址是否允许编入小数点，与位参数“PQDOT”(《连接调试手册》第 157 页 P3300.1）有关。

(1) PQDOT=1：允许编入小数点。此时，PODI(P2500.3)=1，未编入小数点时，自动加小数点；POD(P2500.4)=1 时，必须编入小数点。

(2) PQDOT=0：不允许编入小数点，否则发出 PS1202 报警(“小数点错误”)。

14.4.6 外圆、内圆切槽循环（G75）

G75 指令相当于在 G74 中，将平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)和平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)调换。在此循环中，可以进行端面切削的断屑处理。另外，如果省略平面第 1 轴或平面第 1 轴移动量为 0，则可以对外径进行切槽加工和切断加工。

格式

ZpXp 平面(G18 平面)

G75 R(e) ;

G75 Z(W) X(U) Q(Δk) P(Δi) R(Δd) F(f) ;

YpZp 平面(G19 平面)

G75 R(e) ;

G75 Y(V) Z(W) Q(Δk) P(Δi) R(Δd) F(f) ;

XpYp 平面(G17 平面)

G75 R(e) ;

G75 X(U) Y(V) Q(Δk) P(Δi) R(Δd) F(f) ;

e：回退量。这个指定是模态的，在下次指定前一直有效。并且用参数（P3317）也可设定，根据该指定，参数值也改变。

Z(W)：指定平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向的终点坐标值，绝对值或相对值指定。

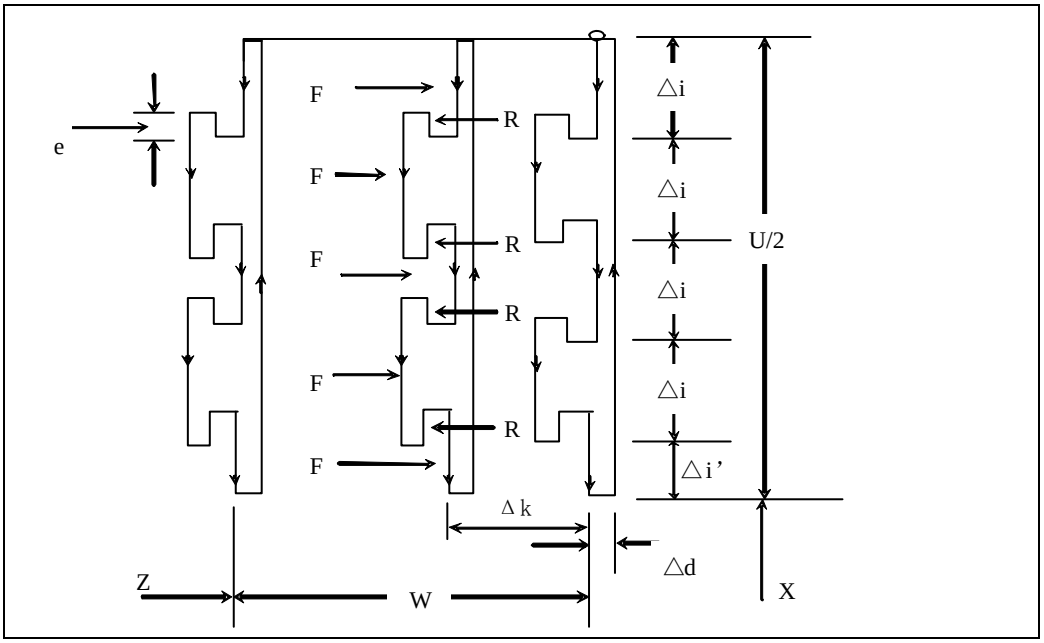
X(U)：指定平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向的终点坐标值，绝对值或相对值指定。

Δi：平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)方向的移动量

Δk：平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向的移动量

Δd：刀具在切削底部时，平面第 1 轴(ZX 平面时为 Z 轴)方向的退刀量。打直孔时通常不需要设定。设定时请考虑退刀值是否满足实际情况。

f：进给速度。



解释

G74、G75 都可用于切断、切槽或孔加工，都可以自动退刀，并且可以进行彼此相互对称的四种轨迹运动。

注

1 e 和 Δd 都用地址 R 指定，它们的区别根据有无指定平面内轴来确定。即如果指定轴指令，则 R 指定的是 Δd。

2 循环动作通过指定轴指令的 G75 指令进行。

3 当参数“G74S”（《连接调试手册》第 157 页 P3300.2）设为 1 时，系统具有回退到加工起点功能。该机能有效时，加工循环中，每次的回退位置为超过加工起始位置距离 e 处，下一步再快速进给到新的加工点之前距离 e 处。其它循环过程不变。

4 Δd 通常以正值指定，但是，当省略平面第 2 轴(ZX 平面时为 X 轴)或平面第 2 轴移动量为 0 时，即深孔钻循环，可以指定退刀方向的符号，此时 Δi 指定无意义。

5 P、Q 地址是否允许编入小数点，与参数“PQDOT”（《连接调试手册》第 157 页 P3300.1）有关。

(1) PQDOT=1：允许编入小数点。此时，PODI(P2500.3)=1，未编入小数点时，自动加小数点；POD(P2500.4)=1 时，必须编入小数点。

(2) PQDOT=0：不允许编入小数点，否则发出 PS1202 报警(“小数点错误”)。

14.4.7 复合型螺纹切削循环（G76）

格式

ZpXp 平面(G18 平面)

G76 P(m)(r)(a) Q(Δdmin) R(d) E(s)(n) NB(kb) NE(ke) ;

G76 Z(W) X(U) R(i) P(k) Q(Δd) F(L) NB(nb) NE(ne) J(aj) K(ak) L(l);

YpZp 平面(G19 平面)

G76 P(m)(r)(a) Q(Δdmin) R(d) E(s)(n) NB(kb) NE(ke);

G76 Y(V) Z(W) R(i) P(k) Q(Δd) F(L) NB(nb) NE(ne) J(aj) K(ak) L(l);

XpYp 平面(G17 平面)

G76 P(m)(r)(a) Q(Δdmin) R(d) E(s)(n) NB(kb) NE(ke);

G76 X(U) Y(V) R(i) P(k) Q(Δd) F(L) NB(nb) NE(ne) J(aj) K(ak) L(l);

m：精加工重复次数。单位：次，范围 01~99。

模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3320 的值始终相同。

r：螺纹退尾宽度。单位：0.1L（L 指导程），范围 00~99。

螺纹退尾宽度控制机能是否有效由参数“TWWC”（《连接调试手册》第 171 页 P6300.7）选择。

设 L 作为导程，可以用 00~99 两位数值指定 0.0L~9.9L 范围内的值。若未指定 r，系统默认 r 值为 10。

为防止与 G92 螺纹退尾宽度模态相互影响，建议用户在每次使用 G76 时，都指定 r，在使用 G92 指令时都指定 P。

a：刀尖角度（螺纹牙的角度）。单位：度，范围：00~90

模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3321 的值始终相同。

Δdmin：最小进刀量，半径编程

当单次切入量（$\Delta d \times \sqrt{N} - \Delta d \times \sqrt{N-1}$）比 Δdmin 小时，则使用 Δdmin 作为该次进刀量。

模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3318 的值始终相同。

d：精加工余量，半径编程

模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3319 的值始终相同。

s：螺纹段起点类型。范围：0 或 1

模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3323 的值始终相同。

0—精车时，螺纹段起点偏移$(k-d) \times \tan(\frac{\alpha}{2})$。

1—精车时，螺纹段起点偏移量为 0，方便用 G92 螺纹循环指令再次修正。

n：螺纹切削方法。范围：0,1,2,3

模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3322 的值始终相同。

0—切削量恒定的单边切削。

1—切削量恒定的错齿切削。

2—进刀量恒定的单边切削。

3—进刀量恒定的错齿切削。

X(U)/Y(V)/Z(W)：纵向切削终点坐标，绝对值或相对值指定。

i：螺纹起点与终点的半径差。i 为 0 表示切削直螺纹。半径编程。

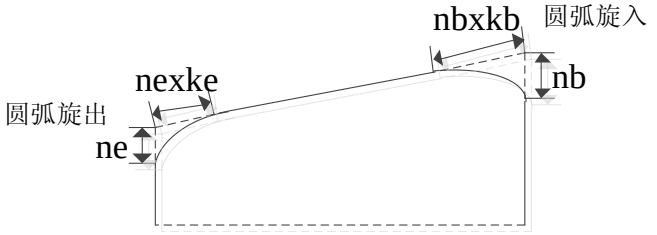
k：螺纹牙高。半径编程

Δd：第一次进刀量。半径编程

L：螺纹导程

nb/kb：圆弧旋入功能控制。输入 nb 时，圆弧旋入机能有效；kb 为旋入系数，是模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3324 的值始终相同。kb 最小值为 1.2。

ne/ke：圆弧旋入功能控制。输入 ne 时，圆弧旋出机能有效；ke 为旋出系数，是模态值，在下次指定前均有效。该值与参数 P3325 的值始终相同。kb 最小值为 1.2。



nb/kb/ne/ke示意图

aj/ak：让刀平均加减速度系数。其比值影响退尾速度。

螺纹让刀平均加减速度实际值等于 P6483×aj/ak，aj 和 ak 可以输入任意值，只要其比值在 0.01~4.0 范围内即可。aj 和 ak 未输入时，都默认为 1.0。aj 和 ak 未输入小数点时，数据处理受 PODI 参数影响：

- PODI=1 时，J1 等价于 J1.0；
- PODI=0 时，J1 等价于 J0.001（与编程位数相关，此处以 3 位小数为例）

l：螺纹头数

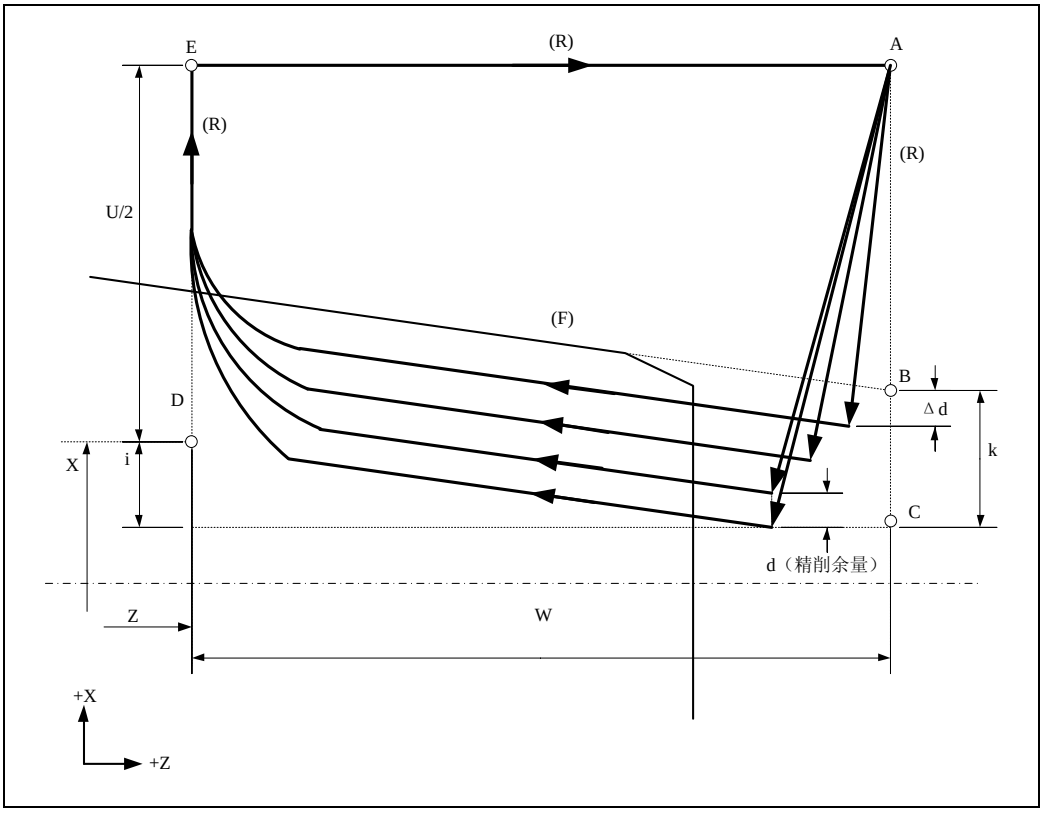
G76 运动指令（非 G76 参数设置指令）中 L 为模态值，但仅限于连续 G76 运动指令

例如：连续 G76 指令段之间插入 G04 指令时，后面的 G76 运动指令可继承前面运动指令中的 L 值。

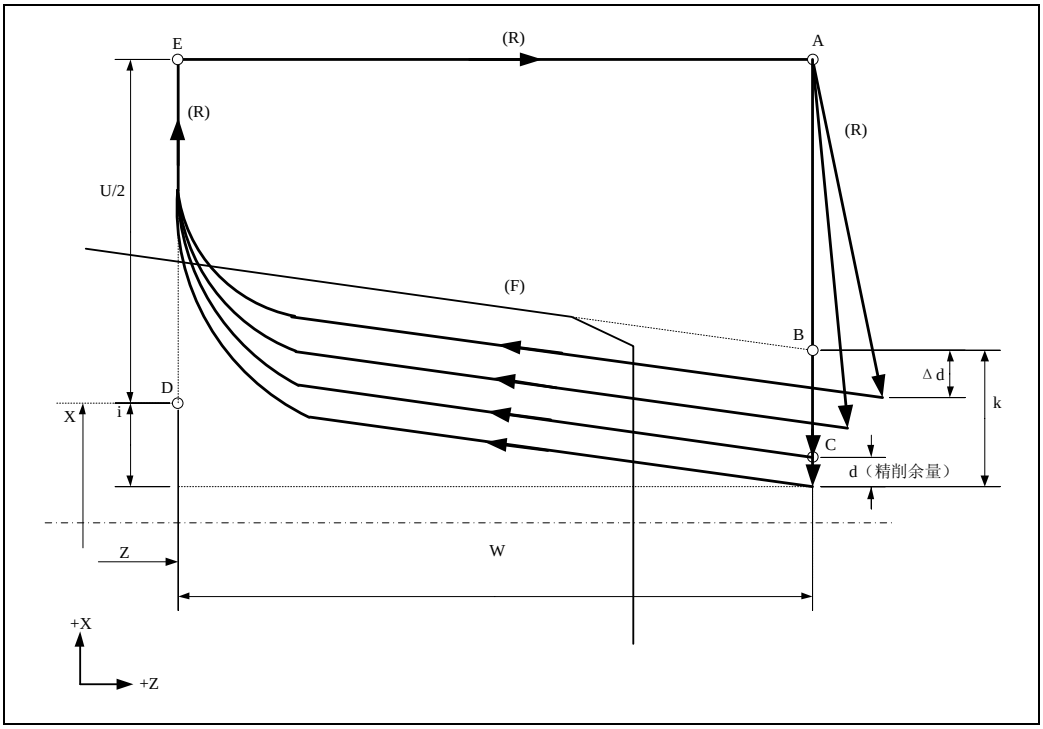
解释

- **螺纹段起点类型**

螺纹段起点类型（r）为 0 时，切削起点都在线段 AC 的左侧，如下图所示：



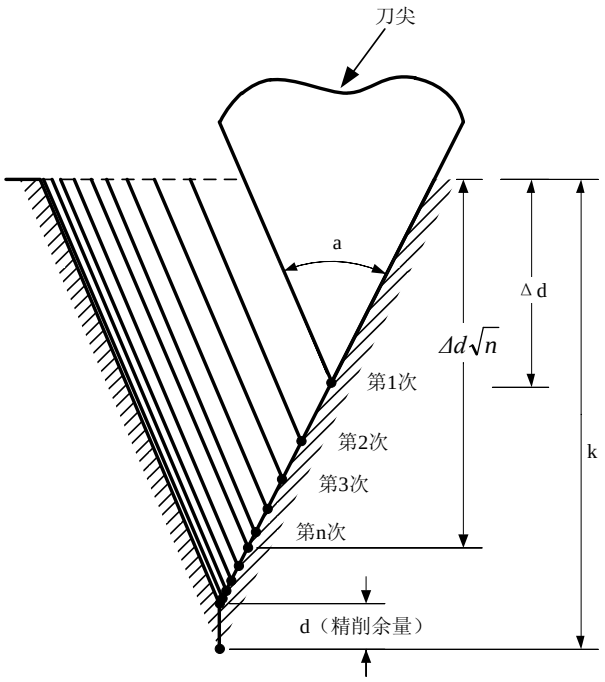
螺纹段起点类型（r）为 1 时，切削起点都在线段 AC 的右侧，如下图所示：



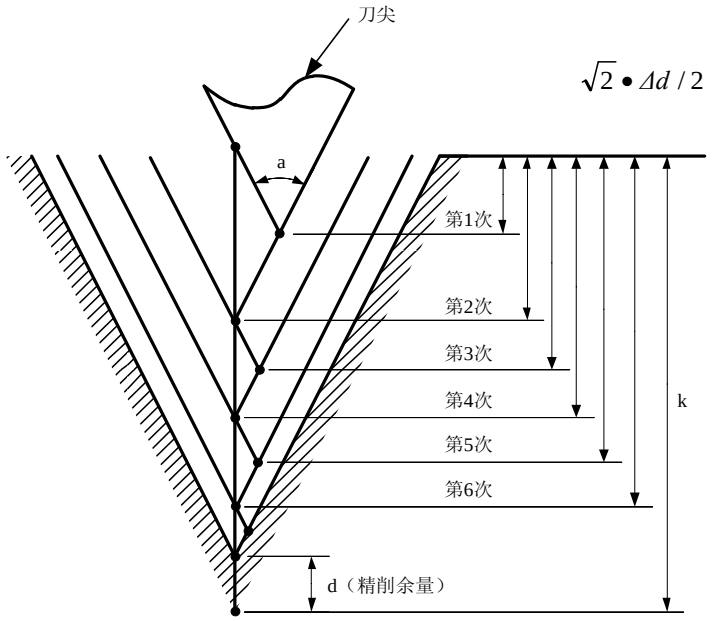
- **切削方法**

切削方法有 4 种。如下图所示：

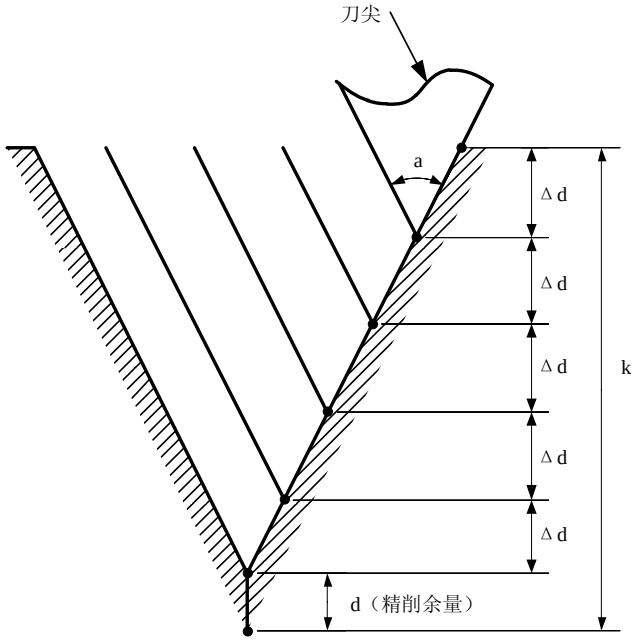
切削量恒定的单边切削(n0)



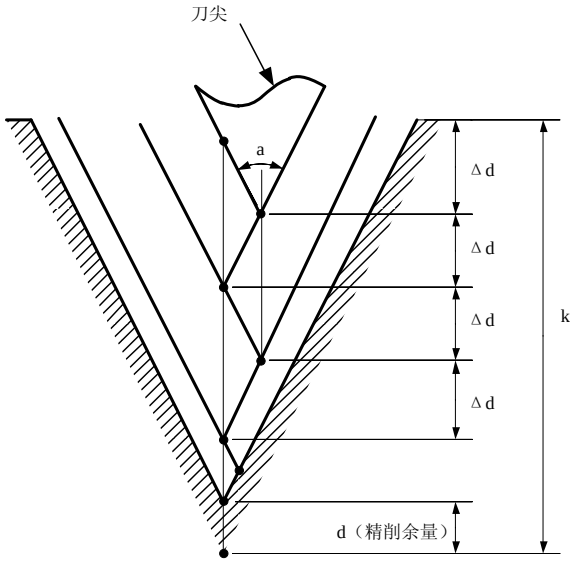
切削量恒定的错齿切削(n1)



进刀量恒定的单边切削(n2)



进刀量恒定的错齿切削(n3)



- **圆弧旋入旋出机能**

使用该机能可加工中间螺纹，参考前面的“nb/kb/ne/ke 示意图”。参数“CCOFRE”（《连接调试手册》第 157 页 P3301.6）与圆弧旋出机能有关。

CCOFRE=0：G76 圆弧旋出时，不禁止快速退尾机能。

CCOFRE=1：G76 圆弧旋出时，禁止快速退尾机能。

系统从让刀段的前一段开始检查是否进入退尾，那么在圆弧旋出功能有效的情况下，系统最早从圆弧旋出阶段开始退尾。

- **动作**

螺纹切削循环中 C、D 间的运动为切削运动，其他过程以快速定位方式移动。

注

1 用 P、Q、R 指定的数据，根据有无地址 X(U)、Y(V)、Z(W)来区别。无地址 X(U)、Y(V)、Z(W)时，P 地址不能带小数点。

2 循环动作由包含 X(U)、Y(V)、Z(W)的 G76 指令进行。

3 关于 G76 切螺纹的注意事项，与 G32 和 G92 指令相同。

4 为解决系统控制步进电机时，因加减速时间过长导致的螺纹尾部螺距不均匀的问题，用户可将进给轴设置为直线加减速方式。

5 当 P 地址指定 m/r/n/a 时，不能带小数点。G76 第一段中的 Q 地址、G76 第二段中的 P/Q 地址是否允许编入小数点，与“PQDOT”(《连接调试手册》第 157 页 P3300.1)、“PODI”(《连接调试手册》第 149 页 P2500.3）和“POD”(《连接调试手册》第 149 页 P2500.3）有关。

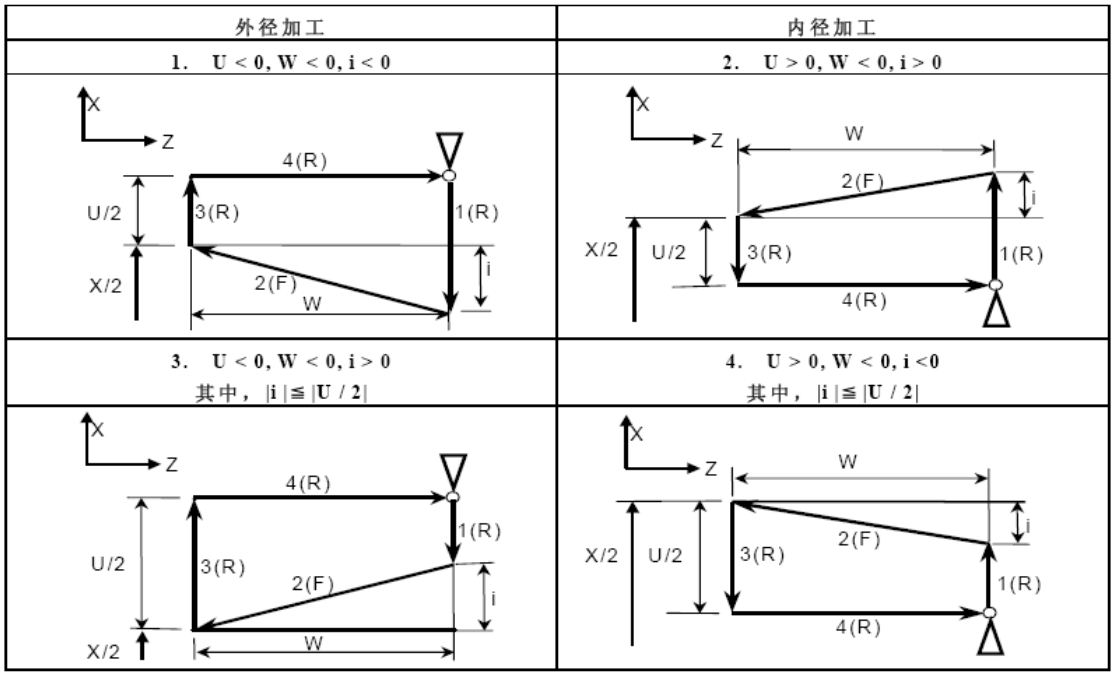
(1) PQDOT=1：允许编入小数点。PODI=1 时若未编入小数点，则自动加小数点；POD=1 时，必须编入小数点。

(2) PQDOT=0：不允许编入小数点，否则发出 PS1202 报警“小数点错误”。

6 螺纹牙高需要大于精加工余量和最小切削深度，否则产生报警（PS0259）。

- **锥度符号与刀具路径的关系**

锥度符号与刀具路径的关系如下图所示：



- **进刀量**

第一次进刀量为 Δd，在不小于最小进刀量 Δdmin 的条件下，第 N 次为$\Delta d\sqrt{N} - \Delta d\sqrt{N-1}$。

- **刀具半径补偿**

允许进行刀具半径补偿，参考 G90、G94 刀具半径补偿路径说明。

- **限制**

在 G76 的螺纹切削子循环中，出现以下情况时系统报警：

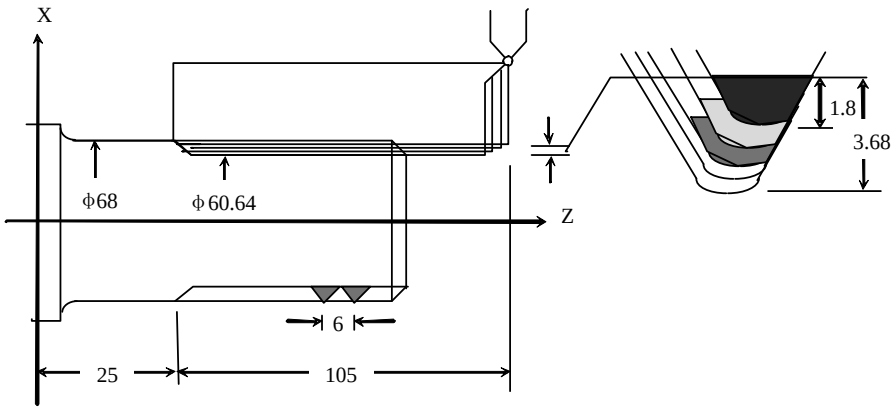
1 进刀移动量与让刀移动量方向相同（正常情况下，让刀方向与进刀方向是相反的）。

2 偏移后，进刀移动量反向。

3 偏移后，让刀移动量反向。

举例

示例一：



加工程序

G76 P010060 Q100 R200 ;

G76 X60.64 Z25.0 P3680 Q1800 F6.0 ;

示例二：（多头螺纹加工示例）

```
O7600 ;
G0 X50. Z0. ;
G76 P011060 Q1. R0.5 ;
G76 X40. Z-20. P4. Q2. F4. L3 ;      // 3 头螺纹(保存 L 值)
G04 P500;                            // G04 不清除保存的 L 值
G76 X39. Z-20. P4. Q2. ;             // 3 头螺纹(使用保存的 L 值)
G0 ;                                 // 清除保存的 L 值
G76 X38. Z-20. P4. Q2. ;             // 单头螺纹
M30 ;
```

14.4.8 复合型固定循环（G70~G76）的注意事项

1 在指定复合型固定循环的程序段中，P、Q、X、Z、U、W、R 等必要的参数，在每个程序段中必须正确指令。

2 在 G71、G72、G73 指令的程序段中，如果用 P 指令了顺序号，那么对应此顺序号的程序段必须指令 01 组 G 代码的 G00 或 G01，否则产生报警（PS0065）。

3 在指令 G70、G71、G72、G73 的程序段以及这些程序段中的 P 和 Q 顺序号之间的程序段时，不能指令 M98 和 M99。

4 在 G70、G71、G72、G73 程序段中，用 P 和 Q 指令顺序号的程序段范围内，不能有下列指令。

(1) 除 G04（暂停）外的一次性代码

(2) G00、G01、G02、G03 以外的 01 组代码

(3) M98 和 M99

(4) 变更坐标系的 G 代码

(5) 变更公英制状态的 G 代码

(6) 变更镜像状态的 G 代码

(7) 钻孔固定循环 G 代码

(8) 启动坐标系旋转、比例缩放、极坐标变换、或极坐标插补的 G 代码

5 在执行复合型固定循环（G70~G76）中，可以使动作停止插入手动运动，但再次开始执行复合型固定循环时，必须返回到插入手动运动前的位置。如果不返回即再次启动，手动的移动量会加在绝对值上，后面的动作将错位，其值等于手动的移动量。

6 执行 G70、G71、G72、G73 时，用 P、Q 指定的顺序号，在这个程序内不能重合。

7 在 G70、G71、G72、G73 中，用 P、Q 指定的精加工形状程序段组合的最后一个移动指令，不能是倒角或过渡圆，否则会产生报警（PS0051）。

14.5 倒角和倒圆编程

当参数“CCR”（《连接调试手册》第 127 页 P0003.3）设为 1 时，该机能有效。系统在以下插补间自动插入倒角或倒圆程序段。

1 在直线插补与直线插补之间

2 在直线插补与平面圆弧插补之间

3 在平面圆弧插补与直线插补之间

4 在平面圆弧插补与平面圆弧插补之间

格式

倒角格式：

当“CHAMIJK”（《连接调试手册》第 150 页 P2501.0）设为 0 时：

- 当 CENCW(P2500.2)设置为 0 时，用“NC_”指令倒角。
- 当 CENCW(P2500.2)设置为 1 时，也可以用“,C_”格式指令倒角。

当“CHAMIJK”设为 1 时，用“I_”、“J_”或“K_”之一指令倒角。

注意：此格式主要为了兼容以前的使用了倒圆倒角的程序。但无法在圆弧段指令倒角。建议使用“NC_”格式。

倒圆格式：

当“CORNERR”（《连接调试手册》第 150 页 P2501.1）设为 0 时，用“NR_”指令倒角。当“CENCW”（《连接调试手册》第 149 页 P2500.2）设为 1 时，也可以用“,R_”格式指令倒角。

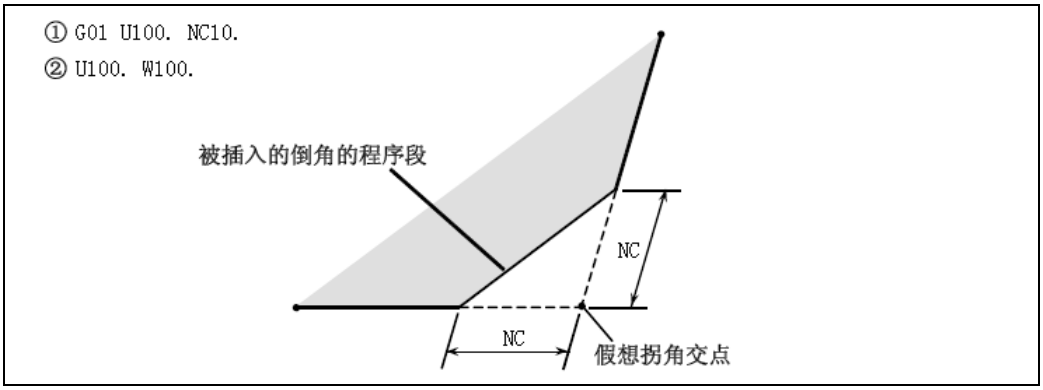
当 CORNERR 设为 1 时，用“R_”指令倒角。此格式无法在圆弧段指令倒圆。建议使用“NR_”格式。

解释

当在指定的直线插补或平面圆弧插补程序段的末尾指定上述格式时，插入一个倒角或倒圆程序段。可以连续多个倒角或倒圆程序段。

- **倒角**

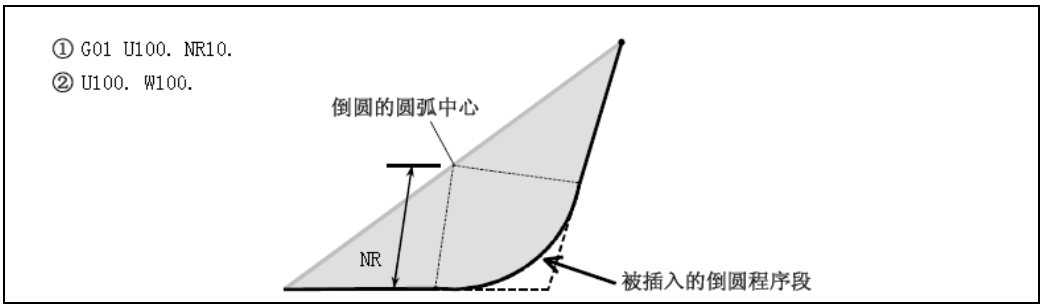
指令倒角数据(正值)为从假想拐角交点起的倒角起点到终点距离。所谓假想拐角就是不进行倒角时假设存在的拐角。



