



“十四五”职业教育河南省规划教材

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG  
YUCAOZUO

# 数控机床编程 与操作

主编 张保生



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

## 内 容 简 介

本书分上、下两篇共 11 个项目,上篇为数控编程与加工基础,内容包括数控编程的基本知识、数控加工工艺,下篇为单缸摇臂式蒸汽机制作,内容包括单缸摇臂式蒸汽机的传动轴、轴承套、气缸连杆、手柄、散热气缸、底座和立柱的加工,以及数控铣工拓展练习和数控车工拓展练习。

本书可作为高等职业学校数控技术专业及相关专业的教学用书,也可作为企业数控人员的培训教材或自学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作 / 张保生主编. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2023. 11  
ISBN 978-7-5635-7064-5

I. ①数… II. ①张… III. ①数控机床—程序设计 ②数控机床—操作 IV. ①TG659

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 225900 号

策划编辑:朱婉茜 责任编辑:张海红 封面设计:刘文东

---

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码:100876

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销:各地新华书店

印 刷: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

印 张:17 插页 1

字 数:352 千字

版 次:2023 年 11 月第 1 版

印 次:2023 年 11 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-7064-5

定 价:55.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233



# Preface 前言

党的二十大报告指出,我国要“建设现代化产业体系。坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,推进新型工业化,加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国”。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通过发展数控技术、建立数控机床产业,促进制造业跨入一个新的发展阶段,给国民经济的结构带来了巨大的变化。我国是机械制造业大国,数控机床的普及急需大批掌握数控设备的编程和操作技能的高素质人才。数控机床编程与操作课程是数控技术、机械制造与自动化、模具设计与制造、机电一体化技术等专业的专业核心课程。通过本课程的学习,可以让学生掌握数控机床编程的基础知识、数控系统编程指令的使用方法,了解几种常见的数控系统的编程特点,掌握数控机床操作的基础知识,数控机床的程序建立、对刀加工,应用仿真软件进行程序验证、模拟生产等。

本书贯彻了以技能训练为主线,相关知识为支撑的思路,较好地处理了理论教学和技能训练的关系,紧密联系生产实际和《国家职业技能标准》相关工种的要求,体现出科学性、实用性和先进性。本书主要特色如下。

(1)编写模式新颖,教材体系体现职业教育特色。贯彻“以服务为宗旨,以就业为导向”的职业教育方针,以“工作项目为引导,工作任务为驱动,行动体系为框架”的教材体系。教材紧紧围绕学生关键能力的培养来组织教材的内容,在确保理论知识实用、够用的基础上,融合加工工艺、工量夹具的使用等知识,培养学生数控设备编程操作岗位工作能力。

(2)在项目的选取上以单缸摇臂式蒸汽机零件为原型进行设计,任务围绕项目,由易到难,层层分解,帮助学生理解和掌握项目实施中的核心知识点,注重“理论—实践—理论”循环培养,提高学生综合解决问题的能力。





(3)为便于学生阅读理解和考核需要,本书植入二维码,配套有资源学习 App,可以扫描二维码进入课程网站,浏览教学视频、动画、图片、文本等内容,增强学习效果。情分析,使过程性评价有据可循。

本书分为上下两篇,共 11 个项目,参考课时为 96 课时,各任务参考课时如下。

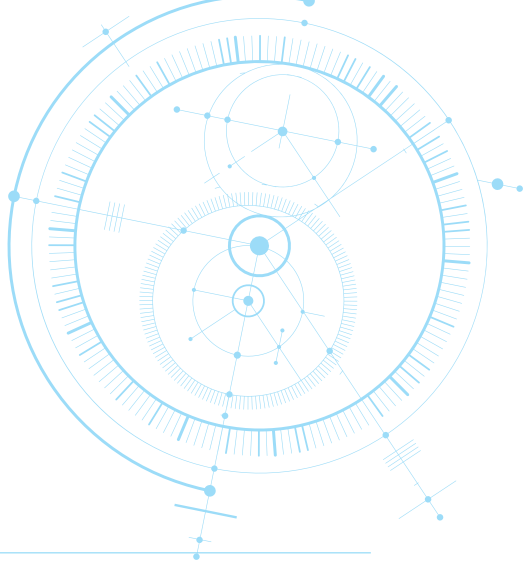
课程内容		理论 课时	实践性 课时	合计
上篇:数控编程与加工基础	项目一 数控编程的基础知识	4	0	4
	项目二 数控加工工艺	2	2	4
下篇:单缸摇臂式蒸汽机制作	项目三 单缸摇臂式蒸汽机——传动轴的加工	4	8	12
	项目四 单缸摇臂式蒸汽机——轴承套的加工	4	8	12
	项目五 单缸摇臂式蒸汽机——气缸连杆的加工	4	4	8
	项目六 单缸摇臂式蒸汽机——手柄的加工	4	4	8
	项目七 单缸摇臂式蒸汽机——散热气缸的加工	4	8	12
	项目八 数控车工拓展练习	0	4	4
	项目九 单缸摇臂式蒸汽机——底座的加工	4	8	12
	项目十 单缸摇臂式蒸汽机——立柱的加工	4	8	12
	项目十一 数控铣工拓展练习	0	8	8
合计		34	62	96

本书由许昌职业技术学院张保生担任主编,许昌职业技术学院刘琦、张加丽担任副主编,参加编写的还有许昌职业技术学院李爱敏、刘亚楠、佟军民,许昌电气职业学院王银洲、李莲英。其中,项目一、项目二、项目八由张保生编写,项目三、项目十一由张加丽编写,项目四、项目五由李莲英编写,项目六、项目七由王银洲编写,项目九、附录一、附录二由刘琦编写,项目十、附录三由刘亚楠编写。许昌职业技术学院李爱敏对本书进行统稿,许昌职业技术学院佟军民担任本书主审。

本书在编写过程中得到了中国机械工程学会、通用技术沈阳机床、广州中望龙腾软件股份有限公司等行业企业专家的大力支持,在这里一并表示感谢!

