

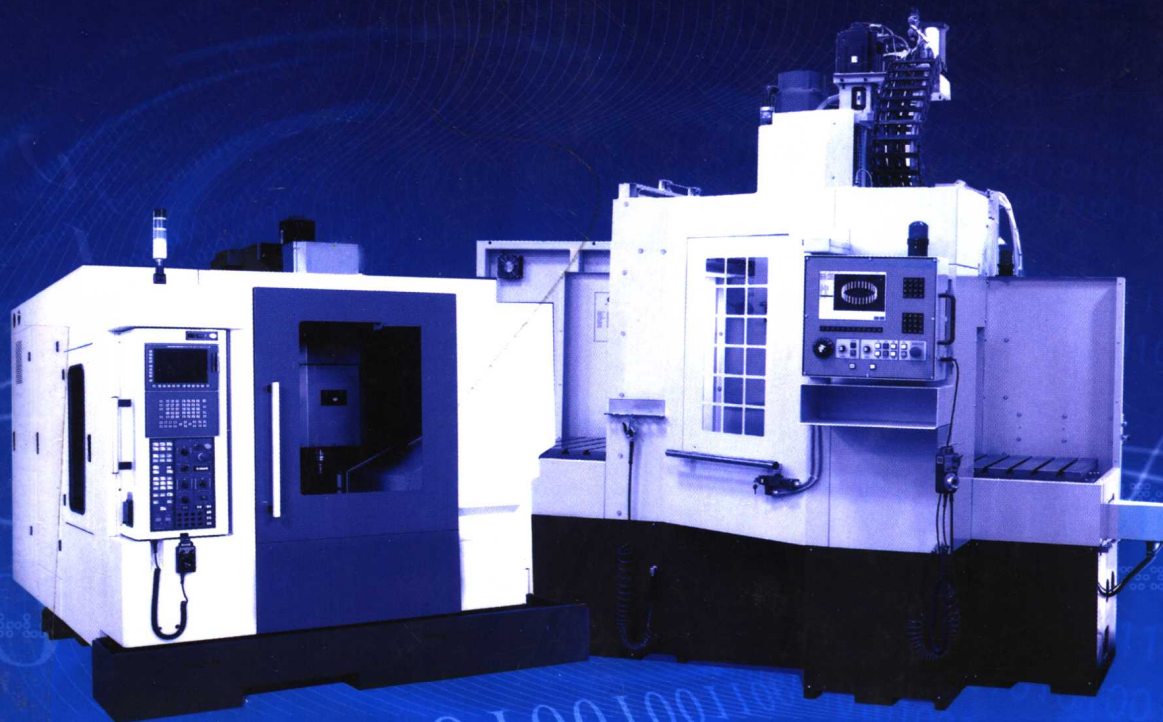
SHUKONG JICHUANG SHEJI

SHIJIAN ZHINAN

数控机床设计

实践指南

文怀兴 夏田 编著



化学工业出版社

TG659/229

2008

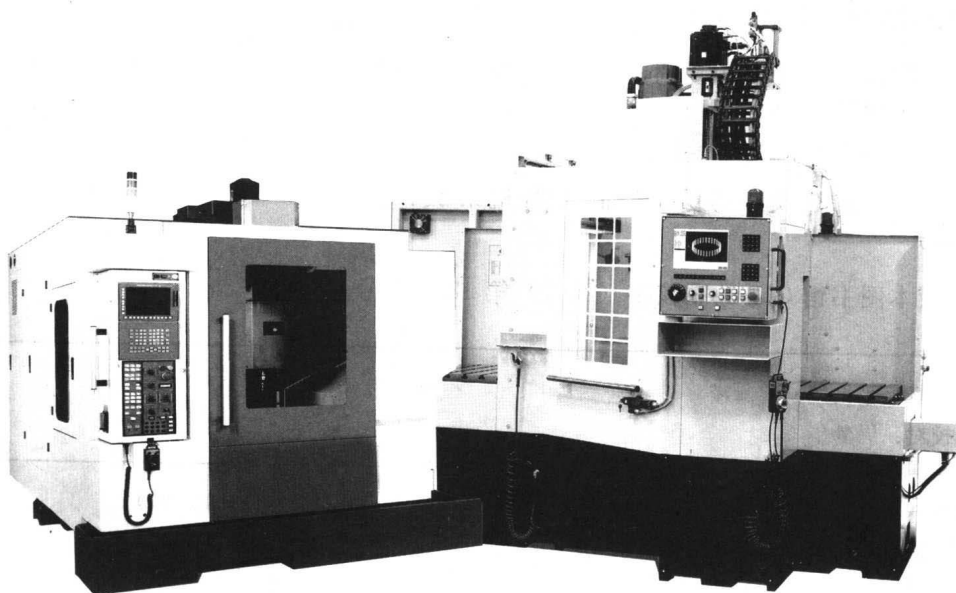
SHUKONG JICHUANG SHEJI

SHIJIAN ZHINAN

数控机床设计

实 践 指 南

文怀兴 夏田 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床设计实践指南/文怀兴, 夏田编著. —北京:
化学工业出版社, 2008.1
ISBN 978-7-122-01617-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 184857 号

