



机电一体化系列教材

数控加工 工艺与编程

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

主编 黄志辉



苏州大学出版社
Soochow University Press

机电一体化系列教材

数控加工工艺与编程

主 编 黄志辉
副主编 王迎晖 严 霞
王丽君 王 祯

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程 / 黄志辉主编. — 苏州: 苏州大学出版社, 2018. 12
机电一体化系列教材
ISBN 978-7-5672-2734-7

I. ①数… II. ①黄… III. ①数控机床—加工—高等职业教育—教材②数控机床—程序设计—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 295858 号

数控加工工艺与编程

黄志辉 主编

责任编辑 刘一霖

苏州大学出版社出版发行

(地址:苏州市十梓街1号 邮编:215006)

苏州工业园区美柯乐制版印务有限责任公司

(地址:苏州工业园区东兴路7-1号 邮编:215021)

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 11.75 字数 258 千

2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5672-2734-7 定价:32.00 元

苏州大学版图书若有印装错误,本社负责调换
苏州大学出版社营销部 电话:0512-67481020
苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>
苏州大学出版社邮箱 sdcbs@suda.edu.cn

前言 Preface

《数控加工工艺与编程》是数控技术专业教师们在“数控加工工艺与编程”优秀新课程建设过程中合作编写的一本实用教材。本教材涉及的内容都是数控技术专业从业人员从事数控车削、数控铣削等工种必须掌握的基础知识。

本教材旨在帮助学生初步掌握数控车削、数控铣削的基本知识和技能,掌握相关典型零件的数控加工方法。由于本教材的内容具有普遍性,所以,本教材不仅可以作为高职高专、职业学校学生的学习资料,也可以作为相关从业人员的学习参考资料。

本教材主要以项目和具体工作任务的形式安排章节,以便专业课的理实一体化教学。其中项目一由黄志辉老师编写,项目六由王迎晖老师编写,项目二至项目五分别由严霞、王丽君、唐建林、苏静、王祯等老师参与编写。全书由黄志辉老师负责统稿。

由于时间仓促,书中难免有不足和疏漏之处。我们将不断改进,也欢迎广大读者批评指正。

目 录 Contents

项目一 数控编程基础·····	1
任务一 坐标系与原点的认知·····	1
任务二 数控程序结构的识读·····	6
任务三 数控车削编程基础的了解·····	10
任务四 加工中心编程基础的了解·····	35
项目二 数控车削工艺·····	51
任务一 加工顺序的安排·····	51
任务二 加工路线的确定·····	53
任务三 对刀点与换刀点的确定·····	57
任务四 车削刀具的选择·····	59
任务五 车削参数的选择·····	61
项目三 数控车削加工·····	64
任务一 阶梯轴的车削加工·····	64
任务二 手柄的车削加工·····	70
任务三 旋入式模柄的加工·····	82
任务四 圆螺母的车削加工·····	90
任务五 椭圆外形零件的加工·····	100
项目四 数控铣削工艺·····	107
任务一 加工方法及方式的选择·····	107
任务二 工序的划分·····	111

任务三 加工路线的选择	113
任务四 铣削刀具的选择	117
任务五 铣削参数的选择	124
项目五 数控铣削加工	127
任务一 孔的数控加工	127
任务二 子程序编程加工	136
任务三 数控铣削加工	144
任务四 加工中心应用实例	152
任务五 椭圆零件的加工	158
项目六 CAD/CAM 技术	166
任务一 CAD/CAM 基本操作	166
任务二 平面零件数控加工	168

项目一 数控编程基础

相对于普通机床而言,数控机床的一个显著特点就是用数控程序来控制机床的切削运动。因此,数控程序的合理编制是数控机床应用的一个先决条件。

任务一 坐标系与原点的认知

▶▶ 任务引入

数控程序的编制方式主要有手工编制和运用专用软件自动生成两种。无论采用哪种方式,我们对机床坐标系的概念、机床原点、工件原点、程序原点,以及数控程序的结构和相关数控指令必须都要有充分的了解。