本书为主编团队对项目化新形态教材的理解与实践。由于编者水平有限,书中难免会有一些不足之处,欢迎广大读者批评指正。

编者



# Contents 目 录

## 上篇 数控编程与加工基础

<b>项目一 数控编程的基础知识</b>	<b>2</b>
一、数字控制	2
二、数控系统(NC system)	2
三、计算机数控系统(computer numerical control system)	2
四、数控机床(NC machinetool)	3
<b>任务一 数控加工原理</b>	<b>3</b>
一、数控加工过程	3
二、数据转换与控制过程	4
<b>任务二 机床坐标系与工件坐标系</b>	<b>4</b>
一、机床坐标系	5
二、基准坐标系	8
三、基准零点坐标系	9
四、可设定的零点坐标系	10
五、工件坐标系	10
六、坐标原点	11
七、工件坐标系的设定	12
<b>任务三 数控编程的步骤</b>	<b>15</b>
一、分析零件图样	16
二、确定工艺过程	16
三、进行图形的数学处理	16
四、编写与输入程序	16
五、校验程序与首件试切	16
<b>任务四 数控编程方法</b>	<b>17</b>
一、手工编程	17
二、自动编程	17
<b>任务五 数控编程的特点</b>	<b>18</b>
一、绝对坐标编程及其特点	18





二、增量坐标编程及其特点 .....	18
<b>任务六 数控编程格式及常用指令 .....</b>	<b>19</b>
一、程序的组成 .....	19
二、子程序 .....	21
三、准备功能指令 .....	23
四、辅助功能指令 .....	23
五、其他功能指令 .....	24

**项目二 数控加工工艺** 25

<b>任务一 数控加工工艺的主要内容及特点 .....</b>	<b>25</b>
一、数控加工工艺的主要内容 .....	25
二、数控加工工艺的特点 .....	25
<b>任务二 程序编制中的数值计算 .....</b>	<b>26</b>
一、基点和节点的坐标计算 .....	26
二、刀具中心轨迹的计算 .....	27
三、辅助计算 .....	27
<b>任务三 数控加工工艺文件的编制 .....</b>	<b>28</b>
一、数控加工工艺规程卡 .....	28
二、数控加工工序卡 .....	28
三、数控加工刀具卡 .....	29
<b>任务四 数控车削加工工艺的编制 .....</b>	<b>29</b>
一、编程原点的选择 .....	29
二、数控车削加工中的几个特殊点 .....	30
三、数控车削工艺路线的确定 .....	31
四、数控车削工艺参数的选择 .....	33
<b>任务五 数控铣削加工工艺的编制 .....</b>	<b>38</b>
一、工艺分析 .....	38
二、编程尺寸的确定 .....	38
三、工件的装夹与定位 .....	39
四、进刀与退刀的工艺处理 .....	40
五、加工路线的确定 .....	41
六、切削方式的确定 .....	44
七、工艺参数的选择 .....	44

**下篇 单缸摇臂式蒸汽机制作**

**项目三 单缸摇臂式蒸汽机——传动轴的加工** 48

<b>任务一 工艺分析 .....</b>	<b>49</b>
<b>任务二 知识准备 .....</b>	<b>49</b>



一、数控车床 SINUMERIK 808D 系统辅助功能指令 (M/S/F/T 指令) .....	49
二、数控车床 SINUMERIK 808D 系统基本 G 指令 .....	52
<b>任务三 程序编制</b> .....	<b>58</b>
<b>任务四 仿真验证</b> .....	<b>59</b>
一、认识数控车床(SIEMENS808D 数控系统) 面板 .....	59
二、利用仿真软件模拟加工 .....	61
<b>任务五 项目工单</b> .....	<b>73</b>
<b>任务六 拓展知识</b> .....	<b>74</b>
一、华中世纪星数控车床的操作装置 .....	75
二、数控车床的基本操作 .....	79
三、数控车床的数据设置 .....	80
四、数控车床的程序运行 .....	83

#### **项目四 单缸摇臂式蒸汽机——轴承套的加工** 85

<b>任务一 工艺分析</b> .....	<b>86</b>
<b>任务二 知识准备</b> .....	<b>87</b>
<b>任务三 程序编制</b> .....	<b>90</b>
<b>任务四 仿真验证</b> .....	<b>91</b>
<b>任务五 项目工单</b> .....	<b>94</b>
<b>任务六 拓展知识(数控车床对刀方法)</b> .....	<b>95</b>
一、数控车床对刀法的原理及对刀思路 .....	95
二、几种粗略对刀方法介绍 .....	97
三、几种精确对刀方法介绍 .....	100

#### **项目五 单缸摇臂式蒸汽机——气缸连杆的加工** 103

<b>任务一 工艺分析</b> .....	<b>104</b>
<b>任务二 知识准备</b> .....	<b>104</b>
一、螺纹加工相关参数 .....	104
二、恒螺距螺纹切削指令 G33 .....	106
三、螺纹车削循环指令 CYCLE99 介绍 .....	109
<b>任务三 程序编制</b> .....	<b>110</b>
一、刀具选用 .....	110
二、编制加工程序 .....	110
<b>任务四 仿真验证</b> .....	<b>112</b>





任务五	项目工单	113
任务六	拓展知识	114
	一、螺纹车刀的选用与安装	114
	二、梯形螺纹的车削加工	115

## 项目六 单缸摇臂式蒸汽机——手柄的加工 118

任务一	工艺分析	119
任务二	知识准备	120
	一、圆弧插补指令 G2、G3	120
	二、刀尖圆弧半径补偿指令 G41/G42/G40	123
任务三	程序编制	127
	一、刀具选用	127
	二、编制加工程序	127
任务四	仿真验证	129
任务五	项目工单	130
任务六	拓展知识	131
	一、各种弧形车削加工的方式	131
	二、圆弧加工刀具	132
	三、圆弧分层切削法举例	133
	四、先锥后圆弧法举例	135

## 项目七 单缸摇臂式蒸汽机——散热气缸的加工 136

任务一	工艺分析	137
任务二	知识准备	138
	一、凹槽加工的特点	138
	二、凹槽车削循环 CYCLE93	138
	三、退刀槽精车循环 CYCLE94	142
任务三	程序编制	143
任务四	仿真验证	143
任务五	项目工单	145
任务六	拓展知识(车削加工沟槽的技术要点)	146
	一、刀尖位置	146
	二、机床设计和技术条件	146
	三、了解工件材料特性	147
	四、选用成形刀具	147
	五、进给量和切削速度的作用	147
	六、选择刀具涂层	147





七、采用正确加工顺序·····	147
八、切槽刀的选择·····	148

## 项目八 数控车工拓展练习 149

## 项目九 单缸摇臂式蒸汽机——底座的加工 161

<b>任务一 工艺分析</b> ·····	162
一、零件加工工艺分析·····	162
二、孔加工循环·····	162
<b>任务二 知识准备</b> ·····	163
一、平面选择指令 G17、G18、G19·····	163
二、矩形凸台铣削循环指令 CYCLE76·····	164
三、矩形腔体铣削循环指令 POCKET3·····	166
四、刻字循环指令 CYCLE60·····	169
五、平面铣削循环指令 CYCLE61·····	170
<b>任务三 程序编制</b> ·····	172
一、工步 2 程序示例·····	173
二、工步 3 程序示例·····	175
三、工步 5 程序示例·····	175
四、工步 7 程序示例·····	176
<b>任务四 仿真验证</b> ·····	176
<b>任务五 项目工单</b> ·····	181
<b>任务六 拓展知识</b> ·····	182
一、极坐标形式的尺寸编程指令(G110、G111、G112) ·····	182
二、SINUMERIK 828D 数控铣床系统其他循环指令 的应用·····	184

