

**2012 河南省实验教学
示范中心申报材料
(教材部分)**

洛阳理工学院工程训练中心

目 录

| | |
|----------------|----|
| 简介 | 3 |
| 1. 《金工实训指导》 | 4 |
| 《金工实训指导》出版信息 | 5 |
| 《金工实训指导》前言 | 6 |
| 《金工实训指导》目录 | 7 |
| 《金工实训指导》部分章节 | 10 |
| 2. 《简明电工实训教程》 | 18 |
| 《简明电工实训教程》出版信息 | 19 |
| 《简明电工实训教程》前言 | 20 |
| 《简明电工实训教程》目录 | 21 |
| 《简明电工实训教程》部分章节 | 23 |
| 3. 《电工电子实验》 | 28 |
| 《电工电子实验》出版信息 | 29 |
| 《电工电子实验》前言 | 30 |
| 《电工电子实验》目录 | 31 |
| 《电工电子实验》部分章节 | 33 |
| 4. 《电子实习指导教程》 | 39 |
| 《电子实习指导教程》出版信息 | 40 |
| 《电子实习指导教程》前言 | 41 |
| 《电子实习指导教程》目录 | 42 |
| 《电子实习指导教程》部分章节 | 45 |

| | |
|---------------------|----|
| 5. 《电工实训教程》 | 49 |
| 《电工实训教程》 出版信息 | 50 |
| 《电工实训教程》 前言 | 51 |
| 《电工实训教程》 目录 | 52 |
| 《电工实训教程》 部分章节 | 58 |
| 6. 《工程技术实践》 | 65 |
| 《工程技术实践》 出版信息 | 66 |
| 《工程技术实践》 前言 | 67 |
| 《工程技术实践》 目录 | 68 |
| 《工程技术实践》 部分章节 | 73 |
| 7. 《热处理设备》 | 85 |
| 《热处理设备》 出版信息 | 86 |
| 《热处理设备》 内容简介 | 87 |
| 《热处理设备》 前言 | 88 |
| 《热处理设备》 目录 | 89 |
| 《热处理设备》 部分章节 | 95 |

简 介

洛阳理工学院工程训练中心自成立以来，正式出版主编、参编的实训、实验教材共 7 本：

1. 《金工实训指导》，吴锐主编，河南科学技术出版社
2. 《简明电工实训教程》，王峰主编，河南科学技术出版社
3. 《电工电子实验》，王峰主编，河南科学技术出版社
4. 《电子实习指导教程》，李广宏主编，经济日报出版社
5. 《电工实训教程》，何大庆主编，武汉理工大学出版社
6. 《工程技术实践》，蔡安江、孟建强编著，国防工业出版社
7. 《热处理设备》，王书田主编，中南大学出版社（教育部高职高专规划教材）

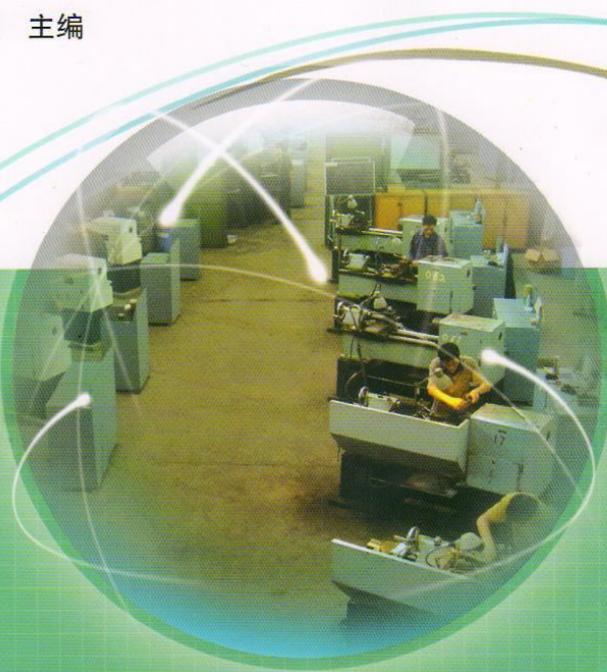


普通高等教育“十二五”理工类基础课程规划教材

金工实训指导

JINGONG SHIXUN ZHIDAO

● 吴 锐 主编



河南科学技术出版社

内 容 提 要

本书内容包括实训规章制度,金工实训基本要求,车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钳工加工、焊接、铸造、热处理、数控加工等安全操作规程、操作方法和创新设计的实训项目。附录中有全部实训中用到的零件图和加工工艺图。书中采用图文对照的方法,对各工种的实训项目进行讲解,便于学生在实训中理解和掌握。

本书可作为理工科院校各专业金工实训课教材,也可供工程技术人员学习时参考。各院校可根据专业特点、实训教学课时数量等具体情况,对实训内容进行适当调整和增减。

图 书 在 版 编 目 (C I P) 数 据

金工实训指导/吴锐主编. — 郑州:河南科学技术出版社, 2012. 1
普通高等教育“十二五”理工类基础课程规划教材
ISBN 978 - 7 - 5349 - 5437 - 5

I. ①金… II. ①吴… III. ①金属加工—实习—高等学校—教学参考资料
IV. ①TG - 45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 275355 号

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市经五路 66 号 邮编:450002

电话:(0371) 65788001 65788626

网址:www.hnstp.cn

策划编辑:徐素军

责任编辑:徐素军

责任校对:李 军

封面设计:张 伟

版式设计:栾亚平

责任印制:张艳芳

印 刷:开封日报社印务中心

经 销:全国新华书店

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:6.5 字数:150 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价:14.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系并调换。

前 言

工程训练是高校工科专业教学计划中一个重要的实践教学环节，金工实训又是工程训练的主要内容。本书是根据工科机械类专业工程训练教学大纲，并结合金工实训过程的具体情况编写的，用于指导学生完成金工实训任务，是高校工科类学生进行工程训练所必备的教材。

本书内容包括：金工实训规章制度，金工实训基本要求，车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钳工加工、焊接、铸造、热处理、数控加工、数控线切割加工、机器人等安全操作规程、操作方法和创新设计的实训项目。附录中有全部实训中用到的零件图和加工工艺图，是一本非常实用的金工实训指导教材。

本书编写力求简单实用，以培养学生实训操作技能为主线，简明扼要地讲述了实训中用到的机床设备的功能、组成和基本操作方法，将创新设计引入到工程训练中，把每个工种的实训内容分解为若干个项目，并按实训时间的不同配有实训项目分配表，便于安排。书中采用图文对照的方法，对各工种的实训项目进行讲解，便于学生在实训中理解和掌握实训的内容。

本书由洛阳理工学院工程训练中心组织编写，吴锐担任主编，许元奎担任副主编。具体分工为：绪论和第二、三章由吴锐编写，第一、四、五、六、七章和附录一由许元奎编写，第八、十一章和附录二由罗扉编写，第九、十章由姚莎莎编写，第十二、十三章由李洪编写。最后由吴锐统稿定稿。

本书在编写过程中得到了洛阳理工学院机械工程系鲍莉、机电工程系范敏的指导和支
持，对书稿提出了很多宝贵意见，在此我们一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中可能存在错误与不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者
2011年12月

| | |
|--------------|------|
| 项目一 金工实训规章制度 | (15) |
| 项目二 金工实训基本要求 | (16) |
| 项目三 车削加工 | (16) |
| 项目四 铣削加工 | (17) |
| 项目五 刨削加工 | (19) |
| 项目六 磨削加工 | (20) |
| 项目七 钳工加工 | (25) |
| 项目八 焊接 | (25) |
| 项目九 铸造 | (25) |
| 项目十 热处理 | (25) |
| 项目十一 数控加工 | (25) |
| 项目十二 数控线切割加工 | (25) |
| 项目十三 机器人 | (25) |

| | |
|---------------------------|------|
| 第五章 刨削加工 | (27) |
| 第一节 刨床 | (27) |
| 第二节 刨刀 | (28) |
| 第三节 刨削加工安全操作规程 | (30) |
| 第四节 刨削加工实训项目 | (31) |
| 项目一 空车练习 | (31) |
| 项目二 刨削平面 | (31) |
| 项目三 刨削斜面和台阶面 | (31) |
| 第六章 磨削加工 | (32) |
| (1) 第一节 磨床 | (32) |
| (1) 第二节 磨床加工安全操作规程 | (34) |
| (1) 第三节 磨床加工实训项目 | (35) |
| (2) 项目一 认识磨床设备和磨削加工 | (35) |
| (2) 项目二 平面磨削练习 | (35) |
| (2) 项目三 外圆磨削演示 | (35) |
| 第七章 钳工加工 | (36) |
| (7) 第一节 钳工工艺和常用工具 | (36) |
| (7) 第二节 钳工加工安全操作规程 | (41) |
| (8) 第三节 钳工加工实训项目 | (42) |
| (8) 项目一 钳工工具的使用 | (42) |
| (10) 项目二 模板制作练习 | (42) |
| (10) 项目三 锤头加工练习 | (42) |
| (11) 项目四 方螺母加工练习 | (42) |
| (11) 项目五 工件热处理 | (42) |
| 第八章 焊接 | (43) |
| (21) 第一节 焊条电弧焊 | (43) |
| (21) 第二节 气焊与气割 | (45) |
| (21) 第三节 焊接安全操作规程 | (46) |
| (21) 第四节 焊接实训项目 | (47) |
| (21) 项目一 手弧焊基本操作 | (47) |
| (71) 项目二 平焊焊接练习 | (47) |
| (21) 项目三 气焊演示 | (47) |
| (22) 项目四 扁铁下料 | (47) |
| 第九章 铸造 | (48) |
| (22) 第一节 铸造概述 | (48) |
| (22) 第二节 铸造加工安全操作规程 | (52) |
| (22) 第三节 铸造加工实训项目 | (53) |
| (22) 项目一 制作型砂和芯砂 | (53) |
| (22) 项目二 整模造型 | (53) |

| | |
|---------------------------|------|
| 项目三 两箱分模造型 | (53) |
| 项目四 三箱造型 | (53) |
| 项目五 圆钢下料 | (53) |
| 第十章 热处理 | (54) |
| 第一节 热处理设备及热处理方法 | (54) |
| 第二节 热处理工艺及硬度的测量 | (55) |
| 第三节 热处理安全操作规程 | (56) |
| 第四节 热处理实训项目 | (57) |
| 项目一 认识热处理设备和热处理工艺 | (57) |
| 项目二 工件的淬火和发蓝处理 | (57) |
| 项目三 使用硬度计进行硬度测量 | (57) |
| 第十一章 数控加工 | (58) |
| 第一节 数控机床 | (58) |
| 第二节 数控加工安全操作规程 | (59) |
| 第三节 数控加工实训项目 | (60) |
| 项目一 认识数控机床 | (60) |
| 项目二 观察零件加工过程 | (60) |
| 第十二章 数控线切割加工 | (61) |
| 第一节 数控线切割 | (61) |
| 第二节 数控线切割加工安全操作规程 | (62) |
| 第三节 数控线切割加工实训项目 | (63) |
| 项目一 认识数控线切割机床 | (63) |
| 项目二 数控线切割加工演示 | (63) |
| 第十三章 机器人 | (64) |
| 第一节 机器人的组成和特征 | (64) |
| 第二节 机器人实训安全管理规定 | (66) |
| 第三节 机器人实训项目 | (66) |
| 项目一 参观创新实验室 | (66) |
| 项目二 演示机器人的结构 | (66) |
| 参考文献 | (67) |
| 附录 | (68) |
| 附录一 金工实训加工零件图 | (68) |
| 附录二 金工实训零件加工工艺流程图 | (88) |

第三章 车削加工

第一节 车床

车削加工是在车床上用车刀进行切削加工的方法，是机械加工中最基本、最常用的一种加工方法。

车削是以工件旋转为主运动、车刀纵向或横向移动为进给运动的一种切削加工方法，车外圆时各种运动的情况如图 4-1 所示。车削时，主运动是工件的旋转运动，进给运动是车刀相对工件的移动。切削用量为切削速度、进给量和背吃刀量。切削速度是指工件加工表面上最大直径处的线速度；进给量是指工件旋转一周，车刀沿进给运动方向移动的距离；背吃刀量是指车刀每次切去金属层的厚度。

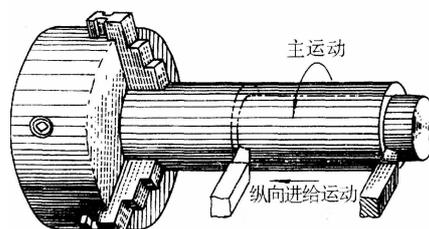


图 4-1 车削加工方式

一、车工实训目的和要求

1. 了解车削加工的工艺特点及加工范围。
2. 熟悉卧式车床的组成及各部分的作用，掌握卧式车床的操作方法。
3. 了解车刀的主要角度及作用，掌握机夹车刀的组成和安装。
4. 掌握游标卡尺的使用方法。
5. 熟悉车床三爪夹盘装夹工件的方法，掌握车圆柱面、圆锥面、端面、钻孔、板牙和丝锥过丝、滚花的操作方法，了解车螺纹加工方法。

二、车床

车床是各种机械加工设备中应用最广泛的机床，约占金属切削机床总数的 20%~30%。车床的种类和规格很多，主要有卧式车床、立式车床、转塔车床、仿形车床、多刀车床、自动及半自动车床和数控车床等。其中卧式车床应用最为广泛。

1. 车床的组成

卧式车床主要由床身、主轴箱、进给箱、溜板箱、刀架、尾座、光杠、丝杠等组成，如图 4-2 所示。

(1)床身。床身是用来支承各主要部件，并使其在工作时保持准确的相对位置，是机床的基础件。床身上的导轨是用以引导刀架和尾座相对于主轴箱进行准确移动。

(2)主轴箱。主轴箱内装空心主轴和主轴变速机构。动力经变速机构传给主轴，使主轴按规定的速度带动工件旋转，实现主运动。主轴又通过挂轮箱中的齿轮传动将运动传给进给箱。

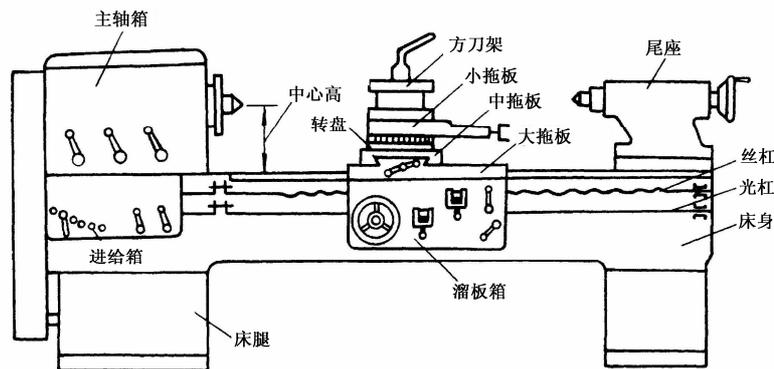


图 4-2 卧式车床的组成

(3)进给箱。进给箱内装有进给运动的变速机构，将主轴的旋转运动传给光杠或丝杠。通过调整外部手柄的位置，可以获得所需要的进给量或加工螺纹的螺距。

(4)溜板箱。溜板箱与刀架相连，将光杠或丝杠的运动传给刀架。光杠运动时，可实现刀架的横向或纵向进给。丝杠运动时，可实现车削螺纹。

(5)光杠和丝杠。光杠和丝杠将进给箱的运动传给溜板箱。自动走刀用光杠，车削螺纹用丝杠，光杠和丝杠不能同时使用。

(6)刀架。刀架用来装夹车刀并可做横向、纵向和斜向运动，由大拖板、中拖板、小拖板、转盘和方刀架组成，如图 4-3 所示。大拖板与溜板箱连接，可带动车刀沿床身导轨作纵向移动；中拖板可沿大拖板上的导轨作横向移动；转盘与中拖板用螺栓紧固，松开螺母，可使其在水平面内转动任意角度用于加工；小拖板可沿转盘上的导轨作短距离纵向进给或在转动转盘后作斜向进给；方刀架安装在小拖板上，用于装夹刀具，并可同时安装四把车刀。

(7)尾座。尾座用来安装顶尖支撑工件，安装钻夹头打孔或中心孔，可在导轨上纵向移动并固定在所需位置上。

2.车削加工范围 凡具有回转体表面的工件，都可以在车床上用车削的方法进行加工，此外，车床还可以绕制弹簧。卧式车床的加工范围车床加工轴类、盘类零件的外圆、端面、内孔和螺纹等；车削加工工件的尺寸精度等级一般为 IT9~IT7 级，表面粗糙度值 $Ra=3.2\sim 1.6\mu m$

第二节 车刀

1. 车刀的组成

车刀是由刀头(切削部分)和刀体(夹持部分)组成的，如图 4-4 所示。刀头用于切削工件，由刀具材料制造。刀体用于装夹在刀架上，由碳钢制造。

2. 车刀的材料 常用的刀具材料主要有高速钢和硬质合金。高速钢是指含有钨(W)、铬(Cr)、钒(V)等合金元素较多的高合金工具钢，经热处理后硬度可达 HRC62~65，用于制造整体式成形

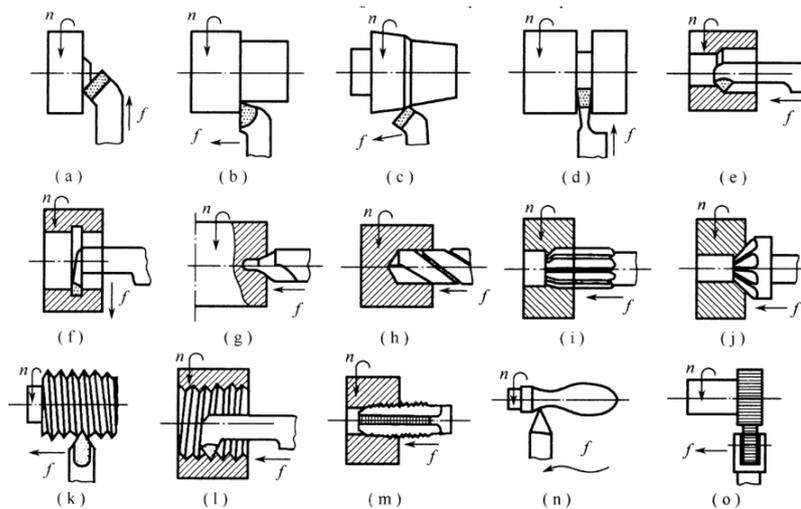


图 4-3 车削的加工范围

(a)车端面；(b)车外圆；(c)车外锥面；(d)切槽、切断；(e)镗孔；(f)切内槽；(g)钻中心孔；(h)钻孔；
(i)铰孔；(j)铰锥孔；(k)车外螺纹；(l)车内螺纹；(m)攻螺纹；(n)车成形面；(o)滚花。

车刀以及钻头、中心钻、铣刀、齿轮刀具等。硬质合金是用碳化钨(WC)、碳化钛(TiC)和钴(Co)等材料利用粉末冶金技术制成的合金刀头，它具有很高的硬度，其值可达 HRC74~82，将其焊接在钢制刀杆上或采用机械夹固的方式夹持在刀杆上，成为硬质合金车刀。

3. 车刀的结构 车刀的切削部分是由三面(前刀面、主后刀面、副后刀面)、两刃(主切削刃、副切削刃)和一尖(刀尖)组成的。车刀切削部分在辅助平面中的位置，形成了车刀的几何角度。车刀的主要角度有前角、后角、主偏角、副偏角和刃倾角等。

车刀的结构形式主要有整体式、焊接式和机夹可转位式三种，如图 4-4 所示。整体式车刀用高速钢制造，适用于小型车床或有色金属加工；焊接式车刀是将硬质合金刀片焊接在刀体上，适用于各类车刀；机夹可转位式车刀是将刀片用机械夹固的方法装夹在标准刀体上，适用于大批量自动化生产，是目前应用最广泛的刀具结构形式。

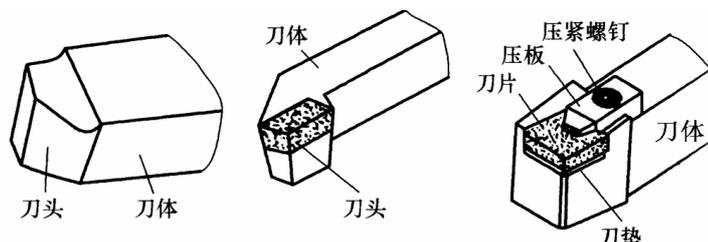


图 4-4 车刀的结构形式

(a)整体式；(b)焊接式；(c)机夹可转位式

4. 安装车刀 车刀安装在方刀架上，如图 4-5 所示。安装后的车刀刀尖必须与工件轴线等高，刀杆与工件轴线垂直。合理调整刀垫的片数，不能垫得过多，刀尖伸出的长度应小于车刀刀杆厚度的两倍，以免产生振动而影响加工质量。夹紧车刀的紧固螺栓至少拧紧两个，拧紧后扳手要及时取下，以防发生安全事故。

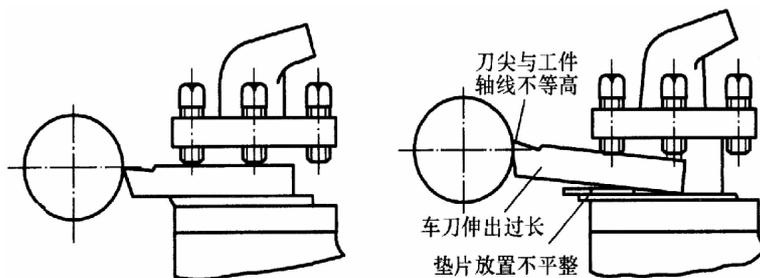


图 4-5 车刀的安装

四、工件在车床上的装夹

在车床上装夹工件的基本要求是定位准确、夹紧可靠。在车床上常用三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘、花盘、顶尖、中心架等附件装夹工件，其中三爪自定心卡盘装夹工件应用最普遍。三爪自定心卡盘的结构如图 4-6 所示。当用卡盘扳手转动小锥齿轮时，大锥齿轮随之转动，在大锥齿轮背面平面螺纹的作用下，使三个爪同时向中心移动或退出以夹紧或松开工件。三爪自定心卡盘对中性好。工件较长时用卡盘和顶尖装夹工件顶尖起支撑作用。

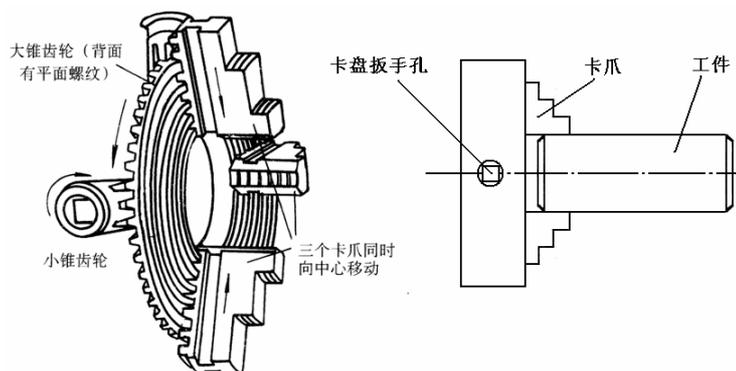


图 4-6 三爪自定心卡盘的结构及工件的装夹

五、车削加工方法

车削加工时通常采用试切法保证工件尺寸精度，试切法是通过试切-测量-调整-再试切，反复进行到被加工尺寸达到要求为止的一种加工方法。

车削方法一般采用粗车和精车两个步骤。粗车的目的是尽快地从工件上切去大部分加工余量，使工件接近最后的形状和尺寸，粗车要给精车留有适当的加工余量。粗车的精度和表面粗糙度要求不高，目的是提高生产率，可选用较大的背吃刀量，较大进给量和合适的切削速度进行加工。精车的目的是切去粗车给精车留下的加工余量，保证零件的尺寸公差和表面粗糙度，可选择较高的切削速度、较小进给量和背吃刀量进行加工。

六、测量量具

实训中测量用到的量具为工厂中最常用的游标卡尺，如图 4-7 所示。游标卡尺是一种测量长度、内外径、深度的量具，由主尺和附在主尺上能滑动的游标两部分构成。主尺一般以毫米为单位，而游标上则有 10、20 或 50 个分格，根据分格的不同，游标卡尺可分为十分度游标卡尺、二十分度游标卡尺、五十分度格游标卡尺等。游标卡尺的主尺和游标上有两副活动量爪，分别是内测量爪和外测量爪，内测量爪通常用来测量内径，外测量爪通常用来测量

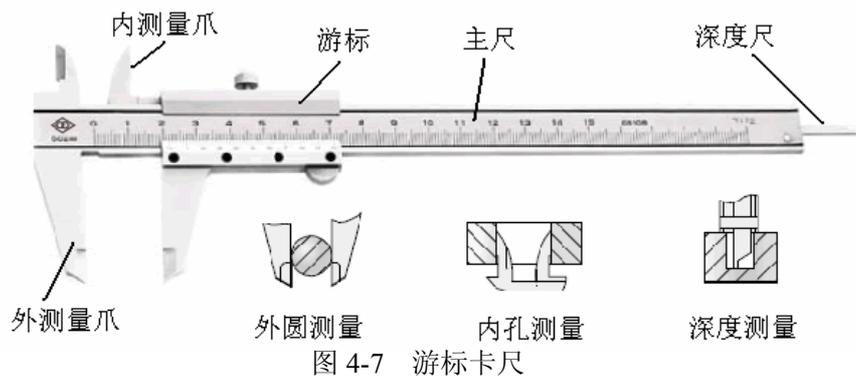


图 4-7 游标卡尺

长度和外径。

第三节 车床安全操作规程

1. 要穿戴合适的工作服，长头发要压入帽内，不能戴手套操作。
2. 两人或多人共用一台车床时，只能一人操作并注意他人安全。
3. 卡盘扳手使用完毕后，必须及时取下，否则不能启动车床。
4. 启动车床前，检查各手柄的位置是否到位，检查方刀架的位置是否合适，确认正确后才准许开车。
5. 车床运转中，不能靠近正在旋转的工件，不能用手触摸工件的表面，不能用量具测量工件，防止发生人身安全事故。
6. 车床运转中严禁变换主轴转速，以防损坏车床而发生设备安全事故。
7. 发生事故时，立即关闭车床电源。
8. 工作结束后，关闭电源，清除切屑，擦净机床，加油润滑，保持良好的工作环境。

