

现代数控机床结构及设计丛书

数控机床系统设计

► 文怀兴 夏田 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

● **现代数控机床结构及设计丛书（共7种）**

- ◆数控机床系统设计
- ◆数控机床本体
- ◆数控系统
- ◆数控机床检测装置
- ◆数控车床设计
- ◆数控铣床设计
- ◆数控加工中心设计

ISBN 7-5025-6888-3



9 787502 568887 >

销售分类建议：机械/机械设计


ISBN 7-5025-6888-3

定价：36.00元

现代数控机床结构及设计丛书

数控机床系统设计

文怀兴 夏田 编著

 **化学工业出版社**
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

数控机床系统设计/文怀兴, 夏田编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 5

(现代数控机床结构及设计丛书)

ISBN 7-5025-6888-3

I. 数… II. ①文…②夏… III. 数控机床-系统设计
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 038350 号

现代数控机床结构及设计丛书

数控机床系统设计

文怀兴 夏田 编著

责任编辑: 张兴辉 周国庆 卢小林

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 400 千字
2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6888-3

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

数控机床集计算机技术、电子技术、自动控制、传感测量、机械制造、网络通信技术于一体，是典型的机电一体化产品，它的发展和运用，开创了制造业的新时代，改变了制造业的生产方式、产业结构、管理方式，使世界制造业的格局发生了巨大变化。现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等，都是建立在数控技术之上。数控技术水平的高低已成为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，已经成为当今制造业的发展方向。

我国是世界上机床产量最多的国家，但数控机床的产品竞争力在国际市场中仍处于较低水平，即使在国内市场也面临着严峻的形势：一方面国内市场对各类机床产品特别是数控机床有大量的需求，而另一方面却有不少国产机床滞销积压，国外机床产品充斥市场，严重影响我国数控机床自主发展的势头。这种现象的出现，除了有经营上、产品质量上和促销手段上的原因外，还有一个主要的原因就是我国生产的数控机床品种、性能和结构不够先进，新产品（包括基型、变型和专用机床）的开发周期长，不能及时针对用户的需求提供满意的产品。

为了促进我国数控机床设计技术的发展，提升国内机床设计人员的整体水平，化学工业出版社组织国内有关专家组织编写了《现代数控机床结构及设计丛书》，包括《数控机床系统设计》、《数控机床本体》、《数控系统》、《数控检测装置》、《数控车床设计》、《数控铣床设计》、《数控加工中心设计》七个分册。丛书从设计人员的实际需要出发，对先进数控机床的结构、控制系统、装置及其设计方法进行了比较详细的介绍和分析，希望能够对我国机床设计人员消化、吸收国外的先进理念和技术，提高设计质量和设计水平有所帮助。

本书为《数控机床系统设计》分册，主要讲述数控机床及其部件的基本设计理论和方法，采用最新科技成果，力图反映国内外现代数控技术的发展趋势；重点介绍了常用典型机构或部件的设计原理和计算实例，体现了理论性和实践性的协调和统一。本书在编写时注意了既保证所介绍内容的系统性、新颖性和实用性，又体现精简的原则；既注重知识的传授，又强调思考及分析问题的方法，以适应现代机床工业发展对人才知识结构的需求，便于自学并指导设计工作。

本书第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 8 章由文怀兴编写，第 2 章由文怀兴、郭

慧编写，第5章、第6章、第7章、第9章、第10章由夏田编写。刘正、张承武、史彭涛、朱华杰、肖婷等同志对本书的部分文稿、图稿进行了校对或绘制。本书编写过程中，参阅了国内外同行的教材、资料和文献，得到了许多专家的支持和帮助，在此谨致谢意。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、数控技术以及模具设计与制造等专业的教学用书，也可供从事机械设计制造和研究的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中的错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2005年4月

