



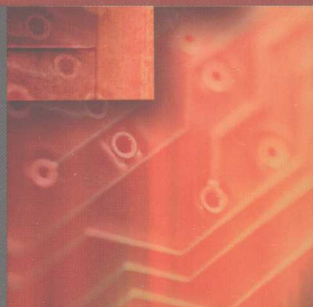
PUTONG GAODENG JIAOYU GUIHUA JIAOCAI

• 普通高等教育规划教材 •

[高校教材]

数控加工编程 及操作教程

周文玉 刘赛赛 主编



中国轻工业出版社

TG659/305

2009

普通高等教育规划教材

数控加工编程及操作教程

周文玉 刘赛赛 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工编程及操作教程/周文玉, 刘赛赛主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2009. 2

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5019-6782-7

I. 数… II. ①周…②刘… III. 数控机床-程序设计-高等
学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 196506 号

内 容 提 要

本书以数控加工中常用数控系统的 NC 编程标准与常用数控机床的操作方法为依据, 首先扼要介绍数控加工原理、常用数控机床类型、数控加工工艺设计, NC 编程基础知识, 然后分别用实例比较详细地讲解数控车床、数控铣床、加工中心、数控电火花线切割机床和数控电火花成型机床的编程特点和操作使用方法。书中的选题、NC 程序和加工操作步骤均为典型的数控加工实例, 经过了实践验证。编程与操作指导部分有真实加工和仿真加工两种。

本书可作为机械制造、数控技术、模具等专业的数控加工技术课程实践教学教材, 也可以作为数控加工培训的参考教材, 同时还可以作为相关专业师生及工程技术人员的参考书。

责任编辑: 王 淳 张晓媛 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王培燕 责任校对: 晋 洁 责任监印: 胡 兵 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 8.5

字 数: 150 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6782-7 定价: 16.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119845 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

40236J1X101ZBW

前 言

数控加工技术作为现代制造技术的典型代表,使得机械制造方法和过程已经发生和正在发生着显著变化。现代的数控加工技术与传统加工技术相比,无论在加工工艺、加工过程的控制,还是在加工设备等诸多方面均有明显不同。机械类专业,特别是机械制造专业的学生掌握数控加工技术非常必要,多数高等院校均把“数控加工技术”列为机械类及相关专业的一门主干课程。实践性、技术性和综合性强是数控加工技术的显著特点,针对该特点,常把数控加工技术的实践教学列为重点教学内容。为适应机械加工技术的发展与教学需要,我们编写了《数控加工编程及操作教程》一书。

本书以综合能力培养为核心,以基础知识为切入点,以数控编程和实际操作为重点,既注重与基础知识的衔接,又突出重点。书中以数控加工中常用数控系统的 NC 编程标准与操作方法为依据,首先简要介绍数控加工的原理及基本概念、编制数控加工程序的基本知识及标准,然后比较详细地分析介绍数控车床、数控铣床、加工中心、数控电火花线切割机床和数控电火花成型机床的编程特点和操作使用方法。

全书共分两篇。第 1 篇数控加工基础,该篇包括两章,分别为数控加工工艺基础、数控加工编程基础;第 2 篇数控加工实训指导,该篇包括六章,分别为数控车削编程与操作、数控铣削编程与操作、加工中心编程与操作、数控线切割编程与操作、数控电火花成型编程与操作、数控仿真加工指导。书中的选题、NC 程序和加工操作步骤案例均为典型的数控加工实例,经过了实践验证,数控加工实训指导部分有真实加工和仿真加工两种。本书可作为机械制造专业、数控技术专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业以及机电技术专业的数控实践教学教材,也可作为数控培训的参考书,同时还可作为相关专业师生及工程技术人员的参考书。

本书由周文玉、刘赛赛主编。其中第 1 章、第 2 章由刘赛赛和赵纪国编写,第 3 章、第 8 章由周文玉和范光辉编写,第 4 章由李琥林和黄申编写,第 5 章由张岐贵和赵培勇编写,第 6 章、第 7 章由郭晓东和李谋金编写,诸葛晓舟审稿。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正

编 者

2008 年 10 月

目 录

第 1 篇 数控加工基础

第 1 章 数控加工工艺基础	2
1.1 数控机床工作原理、组成及分类	2
1.2 数控加工工艺设计	6
练习题	19
第 2 章 数控加工编程基础	20
2.1 数控编程的基本概念	20
2.2 数控机床的坐标系	21
2.3 数控加工程序的结构与格式	22
2.4 准备功能 G 代码	24
2.5 辅助功能 M 代码	30
2.6 其它功能 F、S、T 代码	32
练习题	32