倒角时，直线段允许有三个轴运动(笛卡尔空间坐标系的 3 个轴)，但平面圆弧段不允许指定平面外的轴运动。

- **倒圆**

指令倒圆数据(正值)为指令倒圆的半径。



在直线插补与直线插补之间倒圆时，如果指令倒圆的程序段与下一程序段在 G17、G18、或 G19 平面内，那么插入平面圆弧(G02/G03)，否则插入空间圆弧(G03.3)。

对有圆弧插补的程序段进行倒圆时，倒圆处前后两段程序段必须共面。插入的倒圆程序段为平面圆弧(G02/G03)。

- **单程序段**

当参数“COCHINS”(《连接调试手册》第 150 页 P2501.2）设为 1 时，倒圆或倒角插入的程序段可以单段执行，光标停留在指令该倒圆或倒角的程序段(假想拐点处前一程序段)。

当参数 COCHINS 设为 0 时，单段执行时，指令倒圆倒角的程序段单段不停止，直到插入的程序段执行结束时才停止。

- **刀具半径补偿**

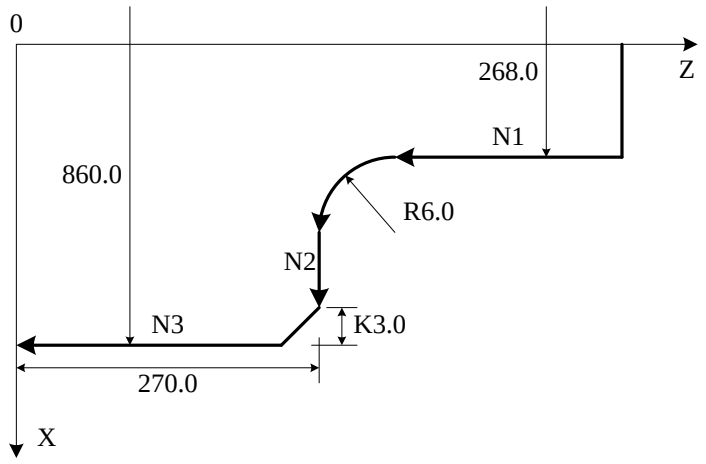
指令倒角或倒圆使得两程序段间插入一个倒角或倒圆程序段，在刀具半径补偿时，与手动编入等价的三个程序段进行刀具半径补偿的情形完全等价。

限制

注

1 指令倒角或倒圆指令的程序段或其下一段有如下限制：
   (1) 不能指令变更公英制编程状态的 G 代码。
   (2) 不能含有 M02/M06/M30/M96/M97/M98/M99 等程序控制代码。
   (3) 不能变更镜像状态，可在之前变更。
   (4) 不能指令 C 类或 D 类旋转轴运动。
   (5) 不能变更极坐标插补状态，可在之前变更。
   (6) 不能输入坐标系旋转、比例缩放、极坐标变换 G 代码，可在之前指定。
   (7) 不能指令笛卡尔三维空间坐标系外的轴运动。
2 在切螺纹的程序段中，不能使用倒角和过渡圆。
3 倒圆和倒角同时指令时报警。
4 可在车削固定循环 G70~73 的 P 和 Q 顺序号之间的程序段(但不包括 Q 顺序号指定的程序段)指定倒圆和倒角。

举例



加工程序（直径指定）

N1 Z270.0 NR6.0 ;
N2 X860.0 NC3.0 ;
N3 Z0 ;

14.6 直线角度编程功能

本系统支持直线角度编程功能，配合倒角和倒圆编程功能，可实现图纸尺寸编程功能。设定“ANGPM”（《连接调试手册》第 127 页 P0003.7）为 1 时，该机能有效。

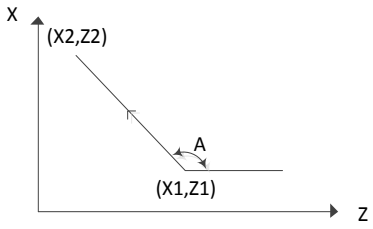
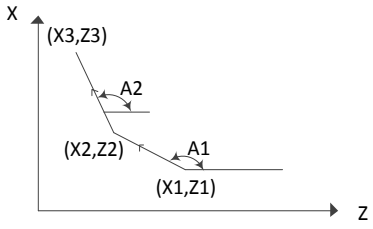
格式

指令格式表示 G18 平面(ZX 平面)时的例子。可以在 G17 平面(XY 平面)、G19 平面(YZ 平面)上以下列格式指定本功能。

格式变化如下：

G17 平面：“Z”→“X”，“X”→“Y”

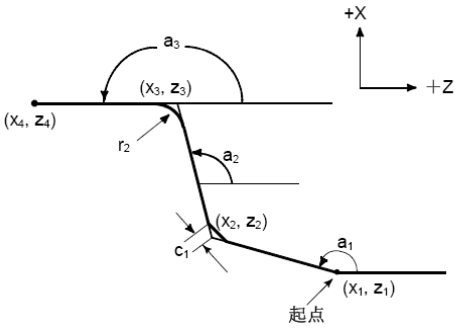
G19 平面：“Z”→“Y”，“X”→“Z”

序号	指令		刀具的运动
	CENCW（P2500.2）=0	**CENCW（P2500.2）=1**	
1	G01 X2_(Z2_) NA_；	G01 X2_(Z2_) ,A_；	
2	G01 NA1_； G01 X3_ Z3_ NA2_； (X3_Z3_需绝对指定)	G01 ,A1_； G01 X3_ Z3_ ,A2_； (X3_Z3_需绝对指定)	

解释

下图所示加工图纸的程序如下：

当CENCW=0时
G01 X(x1) Z(z1) F(f) ; // 起点
X(x2) Z(z2) NC(c1) ;
X(x3) Z(z3) NR(r2) ;
X(x4) Z(z4) ;
或
G01 X(x1) Z(z1) F(f) ; // 起点
NA(a1) NC(c1);
X(x3) Z(z3) NA(a2) NR(r2) ;
X(x4) Z(z4) ;
当CENCW=1时
G01 X(x1) Z(z1) F(f) ; // 起点
X(x2) Z(z2) ,C(c1) ;
X(x3) Z(z3) ,R(r2) ;
X(x4) Z(z4) ;
或
G01 X(x1) Z(z1) F(f) ; // 起点
,A(a1) ,C(c1);
X(x3) Z(z3) ,A(a2) ,R(r2) ;
X(x4) Z(z4) ;



限制

注

1 直线角度编程机能可以和倒角和倒圆编程机能同时使用。

2 在下面的程序中，计算交点的角度公差是±1 度。(因为在交点计算中求出的移动量太大)

(1) X_ NA_；(将角度指令 NA 指定为 0 度或 180 度的±1 度范围内的值时，报警 PS0425)

(2) Z_ NA_；(将角度指令 NA 指定为 90 度或 270 度的±1 度范围内的值时，报警 PS0425)

3 计算焦点时，由两条直线构成的角度差在±1 度范围内时，会有报警 PS0428。

4 对于位于仅指定了角度指令的程序段后面的程序段，必须指定两个坐标的绝对指令值和角度指令，否则报警 PS0426。

例: N1 G01 NA_. ;

N2 G01 X_ Z_ NA_ ;

N2 段的平面必须与 N1 段一致，如果 N2 段切换平面，那么报警 PS0432。如果 N2 段输入坐标非绝对编程，那么报警 PS0427。

5 对于编程了角度的程序段，限制如下：

(1) 不允许变更公英制状态(G20/G21)。否则报警 PS0429。

(2) 前一段 G01 程序段只有角度时，后一段不允许变更平面。否则报警 PS0432。

(3) 不允许变更镜像状态(T: G68/G69)。否则报警 PS0431。

(4) 不允许变更极坐标插补状态(G12.1/G13.1)。否则报警 PS0430。

6 编程的角度为直线与平面第 1 轴的夹角，逆时针为正，顺时针为负。但系统内部使用其正切值(斜率)进行运算，实际角度可能与用户编入的角度相差 180 度。

14.7 刀具 X 轴镜像（G68、G69）

根据加工需要，可对自动运行过程中的 X 轴移动应用镜像。

格式

G68 ;	**X 轴镜像开始**
……	**镜像加工**
G69 ;	**X 轴镜像取消**

解释

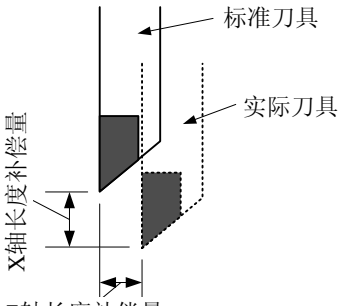
只有当参数“MIRG”（《连接调试手册》第 127 页 P0003.5）设为 1 时，指令 G68 时，X 轴镜像功能才有效。

指令 G68 时，绝对坐标系的 X 轴反向，当前绝对坐标 X 值自动取反；指令 G69 时，绝对坐标系的 X 轴方向恢复，当前绝对坐标 X 值再次自动取反。

15 补偿功能

15.1 刀具长度补偿

把编程时假设的标准刀具与实际进行加工时使用的刀具长度值之差设置到刀补存储器里。加工工件时，不需要修改程序，只需要指定相应的刀补号，就可以使用不同长度的刀具来加工相同的工件。这就是刀具长度补偿功能。



格式

TOOXX ;

OO：刀具选择号

XX：刀具补偿号

解释

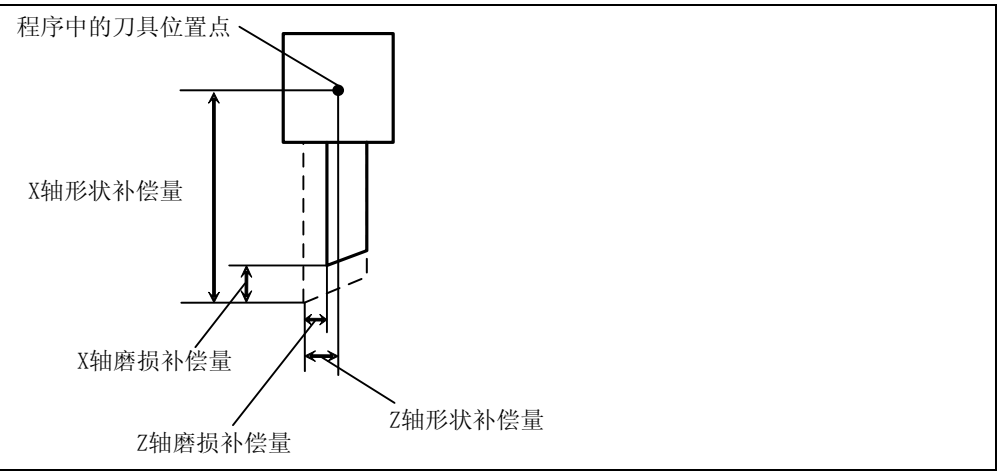
本系统中，刀具长度补偿仅由 T 代码来控制，不受 G 代码的控制。

- **刀具选择**

刀具选择是通过指定与刀具号相对应的 T 代码来实现的。关于刀具选择号与刀具的关系请参照机床制造商发行的手册。

- **刀具长度形状和磨损补偿量**

如下图所示，刀具长度形状补偿量对刀具形状及刀具安装位置进行补偿，刀具长度磨损补偿量对刀尖磨损进行补偿。可以根据补偿号分别设置这些补偿量。执行时的刀具长度补偿量为形状补偿量与磨损补偿量之和。



- **补偿号**

补偿号最大可以指定的范围是 TOO00~TOO32。在 LCD/MDI 面板，可把补偿号 TOO01~TOO32 对应的 X 轴、Z 轴长度补偿量事先设定在刀补存储器中。与补偿号 00 对应的刀具补偿量始终为 0，无法设定。

当指定了 T 代码且它的补偿号不是 00 时，刀具补偿有效。如果补偿号是 00，则刀具补偿被取消。刀具长度形状补偿量允许输入范围为[-10000.000，10000.000]，磨损补偿量允许输入范围由参数“刀具磨损补偿最大值”（《连接调试手册》第 156 页 P3220）决定。“刀具磨损补偿最大值”的范围为[1.000~10000.000]，假设该参数的值为 α，那么磨损补偿量的允许输入范围为[-α，α]。执行时刀具长度补偿量为形状补偿量与磨损补偿量之和。

- 刀具补偿号与形状补偿变量号对应表：

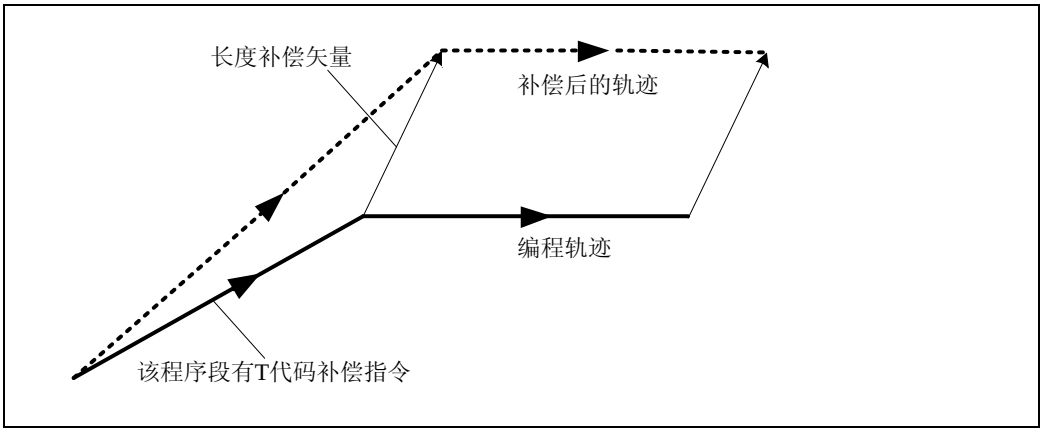
补偿号	**1 轴长度补偿形状变量号**	**2 轴长度补偿形状变量号**	**3 轴长度补偿形状变量号**	**4 轴长度补偿形状变量号**	**5 轴长度补偿形状变量号**	**6 轴长度补偿形状变量号**	**7 轴长度补偿形状变量号**	**8 轴长度补偿形状变量号**	**半径补偿（R）形状变量号**
1	#10001	#20001	#30001	#40001	#50001	#60001	#70001	#80001	#90001
2	#10002	#20002	#30002	#40002	#50002	#60002	#70002	#80002	#90002
……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
32	#10032	#20032	#30032	#40032	#50032	#60032	#70032	#80032	#90032

- 刀具补偿号与磨损补偿变量号对应表：

补偿号	**1 轴长度补偿磨损变量号**	**2 轴长度补偿磨损变量号**	**3 轴长度补偿磨损变量号**	**4 轴长度补偿磨损变量号**	**5 轴长度补偿磨损变量号**	**6 轴长度补偿磨损变量号**	**7 轴长度补偿磨损变量号**	**8 轴长度补偿磨损变量号**	**半径补偿（R）磨损变量号**
1	#18001	#28001	#38001	#48001	#58001	#68001	#78001	#88001	#98001
2	#18002	#28002	#38002	#48002	#58002	#68002	#78002	#88002	#98002
……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
32	#18032	#28032	#38032	#48032	#58032	#68032	#78032	#88032	#98032

- **长度补偿**

以 X，Z 轴的刀具长度补偿量为分量的矢量叫做长度补偿矢量，如下图所示。



当单独指定 T 代码时，系统执行的是无运动指令的长度补偿移动。这个移动在 G00 方式时是以快速移动进行的，其它方式时则按切削进给速度运动。

注

1 参数“ORC”（《连接调试手册》第 155 页 P3200.4）可对 X 轴的刀具长度补偿量进行直径/半径规格的指定。

2 参数 OFL（P3201.0）设置该轴是否允许长度补偿，默认情况下，第 1、2 轴允许长度补偿。

3 G50 Xx Zz TOOXX ;

此指令没有刀具移动，设定坐标系的当前坐标为（x，z）与 T 代码指定补偿号相对应长度补偿量之和。

4 G04 TOOXX ;

G02 TOOXX ;

G10 TOOXX ;

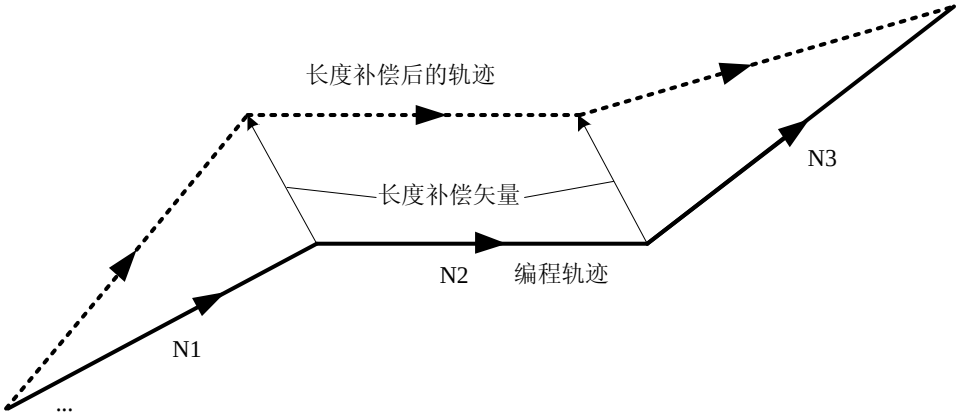
上述指令仅完成换刀，不执行刀具长度补偿。

5 如果自动循环中正在使用长度补偿，在 MDI 操作修改补偿量之后，无需再指定，而是在下一个程序段自动有效。

6 在多轴车床系统中（3~8 轴车床），可对 X/Z 轴以外的轴（如 Y/C/U/V/W/A 轴）进行补偿，这些轴的长度补偿动作与 X/Z 轴相同。

- **长度补偿取消**

当指定了 TOO00，选择 00 号补偿时，刀具长度补偿即被取消。在取消的程序段末尾，长度补偿矢量为零。




```
...
N1 U100.0 W100.0 T0202 ;（假定02号补偿中已经设定了长度补偿值）
N2 W100.0 ;
N3 U100.0 W100.0 T0200 ;（取消偏长度补偿）
...
```

限制

- **螺旋插补（G02、G03）**

在使用螺旋插补的程序段中，不能指定刀具长度补偿。

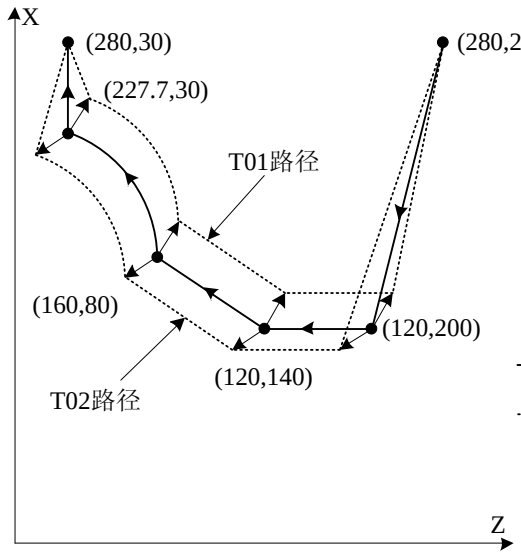
- **机床坐标系定位（G53）**

在指定此指令时，刀具补偿量被取消，后面若要再使用刀具补偿，必须用 T 代码指定。

- **返回参考点（G28、G30 和手动）**

在指定这些指令或操作时，刀具补偿量被暂时取消，在指定下一个轴移动时，刀具补偿量恢复。

举例



轴	刀具号	
	01	02
X	-0.200	+0.120
Z	-0.120	+0.180

刀尖偏置（X，Z）	刀具号
刀具#1——B（0.20, 0.120）	01
刀具#2——C（-0.120, -0.180）	02

（程序实例 1）

```
G50 X280.0 Z240.0 ;
G00 X120.0 Z200.0 T0101 ;
G01 Z140.0 F30 ;
X160.0 Z80.0 ;
G03 X227.7 Z30.0 R53.81 ;
G00 X280.0 T0100 ;
```

（程序实例 2）

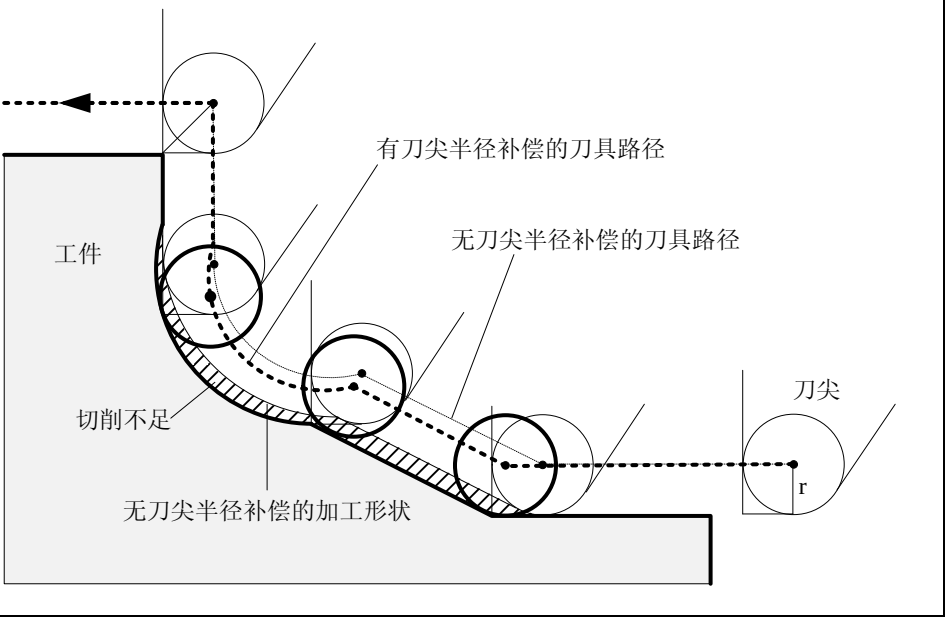
```
G50 X280.0 Z240.0 ;
G00 X120.0 Z200.0 T0202 ;
G01 Z140.0 F30 ;
X160.0 Z80.0 ;
G03 X227.7 Z30.0 R53.81 ;
G00 X280.0 T0200 ;
```

15.2 刀尖半径补偿（G40~G42）

15.2.1 概要

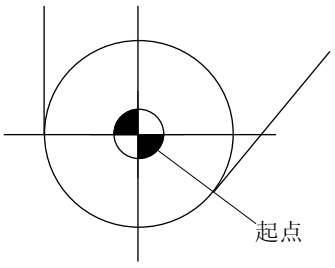
由于实际刀尖都是圆形的，并不是假想刀尖那样的理想尖角，因此只用刀具长度补偿功能进行圆弧切削和锥度切削时，很难达到精度上的要求。这时，就需要使用刀尖半径补偿功能。

当参数“CRC”（《连接调试手册》第 127 页 P0002.1）设为 1 时，该功能才有效。

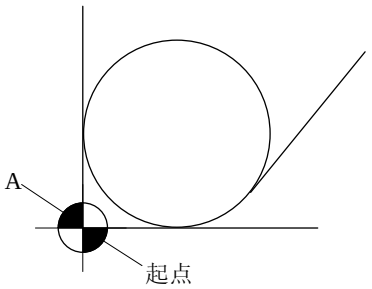


15.2.2 假想刀尖

下图刀尖 A 点实际上不存在。假想刀尖的设定是因为通常设定实际刀尖中心比较困难，而设定假想刀尖容易一些（见注）。与使用刀尖中心编程一样，使用假想刀尖编程时无需考虑刀尖半径。
刀具在起点时的位置关系如下图所示：



用刀尖中心编程时



用假想刀尖编程时

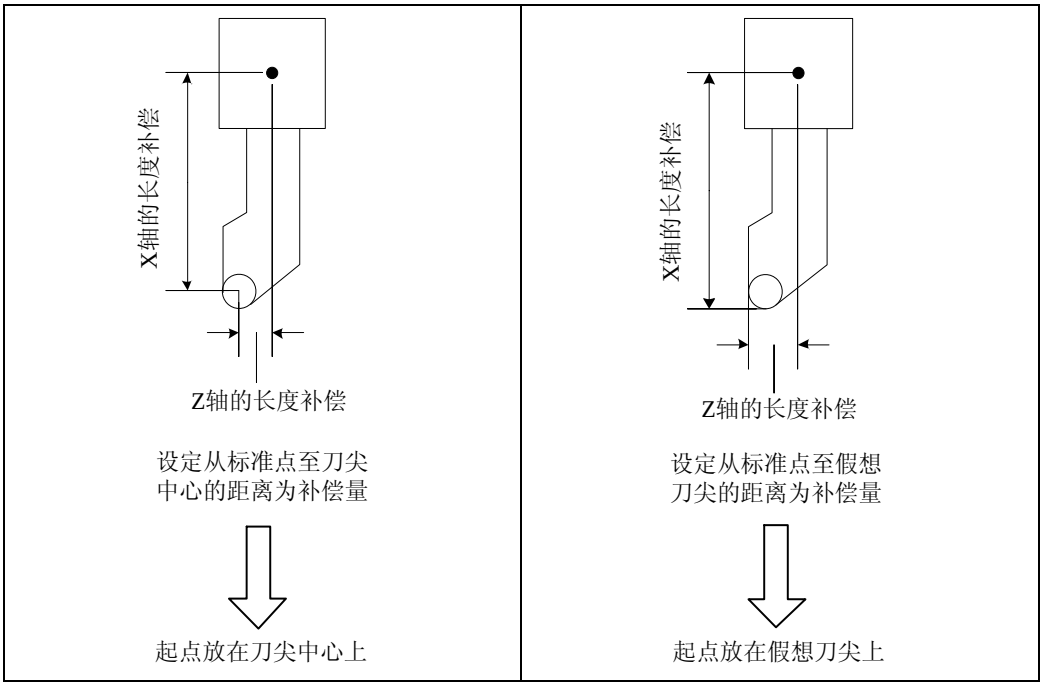
注

1 对有机械零点的机床来说，一个标准点如刀架中心可以作为起点。从这个标准点到刀尖半径中心或假想刀尖的距离设置为刀具长度补偿值。

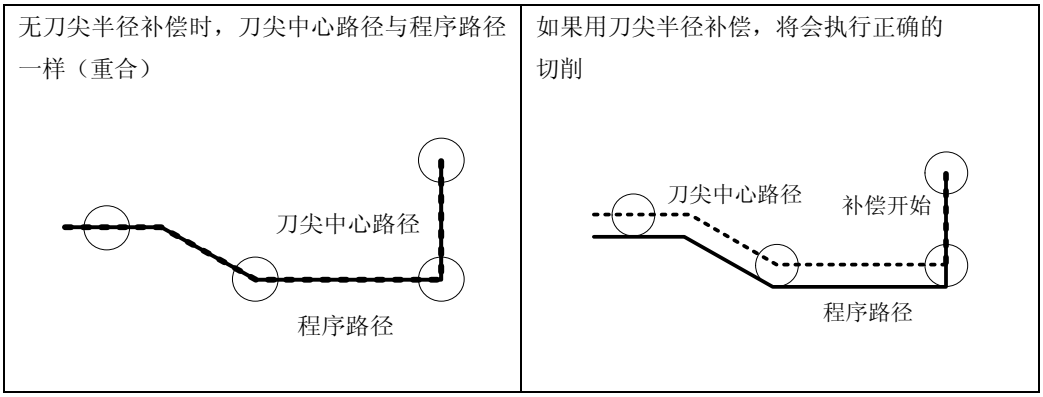
2 设置从标准点到刀尖半径中心的距离作为长度补偿值，相当于设置刀尖半径中心作为起点；而设置从标准点到假想刀尖的距离作为长度补偿值，相当于设置假想刀尖作为起点。为了设置长度补偿值，通常测量从标准点到假想刀尖的距离比测量从标准点到刀尖半径中心的距离容易。

解释

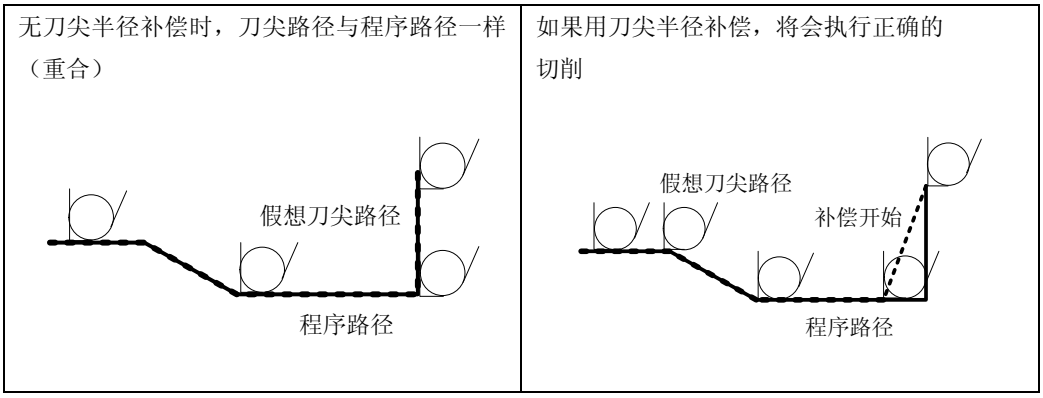
- **当刀架中心在起点时的刀具长度补偿量**



- **将刀尖中心作为起点进行加工时的刀具路径**



- **将假想刀尖作为起点进行加工时的刀具路径**

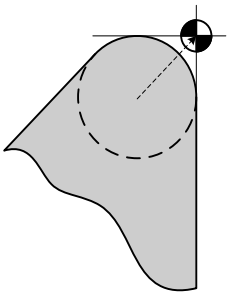
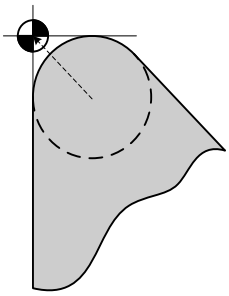
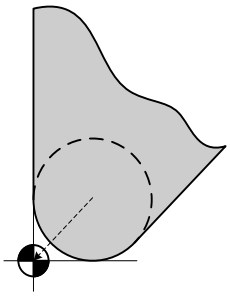
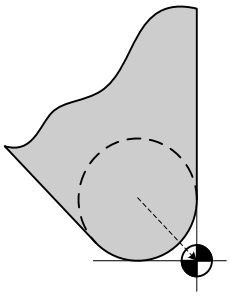
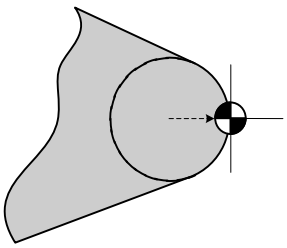
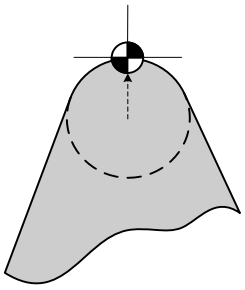
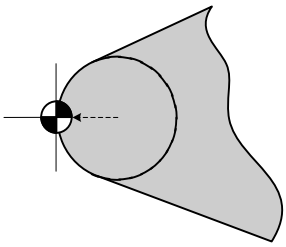
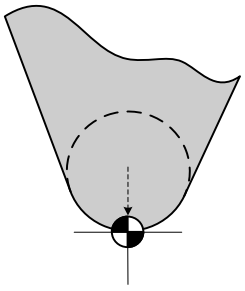


