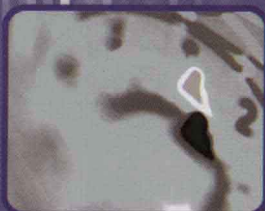




高等院校“十二五”示范性建设成果

数控加工工艺与编程

主 编。卢万强 饶小创 主 审。陈洪涛 黄亮



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等院校“十二五”示范性建设成果

数控加工工艺与编程

主 编 卢万强（学校）
饶小创（企业）
副主编 张德红 杨保成（学校）
主 审 陈洪涛（学校）
黄 亮（企业）
参 编 （学校） 钟如全 李 平 李 伟
西庆坤 陈惊伟
（企业） 吴 伟 张学伟 刘世彬

内 容 简 介

本书共分为“课程认识”“数控加工工艺基础”“数控加工编程基础”“数控车削加工工艺与编程”“数控镗、铣加工工艺与编程”“用户宏程序编程”“数控电火花线切割加工工艺与编程”等7个教学单元。

除基础教学单元外,其他的每个教学单元都按照“数控技术类专业岗位职业能力要求”,确定每个单元承担的典型工作任务,选择合适的载体,构建主体学习单元。全书按照任务驱动、项目导向的原则,以职业能力培养为重点,推行“校企合作、工学结合”,将真实生产过程融入教学全过程。

本书由学校与行业、企业合作编写,可以作为高等院校数控技术专业教材,也可以供数控工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/卢万强,饶小创主编. —北京:北京理工大学出版社,2011.6

ISBN 978-7-5640-4541-8

I. ①数… II. ①卢…②饶… III. ①数控机床-加工-高等学校-教材
②数控机床-程序设计-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第088033号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中画美凯印刷有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/16.5

字 数/384千字

版 次/2011年6月第1版 2011年6月第1次印刷

责任编辑/张慧峰

印 数/1~1500册

责任校对/陈玉梅

定 价/38.00元

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

“数控加工工艺与编程”是数控技术类专业的一门主干课程。为建设好该课程，利用示范建设这个契机，我们联合企业组建了课程开发团队。本教材的编写实行双主编与双主审制，由卢万强副教授和东方汽轮机股份有限公司饶小创高级工程师联合担任教材主编，由陈洪涛教授和第二重型机械集团公司黄亮高级工程师联合担任主审。

为了使“数控加工工艺与编程”课程符合高素质高技能型的技术应用型人才的培养目标和专业相关技术领域职业岗位的任职要求，课程开发团队按照“行业引领、企业主导、学校参与”的思路，经过认真分析机械制造企业中零件数控加工工艺编制、零件的数控加工等岗位的职业能力要求，制订了相应岗位的“职业能力标准”，依据本标准，明确课程内容，并按照企业相应岗位的工作流程对课程内容进行了组织。

本书的编写始终以“数控技术类专业岗位职业能力要求”所确定的该门课程所承担的典型工作任务为依托，以基于工厂“典型零件的数控加工”真实加工过程为向导，结合企业生产实际和零件制造的工作流程，分析完成每个流程所必须的知识和能力结构，归纳了“数控加工工艺与编程”课程的主要工作任务，选择合适的载体，构建主体学习单元；按照任务驱动、项目导向，以职业能力培养为重点，推行“校企合作、工学结合”，将真实生产过程融入教学全过程。