▶▶ 任务目标

掌握各类数控机床的坐标系设置方法。

▶▶ 必备知识

为了保证数控机床的正确运动,避免工作的不一致性,简化编程和便于培训,人们统一规定了数控机床坐标轴的代码及其运动的正、负方向。这给数控系统和机床的设计、使用和维修带来了极大的方便。

1. 机床坐标系

标准坐标系采用右手直角笛卡尔坐标系,其坐标轴名为 X 、 Y 、 Z ,如图 1-1 所示。右手的拇指、食指和中指互相垂直时,拇指的方向为 X 坐标轴的正方向,食指为 Y 坐标轴的正方向,中指为 Z 坐标轴的正方向。以 X 、 Y 、 Z 坐标轴线或以与 X 、 Y 、 Z 坐标轴平行的坐标轴线为中心旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示。根据右手螺旋定则,拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向,其余四指的方向则为 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 轴的旋转方向。

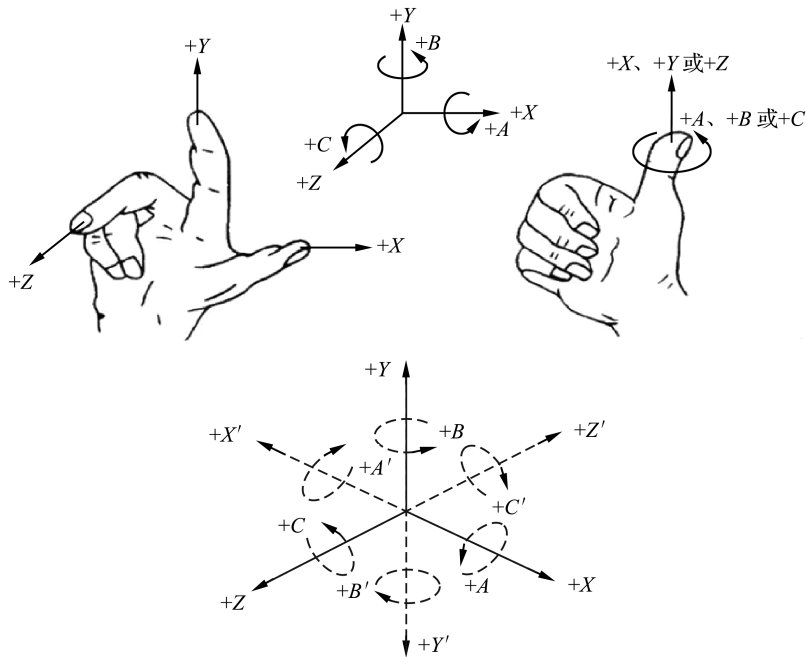


图 1-1 右手直角笛卡尔坐标系

(1) Z轴

通常Z轴为传递切削力的主轴。对于工件旋转的机床,如车床、磨床等,工件转动的轴为Z轴。对于刀具旋转的机床,如镗床、铣床、钻床等,刀具转动的轴为Z轴。如果有几根轴同时符合上述条件,则其中与工件夹持装置垂直的轴为Z轴。如果主轴可以摆动,若在其允许的摆角范围内有1根与标准坐标轴平行的轴,则该轴为Z轴;若有两根或两根以上的轴与标准坐标轴平行,则其中与装夹工件的工作台垂直的轴为Z轴。对于工件和刀具都不旋转的机床,如刨床、插床等,Z轴垂直于工件装夹表面。Z轴的正方向取作刀具远离工件的方向。

(2) X轴

X轴一般平行于工件装卡面且与Z轴垂直。对于工件旋转的机床,平行于横向滑座的方向即工件的径向为X轴坐标,刀具远离工件旋转中心的方向为X轴的正向。对于刀具旋转的机床,若Z轴水平(如卧式铣床、卧式镗床),则从刀具主轴向工件看,右手方向为X轴正向。若Z轴垂直,对于立柱机床(如立式铣床),从刀具主轴向立柱方向看,右手方向为X轴正向;对于龙门机床,从主轴看龙门的方向为X轴正向。对于工件和刀具都不旋转的机床,X轴方向与主切削力方向平行,且切削运动方向为X轴正方向。