- **假想刀尖的方向**

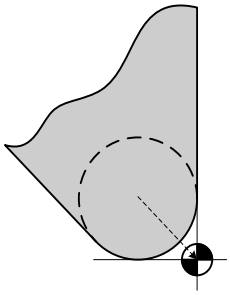
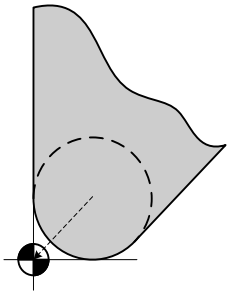
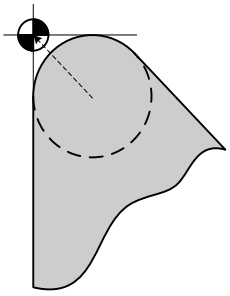
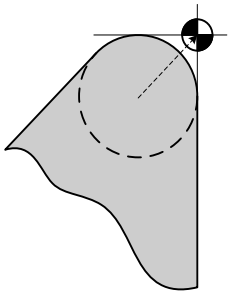
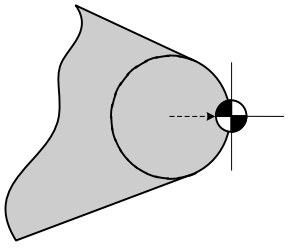
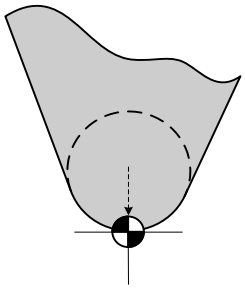
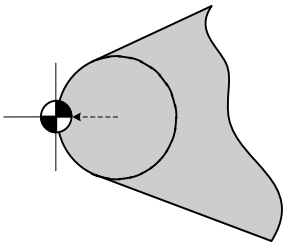
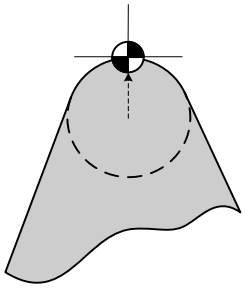
从刀尖中心看到的假想刀尖的方向，由切削过程中刀具的方向决定，所以与补偿量一起必须同时事先设置。假想刀尖的方向可从下图所示的 8 种规格所对应的编码来选择。这些图说明了刀具与起点

间的关系。箭头终点是假想刀尖。

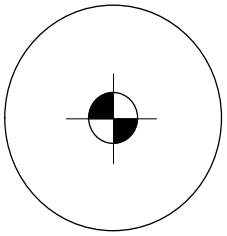
1 后刀架假想刀尖方向

假想刀尖号码 1 	假想刀尖号码 2 
假想刀尖号码 3 	假想刀尖号码 4 
假想刀尖号码 5 	假想刀尖号码 6 
假想刀尖号码 7 	假想刀尖号码 8 

2 前刀架假想刀尖方向

假想刀尖号码 1 	假想刀尖号码 2 
假想刀尖号码 3 	假想刀尖号码 4 
假想刀尖号码 5 	假想刀尖号码 6 
假想刀尖号码 7 	假想刀尖号码 8 

当刀尖中心与起点一致时，设置刀尖号码 0 或 9。对应各刀具补偿号，设置各刀具的假想刀尖号。



刀尖中心和起点一致

假想刀尖号码 0 或 9

15.2.3 补偿指令

格式

- **刀尖半径补偿开始**

G00/G01 G41/G42 IP_ T_;

G41：刀尖半径补偿（左）

G42：刀尖半径补偿（右）

IP_：轴移动的指令值

T_：刀尖半径补偿补偿号

- **刀尖半径补偿取消**

G40 IP_ ;

或

TOO00 ;

G40：刀尖半径补偿取消

IP_：轴移动的指令值

TOO00：指定补偿号 00

解释

- **补偿号**

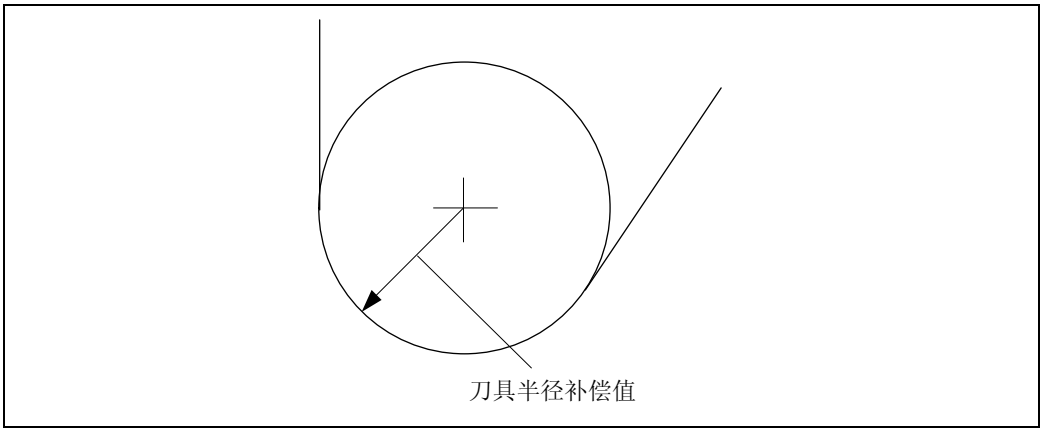
使用 T 代码低 2 位指定半径补偿号，补偿号最多可以设定 32 个，编号范围 TOO00~TOO32（TOO00 表示取消刀尖半径补偿）。

补偿量事先通过 MDI&LCD 单元设定，它与程序上指定 T 代码后面 2 位数相对应(参见操作手册)。半径形状补偿量允许输入范围为[-100.000，100.000]，磨损补偿量允许输入范围由参数“刀具磨损补偿最大值”（《连接调试手册》第 156 页 P3220）决定。“刀具磨损补偿最大值”的范围为[1.000~10000.000]，假设该参数的值为 α，那么磨损补偿量的允许输入范围为[-α，α]。执行时半径补偿值为形状补偿量与磨损补偿量之和。

- **补偿向量**

补偿向量又称为偏移向量，是长度等于指定的刀尖半径的二维向量。补偿向量的计算在控制单元内完成，存储在数控装置内部，随着刀具前进，它的方向时刻在改变。补偿路径（即刀尖中心轨迹）等于编程路径加上或减去（由补偿方向决定）刀尖半径。

补偿向量是随着刀具前进而改变的，清楚这一点，对编程很重要。



- **补偿平面**

补偿的计算是在由 G17，G18，G19 所指定的平面上进行的，该平面称为补偿平面。默认为 G18 平面。例如，当选择 ZX 平面时，在程序中用（X，Z）或（I，K）执行补偿计算和向量计算时，不在补偿平面的轴的移动不受补偿影响。

补偿平面	平面选择 G 代码	IP_
XpYp	G17	Xp_ Yp_
ZpXp	G18	Zp_ Xp_
YpZp	G19	Yp_ Zp_

同时进行三轴控制时，只对投影在补偿平面的刀具路径作补偿。

补偿平面的变更必须在补偿取消模式进行。如果在补偿模式中执行，系统会显示报警（PS0040），同时机床停止。

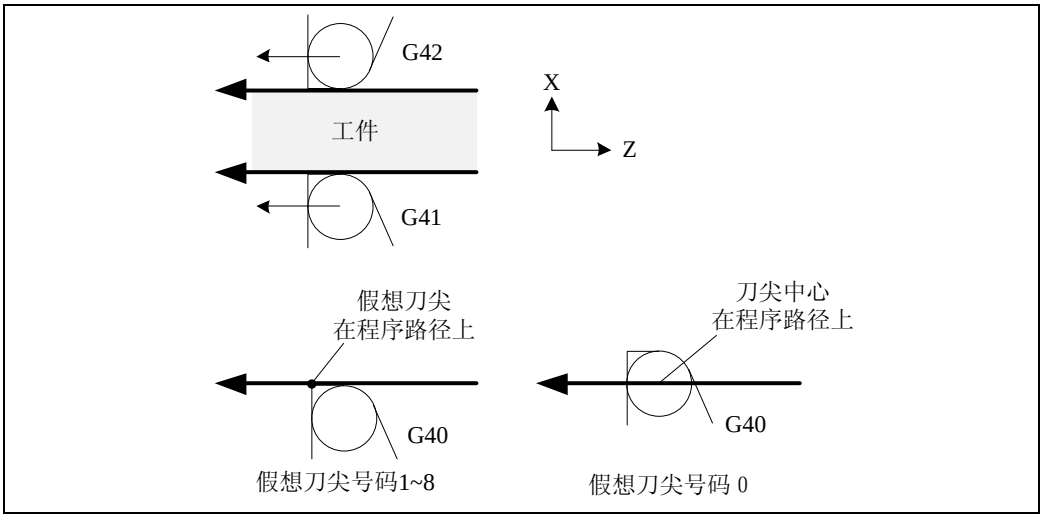
- **补偿方向**

在刀尖半径补偿时，必须指定刀具与工件的位置。

G 代码	工件位置	刀具路径
G40	无限制	在编程路径上移动
G41	前进方向右侧	在编程路径的前进方向的左侧移动
G42	前进方向左侧	在编程路径的前进方向的右侧移动

G40，G41 及 G42 是 07 组的 G 代码，它们与 G00，G01，G02，G03 指令组合，定义刀具运动方式、半径补偿类型及补偿方向。

当指定 G41 或 G42，则系统进入刀具补偿状态。当指定 G40，则系统进入取消补偿状态。



刀尖半径补偿方向由刀尖半径补偿 G 代码（G41/G42）及补偿量的符号共同决定，如果刀尖半径补偿量为负值，工件位置将改变。具体如下：

G 代码	补偿量符号	
	+	-
G41	左侧补偿	右侧补偿
G42	右侧补偿	左侧补偿

注

1 这里的左侧和右侧是相对于后刀架车床而言的（如上图中的 XZ 坐标系方向），编程时应总是按后刀架方式进行，无须考虑实际车床到底是前刀架还是后刀架。关于手动方式下，前后刀架设置的差别请参见 PLC 程序说明。

2 如果补偿量的符号改变，刀尖半径补偿的补偿方向就会改变，但是假想刀尖的方向不变。因此，请慎重改变补偿量的正负符号。

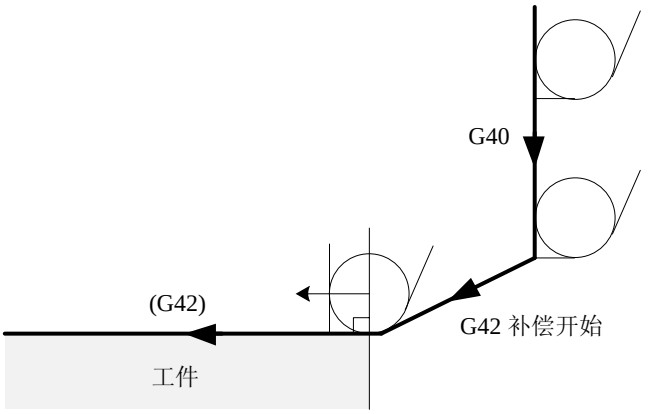
- **补偿开始**

从 G40 变为 G41 或 G42 的程序段称为补偿开始程序段。

G40 __ ;

G41 __ ; 补偿开始程序段。

补偿开始程序段执行过渡的刀尖半径补偿移动。在补偿开始程序段之后的程序段起点，刀尖中心垂直于该程序路径。



- **补偿取消**

从 G41 或 G42 变为 G40 的程序段称为补偿取消程序段。

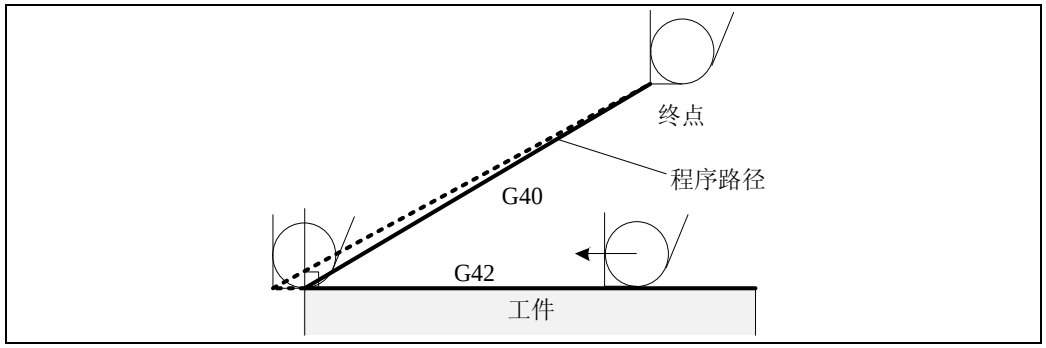
G41 __ ;

__ ;

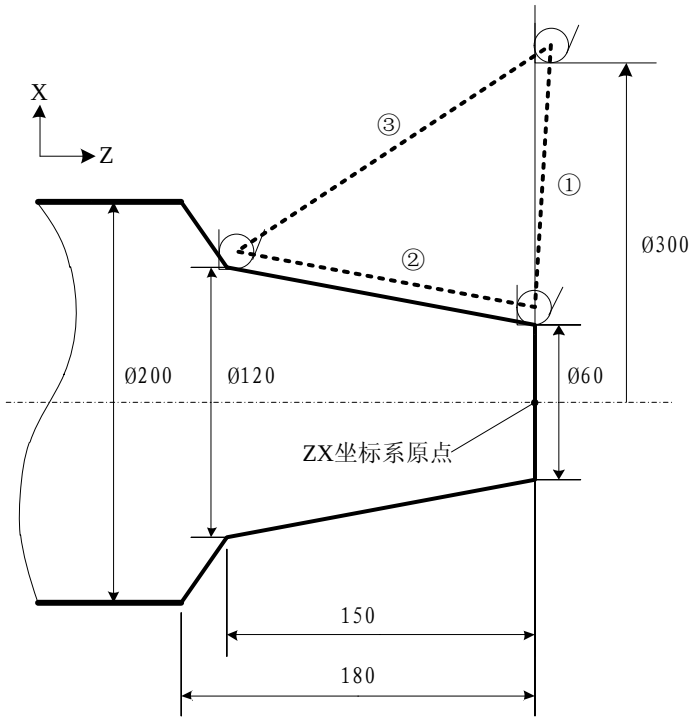
G40 __ ; 补偿取消程序段。

__ ;

在补偿取消程序段的前一个程序段的末端，刀尖中心移动到垂直于该程序路径的位置。



举例



（在G40模式，半径编程）
…
① G42 G00 X30.0 Z0 TOOXX；
② G01 X60.0 W-150.0 F100.0 ；
③ G40 G00 X150.0 W150.0 ；
…

15.2.4 刀尖半径补偿的注意事项

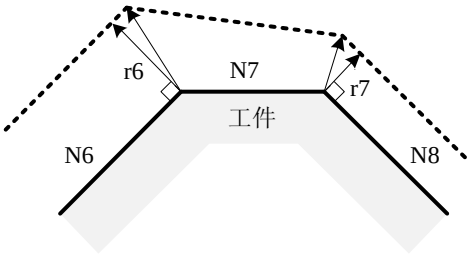
子程序调用与返回

在调用子程序前（即执行 M98 前），系统必须在补偿取消模式，进入子程序后，可以起动补偿，但在返回主程序前（即执行 M99 前）必须为补偿取消模式，否则会报警 PS0036。

补偿模式中变更补偿量

通常，换刀时，补偿量必须在取消模式中变更。如在补偿模式中变更补偿量，在程序段的终点计算

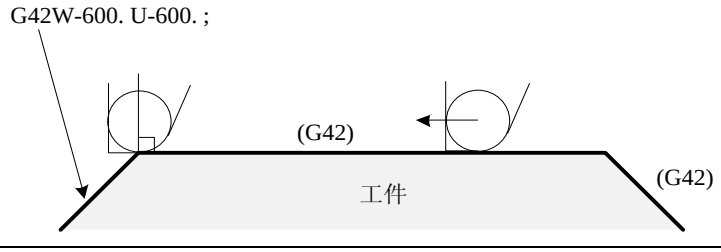
新补偿量。



r6：程序段6计算的补偿量
r7：程序段7计算的补偿量

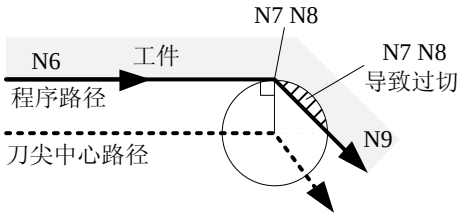
在 G41/G42 方式下又指令 G41/G42

此时，刀尖中心位置在前一程序段的终点垂直于前一程序段的程序路径。参见 II-15.2.5.3“补偿模式下重复指定刀具半径补偿 G 代码”。



不可连续指令两个或两个以上无移动命令的程序段

补偿模式中，连续指定两个或两个以上无移动的程序段时，刀尖中心会移到前一程序段的终点垂直于前一程序段程序路径的位置。如下图所示，这将可能导致过切。如果程序段是类型 7，那么即使只指定一个程序段，也会出现下图中的情况，参见 II-15.2.5.5。



(G42)
N6 W600 ;
N7 S21 ;
N8 M04 ;
N9 U-300 W300 ;

15.2.5 刀尖半径补偿的详细说明

15.2.5.1 概要

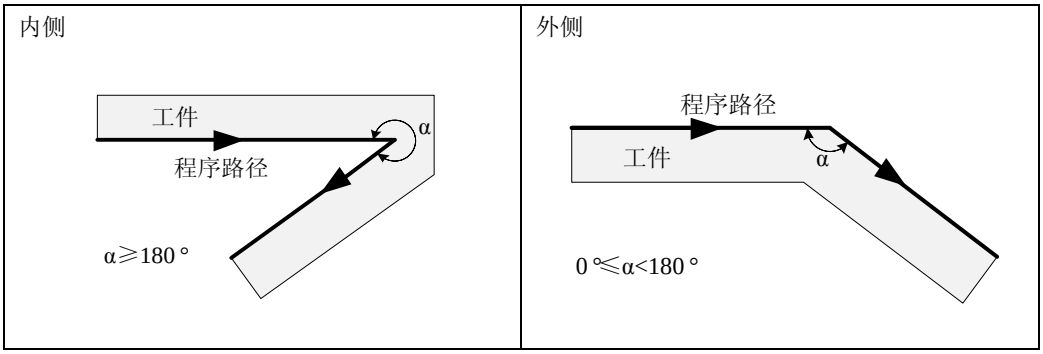
解释

- **拐角**

  两个相邻移动程序段交点处的切线在工件实体一侧的夹角

- **内侧和外侧**

  拐角大于或等于 180 度时称为“内侧”，在 0~180 度之间时称为“外侧”



- **补偿取消状态**

当系统初上电、复位或者执行了 M02、M30 指令，系统处于补偿取消状态。在补偿取消状态下，补偿向量的大小始终为 0，刀尖中心路径与编程路径一致。程序的最后，必须以补偿取消状态结束。

- **补偿开始条件**

在补偿取消状态下，当满足以下条件的程序段开始执行，系统进入补偿模式。

1 含有 G41 或 G42 指令，或控制进入 G41 或 G42 模式。

2 刀尖补偿的补偿号不为 0。

3 至少指令了补偿平面上一个轴（I、J、K 除外）的移动，且移动量不为 0。

注

在补偿开始程序段，不能指令圆弧指令 G02 和 G03，否则产生报警（PS0034）。

- **补偿结束条件**

在刀尖半径补偿模式下，当指令了 G40 IP_或者 TOO00 或者 D00，刀尖半径补偿即被取消。

注

刀尖半径补偿取消时，不能指令圆弧指令，否则会产生报警（PS0034）且刀具停止。

- **系统内程序段数**

补偿开始段，系统连续读入两个程序段，第一个程序段读入并执行，第二个程序段进入刀尖补偿缓冲区。

单程序段方式下，读入二个程序段，执行第一个程序段，然后停止。

在连续执行时，通常预先读入二个程序段，因此在 CNC 内部有三个程序段，一个为正在执行的程序段，下面的二个程序段进入缓冲区。

在补偿取消模式，系统控制当前程序段以及刀尖半径补偿缓冲寄存器中的程序段的执行。此时，如果选择单程序段模式，系统执行一个程序段后停止，再次按下起动按扭，系统直接执行下一个程序段而不用再预读。

图中符号

下文描述中，图中出现的各符号含义如下：

1 S 表示执行单程序段 1 次的位置

2 SS 表示执行单程序段 2 次的位置

3 SSS 表示执行单程序段 3 次的位置

4 L 表示刀具沿直线移动

5 C 表示刀具沿圆弧运动

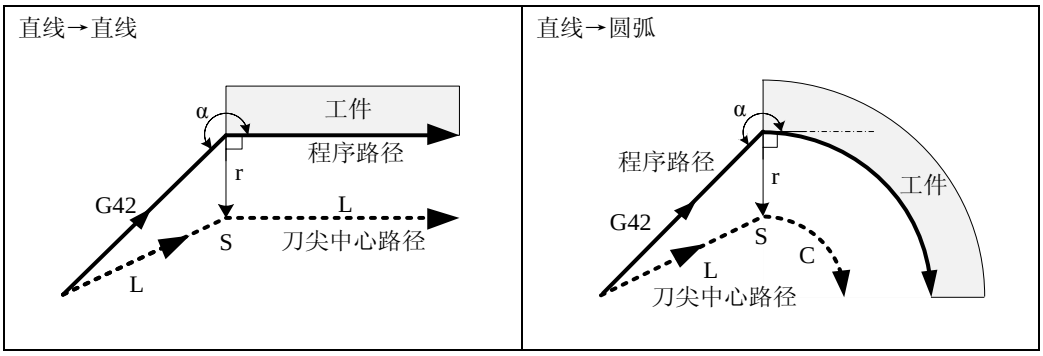
6 r 表示刀具半径补偿量

7 X 表示补偿路径交点

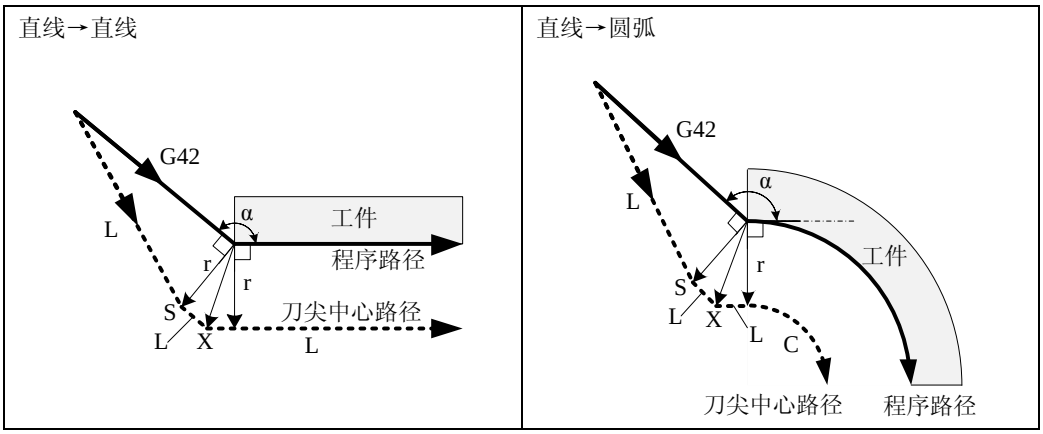
15.2.5.2 补偿开始时的刀具移动

以下说明从补偿取消状态进入补偿状态时的刀具移动方式。

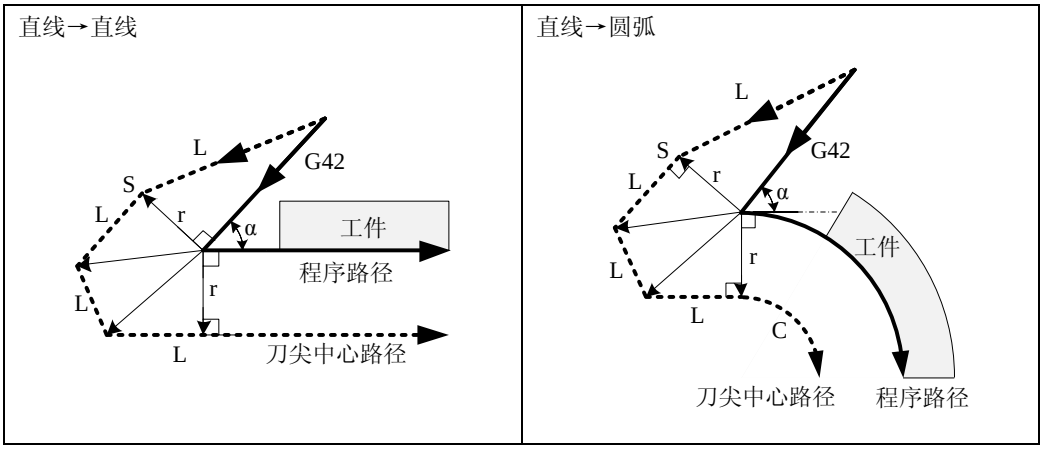
沿拐角的内侧移动（α ≥ 180°）



沿着拐角为钝角的外侧移动（90° ≤ α < 180°）

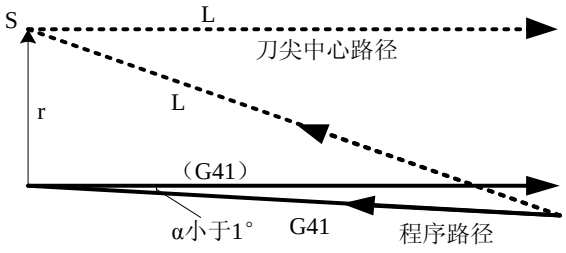


沿着拐角为锐角的外侧移动（α < 90°）



沿着拐角为小于1°的锐角外侧移动（α < 1°）

直线→直线

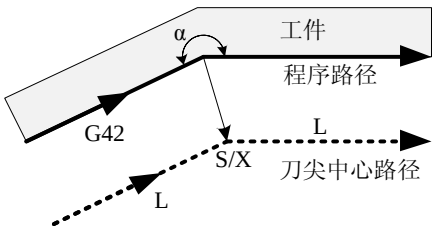


15.2.5.3 补偿模式下的刀具移动

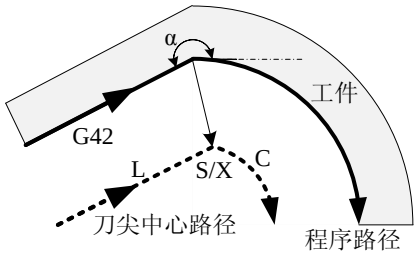
在补偿模式，如果没有连续指定 2 个或 2 个以上的非移动程序段（辅助机能或暂停等），补偿仍会正确执行，否则可能会产生过切或切削不足。

