



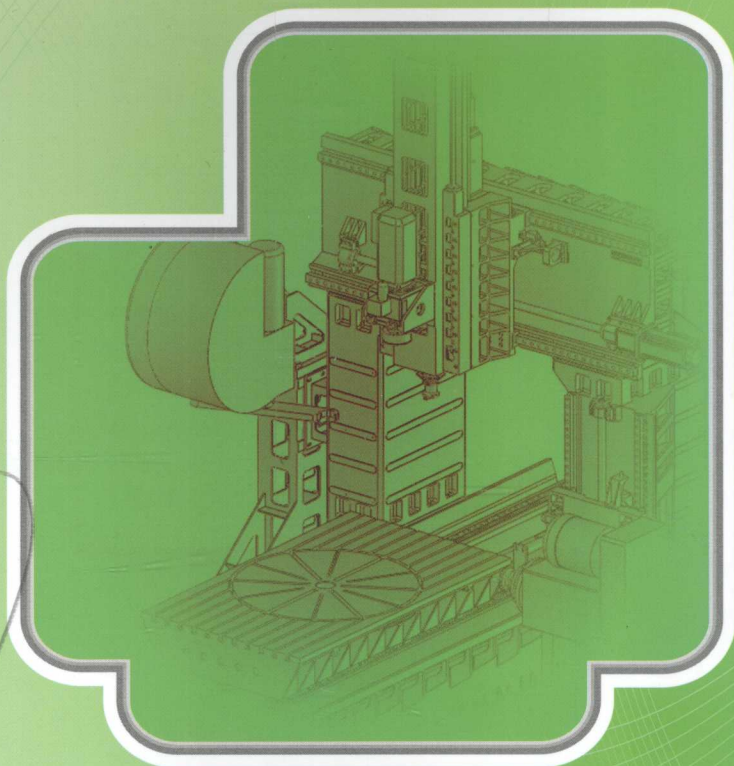
“十三五”普通高等教育本科规划教材

高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材

机床数控技术

(第3版)

主编 杜国臣



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材

机床数控技术 (第3版)

主 编	杜国臣	
副主编	王士军	苗满香
	刘秉亮	毕世英
主 审	韩建海	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是在第2版的基础上,根据教育部“全国机械类专业应用型本科人才培养目标及基本规格”的要求,并充分反映近年来数控机床的发展与应用而修订的。本书内容全面、系统,重点突出,力求体现先进性、实用性。本书共7章,内容包括绪论、数控加工工艺基础、数控加工程序的编制、计算机数控装置、数控机床伺服系统、数控机床机械结构、数控机床的保养与维修。每章均有知识拓展和思考题与习题,书后还附有常用刀具的切削参数。

本书既可作为应用型本科院校的机械设计制造及其自动化、机械工程及其自动化、机电一体化等专业的教材,也可作为中职与本科对口贯通“3+4”分段人才培养及成人高等教育的同类专业教材用书,还可作为广大自学者及工程技术人员的机床数控技术自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/杜国臣主编. —3版. —北京:北京大学出版社,2016.8
(高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材)
ISBN 978-7-301-24452-4

I. ①机… II. ①杜… III. ①数控机床—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第067470号

书 名 机床数控技术(第3版)

JICHUANG SHUKONG JISHU

著作责任者 杜国臣 主编

策划编辑 童君鑫

责任编辑 李娉婷

数字编辑 刘志秀

标准书号 ISBN 978-7-301-24452-4

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博:@北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印刷者 北京溢漾印刷有限公司

经 销 者 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 19.5印张 453千字

2006年8月第1版 2010年1月第2版

2016年8月第3版 2016年8月第1次印刷

定 价 43.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话: 010-62756370

第3版前言

本书是在第2版的基础上,根据“全国机械类专业应用型本科人才培养目标及基本规格”的要求,按通用标准和行业标准培养工程人才的要求,行业企业深度参与,结合编者在数控机床方面的教学与实践经验,并充分反映近年来数控机床的发展与应用而修订的。

数控机床成为“中国制造2025”十大重点领域之一,数控机床发展的大力推进,将为我国实现“大而强”提供动力。随着现代数控机床的大量使用,对机械类专业应用型本科学生在数控机床方面的教学也提出了新的要求,要求学生具备一定的机床数控技术理论知识及应用方面的基本知识和技能;同时,通过对机床数控技术的系统学习,可提高学生对知识的综合运用能力。为满足教学要求,我们联合多家企业共同制定了教材修订大纲和修订内容,并经过多次研讨与完善。在内容上,本书突出了数控加工工艺分析与程序编制等应用知识,且内容先进、系统、普及面广,实例介绍与企业需要更加接近,更加精炼实用,以主动适应工业界的需求,强化培养学生的工程能力和创新能力。同时,对教材的出版形式进行了创新,充分体现了人性化的考虑。本书具有丰富的实物图片,做到图文并茂、叙述生动、通俗易懂;在每章后面增加了拓展知识,拓展了学生的知识面,增强了学生的学习效果,吸引了学生的学习兴趣;针对知识点增加典型例题、例题解题步骤详细,使学生可以较顺利地对教学内容进行预习理解,有利于学生自学习惯的养成和自学能力的培养。本书体系结构及内容有别于同类教材,富有鲜明特色与创新性。

本书从数控机床的基本概念入手,重点突出数控加工工艺分析与程序编制、计算机数控装置、数控机床伺服系统、数控机床机械结构、数控机床的保养与维修等内容,使学生通过系统的学习,熟悉数控机床的基本理论和知识,熟悉数控机床的机械结构和控制知识,熟悉数控机床的加工工艺和编程方法,并能把学到的知识应用到生产实际中。

