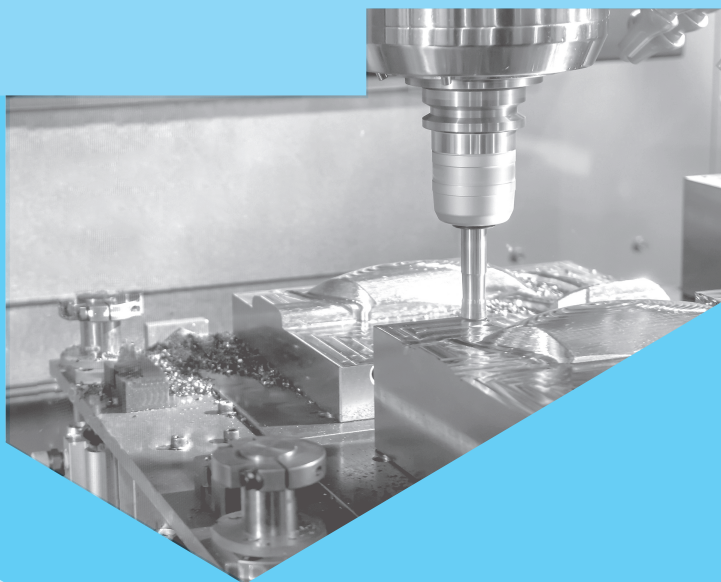


高等职业教育机电系列精品教材

数控加工与编程

SHUKONG JIAGONG YU BIANCHENG

主 编 杨春花
董钟慧
夏颖怡
副主编 张延杰
杨 钊
乞英焕
何 清
主 审 王 磊



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书共分 8 个模块,主要内容包括数控机床概述,数控编程基础,数控加工工艺,数控车削编程加工轴类零件,数控车削编程加工套类零件,数控车削编程加工综合零件,数控铣床/加工中心编程加工型槽、型腔,数控铣床/加工中心编程加工孔系,数控铣床/加工中心编程加工综合零件。

本书既可作为高等职业院校装备制造大类专业学生的教材,也可作为相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工与编程 / 杨春花, 董钟慧, 夏颖怡主编.

上海 : 上海交通大学出版社, 2024. 8. -- ISBN 978 - 7 - 313 - 31308 - 9

I . TG659

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024FD1509 号

数控加工与编程

SHUKONG JIAGONG YU BIANCHENG

主 编:杨春花 董钟慧 夏颖怡

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1 / 16

字 数:354 千字

版 次:2024 年 8 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-31308-9

定 价:52.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:12

印 次:2024 年 8 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-8836866

机械制造业是国民经济的支柱产业,是反映一个国家经济实力和科学技术水平的重要标志。近年来,随着计算机技术、电子技术的发展,制造业也朝着数字化方向飞速迈进。而数字化的核心就是数控技术。世界各工业发达国家都竭力发展数控技术,建立数控机床产业,促进制造业跨入一个新的发展阶段,使国民经济结构发生了巨大的变化。我国是机械制造业大国,也在积极推进数控机床的普及,而这就需要大批掌握数控机床编程和操作能力的高素质人才来支撑。本书以培养生产一线所需的数控机床编程与操作技能型人才为目标,突出编程与操作实际应用能力的提升。

本书紧密围绕课程建设,服务于专业人才培养,依据专业人才培养目标和课程标准,针对数控加工岗位的职业能力需求,参考数控加工“1+X”证书制度考核标准,选取典型零件和企业的主要产品作为教学载体,结合学生认知规律和课程目标组织教学内容,突出工作任务与知识的联系,让学生在职业实践活动中掌握基础知识。

本书由云南机电职业技术学院杨春花、董钟慧、夏颖怡任主编,云南机电职业技术学院张延杰、杨钊、乞英焕,达索析统(上海)信息技术有限公司何清任副主编,云南机电职业技术学院张荧、黄建辉、陈宇、何亮、杨学华、郑虎参加编写。具体编写分工为:绪论由何亮、杨学华、郑虎编写,模块1由夏颖怡编写,模块2由张延杰编写,模块3和模块4由杨春花编写,模块5由乞英焕编写,模块6由董钟慧编写,模块7由杨钊、何清编写,模块8由张荧、黄建辉、陈宇编写。本书由云南机电职业技术学院机械工程学院王磊院长主审,在此表示诚挚感谢!

在编写本书的过程中,笔者参考了大量文献资料,在此向相关作者表示感谢。

由于水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者提出批评意见和宝贵建议。

编 者

Contents

目录

绪论

0

数控机床概述	1
0.1 数控机床的产生与发展	1
0.2 数控机床的加工特点	5

模块1

1

数控编程基础	7
1.1 数控编程术语	7
1.2 数控加工的原理	8
1.3 机床坐标系与工件坐标系	9
1.4 数控编程的步骤	20
1.5 数控编程的方法	21
1.6 数控编程的特点	22
1.7 数控编程的格式及常用指令	24

模块2

2

数控加工工艺	29
2.1 数控加工工艺的主要内容及特点	29
2.2 程序编制中的数值计算	30
2.3 数控加工工艺文件的编制	31
2.4 数控车削加工工艺的编制	33
2.5 数控铣削加工工艺的编制	37

模块3

3

数控车削编程加工轴类零件	46
3.1 短轴加工	46
3.2 切槽加工及切断	55
3.3 多阶梯轴加工	65

模块 4

4

数控车削编程加工套类零件 72

- 4.1 阶梯孔加工 72
- 4.2 螺纹孔加工 82
- 4.3 内轮廓综合加工 95

模块 5

5

数控车削编程加工综合零件 102

- 5.1 数控车削综合零件加工一 102
- 5.2 数控车削综合零件加工二 111
- 5.3 数控车削综合零件加工三 115

模块 6

6

数控铣床 / 加工中心编程加工型槽、型腔 121

- 6.1 组合沟槽的加工 121
- 6.2 矩形型腔的加工 134
- 6.3 圆形型腔的加工 143

模块 7

7

数控铣床 / 加工中心编程加工孔系 151

- 7.1 钻孔加工 151
- 7.2 铰孔加工 160
- 7.3 攻丝加工 169

模块 8

8

数控铣床 / 加工中心编程加工综合零件 181

- 8.1 确定加工工艺及工装方案 181
- 8.2 填写数控加工工序卡片 182
- 8.3 编制加工程序 183
- 8.4 实际加工操作 185

参考文献 186



绪论 数控机床概述

机械制造业是国民经济的支柱产业,其现代化程度决定了国家的发展步伐,而数控技术和数控装备是机械制造业现代化的重要基础。数控机床具有高效率、高精度、高柔性等特点,在机械制造业中的应用越来越广泛。因此,加深对数控机床的结构和工作原理的了解是进行现代化生产实践的坚实基础。



0.1

数控机床的产生与发展

0.1.1 数控机床的产生

在机械制造业中,并不是所有的产品零件都具有很大的批量,单件与小批量生产的零件(批量为10~100件)约占机械加工总量的80%以上,尤其是在造船、航天航空、机床、重型机械以及国防工业等方面更是如此。

为了满足多品种、小批量的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。数控机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的。它为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

国家标准《工业自动化系统 机床数值控制 词汇》(GB/T 8129—2015)规定:

(1)数值控制(numerical control, NC),即用数值数据的控制装置,在运行过程中,不断地引入数值数据,从而对某一生产过程实现自动控制,简称数控。

(2)计算机数值控制(computerized numerical control, CNC),即用计算机控制加工功能,实现数值控制,简称计算机数控。

数控机床即采用了数控技术的机床,或者说装备了数控系统(NC system)的机床。从应用来说,数控机床就是将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给切削液等)和步骤,以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,通过控制介质将数字信息输入专用的或通用的计算机,计算机对输入的信息进行处理与运算后输出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需要的零件。

0.1.2 数控机床的发展

1. 数控系统的发展

从1952年第一台数控机床问世后,数控系统已先后经历了两个阶段共六代的发展,所

谓六代是指电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器和基于工控 PC 的通用 CNC 系统。其中,前三代为第一阶段,称为硬件连接数控,即 NC 系统;后三代为第二阶段,称为计算机软件数控,即 CNC 系统。

2. 数控机床的应用范围

数控机床有一般机床所不具备的许多优点,其应用范围正在不断扩大,但它并不能完全代替普通机床,也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。

数控机床最适合加工具有以下特点的零件:

- (1)多品种、中小批量生产的零件。
- (2)形状结构比较复杂的零件。
- (3)需要频繁改型的零件。
- (4)价值昂贵、不允许报废的关键零件。
- (5)设计制造周期短的急需零件。
- (6)批量较大、精度要求较高的零件。