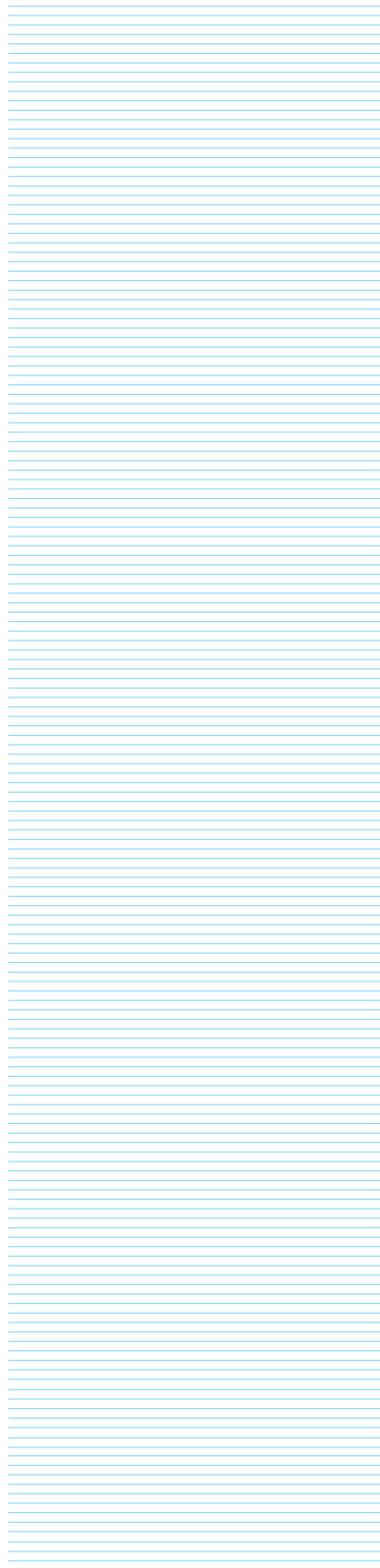
## 项目十 单缸摇臂式蒸汽机——立柱的加工 194

<b>任务一 工艺分析</b> ·····	196
<b>任务二 知识准备</b> ·····	196
一、轮廓路径铣削循环指令 CYCLE72·····	196
二、钻中心孔循环指令 CYCLE81·····	198
三、深孔钻削循环指令 CYCLE83·····	200
<b>任务三 程序编制</b> ·····	203
一、工序 2 程序示例·····	204
二、工序 3 程序示例·····	205





三、工序 5 程序示例	206
四、工序 6、工序 7 程序示例	206
五、工序 8 程序示例	207
六、工序 9 程序示例	207
<b>任务四 仿真验证</b>	<b>207</b>
<b>任务五 项目工单</b>	<b>209</b>
<b>任务六 拓展知识</b>	<b>210</b>
一、创建工件毛坯	210
二、轮廓铣削循环指令	212
三、浅孔钻削循环指令(CYCLE82)	218
四、孔的位置确定循环指令	220
<b>项目十一 数控铣工拓展练习</b>	<b>227</b>
<b>附    录</b>	<b>236</b>
附录一 SINUMERIK 828D 数控车削系统基本指令查询	236
附录二 SINUMERIK 828D 数控铣削系统基本指令查询	238
附录三 数控车铣加工职业技能等级证书考核标准 (X 证书)	247
<b>参考文献</b>	<b>264</b>



# 上篇 数控编程与加工基础

# 项目

## 数控编程的基础知识

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。

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、磨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。

### 一、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)。

### 二、数控系统(NC system)

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。

### 三、计算机数控系统(computer numerical control system)

计算机数控系统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(programmable logical controller,PLC)、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。

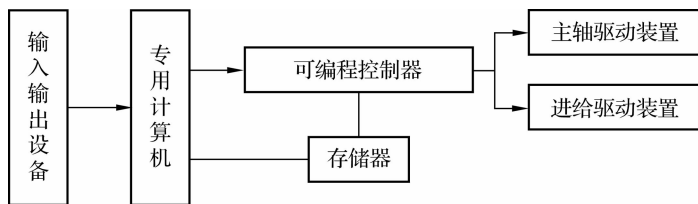


图 1-1 CNC 系统的组成



## 四、数控机床(NC machinetool)

数控机床是指应用数控技术对其运动和辅助动作进行自动控制的机床。

### 任务一

## 数控加工原理

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,划分数控加工工序,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。

### 一、数控加工过程

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。

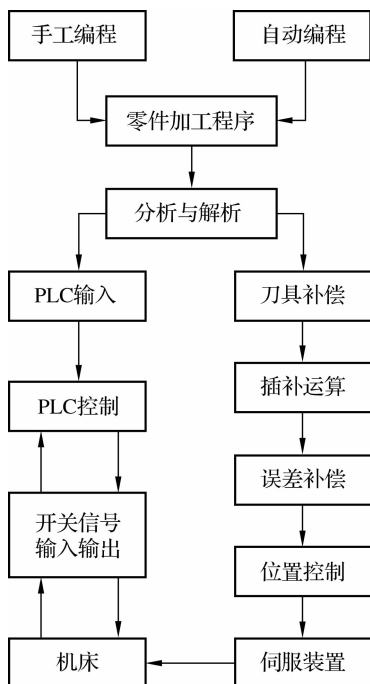


图 1-2 数控加工过程





## 二、数据转换与控制过程

CNC 系统的数据转换过程如图 1-3 所示。

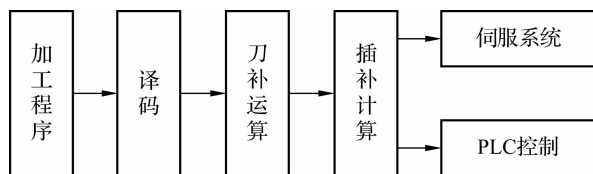


图 1-3 CNC 系统的数据转换过程

### 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。

## 任务二

### 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 SINUMERIK828D 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  $W$ )。

## 一、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  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 。

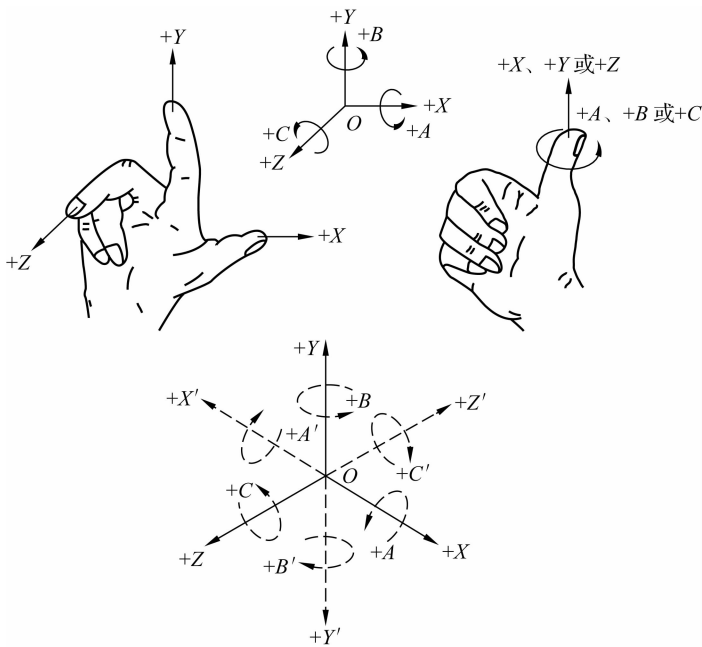


图 1-4 笛卡儿右手直角坐标系

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) Z 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“'”的表示刀具相对于工件运动的正方向,带“'”的表示工件相对于刀具运动的正方向。