责任编辑: 张兴辉 黄 滢

装帧设计: 史利平

责任校对: 周梦华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 259 千字 2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，是提高产品质量和生

产效率的重要手段。数控技术及其装备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，已成为当今制造业的发展方向。

我国数控技术及产业已经取得了显著的成就，开发了具有自主知识产权的数控平台，研制成功了并联运动机床等新技术与新产品，但是与发达国家相比仍有较大差距，其重要原因之一是数控人才的匮乏。为此我们特编写了《数控机床设计实践指南》一书，希望能对提升设计人员的整体水平有所帮助。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业课程设计的指导用书，也可供相关专业的课程设计和毕业设计以及工程技术人员参考。数控机床课程设计是高等院校机械类各专业重要的实践性教学环节，针对用人单位对大学毕业生的技能需求，要求学生在培养过程中必须加强实践环节，把学生置身于工程背景之中，以提高学生分析问题和解决问题的实际能力。本书根据这一指导思想，将工程应用贯穿全书，理论联系实际，注重加强数控机床功能部件的选型与设计计算。

本书第1章、第2章、第3章、附录由文怀兴编写，第4章、第5章由夏田编写。杨洁、张鑫、杨莉、吴鹏、张晓朋、邢海龙、舒蕾等同志对本书的部分文稿、图样进行了校对或绘制。在此对参与本书编写的人员及对本书编写给予支持和帮助的专家、学者，表示诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 数控机床设计理论与方法	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的组成及特点	1
1.1.2 数控机床工作过程	2
1.1.3 数控机床的类型	3
1.2 数控机床设计方法和步骤	5
1.2.1 设计类型	5
1.2.2 设计方法的特点	6
1.2.3 数控机床的设计步骤	7
1.3 数控机床设计的基本理论	8
1.3.1 精度	8
1.3.2 刚度	9
1.3.3 抗振性	9
1.3.4 热变形	10
1.3.5 噪声	11
1.3.6 低速运动平稳性	12
1.4 数控机床总体布局	13
1.4.1 总体布局与工件形状、尺寸和质量的关系	13
1.4.2 运动分配与部件的布局	14
1.4.3 总体布局与机床的结构性能	15
1.4.4 机床的使用要求与总体布局	16
1.5 数控机床主要性能指标及功能	16
1.5.1 数控机床的主要技术指标	16
1.5.2 数控机床的主要功能	17
1.6 结构工艺性评价	18
1.6.1 加工工艺性	18
1.6.2 装配工艺性	19
1.6.3 维修工艺性	20
1.7 课程设计的任务	20
1.7.1 设计要求	20
1.7.2 主要目的	20

第2章 数控机床主传动系统设计	22
2.1 主传动系统设计概述	22
2.1.1 主传动系统基本要求	22
2.1.2 数控机床主轴的变速方式	23
2.1.3 主传动变速系统的主要参数	24
2.2 分级变速传动系统	25
2.2.1 主轴转速数列	25
2.2.2 拟定转速图的方法	27
2.2.3 齿轮齿数的确定	29
2.2.4 主传动系统的计算转速	33
2.3 采用直流或交流电动机无级调速系统	35
2.3.1 调速电动机的功率和转矩特性	35
2.3.2 驱动电动机和主轴功率特性的匹配设计	36
2.4 主轴组件	39
2.4.1 对主轴组件的性能要求	40
2.4.2 主轴轴承	40
2.4.3 刀具自动装卸及切屑清除装置	44
2.4.4 主轴定向停止	45
2.4.5 主轴转速的自动变换	45
2.4.6 主轴旋转与进给轴的同步控制	47
2.4.7 主轴组件润滑与密封	48
2.5 电主轴	50
2.5.1 电主轴概述	50
2.5.2 电主轴的基本参数与结构	51
2.5.3 电主轴的性能参数	55
2.5.4 电主轴的选用	57
2.6 主传动系统结构设计	58
2.6.1 齿轮在轴上的布置	58
2.6.2 箱体内存各传动轴的轴向固定	59
2.6.3 主轴结构	60
2.6.4 结构图例	64
第3章 主传动系统主要传动件计算	70
3.1 工作载荷分析与计算	70
3.1.1 车削抗力分析	70
3.1.2 铣削抗力分析	71
3.1.3 钻削抗力分析	72
3.2 传动零件初步计算	73
3.2.1 按扭转刚度估算轴的直径	74

