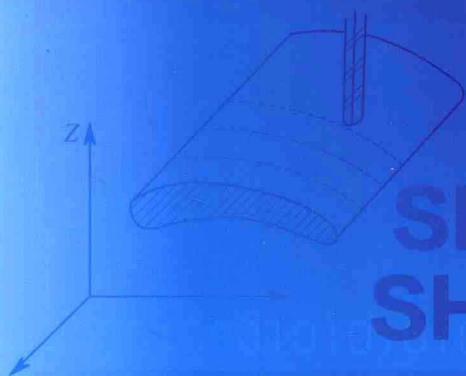




全国高等教育机电类专业规划教材

数控加工实践教程

明兴祖 陈书涵 刘赣华 等编著



SHUKONG JIAGONG
SHIJIAN JIAOCHENG



化学工业出版社



全国高等教育机电类专业规划教材

数控加工实践教程

明兴祖 陈书涵 刘赣华 等编著



SHUKONG JIAGONG
SHIJIAN JIAOCHENG



化学工业出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书从提高学生的实践能力和创新意识出发,内容包括数控加工的基本知识,数控加工工艺及工装设计,数控车削、数控铣削、加工中心加工、数控电火花成形加工、数控电火花线切割加工等所用数控系统或机床的分类、组成、工装应用、操作及加工实例等。

本书是高等学校机电类专业的实践教材,也可作为研究生、高职高专、电视大学和其他院校机电类专业的实践教学参考书,并可供数控加工实践训练及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工实践教程/明兴祖,陈书涵,刘赣华等编著.

北京:化学工业出版社,2012.11

全国高等教育机电类专业规划教材

ISBN 978-7-122-15509-2

I. ①数… II. ①明…②陈…③刘… III. ①数控机床-加工-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 237707 号

责任编辑:高 钰

责任校对:洪雅姝

文字编辑:云 雷

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 264 千字 2013 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

数控加工是机械制造中的先进加工技术。它的广泛使用给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化,是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。为此,国家于2007年起启动“质量工程”,进行精品课程和新教材建设项目。为适应这种形势,于2004年7月开始,我们组织了精品课程《数控加工技术》、《数控技术》建设小组,先后与其他高校多次召开会议进行研讨,确定了《数控加工实践教程》的教材体系、实践教学结构框架和基本要求,从教育目标及知识、能力和素质结构要求出发,按照该实践环节的教材编写大纲进行编写,以提高读者的数控实践能力和创新意识。

进行数控加工实践,首先必须熟悉数控加工工艺及工装设计的基本概念、基本原理和内容,掌握合理的数控加工工艺规程编制,熟悉常用工艺装备的设计。本书正是从数控加工实践的实用角度出发,讲述了数控车削加工、数控铣削加工、加工中心加工、数控电火花成形加工、数控电火花线切割加工等所用系统或机床的分类、组成、工装应用、操作及加工实例等内容,以提高数控加工综合应用的水平。

本书内容丰富,重点突出,强调实践应用;文字简练,图文并茂;各章节均附有加工示例和作业实例,以指导各实践教学环节,及时巩固所学内容。

本书编写分工为:明兴祖、熊显文、周静编著了第1章、第2章,陈书涵、卢定军、姚建民编著了第3章,刘赣华、明兴祖、张柱银编著了第4章、第5章,文泽军、张柱银、胡京明编著了第6章,卢定军、姚建民、汤迎红编著了第7章。全书由明兴祖负责统稿和定稿。