第 2 篇 数控加工实训指导

第 3 章 数控车削编程与操作	35
3.1 数控车床的结构及功能特点	35
3.2 FANUC-0i-TC 数控系统常用功能代码及使用	36
3.3 华中世纪星-21 数控系统常用功能代码及使用	41
3.4 FANUC-0i-TC 数控车床操作方法及步骤	44
3.5 华中世纪星-21 数控车床操作方法及步骤	49
3.6 数控车削典型加工实例	54
练习题	57
第 4 章 数控铣削编程与操作	59
4.1 数控铣床的结构布局及功能特点	59
4.2 FANUC-0i-MC 数控系统常用代码功能及使用	60
4.3 数控铣床操作方法及步骤	64
4.4 数控铣削典型加工实例	70
练习题	72
第 5 章 加工中心编程与操作	75
5.1 加工中心的结构布局及功能特点	75
5.2 FANUC-0i-MB 数控系统常用代码功能及使用	76
5.3 加工中心操作方法及步骤	78

5.4 加工中心典型加工实例	81
练习题	84
第6章 数控线切割编程与操作	86
6.1 数控线切割机床的工作原理及结构组成	86
6.2 数控线切割的编程方法	87
6.3 数控线切割机床的操作方法	88
6.4 线切割加工间隙补偿量 f 的确定及切割参数选择	92
6.5 数控线切割典型加工实例	93
练习题	95
第7章 数控电火花成型编程与操作	97
7.1 数控电火花成型机床的工作原理及结构组成	97
7.2 数控电火花成型加工的编程代码	98
7.3 数控电火花成型机床的操作方法	99
7.4 数控电火花成型典型加工实例	101
练习题	103
第8章 数控仿真加工指导	105
8.1 数控仿真技术简介	105
8.2 数控仿真加工操作环境	105
8.3 FANUC 数控车床的仿真操作	107
8.4 华中世纪星数控车床的仿真操作	111
8.5 FANUC 数控铣床的仿真操作	114
8.6 SIEMENS 802DM 加工中心的仿真操作	119
主要参考文献	128

第1篇 数控加工基础

本篇共分两章，分别为数控加工工艺基础和数控加工编程基础，主要介绍数控加工的基础知识，包括数控机床的工作原理。常用数控机床的类型及特点。数控加工工艺设计的内容及设计方法。数控加工程序编制的基本概念与编程方法、编程的坐标系标准。常用格式标准和代码标准等。学习掌握该篇知识和方法，应能够根据加工工件的特点和要求正确选择数控机床类型，合理设计数控加工工艺，正确编制数控加工程序。该篇内容是顺利进行数控机床编程及加工操作的最基本的知识，它将为熟练掌握数控机床的调整和操作方法奠定基础。

第 1 章 数控加工工艺基础

数控即数字控制 (Numerical Control, 简称 NC), 数控技术即 NC 技术, 它是用数字化信号对机器的运动进行控制的一种自动控制技术。采用数控技术的自动控制系统为数控系统, 其被控对象可以是生产过程或设备。如果被控对象是机械加工设备机床, 则该机床称为数控机床, 应用数控机床进行加工的技术即为数控加工技术。随着科学技术的发展和数控技术的广泛应用, 在机械制造业中普通机械逐渐被高效率、高精度、高自动化的数控机床所代替, 使得在世界范围内, 机械制造业已经发生和正在发生着根本性的变化。

1.1 数控机床工作原理、组成及分类

1.1.1 数控机床的工作原理

数控机床加工零件的过程, 是由机床的数控系统根据加工程序发出数字化指令控制机床各运动部件协调动作的自动化加工过程。数控机床工作原理如图 1-1 所示。

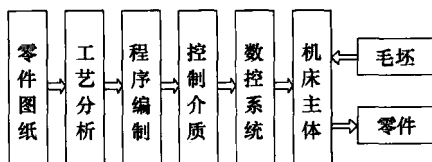


图 1-1 数控机床工作原理图

采用数控机床加工零件, 首先要根据零件图的要求进行工艺分析, 确定零件加工的工艺过程和工艺参数, 如走刀顺序、刀具运动轨迹、切削参数等; 然后将工艺分析的结果按规定的代码和格式编制成数控加工程序, 将程序通过一定的方

法输入到机床的数控系统中; 数控系统根据对加工程序处理的结果发出控制命令, 如启动主轴电机、打开冷却液、进行刀具轨迹计算并根据计算结果向特定的执行单元不断发出数字位移脉冲进行位移速度控制等, 如此使机床的运动执行件按指令协调动作, 从而自动对零件进行加工。这样的控制直到程序运行结束, 零件加工完毕为止。数控系统发出一个指令脉冲使运动执行件产生的位移量称为脉冲当量 δ , 数控机床的脉冲当量一般为 $0.001 \sim 0.01\text{mm}$ 。