3.2.2	齿轮模数的估算	75
3.2.3	主轴轴颈的确定	75
3.3	主要传动件的验算	76
3.3.1	齿轮模数的验算	76
3.3.2	传动轴刚度验算	79
3.4	主轴部件刚度计算	81
3.4.1	主轴合理跨距的选择	81
3.4.2	主轴部件刚度计算	84
第4章	数控机床进给传动装置设计	92
4.1	数控机床伺服进给系统的分类及设计要求	92
4.1.1	类型	92
4.1.2	伺服系统的基本设计要求	92
4.1.3	伺服进给系统机械传动结构设计主要内容	94
4.1.4	伺服系统机械传动结构设计特点	94
4.2	胀紧连接套	94
4.2.1	胀套选用计算	94
4.2.2	胀套基本尺寸及参数	96
4.2.3	胀套连接特点	98
4.3	消隙联轴器	98
4.3.1	胀套刚性联轴器	98
4.3.2	胀套膜片联轴器	98
4.4	齿轮传动的消隙和预载	101
4.4.1	刚性调整法	101
4.4.2	柔性调整法	102
4.5	滚珠丝杠副传动机构	103
4.5.1	特点	103
4.5.2	滚珠丝杠副的结构形式	104
4.5.3	滚珠丝杠副的预紧	105
4.5.4	滚珠丝杠副的支承与轴端形式	106
4.5.5	丝杠热位移及其补偿	112
4.5.6	滚珠丝杠螺母的计算和选用	113
4.5.7	刚度计算	115
第5章	数控机床伺服进给传动装置的设计计算	118
5.1	伺服系统设计步骤及计算公式	118
5.1.1	控制类型选择	118
5.1.2	降速比计算	118
5.1.3	负载惯量的计算	118
5.1.4	负载转矩的计算	121

5.2 开环、半闭环伺服进给系统的死区误差及定位精度	123
5.2.1 死区误差	123
5.2.2 定位精度	124
5.3 伺服电机的选择	125
5.4 开环伺服进给系统的设计计算步骤	126
5.5 伺服驱动装置	127
5.5.1 步进电机	127
5.5.2 直流伺服电机	130
5.5.3 交流伺服电机	134
5.6 设计计算举例	136
5.6.1 功率步进电机驱动的开环数控车床的设计与校验	136
5.6.2 宽调速直流电机驱动半闭环控制的立式加工中心	139
附录	144
参考文献	161

第 1 章

数控机床设计理论与方法

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的组成及特点

数控机床是典型的机电一体化设备，一般由信息载体、计算机数控系统、伺服系统、机床本体、测量反馈装置五部分组成，如图 1-1 所示。

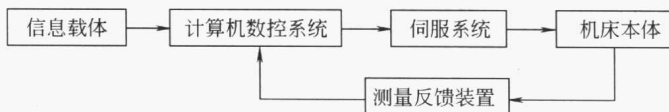


图 1-1 数控机床的组成

(1) 信息载体

信息载体又称控制介质，用于记录数控机床上加工一个零件所必需的各种信息，如零件加工的位置数据、工艺参数等，以控制机床的运动，实现零件的机械加工。常用的信息载体有穿孔带、穿孔卡、磁带、磁盘等，并通过相应的输入装置将信息输入到数控系统中。数控机床也可采用操作面板上的按钮和键盘将加工信息直接输入，或通过串行口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。高级的数控系统可能还包含一套自动编程机或者 CAD/CAM 系统，由这些设备实现编制程序、输入程序、输入数据及显示、模拟显示、存储和打印等功能。

(2) 计算机数控系统

计算机数控系统是数控机床的核心，它的功能是接受载体送来的加工信息，经计算和处理后去控制机床的动作。它由硬件和软件组成。硬件除计算机外，其外围设备主要包括光电阅读机、CRT、键盘、面板、机床接口等。光电阅读机用于输入系统程序和零件加工程序。CRT 供显示和监控用。键盘用于输入操作命令以及编辑、修改程序段，也可输入零件加工程序。操作面板可供操作人员改变操作方式、输入数据、启停加工等。机床接口是计算机和机床之间联系的桥梁，机床接口包括伺服驱动接口及机床输入/输出接口。伺服驱动接口主要是进行数/模转换，以及对反馈元件的输出进行数字化处理并记录，以供计算机采样。机床输入/输出接口用于处理辅助功能。软件由管理软件和控制软件组成。管理软件主要包括输入/输出、显示、诊断等程序。控制软件包括译码、刀具补偿、速度控制、插补运算、位置控制等。数控系统控制机床的动作可概括为以下几点。