第四节 车削加工项目实例

项目一 讲解机床组成、操作规程，空车操作练习。

了解车床的组成和各部分的作用，学习车床的操作规程和操作方法，掌握各手柄的使用方法，学会机床变速，摇动手柄分别移动大、中、小拖板，反复进行空车练习；在教师指导下逐步启动机床电机

严禁用丝杠带动大拖板移动。

项目二 锉刀把车削练习

锉刀把用木头制作，外形如图 4-8 所示。需加工的内容主要有圆柱面、台阶、切槽、钻孔等。作为初学者切削木头安全性好，可以避免损坏刀具，材料成本低，可以为后面车削钢

材零件打下基础。锉刀把加工用零件图见 P50 页。



图 4-8 锉刀把实物图

项目三 齿轮毛坯车削练习

齿轮毛坯是为铣床加工齿轮用，外形如图 4-9 所示，用塑料棒制作。需加工的内容主要有圆柱面、台阶、内孔等，零件的尺寸精度提高，加工难度增大。齿轮毛坯加工用零件图见 P50 页。

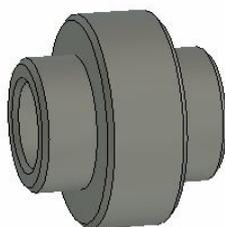


图 4-9 齿轮毛坯实物图

项目四 锤柄车削练习

锤子是金工实训学生完成的主要产品，如图 4-10 所示，锤子由锤头和锤柄两部分组成，通过螺纹连接成一个整体。锤头材料为优质碳素结构钢 45[#]，在钳工实训中完成，经热处理淬火提高硬度；锤柄材料为普通碳素结构钢 Q235，在车削加工中完成，经热处理发蓝后可防止生锈。

锤柄需加工的内容有打中心孔、圆柱面、圆锥面、台阶、滚花、板牙加工螺纹等。锤柄又分为单柄、二组合和三组合三种。

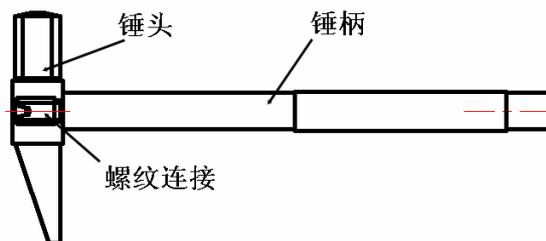


图 4-10 锤子

4.1 单锤柄加工

单锤柄为整体式结构，如图 4-11 所示，加工用零件图见 P50 页。。

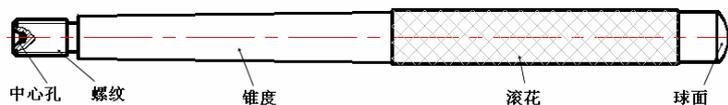


图 4-11 单锤柄结构图

4.2 二组合锤柄加工

二组合锤柄由前后两部分组成，结构如图 4-12 所示，加工用零件图见 P50 页。前部一端为外螺纹与锤头连接，另一端为内螺纹与后部相连成锤柄整体；后部为一个螺丝刀，增加锤子的功能。

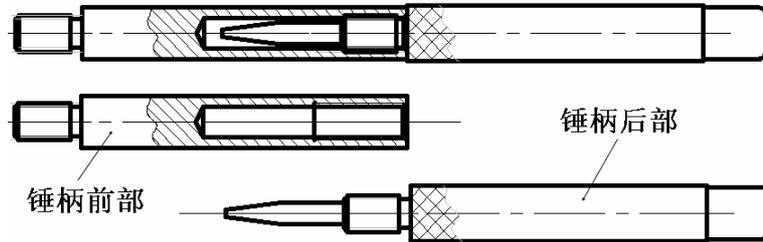


图 4-12 二组合锤柄结构图

4.3 三组合锤柄加工

三组合锤柄由前端、中部和尾端堵头三部分组成，结构如图 4-13 所示，加工用零件图见 P50 页。前端的结构和作用与二组合锤柄相同；中部一端为螺丝刀，另一端为孔和内螺纹，与尾端的外螺纹连接，中间的空腔可存放小螺丝钉，进一步增加锤子的功能。

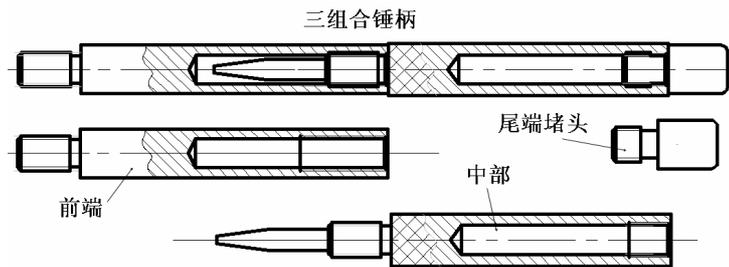


图 4-13 三组合锤柄结构图

项目五 螺纹加工（操作演示）

由指导教师讲解车削螺纹时机床的调整方法，演示操作螺纹的车削加工。螺纹加工用零件图见 P50 页。

车削加工实训时间安排

| 实训天数 | 7天 | 4.5天 | 3.5天 | 2.5天 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 第1天 | 项目1 | 项目1 | 项目1 | 项目1 |
| 第2天 | 项目2 | 项目2 | 项目4.2 | 项目4.1 |
| 第3天 | 项目3 | 项目4.2 | 项目4.2 | 项目4.1 |
| 第4天 | 项目4.3 | 项目4.2 | 项目4.2 | |
| 第5天 | 项目4.3 | 项目4.2 | | |

| | | | | |
|-----|----------------------------|-------------------|---------------|---------|
| 第6天 | 项目 4.3 | | | |
| 第7天 | 项目 4.3、5 | | | |
| 任 务 | 完成锉刀把、齿轮 毛坯、三组合锤柄 加工 | 完成锉刀把、二组 合锤柄加工 | 完成二组合锤柄 加工 | 完成单锤柄加工 |



普通高等教育“十二五”理工类基础课程规划教材

简明电工实训教程

JIANMING DIANGONG SHIXUN JIAOCHENG

主编 王峰

 河南科学技术出版社

内 容 提 要

本书是为指导学生电工实训而编写的,根据电工必备知识和技能,主要介绍了以下内容:常用低压电器的基本知识和选用元件应注意的问题,常用电工仪表及电气参数的测量,常用电工工具及操作工艺,三相异步电动机及其控制电路的安装接线,安全用电的基本方法和要求以及用电设备保护接地与保护接零的基本知识。

本书可作为高等院校机电一体化、机械工程与自动化、电气工程及自动化等理工类专业电工实训课程的教材,也可作为机电类高级技能人才培养的实训教材,还可供工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

简明电工实训教程/王峰主编. —郑州:河南科学技术出版社,2012.8
普通高等教育“十二五”理工类基础课程规划教材
ISBN 978 - 7 - 5349 - 5852 - 6

I. ①简… II. ①王… III. ①电工 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 146878 号

出版发行:河南科学技术出版社
地址:郑州市经五路 66 号 邮编:450002
电话:(0371)65788001 65788626
网址:www.hnstp.cn

策划编辑:徐素军
责任编辑:徐素军
责任校对:丁秀荣
封面设计:张 伟
版式设计:栾亚平
责任印制:张艳芳
印 刷:洛阳和众印刷有限公司
经 销:全国新华书店
幅面尺寸:185mm×260mm 印张:9.5 字数:230 千字
版 次:2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
定 价:21.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系调换。

前 言

根据教育部对高等教育发展的要求,工科各专业学生必须具备一定的电工基本知识和基本操作技能,为完善高技能人才培养体系的建设,加快培养素质优良的技能型、复合型和知识技能型人才。针对这样的要求,结合高等院校的教学要求和教学特点,我们编写了《简明电工实训教程》一书。

全书共分七章,基本涵盖了电工学和电工相关实际操作的主要内容,强化理论联系实际,培养高技能、高素质、懂理论、熟操作的复合型人才的基本要求。

全书内容:第1章介绍了常用低压电器的基础知识、分类、结构、工作原理和选用时应注意的问题;第2章介绍了常用电工仪表及电气参数的测量;第3章介绍了常用电工工具及操作工艺;第4、5章介绍了三相异步电动机及其基本控制电路的安装与接线;第6、7章介绍了安全用电保护接地和保护接零。

本书由洛阳理工学院王峰老师担任主编,邹辉老师担任副主编。具体编写分工为:第1章由洛阳理工学院邹辉老师编写;第2、3章由洛阳理工学院高成嘉老师编写;第4、5章由洛阳理工学院王峰老师编写,第5章的全部电路图由洛阳理工学院徐晓辉老师绘制;第6、7章由洛阳理工学院张垓老师编写。全书由王峰老师和邹辉老师统稿定稿。

在本书的编写过程中参阅了多种相关的教材、专著、规章、规程等资料,在此向原编著者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中的不妥和错误之处,敬请各位老师和同学在使用过程中批评指正。

编 者

2012年5月

目 录

| | | |
|-----|----------------------------|-------|
| 1 | 常用低压电器 | (1) |
| 1.1 | 低压电器基本知识 | (1) |
| 1.2 | 低压开关类电器 | (2) |
| 1.3 | 熔断器 | (12) |
| 1.4 | 主令电器 | (18) |
| 1.5 | 接触器 | (21) |
| 1.6 | 继电器 | (26) |
| 2 | 常用电工仪表及电气参数的测量 | (36) |
| 2.1 | 基本知识 | (36) |
| 2.2 | 电流和电压的测量 | (42) |
| 2.3 | 实习一:万用表的认识与使用 | (43) |
| 2.4 | 实习二:兆欧表的认识与使用 | (47) |
| 2.5 | 实习三:钳形电流表的认识与使用 | (50) |
| 2.6 | 实习四:电度表的认识与使用 | (52) |
| 2.7 | 实习五:日光灯电路的连接与测量 | (56) |
| 2.8 | 实习六:直流单臂电桥的认识与使用 | (58) |
| 3 | 常用电工工具及操作工艺 | (61) |
| 3.1 | 常用电工工具 | (61) |
| 3.2 | 导线的连接与绝缘层的恢复 | (65) |
| 3.3 | 室内照明灯具的安装 | (76) |
| 3.4 | 开关和插座的安装 | (83) |
| 3.5 | 量电和配电装置的安装 | (89) |
| 4 | 三相异步电动机 | (93) |
| 4.1 | 三相异步电动机的安装与调整 | (93) |
| 4.2 | 三相异步电动机的拆卸与装配 | (99) |
| 5 | 三相异步电动机基本控制电路的安装与接线 | (106) |
| 5.1 | 实习一:三相异步电动机点动控制电路 | (106) |
| 5.2 | 实习二:三相异步电动机单向连续运转控制电路 | (108) |
| 5.3 | 实习三:三相异步电动机点动和单向连续运转组合控制电路 | (110) |

| | | |
|------|-----------------------------------|-------|
| 5.4 | 实习四:三相异步电动机正反转控制电路 | (111) |
| 5.5 | 实习五:三相异步电动机自动往返控制电路 | (114) |
| 5.6 | 实习六:三相异步电动机顺序启动控制电路 | (117) |
| 5.7 | 实习七:三相异步电动机能耗制动控制电路 | (118) |
| 5.8 | 实习八:三相异步电动机星形—三角形连接降压启动控制电路 | (120) |
| 5.9 | 实习九:三相异步电动机反接制动控制电路 | (121) |
| 5.10 | 实习十:时间继电器切换的电动机双速控制电路 | (123) |
| 5.11 | 实习十一:PLC 基本指令应用设计 | (124) |
| 5.12 | 实习十二:机床控制电路常见故障分析及排除 | (126) |
| 6 | 安全用电 | (130) |
| 6.1 | 触电事故的种类和特点 | (130) |
| 6.2 | 防止触电的方法 | (133) |
| 6.3 | 触电急救方法 | (135) |
| 7 | 保护接地和保护接零 | (139) |
| 7.1 | 几个基本概念 | (139) |
| 7.2 | 接地和接零的作用 | (140) |
| 7.3 | 接地和接零的要求 | (142) |
| | 参考文献 | (144) |

5 三相异步电动机基本控制电路的安装与接线

实习一 三相异步电动机点动控制电路

一、实习目的

1. 了解电路中各元件的名称与作用；
2. 掌握三相异步电动机点动控制电路的控制原理和安装接线方法；
3. 能正确布线，并能排除简易故障。

二、实习理论知识

所谓点动，即用手按住按钮电动机工作，手放开按钮电动机即停止工作。点动主要用于机床刀架、横梁、立柱的快速移动，电葫芦的控制等。图 5.1 为用按钮实现点动的控制电路，控制过程如下：

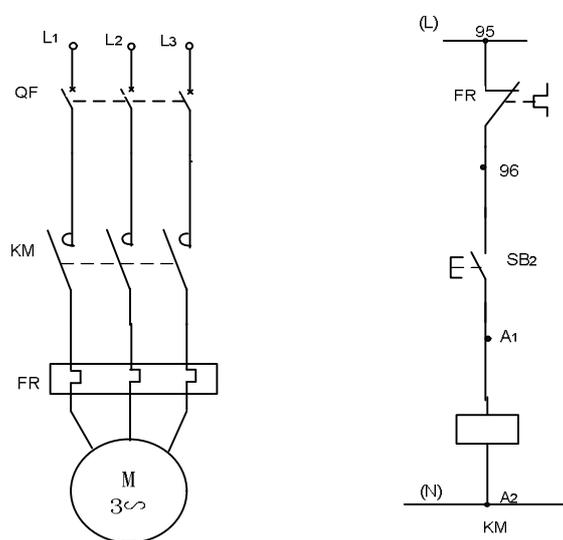


图 5.1 三相异步电动机点动控制电路原理图

合上电源开关 QF，按住按钮 SB₂，交流接触器 KM 电磁线圈得电吸合，KM 主触头闭合，电动机得电运转；

当松开按钮 SB₂ 时，交流接触器 KM 电磁线圈失电而释放，KM 主触头打开，电动机失电、停止运转。

三、实习配置

选用亚龙 YL-WXD 系列实训台、挂板 1、挂板 2 和一台三相异步电动机。

四、实习要求

1. 认识、检查电气器件，按电气原理图 5.1 和接线图 5.2 进行接线；

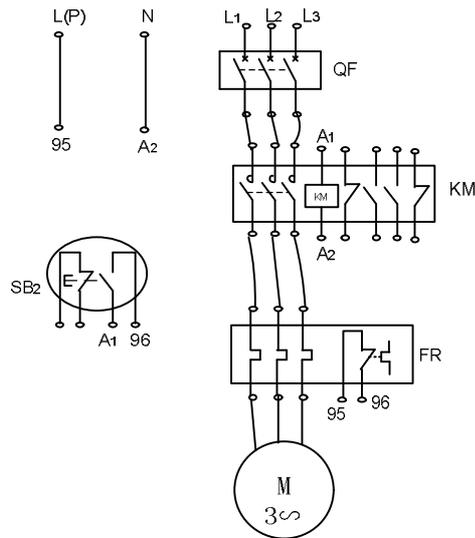


图 5.2 三相异步电动机点动控制电路接线图

2. 导线顺着行线槽敷设，要求板面导线平直、整齐、合理，各接点连接紧密可靠。
3. 安装接线完毕，检查无误后，经指导老师同意，方可通电试运行。

五、实习报告要求

1. 画出电气原理图，写出各元件的名称及作用；
2. 区分主电路和控制电路，写出控制过程。

实习二 三相异步电动机单向连续运转控制电路

一、实习目的

1. 掌握三相异步电动机单向连续运转控制电路的启动、停止的工作原理和接线方法；
2. 熟悉交流接触器、热继电器、按钮等电器的使用方法，理解他们在控制电路中的作用；
3. 能正确布线，排除简易故障，掌握“自锁”的设计方法和作用。

二、实习理论知识

电动机单向运转控制，应用十分广泛，如小型钻床的启动控制、砂轮机的启动控制、通风电动机的的启动控制等。图 5.3 为三相异步电动机单向运转控制电路。

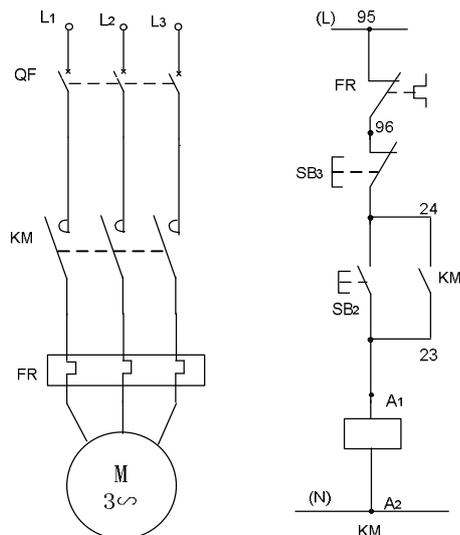


图 5.3 三相异步电动机单向运转控制电路原理图

1. 控制原理

合上电源开关 QF，按下启动按钮 SB₂，接触器 KM 电磁线圈通电吸合，其主触头闭合，电动机得电运转。同时，与启动按钮 SB₂ 并联的接触器 KM 辅助常开触点也闭合，当松开 SB₂ 时，接触器 KM 电磁线圈通过本身的辅助常开触点继续保持通电，从而保证电动机连续运转。这种依靠接触器自身辅助常开触点继续保持通电的电路，称为自锁或自保电路，辅助常开触点称为自锁触点或自保触点。当需要电动机停止时，按下按钮 SB₃，切断接触器 KM 线圈电路，使接触器 KM 线圈失电，接触器 KM 主触头和辅助常开触点均断开，切断主电路和控制电路，电动机失电停转。

2. 电路是保护环节

(1) 短路保护：由低压断路器 QF 实现主电路和控制电路的短路保护。

(2) 过载保护：由热继电器 FR 实现电动机过载保护，当电动机出现过载时（经一定时间），串联在主电路中的双金属片因过热变形，致使 FR 的常闭触点打开，切断接触器 KM 线圈回路，电动机停转，实现过载保护。

(3) 欠压和失压保护：当电源电压由于某种原因降低或突变为零时，接触器电磁吸力急剧下降或消失，动铁心释放，接触器 KM 主触头打开，电动机停转。而当电源恢复时，电动机不会自行起动，避免事故发生。因此，具有自锁的控制电路具有欠压和失压保护。

三、实习配置

选用亚龙 YL-WXD 系列实训台、挂板 1、挂板 2 和一台三相异步电动机。

四、实习要求

1. 认识、检查电气器件，按电气原理图 5.3 和接线图 5.4 进行接线；

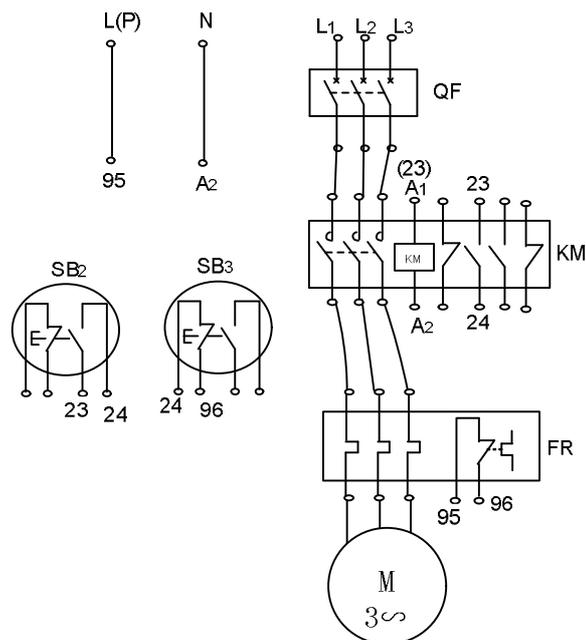


图 5.4 三相异步电动机单向运转控制电路接线图

2. 导线顺着行线槽敷设，要求盘面导线敷设平直、整齐、合理，各接点连接紧密可靠。
3. 安装接线完毕，用万用表检查无误后，经指导老师同意，方可通电试运行。

五、实习报告要求

1. 画出实习电气原理图，指出控制电路中的自锁触点，并说明其作用；
2. 观察实习结果，写出动作过程。

实习三 三相异步电动机点动和单向连续运转组合控制电路

一、实习目的

1. 通过点动和连续驱动控制电路的安装接线，掌握由原理图安装接线的技能。
2. 通过实习掌握及加深理解点动和连续运转控制电路。

二、实习理论知识

电动机点动和单向连续运转组合控制电路如图 5.5:

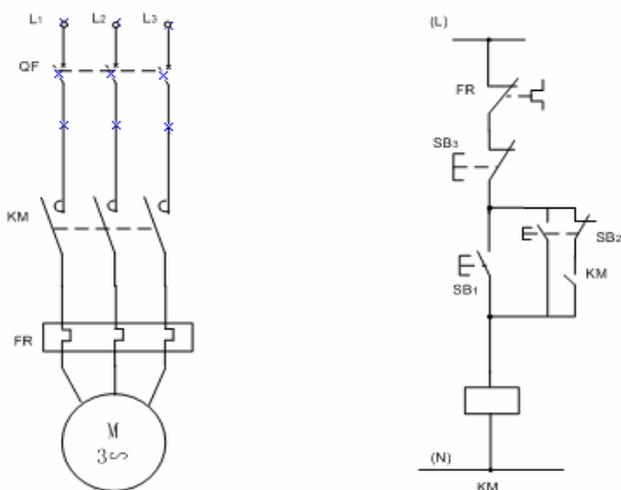


图 5.5 三相异步电动机点动和连续控制电路原理图

控制过程：

合上电源开关 QF，按下按钮 **SB₁**，接触器 KM 线圈得电，吸合，接触器 KM 主触头闭合，其辅助常开触头也闭合，起自锁作用，电动机连续运行。

按下按钮 **SB₂** 的瞬间，**SB₂** 常闭触点先断开，致使 KM 的自锁电路被断开，接触器 KM 线圈失电（由于惯性电动机继续转动），完全按住 **SB₂**，接触器 KM 线圈得电，电动机运行（由于 **SB₂** 常闭处于断开状态，KM 自锁触头不起作用，电路为点动）。

按下 **SB₃**，接触器 KM 线圈失电，各触点复位，电机停止转动。

三、实习配置

选用亚龙 YL-WXD 系列实训台、挂板 1、挂板 2 和一台三相异步电动机。

四、实习要求

1. 按电气原理图 5.5 并自己设计接线图进行接线；
2. 导线顺着行线槽敷设，要求盘面导线敷设平直、整齐、合理，各接点连接紧密可靠。
3. 安装接线完毕，用万用表检查无误后，经指导老师同意，方可通电试运行。

五、实习报告要求

1. 画出实习电气原理图和接线图；
2. 观察实习结果，写出动作过程。

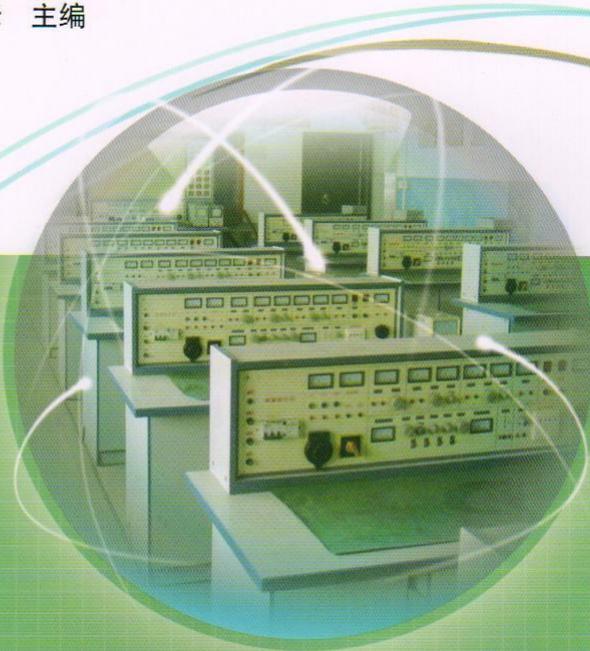


普通高等教育“十二五”理工类基础课程规划教材

电工电子实验

DIANGONG DIANZI SHIYAN

●王 峰 主编



河南科学技术出版社

内 容 提 要

本教材是依据理工科非电类专业关于电工学课程的教学大纲编写的,以电工学课程涉及的验证性实验和应用性实验为主要内容,注重对实施项目预习及完成情况的考核,指导学生在电工电子的知识、能力和素质三方面协调发展,以适应社会发展对人才的基本需求。实验设计紧密配合电工技术类与电子技术类课程中的电工学、模拟电路和数字电路三门理论课程。

本书可作为高等院校理工类专业学生电工学课程的实验教材,也可供工程技术人员学习时参考。

主 编 王

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子实验/王峰主编. — 郑州:河南科学技术出版社, 2012. 1
普通高等教育“十二五”理工类基础课程规划教材
ISBN 978-7-5349-5438-2

I. ①电… II. ①王… III. ①电工技术-实验-高等学校-教材
②电子技术-实验-高等学校-教材 IV. ①TM-33②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 275330 号

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市经五路66号 邮编:450002

电话:(0371) 65788001 65788626

网址:www.hnstp.cn

策划编辑:徐素军

责任编辑:徐素军

责任校对:李 军

封面设计:张 伟

版式设计:栾亚平

责任印制:张艳芳

印 刷:开封日报社印务中心

经 销:全国新华书店

幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:7.25 字数:170千字

版 次:2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷

定 价:16.00元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系调换。

前 言

《电工电子实验》是配合电工技术类与电子技术类课程中的电工学、模拟电路和数字电路三门理论课程编写的实验教材。教材可供普通高等院校理工类专业学生使用。

电工电子实验的主要任务是培养学生的实践能力、研究和创新能力，因此将实验分为基础型实验和综合型实验两个层次，教学内容分为电路、模拟电路、数字电路三个实验部分。在综合型实验中尽可能增加研究的内容，努力做到以学生为本，为学生营造自主学习、自主研究的环境和氛围，使学生有多种选择的空间。

本教材由洛阳理工学院王峰老师担任主编，具体编写分工为：第一篇实验一、二、三、四由洛阳理工学院王峰老师编写，实验五、六、七、八由洛阳理工学院刘功晓老师编写，实验九、十、十一、十二由洛阳理工学院邹辉老师编写，实验十三、十四由洛阳理工学院张垓老师编写；第二篇实验一、二、三由张垓老师编写，实验四、五、六、七、八由洛阳理工学院李广宏老师编写；第三篇实验一、二、三由洛阳理工学院徐晓辉老师编写，实验四、五、六、七由洛阳理工学院段晓明老师编写。全书由王峰老师统稿定稿。