限于编者的水平和经验不足,书中疏漏在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者
2013年1月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 数控加工在机械制造中的地位和作用	1
1.2 数控加工概述	1
1.2.1 数控设备的工作原理与组成	1
1.2.2 数控设备的分类	2
1.2.3 数控加工及其特点	3
1.3 数控加工实践的主要内容、基本要求和学习方法	4
第2章 数控加工工艺及工装设计	6
2.1 工艺过程制订	6
2.1.1 基本概念	6
2.1.2 制订工艺过程的基本要求与技术依据	6
2.1.3 零件图的工艺分析与绘制	7
2.1.4 毛坯的设计	8
2.1.5 工艺路线的制订	8
2.1.6 工序设计	11
2.2 数控加工的工艺设计	14
2.2.1 选择并确定零件的数控加工内容	14
2.2.2 数控加工的工艺性分析	14
2.2.3 数控加工工艺路线设计	15
2.2.4 数控加工工序设计	17
2.3 机械加工工艺规程编制	19
2.3.1 机械加工工艺规程的概念和作用	19
2.3.2 机械加工工艺规程主要工艺文件编写	19
2.4 工艺装备设计	22
2.4.1 机床夹具的分类和作用	22
2.4.2 机床夹具设计内容和步骤	23
2.5 机械加工工艺及工装设计实例	27
2.5.1 落料模的设计示例	27
2.5.2 落料模的制造示例	35
2.5.3 作业实例	41
第3章 数控车削加工	43
3.1 数控车削系统	43

3.1.1	数控系统概述	43
3.1.2	华中 I 型车削数控系统	43
3.1.3	FANUC 0i mate-TB 数控车削系统	46
3.2	数控车床的分类、组成及工装的应用	49
3.2.1	数控车床的分类与组成	49
3.2.2	数控车床工艺装备的应用	49
3.3	数控车床操作	50
3.3.1	经济型数控车床操作	50
3.3.2	配 FANUC 系统的数控车床操作	57
3.4	数控车削加工实例	62
3.4.1	加工示例	62
3.4.2	作业实例	71
第 4 章	数控铣削加工	72
4.1	数控铣削系统	72
4.1.1	华中 I 型铣削数控系统	72
4.1.2	加工型铣削数控系统	74
4.2	数控铣床的分类、组成及工装应用	75
4.2.1	数控铣床的分类及组成	75
4.2.2	数控铣床工艺装备及应用	76
4.3	数控铣床操作	80
4.3.1	经济型数控铣床的操作	80
4.3.2	加工型数控铣床的操作	83
4.3.3	数控仿形钻铣床的操作	88
4.4	数控铣削加工实例	92
4.4.1	加工示例	92
4.4.2	作业实例	99
第 5 章	加工中心加工	105
5.1	加工中心数控系统简介	105
5.1.1	SIEMENS 810D 数控系统	105
5.1.2	FANUC 0i-MB 数控系统	111
5.2	加工中心的分类、组成及工装应用	111
5.2.1	加工中心的分类与组成	111
5.2.2	加工中心的工艺装备应用	113
5.3	加工中心操作	116
5.3.1	加工中心主要特性与结构	116
5.3.2	加工中心机床操作	117
5.4	加工中心加工实例	120
5.4.1	加工示例	120

5.4.2 作业实例	124
第6章 数控电火花成形加工	126
6.1 数控电火花成形机床分类与组成	126
6.1.1 数控电火花成形机床的型号与分类	126
6.1.2 数控电火花成形机床的组成	126
6.2 数控电火花成形加工工艺与操作	126
6.2.1 数控电火花成形加工工艺	126
6.2.2 数控电火花成形机床的操作	131
6.3 数控电火花成形加工实例	139
6.3.1 加工示例	139
6.3.2 作业实例	140
第7章 数控电火花线切割加工	142
7.1 数控电火花线切割加工机床的分类与组成	142
7.1.1 数控电火花线切割加工机床的分类	142
7.1.2 数控电火花线切割加工机床的组成	142
7.2 数控电火花线切割的加工工艺与工装	143
7.2.1 数控电火花线切割加工工艺	143
7.2.2 数控电火花线切割加工工艺装备的应用	144
7.3 数控电火花线切割机床的操作	146
7.3.1 数控快走丝线切割机床的操作	146
7.3.2 数控慢走丝线切割机床的操作	154
7.4 数控电火花线切割加工实例	158
7.4.1 加工示例	158
7.4.2 作业实例	164
参考文献	165

第 1 章 绪 论

1.1 数控加工在机械制造中的地位和作用

随着科学技术和社会生产的不断发展,机械制造技术发生了深刻的变化,机械产品的结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,因此对加工机械产品的生产设备提出了高性能、高精度和高自动化的要求。