本书由学校与行业、企业合作编写，在《数控加工工艺与编程》校内教材的基础上，经过2年的试用和不断的修改，并与企业专家多次研讨，最终编写而成。

卢万强副教授编写第1、4教学单元，由东方汽轮机厂饶小创高级工程师提供相关资料协作编写；

李伟老师编写第2教学单元（2-1、2-2、2-3），由东方汽轮机厂张学伟高级工程师提供相关资料协作编写；

李平老师编写第3教学单元，由中国第二重型机械集团公司刘世彬高级工程师提供相关资料协作编写；

杨保成老师编写第5教学单元（5-1、5-2、5-3），由东方电机股份有限公司吴伟高级工程师提供相关资料协作编写；

张德红副教授编写第2教学单元（2-4、2-5、2-6、2-7）第5教学单元（5-4），陈惊伟老师协作编写；

钟如全副教授编写第6教学单元；

西庆坤老师编写第7教学单元；

该书由陈洪涛教授和第二重型机械集团高级工程师黄亮共同审阅。该书内容广泛，实践

性强，在编写过程中，陈洪涛教授给予了具体指导和帮助，同时编者还参阅了大量国内外同行的教材、资料与文献，在此深表感谢。

限于编者水平，书中难免出现错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

教学单元1 课程认识	1
1-1 课程的性质和作用	1
1-2 课程的主要内容以及与前后课程的衔接	1
1-3 课程学习方法	2
教学单元2 数控加工工艺基础	3
2-1 知识引入	3
2-2 概述	3
2-2-1 数控机床的组成、工作原理	5
2-2-2 数控加工的特点	7
2-2-3 我国数控机床生产和使用现状	8
2-3 数控加工工艺分析	9
2-3-1 数控加工内容确定	9
2-3-2 数控加工工序划分	10
2-3-3 数控加工方法的选择	11
2-3-4 数控加工刀具	13
2-3-5 数控加工顺序安排	22
2-3-6 数控加工路线确定	23
2-3-7 数控加工余量	25
2-3-8 数控加工切削用量	26
2-4 数控加工工艺规程	28
2-4-1 工序卡片	28
2-4-2 刀具卡片	29
2-4-3 量具卡片	29
2-4-4 数控加工走刀路线图	30
2-4-5 数控加工程序单	30
2-5 数控加工编程的数学处理	30
2-6 数控加工编程误差	32
2-7 数控加工工艺编制应用	33
思考题	36
速测题	37
教学单元3 数控加工编程基础	39
3-1 知识引入	39
3-2 数控机床程序编制的有关规定	39

3-2-1 数控机床坐标系的确定	40
3-2-2 数控程序的结构	43
3-2-3 数控程序编制方式	48
3-3 数控编程的内容和步骤	48
3-4 数控编程常用指令	50
3-4-1 准备功能指令——G 指令	50
3-4-2 辅助功能指令——M 指令	57
3-4-3 其他功能指令 (F/S/T)	57
3-5 数控机床加工调整	59
3-5-1 工件原点的选取与设定	59
3-5-2 对刀点、换刀点的确定	60
思考题	61
速测题	62
教学单元 4 数控车削工艺与编程	64
4-1 任务引入	64
4-2 相关知识	64
4-2-1 数控车削加工概述	64
4-2-2 数控车床的基本结构	65
4-2-3 数控车削加工的主要对象和内容	68
4-2-4 数控车削加工零件的工艺性分析	69
4-2-5 数控车削编程特点	86
4-2-6 数控车削常用编程指令	86
4-3 任务实施	104
4-3-1 零件的工艺分析	104
4-3-2 编制并填写零件的数控加工工艺文件	105
4-3-3 零件的数控加工程序编制	107
4-4 数控车削加工综合举例	108
4-5 数控车削中心	119
4-5-1 数控车削中心的特点	119
4-5-2 数控车削中心编程介绍	125
4-5-3 数控车削中心编程实例	129
思考题	134
速测题	135
教学单元 5 数控镗、铣及加工中心加工工艺与编程	137
5-1 任务引入	137
5-2 相关知识	138
5-2-1 数控镗、铣床及加工中心的基本结构	138
5-2-2 数控镗、铣削及加工中心加工的主要对象和内容	143
5-2-3 数控镗、铣削及加工中心加工工艺分析	144

5-2-4 数控镗、铣削及加工中心的编程特点	153
5-2-5 数控镗、铣削及加工中心常用编程指令	153
5-2-6 数控加工中心换刀方式与编程	181
5-3 任务实施	186
5-3-1 零件的工艺分析	186
5-4 数控加工中心编程综合应用	196
5-4-1 综合实例一	196
5-4-2 综合实例二	204
思考题	211
速测题	213
教学单元6 用户宏程序编制	216
6-1 任务引入	216
6-2 相关知识	217
6-2-1 用户宏程序概述	217
6-2-2 变量的运算	218
6-2-3 用户宏程序控制	220
6-2-4 用户宏程序的应用	220
6-3 任务实施	222
6-3-1 零件的工艺分析	222
6-3-2 编制并填写零件的数控加工工艺文件	225
6-3-3 零件的数控加工程序编制	226
6-4 用户宏程序编程综合应用	227
思考题	229
教学单元7 数控电火花线切割加工工艺与编程	230
7-1 任务引入	230
7-2 相关知识	230
7-2-1 电火花线切割机床的组成与工作原理	230
7-2-2 电火花加工的极性效应	233
7-2-3 数控电火花线切割机床的加工对象和特点	233
7-2-4 数控电火花线切割的工件装夹	234
7-2-5 数控电火花线切割加工的主要工艺问题	236
7-2-6 数控电火花线切割加工编程方法	241
7-3 任务实施	249
7-3-1 零件的工艺分析	249
7-3-2 编制并填写零件的数控线切割加工工艺文件	251
7-3-3 零件的数控线切割加工程序编制	252
思考题	253
速测题	254
参考文献	255

