

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材



顾问 杨叔子 李培根

数控技术

SHUKONG JISHU

何雪明 吴晓光 常兴 主编
张建钢 主审

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

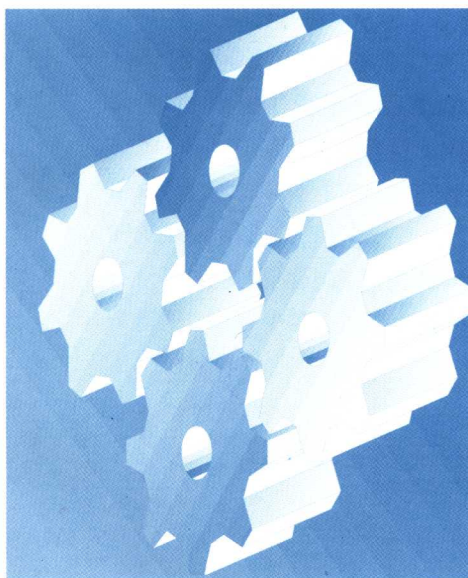




普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾 问 杨叔子 李培根

数控技术



主 编 何雪明 吴晓光
常 兴
主 审 张建钢

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/何雪明 吴晓光 常 兴 主编
武汉:华中科技大学出版社,2006年9月
ISBN 7-5609-3731-4

- I. 数…
I. ①何… ②吴… ③常…
Ⅲ. 数控机床-高等学校-教材
IV. TG659



数控技术

何雪明 吴晓光 常 兴 主编

策划编辑:王连弟
责任编辑:刘 勤
责任校对:代晓莺

封面设计:潘 群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心
印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16 印张:18.75 插页:2 字数:383 000
版次:2006年9月第1版 印次:2006年9月第1次印刷 定价:30.00元
ISBN 7-5609-3731-4/TG·77

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

普通高等院校“十一五”规划教材

普通高等院校机械类精品教材

编审委员会

顾 问: 杨叔子 华中科技大学

李培根 华中科技大学

总主编: 吴昌林 华中科技大学

委 员: (按姓氏拼音顺序排列)

崔洪斌 河北科技大学

冯 浩 景德镇陶瓷学院

高为国 湖南工程学院

郭钟宁 广东工业大学

韩建海 河南科技大学

孔建益 武汉科技大学

李光布 上海师范大学

李 军 重庆交通大学

黎秋萍 华中科技大学出版社

刘成俊 重庆科技学院

柳舟通 黄石理工学院

卢道华 江苏科技大学

鲁屏宇 江南大学

梅顺齐 武汉科技学院

孟 逵 河南工业大学

芮执元 兰州理工大学

汪建新 内蒙古科技大学

王生泽 东华大学

杨振中 华北水利水电学院

易际明 湖南工程学院

尹明富 天津工业大学

张 华 南昌大学

张建钢 武汉科技学院

赵大兴 湖北工业大学

赵天婵 江汉大学

赵雪松 安徽工程科技学院

郑清春 天津理工大学

周广林 黑龙江科技学院

内 容 简 介

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。为适应这种趋势,在教育部机械学科教学指导委员会的指导下,于2005年—2006年专门组织了全国普通高等院校召开多次会议,成立了普通高等院校机械精品教材编写小组,确定了各教材体系和课程结构框架。本书正是根据会议确定的“数控技术”课程基本要求,从该课程的普通高等院校教育目标及知识、能力和素质结构要求出发,按照该课程的教材编写大纲而编写的。

本书共分八章,介绍了数控机床的基本概念、原理、计算和设计方法,结合机械工程及自动化专业的需要,着重阐述了计算机数控系统的硬件和软件结构、进给伺服系统、检测装置、数控加工程序的手工编制和采用MASTERCAM软件自动编制等内容。本书取材新颖,内容全面,根据数控系统内部信息流处理过程为主线展开阐述,由浅入深、循序渐进,理论密切联系实际,并注重机电结合和系统理念,反映了当今世界机床数控系统技术的发展前沿。

本书主要用作高等工科院校机械工程及自动化专业“数控技术”课程的教材,也可用作夜大、函授和职工大学的同类专业的教材,还可供从事数控技术、数控机床设计和研究的工程技术人员参考。

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来，已有许多普通院校采用规划教材，就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内

容不在深浅,能切合学生培养目标,能抓住学生应掌握的要言,能做到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设、特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨红子

