

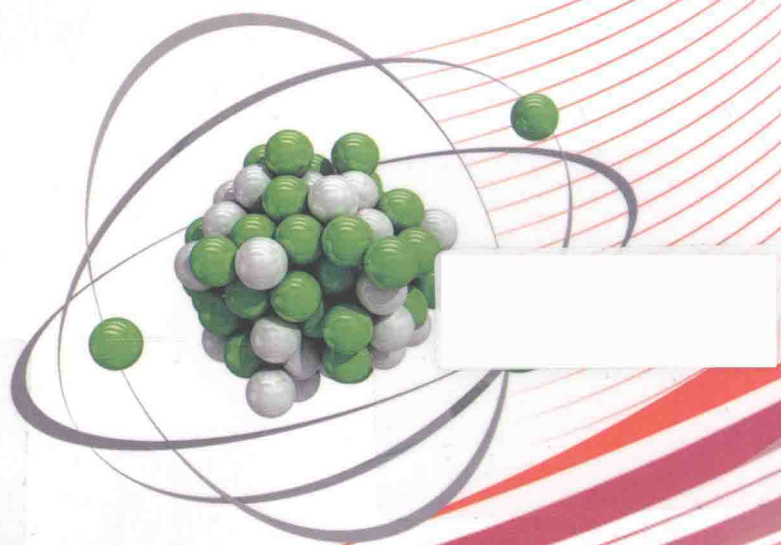


高等职业教育规划教材
浙江省高校重点教材

机械CAM实用教程

—— Cimatron E8应用

◎ 周纯江 主编



赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等职业教育规划教材

浙江省高校重点教材

机械 CAM 实用教程 ——Cimatron E8 应用

主编 周纯江

参编 李国强 娄岳海



机械工业出版社

本书以目前较为流行的 Cimatron E8 中文版为载体,介绍了针对具有复杂型面的机械产品的实用数控自动编程技术。主要包括:数控加工技术基本概念;数控加工工艺的处理;利用 CAM 软件实现产品 3 轴加工的图形交互式编程工艺方法;Cimatron E8 软件的基本操作方法及产品造型的基本方法;Cimatron E8 的 2.5 轴加工、3 轴加工中体积铣、曲面铣及清根铣的编程步骤、工艺方法、参数设置等,以及若干典型零件的数控自动编程实例。

本书可作为高职院校机械类相关专业 CAM 课程的教材,也可作为 CAM 技术的各级培训教材及从事数控加工技术人员的 CAM 自学教材或相应的参考书。

本书配有电子课件,凡选用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 注册后免费下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话: 010-88379375。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAM 实用教程: Cimatron E8 应用/周纯江主编. —北京: 机械工业出版社, 2013. 12

高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-44965-2

I. ①机… II. ①周… III. ①数控机床-程序设计-应用软件-高等职业教育-教材 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 288653 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 于奇慧 责任编辑: 于奇慧 王丹凤 版式设计: 霍永明

责任校对: 肖琳 封面设计: 赵颖喆 责任印制: 杨曦

北京四季青印刷厂印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.25 印张·358 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-44965-2

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

制造业是国民经济发展的支柱产业,作为现代制造技术的重要手段,数控加工技术在航空航天、汽车、模具、家用电器等领域得到了广泛的应用,极大地提高了制造业企业的制造能力和水平,增强了对市场的适应能力和竞争能力,促进了经济发展。随着全球制造业转移的新趋势及我国经济结构转型升级的不断推进,对数控加工的需求将出现高速、持续的增长,因此需要大量掌握数控加工技术的高技能人才,尤其是掌握数控加工工艺并能熟练进行数控自动编程的专门化人才。

在众多的具有数控自动编程功能的 CAD/CAM 软件中, Cimatron 是业界公认的最为优秀的软件之一。Cimatron 在一个统一的系统环境下,使用统一的数据库,用户可以完成产品的结构设计、零件设计,输出设计图。Cimatron NC 强大的粗加工程序以其超乎想象的高效加工策略提高了生产率,精确的剩余毛坯模型始终贯穿在整个加工程序中。强大的 3 轴精加工程序提供了基于模型特征的多种加工策略。智能 NC 计算毛坯残留量,基于毛坯残留知识减少了不必要的刀路。残料加工功能能够清除前一把大刀具不能进入的区域。另外, Cimatron 的高速铣削模块提供了多种高级刀路特征来满足高速加工用户的要求,多轴加工为用户提供了从定位 5 轴到多轴联动的全方位加工功能,自 Cimatron E7 后,在加工方面增加了包括微铣削、5 轴航空铣及 NC Lite 及功能,极大地满足了广大用户对于加工的多方面要求。

数控自动编程技术是一门实践性很强的技术,对于广大的机械类专业的高职学生以及从事数控自动编程的工程技术人员,有志于从事数控加工的人员来说,选择一种合适的 CAM 软件并找到一种有效的学习方法是极其重要的。目前市场上的 CAM 软件培训教材层出不穷,但大多为单纯针对软件操作应用的,这对于真正从事数控自动编程及加工的工程技术人员来说是不够的。针对这一现象,本书的编写立足于企业生产实际,将数控加工工艺的应用和实施与 Cimatron 软件的操作使用紧密结合,除了第一章专门介绍常规的数控加工工艺和 3 轴加工的图形交互式编程工艺方法外,每一章的加工案例都详细说明了加工工艺生成步骤和参数的具体设置,从而使整个学习过程具有很好的应用性。本书的编写以数控自动编程技术为重点,考虑到整个软件应用的系统性和完整性,专门安排了一章介绍 Cimatron 软件的产品建模技术。