① 机床主运动，包括主轴的启动、停止、转向和速度选择，多坐标控制（多轴联动）。

② 机床的进给运动，如点位、直线、圆弧、循环进给的选择，坐标方向和进给速度的选择等。

③ 刀具的选择和刀具的补偿（长度、半径）。

④ 其他辅助运动，如各种辅助操作，工作台的锁紧和松开，工作台的旋转与分度，冷却泵的开、停等。

⑤ 故障自诊断。由于数控系统是一个十分复杂的系统，为使系统故障停机时间减至最少，数控装置中设有各种诊断软件，对系统运动情况进行监视，及时发现故障，并在故障出现后迅速查明故障类型和部位，发出报警，把故障源隔离到最小范围。

⑥ 通信和联网功能。

（3）伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分，包括驱动机构和机床移动部件，它接受数控装置发来的各种动作命令，驱动受控设备运动。伺服电机可以是步进电机、电液马达、直流伺服电机或交流伺服电机。一般来说，数控机床的伺服驱动应具有良好的快速响应性能，能灵敏而准确地跟踪由数控装置发出的指令信号。

（4）机床本体

机床本体是数控机床的主体，用于完成各种切削加工的机械部分，包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。数控机床采用高性能的主轴及进给伺服驱动装置，其机械传动结构得到了简化。

（5）测量反馈装置

该装置由测量部件和相应的测量电路组成，其作用是检测速度和位移，并将信息反馈给数控装置，构成闭环控制系统。没有测量反馈装置的系统称为开环控制系统。

常用的测量部件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

为了保证数控机床功能的充分发挥，还有一些配套部件（如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置）和辅助装置（编程机和对刀仪等）。

1.1.2 数控机床工作过程

数控机床的大致工作过程如图 1-2 所示。首先要由编程人员或操作者通过对零件图进行深入分析，特别是工艺分析，确定合适的数控加工工艺，其中包括零件的定位与装夹方法的确定、工序划分、各工步走刀路线的规划、各工步加工刀具及其切削用量的选择等。

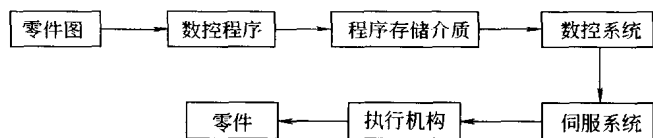


图 1-2 数控机床工作过程

数控程序输入到数控系统，并被调入执行程序缓冲区以后，一旦操作者按下启动按钮，程序就将被逐条逐段地自动执行。数控程序的执行，实际上是不断地向伺服系统发出运动指令。数控系统在执行数控程序的同时，还要实时地进行各种运算，来决定机床运动机构的运动规律和速度。伺服系统在接收到数控系统发来的运动指令后，经过信号放大和位置、速度比较，控制机床运动机构的驱动元件（如主轴回转电动机和进给伺服电动机）运动。机床运

动机构（如主轴和丝杠螺母机构）的运动结果使刀具与工件产生相对运动，实现切削加工，最终加工出所需要的零件。

1.1.3 数控机床的类型

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) 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，一般是先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 1-3 所示为数控钻床加工示意。

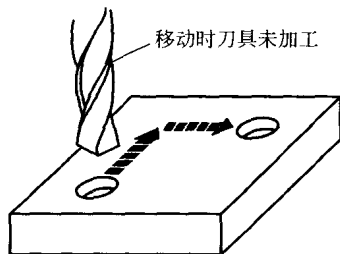


图 1-3 数控钻床加工示意

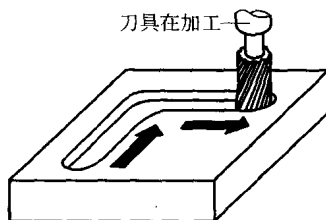


图 1-4 数控铣床加工示意

③ 轮廓控制系统 轮廓控制系统也称为连续控制系统，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 1-5 所示为轮廓控制系统加工示意。

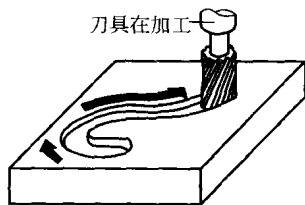


图 1-5 轮廓控制系统加工示意

(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统。它根据数控指令，经过控制运算发出脉冲信号，输送到伺服驱动装置（如步进电动机）使伺服驱动装置转过相应的角度，然后经过减速齿轮和丝杠螺母机构，转换为移动部件的直线位移。图 1-6 所示为开