2006.1

前 言

自从 20 世纪 50 年代世界上第一台数控机床问世以来,随着计算机技术、微电子技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术和机械制造技术等各相关领域的发展,数控技术已成为现代先进制造系统中不可缺少的基础技术。数控技术和数控机床的发展极大地推动了计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)与自动化工厂(FA)的发展。近年来,各种数控机床的柔性、精确性、可靠性、集成性和宜人性等各方面功能越来越完善,它在自动化加工领域中的占有率也越来越高,越来越多的技术人员期望了解和掌握各种机床数控系统的基本工作原理。为了适应数控技术和国民经济发展的需要,以及高等工科大学的教学要求,在教育部机械学科教学指导委员会的指导下,遵循为我国普通高等院校机械类专业编写精品教材的思路,参考了大量国内外资料,结合多年来的教学实践经验、数控系统科研成果和数控技术及应用专业方向的教学改革,编写了这本教材。本教材力求取材新颖,力求反映数控技术和数控机床的系统的基本知识、核心技术与最新技术成就,并兼顾到理论与实际的联系,取材和叙述上要求层次分明和合理,尽可能反映现代数控技术,反映机与电的结合,减少繁杂的数学推导,系统全面地介绍数控系统。

本书共分为八章,第一章介绍数控机床的组成、工作原理、分类和发展及其技术水平。第二章介绍数控加工的工艺设计,包括选择并确定零件的数控加工内容、工艺性分析、加工路线设计、工序设计等。第三章介绍数控编程方法、实例和编程中的数学处理方法。第四章介绍数控系统的插补和插补原理,主要介绍基准脉冲插补和数据采样插补。第五章介绍计算机数控装置的硬件和软件结构,故障自诊断功能以及数控系统中的可编程控制器。第六章介绍各种位置检测装置的工作原理、分类和适应场合。第七章是进给伺服系统,对它的类型,伺服电机及调速。现代典型进给伺服系统作了较为详细的介绍。第八章介绍用 MASTERCAM 软件进行自动编程的方法和过程。本书对数控技术的几个重要内容、核心技术和最新技术成果作了较为系统、深入的叙述。

本书可作为高等工科大学机械工程及自动化专业、机械设计制造及自动化专业、机电一体化专业的技术基础课,也可供从事数字控制机床设计和研究的工程技术人员参考。

参加本书编写的有江南大学的何雪明、武汉科技学院的吴晓光、河南工业大学的常兴、湖南工业大学的何国旗、安徽工程科技学院的刘有余、金陵科技学院的王珺、湖北工业大学的陈水胜。全书由何雪明、吴晓光、常兴担任主编;何国旗、刘有余、王珺、陈水胜担任

副主编;张建钢教授主审全书。何雪明负责、吴晓光完成了全书的统稿工作。

本书在编写过程中,参阅了以往其他版本的同类教材、同时参阅了有关工厂、科研院所的一些教材、资料和文献,并得到许多同行专家教授的支持和帮助,在此衷心致谢。

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2006年3月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 数控技术的产生及特点	(1)
1.2 数控系统的组成及分类	(3)
1.3 数控技术的发展.....	(10)
本章重点、难点和知识拓展.....	(14)
思考题与习题	(14)
第 2 章 数控加工技术	(15)
2.1 数控工艺特点.....	(15)
2.2 数控加工工序.....	(16)
2.3 数控机床用刀具.....	(27)
2.4 数控机床的使用和维修.....	(39)
本章重点、难点和知识拓展.....	(59)
思考题与习题	(59)
第 3 章 数控机床的程序编制	(61)
3.1 概述.....	(61)
3.2 数控编程的基础.....	(63)
3.3 数控系统的指令代码.....	(68)
3.4 手工编程	(94)
3.5 自动编程	(111)
本章重点、难点和知识拓展	(119)
思考题与习题.....	(119)
第 4 章 数控机床的工作原理	(121)
4.1 概述	(121)
4.2 基准脉冲插补	(123)
4.3 数据采样插补	(135)
4.4 加工过程的速度控制	(140)
本章重点、难点和知识拓展	(146)
思考题与习题.....	(147)