Cimatron 中各选项和功能介绍是目前大量此类教程的一个重点,本书中突出了对各个参数的讲解,首先对数控自动编程技术相关的公共参数进行了全面的介绍,然后在各个特定的加工策略和走刀方式中对其特有的参数进行说明,采用了图表一一对应的方式配合讲解,使读者能方便地找到所要参数,清晰地了解参数的意义,快速掌握使用方法。在此基础上,本书配合精选的机械产品加工自动编程实例,使读者加深数控加工工艺与 Cimatron 编程的应用结合,高效率、高质量地完成数控自

动编程技术的学习。本书配套的课件中包含了书中提及的所有实例及部分自主练习题，可在平时的学习中参照练习。

本书由浙江机电职业技术学院周纯江担任主编并统稿，参加编写的还有浙江机电职业技术学院李国强和娄岳海。周纯江负责编写第1章、第3章、第4章和第5章，李国强负责编写第2章和第6章，娄岳海负责编写第7章和第8章。

在本书编写过程中，杭州职业技术学院郭伟钢，浙江黄岩星泰模具有限公司的郑丹娟和 Cimatron 公司无锡办事处提出了很多有益的意见和建议，本书同时得到了浙江省高职高专重点建设教材项目资助，在此一并表示衷心的感谢！

本书可作为高职院校机械类相关专业 CAM 课程的教材，也可作为 CAM 技术的各级培训教材及从事数控加工技术人员的 CAM 自学教材或相应的参考书。

由于数控加工技术快速发展及企业对产品加工要求的日益更新，加之作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见和建议，以便我们不断改进。