在本书编写过程中参阅了多种相关的教材、专著、实验指导等资料，在此向原编著者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处，敬请各位老师和同学在使用过程中批评指正。

第二篇 模拟电路

编 者

2011年11月

| | | |
|-----|-------------|------|
| 实验一 | 晶体管共射极单管放大器 | (40) |
| 实验二 | 负反馈放大器 | (45) |
| 实验三 | 差动放大器 | (49) |
| 实验四 | 模拟运算电路 | (53) |
| 实验五 | 晶体管可控整流电路 | (57) |
| 实验六 | 直流稳压电源 | (59) |
| 实验七 | 电压比较器 | (63) |
| 实验八 | 集成稳压器 | (66) |

第三篇 附录

目 录

(17) 第一章

(18) 第二章

(19) 第三章

(20) 第四章

(21) 第五章

(22) 第六章

(23) 第七章

(24) 第八章

(25) 第九章

(26) 第十章

(27) 第十一章

(28) 第十二章

(29) 第十三章

(30) 第十四章

(31) 第十五章

(32) 第十六章

(33) 第十七章

(34) 第十八章

(35) 第十九章

(36) 第二十章

(37) 第二十一章

(38) 第二十二章

(39) 第二十三章

(40) 第二十四章

(41) 第二十五章

(42) 第二十六章

(43) 第二十七章

(44) 第二十八章

(45) 第二十九章

(46) 第三十章

(47) 第三十一章

(48) 第三十二章

(49) 第三十三章

(50) 第三十四章

(51) 第三十五章

(52) 第三十六章

(53) 第三十七章

(54) 第三十八章

(55) 第三十九章

(56) 第四十章

(57) 第四十一章

(58) 第四十二章

(59) 第四十三章

(60) 第四十四章

(61) 第四十五章

(62) 第四十六章

(63) 第四十七章

(64) 第四十八章

(65) 第四十九章

(66) 第五十章

(67) 第五十一章

(68) 第五十二章

(69) 第五十三章

(70) 第五十四章

(71) 第五十五章

(72) 第五十六章

(73) 第五十七章

(74) 第五十八章

(75) 第五十九章

(76) 第六十章

(77) 第六十一章

(78) 第六十二章

(79) 第六十三章

(80) 第六十四章

(81) 第六十五章

(82) 第六十六章

(83) 第六十七章

(84) 第六十八章

(85) 第六十九章

(86) 第七十章

(87) 第七十一章

(88) 第七十二章

(89) 第七十三章

(90) 第七十四章

(91) 第七十五章

(92) 第七十六章

(93) 第七十七章

(94) 第七十八章

(95) 第七十九章

(96) 第八十章

(97) 第八十一章

(98) 第八十二章

(99) 第八十三章

(100) 第八十四章

(101) 第八十五章

(102) 第八十六章

(103) 第八十七章

(104) 第八十八章

(105) 第八十九章

(106) 第九十章

(107) 第九十一章

(108) 第九十二章

(109) 第九十三章

(110) 第九十四章

(111) 第九十五章

(112) 第九十六章

(113) 第九十七章

(114) 第九十八章

(115) 第九十九章

(116) 第一百章

第一篇 电路

实验一 电路元件伏安特性的测定 (1)

实验二 基尔霍夫定律的验证 (5)

实验三 叠加原理的验证 (7)

实验四 戴维宁定理的验证 (9)

实验五 一阶 RC 电路的暂态响应 (11)

实验六 三相电路功率的测量 (15)

实验七 提高日光灯电路的功率因数 (18)

实验八 最大功率传输条件的测定 (21)

实验九 三相交流电路参数的测量 (24)

实验十 RLC 串联谐振电路 (28)

实验十一 三相异步电动机正反转控制电路 (30)

实验十二 工作台自动往返循环控制电路 (32)

实验十三 三相异步电动机能耗制动控制电路 (35)

实验十四 PLC 基本指令应用设计 (37)

第二篇 模拟电路

实验一 晶体管共射极单管放大器 (40)

实验二 负反馈放大器 (45)

实验三 差动放大器 (49)

实验四 模拟运算电路 (53)

实验五 晶闸管可控整流电路 (57)

实验六 直流稳压电源 (59)

实验七 电压比较器 (63)

实验八 集成稳压器 (66)

第三篇 数字电路

实验一 组合逻辑电路的设计与测试 (71)
实验二 译码器及其应用 (74)
实验三 数据选择器及其应用 (79)
实验四 触发器及其应用 (84)
实验五 555 时基电路及其应用 (91)
实验六 D/A 和 A/D 转换器 (96)
实验七 计数器及其应用 (102)
参考文献 (108)

(1) 二进制计数器的设计 一课时
(2) 二进制计数器的设计 二课时
(3) 二进制计数器的设计 三课时
(4) 二进制计数器的设计 四课时
(5) 二进制计数器的设计 五课时
(6) 二进制计数器的设计 六课时
(7) 二进制计数器的设计 七课时
(8) 二进制计数器的设计 八课时
(9) 二进制计数器的设计 九课时
(10) 二进制计数器的设计 十课时
(11) 二进制计数器的设计 十一课时
(12) 二进制计数器的设计 十二课时
(13) 二进制计数器的设计 十三课时
(14) 二进制计数器的设计 十四课时
(15) 二进制计数器的设计 十五课时
(16) 二进制计数器的设计 十六课时
(17) 二进制计数器的设计 十七课时
(18) 二进制计数器的设计 十八课时
(19) 二进制计数器的设计 十九课时
(20) 二进制计数器的设计 二十课时

附录二 常用电子元器件

(21) 常用电子元器件 一课时
(22) 常用电子元器件 二课时
(23) 常用电子元器件 三课时
(24) 常用电子元器件 四课时
(25) 常用电子元器件 五课时
(26) 常用电子元器件 六课时
(27) 常用电子元器件 七课时
(28) 常用电子元器件 八课时

模电部分

实验一 晶体管共射极单管放大器

一、实验目的

- 1、学会放大器静态工作点的调试方法，分析静态工作点对放大器性能的影响。
- 2、掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压的测试方法。
- 3、熟悉常用电子仪器及模拟电路实验设备的使用。

二、实验原理

图 1-1 为电阻分压式工作点稳定单管放大器实验电路图。它的偏置电路采用 R_{B1} 和 R_{B2} 组成的分压电路，并在发射极中接有电阻 R_E ，以稳定放大器的静态工作点。当在放大器的输入端加入输入信号 u_i 后，在放大器的输出端便可得到一个与 u_i 相位相反，幅值被放大的输出信号 u_o ，从而实现了电压放大。

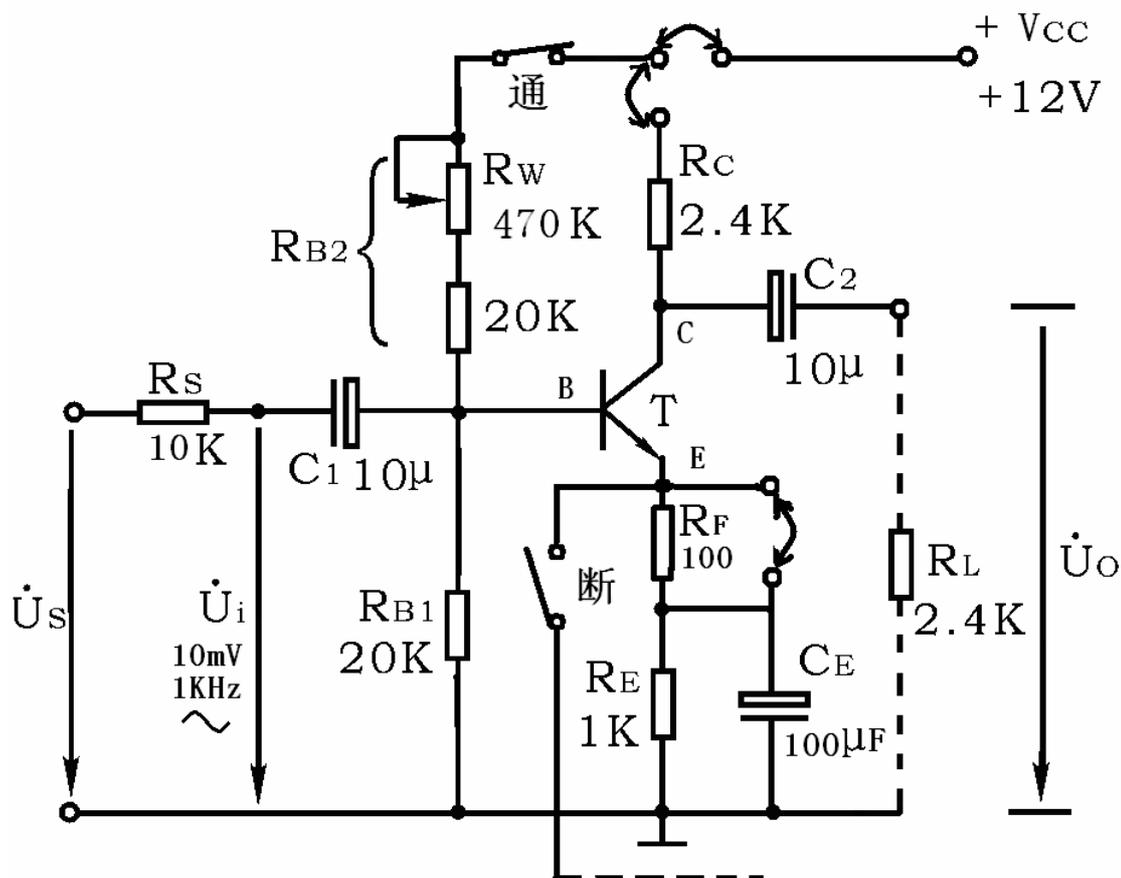


图 1-1 共射极单管放大器实验电路

放大器的测量和调试一般包括：放大器静态工作点的测量与调试，消除干扰与自激振

荡及放大器各项动态参数的测量与调试等。

1、 放大器静态工作点的测量与调试

1) 静态工作点的测量

测量放大器的静态工作点，应在输入信号 $u_i=0$ 的情况下进行，即将放大器输入端与地端短接，然后选用量程合适的直流毫安表和直流电压表，分别测量晶体管的集电极电流 I_C 以及各电极对地的电位 U_B 、 U_C 和 U_E 。一般实验中，为了避免断开集电极，所以采用测量电压 U_E 或 U_C ，然后算出 I_C 的方法，例如，只要测出 U_E ，即可用 $I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E}$ 算出 I_C （也可根据

$I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C}$ ，由 U_C 确定 I_C ），

同时也能算出 $U_{BE}=U_B-U_E$ ， $U_{CE}=U_C-U_E$ 。为了减小误差，提高测量精度，应选用内阻较高的直流电压表。

2) 静态工作点的调试

放大器静态工作点的调试是指对管子集电极电流 I_C （或 U_{CE} ）的调整与测试。

静态工作点是否合适，对放大器的性能和输出波形都有很大影响。如工作点偏高，放大器在加入交流信号以后易产生饱和失真，此时 u_o 的负半周将被削底，如图 1-2(a) 所示；如工作点偏低则易产生截止失真，即 u_o 的正半周被缩顶（一般截止失真不如饱和失真明显），如图 1-2(b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点以后还必须进行动态调试，即在放大器的输入端加入一定的输入电压 u_i ，检查输出电压 u_o 的大小和波形是否满足要求。如不满足，则应调节静态工作点的位置。

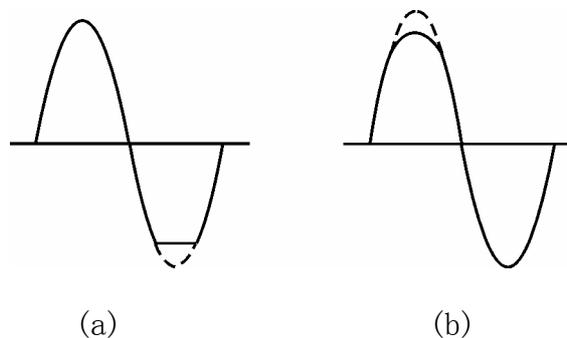


图 1-2 静态工作点对 u_o 波形失真的影响

改变电路参数 U_{CC} 、 R_C 、 R_B (R_{B1} 、 R_{B2}) 都会引起静态工作点的变化，如图 1-3 所示。但通常多采用调节偏置电阻 R_{B2} 的方法来改变静态工作点，如减小 R_{B2} ，则可使静态工作点提高

等。

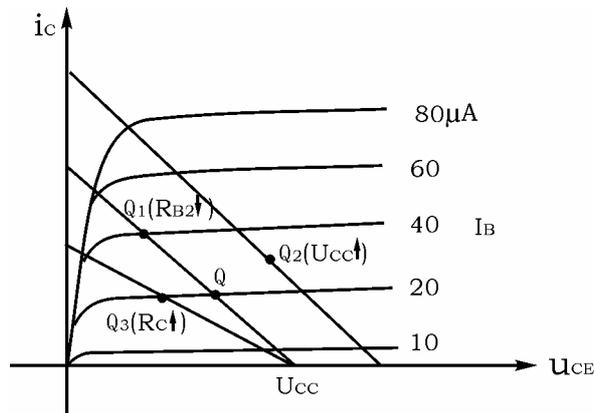


图 1-3 电路参数对静态工作点的影响

最后还要说明的是，上面所说的工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的，应该是相对信号的幅度而言，如输入信号幅度很小，即使工作点较高或较低也不一定会出现失真。所以确切地说，产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致。如需满足较大信号幅度的要求，静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

2、放大器动态指标测试

放大器动态指标包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压（动态范围）和通频带等。

1) 电压放大倍数 A_v 的测量

调整放大器到合适的静态工作点，然后加入输入电压 u_i ，在输出电压 u_o 不失真的情况下，用交流毫伏表测出 u_i 和 u_o 的有效值 U_i 和 U_o ，则 $A_v = \frac{U_o}{U_i}$ 。

2) 输入电阻 R_i 的测量

为了测量放大器的输入电阻，按图 1-4 电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知电阻 R ，在放大器正常工作的情况下，用交流毫伏表测出 U_s 和 U_i ，则根据输入电阻

$$\text{的定义可得 } R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_s - U_i}{R}} R$$

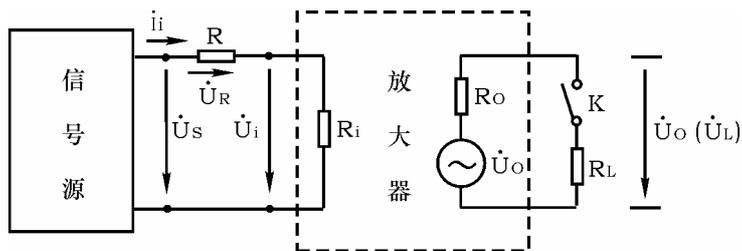


图 1-4 输入、输出电阻测量电路

测量时应注意下列几点：

① 由于电阻 R 两端没有电路公共接地点，所以测量 R 两端电压 U_R 时必须分别测出 U_S 和 U_i ，然后按 $U_R = U_S - U_i$ 求出 U_R 值。

② 电阻 R 的值不宜取得过大或过小，以免产生较大的测量误差，通常取 R 与 R_i 为同一数量级为好，本实验可取 $R = 1 \sim 2K \Omega$ 。

3) 输出电阻 R_o 的测量

按图 1-4 电路，在放大器正常工作条件下，测出输出端不接负载 R_L 的输出电压 U_o 和接入负载后的输出电压 U_L ，根据 $U_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} U_o$ ，即可求出 $R_o = (\frac{U_o}{U_L} - 1) R_L$ 。在测试中应

注意，必须保持 R_L 接入前后输入信号的大小不变。

三、实验设备与器件

- 1、+12V 直流电源 2、函数信号发生器 3、双踪示波器 4、交流毫伏
5、直流电压表 6、直流毫安表 7、万用电表

四、实验内容

实验电路如图 1-1 所示。各电子仪器为防止干扰，其公共端必须连在一起，同时信号源、交流毫伏表和示波器的引线应采用专用电缆线或屏蔽线，如使用屏蔽线，则屏蔽线的外包金属网应接在公共接地端上。

1、调试静态工作点

接通直流电源前，先将 R_w 调至最大，函数信号发生器输出 $V_{p-p} = 10mV$ ， $f = 1KHz$ 的正弦信号加在 U_i 处。接通 +12V 电源、调节 R_w ，使 U_o 得到一放大最大并且不失真的正弦信号。关闭信号源，用直流电压表测量 U_B 、 U_E 、 U_C 2 值，记入表 1-1。

表 1-1 ($I_C \approx 2mA$)

| 测量值 | | | 计算值 | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|--------------|------------------------|
| U_B (V) | U_E (V) | U_C (V) | I_C (mA) | U_{BE} (V) | U_{CE} (V) | R_{B2} (K Ω) |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

2、测量电压放大倍数

表 1-2

| R_L | U_i (mV) | U_o (V) | A_u |
|----------|------------|-----------|-------|
| ∞ | | | |
| 2.4K | | | |

3、观察静态工作点对电压放大倍数的影响

置 $R_c=2.4K\Omega$, $R_L=\infty$, U_i 适量, 调节 R_w , 用示波器监视输出电压波形, 在 u_o 不失真的条件下, 测量数组 I_c 和 U_o 值, 记入表 1-3。

表 1-3 $R_c=2.4K\Omega$ $R_L=\infty$ $U_i=$ mV

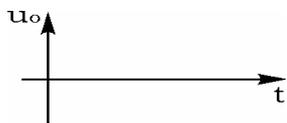
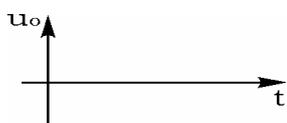
| | | | | | |
|------------|--|--|-----|--|--|
| I_c (mA) | | | 2.0 | | |
| U_o (V) | | | | | |
| A_v | | | | | |

测量 I_c 时, 要先将信号源输出旋钮旋至零 (即使 $U_i=0$)。

4、观察静态工作点对输出波形失真的影响

置 $R_c=2.4K\Omega$, $R_L=2.4K\Omega$, $u_i=0$, 调节 R_w 使 $I_c=2.0mA$, 测出 U_{CE} 值, 再逐步加大输入信号, 使输出电压 u_o 足够大但不失真。然后保持输入信号不变, 分别增大和减小 R_w , 使波形出现失真, 绘出 u_o 的波形, 并测出失真情况下的 I_c 和 U_{CE} 值, 记入表 1-4 中。每次测 I_c 和 U_{CE} 值时都要将信号源的输出旋钮旋至零。

表 1-4 $R_c=2.4K\Omega$ $R_L=\infty$ $U_i=$ mV

| I_c (mA) | U_{CE} (V) | u_o 波形 | 失真情况 | 管子工作状态 |
|------------|--------------|---|------|--------|
| | |  | | |
| 2.0 | |  | | |
| | |  | | |

5、测量输入电阻和输出电阻

置 $R_c=2.4K\Omega$ ， $R_L=2.4K\Omega$ ， $I_c=2.0mA$ 。输入 $f=1KHz$ 的正弦信号，在输出电压 u_o 不失真的情况下，用交流毫伏表测出 U_s ， U_i 和 U_L 记入表 1-5。

保持 u_s 不变，断开 R_L ，测量输出电压 U_o ，记入表 1-5。

表 1-5 $R_c=2.4K\Omega$ $R_L=2.4K\Omega$

| U_s (mv) | U_i (mv) | R_i (K Ω) | | U_L (V) | U_o (V) | R_o (K Ω) | |
|---------------|---------------|---------------------|-----|--------------|--------------|---------------------|-----|
| | | 测量值 | 计算值 | | | 测量值 | 计算值 |
| | | | | | | | |

五、思考题

1、列表整理测量结果，并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻之值与理论计算值比较（取一组数据进行比较），分析产生误差原因。

2、总结 R_c ， R_L 及静态工作点对放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的影响。

3、讨论静态工作点变化对放大器输出波形的影响。

4、能否用直流电压表直接测量晶体管的 U_{BE} ？为什么实验中要采用测 U_B 、 U_E ，再间接算出 U_{BE} 的方法？

5、当调节偏置电阻 R_{B2} ，使放大器输出波形出现饱和或截止失真时，晶体管的管压降 U_{CE} 怎样变化？

6、改变静态工作点对放大器的输入电阻 R_i 有否影响？改变外接电阻 R_L 对输出电阻 R_o 是否有影响？



21 世纪高等院校精品规划教材

电子实习指导 教程

主编 李广宏

DIANZI SHIXIZHIDAO
JIAO CHENG

经济日报出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子实习指导教程 / 李广宏主编. —北京: 经济日报出版社, 2009. 9
ISBN 978 - 7 - 80257 - 057 - 3

I. 电… II. 李… III. 电子技术—实习—教材 IV. TN01 - 45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 148555 号

电子实习指导教程

| | |
|----------|--|
| 编 者 | 李广宏 |
| 责任编辑 | 龙 吉 |
| 责任校对 | 田 洁 |
| 出版发行 | 经济日报出版社 |
| 地 址 | 北京市宣武区白纸坊东街 2 号 (邮政编码: 100054) |
| 电 话 | (010) 63567684 (总编室) 63567690 63567691 (编辑部) (010) 63567683 63538621 (发行部) 63567687 (邮购部) |
| E - mail | jjrcbs@sina.com |
| 经 销 | 全国各地新华书店 |
| 印 刷 | 廊坊市九洲印刷厂 |
| 开 本 | 787 × 960 毫米 1/16 |
| 印 张 | 13.5 |
| 字 数 | 235 千字 |
| 版 次 | 2009 年 9 月第一版 |
| 印 次 | 2009 年 9 月第一次印刷 |
| 书 号 | ISBN 978 - 7 - 80257 - 057 - 3 |
| 定 价 | 27.00 元 |

版权所有 盗印必究 印装有误 负责调换

前 言

电子实习主要是机电、电气、电子信息等专业学生在校参加的一个实践教学环节,通过学习使学生了解电子线路的基础知识(包括元件的识别安装、线路的调试测量);通过EDA软件设计电子线路,并实际制作出电路板;最后还要进行电子产品组装综合的实训,熟悉电子制作的工艺流程。本书是按照实习周数为2~3周编写的,不同的学校和专业选用时,可以根据实际情况选取教学内容。

本书共分7章,第1~3章主要介绍电子基础知识,包括电子元件识别检测、常见电子仪器使用、电子线路的安装调试,其中安排有8个典型电子线路的调试测量实训内容。第4~5章主要介绍PCB从设计到制作的过程,以最常见的EDA设计软件Protel 99 SE为工具,详细讲解了电子线路的原理图及PCB版图的设计;在制作PCB的内容里,不仅介绍了最常见、最实用的腐蚀法制作PCB的工艺,还详细介绍了CAD/CAM技术相结合的数控雕刻机雕铣印制电路板的过程。第6~7章介绍了电子焊接工艺和电子产品组装实训,其中电子焊接工艺涉及两个电子组装技术的焊接工艺,即THT使用的波峰焊和SMT使用的再流焊技术,可以使学生对电子工艺有一个全面的了解,而且对手工焊接知识也做了详细的介绍。电子产品组装实训中编写了两种最常见的电子产品:数字万用表和超外差式收音机,在使用时可以根据学生的不同专业和现有条件进行选择训练。

本书由洛阳理工学院编写,李广宏担任主编。撰稿人具体分工如下:布挺编写第1章,李蒙编写第2章、第6章,李广宏编写第3章、第5章,张刚编写第4章,邵鸿翔编写第7章。卢秉娟副教授参与了本教材大纲的制定,并在审阅全稿后提出了建设性的修改意见。

本书在编写过程中参阅了大量文献和网站资料,在此对原作者一并表示感谢。同时要感谢浙江天煌科技实业有限公司和北京中科同志科技有限公司提供的资料。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请专家学者和读者提出宝贵意见和建议。