教学单元1 课程认识

1-1 课程的性质和作用

随着科学技术的发展,机械行业的产品结构日趋复杂,精度和性能要求日趋提高,因此对生产设备——机床也相应地提出了高效率、高精度和高自动化等方面的要求。为满足人们的需要,产品需日益更新,且向多品种、单件、小批量的趋势发展。为了适应这种趋势,就必须找到一种能解决单件、小批量、多品种,特别是复杂型面零件加工的自动化并能保证质量要求的设备,数控机床就是在此背景下产生的。数控机床加工技术是利用数控设备、根据不同的工艺要求来完成零件加工的技术,应用技术水平的高低直接影响到数控机床功能的发挥,并直接影响到产品的质量和生产效益。

高职高专数控技术应用专业的学生,主要面向的就是现代装备制造业、模具制造行业、机床制造行业的数控设备操作、数控加工工艺编制与实施、数控设备的调试与维修以及普通设备的数控化改造等岗位。

机械产品的数控化生产和制造,首先必须进行零件的工艺设计,然后完成零件的数控加工程序编制,熟悉数控设备的操作,最后进行产品的自动化生产。显然在零件的制造过程中离不开检测量具或量仪、刀具、夹具、机床等工艺装备知识,数控加工工艺文件是指导生产不可缺少的技术文件。工艺文件所反映的主要内容包含零件生产加工过程中所使用的刀具及参数、量具、机床设备、切削用量等。

“数控加工工艺与编程”是数控技术应用专业的一门主干专业课程,其培养目标就是要围绕机械零件生产加工岗位的能力要求,强化对零件的数控加工能力的培养,使学生具备分析和解决数控化生产过程中一般问题的能力;能依据数控加工工艺文件的要求,合理选择刀具、机床和切削用量;能编写数控加工程序,并输入、调试和修改程序;能操作数控车床、数控铣床、加工中心、电火花线切割机床等常用数控设备,完成零件的数控化加工和精度检验。为社会和企业培养一批理论知识扎实,实践能力突出,业务提升较快地掌握现代生产制造技术的高技能应用型人才。

1-2 课程的主要内容以及与前后课程的衔接

“数控加工工艺与编程”主要讲授数控车削加工技术、数控铣削加工技术、加工中心加工技术、数控电火花线切割加工技术,通过这些内容的学习,使学生在利用数控技术完成产品制造的能力方面得到全面提升。

“数控加工工艺与编程”是数控技术应用专业的一门主干专业课程,是学生学习完金属切削加工与刀具、现代机床设备、机床夹具及应用、机械加工工艺、数控技术基础等主干

专业课程的基础上,进行综合应用的一门课程,该课程与其他各课程之间衔接紧密,是培养学生数控加工能力的主要课程。

在前序课程“金属切削加工与刀具”中的刀具知识,“现代机床设备”中的机床理论与操作,“机床夹具及应用”中的夹具理论与应用,“机械加工工艺”中的机械加工工艺基础知识,以及在“数控技术基础”中的数控加工过程与编程思想等,这些内容与“数控加工工艺与编程”课程的关联性很大;在“数控加工工艺与编程”课程中,进行零件的数控加工工艺编制与实施时,必然会用到刀具、夹具、数控设备的选择,用到加工方案设计等机械加工工艺知识和数控程序的编制思想。因此,“数控加工工艺与编程”就是综合利用以前所掌握的相关基础知识,结合数控加工的特点,完成零件的数控加工过程,解决数控生产中的技术问题。

在后续课程“数控设备故障诊断与维护”“SINUMERIK840D 编程”“CAM 技术”以及“数控专业毕业综合实践”等课程中,也会大量使用到在“数控加工工艺与编程”课程中讲授的理论和操作经验,因此,学好“数控加工工艺与编程”这门课程,就能为学习今后的专业课程奠定坚实的基础。

所以说该课程是数控技术应用专业重要的专业主干课程和特色课程,只有学好该门课程,才能提高该专业学生的技能水平,才能保证专业培养目标的实现,为今后的业务提升打下扎实的基础。

1-3 课程学习方法

由于本课程对理论与实践要求都很高,所以必须强化理论与实践的有机结合,要充分利用行业、企业优势,大力推行“校企合作、工学结合”的教学模式,做到理论与实践并重,强化应用能力的培养。

