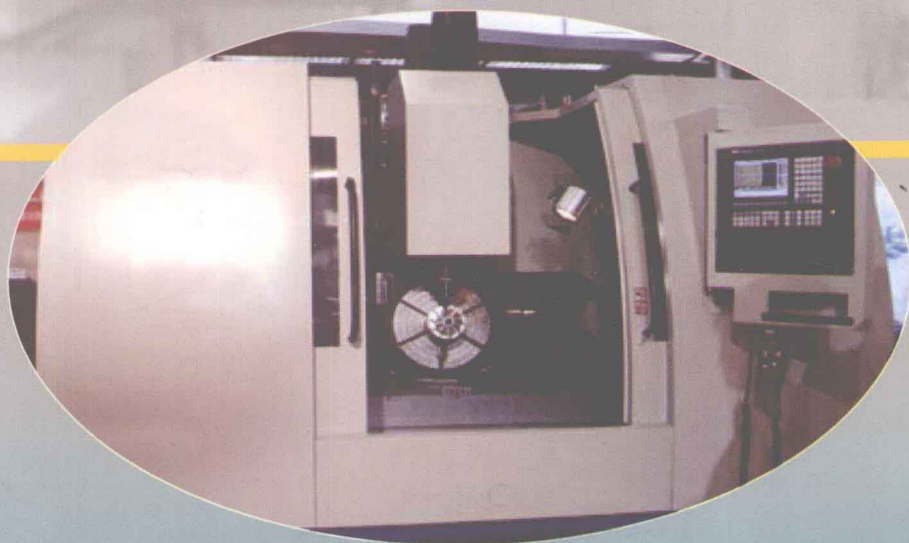


现代数控技术系列

现代数控机床

(第2版)

王爱玲 武文革 辛志杰 曾志强 等编著
主 编 王爱玲 副主编 武文革



国防工业出版社
National Defense Industry Press

现代数控技术系列

现代数控机床

(第2版)

王爱玲 武文革 辛志杰 曾志强 等编著
主编 王爱玲 副主编 武文革

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共分8章。重点介绍现代数控机床的基本知识、数控机床的分类及数控机床发展趋势;介绍典型数控加工中心、多轴车削中心、数控车床的主参数、功能、传动系统、结构特点、并联机床的结构等;介绍数控机床主传动系统设计、进给伺服系统设计、床身与导轨及数控机床的总体设计;介绍数控机床的结构设计要求,数控机床的总体布局;介绍数控机床的计算机辅助设计。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化相关专业本科生教材;还可作为从事计算机应用研究,特别是对从事数控技术开发、数控设备使用、维修人员、工程设计技术人员有较大的参考价值。也可作为各种层次的继续工程教育用数控培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控机床 / 王爱玲等编著. —2版. —北京: 国防工业出版社, 2009.3

(现代数控技术系列)

ISBN 978 - 7 - 118 - 06159 - 8

I. 现... II. 王... III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 009025 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 24½ 字数 557 千字
2009年3月第2版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 38.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

《现代数控技术系列》编辑委员会

主 编 王爱玲

副主编 张吉堂

编 委 (按姓氏笔画排序)

马维金 王 彪 王俊元 王爱玲 朱丽梅

刘中柱 刘永姜 关世玺 孙旭东 李梦群

李耀明 杨福合 吴淑琴 辛志杰 沈兴全

张吉堂 陆春月 武文革 赵丽琴 彭彬彬

曾志强 蓝海根

第3版序

《现代数控技术系列》包括六个分册:《现代数控原理及控制系统》、《现代数控机床伺服及检测技术》、《现代数控编程技术及应用》、《现代数控机床故障诊断及维修》、《现代数控机床实用操作技术》和《现代数控机床》,前五个分册 2001 年 1 月初版,2005 年 1 月再版;后一分册 2003 年 4 月初版,2005 年 8 月第 2 次印刷时列入《现代数控技术系列》。该系列图书出版以来,深受数控技术领域广大师生和相关技术人员的欢迎。天津大学、天津工业大学、西安工业大学、广东工业大学、兰州理工大学等几十所高等院校将其作为本科生或研究生教材,天津工业大学还将《现代数控原理及控制系统》作为博士生入学考试参考用书,许多从事数控技术的科技人员也将其作为常备的参考书,广大读者对该系列书籍给予很高的评价。前两版各分册市场销售均超过 3 万册,取得了较好的社会效益和经济效益,为我国飞速发展的数控事业做出了一定贡献。