(3) Y轴

当X轴与Z轴确定之后,Y轴垂直于X轴、Z轴,其方向可按右手螺旋定则决定。

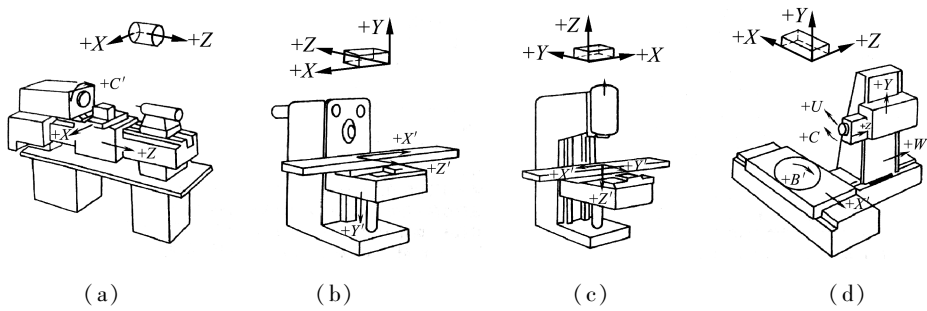


图 1-2 一些通用机床的机床坐标系

2. 坐标系

坐标系是编程人员在编程过程中使用的,由编程人员以工件图样上的某一固定点为原点所建立的坐标系,又称为工件坐标系或编程坐标系。编程尺寸都按工件的尺寸确定。

3. 附加坐标系

以上 X 轴、 Y 轴、 Z 轴通常称为第一坐标系;若有与 X 轴、 Y 轴、 Z 轴平行的第二直线运动时,则对应的轴为 U 轴、 V 轴、 W 轴,称为第二坐标系;若有与 X 轴、 Y 轴、 Z 轴平行的第三直线运动时,则对应的轴为 P 轴、 Q 轴、 R 轴,称为第三坐标系。

如果有不平行于 X 轴、 Y 轴、 Z 轴的直线运动,编程人员可根据使用方便的原则确定 U 轴、 V 轴、 W 轴和 P 轴、 Q 轴、 R 轴。当有两个以上相同方向的直线运动轴时,可从靠近第一坐标轴开始,依次确定 U 轴、 V 轴、 W 轴和 P 轴、 Q 轴、 R 轴。

除了 A 轴、 B 轴和 C 轴以外,根据使用要求旋转轴还可以有 D 轴、 E 轴等。

4. 坐标系的原点

(1) 机床坐标系与机床原点

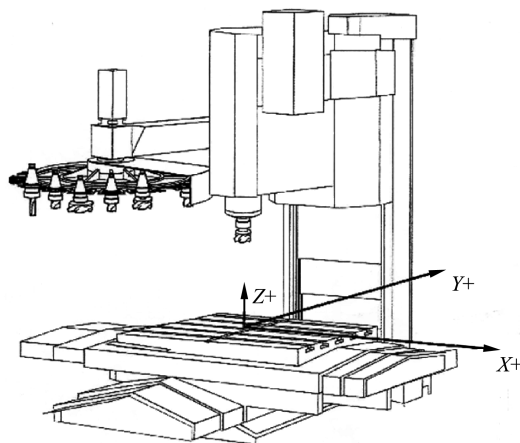


图 1-3 机床坐标系与机床原点示意图

机床坐标系是机床上固有的坐标系,并设有固定的坐标原点。机床上有一些固定的基准线,如主轴中心线;也有一些固定的基准面,如工作台面、主轴端面、工作台侧面等。当机床的坐标轴手动返回各自的原点(或称零点)以后,根据各坐标轴部件上的基准线和基准面之间的距离便可确定机床原点的位置。数控机床的使用说明书上有对该点的说明。如立式数控铣床的机床原点为当 X 轴、 Y 轴返回原点后,主轴中心线与工作台面的交点处,可通过主轴中心线至工作台的两个侧面的给定距离来测定。

