

面向 21 世纪高等教育机械类教材

机电装备设计

主 编 林述温
副主编 范扬波

机械工业出版社
Machine Press

机电装备设计

主 编 林述温

副主编 范扬波



机械工业出版社

微电子技术、信息处理技术、传感与检测技术、自动控制技术的突飞猛进发展及其向机械工业的结合、渗透，使机械装备的面貌焕然一新，成为机与电高度融合的整体，即机电装备。本书从实用的角度系统地讲述机电装备设计的基础理论和方法学，以及典型机电装备设计的基本要求与步骤。全书分为四大部分：第一部分为绪论，介绍机电装备的组成、研究对象及分类；第二部分介绍机电装备设计的方法学以及传动系统、传动部件、支承件和导轨的设计理论和方法；第三部分为典型机电装备设计，介绍金属切削机床的设计与数控化、物流系统的设计方法与典型结构布局；第四部分为包装机械装备设计，介绍几种典型裹包机械的工作原理和结构设计，灌装机械的工作原理和结构设计，典型封口机械的形式、工作原理及其设计方法。

本书可作为高等院校机械类专业本科生教材或参考书，同时也可供有关教师及工程技术人员阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

机电装备设计/林述温主编. —北京：机械工业出版社，2002.4
ISBN 7-111-10174-X

I. 机… II. 林… III. 机电设备—设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 020850 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：梁福军 王 焯

封面设计：姚 毅

北京海直大都印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

787 mm×1 092 mm 1/16·27.75 印张·728 千字

0001—3 000 册

定价：42.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本书购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

前 言

随着我国的经济体制从计划经济向市场经济转变, 大学毕业生“分配”制度发生了根本性的变化。大学生毕业之后国家不再包分配, 毕业生直接面对竞争激烈的就业市场, 在这种现实情况下, 要求毕业生具有宽广的知识结构和很强的综合适应能力。传统的机械类专业划分过细、知识面窄的培养模式已不能适应新的形势。为了适应 21 世纪知识结构更加宽阔的, 与其他学科相互交融的机械工程领域人才的培养要求, 必须改革传统的机械类专业的人才培养模式, 培养基础宽厚的应用型、复合型人才, 制订出新的课程体系。课程体系和教学内容的改革对教材建设提出了新要求, 必须编写相适应的教材。另一方面, 现代科学技术的迅猛发展, 尤其是微电子技术、信息技术、传感与检测技术和机械技术的相互渗透, 传统的机械工业产生了深刻的变革。机械装备的面貌已经焕然一新, 一些被广泛应用的传统机械运动系统, 逐渐被机械电子机构所取代, 现代机械装备已成为机与电高度融合的整体——机电装备。传感器和微电子控制系统已成为机电装备的重要组成部分。传统局限于专一的机械或纯机械内容的教材已不能适应现代机械工业发展对人才知识结构的需求。本书正是在上述背景下组织编写的。

本书主要论述如何利用系统设计原理和综合集成技巧, 将机械系统、驱动装置、传感器检测部件、自动控制系统和信息处理系统等机电一体化要素组成各种性能优良、可靠的机电装备。本书以“以机为主、电为机用、机电结合”为方向, 全书分为 3 篇, 将各种机电装备设计的共性基础理论作为第 1 篇, 重点介绍机电装备设计的方法学和机械传动系统设计, 基础元部件、支承件、导轨件的结构设计以及伺服系统的设计方法。在此基础上, 分别以金属切削机床、物流系统和包装机械为实例, 详细介绍典型机电装备的设计方法和步骤。

本书的绪论部分、第 1 章、第 2 章、第 6 章、第 7 章由林述温编写; 第 3 章、第 5 章由聂晓根编写; 第 4 章由黄敏纯编写; 第 8 章由范扬波、林述温共同编写; 第 9 章、第 10 章、第 11 章由范扬波编写。本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、参考书、手册和期刊文献, 在此谨致谢意。

刘冬、王述云同志参加了本书的校对, 罗君扬同志参加了本书部分图幅的整理工作。此外, 本书的编写还得到福州大学有关部门的大力支持, 我们在此表示衷心的感谢!