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的特点	1
1.1.1 数控机床的优点	1
1.1.2 数控机床加工零件的特点	2
1.2 数控机床的工作原理和组成	3
1.2.1 数控机床的工作原理	3
1.2.2 数控机床的组成	3
1.3 数控机床的分类	5
1.3.1 按运动方式分类	5
1.3.2 按控制方式分类	5
1.3.3 按数控系统的功能水平分类	7
1.4 控制轴数与联动轴数	7
1.5 数控机床性能、结构及应用	8
1.5.1 数控机床的精度指标	8
1.5.2 典型数控机床结构及应用	8
1.6 数控机床的发展趋势.....	14
1.6.1 数控机床的产生和发展.....	14
1.6.2 数控机床的发展趋势.....	14
第 2 章 数控机床的总体设计	18
2.1 数控机床设计的基本要求.....	18
2.1.1 工艺范围.....	18
2.1.2 加工精度.....	18
2.1.3 柔性.....	18
2.1.4 开放性.....	19
2.1.5 噪声.....	19
2.1.6 生产率和自动化.....	19
2.1.7 成本.....	19
2.1.8 生产周期.....	19
2.1.9 可靠性.....	19
2.1.10 机床宜人性	20
2.1.11 符合绿色工程的要求	20
2.2 数控机床设计方法和理论.....	21
2.2.1 机床设计方法.....	21
2.2.2 机床设计步骤.....	21
2.2.3 机床设计的基本理论.....	22

2.2.4 并联机床设计创新	27
2.3 系列化、通用化、标准化和模块化	27
2.3.1 机床系列化设计	27
2.3.2 零部件的通用化和标准化	28
2.3.3 模块化设计	29
2.4 数控机床总体方案设计	31
2.4.1 几何运动设计	32
2.4.2 机床总体结构方案设计	37
2.5 机床主要参数的设计	42
2.5.1 主参数和尺寸参数	42
2.5.2 运动参数	42
第3章 数控机床主传动系统设计	50
3.1 概述	50
3.1.1 数控机床主传动系统的特点	50
3.1.2 主传动系统的设计要求	50
3.1.3 数控机床主传动系统配置方式	50
3.1.4 主传动系统的类型	51
3.2 分级变速主传动系统设计	52
3.2.1 转速图的概念	52
3.2.2 变速规律	54
3.2.3 结构网及结构式	54
3.2.4 拟定转速图的方法	55
3.2.5 齿轮齿数的确定	57
3.2.6 主传动系统计算转速	57
3.3 无级变速传动链的设计	59
3.3.1 无级变速装置的分类	59
3.3.2 机械无级变速与分级变速机构的串联	60
3.3.3 采用直流或交流电动机无级调速	61
3.4 现代数控机床主传动系统	65
3.4.1 高速主传动设计	65
3.4.2 柔性化、复合化设计	65
3.5 主传动系统结构设计	67
3.5.1 变速机构	67
3.5.2 齿轮在轴上的布置	68
3.5.3 主传动的开停、制动装置	69
3.5.4 立式加工中心主轴箱的构造	70
3.5.5 数控车床主轴箱构造	71
第4章 主轴组件设计	74
4.1 主轴组件的基本要求	74
4.2 主轴	75

4.2.1	主轴的构造	75
4.2.2	主轴的材料和热处理	76
4.2.3	主轴的技术要求	77
4.3	主轴滚动支承	77
4.3.1	主轴常用滚动轴承的类型	78
4.3.2	主轴滚动轴承的选择	81
4.3.3	主轴轴承的配置形式	81
4.3.4	滚动轴承精度等级的选择	84
4.3.5	主轴滚动轴承的预紧	85
4.4	主轴滑动轴承	86
4.4.1	动压轴承	86
4.4.2	液体静压轴承	88
4.4.3	气体静压轴承	89
4.5	主轴组件的设计计算	90
4.5.1	初选主轴直径	90
4.5.2	主轴悬伸量的确定	91
4.5.3	主轴最佳跨距的选择	91
4.6	数控机床主轴组件的结构形式	94
4.6.1	主轴的支承与润滑	94
4.6.2	刀具自动装卸及切屑清除装置	95
4.6.3	主轴准停装置	96
4.7	高速主轴单元	97
4.7.1	高速电主轴的结构	97
4.7.2	高性能的 CNC 控制系统	98
4.7.3	冷却润滑技术的研究	98
4.7.4	高速精密轴承	99
4.7.5	电主轴的动平衡	100
4.7.6	刀具的夹紧	100
4.7.7	轴上零件的联接	101
4.8	提高主轴组件性能的措施	101
4.8.1	提高旋转精度	101
4.8.2	改善动态特性	102
4.8.3	控制主轴组件温升	103
第 5 章	伺服进给传动系统设计	104
5.1	伺服进给传动系统概述	104
5.1.1	伺服进给系统分类	104
5.1.2	伺服进给系统的基本要求	105
5.2	直线运动机构——滚珠丝杠螺母机构	105
5.2.1	工作原理及其特点	105
5.2.2	结构类型	106