根据国外数控机床的应用实践,数控加工的适用范围可用图 0-1 粗略表示。

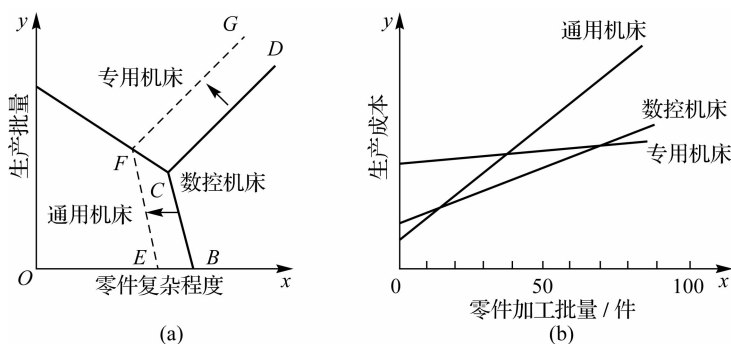


图 0-1 数控加工的适用范围

图 0-1(a)所示为随零件复杂程度和生产批量的不同,3 种机床的应用范围的变化。当零件不太复杂,生产批量又较小时,宜采用通用机床;当生产批量很大时,宜采用专用机床;而随着零件复杂程度的提高,数控机床越加适用。目前,随着数控机床的普及,数控加工的应用范围正由 BCD 线向 EFG 线复杂性较低的范围扩大。

图 0-1(b)所示为通用机床、专用机床和数控机床零件加工批量与生产成本的关系。从图中看出,在多品种、中小批量生产情况下,采用数控机床生产成本更为合理。

3. 数控机床的发展趋势

目前,数控机床已朝着高柔性化、高精度化、高速度化、复合化、制造系统自动化方向发展。

1) 高柔性化

柔性是数控机床最主要的特点,也是数控机床的各种发展趋势中体现在所有新开发技术中的主导思想。

柔性是指机床适应加工对象变化的能力。传统的自动化设备和生产线是机械或刚性连接和控制的,因此当被加工对象变化时调整困难甚至无法调整,有时只得全部更新、

更换。

数控机床的出现,开创了柔性自动化加工的新纪元,对于加工对象的变化已具有很强的适应能力。目前,在进一步提高单机柔性化的同时,正努力向单元柔性化和系统柔性化发展。柔性制造单元(flexible manufacturing cell,FMC)和柔性制造系统(flexible manufacturing system,FMS)发展迅速。美国 FMC 安装的平均增长率达到 72.85%,日本 FMS 安装的平均增长率为 24.26%。

近年来,不仅中、小批量的生产方式在努力提高柔性化能力,大批量的生产方式也在积极向柔性化方向转变。如出现了可编程逻辑控制器(programmable logical controller,PLC)控制的可调组合机床、数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有柔性的高效加工设备和介于传统自动线与 FMS 之间的柔性传输线(flexible transfer line,FTL)。

2) 高精度化

高精度化一直是数控机床技术发展追求的目标。数控机床的精度包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度两方面。从 1950 年至 2000 年的 50 年内,普通精度加工由 0.3 mm 提升至 0.003 mm,精密加工由 3 μm 提升至 0.03 μm ,超精密加工则由 0.3 μm 提升至 0.003 μm ,机床的加工精度提高了两个数量级,平均每 8 年提高约 1 倍的精度。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减小数控系统误差、提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性、采用补偿技术和辅助措施来达到的。在减小数控系统误差方面,通常采用提高数控系统分辨率、使 CNC 控制单元精细化、提高位置检测精度,以及在位置伺服系统中为改善伺服系统的响应特性采用前馈与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,采用齿隙补偿、丝杠螺母误差补偿及热变形误差补偿技术等。通过上述措施,机床的加工精度得以提升。

3) 高速化

提高生产率是机床技术发展追求的基本目标之一。实现这个目标的最主要、最直接的方法就是提高切削速度和减少辅助时间。

提高主轴转速是提高切削速度的最有效方法。数控机床的主轴转速和功率的大幅度提高为高速切削提供了良好的条件。在不同的年代,随着切削方法和被加工材料的不同,高速切削的界限的数值也不尽相同。例如,在实际生产中,车、铣 45 号钢,1950 年的切削速度为 80~100 m/min,而 2000 年的切削速度已经达到 500~600 m/min,50 年内切削速度提高了 5 倍左右。

对现有数控机床的使用情况统计显示,数控机床有效切削时间仅占全部工时的 25%~35%(机床利用率),其余的 65%~75%均是消耗在机床调整、程序运行检查、空行程、启停空运转、工件上下料和装夹等环节上的辅助时间、待加工时间(由于技术准备和调度不及时引起的非工作时间)及故障停机时间。因此,需通过提高各轴快速移动速度和加速度、主轴变速的角加速度、刀具(工件)自动交换速度,改善数控系统的操作方便性和监控功能,以及加强信息管理来全面压缩辅助时间和待加工时间,使数控机床的利用率达到 60%~80%。

表 0-1 列出了中型立、卧式加工中心的主要工作参数的发展过程,显示了数控机床向全面高速化发展的趋势。

表 0-1 中型立、卧式加工中心的主要工作参数的发展过程

速度指标	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代前期	20 世纪 90 年代后期	21 世纪初	2010 年至今
主轴最高转速/($r \cdot \min^{-1}$)	4 000~6 000	8 000~12 000	12 000~18 000	18 000~24 000	30 000~42 000
静止至最高转速的启动时间/s	3	2	1.5	1.0~1.2	≤ 1
最高进给速度/($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)	5 000~10 000	10 000~20 000	20 000~30 000	30 000~40 000	40 000~60 000
快移速度/($\text{m} \cdot \min^{-1}$)	12~24	20~32	40~80	60~120	80~160
加(减)速度	0.3g	0.5g	1.0g~1.2g	1.5g~2.0g	$\geq 3g$
直接换刀时间/s	6~8	4.5~6	4~5	3~4	2~3
机械手换刀时间/s	3.5~5	2~3	1.5~2	0.8~1.2	0.6~1

注:中型加工中心规格为工作台宽度 400~630 mm,主轴锥孔 ISO40 或 HSK63,材料切除率 $\geq 200 \text{ cm}^3/\text{min}$ (45 号钢),刀具最大重量 $\leq 10 \text{ kg}$ 。

4) 复合化

复合化包括工序复合化和功能复合化。数控机床的发展也模糊了粗、精加工工序的概念。加工中心(包括车削中心、磨削中心、电加工中心等)的出现又把车、铣、镗、钻等类的工序集中到一台机床来完成,打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。一台具有自动换刀装置、自动交换工作台和自动转换立卧主轴头的镗铣加工中心,不仅一次装夹便可以完成镗、铣、钻、铰、攻螺纹和检验等工序,而且可以完成箱体件 5 个面的粗、精加工的全部工序。

复合机床可以在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的全部加工。复合机床根据结构特点分为以下两类:

(1)功能复合型机床。功能复合型机床为跨加工类别的复合机床,如车铣中心,车铣镗型多用途制造中心,激光铣削加工机床,车镗铣磨复合机床,冲孔、成型与激光切割复合机床,金属烧结与镜面切削复合机床、等离子加工与冲压复合机床等。其复合含义为加工方法和工艺的复合。

(2)工序复合型机床。工序复合型机床应用切具(铣头)自动交换装置、主轴立卧式转换头、双摆铣头、多主轴头和多回转刀架等配置增加工件在一次安装下的加工工序数,如多面多轴联动加工的复合机床和主副双主轴车削中心等。

增加数控机床的复合加工功能将进一步提高其工序集中度,不仅可以减少多工序加工零件的上下料时间,而且可避免零件在不同机床上进行工序转换而增加的工序间输送和等待时间。复合数控机床具有良好的工艺适应性,避免了在制品的储存和传输等环节上的工时浪费,提高了加工效率。

5) 制造系统自动化

自 20 世纪 80 年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点”(单台数控机床)发展到“线”(FMS、FTL)和“面”(柔性制造车间)的自动化,结合信息管理系统的自动化,逐步形成整个工厂“体”的自动化。在国外已出现工厂自动化和计算机集成制造(computer-integrated manufacturing, CIM)的雏形实体。尽管这种高自动化的技术还不够完备,有投资过大、回收期较长等缺陷,但数控机床的高自动化及向 FMC、FMS 集成方向发展的趋势,仍

是机械制造业发展的主流。

制造系统的自动化除了进一步提高其自动编程、自动换刀、自动上料下料、自动加工等自动化程度外,在自动检测、自动监控、自动诊断、自动对刀、自动传输、自动调度、自动管理等方面也得到进一步发展,同时也提高了其标准化和适应能力,实现“无人化”管理正常生产的目标。

4. 国内数控机床的发展现状

国内的数控机床近些年发展十分迅速,各种各样的新式数控加工机床不断被研发出来。低端机床的研制量很大,但是对于高端机床设备的研发始终依靠引进与复制模式。总体上看对国外技术依赖性太强,缺乏独立的高端机床知识产权。

国内机床行业一直肩负着研制高端数控机床,支撑国内重点项目与军品项目的建设。国产 XNZZD2415 五轴机床,综合传统机床与并联机床的特点,技术革新方面也开了一个先河。其拥有自己的安全可靠的控制系统,能很好地实现人机互动,较高精度地实现五轴联动,机床的作业范围很广,实用性很强。国内铣床采用五轴联动技术和刀具内冷却与应力控制等高新技术,可用于潜艇涡轮,复杂型腔模具与航天、军工等高难度、高质量要求的加工。国内柔性制造系统也有了长足发展,采用模拟加工与实际加工相结合的方式,不仅能够提高加工质量与效率,还大大降低了加工的成本与周期。