根据数控机床工作原理分析, 可知数控加工是在数控系统指令下进行的, 加工过程中不需要人工直接参与操作。当加工零件改变时, 只需要向数控系统输入新的加工程序, 对机床进行简单调整, 就可以进行新的零件加工。所以, 数控加工最大的特点就是: 自动化程度高, 柔性好, 加工精度高, 质量稳定, 能够多坐标联动, 特别适宜复杂型面的加工。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床主要由数控装置、伺服单元和主机等三部分组成, 见图 1-2 所示。

(1) 主机

主机是数控机床的主体部分, 主要由各种机械部件组成。床身、立柱等是保证部件位置的支承件; 主轴箱、进给机构等是实现加工所需成形运动的执行件; 另外, 一般数控机

床均具有实现冷却、润滑等其它功能的辅助装置。

(2) 数控装置

数控装置是数控机床的控制中心，包括专用或通用计算机、各种接口电路、显示器等硬件及相应的软件。它能完成信息的输入输出、存储、变换、插补运算以及各种控制功能。数控装置的核心硬件通常为计算机。

(3) 伺服单元

伺服单元是数控装置的主要执行部分，它由驱动元件、机械传动装置和伺服控制电路三部分组成。常用的驱动元件有步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机等。



图 1-2 数控机床组成框架图

1.1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，功能各异，可以从不同的角度对其进行分类。

1.1.3.1 数控机床的常用数控系统

数控系统是数控机床的控制核心，数控机床根据功能和性能要求，配置不同的数控系统。数控系统不同，其指令代码也有差别，因此，编程时应按所使用数控系统相应的代码功能及格式规则进行编程。FANUC（日本）、SIEMENS（德国）、FAGOR（西班牙）等公司的数控系统及相关产品在数控机床行业占据主导地位；我国数控系统产品以华中数控、广州数控为代表，已逐步将高性能的数控系统国产化。

(1) FANUC 数控系统

可靠型 Power Mate 0 系列的系统，多用于控制两轴联动的小型车床，其伺服系统的驱动多用步进电机。该系统可配画面清晰且操作方便的中文显示 CRT/MDI，也可配性能价格比较高的 DPL/MDI。

普及型 CNC 0-D 系列的系统，性价比较高。其中 0-MD 用于铣床及小型加工中心，0-GCD 用于内、外磨床，0-GSD 用于平面磨床，0-PD 用于冲床。

全功能型 0-C 系列的系统，功能完善，性能稳定。其中 0-TC 用于车床，0-MC 用于铣床、钻床和加工中心，0-GCC 用于内、外圆磨床，A0-GSC 用于平面磨床，0-TTC 用于双刀架四轴车床。

高性能价格比的 0i 系列的系统，具有整体软件功能包，适宜高速、高精度加工。该系统具有网络功能，可实现多台机床联网，由一台计算机实现控制。其中：0i-MB/MA 分别可用于铣床和加工中心，可实现四轴四联动；0i-TB/TA 用于车床，可实现四轴两联动；0i-Mate MA 用于铣床，可实现三轴三联动；0i-Mate TA 用于车床，可实现两轴两联动。

除此之外，还有具有网络功能的超小型 CNC16i/18i/21i 系列和实现机床个性化的 CNC16/18/160/180 系列。

(2) SIEMENS 数控系统

SINUMERIK 802S/C 系统多用于车床、铣床等，可控制 3 个进给轴和 1 个旋转轴。其中：802S 系统适用于步进电机驱动，802C 适用于伺服电机驱动，具有数字 I/O 接口。

SINUMERIK 802/D 系统可控制 4 个进给轴和 1 个旋转轴，具有 PLC I/O 模块，可

进行图形式循环编程, 能实现车削、铣削、钻削工艺循环, 坐标系移动、旋转和缩放等功能, 可以为复杂加工任务提供智能控制。

SINUMERIK 804D 系统, 采用全数字模块化设计, 用于复杂机床、模块化旋转加工机床和传送机床, 最多可控制 31 个坐标轴。

(3) 华中数控系统

华中“世纪星”数控系统包括世纪星 HNC-18i、HNC-19i、HNC-21 和 HNC-22 四个系列产品, 其中以 HNC-21 为典型产品。HNC-21T 为车削系统, 最大联动轴数为 4 轴; HNC-21M 为铣削系统, 最大联动轴数为 4 轴。华中数控均采用开放式体系结构, 内置嵌入式工业 PC。

1.1.3.2 按运动轨迹的控制分类

(1) 点位控制机床

点位控制机床是指数控系统控制刀具从一点准确地移动到另一点, 点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的机床。一般先以较快速度移动到终点附近, 然后以较低速度准确移动并定位到终点位置, 以保证良好的定位精度。这种机床刀具移动过程中不进行切削, 快移速度由机床指定, 不能由程序设定。使用这类控制系统的主要有数控镗床、数控钻床、数控冲床等。