在机械产品中,单件和小批量产品占到 70%~80%。由于这类产品的生产批量小、品种多,一般都采用通用机床加工,其自动化程度不高,难于提高生产效率和保证产品质量。要实现这类产品生产的自动化成为了机械制造业中长期未能解决的难题。

为解决大批量生产的产品的高产优质问题,一般采用专用机床、组合机床、专用自动化机床以及专用自动化生产线和自动化车间进行生产。但其生产周期长,产品改型不易,因而使新产品的开发周期延长,生产设备使用的柔性很差。

现代机械产品的一些关键零部件,往往都精密复杂,加工批量小,改型频繁,显然不能在专用机床或组合机床上加工。而借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率受到很大的限制。特别对空间的复杂曲线曲面,在普通机床上根本无法实现。

为了解决单件、小批量生产,特别是复杂型面零件的自动化加工,数控加工应运而生。自 1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院(MIT)合作研制了第一台三坐标立式数控铣床以来,机械制造行业发生了技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。以后成功研制了数控转塔式冲床、数控转塔式钻床、加工中心(Machining Center, MC)等。随着计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,在 20 世纪 60 年代以后先后出现了直接数字控制系统(Direct Numerical Control; DNC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)等。

数控加工是机械制造中的先进加工技术。它的广泛使用给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化,是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,为机械制造行业和国民经济产生了巨大的效益。

1.2 数控加工概述

1.2.1 数控设备的工作原理与组成

(1) 数控设备的工作原理

操作者根据数控工作要求编制数控程序,并将数控程序记录在程序介质(如穿孔纸带、磁带、磁盘等)上。数控程序经数控设备的输入输出接口输入到数控设备中,控制系统按数

控程序控制该设备执行机构的各种动作或运动轨迹,达到规定的工作结果。图 1.1 是数控设备的一般工作原理。

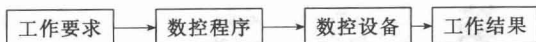


图 1.1 数控设备的一般工作原理

(2) 数控设备的组成与功能

数控设备的基本结构框图如图 1.2 所示。主要由输入输出装置、计算机数控装置、伺服系统和受控设备四部分组成。

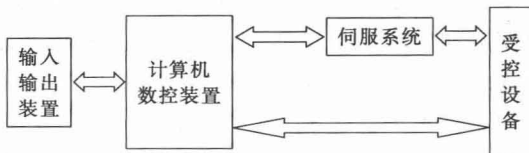


图 1.2 数控设备的基本结构框图

① 输入输出装置。

输入输出装置主要用于零件数控程序的编译、存储、打印和显示等。简单的输入输出装置只包括键盘和发光二极管显示器。一般的输入输出装置除了人机对话编程键盘和 CRT 外,还包括纸带、磁带或磁盘输入机、穿孔机等。高级的输入输出装置还包括自动编程机或 CAD/CAM 系统等。

② 计算机数控装置。

计算机数控装置是数控设备的核心。它根据输入的程序和数据,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令。

③ 伺服系统。

伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成,并与设备的执行部件和机械传动部件组成数控设备的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令,控制执行部件的进给速度、方向和位移。

④ 受控设备。

受控设备是被控制的对象,是数控设备的主体,一般都需要对它进行位移、角度和各种开关量的控制。在闭环控制的受控设备上一般都装有位置检测装置,以便将位置和各种状态信号反馈给计算机数控装置。

1.2.2 数控设备的分类

数控设备的种类很多,各行业都有自己的数控设备和分类方法。在机床行业,数控机床通常按以下不同方式进行分类。

(1) 按工艺用途分类

1) 金属切削类

指采用车、铣、镗、钻、铰、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。它又可分为以下两类。

① 普通数控机床:一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床,有数控车、铣、钻、镗及磨床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成。

② 数控加工中心：指带有刀库和自动换刀装置的数控机床。在加工中心上，可使零件一次装夹后，实现多道工序的集中连续加工。加工中心的类型很多，一般分为立式加工中心、卧式加工中心和车削加工中心等。加工中心由于减少了多次安装造成的定位误差，所以提高了零件各加工面的位置精度，近年来发展迅速。

2) 金属成形类

指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床，常用的有数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机等。