我国的机床行业产值早已突破千亿元,特别是技术加工机床,占总产值的三分之一左右,继日、德、意成为较大机床销售国。



0.2

数控机床的加工特点

0.2.1 优点

1. 对加工对象改型的适应性强

在数控机床上改变加工零件时,只需要重新编制程序,更换新的控制介质或者手动输入程序就能实现对零件的加工。它不同于传统的机床,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要重新调整机床,因此,数控机床可以快速地从加工一种零件转变为加工另一种零件,这为单件、小批量以及试制新产品提供了极大的便利。

2. 加工精度高

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03 mm,重复定位精度为 0.01 mm。此外,数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度、热稳定性和制造精度,特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

3. 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。减少机床辅助时间,提高机床的效率,通常采取如下措施:

(1)缩短换刀时间,现在数控机床的换刀时间最短仅为 0.5 s。

(2)研制新的刀库和换刀机械手,使选刀动作与机动时间重合,或使用全机械式换刀机械手,以保证换刀快速可靠。

(3)使用各种形式的交换工作台,使装卸工件的时间与机动时间重合,同时缩短工作台的交换时间。

(4)广泛采用脱机编程、图形模拟等技术,实现后台输入、修改、编辑程序,前台加工,缩短新的加工程序在机调试时间。

(5)采用快换夹具、刀具装置,采取对工件原点快速定位等措施,缩短机床调整时间。数控机床的加工精度比较稳定,在控制介质校验完成以及刀具完好的情况下,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,故而可以减少停机检验的时间。数控机床的利用系数比一般机床高得多。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心时,在一台机床上实现了多道工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产效率的提高就更为明显。

4. 操作者的劳动强度低

数控机床对零件的加工是按事先编制好的程序自动完成的,操作者除了安放控制介质或操作键盘、装卸零件、进行关键工序的中间测量及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。

5. 经济效益良好

使用数控机床加工零件时,分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批量生产的情况下,可以节省许多其他方面的费用,因此能够获得良好的经济效益。使用数控机床,在加工之前节省了画线工时,在零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间,减少了直接生产费用。另外,由于数控机床加工零件不需要手工制作模型、凸轮、钻模板及其他工、夹具,因而节省了工艺装备费用,并且数控机床的加工精度稳定,降低了废品率,使生产成本进一步下降。

6. 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化检验和工、夹具及半成品的管理工作,这些特点都有利于实现生产管理现代化。

7. 易于建立计算机通信网络

数控机床使用数字信息,因此它易于与计算机建立通信网络,便于与计算机辅助设计系统连接,而形成计算机辅助设计与制造紧密结合的一体化系统。

0.2.2 缺点

1. 价格较高

数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业渗透而形成的机电一体化产品,它涉及机械、信息处理、自动控制、伺服驱动、自动检测、软件技术等许多领域,尤其是采用了许多高、新、尖的先进技术,这使得数控机床的整体价格较高。

2. 调试和维修较复杂,需专门的技术人员

数控机床结构复杂,调试与维修人员应经过专门的技术培训才能胜任此项工作。



模块 1 数控编程基础

数控加工泛指在数控机床上进行零件加工的工艺过程。使用数控机床加工零件,不能简单地视为使用一台机床,而应视为使用一套设备,把数控机床的使用作为一套综合的成套技术来处理。因此,要求数控编程人员所掌握的知识要新,面要广,要远远超过普通的工艺人员,否则就无法胜任数控加工和程序编制工作。



1.1 数控编程术语

20 世纪 50 年代初,美国出于军事工业发展的需要,由麻省理工学院成功研制了世界上第一台具有信息存储和处理功能的新型机床——数控机床。很快,数控技术得到了广泛应用和迅速发展。我国在 1958 年也开始了数控机床的研制工作,并取得了一定的成绩。目前,我国不仅能够生产车、铣、钻、镗、削类和其他类型的数控机床,而且能够生产多种加工中心、柔性制造单元和柔性制造系统。

1.1.1 数字控制

数字控制(numerical control)是用数字化信号对机构的运动过程进行控制的一种方法,简称数控(NC)。

1.1.2 数控系统

数控系统是实现数字控制相关功能的软、硬件模块的集成。它能自动阅读输入载体上的程序,并将其译码,根据程序指令向伺服装置和其他功能部件发送信息,控制机床的各种运动。

1.1.3 计算机数控系统

计算机数控系统(computer numerical control system)是以计算机为核心的数控系统。其由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程控制器、存储器、主轴驱动装置及进给驱动装置等部分组成,习惯上又称为 CNC 系统,如图 1-1 所示。

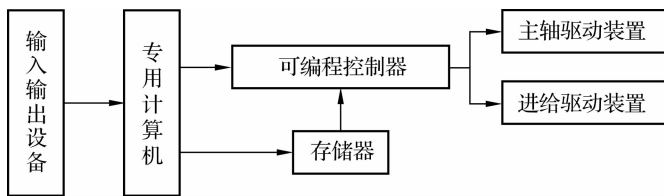


图 1-1 CNC 系统的组成



1.2 数控加工的原理

采用数控机床加工零件，一般要根据零件的特点选择合适的数控机床，确定零件的工艺基准，提出零件的装夹方案，划分数控加工程序，拟定数控加工工艺参数，选择数控加工刀具，编制数控加工程序，安装工件，对刀试切，加工检测。

1.2.1 数控加工的过程

首先将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化，即将刀具与工件的相对运动轨迹、加工过程中主轴转速和进给速度的变换、冷却液的开关、工件和刀具的交换等控制和操作，按规定的代码和格式编制成加工程序，然后将该程序输入数控系统。数控系统按照加工程序的要求，先进行相应的插补运算和编译处理，然后发出控制指令，使各坐标轴、主轴及辅助系统协调动作，实现刀具与工件的相对运动，自动完成零件的加工。数控加工过程如图 1-2 所示。

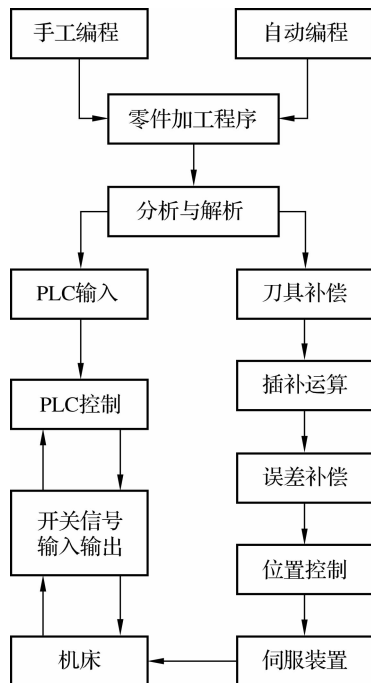


图 1-2 数控加工过程

1.2.2 数据转换与处理过程

CNC 系统的数据转换过程如图 1-3 所示。

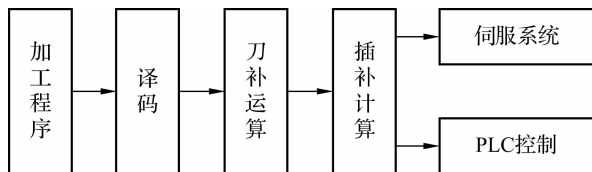


图 1-3 CNC 系统的数据转换过程

1. 译码

译码的主要功能是将用文本格式编写的零件加工程序,以程序段为单位转换成机器运算所要求的数据结构,该数据结构用来描述一个程序段解释后的数据信息。它主要包括: X、Y、Z 等坐标值,进给速度,主轴转速,G 代码,M 代码,刀具号,子程序处理和循环调用处理等数据或标志的存放顺序和格式。

2. 刀补运算

零件的加工程序一般是按零件轮廓和工艺要求的进给路线编制的,而数控机床在加工过程中所控制的是刀位点的运动轨迹。不同的刀具,其几何参数也不相同。因此,在加工前必须将编程轨迹变换成刀位点的轨迹,这样才能加工出符合要求的零件。刀补运算就是完成这种转换的处理程序。

3. 插补计算

数控程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹,而刀具怎么从起点沿运动轨迹走向终点,则由数控系统的插补计算装置或插补计算程序来控制。插补计算的任务就是根据进给速度的要求,在已知轮廓起点和终点之间计算出中间点的坐标值,把这种实时计算出的各个进给轴的位移指令输入伺服系统,实现成形运动。

4. PLC 控制

CNC 系统对机床的控制分为轨迹控制和逻辑控制。轨迹控制是对各坐标轴的位置和速度的控制,逻辑控制是对主轴的启停、换向,刀具的更换,工件的夹紧与松开,冷却、润滑系统的运行等进行的控制。这种逻辑控制通常以 CNC 内部和机床各行程开关、传感器、继电器、按钮等开关信号为条件,由可编程控制器来实现。

由此可见,数控加工原理就是将数控加工程序以数据的形式输入数控系统,通过译码、刀补运算、插补计算来控制各坐标轴的运动,通过 PLC 的协调控制,实现零件的自动加工。