根据读者的反映及收集到的大量宝贵意见,结合数控技术发展的现状,现再次对《现代数控技术系列》进行修订,出版第 3 版(《现代数控机床》出版第 2 版)。本次修订对各分册进行了较大幅度的修改和结构调整,主要体现在以下几个方面:

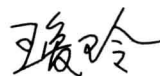
1. 力求反映数控技术的最新发展。如《现代数控原理及控制系统》:删除了一部分陈旧的内容,增加了介绍 STEP-NC 标准的内容、STEP-NC 数控系统的译码过程、DNC 数控系统输入方式、曲面插补和螺纹加工算法、S 型加减速控制、自适应加减速控制、开放式数控系统接口等内容;《现代数控编程技术及应用》:在加工中心的编程部分,增加四轴、五轴加工中心编程内容的介绍,同时增加大型 CAD 软件中 CAM 部分的内容,如 Pro/E、Master CAM 等;《现代数控机床》:更新了数控机床的新技术和最新发展趋势,增加了并联机床、多轴车削中心、复合加工中心等内容,并结合参编作者的博士论文研究成果,更新了数控机床结构设计基本原则、数控机床的总体布局、数控机床的计算机辅助分析与设计等内容;《现代数控机床故障诊断及维修》:对第 2、8、9、10 章进行较大改动,增加开放式数控系统维修的内容,增加并重写了信号的描述、常用数学变换、时域分析、频域分析到频谱分析、时间序列分析,以及故障检测及常用诊断仪器仪表,精选了数控机床维修实例并增加了数控机床故障诊断技术的最新进展;《现代数控机床实用操作技术》:对数控操作技术相关的知识如数控刀具、工件装夹等作了较为详细的阐述,并增加或更新了每一章节的内容,在选用典型控制系统时,既考虑到目前国内常用的系统,又体现科学性、先进性;《现代数控机床伺服及检测技术》分册已列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,结合最新成果进行了重新编写。

2. 重新确定各分册具体内容,使各分册间的内容衔接更紧密,既避免了重复内容,又

考虑到各分册单独使用时的相对独立性,使知识的系统性更强、更科学。

3. 调整了编著者队伍,邀请有实际经验的教师、学业有成的教授、博士参加编写。

我希望第3版《现代数控技术系列》带给大家更多实用的知识,同时也希望得到更多读者的批评与指正。



2008年11月

序 言

现代数控技术集机械制造技术、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、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础,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。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段,它的广泛使用给机械制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化,它的关联效益和辐射能力更是难以估计;数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等,都是建立在数控技术之上。数控技术是国际商业贸易的重要构成,发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品,世界贸易额逐年增加。

因此,数控技术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,其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,是当今制造业的发展方向。专家们曾预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本由于数控技术高度发展使其制造业迅速崛起,美国要挽回其失去的地位,欧洲要适应市场竞争的需求,从而以数控技术为主要标志的现代制造技术成了美国、日本和欧洲等工业国家竞争的焦点之一。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。中国政府正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。数控技术在制造业的扩展与延伸所产生的辐射作用和波及效果对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的生产分工、企业的运行机制等正带来深刻的变化,对国民经济的发展起着重要的促进作用。

现代机械加工业逐步向柔性化、集成化、智能化方向发展,需要将不断飞速发展的通用计算机技术及其体系结构、现代自动控制理论及现代的电力电子技术应用于新一代数控机床并突出其“开放式”及“智能化”的特征。