编 者

2009年6月

目 录

| | |
|-----------------------------------|------|
| 前 言 | (1) |
| 第 1 章 常用电子元件的识别与检测 | (1) |
| 1.1 电阻器、电容器和电感器 | (1) |
| 1.1.1 电阻器和电位器的基本知识 | (1) |
| 1.1.2 电容器 | (8) |
| 1.1.3 电感器 | (12) |
| 1.2 半导体元器件 | (14) |
| 1.2.1 半导体管 | (14) |
| 1.2.2 晶体三极管 | (16) |
| 1.2.3 单结晶体管 | (18) |
| 1.2.4 晶闸管 | (18) |
| 1.2.5 集成电路 | (21) |
| 第 2 章 常用电子仪器的使用 | (25) |
| 2.1 THPDZ-1 型电工电子电气技术实训装置简介 | (25) |
| 2.1.1 操作台的特点 | (25) |
| 2.1.2 操作台的技术参数 | (25) |
| 2.1.3 控制屏的功能及操作使用 | (26) |
| 2.2 双踪示波器的使用 | (27) |
| 2.2.1 示波器概述 | (27) |
| 2.2.2 示波器的结构及原理 | (28) |
| 2.2.3 示波器面板上旋钮或开关介绍 | (29) |
| 2.2.4 示波器的基本测量方法 | (32) |
| 2.2.5 常见问题的解决方法 | (37) |
| 2.2.6 示波器的使用注意事项 | (39) |
| 2.3 XJ4810 型半导体管特性图示仪 | (39) |
| 2.3.1 主要技术性能 | (39) |
| 2.3.2 仪器面板结构及各部件名称和作用 | (40) |
| 2.3.3 使用方法 | (44) |
| 2.4 LCR 数字电桥的使用 (8501 型) | (49) |
| 2.4.1 数字电桥面板的组成 | (50) |
| 2.4.2 主要技术性能 | (50) |

| | |
|--|-------------|
| 2.4.3 基本操作..... | (51) |
| 第3章 典型电子线路的安装与调试 | (55) |
| 3.1 电子线路安装调试规则和要求..... | (55) |
| 3.1.1 电子线路实训教学的基本要求..... | (55) |
| 3.1.2 实训规则..... | (55) |
| 3.1.3 实习报告要求..... | (56) |
| 3.2 基本电子线路的安装、检测与调试..... | (56) |
| 3.2.1 电子电路的安装..... | (57) |
| 3.2.2 电路的故障..... | (57) |
| 3.2.3 调试和检测故障的一般方法..... | (58) |
| 3.2.4 调试中注意事项..... | (63) |
| 3.3 典型电子线路的安装与测试实训..... | (64) |
| 3.3.1 RC耦合两级放大电路..... | (64) |
| 3.3.2 直流稳压电源..... | (67) |
| 3.3.3 温度监测及控制电路..... | (71) |
| 3.3.4 电子秒表..... | (75) |
| 3.3.5 简易电容测量仪的设计与调试..... | (79) |
| 3.3.6 编码电子锁..... | (81) |
| 3.3.7 声光双控制电灯..... | (83) |
| 3.3.8 门锁防盗报警器..... | (86) |
| 第4章 Protel 99 SE 电路设计..... | (89) |
| 4.1 Protel 99 SE 概述..... | (89) |
| 4.1.1 Protel 主要功能简介..... | (89) |
| 4.1.2 安装 Protel 99 SE 软件..... | (93) |
| 4.1.3 运行 Protel 99 SE..... | (96) |
| 4.2 使用 Protel 99 SE 进行电子产品电路设计的工作流程..... | (97) |
| 4.3 电路原理图设计..... | (98) |
| 4.3.1 电路原理图设计流程..... | (99) |
| 4.3.2 建立一个设计任务..... | (100) |
| 4.3.3 创建一张新的原理图图纸..... | (101) |
| 4.3.4 设置原理图编辑器环境..... | (103) |
| 4.3.5 放置元件..... | (105) |
| 4.3.6 原理图布线..... | (121) |
| 4.3.7 电气规则检查..... | (130) |
| 4.3.8 生成网络表..... | (132) |
| 4.4 PCB 电路设计..... | (134) |
| 4.4.1 印制电路板的基本概念..... | (134) |

| | | |
|--------------|--|--------------|
| 4.4.2 | 电路板设计的一般原则 | (137) |
| 4.4.3 | 电路板设计的一般步骤 | (140) |
| 4.4.4 | 新建 PCB 设计文件 | (141) |
| 4.4.5 | 设置电路板参数 | (142) |
| 4.4.6 | 载入网络表 | (144) |
| 4.4.7 | 元件布局 | (147) |
| 4.4.8 | 设置布线规则 | (148) |
| 4.4.9 | 自动布线 | (150) |
| 第 5 章 | PCB 的制作 | (152) |
| 5.1 | PCB 简介 | (152) |
| 5.2 | PCB 的制作 | (153) |
| 5.2.1 | 手工描漆法 | (153) |
| 5.2.2 | 热转印法 | (153) |
| 5.2.3 | 雕刻机雕铣印制电路板 | (156) |
| 第 6 章 | 电子焊接工艺技术 | (169) |
| 6.1 | 电子组装技术简介 | (169) |
| 6.1.1 | 通孔组装技术 THT (Through Hole Technology) | (169) |
| 6.1.2 | 表面贴装技术 SMT (Surface Mounting Technology) | (170) |
| 6.2 | 波峰焊 | (172) |
| 6.3 | 再流焊 | (173) |
| 6.4 | 手工焊接知识 | (174) |
| 6.4.1 | 电烙铁 | (174) |
| 6.4.2 | 焊料 | (175) |
| 6.4.3 | 焊剂 | (176) |
| 6.4.4 | 电子装配工艺 | (176) |
| 6.4.5 | 手工焊接工艺 | (179) |
| 第 7 章 | 电子产品组装实训 | (183) |
| 7.1 | DT830B 数字万用表的组装实训 | (183) |
| 7.1.1 | DT830B 数字万用表简介 | (183) |
| 7.1.2 | DT830B 数字万用表工作原理 | (183) |
| 7.1.3 | DT830B 数字万用表的组装 | (189) |
| 7.2 | 超外差式收音机的组装实训 | (196) |
| 7.2.1 | 超外差式收音机工作原理 | (196) |
| 7.2.2 | 六管超外差式收音机的组装 | (202) |
| 7.2.3 | 常见故障及检修 | (206) |
| 参考文献 | | (208) |

第 6 章 电子焊接工艺技术

6.1 电子组装技术简介

电子组装技术是一门电路、工艺、结构、元件、器件、材料密切结合的多学科交叉的工程技术。它是伴随着电子器件封装技术的发展而不断前进的，有什么样的器件封装，就产生了什么样的组装技术，即电子元器件的封装形式决定了生产的组装工艺。

6.1.1 通孔组装技术 THT (through hole technology)

由分立元件组装而成的电子电路，主要采用通孔组装技术 (THT) 完成电路板卡的制造。THT 指将引线插入 PCB 的通孔，在板的背面进行焊接的技术，如图 6-1 所示。

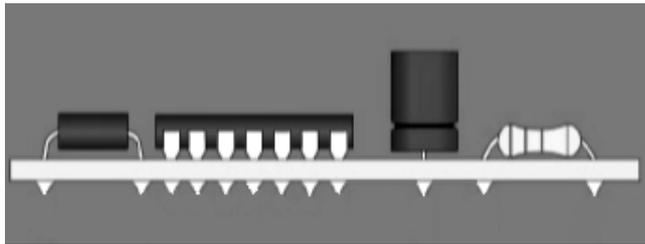


图 6-1 通孔组装技术

1904 年，世界上第一只电子管问世，电子技术由此开始，世界进入了电子时代。1947 年，美国贝尔实验室发明了半导体点接触式晶体管，从而开创了人类的硅文明时代，使人类进入了高科技发展的快行道。有引线、金属壳封装的晶体管，有引线小型化的无源器件，为我们将若干有关联的电路集成到一块板子上创造了基础，于是单面印制板和平面布线技术应运而生，组装工艺强调单块印制板的手工焊接。印制电路板技术从 20 世纪 60 年代才开始得到广泛应用，由此大大缩小了电子产品的体积，随着技术不断发展，这一时期的后期，出现了半自动插装技术和浸焊装配工艺 (如图 6 2 所示)，与前期相比，生产效率提高了许多。



图 6-2 手工浸焊

70 年代，随着晶体管的小型塑封化，集成电路、厚薄膜混合电路的应用，电子器件出现了双列直插式金属、陶瓷、塑料封装，即

DIP (Dual In-line Package)，如图 6-3 所示，使得无源元件的体积进一步小型化，并形成了双面印制板和初始发展的多层印制板，组装技术也发展到采用全自动插装和波峰焊技术，电路的引线连接则更简单化。

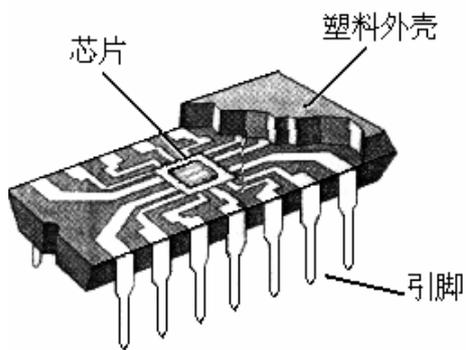


图 6-3 DIP 封装

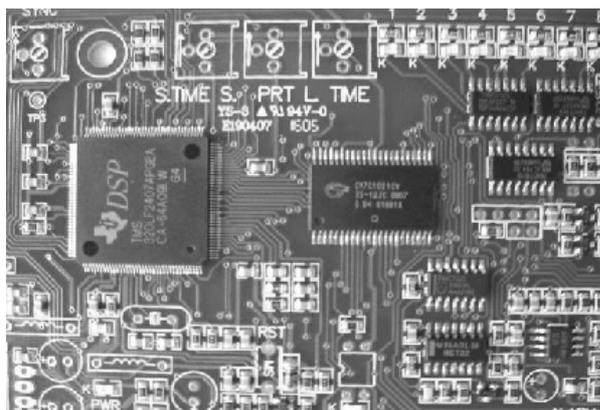
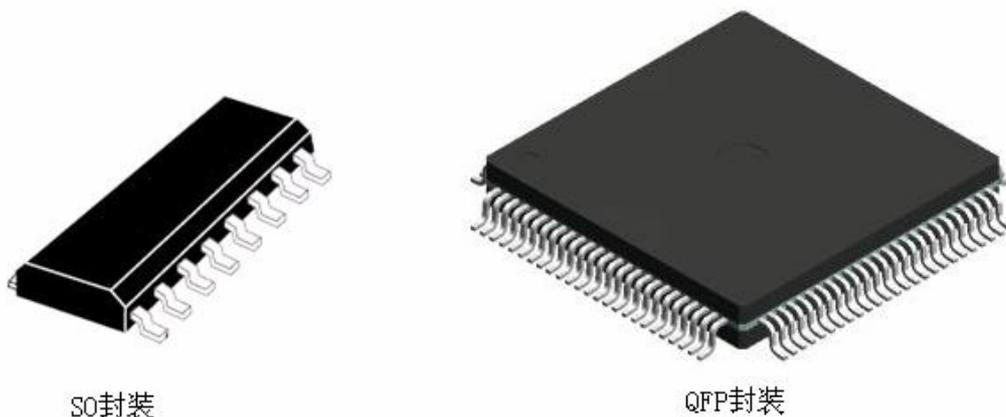


图 6-4 表面贴装技术

6.1.2 表面贴装技术 SMT (surface mounting technology)

表面贴装技术是无需对印制板钻插装孔，直接将表面组装元器件贴、焊到印制板表面规定位置上的装联技术，如图 6-4 所示。



SO封装

QFP封装

图 6-5 周边引脚封装方式

80 年代以来，随着微电子技术的不断发展，以及大规模、超大规模集成电路的出现，使得集成电路的集成度越来越高，电路设计采用了计算机辅助分析的设计技术。此时器件的封装形式也随着电子技术发展，在不同时期，由不同封装形式分别占领主流地位，如 80 年代由于微处理器和存储器的大规模 IC 器件的问世，满足高速和高密度要求的周边引线、短引脚的塑料表贴封装占据了主导地位，如图 6-5 所示；而 90 年代由于超大规模和芯片系统

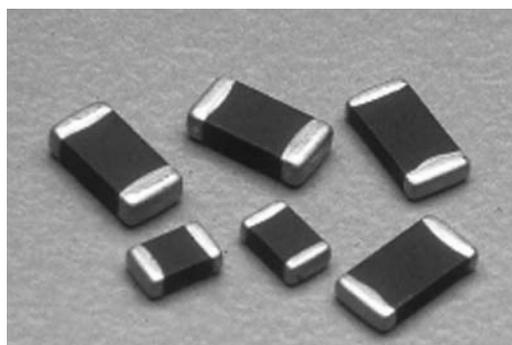


图 6-6 表面贴装元件

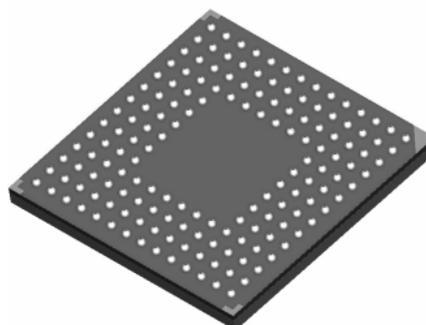


图 6-7 BGA 封装

IC 的发展，推动了周边引脚向面阵列引脚和球栅阵列密集封装发展，并促使其成为主流。无源器件发展到表面贴装元件（SMC）如图 6-6 所示，并继续向微型化发展，IC 器件的封装有了表面贴装器件（SMD）。在这一时期 SMD 有了很大的发展，产生了球栅阵列封装 BGA（如图 6-7 所示）、芯片尺寸封装 CSP、高密度高性能低成本 FlipChip、多芯片组件 MCM 等封装形式，组装技术为 SMT 表面贴装技术和回流焊、波峰焊，并继续向窄间距和超窄间距 SMT 发展。

6.2 波峰焊

波峰焊是指将熔化的软钎焊料（铅锡合金），经电动泵或电磁泵喷流成设计要求的焊锡波峰，亦可通过向焊料池注入氮气来形成，使预先装有元器件的印制板通过焊锡波峰，实现元器件焊端或引脚与印制板焊盘之间机械与电气连接的软钎焊，如图 6-8 所示。根据机器所使用不同几何形状的波峰，波峰焊系统可分许多种。为保证所有焊点的可靠焊接，往往采用紊流波。

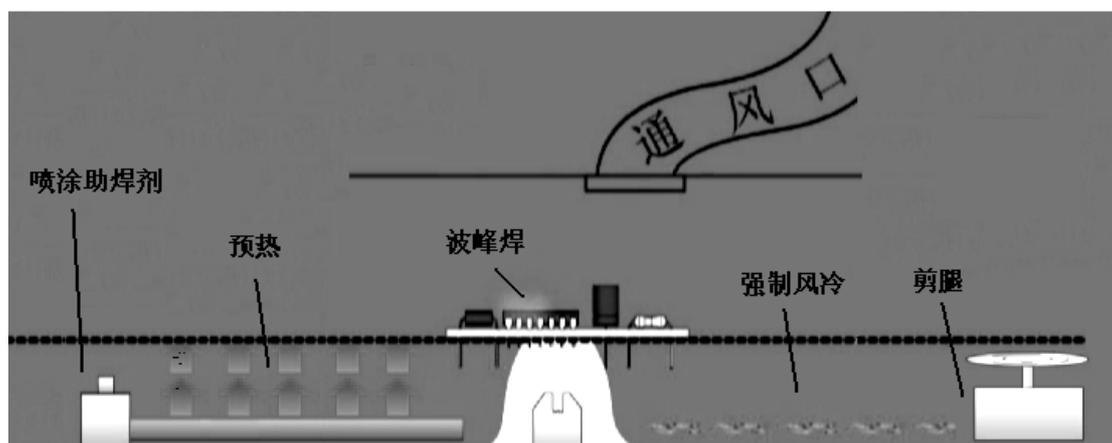


图 6-8 波峰焊示意图

波峰焊工艺流程：把各种元器件按照产品装配的技术标准进行复检和装配前的预处理，不合格的元器不能上线。在插装元器件到印制电路板上之前，还要对它们的引线进行整形，使之符合电路板上的位置要求。插装好元器件的电路板要经过检验，确保没有插装错误，然后才能送到焊接工序。电路板进入波峰焊接机前，要先给板子喷涂一层助焊剂。喷涂过助焊剂的电路板要经过烘烤和预热，让助焊剂进入活化状态，才能除去焊接面上的氧化物。然后电路板通过焊锡波峰，把所有的焊点自动焊上焊锡。最后，电路板被送进剪腿机，通过高速旋转的盘状切刀，切掉过长的引线，保留适当的焊点高度。这个过程就叫波峰焊，流程图如图 6-9 所示。

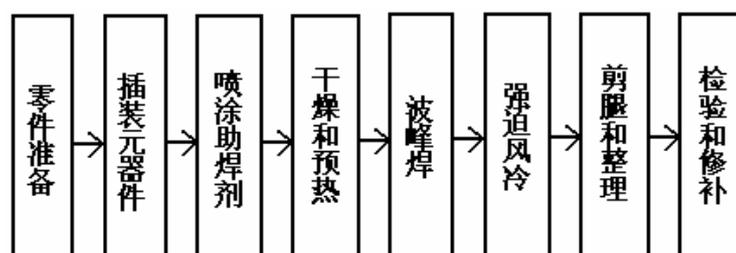


图 6-9 波峰焊流程图

6.3 再流焊

再流焊工艺是通过重新熔化预先分配到印制板焊盘上的膏状软钎焊料，实现表面组装元器件焊端或引脚与印制板焊盘之间机械与电气连接的软钎焊。

在采用 S M T 技术的电子产品装配流水线中，通常第一道工序是由锡膏印刷机完成的。它的任务是在印制电路板需要贴装电子元器件的位置上通过丝印网板涂覆适量膏状铅锡焊料。丝印网板一般用薄钢板或薄铜板制成，上面按照电路的要求已经精确蚀刻出焊盘的图形。网板覆盖在精确定位的印制电路板上，刮刀将锡膏均匀地从网板上推过，镂空的焊盘的图形上就被均匀地印上一层焊锡膏。焊锡膏是用颗粒大小一定的铅锡粉末和助焊剂、添加剂调配而成的。

接下来用贴片机进行贴片，SMT 贴片机是根据电路板的设计编程文件而工作的，它把电路板各部分所需要的电子元器件精确贴装到正确的位置上。每台贴片机可以同时贴装几十种元件，料盘被装在供料架上，机械手依次从料盘或编带中拾取元件贴放到正确的位置上，元器件由于焊锡膏的粘合力而不会移动。贴装好的元器件的电路板一般采用再流焊设备进行焊接，如图 6-10 所示。

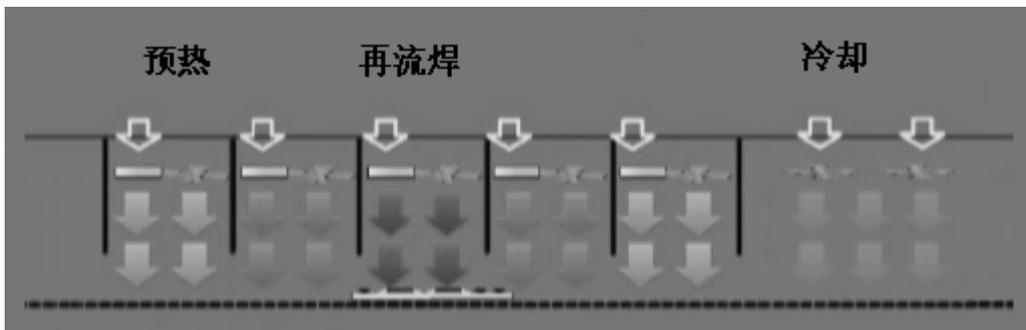


图 6-10 再流焊示意图

再流焊机的工作原理是，导轨传送电路板通过一条温度隧道，由石英玻璃管或石英陶瓷板提供红外线热源，电脑控制风扇电机形成不同温度的热风微循环。加温过程一般可以分为预热、加热、焊接和降温等几部分。已经被贴装到电路板上的 SMC 元件经过逐渐加温，锡膏熔化在焊盘上浸润，焊点逐渐形成。电路板进入再流焊机，经过机器中由低到高，再到低的不同温区加热，使贴片元件牢牢地焊在电路板上。

按照以前的焊接工艺，电路板在经过焊接之后，还要乙醇、去离子水或其他有机溶剂进行清洗。但很难根本解决安全防火、能源消耗和污染排放等问题。现在常采用免清洗助焊剂进行焊接，从而省去了清洗的步骤，也更加有利于环保。

再流焊工艺流程图如图 6-11 所示。

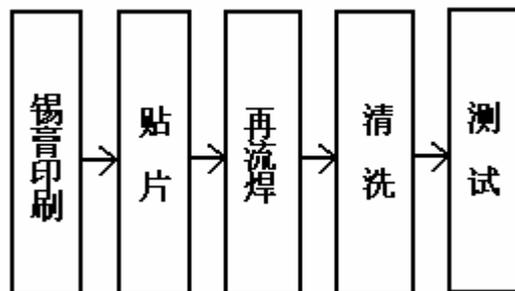
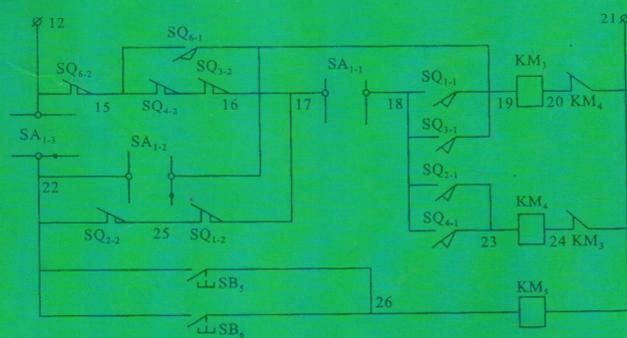


图 6-11 再流焊工艺流程图

高等学校试用教材

电工实训教程

何大庆 主编



武汉理工大学出版社

内 容 简 介

本书为指导学生电工实习而编写。根据电工必备的知识 and 技能要求,主要介绍了以下内容:

1. 常用低压电器的基本知识和选用备件应注意的问题及方法,以及常见故障和处理方法。
2. 常用电工测量仪表、电工工具、电工材料等的结构特性及其应用方法。
3. 内外线电工的工艺要求和施工方法、常用光源及安装要求。
4. 维修电工实训基本内容。
5. 常用机床电气控制电路的维修与考核。
6. 安全用电的基本方法和要求,以及用电设备保护接地与保护接零的基本知识和操作方法。

本教材可作为高等工业专科学校工科类各专业的电工实习用书,也可以作为维修电工的培训教材,或者供机电行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工实训教程/何大庆主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2011.1 重印
ISBN 978-7-5629-2216-2

I. 电… II. 何… III. 电工技术-实训-高等学校:技术学校-教材 IV. TM-33

责任编辑:田道全
装帧设计:杨 涛
出版发行:武汉理工大学出版社
社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号
邮 编:430070
网 址:<http://www.techbook.com.cn>
经 销:各地新华书店
印 刷:荆州鸿盛印务有限公司
开 本:787×1092 1/16
印 张:17.5
插 页:7
字 数:470 千字
版 次:2005 年 4 月第 1 版
印 次:2011 年 1 月第 6 次印刷
印 数:19501—24500 册
定 价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请及时向出版社发行部调换。
本社购书热线电话:027-87284422 87282885 87284429 87287887(传真)
· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

按照教育部对高职高专的要求,工科各专业学生必须具备一定的电工基本知识和基本操作技能。基于此要求,我们组织编写了这本教程供各高职高专学校的工科专业选用。

《电工实训教程》是为安全用电和内外线电工技能培训而编写的指导教材,同时也可以作为从事电气工程技术人员和内外线电工作业人员的自学参考书。本书是按照实习时间4~6周编写的,不同的学校和专业选用时,可以根据实习时间的长短进行取舍。

全书共分八章,主要内容包括:第1章介绍了常用低压电器的基础知识、结构和选用时应注意的问题及方法;第2、3章介绍了常用电工测量仪表、电工工具、电工材料等的结构、特性及其应用方法;第4章介绍了内外线电工的工艺要求和施工方法、常用光源及安装要求;第5章介绍了维修电工基本技能实训;第6、7章介绍了安全用电的基本方法和要求、以及用电设备保护接地与保护接零的基本知识和操作方法;第八章介绍了常用机床设备电气控制线路维修技能考核。

本书由洛阳理工学院何大庆副教授担任主编,蒋建虎副教授担任副主编。第1、4章的理论部分由洛阳理工学院蒋建虎老师编写;第2章由洛阳理工学院高雅利老师编写;第3章的理论部分由洛阳理工学院姬宜德老师编写;第8章和第4章的实习12~实习14由洛阳理工学院邹辉老师编写;第5章由洛阳理工学院李广宏老师编写;第6、7章及附录由何大庆老师编写。洛阳理工学院宋公义老师、张炳林老师参与了本教材编写大纲的制定工作,并提出了许多建设性的意见。