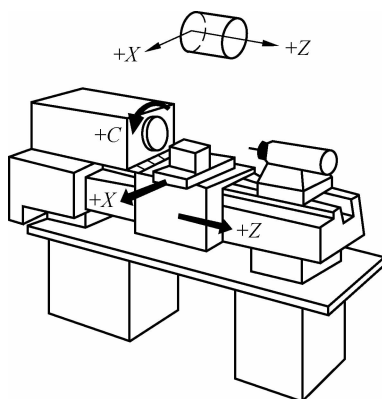


图 1-5 数控车床

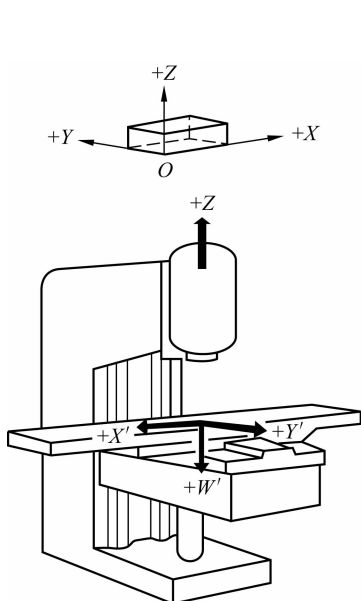


图 1-6 数控立式升降台铣床

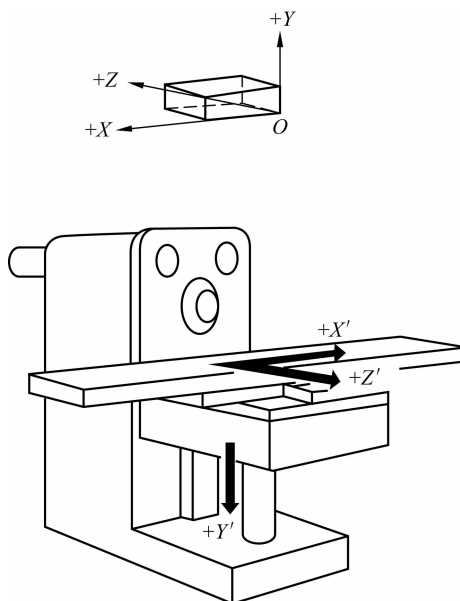


图 1-7 数控卧式升降台铣床





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。

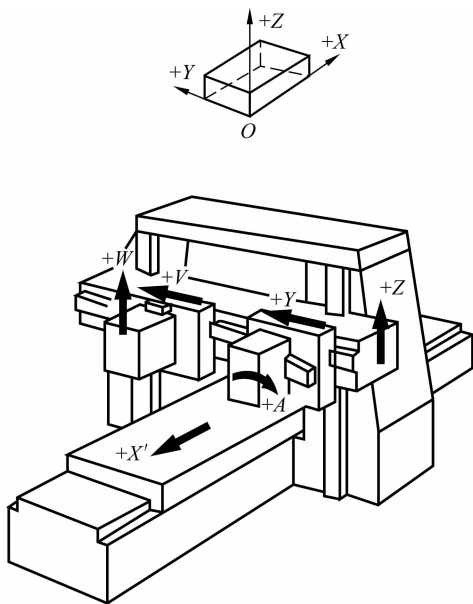


图 1-8 数控龙门铣床

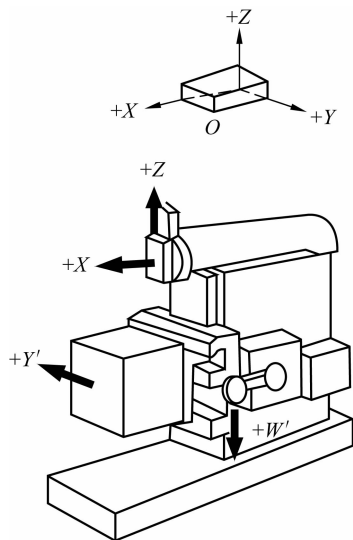


图 1-9 数控牛头刨床

## 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。

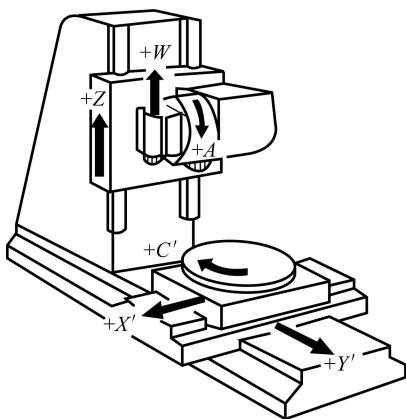
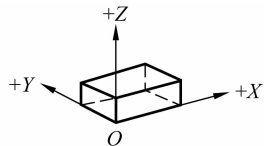


图 1-10 五坐标数控铣床

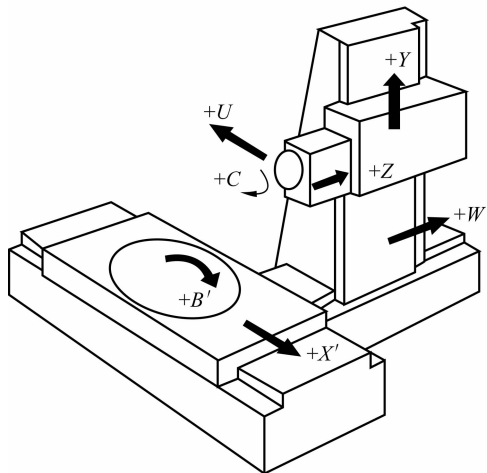
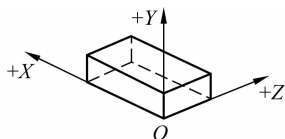