由于时间仓促, 加上作者水平有限, 错漏及不足之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编者

2002 年 1 月于福州

目 录

前言
绪论

第 1 篇 机电装备设计理论基础与方法

第 1 章 机电装备设计方法	8
1.1 设计类型	8
1.1.1 创新设计	8
1.1.2 变型设计	13
1.1.3 组合设计	13
1.2 可靠性设计准则	14
1.2.1 可靠性的衡量指标	14
1.2.2 可靠性的综合	16
1.2.3 可靠性指标的分解	19
1.3 人机工程学设计准则	20
1.3.1 人体感觉器官特性匹配	21
1.3.2 人体形态匹配	21
1.3.3 人体力学特性匹配	22
1.3.4 机器因素方面	22
1.3.5 环境因素方面	24
1.3.6 人机系统方面	24
1.4 造型设计准则	24
1.4.1 特征	24
1.4.2 美学准则的运用	25
1.4.3 色彩设计准则	32
1.5 绿色产品设计准则	35
1.6 设计过程	37
1.6.1 典型步骤	37
1.6.2 系列化设计过程	45
1.6.3 模块化设计过程	48
1.7 结构工艺性评价	51
1.7.1 加工工艺性	51
1.7.2 装配工艺性	52
1.7.3 维修工艺性	53
1.8 标准化评价	53

1.8.1	标准化及其目的	53
1.8.2	标准分类	54
1.8.3	企业标准体系结构	54
1.8.4	产品设计标准化	55
第 2 章	机电装备传动系统设计	56
2.1	主传动系统设计	56
2.1.1	基本要求	56
2.1.2	分类和布局形式	56
2.1.3	有级变速主传动系统设计	58
2.1.4	无级变速主传动系统设计	78
2.1.5	数控机床主传动系统设计	79
2.2	计算转速	85
2.2.1	机床的功率转矩特性	85
2.2.2	传动件计算转速的确定	86
2.3	进给传动系统设计	87
2.3.1	概述	87
2.3.2	普通机械进给传动系统设计的特点	88
2.3.3	进给运动部件的爬行	92
2.3.4	电伺服驱动机械传动系统的设计	94
2.3.5	齿轮传动间隙的消除	102
2.4	微量进给装置设计	105
2.4.1	设计要求	105
2.4.2	机械结构弹性变形微量进给装置	106
2.4.3	压电和电致伸缩传感器微量进给装置	106
第 3 章	机电装备传动部件设计	111
3.1	同步带传动	111
3.1.1	特点	111
3.1.2	分类	112
3.1.3	结构和规格	112
3.1.4	结构与主要参数	118
3.1.5	设计计算	122
3.2	高速带传动	125
3.2.1	特点	125
3.2.2	类型、结构和尺寸	125
3.2.3	带轮	126
3.3	谐波齿轮传动	127
3.3.1	构造和工作原理	127
3.3.2	传动速比	128
3.3.3	主要特点及其应用	128

3.3.4	传动机构几何尺寸计算	129
3.3.5	设计计算	130
3.3.6	刚度特性	131
3.3.7	基本构件的材料和结构	132
3.3.8	单级谐波齿轮减速器简介	134
3.4	滚珠螺旋传动	135
3.4.1	工作原理及特点	135
3.4.2	结构形式	136
3.4.3	滚珠丝杠副尺寸参数、标记方法、型号和精度等级	139
3.4.4	滚珠丝杠副的支承与联接	142
3.4.5	滚珠丝杠副的选择计算	144
3.5	轴系	153
3.5.1	概述	153
3.5.2	主轴轴系的基本要求	153
3.5.3	主轴轴承的选择及滚动轴承	157
3.5.4	主轴的滑动轴承	161
3.5.5	主轴组件的布局	168
3.5.6	轴系组件的初步计算	173
3.5.7	主轴滚动轴承的预紧	178
3.5.8	主轴组件的润滑和密封	180
3.5.9	提高主轴组件性能的一些措施	181
第 4 章	机电装备支承件设计	182
4.1	基本要求及设计步骤	182
4.1.1	概述	182
4.1.2	基本要求	182
4.1.3	设计步骤	182
4.2	静力分析	183
4.2.1	受力和变形分析	183
4.2.2	静刚度	185
4.3	动态特性	192
4.3.1	动态分析	192
4.3.2	改善动态特性的措施	193
4.4	热变形特性	195
4.4.1	热平衡和温度场	195
4.4.2	热变形和热应力	196
4.4.3	减少热变形的措施	197
4.5	结构设计	198
4.5.1	截面形状的选择	198
4.5.2	壁厚设计	200