第 5 章 计算机数控装置	(148)
5.1 CNC 系统的组成与特点	(148)
5.2 CNC 系统的硬件结构	(149)
5.3 CNC 系统的软件结构	(155)
5.4 CNC 系统的控制原理与功能	(162)
5.5 典型数控系统	(169)
本章重点、难点和知识拓展	(172)
思考题与习题	(172)
第 6 章 位置检测装置	(173)
6.1 概述	(173)
6.2 旋转变压器	(175)
6.3 感应同步器	(178)
6.4 脉冲编码器	(182)
6.5 光栅测量装置	(183)
6.6 速度传感器	(187)
6.7 位置传感器	(190)
本章重点、难点和知识拓展	(193)
思考题与习题	(193)
第 7 章 数控机床的伺服系统	(194)
7.1 概述	(194)
7.2 步进电机伺服系统	(198)
7.3 直流伺服电机与速度控制	(211)
7.4 交流伺服电机与速度控制	(219)
7.5 直线电机伺服系统	(224)
7.6 伺服系统的位置控制	(230)
7.7 主轴伺服系统	(233)
本章重点、难点和知识拓展	(240)
思考题与习题	(241)
第 8 章 应用 MasterCAM 系统进行数控加工编程	(242)
8.1 MasterCAM 系统的应用概述	(242)
8.2 MasterCAM 系统的工作环境	(244)
8.3 MasterCAM 系统的几何建模功能	(247)
8.4 MasterCAM 系统的数控加工编程功能	(254)
8.5 MasterCAM 系统的应用	(262)

本章重点、难点和知识拓展	(279)
思考题与习题.....	(279)
附录	(281)
附录 1 FANUC 数控系统铣削 G 代码指令系列	(281)
附录 2 FANUC 数控系统车削 G 代码指令系列	(282)
附录 3 FANUC 数控系统 M 代码指令系列	(283)
附录 4 数控技术常用术语	(283)
参考文献	(287)

第 1 章 绪 论

1.1 数控技术的产生及特点

1.1.1 数控技术的产生

20 世纪 40 年代以来,随着科学技术和社会生产力的迅速发展,人们对各种产品的质量 and 生产效率提出了越来越高的要求。机械加工过程的自动化成为实现上述要求的最重要措施之一。飞机、汽车、农机、家电等生产企业大多采用了自动机床、组合机床和自动生产线,从而保证了产品质量,极大地提高了生产效率,降低了生产成本,加强了企业在市场上自身的竞争力,还能够极大地改善工人的劳动条件,减轻劳动强度。然而,成年累月地进行单一产品零件的高效率和高度自动化的刚性机床及专用机床生产方式,需要巨大的初期投资和很长的生产准备周期,因此,它仅适用于批量较大的零件生产。

但是,在产品加工中,大批量生产的零件并不很多,据统计,单件与中、小批量生产的零件约占机械加工总量的 80% 以上。尤其是航空、航天、船舶、机床、重型机械、食品加工机械、包装机械和军工产品等行业,不仅加工批量小,而且加工零件形状比较复杂,精度要求也很高,还需要经常改型。如果仍采用专用化程度很高的自动化机床加工这类产品的零件,就显得很不合理。经常改装和调整设备,对于这种专用的生产线来说,不仅会大大提高产品的成本,甚至是不可能实现的。市场经济体制日趋成熟,绝大多数的产品都已从卖方市场转向买方市场,产品的竞争十分剧烈。为在竞争中求得生存与发展,迫使生产企业不断更新产品,提高产品技术档次,增加产品种类,缩短试制与生产周期以提高产品的性能价格比,满足用户的需要。由于这种以大批量生产为主的生产方式使产品的改型和更新变得十分困难,用户即使得到了价格相对低廉的产品也是以牺牲产品的某些性能为代价换取的。因此,企业为了保持产品的市场份额,即便是以大批量生产为主的企业,也必须改变产品长期一成不变的传统做法。这样,传统“刚性”的自动化生产方式生产线已难以适应小批量、多品种生产要求。

已有的各类仿形加工设备在过去的生产中部分地解决了小批量、复杂零件的加工。但在更换零件时,必须重新制造靠模并调整设备,不但要耗费大量的手工劳动,延长了生产准备周期,而且由于靠模加工误差的影响,零件的加工精度很难达到较高的要求。