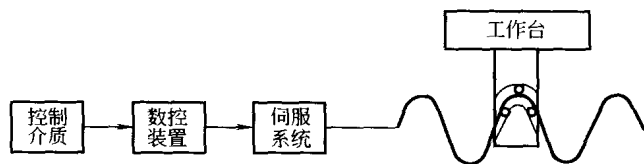


图 1-6 开环控制系统框图

环控制系统框图。

由于开环控制系统不具有反馈装置,不能进行误差校正,因此系统精度较低($\pm 0.02\text{mm}$)。虽然开环控制系统具有结构简单、工作稳定、使用维修方便及成本低等优点,但它已不能满足数控机床日益提高的精度要求。

② 半闭环控制系统 半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置,通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角,间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控装置的比较器中,与输入原指令位移值进行比较,用比较后的差值进行控制,使移动部件补充位移,直到差值消除为止的控制系统。由于半闭环控制系统没有将移动部件的传动丝杠螺母机构包括在闭环之内,所以传动丝杠螺母机构的误差仍然会影响移动部件的位移精度。图 1-7 所示为半闭环控制系统框图。

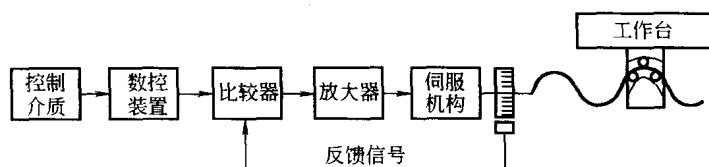


图 1-7 半闭环控制系统框图

半闭环控制系统调试方便,稳定性好,目前应用比较广泛。

③ 闭环控制系统 图 1-8 所示为闭环控制系统框图,闭环控制系统是在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置,将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中,与输入的原指令位移值进行比较,用比较后的差值控制移动部件作补充位移,直到差值消除时才停止移动,达到精确定位的控制系统。

闭环控制系统定位精度高(一般可达 $\pm 0.01\text{mm}$,最高可达 0.001mm),一般应用在高精度数控机床床上。由于系统增加了检测、比较和反馈装置,所以结构比较复杂,调试维修比较困难。

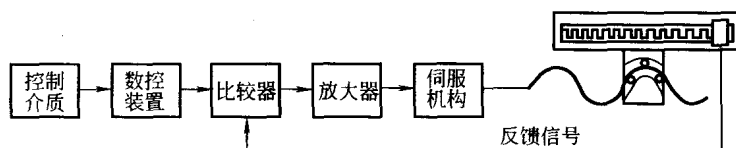


图 1-8 闭环控制系统框图

(3) 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平,通常把数控系统分为低、中、高三类。低、中、高三档的界限是相对的,不同时期,划分标准也会不同。就目前的发展水平来看,可以根据表 1-1 的一些

表 1-1 数控系统不同档次的功能和指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	$10\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$	$0.1\mu\text{m}$
G00 速度	$3\sim 8\text{m/min}$	$10\sim 24\text{m/min}$	$24\sim 100\text{m/min}$
伺服类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS232C 或 DNC	RS232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT:图形、人机对话	CRT:三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理机或多微处理机	分布式多微处理机

功能及指标,将各种类型的数控系统分为低、中、高档三类。其中,高档一般称为全功能数控或标准型数控;经济型数控属于低档数控,是指由单片机和步进电动机组成的数控系统,或其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

1.2 数控机床设计方法和步骤

1.2.1 设计类型

数控机床设计一般可分为创新设计、变型设计和组合设计等几大类型。

(1) 创新设计

创新设计是依据市场需求发展的预测,在没有样机可供参考的条件下,根据对新产品预期的功能要求和性能指标,充分发挥设计者的创造力,利用人类已有的技术成果(包括理论、方法、技术手段和原理等)进行创新构思,设计出具有新颖性、创造性及实用性的机电装备的一种实践活动。它包含两个部分:一是改进完善现有机电装备的功能、技术性能、经济性和适用性等;二是创造设计出新机器、新产品,以满足新的生产需要。

机械创新设计(MCD)、机械系统设计(MSD)、计算机辅助设计(CAD)、优化设计(OD)、可靠性设计(RD)、摩擦学设计(FD)和有限元设计(FED)等一起构成现代机械设计方法学库,人们对这几种理论和方法的研究较为深入且都已有专著问世。数控机床的创新设计是建立在现代机械设计理论、机电一体化系统理论、微电子技术、自动控制理论和信息技术基础上,并吸收科技哲学、认知哲学、思维科学、设计方法学、发明学和创造学等相关学科有益的设计思想与方法,经过交叉而成的一种设计技术和方法。