编 者

目 录

前言

第1章 数控加工技术概述 1

1.1 数控加工概述 1

1.1.1 数控加工基本概念与原理 1

1.1.2 数控加工的特点 1

1.1.3 数控加工技术的发展及趋势 2

1.2 数控加工工艺概述 3

1.2.1 数控加工工艺的特点 3

1.2.2 数控加工工艺的设计 4

1.2.3 数控加工工艺的设计方法 5

1.3 数控加工机床与刀具 6

1.3.1 数控机床的结构 6

1.3.2 数控机床的分类 7

1.3.3 数控机床的坐标系 8

1.3.4 数控加工刀具的种类 9

1.4 数控程序编制基础 10

1.4.1 数控编程概述及发展 10

1.4.2 数控程序结构及常用指令 11

1.4.3 手工编程示例 13

1.5 交互式图形编程工艺 14

1.5.1 加工对象与加工区域的规划 14

1.5.2 加工工艺路线的规划 15

1.5.3 加工工艺的规划 15

1.6 CAM 编程系统的参数设置 16

1.6.1 加工对象及加工区域的设置 16

1.6.2 数控加工刀具的选用 17

1.6.3 切削方式的选择 20

1.6.4 走刀方式的选择 23

1.6.5 数控铣削加工工艺参数的确定 24

第2章 Cimatron 的基本操作及实体

建模 30

2.1 Cimatron 的基本操作 30

2.1.1 软件的启动方法 30

2.1.2 文件操作 31

2.1.3 基本操作 33

2.2 Cimatron 零件设计的基本概念 35

2.2.1 基准和坐标系 35

2.2.2 草图绘制与编辑 37

2.2.3 约束和驱动 38

2.2.4 组合曲线 38

2.2.5 实体建模 40

2.3 零件设计实例 44

第3章 Cimatron NC 编程基础 54

3.1 Cimatron E NC 编程的工作环境 54

3.1.1 进入 NC 的工作界面 54

3.1.2 工作界面 55

3.2 Cimatron E 编程的操作步骤 59

3.2.1 调入模型 60

3.2.2 定义刀具 61

3.2.3 创建刀路轨迹 63

3.2.4 创建零件 63

3.2.5 创建毛坯 63

3.2.6 创建程序 64

3.2.7 执行程序 66

3.2.8 仿真模拟 67

3.2.9 后置处理 67

3.2.10 NC 报告 67

3.3 NC 加工操作实例——旋钮腔槽的

数控加工 69

第4章 2.5 轴数控加工 77

4.1 2.5 轴加工概述 77

4.2 2.5 轴加工参数 78

4.2.1 型腔铣削-毛坯环切 79

4.2.2 其他切削方式的刀路参数 87

4.3 钻孔加工 89

4.3.1 点的选择 89

4.3.2 钻孔加工刀路参数的设定 90

4.4 2.5 轴加工实例 92

4.4.1 加工工艺分析 92

4.4.2 加工准备 94

4.4.3 2.5 轴-型腔铣削-平行切削 96

4.4.4 2.5 轴-型腔铣削-环铣一 98

4.4.5 2.5 轴-型腔铣削-环铣二 100

4.4.6 2.5 轴-型腔铣削-环铣三 100

4.4.7 2.5 轴-型腔铣削-环铣四 101

4.4.8 2.5 轴-型腔铣削-环铣五 102

4.4.9 2.5 轴-封闭轮廓铣一	102	7.1 局部精细加工	151
4.4.10 2.5 轴-封闭轮廓铣二	105	7.1.1 局部精细加工类型	151
4.4.11 2.5 轴-封闭轮廓铣三	105	7.1.2 局部精细加工的刀路参数	154
4.4.12 2.5 轴-封闭轮廓铣四	106	7.2 流线铣	156
4.4.13 2.5 轴-封闭轮廓铣五	106	7.2.1 3 轴瞄准曲面	156
4.4.14 2.5 轴-型腔铣削-环切一	107	7.2.2 3 轴零件曲面	156
4.4.15 2.5 轴-型腔铣削-环切二	109	7.2.3 3 轴直纹曲面	158
4.4.16 2.5 轴-型腔铣削-环切三	109	7.3 局部精细加工实例	159
4.4.17 2.5 轴-型腔铣削-环切四	110	7.3.1 加工工艺分析	159
4.4.18 2.5 轴-型腔铣削-环切五	111	7.3.2 创建清根铣加工程序	159
4.4.19 钻孔-3 轴钻孔	111	第 8 章 综合加工实例	162
4.4.20 仿真加工	113	8.1 综合加工实例一——工具外壳凹模	162
第 5 章 体积铣	115	8.1.1 加工工艺分析	162
5.1 体积铣概述	115	8.1.2 加工准备	163
5.2 体积铣切削方式及参数设置	116	8.1.3 创建辅助线段	165
5.2.1 粗加工平行铣	116	8.1.4 体积铣-粗加工环行铣	168
5.2.2 粗加工环行铣	116	8.1.5 曲面铣-根据角度精铣	170
5.2.3 传统加工程序	118	8.1.6 2.5 轴-型腔铣削-平行切削	172
5.3 体积铣加工实例	122	8.1.7 仿真加工	174
5.3.1 加工工艺分析	122	8.2 综合加工实例二——托盘模型的加工	175
5.3.2 加工准备	124	8.2.1 加工工艺分析	175
5.3.3 体积铣-环切-3D	126	8.2.2 加工准备	177
5.3.4 体积铣-粗加工环行铣一	128	8.2.3 体积铣-粗加工环行铣一	179
5.3.5 体积铣-粗加工环行铣二	130	8.2.4 体积铣-粗加工环行铣二	181
第 6 章 曲面铣	133	8.2.5 体积铣-粗加工环行铣三	183
6.1 曲面铣概述	133	8.2.6 曲面铣-层切一	187
6.2 曲面铣的刀路参数	135	8.2.7 曲面铣-层切二	188
6.2.1 精铣所有的刀路参数	135	8.2.8 体积铣-粗加工环行铣	191
6.2.2 根据角度精铣的刀路参数	136	8.2.9 曲面铣-根据角度精铣	193
6.2.3 开放轮廓铣与封闭轮廓铣的 刀路参数	137	8.2.10 仿真加工	195
6.2.4 传统加工程序的刀路参数	138	8.3 综合加工实例三——飞机模型	196
6.3 曲面铣加工实例	140	8.3.1 加工工艺分析	196
6.3.1 加工工艺分析	140	8.3.2 加工准备	197
6.3.2 曲面铣-层切一	141	8.3.3 体积铣-粗加工环行铣	198
6.3.3 曲面铣-层切二	142	8.3.4 体积铣-二次开粗	199
6.3.4 体积铣-粗加工环行铣	144	8.3.5 曲面铣-根据角度精铣	200
6.3.5 曲面铣-根据角度精铣一	146	8.3.6 局部精细加工-清根铣	201
6.3.6 曲面铣-根据角度精铣二	148	8.3.7 仿真加工	203
第 7 章 其他加工方式	151	参考文献	204

第1章 数控加工技术概述

本章任务：1. 了解数控加工技术及其发展。

2. 了解数控机床与刀具的分类及特点。

3. 初步掌握手工数控编程方法和加工工艺的编制。

4. 掌握交互式图形编程工艺基本内容及CAM编程系统参数的设置。

1.1 数控加工概述

1.1.1 数控加工基本概念与原理

数控加工技术是以数字控制技术为基础，用数字化的信息对机床的运动及其加工过程实现控制，从而实现产品加工的技术，它集传统的机械制造、计算机、信息处理、现代控制、传感检测等光机电技术于一体，是现代机械制造技术的基础。数控加工具有产品精度高、自动化程度高、生产率高以及生产成本低等特点。在制造业中，数控加工已成为所有生产技术中极其重要的环节，尤其在汽车、航天等具有大量复杂零部件的行业，更是成为行业发展的关键核心技术支撑。近年来，随着计算机技术的迅速发展，数控技术的发展水平及普及程度已成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

数控加工，是指在数控机床上进行工件切削加工的一种工艺方法，即将根据工件图样和工艺要求等原始条件编制的工件数控加工程序（简称为数控加工程序或数控程序）输入数控系统，控制机床刀具与工件的相对运动，从而实现工件的加工。利用数控机床实现数控加工的基本过程如图1-1所示。

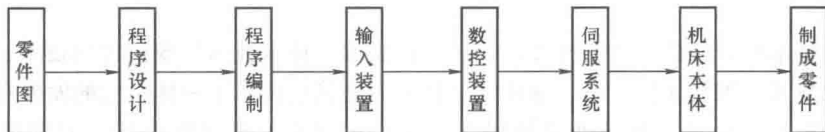


图 1-1 数控加工的基本过程

- 1) 操作人员根据工件图样的要求确定工件的加工工艺、刀具轨迹和工艺参数。
- 2) 根据数控程序的编制格式采用手动或计算机编制数控加工程序。
- 3) 通过计算机联机通信、MDI（手动数据输入）或其他媒体介质等方式，将数控加工程序输入至计算机数控装置。
- 4) 数控系统进行相应的处理与计算后，发出相应的运动和操作指令。
- 5) 伺服系统根据接收的指令，驱动机床相应的执行部件运动，实现数控加工。

1.1.2 数控加工的特点

- 1) 对零件加工的适应性强、灵活性好，能加工轮廓形状特别复杂或难以控制尺寸的零件，如曲面类零件、壳体类零件等。
- 2) 能加工普通机床无法加工或很难加工的零件，如用数学模型描述的复杂曲线零件以及三维空间曲面类零件。