本书由潍坊学院杜国臣担任主编;山东理工大学王士军、郑州航空工业管理学院苗满香、潍坊学院刘秉亮及毕世英担任副主编;德州学院王万新、河北建筑工程学院李杰参编。本书具体编写分工如下:第1章、第3章中的3.1~3.3节、知识拓展和附录等由杜国臣编写;第2章由毕世英编写;第3章中的3.4节由刘秉亮编写;第4章由王士军编写;第5章由苗满香编写;第6章由刘秉亮和王万新共同编写;第7章由李杰编写。在本书大纲制定和内容编写过程中,潍柴动力、北汽福田等多家企业的工程师积极配合,并付出了艰辛劳动,在此表示衷心地感谢。

限于编者的水平和经验,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。



【精彩抢先看】

编者

2016年2月

北京大学出版社教材书目

◇ 欢迎访问教学服务网站 www.pup6.com, 免费查阅已出版教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。

◇ 欢迎征订投稿。联系方式: 010-62750667, 童编辑, 13426433315@163.com, pup_6@163.com, 欢迎联系。

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
1	机械设计	978-7-5038-4448-5	郑 江, 许 瑛	33	2007.8
2	机械设计	978-7-301-15699-5	吕 宏	32	2013.1
3	机械设计	978-7-301-17599-6	门艳忠	40	2010.8
4	机械设计	978-7-301-21139-7	王贤民, 霍仕武	49	2014.1
5	机械设计	978-7-301-21742-9	师素娟, 张秀花	48	2012.12
6	机械原理	978-7-301-11488-9	常治斌, 张京辉	29	2008.6
7	机械原理	978-7-301-15425-0	王跃进	26	2013.9
8	机械原理	978-7-301-19088-3	郭宏亮, 孙志宏	36	2011.6
9	机械原理	978-7-301-19429-4	杨松华	34	2011.8
10	机械设计基础	978-7-5038-4444-2	曲玉峰, 关晓平	27	2008.1
11	机械设计基础	978-7-301-22011-5	苗淑杰, 刘喜平	49	2015.8
12	机械设计基础	978-7-301-22957-6	朱 玉	38	2014.12
13	机械设计课程设计	978-7-301-12357-7	许 瑛	35	2012.7
14	机械设计课程设计	978-7-301-18894-1	王 慧, 吕 宏	30	2014.1
15	机械设计辅导与习题解答	978-7-301-23291-0	王 慧, 吕 宏	26	2013.12
16	机械原理、机械设计学习指导与综合强化	978-7-301-23195-1	张占国	63	2014.1
17	机电一体化课程设计指导书	978-7-301-19736-3	王金娥 罗生梅	35	2013.5
18	机械工程专业毕业设计指导书	978-7-301-18805-7	张黎骅, 吕小荣	22	2015.4
19	机械创新设计	978-7-301-12403-1	丛晓霞	32	2012.8
20	机械系统设计	978-7-301-20847-2	孙月华	32	2012.7
21	机械设计基础实验及机构创新设计	978-7-301-20653-9	邵 旻	28	2014.1
22	TRIZ 理论机械创新设计工程训练教程	978-7-301-18945-0	蒯苏苏, 马履中	45	2011.6
23	TRIZ 理论及应用	978-7-301-19390-7	刘训涛, 曹 贺等	35	2013.7
24	创新的方法——TRIZ 理论概述	978-7-301-19453-9	沈萌红	28	2011.9
25	机械工程基础	978-7-301-21853-2	潘玉良, 周建军	34	2013.2
26	机械工程实训	978-7-301-26114-9	侯书林, 张 炜等	52	2015.10
27	机械 CAD 基础	978-7-301-20023-0	徐云杰	34	2012.2
28	AutoCAD 工程制图	978-7-5038-4446-9	杨巧绒, 张克义	20	2011.4
29	AutoCAD 工程制图	978-7-301-21419-0	刘善淑, 胡爱萍	38	2015.2
30	工程制图	978-7-5038-4442-6	戴立玲, 杨世平	27	2012.2
31	工程制图	978-7-301-19428-7	孙晓娟, 徐丽娟	30	2012.5
32	工程制图习题集	978-7-5038-4443-4	杨世平, 戴立玲	20	2008.1
33	机械制图(机类)	978-7-301-12171-9	张绍群, 孙晓娟	32	2009.1
34	机械制图习题集(机类)	978-7-301-12172-6	张绍群, 王慧敏	29	2007.8
35	机械制图(第 2 版)	978-7-301-19332-7	孙晓娟, 王慧敏	38	2014.1
36	机械制图	978-7-301-21480-0	李凤云, 张 凯等	36	2013.1
37	机械制图习题集(第 2 版)	978-7-301-19370-7	孙晓娟, 王慧敏	22	2011.8
38	机械制图	978-7-301-21138-0	张 艳, 杨晨升	37	2012.8
39	机械制图习题集	978-7-301-21339-1	张 艳, 杨晨升	24	2012.10
40	机械制图	978-7-301-22896-8	臧福伦, 杨晓冬等	60	2013.8
41	机械制图与 AutoCAD 基础教程	978-7-301-13122-0	张爱梅	35	2013.1
42	机械制图与 AutoCAD 基础教程习题集	978-7-301-13120-6	鲁 杰, 张爱梅	22	2013.1
43	AutoCAD 2008 工程绘图	978-7-301-14478-7	赵润平, 宗荣珍	35	2009.1
44	AutoCAD 实例绘图教程	978-7-301-20764-2	李庆华, 刘晓杰	32	2012.6
45	工程制图案例教程	978-7-301-15369-7	宗荣珍	28	2009.6
46	工程制图案例教程习题集	978-7-301-15285-0	宗荣珍	24	2009.6
47	理论力学(第 2 版)	978-7-301-23125-8	盛冬发, 刘 军	38	2013.9
48	材料力学	978-7-301-14462-6	陈忠安, 王 静	30	2013.4
49	工程力学(上册)	978-7-301-11487-2	毕勤胜, 李纪刚	29	2008.6
50	工程力学(下册)	978-7-301-11565-7	毕勤胜, 李纪刚	28	2008.6
51	液压传动(第 2 版)	978-7-301-19507-9	王守城, 容一鸣	38	2013.7
52	液压与气压传动	978-7-301-13179-4	王守城, 容一鸣	32	2013.7