3) 特种加工类

主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控激光与火焰切割机等。

4) 测量、绘图类

主要有数控坐标测量机、数控对刀仪、数控绘图机等。

(2) 按控制运动的方式分类

1) 点位控制数控机床

这类数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

2) 点位直线控制数控机床

这类机床有数控车床和数控铣床等。

3) 轮廓控制数控机床

这类机床有数控车床、铣床、磨床和加工中心等。

(3) 按伺服系统的控制方式分类

1) 开环数控机床

它没有位置检测元件，其结构较简单、成本较低、调试维修方便，但由于受步进电机的步距精度和传动机构的传动精度的影响，难于实现高精度的位置控制，进给速度也受步进电机工作频率的限制。一般适用于中、小型经济型数控机床。

2) 半闭环控制数控机床

它是将位置检测元件安装在驱动电机的端部或传动丝杆端部，间接测量执行部件的实际位置或位移。这类控制可以获得比开环系统更高的精度，调试比较方便，因而得到广泛应用。

3) 闭环控制数控机床

它是将位置检测元件直接安装在机床工作台上。由于它采用了反馈控制，可以清除包括工作台传动链在内的传动误差，因而定位精度高，速度更快。但由于系统复杂，调试和维修较困难，成本高，一般适用于精度要求高的数控机床。

此外，按所用数控系统的档次通常把数控机床分为低档、中档、高档三类数控机床。中档、高档数控机床一般称为全功能数控或标准型数控。

1.2.3 数控加工及其特点

数控加工是指在数控机床上进行自动加工零件的一种工艺方法。数控机床加工零件时，将编制好的零件加工数控程序，输入到数控装置中，再由数控装置控制机床主运动的变速、启停、进给运动的方向、速度和位移大小，以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启、停等动作，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作，从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

一般来说，数控加工主要包括以下几方面的内容：

- ① 选择并确定零件的数控加工内容;
 - ② 对零件图进行数控加工的工艺分析;
 - ③ 设计数控加工的工艺;
 - ④ 编写数控加工程序单(手工编程时,需对零件图形进行数学处理;自动编程时,需进行零件CAD、刀具路径的产生和后置处理);
 - ⑤ 按程序单制作程序介质;
 - ⑥ 数控程序的校验与修改;
 - ⑦ 首件试加工与现场问题处理;
 - ⑧ 数控加工工艺技术文件的定型与归档。
- 与普通加工相比,数控加工具有如下特点。

1) 适应性强

数控加工是根据零件要求编制的数控程序来控制设备执行机构的各种动作,当数控工作要求改变时,只要改变数控程序软件,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,就能适应新的工作要求。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

2) 精度高,质量稳定

数控加工本身的加工精度较高,还可以利用软件进行精度校正和补偿;数控机床加工零件是按数控程序自动进行,可以避免人为的误差。因此,数控加工可以获得比普通加工更高的加工精度。尤其提高了同批零件生产的一致性,产品质量稳定。

3) 生产率高

数控设备上可以采用较大的切削用量,有效地节省了运动工时。还有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且无需工序间的检验与测量,故使辅助时间大为缩短。

4) 能完成复杂型面的加工

许多复杂曲线和曲面的加工,普通机床无法实现,而数控加工完全可以完成。

5) 减轻劳动强度,改善劳动条件

因数控加工是自动完成,许多动作不需操作者进行,故劳动条件和劳动强度大为改善。

6) 有利于生产管理

采用数控加工,有利于向计算机控制和管理生产方向发展,为实现制造和生产管理自动化创造了条件。

1.3 数控加工实践的主要内容、基本要求和学习方法

数控加工实践是与数控加工技术理论课程并行、并重的实践环节,其内容主要从零件的机械加工工艺规程编制入手,设计其所涉及的数控加工工序及数控程序,运用所需的工艺装备及技术,在数控机床上进行操作,加工出合格的零件。其基本要求如下。

① 综合运用机械加工工艺的基本知识和理论,掌握零件的机械加工工艺规程编制,包括机械加工工艺卡片、机械加工工艺过程卡、工序卡(毛坯工序卡、机械加工程序卡、热处理工序卡及表面处理工序卡、数控加工程序卡、数控加工程序说明卡和数控加工走刀路线图、钳工工序卡、特种检验工序卡、洗涤、防锈、油封工序卡和检验工序卡等)。