仿生创新法是一种最常用的创造性设计方法。仿人机械手、仿爬行动物的海底机器人、仿动物的四足机器人、多足机器人,就是仿生设计的产物。由于仿生创新法的迅速发展,目前已形成了仿生工程学这一新的学科。众所周知,飞机的发明源于对鸟的仿生研究。最初,人们为仿鸟类飞行,把两个大翅膀绑在手臂上,从山上跳下仿鸟的飞行,付出一系列的惨重代价后,才逐步发明出固定翼的飞机。仿生创新法是利用生物运动的原理来创新设计的一种好方法。有人在研究小蚂蚁为什么能拖动比它身体重700倍的物体,还有人在研究跳蚤为什么能跳那么高,蝙蝠发出的超声波、信鸽的定位和定向功能等大自然中的许许多多的奇妙生物现象,正在引起世界科学家的极大兴趣。仿生创新法将会得到更加广泛的应用。

(2) 变型设计

单一产品往往满足不了市场需求多样化和瞬息万变的情况,如每种产品都采用创新设计方法,需要较长的开发周期和投入较大的开发工作量。为了快速满足市场需求的变化,常常采用适应型和变参数型设计方法。这两种设计方法都是在原有产品基础上,基本工作原理和总体结构保持不变。适应型设计是通过改变或更换部分部件或结构;变参数型设计是通过改变部分尺寸与性能参数,形成所谓的变型产品,以扩大使用范围,满足更广泛的用户需求。适应型设计和变参数型设计统称“变型设计”。为了避免变型产品品种过于繁多,带来生产混乱和成本增加,变型设计不应无序地进行,应在原有产品的基础上,按照一定的规律演变出各种不同的规格参数、布局和附件的产品,扩大原有产品的性能和功能,形成一个产品系列。

变型设计的依据是原有产品,它应属于技术成熟的产品。变型产品的基本工作原理和主

要功能结构与原有产品相同,在设计和制造工艺方面是已经过了关的。这就是变型设计之所以可以在较短时间内,高质量地设计出符合市场需要产品的原因。作为变型设计依据的原有产品,通常是采用创新设计方法完成的。为能在其基础上进行变型设计,创新设计时应考虑变型设计的可能性,遵循系列化设计的原理,将创新设计和变型设计两者进行统筹规划,即原有产品的设计不再是孤立地进行,而是作为系列化产品中所谓的“基型产品”来精心设计,变型产品也不再是无序地进行设计,而是在系列型谱的范围内有指导地进行设计。

(3) 组合设计

组合设计又称模块化设计,是按合同要求,选择适当的功能模块,直接拼装成所谓的“组合产品”。进行组合产品的设计,应首先在对一定范围内不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上,划分并设计出一系列功能模块,通过这些模块的组合,构成不同类型或相同类型不同性能的产品,以满足市场的多方面需求。组合产品是系列产品的进一步细化,组合产品中的模块也应按系列化设计的原理进行。

据不完全统计,数控机床产品中有一大半属于变型产品和组合产品,创新产品只占一小部分。尽管如此,创新设计的重要意义也不容低估。这是因为,采用创新设计方法不断推出崭新的产品,是企业市场竞争中取胜的必要条件;变型设计和组合设计是在基型和模块系统的基础上进行的,而基型和模块系统也是采用创新设计方法完成的。

1.2.2 设计方法的特点

数控机床设计方法与现代科技发展相适应,具有明显的特点。

(1) 设计手段计算机化

采用计算机辅助设计(CAD)技术,在计算机硬件系统和软件系统的支持下进行分析、结构造型、工程分析、自动绘图及产品信息管理等,使设计工作发生了根本性变化,把设计人员从烦琐的手工劳动中解放出来,可集中精力投身到创造性设计工作中,大大提高了设计效率和质量,而且为采用各种现代设计方法,进一步提高设计水平创造了条件。

(2) 设计方法综合化

设计手段的计算机化,使数控机床设计可以建立在系统工程、创造性工程基础上,综合应用信息论、优化论、相似论、模糊论、可靠性等自然科学理论,不断总结设计规律,完善设计方法,使所采用的设计方法综合化、合理化,提供解决不同问题的科学途径。

(3) 设计对象系统化

设计工作中用系统观点进行全方位设计,避免了传统设计工作中局部地、孤立地处理问题,在设计工作中始终把设计、制造、销售、维护、报废等多方面问题作为一个整体来考虑,不仅使产品满足功能与价格的要求,而且符合工业美学原则、人机工程原则、环境保护原则、工业工程原则等。

(4) 设计目标最优化

设计目标最优化一直是设计者追求的目标,但在传统设计工作中由于问题复杂和设计手段落后,只能靠设计者的经验和感觉来确定。在计算机辅助设计环境下,通过计算机分析、图形仿真等,不仅可以实现单目标优化,而且能实现多目标的整体优化,使所设计的产品在技术性能、经济性、可行性等诸方面,实现整体最优效果。