在本书编写过程中参阅了多种相关教材、专著、规章、规程等资料,在此向原编著者表示感谢。

编 者

2008年1月

| | |
|----------------------|------|
| 1.4.4 低压断路器的安装维修 | (18) |
| 1.5 接触器 | (21) |
| 1.5.1 接触器的用途、工作原理和分类 | (21) |
| 1.5.2 电磁接触器的主要技术参数 | (22) |
| 1.5.3 接触器的选用、安装与维护 | (24) |
| 1.6 继电器 | (26) |
| 1.6.1 中间继电器 | (27) |
| 1.6.2 时间继电器 | (27) |
| 1.6.3 电压继电器 | (28) |
| 1.6.4 热继电器 | (29) |
| 实习1 电气识图达标训练 | (33) |
| 思考题 | (33) |
| 2 常用电工仪器仪表及电气参数测量 | (34) |
| 2.1 基本知识 | (34) |
| 2.1.1 仪表的分类 | (34) |
| 2.1.2 仪表的误差和准确度 | (34) |

| | |
|------------------------|------|
| 1 低压电器 | (1) |
| 1.1 低压熔断器 | (1) |
| 1.1.1 概述 | (1) |
| 1.1.2 熔断器的工作原理和特性 | (2) |
| 1.1.3 熔体材料与形状 | (4) |
| 1.1.4 熔断器的选用与维护 | (7) |
| 1.2 低压隔离器 | (8) |
| 1.2.1 刀开关的结构 | (8) |
| 1.2.2 刀开关的型号及主要技术参数 | (8) |
| 1.2.3 刀开关的选用与安装 | (10) |
| 1.3 主令电器 | (10) |
| 1.3.1 按钮 | (10) |
| 1.3.2 位置开关 | (11) |
| 1.3.3 万能转换开关和主令控制器 | (12) |
| 1.4 低压断路器 | (14) |
| 1.4.1 低压断路器的用途、分类和工作原理 | (14) |
| 1.4.2 低压断路器的主要技术参数 | (15) |
| 1.4.3 低压断路器的选用 | (16) |
| 1.4.4 低压断路器的安装维修 | (19) |
| 1.5 接触器 | (21) |
| 1.5.1 接触器的用途、工作原理和分类 | (21) |
| 1.5.2 电磁接触器的主要技术参数 | (22) |
| 1.5.3 接触器的选用、安装与维护 | (24) |
| 1.6 继电器 | (26) |
| 1.6.1 中间继电器 | (27) |
| 1.6.2 时间继电器 | (27) |
| 1.6.3 电流继电器 | (28) |
| 1.6.4 热继电器 | (29) |
| 实习1 电气识图达标训练 | (33) |
| 思考题 | (33) |
| 2 常用电仪器仪表及电气参数测量 | (34) |
| 2.1 基本知识 | (34) |
| 2.1.1 仪表的分类 | (34) |
| 2.1.2 仪表的误差和准确度 | (34) |

| | | |
|--------|----------------|------|
| 2.1.3 | 常用电工仪表的符号及其意义 | (35) |
| 2.1.4 | 电工仪表的结构及工作原理 | (37) |
| 2.1.5 | 常用电工仪表的选择 | (39) |
| 2.2 | 电流和电压的测量 | (39) |
| 2.2.1 | 电流表 | (39) |
| 2.2.2 | 钳形电流表 | (40) |
| 2.2.3 | 电压表 | (41) |
| 2.3 | 电功率及电能的测量 | (42) |
| 2.3.1 | 电功率的测量 | (42) |
| 2.3.2 | 电能的测量 | (43) |
| 实习 2 | 万用表的认识与使用 | (44) |
| 实习 3 | 电度表的接线练习 | (49) |
| 实习 4 | 交流电路参数的测量 | (52) |
| 实习 5 | 日光灯电路的连接与测量 | (57) |
| 实习 6 | 三相电路的功率测量 | (59) |
| 实习 7 | 直流单、双臂电桥的认识与使用 | (62) |
| 实习 8 | 兆欧表的使用练习 | (65) |
| 3 | 电工常用工具及电工材料 | (68) |
| 3.1 | 电工常用工具 | (68) |
| 3.1.1 | 验电器 | (68) |
| 3.1.2 | 螺丝刀 | (69) |
| 3.1.3 | 钢丝钳 | (69) |
| 3.1.4 | 尖嘴钳及断线钳 | (70) |
| 3.1.5 | 剥线钳 | (70) |
| 3.1.6 | 电工刀 | (70) |
| 3.1.7 | 活扳手 | (70) |
| 3.1.8 | 绝缘棒 | (71) |
| 3.1.9 | 绝缘夹钳 | (71) |
| 3.1.10 | 导线压接钳 | (71) |
| 3.2 | 安装用工具及登高工具 | (72) |
| 3.2.1 | 叉杆 | (72) |
| 3.2.2 | 架杆 | (72) |
| 3.2.3 | 紧线器 | (72) |
| 3.2.4 | 弯管器 | (72) |
| 3.2.5 | 切管器 | (73) |
| 3.2.6 | 管子套丝绞板 | (74) |
| 3.2.7 | 手电钻 | (74) |
| 3.2.8 | 冲击钻 | (75) |
| 3.2.9 | 射钉器 | (75) |

| | | |
|--------|-----------------|-------|
| 3.2.10 | 安全帽与安全带 | (76) |
| 3.2.11 | 踏板和脚扣 | (76) |
| 3.2.12 | 梯子 | (76) |
| 3.3 | 常用电工材料 | (77) |
| 3.3.1 | 导体 | (77) |
| 3.3.2 | 导线 | (78) |
| 3.3.3 | 电缆 | (86) |
| 3.3.4 | 母线 | (89) |
| 3.3.5 | 熔体 | (90) |
| 3.4 | 电工常用绝缘材料 | (92) |
| 3.4.1 | 电工漆和电工胶 | (93) |
| 3.4.2 | 塑料 | (94) |
| 3.4.3 | 橡胶橡皮 | (94) |
| 3.4.4 | 绝缘布(带)和层压制品 | (94) |
| 3.4.5 | 电瓷 | (94) |
| 3.4.6 | 绝缘油 | (97) |
| 3.5 | 电工常用安装材料 | (98) |
| 3.5.1 | 常用电线管 | (98) |
| 3.5.2 | 电工常用钢材 | (100) |
| 实习 9 | 二极管整流电路的焊接与测量 | (101) |
| 实习 10 | 单结晶体管触发电路的焊接与调试 | (105) |
| 实习 11 | 单相可控调压电路的安装与调试 | (109) |
| | 思考题 | (113) |
| 4 | 内外线路的敷设与施工 | (114) |
| 4.1 | 内外线路的基本知识 | (114) |
| 4.1.1 | 内外线工程 | (114) |
| 4.1.2 | 导线的选择 | (114) |
| 4.2 | 室内配线工艺及要求 | (114) |
| 4.2.1 | 室内配线的基本要求 | (115) |
| 4.2.2 | 室内配线操作工艺 | (115) |
| 4.3 | 动力线路的敷设与安装 | (124) |
| 4.3.1 | 动力线路的分类与技术要求 | (124) |
| 4.3.2 | 电动机的安装 | (124) |
| 4.3.3 | 低压配电箱的安装 | (126) |
| 4.3.4 | 动力线路的敷设 | (127) |
| 4.3.5 | 电缆线路的敷设 | (127) |
| 实习 12 | 外线架设及进户线安装练习 | (129) |
| 实习 13 | 室内线路敷设练习 | (131) |
| 实习 14 | 量电和配电盘的安装 | (143) |

| | | |
|-------|--|-------|
| (87) | 实习 15 电缆接头的连接 | (145) |
| (87) | 实习 16 导线的连接与绝缘层的恢复 | (149) |
| (87) | 思考题 | (160) |
| 5 | 维修电工基本技能实训及考核 | (161) |
| (77) | 5.1 实训台的基本配置介绍 | (161) |
| (87) | 5.1.1 电源 | (161) |
| (88) | 5.1.2 仪表 | (162) |
| (88) | 5.1.3 实训挂板配置 | (162) |
| (90) | 5.2 实训的基本要求与安全操作规程 | (163) |
| (89) | 5.2.1 实训的基本要求 | (163) |
| (89) | 5.2.2 实训安全操作规程 | (164) |
| (49) | 5.3 维修电工基本技能实训 | (165) |
| (49) | 5.3.1 日光灯电路安装 | (165) |
| (49) | 5.3.2 电网过电流自动切换备用电源连接实训 | (165) |
| (49) | 5.3.3 交流异步电动机的点动控制电路 | (167) |
| (70) | 5.3.4 电动机单向连续运转控制电路 | (169) |
| (89) | 5.3.5 电动机点动和单向连续运转的组合控制电路 | (170) |
| (89) | 5.3.6 接触器互锁的三相异步电动机正、反转控制电路 | (171) |
| (100) | 5.3.7 按钮和接触器互锁的三相异步电动机正、反转控制电路 | (172) |
| (101) | 5.3.8 交流异步电动机 Y- Δ (手动切换)起动控制电路 | (174) |
| (80) | 5.3.9 时间继电器切换的 Y- Δ 起动控制电路 | (176) |
| (90) | 5.3.10 定子绕组串联电阻起动控制电路 | (179) |
| (119) | 5.3.11 三相交流异步电动机能耗制动控制电路 | (180) |
| (111) | 5.3.12 三相异步电动机反接制动控制电路 | (181) |
| (111) | 5.3.13 电动机顺序起动控制电路 | (182) |
| (111) | 5.3.14 电动机往返行程控制电路 | (182) |
| (111) | 5.3.15 双速电动机控制电路 | (185) |
| 6 | 电工作业安全技术 | (187) |
| (81) | 6.1 触电事故的种类和特点 | (187) |
| (119) | 6.1.1 触电事故的种类 | (187) |
| (134) | 6.1.2 触电事故的特点以及对人体的危害 | (188) |
| (131) | 6.1.3 触电及触电防护 | (192) |
| (134) | 6.2 电气安全的组织管理和技术措施 | (197) |
| (138) | 6.2.1 电气安全的管理措施 | (197) |
| (137) | 6.2.2 电气安全的工作制度 | (198) |
| (131) | 6.2.3 电气安全的技术措施 | (201) |
| (89) | 6.3 防止触电的方法 | (204) |
| (181) | 6.3.1 分类 | (204) |
| (241) | 6.3.2 绝缘 | (205) |

| | | |
|-------|-------------------|-------|
| 6.4 | 电气设备的防火和防爆 | (206) |
| 6.4.1 | 火灾和爆炸的有关概念 | (206) |
| 6.4.2 | 电气火灾和爆炸的原因 | (207) |
| 6.4.3 | 电气防火和防爆的措施 | (207) |
| 6.4.4 | 扑灭电气火灾的常识 | (209) |
| 6.5 | 静电安全 | (209) |
| 6.5.1 | 静电的产生 | (209) |
| 6.5.2 | 静电的特点和危害 | (210) |
| 6.5.3 | 消除静电危害的措施 | (211) |
| 6.6 | 触电急救 | (212) |
| 6.6.1 | 触电后的临床表现 | (212) |
| 6.6.2 | 人体触电的现场急救 | (212) |
| 7 | 保护接地和保护接零 | (216) |
| 7.1 | 几个基本概念 | (216) |
| 7.2 | 接地和接零的作用 | (217) |
| 7.2.1 | 保护接地的作用 | (217) |
| 7.2.2 | 保护接零的作用 | (217) |
| 7.2.3 | 工作接地的目的 | (218) |
| 7.3 | 接地和接零的要求 | (219) |
| 7.3.1 | 哪些设备应接地和接零 | (219) |
| 7.3.2 | 对接零装置的要求 | (219) |
| 7.3.3 | 接地电阻的规定 | (219) |
| 7.4 | 接地装置安装 | (220) |
| 7.4.1 | 接地体的安装 | (220) |
| 7.4.2 | 接地线的安装 | (221) |
| 7.4.3 | 接地装置的连接 | (221) |
| 7.5 | 接地电阻的测量和接地装置的运行 | (222) |
| 7.5.1 | 接地电阻的测量 | (222) |
| 7.5.2 | 接地装置的运行 | (223) |
| 7.6 | 常用的配电系统接地形式 | (223) |
| 7.6.1 | 配电系统保护接地形式 | (223) |
| 7.6.2 | 自动切断供电防护 | (226) |
| 8 | 常用机床设备电气控制线路 | (230) |
| 8.1 | X62W型卧式万能铣床电气控制线路 | (231) |
| 8.1.1 | 概述 | (231) |
| 8.1.2 | 电路分析 | (232) |
| 8.1.3 | 常见故障分析 | (235) |
| 8.1.4 | X62W万能铣床电路故障现象 | (236) |
| 8.2 | T68型镗床电气控制线路 | (237) |

| | | |
|-------|---------------------------|-------|
| 8.2.1 | 电路分析 | (237) |
| 8.2.2 | 常见故障分析 | (239) |
| 8.2.3 | T68 镗床电路故障现象 | (239) |
| 8.3 | CA6140 车床电气控制线路 | (240) |
| 8.3.1 | 电路分析 | (241) |
| 8.3.2 | 常见故障分析 | (242) |
| 8.3.3 | CA6140 车床电路故障现象 | (242) |
| 8.4 | M7120 型平面磨床电气控制线路 | (243) |
| 8.4.1 | 电路分析 | (243) |
| 8.4.2 | 常见故障分析 | (245) |
| 8.4.3 | M7120 型平面磨床电路故障现象 | (246) |
| 8.5 | Z3050 型摇臂钻床电气控制线路 | (247) |
| 8.5.1 | 电路分析 | (248) |
| 8.5.2 | 常见故障分析 | (249) |
| 8.5.3 | Z3050 型摇臂钻床电路故障现象 | (250) |
| 8.6 | 电动葫芦电气控制线路 | (251) |
| 8.6.1 | 电路分析 | (252) |
| 8.6.2 | 常见故障分析 | (252) |
| 8.6.3 | 电动葫芦电路故障现象 | (252) |
| 8.7 | 15/3t 交桥式起重机电气控制线路 | (253) |
| 8.7.1 | 概述 | (253) |
| 8.7.2 | 电路分析 | (254) |
| 8.7.3 | 常见故障分析 | (258) |
| 8.7.4 | 15/3t 交桥式起重机故障现象 | (259) |
| 附录 | 电气图常用图形与文字符号新旧标准对照表 | (261) |
| 参考文献 | | (267) |

5 维修电工基本技能实训及考核

维修电工是指从事对机械设备的电气系统线路和设备等进行安装、调试、维护和修理工作的人员。维修电工是分布于各行各业的通用性技术工种,整个职业具有覆盖面广、技术性强、智能化程度高、安全要求高、工作责任重大等特点。其工作质量及操作的安全技术水平,直接关系到企业生产和工程运行的质量以及国家财产、人民生命的安全。劳动和社会保障部把维修电工列入首批实行劳动就业准入制度的工种之一,同时规定在全国范围内,从初级维修电工到高级技师都必须通过职业技能鉴定考核,领取国家职业资格证书,持证上岗就业。

实训是指对整体工程(或装置或系统)的调试、性能测定、验收、维护和故障排除等具有工程含义的活动。实训的目的不仅仅是为了验证与巩固书本上的理论知识,更重要的是培养学生树立正确的科学观念与科学态度,规范的操作习惯以及自学能力、分析能力、创新能力和运用理论知识解决实际问题的工程实践能力等。为力求学以致用,实训项目的安排必须精选,以确保工作中常见的内容,并使学生经受规范和系统的培养与训练。因此实训对学生成才是一个十分重要的教学环节,教师和学生都必须充分重视并保证高质量地完成。

5.1 实训台的基本配置介绍

本节介绍维修电工技能实训课程采用的是中国亚龙科技集团有限公司生产的 YL-WXII 型维修电工实训考核装置,该装置是结合生产实际和职业岗位的技能要求,按照职业学校的教学要求研制和开发的产品,现将它简单介绍如下:

5.1.1 电源

5.1.1.1 单相交、直流可调电源

三相交流电,经三相隔离变压器后,任意引出一组 220V 经单相调压器,变成单相可调电源,电源设有短路保护和过载保护,输出 AC 0~220V。此外,此单相可调交流电经桥式整流并电容滤波后,变成直流可调电源,它有短路保护和数字电压表以显示输出的电压,输出 DC 0~220V。

5.1.1.2 各种交流电源

设有变压器一组,变压器原边根据不同的接线可加 220V,也可以加 380V 交流电源,打开开关,变压器副边即可输出 110V、36V、20V、12V、6.3V 的交流电压以供实验所需。

5.1.1.3 直流可调稳压电源

电源部分设有直流稳压电源和电流调节电位器,调节电位器即可得到 0~24V、0~2A 的直流电。

5.1.1.4 直流稳压电源

电源由开关电源提供,打开开关即可得到 +12V、-12V、+5V 稳定的直流电。

5.1.2 仪表

除电源指示数字电压表外,配置中还有:直流数字电压表 1 只,直流数字电流表 1 只,交流数字电压表 1 只,交流数字电流表 1 只、交流功率表 1 只。

此外电源还配备 4 个 5408 二极管可以完成整流电路实验等实验,以供学生使用。

5.1.3 实训挂板配置

5.1.3.1 挂板 1(SW001)

配置漏电保护开关、熔断器、时间继电器、指示灯、按钮和接线端子排。如图 5.1 所示。

该单元挂板为实训电路提供电源总开关、指令开关、电路的短路保护和电路运行的指示信号。

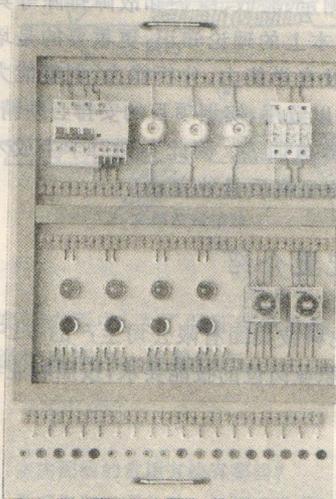


图 5.1 挂板 1

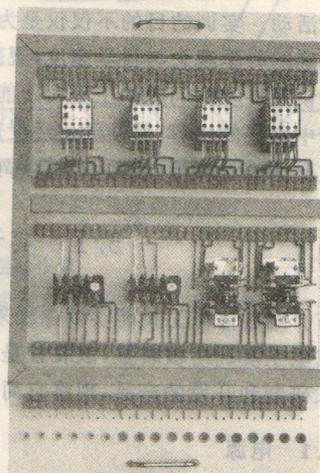


图 5.2 挂板 2

5.1.3.2 挂板 2(SW002)

配置交流接触器、热继电器、时间继电器、接线端子排。如图 5.2 所示。

该单元挂板与挂板 1 同时悬挂,可完成电动机正反转控制、Y- Δ 降压启动、电气制动等基本控制电路和由自锁、互锁、联锁、往返、时间等控制原则与过载、零压等保护组成的电动机控制电路连接实训。也可完成电工上岗、初级、中级考核有关电动机控制电路连接的实训和考核。

5.1.3.3 挂板 3(SW003)

配置电度表、镇流器、日光灯管、时间继电器、启辉器、电流继电器、按钮开关、指示灯、接线端子排。如图 5.3 所示。

该单元挂板可完成日光灯电路、电能测量电路和单元配电板电路的实训。与挂板 1 和挂板 2 配合,可在各种电动机的控制电路中添加过电流保护。该单元挂板也可完成电工上岗、初级、中级考核有关照明电路连接的实训和考核。

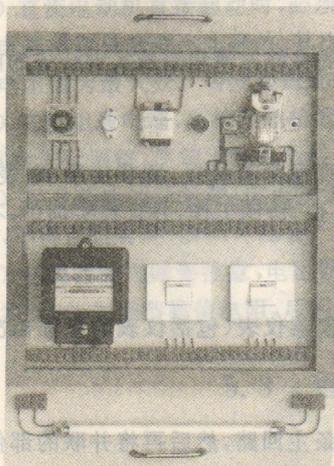


图 5.3 挂板 3

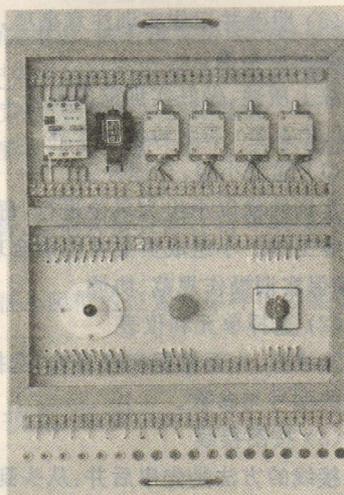


图 5.4 挂板 4

5.1.3.4 挂板 4(SW004)

配置电磁铁、低压断路器、行程开关、急停开关、万能转换开关、十字开关接线端子排等元件。如图 5.4 所示。

该单元挂板与挂板 1 和挂板 2 配合,可完成复杂程度不超过铣床控制电路的电动机控制电路或生产机械控制电路的实训。该单元挂板也可完成电工上岗、初级、中级考核有关生产机械控制电路连接的实训和考核。

5.1.3.5 挂板 5(SW005)

配置三组 $0\sim 90\Omega \times 2/1.3A$ 磁盘电阻、接线端子排等元件。如图 5.5 所示

该单元挂板与挂板 2 配合,可完成电动机定子绕组串联电阻启动、绕线式电动机的转子回路串联电阻启动等功能,同时也可作为直流电动机电枢串联电阻启动等实训。

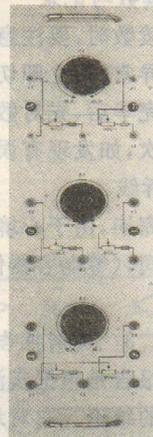


图 5.5 挂板 5

5.2 实训的基本要求与安全操作规程

5.2.1 实训的基本要求

5.2.1.1 实训前的准备

(1) 认真阅读实训指导书,同时对照复习教科书上的相关内容并做好笔记。必须理解并掌握相关的理论知识。

(2) 明确实训目的,列写出实训项目与步骤,并事先去实习基地了解实训装置的结构特点、实训的单元和所需的配件与仪器、仪表。

(3) 明确并记住实训注意事项,因为这些将关系到人身与设备的安全以及实验的成败,因此丝毫大意不得。

综上所述,做好实训前的准备工作,是培养学生的好习惯和完成实训任务的前提。

5.2.1.2 实训的操作过程

(1) 建立小组,合理分工

实训通常以小组为单位进行,每组2~3人。实训通常有接线、调节负载、电表读数、数据记录等工作。小组成员要有明确合理的分工,各就各位,协调工作,并且在实训中,不断进行磋商,确保实训操作规范、协调。

(2) 选择单元和仪表

接线前,先要根据实验目的,选择合适的单元和仪器仪表(包括仪表的量程档次),并记录它们的型号与参数。

(3) 按图接线

接线的方法是先串后并:从头到尾,先串联成一条主回路,然后再将并联的部件一个个并联上去。为查找方便,每路最好采用相同颜色的导线。接线完成后,必须由另一个成员进行检查无误后,方能合闸进行实验。

(4) 读数与记录

仪表读数时,要注意倍率、最小刻度数值、单位和有效数字。

发现异常,要立即切断电源,查找原因,排除故障。

实训完毕后,先对数据进行初步的分析,检查有无异常点,如有,则对此点的有关数据,再次复核一次,如发现有误,则加以更正。

(5) 拆线

实训完毕,由于心境松懈,往往是最容易出事故的时候,因此,拆线前必须先关断电源,再等少许时间,(等电容器储存的电能放掉)后,然后才能拆线,并把导线、仪器和实验单元整理好。

5.2.1.3 实训报告

实训报告是根据实测的数据、实训中观察的现象和发现的问题,进行分析、研究和讨论。得出科学的结论。它对培养学生处理数据、分析图形。归纳结论、撰写科技文件都是十分重要的实践。因此应该重视实训报告的要求与撰写。

实训报告要求思路清晰、文字简明、图表整洁、分析合理、结论明确、书写规范、平整。

5.2.2 实训安全操作规程

为确保实验时的人身安全和设备安全,实训成员必须严格遵守下列安全操作规程

(1) 实训者应要求实训装置具有可靠保护接地、漏电保护、过载保护、绝缘桌面、地毯和安全接插线。

(2) 实训时,人体不可接触裸露带电体。

(3) 接线与拆线时,必须在切断电源的情况下进行。

(4) 合闸时,必须使实训小组全体成员都明确,并且同意。

(5) 遇到异常情况,如闻到异味(如清漆的焦味)、发现机组过热或振动过大(或运转噪声

找原因并排除故障。

(6) 直流电动机直接起动时,必须保证已经通上励磁电源,倘若没有接通励磁电源直接接通电枢电源很容易造成飞车事故,其次要在电枢回路中串联(起动)可变电阻器,并把变阻器滑点置于电阻值为最大处。否则会造成电枢电路电流过大(近似短路),烧坏电机。

(7) 在机组通电前,要检验电机能否灵活转动(检验转子是否被卡住)。若不能灵活地转动,应重新进行调整,使转子能灵活转动。

(8) 实习基地的总电源,应由实训指导教师来控制,其他人员只能在指导教师允许后,方能操作,不得自行合闸,否则可能会产生重大事故。

(9) 电阻器使用时要注意,电阻器不能置于零(或很小阻值的位置),那样很可能把变阻器烧坏。实验时,先调节高值电阻,后调节低值电阻。

5.3 维修电工基本技能实训

5.3.1 日光灯电路安装

5.3.1.1 实训目的

1. 通过电路的安装接线,掌握根据原理图安装接线的方法。
2. 通过实训,加深理解该电路的工作原理。

5.3.1.2 实训电路

按图 5.6 所示接线,经指导教师检查无误后,方可进行实验。

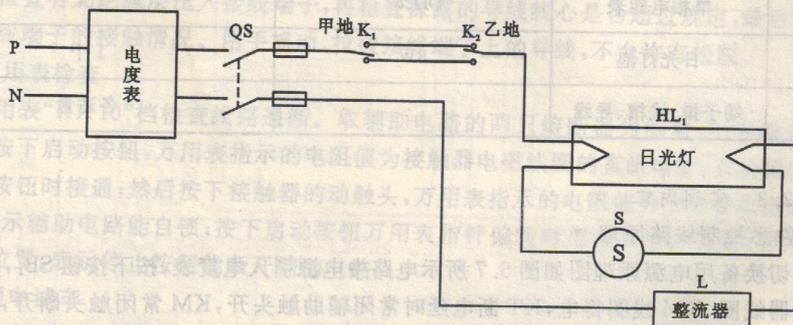


图 5.6 日光灯两地控制线路

由电路可看出, K_1 和 K_2 是两地不同的开关,无论哪个开关闭合/断开,都可以控制日光灯开/关,从而实现两地控制的目的。

5.3.1.3 实训配置

选用亚龙 YL-WXD 系列实训台、挂板 1、挂板 2、挂板 3。

5.3.2 电网过电流自动切换备用电源连接实训

5.3.2.1 实训目的

- (1) 加深对自动切换备用电源电路工作原理的认识;
- (2) 学习自动切换备用电源电路的制作。

5.3.2.1 工具、仪表及器材

- (1) 工具: 螺丝刀、电工钳、剥线钳、尖嘴钳等;
- (2) 仪表: 万用表 1 只;
- (3) 器材: 所需器材如表 5.1 所示(挂板 1+挂板 2+挂板 3)。

表 5.1 技能训练所需器材

| 代号 | 名称 | 型号规格 | 数量 |
|-----------------|-----------|--------------|-----|
| QS | 三相漏电开关 | DZ47LE-32 | 1 个 |
| FU | 熔断器 | RL1-15 | 2 个 |
| SB ₁ | 起动按钮 | LA19-11 | 1 个 |
| KM | 交流接触器 | CJ20-10/220V | 1 个 |
| L | 镇流器 | | 1 个 |
| S | 启辉器 | | 1 个 |
| HL | 指示灯 | AD11-25/40 | 2 个 |
| K | 泰力一开 | | 2 个 |
| KA | 过电流继电器 | JL14 | 1 个 |
| W | 单相电能表 | DD282 | 1 个 |
| | 日光灯泡 | 8W | 1 个 |
| | 端子排、线槽、导线 | | 各适量 |

5.3.2.3 实训内容

(1) 熟悉控制线路原理

自动切换备用电源原理图如图 5.7 所示电路中电源引入电度表,按下按钮 SB₁,KT 线圈、电流继电器线圈、KM 线圈得电,KT 断电时常闭辅助触头开,KM 常闭触头断开,防止备用电源供电。KM 常开辅助触头闭合自锁。当主外部电源断电,备用电源启动时,指示灯 HL₁ 灯亮。由电路可看出, K₁ 和 K₂ 是两地不同的开关,无论哪个开关闭合/断开,都可以控制日光灯开/关,从而实现两地控制的目的。图中过电流继电器主要起到一个过流保护的作用,当电路中电流过大将自动切断电源。

(2) 布置电器元件和安装接线图连接线路

自动切换备用电源电路安装接线图如图 5.8 所示。按接线图的导线编号,在固定好的电器元件之间测量所需的长度,截取适当长度的导线。去除导线两端的绝缘层,套上线号管后将导线直接接入接线端子。