② 熟悉数控加工工序的设计,能手工或自动编制出零件的优化的数控加工程序。

③ 根据机械加工中所需的工艺装备(刀具、量具、夹具、模具等),能对其进行正确设

计或选用、使用与维护。

④ 一般了解所用的数控机床的结构、工作原理和使用范围,熟悉数控车削加工、数控铣削加工、加工中心加工、数控电火花成形加工、数控电火花线切割加工的工艺与操作,能加工出合格的零件。

⑤ 能进行数控加工的综合应用,熟练掌握数控自动编程综合技术、一般进行数控机床的基本维修、调试与检测。

数控加工实践与生产实际联系紧密,只有在实践中不断积累知识和经验,才能深入理解和熟练掌握,真正具备数控加工技术的综合应用能力。该实践需要通过认识实践、课内实验、实训或实习、课程设计及课后练习等多种实践教学环节的配合,每一个环节都是重要和不可缺少的,学习时应予以注意。

第2章 数控加工工艺及工装设计

2.1 工艺过程制订

2.1.1 基本概念

(1) 生产过程与工艺过程

生产过程是将原材料或半成品转变为成品所进行的全部过程。一般包括毛坯制造、零件加工、零件装配、部件或产品试验检测等阶段。

在生产过程中，工艺过程占有重要的地位。工艺过程是与改变原材料或半成品成为成品直接有关的过程。它包括锻压、铸造、冲压、焊接、机械加工、热处理、表面处理、装配和试车等。

机械加工工艺过程在工艺过程占有重要的地位。它是指用机械加工的方法逐步改变毛坯的状态（形状、尺寸和表面质量），使之成为合格的零件所进行的全部过程。

(2) 工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一系列顺序排列的工序组成的。工序是指在一个工作地点，对一个或一组工件所连续进行的工作。它是组成工艺过程的基本单元，毛坯依次通过这些工序而成为成品。工序又包括工步、走刀、安装和工位等内容。

① 工步：在被加工表面、切削工具和机床的切削用量均保持不变的情况下所进行的工作。一个工序可包括一个工步，也可以包括几个工步。

② 走刀：在一个工步中，切削工具从被加工表面上每切除一层金属所进行的工作。一个工步可包括一次或几次走刀。

③ 安装：工件在加工前，使工件在机床上占有正确的位置，然后使之夹紧的过程称为安装。在一个工序中，可能需要一次安装，也可能需要多次安装。多次安装常常会降低加工质量，还增加安装工件的辅助时间。

④ 工位：为了减少工件的安装次数，常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具等在一次安装后改变工件的加工位置。这种使工件在机床上占有的每个加工位置称为工位。

2.1.2 制订工艺过程的基本要求与技术依据

(1) 制订工艺过程的基本要求

制订零件的机械加工工艺过程可以有不同的方案，但合理的工艺过程应满足以下基本的技术和经济要求：

- ① 保证质量，即保证产品符合设计图纸和技术条件所规定的要求；
- ② 保证高的生产率和改善劳动条件；
- ③ 保证合理的经济性与安全性。

(2) 制订工艺过程的技术依据

零件的机械加工工艺过程取决于零件的要求、毛坯的性质、生产纲领与生产类型、现场的生产条件等因素，具体有以下技术依据。

1) 零件图及其技术要求

零件图及其技术要求是制造零件的主要技术依据。在零件图上一般包括以下内容。

① 构形：有必要的视图、剖视、剖面图以及确定构形大小的尺寸等。

② 技术要求：有关尺寸、形状所允许的偏差、表面粗糙度以及某些特殊的技术要求（平衡、音频和重量等）。

③ 材料：有关材料牌号、热处理及硬度、材料的无损探伤等。

在制订工艺过程时，应首先对零件图及其技术要求进行详细的工艺分析，以便为满足加工要求和保证质量采取相应的措施。

2) 毛坯的性质

毛坯的性质通过毛坯图设计来体现，而毛坯图是根据零件图而设计的。对于力学性能要求高、构形复杂的零件，其大部分毛坯采用锻件、铸件或板材制造，而对于一些标准件或强度要求不高的零件，可选用型材做毛坯。