4.5.3	结构工艺性	201
4.5.4	焊接结构	202
4.5.5	材料与时效处理	203
第5章	导轨设计	207
5.1	功用、类型及基本要求	207
5.1.1	功用和分类	207
5.1.2	导轨副应满足的要求	208
5.1.3	类型选择原则	209
5.1.4	设计程序及内容	209
5.2	滑动导轨	210
5.2.1	材料与热处理	210
5.2.2	结构形式	211
5.2.3	压强验算	214
5.2.4	油沟设计	215
5.2.5	静压导轨设计	216
5.3	卸荷导轨设计	217
5.3.1	特点、应用和卸荷系数的确定	217
5.3.2	机械卸荷导轨	218
5.3.3	液压卸荷导轨	218
5.4	滚动导轨设计	218
5.4.1	特点、应用、材料和技术要求	218
5.4.2	结构	220
5.4.3	预紧	221
5.4.4	滚动体的尺寸与数目	222
5.4.5	长度	223
5.5	润滑与防护	223
5.5.1	润滑	223
5.5.2	防护	224
5.6	提高耐磨性的措施	225
第6章	机电装备伺服系统设计	228
6.1	概述	228
6.1.1	基本要求	228
6.1.2	分类	228
6.2	典型伺服系统	230
6.2.1	步进电动机驱动的开环系统	230
6.2.2	交流伺服电动机驱动的开环系统	235
6.2.3	伺服电动机驱动的闭环系统	238
6.3	动力学设计	239
6.3.1	动力学计算基本公式	239

6.3.2	等效负载转矩计算	241
6.3.3	机械传动系统的等效惯量	242
6.3.4	电动机的计算和选择	244
6.3.5	刚度、固有频率和精度	252
6.4	动力学方法设计计算实例	254
6.4.1	激光加工机的设计计算	254
6.4.2	经济型数控车床的纵向进给系统的设计计算	262
6.5	控制理论方法的基本内容和步骤概述	264

第 2 篇 典型机电装备设计

第 7 章	金属切削机床设计与数控化	266
7.1	概述	266
7.1.1	基本概念	266
7.1.2	基本要求	270
7.1.3	设计步骤	273
7.2	总体设计	274
7.2.1	型谱制定	275
7.2.2	几何运动设计	275
7.2.3	总体结构方案设计	282
7.3	主要技术参数设计	285
7.3.1	主参数和尺寸参数	285
7.3.2	运动参数	286
7.4	刀架和自动换刀装置设计	291
7.4.1	功能和基本要求	291
7.4.2	类型	292
7.4.3	刀具交换装置	294
7.4.4	换刀机械手	296
7.4.5	手爪	299
7.4.6	结构原理	300
7.4.7	转位机构和定位机构设计	309
7.4.8	链式刀库的构成	311
7.4.9	刀具识别装置	317
7.5	典型加工中心主要结构及工作原理	322
7.5.1	主传动系统	323
7.5.2	进给运动传动系统	324
7.5.3	主轴箱主要结构	324
7.5.4	刀库结构	326
7.5.5	换刀机械手结构及动作过程	328

7.6 卧式车床数控化改装	330
7.6.1 主传动系统	331
7.6.2 主轴脉冲发生器及其安装	331
7.6.3 电动刀架安装	332
7.6.4 进给传动系统	332
7.6.5 脉冲当量的选择与改造中的传动结构	335
7.6.6 可控电动尾座	336
第8章 物流系统设计	338
8.1 功能和要求	338
8.1.1 意义	338
8.1.2 功能	338
8.1.3 要求	338
8.2 总体设计	339
8.2.1 范畴	339
8.2.2 设计方法与步骤	339
8.3 上料装置设计	341
8.3.1 类型与特点	341
8.3.2 料仓式上料装置设计	342
8.3.3 料斗式上料装置及毛坯自动定向方法	348
8.3.4 装卸料机械手	354
8.4 机床间工件传送装置设计	356
8.4.1 托盘和随行夹具	357
8.4.2 自动运输小车	358
8.4.3 随行工作台存放站	361
8.5 自动化仓库设计	362
8.5.1 构成	362
8.5.2 工作过程	364
8.5.3 计算机管理	365