3) 能加工一次装夹定位后, 需进行多道工序加工的零件, 如在卧式铣床上可方便地对箱体类零件进行钻孔、铰孔、扩孔、镗孔、攻螺纹、铣削端面、挖槽等多道工序的加工。

4) 加工精度高、加工质量稳定可靠。

5) 生产自动化程度高, 可以减轻操作人员的劳动强度, 有利于生产管理自动化。

6) 生产率高。一般可省去划线、中间检验等工作, 可省去复杂的工装, 减少零件的安装、调整等工作。能通过选用最佳工艺线路和切削用量, 有效地减少加工中的辅助时间, 从而提高生产率。

1.1.3 数控加工技术的发展及趋势

1948 年, 美国帕森斯公司接受美国空军委托, 研制直升飞机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于样板形状复杂多样, 精度要求高, 一般加工设备难以适应, 于是提出采用数字脉冲控制机床的设想。1949 年, 该公司与美国麻省理工学院 (MIT) 开始共同研究, 并于 1952 年试制成功第一台 3 坐标数控铣床, 当时的数控装置采用电子管元件。1959 年, 数控装置采用了晶体管元件和印制电路板, 出现带自动换刀装置的数控机床, 称为加工中心 (Machining Center, 简称 MC), 数控装置进入了第二代。1965 年, 出现了第三代的集成电路数控装置, 不仅体积小, 功率消耗少, 且可靠性提高, 价格进一步下降, 促进了数控机床品种和产量的发展。20 世纪 60 年代末, 先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统 (简称 DNC), 又称群控系统; 采用小型计算机控制的计算机数控系统 (简称 CNC), 数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。1974 年, 研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置 (简称 MNC), 这是第五代数控系统。20 世纪 80 年代初, 随着计算机软、硬件技术的发展, 出现了能进行人机对话自动编制程序的数控装置; 数控装置越趋于小型化, 可以直接安装在机床上; 数控机床的自动化程度进一步提高, 具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。20 世纪 90 年代后期, 出现了 PC + CNC 智能数控系统, 即以个人计算机 (Personal Computer, 简称 PC) 为控制系统的硬件部分, 在 PC 上安装 NC 软件系统, 此种方式系统维护方便, 易于实现网络化制造。

现代数控技术集传统的机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体, 它的发展和运用, 开创了制造业的新时代, 使世界制造业的格局发生了巨大变化。现代数控技术的发展呈现如下的趋势。

1. 功能发展方向

(1) 用户界面图形化 当前因特网 (Internet)、虚拟现实、科学计算可视化及多媒体等技术也对用户界面提出了更高要求。柔性用户界面极大地方便了非专业用户的使用, 便于蓝图编程和快速编程、三维彩色立体动态图形显示、图形模拟、图形动态跟踪和仿真、不同方向的视图和局部显示比例缩放功能的实现。

(2) 科学计算可视化 在数控技术领域, 可视化技术可用于 CAD/CAM, 如自动编程设计、参数自动设定、刀具补偿、刀具管理数据的动态处理和显示以及加工过程的可视化仿真演示等。

(3) 插补和补偿方式多样化 多种插补方式如直线插补、圆弧插补、圆柱插补、空间椭圆曲面插补、螺纹插补、极坐标插补和 NURBS 插补 (非均匀有理 B 样条插补) 等。多种补偿功能如间隙补偿、垂直度补偿、象限误差补偿、螺距和测量系统误差补偿、温度补偿等。

(4) 内装高性能 PLC 数控系统内装高性能 PLC 控制模块, 可直接用梯形图或高级语言编程, 具有直观的在线调试和在线帮助功能。

(5) 多媒体技术 在数控技术领域,应用多媒体技术可以做到信息处理综合化、智能化,在实时监控系统和生产现场设备的故障诊断、生产过程参数监测等方面有着重大的应用价值。

2. 结构体系发展方向

(1) 模块化、专门化与个性化 机床结构模块化,数控功能专门化,机床性能价格比显著提高并加快优化。硬件模块化易于实现数控系统的集成化和标准化。近几年来个性化是特别明显的发展趋势。

(2) 智能化 智能化的内容包括在数控系统中的各个方面:自适应控制技术、专家系统、故障诊断系统和智能化数字伺服驱动装置。

(3) 网络化和集成化 数控机床向网络化和集成化系统发展的趋势是:从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(FMC、FMS、FTL、FML)向面(工段车间独立制造岛、FA)、体(CIMS、分布式网络集成制造系统)的方向发展;另一方面是向注重应用性和经济性方向发展。

(4) 开放化 采用通用计算机组成总线式、模块化、开放式、嵌入式体系结构,便于裁剪、扩展和升级,可组成不同档次、不同类型、不同集成程度的数控系统。基于PC的第六代发展方向所具有的开放性、低成本、高可靠性、软硬件资源丰富等特点,已成为数控系统的发展趋势。

3. 高速、高效、高精度、高可靠性发展方向

(1) 高速、高效 机床向高速化方向发展,不但提高加工效率、降低成本,而且还提高零件的表面加工质量和精度。目前,高速数控机床的主轴转速可达到100000r/min,进给速度可达到100m/min,自动换刀速度在1s以内;小线段插补进给速度达到12m/min,高速、高效响应的数控机床极大地满足了模具、航空、军事、汽车等领域的需求。

(2) 高精度 从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是世界各工业强国致力发展的方向。加工精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级($<10\text{nm}$),其应用范围日趋广泛。近10多年来,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$,精密级加工中心的加工精度则从 $\pm (3\sim 5)\mu\text{m}$ 提高到 $\pm (1\sim 1.5)\mu\text{m}$ 。