(2) 点位直线控制机床

点位直线控制机床是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一个点准确地移动到下一个点位, 而且可以进行平行于坐标轴方向的直线运动轨迹速度的控制, 刀具在该直线移动过程中, 能够进行切削加工。应用这类控制系统的有数控车床、数控钻床和数控铣床等。

(3) 轮廓控制机床

轮廓控制机床也称连续控制机床, 是指数控系统能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行严格连续控制的系统。它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点, 而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量, 将零件加工成一定的轮廓形状。应用这类控制系统的有数控铣床、数控车床、加工中心和数控齿轮加工机床等。

1.1.3.3 按伺服单元的性质分类

(1) 开环伺服系统

这类数控机床没有位移检测与反馈, 其数控装置发出的位移指令信号是单向的, 不能进行运动误差的校正, 因此步进电机的步距角误差、齿轮和丝杠螺母等传动件组成的传动链误差都将直接影响零件的加工精度。这类机床通常为经济型中小型机床, 具有结构简单、价格低廉、调试方便等优点, 但通常输出的扭矩值大小受到限制, 而且当指令的频率较高时, 容易产生失步, 难以实现运动部件的准确控制, 因此不能充分满足数控机床日益提高的功率、运动速度和加工精度的控制要求。图 1-3 为开环控制的系统框图。

(2) 半闭环伺服系统

图 1-4 为半闭环控制系统框图。这类机床将检测元件装在最后运动执行件之前的某个传动件上, 例如驱动电机转轴、传动齿轮、传动丝杠的端部等, 可以检测、反馈并补偿该传动件的位移速度误差, 其后的传动件对位移速度造成的误差不能检测、反馈和补偿。这种系统的反馈环路内不包括惯性较大的工作台等运动件, 因此可以获得较稳定的控制特性, 控制系统的调试也比较方便。由于半闭环伺服系统常采用高分辨率且成本低的角位移

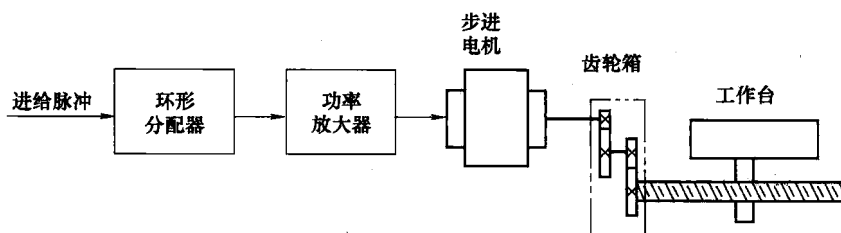


图 1-3 开环伺服系统

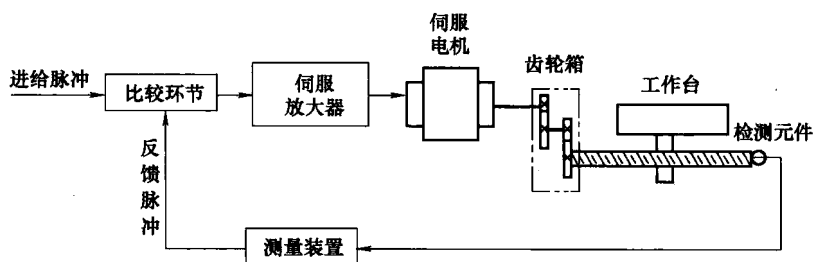


图 1-4 半闭环伺服系统

测量元件，如脉冲编码器，因此可以获得比较满意的精度、速度和经济性。

半闭环数控机床可以获得比开环系统更高的精度，但由于检测装置之后的机械传动链的误差无法检测、反馈和校正，因此它的精度比闭环系统的低。多数数控机床采用半闭环控制系统。

(3) 闭环伺服系统

图 1-5 为闭环控制系统框图。这类机床的位置检测装置安装在进给系统末端的执行部件上，该位置检测装置可直接测得工作台或刀具的位移。数控装置将指令位移与测得的实际位移的反馈信号进行比较，根据其差值不断控制运动，使运动部件严格按照实际需要的位移量运动；还可利用测速元件随时测得驱动电机的转速，将速度反馈信号与速度指令信号相比较，对驱动电机的转速随时进行修正。这类机床的运动精度主要取决于检测装置的精度，与机械传动链的误差无关，因此可以消除由于传动链的每一个传动件的误差给工件加工精度带来的影响。

