

大学生实践能力培养

电工电子实训教程

DIANGONG DIANZI SHIXUN JIAOCHENG

主 编 钱晓龙
副主编 任 涛 刘 婷
主 审 吴成东



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



大学生实践能力培养

电工电子实训教程

主 编 钱晓龙
副主编 任 涛 刘 婷
主 审 吴成东



机械工业出版社

本书全面系统、由浅入深地阐述大学生电工电子实践能力培养实训课的具体内容,介绍了电工电子实训设备的工作原理和使用方法。为加强设计性和实用性,各章均精选了一定数量的工程设计应用实例,通过实例将设备的具体使用与系统设计紧密地结合起来。主要内容包括常用电器的应用、计算机组装、数字万用表的焊接制作、照明控制系统设计、智能电器 Zelio Logic、Twido PLC 和 ATV31 变频器应用实训以及综合布线系统的设计。本书以电工电子实训项目为主,重点讲解了应用实例的设计和实际操作,在各章的结尾附有创新思维训练题供进一步实训之用。

本书可作为高等学校电类各相关专业本科生和专科生的实训教材。本书采用由浅入深、循序渐进的写法,每章均相对独立,适用于多层次的教学和培训。也可供从事电气和电子专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子实训教程/钱晓龙主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 7
(大学生实践能力培养)
ISBN 978-7-111-27342-4

I. 电… II. 钱… III. ①电工技术—教材②电子技术—教材
IV. TM. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 086221 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:赵任 版式设计:霍永明
责任校对:陈延翔 封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦
唐山丰电印务有限公司印刷

2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.75 印张 · 406 千字

0001—5000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27342-4

定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294
购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010)88379059
封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国作为世界上制造业大国的兴起，企业对大学生实践能力的培养提出了更高的期望，要求他们在掌握牢固的理论基础的同时，多一些工程实训经验。此种形势之下，2005年教育部下发通知，明确地提出要树立以学生为本，综合知识能力、素质全面协调发展的教育理念。要求各高校建立有利于培养学生实践能力和创新能力的实践教学体系，使学生在校期间通过完成一系列的动手实训项目，使其成为具有创新精神的复合型人才。同时弥合了学生在未来进入社会时所出现的高校注重基础理论的培养，企业要求实践经验积累的空隙，这也是对实践教学方法的一种新尝试。

本书正是在此背景下，总结以往的教学经验，编写了大量有趣的与工程和生活相关的实践内容，并借鉴国内外一些著名高校的教学方法，通过实训项目的设计，让学生自己制定实验计划和实验方法，并通过在实训过程中出现的问题，逐步完善实验方法和实验步骤，实现预定的目标，进而提高学生初步的工程设计能力和训练水平。

全书共分9章，系统地讲述了大学生电工电子实践能力培养实训的内容。第1章工业实训的要求和安全注意事项，第2章常用电器的应用，第3章计算机组装实训，第4章数字万用表的焊接制作，第5章照明控制系统设计，第6章智能电器 Zelio Logic 应用实训，第7章 Twido PLC 应用实训，第8章 ATV31 变频器应用实训，第9章综合布线系统。除第1章外，每章后均列有创新思维训练题。其中第1章由实验中心王伟老师编写；第2章由沈阳工业大学张延安老师编写；第3章由中国农业银行营口市分行科技科的路振桥编写；第4、5章由任涛老师编写；第6章由钱晓龙副教授编写；第7章由刘婷编写；第8章由丛文卓编写；第9章由谭树彬老师编写。中国传媒大学外国语学院李阳教师负责第5、6、7、8章中涉及到的英文资料的翻译；宋宏伟、贾春迎、张鹏、陈作超、康婷婷、秦彦博和王新庆同学也参加了部分编写工作和实验设计，同时他们还对所有实验进行了验证。全书由东北大学信息学院的钱晓龙副教授主编。

本书由东北大学信息学院的吴成东教授主审，吴成东老师不仅参与了本书提纲的编写，而且对全书进行了十分认真的审阅。在编写过程中，东北大学信息学院实验中心的李景华教授、东北大学施耐德电气（中国）投资有限公司实验室主任王大志教授也提出了大量宝贵的意见。对本书的出版，施耐德电气（中国）投资有限公司项目经理郭晓波先生、徐亚敏先生给予了多方面的支持和帮助，在此表示最诚挚的谢意。由于编者水平有限，对电气技术应用的积累还远远不够，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者于东北大学
2009年4月21日