为减少加工时的劳动量和提高优质材料的利用率，以及保证零件内部的质量，常采用较先进的方法来制造毛坯，如空心锻造、小余量或无余量毛坯的辗压等。

3) 生产纲领与生产类型

产品或零件的生产纲领是指备品和废品在内的年产量。根据生产纲领的大小和产品品种的多少，机械制造业的生产类型可分为三种类型：单件生产、成批生产和大量生产。

① 单件生产：这种生产类型的特点是产品的品种多、产量小（一件或几十件），而且不再重复或不定期重复。因此这种类型的生产常采用数控设备或通用的设备及工具。

② 成批生产：这种生产类型的特点是产品分批地进行生产，按一定时期交替地重复。它可采用数控设备、通用设备及部分专用设备，并广泛采用专用夹具和工具。按投入生产的批量的大小，成批生产可分为小批生产、中批生产、大批生产三种。小批生产的工艺过程特点与单件生产的相似，大批生产的工艺过程特点与大量生产的相似，中批生产的工艺过程特点则介于小批生产和大批生产两者之间。

③ 大量生产：这种生产类型的特点是产品的产量大、品种少，大多数工作是长期重复地进行某一零件的某一工序的加工。这种生产类型常采用专用设备及工艺装备，并广泛采用生产率高的专用机床、组合机床、自动化机床和自动线。

生产类型的划分，主要取决于产品的复杂程度及生产纲领的大小，可查阅有关手册。生产类型不同，制订工艺过程的详细程度也不同。在单件生产时，一般只制订工艺路线；在成批和大量生产中，则需要详细制订工艺过程。

4) 现场的生产条件

工艺过程的制订，须在现有工厂的条件下，或者是在新设计的工厂条件下进行。对于前者，主要应从现有的设备和工艺装备出发，来制订较为合理的工艺过程，使现有的设备得到充分的利用；对于后者，则可以根据需要并考虑当前可能的条件来选择设备，因而可采用较为先进的设备。此外，要注意新技术、新工艺的应用。

2.1.3 零件图的工艺分析与绘制

零件图是工艺设计的原始资料和基本依据，工艺过程的设计必须能保证零件图上的全部要求。

进行零件图的工艺分析时，要仔细地熟悉零件的构造及其技术要求，了解零件的工作条件、各部分的作用，并按制图标准绘制零件图。

对这一部分的具体要求是：

- ① 了解零件的功用、工作条件、各部分各表面的作用、零件构造特点及主要的技术要求（包括尺寸，公差，表面质量及技术条件等）；
- ② 对零件进行工艺分析，确定主要表面，了解主要表面的保证方法及检查方法；
- ③ 初步定出主要表面的加工方法和零件的加工顺序；
- ④ 对零件进行结构工艺分析，从工艺观点分析零件结构的合理性，掌握分析的方法。

2.1.4 毛坯的设计

通过毛坯设计，应会正确地选择毛坯，并熟悉毛坯设计的内容和要求。首先要根据零件的结构、材料、生产规模、机械加工的要求（余量，基准等）决定毛坯的制造方法。然后（对锻造和铸造毛坯）确定其形状、出模角、圆角半径及技术条件。毛坯的尺寸和公差则在详细拟定零件机械加工工艺路线以后，根据各工序加工余量决定总加工余量及毛坯尺寸和公差。

对毛坯图设计的要求如下。

- ① 绘制毛坯简图。
- ② 毛坯的分模面、出模角、圆角半径都要表示清楚。最多且相同的出模角、圆角半径可不在图上注明，而在技术条件中注明。毛坯图中尺寸，公差应齐全。
- ③ 在毛坯图中，用细实线画出零件的大小，不影响零件外形的可不画。
- ④ 毛坯需切取试片时，应在毛坯图上画出试片的部位及大小。
- ⑤ 在毛坯外廓尺寸下，用括号标明零件成品的名义尺寸。
- ⑥ 毛坯为型材时，不另画毛坯图，但在工艺规程毛坯工序卡片中，需画出下料简图。