(2) 工作坐标系与工作原点

工作坐标系的原点在机床坐标系中称为调整点(图 1-4)。在加工时,工件随夹具在机床上安装好后,工作原点与机床原点之间的距离称为工作原点偏置。该偏置值需要预存到数控系统中。在加工时,工作原点偏置值便能自动附加到工作坐标系上,使数控系统按机床坐标系确定加工时的坐标值。因此,编程人员可以不考虑工件在机床上的安装位置和安装精度,而利用数控系统的原点偏置功能,通过工作原点偏置值来补偿工件的安装误差。现在多数数控机床都具有这种功能。

在数控加工过程中,这种数控机床的原点偏置功能为工件的实际安装位置提供了便于数控编程的工件坐标系,使其工作原点成为编程原点。

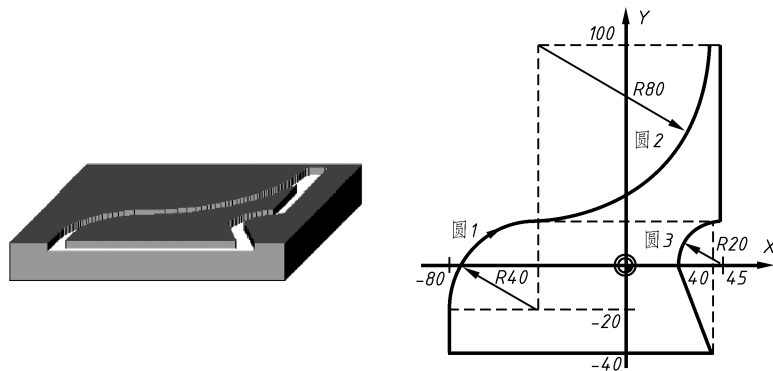


图 1-4 工作坐标系与工作原点

5. 绝对坐标与相对坐标

运动轨迹的终点坐标是相对于起点坐标计量的,这样的坐标系称为相对坐标系(或称增量坐标系)。

所有坐标点的坐标值均相对于某一固定坐标原点计量的坐标系,称为绝对坐标系。

图 1-5 中的 A 、 B 、 C 三点,若以绝对坐标计量,则有

A 点: $X = 40, Y = 40$;

B 点: $X = 60, Y = 80$;

C 点: $X = 100, Y = 60$ 。

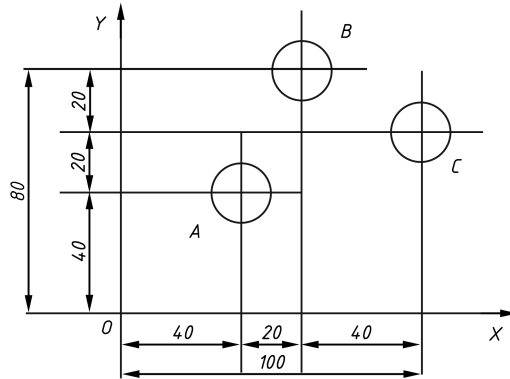


图 1-5 绝对坐标与相对坐标位置示意图

若以相对坐标计量,则 A 点的坐标是在以 O 点为原点建立起来的坐标系内计量的, B 点的坐标是在以 A 点为原点建立起来的坐标系内计量的,而 C 点的坐标是在以 B 点为原点建立起来的坐标系内计量的,所以