为了解决上述这些问题,一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产技术——数控技术应运而生。

1948年美国帕森斯公司(Parsons Corporation)受美国军方的委托研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所进行合作,首先提出了用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新理念,于1952年成功研制出世界上第一台由专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。研制过程中采用了自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等方面的技术成果。后来又经过改进,于1955年实现了产业化,并批量投放市场,但由于技术和价格的原因,仅局限在航空工业中应用。数控机床的诞生,对复杂曲线、型面的加工起到了非常重要的作用,同时也推动了美国航空工业和军事工业的发展。

尽管这种初期数控机床采用电子管和分立元件硬接线电路来进行运算和控制,体积庞大而功能单一,但它采用了先进的数字控制技术,且具有普通设备和各种自动化设备无法比拟的优点,具有强大的生命力,它的出现开辟了工业生产技术的新纪元。从此,数控技术在全世界得到了迅速发展。

1.1.2 数控加工的特点

1. 数控加工的特点

与传统机械加工方法相比,数控加工具有以下特点。

1) 可以加工具有复杂型面的工件

在数控机床上,所加工零件的形状主要取决于加工程序。非常复杂的工件都能加工。

2) 加工精度高,质量稳定

数控机床本身的精度比普通机床高,一般数控机床的定位精度为0.01 mm,重复定位精度为0.005 mm;而且在数控机床加工过程中,操作人员并不参与,所以消除了操作者的人为误差,工件的加工精度全部由数控机床保证;又因为数控加工采用工序集中,减少了工件多次装夹对加工精度的影响。基于以上几点,数控加工工件的精度高,尺寸一致性好,质量稳定。

3) 生产率高

数控加工可以有效地减少零件的加工时间和辅助时间。由于数控机床的主轴转速、进给速度快及其快速定位,通过合理选择切削用量,充分发挥刀具的切削性能,可以减少零件的加工时间。此外,数控加工一般采用通用或组合夹具,因此在数控加工前不需划线,而且加工过程中能进行自动换刀,减少了辅助时间。

4) 改善劳动条件

在数控机床上从事加工的操作者,其主要任务是编写程序、输入程序、装卸零件、准备刀具、观测加工状态、以及检验零件等,因此劳动强度极大降低。此外,数控机床一般是封闭式加工,既清洁,又安全,使劳动条件得到了改善。

5) 有利于生产管理现代化

因为相同工件所用时间基本一致,所以数控加工可预先估算加工工件所需时间,因此工时和工时费用可以精确估计。这既便于编制生产进度表,又有利于均衡生产和取得更高的预计产量。此外,对数控加工所使用的刀具、夹具可进行规范化管理。以上特点均有利于生产管理的现代化。

6) 数控加工是 CAD/CAM 技术和先进制造技术的基础

数控机床使用数字信号与标准代码作为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前已与 CAD/CAM 技术有机地结合起来,形成现代集成制造技术的基础。

2. 数控加工的主要对象

从数控加工的特点可以看出,适于数控加工的零件包括:

- (1) 多品种、单件小批量生产的零件或新产品试制中的零件;
- (2) 几何形状复杂的零件;
- (3) 精度及表面粗糙度要求高的零件;
- (4) 加工过程中需要进行多工序加工的零件;
- (5) 用普通机床加工时,需要昂贵工装设备(如工具、夹具和模具)的零件。

1.2 数控系统的组成及分类

1.2.1 数控技术的基本概念

数控技术,简称数控(Numerical Control, NC)是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。由于现代数控都采用了计算机进行控制,因此,也可以称为计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)。

为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制,必须具备相应的硬件和软件。用来实现数字化信息控制的硬件和软件的整体称为数控系统(Numerical Control System),数控系统的核心是数控装置(Numerical Controller)。由于数控系统、数控装置的英文缩写亦采用 NC(或 CNC),因此,在实际使用中,在不同场合 NC(或 CNC)具有三种不同含义:既可以在广义上代表一种控制技术,又可以在狭义上代表一种控制系统的实体,还可以代表一种具体的控制装置——数控装置。

采用数控技术进行控制的机床,称为数控机床(NC 机床)。它是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品,是现代制造技术的基础。

1.2.2 数控系统的组成

数控系统一般由控制介质、输入装置、数控装置、伺服系统、执行部件和测量反馈装置

组成,如图 1-1 所示。



图 1-1 数控系统的组成

1. 控制介质

数控设备工作时,不需要操作者直接进行手工加工,但设备必须按操作者的意图进行工作,这就必须在操作者与设备间建立某种联系,对这种联系的中间媒介物称之为控制介质。控制介质也称为信息载体,它可以是穿孔带、穿孔卡、磁带、软磁盘等。