5.2.3	滚珠丝杠的安装	108
5.2.4	滚珠丝杠螺母的计算和选用	109
5.3	数控机床消隙机构及其常用的联接方式	111
5.3.1	进给系统传动齿轮间隙消除	111
5.3.2	数控机床常用的联接方式	114
5.4	伺服电动机及其调速	117
5.4.1	步进电动机	117
5.4.2	直流伺服电动机及其调速系统	123
5.4.3	交流伺服电动机及其调速	126
5.4.4	直线电动机	128
5.5	典型进给系统结构	130
5.6	伺服进给系统设计的基本要求	131
5.7	伺服进给系统机械传动装置的设计步骤及计算	132
5.7.1	负载转矩的计算	132
5.7.2	负载惯量的计算	134
5.7.3	伺服电动机的选择	135
5.7.4	电动机惯量与负载惯量的匹配	135
5.8	伺服进给系统的动态响应、稳定性及精度	137
5.8.1	动态性能指标	137
5.8.2	系统的稳定性	138
5.8.3	开环、半闭环伺服进给系统的死区误差及定位精度	140
5.8.4	静态误差与伺服刚度	142
5.8.5	传动链的自然频率	143
5.8.6	刚度计算	143
第6章	数控机床检测装置	146
6.1	数控机床测量系统分类与特点	146
6.1.1	检测装置的分类	146
6.1.2	数控测量装置的性能指标及要求	147
6.2	常用测量元件的工作原理及应用	148
6.2.1	旋转变压器	148
6.2.2	感应同步器	149
6.2.3	光栅	152
6.2.4	磁栅	155
6.2.5	脉冲编码器	159
第7章	数控机床本体设计	163
7.1	支承件设计	163
7.1.1	数控机床支承件的功用和应满足的要求	163
7.1.2	支承件的静刚度	164
7.1.3	支承件的动态特性	172
7.1.4	支承件的结构设计	177

7.1.5	支承件的有限元计算简介	179
7.2	导轨设计	181
7.2.1	导轨的分类	181
7.2.2	对导轨的基本要求	186
7.2.3	滑动导轨	187
7.2.4	滚动导轨	194
7.2.5	提高导轨耐磨性的措施	201
第8章	自动换刀和自动交换工件系统	204
8.1	自动换刀装置	204
8.1.1	回转刀架换刀	204
8.1.2	更换主轴换刀	206
8.1.3	带刀库的自动换刀系统	207
8.2	工件自动交换系统	213
8.2.1	托盘交换装置	213
8.2.2	装卸料机器人	214
8.2.3	有轨小车 (RGV)	215
8.2.4	无轨小车 (AGV)	215
8.3	数控机床的回转工作台	216
8.3.1	数控回转工作台	216
8.3.2	分度工作台	217
第9章	数控机床辅助装置	221
9.1	刀具测量装置	221
9.1.1	机外对刀仪	221
9.1.2	机内对刀仪	222
9.2	工件尺寸精度的自动检测	222
9.2.1	坐标测量机检测技术	222
9.2.2	在机检测——测量头	224
9.2.3	机器人辅助测量技术	225
9.3	数控机床的自动排屑	227
9.4	典型数控机床的安全防护系统	228
9.4.1	皮腔防护系统	228
9.4.2	钢制伸缩式导轨防护罩	230
9.4.3	卷帘防护罩、防护板	231
第10章	普通机床的数控化改造	232
10.1	概述	232
10.1.1	机床数控化改造的必要性	232
10.1.2	机床数控化改造的市场	233
10.1.3	数控化改造的内容	234
10.2	机床数控改造主要步骤	234
10.2.1	改造方案的确定	234

10.2.2	改造的技术准备	235
10.2.3	改造的实施	235
10.2.4	验收及后期工作	235
10.3	数控系统的选择	236
10.4	数控改造中主要机械部件改装	237
10.5	普通车床的数控化改造	237
10.5.1	数控改造对机械传动系统的要求	237
10.5.2	机械传动系统的改造	238
10.5.3	机械部分改造设计计算	242
10.6	普通铣床的数控化改造	244
10.6.1	坐标轴联动方式的确定	244
10.6.2	设计方案的确定	245
10.7	机械部分改造设计计算实例	246
10.8	数控改造几个实例	248
参考文献		250