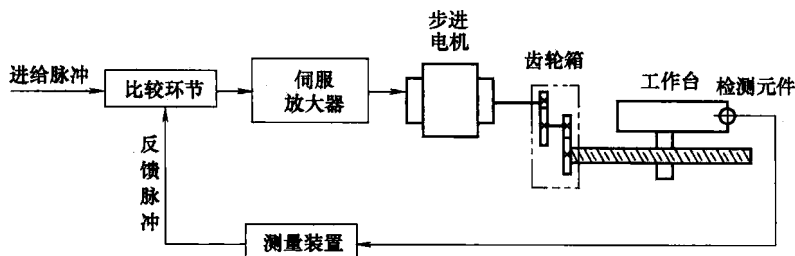


图 1-5 闭环伺服系统

相比于开环数控机床，闭环数控机床精度更高、速度更快、驱动功率更大，但是闭环系统设计和调试不当，很容易产生振荡，造成系统的不稳定。此类机床传动链的刚度、间

隙，导轨的低速运动特性，工作台的惯性，机床结构的抗振性等都会对系统的稳定性造成一定影响，增加系统调试的难度。所以，这类机床对其结构及传动链提出了严格的要求，价格比较昂贵。闭环控制数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床等。

1.1.3.4 按联动坐标数分类

(1) 两坐标联动数控机床

如图 1-6 所示，该类机床能同时控制两个坐标轴联动。适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

(2) 三坐标联动数控机床

如图 1-7 所示，该类机床能同时控制三个坐标轴联动。一般用于空间曲面的加工，如模具型腔的加工等可采用三轴联动加工。

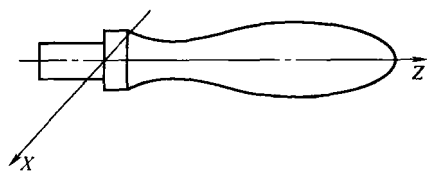


图 1-6 两轴联动加工

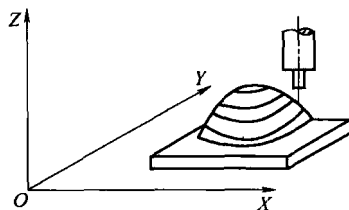


图 1-7 三轴联动加工

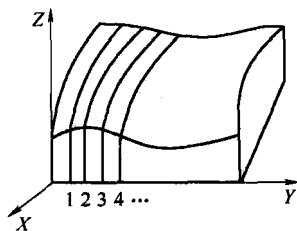


图 1-8 两轴半联动加工

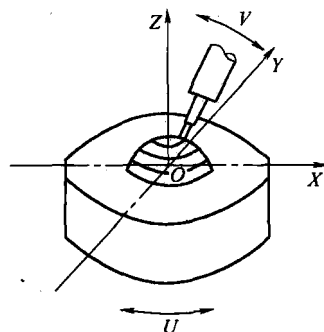


图 1-9 多轴联动加工

(3) 两轴半坐标联动数控机床

如图 1-8 所示，该类机床本身有三个坐标，能作三个方向的运动，但控制装置只能同时控制两个坐标联动。而第三个坐标仅能作等距的间歇周期移动。该机床也能加工空间曲面。

(4) 多坐标联动数控机床

如图 1-9 所示，该类机床能同时控制四个或四个以上坐标轴联动。多坐标联动数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂，适于加工形状复杂的零件，如叶轮叶片类零件。

1.2 数控加工工艺设计

数控编程工作中的工艺设计是十分重要的环节，它关系到所编制加工程序的正确性与

合理性。因此,在编写程序前,编程人员必须对加工工艺过程、走刀路线、刀具、切削用量等进行正确合理的确定和选择。

数控加工工艺设计的原则和内容在许多方面与普通工艺相同,但又有其特点。一般来说,数控加工工艺设计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 对零件进行数控加工工艺性分析;
- ③ 设计数控加工工艺路线;
- ④ 设计数控加工工序。

1.2.1 数控加工内容的选择

当选择并决定对某个零件进行数控加工后,并非其全部加工面都采用数控加工,数控加工工序可能只是零件全部加工工序中的一部分。因此,有必要对零件图样进行仔细分析,立足于解决难题、提高生产效率,注意充分发挥数控的优势,选择那些最适合、最需要的内容进行数控加工。一般可按下列原则选择数控加工内容:

- ① 普通机床无法加工的内容应作为优先选择内容。
- ② 普通机床难加工,质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。
- ③ 普通机床加工效率低,工人手工操作劳动强度大的内容,可在数控机床尚有加工能力的基础上进行选择。

相比之下,下列一些加工内容则不宜选择数控加工:

- ① 需要用较长时间占机调整的加工内容。
- ② 加工余量极不稳定,且数控机床上又无法自动调整零件坐标位置的加工内容。
- ③ 不能在一次安装中加工完成的零星分散部位,采用数控加工很不方便,效果不明显,可以安排普通机床补充加工。

此外,在选择数控加工内容时,还要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等因素,要尽量合理使用数控机床,达到产品质量、生产率及综合经济效益等指标都明显提高的目的,要防止将数控机床降格为普通机床使用。