图 1-11 数控卧式镗铣床

## 二、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。

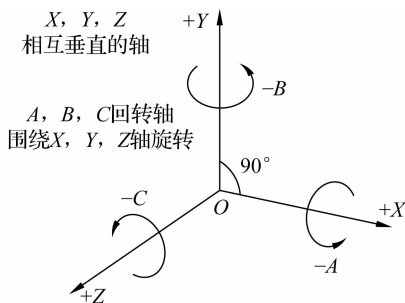


图 1-12 机床坐标系六个轴方向

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。

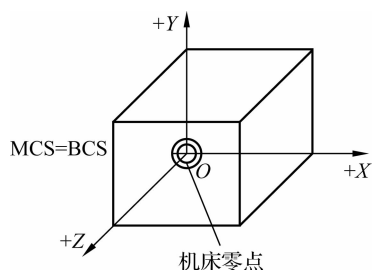


图 1-13 MCS 与不带运动转换的 BCS 重合

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,机床轴与几何轴必须使用不同的名称。

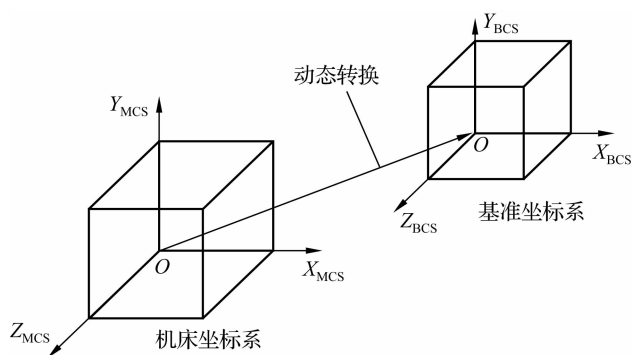


图 1-14 MCS 和 BCS 间存在运动转换

### 三、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。

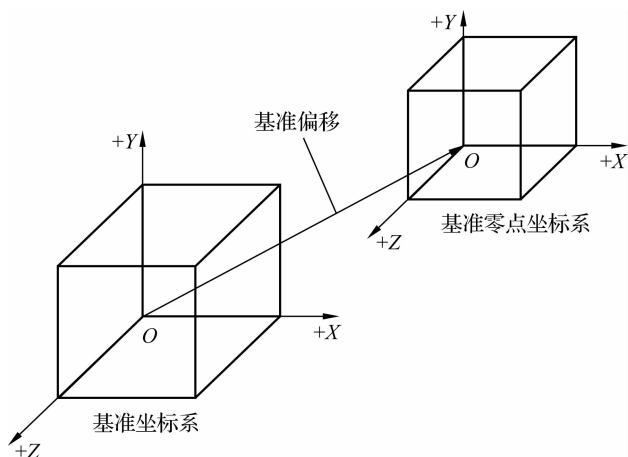


图 1-15 基准零点坐标系





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。

#### 四、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 G 指令 G54~G59 和 G507~G599 来激活可设定的零点坐标系。

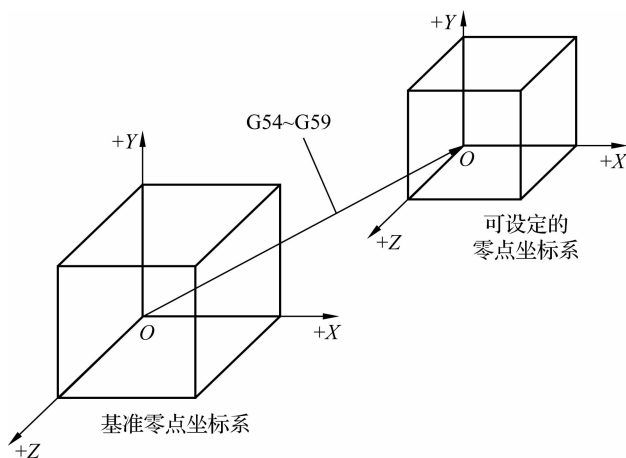


图 1-16 可设定的零点坐标系

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。

#### 五、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。



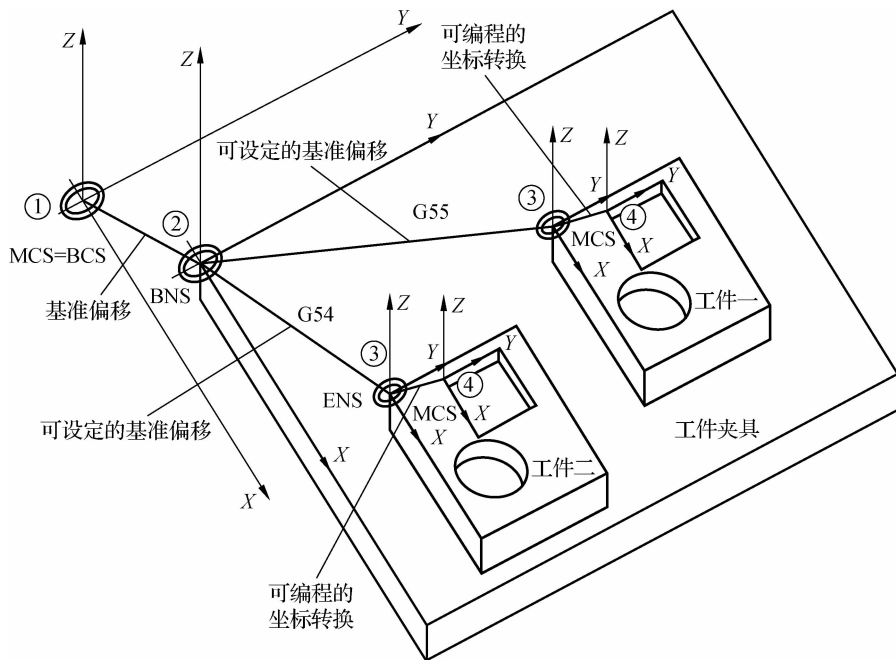


图 1-17 五种坐标系之间的关联性

- 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 可编程序的坐标转换确定工件坐标系。
- ⑤ 可编程序的坐标转换(框架)未激活时,可设定的零点坐标系为工件坐标系。

## 六、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。

### 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

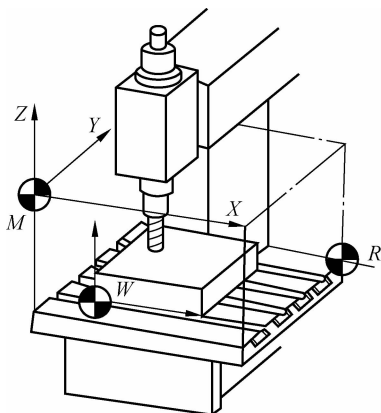


图 1-18 数控铣床的坐标原点  
(三个点的位置有误)





区的一个固定点,与机床原点有确定的尺寸联系,用“R”表示。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,也称程序原点或编程原点,用“W”表示。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。