第 1 章 数控机床概述

随着科学技术的飞速发展和经济竞争的日趋激烈，产品更新速度越来越快，复杂形状的零件越来越多，精度要求越来越高，多品种、中小批量生产的比重明显增加。激烈的市场竞争使产品研制生产周期越来越短。传统的加工设备和制造方法已难于适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效高质量加工要求。因此近几十年来，世界各国十分重视发展能有效解决复杂、精密、小批多变零件的数控加工技术，在加工设备中大量采用以微电子技术和计算机技术为基础的数控技术。目前，数控技术正在发生根本性变革，它集成了微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体，具有高精度、高效率、柔性自动化等特点，对制造业实现柔性自动化、集成化、智能化起着举足轻重的作用。

汽车、拖拉机与家用电器等行业的产品零件，为了解决高产优质的问题，多采用专用的工艺装备、专用自动化机床或专用的自动生产线和自动化车间进行生产。但是应用这些专用生产设备，生产准备周期长，产品改型不易，因而使新产品的开发周期增长。在机械产品中，单件与小批量产品占到 70%~80%，这类产品一般都采用通用机床加工，当产品改变时，机床与工艺装备均需作相应的变换和调整。通用机床的自动化程度不高，基本上由人工操作，难于提高生产效率和保证产品质量，特别是一些由曲线、曲面轮廓组成的复杂零件，只能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。数控机床就是为了解决单件、小批量、特别是复杂型面零件加工的自动化并保证质量要求而产生的，它为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

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，离开了数控技术，先进制造技术就成了无本之木。同时，数控技术的利用关系到国家的战略地位，是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，已经成为当今制造业的发展方向。

1.1 数控机床的特点

1.1.1 数控机床的优点

(1) 加工对象改型的适应性强 利用数控机床加工改型零件，只需要重新编制程序就能实现对零件的加工。它不同于传统的机床，不需要制造、更换许多工具、夹具和检具，更不需要重新调整机床。因此，数控机床可以快速地由加工一种零件转变为加工另一种零件，这就为单件、小批以及试制新产品提供了极大的便利。它不仅缩短了生产准备周期，而且节省了大量工艺装备费用。

(2) 加工精度高 数控机床是以数字形式给出指令进行加工的，由于目前数控装置的脉冲当量（即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量）一般达到了 0.001mm，而

且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，因此，数控机床能达到比较高的加工精度和质量稳定性。这是由数控机床结构设计采用了必要的措施以及具有机电结合的特点决定的。首先是在结构上引入了滚珠丝杠螺母机构、各种消除间隙结构等，使机械传动的误差尽可能小；其次是采用了软件精度补偿技术，使机械误差进一步减小；第三是用程序控制加工，减少了人为因素对加工精度的影响。这些措施不仅保证了较高的加工精度，同时还保持了较高的质量稳定性。

在采用点位控制系统的钻孔加工中，由于不需要使用钻模板与钻套，钻模板的坐标误差造成的影响也不复存在。又由于加工中排除切屑的条件得以改善，可以进行有效地冷却，被加工孔的精度及表面质量都有所提高。对于复杂零件的轮廓加工，在编制程序时已考虑到对进给速度的控制，可以做到在曲率变化时，刀具沿轮廓的切向进给速度基本不变，被加工表面就可获得较高的精度和表面质量。

(3) 生产效率高 零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两部分时间，因而加工生产率比一般机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大，每一道工序都能选用最有利的切削用量，良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削，有效地节省了机动时间。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施，由于选用了很高的空行程运动速度，因而消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床，而零件又都安装在简单的定位夹紧装置中，可以节省用于停机进行零件安装调整的时间。

数控机床的加工精度比较稳定，一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验，因而可以减少停机检验的时间。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心时，在一台机床上实现了多道工序的连续加工，减少了半成品的周转时间，生产效率的提高就更为明显。

(4) 自动化程度高 数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了操作面板、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，其他的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均可大为减轻，劳动条件也得到相应的改善。

(5) 良好的经济效益 使用数控机床加工零件时，分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批生产情况下，可以节省工艺装备费用、辅助生产工时、生产管理费用及降低废品率等，因此能够获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化 用数控机床加工零件，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化。

数控机床在应用中也有不利的一面，如提高了起始阶段的投资，对设备维护的要求较高，对操作人员的技术水平要求较高等。

1.1.2 数控机床加工零件的特点

数控机床确实存在一般机床所不具备的许多优点，但是这些优点都是以一定条件为前提的。数控机床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完全代替其他类型的机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件。