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
53	液压与液力传动	978-7-301-17579-8	周长城等	34	2011.11
54	液压传动与控制实用技术	978-7-301-15647-6	刘 忠	36	2009.8
55	金工实习指导教程	978-7-301-21885-3	周哲波	30	2014.1
56	工程训练(第3版)	978-7-301-24115-8	郭永环, 姜银方	38	2016.1
57	机械制造基础实习教程	978-7-301-15848-7	邱 兵, 杨明金	34	2010.2
58	公差与测量技术	978-7-301-15455-7	孔晓玲	25	2012.9
59	互换性与测量技术基础(第3版)	978-7-301-25770-8	王长春等	35	2015.6
60	互换性与技术测量	978-7-301-20848-9	周哲波	35	2012.6
61	机械制造技术基础	978-7-301-14474-9	张 鹏, 孙有亮	28	2011.6
62	机械制造技术基础	978-7-301-16284-2	侯书林 张建国	32	2012.8
63	机械制造技术基础	978-7-301-22010-8	李菊丽, 何绍华	42	2014.1
64	先进制造技术基础	978-7-301-15499-1	冯宪章	30	2011.11
65	先进制造技术	978-7-301-22283-6	朱 林, 杨春杰	30	2013.4
66	先进制造技术	978-7-301-20914-1	刘 璇, 冯 凭	28	2012.8
67	先进制造与工程仿真技术	978-7-301-22541-7	李 彬	35	2013.5
68	机械精度设计与测量技术	978-7-301-13580-8	于 峰	25	2013.7
69	机械制造工艺学	978-7-301-13758-1	郭艳玲, 李彦蓉	30	2008.8
70	机械制造工艺学(第2版)	978-7-301-23726-7	陈红霞	45	2014.1
71	机械制造工艺学	978-7-301-19903-9	周哲波, 姜志明	49	2012.1
72	机械制造基础(上)——工程材料及热加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18474-5	侯书林, 朱 海	40	2013.2
73	制造之用	978-7-301-23527-0	王中任	30	2013.12
74	机械制造基础(下)——机械加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18638-1	侯书林, 朱 海	32	2012.5
75	金属材料及工艺	978-7-301-19522-2	于文强	44	2013.2
76	金属工艺学	978-7-301-21082-6	侯书林, 于文强	32	2012.8
77	工程材料及其成形技术基础(第2版)	978-7-301-22367-3	申荣华	58	2016.1
78	工程材料及其成形技术基础学习指导与习题详解(第2版)	978-7-301-26300-6	申荣华	28	2015.9
79	机械工程材料及成形基础	978-7-301-15433-5	侯俊英, 王兴源	30	2012.5
80	机械工程材料(第2版)	978-7-301-22552-3	戈晓岚, 招玉春	36	2013.6
81	机械工程材料	978-7-301-18522-3	张铁军	36	2012.5
82	工程材料与机械制造基础	978-7-301-15899-9	苏子林	32	2011.5
83	控制工程基础	978-7-301-12169-6	杨振中, 韩致信	29	2007.8
84	机械制造装备设计	978-7-301-23869-1	宋士刚, 黄 华	40	2014.12
85	机械工程控制基础	978-7-301-12354-6	韩致信	25	2008.1
86	机电工程专业英语(第2版)	978-7-301-16518-8	朱 林	24	2013.7
87	机械制造专业英语	978-7-301-21319-3	王中任	28	2014.12
88	机械工程专业英语	978-7-301-23173-9	余兴波, 姜 波等	30	2013.9
89	机床电气控制技术	978-7-5038-4433-7	张万奎	26	2007.9
90	机床数控技术(第2版)	978-7-301-16519-5	杜国臣, 王士军	35	2014.1
91	自动化制造系统	978-7-301-21026-0	辛宗生, 魏国丰	37	2014.1
92	数控机床与编程	978-7-301-15900-2	张洪江, 侯书林	25	2012.10
93	数控铣床编程与操作	978-7-301-21347-6	王志斌	35	2012.10
94	数控技术	978-7-301-21144-1	吴瑞明	28	2012.9
95	数控技术	978-7-301-22073-3	唐友亮 余 勃	45	2014.1
96	数控技术与编程	978-7-301-26028-9	程广振 卢建湘	36	2015.8
97	数控技术及应用	978-7-301-23262-0	刘 军	49	2013.10
98	数控加工技术	978-7-5038-4450-7	王 彪, 张 兰	29	2011.7
99	数控加工与编程技术	978-7-301-18475-2	李体仁	34	2012.5
100	数控编程与加工实习教程	978-7-301-17387-9	张春雨, 于 雷	37	2011.9
101	数控加工技术及实训	978-7-301-19508-6	姜永成, 夏广岚	33	2011.9
102	数控编程与操作	978-7-301-20903-5	李英平	26	2012.8
103	数控技术及其应用	978-7-301-27034-9	贾伟杰	40	2016.4
104	现代数控机床调试与维护	978-7-301-18033-4	邓三鹏等	32	2010.11
105	金属切削原理与刀具	978-7-5038-4447-7	陈锡渠, 彭晓南	29	2012.5
106	金属切削机床(第2版)	978-7-301-25202-4	夏广岚, 姜永成	42	2015.1
107	典型零件工艺设计	978-7-301-21013-0	白海清	34	2012.8
108	模具设计与制造(第2版)	978-7-301-24801-0	田光辉, 林红旗	56	2016.1
109	工程机械检测与维修	978-7-301-21185-4	卢彦群	45	2012.9
110	工程机械电气与电子控制	978-7-301-26868-1	钱宏琦	54	2016.3