沿拐角的内侧移动（α ≥ 180°）

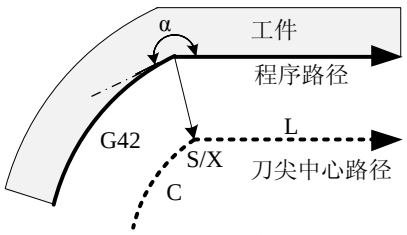
直线→直线



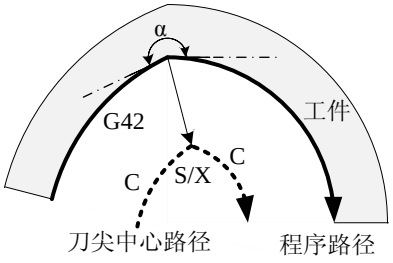
直线→圆弧



圆弧→直线

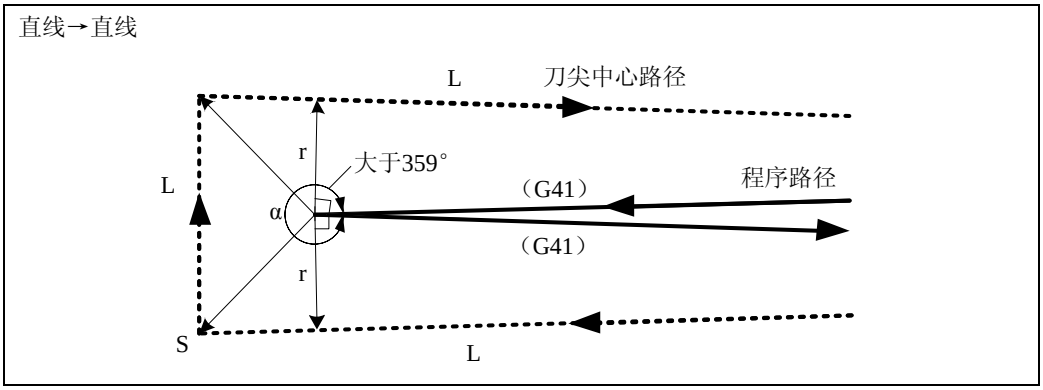


圆弧→圆弧

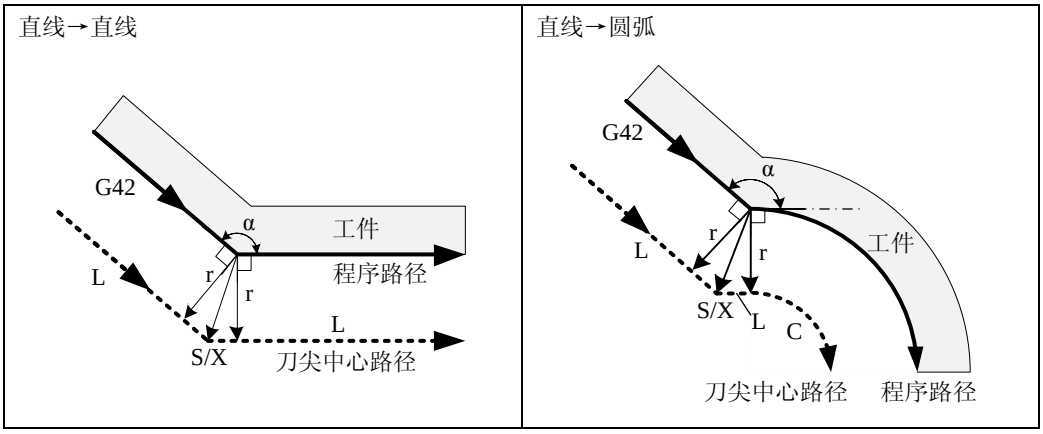


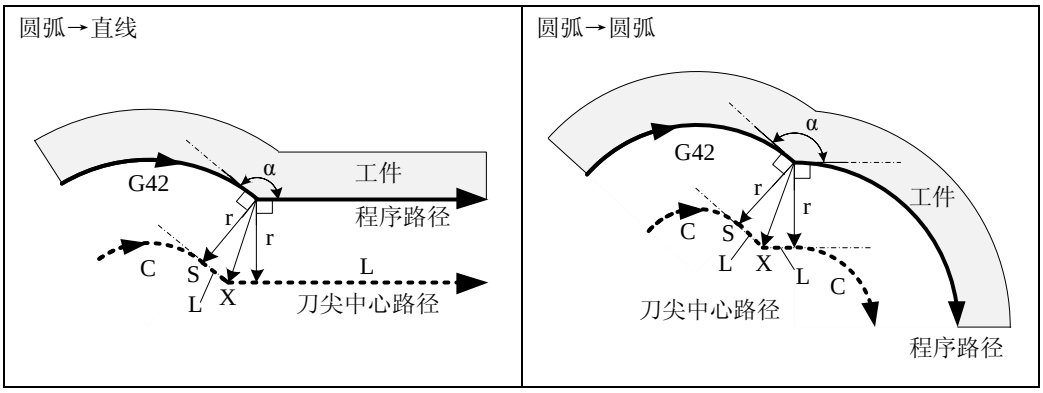
沿着拐角小于1°的内侧移动（α > 359°）

这里只说明直线→直线的情况，其他情况依此类推。

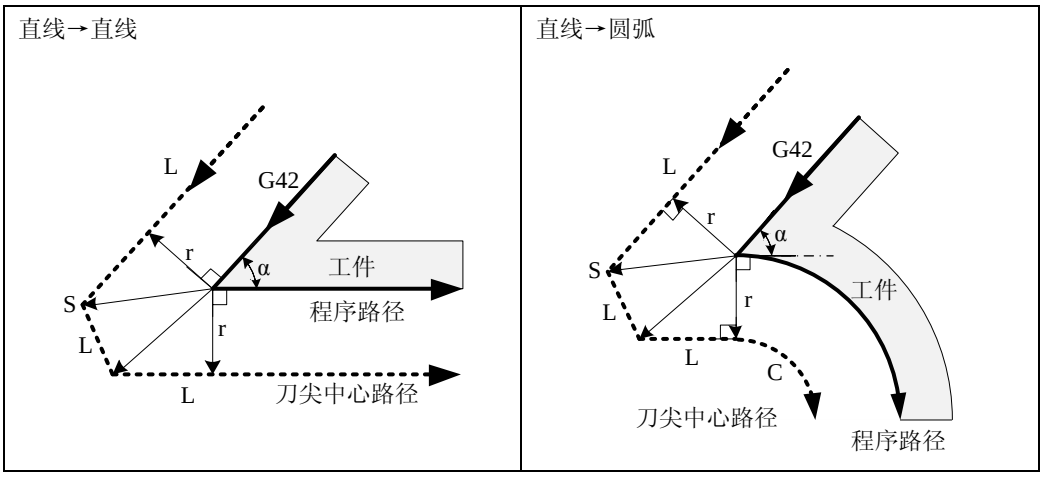


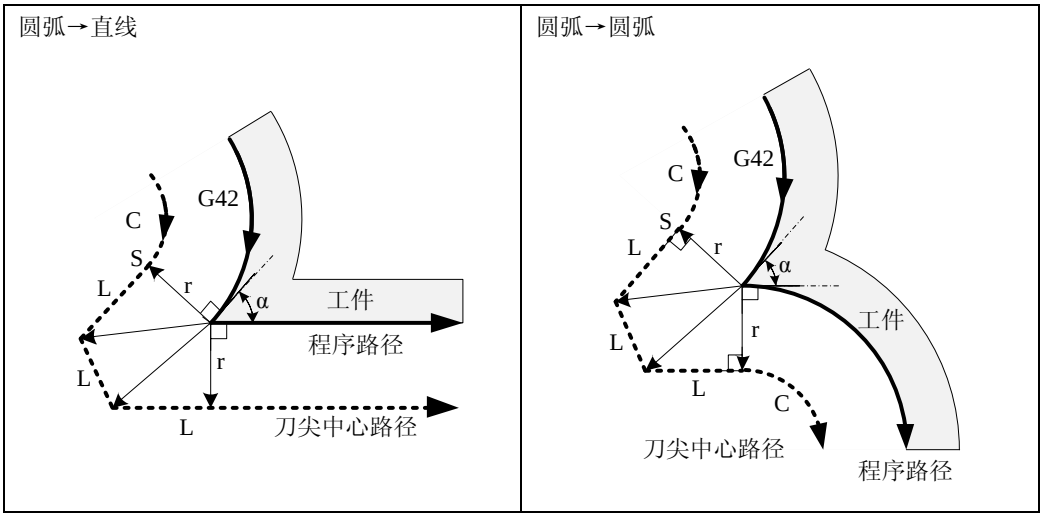
沿着拐角为钝角的外侧移动（$90° \leq \alpha < 180°$）





沿着拐角为锐角的外侧移动（α < 90°）

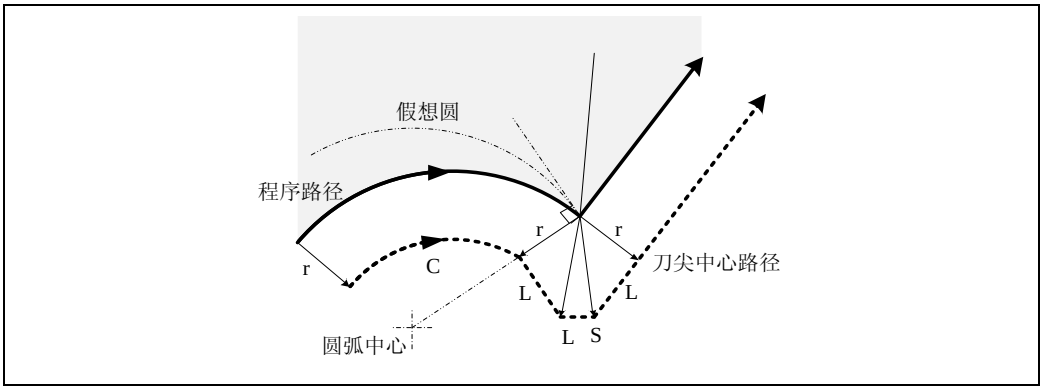




特殊情况

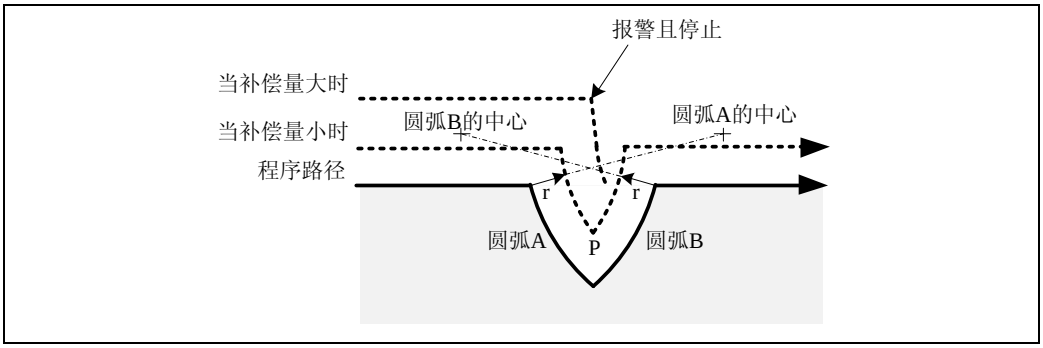
- **编程圆弧终点不在圆弧上**

如下图，当编程圆弧终点不在圆弧上时，系统则假设刀尖半径补偿相对于一个假想圆进行，该假想圆通过圆弧终点。根据这种假设，系统创建一个矢量，并进行补偿。“圆弧→圆弧”情况也相同。



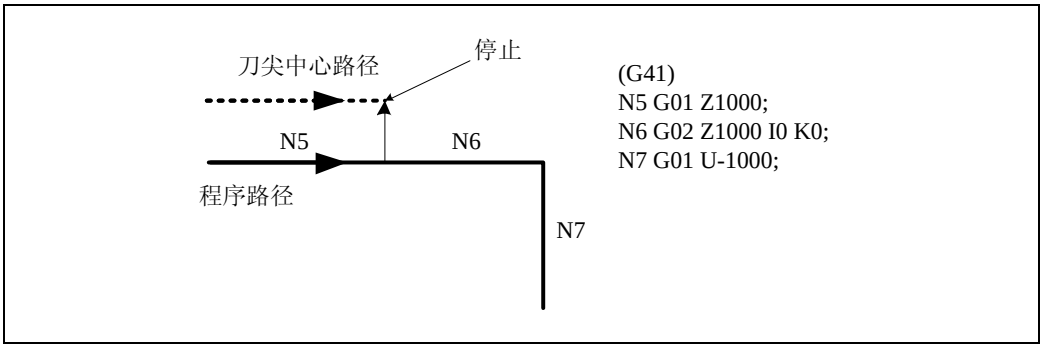
- **没有交叉点**

当刀尖半径值较小时，圆弧的补偿路径有交点，但是当刀尖半径变大，可能交点不存在。如下图所示，遇到这种情况，刀具将停止在前一程序段的终点并显示报警（PS0033）。



- **圆弧的中心与起点或终点一致**

如果圆心和起点或终点相同，则会产生报警 PS0038，并停止在前一程序段终点。如下图所示。

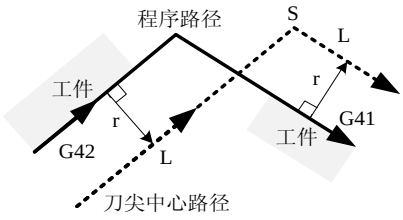


补偿模式下改变补偿方向

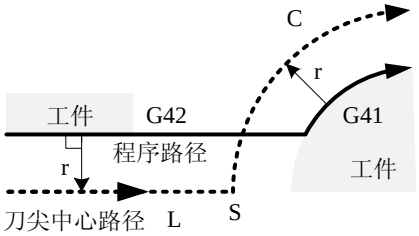
在补偿模式中可变更补偿方向。如果补偿方向在一个程序段中改变，则将该程序段的刀尖中心路径和上一程序段的刀尖中心路径的交点，作为上一程序段的终点和该程序段的起点。但不可在起动开始程序段及其后面的程序段变更。补偿方向变更时，没有内侧和外侧的概念。下文的解释中补偿量假设为正。

- **具有交点的补偿路径**

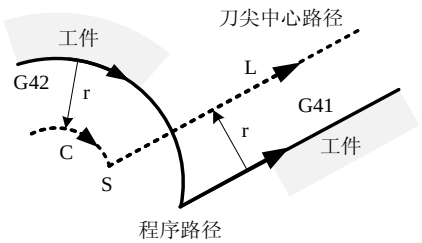
直线→直线



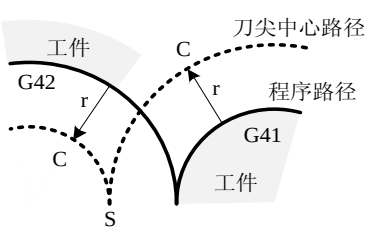
直线→圆弧



圆弧→直线



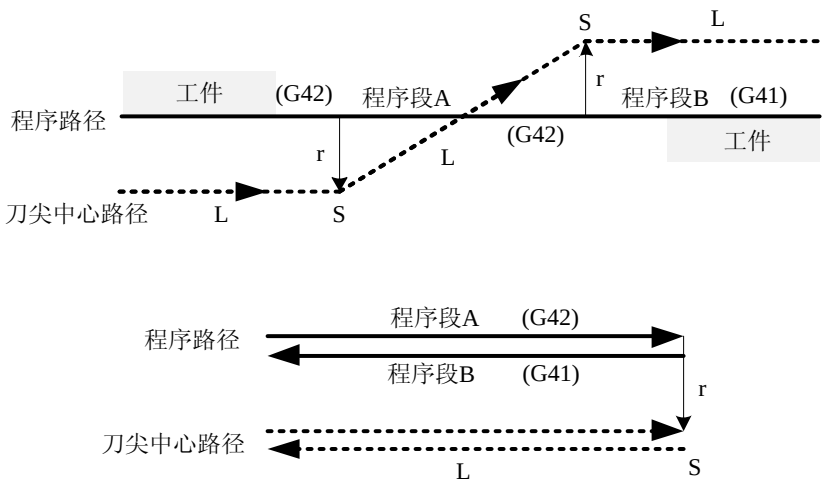
圆弧→圆弧



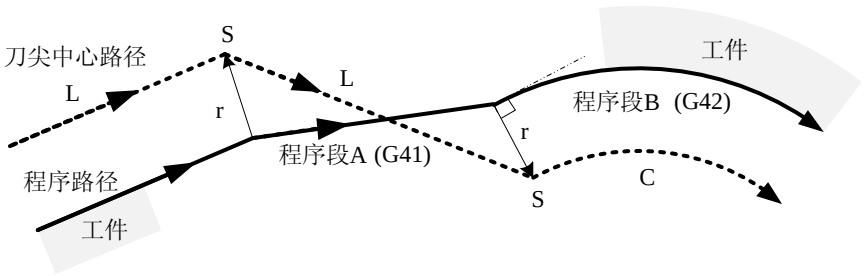
- **没有交点的补偿路径**

当用 G41，G42 改变程序段 A 至程序段 B 的补偿方向时，如果没有交点，则创建一个与程序段 B 的起点垂直的向量，作为程序段 A 的终点和程序段 B 的起点。

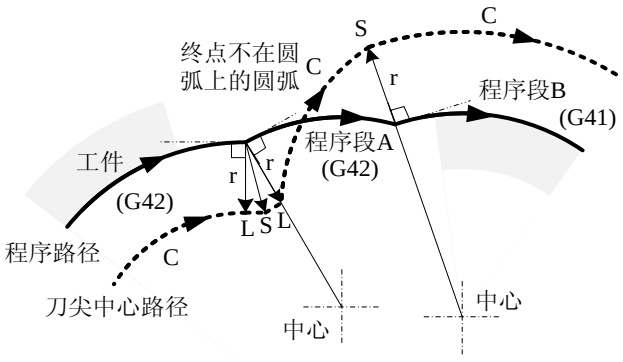
直线→直线



直线→圆弧



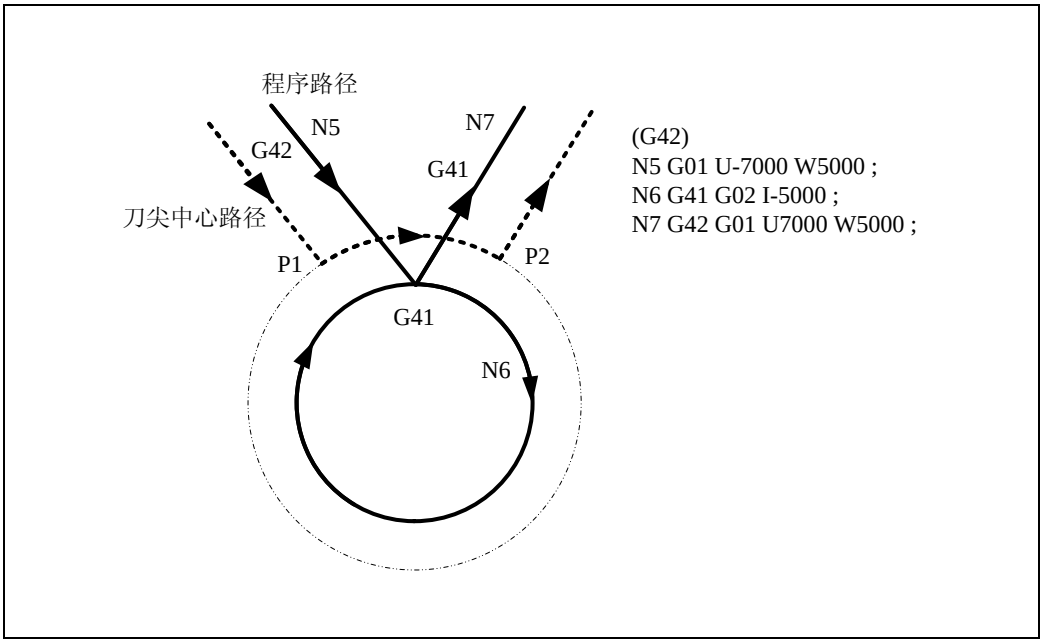
圆弧→圆弧



- **大于 1 周的圆弧**

通常不会产生这种情况。但当 G41 及 G42 变更时，或用 I，J，K 指令 G40 时，则可能会出现。如下图，刀尖中心路径不是圆弧，而是 P1 至 P2 的一段弧。并且在某些情况下，可能会因为干涉检查出现报警。

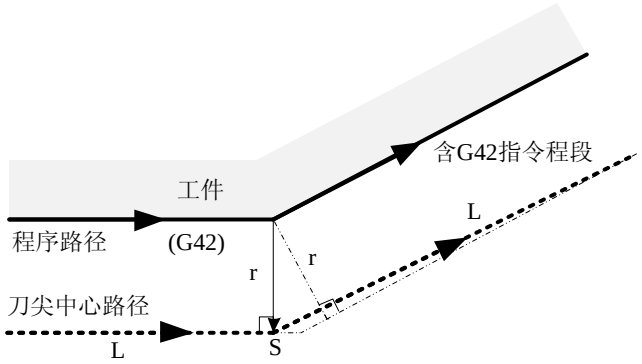
如希望刀具按全圆移动，必须分段指令。



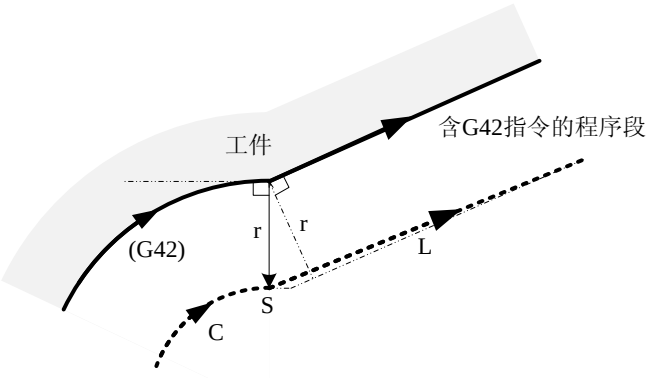
补偿模式下重复指定刀尖半径补偿 G 代码

在补偿模式中，重复指定刀尖半径补偿 G 代码时（G41/G42 模式时指定 G41/G42），相对于移动方向会形成一个与前程序段成直角的向量，与加工内侧和外侧无关。如果在圆弧指令中指定此种 G 代码，则不能得到正确的圆弧。

直线→直线



直线→圆弧

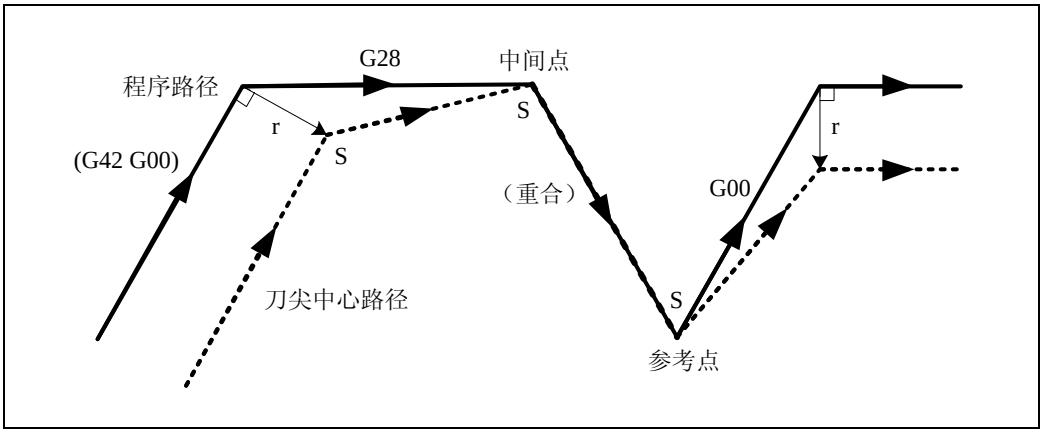


补偿模式下暂时取消补偿的指令

在补偿模式中，如果指定以下的指令，补偿会暂时取消，之后系统会将补偿模式自动恢复。请参见“补偿取消时的刀具移动”及“补偿开始时的刀具移动”的说明。

- **G28 自动返回参考点**

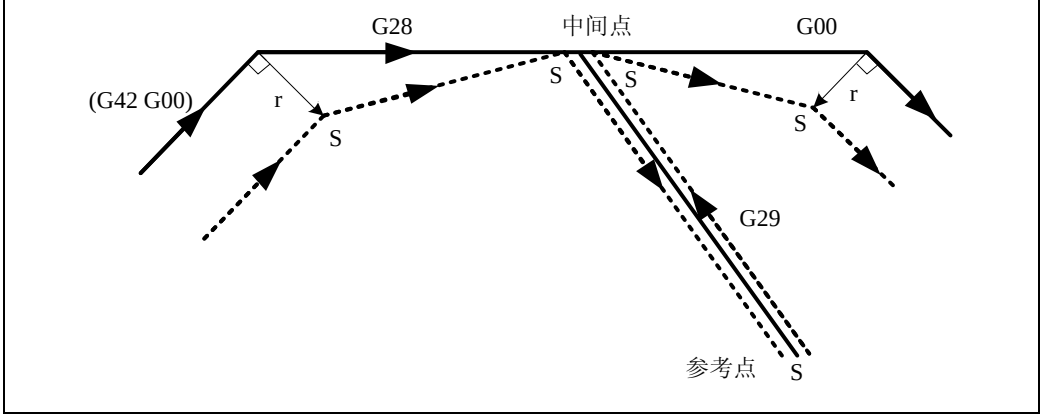
在补偿模式中，如果指令 G28，补偿将在中间点取消，在参考点返回后补偿模式自动恢复



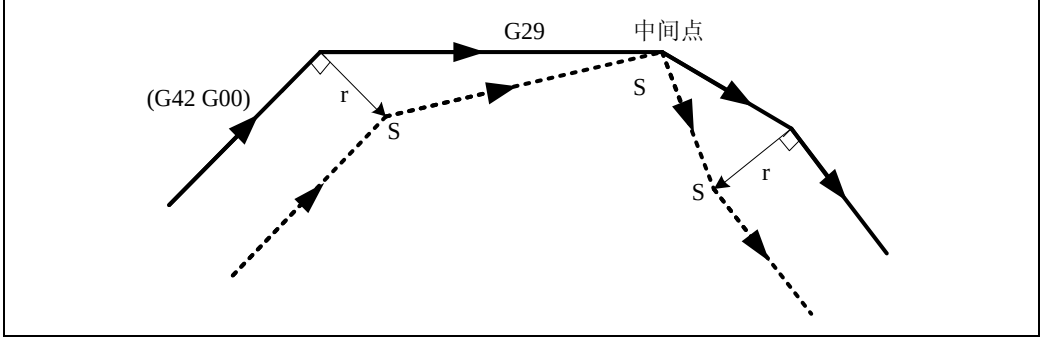
- **G29 从参考原点自动返回**

在补偿模式中，如指令 G29，补偿将在中间点取消，补偿模式将在下一个程序段自动恢复。

在 G28 后立刻指令 G29 时



不在 G28 后立刻指令 G29 时

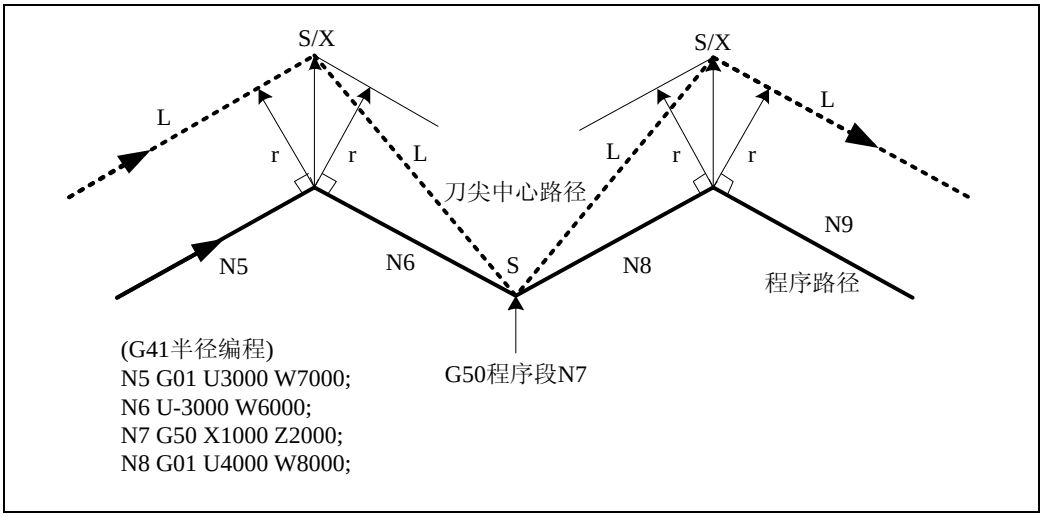


- **G50 工件坐标系设定**

在补偿模式中，如果指定了 G50（工件坐标系设定），补偿向量会暂时取消，之后补偿向量会自动恢复。

此时，不同于补偿取消模式，刀具直接从交点移动到补偿向量取消的指令点。在补偿模式恢复时，

刀具又直接移动到交点。



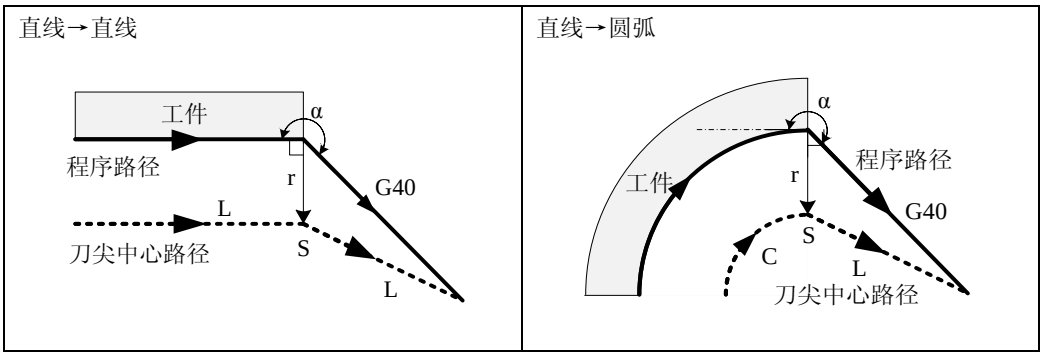
- **车削固定循环**

  执行车削固定循环 G90、G92、G94 以及 G70~G76 时，在移动到循环起点的过程中，刀尖半径补偿被暂时取消，在从循环终点移出时恢复刀尖半径补偿。参见 II-15.2.5.8。

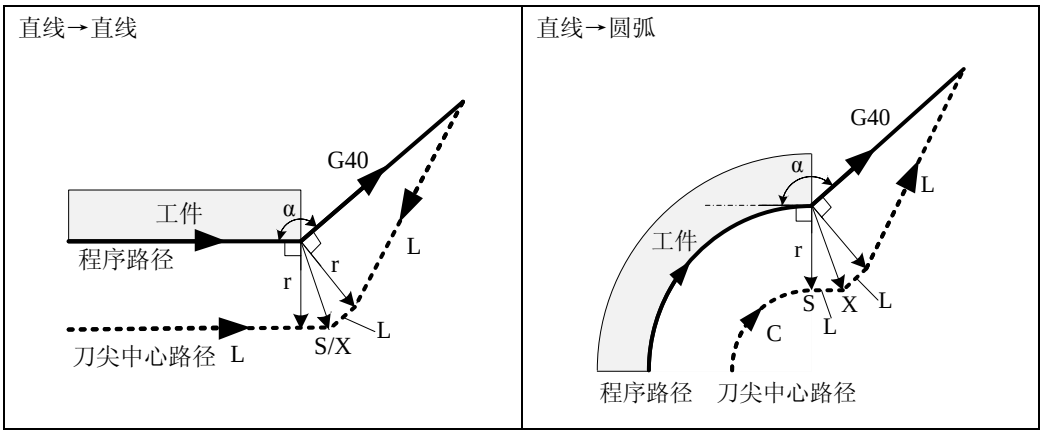
15.2.5.4 补偿取消时的刀具移动

以下说明从补偿状态退出到补偿取消状态时的刀具移动方式。

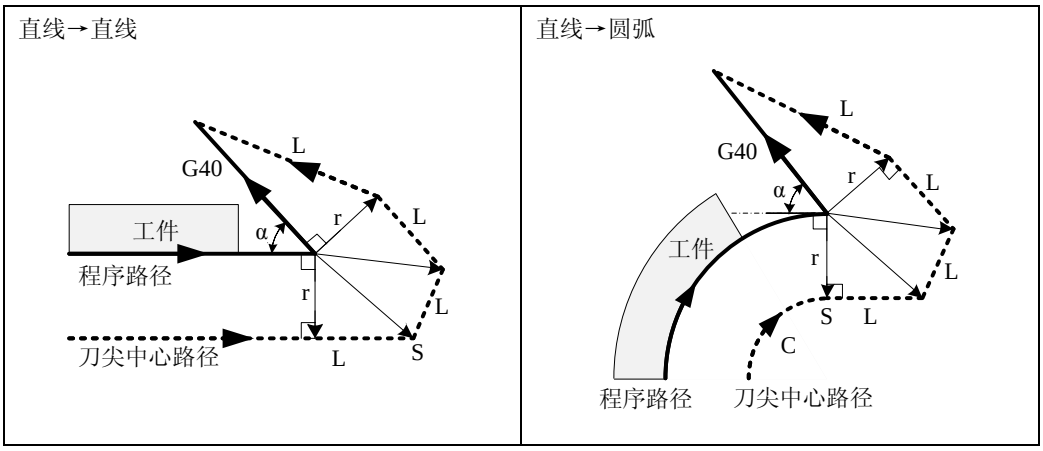
沿拐角的内侧移动（α ≥ 180°）



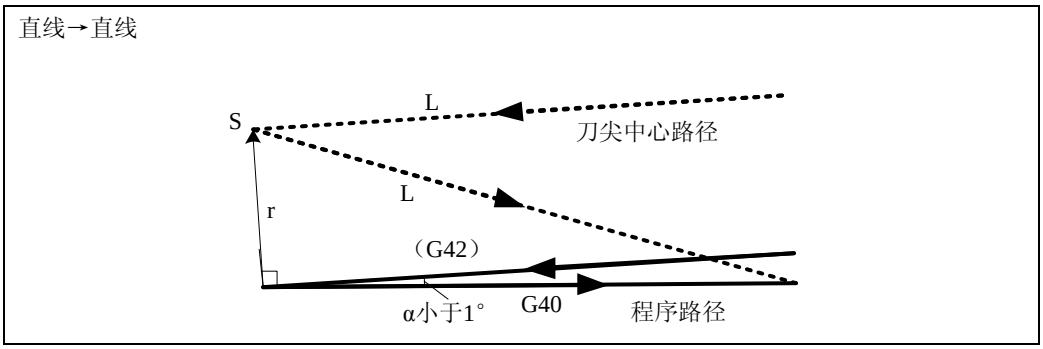
沿着拐角为钝角的外侧移动（90° ≤ α < 180°）



沿着拐角为锐角的外侧移动（α < 90°）



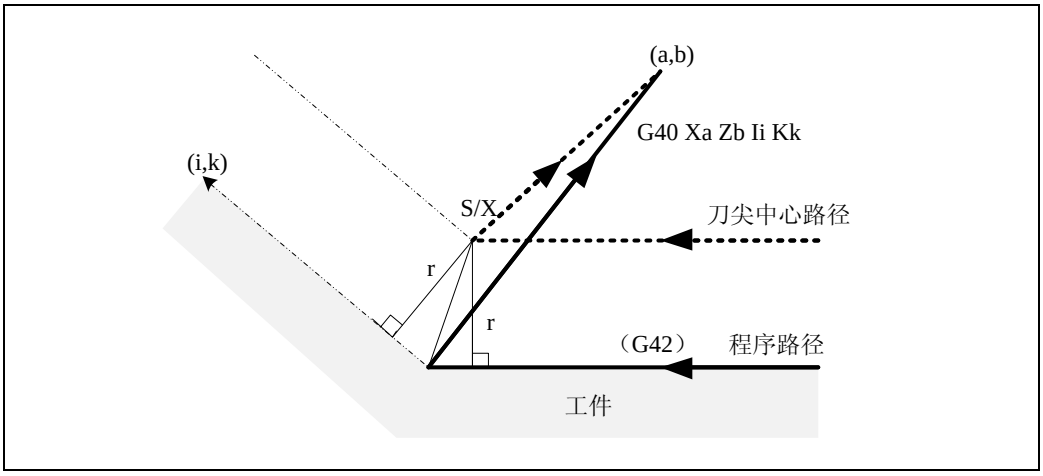
沿着拐角为小于1°的锐角外侧移动（α < 1°）



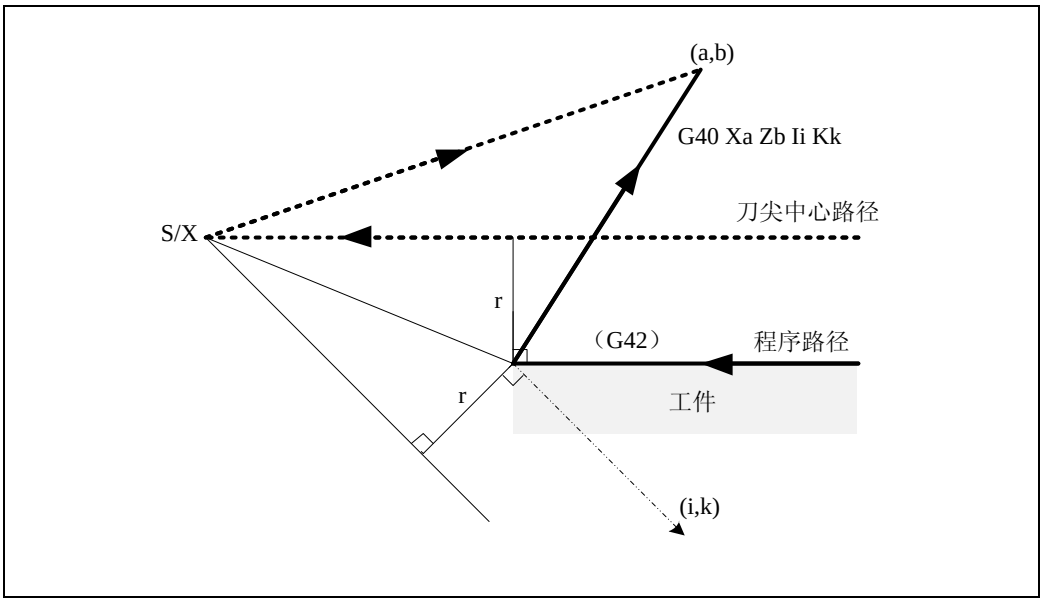
G40 和 I_J_K_同时指定

如果在指定 G40 和 I_J_K_的程序段之前为 G41 或 G42 模式，则系统假设已经指定从前面程序段的终点到向量(I, J)、(I, K)或(J, K)的方向，补偿方向（G41、G42）与前面程序段相同。