第3篇 包装机械装备设计

第9章 裹包机械	367
9.1 典型裹包机械	368
9.1.1 折叠式裹包机	368
9.1.2 接缝式裹包机	369
9.2 卷筒材料供送装置	371
9.2.1 连续供送定位切断	371
9.2.2 间歇供送定位切断	373
9.3 典型机构	376

9.3.1	卷带供送驱动机构	376
9.3.2	封袋及切断装置	380
第 10 章	灌装机械	391
10.1	灌装与定量基本方法	391
10.1.1	灌装方法	391
10.1.2	定量方法	392
10.2	主体结构及工作原理	393
10.2.1	供料装置	393
10.2.2	灌装阀	396
10.2.3	托瓶机构	403
10.2.4	供瓶装置	404
10.3	灌装阀设计	404
10.3.1	结构设计一般步骤	404
10.3.2	流道工艺计算	407
10.3.3	生产能力计算	410
10.4	分件供送螺杆装置	411
10.4.1	典型结构	411
10.4.2	组合特性	412
10.5	星形拨轮齿槽形成原理	413
第 11 章	封口机械	416
11.1	封口形式	416
11.2	典型刚性容器封口机械	418
11.2.1	刚性容器封口机械的类型	418
11.2.2	典型刚性容器封口机的结构	418
11.3	封口装置	424
11.3.1	卷封装置	424
11.3.2	压盖装置	430
11.3.3	滚纹装置	431
参考文献	434

绪 论

1 机电装备的发展及相关技术

1.1 发展概述

人类用机器体系代替手工劳动生产是在 1785 年蒸汽机在纺织工厂的使用而开始的。1873 年出现的第一台凸轮控制车床,开始了机械自动化的进程。1910~1920 年美国福特汽车公司通过设计制造大量专用机床,首先建立生产流水线,创造平均每分钟生产一辆汽车的纪录,并使生产成本大大降低。20 世纪 40 年代后期,人们利用机械的、电气的和液压的自动化装置,设计制造出各种高效的自动化机床,并用自动输送带将各个单独的机床联结成自动生产线,从而使单一品种大量生产为特征的刚性自动化生产达到成熟阶段。自动化生产对提高劳动生产率、保证产品质量、降低产品成本和推动社会进步起了不可估量的作用。

20 世纪 40 年代世界上诞生了第一台数字计算机,使数控技术(Numerical Control-NC)的出现成为可能,1952 年美国麻省理工学院首先研制成功专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床,解决了单件小批生产自动化问题,开创了将计算机应用于机械装备自动控制的新时代。1958 年,第一台具有自动换刀装置和刀库的数控机床即加工中心(Machining Center-MC)在美国研制成功,进一步提高了数控机床的自动化程度。第一台工业机器人(Industrial Robot)于 1959 年出现于美国。最早的工业机器人是极坐标式的,它的出现对自动化制造技术具有很大的意义。工业机器人可自动进行装配、焊接、喷漆、热处理、清砂、浇注铸件以及在恶劣危险环境中工作等。1960 年,美国研制成功自适应控制机床(Adaptive Control Machine Tools),使机床具有一定的智能,可以有效提高加工质量。1962 年和 1963 年又相继在美国出现了圆柱坐标式工业机器人和计算机辅助设计及绘图系统(Computer Aided Design-CAD),后者为自动化设计以及设计与制造之间的集成奠定了基础。

进入 20 世纪 70 年代以来,以大规模集成电路和微型电子计算机为代表的微电子技术,迅速地被应用到机械工业中,促进了机械工业突飞猛进发展,出现了种类繁多的微电子技术控制的机械、仪器和军械装备,以及柔性制造线 FML、柔性制造系统 FMS 和自动化制造系统,这样就大幅度地提高了产品质量和劳动生产率,适应了市场对产品多样化的要求,丰富了人类的物质文明。今天,机械装备的面貌已经焕然一新,成为机与电高度融合的整体,不仅成为人类体力的延伸,而且成为人类智力的延伸。