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
111	工程机械设计	978-7-301-27334-0	陈海虹, 唐绪文	49	2016.8
112	特种加工	978-7-301-21447-3	刘志东	50	2016.1
113	精密与特种加工技术	978-7-301-12167-2	袁根福, 祝锡晶	29	2011.12
114	逆向建模技术与产品创新设计	978-7-301-15670-4	张学昌	28	2013.1
115	CAD/CAM 技术基础	978-7-301-17742-6	刘 军	28	2012.5
116	CAD/CAM 技术案例教程	978-7-301-17732-7	汤修映	42	2010.9
117	Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 实用教程	978-7-5038-4437-X	黄卫东, 任国栋	32	2007.7
118	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 实例教程	978-7-301-12359-1	张选民	45	2008.2
119	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 曲面设计实例教程	978-7-301-13182-4	张选民	45	2008.2
120	Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 实用教程	978-7-301-16841-7	黄卫东, 郝用兴	43	2014.1
121	Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 实例教程	978-7-301-20133-6	张选民, 徐超辉	52	2012.2
122	SolidWorks 三维建模及实例教程	978-7-301-15149-5	上官林建	30	2012.8
123	UG NX 9.0 计算机辅助设计与制造实用教程 (第2版)	978-7-301-26029-6	张黎骅, 吕小荣	36	2015.8
124	CATIA 实例应用教程	978-7-301-23037-4	于志新	45	2013.8
125	Cimatron E9.0 产品设计与数控自动编程技术	978-7-301-17802-7	孙树峰	36	2010.9
126	Mastercam 数控加工案例教程	978-7-301-19315-0	刘 文, 姜永梅	45	2011.8
127	应用创造学	978-7-301-17533-0	王成军, 沈豫浙	26	2012.5
128	机电产品学	978-7-301-15579-0	张亮峰等	24	2015.4
129	品质工程学基础	978-7-301-16745-8	丁 燕	30	2011.5
130	设计心理学	978-7-301-11567-1	张成忠	48	2011.6
131	计算机辅助设计与制造	978-7-5038-4439-6	仲梁维, 张国全	29	2007.9
132	产品造型计算机辅助设计	978-7-5038-4474-4	张慧姝, 刘永翔	27	2006.8
133	产品设计原理	978-7-301-12355-3	刘美华	30	2008.2
134	产品设计表现技法	978-7-301-15434-2	张慧姝	42	2012.5
135	CorelDRAW X5 经典案例教程解析	978-7-301-21950-8	杜秋磊	40	2013.1
136	产品创意设计	978-7-301-17977-2	虞世鸣	38	2012.5
137	工业产品造型设计	978-7-301-18313-7	袁涛	39	2011.1
138	化工工艺学	978-7-301-15283-6	邓建强	42	2013.7
139	构成设计	978-7-301-21466-4	袁涛	58	2013.1
140	设计色彩	978-7-301-24246-9	姜晓微	52	2014.6
141	过程装备机械基础(第2版)	978-301-22627-8	于新奇	38	2013.7
142	过程装备测试技术	978-7-301-17290-2	王毅	45	2010.6
143	过程控制装置及系统设计	978-7-301-17635-1	张早校	30	2010.8
144	质量管理与工程	978-7-301-15643-8	陈宝江	34	2009.8
145	质量管理统计技术	978-7-301-16465-5	周友苏, 杨 飒	30	2010.1
146	人因工程	978-7-301-19291-7	马如宏	39	2011.8
147	工程系统概论——系统论在工程技术中的应用	978-7-301-17142-4	黄志坚	32	2010.6
148	测试技术基础(第2版)	978-7-301-16530-0	江征风	30	2014.1
149	测试技术实验教程	978-7-301-13489-4	封士彩	22	2008.8
150	测控系统原理设计	978-7-301-24399-2	齐永奇	39	2014.7
151	测试技术学习指导与习题详解	978-7-301-14457-2	封士彩	34	2009.3
152	可编程控制器原理与应用(第2版)	978-7-301-16922-3	赵 燕, 周新建	33	2011.11
153	工程光学	978-7-301-15629-2	王红敏	28	2012.5
154	精密机械设计	978-7-301-16947-6	田 明, 冯进良等	38	2011.9
155	传感器原理及应用	978-7-301-16503-4	赵 燕	35	2014.1
156	测控技术与仪器专业导论(第2版)	978-7-301-24223-0	陈毅静	36	2014.6
157	现代测试技术	978-7-301-19316-7	陈科山, 王燕	43	2011.8
158	风力发电原理	978-7-301-19631-1	吴双群, 赵丹平	33	2011.10
159	风力机空气动力学	978-7-301-19555-0	吴双群	32	2011.10
160	风力机设计理论及方法	978-7-301-20006-3	赵丹平	32	2012.1
161	计算机辅助工程	978-7-301-22977-4	许承东	38	2013.8
162	现代船舶建造技术	978-7-301-23703-8	初冠南, 孙清洁	33	2014.1
163	机床数控技术(第3版)	978-7-301-24452-4	杜国臣	43	2016.8

如您需要免费纸质样书用于教学, 欢迎登陆第六事业部门户网(www.pup6.com)填表申请, 并欢迎在线登记选题以到北京大学出版社来出版您的大作, 也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱, 我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床概述	2
1.2 数控机床的分类	7
1.3 数控机床的发展历程与趋势	12
1.4 小结	16
1.5 思考题与习题	16
拓展阅读 中国制造 2025	17
第 2 章 数控加工工艺基础	19
2.1 数控加工工艺分析概述	20
2.2 图形的数学处理	36
2.3 典型零件的数控加工工艺分析	40
2.4 小结	43
2.5 思考题与习题	43
拓展阅读 3D 打印机	45
第 3 章 数控加工程序的编制	48
3.1 数控机床编程基础	49
3.2 数控车削加工程序编制	55
3.3 数控铣削加工程序编制	81
3.4 加工中心加工程序编制	108
3.5 小结	138
3.6 思考题与习题	138
拓展阅读 超高速加工技术	143
第 4 章 计算机数控装置	147
4.1 计算机数控装置概述	148
4.2 数控装置的硬件结构	150
4.3 数控装置的软件结构	154
4.4 数控装置的可编程逻辑 控制器	158
4.5 典型数控系统简介	166
4.6 CNC 装置的插补原理	168