1.3 机床坐标系与工件坐标系

在数控机床上加工零件,刀具与工件的相对运动是以数字的形式体现的。因此,必须建立相应的坐标系,才能明确刀具与工件的相对位置。数控机床的坐标系包括坐标原点、坐标

轴和运动方向。工件在数控机床上加工的工艺内容多,工序集中,所以每个数控编程员和数控机床的操作者,都必须对数控机床的坐标系有一个完整且正确的理解;否则,程序编制将发生错误,操作机床时也会发生事故。为了简化数控编程和使数控系统规范化,国际标准化组织(ISO)对数控机床规定了标准坐标系,配置 SINUMERIK 828D 数控系统的铣床具有强大的编程和加工功能。为了使机床性能得到更好的发挥,快捷编写出优秀的加工程序,有必要深刻理解数控机床坐标系的概念。数控铣床的坐标系分为机床坐标系(MCS)(使用机床零点 M)基准坐标系(BCS)、基准零点坐标系(BNS)、可设定的零点坐标系(ENS)、工件坐标系(WCS)(使用工件零点 W)。

1.3.1 机床坐标系

机床坐标系是机床上固有的、用来确定工件坐标系的基本坐标系。国际标准和我国颁布的标准中,规定了数控机床的坐标系采用笛卡儿右手直角坐标系,如图 1-4 所示。基本坐标轴为 X 、 Y 、 Z 轴,它们与机床的主要导轨相平行,相对于每个坐标轴的旋转运动坐标分别为 A 、 B 、 C 。

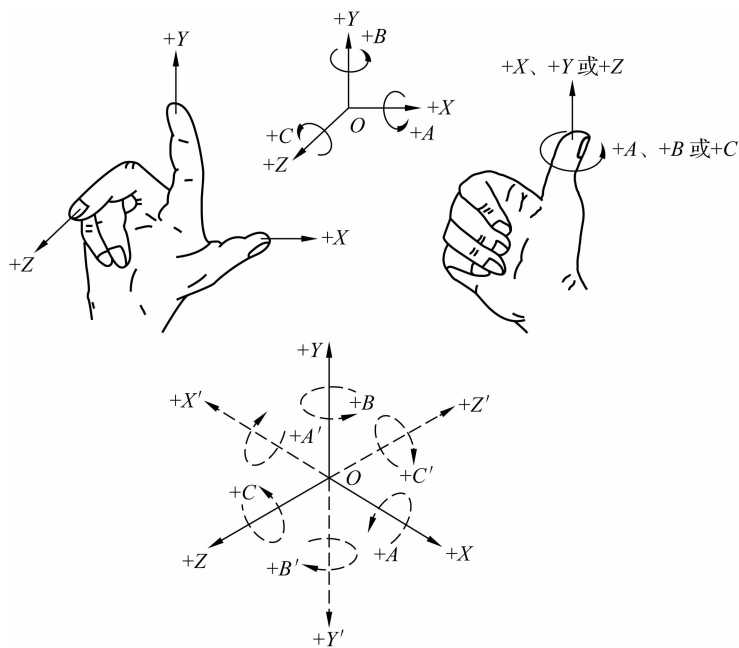


图 1-4 笛卡儿右手直角坐标系

基本坐标轴 X 、 Y 、 Z 的关系及其正方向用右手直角定则判定。拇指为 X 轴,食指为 Y 轴,中指为 Z 轴,其正方向为各手指指向,并分别用 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 来表示。围绕 X 、 Y 、 Z 各轴的旋转运动及其正方向用右手螺旋定则判定,拇指指向 X 、 Y 、 Z 轴的正方向,四指弯曲的方向为对应各轴的旋转正方向,并分别用 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 来表示。

1. ISO 标准的有关规定

不论数控机床的具体结构是工件静止、刀具运动,还是刀具静止、工件运动,都假定工件不动,刀具相对于静止的工件运动。

机床坐标系 X 、 Y 、 Z 轴的判定顺序为:先 Z 轴,再 X 轴,最后按右手定则判定 Y 轴。增大刀具与工件之间距离的方向为坐标轴运动的正方向。

2. 坐标轴的判定方法

1) 轴

平行于主轴轴线的坐标轴为 Z 轴,刀具远离工件的方向为 Z 轴的正方向,如图 1-5、图 1-6、图 1-7 所示。坐标轴名($+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 、 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$)中不带“'”的表示刀具相对工件运动的正方向,带“'”的表示工件相对于刀具运动的正方向。

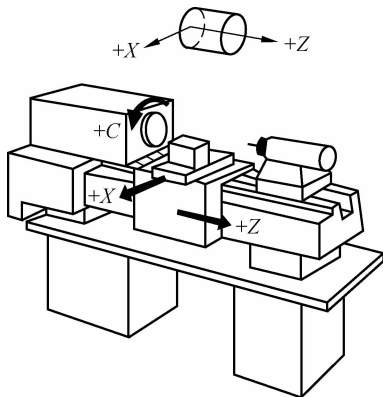


图 1-5 数控车床

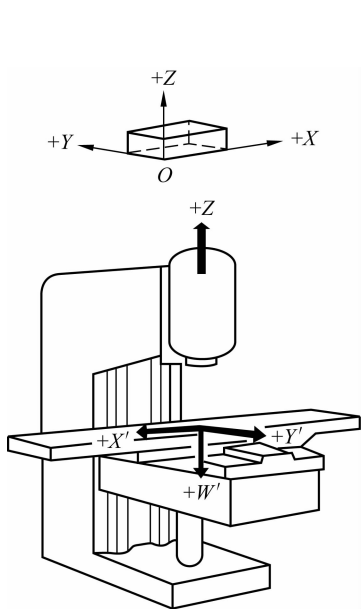


图 1-6 数控立式升降台铣床

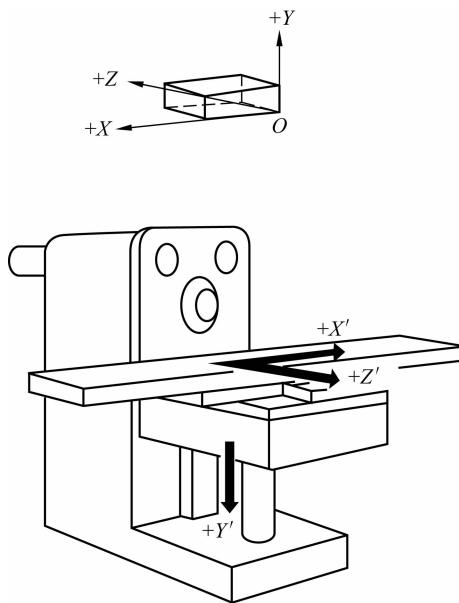


图 1-7 数控卧式升降台铣床

对于有多个主轴或没有主轴的机床(如刨床),垂直于工件装夹平面的轴为 Z 轴,如图 1-8、图 1-9 所示。

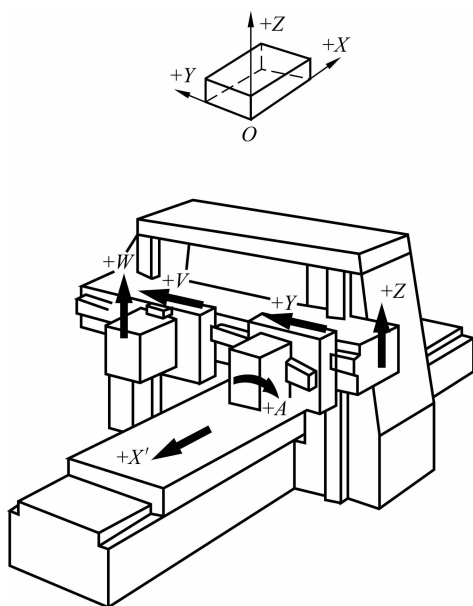


图 1-8 数控龙门铣床

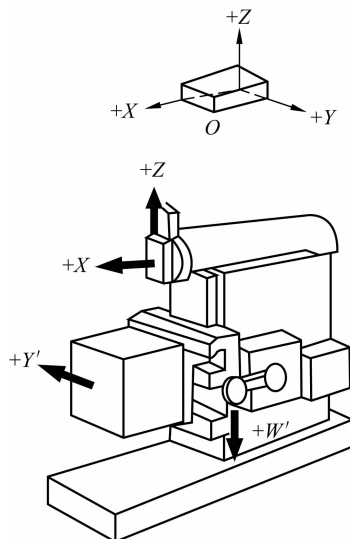


图 1-9 数控牛头刨床

2) X 轴

平行于工件装夹平面的坐标轴为 X 轴,它一般是水平的,以刀具远离工件的运动方向为 X 轴的正方向。

对于工件是旋转的机床,X 轴为工件的径向,如图 1-5 所示。

对于刀具是旋转的立式机床,从主轴向立柱看,右侧方向为 X 轴的正方向,如图 1-6 所示。

对于刀具是旋转的卧式机床,从刀具(主轴)尾端向工件看,右侧方向为 X 轴的正方向,如图 1-7 所示。

3) Y 轴

Y 轴垂直于 X、Z 轴,当 X、Z 轴确定之后,按笛卡儿直角坐标系右手定则判断 Y 轴及其正方向。

4) 旋转运动坐标轴 A、B、C

旋转运动坐标轴 A、B 和 C 的轴线平行于 X、Y 和 Z 轴,其旋转运动的正方向按右手螺旋定则判定,如图 1-4 所示。判别实例如图 1-10、图 1-11 所示。