1. 教师教学方法

- (1) 采取任务驱动的教学模式;
- (2) 完善实践教学资源,开发多种教学手段;
- (3) 引入企业典型案例,理论联系实际开展教学;
- (4) 采用精讲,多讨论,敢于创新的思想教学。

2. 学生学习方法

- (1) 了解该门课程的重要性;
- (2) 重视该门课程,端正学习态度;
- (3) 强化理论专研,拓展相关知识面;
- (4) 深入实验室认真做好实验;
- (5) 深入校内生产实训基地,全面了解企业生产过程,切实了解各类常用刀具及其在生产中的正确应用。

教学单元 2 数控加工工艺基础

2-1 知识引入

若要加工如图 2-1 所示的零件，该如何着手？

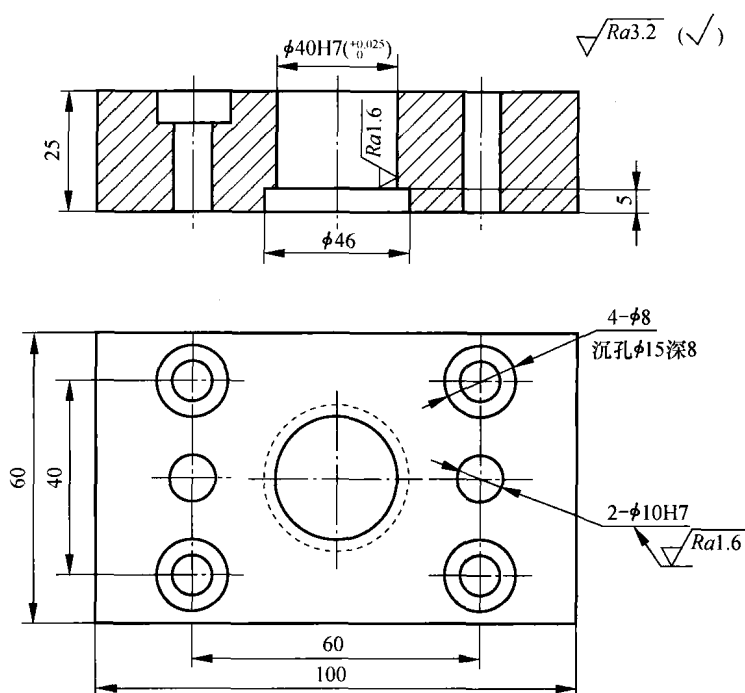


图 2-1 零件图

根据以前学过的机械加工知识，需要首先读懂零件图（包括装配图和零件图），了解使用场合和要求，分析加工要求，明确加工内容、重点加工部位，选择适合数控加工的部分，选择合适的机床、刀具、量具，采用正确的装夹方式，还需要安排合理的加工顺序等。这些知识都属于数控加工工艺方案设计的内容，在这个单元，就是重点介绍数控加工工艺的基础知识。

2-2 概述

数控加工工艺方案设计是数控加工技术的核心部分。数控加工工艺方案设计的质量主要取决于程序员的技术水平和加工经验，这其中包含对数控技术等相关技术的了解程度和熟练应用能力，同时也需要一些具体的应用技巧和操作技能。数控加工工艺方案设计的水平原则上决定了数控程序的质量，这是因为程序员在进行数控编程的过程中，相当多的工作内容集

中在加工工艺分析和方案设计，以及数控编程参数设置这两个阶段，因而在一定程度上决定了数控编程的质量。

数控加工工艺方案的设计应该来源于生产实践。设计者应从生产实践中总结出一些综合性的工艺原则，结合实际的生产条件提出几个方案，进行分析对比，选择经济合理的最佳方案。合理的工艺方案能保证零件的加工精度、表面质量的要求。

1. 数控加工工艺方案设计的主要内容

(1) 零件加工工艺性分析 对零件的设计图和技术要求进行综合分析。

(2) 加工方法的选择 选择具体的零件加工方法和切削方式。

(3) 机床的选择 选择合适的机床，既能满足零件加工的外廓尺寸，又能满足零件的加工精度。

(4) 工装的选择 数控设备尽管减少了对于夹具的依赖程度，但还不能完全取消，在满足零件加工精度和技术要求的前提下，工装越简单越好。

(5) 加工区域规划 对加工对象进行分析，按其形状特征、功能特征及精度、粗糙度要求将加工对象划分成数个加工区域。对加工区域进行规划可以达到提高加工效率和加工质量的目的。