- A 点: $X = 40, Y = 40$;
- B 点: $X = 20, Y = 40$;
- C 点: $X = 40, Y = -20$ 。

►► 任务拓展

如图 1-6 所示, O_2 点为编程原点。试用绝对值和相对值分别描述该轴类零件轮廓编程节点的相对坐标值和绝对坐标值。

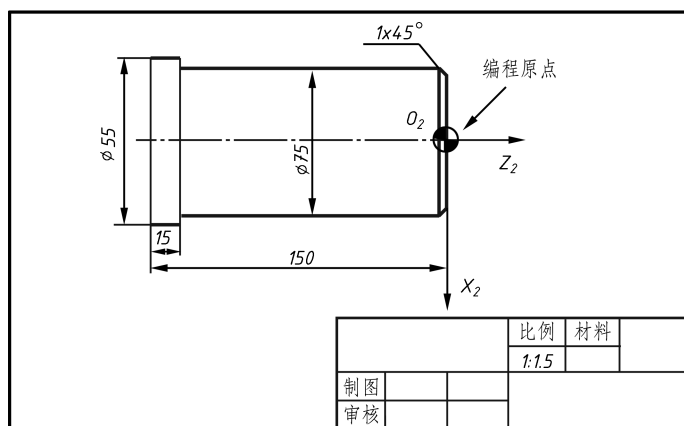


图 1-6 轴类零件简图

任务二 数控程序结构的识读

▶▶ 任务引入

由于数控机床选用的数控系统不同,数控程序基本代码和程序格式不尽相同。在此,我们以日本 FANUC 数控系统为例,来初步了解数控程序结构。

▶▶ 任务目标

读懂基本数控加工程序中每一个程序段的执行命令。

▶▶ 必备知识

由于数控机床选用的数控系统不同,编程人员必须严格按照机床说明书的规定格式编写数控程序。一个完整的程序由程序号和一系列程序段组成。例如:

```
O0001;  
N005 T0101 M06;  
N010 G54 G90 G00 X100 Y100 Z10;  
N015 M03 S600 M08;  
N020 G01 Z-20 F50;  
N025 Z10 M09;  
N030 M02;
```

1. 程序号

程序号即程序的开始部分。为了区别存储器中的程序,每个程序都要有程序编号,在编号前采用程序编号地址码。如 FANUC 0M 系统采用英文字母 O 和四位数字作为程序编号地址等。

2. 程序段

零件的加工程序是由程序段组成的。每个程序段由若干个数据字组成。每个字是控制系统的具体指令。

(1) 语句号字(N)

语句号字是用以识别程序段的编号,用地址码 N 和后面的若干位数字来表示。例如, N20 表示该语句的语句号为 20。

(2) 准备功能字(G)

准备功能字是使数控机床做某种操作的指令,用地址符 G 和两位数字来表示,从 G00 至 G99 共 100 种。表 1-1 为常用加工中心准备功能 G 代码一览表。G 代码根据分组不同而有两种形式。一种叫作一次性代码,只在所在的程序段中有效;另一种叫作模态代码,一旦被执行,则在同一组代码出现或被取消前都有效。

表 1-1 常用加工中心准备功能 G 代码一览表 (FANUC 0M 系统)

代码	分组	意义	代码	分组	意义
G00	01	快速进给、定位	G53	00	机械坐标系选择
G01		直线插补	G54	12	工件坐标系 1 选择
G02		圆弧插补 CW(顺时针)	G55		工件坐标系 2 选择
G03		圆弧插补 CCW(逆时针)	G56		工件坐标系 3 选择
G04	00	暂停	G57		工件坐标系 4 选择
G07		假想轴插补	G58	工件坐标系 5 选择	
G09		准确停止	G59	工件坐标系 6 选择	
G10		数据设定	G60	00	单方向定位
G15	18	极坐标指令取消	G61	15	准确停止状态
G16		极坐标指令	G62		自动转角速率
G17	02	XOY 平面	G63		攻螺丝状态
G18		ZOX 平面	G64		切削状态
G19		YOZ 平面	G65	00	宏调用
G20	06	英制输入	G66	14	宏模态调用 A
G21		米制输入	G66.1		宏模态调用 B
G22	04	存储行程检查功能 ON	G67		宏模态调用 A/B 取消
G23		存储行程检查功能 OFF	G68	16	坐标旋转
G27	00	回归参考点检查	G69		坐标旋转取消
G28		回归参考点	G73	09	深孔钻削固定循环
G29		由参考点回归	G74		左旋攻螺纹固定循环
G30		回归程第 2、3、4 参考点	G76		精镗固定循环
G40	07	刀径补偿取消	G80		固定循环取消
G41		左刀径补偿	G81	钻削固定循环、钻中心孔	
G42		右刀径补偿	G82	钻削固定循环、铰孔	