5) 附加坐标轴

如果在基本坐标轴 X、Y、Z 以外,还有平行于它们的第二或第三组坐标轴,则分别用 U、V、W 和 P、Q、R 表示。

6) 主轴旋转方向

从主轴后端向前端(装刀具或工件端)看,顺时针方向旋转为主轴正旋转方向,它与 C 轴的正方向不一定相同。例如,卧式车床的主轴正旋方向与 C 轴正方向相同,而对于钻、铣、镗床,主轴正旋方向则与 C 轴正方向相反。

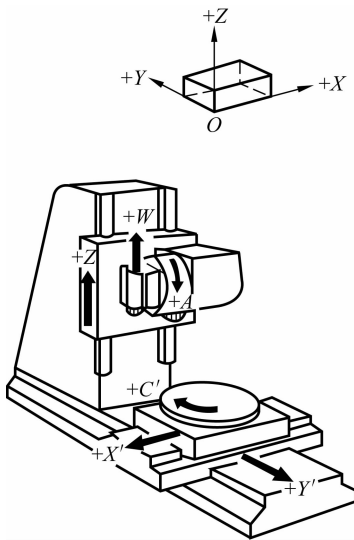


图 1-10 五坐标数控铣床

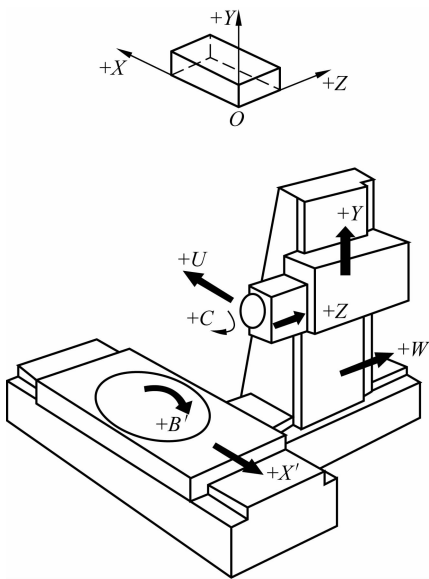


图 1-11 数控卧式镗床

3. 基准坐标系

工件总是在一个二维或三维的垂直坐标系中编程,机床坐标系六个轴方向如图 1-12 所示。但加工工件时经常需要使用带回转轴或非垂直排列的直线轴的机床。为了将 WCS 中编程的坐标(直角)投影到实际的机床轴运动中,需要用到运动转换。

基准坐标系由三条相互垂直的轴(几何轴)以及其他没有几何关系的轴(辅助轴)构成。不带运动转换的机床(如三轴铣床)基准坐标系被投射到 MCS 上时,BCS 和 MCS 总是重合,如图 1-13 所示。

带运动转换的机床中,包含运动变换(如 5 轴变换、TRANSMIT/TRACYL/TRANG)的 BCS 被投射到 MCS 上时,BCS 和 MCS 不重合,需要进行运动转换,如图 1-14 所示。在该机床上,机床坐标系轴与基准坐标系轴必须使用不同的名称。

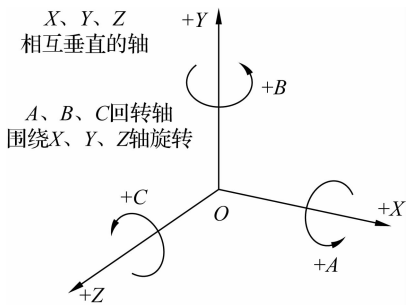


图 1-12 机床坐标系六个轴方向

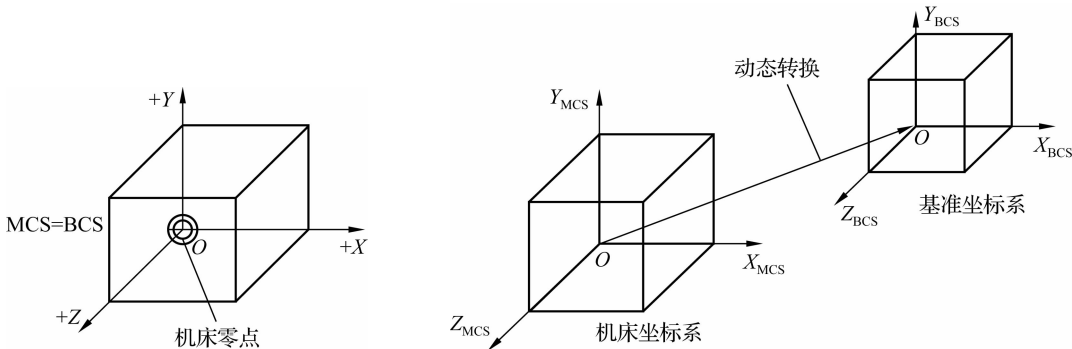


图 1-13 MCS 与不带运动转换的 BCS 重合

图 1-14 MCS 和 BCS 间存在运动转换

4. 基准零点坐标系

基准零点坐标系由基准坐标系通过基准偏移后得到,如图 1-15 所示。

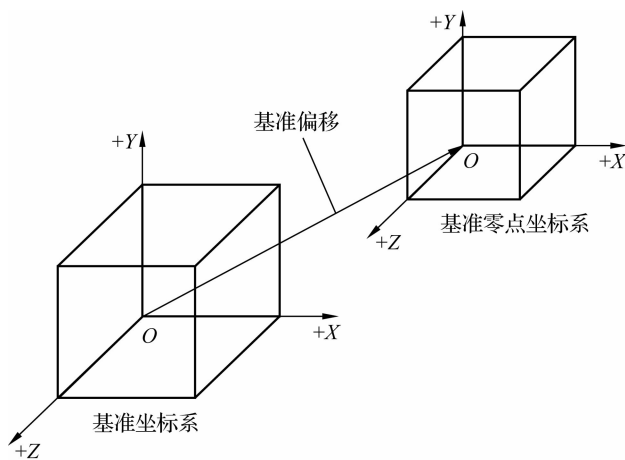


图 1-15 基准零点坐标系

基准偏移是指基准坐标系和基准零点坐标系之间的坐标转换。它可以确定如托盘零点等数据。

基准偏移由外部零点偏移、DRF 偏移、已叠加的运动、连接的系统框架和连接的基准框架等部分组成。

5. 可设定的零点坐标系

通过可设定的零点偏移,可以由基准零点坐标系得到可设定的零点坐标系,如图 1-16 所示。在 NC 程序中使用指令 G54~G59 和 G507~G509 来激活可设定的零点坐标系。

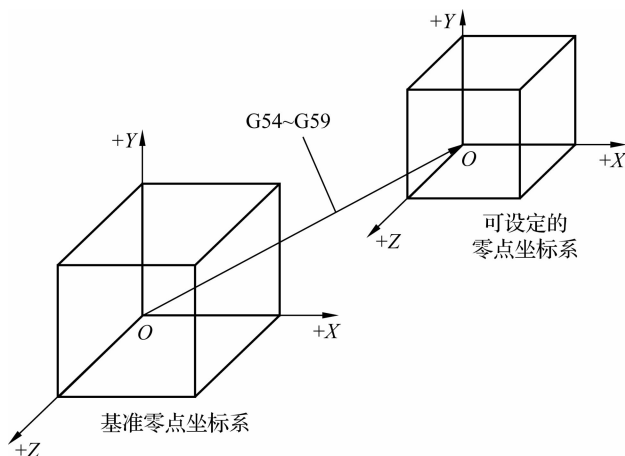


图 1-16 可设定的零点坐标系

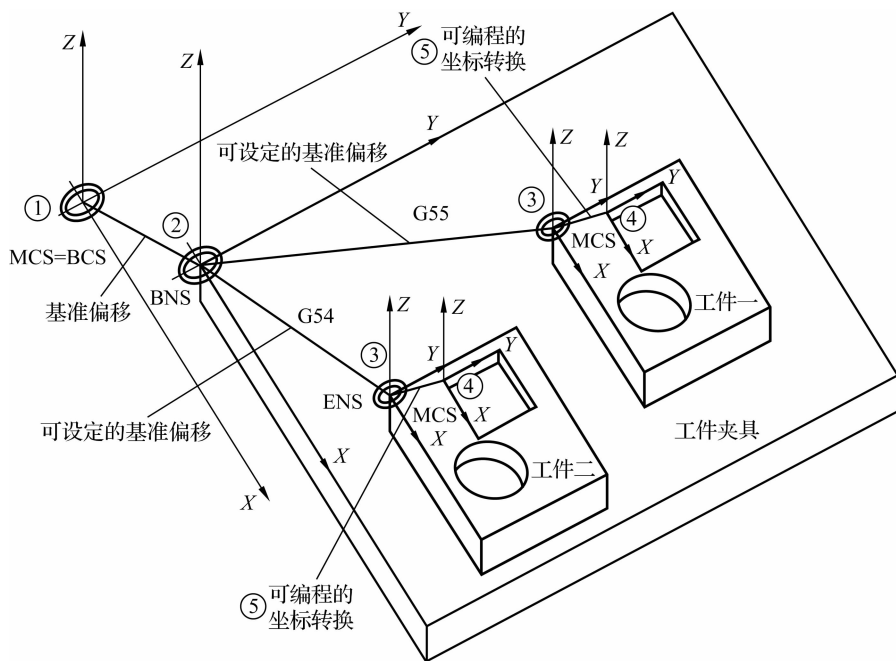
需要说明的是,在一个 NC 程序中,有时需要将原先选定的工件坐标系(或可设定的零点坐标系)通过位移、旋转、镜像或缩放定位到另一个位置。这可以通过可编程的坐标转换(框架)进行。可编程的坐标转换(框架)总是以可设定的零点坐标系为基准的。