1.2.2 零件的数控加工工艺性分析

零件的数控加工工艺性分析,一般根据零件图进行,主要包括零件图分析和零件结构的工艺性分析两部分。

1.2.2.1 零件图分析

(1) 审查零件图上尺寸标注方法应适应数控加工的特点。零件设计人员在尺寸标注时,一般总是较多地考虑装配等使用特性,因而常采用如图 1-10 (a) 所示的局部分散标注方法,这样就给编程计算和数控加工带来诸多不便。采用数控机床加工零件时,应尽量将分散标

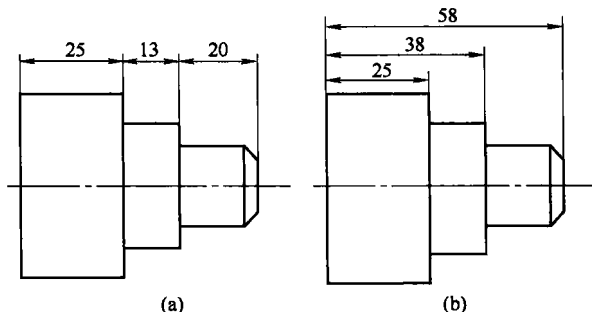


图 1-10 零件尺寸标注分析
(a) 分散标注 (b) 集中标注

注改为集中标注,即以同一基准标注尺寸或直接给出坐标尺寸,如图 1-10 (b) 所示。这种标注方法既便于编程,也便于尺寸之间的相互协调,还有利于设计基准、工艺基准、测量基准和编程原点的统一。由于数控加工精度和重复定位精度都很高,一般不会因此产生较大的累积误差而破坏零件的使用特性。

(2) 根据标注的尺寸公差和形位公差等相关信息,将加工表面区分为重要表面和次要表面,并找出其设计基准;进而遵循基准选择的原则,确定加工零件的定位基准,分析零件的毛坯是否便于定位和装夹,夹紧方式和夹紧点的选取是否会有碍刀具的运动,夹紧变形是否对加工质量有影响等。为工件定位、安装和夹具设计提供依据。

(3) 构成零件轮廓的几何元素(点、线、面)的条件(如相切、相交、垂直和平行等),这是数控编程的重要依据。手工编程时,要依据这些条件计算每一个节点的坐标;自动编程时,则要根据这些条件对构成零件的所有几何元素进行定义,几何元素定义条件缺少或过多,都会导致编程无法进行。因此,在分析零件图时,务必明确几何元素的给定条件是否充分准确,发现问题及时与设计人员协商解决。

1.2.2.2 零件的结构工艺性分析

(1) 内腔与外形

零件的内腔与外形应尽量采用统一的几何类型和尺寸,这样可以减少刀具规格和换刀次数,方便编程,提高生产效益。

(2) 内槽圆角

内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小,所以内槽圆角半径不应太小。图 1-11 所示零件,其结构工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转角圆弧半径的大小等因素有关。图 1-11 (b) 与图 1-11 (a) 相比,转角圆弧半径 R 大,可以采用直径较大的立铣刀加工底平面,不仅刀具刚度高,而且进给次数较少,底面加工质量好。通常 $R < 0.2H$ 时 (H 为轮廓面的最大高度),可以判定零件该部位的工艺性不好。

(3) 槽底圆角

铣削零件槽底平面时,槽底圆角半径 r 不要过大。如图 1-12 所示,铣刀端面刃与铣削平面的最大接触直径 $d = D - 2r$ (D 为铣刀直径),当 D 一定时, r 越大,铣刀端面刃铣削平面的面积越小,加工平面的能力就越差,效率越低。当 r 大到一定程度时,甚至必须用球头铣刀加工,这是应该尽量避免的。

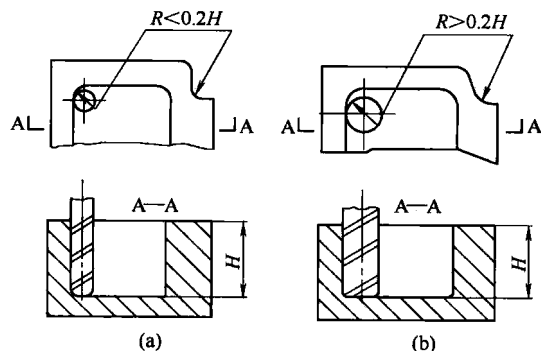


图 1-11 内槽结构工艺性

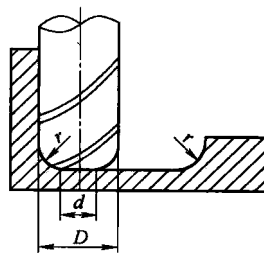


图 1-12 底面圆弧半径与工艺性

(4) 定位装夹方式

应尽可能在一次装夹中完成更多表面的加工,为此要根据零件结构选择便于各个表面都能加工的定位装夹方式。若需要二次装夹,最好采用统一的定位基准,以避免基准转换误差对加工面造成的尺寸及位置精度的影响。