1.2 组成及本课程的研究对象

机电一体化装备简称机电装备,是指将机械系统、液压、气动系统、检测部件、微电子自动控制系统和驱动装置以及信息处理技术按系统工程和整体优化的方法组成满足特定功能要求的有机整体。机电装备的结构明显区别于传统的机械装备。过去人们印象中的机器,

在今天只能说是机电装备中的机械和液压、气动部分。传感器和微电子控制系统已成为现代机电装备的重要组成部分，其成本在总成本中的比重甚至超过机械部分。一些被广泛应用的传统机械运动系统，逐渐被机械电子机构所取代，机构学和微电子学在理论和结构上有机地融为一体，促成了“机械电子学（Mechatronics）”新学科的诞生。而机电一体化装备则成为人们对现代机械装备最通俗形象的描述。剖析机电装备，可以看出它们主要由以下四个部分组成。

1. 机械系统

它是机电装备中的传动机构和工作执行机构。机电装备要求重量轻，体积小，精度高，刚度大，摩擦、磨损小及动态性能好。这些新要求，推动了机械技术四大支柱：应用力学、机械设计、制造技术和控制技术的迅速发展。一些新型传动机构使系统尺寸缩小、重量减轻，如谐波传动的单级传动比一般可达 80~200，甚至更大。目前机械系统需要研究的问题有：机械零部件的静态、动态刚度和热变形的研究；提高关键零部件的精度，这些零部件包括精密滚动导轨、精密滚珠丝杆、高精度主轴轴承和高精度齿轮；超精加工和精密测量技术的研究；零部件的模块化和标准化等。

2. 驱动系统

它既是动力源，而且常常还是控制信息的接收与执行者，以实现转向、转速、转数、位移的可控。驱动系统包括各种电动、气动、液压等直接执行装置，对产品质量产生直接影响。在机电装备中，对步进电动机、伺服电动机、液压马达和气马达等执行元件的精度、可靠性要求更高，响应速度要求更快。目前，伺服驱动技术需要研究的问题有：提高机电转换件的精度、可靠性和快速响应性；提高直流伺服电动机的分辨率和灵敏性；交流调速系统的变频调速、电子逆变和矢量变换等技术的研究；中、小惯量伺服电动机的研制；高性能直线电动机的研制。

3. 传感与检测部件

它像神经末梢一样被装置在机械的各敏感部位，时刻捕捉那里的温度、速度、力、振动、声学及光学信号，及时反馈给控制系统，实现对机械工作的实时控制以及对工作状态的监控。目前，传感器需要研究的问题有：提高各种敏感材料和元件的灵敏度和可靠性；改进传感器结构；开发温度与湿度，视觉与触觉功能兼备的复合传感器；研究具有自诊断与自动补偿功能的传感器，即智能化传感器。

4. 自动控制与信息处理系统

它是机电装备的神经系统，通过它传递信息流，进行决策，保证全系统的协调工作。自动控制包括高精度定位控制，速度控制，力控制，自适应控制，以及自诊断、仿真、校正、补偿、再现检索等等。经典控制理论和现代控制理论是自动控制的理论基础，微电子技术的发展为控制理论的应用和实施提供了条件。目前，自动控制技术需研究的问题有：自适应控制研究；柔性自动化仿真技术的研究；自诊断监控技术及容错技术的研究；智能控制系统的研究，机械的智能化将是本世纪机电装备发展的重要趋势。

本课程主要是研究如何利用系统设计原理和综合集成技巧，将机械系统、驱动装置、传感器检测部件、自动控制和信息处理系统等机电一体化要素组成各种性能优良、可靠的机电装备。本教材以机械为主，机电结合，重点介绍机电装备的机械传动系统设计，基础零部件，支承件结构的设计和计算方法，以及典型机电装备的设计方法。在学习本课程之前，应