6. 工件坐标系

工件坐标系是编程时使用的坐标系,又称编程坐标系。编程时首先根据被加工零件的几何形状和尺寸,在零件图上设定工件坐标系,使零件图上的所有几何元素在坐标系中都有确定的位置,为编程提供轨迹坐标和运动方向。

工件坐标系的坐标轴,要根据工件在机床上的安装位置和加工方法来确定。一般工件坐标系的 Z 轴要与机床坐标系的 Z 轴平行,且正方向一致,与工件的主要定位支承面垂直;工件坐标系的 X 轴,选择在零件尺寸较大的方向或切削时的主要进给方向上,且与机床坐标系的 X 轴平行,正方向一致;工件坐标系的 Y 轴,可根据右手定则确定。

上述介绍的五种坐标系之间的关联性如图 1-17 所示。



- ①—运动转换未激活,即机床坐标系与基准坐标系重合;②—基准偏移得到带有托盘零点的基准零点坐标系;
③—零点偏移 G54 或 G55 来确定用于工件一或工件二的可设定的零点坐标系;④—可编程的坐标转换确定工件坐标系;⑤—可编程的坐标转换(框架)未激活时,可设定的零点坐标系为工件坐标系。

图 1-17 五种坐标系之间的关联性

1.3.2 坐标原点

1. 机床坐标系原点

机床坐标系原点也称机床原点、机械原点或机床零点,用“M”表示。它是机床制造商设置在机床上的一个物理位置,是机床坐标系中固有的点,不能随意改变。它也是其他坐标系和参考点的基准点。机床启动时通常都要回零,即运动部件回到一个固定的位置,这个位置就是机床坐标系的原点。机床原点的作用是使机床与控制系统同步,建立测量机床运动坐标的起始位置。

机床原点一般设在 X、Y、Z 三轴回零的交汇点,该点是一个三维面的交点,无法直接表示,只有通过各坐标轴的零点作相应的平行切面,这些切面的交点,即为机床原点,如图 1-18

所示的 M 点。

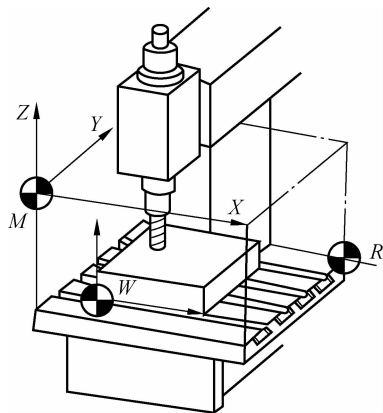


图 1-18 数控铣床的机床原点、机床参考点和工件原点示意

2. 机床参考点

机床参考点也称基准点,是大多数具有增量位置测量系统的数控机床所必须具有的。它是数控机床工作区的一个固定点,与机床原点有确定的尺寸联系,用“R”表示,如图 1-18 所示的 R 点。参考点在机床坐标系中,以硬件方式如用固定挡块或限位开关,限定各坐标轴的位置来实现,并通过精确测量来指定参考点到机床原点的距离。因此,这样的参考点称为硬参考点。机床每次通电后,都要进行回参考点操作,数控装置通过参考点确认出机床原点的位置,建立机床坐标系。参考点的位置可以通过调整固定挡块或限位开关的位置来改变,改变后必须重新精确测量并修改机床参数。有些数控机床的参考点不用固定挡块或限位开关来设定,而是通过刀具在机床坐标系中的位置设定的,这样的参考点又称软参考点。软参考点的位置可以根据加工零件的不同而变化,但在同一零件的加工过程中,软参考点的位置设定后不能改变。

3. 工件原点

工件原点即工件坐标系原点,也称工件零点、程序原点或编程原点,用“W”表示,如图 1-18 所示的 W 点。它是编程时定义在工件上的几何基准点。该点在机床坐标系中的位置可通过 G 代码来设置。

工件原点要根据编程计算方便、机床调整方便、对刀方便以及零件的特点来确定。一般应选择在零件的设计基准、工艺基准或精度要求较高的工件表面上设定工件原点;对于几何元素对称的零件,工件原点应设在零件的对称中心上;对于一般零件,工件原点应设在零件外轮廓的某一角上;Z 轴方向的工件原点一般设在零件的上表面。

编程时,以零件图上所选择的某一点为原点建立工件坐标系,编程尺寸均按工件坐标系中的尺寸给定,按工件坐标系进行编程。

加工时,为了使刀具在工件上按编程轨迹运动,必须使工件原点与机床原点重合。因此,要测量工件原点与机床原点之间的距离,即工件原点与机床原点的偏差值,如图 1-19 所示。该偏差值可以预存在数控系统内或编写在加工程序中,这样在加工时工件原点与机床原点的偏差值便自动加到工件坐标系上,使数控系统按照机床坐标系确定工件的坐标值,实现零件的自动加工。

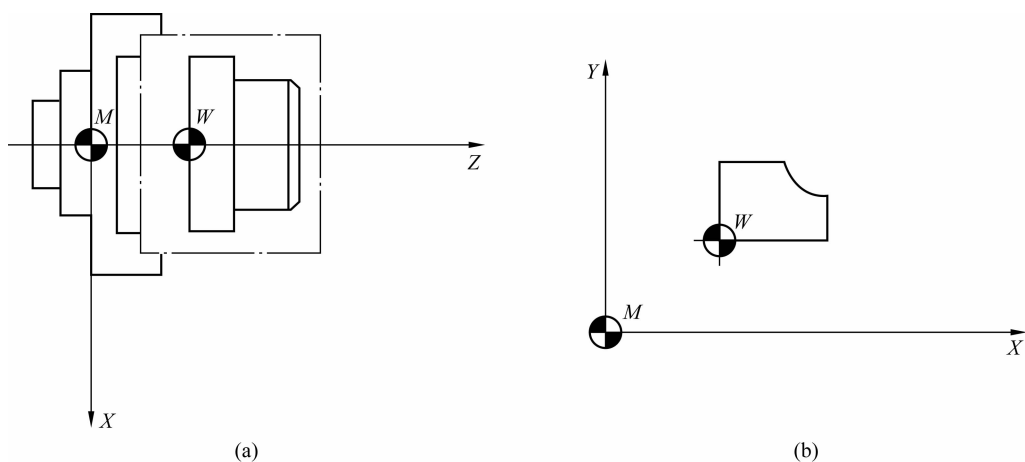


图 1-19 工件原点与机床原点的位置关系

(a) 数控车床; (b) 数控铣床

1.3.3 工件坐标系的设定

工件坐标系的设定,实际上是在机床坐标系中建立工件坐标系,使刀具在工件坐标系中沿工件的编程轨迹运动,实现零件的切削加工。

当工件在机床上固定以后,工件原点与机床原点也就有了确定的位置关系,即两坐标原点的偏差就已确定。这个偏差值通常是由机床操作者在手动操作下,通过工件测量头或对刀的方式测量的。该测量值预存到数控系统或编入 G 代码中,运行时即可实现工件原点向机床原点的偏移,使两点重合。

1. 采用 G92 指令设置工件坐标系

通常机床原点与工件原点之间的距离,可以间接地通过刀具的位置来确定,即确定工件原点与刀具当前位置的距离。以工件原点为基准,测量刀具起始点的坐标值,并把这个坐标值通过 G92 指令存到系统的存储器中,作为零件所有加工尺寸的基准点。因此,在每个程序的开头,都要设定工件原点的偏置值。其格式如下:

G92XaYbZc;在机床坐标系中设置工件坐标系

其中,X、Y、Z 的赋值 a、b、c 为工件原点与刀具当前位置 A 的距离,如图 1-20 所示。

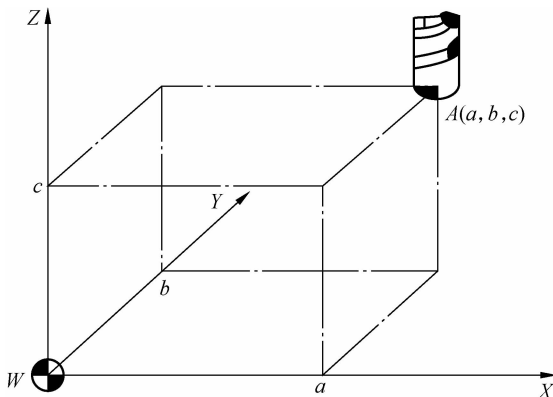


图 1-20 G92 指令设置工件坐标系

G92 指令不使机床运动,其指定的坐标值只是设定了工件原点在机床坐标系中的位置,刀具并不产生运动。

2. 采用 G54~G59 指令设置工件坐标系

使用 G54~G59 指令,可以在机床行程范围内设置 6 个不同的工件坐标系。这种指令与 G92 指令相比,无论是在数量上还是在方法上都有很大区别。用 G92 指令设置工件坐标系,是在程序中用程序段中的坐标值直接进行设置,而用 G54~G59 指令设置工件坐标系时,必须首先将 G54~G59 的坐标值设置在原点偏置寄存器中,编程时再用 G54~G59 指令调用。例如,采用 G54~G56 指令设置 3 个工件坐标系,如图 1-21 所示。