1.2.3 数控加工的工艺路线设计

与常规工艺路线拟定过程相似,数控加工工艺路线的设计,最初也需要找出零件所有的加工表面并逐一确定各表面的加工方法;按一定的原则划分工序,确定工序数,并将其顺序排列;最后还要将所需的其它工序如辅助工序、热处理工序等在适当位置插入,衔接于数控加工工序序列之中,由此得到合理的工艺路线。

虽然数控加工工艺路线设计的基本原则与传统加工工艺路线基本相同,但是还要注意两点:一是一个数控工序要编制一个完整的程序,为简化编程等原因,数控工序划分的方法更为灵活;二是由于数控工序一般均穿插于零件加工的整个工艺路线之中,因此在工艺路线及工序设计中,还要注意数控工序与传统工序之间的衔接和协调。

1.2.3.1 工序的划分

传统加工一般按所用机床划分工序,数控加工除按机床划分工序之外,为了简化编程,考虑到加工精度和刚度等因素,还可以按以下方法划分工序。

(1) 按安装次数划分工序

即以一次安装完成的工艺过程为一道工序。该方法一般适合于加工内容不多的工件。如图 1-13 所示的凸轮零件,其两端面、R38 外圆以及 $\phi 22H7$ 和 $\phi 4H7$ 两孔均在普通机床上加工,然后在数控铣床上以加工过的两个孔和一个端面定位安装,在一道数控工序内铣削凸轮剩余的外表面轮廓。

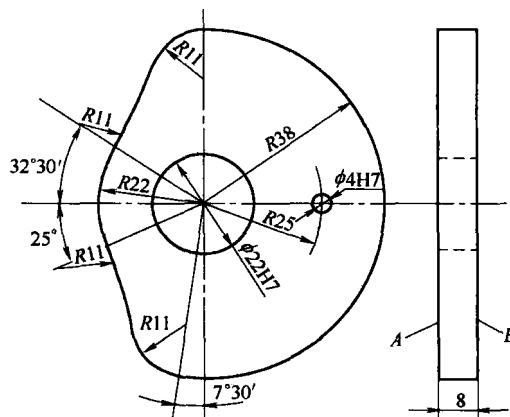


图 1-13 凸轮零件图

(2) 按所用刀具划分工序

即以同一把刀具完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种方法适用于工件的待加工表面较多,机床连续工作时间过长,加工程序的编制和检查难度较大等情况。在数控铣床和加工中心上常用这种方法。

(3) 按粗、精加工划分工序

考虑工件的加工精度要求、刚度和变形等因素,划分工序时可按粗、精加工分开的原则划分工序,即以粗加工完成的那部分工艺过程为一道工序,精加工完成的那部分工艺过程为另一道工序。这种划分工序的方法既利于粗加工时充分发挥机床的效率,也利于精加工时保证精度。

(4) 按加工部位划分工序 即以完成相同型面的那一部分工艺过程为一道工序。有些零件加工表面多而复杂,构成零件轮廓的表面结构差异较大,可按其结构特点如内腔、外形、曲面或平面等划分成多道工序。

综上所述，在划分工序时，一定要视零件的结构与工艺性、机床的功能、零件加工内容的多少、安装次数以及生产组织等实际情况灵活掌握。

1.2.3.2 加工顺序的安排

为充分发挥数控机床的功能和效益，数控加工顺序的安排除遵循传统原则“先孔后面、先粗后精、先主后次、基准先行”外，还应根据零件的结构和毛坯状况，结合定位及夹紧的需要综合考虑，重点应保证工件的刚度不被破坏，尽量减少变形。下列因素可在排序时考虑：