- **指定加工内侧**

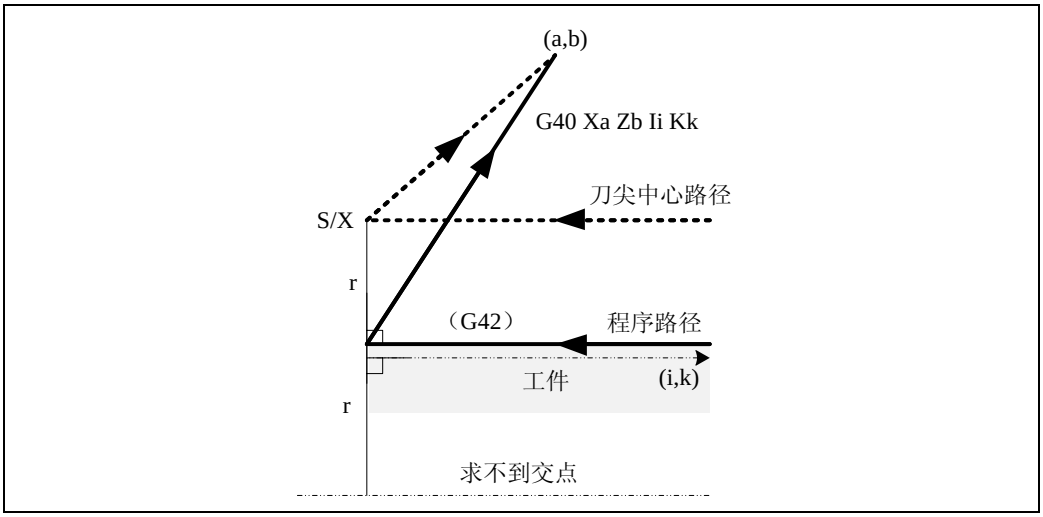


- **指定加工外侧**



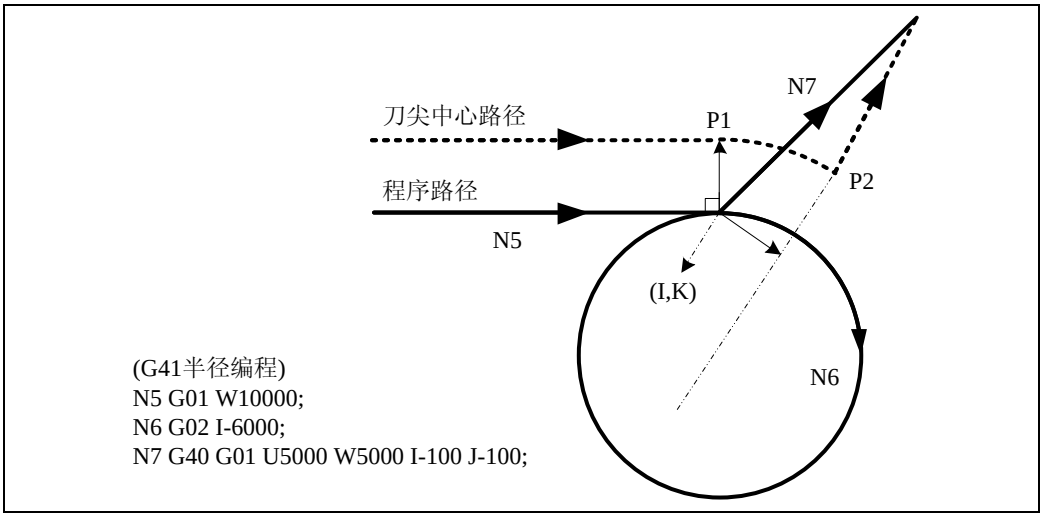
- **没有交点**

当求不到交点时，系统产生一个起点位于 G40 前面的程序段的终点，大小等于补偿量的一个偏移向量。刀具移动到该偏移向量处。



- **大于一周的圆弧**

在下图中，刀尖中心路径不沿圆周移动，而沿圆弧从 P1 至 P2。在某些情况下，可能会因干涉检查产生报警（PS0041）。如想沿圆周移动，圆弧指令必须分割。



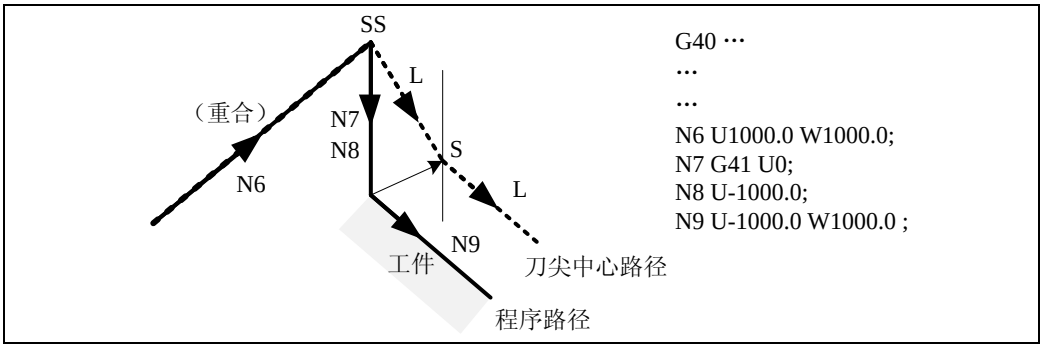
15.2.5.5 不产生刀具移动的程序段

下表中各类型的程序段都是不会产生刀具移动的程序段。

类型	举例	解释
1	M05 ;	M 代码输出
2	S01 ;	S 代码输出
3	G04 X10.000 ;	暂停指令
4	G10 P01 X100 ;	补偿量设定
5	(G17) Z100 ;	补偿平面内无移动的指令
6	G98 ;	只有 G 代码
7	G01 U0 ;	移动量为零

程序段位于补偿开始时

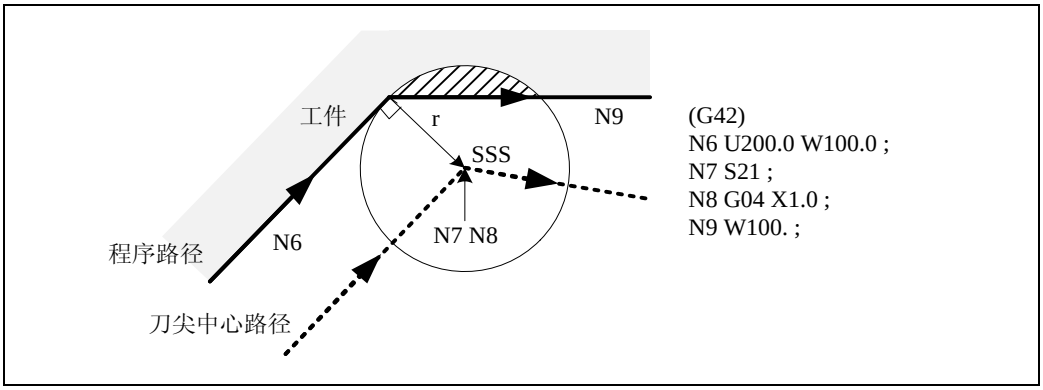
如果在补偿开始的指令没有刀具移动，不会产生补偿向量。



程序段位于补偿模式时

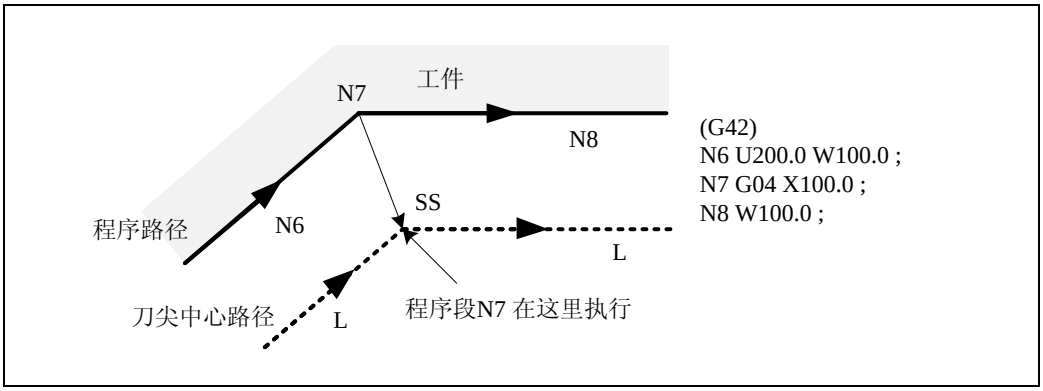
- **连续指令两个及两个以上无刀具移动的程序段时**

  两个及以上没有刀具移动的程序段不可连续指令。如果这样指令，会形成长度为补偿量，方向垂直于前程序段移动方向的向量，可能产生过切。

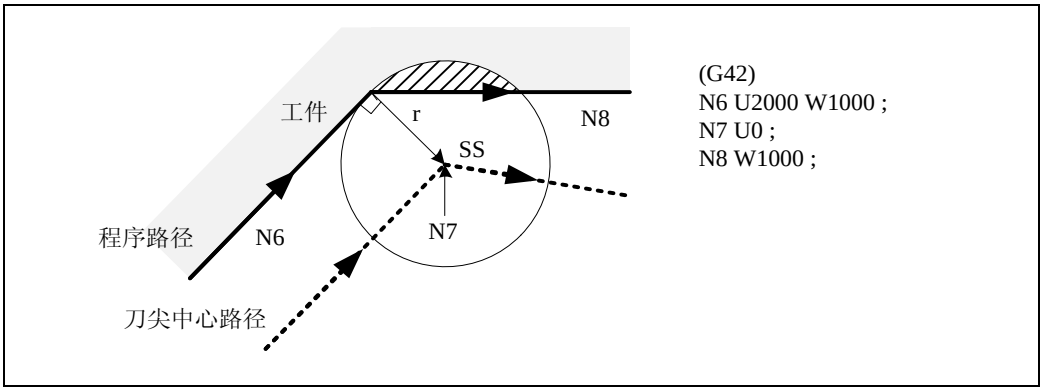


- **仅只指令了一个无刀具移动的程序段时**

此时，向量及刀尖中心路径与没有指令该程序段时一样。该无刀具移动程序段在单程序段停止点执行。

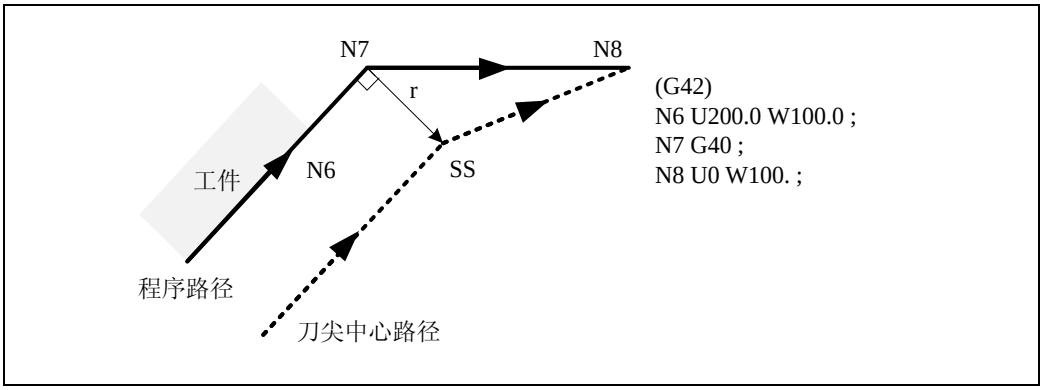


但是，对于移动量为零的程序段（类型 7，参见上表），即使只指定一个程序段，刀具移动与连续指定两个及两个以上没有刀具移动指令的程序段时的情形一样。



程序段位于补偿取消时

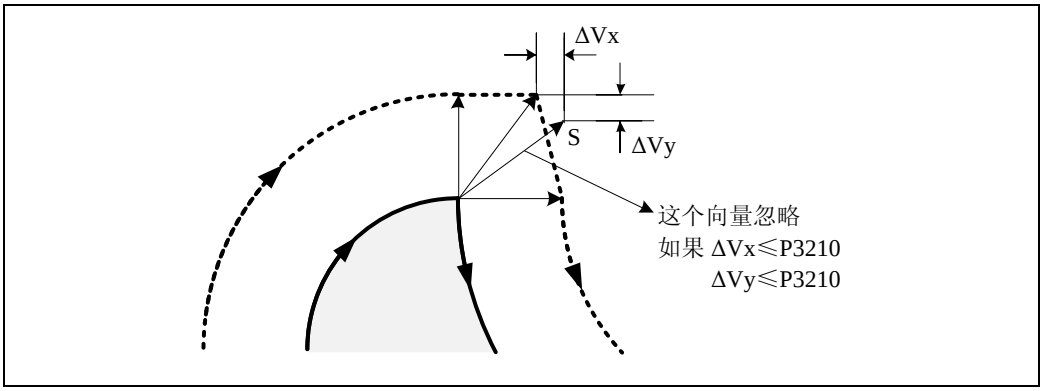
当没有刀具移动的程序段与补偿取消一起指令时，会形成长度为补偿量，方向垂直于前程序段移动方向的向量，这个向量在下一个移动指令取消。



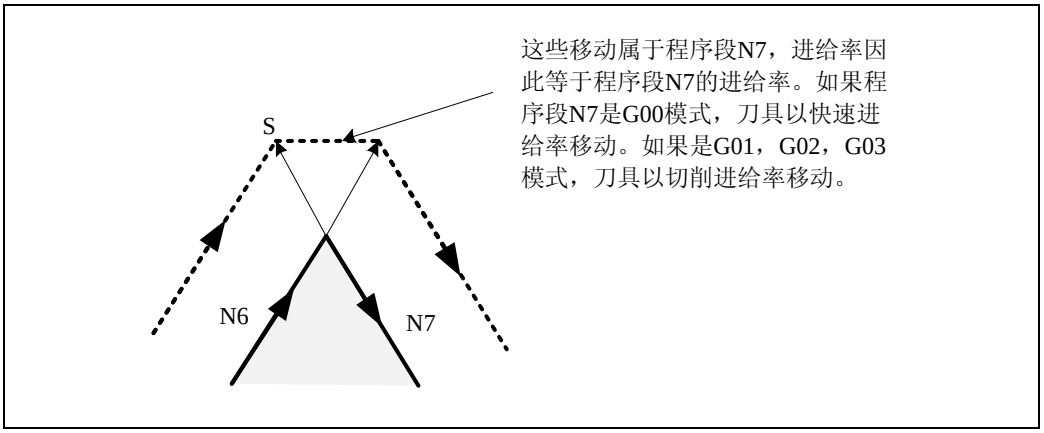
15.2.5.6 转角移动

在一个程序段的终点创建两个或更多个补偿向量时，刀具则线性地从一个向量移动到另一个向量。这种移动称为转角移动。

当向量几乎一致时，即向量间的转角移动的距离被判定为较短时（根据参数 P3210），不执行转角移动。此时后面的向量被忽略。通过忽略因为刀尖半径补偿而产生的微小移动，从而防止由于缓冲的中断而引起的速度波动。

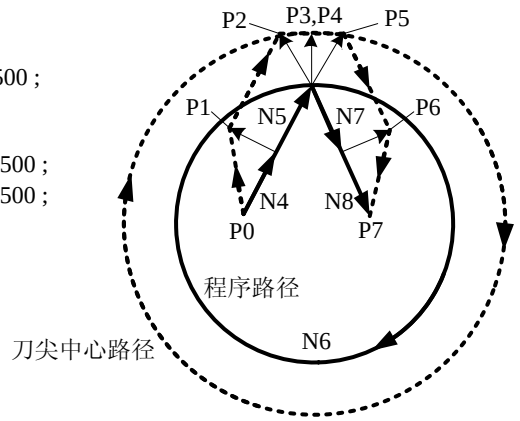


如果这些向量不一致（未被忽略），则产生一个沿转角的移动。这个移动属于后面的程序段。



但是，如果下一个程序段的路径超过半圆时，则不执行以上机能，即始终不忽略向量。主要是为了避免如下情况。

(半径编程)
N4 G41 U2000 W1500 ;
N5 U2000 W1500 ;
N6 G02 I-6000 ;
N7 G01 U-2000 W1500 ;
N8 G40 U-2000 W1500 ;



如果向量未忽略，则刀尖中心路径为 P0→P1→P2→P3→整圆→P4→P5→P6→P7；但是，如果 P2 及 P3 间的向量可忽略，则 P3 被忽略。刀尖中心路径为 P0→P1→P2→P4→P5→P6→P7，程序段 N6 的圆弧切削整个被忽略。

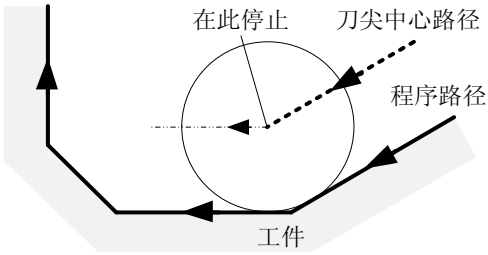
15.2.5.7 倒角及拐角

倒角或拐角处补偿条件

在倒角或拐角圆弧，只有在拐角处有交点时，才可以进行刀尖半径补偿。在补偿取消，补偿开始或改变补偿方向时，不能进行补偿，此时刀具运动停止并显示报警（PS0297）。

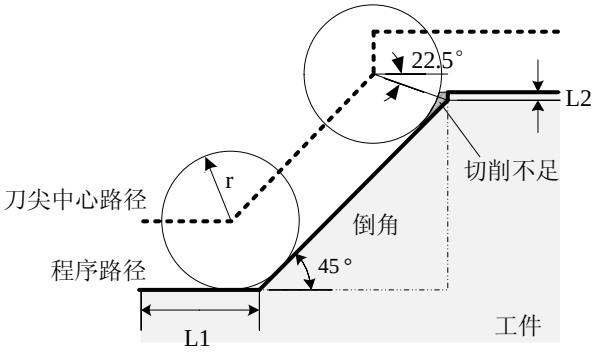
倒角值或拐角圆弧值过小

在内侧倒角或内侧拐角圆弧时，如果倒角值或拐角圆弧值小于刀尖半径值，因为会产生过切，刀具运动停止并显示报警（PS0297）。



切削不足

- **切削不足示例图**

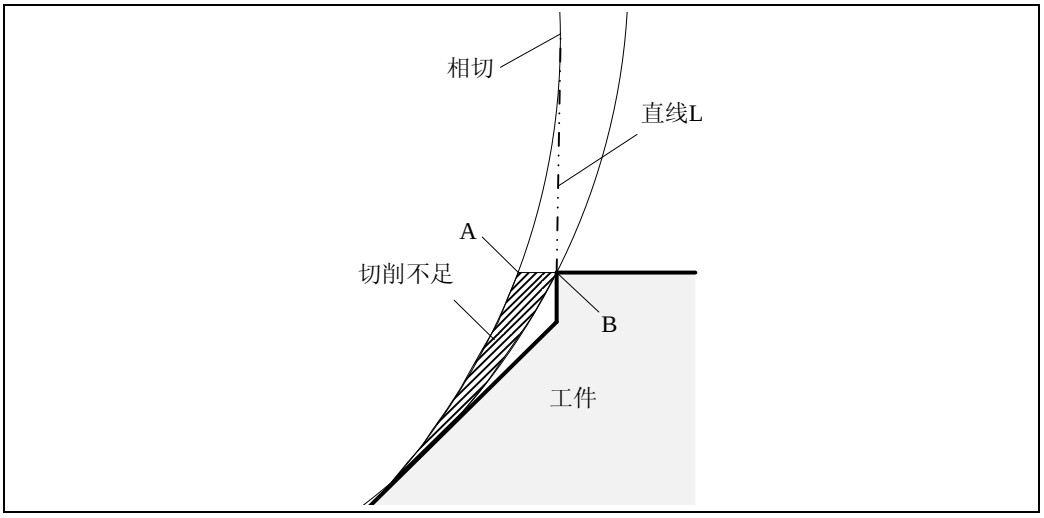


对于内侧倒角，如果非倒角部分的程序路径（上图 L1、L2）的长度在

$$0 \le L1, L2 \le r \times \tan 22.5°, (r \text{ 刀尖半径})$$

范围内时，就会产生切削不足。

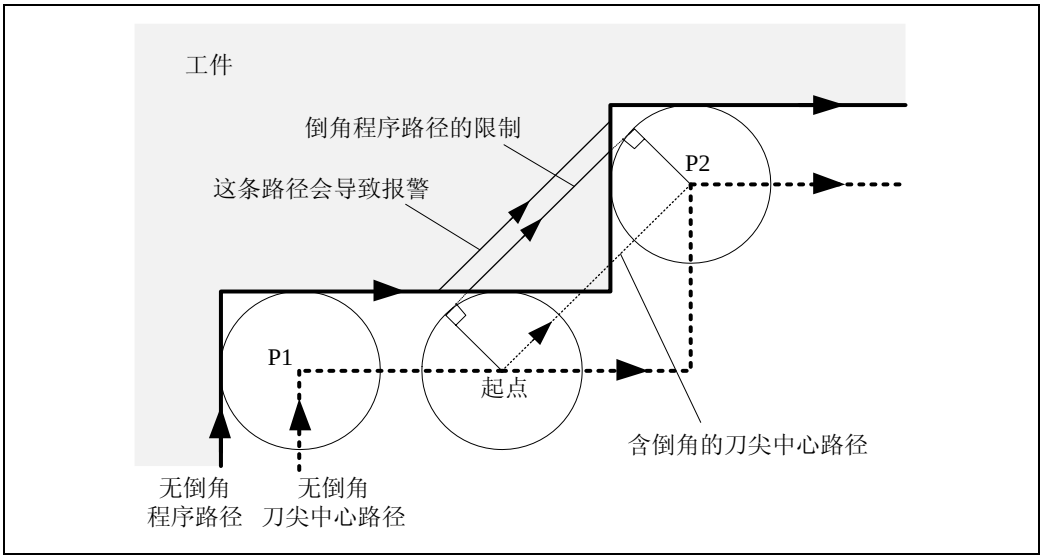
- **切削不足示例放大图**



在上图中，尽管刀尖应该在点 B 定位，但实际在点 A 定位（刀尖与直线 L 相切）。因此，存在切削不足情况。

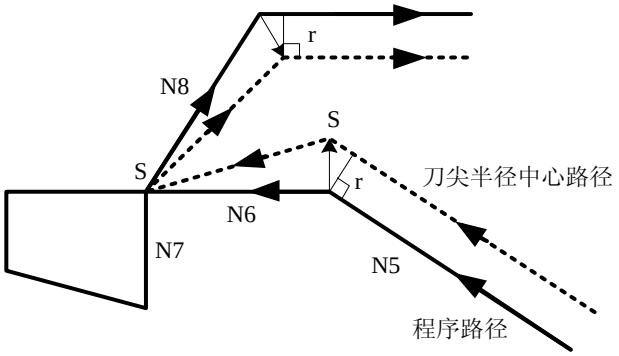
拐角或倒角的路径限制

外侧倒角补偿时，对程序路径有限制，必须保证倒角的完整性，并且不能出现过切现象。如下图所示，如果倒角值大于图中的限制值，会产生报警（PS0052/PS0055）。



15.2.5.8 车削固定循环时的刀尖半径补偿

执行车削固定循环 G90、G92、G94 以及 G70~G76 时，在移动到循环起点的过程中，刀尖半径补偿被暂时取消，在从循环终点移出时恢复刀尖半径补偿，如下图所示。对于循环内的刀尖半径补偿路径，各种循环指令处理不尽相同。

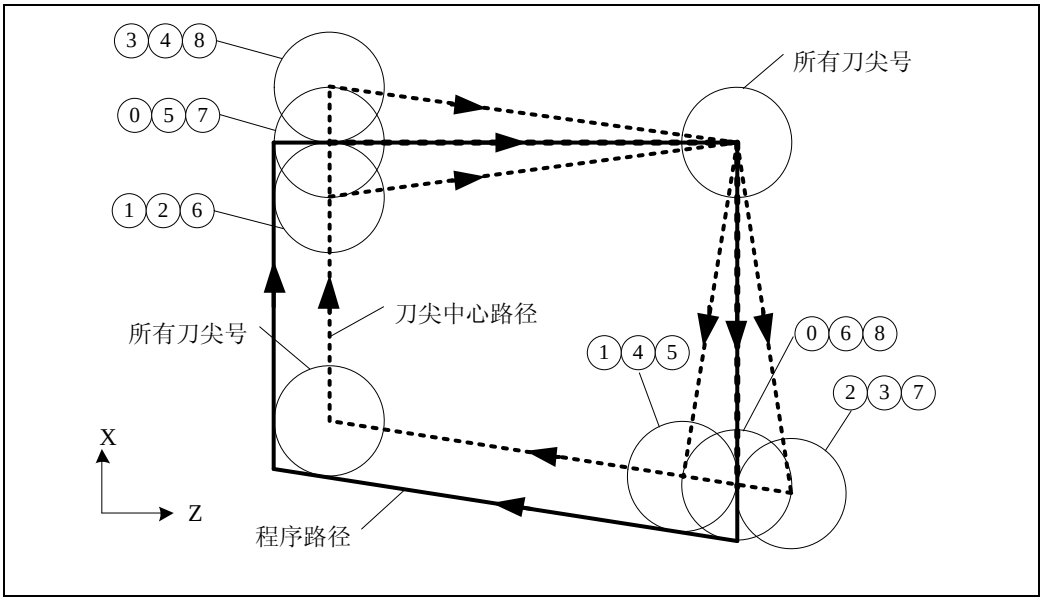


(G42)
N5 G01 U500.0 W600.0;
N6 W-800.0;
N7 G90 U-600.0 Z-800.0 I-300.0;
N8 G01 U1200.0 W500.0;

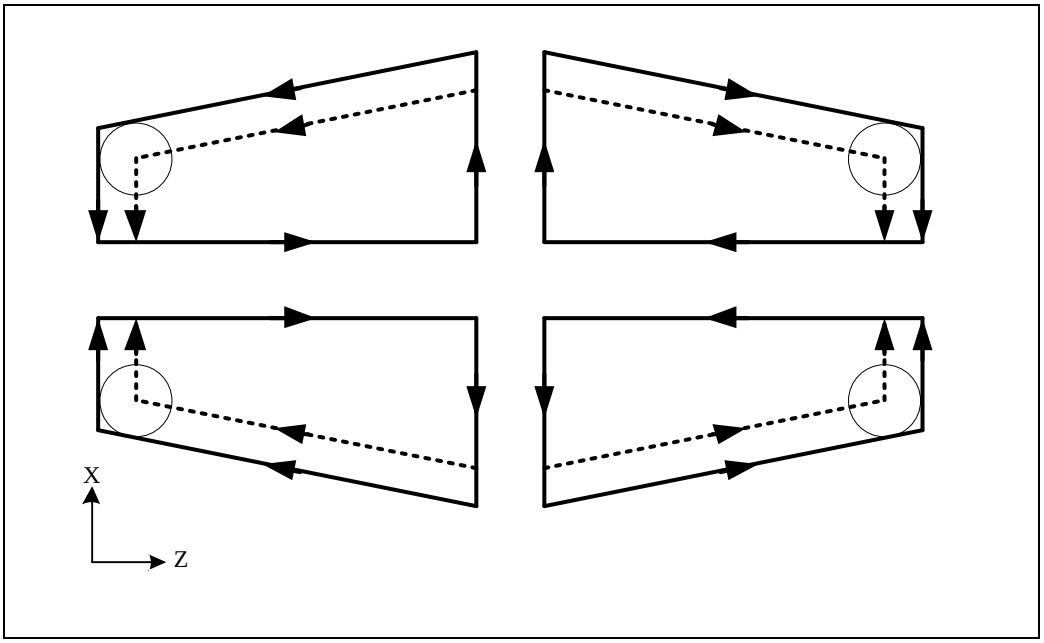
循环内的刀尖半径补偿

- **G90、G92 或 G78.1**

如下图，图中标号表示假想刀尖号。

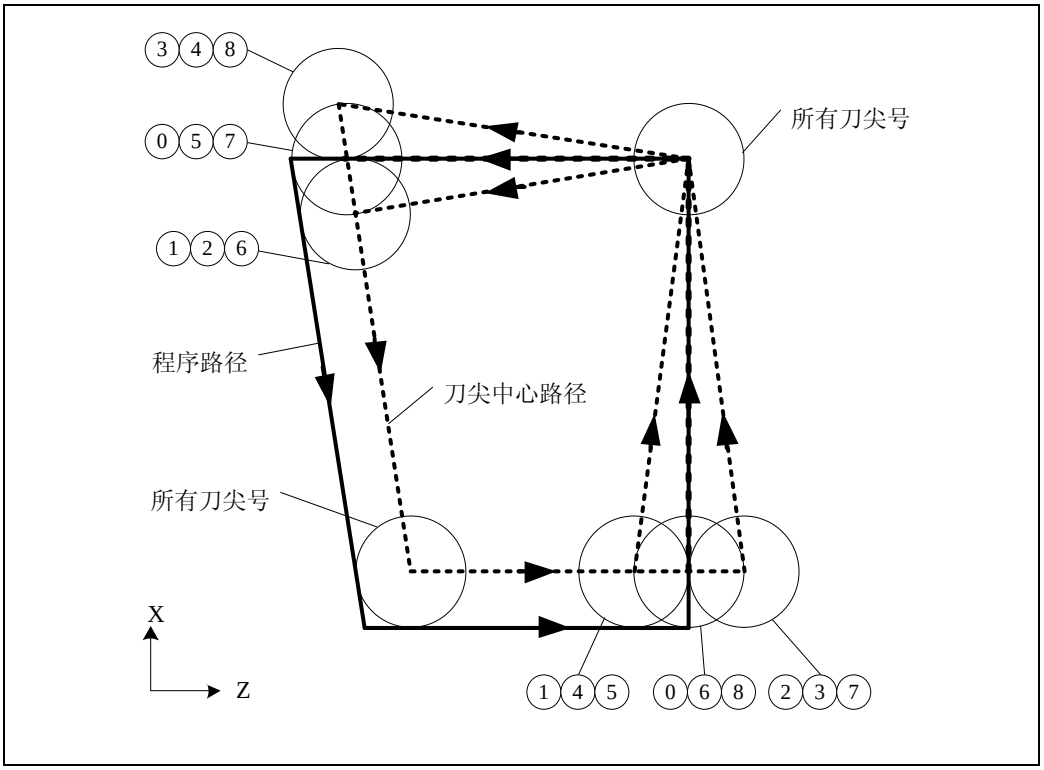


无论是 G41，G42 方式，补偿方向如下图所示。

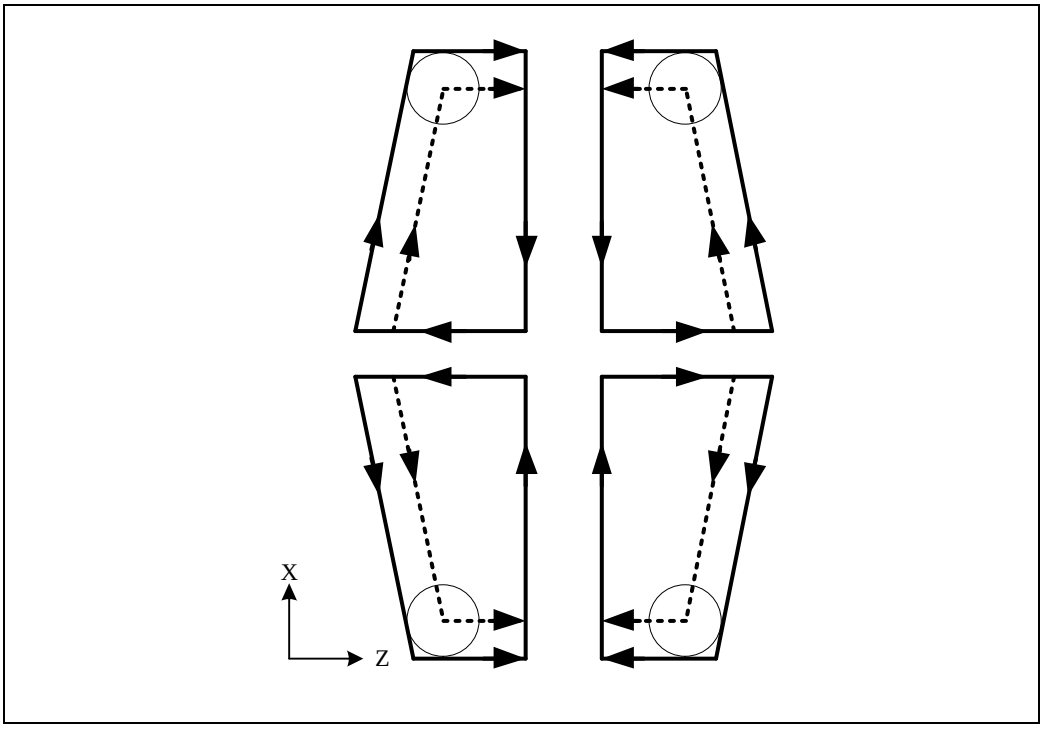


- **G94**

如下图，图中标号表示假想刀尖号。



无论是 G41，G42 方式，补偿方向如下图所示。



- **G71~G73**

在循环过程中，路径偏移刀尖半径向量，不进行任何交点计算。

注

不要在 P、Q 程序段之间执行 G41、G42、G40，虽然不会影响到 G71~G73，但退出循环时将可能会改变补偿向量方向。

- **G70**

在循环内的第一个程序段开始刀尖半径补偿，在移动到循环终点的过程中取消刀尖半径补偿。

注

请在 G70 之前执行 G41、G42，在 G70 之后执行 G40

- **G74~G76**

在循环中，不执行刀尖半径补偿。

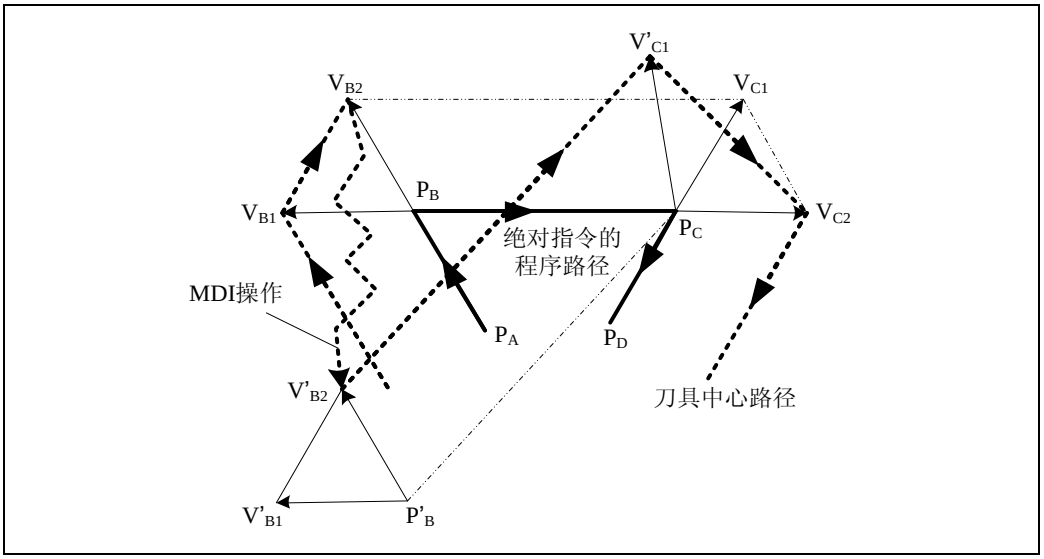
15.2.5.9 MDI 方式下刀尖半径补偿

MDI 运行

复位后，在 MDI 方式下执行程序，和自动运行相同，也进行刀尖半径补偿。

MDI 干预

当绝对指令编程的 NC 程序在自动运行过程中执行了单程序段停止，插入执行 MDI 操作，然后再次起动自动运行时，此时，系统传送下一个程序段起点的向量，并根据下两个程序段形成其它向量。所以，如下图所示，从点 PC 后补偿可正确地执行。