① 多品种小批量生产的零件。图 1-1 表示了三类机床的零件加工批量数与综合费用的关系。从图中看出零件加工批量的增大对于选用数控机床是不利的。原因在于数控机床设备

费用高昂，与大批量生产采用的专用机床相比其效率还不够高。通常，采用数控机床加工的合理生产批量在 10~200 件之间。目前有向中批量发展的趋势。

② 结构比较复杂的零件。图 1-2 表示了三类机床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控机床适宜于加工结构比较复杂、在非数控机床上加工时需要有昂贵的工艺装备的零件。

③ 需要频繁改型的零件。数控机床节省了大量的工艺装备费用，使综合费用下降。

④ 价格昂贵、不允许报废的关键零件。

⑤ 需要最短生产周期的急需零件。广泛推广数控机床的最大障碍是设备的初始投资大。由于系统本身的复杂性，又增加了维修费用。如果缺少完善的售后服务，往往不能及时排除设备故障，将会在一定程度上影响机床的利用率，这些因素都会增加综合生产费用。

考虑到以上所述的种种原因，在决定选用数控机床加工时，需要进行反复对比和仔细的经济分析，以发挥数控机床的最好经济效益。

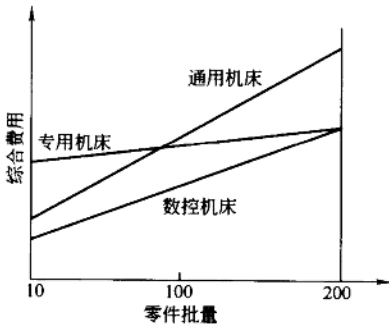


图 1-1 零件加工批量数与综合费用的关系

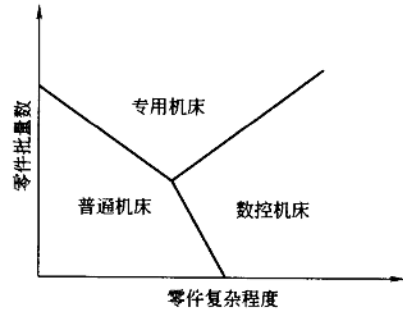


图 1-2 零件复杂程度与批量数的关系

1.2 数控机床的工作原理和组成

1.2.1 数控机床的工作原理

用数控机床加工零件时，首先应将加工零件的几何信息和工艺信息编制成加工程序，由输入部分送入数控装置，经过数控装置的处理、运算，按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路，经过转换、放大进行伺服电动机的驱动，带动各轴运动，并进行反馈控制，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作，从而加工出零件的全部轮廓。

数控机床具有很好的柔性，当加工对象变换时，只需重新编制加工程序即可，原来的程序可存储备用，不必像组合机床那样需要针对新加工零件重新设计机床，致使生产准备时间过长。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床（组成机床本体的各机械部件）组成。如图 1-3 所示，其中实线部分表示开环系统。为了提高加工精度，再加入测量装置，

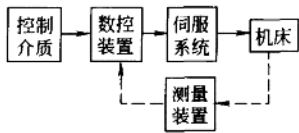


图 1-3 数控机床的组成

由虚线构成反馈，称闭环系统。

1.2.2.1 控制介质

数控机床加工时，所需的各种控制信息要靠某种中间载体携带和传输，这种载体称作“控制介质”。控制介质是存储数控加工所需要的全部动作和刀具相对于工件位置信息的媒介物，它记载着零件的加工程序。

控制介质有多种，如穿孔带、穿孔卡、磁带及磁盘等，也可通过通信接口直接输入所需各种信息。采用何种控制介质则取决于数控装置的类型。随着微型计算机的广泛应用，磁盘正在成为最主要的控制介质。

八单位标准穿孔带，如图 1-4 所示，每一行可有 9 个孔，其中 8 个 $\phi 1.33\text{mm}$ 的孔为信息孔，一个 $\phi 1.17\text{mm}$ 的孔为同步孔。在穿孔带上，可以有穿孔或不穿孔两种状态，与二进制的数字“1”和“0”相对应。国际上常用的八单位穿孔带有两种标准代码，一种是 EIA（美国电子工业协会）代码，另一种是 ISO（国际标准化组织）代码。ISO 为补偶代码，其第八列为补偶列，即每行孔的个数必然是偶数个，若为奇数个，则在第八列补一个孔凑成偶数个。另外七列为编码列，所以可表示 $2^7 = 128$ 个不同的二进制信息。目前，国际上趋向采用 ISO 编码，我国已制定了标准 JB 3050—82《数控机床用七单位编码字符》，它与 ISO 标准等效。