4.7 小结	186
4.8 思考题与习题	186
拓展阅读 超精密加工技术	187
第 5 章 数控机床伺服系统	191
5.1 概述	192
5.2 驱动电动机	193
5.3 数控机床常用检测装置	202
5.4 位置控制和速度控制	216
5.5 小结	226
5.6 思考题与习题	227
拓展阅读 三坐标测量机	227
第 6 章 数控机床机械结构	232
6.1 概述	233
6.2 数控机床的主传动系统	236
6.3 数控机床的进给传动系统	243
6.4 自动换刀装置	256
6.5 数控机床的主要辅助装置	261
6.6 小结	265
6.7 思考题与习题	265
拓展阅读 CAD/CAM 技术	266
第 7 章 数控机床的保养与维修	270
7.1 概述	271
7.2 数控机床的保养	271
7.3 数控机床故障诊断与维修	278
7.4 小结	292
7.5 思考题与习题	292
拓展阅读 工业机器人	292
附录 常用刀具的切削参数	296

参考文献	301
------------	-----

第1章

绪论



教学提示

数控机床是采用数字控制技术对机床各移动部件相对运动进行控制的机床。它是典型的机电一体化产品，是现代制造业的关键设备。计算机、微电子、信息、自动控制、精密检测及机械制造技术的高速发展，加速了数控机床的发展。目前数控机床正朝着高速度、高精度、高复合化、高智能化和高可靠性等方向发展，同时其应用范围也越来越广泛。



教学要求

本章主要讲述数控机床的基本概念和特点、主要技术参数、分类以及发展趋势等。本章内容是数控机床的基本知识和内容，要求学生理解并掌握数控机床的基本概念、组成与特点以及分类，了解其发展及发展趋势。



1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的定义

国家标准(GB 8129—1997)把数字控制定义为“用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”,简称数控(Numerical Control, NC)。

简单地说,数控机床是采用了数控技术的机床,即将机床的各种动作、工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示,把这些数字代码通过信息载体输入给数控系统,数控系统经过译码、运算以及处理,发出相应的动作指令,自动地控制机床的刀具与工件的相对运动,从而加工出所需要的工件。所以,数控机床是一种灵活性很强、技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备。

1.1.2 数控机床的组成及加工零件的工作过程

1. 数控机床的组成

数控机床主要由程序介质、数控装置、伺服系统、机床主体四部分组成,如图 1.1 所示。

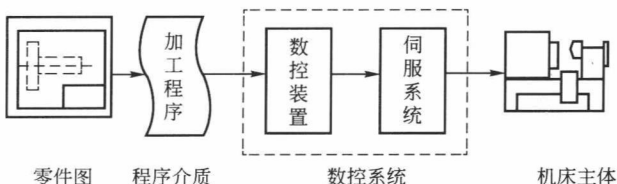


图 1.1 数控机床的组成

1) 程序介质

程序介质用于记载机床加工零件的全部信息,如零件加工的工艺过程、工艺参数、位移数据、切削速度等。常用的程序介质有穿孔带(图 1.2)、磁带、磁盘和 U 盘等。在计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)集成系统中,加工程序可不需要任何载体而直接由个人计算机通过机床传输线输入数控系统。

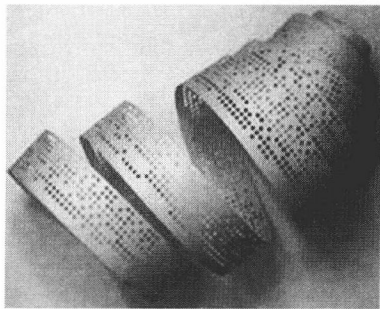
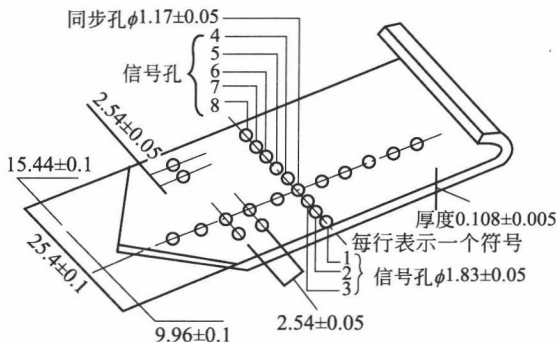


图 1.2 穿孔带

2) 数控装置

数控装置是控制机床运动的中枢系统，它的基本任务是接收程序介质带来的信息，按照规定的控制算法进行插补运算，把它们转换为伺服系统能够接受的指令信号，然后将结果由输出装置送到各坐标控制的伺服系统。

3) 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，是数控系统的执行部件。它的基本作用是接收数控装置发来的指令脉冲信号，控制机床执行部件的进给速度、方向和位移量，以完成零件的自动加工。