(3) 高可靠性 数控机床的工作环境比较恶劣,工业电网电压的波动和干扰对数控机床的可靠性极为不利,因而对CNC的可靠性要求要优于一般的计算机。

另外,为适应制造自动化的发展,数字控制制造系统要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能,新型并联杆系结构数控机床的实用化,开拓了数控机床发展的新领域。应用数字化网络技术,使机械加工整个系统趋于资源合理支配并高效地应用。

1.2 数控加工工艺概述

1.2.1 数控加工工艺的特点

数控加工工艺与普通加工工艺基本相同,在设计零件的数控加工工艺时,首先要遵循普通加工工艺的基本原则与方法,同时还需要考虑数控加工本身的特点和零件编程的要求。由于数控机床本身自动化程度较高,控制方式不同,设备费用也高,所以数控加工工艺具有以下几个特点:

1. 工艺内容具体、详细

与普通加工工艺相比,数控加工工艺在工艺文件和格式上都有较大区别,如加工顺序、刀具的配置及使用顺序、刀具轨迹和切削参数等。在数控加工时,工艺中各工步的划分与顺序安排、刀具的几何形状、走刀路线与切削用量都有关工艺的各种具体问题和细节,必须由编程人员在编

程时预先确定。

2. 工艺要求准确、严密

由于数控机床自动化程度高, 加工过程中的许多问题不能人为处理, 因此设计数控加工工艺时必须注意加工过程中的每一个细节, 尤其是对图形进行数学处理、计算和编程时, 一定要力求准确无误。

3. 注意加工的适应性

要根据数控加工的特点, 在选择加工方法和加工对象时, 充分考虑数控加工设备的性能及适应性, 对加工对象的形状、尺寸和工艺结构在不改变产品工作性能的前提下可作适当修改, 以适应数控加工的需要。

4. 可自动控制加工复杂表面

随着数控机床技术的发展, 数控加工已经成为加工复杂曲面类零件的关键技术, 这是数控加工技术强大的优势, 也是数控加工工艺编制方面的重点和难点。同时, 先进的数控刀具和组合夹具的采用, 也满足了数控加工高质量、高效率和高柔性的要求。

5. 工序集中

由于现代数控机床具有精度高、切削参数范围广、刀具数量多、多坐标以及多工位等特点, 因此, 在工件的一次装夹中可以完成多道工序的加工, 甚至可以在工作台上装夹几个相同的工件进行加工, 大大缩短了加工工艺路线和生产周期, 减少了加工设备和工件的运输量。

1.2.2 数控加工工艺的设计

在进行数控加工工艺设计时, 一般应完成以下几方面的工作: 数控加工工艺内容的选择; 数控加工工艺性分析; 数控加工工艺路线的设计。

1. 数控加工工艺内容的选择

(1) 适于数控加工的内容 在选择时, 一般可按下列顺序考虑:

- 1) 通用机床无法加工的内容应作为优先选择内容。
- 2) 通用机床难加工, 质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。
- 3) 通用机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大的内容, 可在数控机床尚存在富余加工能力时选择。

(2) 不适于数控加工的内容

- 1) 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准, 需用专用工装协调的内容。
- 2) 加工部位分散, 需要多次安装、设置原点。这时, 采用数控加工很麻烦, 效果不明显, 可安排通用机床补加工。
- 3) 按某些特定的制造依据 (如样板等) 加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难, 易与检验依据发生矛盾, 增加了程序编制的难度。

2. 数控加工工艺性分析

- 1) 尺寸标注应符合数控加工的特点。
- 2) 几何要素的条件应完整、准确。
- 3) 定位基准可靠。
- 4) 统一几何类型及尺寸。

3. 数控加工工艺路线的设计

(1) 工序的划分 数控加工工序的划分一般可按下列方法进行:

- 1) 以一次安装、加工作为一道工序。
- 2) 以同一把刀具加工的内容划分工序。
- 3) 以加工部位划分工序。
- 4) 以粗、精加工划分工序。

(2) 顺序的安排 顺序安排一般应按以下原则进行:

1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧, 中间穿插有通用机床加工工序的也应综合考虑。

2) 先进行内腔加工, 后进行外形加工。

3) 以相同定位、夹紧方式加工或用同一把刀具加工的工序, 最好连续加工, 以减少重复定位次数、换刀次数与挪动压板次数。

1.2.3 数控加工工艺的设计方法

数控加工工序设计的主要任务是进一步把本工序的加工内容、切削用量、工艺装备、定位夹紧方式及刀具运动轨迹确定下来, 为编制加工程序做好准备。

1. 确定走刀路线和安排加工顺序

走刀路线就是刀具在整个加工工序中的运动轨迹, 不但包括了工步的内容, 也反映出工步顺序。走刀路线是编写程序的依据之一。确定走刀路线时应注意以下几点:

- 1) 寻求最短加工路线。
- 2) 最终轮廓一次走刀完成。
- 3) 选择切入、切出方向, 如图 1-2 和图 1-3 所示, 刀具在加工内、外轮廓时合理的切入、切出路线, 可提高加工质量。
- 4) 选择使工件在加工后变形小的路线。

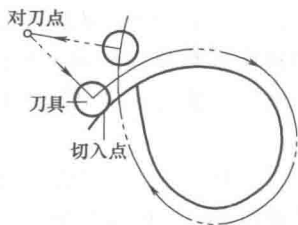


图 1-2 外轮廓加工刀具的切入和切出

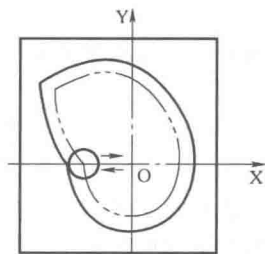


图 1-3 内轮廓加工刀具的切入和切出

2. 确定定位和夹紧方案

在确定定位和夹紧方案时应注意以下几个问题:

- 1) 尽可能做到设计基准、工艺基准与编程计算基准的统一。
- 2) 尽量将工序集中, 减少装夹次数, 尽可能在一次装夹后加工出全部待加工表面。
- 3) 避免采用占机人工调整时间长的装夹方案。
- 4) 夹紧力的作用点应落在工件刚性较好的部位。

3. 确定刀具与工件的相对位置

对刀点是指通过对刀确定刀具与工件相对位置的基准点。对刀点往往就选择在零件的加工原点。对刀点的选择原则如下:

- 1) 所选的对刀点应使程序编制简单。
- 2) 对刀点应选择在容易找正、便于确定零件加工原点的位置。

3) 对刀点应选在加工时检验方便、可靠的位置。

4) 对刀点的选择应有利于提高加工精度。

换刀点是加工中心、数控车床等采用多刀进行加工的机床而设置的,因为这些机床在加工过程中要自动换刀。对于手动换刀的数控铣床,也应确定相应的换刀位置。为防止换刀时碰伤零件、刀具或夹具,换刀点常设置在工件的轮廓之外,并留有一定的安全量。

4. 确定切削用量

编程人员在确定切削用量时,要根据工件的材料、硬度,切削状态选择,背吃刀量,进给量,最后选择合适的切削速度。图 1-4 所示为铣削加工时的切削用量。

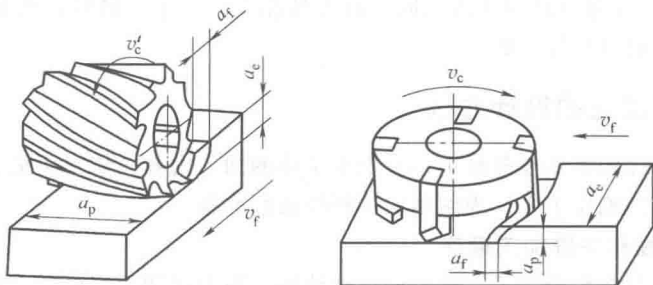


图 1-4 铣削加工时的切削用量

1.3 数控加工机床与刀具

1.3.1 数控机床的结构

数控机床主要由机床数控装置,包括伺服电动机及检测装置的伺服系统和机床本体三大部分组成。

数控装置是数控机床的指挥系统,其功能是接受数控程序,经处理后向伺服系统发出各种与数控程序对应的控制命令,使伺服系统执行相应的动作,带动机床按数控程序预定的轨迹运动。现代数控系统通常是带有专门系统软件的计算机系统,开放式数控系统就是将 PC 配以数控系统软件而构成的。

数控机床的进给运动是由数控装置经伺服系统控制的。所谓伺服,是指有关的传动或运动均严格依照数控装置的控制指令实现。数控机床的伺服系统按其控制方式,可分为开环、半闭环和闭环控制系统三类。其中,开环控制系统最为简单,如图 1-5 所示。开环控制系统由于缺乏位置检测装置,所以在数控加工过程中出现的载荷突变或者脉冲频率突变造成进给运动的速度和行程误差不能进行检测与补偿。故该类控制方式仅限于精度不高的经济型中、小数控机床的进给传动。

半闭环和闭环控制系统都有用于检查位置和速度指令执行结果的检测(含反馈)装置。半闭环控制系统的检测装置安装在伺服电动机或传动丝杠上,如图 1-6 所示。闭环控制系统则将其安装在运动部件上,如图 1-7 所示。由于丝杠螺距误差,以及受载后丝杠、轴承变形等影响,半闭环控制系统对检测结果的校正并不能体现机械执行部件最终的位置误差,控制精度比闭环控制系统要低一些。对于闭环控制系统来说,如果参数选取不合适,则由控制运动部件与传动机构构成的振荡环节可能产生进给振荡,即运动不稳定。目前,一般数控机床的进给系统多为半闭环控制系统,闭环控制系统则用于精度要求较高的机床,如高精度镗铣加工中心。

机床本体是加工运动的实际部件,除了床身或底座、立柱、横梁和工作台等机床基础件外,

还包括主轴部件、进给部件、实现工件回转与定位的装置和附件、辅助系统和装置（如液压、气压、防护等装置）、刀库和自动换刀装置（Automatic Tools Changer, 简称 ATC），以及自动托盘交换装置（Automatic Pallet Changer, 简称 APC）。