① 尽量工序集中，减少工件的装夹次数、工作台转动次数、刀具更换次数，以使所有空行程时间减至最少，提高加工精度和生产率。

② 尽量遵循先内后外原则，即先进行内腔表面加工，后进行外形加工。

③ 大表面加工时，因内应力和热变形对工件影响较大，一般要先加工。

④ 在同一次安装中进行的多个工步，应先安排对工件刚性破坏较小的工步。

⑤ 为了提高机床的使用效率，在保证加工质量的前提下，可将粗加工和半精加工合为一道工序。

⑥ 加工中容易损伤的表面如螺纹等，应放在加工路线的后面。

下面通过一个实例来说明这些原则的应用。

【例】 加工如图 1-14 所示零件。

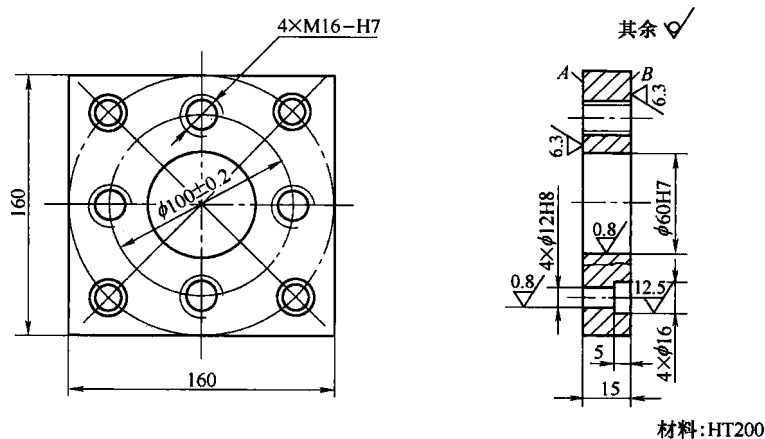


图 1-14 零件图

(1) 划分工序安排工艺路线

根据“基面先行”的原则，先在普通机床上把底面和四个侧轮廓面加工好，作为后续加工的定位面；按数控加工工序集中的原则，将其余面：顶面、孔及沟槽安排在立式加工中心上一次安装完成加工。

(2) 设计数控加工工序

数控加工拟采用加工中心加工，工序内容按“先粗后精”、“先主后次”、“先面后孔”等原则可以划分为 12 个工步如下：

① 粗铣顶面；

② 钻 $\phi 60$ 、 $\phi 16$ 等孔的中心孔（预钻凹坑）；

- ③ 钻 M16 孔至 $\phi 15.5$;
- ④ 扩 $\phi 60$ 孔至 $\phi 58$;
- ⑤ 钻 $4 \times \phi 12$ 的孔至 $\phi 11.5$;
- ⑥ 钻 $4 \times \phi 16$ 的孔至尺寸;
- ⑦ 粗铣 $\phi 60$ 孔;
- ⑧ 镗 $\phi 60$ 孔至 $\phi 59.5$;
- ⑨ 精铣顶面;
- ⑩ 铰 $\phi 12$ 孔至尺寸;
- ⑪ 精镗 $\phi 60$ 孔至尺寸;
- ⑫ 攻 $4 \times M16$ 螺纹。

工艺路线设计中, 还需要注意数控加工工序与普通工序的衔接问题。这里所说的普通工序是指采用传统机床的加工工序、热处理工序和检验等辅助工序。数控工序前后一般都要穿插其它普通工序, 若衔接不好就容易产生矛盾。较好的解决办法是建立工序间的相互状态联系, 在工艺文件中做到互审会签。例如是否预留加工余量、留多少、定位基准的要求、零件的热处理等, 这些问题都需要做到前后衔接, 统筹兼顾。

1.2.4 数控加工的工序设计

数控加工工序设计的主要任务是: 选择机床、刀具和夹具, 确定定位夹紧方案, 拟定走刀路线与工步顺序, 确定对刀点与换刀点, 拟定切削用量等。这是编制加工程序必做的准备工作。以下为工序设计中应着重注意的几个方面。

1.2.4.1 合理选择对刀点与换刀点

(1) 对刀点的选择

对刀点是在数控机床上加工零件时, 刀具相对于工件运动的起点。由于程序从该点开始运行, 所以对刀点又称为程序起点或起刀点。常用对刀点来确定工件坐标系原点。

对刀点既可以选在工件上, 也可以选在夹具或机床上。不管选在何处, 都应与零件的定位基准有确定的关系。另外, 要便于数字计算, 简化编程; 在机床上找正容易, 加工中便于检查; 引起的加工误差小。对刀点选择的的原则是:

① 最好选在设计基准或工艺基准上, 如图 1-15 中的 x_0 、 y_0 , 这样才能确定机床坐标系与工件坐标系的关系。以孔定位的零件应将孔中心作为对刀点, 以提高零件的加工精度。

② 应选在便于观察和检测、对刀方便的位置上, 这样可以减少对刀误差。

③ 建立了工件坐标系的机床上, 对刀点最好选在坐标系原点上, 或者已知坐标值的点上, 以便于坐标值的计算。

对刀误差可以通过试切加工结果进行调整。

(2) 换刀点的选择

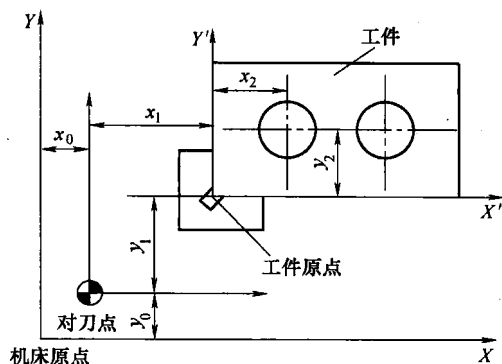


图 1-15 对刀点的设定