(6) 加工工艺路线规划 合理安排零件从粗加工到精加工的数控加工工艺路线，进行加工余量分配。

(7) 刀具的选择 根据加工零件的特点和精度要求，选择合适的刀具以满足零件加工的要求。

(8) 切削参数的确定 确定合理的切削用量。

(9) 数控编程方法的选择 根据零件的难易程度，采用手工或自动编程的方式，按照确定的加工规划内容进行数控加工程序编制。

2. 影响数控加工工艺方案设计的主要因素

数控加工工艺设计的内容非常具体、详细。在确定工艺方案时，要考虑的因素较多，如零件的结构特点、表面形状、精度等级和技术要求、表面粗糙度要求等，毛料的状态，切削用量以及所需的工艺装备，刀具等。影响数控加工方案的主要因素如图 2-2 所示。

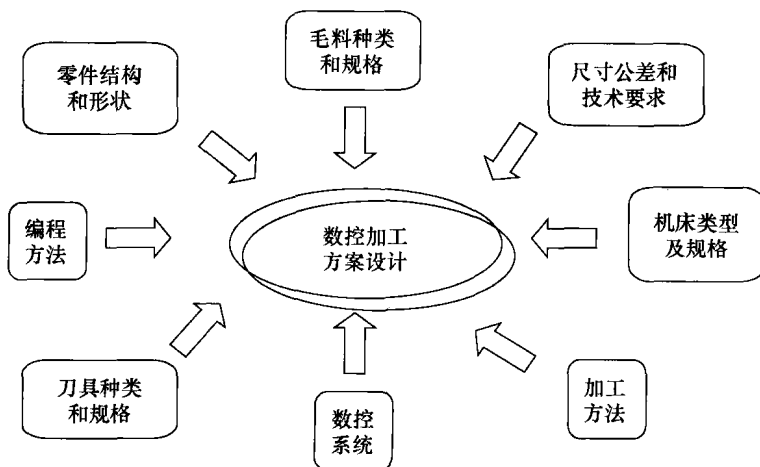


图 2-2 影响数控加工方案的主要因素

以下是设计工艺方案必须考虑的几个重要环节：

(1) 加工方法的选择 尽管零件的结构形状是多种多样的，但它们都是由平面、外圆柱面、内圆柱面或曲面、成型面等基本表面所组成的。每一种表面都有多种加工方法，具体选择时应根据零件的加工精度、表面粗糙度、材料、结构形状、尺寸及生产类型等选用相应的加工方法和加工方案。例如，外圆表面的加工方法主要是车削和磨削。当表面粗糙度要求较高时，还要进行光整加工。

(2) 工艺基准的选择 工艺基准是保证零件加工精度和几何公差的一个关键步骤，工艺基准的选择应与设计基准一致。基于零件的加工性考虑，选择的工艺基准也可能与设计基准不一致，但无论如何，在加工过程中，选择的工艺基准必须保证零件的定位准确、稳定，加工测量方便，装夹次数最少。

(3) 确定加工步骤 工序安排的一般原则是先加工基准面后加工其他面，先粗加工后精加工，粗精分开。具体操作还应考虑两个重要的影响因素：一是尽量减少装夹次数，既提高效率，又保证精度；二是尽量让有位置公差要求的型面在一次装夹中完成加工，充分利用设备的精度来保证产品的精度。

(4) 工艺保障措施 关键尺寸和技术要求的工艺保障措施对设计工艺方案非常重要。由于加工零件是由不同的型面组成的，一个普通型面通常包括三个方面的要求——尺寸精度、几何公差和表面粗糙度，必须在这些关键特征上有可靠的技术保障，避免如装夹变形、热变形、工件震动导致加工波纹等因素影响到零件的加工质量，进行工艺方案设计时必须考虑以上因素的影响，采取相应的工艺方法和工艺措施来保证，如预留工艺装夹止口，精加工前先让工件冷却，精加工用较小的切削用量，以及在零件上加或缠减震带等方法。

3. 数控加工工艺制定的过程

实际生产中，数控加工工艺制定的过程比较灵活多变，需要设计者有比较宽泛的知识和经验，还要结合实际生产条件，没有一成不变的步骤。图 2-3 简要地概括了一般数控加工工艺制定的基本过程。