目 录

前言

第 1 章 工业实训	1	4.2.1 焊前准备	64
1.1 工业实训的目的和意义	2	4.2.2 电烙铁及焊锡丝的使用	65
1.2 实训实验的基本要求	2	4.2.3 焊接步骤及要求	66
1.3 实训实验的安全操作规程	3	4.2.4 焊接注意事项	67
1.4 实训中的用电安全	3	4.2.5 拆焊操作	68
第 2 章 常用电器的应用	7	4.2.6 焊点质量检查	69
2.1 常用控制电器	8	4.2.7 印制电路板的焊接工艺	70
2.1.1 控制电器的基本结构和原理	8	4.2.8 操作安全	70
2.1.2 接触器	16	4.3 电子元器件的识别	71
2.1.3 继电器	20	4.3.1 电阻器	71
2.1.4 按钮和开关	22	4.3.2 电感器	72
2.1.5 断路器	23	4.3.3 电容器	73
2.1.6 熔断器	25	4.3.4 二极管	75
2.1.7 漏电保护装置	25	4.3.5 晶体管	77
2.1.8 电涌保护器	27	4.4 数字万用表的结构及使用	78
2.1.9 测量元件	28	4.4.1 数字万用表的基本组成	78
2.2 常用电器的实训项目	28	4.4.2 数字万用表的使用方法	78
2.2.1 电动机直接起动控制	28	4.4.3 数字万用表使用注意事项	81
2.2.2 电动机正反转控制	31	4.5 DT-830B 型 3 (1/2) 数字万用表	81
2.2.3 电动机星—三角形起动控制	32	4.5.1 DT-830B 型 3 (1/2) 数字万用表	
2.2.4 实训展板及设备布置图	33	简介	81
2.3 创新思维训练	34	4.5.2 DT-830B 型 3 (1/2) 数字万用表	
第 3 章 计算机组装实训	35	的组装方法	83
3.1 计算机硬件组装	36	4.5.3 调试方法	84
3.1.1 计算机部件的安装	36	4.5.4 常见故障检修方法	85
3.1.2 计算机硬件的调试	41	4.6 创新思维训练	85
3.2 操作系统的安装	41	第 5 章 照明控制系统设计	91
3.2.1 BIOS 设置	41	5.1 智能建筑的照明设计	92
3.2.2 操作系统的安装	46	5.1.1 灯具的选择与布置	92
3.2.3 驱动程序的安装	55	5.1.2 照明标准	95
3.3 创新思维训练	56	5.1.3 照度计算	96
第 4 章 数字万用表的焊接制作	59	5.2 照明控制元件	100
4.1 焊接基础	60	5.2.1 命令控制元件	100
4.1.1 焊接材料	60	5.2.2 可编程时间元件	105
4.1.2 焊接工具	61	5.2.3 延时及检测元件	111
4.2 焊接工艺及操作安全	64	5.3 常用照明控制系统实训	116
		5.3.1 荧光灯线路安装	116