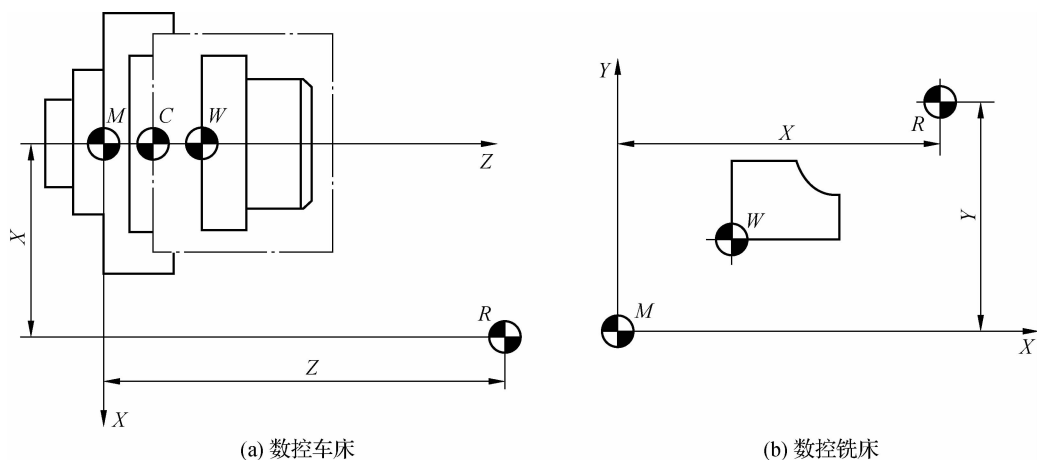


图 1-19 工件原点与机床原点

## 七、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。

G92 Xa Yb Zc; [在机床坐标系中设置工件坐标系]

其中,X、Y、Z 的值为工件原点与刀具当前位置 A 的距离,如图 1-20 所示。

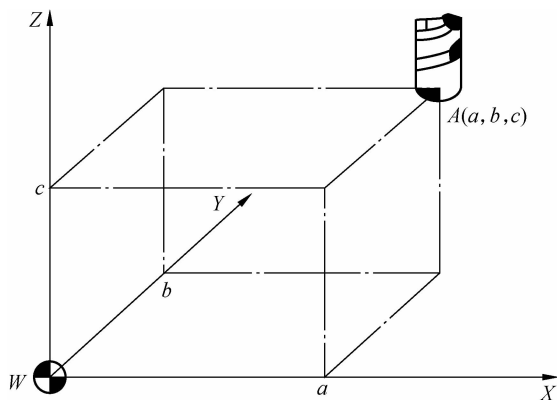


图 1-20 G92 指令设置工件坐标系

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:G54 X12 Y8 Z0;

零件 2:G55 X24 Y2 Z0;

零件 3:G56 X42 Y10 Z0;

然后调用。

N0010 G54; [在机床坐标系中设置第一个工件坐标系]

... [加工第一个零件]





N0070 G55; [在机床坐标系中设置第二个工件坐标系]  
 ... [加工第二个零件]  
 N0100 G56; [在机床坐标系中设置第三个工件坐标系]  
 ... [加工第三个零件]

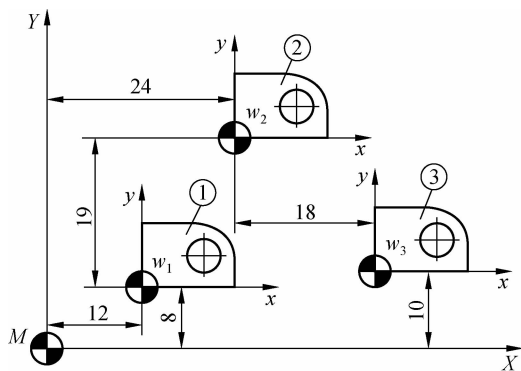


图 1-21 G54~G56 指令设置工件坐标系

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。

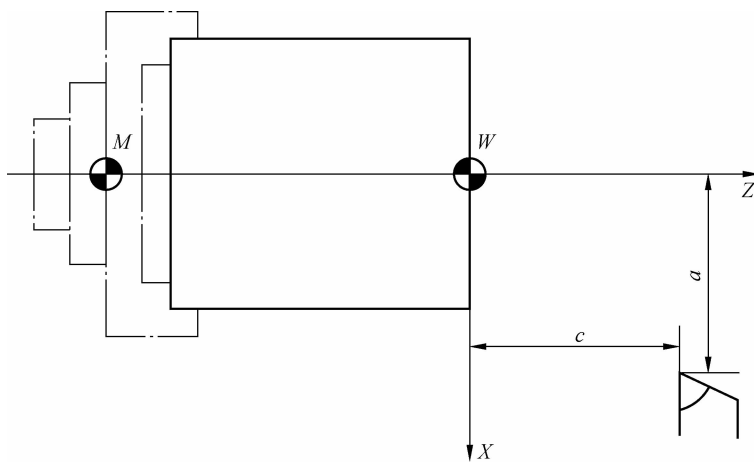


图 1-22 G50 指令设置工件坐标系(按后置刀架)

指令格式如下。

G50 Xa Zc;

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。

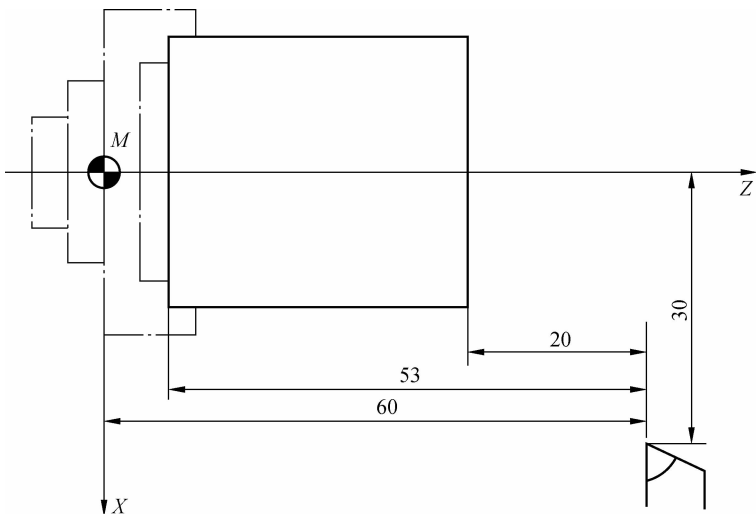


图 1-23 采用 G50 指令设置工件坐标系的方法(后置刀架)

表 1-1 工件坐标系的三种设置方法的指令与参数

Z 坐标原点设置	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。

## 任务三

### 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。

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,如图 1-24 所示。

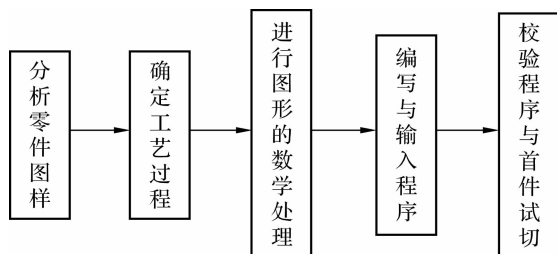


图 1-24 数控编程的步骤

## 一、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。

## 二、确定工艺过程

通过对零件图样的全面分析,拟订零件的加工方案,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。合理选择刀具及其切削参数,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。