一般我们所说的数控系统大多是数控装置和伺服系统两部分的统称，各公司的数控产品也是将两者作为一体的。图 1.3 为西门子 802D 数控系统。

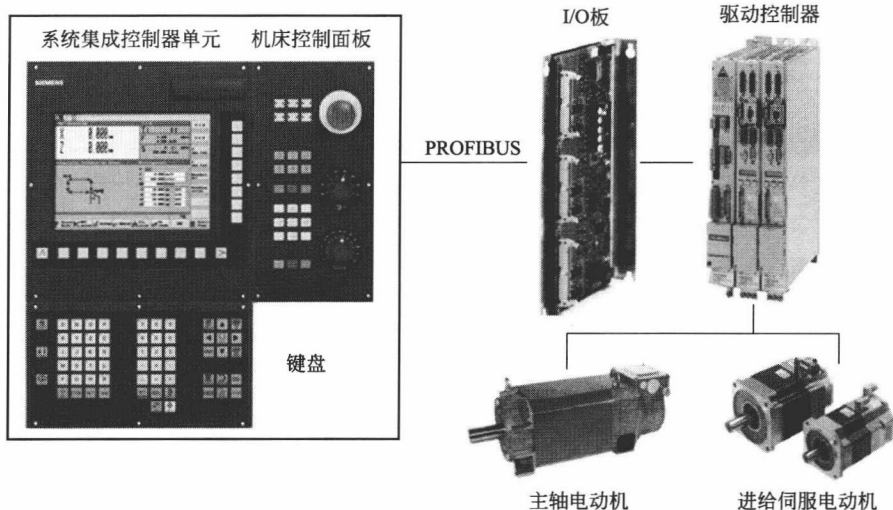


图 1.3 西门子 802D 数控系统

4) 机床主体

机床主体也称主机，包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如底座、立柱、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等。图 1.4 为数控车床主体结构。数控机床与普通机床不同，它的主运动和进给运动均由单独的伺服电动机驱动，所以它的传动链短、结构比较简单。为了保证数控机床的快速响应特性，在数控机床上还普遍采用精密滚珠丝杠副和直线滚动导轨副；在加工中心上还配备刀库和自动换刀装置；同时还有一些良好的配套设施，如冷却、自动排屑、自动润滑、防护和对刀仪等。此外为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工，数控机床的其他机械结构也有很大的变化。

2. 数控机床加工零件的工作过程

在数控机床上加工零件时，要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工路线、工艺参数和刀具数据，再按数控机床编程手册的有关规定编写零件数控加工程序，然后通过输入装置将数控加工程序输入数控装置，数控装置经过处理与计算后，发出相应的控制指令，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，从而进行零件的切削加工。数控机床加工零件的工作过程如图 1.5 所示。

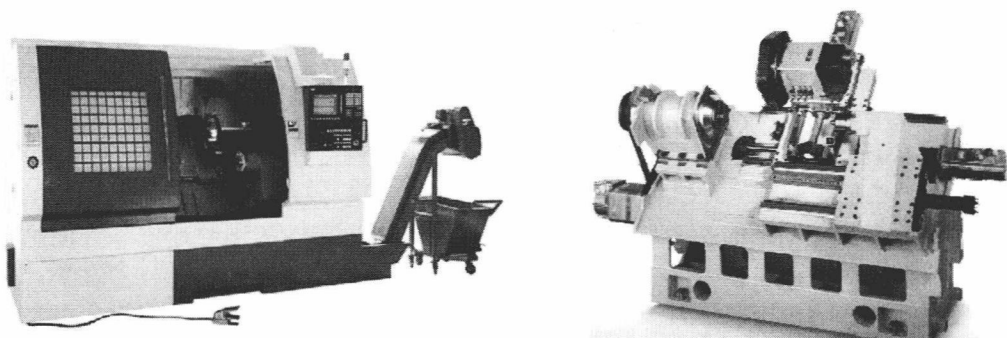


图 1.4 数控车床主体结构

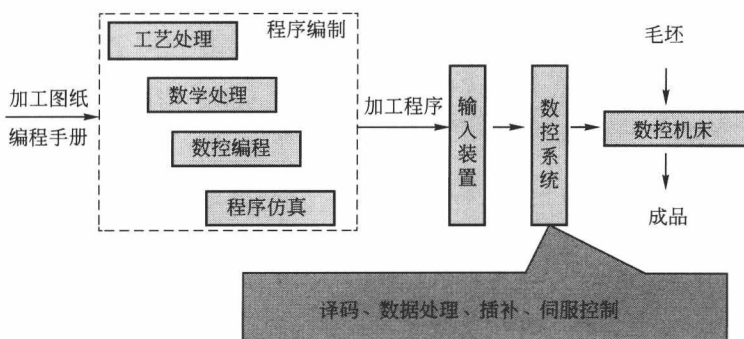


图 1.5 数控机床加工零件的工作过程

1) 程序编制

首先根据图样,对工件的形状、尺寸、位置关系、技术要求等进行工艺分析;然后确定合理的加工方案、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数和图形轮廓的坐标值计算(数学处理)等;最后根据加工路线、工艺参数、图形轮廓的坐标值及数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,编写数控加工程序。程序编完后,要进行程序仿真模拟检验。

2) 程序输入

数控加工程序通过输入装置输入数控装置。目前采用的输入接口主要有 USB 接口、RS232C 接口、分布式数字控制或称直接数字控制(Direct Numerical Control, DNC)接口、网络接口等。数控装置一般有两种不同的输入方式:一种是边输入边加工,DNC 即属于此类工作方式;另一种是一次将零件加工程序输入数控装置内部的存储器,加工时再由存储器一段一段地往外读出,USB 接口即属于此类工作方式。

3) 数据处理

数控装置首先对输入的程序进行译码,同时完成对程序段的语法检查,然后进行数据处理。数据处理一般包括刀具补偿、速度计算以及辅助功能的处理。刀具补偿有刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的任务是根据刀具半径补偿值和零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹。刀具长度补偿的任务是根据刀具长度补偿值和程序值计算出刀具轴向实际移动值。速度计算是根据程序中所给的合成进给速度计算出各坐标轴运动方向的分速度。辅助功能的处理主要完成指令的识别、存储、设标志,这些指令大多是开关量信号,现代

数控机床可由 PLC 控制。

4) 插补运算

数控加工程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹，而刀具从起点沿直线或圆弧运动轨迹走向终点的过程则要通过数控系统的插补软件来控制。插补的任务是通过插补计算程序，根据程序规定的进给速度要求，完成在轮廓起点和终点之间的中间点的坐标值计算，也即数据点的密化工作。

5) 伺服控制与零件加工

伺服系统接受插补运算后的脉冲指令信号或插补周期内的位置增量信号，经放大后驱动伺服电动机，带动机床的执行部件运动，从而将毛坯加工出零件。

1.1.3 数控机床的特点

数控机床与普通机床相比具有以下特点：

1. 精度高、质量稳定

数控机床按照预定的程序自动加工，不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的失误或误差；数控机床本身的刚度高、精度好，并且精度保持性较好，这更有利于零件加工质量的稳定；还可以利用软件进行误差补偿和校正，也使数控加工具有较高的精度。