5.3.2 多路异地照明控制	117	7.3.6 高级指令	191
5.4 智能照明控制系统实训	118	7.4 Twido PLC 的 Modbus 的通信	199
5.4.1 EIB 系统功能	118	7.4.1 Modbus 通信协议	199
5.4.2 EIB 系统结构设计	120	7.4.2 Twido Modbus 功能表	202
5.4.3 EIB 系统布线	122	7.4.3 Twido Modbus 主站标准协议	205
5.4.4 EIB 系统操作演练	123	7.4.4 EXCHx 指令与 %MSGx 功能 模块	209
5.5 创新思维训练	126	7.5 创新思维训练	211
第 6 章 智能电器 Zelio Logic 应用		第 8 章 ATV31 变频器应用实训	215
实训	129	8.1 ATV31 变频器硬件操作	216
6.1 Zelio Logic 控制器的结构与安装	130	8.1.1 ATV31 变频器的选型	216
6.1.1 硬件结构	130	8.1.2 变频器 I/O 端子的连接	217
6.1.2 Zelio Logic 的安装与接线	132	8.2 变频器手动操作实训	218
6.2 Zelio Logic 系统的设置	135	8.2.1 变频器键盘操作基础	218
6.2.1 面板操作按键功能简介	135	8.2.2 电动机起停控制	219
6.2.2 系统设置	135	8.2.3 预置及切换电动机的运行速度	220
6.3 Zelio Logic 指令的操作演练	141	8.2.4 电动机加/减速度功能的实现	221
6.3.1 继电器指令	141	8.3 变频器网络实训平台	223
6.3.2 继电器指令的操作	142	8.3.1 变频器的 Modbus 通信控制	223
6.4 Zelio Logic 操作演练	154	8.3.2 PID 闭环调节功能的实现	228
6.4.1 产品检测	154	8.4 创新思维训练	234
6.4.2 地下停车场控制系统	155	第 9 章 综合布线系统	237
6.5 创新思维训练	159	9.1 综合布线系统概述	238
第 7 章 Twido PLC 应用实训	161	9.2 综合布线系统结构	238
7.1 Twido PLC 的结构与安装	162	9.2.1 工作区子系统	239
7.1.1 硬件结构	162	9.2.2 水平子系统	240
7.1.2 安装与接线	165	9.2.3 管理子系统	242
7.2 TwidoSoft 编程软件的应用	166	9.2.4 垂直干线子系统	243
7.2.1 软硬件配置	167	9.2.5 设备间子系统	245
7.2.2 编程基础	171	9.2.6 建筑群子系统	246
7.2.3 连接管理及程序下载	173	9.3 综合布线实训实验	247
7.2.4 动态数据监控表	176	9.3.1 网线的制作	247
7.3 Twido PLC 编程指令的操作演练	177	9.3.2 光纤熔接及测试试验	249
7.3.1 寻址	178	9.3.3 局域网实验	251
7.3.2 布尔指令	180	9.3.4 无线上网实验	254
7.3.3 标准功能块	183	9.4 创新思维训练	258
7.3.4 数值处理指令	186	参考文献	260
7.3.5 程序指令	190		



工业实训

学习目标

通过本章的介绍，了解实训实验的目的和意义，掌握安全操作规程和安全用电的相关知识，从而在实验时能够确保人身安全与设备安全。



1.1 工业实训的目的和意义

21 世纪是经济、教育、文化等各个领域高速发展的时代，科技发展日新月异，时代的发展对工程设计人员提出了更高的要求，社会呼唤高等学校树立培养创新型、复合型人才的理念。高等学校本科生实验教学是教学的重要组成部分，肩负着培养学生的实际动手能力、创新能力的重任，同时也是实施教学改革最困难的部分。特别是我国目前已成为世界制造业大国，企业新建和改造变得异常迅速。但在对应用技术的掌握上，我们还与发达国家有相当大的距离，其主要原因在于我们的人才培养模式还停留在理论验证型阶段，缺乏工业生产环境所需要的针对性和实效性，在此条件下高校的工程训练与企业的需求相距甚远。

20 世纪 90 年代以来，我国的高等教育由精英教育转变为大众教育，进而开始了大面积的扩招。当前的就业问题成了企业、学校和学生讨论的焦点。原有大学生毕业后的工业实训过程被压缩得越来越短，而大多数企业则要求新员工最好能立刻进入工作状态，甚至能成为救火队员。为了适应这种形势的需要，积极应对企业对人才的需求模式，高校应该增加实践环节，科学合理地设置实验教学体系，将企业中的工业实训过程提前纳入到高校实验教学体系，让学生在就业前练好十八般武艺，使学生在求职时能得到企业的认可和青睐。

当前在教学质量工程的推动下，各高校更加重视学生的工程实践环节，学生在校期间通过亲自动手完成一系列的工程训练项目，可获得对专业技术的基本认识，提高个人综合素质。工业实训是实验教学的一个重要分支，它拓宽了学生的知识面，从新时代、新技术、新思维的高度出发，改革实验教学内容，激发起学生思考问题和探讨新知识的创新欲望。因此，努力为学生营造启发式、研究式的学习氛围，培养学生发现问题和解决问题的能力是工业实训最根本的目的。

1.2 实训实验的基本要求

1) 实验中要正确使用仪器。非本次实验所用的仪器仪表一律不得擅自动用。实验使用的仪器不得携带出实验室。

2) 在实验结束时，仪器必须经实验教师当面检查，双方签字后学生方可离开实验室，凡未经检查而发生丢失或损坏，由使用者负责赔偿。

3) 在实验过程中，若发生仪器损坏时应立即关断电源，保护现场，并向指导教师报告，查明事故原因，如实填写损失报告单，以便酌情处理（检查或赔偿）。凡不遵守操作规程或故意损坏设备者，均按校规定严肃处理。