我国从发展数控技术的战略高度结合国民经济发展的特点对数控技术进行创新性研究,重点开发“开放式”、“智能化”的数控车床、数控加工中心及数控电加工机床系列产品。

本系列书籍作者选准了这个题材,1995 年就在本单位机械设计制造及其自动化专业

开设了“机床数控技术”和“制造自动化技术”两个专业方向;在继续工程教育方面,作者所在单位作为“兵器工业现代数控技术培训中心”和“全国数控培训网太原分中心”的承办单位,自1995年以来,开办了40多期现代数控技术普及班、高级班和各种专项班,为70多个企事业单位培训了大量现代数控技术方面的工程技术人才。

在新产品研究开发方面,作者应用现代数控技术为企业开发出复杂曲面CAD/CAM一体化多种产品。

本系列书籍是在作者多年从事现代数控技术方面的教学、科研、基础理论研究和工作的基础上总结深化撰写成的。本系列书籍系统地分专题详细论述了现代数控技术的有关理论,内容充实,重点突出,同时尽可能地反映数控技术领域内的新成就和新的应用经验;在注重理论系统性的同时,强调如何应用理论分析实际问题,如数控编程实例及故障诊断实例等。在编写结构上,内容深入浅出,图文并茂,条理清楚,便于学用。

相信这套系列书籍能够有益于我国数控技术领域人才的培养,有益于我国数控技术的发展,有益于我国立足世界数控技术之林。



2001年9月13日于太原

第2版前言

数控技术和数控装备是制造工业现代化的重要基础,这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,对国计民生的一些重要行业的发展起着越来越重要的作用,也关系到一个国家的战略地位。因此,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。

2002年1月由国防工业出版社出版的《现代数控技术系列》书籍分五本分册,系统地介绍了《现代数控原理及控制系统》、《现代数控机床伺服及检测技术》、《现代数控编程技术及应用》、《现代数控机床故障诊断及维修》、《现代数控机床实用操作技术》;2005年1月出版该系列第2版。

《现代数控机床》是在作者1999年9月出版的《现代数控机床结构与与设计》的基础上,经过修改于2003年4月在国防工业出版社出版,2005年8月《现代数控机床》第2次印刷时,列入《现代数控技术系列》。因类似的书籍国内外极少,故出版后,社会反映良好。为尽可能地反映数控技术领域内的新成就和新的应用经验,特修订再版。本次修订与前一版相比,除第4章外,其余各章均作了较大幅度的修订,更新了部分内容,反映了数控机床技术的最新发展动向。第1章更新了数控机床的新技术和最新发展趋势。第2章新增加了并联机床。第3章增加了多轴车削中心、复合加工中心等内容。第5、6章做了优化与更新。第7、8章结合参编作者的博士论文工作,更新了数控机床结构设计基本原则、数控机床的总体布局、数控机床的计算机辅助分析与设计等内容。总之本书的修订进一步完善了《现代数控机床》的内容,对数控机床的结构与设计方面提供了系统、实用、前沿的知识。

修订后的《现代数控机床》第2版,共分8章,重点介绍现代数控机床的基本知识、数控机床的分类及数控机床发展趋势;介绍典型数控加工中心、多轴车削中心、数控车床的主参数、功能、传动系统、结构特点、并联机床的结构等;介绍数控机床主传动系统设计、进给伺服系统设计、床身与导轨及数控机床的总体设计;介绍数控机床的结构设计要求,数控机床的总体布局;介绍数控机床的计算机辅助设计。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化相关专业本科生教材;还可作为从事计算机应用研究,特别是对从事数控技术开发、数控设备使用、维修人员、工程设计技术人员有较大的参考价值。也可作为各种层次的继续工程教育用数控培训教材。

本书由王爱玲教授、博导担任主编,负责审查及统稿,并编写第1章。第2章由孙旭东讲师、博士编写,第3、4章由武文革教授、博士编写,第5、6章由曾志强讲师、硕士编写,

第7、8章由辛志杰副教授、博士编写。本书编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献,在此谨致谢意。对刘中柱、刘永姜、王连生等同志为本书修订再版所给予的支持一并致谢。