具有机械、电机拖动、自动控制和微机方面的基础知识。

2 机电装备的分类

机电装备包括加工机电装备、包装机电装备、仓储输送机电装备、工业机器人、自动导引车系统(AGVS)、塑料成形机电装备、皮革机电装备以及纺织机电装备等。这里主要对前四种进行介绍。

2.1 加工机电装备

加工机电装备主要指机床。机床是制造机器的机器,也称工作母机,包括金属切削机床、特种加工机床、锻压机床和木工机床四大类。特种加工机床传统上归在金属切削机床类中。由于近年来,特种加工机床已发展为一个较大的门类,为叙述方便,这里将它作为一大类机床进行介绍。

2.1.1 金属切削机床

金属切削机床包括普通金属切削机床和数控金属切削机床,是利用切削刀具与金属工件的相对运动,从工件上切去多余或预留的金属层,以获得符合规定尺寸、形状、精度和表面粗糙度要求的零件。

通用的金属切削机床按其切削方式可分为车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨(插)床、拉床、切断机床和其他机床等。其他机床如锯床、键槽加工机床、珩磨研磨机床等。

专用机床是为特殊的工艺目的设计和制造的加工装备,组合机床及其自动线是其中的一个大分支,包括大型组合机床及其自动线、小型组合机床及其自动线、自动换刀数控组合机床及其自动线等。此外,还有专用机床等。

金属切削机床按其通用特征可分为高精度、精密、自动、半自动、数控、仿形、自动换刀、轻型、万能和筒式机床等。

2.1.2 特种加工机床

近十年来,为满足国防和高新科技领域的需要,许多产品朝着高精度、高速度、高温、高压、大功率和小型化方向发展。采用特种加工技术、全新的工艺方法,可以解决上述用常规加工手段难以甚至无法解决的许多工艺难题,例如大面积镜面加工、小径长孔甚至弯孔加工、脆硬难切削材料加工和微细加工等。特种加工机床近年来发展很快,按其加工原理可分成:电加工、超声波加工、激光加工、电子束加工、离子束加工和水射流等加工机床。

1. 电加工机床

直接利用电能对工件进行加工的机床统称为电加工机床,一般仅指电火花加工机床、电火花线切割机床和电解加工机床。

电火花加工机床是利用工具电极与工件之间产生的电火花小电弧从工件上去除微粒材料达到加工要求的机床,主要用于加工硬的导电金属,如淬火钢、硬质合金等。按工具电极的形状和电极是否旋转,电火花加工可进行成形穿孔加工、电火花成形加工、电火花雕刻、电火花展成加工和电火花磨削等。

电火花线切割机床是利用一根移动的金属丝作电极,在金属丝和工件间通过脉冲电流,

并浇上液体介质,使之产生放电腐蚀而进行切割加工。当放置工件的工作台在水平面内按预定轨迹移动时,工件便可切割出所需要的形状,如金属丝在垂直其移动方向的平面内不与铅直线平行,可切出上下截面不同的工件。

电解加工机床是利用金属在直流电流作用下,在电解液中产生阳极溶解的原理对工件进行加工的方法,又称电化学加工。加工时,工件与工具分别接正负极,两者相对缓慢进给,并始终保持一定的间隙,让具有一定压力的电解液连续从间隙中流过,将工件上的被溶解物带走,使工件逐渐按工具的形状被加工成形。采用机械的方法,如用砂轮去除工件上的被溶解物,称阳极机械加工。

2. 超声波加工机床

利用超声波能量对材料进行机械加工的设备称超声波加工机床。加工时工具作超声振动,并以一定的静压力压在工件上,工件与工具间引入磨料悬浮液。在振动工具的作用下,磨粒对工件材料进行冲击和挤压,加上空化爆炸作用将材料切除。超声波加工适用于特硬材料,如石英、陶瓷、水晶、玻璃等的孔加工、套料、切割、雕刻、研磨和超声电加工等复合加工。