2. 适应性强

数控机床由于采用数控加工程序控制，当加工零件改变时，只要改变数控加工程序，便可实现对新零件的自动化加工，因此能适应对产品不断更新换代的要求，解决了多品种、单件或小批量生产的自动化问题。数控机床还可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂曲面的零件加工。因此数控机床在宇航、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

3. 生产效率高

数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速，且调速范围大，可选择合理的切削速度和进给速度；可以进行在线检测，避免加工中的停机时间；可采用自动换刀、自动交换工作台，并且一次装夹可实现多面和多工序加工，减少工件装夹、对刀等辅助时间。因此，数控加工生产率高，一般零件可以高出 3~4 倍，复杂零件可提高十几倍甚至几十倍。

4. 劳动条件好

数控机床的操作者一般只需装卸零件、更换刀具、利用操作面板控制机床的自动加工，不需要进行繁杂的重复性手工操作，因此劳动强度低。此外，数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置，操作者的劳动条件可得到很大改善。

5. 便于现代化生产与管理

采用数控机床加工可方便、精确计算加工时间和加工费用，有利于生产过程的科学管理和信息化管理。数控机床又是先进制造系统的基础，便于制造系统的集成，为实现生产过程自动化创造了条件。



6. 具有故障自诊断和监控能力

CNC 系统的故障一般可以通过系统自诊断程序及时诊断出故障的原因,极大地提高了机床的检修效率。高档数控机床还可以通过网络将其工作状态和故障信息传给生产厂家,由生产厂家协助诊断和解决一些疑难故障。

7. 使用与维护要求高

数控机床是综合多学科、新技术的产物,机床价格高,设备一次性投资大,相应地,机床的操作和维护要求较高。因此,为保证数控加工的综合经济效益,要求机床的使用者和维修人员应具有较高的专业素质。

1.1.4 数控机床的主要技术参数

1. 主要规格尺寸

数控车床的主要规格尺寸有床身上最大工件回转直径、刀架上最大工件回转直径、加工最大工件长度、最大车削直径等。数控铣床、加工中心的主要规格尺寸有工作台面尺寸、工作台 T 形槽、工作行程等。

2. 主轴系统

数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动,具有较宽的调速范围和较高的回转精度,主轴本身的刚度与抗振性比较好。现在数控机床的主轴转速普遍能达到 $5000 \sim 10\,000 \text{ r/min}$,甚至更高,对提高加工质量和各种小孔加工极为有利。

3. 进给系统

进给系统有进给速度范围、脉冲当量、定位精度和重复定位精度等主要技术参数。

1) 进给速度

进给速度是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素,直接受到数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度的限制。其中,最大进给速度为切削加工时的最大进给速度,最大快进速度为不加工时移动的最快速度。目前,数控机床最大进给速度普遍达到 15 m/min ,最大快进速度达到 40 m/min 以上。进给速度可通过操作面板上的开关调整。

2) 脉冲当量

脉冲当量表示数控装置每发出一个脉冲信号时机床坐标轴移动的距离,是机床坐标轴可以控制的最小位移增量。其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm ,精密或超精密数控机床的脉冲当量为 $0.1 \mu\text{m}$ 或更小。脉冲当量越小,数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

3) 定位精度和重复定位精度

定位精度是指数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的精度。移动部件实际位置与理想位置之间的误差称为定位误差。定位误差包括伺服系统误差、检测系统误差、进给系统误差和移动部件导轨的几何误差等。定位误差将直接影响零件加工的位置精度。

重复定位精度是指在同一台数控机床上,应用相同程序相同代码加工一批零件,所得到的连续结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙与刚性以及摩

擦特性等因素的影响。一般情况下,重复定位精度是成正态分布的偶然性误差,它影响一批零件加工的一致性,是一项非常重要的性能指标。目前数控机床的定位精度普遍可达 $\pm 0.004\text{mm}$,重复定位精度为 $\pm 0.0015\text{mm}$ 。

4) 可控轴数与联动轴数

数控机床的可控轴数是指数控装置能够控制的坐标数目。可控轴数和数控装置的运算处理能力、运算速度及内存量等有关。世界上最高级数控装置的可控轴数已达到三十多轴。

数控机床的联动轴数是指机床数控装置控制的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。目前有2轴、2.5轴、3轴、4轴、5轴和6轴联动等。

4. 刀具系统

数控车床刀具系统的主要技术参数有刀架工位数、换刀时间、重复定位精度等。加工中心刀具系统的主要技术参数有刀库容量、换刀时间与刀柄形式等,通常中小型加工中心的刀库容量为16~60把,大型加工中心可达100把及以上。换刀时间是指自动换刀系统将主轴上的刀具与刀库中刀具进行交换所需要的时间,一般可达到2s左右。

1.2 数控机床的分类

数控机床种类很多,规格不一,人们从不同的角度对其进行了分类。

1.2.1 按机械运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

这类数控机床的特点是要求保证点与点之间的准确定位。它只能控制行程的终点坐标值,对于两点之间的运动轨迹不做严格要求。对于点位控制的孔加工机床,只要求获得精确的孔系坐标,在刀具运动过程中,不进行切削加工,如图1.6所示。

此类数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床、数控点焊机。

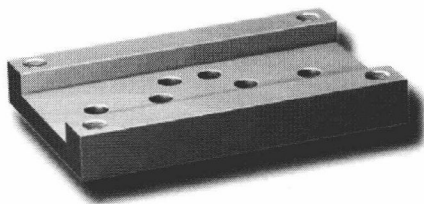
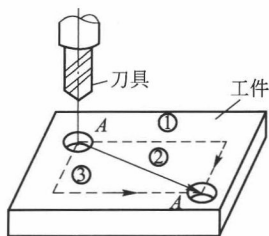