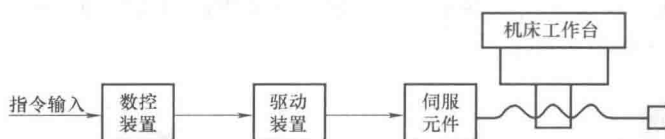


图 1-5 开环控制系统



图 1-6 半闭环控制系统

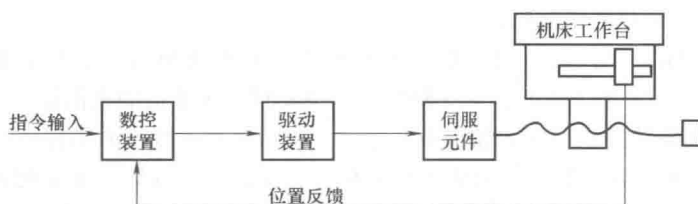


图 1-7 闭环控制系统

1.3.2 数控机床的分类

数控机床的分类有多种方式。

(1) 按机床数控运动轨迹划分

1) 点位控制数控机床：刀具运动时，只控制刀具相对于工件位移的准确性，不考虑两点间的路径，如数控钻床。

2) 点位直线控制数控机床：在点位控制的基础上，还要保证运动轨迹为一条直线，且刀具在运动过程中还要进行切削加工。

3) 轮廓控制数控机床：能对两个或更多的坐标运动进行控制（多轴联动），刀具运动轨迹可为空间曲线。

(2) 按伺服系统控制方式划分

1) 开环控制数控机床：对机床位移无检测和补偿，价格低廉，精度及稳定性差。

2) 半闭环控制数控机床：对伺服电动机或传动丝杠的位置进行检测和补偿，精度及稳定性较高，价格适中，应用最普及。

3) 闭环控制数控机床：对机床运动部件的位置进行检测和补偿，精度高，稳定性难以控制，价格高。

(3) 按联动坐标轴数划分

1) 2.5 轴数控机床：只能完成 X、Y 轴的联动，完成平面轮廓加工。可以通过 Z 轴运动实现分层加工。

2) 3 轴数控机床: 通过 X、Y、Z 轴的联动可完成复杂型面的加工, 数控铣床中以 3 轴数控铣床最常见, 目前在机械制造行业中得到了广泛应用。图 1-8 所示为立式 3 轴数控铣床。

3) 4 轴数控机床: 在 X、Y、Z 轴的联动上加上绕其中一轴的转动。

4) 5 轴数控机床: 在 X、Y、Z 轴的联动上加上绕其中两轴的转动, 可实现各类复杂曲面的加工。图 1-9 所示为 5 轴数控机床。



图 1-8 立式 3 轴数控铣床

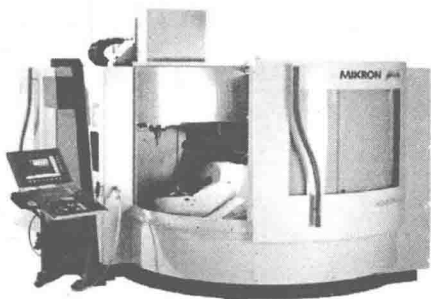


图 1-9 5 轴数控机床

(4) 按主轴与工作台的相对位置关系划分

1) 立式数控机床: 立式数控机床的主轴相对于工作台垂直放置, 能完成铣削、镗削、钻削、攻螺纹等工序。立式加工中心多为 3 轴联动, 可实现三维曲面的铣削加工; 高档加工中心还可以实现 4 轴、5 轴联动控制。立式加工中心适宜加工高度尺寸较小的零件。

2) 卧式数控机床: 卧式数控机床的主轴相对于工作台水平放置。通常配置一个旋转坐标轴(回转工作台)。卧式数控机床特别适宜加工箱体类零件, 可一次完成一系列的面加工和孔加工。

加工中心是在数控铣床上配置了刀库, 其中存放着不同数量的各种刀具或检具, 在加工过程中由程序控制 ATC 自动选用和更换, 从而将铣削、镗削、钻削、攻螺纹等功能集中在一台设备上完成, 使其具有多种工艺手段。

1.3.3 数控机床的坐标系

机床坐标系是机床上固有的坐标系, 是机床加工运动的基本坐标系, 是考察刀具在机床上实际运动位置的基准坐标系。

在机械加工过程中, 机床上的刀具和工件间的相对运动, 称为表面成形运动。对于具体机床来说, 有的是刀具移动而工作台(工件)不动, 有的则是刀具不动而工作台(工件)移动。然而不管是刀具移动还是工件移动, 机床坐标系永远假定刀具相对于静止的工件而运动。同时, 运动的正方向是增大工件和刀具之间距离的方向。机床坐标系通常采用右手直角笛卡儿坐标系, 一般情况下主轴的方向为 Z 坐标, 而工作台的两个运动方向分别为 X、Y 坐标。图 1-10 所示为典型的单立柱立式数控铣床加工运动坐标系示意图。刀具沿与地面垂直的方向上下运动, 工作台带动工件在与刀具垂直的平面(即与地面平行的平面)内运动。机床坐标系的 Z 坐标是刀具运动方向, 并且刀具的向上运动为正方向。当面对机床进行操作时, 刀具相对工件的左右

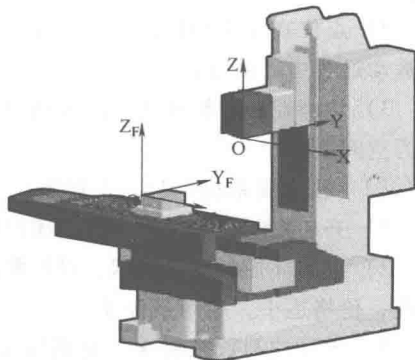


图 1-10 单立柱立式数控铣床
加工运动坐标系示意图

运动方向为X坐标,并且刀具相对工件向右运动(即工作台带动工件向左运动)时为X坐标的正方向。Y坐标的方向可用右手法则确定。

机床坐标系的原点也称机床原点或零点,其位置在机床上是固定不变的。在数控编程时,为了有利于编程时的数据处理和工艺处理,往往采用工件上的局部坐标系(称为工件坐标系),即以工件上的某一点(工件原点)为坐标系原点进行编程。数控编程采用的坐标系称为编程坐标系,数控程序中的加工刀位点坐标均以编程坐标系为参照进行计算。