## 三、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。

## 四、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段格式,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。

## 五、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。

## 任务四

### 数控编程方法

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

#### 一、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。

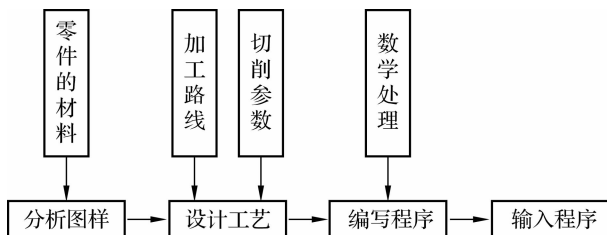


图 1-25 手工编程的过程

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。

#### 二、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。

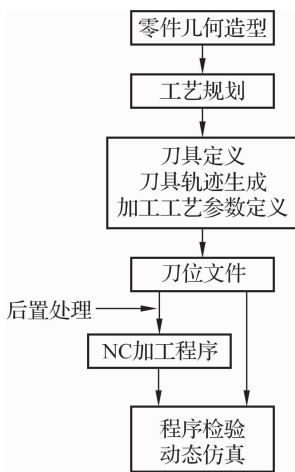


图 1-26 CAD/CAM 软件自动编程的工作原理与过程





## 任务五

### 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。

#### 一、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: $X_A=20, Y_A=10; X_B=10, Y_B=40; X_C=30, Y_C=30$ 。

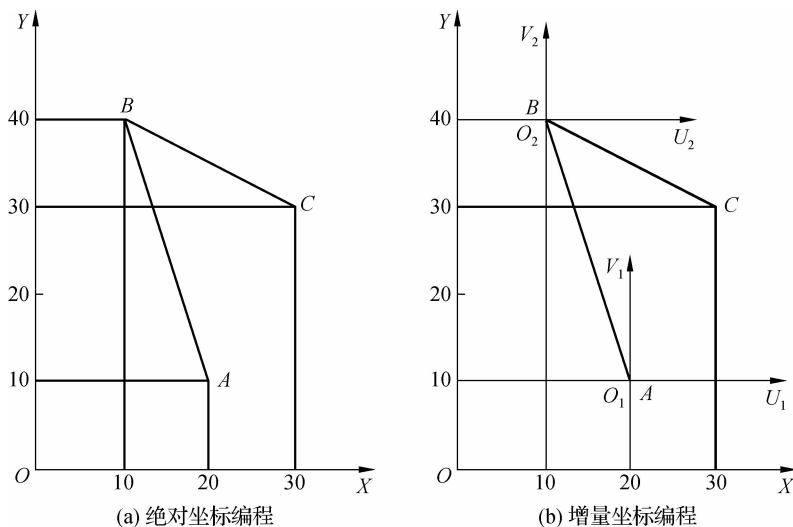


图 1-27 绝对坐标编程与增量坐标编程比较

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。

#### 二、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: $U_B=-10, V_B=30; U_C=20, V_C=-10$ 。



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。

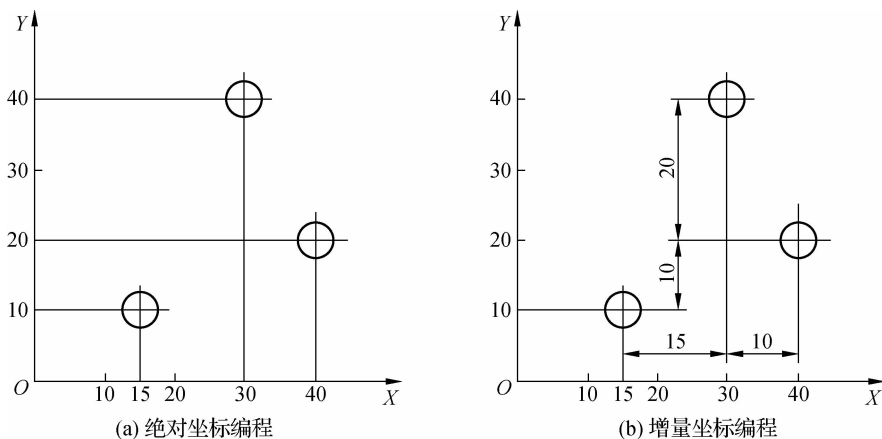


图 1-28 绝对坐标与增量坐标编程的选择

## 任务六

### 数控编程格式及常用指令

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。

#### 一、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进行编程。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 SCALE,即可打开比例系数。

字的功能类别由地址符决定,字的排列顺序要求不严格,数据的位数可多可少,不需要的字以及与上一程序段相同的程序字可以不写。常用地址符的含义见表 1-2。

表 1-2 常用地址符的含义

功 能	地 址 符	含 义
程序号	O、P、%	程序编号,子程序号的指定
程序段号	N	程序段顺序号
准备功能	G	机床动作方式指令
坐标字	X、Y、Z	坐标轴的移动地址
	A、B、C;U、V、W	附加轴的运动地址
	I、J、K	圆心坐标地址
进给速度	F	进给速度的指令
主轴功能	S	主轴转速指令
刀具功能	T	刀具编号指令
辅助功能	M	机床开/关指令
	B	工作台回转(分度)指令
补偿功能	H、D	补偿号指令
暂停功能	P、X	暂停时间指令
重复次数	L	子程序及固定循环的重复次数指令
圆弧半径	R	圆弧半径地址

## 3. 程序段

一个程序段中含有执行一个工序所需的全部数据。程序段由若干个程序字和段结束符 LF(通常用“;”表示)组成。在程序编写过程中,进行换行时或按输入键时可以自动产生段结束符。

程序段中有多个程序字时建议按如下顺序。

N\_ G\_ X\_ Z\_ F\_ S\_ T\_ D\_ M\_ LF

那些无须在每次运行中都执行的程序段可以被跳跃过去,为此应在这样的程序段的段号之前输入斜线符“/”。通过操作机床控制面板或通过 PLC 接口控制信号可以使跳跃程序段功能生效。在程序运行过程中,一旦跳跃程序段功能生效,则所有带“/”的程序段





都不予执行,当然这些程序段中的指令也不予考虑,程序从下一个没有带“/”的程序段开始执行。

NC 程序由若干个程序段组成,每一个程序段执行一个加工步骤。程序段由若干个程序字组成。最后一个程序段包含程序结束符 M2 或 M30。西门子数控系统采用的程序段格式是目前通用的程序段格式。例如以下格式。

```
SKC001.MPF
N10 M3 S400 T1 D1
N20 G0 X66 Z100
N30 G96 S100 LIMS = 1500
N40 G1 X - 1 F0.3
N50 G97 Z1 01
...
N× × M30
```

## 二、子程序

### 1. 子程序的应用

子程序的扩展名为\_SPF。原则上讲,主程序和子程序之间并没有区别。用子程序编写经常重复进行的加工,如某一确定的轮廓形状的加工。子程序是可以被调用的程序,子程序位于主程序中适当的地方,在需要时进行调用、运行。例如,在一个工件上四次调用子程序加工不同位置的相同形状,如图 1-29 所示。