4) 在通电之前，须经教师检查电路，允许后方可开始通电实验。在实验过程中，若发生异常时，不要惊慌失措，应立即关断电源，保护现场，并向指导老师报告，待查明原因。排除故障后方可继续实验。

5) 严禁带电拆线、接线、接触带电线路的裸露部分和机械的转动部分。

6) 做实验时要求衣袖整齐，不允许带手套、项链。留长发的同学须带帽子，以免头发、线头、毛边等卷入电动机轴中或发生触电。

7) 实验室内严禁吸烟、随地吐痰、乱扔纸屑。不得在实验台上乱写乱画、乱做标记。



不得乱扔导线和其他物品。

- 8) 在实验结束后须整理使用的设备和导线,将实验室内打扫干净方可离开。
- 9) 以上各项要求实验人员必须遵守。

1.3 实训实验的安全操作规程

实验室电源有 220V、380V 两种,均属危险电压,同时实验室中电动机的转动部分也易引起事故。为了既保证按时完成电动机的实验又确保实验时的人身安全与设备安全,要严格遵守实验室的安全操作规程。实验室的安全操作规程如下:

1. 人身安全

- 1) 上课时不得赤脚或穿拖鞋,最好穿胶底鞋。
- 2) 接线之前,所有的开关都要在断开的位置。
- 3) 人体严禁接触带电线路,要遵守先接线后送电源,先断电源后拆线的操作程序。
- 4) 严禁带电操作,在改接线路时应特别注意。必须带电检查时,要用万用表,手持表笔绝缘棒进行检查,同时必须有人在一旁看护,发生意外时,立刻断电。
- 5) 由于印制电路板上裸露的带电端子,所以通电后不要直接接触金属部分,尤其注意不要用头,以免因头发接触到带电部分而导致触电。
- 6) 人体严禁接触机械的转动部分,不能用手去促使电动机起动或停转,以免发生危险。
- 7) 在实验时,应特别注意衣角、发辫、导线等,以防止被电动机的转动部分卷入。实验人员最好穿工作服或紧袖口衣服。
- 8) 在通电之前,须经教师检查线路,得到允许后方可通电。
- 9) 在实验过程中,若发生异常时不要惊慌失措,应立即关断电源,保护现场。
- 10) 总电源由实验教师掌管,其他人员不得擅自乱动。

2. 设备安全

- 1) 接线前应先搞清楚电路与实物的对应关系,把电路图看懂。
- 2) 连接线路的原则,应选择合理的接线步骤,一般是“先串后并”,“先主后辅”。有特殊说明时,请遵守说明的要求。
- 3) 严格按照规定的接线位置和导线颜色、线径进行接线。为防止短路,不同颜色的导线绝对不能接在一起。
- 4) 接线要牢固,以防止发生电动机超速或飞车事故,甚至损坏其他设备。

1.4 实训中的用电安全

1. 触电事故的类型

触电:一般是指人体触及带电体时,电流对人体所造成的伤害。电流对人体有两种类型的伤害,即电击和电伤。

电击:是指电流通过人体,影响呼吸系统、心脏和神经系统,造成人体内部组织的破坏乃至死亡。

电伤:是指在电弧作用下或熔丝熔断时,对人体外部的伤害,如烧伤、金属灼伤等。电



流对人体的伤害程度取决于通过人体电流的大小、持续时间、电流的频率、电流通过人体的途径以及人体的状况等因素。

(1) 伤害程度与电流强度的关系

对于工频交流电，按照人体对所通过大小不同的电流所呈现的反应，可将电流划分为三级。见表 1-1。人体允许的安全工频电流：30mA，工频危险电流：50mA。

表 1-1 电流等级

名称	定义	大小	
		男性	女性
感知电流	引起感觉的最小电流	1.1mA	0.7mA
摆脱电流	人触电后能自主摆脱电源的最大电流	9mA	6mA
致命电流	在较短时间内引起心室颤动、危及生命的电流	与通电时间有关	