2.1.5 工艺路线的制订

制订工艺过程时，首先要制订工艺路线，然后详细进行工序设计，这两个过程是相互联系的，需进行反复和综合的分析。

制订工艺路线是制订工艺过程的总体布局，其任务是确定工序的数量、内容和顺序，需从以下方面进行考虑。

（1）加工方法的选择

表面加工方法的选择，首先要保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一精度及表面粗糙度的加工方法往往有若干种，实际选择时还要结合零件的结构形状、尺寸大小以及材料和热处理的要求全面考虑。例如对于 IT7 级精度的孔，采用镗削、铰削、拉削和磨削均可达到要求。但箱体上的孔，一般不宜选择拉孔和磨孔，而常选择镗孔或铰孔；孔径大时选镗孔，孔径小时选铰孔。对于一些需经淬火的零件，热处理后应选磨孔，对于有色金属的零件，为避免磨削时堵塞砂轮，则应选择高速镗孔。

表面加工方法的选择，除了首先保证质量要求外，还须考虑生产率和经济性的要求。大批大量生产时，应尽量采用高效率的先进工艺方法，如拉削内孔与平面、同时加工几个表面的组合铣削或磨削等。这些方法都能大幅度地提高生产率，取得很大的经济效果。但是在生产批量不大的生产条件下，如盲目采用高效率加工方法及专用设备，则会因设备利用率不高，造成经济上的较大损失。此外，任何一种加工方法，可以获得的加工精度和表面质量均有一个相当大的范围，但只有在一定的精度范围内才是经济的，这种一定范围的加工精度即为该种加工方法的经济精度。选择加工方法时，应根据工件的精度要求选择与经济精度相适应的加工方法。例如对于 IT7 级精度、表面粗糙度 Ra 值为 $0.4\mu\text{m}$ 的外圆，通过精车削虽也

可以达到要求,但在经济上就不及磨削合理。表面加工方法的选择还要考虑现场的实际情况,如设备的精度状况、设备的负荷以及工艺装备和工人技术水平等。各种加工方法的特点、经济加工精度及其表面粗糙度,可查阅有关工艺手册。

在一般的机械制造过程中,金属切削方法仍占主要地位。由于科学技术的日益发展,特殊的结构、难加工材料的使用日益增多,导致特种加工方法的采用更为广泛,如电脉冲、电火花、电解加工、电抛光,以及激光加工、超声加工、化学加工和电子束加工等。

各表面由于精度和表面质量的要求,一般不是只用一种方法、一次加工就能达到要求的。对于主要表面来说,往往需要通过粗加工、半精加工和精加工逐步达到要求,因此应首先选择相应的最终加工方法,然后确定从毛坯到最终成形的加工路线——加工方案。各表面的加工方案可查阅有关手册。在各主要表面的加工方法确定后,还应确定各次要表面的加工方法。

(2) 加工阶段的划分

工艺路线按工序性质的不同,一般可划分为以下几个加工阶段。

① 粗加工阶段:其主要任务是切除各加工表面上的大部分加工余量,使毛坯在形状和尺寸上尽量接近成品。因此,在此阶段中应采取措施尽可能提高生产率。

② 半精加工阶段(细加工阶段):其任务是达到一般的技术要求,包括完成一些次要表面的加工、为主要表面的精加工作好准备(如精加工前必要的精度和加工余量等)。

③ 精加工阶段(光整加工):其任务是保证各主要表面达到规定的质量要求。在这个阶段,加工余量一般均较小。

当有些零件具有很高的精度和很细的表面粗糙度要求时,尚需增加超精加工阶段,其主要任务是提高尺寸精度和降低表面的粗糙度。

工艺路线划分阶段的主要原因如下。

① 保证加工质量。如果不分阶段的连续进行粗精加工,就无法避免因力和热产生的工件变形所引起的加工误差。而加工过程划分阶段后,粗加工造成的加工误差,可通过半精加工和精加工得到纠正,并逐步提高了零件的加工精度,降低了表面粗糙度,保证了加工质量。

② 合理使用设备。划分阶段后,粗加工可采用功率大、刚度好和精度较低的高效率机床,以提高生产率;精加工则可采用高精度机床以确保零件的精度要求,这样既充分发挥了设备的各自特点,也做到了设备的合理使用。