续表

代码	分组	意义	代码	分组	意义	
G43	08	刀具长度补偿 +	G83	09	深孔钻削固定循环	
G44		刀具长度补偿 -	G84		攻螺纹固定循环	
G45	00	刀具位置补偿伸长	G85		镗削固定循环	
G46		刀具位置补偿缩短	G86		退刀形镗削固定循环	
G47		刀具位置补偿 2 倍伸长	G87		镗削固定循环	
G48		刀具位置补偿 2 倍缩短	G88		镗削固定循环	
G49		刀具位置补偿取消	G89		镗削固定循环	
G50		11	比例缩放取消		G90	03
G51	比例缩放		G91		增量方式	
G50.1	19	程序指令镜像取消	G92	00	工件坐标系设定	
G51.1		程序指令镜像	G98	10	返回固定循环初试点	
G52	00	局部坐标系设定	G99		返回固定循环 R 点	

(3) 尺寸字(X、Y、Z 等)

尺寸字由地址码, +、- 符号及绝对值(或增量)的数值构成。尺寸字的地址码有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C、I、J、K、D、H 等。尺寸字的“+”可省略。表示地址码的英文字母的含义如下:

O、P: 程序号、子程序号。

N: 程序段号。

X、Y、Z: X、Y、Z 轴方向的主运动。

U、V、W: X、Y、Z 轴方向的增量运动。(或平行于 X、Y、Z 坐标轴的第二坐标系)

P、Q、R: 平行于 X、Y、Z 坐标轴的第三坐标系。

A、B、C: 绕 X、Y、Z 坐标轴的转动。

I、J、K: 圆弧中心坐标。

D、H: 刀具直径和长度方向的补偿号。

(4) 进给功能字(F)

进给功能字表示刀具中心运动时的进给速度。它由地址码 F 和后面若干位数字构成。这个数字的单位取决于每个数控系统所采用的进给速度的指定方法。如 F100 表示进给速度为 100 mm/min。F 也可以用进给量的数值表示, 即刀具主运动一个周期所进给量。具体内容见所用数控机床编程说明书。

(5) 主轴转速功能字(S)

主轴转速功能字由地址码 S 和其后面的若干位数字组成, 单位为转速单位(r/min)。

例如,S800 表示主轴转速为 800 r/min。

(6) 刀具功能字(T)

刀具功能字由地址码 T 和若干位数字组成。刀具功能字的数字是指定的刀号。

数字的位数由所用系统决定。例如,T08 表示第八号刀。T0808 则表示第八号刀,刀具补偿值号码为 08。

(7) 辅助功能字(M 功能)

辅助功能字表示一些机床辅助动作的指令,用地址码 M 和后面两位数字表示,从 M00 至 M99 共有 100 种。常用辅助功能指令 M 代码一览表见表 1-2。

表 1-2 常用辅助功能指令 M 代码一览表

代码	功能说明	代码	功能说明
M00	程序停止	M09	切削液停止
M01	选择停止	M21	X 轴镜像
M02	程序结束	M22	Y 轴镜像
M03	主轴转动	M23	镜像取消
M04	主轴反转	M30	程序结束
M05	主轴停止	M98	调用子程序
M08	切削液打开	M99	子程序结束

(8) 程序段结束符

程序段结束符写在每一程序段之后,表示程序结束。当程序用 EIA 标准代码时,结束符为“CR”。当程序用 ISO 标准代码时,结束符为“NI”或“LF”。有的程序用符号“;”或“,”表示程序段结束符。

►► 任务拓展

试解释下列程序中各程序段执行的内容。

```

O0002;
N005 T0202 M06;
N010 G54 G90 G00 X150 Y150 Z10;
N015 M03 S500 M08;
N020 G01 Z-30 F50;
N020 Z10;
N025 X100 Y100;
N030 Z-30;