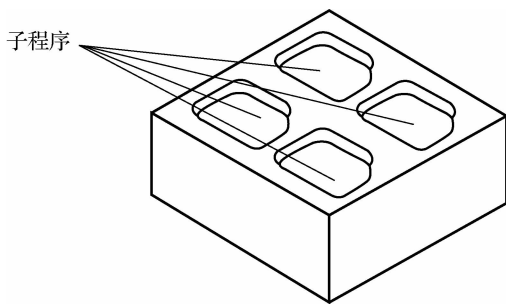


图 1-29 调用子程序加工实例

### 2. 子程序的结构

子程序的结构与主程序的结构一样。在子程序中也是在最后一个程序段中用 M2 结束程序运行。子程序结束后返回主程序。

### 3. 子程序的程序结束

除了用 M2 指令外,还可以用 RET 指令结束子程序。RET 要求占用一个独立的程序段。

用 RET 指令结束子程序、返回主程序时不会中断 G64 连续路径运行方式。用 M2 指令则会中断 G64 运行方式,并进入停止状态,如图 1-30 所示。



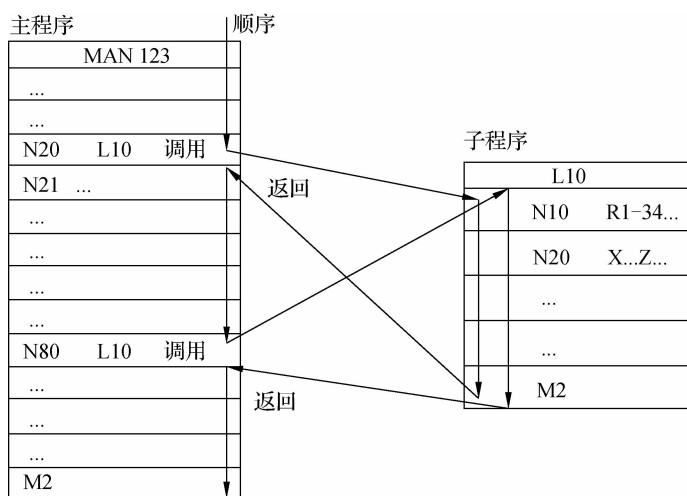


图 1-30 两次调用子程序

#### 4. 子程序名

为了方便地选择某一子程序,必须给子程序取一个程序名。子程序名可以自由选取,但必须符合以下规定:开始两个符号必须是字母,其他符号为字母、数字或下划线,最多 8 个字符,没有分隔符。

子程序名的选取方法与主程序名的选取方法一样,如 LRAHMEN 7。另外,子程序还可以使用地址字 L 命名,其后的值可以有 7 位(只能为整数)。

**注意:**地址字 L 之后的每个“0”均有意义,不可省略。

例如,L128 与 L0128 或 L00128 是不同的,分别表示 3 个不同的子程序。

#### 5. 子程序的调用

在一个程序(主程序或子程序)中可以直接用程序名调用子程序。子程序调用要求占用一个独立的程序段。

举例:

N10 L785 ;调用子程序 L785

N20 LRAHMEN7 ;调用子程序 LRAHMEN7

#### 6. 子程序重复调用次数

如果要求多次连续地执行某一子程序,则在设置时必须是在所调用子程序的程序名后地址 P 下写入调用次数,最大次数为 9999(P1~P9999)。

举例:

N10 L785 P3 ;调用子程序 L785,运行 3 次

#### 7. 子程序的嵌套深度

子程序不仅可以从主程序中调用,也可以从其他子程序中调用,这个过程称为子程序的嵌套。子程序的嵌套深度可以为三层,也就是四级程序界面(包括主程序界面),如图 1-31 所示。

**注意:**在使用加工循环进行加工时,加工循环程序也同样属于四级程序界面中的一级。



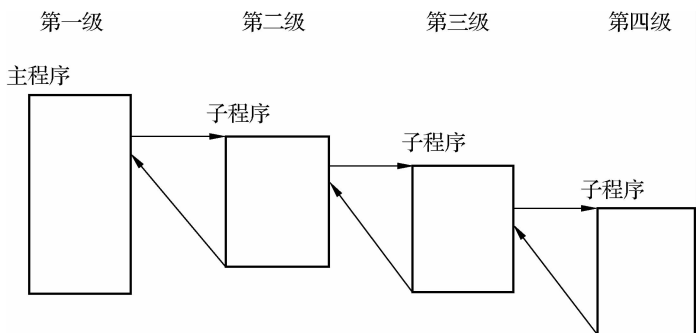


图 1-31 四级程序界面

### 8. 子程序使用说明

在子程序中可以改变模态有效的 G 功能,如 G90 到 G91 的变换。在返回调用程序时注意检查所有模态有效的功能指令,并按照要求进行调整。

对于 R 参数也同样需要注意,不要无意识地上级程序界面中所使用的计算参数来修改下级程序界面的计算参数。

## 三、准备功能指令

准备功能指令也称准备功能字,用地址符 G 表示,所以又称 G 指令或 G 代码,它是使数控机床做好某种运动方式准备的指令。G 指令由地址符 G 和后面的两位数字组成,常用的有 G00~G99,有些数控系统的准备功能指令已扩大到 G150。

G 指令根据功能定义分成若干个组,同一程序段中同组 G 指令只能使用一个,若指定两个以上,则只有最后一个有效。

G 指令分模态指令和非模态指令两种。模态指令是指 G 指令一经使用一直有效,直到被同组的其他 G 指令取代为止。所以在连续指定同一 G 指令的程序中,只要在某一程序段指定一次模态 G 指令,在后面的程序段中就不必再指定该 G 指令。非模态 G 指令只有在被指定的程序段中才有效。

## 四、辅助功能指令

辅助功能指令也称辅助功能字,用地址符 M 表示,所以又称 M 指令或 M 代码。它用来指定数控机床加工时的辅助动作及状态,如主轴的启停、正反转,冷却液的开关,刀具的更换,工件的夹紧与松开等。M 指令由地址符 M 和后面的两位数字组成,常用的有 M00~M99。

M 指令也分为模态指令和非模态指令,其意义与 G 指令中的模态和非模态相同。同时,M 指令还规定了其在一个程序段中起作用的时间。例如,M03、M04 主轴转向指令与程序段中运动指令同时开始起作用;M00、M01、M02 等与程序有关的指令,在程序段运动指令执行完毕后才开始起作用。





## 五、其他功能指令

### 1. 进给功能指令

进给功能指令用地址符 F 表示,也称 F 指令或 F 代码。该指令是模态指令,其功能是指定切削进给速度。F 后面的数字直接表示进给速度的大小,单位一般为 mm/min。对于数控车床或加工螺纹时,进给速度的单位也可设置为 mm/r。

### 2. 主轴转速指令

用地址符 S 表示,也称 S 指令或 S 代码。该指令是模态指令,其功能是指定主轴转速或速度,单位为 r/min 或 m/min。S 后面的数值表示主轴的转速值。

### 3. 刀具功能指令

刀具功能指令用地址符 T 表示,也称 T 指令或 T 代码。该指令主要用来选择刀具,也可用来选择刀具的长度补偿和半径补偿。T 指令由地址符 T 和后面的数字代码组成,不同的数控系统有不同的指定方法和含义,如 T0101 可表示选用 1 号刀具和 1 号刀具的补偿值。