3. 激光加工机床

采用激光能量进行加工的设备统称激光加工机床。激光是一种高强度、方向性好、单色性好的相干光。利用激光的极高能量密度产生的上万度高温聚焦在工件上,使工件被照射的局部在瞬间急剧熔化和蒸发,并产生强烈的冲击波,使熔化的物质爆炸式地喷射出来以改变工件的形状。激光加工可以用于所有金属和非金属材料,特别适合于加工微小孔($\phi 0.01 \sim \phi 1.00 \text{ mm}$ 或更小)和材料切割(切缝宽度一般为 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$)。常用于加工金刚石拉丝模、钟表宝石轴承、陶瓷、玻璃等非金属材料和硬质合金、不锈钢等金属材料的小孔加工及切割加工。

4. 电子束加工机床

在真空条件下,由阴极发射出的电子流被带高电位的阳极吸引,在飞向阳极的过程中,经过聚焦、偏转和加速,最后以高速和细束状轰击被加工工件的一定部位,在几分之一秒内,将其 99% 以上的能量转化成热能,使工件上被轰击的局部材料在瞬间熔化、气化和蒸发,以完成工件的加工。常用于穿孔、切割、蚀刻、焊接、蒸镀、注入和熔炼等。此外,利用低能电子束对某些物质的化学作用,可进行镀膜和曝光,也属于电子束加工。电子束加工机床就是利用电子束的上述特性进行加工的装备。

5. 离子束加工机床

在电场作用下,将正离子从离子源出口孔“引出”,在真空条件下,将其聚焦、偏转和加速,并以大能量细束状轰击被加工部位,引起工件材料的变形与分离,或使靶材离子沉积到工件表面上,或使杂质离子射入工件内,用这种方法对工件进行穿孔、切割、铣削、成像、抛光、蚀刻、清洗、溅射、注入和蒸镀等,统称离子束加工。离子束加工机床就是利用离子束的上述特性进行加工的装备。

6. 水射流加工机床

水射流加工是利用具有很高速度的细水柱或掺有磨料的细水柱,冲击工件的被加工部位,使被加工部位上的材料被剥离。随着工件与水柱间的相对移动,切割出要求的形状。常用于切割某些难加工材料,如陶瓷、硬质合金、高速钢、模具钢、淬火钢、白口铸铁、耐热

合金和复合材料等。

2.1.3 锻压机床

锻压机床包括普通锻压机床和数控锻压机床，是利用金属的塑性变形特点进行成形加工，属无屑加工装备，主要包括锻造机、冲压机、挤压机和轧制机四大类。

锻造机是利用金属的塑性变形，使坯料在工具的冲击力或静压力作用下成形为具有一定形状和尺寸的工件，同时使其性能和金相组织符合一定的技术要求。按成形方法的不同，锻造加工可分为手工锻造、自由锻造、胎模锻造、模型锻造和特种锻造等。按锻造温度不同，可分热锻、温锻和冷锻等。

冲压机是借助模具对板料施加外力，迫使材料按模具形状、尺寸进行剪切或塑性变形，得到要求的金属板制件。根据加工时材料温度的不同，可分为冷冲压和热冲压。冲压工艺省工、省料且生产率高。

挤压机是借助于凸模对放在凹模内的金属坯料加力挤压，迫使金属挤满凹模和凸模合成的内腔空间，获得所需的金属制件。挤压时，坯料受三向压缩应力的作用，有利于低塑性金属的成形。与模锻相比，挤压加工更节约金属、提高生产率和制品的精度。按挤压时材料的温度不同，可分为冷挤压、温热挤压和热挤压。

轧制机是使金属材料经过旋转的轧辊，在轧辊压力作用下产生塑性变形，以获得所要求的截面形状并同时改变其性能。按轧制时材料温度是否在再结晶温度以上或以下，分热轧和冷轧。按轧制方式又可分纵轧、横轧和斜轧。纵轧是轧件在两个平行排列而反向旋转的轧辊间轧制，用于轧制板材、型材和钢轨等；横轧是轧件在两个平行排列而同向旋转的轧辊间轧制，自身也作旋转运动，用于轧制套圈类零件；斜轧是轧件在两个轴线互成一定角度而同向旋转的轧辊间轧制，自身作螺旋前进运动，仅沿螺旋线受到轧制加工，主要用于轧制钢球。