在加工时,工件安装在机床上,这时只要测量工件原点相对机床原点的位置坐标(称为原点偏置),并将该坐标值输入到数控系统中,数控系统会自动将原点偏置值加入到刀位点的坐标中,使刀位点在编程坐标系下的坐标值转化为机床坐标系下的坐标值,从而使刀具运动到正确的位置。测量原点偏置实际上就是数控机床操作中的“对刀”操作。

1.3.4 数控加工刀具的种类

在数控加工中,刀具的选择直接关系到加工精度的高低、加工表面质量的优劣和加工成本的高低。选用合适的刀具并使用合理的切削参数,可以使数控加工以最低的加工成本、最短的加工时间达到最佳的加工质量。

数控刀具的分类有多种方法。

(1) 根据刀具结构划分

- 1) 整体式。
- 2) 镶嵌式,采用焊接或机夹式连接,机夹式又可分为不转位和可转位两种。
- 3) 特殊形式,如复合式刀具、减振式刀具等。

(2) 根据制造刀具所用的材料划分

- 1) 高速工具钢刀具。
- 2) 硬质合金刀具。
- 3) 金刚石刀具。
- 4) 其他材料刀具,如立方氮化硼刀具、陶瓷刀具等。

(3) 根据切削工艺划分

- 1) 车削刀具,分外圆、内孔、螺纹、切割刀具等多种。
- 2) 钻削刀具,包括钻头、铰刀、丝锥等。
- 3) 镗削刀具。
- 4) 铣削刀具。

铣刀是一种在回转体表面或端面上分布有多个刀齿的多刃刀具。铣刀是应用很广泛的一种金属切削加工刀具,它的种类很多,主要用于卧式铣床、立式铣床及加工中心上加工平面、台阶面、沟槽、切断、齿轮及各种成形表面。按用途分类,铣刀大致可分为:面铣刀、圆柱形铣刀、键槽铣刀、立铣刀、盘形铣刀、锯片铣刀、角度铣刀、模具铣刀和成形铣刀。在CAM数控编程加工中,铣削刀具是最常用的刀具。铣削刀具的形状是生成数控加工刀具轨迹,并形成加工曲面最主要的因素。在Cimatron E中,铣刀形状分类如图1-11所示。

为了适应数控机床对刀具寿命、稳定、易调、可换等要求,近几年机夹式可转位刀得到了广泛应用,在数量上达到整个数控刀具的30%~40%,金属切除量占总数的80%~90%。特别是可转位铣刀已广泛应用于各行业的高效、高精度铣削加工,其种类覆盖了现有的全部铣刀类型。由于可转位刀具切削效率高,辅助时间少,因此能极大提高工作效率;可转位刀具的刀体可重复使用,可节约钢材和制造费用,因此其经济性好;可转位刀具大多可以进行干切削,能节省切削

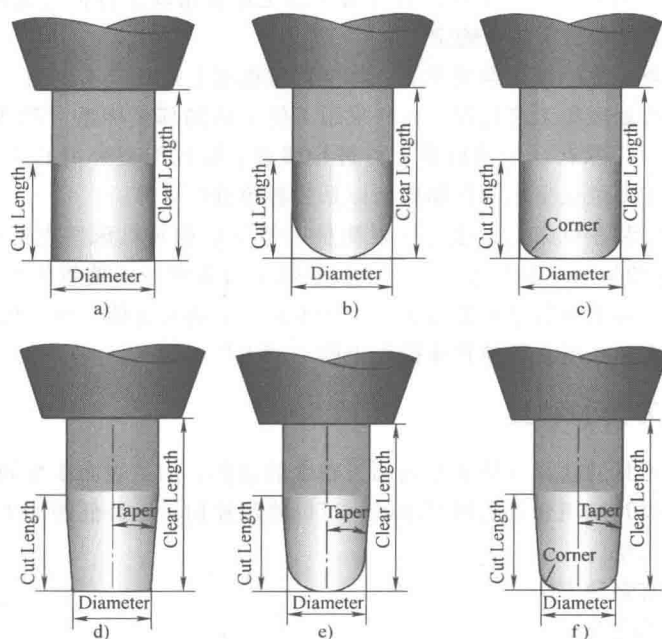


图 1-11 Cimatron E 中铣刀形状分类

a) 平头铣刀 b) 球头铣刀 c) 环形铣刀

d) 锥形平底铣刀 e) 锥形球铣刀 f) 锥形环形铣刀

液的费用，并可保持机床整洁，减少辅助时间；同时，可转位刀体的系列化、标准化又使其具有广泛的适用性。因此在数控加工中被最广泛地应用。所以在实际加工中，应优先考虑使用可转位刀具。

1.4 数控程序编制基础

1.4.1 数控编程概述及发展

1. 数控编程概念

数控编程是指根据设计图样，运用数控机床规定的指令代码及格式描述零件的加工路线、工艺参数、刀具运动轨迹、位移量、切削参数（主轴转数、进给量）以及换刀、主轴正反转、切削液开关等辅助功能，并制成控制介质的全部过程。

数控编程的内容主要包括：分析零件图，制订工艺规程，进行数学处理，编写程序文件、制作控制介质、程序校验及试切。数控编程的基本步骤如图 1-12 所示。

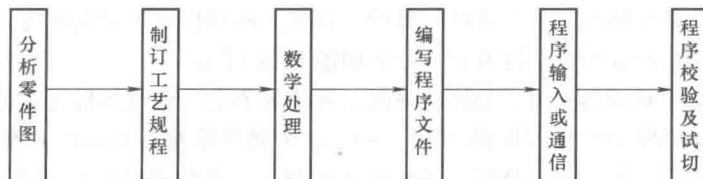


图 1-12 数控编程的基本步骤