③ 便于安排热处理工序,使冷热加工工序配合得更好。例如,一些零件在半精加工后安排淬火,不仅容易满足零件性能要求,而且淬火引起的变形又可通过精加工工序予以消除。

此外,粗、精加工分开后,毛坯的缺陷(如气孔、砂眼和加工余量不足等)在粗加工后即可及早发现,及时决定修补或报废,以免对应报废的零件继续进行精加工而浪费工时和其他制造费用。精加工表面安排在后面,还可保护其不受损伤。

在拟定零件的工艺路线时,一般应遵循划分加工阶段这一原则,但具体运用时要灵活掌握,不能绝对化。例如,对于一些毛坯质量高、加工余量小、加工精度要求较低而刚性又较好的零件,即不必划分加工阶段;对于一些刚性好的重型零件,由于装夹吊运很费工时,往往也可不划分阶段,而在一次安装中完成表面的粗精加工。

需要注意的是,工艺路线的划分阶段,是对零件加工的整个过程来说的,不能从某一表

面的加工或某一工序的性质来判断。例如：有些定位基准，在半精加工阶段甚至粗加工阶段就需要加工得很精确；而某些钻小孔的粗加工工序，常常又安排在精加工阶段。

(3) 工序的集中与分散

工序的集中与分散是拟定工艺路线时确定工序数目的两个不同的原则。

1) 工序集中

工序集中是将零件的加工集中在少数工序内完成，而每一工序的加工内容却比较多。它有以下特点：

- ① 工序数目少、工序内容复杂，因而缩短了工艺路线，简化了生产组织工作；
- ② 减少了设备数目，从而减小了操作工人和生产面积；
- ③ 减少了工件安装次数，缩短了辅助时间，因而易于保证同时加工表面的相对位置精度，有利于提高生产率和缩短生产周期；
- ④ 有利于采用高生产率的专用设备和工艺装备，但相应的生产准备工作和投资都比较大，这些专用设备和工艺装备的操作、调整、维修费时费事，转换新产品比较困难。

2) 工序分散

与工序集中相反，工序分散是将零件的加工集中在尽可能多的工序内完成，而每一工序的加工内容却比较少。它有以下特点：

- ① 工序数目多，因而设备数量多，生产组织工作复杂，生产面积大；
- ② 工序内容简单，因而生产准备工作量小，设备和工艺装备简单，操作、调整、维修简单，产品变换容易；
- ③ 可以采用最合理的切削用量，以减少机动时间。

以上两种原则各有特点，因此在加工过程中均有采用。工序集中与分散程度的确定，一般需要考虑下述因素。

① 生产量的大小：在产量较小时，为简化计划、调度等工作，选取工序集中原则较便于组织生产。当产量很大时，可按分散原则以利于组织流水生产。

② 工件的尺寸和重量：对尺寸和重量大的工件，由于安装和运输困难，一般宜采用集中原则组织生产。

③ 工艺设备的条件：由于工序集中的优点较多，现代自动化生产的发展多倾向工序集中（如数控机床以及其他专用、特种设备等高生产率的设备）。

(4) 工序顺序的安排

1) 机械加工工序的安排

在安排机械加工工序顺序时，应注意以下几点。

① 根据零件的功用和技术要求，先将零件的主要表面和次要表面区分开，然后着重考虑主要表面的加工顺序，次要表面加工可适当穿插在主要表面加工工序之间。

② 当零件需要分阶段进行加工时，先安排各表面的粗加工，中间安排半精加工，最后安排主要表面的精加工和光整加工。由于次要表面精度要求不高，一般在粗、半精加工阶段即可完成，但对于那些同主要表面相对位置关系密切的表面，通常多放于主要表面精加工之后完成。例如，许多零件主要孔周围的紧固螺孔的钻孔和攻螺纹，多在主要孔精加工之后进行。

③ 零件加工多从基准面加工开始，然后以基准面定位加工其他主要表面和次要表面。

④ 为了缩短工件在车间内的运输距离，避免工件的往返流动，加工顺序应考虑车间设