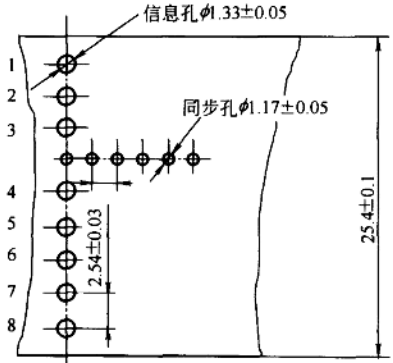


图 1-4 八单位标准穿孔带

1.2.2.2 数控装置

数控装置可分为普通数控系统（NC）和计算机数控系统（CNC）两大类。前者利用专用的控制计算机，又称硬件数控；后者利用通用的小型计算机或微型计算机加软件，又称软件数控。数控装置是数控机床的核心，一般由输入装置、控制器、运算器和输出装置等组成。数控装置根据输入的程序和数据，经过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控制机床的各个部分，进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是：经插补运算决定的各坐标轴（即作进给运动的各执行部件）的进给速度、进给方向和位移量指令信号（送伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动）；主运动部件的变速、换向和启停信号；选择和交换刀具的刀具指令信号；控制冷却、润滑的启停、工件和机床部件松开、夹紧、分度工作台转位等辅助指令信号等。

1.2.2.3 伺服系统

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。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。每个作进给运动的执行部件，都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中，使用了位置检测装置，间接或直接测量执行部件的实际进给位移，与指令位移进行比较，按闭环原理，将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。

1.2.2.4 机械部件

数控机床的机械部件包括：主运动部件；进给运动执行部件，如工作台；拖板及其传动

部件；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。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库，交换刀具的机械手等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构要求更为简单，在精度、刚度、抗振性等方面要求更高，而且其传动和变速系统要便于实现自动化控制。

1.3 数控机床的分类

目前数控机床已发展成为品种齐全、规格繁多的大系统，可以从不同的角度进行分类。

1.3.1 按运动方式分类

(1) 点位控制系统 点位控制系统是指数控系统只控制刀具或机床工作台，从一点准确地移动到另一点，而点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的系统。为了减少移动部件的运动与定位时间，一般先以快速移动到终点附近位置，然后以低速准确移动到终点定位位置，以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。使用这类控制系统的主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控弯管机等。图 1-5 所示为数控钻床加工示意图。

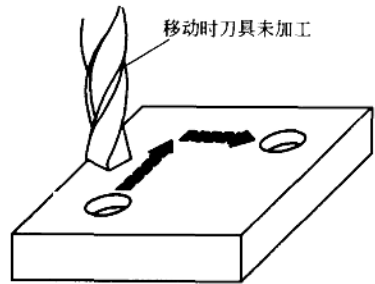


图 1-5 数控钻床加工示意

(2) 点位直线控制系统 点位直线控制系统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另一个点，而且保证在两点之间的运动轨迹是一条直线的控制系统。移动部件在移动过程中被切削。应用这类控制系统的有数控车床、数控铣床和数控刨床等。图 1-6 所示为数控铣床加工示意图。

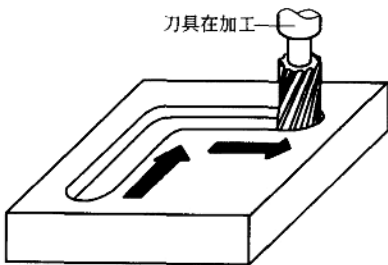


图 1-6 数控铣床加工示意

(3) 轮廓控制系统 轮廓控制系统也称连续控制系统，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、数控齿轮加工机床和加工中心等。图 1-7 所示为轮廓控制系统加工示意图。

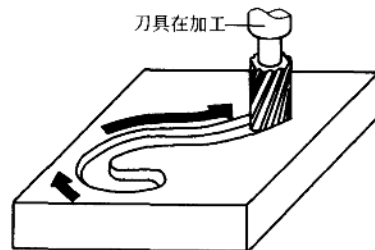


图 1-7 轮廓控制系统加工示意

1.3.2 按控制方式分类

(1) 开环控制系统 开环控制系统是指不带反馈装置的控制系