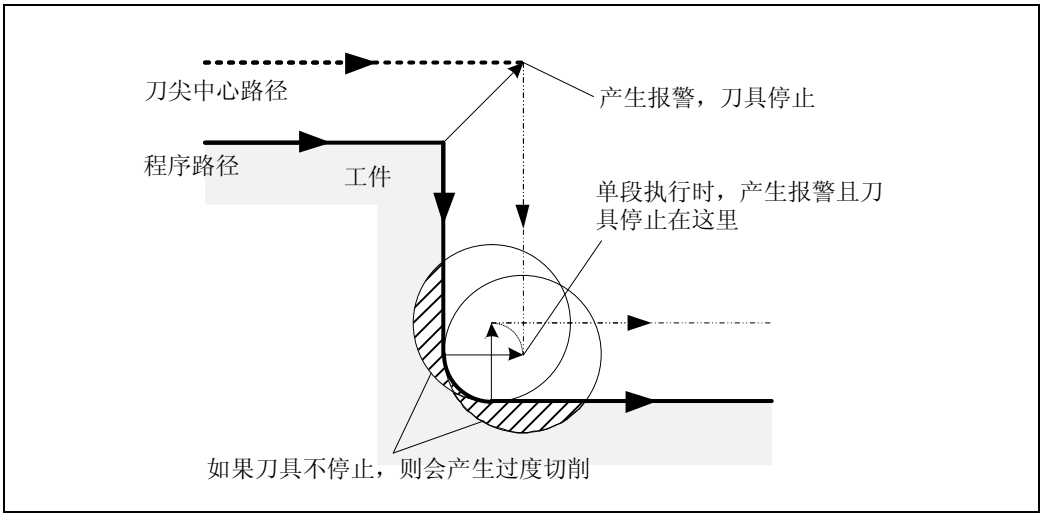


当点P_A，P_B，P_C以绝对指令编程时，程序段从P_A至P_B执行后用单段执行停止，插入 MDI 方式移动刀具。向量V_{B1}及V_{B2}传送至V'_{B1}及V'_{B2}，在程序段$P_B \rightarrow P_C$及$P_C \rightarrow P_D$间的向量V_{C1}及V_{C2}重新计算。但是，因为向量V_{B2}没有再度计算，所以从点P_C后补偿才可正确地执行。

15.2.5.10 利用刀尖半径补偿防止过切

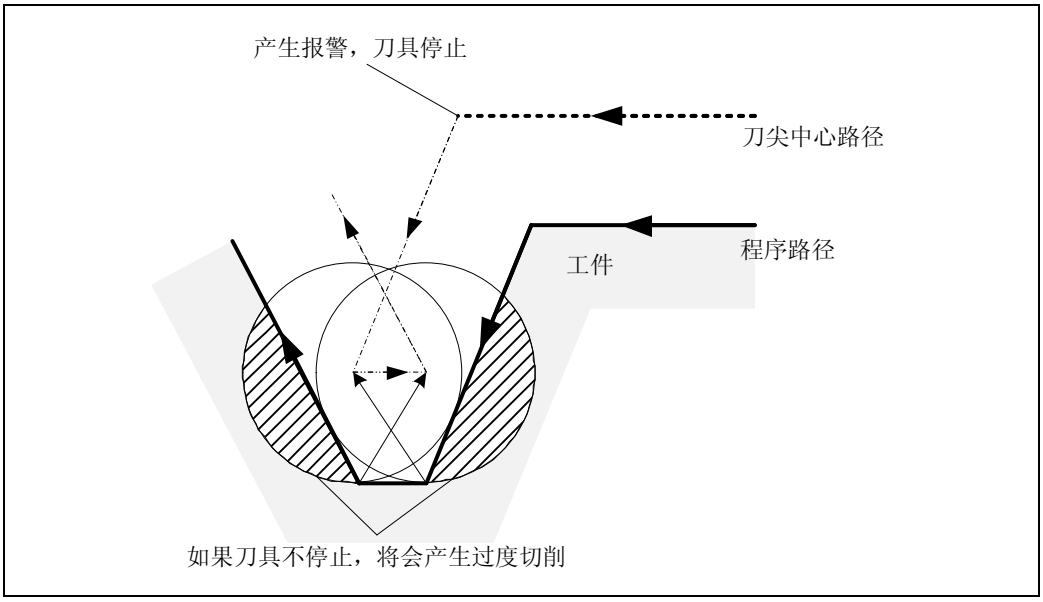
加工比刀尖半径小的圆弧内侧

当转角半径小于刀尖半径时，因为刀尖的内侧补偿将产生过度切削，会产生报警，刀具停在单段程序开始位置，因此在单段执行时，会产生过度切削。



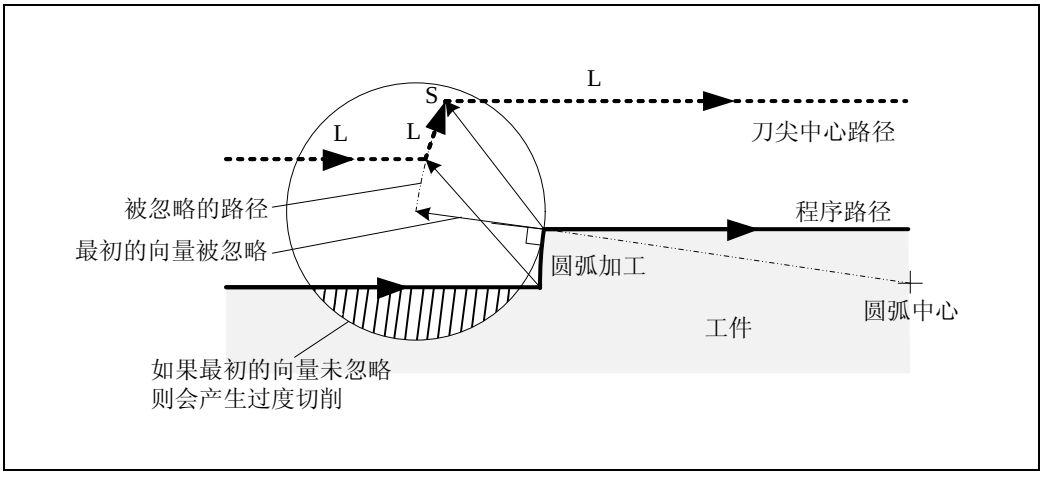
加工刀尖半径小的截沟

因为刀尖半径补偿强制刀尖中心路径向程序路径反向移动，会产生过度切削。



加工刀尖半径小的段差

如果在程序中有比刀尖半径小的段差时，用圆弧加工指令这个段差的加工时，正常补偿的刀尖中心路径变成与程序方向相反。此时忽略最初的向量，刀具直线移动到第二个向量。单段执行在这里停止。如不在单段模式下加工，自动运行会继续。如果段差是直线，不会产生报警，作正确切削。但会残留未切削部分。



15.2.5.11 干涉检查

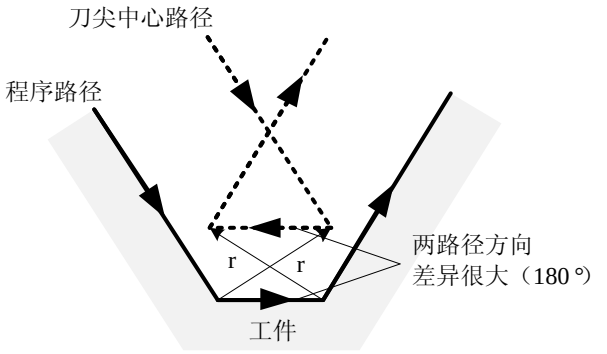
刀具过切现象称为“干涉”。干涉检查功能可以预测出可能的刀具过切情况，但是不能检查出所有的干涉情形，即使过切未发生也可能会进行干涉检查，并报警。

干涉的基本条件

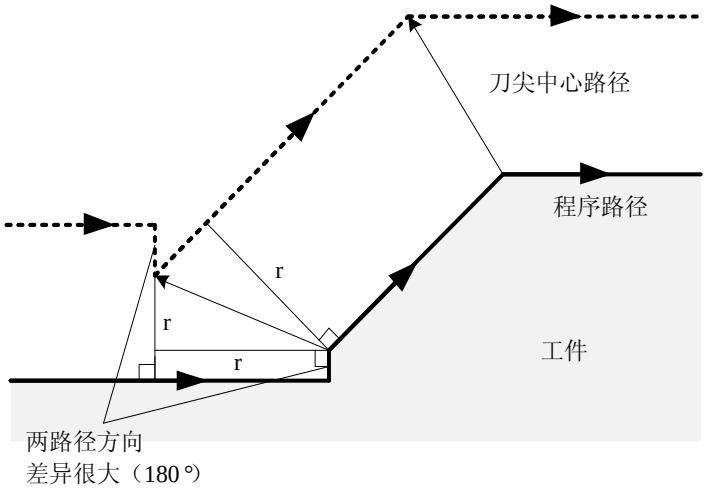
1 刀尖中心路径方向与程序路径方向不同（路径间的夹角在 90 度~270 度之间）。

2 圆弧加工时，除以上条件外，刀尖中心路径的起点和终点间的夹角与程序路径起点和终点间的夹角有很大的差异（180 度以上）。

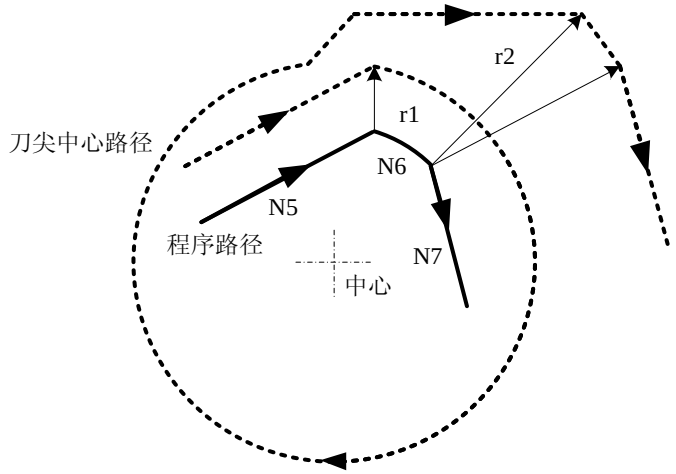
例 1


刀尖中心路径
程序路径
r
r
两路径方向
差异很大（180°）
工件

例 2


刀尖中心路径
程序路径
r
r
r
工件
两路径方向
差异很大（180°）

例 3



(G41)
N5 G01 G91 X8000 Y2000 H01 ;
N6 G02 Y-1600 X3200 I-2000 J-8000 H02 ;
N7 G01 X2000 Y-5000 ;

（H01刀具半径补偿量 r1 =2000)
（H02刀具半径补偿量 r2 =6000)

以上范例，程序段 N6 的圆弧在一个象限内。但是在刀具补偿后，圆弧位于 4 个象限。

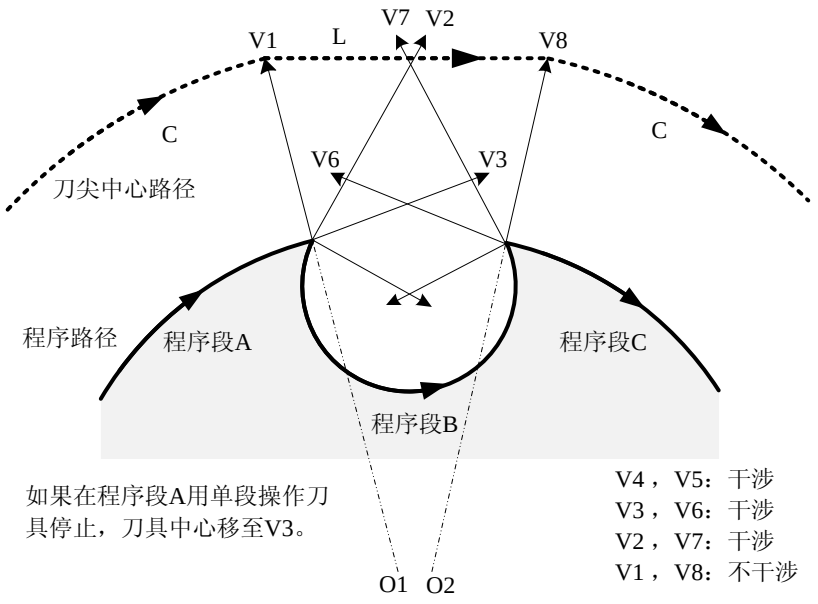
干涉的预先处理

补偿模式中，相邻的程序段 A、B 及 C 执行时，在 A 及 B 间产生向量 V1、V2、V3 及 V4，在 B 及 C 间产生向量 V5、V6、V7 及 V8（参见下文例子中的图），首先检查最近的向量。如果发生干涉，则将它们消去。但是如果要忽略的向量在拐角的最后，它们不能消去。即：

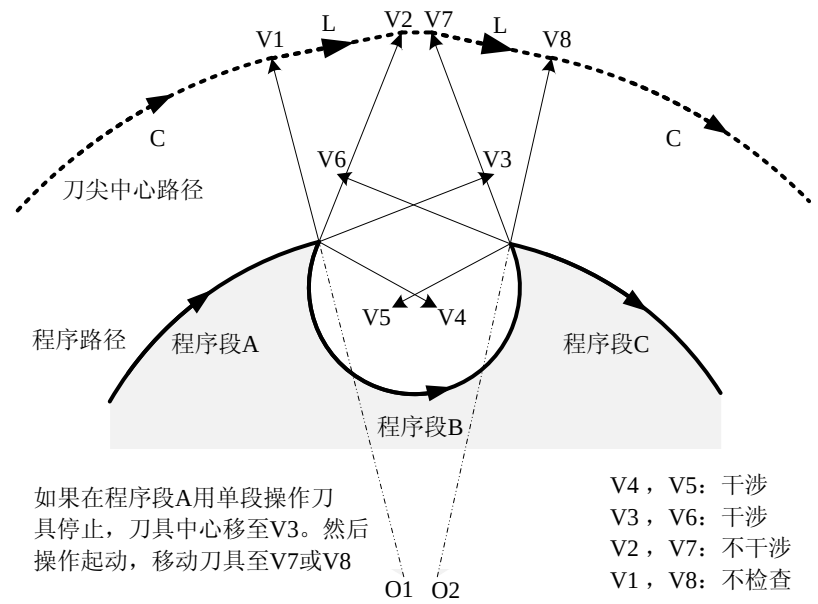
V4 和 V5 间 ----- 干涉 ----- V4，V5 消去
V3 和 V6 间 ----- 干涉 ----- V3，V6 消去
V2 和 V7 间 ----- 干涉 ----- V2，V7 消去
V1 和 V8 间 ----- 干涉 ----- V1，V8 不能消去

如果在检查中，某一对向量不干涉，则不检查此后的向量。如果程序段 B 是圆弧移动，向量干涉会产生直线移动。

例 1 刀具直线移动（V1→V8）

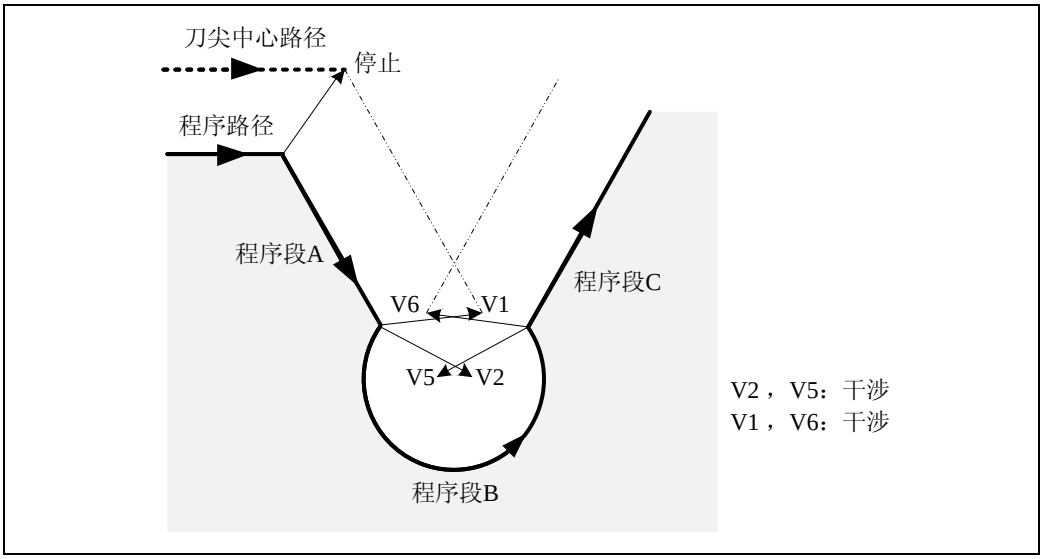


例 2 刀具直线移动（V1→V2→V7→V8）



预处理后仍有干涉发生

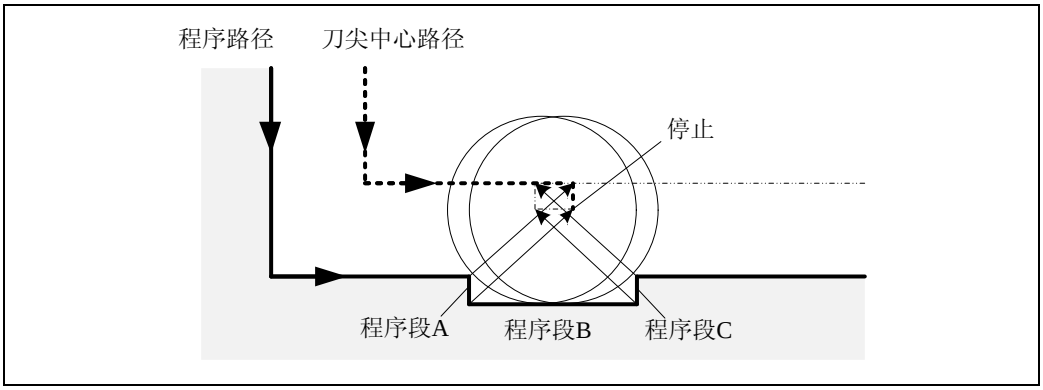
如果干涉在预处理后发生或检查开始只有一组向量而这组向量干涉，刀具在前面程序段执行后立即停止（如果用单程序段操作执行，刀具在程序段结束时停止），显示报警（PS0041）。



实际上没有干涉，但作干涉检查

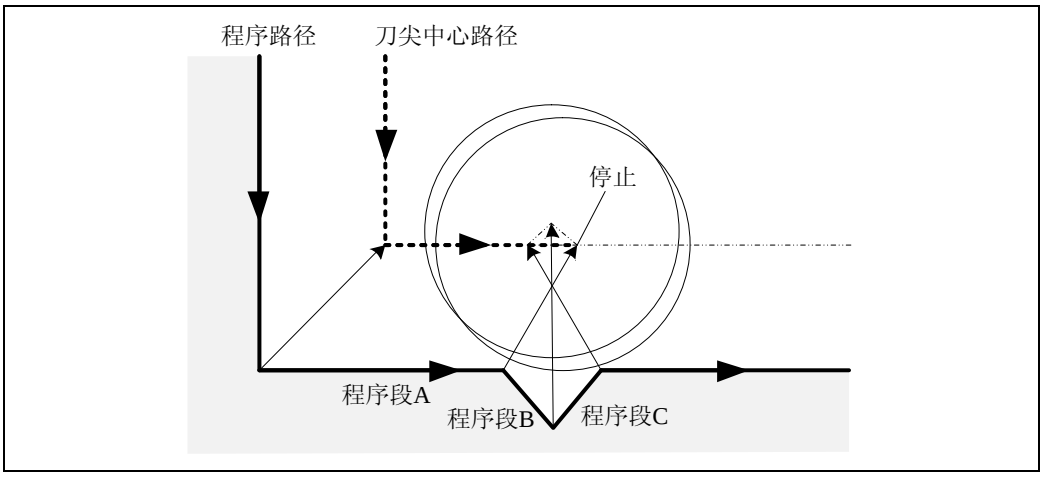
- **凹处深度小于补偿量**

实际上没有干涉，但是因为在程序 B 段，程序的方向与刀尖半径补偿的路径相反，刀具停止并显示报警。



- **截沟深度小于补偿量**

刀尖中心路径与程序路径方向相反。



15.3 拐角圆弧插补功能（G39）

在刀尖半径补偿中，通过指定 G39，即可在拐角处进行以补偿量作为半径的拐角圆弧补偿。

格式

G39；

或

$$G39\begin{Bmatrix} I_J_ \\ I_K_ \\ J_K_ \end{Bmatrix};$$

解释

- **拐角圆弧插补**

  当上述指令被指定时，即可进行以补偿量为半径的拐角圆弧插补。此指令前面的 G41、G42 确定圆弧是顺时针还是逆时针。G39 是一次性 G 代码。

- **没有 I、J、K 指令时的 G39**

  当指令 G39 时，产生拐角圆弧，该拐角圆弧使圆弧终点的矢量与下一程序段的起点垂直。

- **含有 I、J、K 指令时的 G39**

  当用 I、J、K 指定 G39 时，产生拐角圆弧，该拐角圆弧使圆弧终点的矢量与由 I、J、K 值指定的矢量垂直。

限制

- **移动指令**

  不能在一个含有 G39 的程序段中指定移动指令。否则系统将会发出报警。

- **内侧拐角**

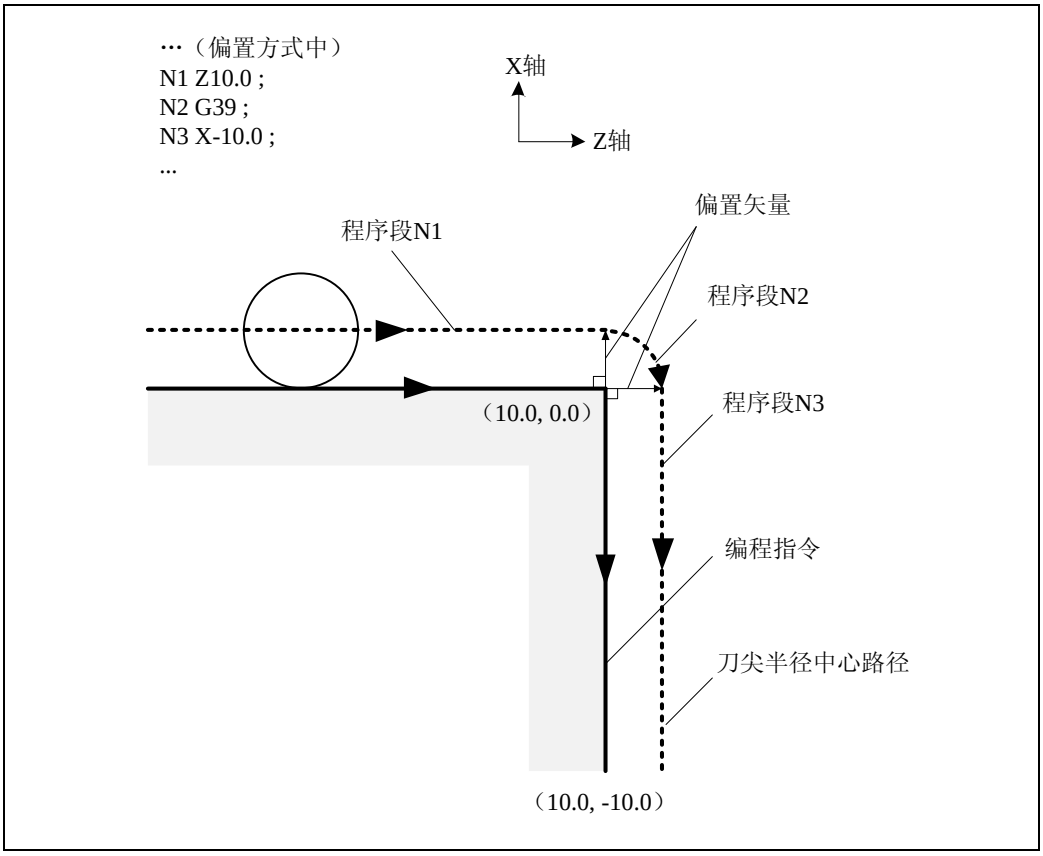
  内侧拐角的程序段间不能指定 G39。进行该指令将导致过切。

- **拐角圆弧的速度**

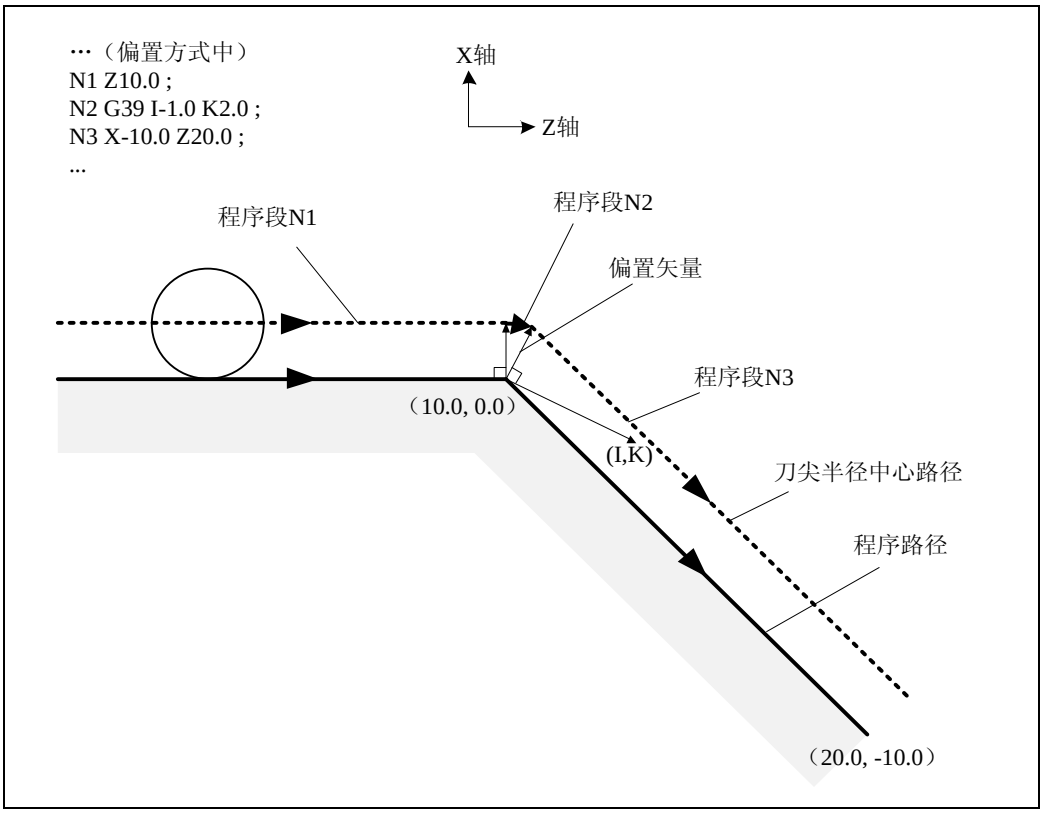
  在 G00 方式下通过 G39 指定拐角圆弧时，拐角圆弧的程序段速度是基于前面指定的 F 指令的速度。

举例

- **没有 I、J、K 指令时的 G39**



- **含有 I、J、K 指令时的 G39**



15.4 补偿量的程序输入功能（G10）

刀具补偿值可在程序中使用 G10 指令输入。

本节对 G10 的所有阐述只针对补偿量的程序输入功能。G10 的其他功能，如变更工件坐标系，请参见参见 II-7.2.2.2。

G10 设置补偿值的指令格式与磨损补偿是否有效有关，由参数“WOFC”（《连接调试手册》第 155 页 P3200.0）选择。

磨损补偿无效（WOFC=0）

G 代码体系 A：

绝对指令：G10 L10 P_IP_ R_ Q_;

增量指令：G10 P_ U_ W_ NC_ ;

G 代码体系 B：

绝对指令：G90 G10 P_ X_ Z_ R_ Q_ ;

增量指令：G91 G10 P_ X_ Z_ R_ ;

P_：补偿号

X(U)_：刀具补偿数据（X）

Z(W)_：刀具补偿数据（Z）

R(NC)_：刀尖半径偏置量（R）

Q_：假想刀尖号（T）

开启工件偏移机能（WSFT=1）时，G10 P0000 X_ Z_;设置工件偏移。

磨损补偿有效（WOFC=1）

G 代码体系 A：

磨损绝对指令：G10 P_ X_ Z_ R_ Q_ ;

磨损增量指令：G10 P_ U_ W_ NC_ ;

形状绝对指令：G10 P100_ X_ Z_ R_ Q_ ;