图 1.6 点位控制钻孔加工示意图

2. 直线控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值,还要保证在两点之间机床的刀具轨迹是沿平行于坐标轴方向或与坐标轴成 45° 角方向的一条直线,而且在走直线的过程中往往要进行切削,如图1.7所示。

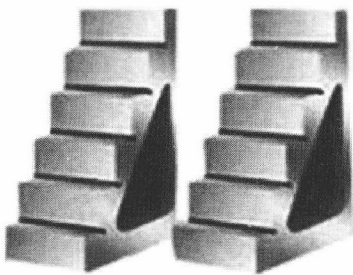
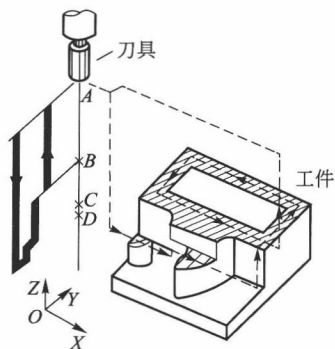


图 1.7 直线控制切削加工示意图

目前具有这种运动控制的数控机床很少,一般有数控磨床、数控镗床等。

3. 轮廓控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值,还要保证两点之间的轨迹要按一定的曲线进行。这种系统必须控制两个或两个以上坐标轴能够同时运动,如图 1.8 所示。

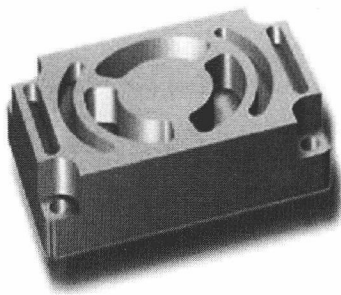
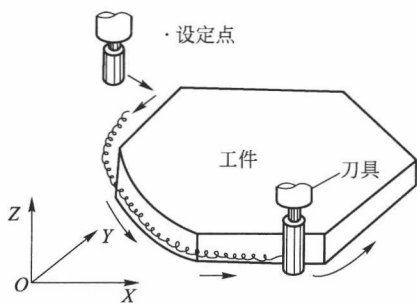


图 1.8 轮廓控制铣削加工示意图

现代数控机床大多具有两坐标或两坐标以上联动功能,除此之外还具有刀具半径补偿、刀具长度补偿、机床轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿等一系列功能。

1.2.2 按伺服系统的类型分类

1. 开环控制数控机床

没有位移检测反馈装置的数控机床称为开环控制数控机床。数控装置发出的控制指令直接通过驱动装置控制步进电动机的运转,然后通过机械传动系统转化成刀架或工作台的位移。开环控制系统如图 1.9 所示。

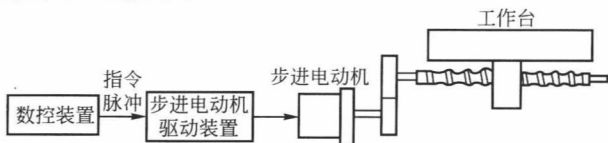


图 1.9 开环控制系统

这类机床的优点是结构简单，制造成本低，维护与维修方便，但是，由于这种控制系统没有检测反馈装置，无法通过反馈自动进行误差检测和校正，因此位移精度一般不高，适于精度要求不高的中小型机床，也可用于对旧机床的数控化改造。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床带有位置检测装置，而且检测装置安装在机床刀架或工作台等执行件上，用以随时检测这些执行部件的实际位置。指令位置值与反馈的实际位置值相比较，根据差值控制电动机的转速，进行误差修正，直到位置误差消除为止。闭环控制系统如图 1.10 所示。

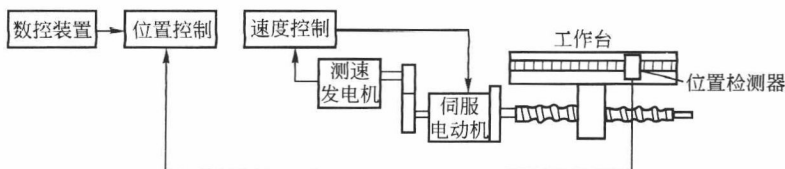


图 1.10 闭环控制系统

这种闭环控制方式可以消除由于机械传动部件误差给加工精度带来的影响，因此可得到很高的加工精度，但由于它将丝杠螺母副及工作台导轨副这些大惯量环节放在闭环之内，系统稳定性受到影响，调试困难，且结构复杂，成本高，主要用于一些精度要求很高的镗铣加工中心、超精密数控车床、超精密数控铣床等。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床也带有位置检测装置，它的检测装置安装在伺服电动机上或丝杠的端部，通过检测伺服电动机或丝杠的角位移间接计算出机床工作台等执行部件的实际位置值，然后与指令位置值进行比较，进行差值控制。半闭环控制系统如图 1.11 所示。

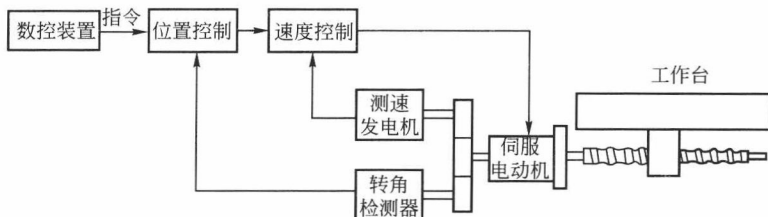


图 1.11 半闭环控制系统

这种机床的控制环内不包括丝杠螺母副及机床工作台导轨副等大惯量环节，因此可以获得稳定的控制特性；由于采用了高分辨率的测量元件，也可以获得比较满意的精度及速度，而且调试比较方便，价格也比全闭环系统便宜。目前，大多数数控机床采用半闭环控制，如数控车床、数控铣床、加工中心等。

1.2.3 按系统功能水平分类

按照数控系统的功能水平分，数控机床可以分为经济型、中档型和高档型三种类型。这种分类方法目前并无明确的定义和确切的分类界限，不同国家分类的含义也不同，不同