数控技术发展日新月异,由于编著者水平有限,书中的错误、缺点恳请读者率直批评指正。

编者
2008年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床的基本概念	1
1.1.1 数控机床的定义	1
1.1.2 数控机床的加工原理	1
1.2 数控机床的组成及加工特点	2
1.2.1 机床数控技术及组成	2
1.2.2 数控机床的加工特点	4
1.3 数控机床的分类	5
1.3.1 按运动控制的特点分类	5
1.3.2 按伺服系统的控制方式分类	7
1.3.3 按数控系统功能水平分类	8
1.3.4 按工艺用途分类	9
1.3.5 按所用数控装置的构成方式分类	10
1.4 数控机床的坐标规定	10
1.5 数控机床最新发展趋势	12
1.6 先进制造技术与数控装备	20
1.6.1 先进制造技术的内涵	20
1.6.2 先进制造技术的发展战略	22
1.6.3 先进制造技术及装备	26
第 2 章 加工中心(MC)	30
2.1 概述	30
2.1.1 加工中心的概念	30
2.1.2 加工中心的发展历程	30
2.1.3 加工中心的工作原理	31
2.1.4 加工中心的组成及系列型谱	32
2.1.5 加工中心的分类	34
2.1.6 加工中心的特点	37
2.1.7 加工中心的主要加工对象	37

2.2	加工中心的结构特点	39
2.2.1	主传动系统	39
2.2.2	进给传动系统	56
2.2.3	自动换刀装置	81
2.3	JCS-018 型立式加工中心简介	95
2.3.1	机床用途	95
2.3.2	主要技术性能	96
2.3.3	传动系统	98
2.3.4	典型部件	99
2.4	加工中心发展趋势	109
第3章	数控车床	116
3.1	数控车床的结构特点	116
3.1.1	工艺范围与分类	116
3.1.2	数控车床的特点与发展	116
3.1.3	数控车床的布局形式	117
3.1.4	主传动方式	120
3.1.5	进给传动系统	123
3.1.6	刀架系统	124
3.2	CK7815 型数控车床	128
3.2.1	CK7815 型数控车床的布局及主要部件	128
3.2.2	主要技术参数	130
3.2.3	机床传动系统	135
3.2.4	机床的结构及调整	136
3.3	车削中心	143
3.3.1	车削中心的工艺范围	143
3.3.2	车削中心的 C 轴	144
3.3.3	车削中心的主传动系统	144
3.3.4	车削中心自驱动力刀具典型结构	146
3.3.5	双主轴车削中心	147
3.4	复合加工中心	149
第4章	数控机床的主传动系统设计	157
4.1	主传动变速系统的参数	157
4.1.1	主传动功率	157
4.1.2	运动的调速范围	157
4.2	主传动系统的设计要求	158

4.3	主传动变速系统的设计	159
4.3.1	交、直流无级调速电动机的功率扭矩特性	159
4.3.2	数控机床分级变速箱的设计	160
4.4	主轴组件设计	169
4.4.1	对主轴组件的性能要求	169
4.4.2	主轴组件的类型	171
4.4.3	主轴	171
4.4.4	主轴轴承	173
4.4.5	主轴组件的前悬伸和跨距	181
4.4.6	主轴组件的技术要求	183
4.4.7	主轴组件的动态特性	184
4.4.8	主轴组件的平衡	185
4.4.9	主轴轴承的润滑与密封	186
4.4.10	主轴组件的刚度计算	189
4.4.11	主轴组件径向刚度和转速的参考值	194
4.4.12	超高速主轴组件的设计要点	194
4.5	齿形带传动设计	199
4.5.1	齿形带的强度计算	199
4.5.2	齿形带传动的设计计算	199
第5章	进给伺服系统设计	202
5.1	概述	202
5.1.1	数控机床进给伺服驱动系统的基本组成	202
5.1.2	对进给伺服系统的基本要求	203
5.1.3	进给伺服系统的设计要求	204
5.2	典型进给伺服驱动方案	205
5.3	进给伺服驱动系统设计	207
5.3.1	选择伺服电动机的类型	207
5.3.2	选择导轨种类和确定阻尼比	212
5.3.3	系统增益和机械传动链固有频率的确定	213
5.3.4	设计机械传动装置并校验	214
5.4	电气驱动部件动态设计	217
5.5	机床数字调节对系统主要动态参数的要求	222
5.5.1	谐振频率的计算与确定	222
5.5.2	刚度的计算与确定	223
5.5.3	阻尼比的计算与确定	225
5.5.4	非线性因素	226