首先设置 G54~G56 原点偏置寄存器。

零件 1:

G54X12Y8Z0;

零件 2:

G55X24Y27Z0;

零件 3:

G56X42Y10Z0;

然后调用:

N0010G54; 在机床坐标系中设置第一个工件坐标系

...;加工第一个零件

N0070G55; 在机床坐标系中设置第二个工件坐标系

...;加工第二个零件

N0100G56; 在机床坐标系中设置第三个工件坐标系

...;加工第三个零件

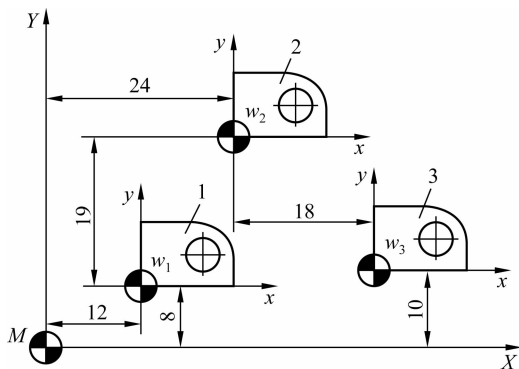


图 1-21 G54~G56 指令设置工件坐标系

显然,对于多工件原点设置,采用 G54~G59 原点偏置寄存器存储所有工件原点与机床原点的偏置值,然后在程序中直接调用 G54~G59 指令进行原点偏置是很方便的。

3. 采用 G50 指令设置工件坐标系

在数控车床或 EIA 标准中,通常用 G50 指令设置工件坐标系,如图 1-22 所示。这种指令设置工件坐标系的格式与 G92 指令相同。

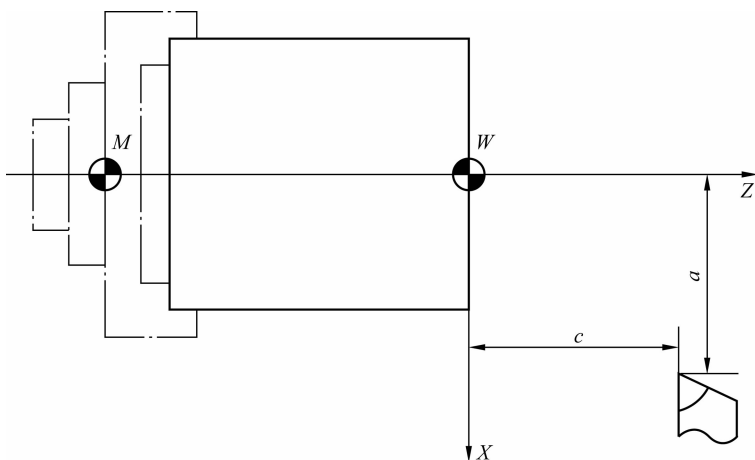


图 1-22 G50 指令设置工件坐标系(后置刀架)

指令格式如下:

G50XaZc;

其中, a 、 c 为刀尖与工件坐标系原点的距离, 也是刀具出发点的坐标值。

用 G50 指令建立的坐标系, 是一个与刀尖当前位置有直接关系的工件坐标系。这个坐标系有如下特点:

(1) X 轴的坐标零点在主轴回转中心线上。

(2) Z 轴的坐标零点可以根据图纸的技术要求和加工的方便性, 选择在工件的左、右端面或其他位置, 但必须与编程原点一致。

采用 G50 指令设置工件坐标系的方法如图 1-23 所示, 三种设置方法的指令与参数见表 1-1。

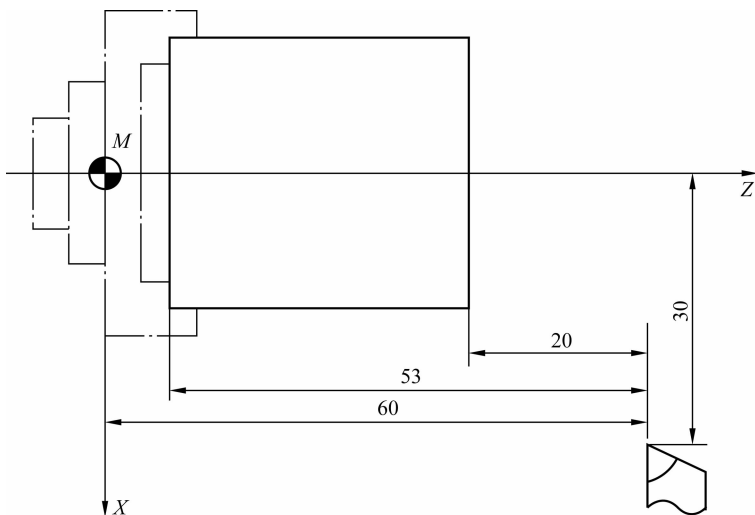


图 1-23 采用 G50 指令设置工件坐标系的方法(后置刀架)

表 1-1 工件坐标系的三种设置方法的指令与参数

Z 坐标原点	设在工件左端面	设在工件右端面	设在机床原点
程序	G50 X60 Z53;	G50 X60 Z20;	G50 X60 Z60;
刀尖与原点的距离	X=60,Z=53	X=60,Z=20	X=60,Z=60

采用工件原点偏置的方法设置工件坐标系,还可以实现零件的空运行试切加工,方法是将程序原点向刀柄方向偏移,使刀具在加工过程中离开工件一个安全距离,在运行时不与工件相接触,以免发生撞刀事故。



1.4 数控编程的步骤

数控机床加工零件与普通机床不同,它是将零件加工的工艺顺序、运动轨迹与方向、位移量、工艺参数以及辅助动作,按规定代码和格式编制成加工程序,输入数控系统,从而控制数控机床自动进行各工序的加工,完成整个零件的加工任务的。

在编制数控加工程序时,首先应了解数控机床的规格、性能、CNC 系统功能及编程指令格式。其次要对零件图样的技术要求、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析,确定加工方法和加工路线,再进行数值计算,获得刀位数据。最后按数控系统规定的代码和程序格式,将工件的尺寸、刀位数据、加工路线、切削参数和辅助功能等编制成加工程序。数控编程的步骤如图 1-24 所示。

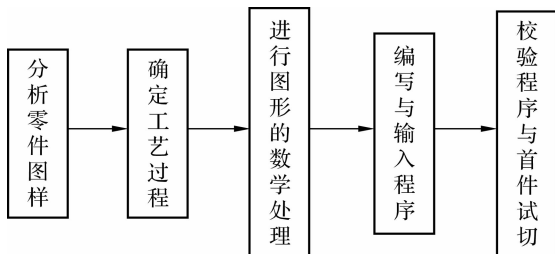


图 1-24 数控编程的步骤

1.4.1 分析零件图样

根据零件图样,分析零件的形状、尺寸、精度要求、毛坯形式、材料与热处理技术要求,选择合适的数控机床。

1.4.2 确定工艺过程

通过对零件图样的全面分析,制定零件的加工方案,充分发挥数控机床的功能,提高数控机床使用的合理性与经济性。确定工件的装夹方式,减少工件的定位和夹紧时间,缩短生产准备周期。选择合理的加工顺序和走刀路线,保证零件的加工精度和加工过程的安全性,避免发生刀具与非加工表面的干涉。合理选择刀具及切削参数,充分发挥机床及刀具的加工能力,减少换刀次数,缩短走刀路线,提高生产效率。

1.4.3 进行图形的数学处理

根据零件的几何尺寸、工艺路线及设定的工件坐标系,计算零件粗、精加工的运动轨迹。对于形状比较简单的零件(如由直线和圆弧构成的零件),要计算出各几何元素的起点、终点、圆心点、交点和切点的坐标值。对于形状比较复杂的零件(如由非圆曲线、曲面构成的零件),需要用直线段或圆弧段逼近,根据要求的精度计算出节点坐标值。这种情况一般要用计算机来完成数值计算的工作。

1.4.4 编写与输入程序

根据计算出的刀具运动轨迹坐标值和已确定的工艺参数及辅助动作,按照数控系统规定的功能指令代码和程序格式,逐段编写零件加工程序。将编写好的程序记录在控制介质上,通过手工输入或通信传输的方式输入机床的数控系统。

1.4.5 校验程序与首件试切

程序必须经校验和首件试切才能正式使用。利用数控机床的空运行功能,观察刀具的运动轨迹和坐标显示值的变化,检验数控程序。也可用笔代替刀具,用坐标纸代替工件,进行空运转画图来检验。在有 CRT 图形模拟功能的数控机床上,可通过显示进给轨迹或模拟刀具对工件的切削过程,对程序进行检验。