此外，还有用于加工过程辅助工作的清洗机、排屑和计量等设备。清洗机是用来清洗工件表面尘屑油污的机械设备。所有零件在装配前均需经过清洗，以保证装配质量和使用寿命。清洗液常用 3%~10% 的苏打或氢氧化钠水溶液，加热到 80~90℃，采用浸洗、喷洗、气相清洗和超声波清洗等方法。在自动装配线中，采用分槽多步式清洗生产线，完成工件的自动清洗。

排屑装置用于自动机床或自动线上，从加工区域将切屑清除，输送到机外或线外的集屑器内。清除切屑的装置常用离心力、压缩空气、电磁或真空和冷却液冲刷等方法；输屑装置则有平带式、螺旋式和刮板式多种。

2.2 包装机电装备

包装机电装备是指完成所要求的产品包装工业过程的机械化和自动化的机电装备。包括裹包机、充填机、封口机、标签机、多功能包装机以及清理、干燥和杀菌机等。

1. 裹包机

用挠性包装材料全部或局部裹包产品的机器称为裹包机。接裹包方式不同，裹包机分为：半裹式裹包机、全裹式裹包机、缠绕式裹包机、拉伸裹包机、贴体包装机和收缩包装机。

2. 充填机

将产品按预定量充填到包装容器内的机器称为充填机。充填液体产品的充填机特称为灌装机。按计量原理与充填方法的不同，充填机分为：容积式充填机、称重式充填机、计数

式充填机、灌装机、重力式充填机、推入式充填机和拾放式充填机。

3. 封口机

将容器的开口部分封闭起来的机器称为封口机。按封口方法的不同，封口机分为：无封口材料的封口机、有封口材料的封口机和有辅助封口材料的封口机。

4. 标签机

在产品或包装件上加贴或挂插标签的机器称为标签机，按固定标签方法的不同，标签机分为：贴标签机、收缩标签机、挂标签机、计算标签机和播放标签机。

5. 多功能包装机

能完成两个或两个以上包装工序的机器称为多功能包装机，常以其所能完成的包装工序联合命名，但也有以其主要功能命名的。多功能包装机发展很快，种类日趋增多，主要有：充填—封口机，成形—充填—封口机，定型—充填—封口机—真空包装机—充气包装机—裹包—贴标机。

6. 清洗、干燥、杀菌机

(1) 清洗机 清洗包装材料、包装件等，使其达到预期清洁度的机器称为清洗机，按清洗方法不同分为：干式清洗机、湿式清洗机、机械式清洗机、电解清洗机、电离清洗机和超声清洗机。

(2) 干燥机 减少包装材料、包装件等的水分，使其达到预期干燥程度的机器称为干燥机。按干燥方法不同分为：热式干燥机、机械干燥机和化学干燥机。

(3) 杀菌机 清除或杀死包装材料、产品或包装件等上的微生物，使其降低到允许范围内的机器称为杀菌机。

2.3 仓储输送机电装备

仓储输送机电装备包括各级仓储、物料输送装置和机床上下料装置等，机器人可作为加工装备，如焊接机器人和喷漆机器人等，也可属于仓储输送装备，用于物料输送和机床上下料。

2.3.1 仓储

仓储是用来存储原材料、外购器材、半成品、成品、工具和胎夹模具等，分别归厂或各车间管理。现代化的仓储系统应有较高的机械化程度，采用计算机进行库存管理，以减少劳动强度，提高工作效率，配合生产管理信息系统，控制合理的库存量。

立体仓库是一种很有发展前途的仓储结构，具备很多优点，包括占地面积小而库存量大；便于实现全盘机械化和自动化；便于进行计算机库存管理等。

2.3.2 物料输送装置

物料输送在这里主要指坯料、半成品或成品在车间内工作中心间的传输。采用的输送方法有各种输送装置和自动运输小车。

输送装置主要用于流水生产线或自动线中，有四种主要类型：由许多辊轴装在型钢台架上构成床形短距离滑道，由人工或靠工件自重实现输送；由刚性推杆推动工件作同步运动的步进式输送装置；带有抓取机构的、在两工位间输送工件的输送机械手；由连续运动的链条带动工件或随行夹具的非同步输送装置。用于自动线中的输送装置要求工作可靠、输送速度快、输送定位精度高、与自动线的工作协调等。