5.6	滚珠丝杠螺母传动装置及支承	229
5.6.1	滚珠丝杠螺母	229
5.6.2	滚珠丝杠支承轴承的选用	233
5.7	进给伺服驱动系统的性能分析	235
5.7.1	闭环进给伺服系统的模型	235
5.7.2	动态性能指标	237
5.7.3	系统的稳定性	238
5.7.4	进给伺服系统的伺服精度	239
5.7.5	定位精度	241
5.8	机械传动部件实例	242
第6章	床身与导轨	250
6.1	床身结构	250
6.1.1	对床身结构的基本要求	250
6.1.2	床身的结构	250
6.1.3	床身的刚度	252
6.1.4	AG床身的结构设计	253
6.2	导轨设计	254
6.2.1	滚动导轨设计	256
6.2.2	贴塑滑动导轨设计	261
6.2.3	液体静压导轨设计	270
6.2.4	导轨的润滑与防护	279
第7章	数控机床的总体设计	281
7.1	数控机床的结构设计要求	281
7.1.1	提高机床的结构刚度	281
7.1.2	提高机床的抗振性	286
7.1.3	提高低速进给运动的平稳性和运动精度	292
7.1.4	减小机床的热变形	294
7.2	数控机床结构设计基本原则	295
7.3	数控机床的总体布局	301
7.3.1	总布局与工件形状、尺寸和质量的关系	302
7.3.2	运动分配与部件的布局	302
7.3.3	总体布局与机床结构性能	307
7.3.4	机床的使用要求与总布局	308
7.3.5	数控机床的总体布局实例	309
7.3.6	数控机床总布局的其他趋向	310

第 8 章 数控机床的计算机辅助分析与设计	311
8.1 概述.....	311
8.1.1 数控机床采用计算机辅助分析与设计的意义	311
8.1.2 CAD、CAE 系统的总体描述.....	312
8.1.3 数控机床 CAD、CAE 系统的主要功能	314
8.1.4 工程数据管理技术	317
8.1.5 CAD 系统的工程数据库	321
8.2 数控机床总体方案设计.....	324
8.2.1 机床总体布局的 CAD	324
8.2.2 机床整机建模与性能分析	329
8.3 主传动系统 CAD	335
8.3.1 部件装配图 CAD	335
8.3.2 加工中心和数控车床主轴及主传动系统 CAD	338
8.4 伺服进给系统 CAD	343
8.4.1 伺服进给系统计算机辅助计算与分析(CASS 软件)	344
8.4.2 伺服进给系统 CAD 数据库子系统.....	347
8.4.3 伺服进给系统 CAD 图形子系统.....	347
8.4.4 伺服进给系统设计流程	348
8.5 刀库和机械手 CAD	349
8.5.1 刀库和机械手 CAD 的工作模式.....	349
8.5.2 刀库和机械手 CAD 软件的功能组成.....	349
8.5.3 刀库和机械手 CAD 的工作流程.....	352
8.6 机床大件模块优化分析与设计.....	353
8.6.1 机床大件 CAD、CAE 工作模式	353
8.6.2 床身	361
8.6.3 立柱	365
8.6.4 导轨	372
参考文献	375

第 1 章 绪 论

1.1 数控机床的基本概念

1.1.1 数控机床的定义

数字控制(Numerical Control)是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种技术方法。

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,是现代化工业生产中的一门新型的发展十分迅速的高技术。数控装备是以数控技术为代表的新技术对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品,即所谓的数字化装备。其技术范围所覆盖的领域有:机械制造技术;微电子技术;信息处理、加工、传输技术;自动控制技术;伺服驱动技术;检测监控技术、传感器技术;软件技术等。数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业、生物技术及其产业、航空、航天等国防工业产业)的使能技术和最基本的装备。在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善工人劳动强度等方面,都有突出的优点;特别是在适应机械产品迅速更新换代、小批量、多品种生产方面,各类数控装备是实现先进制造技术的关键。