```

```
N035 Z10 M09;  
N040 M30;
```

任务三 数控车削编程基础的了解

▶▶ 任务引入

数控编程可以简单分为自动编程和手工编程两种。自动编程是指利用计算机专用软件,利用人机互动方式自动生成零件的数控加工程序。手工编程是指利用已经掌握的数控系统编程指令,结合数控加工工艺知识,用手工方式编写数控程序,实现零件数控加工。现在,我们以 FANUC 0T 系统为例来学习手工编制数控车削程序。

▶▶ 任务目标

初步掌握零件数控车削程序编写方法。
学习数控车削编程(FANUC 0T 系统)。

▶▶ 必备知识

1. 快速定位指令(G00)

指令格式:

```
G00 X(U)___ Z(W)___;
```

快速定位指令采用绝对值方式或者增量值方式,使刀具以快速进给速度向工件坐标系的某一点移动。执行绝对值指令时,刀具分别以各轴快速进给速度移动到工件坐标系中坐标值为 (X,Z) 的点上;执行增量值指令时,刀具移至相对前一位置距离为 (U,W) 的点上。

用 G00 移动时,刀具轨迹并非直线,各轴以最快速度移动。所以使用 G00 指令时要注意刀具是否和工件或夹具发生干涉。忽略这一点就容易引起碰撞,而在快速状态下的碰撞更加危险。

例 1-1 如图 1-7 所示,刀具从 A 点运动到 B 点,其指令如下:

```
G00 X40.0 Z56.0 或 G00 U-100.0 W-30.5
```

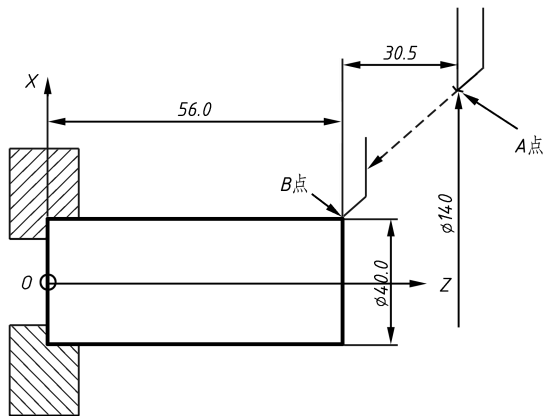


图 1-7 例 1-1 图

在由 G00 定位的方式中,程序段的开头部分用已给定的速度进行加速。程序段的结束部分进行减速,并根据参数确认到达位置状态的情况之后执行下一个程序段。

2. 直线插补指令(G01)

直线插补指令是直线运动指令。它命令刀具按指定的 F 进给速度做任意斜率的直线运动。

指令格式:

G01 X(U)___ Z(W)___ F___;

执行绝对值指令时,刀具以 F 的进给速度进行直线插补,移动到工件坐标系中坐标值为(X,Z)的点上;执行增量值指令时,刀具则移至相对前一位置距离为 U、W 的点上。而 F 是进给路线的进给速度指令代码,在没有新的 F 以前一直有效。F 指令不必在每个程序段中都写入。

例 1-2 如图 1-8 所示,选右端面的 O 为编程原点。

① 绝对值编程:

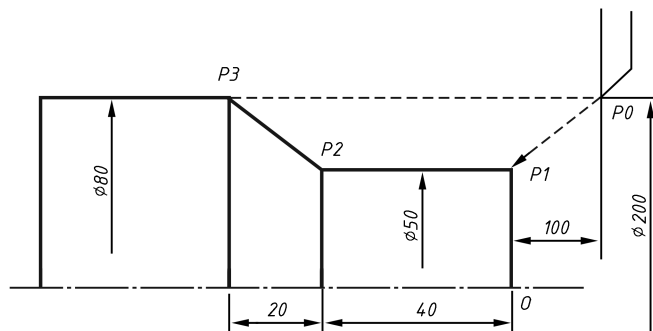


图 1-8 绝对值编程

```
N10 G00 X50.0 Z2.0 S600.0 T0101 M03; P0 → P1
N20 G01 Z-40.0 F100.0; 刀尖按 F 值, P1 → P2
```