(3) 检查线路

① 核对接线

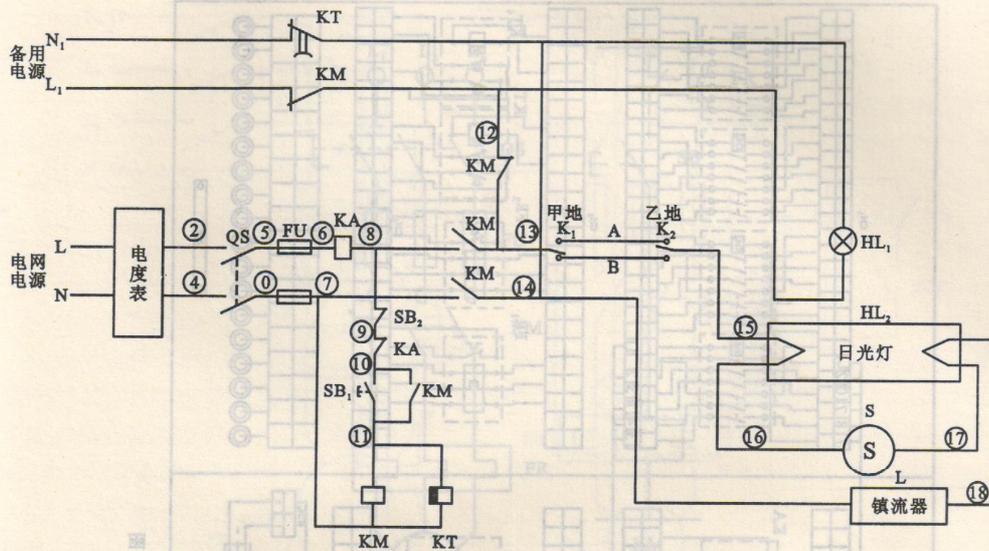


图 5.7 电网过电流自动切换备用电源

线路连接完毕,对照原理图、接线图,从电源端开始逐段核对端子接线的线号,排除错接、漏接;核对同一条导线两端的线号是否相同,重点核对辅助电路中容易接错的线号。

② 检查端子接线是否符合要求

首先检查有无绝缘层压入接线端子,再检查裸露的导线线心是否超过规定,最后检查所有导线与接线端子的接触情况。用手摇动、拉拔接线端子上的导线,不允许有松脱。

③ 万用表检查

用万用表“ $R \times 10$ ”档检查线路通断。取辅助电路的两只熔断器为测量点,先检查有无短路。然后按下启动按钮,万用表指示的电阻值为接触器电磁线圈的直流电阻,表示辅助电路在按下启动按钮时接通;然后按下接触器的动触头,万用表指示的电阻值为接触器电磁线圈的直流电阻,表示辅助电路能自锁;按下启动按钮万用表指针偏转时再按下停止按钮,万用表指针回到“ ∞ ”位置,表示停止按钮能断开辅助电路。

(4) 通电试车

经检查接线正确,可在指导教师的监护下通电试车。

5.3.3 交流异步电动机的点动控制电路

5.3.3.1 实训目的

- (1) 熟悉电动机继电控制元件的组成和作用;
- (2) 掌握最基本的电动机控制电路工作原理和接线。

5.3.3.2 实训电路

按图 5.9 接线,经指导教师检查无误后,方可通电。

5.3.3.3 控制过程

合上电源开关 QS,按下按钮 SB,交流接触器电磁线圈 KM 得电吸合,常开主触头 KM 闭

普通高等院校“十一五”规划教材

工程技术实践

GONGCHENG JISHU SHIJIAN

蔡安江 孟建强 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

林选贤 内容简介 刘平等 高职普

本书是根据教育部普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学的基本要求,结合科技发展、高等教育形势以及高校课程教学改革的研究成果编写而成的。

全书分为4篇13章。第1篇为工程技术实践基础知识,主要内容有工程技术实践背景知识、工程材料与热处理技术,共2章;第2篇为材料成形技术,主要内容有铸造、锻压、焊接,共3章;第3篇为切削加工技术,主要内容有切削加工基本知识、车削加工、铣削加工、刨削与磨削加工、钳工,共5章;第4篇为现代制造技术,主要内容有数控加工、特种加工、机械制造自动化技术,共3章。各章均编写了教学要求和复习思考题,并配有实习报告。本书内容具有基础性、科学性、实践性和先进性,强调对学生工程实践能力、工程素质和创新思维的培养。

本书是高等学校各专业本、专科工程实践教学的基本教材,也可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程技术实践/蔡安江,孟建强编著. —北京:国防工业出版社,2009.4 重印

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06056-0

I. 工... II. ①蔡... ②孟... III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 202692 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)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17 字数 388 千字

2009 年 4 月第 2 次印刷 印数 5001—8000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本书为适应高等工程教育改革,加强对学生工程实践能力、工程素质和创新思维的培养,根据教育部普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学的基本要求,在认真总结多年工程实践教学改革经验的基础上,结合科技发展、高等学校实际编写而成。

本书在内容体系上力求创新与优化,正确处理了实践教学与理论教学、传统制造技术与现代制造技术之间的关系,在介绍传统工程技术的工艺与方法的同时,突出并融合了工程技术领域应用较多的新材料、新工艺、新设备和新技术,拓宽了学科的技术基础,在加强基础理论的同时,更加注重理论知识在生产中的应用性或可操作性,使学生对工程技术有一个整体的认识。

本书在编写过程中遵循教育教学规律,体现以学生为本、以学生为中心的教育思想,注重传授知识与素质和能力培养的结合,加强对学生工程能力、工程素质和创新思维的训练,培养学生的自学能力和乐于探知的精神。书中全面采用最新国家标准的计量单位、名词术语、材料牌号等,力求做到结构紧凑、文字简洁、图文并茂、重点突出、通俗易懂,并在各章都明确了教学基本要求,配有复习思考题和实习报告。书中的重要术语都附有英语注释,以方便双语教学。

本书由西安建筑科技大学、西北工业大学和西安石油大学组织编写、审阅。蔡安江、孟建强担任主编,阮晓光、郭师虹、戴融担任副主编。蔡安江负责全书的统编定稿;郭师虹负责书中全部图形的计算机绘制、处理及重要术语的英语注释;阮晓光、岑启宏负责校稿。

参加本书编写的有:西安建筑科技大学蔡安江(第5章和11.1节~11.3节、11.5节~11.7节)、阮晓光(第7章和第8章)、郭师虹(11.4节、13.1节、13.2节、13.6节和附录)、岑启宏(第2章)、林红(第3章)、惠旭升(10.1节~10.5节)、吴琼(12.1节~12.3节、实习报告)、李红侠(实习报告)、杨蕾(13.3节、13.5节)、王凯(12.4节和13.8节);西北工业大学孟建强(1.3节、1.4节)、杨桂芳(第6章、13.4节、13.7节);陕西科学技术馆戴融(1.1节、1.2节、10.6节、10.7节);洛阳理工学院吴锐(第4章)、阚长华(9.1节)、许元奎(9.2节、9.3节)。

本书承蒙西北工业大学陈立怡教授、西安建筑科技大学许云华教授和西安石油大学陈隽高级工程师担任主审。在本书的编写过程中,得到了西安建筑科技大学、西北工业大学和西安石油大学教务处及有关同志的大力支持,并提出了许多宝贵的建议,在此特表示衷心的感谢。此外,本书的编写参考选用了近几年来国内出版的有关教材、论著和手册,在此向有关的著作者表示诚挚的谢意。

限于作者水平,加之本课程体系的创新,许多问题有待于探讨与实践总结,缺点和疏漏之处在所难免,诚望广大读者批评指正。

作者

2008年12月

III

目 录

第1篇 工程技术实践基础知识

| | | | |
|-----------------------|----|-----------------------|----|
| 第1章 工程技术实践背景知识 | 1 | 第2章 工程材料与热处理技术 | 12 |
| 1.1 制造与制造系统 | 1 | 2.1 金属材料的性能 | 12 |
| 1.1.1 制造 | 1 | 2.1.1 力学性能 | 12 |
| 1.1.2 制造系统 | 2 | 2.1.2 工艺性能 | 13 |
| 1.2 工业生产模式 | 4 | 2.2 工程材料的分类及应用 | 13 |
| 1.2.1 传统自动化生产模式 | 4 | 2.2.1 钢铁材料 | 14 |
| 1.2.2 现代自动化生产模式 | 4 | 2.2.2 有色金属 | 15 |
| 1.3 产品质量与产品开发 | 5 | 2.2.3 其他工程材料 | 15 |
| 1.3.1 产品质量 | 5 | 2.2.4 钢铁材料的火花鉴别 | 17 |
| 1.3.2 产品开发 | 6 | 2.3 钢的热处理 | 18 |
| 1.4 工程经济与环境保护 | 7 | 2.3.1 热处理设备 | 18 |
| 1.4.1 工程经济 | 7 | 2.3.2 普通热处理 | 19 |
| 1.4.2 环境保护 | 8 | 2.3.3 表面热处理 | 20 |
| 复习思考题 | 11 | 2.3.4 热处理技术的新发展 | 21 |
| | | 复习思考题 | 23 |

第2篇 材料成形技术

| | | | |
|-----------------------|----|------------------------|----|
| 第3章 铸造 | 24 | 3.3.3 落砂和清理 | 34 |
| 3.1 概述 | 24 | 3.4 铸件质量分析 | 34 |
| 3.2 砂型铸造 | 25 | 3.5 特种铸造 | 36 |
| 3.2.1 造型材料 | 25 | 3.5.1 金属型铸造 | 36 |
| 3.2.2 造型方法 | 26 | 3.5.2 熔模铸造 | 37 |
| 3.2.3 造芯 | 29 | 3.5.3 压力铸造 | 37 |
| 3.2.4 造型工艺 | 31 | 3.5.4 离心铸造 | 38 |
| 3.2.5 铸型 | 33 | 3.6 铸造技术的发展 | 38 |
| 3.2.6 合型 | 33 | 3.6.1 计算机技术在铸造中的 | 39 |
| 3.3 合金的熔炼、浇注与清理 | 33 | 应用 | 39 |
| 3.3.1 熔炼 | 33 | 3.6.2 铸造新技术的发展 | 39 |
| 3.3.2 浇注 | 34 | 复习思考题 | 40 |

| | | | |
|----------------------|----|----------------------|----|
| 第4章 锻压..... | 41 | 第5章 焊接..... | 53 |
| 4.1 概述..... | 41 | 5.1 概述..... | 53 |
| 4.2 锻造工艺过程..... | 41 | 5.2 焊条电弧焊..... | 53 |
| 4.2.1 加热..... | 41 | 5.2.1 焊接电弧..... | 54 |
| 4.2.2 锻造成形..... | 43 | 5.2.2 电弧焊设备..... | 54 |
| 4.2.3 冷却、检验和热处理..... | 43 | 5.2.3 焊条..... | 55 |
| 4.3 锻压方法..... | 43 | 5.2.4 焊条电弧焊工艺..... | 56 |
| 4.3.1 自由锻..... | 43 | 5.3 气焊与切割..... | 58 |
| 4.3.2 胎模锻..... | 46 | 5.3.1 气焊..... | 58 |
| 4.3.3 模锻..... | 46 | 5.3.2 切割..... | 60 |
| 4.3.4 板料冲压..... | 47 | 5.4 焊接缺陷与质量检验..... | 61 |
| 4.4 特种锻压..... | 49 | 5.4.1 焊接缺陷..... | 61 |
| 4.4.1 特种锻造..... | 49 | 5.4.2 焊接质量检验..... | 62 |
| 4.4.2 特种冲压..... | 49 | 5.5 其他焊接方法与特种焊接..... | 62 |
| 4.5 锻压技术的发展..... | 50 | 5.5.1 其他焊接方法..... | 62 |
| 4.5.1 计算机技术在锻压中的 | | 5.5.2 特种焊接..... | 64 |
| 应用..... | 51 | 5.6 焊接技术的发展..... | 65 |
| 4.5.2 锻压新工艺的发展 | | 5.6.1 计算机技术在焊接中的 | |
| 趋势..... | 51 | 应用..... | 65 |
| 复习思考题..... | 52 | 5.6.2 焊接技术的新发展..... | 66 |
| | | 复习思考题..... | 67 |

第3篇 切削加工技术

| | | | |
|--------------------|----|--------------------|----|
| 第6章 切削加工基本知识..... | 68 | 6.5.4 百分尺..... | 73 |
| 6.1 概述..... | 68 | 6.5.5 百分表..... | 73 |
| 6.2 切削运动和切削用量..... | 68 | 6.5.6 量规..... | 73 |
| 6.2.1 切削运动..... | 68 | 6.5.7 塞尺..... | 74 |
| 6.2.2 切削用量..... | 69 | 6.5.8 直角尺..... | 74 |
| 6.3 常用刀具材料..... | 70 | 复习思考题..... | 75 |
| 6.4 切削液..... | 71 | 第7章 车削加工..... | 76 |
| 6.4.1 切削液的种类..... | 71 | 7.1 概述..... | 76 |
| 6.4.2 切削液的选用..... | 71 | 7.2 车床..... | 77 |
| 6.5 常用量具..... | 71 | 7.2.1 车床的型号..... | 77 |
| 6.5.1 钢直尺..... | 71 | 7.2.2 车床的组成..... | 77 |
| 6.5.2 卡钳..... | 71 | 7.2.3 车床的传动系统..... | 78 |
| 6.5.3 游标卡尺..... | 72 | 7.2.4 车床附件..... | 79 |

| | | | |
|-------------------|-----|----------------|-----|
| 7.2.5 其他车床 | 80 | 9.1.1 概述 | 104 |
| 7.3 车刀 | 81 | 9.1.2 刨床 | 104 |
| 7.3.1 车刀的组成和结构 | 82 | 9.1.3 刨刀 | 107 |
| 7.3.2 车刀的几何角度 | 82 | 9.1.4 刨削加工方法 | 108 |
| 7.3.3 车刀的安装 | 83 | 9.1.5 插削与拉削加工 | 109 |
| 7.3.4 车刀的刃磨 | 84 | 9.2 磨削加工 | 110 |
| 7.4 车削加工方法 | 84 | 9.2.1 概述 | 110 |
| 7.4.1 车削外圆 | 85 | 9.2.2 磨床 | 111 |
| 7.4.2 车削端面 and 台阶 | 86 | 9.2.3 砂轮 | 113 |
| 7.4.3 孔加工 | 87 | 9.2.4 磨削加工方法 | 114 |
| 7.4.4 车削锥面 | 88 | 9.3 磨削新技术及发展 | 116 |
| 7.4.5 车削成形面 | 89 | 复习思考题 | 116 |
| 7.4.6 切槽和切断 | 90 | 第10章 钳工 | 118 |
| 7.4.7 车削螺纹 | 90 | 10.1 概述 | 118 |
| 7.4.8 滚花 | 92 | 10.2 划线 | 118 |
| 复习思考题 | 92 | 10.2.1 划线的作用 | 118 |
| 第8章 铣削加工 | 93 | 10.2.2 划线工具 | 119 |
| 8.1 概述 | 93 | 10.2.3 划线涂料 | 120 |
| 8.2 铣床 | 94 | 10.2.4 划线基准 | 120 |
| 8.2.1 铣床的型号 | 94 | 10.2.5 划线分类 | 121 |
| 8.2.2 铣床的组成 | 94 | 10.3 銮削、锯削和锉削 | 122 |
| 8.2.3 铣床附件 | 95 | 10.3.1 銮削 | 122 |
| 8.2.4 其他类铣床 | 96 | 10.3.2 锯削 | 123 |
| 8.3 铣刀 | 97 | 10.3.3 锉削 | 125 |
| 8.3.1 铣刀的种类 | 97 | 10.4 钻削 | 128 |
| 8.3.2 铣刀的安装 | 97 | 10.4.1 钻孔 | 128 |
| 8.4 铣削加工方法 | 99 | 10.4.2 扩孔 | 130 |
| 8.4.1 铣削平面 | 99 | 10.4.3 铰孔 | 131 |
| 8.4.2 铣削台阶 | 99 | 10.5 攻螺纹与套螺纹 | 131 |
| 8.4.3 铣削斜面 | 99 | 10.5.1 攻螺纹 | 131 |
| 8.4.4 铣削沟槽 | 100 | 10.5.2 套螺纹 | 132 |
| 8.4.5 铣削成形面 | 101 | 10.6 刮削与研磨 | 133 |
| 8.4.6 齿形加工 | 101 | 10.6.1 刮削 | 133 |
| 8.5 铣削新技术及发展 | 102 | 10.6.2 研磨 | 135 |
| 复习思考题 | 103 | 10.7 装配 | 135 |
| 第9章 刨削与磨削加工 | 104 | 10.7.1 零件连接方式 | 135 |
| 9.1 刨削加工 | 104 | 10.7.2 装配工艺过程 | 136 |
| | | 10.7.3 典型零件的装配 | 137 |

| | | | |
|-------------------|-----|-------------|-----|
| 10.7.4 拆卸工艺 | 138 | 复习思考题 | 139 |
|-------------------|-----|-------------|-----|

第4篇 现代制造技术

| | | | |
|------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 第11章 数控加工 | 140 | 应用 | 181 |
| 11.1 概述 | 140 | 12.2.4 电火花加工机床 | 181 |
| 11.2 数控机床 | 141 | 12.2.5 电火花成形加工 | 183 |
| 11.2.1 数控机床的组成 | 141 | 12.3 电火花线切割加工 | 185 |
| 11.2.2 数控机床的分类 | 142 | 12.3.1 概述 | 185 |
| 11.2.3 数控机床加工零件的 过程 | 144 | 12.3.2 电火花线切割机床 | 186 |
| 11.3 数控系统 | 145 | 12.3.3 电火花线切割的 编程 | 187 |
| 11.4 数控编程 | 147 | 12.4 其他常用特种加工 | 189 |
| 11.4.1 概述 | 147 | 12.4.1 激光加工 | 189 |
| 11.4.2 数控的插补原理 | 149 | 12.4.2 超声加工 | 190 |
| 11.4.3 数控机床坐标系 | 150 | 12.4.3 电解加工 | 191 |
| 11.4.4 程序编制中的 坐标系 | 152 | 12.4.4 电子束加工 | 192 |
| 11.4.5 数控编程常用工艺 指令 | 152 | 12.4.5 离子束加工 | 193 |
| 11.4.6 数控加工程序 | 160 | 12.4.6 复合加工 | 193 |
| 11.5 数控机床加工 | 162 | 复习思考题 | 194 |
| 11.5.1 数控车削加工 | 163 | 第13章 机械制造自动化技术 | 195 |
| 11.5.2 数控铣削加工 | 168 | 13.1 概述 | 195 |
| 11.6 加工中心 | 171 | 13.2 CAD/CAM 技术 | 197 |
| 11.6.1 加工中心的组成 | 172 | 13.2.1 概述 | 197 |
| 11.6.2 加工中心的分类 | 173 | 13.2.2 CAD/CAM 系统的 结构 | 197 |
| 11.6.3 加工中心编程 | 174 | 13.2.3 CAD/CAM 技术在工业中 的应用与发展 | 200 |
| 11.7 数控技术的发展 | 176 | 13.3 工业机器人 | 201 |
| 复习思考题 | 178 | 13.3.1 概述 | 201 |
| 第12章 特种加工 | 179 | 13.3.2 工业机器人的组成 | 201 |
| 12.1 概述 | 179 | 13.3.3 工业机器人的分类 | 202 |
| 12.2 电火花加工 | 180 | 13.3.4 工业机器人的应用与 发展 | 203 |
| 12.2.1 电火花加工的基本 原理 | 180 | 13.4 快速原型制造技术 | 205 |
| 12.2.2 电火花加工的工艺 特点 | 181 | 13.4.1 概述 | 205 |
| 12.2.3 电火花加工的分类及 | 72 | 13.4.2 快速原型制造技术的 方法 | 206 |
| | | 13.4.3 快速原型制造技术的 | 79 |

| | | | |
|----------------------|-----|---------------------|-----|
| 现状..... | 208 | 13.6.3 计算机集成制造系统的 | |
| 13.4.4 快速原型制造技术的 | | 特点..... | 215 |
| 应用与发展 | 209 | 13.7 自动检测技术 | 216 |
| 13.5 柔性制造技术 | 210 | 13.7.1 概述..... | 216 |
| 13.5.1 概述..... | 210 | 13.7.2 自动检测原理与方法 | |
| 13.5.2 柔性制造单元 | 211 | | 217 |
| 13.5.3 柔性制造系统 | 212 | 13.7.3 三坐标测量机 | 217 |
| 13.6 计算机集成制造系统 | 214 | 13.8 机械制造自动化技术的 | |
| 13.6.1 概述..... | 214 | 发展 | 220 |
| 13.6.2 计算机集成制造系统的 | | 复习思考题 | 221 |
| 组成及其功能 | 214 | | |
| 附录 重要术语中英文对照表..... | 222 | | |
| 参考文献..... | 230 | | |

1.1 制造与制造系统

1.1.1 制造

制造的英文为 Manufacturing 或 Manufacture, 源于两个拉丁词汇, manu(手)和 facturi(做), 它的起源准确地反映了几百年来人们对制造的理解, 即“用手工制作”或“手工做”。制造是人类利用手工或借助于工具, 运用所掌握的知识 and 技能, 采用有效的方法, 有目的地将制造资源(物料、能源、设备工具、资金、技术、信息和人力等)转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品, 并投放市场的全过程。制造是人类所有经济活动的基石, 是人类历史发展和文明进步的动力。

制造是将制造资源通过制造过程转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业, 它涉及到国民经济的很多行业, 如机械、电子、轻工、化工、食品、军工、航天等, 制造业是国民经济的支柱产业, 对提高综合国力具有举足轻重的作用。机械制造业是为国民经济提供技术装备的工业部门, 其技术水平和发 展速度在很大程度上决定着国民经济各部门的技术水平、质量水平和经济效益。

制造过程(Manufacturing Process)是制造业的基本行为, 是将制造资源转变为可用产品并使其正常使用的全过程。制造过程作为一个整体又是组成制造业的基本环节, 对整个制造业水平的提高具有基础性的地位, 其主要组成如图 1-1 所示。

制造技术(Manufacturing Technology)是完成制造活动所需一切手段的总和; 是制造领域的技术统称。机械制造技术是实现机械制造过程的最基本环节。在机械加工系统的物理过程中, 材料的质量和性能是通过制造技术的实施而发生变化的。与此相应, 机械加工制造技术分为材料成形法、材料去除法和材料累积法。

材料成形法是将原材料转化成所需形状、尺寸及要求的产品的加工方法, 主要用来制造

第4章 锻 压

教学要求:通过学习,学生应了解锻压加工的分类及特点;了解碳钢的加热与锻件的冷却;了解自由锻设备的结构和工作原理;掌握机器自由锻典型零件的锻制与简单冲压件的工艺过程;了解锻压技术的新发展。

4.1 概 述

锻压是对坯料施加外力,使其产生塑性变形,获得具有一定形状、尺寸和性能的毛坯或零件的成形加工方法。它是锻造和冲压的总称,以锻压加工方法获得的金属制件分别称为锻件和冲压件。

锻造(Forging)是指在锻锤的冲击力或压力机的静压力的作用下,使加热的金属坯料产生局部或全部的塑性变形而获得锻件的加工方法。根据成形方法不同,锻造分为自由锻、胎模锻和模锻。经锻造后的金属材料,其内部缺陷(裂纹、疏松、气孔等)被压合,组织致密,晶粒细小,力学性能显著提高,因此,锻造被广泛应用于承受重载或冲击载荷的重要零件和毛坯的制造。

冲压(Stamping)是指金属板料在冲模的作用下进行分离和变形而获得毛坯或零件的加工方法。冲压一般在常温下进行,因此也称为冷冲压。冲压的生产效率极高,冲压件具有结构轻、刚性好、精度高、互换性好等特点,被广泛应用于汽车、航空、仪表及日用品等行业。

锻压材料应具有良好的塑性。常用的锻造材料有钢、铜、铝及其合金等。锻造用钢分为钢锭和钢坯。大中型锻件宜选用钢锭,小型锻件宜选用钢坯。钢坯是钢锭经轧制或锻造而成的圆形或方形棒料,一般用剪切、锯割或氧气切割等方法截取所需的坯料。常用的冲压材料有低碳钢、低合金钢、铜合金、铝合金等。

4.2 锻造工艺过程

锻造的工艺过程一般包括下料、加热、锻造成形、冷却、检验和热处理。

4.2.1 加热

锻造前对金属坯料进行加热的目的是为了提高其塑性,降低变形抗力,改善可锻性。加热是锻造生产过程中的重要环节,直接影响生产效率、产品质量及材料的利用率。

1. 锻造温度范围

锻造温度范围是指坯料开始锻造的温度(始锻温度)和终止锻造的温度(终锻温度)

之间的范围。始锻温度在保证不产生加热缺陷的前提下应尽可能提高;终锻温度在保证坯料有足够塑性的前提下应尽可能降低。这样便于扩大锻造温度范围,以减少加热次数,提高锻件质量。常用材料的锻造温度范围如表4-1所列。

表4-1 常用材料的锻造温度范围

| 材料种类 | 始锻温度/℃ | 终锻温度/℃ | 材料种类 | 始锻温度/℃ | 终锻温度/℃ |
|-------|-----------|---------|------|-----------|---------|
| 碳素结构钢 | 1200~1250 | 800 | 耐热钢 | 1100~1150 | 800~850 |
| 合金结构钢 | 1100~1200 | 800~850 | 弹簧钢 | 1100~1150 | 800~850 |
| 碳素工具钢 | 1050~1150 | 750~800 | 轴承钢 | 1080 | 800 |
| 合金工具钢 | 1050~1150 | 800~850 | 铝合金 | 450~500 | 350~380 |
| 高速工具钢 | 1100~1150 | 900 | 铜合金 | 800~900 | 650~700 |

锻造时,加热温度可用仪表(热电高温计或光学高温计)测量或用自动检测调控炉温等方法来控制。但一般锻钢件的锻造温度范围大,现场多用观察火色的方法大致判断。锻钢加热温度与其火色的关系如表4-2所列。

表4-2 锻钢加热温度与其火色的关系

| 加热温度/℃ | 1300 | 1200 | 1100 | 900 | 800 | 700 | 600以下 |
|--------|------|------|------|-----|-----|-----|-------|
| 火色 | 黄白 | 淡黄 | 黄 | 淡红 | 樱红 | 暗红 | 赤褐 |