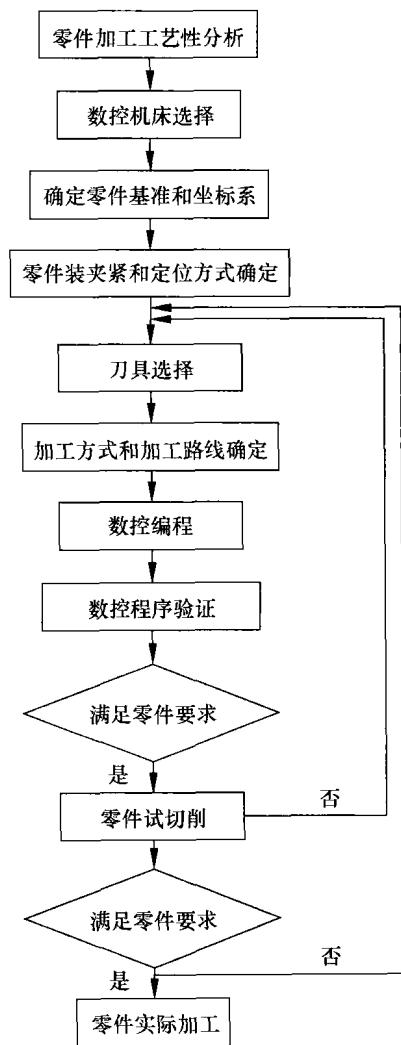


图 2-3 数控加工工艺制定的全过程

2-2-1 数控机床的组成、工作原理

1. 数控机床的组成

常见的数控机床主要由输入/输出装置、数控系统、伺服系统、辅助控制装置、反馈系统和机床组成，如图 2-4 所示。

(1) 输入/输出装置 输入装置的作用是将数控加工信息读入数控系统的内存存储。常

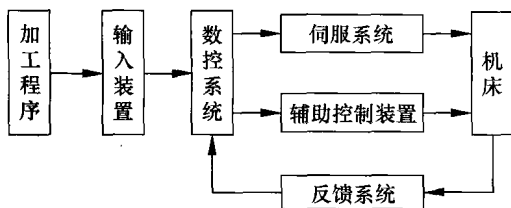


图 2-4 数控机床的基本组成

用的输入装置有光电阅读机、手动输入（MDI）方式和远程通信方式等。输出装置的作用是为操作人员提供必要的信息，如各种故障信息和操作提示等。常用的输出装置有显示器和打印机等。

（2）数控系统 计算机数控系统是数控机床实现自动加工的核心单元，通常由硬件和软件组成。目前的数控系统普遍采用通用计算机作为主要的硬件部分；而软件部分主要是指主控制系统软件，如数据运算处理控制和时序逻辑控制等。数控加工程序通过数据运算处理后，输出控制信号控制各坐标轴移动，而时序逻辑控制主要是由可编程控制器（PLC）完成加工中各个动作的协调，使数控机床有条不紊的工作。

（3）伺服系统 伺服系统是计算机数控装置和机床本体之间的传动环节。它主要是接受来自计算机数控装置的控制信息，并将其转换成相应坐标轴的进给运动和定位运动，伺服系统的精度和动态响应特性直接影响机床本体的生产率、加工精度和表面质量。伺服系统主要包括主轴伺服和进给伺服两大单元。伺服系统的执行元件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

（4）辅助控制装置 辅助控制装置是保证数控机床正常运行的重要组成部分。它主要是完成数控系统和机床之间的信号传递，从而保证机床的协调运动和加工的有序进行。

（5）反馈系统 反馈系统的主要任务是对机床的运动状态进行实时的检测，并将检测结果转换成数控系统能识别的信号，以便数控系统能及时根据加工状态进行调整、补偿，保证加工质量。数控机床的反馈系统主要由速度反馈和位置反馈组成。

（6）机床 机床本体就是指的数控机床的机械结构部分，它是最终的执行环节。为了适应数控加工的特点，数控机床在布局、外观、传动系统、刀具系统及操作机构等方面都不同于普通机床。

2. 数控机床的工作过程

图 2-5 所示为数控机床的一般工作原理图。

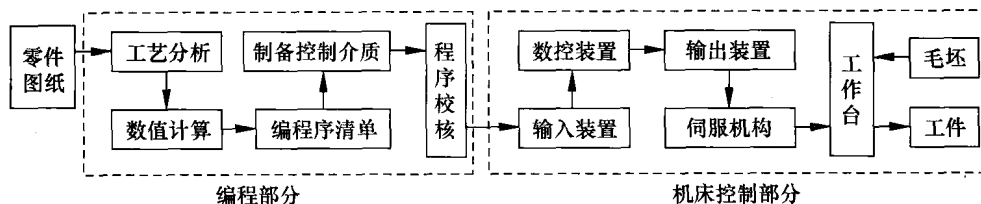


图 2-5 数控机床的工作原理

数控设备是按照事先编制好的数控加工程序对零件进行加工的高效自动化设备。首先需要零件图样的技术特征、几何形状、尺寸和工艺等加工要求进行系统的分析，确定合理正确的加工方案和加工路线，然后按照数控机床规定采用的代码和程序格式，根据加工要求编制出数控加工程序，数控加工程序可以记录在信息载体上，也可以通过某种方式输入数控设备，再由数控设备的数控系统对数控加工程序进行译码和预处理，接着由插补器进行插补计算，逐点计算并确定各线段的起、终点之间一系列的中间点的坐标及各轴的运动方向、大小