上述这些校验方法只能检验出运动轨迹是否正确,不能检验被加工零件的加工精度和表面质量。因此,要进行首件试切,根据试切情况分析产生误差的原因,采取尺寸补偿措施,修改加工程序。



1.5 数控编程的方法

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

对于加工形状简单、计算量不大、程序段较少的零件,采用手工编程比较合适。在点位加工或由直线和圆弧构成的平面轮廓加工中,手工编程得到广泛的应用。但是,对于几何形状复杂的零件,尤其是由非圆曲线和空间曲面构成的零件,由于编程计算工作量大,容易出错,有时甚至无法编写出程序,因此,必须采用自动编程的方法编写程序。

1.5.1 手工编程

从分析零件图样、确定工艺过程、进行图形的数学处理、编写与输入程序到校验程序与首件试切等各步骤,主要由人工完成的编程过程称为手工编程。手工编程的过程如图 1-25 所示。

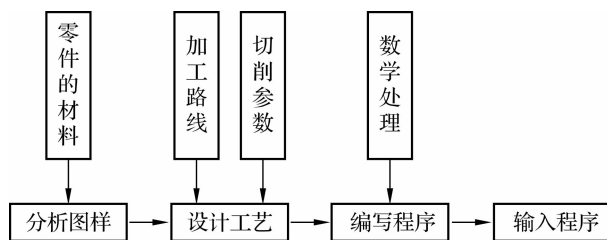


图 1-25 手工编程的过程

1.5.2 自动编程

自动编程是利用计算机软件编制数控加工程序的过程。CAD/CAM 是计算机辅助设计与制造(computer-aided design/manufacturing)的缩写,是一种将零件的几何图形信息自动转换为数控加工程序的自动编程技术。它通常以待加工零件的 CAD 模型为基础,调用数控编程模块,采用人机交互方式在屏幕上指定被加工的部位,输入加工参数,计算机自动进行数学处理,编制出数控加工程序,同时在计算机屏幕上动态地显示出刀具的加工轨迹。其工作原理与过程如图 1-26 所示。

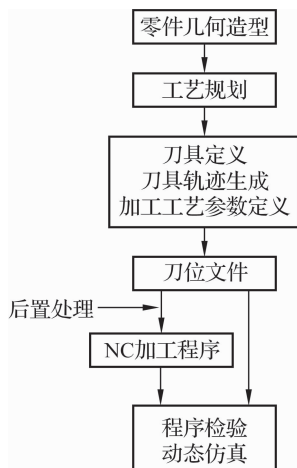


图 1-26 CAD/CAM 软件自动编程的工作原理与过程



1.6 数控编程的特点

数控系统的位置和运动控制指令可以采用两种编程坐标系进行编程,即绝对坐标编程和增量坐标编程。

1.6.1 绝对坐标编程及其特点

在坐标系中,都是以固定的坐标原点为起点,计算各点的坐标值,这样的坐标系称为绝对坐标系。利用绝对坐标系确定刀具(或工件)运动轨迹坐标值的编程方法,称为绝对坐标

编程。如图 1-27(a)所示, A、B、C 三点的坐标是以固定的坐标原点 O 计算的, 其值为: $XA=20, YA=10; XB=10, YB=40; XC=30, YC=30$ 。

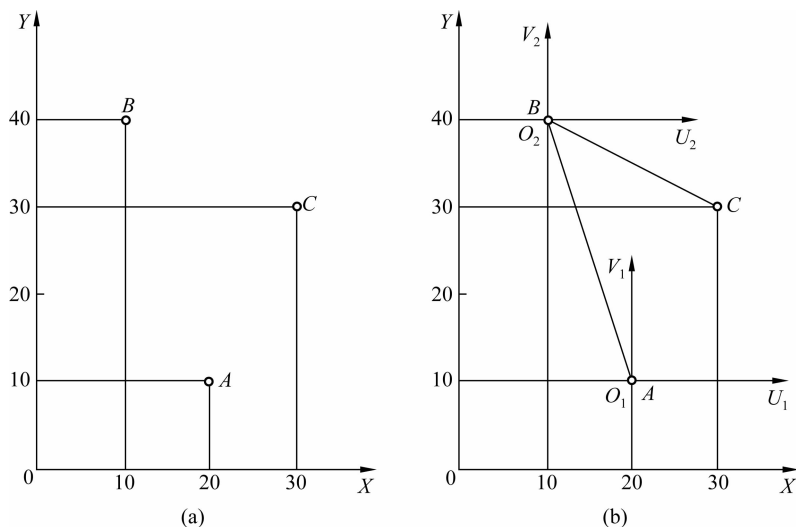


图 1-27 绝对坐标编程与增量坐标编程比较

(a)绝对坐标编程; (b)增量坐标编程

绝对坐标值与刀具(或工件)的运动方向无关,它是由运动轨迹终点在坐标系中的位置决定的。绝对坐标编程在程序段中用 G90 指令来设定,该指令表示后续程序中的所有编程尺寸都是按绝对坐标值给定的。一般数控系统启动后自动设置为绝对坐标编程状态,有的数控系统在程序段中不用 G90 指令设定绝对坐标编程,而直接用 X、Y、Z 给定刀具(或工件)运动轨迹的绝对坐标值。

1.6.2 增量坐标编程及其特点

在坐标系中,刀具(或工件)运动轨迹的坐标值是以前一个位置为零点计算的,这样的坐标系称为增量坐标系,又称为相对坐标系。利用增量坐标系确定刀具(或工件)运动轨迹坐标值的编程方法,称为增量坐标编程。如图 1-27(b)所示, B、C 两点的坐标均是相对于前一点计算的,其值为: $UB=-10, VB=30; UC=20, VC=-10$ 。

增量坐标值与刀具(或工件)的运动方向有关,当刀具运动的方向与机床坐标系的正方向相同时为正,反之为负。

增量坐标编程在程序段中用 G91 指令来设定,该指令表示后续程序中的所有编程尺寸都是按增量坐标值给定的。有的数控系统在程序段中不用 G91 指令设定增量坐标编程,而直接用 U、V、W 给定刀具(或工件)运动轨迹在 X、Y、Z 方向的增量坐标值。

编程时采用哪种方式都是可行的,但有方便与否之分。例如,当孔的加工尺寸由一个固定基准给定时,如图 1-28(a)所示,采用绝对坐标编程方式是方便的。如果孔的加工尺寸是以各孔之间的距离给定的,如图 1-28(b)所示,那么采用增量坐标编程则是方便的。

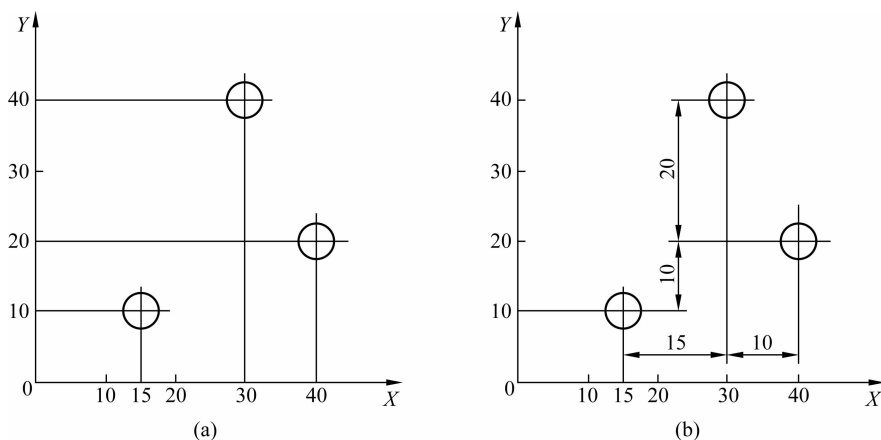


图 1-28 绝对坐标编程与增量坐标编程的选择

(a)绝对坐标编程；(b)增量坐标编程

1.7 数控编程的格式及常用指令

数控编程时,必须先了解数控程序的结构和编程规则,才能正确地编写数控加工程序。

1.7.1 程序的组成

数控机床自动加工工件时需要执行 NC 程序,NC 程序也称为工件程序或零件程序。零件加工程序编制包括从分析零件图、处理工艺、计算数值、编写程序到校验程序等各个步骤,必须遵守数控编程的有关标准和规定,并参照具体的机床说明书。西门子数控系统 NC 程序编写要求如下。

1. 程序名称

为了识别程序和调用程序,每个程序均有一个程序名。在编制程序时可以按以下规则确定程序名:

- (1)开始的两个符号必须是字母。
- (2)其后的符号可以是字母、数字或下划线。
- (3)最多为 16 个字符。
- (4)不得使用分隔符。

例如,WELLE527。

2. 程序字及地址符

程序字是组成程序段的元素,由程序字构成控制器的指令。程序字由以下几部分组成:

- (1)数值:是一个数字串,它可以带正负号和小数点,正号可以省略不写。
- (2)地址符:一般是一个字母,也可以包含多个字母,这时数值与字母之间可以用符号“=”隔开,例如 CR=5.23。

此外,G 功能也可以通过一个符号名进行调用。如用 SCALE 即可打开比例系数。程序