在控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息,它是数控系统用来指挥和控制设备进行加工运动的唯一指令信息。

2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质上的程序代码变成相应的电脉冲信号,传送并存入数控装置中。根据不同的控制介质,输入装置可以是光电读带机、录音机或软盘驱动器。现在有很多数控设备不用任何控制介质,而是将数控加工程序单上的内容通过数控装置上的键盘直接输入给数控装置,称为 MDI 方式。有的还可将数控加工程序由编程计算机用通信方式传送给数控装置。

3. 数控装置

数控装置是数控设备的核心,它接受输入装置送来的脉冲信号,经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理,然后将各种信息指令输出给伺服系统,使设备各部分进行规范而有序的动作。这些指令主要是经插补运算决定的各坐标轴的进给速度、进给方向和位移量;主运动部件的变速、换向和启停信号;选择和交换刀具的指令信号;切削液的开停信号;工件的松夹、分度工作台的转位等辅助指令信号。

介于数控装置与被控设备之间的强电控制装置,主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经过必要的编译、逻辑判断和功率放大后,直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件等,完成指令所规定的各种动作。

4. 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动电路和伺服驱动元件,它们与执行部件上的机械部件组成数控设备的进给系统。其作用是把数控装置发来的速度和位移指令(脉冲信号)转换成执行部件的进给速度、方向和位移。每个执行进给运动的部件,都配有一套伺服驱动系统,而相对于每一个脉冲信号,执行部件都有一个相应的位移量,又称为脉冲当量,其值越小,加工精度就越高。数控装置可以以很高的速度和精度进行计算并发出很小的脉冲信号,关键在于伺服系统能以多高的速度与精度去响应执行,所以整个系统的精度与速度主要取决于伺服系统。

在伺服系统中,伺服驱动电路要把数控装置发出的微弱电信号(5V左右,毫安级)放大成强电的驱动电信号(几十至上百伏,安培级)去驱动执行元件——伺服电动机。

伺服系统的执行元件主要有功率步进电动机、电液脉冲马达、直流伺服电动机和交流伺服电动机等,其作用是将电控信号的变化转换成电动机输出轴的角速度和角位移的变化,从而带动执行部件作进给运动。

5. 执行部件

数控系统的执行部件是加工运动的实际执行部件,主要包括主运动部件、进给运动执行部件、工作台、拖板及其部件和床身立柱等支承部件,此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置,存放刀具的刀架、刀库及交换刀具的自动换刀机构等。执行部件应有足够的刚度和抗振性,还要有足够的精度,传动系统结构要简单,便于实现自动控制。

6. 测量反馈装置

测量反馈装置是将运动部件的实际位移、速度及当前的环境(如温度、振动、摩擦和切削力等因素的变化)参数加以检测,转变为电信号后反馈给数控装置,通过比较,得出实际运动与指令运动的误差,并发出误差指令,纠正所产生的误差。测量反馈装置的引入,有效地改善了系统的动态特性,大大提高了零件的加工精度。

1.2.3 数控基本原理

数控机床加工零件是按照事先编制好的加工程序单来进行的。

首先分析零件图样,根据图样中对材料和尺寸、形状、加工精度及热处理等的要求来确定工艺方案,进行工艺处理和数值计算。在此基础上,根据数控系统规定的功能指令代码和程序段格式编写数控加工程序单。

根据加工程序单的内容,用自动穿孔机制作控制介质(穿孔纸带)。通过光电阅读机将穿孔带的代码逐段输入到数控装置,也可以用键盘输入方式(MDI)将加工程序单内容直接输入数控装置。

数控装置将输入指令进行译码、寄存和运算后,向系统各个坐标的伺服系统发出指令信号,经驱动电路的放大处理,驱动伺服电动机输出角位移和角速度,并通过执行部件的传动系统转换为工作台的直线位移,实现进给运动。

同时,数控装置通过强电控制装置——可编程序控制器(PLC)实现系统其他必要的辅助动作。如自动变速、冷却润滑液的自动开停、工件的自动松夹及刀具的自动更换等,配合进给运动完成零件的自动加工。

1.2.4 数控系统的分类

1. 按数控装置类型分类

按数控装置类型分类,可分为硬件式数控系统和软件式数控系统。