形状增量指令：G10 P100_ U_ W_ NC_ ;

G 代码体系 B：

绝对指令：G90 G10 P_ X_ Z_ R_ Q_ ;

增量指令：G91 G10 P_ X_ Z_ R_ ;

绝对指令：G90 G10 P100_ X_ Z_ R_ Q_ ;

增量指令：G91 G10 P100_ X_ Z_ R_ ;

P_：补偿号

X(U)_：刀具补偿数据（X）

Z(W)_：刀具补偿数据（Z）

R(NC)_：刀尖半径偏置量（R）

Q_：假想刀尖号（T）

开启工件偏移机能（WSFT=1）时，G10 P0000 X_ Z_;设置工件偏移。

注

1 CENCW=1 时，NC_以,C_代替。

2 G 代码体系 A 同时编入 R_和 NC_时，编程刀补值为两者之和。

3 刀尖号 Q_允许在增量指令或磨损指令中指定，且均为绝对指令。

16 用户宏程序（宏 B）

用户宏程序（如未特别说明简称宏 B）允许用户使用变量、算术运算、逻辑运算、位操作、条件转移、循环控制和程序调用等基本程序语言特征，使得编制程序更方便、灵活、容易、快捷。可以极大的提高程序的通用性，只需要对不同的主程序赋值，即可调用相同的子程序加工同类型的零件（如模具行腔、阵列孔等）。另外，宏程序中函数的运用也使各种曲线加工更加流畅，同时程序占用系统空间更小。

本章节将全面介绍标准宏 B 的功能，简易宏 B 功能仅在标准宏 B 功能基础上简化了个别指令和操作，本节将在被简化的内容处特别注明。

16.1 变量

普通加工程序直接用数值指定 G 代码和移动距离（例如，G01 X100.0）。使用用户宏程序时，数值可以直接指定或用变量指定。当用变量时，变量值可用程序赋值或用 MDI 面板操作设定。

例

```
#1=#2+100 ;
G01 X#1 F300.0 ;
```

解释

- **变量的表示**

一般程序语言需要对变量命名，但用户宏程序不需要，用户可以直接使用变量，即用变量符号（#）和后面的变量号指定。

例

#1、#2、#101 等均表示变量，即变量由“#+数值”组成。

表达式也可用于指定变量号。此时，表达式必须封闭在括号中。

例

当 COMP=1 时，#[#1+#2-12]

当 COMP=0 时，#(#1+#2-12)

注

当参数“COMP”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.5）设为 1 时，方括号用于变量索引、改变优先级、函数或命令等语句中，而圆括号用于注释；当 COMP 设为 0 时，圆括号代替方括号功能，而方括号则用于数组功能，注释使用 C/C++语言注释风格（//或/* */）。如无特别说明，默认 COMP 为 1。

- **变量的类型**

所有变量根据变量号可以分成四种类型，如下所示。

变量号	别名	变量类型	功能
#0~#63	r0~r63	局部变量	局部变量只能在宏程序内局部使用，例如，运算结果。断电后开机，局部变量初始化为空。调用宏程序时，自变量对局部变量赋值。
#100~#499	——	公用变量	公用变量在不同的宏程序中意义相同。断电后开

变量号	别名	变量类型	功能
#500~#999			机，变量#100~#499 初始化为空，变量#500~#999 的数据与断电前保持一致，即使断电也不丢失。
#1000~	——	系统变量	系统变量用于读写系统内部的各种数据，例如，刀具的当前位置和补偿值等。

- **变量的显示**

对于局部变量和公用变量（#0~#999），系统在“宏变量”界面予以显示，但不显示系统变量。变量号右侧一栏是该变量的数值，可直接用 MDI 面板操作设定。如果变量未曾赋值，则变量值显示为空。

- **变量的引用**

在地址后指定变量号即可引用其变量值。当用表达式指定变量时，要把表达式放在括号中。

例

```
G01 X#100 ;
G01 X[#1+#2] F#3 ;
```

被引用变量的值根据地址的最小输入单位自动地舍入。

例

系统公制编程时，最小输入单位默认为 0.001mm，当把 12.3456 赋给#1，指令 G00X#1 时，实际在指令 G00 X12.346。

如果要改变引用变量值的符号，应将负号（-）放在#的前面。

例

```
G01 X-#100 ;
G01 X-[#1+#2] F#3 ;
```

- **限制**

程序号和顺序号不能使用宏变量。例如，下面情况不能使用变量：

例

下面的情况不能使用宏变量：

```
O#1 ;
N#3 Y200.0 ;
```

- **未定义变量**

当引用未定义的宏变量时，系统会产生报警（PS1318）。

- **变量赋空机能**

用户可将宏变量赋值为 NULL，表示该变量为空或未定义，一般用于初始化变量。

例

```
1  #1 = NULL ;
2  r1 = NULL ;
3  #1 = 5 ;
4  #[#1] = NULL ; //相当于#5=NULL
```

- **#0 替换为 NULL 功能**

本系统支持自动将#0 变量替换为 NULL，由参数“ZVRBN”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.1）控制，ZVRBN 设为 1 时该机能有效。

该功能是为了兼容其它厂家系统的宏程序而设计，一般情况下建议用户浏览宏程序并手动将#0 更改为 NULL。

本功能中的替换操作等价于文本替换，即将“#0”替换为“NULL”，因此以下情况将不做处理：

1 #0 被视为空变量，非 0 号变量。r0 仍然作为 0 号变量被访问，不会替换为 NULL。

2 在#[表达式]中，即便“表达式”结果为 0，也表示 0 号变量，不会被替换为 NULL。

3 “#0…0”也被视为#0 情况，被替换为 NULL。例如，“#00”、“#0000”。

4 空变量不允许进行除赋值、作为 CALL 函数参数及 ISNULL 函数参数以外的操作。例如：

- #1 = NULL == NULL ; //报警
- #1 += NULL ; //报警
- #1 = NULL + 1 ; //报警
- #1 = SIN(NULL) ; //报警

16.2 基本数据类型

用户宏程序有 6 种基本数据类型：整型、无符号整型、长整型、无符号长整型、单精度实型和双精度实型。常量赋值时，系统会自动选择合适的数据类型存储。变量无需定义数据类型，可直接使用。一般情况下，可以赋给变量任何基本数据类型的常量。下表给出了 6 种数据类型的长度和范围。

类型	长度	范围
INT（整型）	4 字节	$-2^{31} \sim 2^{31}-1$
UINT（无符号整型）	4 字节	$0 \sim 2^{32}-1$
LONG（长整型）	8 字节	$-2^{63} \sim 2^{63}-1$
ULONG（无符号长整型）	8 字节	$0 \sim 2^{64}-1$
FLOAT（单精度实型）	4 字节	1.17549435e-38~3.40282347e+38 约精确到 6 位数
DOUBLE（双精度实型）	8 字节	2.2250738585072014e-308~1.7976931348623157e+308 约精确到 15 位数

16.2.1 整型常量

整型、无符号整型、长整型和无符号长整型常数统称为整型常量，简称整数。

解释

- **整型常量的表示**

整型常量具有以下两种表示方法：

1 十进制整数

编程时通常以习惯的十进制整数形式指定。

例

10、-345、0、+5

2 十六进制整数

十六进制整数是以 0x 开头的十六进制字符串。十六进制字符有 0~9，a~f（或 A~F），其中 a~f（或 A~F）表示十进制值 10~15。

例

0x12 （十进制 18）

0xb （十进制 11）

0xa8 （十进制 168）

0xFFFF （十进制 65535）

- **存储类型修饰符**

系统设定了 s、u 和 l 三种整型修饰符。s 表示有符号数，u 表示无符号数，l 表示 8 字节长整型或无符号长整型数。无修饰符，默认为 4 字节有符号整型数。这些修饰符有的可以相互组合。

例

5s	（4 字节有符号整型数）
5u	（4 字节无符号整型数）
5l	（8 字节有符号长整型数）
5sl 或 5ls	（8 字节有符号长整型数）
5ul 或 5lu	（8 字节无符号长整型数）

注

如果设定了修饰符，应该保证数值在规定的范围内，系统不进行溢出判断。

- **系统定义整型常量**

系统定义整型常量 true（TRUE）和 false（FALSE）。其中，true（TRUE）表示 32 位无符号整型数 1，false（FALSE）表示 32 位无符号整型数 0。

16.2.2 实型常量

单精度实型和双精度实型常数统称为实型常量，简称实数。

解释

- **实型常量的表示**

实型常量又称浮点常量，是一个十进制表示的符号实数。符号实数的值包括整数部分、尾数部分和指数部分。实型常量的形式如下：

```
[+|-][digits][.digits][e[+|-]digits]
```

此处，digits 是一位或多位十进制数字（0~9），e 是指数符号。小数点之前是整数部分，小数点之后是尾数部分。整数部分和尾数部分可以省略，但不能同时省略。指数部分用 e 开头，基数为 10。实型常量如果不加修饰，则默认为双精度类型。详情参见 II-16.11.3。

- **存储类型修饰符**

系统设定了 f 和 d 用于修饰单精度和双精度实型常量。修饰符不能修饰带指数符号的实型常量。

例

5.2	（无修饰符，默认 8 字节双精度实型）
5.2e2	（带指数符号默认 8 字节双精度实型）
5.2f	（4 字节单精度实型）
5.2d	（8 字节双精度实型）
5.2e2f 或 5.2e2d	（非法）

- **系统定义实型常量**

为方便使用，系统预定义了部分实型常量，如下表所示。

名称	意义
PI	8 字节双精度实型，值为 3.1415926535897932。
INF 或（PINF）	8 字节双精度实型，值为＋∞（存储为 0x7FF0000000000000），供测试用。
NINF	8 字节双精度实型，值为－∞（存储为 0xFFF0000000000000），供测试用。
ZERO（PZERO）	8 字节双精度实型，值为+0（存储为 0x0000000000000000），供测试用。

名称	意义
NZERO	8 字节双精度实型，值为-0（存储为 0x8000000000000000），供测试用。
NAN	8 字节双精度实型，值为 NAN（存储为 0xFFFFFFFFFFFFFFFF），供测试用。

16.2.3 类型转换

以上 6 种数据类型，可以互相转换。用户宏程序支持显式类型转换和隐式类型转换。

解释

- **显式类型转换**

显示类型转换格式如下：

[类型][表达式]　　当 COMP=1 时

或

(类型)(表达式)　　当 COMP=0 时

类型：INT、UINT、LONG、ULONG、FLOAT 或 DOUBLE。

表达式：当为变量时，可以去掉两侧括号。

例

语句：#1=[INT]5.5 ;

结果：#1=5。

- **隐式类型转换**

对于同一表达式中的常量和变量，如果数据类型不一致，则系统首先进行隐式类型转换。将较小的数据类型提升到较大的数据类型。数据类型从小到大排列如下：

INT、UINT、LONG、ULONG、FLOAT、DOUBLE

例

语句：#1=5.5+8 ;

结果：#1=5.5+[DOUBLE]8。

5.5 为 DOUBLE 型，8 为 UINT 型，DOUBLE>UINT，那么计算时首先将 8 转换为 DOUBLE 型，然后进行计算。

16.3 系统变量

系统变量用于读写系统内部的数据，例如，刀具补偿和当前位置数据等。其中，某些系统变量只能读不能写。系统变量是自动化程序和通用程序设计的基础。

解释

- **接口信号**

接口信号是可编程机床控制器（PLC）与用户宏程序之间交换的信号。

变量号	功能
#1000~#1015 #1032	把 16 位信号从 PLC 传送到用户宏程序。变量#1000~#1015 用于按位读信号，变量#1032 用于一次读整个 16 位信号。
#1100~#1115 #1132	把 16 位信号从用户宏程序传送到 PLC。变量#1100~#1115 用于按位写信号，变量#1132 用于一次写整个 16 位信号。

系统读取到作为接口信号的系统变量#1000~#1015 的值后，便可知接口输入信号的状态（0 为打开，1 为闭合）。其对应 DI 地址定义表如下。

序号	15	14	13	12	11	10	9	8
接口	UI15	UI14	UI13	UI12	UI11	UI10	UI09	UI08
G 区地址	G15.7	G15.6	G15.5	G15.4	G15.3	G15.2	G15.1	G15.0
宏地址	#1015	#1014	#1013	#1012	#1011	#1010	#1009	#1008

序号	7	6	5	4	3	2	1	0
接口	UI07	UI06	UI05	UI04	UI03	UI02	UI01	UI00
G 区地址	G14.7	G14.6	G14.5	G14.4	G14.3	G14.2	G14.1	G14.0
宏地址	#1007	#1006	#1005	#1004	#1003	#1002	#1001	#1000

读取系统变量#1032，可以一次读取全部输入信号，表达式如下：

$$\#1032=\sum_{i=0}^{15}\#(1000+i)\times 2^{i}$$

用户也可通过写系统变量#1100~#1115 来控制接口输出信号的状态（0 为打开，1 为闭合）。其对应 DO 地址定义表如下。

序号	15	14	13	12	11	10	9	8
接口	UO15	UO14	UO13	UO12	UO11	UO10	UO09	UO08
F 区地址	F15.7	F15.6	F15.5	F15.4	F15.3	F15.2	F15.1	F15.0
宏地址	#1115	#1114	#1113	#1112	#1111	#1110	#1109	#1108

序号	7	6	5	4	3	2	1	0
接口	UO07	UO06	UO05	UO04	UO03	UO02	UO01	UO00
F 区地址	F14.7	F14.6	F14.5	F14.4	F14.3	F14.2	F14.1	F14.0
宏地址	#1107	#1106	#1105	#1104	#1103	#1102	#1101	#1100

通过给系统变量#1132 赋值，可以一次输出全部输出信号，表达式如下：

$$\#1132=\sum_{i=0}^{15}\#(1100+i)\times 2^{i}$$

注

1 不能赋值给系统变量#1000~#1032。

2 通过诊断界面的 G 接口可以显示#1000~#1032，其中 G014 对应 UI00~UI07，G015 对应 UI08~UI15。

3 当非 0 或 1 的值赋给系统变量#1100~#1115 时，被认为是 1。

4 可以读取系统变量#1100~#1132 的值。

5 通过诊断界面的 F 接口可以显示#1100~#1132，其中 F014 对应 UO00~UO07，F015 对应 UO08~UO15。

6 系统宏输入或输出接口信号的具体意义请参见操作手册或连接调试手册。

- **刀具补偿值**

通过系统变量可以读写刀具补偿值，可使用的变量数取决于刀补数。刀具补偿号与变量号的关系如下所示。

补偿号	1 轴长度补偿形状变量号	2 轴长度补偿形状变量号	3 轴长度补偿形状变量号	4 轴长度补偿形状变量号	5 轴长度补偿形状变量号	6 轴长度补偿形状变量号	7 轴长度补偿形状变量号	8 轴长度补偿形状变量号	半径补偿（R）形状变量号
1	#10001	#20001	#30001	#40001	#50001	#60001	#70001	#80001	#90001
2	#10002	#20002	#30002	#40002	#50002	#60002	#70002	#80002	#90002
……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
32	#10032	#20032	#30032	#40032	#50032	#60032	#70032	#80032	#90032

补偿号	1 轴长度补偿磨损变量号	2 轴长度补偿磨损变量号	3 轴长度补偿磨损变量号	4 轴长度补偿磨损变量号	5 轴长度补偿磨损变量号	6 轴长度补偿磨损变量号	7 轴长度补偿磨损变量号	8 轴长度补偿磨损变量号	半径补偿（R）磨损变量号
1	#18001	#28001	#38001	#48001	#58001	#68001	#78001	#88001	#98001
2	#18002	#28002	#38002	#48002	#58002	#68002	#78002	#88002	#98002
……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
32	#18032	#28032	#38032	#48032	#58032	#68032	#78032	#88032	#98032

- **时间信息**

时间信息相关宏变量如下表所示。

变量号	数据类型	功能
#3001	UINT	该变量为一个计时器，以 1 毫秒为计时单位。当电源接通时，该变量复位为 0。当达到 4294967296 毫秒时，该计时器返回到 0。
#3002	FLOAT	该变量为一个计时器，当循环启动灯亮时以一小时为单位计时。当电源接通时，该变量复位为 0。
#3011	UINT	该变量用于读取当前日期（年/月/日），年/月/日信息转换成十进制数。例如，2006 年 9 月 21 日表示为 20060921。若存储不正确的日期，会产生报警（PS1303）。
#3012	UINT	该变量用于读取当前时间（时/分/秒），时/分/秒信息转换成十进制数。例如，下午 5 时 22 分 18 秒表示为 172218。若存储不正确的时间，会产生报警。（PS1303）。

- **已加工的零件数**

已加工的零件数（加工件数）可以被宏程序读写。其中，写操作由参数“MACN”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.4）控制，当 MACN 设为 1 时，用户可以修改已加工的零件数。

变量号	变量类型	功能
#3901	UINT	已加工零件数（加工件数）（不大于 65535 的非负数）。
#3902	UINT	已加工单批计数值（不大于 65535 的非负数）。

- **模态信息**

当前程序段的模态信息可以被宏程序读出（只读）。对应模态 G 代码的变量号=组号+4000，宏变量值为 G 代码值。具体宏变量如下所示。

变量号	变量类型	功能
#4001	UINT	A 体系：G00、G01、G02、G03、G32、G34、G90、G92、G94、G93 B 体系：G00、G01、G02、G03、G32、G34、G77、G78、G79、G93
#4002	UINT	G17、G18、G19

变量号	变量类型	功能
#4003	UINT	B 体系：G90、G91
#4004	UINT	B 体系：G98、G99
#4005	UINT	G54~G59
#4006	UINT	G20、G21
#4007	UINT	G40、G41、G42
#4009	UINT	G80~G89、G83.5、G84.5、G86.5
#4010	UINT	A 体系：G98、G99 B 体系：G94、G95
#4011	UINT	G15、G16
#4012	UINT	B 体系：G50、G51
#4013	UINT	G68.1、G69.1
#4014	UINT	G96、G97
#4015	UINT	G68、G69
#4016	UINT	G12.1、G13.1
#4105	UINT	F 代码
#4111	UINT	L 代码
#4112	UINT	M 代码
#4113	UINT	顺序号（N 号）
#4114	UINT	程序号（O 号）
#4118	UINT	S 代码
#4119	UINT	T 代码

例

语句：#1=#4007 ;

结果：#1=40、41 或 42（#1 的值由系统当前刀具半径补偿状态决定）。

注

#4001~#4119 读出来的数值为 BIN 码。而某些地址的赋值数据必须是 BCD 码，如 G、S（两位数）、T、M 等。使用时应提前进行数制转换。例如，G[BCD[#4007]]，如果#4007=41，那么该段指令等价于 G41。

- **位置信息**

读取系统变量#5001~#5088 后，便可知当前刀具的位置信息。当公制输入时最小单位为 0.001 毫米，英制输入时最小单位为 0.0001 英寸。

系统变量	变量类型	位置信息	移动中读取	刀具半径、长度补偿
#5001~5008	DOUBLE	前段 1~8 轴程序段终点位置（ABSIO）	可	不考虑刀尖位置（程序指令位置）
#5011~5018	DOUBLE	1~8 轴机床位置（ABSMT）	不可	
#5041~5048	DOUBLE	1~8 轴现在位置（ABSOT）	不可	考虑刀具基准点位置（与绝对坐标值相同）
#5080	DOUBLE	刀具半径补偿量	可	

系统变量	变量类型	位置信息	移动中读取	刀具半径、长度补偿
#5081~5088	DOUBLE	刀具长度补偿量（1~8 轴）	可	

注

系统变量#5001~#5088 为只读，不能对其赋值。

16.4 算术、逻辑和关系运算

下表列出的运算可以在宏变量之间进行。赋值运算符右侧表达式中的变量（#j 和#k）可以由常量或另外一个表达式代替，左侧表达式中的变量号也可以使用表达式。

功能	格式	备注
赋值	#i = #j ;	赋值运算。
加法 减法 乘法 除法	#i = #j + #k ; #i = #j - #k ; #i = #j * #k ; #i = #j / #k ;	算术运算。 如果 j==i，可使用简化符号（+=、-=、*=、/=）。如#i = #i + #k 可简化为#i += #k。
与 异或 或 左移 右移	#i = #j & #k ; 或 #i = #j AND #k ; #i = #j ^ #k ; 或 #i = #j XOR #k ; #i = #j | #k ; 或 #i = #j OR #k ; #i = #j << #k ; #i = #j >> #k ;	位操作。只能对整型数进行位操作，使用实型数时将报警。位操作是按整型数的二进制形式操作的。 结果的数据类型为无符号整型或无符号长整型。当有长整型数据参与位运算时，结果是无符号长整型，否则结果是无符号整型。 如果 j==i，那么可使用简化符号（&=、^=、|=、<<=、>>=）。如#i = #i & #k 可简化为#i &= #k。
等于 不等于 大于 大于等于 小于 小于等于	#i = #j == #k ; 或 #i = #j EQ #k ; #i = #j != #k ; 或 #i = #j NE #k ; #i = #j > #k ; 或 #i = #j GT #k ; #i = #j >= #k ; 或 #i = #j GE #k ; #i = #j < #k ; 或 #i = #j LT #k ; #i = #j <= #k ; 或 #i = #j LE #k ;	关系运算。 结果为 32 位无符号整数 0（FALSE）或 1（TRUE）。
从 BCD 转为 BIN 从 BIN 转为 BCD	#i = BIN[#j] ; #i = BCD[#j] ;	主要用于与 PLC 的信号交换。 详情可参考 II-16.11.1。
平方根 绝对值 四舍五入 上取整 下取整 自然对数 指数函数	#i = SQRT[#j] ; #i = ABS[#j] ; #i = FABS[#j] ; #i = ROUND[#j] ; #i = FUP[#j] ; 或 #i = CEIL[#j] ; #i = FIX[#j] ; 或 #i = FLOOR[#j] ; #i = LN[#j] ; 或 #i = LOG[#j] ; #i = EXP[#j] ;	详情可参考 II-16.11.1。

功能	格式	备注
正弦 反正弦 余弦 反余弦 正切 反正切	#i = SIN[#j] ; #i = ASIN[#j] ; #i = COS[#j] ; #i = ACOS[#j] ; #i = TAN[#j] ; #i = ATAN[#j]/[#k] ;	三角函数。当以角度指定时，如$90^{\circ}30'$表示为 90.5 度。 常数或表达式可以代替#j。 详情可参考 II-16.11.1。

解释

- **注意事项**

1 由参数“DEG”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.6）决定以角度指定还是弧度编程。当 DEG 设为 0 时，所有三角函数都以弧度指定；当 DEG 设为 1 时，所有三角函数都以角度指定。

2 上表中列出的函数为常用函数，除此之外，C 函数库中绝大部分函数在系统上都能使用，详情可参考 II-16.11.1。

3 当使用双精度进行计算时，可以精确到约 15 位有效数字。当使用单精度计算时，可以精确到约 6 位有效数字。双精度运算精度高，但运算速度比单精度慢，而单精度运算则相反。

- **优先级**

运算符优先级如下表所示。

优先级	运算符	含义
1	()、[]	括号表达式
2	+、-、!、~、(类型)	单目运算符
3	*、/	双目运算符
4	+、-	
5	<<、>>	
6	<、<=、>、>=	
7	==、!=	
8	&、^、|	
9	&&、||	
10	=、+=、-=、*=、/=、<<=、>>=	赋值运算符

其中，括号表达式优先级最高，而赋值运算符优先级最低。计算时，先计算优先级高的。如果优先级一样，则采用从左到右的顺序计算。

例

语句：#1 = [1.0 + 2.0] * 3.0 / 4.0 – [8 >> 2 + 3] ;的计算顺序如下：

1 1.0 + 2.0

2 [1.0 + 2.0] * 3.0

3 [1.0 + 2.0] * 3.0 / 4.0

4 2 + 3

5 8 >> 2 + 3

6 [1.0 + 2.0] * 3.0 / 4.0 – [8 >> 2 + 3]

7 #1 = [1.0 + 2.0] * 3.0 / 4.0 – [8 >> 2 + 3]

16.5 加工程序语句

系统供用户使用的加工程序语句包括：NC 语句、赋值语句、控制语句和命令语句。其中，赋值语句、控制语句和命令语句为宏语句。

解释

- **赋值语句**

赋值语句包含赋值运算符。

例

```
#1 = #2 ;
```

- **控制语句**

控制语句包括：GOTO、IF、WHILE 等语句。

例

```
IF[#1 >= 100] GOTO #2 ;
```

- **命令语句**

命令语句包括：CALL、MSG、ERR、OPENWRITE、CLOSEWRITE、WRITE 等语句。

例

```
MSG[“Error!”] ;
```

- **宏语句与 NC 语句的区别**

宏语句与 NC 语句的不同点如下：

1 即使处于单程序段运行方式，机床也不停止运行。此功能由参数“SBKM”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.7）控制，当 SBKM 设为 1 时，宏指令在单程序段方式下停止；当 SBKM 设为 0 时，宏指令在单程序段方式下不停止。

2 在刀具半径补偿方式中宏程序语句段做为不移动程序段处理。

16.6 控制语句

程序是顺序、选择、循环三种结构的复杂组合。宏程序语言使用一组相关的控制语句，来实现选择结构和循环结构：

1 选择控制语句 IF

2 循环控制语句 WHILE

3 转移控制语句 GOTO

16.6.1 无条件转移（GOTO 语句）

格式

GOTO n ;

n：要转移到的程序段顺序号。

解释

GOTO 语句表示转移到标有顺序号|N|（n 的绝对值）的程序段。

可用括号表达式或宏变量指定顺序号，但计算结果不能为非整型数据，否则报警。n 可以为负整数，表示负向优先或负向搜索。如果要向后跳转，可指定 n 为负值，节省搜索时间。

例

……

N10 M03 ;

#1=10 ; （给#1 赋值 10）

GOTO #1 ; （无条件跳转到 N10）

……

执行后，程序跳转到 N10，输出 M03 代码。

注

直接指定 n，且 n 为负数时，需加中括号。例如，GOTO [-1] ;

16.6.2 条件转移（IF 语句）

IF 语句用来判断给定的条件是否满足，根据结果（真或假）来选择执行相应的操作。有两种格式的 IF 语句。

格式

- **格式 1**

IF[表达式] GOTO n ;

n：表达式为真时转移到的程序段顺序号。

- **格式 2**

IF[表达式] THEN 赋值语句 ;

解释

- **格式 1**

如果表达式结果不为 0，则认为结果为真，转移到有顺序号为 n 的程序段。

如果表达式结果为 0，则认为结果为假，执行下个程序段。表达式结果如果为非整数，则应强制转换为整数，否则报警。

例

……

#1=1 ; （给#1 赋值 1）

N10 #2+=#1 ; （#2 恒加#1）

IF[#2<100] GOTO 10 ; （如果#2 小于 100 则程序跳转到 N10）

……

该程序对#2 累加，当等于 100 时程序向下顺序执行。

注

关系运算表达式结果为 32 位整数。

- **格式 2**

如果表达式结果不为 0，则认为结果为真，执行赋值语句，否则执行下个程序段。表达式结果如果为非整数，则应强制转换为整数，否则报警。

例

```
……
#1=10 ;                          （给#1 赋值 10）
N10 #1-=1 ;                      （#1 恒减 1）
IF [#1>1] GOTO 10 ;              （如果#1 大于 1，则继续执行 N10）
IF [#1<=2] THEN #1=10 ;          （如果#1 小于等于 2，给#1 赋值 10）
……
```

该程序执行时，#1 每次都从 10 减到 1。

16.6.3 循环（WHILE 语句）

格式

- **格式 1**

```
WHILE[表达式] DO n ;
……
END n ;
```

n：指定循环执行范围的标号（1~1023）。

- **格式 2**

```
DO n ;
……
END n ;
```

n：指定循环执行范围的标号（1~1023）。

解释

- **格式 1**

如果表达式结果不为 0，则认为结果为真，循环执行 WHILE 到 END 之间的语句，直到表达式结果为假。当表达式结果为零时，跳转到 END 语句的下一个程序段执行。表达式结果如果为非整数，则应强制转换为整数，否则报警。n 为正整数，仅仅为了匹配 DO 和 END 语句。

例

```
……
N1 #1 = 1 ;
N2 #2 = 0 ;
N3 WHILE[#1 <= 100] DO 5 ;
N4 #2 += #1 ;          （计算 1+2+3+……+100）
N5 #1 += 1 ;
N6 END 5 ;
……
```

该程序执行时，#1 从 1 加到 100，#2 得到的是 1+2+3+……+100 的和。

- **格式 2**

当 DO 语句中没有指定 WHILE 判断条件语句时，则为无限循环。

如格式 1 中例程，如果不指定 WHILE 判断条件，则#1 和#2 的值无限加下去直至数据溢出报警。

例

……

N1 #1 = 1 ;

N2 #2 = 0 ;

N3 DO 5 ;

N4 #2 += #1 ; （计算 1+2+3+……）

N5 #1 += 1 ;

N6 END 5 ;

……

- **标号 n 与循环嵌套**

标号 n 可重复使用，循环也可以嵌套使用，但有以下限制：

1 DO n 和 END n 必须成对使用（n 值相同），且 DO 一定要在 END 之前出现。

2 两个循环不能交叉。

3 如果循环嵌套，那么子循环的标号不能与父循环相同。

4 GOTO 语句可以从循环体内转移到循环体外，但不能从循环体外转移到循环体内，否则执行到 END 语句会报警。

16.7 命令语句

命令语句是用户宏程序的一部分，包括 MSG、ERR、OPENWRITE、CLOSEWRITE、WRITE。命令语句仅在标准宏 B 功能中有效，在简易宏 B 功能中执行上述语句将触发 PS 报警。

16.7.1 字符串

以一对双引号括起来的字符序列为字符串。字符串不是基本数据类型，只在部分命令语句中使用。例如：“message”。目前不支持中文字符串。

16.7.2 MSG 命令

格式

MSG[参数 1，参数 2，……，参数 n] ;

向消息区输出消息（一条）。

解释

参数可以为任意个（包括 0 个）。参数 1~n 可以是字符串或者表达式。参数若为字符串，则输出字符串；若为表达式，则将计算结果转换为相应的字符串，然后输出。

例

语句：MSG[“5+2=”, 5+2] ;

结果：在消息区显示 5+2=7

16.7.3 ERR 命令

格式

ERR[报警号，参数 1，参数 2，……，参数 n] ;

报警并停止运行，同时向消息区连续显示消息（一条）。

解释

报警页面显示的报警号为 ERR 命令指定的报警号加上 3000。报警号可以是表达式，但结果必须是小于 1000 的整型数，否则报警。参数可以为任意个（包括 0 个），参数 1~n 可以是字符串或者表达式。参数若为字符串，则输出字符串，若为表达式，则将计算结果转换为相应字符串，然后输出。

例

语句：ERR[5, “error”] ;

结果：报 3005 号 P/S 报警，并在报警页面的提示区域显示 error，同时向消息区显示该内容。

16.7.4 OPENWRITE 命令

格式

OPENWRITE [handle] ;

打开 handle 号句柄，准备写入数据。

handle =0，指向内存。

handle =1，指向串口。

handle =2，指向 USB。

当前版本只有 handle =1 有效。

16.7.5 CLOSEWRITE 命令

格式

CLOSEWRITE [handle] ;

关闭 handle 号句柄，结束数据写入。

handle =0，指向内存。

handle =1，指向串口。

handle =2，指向 USB。

当前版本只有 handle =1 有效。

16.7.6 WRITE 命令

格式

WRITE [handle, 参数 1, 参数 2, ……, 参数 n] ;

向 handle 号句柄依次写入数据。

handle =0，指向内存。

handle =1，指向串口。

handle =2，指向 USB。

当前版本只有 handle =1 有效。

解释

参数可以为任意个（包括 0 个）。参数 1~n 可以是字符串或者表达式。参数若为字符串，则输出字符串；若为表达式，则将计算结果转换为相应的字符串，然后输出。

例

语句：WRITE[1, “Caculate:\n5+2=”, 5+2] ;

结果：如果串口通讯软件已经准备好接收数据，则将在串口通讯软件中显示：

Caculate:

5+2=7

注

1 使用 WRITE 指令时，可以在字符串中使用转义字符“\n”和“\t”，所以“\n”和“\t”都将作为一个字符输出。

2 第一个 WRITE 指令使用前应该使用 OPENWRITE 指令打开串口。最后一个 WRITE 指令结束后，应该使用 CLOSEWRITE 指令关闭串口。

3 要使用 WRITE 功能，首先应该设置串口参数，并让串口通讯软件处于接收状态，如同接收程序一样。

16.8 宏程序调用

程序调用包括：NC 程序调用（M98）和宏程序调用。宏程序调用包括以下几种方法：

- G65 宏程序调用
- 自定义 G 代码宏程序调用
- 自定义 M 代码宏程序调用
- 自定义 T 代码宏程序调用
- CALL 调用

NC 程序调用不可以像宏程序调用那样传递参数，数据只能通过全局变量进行传递。

上述宏程序调用方法仅在标准宏 B 功能中有效，在简易宏 B 功能中无效。在简易宏 B 功能中执行 G65 将触发“非法 G 代码”报警；屏蔽自定义 G/M/T 代码参数；执行 CALL 指令将触发 PS 报警。

16.8.1 G65 宏程序调用

G65 指令仅在标准宏 B 功能中有效，在简易宏 B 功能中执行 G65 将触发“非法 G 代码”报警。

格式

G65 Pp Ln <自变量指定> ;

p：要调用的程序号（标准的 4 位程序号名）。

n：重复次数，需要调用子程序的次数。

自变量指定：要传给被调用宏程序的数据，指定需要定义的自变量数值。

解释

- **自变量指定**

使用自变量指定时，指定值被赋给相应的局部变量。下表为系统中自变量指定时可以使用的地址，及其相应的局部变量号。

地址	变量号	地址	变量号	地址	变量号
A	#1	I	#4	T	#20
B	#2	J	#5	U	#21
C	#3	K	#6	V	#22
D	#7	M	#13	W	#23
E	#8	Q	#17	X	#24
F	#9	R	#18	Y	#25
H	#11	S	#19	Z	#26

注

1 D、H、Q、M、S、T 不可带小数点使用。

2 地址 M、S、T 按 BCD 码指定自变量。

举例

加工程序

```
O156 ;
#100=#1+#2+#3+#5+#6+#4+#7+#8+#9+#11+#17+#18+#19+#21+#22+#23+#24+#25+#26 ;
M99 ;
O0001 ;
G65 P156 A10.0 B11.0 C12.0 D13 E14.0 F15.0 H16 I17.0 J18.0 K19.0 Q20 R21.0 S22 U23.0 V24.0
W25.0 X26.0 Y27.0 Z28.0 ;
M30 ;
```

运行结果

程序 O0001 执行时，G65 将数据传到对应的变量中，由程序 O156 计算出#100 的值。

16.8.2 自定义 G 代码宏程序调用

自定义 G 代码及其调用的宏程序号如下表所示。在简易宏 B 功能中自定义 G 代码参数将被屏蔽。

自定义 G 代码	代码设定参数	调用的宏程序号参数
1	4120	4320
2	4121	4321
3	4122	4322

自定义 G 代码	代码设定参数	调用的宏程序号参数
4	4123	4323
5	4124	4324
6	4125	4325
7	4126	4326
8	4127	4327
9	4128	4328
10	4129	4329
11	4130	4330
12	4131	4331
13	4132	4332
14	4133	4333
15	4134	4334
16	4135	4335
17	4136	4336
18	4137	4337
19	4138	4338
20	4139	4339

格式

G[自定义号] Ln <自变量指定>

自定义号：定义在参数 P4120~P4139 中。

n：重复次数。

自变量指定：要传到被调用宏程序的数据。

解释

- **自定义号**

最多可定义 20 个自定义 G 代码。如果原来系统中已有指定的 G 代码，则自定义 G 代码将代替原有 G 代码的功能。

- **自变量指定**

与 G65 自变量指定方式完全一致。

- **调用的宏程序号**

定义在参数 P4320~4339 中。使得每个自定义 G 代码对应一个要调用的宏程序号，因此宏程序号对应的宏程序必须存在。

注

参数 P4320~4339 在出厂时一般为只读属性，被固化为 9320~9339。

举例

如果用户要自定义 G60 指令，调用的宏程序号为 9320，则可事先设定参数 P4120=60，参数 P4320=9320。

加工程序

```
O9320 ;
#101=#24+#25+#26+#4+#5+#6+#18+#9 ;
M99 ;
O1000 ;
G60 L1 X100.0 Y200.0 Z300.0 I400.0 J500.0 K600.0 R700.0 F800 ;
M30 ;
```

运行结果

程序 O1000 中执行 G60 指令时，会调用 O9320 程序，并且将 100.0、200.0、300.0、400.0、500.0、600.0、800 分别传给#24、#25、#26、#4、#5、#6、#18、#9，然后由 O9320 计算出#101 的值。

16.8.3 自定义 M 代码宏程序调用

自定义 M 代码及其调用的宏程序号如下表所示。在简易宏 B 功能中自定义 M 代码参数将被屏蔽。

自定义 M 代码	代码设定参数	调用的宏程序号参数
1	4200	4400
2	4201	4401
3	4202	4402
4	4203	4403
5	4204	4404
6	4205	4405
7	4206	4406
8	4207	4407
9	4208	4408
10	4209	4409
11	4210	4410
12	4211	4411
13	4212	4412
14	4213	4413
15	4214	4414
16	4215	4415
17	4216	4416
18	4217	4417
19	4218	4418
20	4219	4419

格式

M[自定义号] Ln <自变量指定>

自定义号：定义在参数 P4200~P4219 中。

n：重复次数。

自变量指定：要传到被调用宏程序的数据。

解释

- **自定义号**

最多可定义 20 个自定义 M 代码。如果原来系统中已有指定的 M 代码，则自定义 M 代码将代替原有 M 代码的功能。

- **自变量指定**

与 G65 自变量指定方式完全一致。

- **调用的宏程序号**

定义在参数 P4400~4419 中。使得每个自定义 M 代码对应一个要调用的宏程序号，因此宏程序号对应的宏程序必须存在。

注

参数 P4400~4419 在出厂时一般为只读属性，被固化为 9400~9419。

举例

如果用户要自定义 M60 指令，调用的宏程序号为 9400，则可事先设定参数 P4200=60，参数 P4400=9400。

加工程序

```
O9400 ;
#101=#24+#25+#26+#4+#5+#6+#18+#9 ;
M99 ;
O1000 ;
M60 L1 X100.0 Y200.0 Z300.0 I400.0 J500.0 K600.0 R700.0 F800 ;
M30 ;
```

运行结果

程序 O1000 中执行 M60 指令时，会调用 O9400 程序，并且将 100.0、200.0、300.0、400.0、500.0、600.0、800 分别传给#24、#25、#26、#4、#5、#6、#18、#9，然后由 O9400 计算出#101 的值。

16.8.4 自定义 T 代码宏程序调用

自定义 T 代码及其调用的宏程序号如下表所示。在简易宏 B 功能中自定义 T 代码参数将被屏蔽。

自定义 T 代码	代码设定参数	调用的宏程序号参数
1	4250	4450
2	4251	4451
3	4252	4452
4	4253	4453
5	4254	4454
6	4255	4455
7	4256	4456

自定义 T 代码	代码设定参数	调用的宏程序号参数
8	4257	4457
9	4258	4458
10	4259	4459

格式

T[自定义号] Ln <自变量指定>

自定义号：定义在参数 P4250~P4259 中。

n：重复次数。

自变量指定：要传到被调用宏程序的数据。

解释

- **自定义号**

最多可定义 10 个自定义 T 代码。如果原来系统中已有指定的 T 代码，则自定义 T 代码将代替原有 T 代码的功能。

- **自变量指定**

与 G65 自变量指定方式完全一致。

- **调用的宏程序号**

定义在参数 P4450~4459 中。使得每个自定义 T 代码对应一个要调用的宏程序号，因此宏程序号对应的宏程序必须存在。

注

参数 P4450~4459 在出厂时一般为只读属性，被固化为 9450~9459。

举例

如果用户要自定义 T60 指令，调用的宏程序号为 9450，则可事先设定参数 P4250=60，参数 P4450=9450。

加工程序

```
O9450 ;
#101=#24+#25+#26+#4+#5+#6+#18+#9 ;
M99 ;
O1000 ;
T60 L1 X100.0 Y200.0 Z300.0 I400.0 J500.0 K600.0 R700.0 F800 ;
M30 ;
```

运行结果

程序 O1000 中执行 T60 指令时，会调用 O9450 程序，并且将 100.0、200.0、300.0、400.0、500.0、600.0、800 分别传给#24、#25、#26、#4、#5、#6、#18、#9，然后由 O9450 计算出#101 的值。

16.8.5 CALL 调用

CALL 调用可以传递参数，但不能包含 NC 指令。

CALL 调用如果传递了参数，则还必须对被调用程序进行参数列表声明，即在主程序中使用 CALL 指令调用子程序，并在子程序中使用 PARAMS 指令接收参数。如果没有传递参数，则不需要使用 PARAMS 指令。

CALL 调用没有返回值，如有需要可借助全局变量来实现。即在被调用子程序中为指定全局变量赋

值，在主程序中读取该全局变量即可。

CALL 和 PARAMS 指令仅在标准宏 B 功能中有效，在简易宏 B 功能中执行它们将触发 PS 报警。

格式

- **CALL 指令**

CALL[程序号] ;

或

CALL[程序号，参数 1，参数 2，……，参数 n] ;

程序号：被调用程序的程序号。

n：参数个数（n<=32）。

- **PARAMS 指令**

PARAMS[参数 1，参数 2，……，参数 n] ;

n：参数个数（n<=32）。

解释

- **CALL 指令**

程序号可用表达式表示，其计算结果必须为整数，否则报警。

参数 1~n 为要传入被调用程序的参数，最多 32 个。参数可以为变量、表达式或数组。

- **PARAMS 指令**

参数 1~n 声明可传入的参数，最多 32 个。参数声明只能使用局部变量的别名（r0~r63）。

举例

加工程序

```
O1100 ;                    （主程序）
CALL[1000, 50.0, 100.0] ;  （调用子程序 1000，并传入参数 50.0 和 100.0。）
CALL[1000, 150.0, 200.0] ; （调用子程序 1000，并传入参数 150.0 和 200.0。）
CALL[1000, 250.0, 300.0] ; （调用子程序 1000，并传入参数 250.0 和 300.0。）
M30 ;

O1000 ;                    （子程序）
PARAMS[r1, r5] ;           （参数列表声明，分别用局部变量 r1（#1）和 r5（#5）接收参数）
G04 X0.5 ;
N10 G00 X[r1] Z[r5] ;
G04 X0.5 ;
M99 ;
```

16.9 变量索引和数组

为简化宏程序编程，系统提供了两种变量使用方法：变量索引和数组。

16.9.1 变量索引

用户宏程序可以使用变量索引表示一个变量，以方便循环程序的使用。

格式

变量[索引]　　**当 COMP=1 时**

或

变量(索引)　　**当 COMP=0 时**

表示一个变量，其变量号为指定变量的变量号加上索引值。

举例

把 100~199 号变量设置为 0~99。

加工程序

```
O1500 ;
#1 = 0 ;
WHILE[#1 < 100] DO 1 ;
#100[#1] = #1 ;      （使用变量索引）
#1 += 1 ;
END 1 ;
M30 ;
```

注

局部变量的别名也可以使用索引，如 r5[#1]。

16.9.2 数组

用户宏程序支持简单的数组操作，可以处理连续多个变量。

当参数“COMP”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.5）设为 1 时，方括号用于变量索引、改变优先级、函数或命令等语句中，而圆括号用于注释；当 COMP 为 0 时，圆括号代替方括号功能，而方括号则用于数组功能，注释使用 C/C++语言注释风格（//或/*　*/）。如无特别说明，默认 COMP=1。

格式

变量[数组大小]

表示以指定变量为起始变量的连续多个变量，变量个数由指定数组大小决定。

解释

在用户宏程序中，数组主要有以下两种使用方法。

- **连续变量赋值**

变量 1[数组大小 1] op 变量 2[数组大小 2] ;

op：操作符，包括=、+、-、*、/、&=、^=、|=、<<=、>>=10 种操作。

变量 1 和变量 2：分别为左操作数的起始变量和右操作数的起始变量。

数组大小 1 和数组大小 2：可以为表达式，但结果必须为整数，且大小必须相同，否则报警。

例

语句：#100[3]+=r2[3] ;

等价于以下三条语句：

#100+=r2 ;

#101+=r3 ;

#102+=r4 ;

- **CALL 指令参数**

例

```
O1100 ;                          //主程序
#100(0)=50.0 ;                   //变量索引
#100(1)=100.0 ;
CALL(1000, #100[2]) ;            //调用子程序 1000，并传入数组
#100=150.0 ;
#101=200.0 ;
CALL(1000, #100[2]) ;            //调用子程序 1000，并传入数组
M30 ;
O1000 ;                          //子程序
PARAMS(r5[2]) ;                  //接收参数
G04 X0.5 ;
N10 G00 X(r5(0)) Z(r5(1)) ;      //变量索引
G04 X0.5 ;
M99 ;
```

16.10 中断型用户宏程序

当程序正在执行时，来自机床的中断输入信号可以调用另一个程序。该功能称为中断型用户宏程序功能。

格式

M96 Pxxxx ; **用户宏程序中断有效**

M97 ; **用户宏程序中断无效，中断信号被忽略**

xxxx：中断时被调用的程序的程序号。

解释

- **用途**

中断型用户宏程序功能允许在程序执行期间的任一程序段调用另一个程序。这就可使程序根据随时变化的条件实时地运行。例如：

1 当检测到刀具的异常状态时，用外部信号启动异常过程的处理。

2 加工运行的顺序由另一个加工操作中断而不取消现在的运行。

3 以固定的间隔，读取与现在加工有关的信息。

进入宏中断子程序时，自动复位各模态 G 代码组，在中断子程序返回时恢复模态数据。上面叙述的中断型用户宏程序类似于适应控制的应用。

- **中断条件**

用户宏程序中断只能在程序执行期间有效。即在下列条件下有效：

1 存储器运行或 MDI 运行时

2 启动指示灯亮时

3 目前不处理用户宏中断时

- **指令的使用**

一般情况下，指定 M96 使中断信号的输入有效，可以执行用户宏程序中断功能。M97 使信号无效。一旦指定 M96，中断信号的输入是用户宏程序中断开始。直到指定 M97 或 NC 复位后，中断型宏程序功能取消。在指定 M97 或 NC 复位后，即使中断信号输入，用户宏程序中断也不执行，中断信号被忽略直到指定另一个 M96。

- **用户宏程序中断和 NC 语句**

当执行用户宏程序中断时，用户可能希望中断正在执行的 NC 语句，或者希望执行完当前的程序段后再执行中断。这时，可通过参数“INTT”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.3）选择是在程序段中间执行中断，还是等到程序段结束后再执行中断。

1 I 型（在程序段中间执行中断，INTT=1）

(1) 当中断信号输入时，任何正在执行的移动或暂停都被立即停止，转而执行中断程序。

(2) 当控制返回到被中断的程序时，如果在中断程序执行过程中坐标没有变化，则程序继续执行完被中断程序段；如果在中断程序执行过程中坐标发生了变化，则程序重新执行被中断程序段。

2 II 型（程序段结束后执行中断，INTT=0）

(1) 如果正在执行的程序段不是循环操作，则当中断信号输入时，在当前程序段执行完之前，不执行宏程序的语句。

(2) 如果正在执行的程序段是循环操作，则当中断信号输入时，在整个循环操作完成之后，才执行宏程序的语句。

- **循环操作期间的用户宏程序中断**

1 对于复合型固定循环，如果被中断，循环有可能无法正常结束。所以请在循环之前使用 M97 指令禁止用户宏程序中断，在循环结束之后使用 M96 指令重新使能用户宏程序中断。

2 对于单一型固定循环：

(1) I 型：即使循环动作正在进行中，移动也被中断，转而执行中断程序。

(2) II 型：当循环动作完成时，执行中断程序。

注

单一型固定循环中执行中断时，如果被调用程序的首行为单一固定循环的同组代码，则会取消单一固定循环的模态。

- **用户宏程序中断信号**

用户宏程序中断信号（诊断信号 X8.3）的输入有两种方式：状态触发方式和边沿触发方式。使用状态触发方式，当它接通时（X8.3 为 1），信号有效；使用边沿触发方式，当它从断开状态切换到接通状态时，该信号变为有效（X8.3 由 0 变为 1 的上升沿有效）。用户可通过参数“TSE”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.2）选择这两种方式。

- **限制**

1 M98 或 M99 会临时禁止用户宏程序中断，直到下一个指令段开始。因此，当系统在执行 M98 或 M99 指令段时，无法响应用户宏程序中断输入信号。

2 用户宏程序中断在 DNC 加工过程中不能使用。

3 使用用户宏程序中断功能时，WHILE、END 等宏控制语句之前应该使用 M97 禁止宏中断，在

这类语句之后再使用 M96 重新使能宏中断。

16.11 用户宏程序库及实数标准

16.11.1 用户宏程序数学库函数

数学运算库基于 IEEE754 标准的浮点库，实现了常用的数学函数。函数名称与计算机上 C 语言运行时库中相同功能的函数同名，小写形式为大写形式的别名。

常用数学函数

功能	单精度	双精度
获取浮点类型	FPCLASSIFYF	FPCLASSIFY
判断是否是有限数	FINITEF	FINITE
判断是否是无穷大 INF	ISINFF	ISINF
判断是否是非数字	ISNANF	ISNAN
绝对值	FABSF	FABS
下取整	FLOORF	FLOOR
上取整	CEILF	CEIL
截除小数部分	TRUNCF	TRUNC
圆整四舍五入	ROUNDF	ROUND
平方根	SQRTF	SQRT
反正弦	ASINF	ASIN
反余弦	ACOSF	ACOS
正弦	SINF	SIN
余弦	COSF	COS
正切	TANF	TAN
反正切	ATANF	ATAN
以 2 为底的对数	LOG2F	LOG2
以 10 为底的对数	LOG10F	LOG10
自然对数	LOGF	LOG
自然对数底数的幂	EXPF	EXP
2 的幂	EXP2F	EXP2
幂	POWF	POW

其它函数

功能	函数名
十进制转二进制	BIN
二进制转十进制	BCD
整型数绝对值	ABS
判断变量是否为空	ISNULL

16.11.2 函数功能说明

FPCLASSIFYF、FPCLASSIFY

- **函数格式**

#i = FPCLASSIFYF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = FPCLASSIFY[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	0
±INF	1
0	2
非规格化小数	3
规格化有限数	4

注

有关规格化数与非规格化数的区别，参见下一节

FINITEF、FINITE

- **函数格式**

#i = FINITEF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = FINITE[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	0
±INF	0
有限数	1

ISINFF、ISINF

- **函数格式**

#i = ISINFF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = ISINF[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	0
+INF	1
-INF	-1
有限数	0

ISNANF、ISNAN

- **函数格式**

#i = ISNANF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = ISNAN[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	1
±INF	0
有限数	0

FABSF、FABS

- **函数格式**

#i = FABSF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = FABS[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	NAN
±INF	+INF
有限数	绝对值

- **举例**

#1 = FABS[-8.5] 计算结果：#1 为 8.5

FLOORF、FLOOR（别名 FIX）

- **函数格式**

#i = FLOORF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = FLOOR[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	NAN
±INF	±INF
有限数	返回浮点值表示不大于#j 的最大整数

- **举例**

#1 = FLOOR[-8.1] 计算结果：#1 为-9

#1 = FLOOR[8.9] 计算结果：#1 为 8

CEILF、CEIL（别名 FUP）

- **函数格式**

#i = CEILF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = CEIL[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	NAN
±INF	±INF
有限数	返回浮点值表示不小于#j 的最大整数

- **举例**

#1 = CEIL[-8.9] 计算结果：#1 为-8

#1 = CEIL[8.1] 计算结果：#1 为 9

TRUNCF、TRUNC

- **函数格式**

#i = TRUNCF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = TRUNC[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	NAN
±INF	±INF
有限数	返回浮点值表示#j 去掉小数部分后的整数

- **举例**

#1 = TRUNC[-8.9] 计算结果：#1 为-8

#1 = TRUNC[8.1] 计算结果：#1 为 8

ROUNDF、ROUND

- **函数格式**

#i = ROUNDF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = ROUND[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
NAN	NAN
±INF	±INF
有限数	返回浮点值表示#j 四舍五入后的整数

- **举例**

#1 = ROUND[5.1] 计算结果：#1 为 5

#1 = ROUND[5.6] 计算结果：#1 为 6

ASINF、ASIN

- **函数格式**

#i = ASINF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = ASIN[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
|#j|<=1	弧度值：$[-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}]$ 角度值：[-90,90]
|#j|>1	NAN
±INF	NAN
NAN	NAN

ACOSF、ACOS

- **函数格式**

#i = ACOSF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = ACOS[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
|#j|<=1	弧度值：[0,π] 角度值：[0,180]
|#j|>1	NAN
±INF	NAN
NAN	NAN

ATANF、ATAN

- **函数格式 1**

#i = ATANF[#j]/[#k] 其中，#j、#k 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = ATAN[#j]/[#k] 其中，#j、#k 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值 1**

输入值	返回值
（#k, #j）为平面上的坐标点	由该点构成角度的反正切值

注

当参数“NAT”（《连接调试手册》第 160 页 P4100.0）设为 0 时，返回值范围为弧度值：[0,2π]
角度值：[0,360]

- **函数格式 2**

#i = ATANF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = ATAN[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值 2**

输入值	返回值
有限数	弧度值：$[-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}]$ 角度值：[-90,90]
±INF	$\pm\frac{\pi}{2}$
NAN	NAN

注

如果 ATAN[#j]后有除号，则系统认为是格式 1，因此 ATAN[#j]/#k 会报警，应改为[ATAN[#j]]/#k

SINF、SIN

- **函数格式**

#i = SINF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = SIN[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
有限数（弧度值或角度值）	正弦值
±INF	NAN
NAN	NAN

COSF、COS

- **函数格式**

#i = COSF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = COS[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
有限数（弧度值或角度值）	余弦值
±INF	NAN
NAN	NAN

TANF、TAN

- **函数格式**

#i = TANF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = TAN[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
有限数（弧度值或角度值）	正切值
±INF	NAN
NAN	NAN

LOGF、LOG（别名 LN）

- **函数格式**

#i = LOGF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = LOG[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
+INF	+INF
有限正数	自然对数
0	-INF
有限负数	NAN
-INF	NAN
NAN	NAN

LOG2F、LOG2

- **函数格式**

#i = LOG2F[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = LOG2[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
+INF	+INF
有限正数	以 2 为底的对数
0	-INF
有限负数	NAN
-INF	NAN
NAN	NAN

LOG10F、LOG10

- **函数格式**

#i = LOG10F[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = LOG10[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
+INF	+INF
有限正数	以 10 为底的对数
0	-INF
有限负数	NAN
-INF	NAN
NAN	NAN

EXPF、EXP

- **函数格式**

#i = EXPF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = EXP[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
+INF	+INF
有限数	e 的幂值
-INF	0
NAN	NAN

EXP2F、EXP2

- **函数格式**

#i = EXP2F[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = EXP2[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
+INF	+INF
有限数	2 的幂值
-INF	0
NAN	NAN

SQRTF、SQRT

- **函数格式**

#i = SQRTF[#j] 其中，#j 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = SQRT[#j] 其中，#j 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

输入值	返回值
+INF	+INF
有限非负数	平方根值
有限负数	NAN
-INF	NAN
NAN	NAN

POWF、POW

- **函数格式**

#i = POWF[#j,#k] 其中，#j，#k 被自动转化为 FLOAT 型数据

#i = POW[#j,#k] 其中，#j，#k 被自动转化为 DOUBLE 型数据

- **返回值**

$\#i = \#j^{\#k}$

- **规则**

1 POWF[x,0]=1 其中：x 为任意值

2 POWF[x,1]=x 其中：x 为任意值

3 POWF[x,NAN]=NAN 其中：x 为任意值

4 POWF[NAN,y]=NAN 其中：y!=0

5 POWF[x,+INF]=+INF 其中：|x|>1

6 POWF[x,-INF]=+0 其中：|x|>1

7 POWF[x,+INF]=+0 其中：|x|<1

8 POWF[x,-INF]=+INF 其中：|x|<1

9 POWF[x,±INF]=NAN 其中：x = ±1

10 POWF[+0,y]=+0 其中： $y \in \{y > 0 \mid y != +0, y != NAN\}$

11 POWF[-0,y]=+0 其中： $y \in \{y > 0 \mid y != 0, y != NAN, y$不是奇数$\}$

12 POWF[+0,y]=+INF 其中： $y \in \{y < 0 \mid y != -0, y != NAN\}$

13 POWF[-0,y]=+ INF 其中： $y \in \{y < 0 \mid y != -0, y != NAN, y$不是奇数$\}$

14 POWF[-0,y]=-POWF[+0, y] 其中：y 是任意奇数

15 POWF[+INF,y]=+INF 其中： $y \in \{y > 0 \mid y != +0, y != NAN\}$

16 POWF[+INF,y]=+0 其中： $y \in \{y < 0 \mid y != -0, y != NAN\}$

17 POWF[-INF,y]=-POWF[-0,-y]

18 POWF[-x,y]=POW[-1,y]×POW[x,y] 其中：y 是任意整数

19 POWF[x,y]=NAN 其中： $x \in \{x < 0 \mid x != -0, x != -INF\}$，y 不是整数

BIN

- **函数格式**

#i = BIN[#j] 十进制转二进制

BCD

- **函数格式**

#i = BCD[#j] 二进制转十进制

ABS

- **函数格式**

#i = ABS[#j] 取绝对值

- **返回值**

输入值	返回值
32 位有/无符号整数	|#j|，类型为 32 位无符号整数
64 位有/无符号整数	|#j|，类型为 64 位无符号整数
浮点数	系统报警

ISNULL

- **函数格式**

#i = ISNULL[#j] 当#j 为空变量时，#i 为 1；否则，#i 为 0。

其中#i 和#j 可以为变量表达式或寄存器（r0、r1、……）。

例 1

```
#1 = NULL ;
#2 = 0 ;                    //注意 0 并不是空变量
#3 = ISNULL[#1] ; //结果#3=1
#4 = ISNULL[#2] ; //结果#4=0
```

例 2

```
O502 ;                                  //子程序
IF[ISNULL[#24]] THEN #24 = 50.0 ;       //如果#24 未定义，那么默认为 50.0
IF[ISNULL[#25]] THEN #25 = 100.0 ;      //如果#25 未定义，那么默认为 100.0
G00 X[#24] Y[#25] ;
M99 ;
O503 ;                                  //主程序
G65 P502 X-100. Y-100. ;                //调用 O502，定位到（-100.，-100.）
G65 P502 Y-50. ;                        //调用 O502，定位到（50.，-50.）。未指令 X，那么#24
                                        //取默认值 50.0
G65 P502 X-30. ;                        //调用 O502，定位到（-30.，100.）。未指令 Y，那么
                                        //#25 取默认值 100.0
G65 P502 ;                              //调用 O502，定位到（50.，100.）。#24 和#25 取默认
                                        //值
M30 ;
```

例 3

```
O500 ;
PARAMS[r1, r2] ;
IF[ISNULL[r1]] THEN r1 = 50. ;
IF[ISNULL[r2]] THEN r2 = 100. ;
G00 X[r1] Y[r2] ;
M99 ;
O501 ;
CALL[500, -100., -100.] ;
CALL[500, NULL, -50.] ;
CALL[500, -30., NULL] ;
CALL[500, NULL, NULL] ;
M30 ;
//程序 O501、O500 完成与 O503、O502 相同功能
```

16.11.3 实型数与 IEEE754 标准

浮点数格式

IEEE754 定义了三种类型的浮点数格式：

1 单精度（FLOAT）

2 双精度（DOUBLE）

3 扩展双精度（DOUBLE-EXTEND）

浮点数存储格式

IEEE754 浮点数存储格式如下：

1 FLOAT：1 位符号、8 位指数、23 位尾数

2 DOUBLE：1 位符号、11 位指数、52 位尾数

3 DOUBLE-EXTEND：1 位符号、15 位指数、64 位尾数

浮点数指数部分存储格式

IEEE754 浮点数指数部分在存储时偏移可能值的一半，实际的指数是从存储指数中减去此偏差获得的。如果存储指数小于此偏差，则它实际上是负指数。指数偏移量如下：

1 FLOAT（8 位指数）：127

2 DOUBLE（11 位指数）：1023

3 DOUBLE-EXTEND（15 位指数）：16383

浮点数精度

IEEE754 浮点数表示精度如下：

格式	最小 非规格化数	最小规格化数	最大有限数	有效 数字
单精度	1.4^{-45}	1.17549435^{-38}	3.4028234^{38}	约 6 位
双精度	4.9^{-324}	$2.2250738585072014^{-308}$	1.797693134862315^{308}	约 15 位
扩展双精度	$\leq 3.6^{-4951}$	$\leq 3.4^{-4932}$	$\geq 1.2^{4932}$	

浮点数特例

IEEE754 浮点数表示特例：

1 +0： 符号位、指数、尾数全为 0

2 -0： 符号位为 1、指数和尾数全 0

3 +INF： 符号位为 0、指数全 1、尾数全 0

4 –INF： 符号位为 1、指数全 1、尾数全 0

5 NAN： 指数全 1、尾数不全为 0

注

有关 IEEE754 细节请参考 IEEE754 标准文档。宏语言支持 IEEE754 标准中单精度和双精度数据类型，不支持扩展双精度。

宏程序支持的实数分类

记符号位为 s，指数为 e，尾数为 m，则

1 FLOAT： s、e、m 分别占用 1 位、8 位、23 位

2 DOUBLE： s、e、m 分别占用 1 位、11 位、52 位

- **NAN**

e 全 1，m 不全 0，表示 NAN（Not A Number，非数字）

- **±INF**

e 全 1，m 全 0，s=0 表示+INF（正无穷大）

e 全 1，m 全 0，s=1 表示-INF（负无穷大）

- **规格化数**

e 即不全为 0，也不全为 1，称为规格化数，它们的值为：

1 FLOAT：$(-1)^s \times 2^{e-127} \times (1+\frac{m}{2^{23}})$

2 DOUBLE：$(-1)^s \times 2^{e-1023} \times (1+\frac{m}{2^{52}})$

- **非规格化数**

e 全 0，m 不全 0，称为非规格化数，它们的值为：

1 FLOAT：$(-1)^s \times 2^{-126} \times \frac{m}{2^{23}}$

2 DOUBLE：$(-1)^s \times 2^{-1023} \times \frac{m}{2^{52}}$

- **±0**

e 全 0，m 全 0，s=0 表示+0

e 全 0，m 全 0，s=1 表示-0

注

1 在进行比较时，$+0$等于-0

2 由于十进制数的二进制表示形式可能不精确等原因，浮点运算可能丢失精度

16.12 常见问题解释

问题 1

程序

#101=TANF[-64*PI] ; //参数 DEG（P4100.6）=0

结果

#101=-5.5950577e-006

分析

结果是正确的。理论上，应该是#101=0.0，但由于 PI 本身是一个近似值（约等于 3.1415926535897932），同时计算-64*PI 时误差被放大，因此计算结果会产生一定的误差，得到一个接近于 0 的数（-5.5950577e-006）。TANF 是单精度函数，这在误差允许范围内。

问题 2

程序

#118=ATAN[-1/16] ;

结果

#118=0.000000000000000

分析

结果是正确的。-1/16 是整数运算，结果为 0（整数与整数四则运算结果为整数）。应该修改程序为#118=ATAN[-1/16.0]或#118=ATAN[-1.0/16]。

问题 3

程序

#100=5.1f + 8 - 2.0 ;

结果

#100=1.110000038146973e+001

分析

结果是正确的。理论值为 1.11，这里误差的主要原因是浮点数 5.1f 在存储单元中无法精确表示，产生了微小的误差，并在计算过程中累积下来，最后在计算[DOUBLE][5.1f + 8]时表现出来（由于 2.0 为双精度，而 5.1f+8 结果为单精度数据，系统自动进行隐式类型转换）。

问题 4

程序

#103=FPCLASSIFY[EXP2[-149]] ;

结果

#103=4

分析

结果是正确的。注意这里用的是双精度函数 FPCLASSIFY 而不是单精度函数 FPCLASSIFYF。

问题 5

程序

#103= FPCLASSIFY[EXP2F[-149]] ;

结果

#103=2

分析

结果是正确的。注意这里用的是单精度函数 EXP2F，EXP2F[-149]计算结果为 0。注意单精度的数据范围。

问题 6

程序

#200= 5/2 ;

结果

#103=2

分析

结果是正确的。整数除于整数结果还是整数。