和速度，分别向各轴发出运动序列指令，完成零件产品的加工。

2-2-2 数控加工的特点

数控加工和传统的切削加工，基本加工方式是类似的。在传统加工中，机床操作员用手操作机床来完成零件的加工，需要依赖各种手柄和刻度，加工的精度和工件的一致性在很大程度上取决于操作者的技术水平、身体状况和工作态度，因而对操作者的操作技能要求较高。而数控加工是一种现代化的自动控制过程，主要依赖各种先进的控制系统和自动检测元件来代替手工操作，加工的精度和工件的一致性在很大程度上取决于机床的精度和程序的正确度。加工程序必须完整而正确的描述整个加工过程，对操作者的机床调整能力和程序编制能力要求较高；而加工过程中，人的参与程度较低。利用数控加工技术可以完成很多以前不能完成的曲面零件的加工，而且加工的准确性和精度都可以得到很好的保证。总体上说，和传统的机械加工手段相比数控加工技术具有以下特点：

(1) 加工效率高 传统机床的切削时间主要根据加工操作人员的技能、经验以及身体疲劳状况等而易于变化，而 CNC 机床加工则受计算机控制的影响，少量的手工工作仅限于工件的装卸，对大批量的运行加工来讲，这种非生产性的时间就显得微不足道了。CNC 机床这种相对固定的切削时间的主要优点体现在重复性工作上，这样，生产进度和分配到每个机床上的工作就可以计算的很精确，既便于管理又能提高生产效率。

(2) 加工精度高 同传统的加工设备相比，数控系统优化了传动装置，提高分辨率，减少了人为误差，因此加工的效率可以得到很大的提高。现在数控机床的精确性和重复性已成为数控技术的主要优势之一，零件程序一旦调试完成可以存储在各种介质上，需要时调用即可，而且程序对机床的控制不会因操作人员的改变而变化，能极大地提高加工零件的精确性和一致性。

(3) 劳动强度低 由于采用了自动控制方式，也就是说加工的全部过程是由数控系统完成，不像传统加工手段那样繁琐，操作者在数控机床工作时，只需要监视设备的运行状态，所以劳动强度很低。

(4) 适应能力强 数控加工系统就像计算机一样，可以通过调整部分参数达到修改或改变其运作方式，因此加工的范围可以得到很大的扩展。一旦零件程序编写完成并验证无误，就可以为今后再次使用做好准备，即使零件在设计上作局部修改后，也只需对程序做相应的修改就可以。因而大大提高机床的适用范围。

(5) 准备时间缩短 安装时间是非生产性时间，但是它是必须的，是实际加工成本的一部分。任何机床车间的主管、编程人员、操作员都应把安装时间作为考虑的因素之一。由于数控机床设计的特点：模块化夹具、标准刀具、固定的定位器、自动换刀装置、托盘以及其他一些先进的辅具，使得数控机床的安装时间比普通机床更高效，从而大大缩短准备时间。

(6) 适合复杂零件的加工 数控机床能加工各种复杂的轮廓。在传统的加工中，对复杂的零件轮廓，通常采用仿形加工或专用机床加工，这样加工周期和加工成本都很高，而且适用的零件很有限。如果采用数控机床加工就不同，只要机床的控制系统具备曲线加工功能，就可以完成外形复杂的轮廓加工，大大缩短加工周期和降低加工成本，适用范围很广。在数控技术应用的早期，大多数的数控机床都是为复杂轮廓的加工而产生的。

- (7) 易于建立计算机通信网络, 有利于生产管理。
- (8) 设备初期投资大。
- (9) 由于系统本身的复杂性, 增加了维修的技术难度和维修费用。

2-2-3 我国数控机床生产和使用现状

1. 我国数控技术现状

数控机床是集机械、电气、液压、气动、微电子和信息等多项技术为一体的机电一体化产品, 是机械制造设备中具有高精度、高效率、高自动化和高柔性化等优点的工作母机。数控机床的技术水平高低及其在金属切削加工机床产量和总拥有量的百分比是衡量一个国家国民经济发展和工业制造整体水平的重要标志之一。