(5) 设计问题模型化

随着设计建模与分析计算技术的发展,可以把各种问题进行高度抽象与概括,建立各种

设计模型，特别是数学模型，应用计算机进行分析求解，保证了设计工作的科学化与自动化。不仅可以建立静态的线性模型，而且可以建立动态的非线性模型；不仅可以建立零件或组件模型，而且可以建立部件、整机或系统模型，大大提高了设计问题求解的可靠性和精确性。

(6) 设计过程程式化与并行化

设计过程中，一方面，将设计过程划分成不同的阶段，在不同阶段建立不同的设计模型，采用不同的设计方法，利用计算机方便、快捷地处理设计问题，使设计过程程式化，进而实现自动化；另一方面，利用计算机网络通信和信息共享能力，可以打破传统的串行处理设计问题模式，采用并行工程方法，可以大大缩短设计工作周期。不仅使设计问题并行处理，还可将其他生产准备工作，如机械加工工艺规程设计、工装设计、数控编程等，与设计工作并行进行，形成多种任务并行与交叉处理的局面，加上采用面向制造的设计和面向装配的设计等新的设计理念与方法，可以大大缩短产品的设计与制造周期，切实提高产品的市场竞争能力。

1.2.3 数控机床的设计步骤

数控机床的设计内容及步骤大致可概括为如图 1-9 所示。

(1) 主要技术指标设计

主要技术指标设计是后续设计的前提和依据。设计任务的来源不同，如工厂的规划产品，或根据机床系列型谱进行设计的产品，或用户订货等，虽具体的要求不同，但所要进行的内容大致相同。主要技术指标包括以下几个方面。

① 用途 指机床的工艺范围，包括加工对象的材料、质量、形状及尺寸等。

② 生产率 包括加工对象的种类、批量及所要求的生产率。

③ 性能指标 包括加工对象所要求的精度（用户订货设计）或机床的精度、刚度、热变形、噪声等性能指标。

④ 主要参数 即确定机床的加工空间和主要参数。

⑤ 驱动方式 机床的驱动方式有电动机驱动和液压驱动方式。电动机驱动方式中又有普通电动机驱动、步进电动机驱动与伺服电动机驱动。驱动方式的确定不仅与机床的成本有关，还将直接影响传动方式的确定。

⑥ 成本及生产周期 无论是订货还是工厂规划的产品，都应确定成本及生产周期方面的指标。

(2) 总体方案设计

总体方案设计包括以下几项内容。

① 运动功能设计 包括确定机床所需运动的个数、形式（直线运动、回转运动）、功能（主运动、进给运动、其他运动）及排列顺序，最后画出机床的运动功能图。

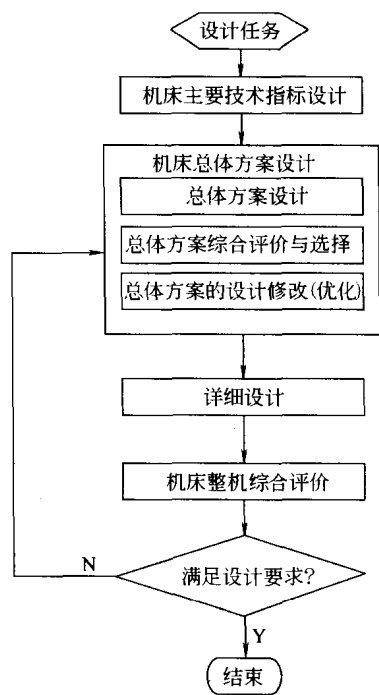


图 1-9 机床设计系统框图

- ② 基本参数设计 包括尺寸参数、运动参数和动力参数设计。
- ③ 传动系统设计 包括传动方式、传动原理图及传动系统图设计。
- ④ 总体结构布局设计 包括运动功能分配、总体布局结构形式及总体结构方案图设计。
- ⑤ 控制系统设计 包括控制方式及控制原理、控制系统图设计。

(3) 总体方案综合评价与选择

在总体方案设计阶段,对各种方案进行综合评价,从中选择较好的方案。

(4) 总体方案的设计修改或优化

对所选择的方案进行进一步的修改或优化,确定最终方案。上述设计内容,在设计过程中要交叉进行。

(5) 详细设计

- ① 技术设计 包括确定结构原理方案、装配图设计、分析计算或优化。
- ② 施工设计 包括零件图设计、商品化设计、编制技术文档等。

(6) 机床整机综合评价

对所设计的机床进行整机性能分析和综合评价。

上述步骤可反复进行,直到达到设计结果满意为止。在设计过程中,设计与评价反复进行,可以提高一次设计成功率。

1.3 数控机床设计的基本理论

机床不同于一般的机械,它是用来生产其他机械的工作母机,因此在刚度、精度及运动特性方面有其特殊要求。下面简单介绍与上述特性相关的一些概念。

1.3.1 精度

机床精度是指机床主要部件的形状、相互位置及相对运动的精确程度,包括几何精度、传动精度、运动精度、定位精度及精度保持性等几个方面。各类机床按精度可分为普通精度级、精密级和高精度级。以上三种精度等级的机床均有相应的精度标准,其允差若以普通级为1,则大致比例为1:0.4:0.25。在设计阶段主要从机床的精度分配、元件及材料选择等方面来提高机床精度。