数控机床是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, IFIP)第五技术委员会,对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装了程序控制系统的机床。该系统能逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

1.1.2 数控机床的加工原理

金属切削机床加工零件,是操作者依据工程图样的要求,不断改变刀具与工件之间相对运动的参数(位置、速度等),使刀具对工件进行切削加工,最终得到所需要的合格零件。

数控机床的加工,是把刀具与工件的运动坐标分割成一些最小的单位量,即最小位移量,由数控系统按照零件程序的要求,使坐标移动若干个最小位移量(即控制刀具运动轨迹),从而实现刀具与工件的相对运动,完成对零件加工。

刀具沿各坐标轴的相对运动,是以脉冲当量 δ 为单位的(mm/脉冲)。

当走刀轨迹为直线或圆弧时,数控装置则在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,然后按中间的坐标值,向各坐标输出脉冲数,保证加工出需要的直线或圆弧轮廓。

数控装置进行的这种“数据点的密化”称做插补,一般数控装置都具有对基本函数(如直线函数和圆函数)进行插补的功能。

对任意曲面零件的加工,必须使刀具运动的轨迹与该曲面完全吻合,才能加工出所需的零件。

例如,欲加工轮廓为任意曲线 L 的零件,如图 1-1 所示,可将曲线 L 分成 $\Delta L_0, \Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_i$ 等线段,设切削的时间为 Δt_{i-0} ,即把曲线划分的段数越小,则刀具运动的轨迹越逼近曲线 L ,即

$$\lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} \Delta L_i = L$$

在 Δt_i 时间内,刀具在各坐标的位移量为 ΔX_i 和 ΔY_i , 即

$$\Delta L_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}$$

进给速度:

$$v_i = \sqrt{\frac{(\Delta X_i)^2}{(\Delta t_i)^2} + \frac{(\Delta Y_i)^2}{(\Delta t_i)^2}} = \sqrt{\Delta v_{X_i}^2 + \Delta v_{Y_i}^2}$$

当加工直线时, ΔL_i 的斜率不变,各坐标轴速度分量的比值 $\frac{\Delta v_{Y_i}}{\Delta v_{X_i}}$ 不变,因此进给速度 v_i 可保持常量。

当加工任意曲线时, ΔL_i 的斜率不断变化, $\frac{\Delta v_{Y_i}}{\Delta v_{X_i}}$ 的比值也不断变化。只要能连续地自动控制二坐标方向运动速度的比值,便可实现任意曲线零件的加工。

实际上,在数控机床上加工任意曲线 L 的零件,是由该数控装置所能处理的基本数学函数来逼近的,例如用直线、圆弧等。自然,逼近误差必须满足零件图样的要求。

如图 1-2 所示为用直线逼近一任意曲线 L 的情况。只要求出节点 a, b, c, \dots 的坐标值,按节点写出直线插补程序,数控装置则进行节点间“数据点的密化”,并向各坐标轴分配脉冲数,控制刀具完成该直线段的加工。逼近误差最大值 δ_{\max} 应满足零件公差 δ 的要求,即 $\delta_{\max} < \delta$ 。

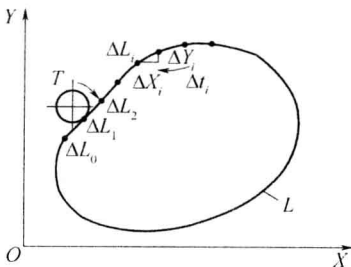


图 1-1 数控机床加工原理图

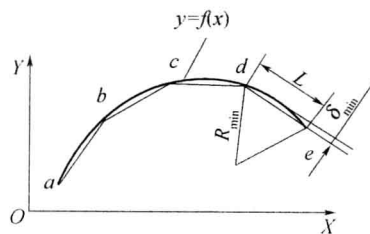


图 1-2 用直线逼近曲线

1.2 数控机床的组成及加工特点

1.2.1 机床数控技术及组成

数控技术包括数控系统、数控机床及外围技术,其组成如表 1-1 所列。