2. 钢的加热缺陷

钢在锻压加热过程中,可能产生的加热缺陷如表4-3所列。

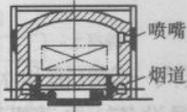
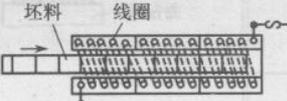
表4-3 钢常见的加热缺陷

| 名称 | 实质 | 危害 | 防止(减少)措施 |
|----|------------------------------|---------------------------|---|
| 氧化 | 坯料表面铁元素氧化,使表层金属变成氧化皮而烧损 | 烧损材料,降低锻件精度和表面质量,降低模具使用寿命 | 快速加热,减少高温区的加热时间,采用控制炉气成分的少、无氧化加热或电加热或表面涂保护层 |
| 脱碳 | 坯料表面碳分子氧化,造成表层含碳量减少,形成脱碳层 | 降低锻件表面硬度,表层易产生龟裂 | |
| 过热 | 超过规定温度或在始锻温度下保温时间过长,造成内部晶粒粗大 | 锻件的力学性能降低,锻造时易产生裂纹 | 严格控制加热温度和保温时间,保证锻后有变形量来破碎粗晶或锻后热处理 |
| 过烧 | 加热到接近材料熔化温度并长时间停留,造成晶粒界面杂质氧化 | 一锻即碎,无法锻造 | 严格控制加热温度、保温时间和炉气成分 |
| 裂纹 | 坯料内外温差大,组织变化不均,造成材料内应力过大 | 坯料内部产生裂纹、报废 | 严格控制加热速度和装炉温度 |

3. 加热设备

按所用热源的不同,锻造加热设备分为火焰加热炉(燃料炉)和电加热炉(电炉)两大类。火焰加热炉常用烟煤、焦炭、重油、煤气等做燃料,利用燃料燃烧的高温火焰将锻坯加热。常用的火焰加热炉有手锻炉、反射炉、重油炉和煤气炉;常用的电加热炉有电阻加热炉、接触电加热炉和感应加热炉等。常用工业锻造加热炉如表4-4所列。

表 4-4 常用工业锻造加热炉

| 炉形 | | 简图 | 特点及适用场合 |
|--------|------------|---|--|
| 燃料箱式电炉 | 煤气炉 重油炉 |  | 加热较迅速,加热质量一般,适于加热大型单件坯料或成批中、小坯料。根据不同情况,还可间歇加热或连续加热 |
| | 电阻炉 |  | 加热温度、炉气成分易控制,加热质量较好,结构简单,适于加热中、小型单件或成批且加热质量要求较高的坯料 |
| 炉 | 中频、工频感应炉 |  | 感应线圈形状根据坯料形状而制成,加热迅速、效率高、加热质量很好,适于加热批量大、质量要求高的特定形状坯料 |

4.2.2 锻造成形

金属坯料加热后,按锻件图的要求将坯料锻造成形。不同的生产条件和生产规模有不同的锻造方法。在单件、小批生产中用自由锻造,目前,手工自由锻已逐步为机器自由锻所取代,在成批、大量生产中则用模锻。

4.2.3 冷却、检验和热处理

锻件的冷却是指锻件从终锻温度冷却到室温。为获得力学性能合格的锻件,应采取不同的冷却方式。冷却方式主要根据材料的化学成分、锻件形状特点和截面尺寸等因素确定,锻件的形状越复杂、尺寸越大,冷却速度应越慢。常用的冷却方式如表 4-5 所列。

表 4-5 锻件的冷却方式

| 方式 | 特点 | 适用场合 |
|---------|---------------------|------------------------|
| 空冷 | 锻后置空气中冷却,冷速快,晶粒细化 | 低碳,低合金钢中、小锻件或锻后不直接切削加工 |
| 坑冷(或箱冷) | 锻后置干沙坑内或箱内堆在一起,冷速稍慢 | 一般锻件,锻后可直接切削 |
| 炉冷 | 锻后置原加热炉中,随炉冷却,冷速极慢 | 含碳或合金成分较高的中、大锻件,锻后可切削 |

锻后的零件或毛坯要按图样技术要求进行检验。经检验合格的锻件,最后进行热处理。结构钢锻件采用退火或正火处理;工具钢锻件采用正火加球化退火处理;对于不再进行最终热处理的中碳钢或合金结构钢锻件,可进行调质处理。

4.3 锻压方法

4.3.1 自由锻

自由锻(Free Forging)是指用简单的通用工具或在锻造设备的上、下砧之间使坯料自

由塑性变形而获得锻件的加工方法。

自由锻使用的工具简单、操作灵活,但锻件的成形精度低、生产效率低,主要适用于单件小批或单件、巨型锻件的生产。

1. 自由锻设备和工具

机器自由锻常用的锻造设备有空气锤、蒸汽—空气锤和水压机。

空气锤是一种由电动机驱动的小型自由锻设备。电动机通过减速机构和曲柄连杆机构推动压缩缸中的压缩活塞产生压缩空气,再通过上、下旋阀的配气作用,使压缩空气进入工作缸的上腔或下腔,推动落下部分(活塞、锤头和上砧组成)上升或下降,完成各种打击动作。空气锤通过操纵手柄或脚踏板的位置来控制旋阀,以改变压缩空气的流向,来实现上悬、下压、单打、连打及空转五个动作的循环,如图4-1所示。

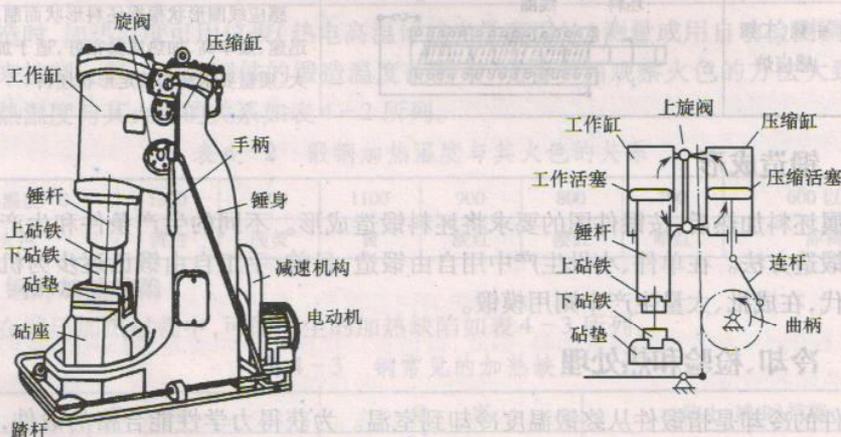


图4-1 空气锤

空气锤一般用于单件、小批量生产中、小型锻件(锻造质量在100 kg以下)或制坯、修理场合。其规格是由落下部分(锤杆、上砧等)的质量来表示的,打击力约为落下部分质量的800倍~1000倍。

蒸汽—空气锤是以锅炉提供的蒸汽或压缩机提供的压缩空气为动力来进行锻造的,主要用于锻造质量在70kg~700kg的中小型锻件。

水压机是通过高压水进入工作缸而产生静压力作用于坯料来进行锻压的,其压力为5000kN~125000kN,可锻压1t~300t的钢锭,是大型锻件的生产设备。

自由锻常用工具有锻打工具(大锤、手锤)、支持工具(铁砧)、成形工具(冲子、平锤、摔锤、胎模)、夹持工具(手钳)、衬垫工具和测量工具(钢尺、卡钳)等。

2. 自由锻的基本工序

自由锻工序分为基本工序、辅助工序和精整工序。其中基本工序是实现锻件变形的基本成形工序;辅助工序是为便于基本工序的实现而对坯料进行的预先变形,如压肩、倒棱、压钳口等;精整工序是在基本工序后对锻件进行的整形工序,如摔光、校直、滚圆等。

自由锻的基本工序有镦粗、拔长、冲孔、弯曲和切割等,如表4-6所列。

表 4-6 机器自由锻的基本工序

| 名称 | 定义 | 简图 | 名称 | 定义 | 简图 |
|--------|--------------------------|----|----|------------------------|----|
| 锻粗 | 完全锻粗 降低坯料高度,增加截面面积 | | 扩孔 | 将已有孔扩大(用冲头) | |
| | 局部锻粗 局部减少,坯料高度,增加截面面积 | | | 将已有孔扩为大孔(用马架) | |
| 拔长(延长) | 减少坯料截面面积,增加长度 | | 切割 | 用切刀等将坯料上的一部分,局部分离或全部切离 | |
| 冲孔 | 在坯料上锻制出通孔 | | 弯曲 | 改变坯料轴线形状 | |

(1) 锻粗(Upsetting)常用于锻造齿轮、凸轮和圆盘形锻件,也作为冲孔和提高拔长锻造比的准备工序。

锻粗的操作规则是:坯料锻粗部分的高度与其直径之比应小于 2.5,否则易锻弯;坯料的加热温度采用最高始锻温度,且要均匀热透;坯料的端面应平整,并与轴线垂直。

(2) 拔长常用于轴类、杆类和长筒形锻件,也与锻粗相结合,作为改善坯料内部组织、提高锻件力学性能的准备工序。

拔长的操作规则是:坯料的下料长度应大于直径或边长;局部拔长(凹槽或台阶)前应压肩;方截面坯料拔长时应不断翻转,如图 4-2 所示;圆料的拔长如图 4-3 所示。

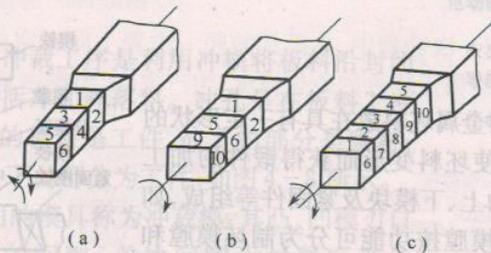


图 4-2 坯料拔长时的翻转

(a) 反复翻转 90°; (b) 沿螺旋线旋转 90°; (c) 锻完一面后再转 90°。

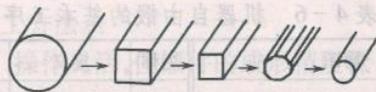


图 4-3 圆料的拔长方法

(3) 冲孔常用于锻造齿轮、套筒和圆环等锻件。冲孔的操作规则是:孔径小于 450mm 的可用实心冲子冲孔;孔径大于 450mm 的可用空心冲子冲孔;孔径小于 30mm 的一般不冲孔。冲孔前将坯料镦粗以改善坯料的组织性能及减小冲孔的深度;坯料的加热温度应采用最高始锻温度,且均匀热透。

4.3.2 胎模锻

胎模锻(Blocker-type Forging)是在自由锻设备上使用简单的不固定模具(胎模)生产锻件的锻造方法。胎模锻兼有自由锻和模锻的特点,一般用自由锻制坯,再在胎模中最后成形。

胎模按其结构可分为摔模、扣模、套筒模和合模等,如图 4-4 所示。摔模适用于锻造回转体轴类锻件;扣模适用于生产非回转体锻件的局部或整体成形,或为合模锻造制坯;套筒模适用于生产回转体盘类锻件;合模适用于生产形状复杂的非回转体锻件。

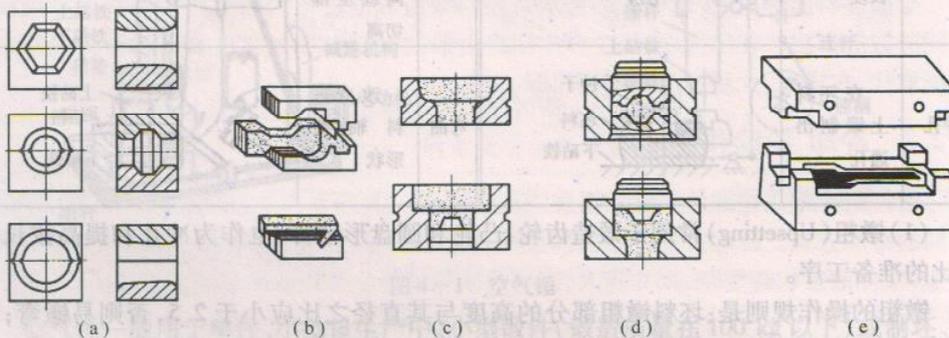


图 4-4 胎模种类

(a)摔模;(b)扣模;(c)、(d)套筒模;(e)合模。

胎模锻与自由锻相比,可获得形状较复杂、尺寸较精确的锻件,且设备、工具简单,工艺灵活,适应性强,生产率较高,主要用于生产中小批量的小型锻件或无模锻设备的企业。

4.3.3 模锻

模锻是将加热后的金属坯料放在具有一定形状的锻模模膛内,利用模具使坯料变形而获得锻件的加工方法。锻模是由模膛的上、下模块及紧固件等组成,如图 4-5 所示。锻模的模膛按功能可分为制坯模膛和模锻模膛。

模锻设备分为锤上模锻和压力机模锻。锤上模锻是在蒸汽-空气模锻锤上进行的;常用的模锻压力机

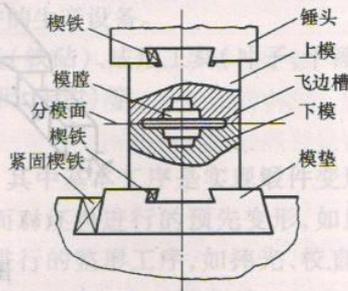


图 4-5 锻模

有曲柄压力机、摩擦压力机、平锻机和液压机等。

模锻与自由锻相比,能生产形状复杂的锻件,精度高,表面质量好,生产率高,易于实现自动化,适用于批量生产中小型毛坯(汽车的曲轴、连杆、齿轮等)和日用五金工具(手锤、扳手等)。但模锻的设备投资大;生产准备周期,尤其是锻模的设计制造周期长,成本高;工艺灵活性差。

4.3.4 板料冲压

板料冲压是在冲压设备上利用冲模使板料分离或变形而制造毛坯或零件的加工方法。冲压使用的坯料是塑性良好的经轧制的板料,成卷的条料及带料,其厚度一般不超过 10mm。

冲压件质量小、强度和刚度好、尺寸精确、表面光洁;生产过程易实现机械化和自动化,生产率高,广泛应用于汽车、航空、电子、仪表和日用品等工业部门。但冲模的设计制造周期长,成本高,适用于大批量生产。

1. 冲压设备

冲压设备分为剪床和冲床。

剪床是将板料切成一定宽度的条料,是冲压生产的备料设备,如图 4-6 所示。剪切 (Shearing) 是使板料沿不封闭轮廓分离的工序。

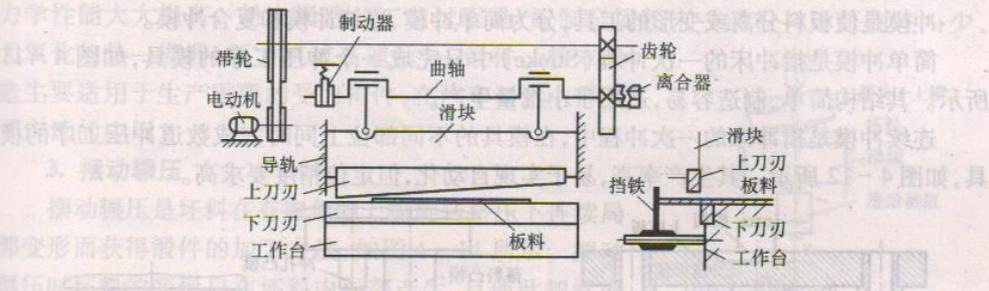


图 4-6 剪床

冲床是进行冲压加工的基本设备,如图 4-7 所示。冲压时冲模的凸模(或冲头)装在滑块的下端,凹模装在工作台上,冲床的曲柄-连杆机构将旋转运动转变成滑块的上、下往复运动,实现冲压。

2. 冲压的基本工序

冲压的基本工序分为分离工序(冲孔和落料)和变形工序(弯曲和拉深)。

(1) 冲裁工序。冲裁工序是利用冲模将板料沿封闭轮廓分离的工序,包括冲孔和落料。冲孔是在板料上冲出所需的孔,冲孔后的板料是工件,冲下的部分是废料;落料则是从板料上冲下的部分为工件,如图 4-8 所示。

冲孔和落料所用的模具称为冲裁模,其凸、凹模刃口须锋利且应有很小的间隙(单边间隙为材料厚度的 5%~10%)。

(2) 弯曲和拉深。弯曲是使板料的一部分相对于另一部分弯成一定角度的变形工

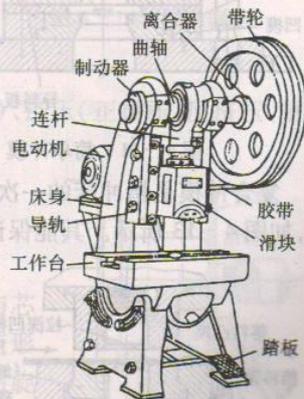


图 4-7 冲床

序,如图4-9所示。

在冲床上可用弯曲模使工件弯曲。弯曲模上使工件弯曲的工作部分要做适当的圆角,以免将工件弯裂。

拉深是使板料成形为开口空心件的变形工序,如图4-10所示。为了避免零件拉裂,拉深模的凸模和凹模的工作部分应加工成光滑的圆角;凸、凹模之间还应留有一定(略大于坯料厚度)的间隙;拉深过程中须用压边圈将板料边缘压紧,以防起皱。

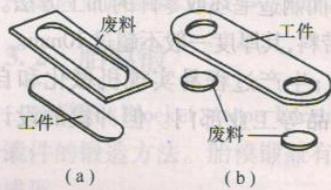


图4-8 落料和冲孔
(a)落料;(b)冲孔。

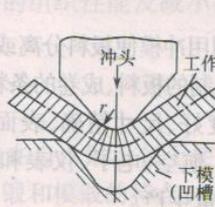


图4-9 弯曲

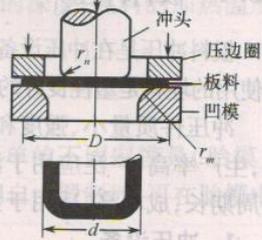


图4-10 拉深

3. 冲压模具

冲模是使板料分离或变形的工具,分为简单冲模、连续冲模和复合冲模。

简单冲模是指冲床的一次冲程(Stroke)中只完成一个冲压工序的模具,如图4-11所示。其结构简单,制造容易,适用于小批量生产。

连续冲模是指冲床的一次冲程中,在模具的不同部位上同时完成数道冲压工序的模具,如图4-12所示。其生产率高,易于实现自动化,但定位精度要求高。

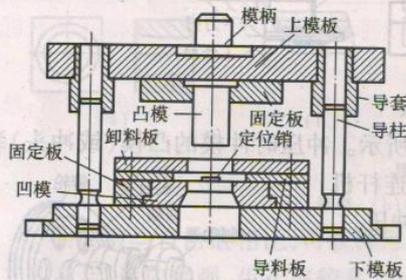


图4-11 简单冲模

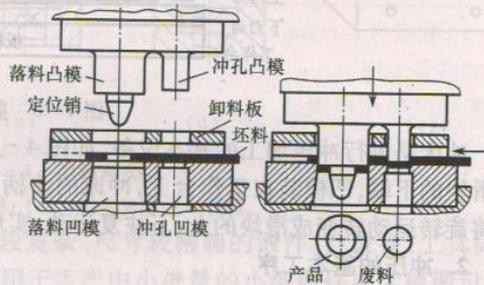


图4-12 连续冲模

复合冲模是指冲床的一次冲程中,在模具的同一位置上同时完成数道冲压工序的模具,如图4-13所示。其能保证零件的位置精度,生产率高,但制造复杂,成本高。

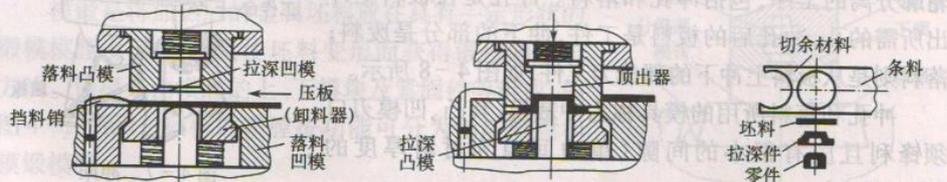


图4-13 复合冲模

4.4 特种锻压

特种锻压是在普通锻压工艺基础上发展的,以满足高速发展的工业对锻件生产的要求,使锻件更多地直接成为零件,实现少或无切削加工及生产过程的机械化和自动化。

4.4.1 特种锻造

1. 精密模锻

精密模锻(Precision Forging)是在模锻设备上直接锻造出形状复杂、高精度的零件(锥齿轮、气轮机叶片、离合器等)。与普通模锻相比,精密模锻能实现少、无切削加工,且材料利用率提高2倍~3倍。精密模锻分为冷锻、温锻和热锻。锻造时需有相应的工艺措施保证,如准确下料;采用无氧化的加热;严格控制模具温度、锻造温度及冷却条件;模膛的精度高,有可靠的导向装置和顶出装置,选用刚度大、精度高、能量大的设备。

2. 粉末锻造

粉末锻造是粉末冶金和精密模锻相结合的新技术,可锻制出复杂的精密零件。锻造时坯料在模膛的变形是压实和塑性变形的有机结合,有效降低了变形抗力,锻件的力学性能大大提高。粉末锻造的工艺过程是:配制金属粉末→混粉→冷压制坯→少、无氧化加热→模锻(压力机或高速锤)→锻件。粉末锻造主要适用于生产重要的受力构件,在汽车制造中得到了广泛的应用。

3. 摆动辗压

摆动辗压是坯料在有摆角的上模旋转挤压下连续局部变形而获得锻件的加工方法,如图4-14所示。摆动辗压时坯料的变形只在坯料内局部产生,且使此塑性变形区随模具沿坯料作相对运动,使整个坯料逐步变形,大大降低了锻压力,从而可以用较小的锻压设备辗压出大截面饼类零件。摆动辗压主要适用于生产回转体的轮盘类或带法兰的半轴类锻件。

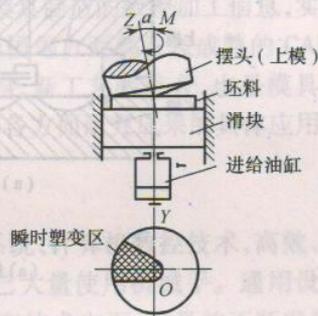


图4-14 摆动辗压

特种锻造广泛应用的还有辊轧(辊锻、斜轧、横轧、辗环)、挤压(正挤压、反挤压、复合挤压、径向挤压)、拉拔和径向锻造等。

4.4.2 特种冲压

1. 旋压成形

旋压成形是利用坯料随芯模旋转(或旋压工具绕坯料与芯模旋转)和旋压工具与芯模间相对进给,使坯料受压连续变形而获得冲压件的加工方法,如图4-15所示。旋压是在专用旋压机上进行的。旋压加工可批量生产筒形、卷边等旋转体冲压件和一些形状复杂或高强度难变形材料的冲压件(薄壁食品罐、涡轮轴等),广泛应用于日用品、航空航天及兵器工业产品制造。

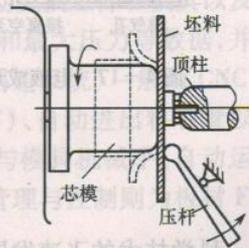


图4-15 旋压成形

2. 超塑性成形

超塑性成形是利用材料在特定的组织、温度和变形速度等条件下所呈现的超塑性所进行的成形加工方法。超塑性成形扩大了适合锻压金属材料的范围,可锻出精度高,少或无切削锻件。目前常用的超塑性成形材料主要有锌铝合金、铝基合金、铜合金、钛合金和高温合金。

目前超塑性成形方法主要有超塑性板料拉深、超塑性板料气压成形和超塑性模锻、超塑性挤压等。

3. 高速高能成形

高速高能成形是在极短时间内,将化学能、电能、电磁能或机械能传递给被加工的金属材料,使之迅速成形的加工方法。高速高能成形由于成形速度快,加工时间短,因此可以锻造工艺性差的材料,且加工精度高。其主要加工方法有利用高压气体做介质,借助触发机构,使坯料在高速冲击下成形的高速锤成形;利用炸药爆炸时产生的高能冲击波,通过不同介质使坯料产生塑性变形的爆炸成形,如图4-16所示;利用在液体介质中高压放电时所产生的高能冲击波,使坯料产生塑性变形的电液成形,如图4-17所示;利用电流通过线圈所产生的磁场的磁力作用,使坯料产生塑性变形的电磁成形,如图4-18所示。

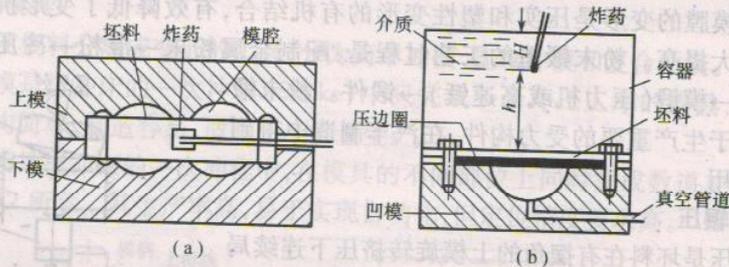


图4-16 爆炸成形

(a)封闭式爆炸成形; (b)非封闭式爆炸成形。

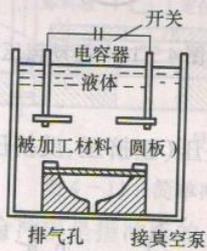


图4-17 电液成形

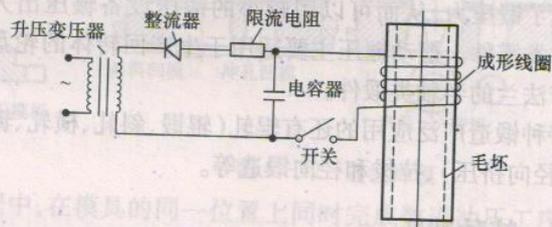


图4-18 电磁成形

4.5 锻压技术的发展

科学技术的飞速发展,尤其是计算机技术在锻压生产领域的广泛应用,使锻压加工方法取得了突破性进展,涌现出许多新技术、新工艺和新设备,大大提高了锻压生产的自动化水平。

4.5.1 计算机技术在锻压中的应用

近年来,计算机技术在锻压加工中的塑性成形过程模拟、生产过程控制和模具 CAD/CAM 得到了广泛应用。通过计算机技术,采用有限元方法(Finite Element Method, FEM)或其他数值分析方法对各种塑性加工工序的变形过程进行模拟,获得锻件在成形过程中不同阶段、不同部位的应力分布、应变分布、温度分布、硬化状况和残余应力等信息,从而找到最佳的工艺参数和模具结构参数,实现对产品质量的有效控制。

自 20 世纪 80 年代中期以来,各类锻压机械逐步向数控方向发展,数控技术已经开始全面改造锻压机械和锻压生产。它是用数字指令来控制一台或多台锻压设备的动作,如位移、速度、工作程序,记录各种工艺参数,进行自动换模与自动调节,且对锻压机械加工状况和加工质量进行监控,对锻件进行分选,拣出不合格的锻件。计算机数控技术在数控锻压设备、自动换模系统、自动送料系统和高效、高精度、多工位成形设备等方面的日益广泛应用,大大提高了锻压精度,缩短了加工时间,降低了能耗。