① 几何精度 几何精度是指机床在空载条件下,在不运动(机床主轴不转或工作台不移动等情况下)或运动速度较低时各主要部件的形状、相互位置和相对运动的精确程度。如导轨的直线度,主轴径向跳动及轴向窜动,主轴中心线对滑台移动方向的平行度或垂直度等。几何精度直接影响加工工件的精度,是评价机床质量的基本指标。它主要取决于结构设计、制造和装配质量。

② 运动精度 运动精度是指机床的主要零部件以工作状态的速度运动时的精度。如高速回转主轴的回转精度。对于高速精密的机床,运动精度是评价机床质量的一个重要指标。运动精度和几何精度是不同的。它还受到运动速度(转速)、运动件的重力、传动力和摩擦力的影响。它与结构设计及制造等因素有关。

③ 传动精度 传动精度是指机床传动系统各末端执行件之间相对运动的协调性和准确度。这方面的误差就成为该传动链的传动误差,如车床在车削螺纹时,主轴每转一转,刀架的移动量应等于螺纹的导程。但实际上,由于主轴与刀架之间的传动链存在着误差,使得刀架的实际移距与理想移距存在误差,该误差就是车床螺纹传动链的传动误差。传动精度由传

动系统的设计、传动件的制造和装配精度等决定。

④ 定位精度 定位精度是指机床的定位部件运动到达规定位置的精度。定位精度直接影响被加工工件的尺寸精度和形位精度。机床构件和进给控制系统的精度、刚度以及动态特性,机床测量系统的精度都将影响机床定位精度。

⑤ 工作精度 机床加工规定的试件所能达到的加工精度,称为机床的工作精度,用试件的加工精度表示。工作精度是各种因素综合影响的结果,包括机床自身的精度、刚度、热变形和刀具、工件的刚度及热变形等。

⑥ 精度保持性 在规定的工作期间内,保持机床所要求的精度,称之为精度保持性。影响精度保持性的主要因素是磨损。磨损的影响因素十分复杂,如结构设计、工艺、材料、热处理、润滑、防护、使用条件等。

1.3.2 刚度

(1) 定义

机床刚度指机床系统抵抗变形的能力,通常用下式来表示

$$K = \frac{F}{y}$$

式中 K ——机床刚度, $\text{N}/\mu\text{m}$;

F ——作用在机床上的载荷, N ;

y ——在载荷作用下,机床或主要零、部件的变形, μm 。

作用在机床上的载荷有重力、夹紧力、切削力、传动力、摩擦力、冲击力和振动干扰力等。按照载荷的性质不同,可分为静载荷和动载荷。不随时间变化或变化极为缓慢的力称为静载荷,如重力、切削力的静力部分等。凡随时间变化的力,如冲击振动力及切削力的交变部分等称为动载荷。故机床刚度相应地分为静刚度及动刚度,后者是抗振性的一部分。通常所说刚度一般指静刚度。

(2) 整机刚度

机床是由许多构件结合而成的,在载荷作用之下各构件及结合部都要产生变形,这些变形直接或间接地引起刀具和工件之间相对位移,这个位移的大小代表了机床的整机刚度。因此,机床整机刚度不能用某个零部件的刚度评价,而是指整台机床在静载荷作用下,各构件及结合面抵抗变形的综合能力。显然静刚度对机床抗振性、生产率等均有影响。因此,在机床设计中如何提高其刚度是十分重要的。国内外对结构刚度和接触刚度进行了大量研究,在设计中既要考虑提高各部件刚度,同时又要考虑结合部刚度及各部件间刚度的匹配问题。各部件和结合部对机床整机刚度的贡献大小是不同的,设计时应进行刚度的合理分配或优化。

1.3.3 抗振性

机床抗振性指机床在交变载荷作用下抵抗变形的能力。它包括两个方面:抵抗受迫振动的能力和抵抗自激振动的能力。前者有时习惯上称之为抗振性,后者常称为切削稳定性。

(1) 受迫振动

受迫振动的振源可能来自机床内部,如高速回转零件的不平衡等,也可能来自机床之外,机床受迫振动的频率与振源激振力的频率相同,振幅与激振力大小及机床阻尼比有关。