我国数控车床从 20 世纪 70 年代初进入市场, 至今通过各大机床厂家的不懈努力, 通过采取与国外著名机床厂家的合作、合资、技术引进、样机消化吸收等措施, 使得我国的机床制造水平有了很大的提高, 其产量在金属切削机床中占有较大的比例。目前, 国产数控机床的品种、规格已经较为齐全, 质量基本稳定可靠, 已进入实用和全面发展阶段。

制造业对中国经济的影响非常巨大。事实上, 中国工业增加值在 GDP 所占的比重约 50% (美国为 16%, 日本是 20%)。所以说, 制造技术和制造业的变化对中国经济的影响要比其他国家经济的影响更大, 迫使中国的制造企业千方百计在日益变化的制造环境中增强自身竞争力。

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化, 使制造业成为工业化的象征, 而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大, 它对国计民生的一些重要行业 (IT、汽车、轻工、医疗等) 的发展起着越来越重要的作用, 因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。

装备工业的技术水平和现代化程度决定着整个国民经济的水平和现代化程度, 数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业的使能技术和最基本的装备。马克思曾经说过: “各种经济时代的区别, 不在于生产什么, 而在于怎样生产, 用什么劳动资料生产。” 制造技术和装备就是人类生产活动的最基本的生产资料, 而数控技术又是当今先进制造技术和装备最核心的技术。因此, 专家们预言: 机械制造的竞争, 其实质是数控技术的竞争。

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术, 是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础, 是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段, 是国防现代化的重要战略物资, 是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业。当今世界各国制造业广泛采用数控技术, 以提高制造能力和水平, 提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。此外世界上各工业发达国家还将数控技术及数控装备列为国家的战略物资, 不仅采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业, 而且在“高、精、尖”数控关键技术和装备方面对我国实行封锁和限制政策。

根据国民经济发展和国家重点建设工程的具体需求, 设计制造“高、精、尖”重大数控装备, 打破国外封锁, 掌握数控装备关键技术, 创出中国数控机床品牌, 提高市场占有率是全面提升我国基础制造装备的核心竞争力的关键所在。

2. 数控技术的发展趋势

随着科学技术的不断发展,数控技术的发展越来越快,数控机床朝着高性能、高精度、高速度、高柔性化和模块化方向发展。但最主要的发展趋势是智能化、开放化、网络化。

(1) 智能化 智能化的内容包括在数控系统中的各个方面:

① 从加工效率和加工质量方面的智能化,使加工过程自适应控制、工艺参数自动生成;
② 从提高驱动性能及使用连接方便的智能化,使用前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载自动选定模型、自整定等;

③ 从简化编程、简化操作方面的智能化,使用智能化的自动编程、智能化的人机界面等;

④ 还有智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

(2) 开放化 采用“PC+运动控制器”的开放式数控系统,它不仅具有信息处理能力强、开放程度高、运动轨迹控制精确、通用性好等特点,而且还从很大程度上提高了现有加工制造的精度、柔性和满足市场需求的能力。美国将其称为新一代的工业控制器,日本称其将带来第三次工业革命。

近几年,许多国家对开放式数控系统进行研究,如美国的 NGC (The Next Generation Work-Station/Machine Control)、欧共体的 OSACA (Open System Architecture for Control within Automation Systems)、日本的 OSEC (Open System Environment for Controller),中国的 ONC (Open Numerical Control System) 等。数控系统开放化已经成为数控系统未来必然的发展趋势。所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁结构对象(数控功能),形成系列化,并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统,形成具有鲜明个性的名牌产品。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

(3) 网络化 网络化数控装备是近两年国际著名机床博览会的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求,也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近两年推出了相关的新概念和样机,如在 EMO2001 展中,日本山崎马扎克(Mazak)公司展出的“CyberProduction Center”(智能生产控制中心,简称CPC);日本大隈(Okuma)机床公司展出的“IT plaza”(信息技术广场,简称IT广场);德国西门子(Siemens)公司展出的 Open Manufacturing Environment (开放制造环境,简称OME)等,反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

2-3 数控加工工艺分析

2-3-1 数控加工内容确定

对一个具体零件的机械加工过程而言,并非其全部加工过程都适合在数控机床上完成,往往可能只是零件加工工序中的一部分适合数控加工。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,选择最适合、最需要的内