模具 CAD/CAM 是以现代制造技术为背景发展起来的,是模具设计与制造的重要发展方向。模具 CAD/CAM 的一般过程是:用计算机语言描述产品的几何形状输入计算机来获得产品几何信息;建立数据库来储存产品信息,然后由计算机自动进行工艺分析、工艺计算,自动设计最优工艺方案、模具结构和模具模膛等,并输出所需的模具零件图和模具总装图,然后计算机再将设计所得到的信息自动转化为模具制造的数控加工信息,实现计算机辅助制造。目前在冷冲模、锻模、挤压模及注塑成形模等方面都有较成熟的 CAD/CAM 系统。可以认为,现代模具往往是模具新结构、新材料、新工艺的综合,也是模具热处理、表面处理、先进成套加工设备、模具标准化、专业化等各方面研究成果的具体应用。

4.5.2 锻压新工艺的发展趋势

为适应多品种、小批量的生产需要,锻压的柔性制造系统、计算机数控技术,高效、多工位成形设备正在不断发展;为提高锻压生产的安全性,已大量使用机械手。通用设备中,传统的锻锤正逐步被液压机、曲柄压力机所代替;在配套技术方面,模具的不断发展,污染严重的煤加热被煤气、重油加热所代替,尤其是被高质高效的电加热所替代。

锻压 FMS 是在 20 世纪 70 年代的锻压加工中心的基础上发展起来的。经过 20 年的完善和推广,目前在国外已经作为一种成熟的标准设备在广泛使用。如生产连杆、拨叉等杆状和齿轮等盘状锻件的模锻 FMS 由感应加热炉、预成形液压机、液压螺旋压力机、切边校正液压机、机械手、换模车、带回转台的换模装置等组成,可自动更换工件和模具以及自动进行参数调节,在工作过程中不断测量、显示和记录锻件厚度和最大压力等数据,并与设定值比较进行工艺参数的调整。柔性冲压自动线(冲压柔性制造系统)一般由 CNC 压力机,自动化板材仓库、模具库与模具机械手、自动运输车(AGV)、自动进出料装置以及计算机管理与控制系统等组成。其中自动化板材仓库、模具库与模具机械手、自动运输车、自动进出料装置组成板材 FMS 的物流储运系统。而计算机管理与控制则为板材 FMS 的信息流系统。

目前,锻压新工艺的发展趋势主要是发展省力成形工艺和提高成形的柔度及精度。省力成形工艺是通过改善成形工序的应力状态或减少接触面积或在特高温、低应变速率

下完成成形加工的方法,目前已广泛应用的有超塑性成形、液态模锻、旋压、辊锻和摆动辗压等。提高成形的柔度及精度是锻压生产在市场经济条件下具有竞争力的重要因素,提高成形的柔度主要是从设备的运动功能(多向多动压力机、快换模系统、数控系统)和成形方法(无模成形、单模成形、点模成形)方法着手实现。提高成形的精度主要采用等温锻造方法来实现精密锻压。

复习思考题

1. 举例说明日常生活或工业生产中哪些零件采用了锻压生产方法。
2. 锻造前坯料为什么要加热?
3. 什么是锻造温度范围?常见的加热缺陷有哪些?
4. 锻件有哪些冷却方式?一般适用于哪些材料?
5. 自由锻的基本工序有哪些?镦粗和拔长时应注意哪些问题?
6. 试述胎模锻、模锻的特点及其应用范围。
7. 试述冲压生产的特点。适用于哪些类型产品的生产?
8. 冲压有哪些基本工序?冲孔和落料各有什么不同?
9. 常见的冲压设备有哪些?
10. 举例说明特种锻压的特点及应用。



教育部高职高专材料类教学指导委员会工程材料与成形工艺类专业规划教材

JIAOYUBUGAOZHIGAOZHUANCAILIAOLEIZHUANYE
JIAOXUEZHIDAOWEIYUANHUI
GONGCHENGCAILIAOYUCHENGXINGGONGYILEIZHUANYEGUIHUAJIAOCAI

热处理设备

王书田 / 主编 雷建徐斌 / 副主编 石富 / 主审



RECHUHU
SHEBEI

焊接结构生产、熔焊过程控制与焊接工艺
焊接方法与设备、焊接检测及技能训练
金属材料、热处理技术基础
热处理设备、金属材料检测技术
热处理技能操作训练、铸造合金熔炼及控制
铸造生产及工艺设计、特种铸造
铸造工程优化设计、铸造技能基础实训

中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

热处理设备/王书田主编. —长沙:中南大学出版社,2011.3
ISBN 978-7-81105-860-4

I. 热... II. 王... III. 热处理设备—高等学校—教材
IV. TG155

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 028354 号

热处理设备

王书田 主编

-
- 责任编辑 周兴武
责任印制 周颖
出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
印 装 长沙市华中印刷厂
-
- 开 本 787×1092 1/16 印张 21 字数 518 千字
版 次 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-81105-860-4
定 价 37.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介



本书为教育部高职高专材料类专业教学指导委员会“工程材料与成形工艺类专业”规划教材，按照教育部《高职高专工程材料与成形工艺类专业教学规范(试行)》本课程教学规范的要求进行编写。

本书阐述了热处理设备的基础知识，着重介绍了热处理炉用仪表、常规热处理设备炉、表面淬火热处理设备、可控气氛设备，介绍了真空热处理设备、特种热处理及表面处理设备、冷却设备和辅助设备，最后介绍了热处理车间设计与环境保护、热处理设备及工装夹具设计训练、热处理炉的安全操作与维护等内容。

本教材为金属材料与热处理技术专业的高职高专教材，也可作为本专业的中职教材，同时可供冶金、机械等专业的学生和工程技术人员参考。

副主任

曹朝霞 包头职业技术学院
殷雪林 山西机电职业技术学院
王红英 深圳职业技术学院
董敏凤 无锡职业技术学院

潘银元 武汉船舶职业技术学院
傅晓辉 中国航空工业总公司
赵刚等 内蒙古科技大学

委员

张连生 承德石油高等专科学校
王泽忠 四川工程职业技术学院
李荣雷 北京电子科技职业学院
陈长江 武汉船舶职业技术学院
褚小丽 南宁职业技术学院
白墨良 山东工业职业学院
李学哲 沈阳职业技术学院
赵峰 天津中德职业技术学院
李慧 新疆农业职业技术学院
尹英杰 石家庄铁路职业技术学院
苏海青 承德石油高等专科学校
邱薇菲 衡阳财经工业职业技术学院
许利民 承德石油高等专科学校
王建勋 兰州石化职业技术学院
韩静国 山西机电职业技术学院
王书田 包头职业技术学院
郝展生 黑龙江工程学院

韩小峰 陕西工业职业技术学院
阎庆斌 山西机电职业技术学院
彭显平 四川工程职业技术学院
杨坤玉 长沙航空职业技术学院
蔡建刚 兰州石化职业技术学院
杨 勇 四川机电职业技术学院
张 伟 洛阳职业技术学院
杨兵 陕西工业职业技术学院
谢长林 株洲职业技术学院
孟宪斌 齐齐哈尔职业技术学院
石 磊 内蒙古职业技术学院
范洪建 河南理工大学
杨 勇 西安理工大学
曹瑞峰 陕西工业职业技术学院
王敏江 陕西工业职业技术学院
付 健 四川工程职业技术学院
梁腾飞 太原理工大学长治学院

前 言



本书是根据教育部高职高专材料类专业教学指导委员会《高职高专工程材料与成形工艺类专业专业教学规范(试行)》《金属材料与热处理技术专业教学规范》中本课程教学标准的要求进行编写的。

热处理设备是“金属材料与热处理技术”专业必修课程,是一门实践性、综合性、操作性较强的专业主干课程。理解并掌握各种热处理设备的原理、结构、操作方法,培养具有一定的选择热处理设备的能力和操作设备来实施热处理工艺的能力,在热处理专业技能型人才培养中具有十分重要的地位。

本课程依据《金属材料与热处理技术专业教学规范》部分中的“热处理设备”课程教学标准中关于本课程的职业专门技术能力目标、理论知识目标、职业关键能力目标进行定位。本教材内容中的热处理设备的基础知识部分介绍了对热处理设备的要求及热处理设备发展概况、筑炉材料和传热学基础的主要内容;热处理炉用仪表部分介绍了温度、碳势、压力和流量的测量仪表;常规热处理设备炉部分介绍了箱式电阻炉、井式电阻炉、盐浴炉、燃气炉、表面淬火热处理设备;可控气氛设备部分介绍了常规和化学热处理设备;真空热处理设备部分简介了离子氮化、气相沉积、电子束设备;特种热处理及表面处理设备部分简介了电解热处理、铝合金热处理、发蓝、发黑、磷化等装置和设备;此外,本书还介绍了冷却设备和辅助设备、热处理车间设计与环境保护、热处理设备及工装夹具设计训练和热处理炉的安全操作与维护等内容。这些都是本专业以及相关专业学生在金属材料与热处理的生产加工和科研领域中所必须具备的基本知识。

在教材的编写过程中,我们把多年教学实践经验融入教材中,使教材的内容安排和衔接更为合理;体现理论与技能训练一体化的教学改革成果;充分考虑了职业技术学校对教材的不同要求,增强教材的适用性;将素质教育和技能培养有机地结合,既使学生掌握必需的专业知识和技能,还给学生以后的发展拓展知识面;充实新知识、新技术、新装备和新方法等方面的内容,力求反映科学技术的最新成果;以教育部教学指导委员会制定的教学规范为基础,使教材的内容更加规范化。

包头职业技术学院的徐斌编写了第1章和第3章;包头职业技术学院的王书田编写了第2章、第4章和附录;洛阳理工学院的雷建编写了第5章、第6章;洛阳理工学院的闵志宇编写了第7章、第8章;洛阳理工学院的方世杰编写了第9章、第10章、第11章,本书由包头职业技术学院的王书田主编,由内蒙古机电职业技术学院石富主审。

本教材在编写过程中,得到了教育部高职高专材料类教学指导委员会和参编学校领导和同仁的大力支持,同时也得到了中南大学出版社的各位员工积极协助,在此一并表示由衷的感谢。

编者

2011年3月



目 录

| | |
|------------------------------|------|
| 第 1 章 热处理设备基础知识 | (1) |
| 1.1 筑炉材料 | (1) |
| 1.1.1 热处理炉对耐火材料的性能要求 | (1) |
| 1.1.2 热处理炉常用的耐火材料 | (2) |
| 1.1.3 保温材料及其他筑炉材料 | (6) |
| 1.2 传热学基础 | (8) |
| 1.2.1 传导、对流、辐射 | (8) |
| 1.2.2 传热过程分析 | (8) |
| 1.2.3 炉墙的稳定态传导传热 | (9) |
| 1.2.4 对流传热 | (13) |
| 1.2.5 辐射传热 | (14) |
| 1.2.6 综合传热 | (19) |
| 复习与思考 | (21) |
| 第 2 章 热处理炉用仪表 | (22) |
| 2.1 概述 | (22) |
| 2.1.1 温度与温标 | (22) |
| 2.1.2 测温仪表的分类 | (23) |
| 2.1.3 测温仪表的基本技术性能 | (24) |
| 2.2 温度传感器 | (25) |
| 2.2.1 温度计 | (25) |
| 2.2.2 热电偶 | (26) |
| 2.2.3 热电阻与热敏电阻 | (39) |
| 2.2.4 辐射式高温计 | (41) |
| 2.3 温度测量仪表 | (44) |
| 2.3.1 直流电位差计 | (44) |
| 2.3.2 电子自动平衡式显示仪表 | (45) |
| 2.3.3 动圈式温度指示调节仪 | (48) |
| 2.3.4 数字式温度显示仪表 | (48) |
| 2.4 碳势、压力和流量测量仪表 | (49) |
| 2.4.1 碳势测量仪表 | (49) |
| 2.4.2 压力测量仪表 | (54) |
| 2.4.3 流量测量仪表 | (57) |

| | |
|----------------------------|--------------|
| 2.5 测温仪表的现场校验方法 | (61) |
| 复习与思考 | (62) |
| 第3章 常规热处理炉 | (65) |
| 3.1 周期作业电阻炉 | (65) |
| 3.1.1 箱式电阻炉 | (65) |
| 3.1.2 井式电阻炉 | (69) |
| 3.1.3 电热元件 | (73) |
| 3.2 热处理浴炉 | (77) |
| 3.2.1 电阻加热浴炉 | (79) |
| 3.2.2 电极盐浴炉 | (80) |
| 3.3 热处理燃料炉 | (85) |
| 3.4 连续作业热处理炉 | (88) |
| 3.5 其他热处理设备 | (90) |
| 复习与思考 | (91) |
| 第4章 表面淬火设备 | (93) |
| 4.1 火焰加热表面淬火 | (94) |
| 4.1.1 火焰淬火的基本原理和特点 | (94) |
| 4.1.2 火焰淬火的方法 | (94) |
| 4.1.3 火焰淬火的设备 | (95) |
| 4.1.4 火焰淬火的操作及注意事项 | (95) |
| 4.2 高频感应加热 | (96) |
| 4.2.1 概述 | (96) |
| 4.2.2 高频感应加热装置 | (100) |
| 4.3 中频及工频感应加热装置 | (112) |
| 4.3.1 晶闸管中频感应加热装置 | (112) |
| 4.3.2 工频感应加热 | (116) |
| 4.4 感应热处理辅助设备 | (116) |
| 4.4.1 淬火机床 | (116) |
| 4.4.2 感应器的结构设计与制造 | (120) |
| 复习与思考 | (125) |
| 第5章 可控气氛热处理设备 | (126) |
| 5.1 可控气氛热处理设备概述 | (126) |
| 5.2 可控气氛制备设备 | (127) |
| 5.2.1 吸热式气氛的制备 | (127) |
| 5.2.2 放热式气氛的制备 | (131) |
| 5.2.3 氮基气氛的制备 | (134) |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| 5.2.4 其他气氛的制备 | (138) |
| 5.3 可控气氛热处理炉 | (140) |
| 5.3.1 可控气氛热处理炉的类型和特点 | (140) |
| 5.3.2 密封箱式可控气氛炉 | (142) |
| 5.3.3 密封箱式可控气氛炉的发展 | (143) |
| 5.3.4 连续式无罐气体渗碳淬火自动线 | (146) |
| 5.3.5 双排推杆式无罐气体渗碳淬火自动线 | (147) |
| 5.4 可控气氛设备的操作与观察 | (147) |
| 5.4.1 操作目的与要求 | (147) |
| 5.4.2 井式渗碳炉操作 | (148) |
| 5.4.3 连续渗碳/渗氮热处理生产线操作 | (150) |
| 复习与思考 | (150) |
| 第6章 真空热处理设备 | (152) |
| 6.1 真空热处理概述 | (152) |
| 6.1.1 真空与真空系统 | (152) |
| 6.1.2 真空热处理技术 | (153) |
| 6.1.3 真空热处理 | (154) |
| 6.2 典型的真空热处理设备 | (155) |
| 6.2.1 真空热处理炉分类 | (155) |
| 6.2.2 外热式真空热处理炉 | (155) |
| 6.2.3 内热式真空热处理炉 | (158) |
| 6.3 离子氮化设备 | (167) |
| 6.3.1 离子氮化及其技术特点 | (167) |
| 6.3.2 离子氮化设备 | (168) |
| 6.4 电子束设备 | (170) |
| 6.4.1 电子束热处理的特点 | (171) |
| 6.4.2 电子束设备及应用 | (172) |
| 6.6 参观了解各种真空热处理设备 | (180) |
| 复习与思考 | (186) |
| 第7章 特种热处理及表面处理设备 | (187) |
| 7.1 电解热处理 | (187) |
| 7.1.1 电解液加热表面淬火 | (187) |
| 7.1.2 液体电解渗碳 | (188) |
| 7.1.3 电解气相催化渗氮 | (188) |
| 7.1.4 盐浴电解渗硼 | (190) |
| 7.2 铝合金热处理 | (190) |
| 7.2.1 铝合金的均匀化 | (190) |

| | | |
|------------|------------------|--------------|
| 7.2.2 | 挤压铝锭的均热生产线 | (192) |
| 7.2.3 | 铝合金的固溶热处理 | (193) |
| 7.2.4 | 铝合金退火 | (195) |
| 7.3 | 抛丸、喷砂设备 | (196) |
| 7.3.1 | 抛丸设备 | (196) |
| 7.3.2 | 喷砂 | (202) |
| | 复习与思考 | (209) |
| 第8章 | 冷却设备和辅助设备 | (210) |
| 8.1 | 冷却设备的分类 | (210) |
| 8.1.1 | 冷处理设备 | (210) |
| 8.1.2 | 缓冷设备 | (211) |
| 8.2 | 淬火冷却设备的作用及其基本要求 | (212) |
| 8.3 | 淬火槽的设计 | (212) |
| 8.3.1 | 淬火槽设计内容 | (212) |
| 8.3.2 | 淬火槽的结构形式 | (212) |
| 8.3.3 | 淬火槽的尺寸计算 | (215) |
| 8.4 | 淬火介质冷却系统 | (218) |
| 8.4.1 | 冷却方法 | (218) |
| 8.4.2 | 淬火介质冷却循环系统的组成 | (222) |
| 8.5 | 冷却器的计算与选择 | (227) |
| 8.6 | 淬火机 | (228) |
| 8.6.1 | 轴类淬火机 | (228) |
| 8.6.2 | 大型环状零件淬火机 | (229) |
| 8.6.3 | 齿轮淬火压床 | (230) |
| 8.6.4 | 板件淬火压床 | (231) |
| 8.6.5 | 钢板弹簧淬火机 | (231) |
| 8.7 | 冷处理设备 | (232) |
| 8.7.1 | 制冷剂 | (233) |
| 8.7.2 | 常用冷处理装置 | (234) |
| 8.7.3 | 低温低压箱冷处理装置 | (235) |
| 8.7.4 | 冷处理负荷和制冷机制冷量 | (236) |
| 8.8 | 清洗设备 | (236) |
| 8.8.1 | 一般清洗机 | (237) |
| 8.8.2 | 超声波清洗设备 | (240) |
| 8.8.3 | 脱脂炉清洗设备 | (242) |
| 8.8.4 | 真空清洗设备 | (243) |
| 8.9 | 清理设备 | (245) |
| 8.9.1 | 机械清理 | (245) |

| | |
|------------------------------------|--------------|
| 8.9.2 化学清理 | (245) |
| 8.10 矫直(校直)设备 | (246) |
| 8.10.1 手动压力机 | (246) |
| 8.10.2 液压校正机 | (246) |
| 8.10.3 自动校正机 | (248) |
| 8.11 起重运输设备 | (249) |
| 复习与思考 | (249) |
| 第9章 热处理车间设计与环境保护 | (251) |
| 9.1 热处理车间及热处理车间设备 | (251) |
| 9.1.1 热处理车间分类 | (251) |
| 9.1.2 热处理车间的设备分类 | (251) |
| 9.1.3 热处理车间生产纲领的确定 | (252) |
| 9.1.4 热处理车间工作制度和年时基数 | (254) |
| 9.1.5 热处理车间设备的确定 | (256) |
| 9.2 热处理车间平面布置 | (258) |
| 9.2.1 热处理车间位置及面积 | (258) |
| 9.2.2 热处理车间厂房 | (261) |
| 9.2.3 热处理车间平面布置 | (262) |
| 9.3 热处理车间环境保护 | (265) |
| 复习与思考 | (268) |
| 第10章 热处理炉的安全操作与维护 | (269) |
| 10.1 燃料炉的安全操作 | (270) |
| 10.1.1 燃煤炉的安全操作 | (270) |
| 10.1.2 煤气炉的安全操作 | (271) |
| 10.1.3 燃油炉的安全操作 | (271) |
| 10.1.4 燃料炉的维护 | (272) |
| 10.2 电阻炉的安全操作与维护 | (274) |
| 10.2.1 电阻炉的安全操作 | (274) |
| 10.2.2 电阻炉的维护 | (274) |
| 10.2.3 电阻炉维护实例 | (274) |
| 10.2.4 井式渗碳电阻炉常见故障分析及排除 | (277) |
| 10.2.5 推杆式连续电加热无罐渗碳炉的维护与故障排除 | (277) |
| 10.3 电极盐浴炉的安全操作 | (278) |
| 10.3.1 电极盐浴炉的设备安全操作规程要点 | (278) |
| 10.3.2 电极盐浴炉的安全操作规程 | (279) |
| 10.3.3 电极盐浴炉的维护与故障排除 | (280) |
| 复习与思考 | (281) |

| | |
|--------------------------------------|-------|
| 第 11 章 热处理设备及工装夹具设计训练 | (282) |
| 11.1 电极盐浴炉结构设计 | (282) |
| 11.1.1 炉型选择 | (282) |
| 11.1.2 电极盐浴炉炉体结构及其尺寸确定 | (282) |
| 11.1.3 电极盐浴炉功率的确定 | (284) |
| 11.1.4 电极设计 | (285) |
| 11.1.5 电极柄的设计 | (288) |
| 11.1.6 启动电极的设计 | (288) |
| 11.1.7 汇流排的选用 | (288) |
| 11.1.8 电极盐浴炉用变压器的选择 | (289) |
| 11.2 淬火水槽和淬火油槽 | (292) |
| 11.2.1 淬火水槽、淬火油槽的结构 | (292) |
| 11.2.2 淬火槽的设计 | (296) |
| 11.3 轴类、齿轮类、工模具类典型零件的工装夹具设计 | (300) |
| 11.3.1 工装在生产中的作用 | (300) |
| 11.3.2 工装设计的原则 | (301) |
| 11.3.3 一般低碳钢、耐热钢工夹具强度的核算 | (302) |
| 11.3.4 各类工夹具与吊具的实例 | (302) |
| 11.4 高、中频感应器的设计 | (308) |
| 11.4.1 感应器 | (308) |
| 11.4.2 汇流条与连接板 | (311) |
| 11.4.3 感应器的供水 | (311) |
| 11.4.4 导磁体 | (312) |
| 11.4.5 附加装置 | (312) |
| 11.4.6 多匝感应器的设计要点 | (313) |
| 11.5 热处理设备课程设计 | (314) |
| 11.5.1 热处理设备课程设计的一般程序 and 基本要求 | (314) |
| 11.5.2 热处理设备课程设计步骤 | (314) |
| 复习与思考 | (318) |
| 参考文献 | (319) |

第 5 章

可控气氛热处理设备

[内容提要与学习指导]

本章内容主要讲述可控气氛热处理设备的结构、特点和型号及使用方法。重点是可控气氛热处理设备的选择和使用。

通过本章的学习，并配合必要的练习与实践，要求学生达到：

- (1) 掌握可控气氛热处理设备的结构、特点和型号及使用方法。
- (2) 掌握可控气氛热处理设备的选择方法。
- (3) 观察了解可控气氛热处理设备。

5.1 可控气氛热处理设备概述

在空气介质中加热工件时，空气中的各种组分(如 O_2 、 CO_2 、 H_2O 等)，在高温下与工件表面发生化学反应，使工件产生氧化脱碳，增加了金属材料的损耗，降低了热处理质量，甚至导致工件报废。

避免工件加热时氧化脱碳的方法有：采用盐浴炉加热，盐液使工件与空气隔离，可以避免或减轻工件表面发生氧化脱碳；采用真空加热，将炉内的空气抽除，清除了发生氧化脱碳的各种气体成分，从而避免了工件加热时发生氧化脱碳；采用可控气氛加热，即用不会产生氧化脱碳的中性(如 N_2)或惰性(如 Ar, He)气体取代空气作加热介质，进行保护性加热。但更多的是用 $CO-CO_2-H_2-H_2O$ 或 N_2-H_2 等混合气体来代替空气加热，调节混合气体的组成，可使氧化 \leftrightarrow 还原，脱碳 \leftrightarrow 增碳反应处于平衡状态或者使反应朝增碳方向进行，不仅可以避免工件的氧化脱碳，而且还可以实现渗碳、渗氮、碳氮共渗以及氮碳共渗(软氮化)等化学热处理。

工件的无氧化脱碳加热可分为光亮加热和光洁加热。前者要求工件加热时表面不产生氧化膜，加热后仍保持金属光亮的色泽，后者允许工件表面产生 Fe_3O_4 的氧化薄膜，虽然失去了金属光泽，但对质量无有害影响。光亮加热往往要用惰性气体保护或真空加热来实现，光洁加热用中性气体保护或可控气体加热均可满足其要求。

第 6 章

真空热处理设备

[内容提要与学习指导]

本章内容分真空热处理设备、离子氮化设备、电子束设备 3 个部分。真空热处理设备主要讲述真空的基本原理和特点、真空热处理加热淬火的方法、真空热处理设备的结构和型号及选用方法、设备的操作和注意事项；离子氮化设备主要讲述离子氮化设备的基本原理和特点、结构和型号及选用方法、设备的操作；电子束设备主要讲述电子束设备的基本原理、结构和特点。本章重点是真空热处理设备。

通过本章的学习，并配合必要的练习与实践，要求学生达到：

- (1) 掌握获得真空的基本原理，真空热处理设备的结构、分类、型号及选用方法。熟悉设备的操作。
- (2) 掌握离子氮化设备基本原理和特点、选用方法、熟悉离子氮化设备的操作要点。
- (3) 了解电子束设备的原理、分类、结构和特点。

6.1 真空热处理概述

真空热处理技术是随着国防尖端工业、精密机械制造业等的发展而发展起来的新型热处理技术。尤其是近年来，零件性能及精度要求的提高，使得真空热处理技术日益受到重视。不仅用于活泼及难熔金属的热处理外，还逐渐推广到钢铁材料的退火、淬火、回火、渗碳、渗氮、渗金属等各领域。

真空热处理工件通常具有一系列突出优点：不氧化、不脱碳，处理后仍保持表面光亮和原有光泽，表面通常可不加工，工件无变形，较高的耐磨性和使用寿命，对工件有脱脂、脱气作用，无污染、无公害，自动化程度高等。

6.1.1 真空与真空系统

真空是指低于一个大气压力的空间。真空度是指在真空状态下气体的稀薄程度，国际单位用压力表示，单位为帕(Pa)。