(2) 伤害程度与通电时间的关系

电流通过人体的时间越长，则伤害越大。

(3) 伤害程度与电流途径的关系

电流的路径通过心脏会导致神经失常、心跳停止、血液循环中断，危险性最大。其中电流从右手流经到左脚的路径是最危险的。

(4) 伤害程度与电流种类的关系

电流频率在 40~60Hz 时对人的伤害最大。

(5) 伤害程度与人体状况的关系

电流对人体的作用，女性较男性敏感；小孩遭受电击较成人危险。同时伤害程度与体重有关系。

(6) 伤害程度与人体电阻的关系

在一定的电压作用下，通过人体的电流大小就与人体的电阻有关系。人体的电阻因人而异，与人的体质、皮肤的潮湿程度、触电电压的高低、年龄、性别及工种职业有关系，通常为 104~105Ω，当角质外层破坏时，则变为 800~1000Ω。

2. 触电事故的原因和规律

(1) 原因

- 1) 违反操作规程
- 2) 设备不合格
- 3) 维修不善
- 4) 偶然因素
- 5) 缺乏电器安全知识

(2) 规律

- 1) 季节性
- 2) 低压多于高压
- 3) 农村多于城市
- 4) 青、中年人



- 5) 单相多
- 6) 二次事故构成多
- 7) 与生产部门性质有关

3. 触电的形式

(1) 单相触电

电源中性点接地系统的单相触电
通过人体的电流为

$$I_b = \frac{U_P}{R_0 + R_b} = 219\text{mA} \gg 50\text{mA}$$

式中 U_P ——电源相电压 (220V);

R_0 ——接地电阻 $\leq 4\Omega$;

R_b ——人体电阻 1000Ω 。

(2) 电源中性点不接地系统的单相触电

人体接触某一相时, 通过人体的电流取决于人体电阻 R_b 与输电线对地绝缘电阻 R' 的大小。若输电线绝缘良好, 绝缘电阻 R' 较大, 对人体的危害性就减小。但导线与地面间的绝缘可能不良 (R' 较小), 甚至有一相接地, 这时人体中就有电流通过。

(3) 两相触电

这时人体处于线电压下, 触电后果更为严重。

通过人体的电流:

$$I_b = \frac{U_L}{R_b} = \frac{380}{1000} = 0.38\text{A} = 380\text{mA} \gg 50\text{mA}$$

4. 预防触电的措施

预防触电事故, 保证电气工作的安全措施: 绝缘、屏护、间距、接地、接零、应用漏电保护。

(1) 绝缘、屏护和间距

为了防止偶然触及或接近带电体造成的直接电击所采取的安全措施。

绝缘——用绝缘材料把带电体封闭起来。

屏护——采用遮拦、护罩、护盖、箱匣等把带电体同外界隔绝开来。

间距——保证人体与带电体之间的安全距离。

(2) 接地和接零

为了防止触及意外带电的导体而造成的间接电击所采取的安全措施。

接地——把电源或用电设备的某一部分, 通常是其金属外壳用接地装置同大地作电的紧密连接。

接零——将电气设备的外壳可靠地接到零线上。

(3) 安装保护装置

使用自动空气开关。自动空气开关是一种具备短路、过载、欠电压和失电压等多种保护功能的开关。如果自动开关与漏电装置组装在一起, 则称为漏电自动开关, 同时具备漏电保护功能。为防止负载短路或过电流, 单相电气设备的开关必须通过熔断器接到相线上。

(4) 创造不导电的环境, 可以采取绝缘、屏护、间距等措施。



5. 触电的急救

(1) 低压触电事故

如果触电地点附近有电源，可立即断开开关，拔下插头或熔断器等。如果事故现场离电源太远，可用有绝缘柄的电工钳或有干燥木柄的斧头切断电线。当电线搭接在触电者身上或被压在身下时，可使用非导电体，如木棒、竹竿、塑料棍等去拨开电源。

(2) 高压触电事故

立即电话通知有关部门停电，带上绝缘手套，穿上绝缘靴，用相应电压等级的绝缘工具拉开高压开关。或抛掷裸露金属导线使线路短路、接地，迫使保护装置动作，断开电源。

注意：

1) 救护人员不可直接用手或其他金属及潮湿的物件作为救护工具，必须使用适当的绝缘工具。

2) 要防止触电者脱离电源后可能的摔伤。

常用电器的应用

学习目标

通过本章的介绍，了解常用控制电器的定义和分类以及电磁式控制电器的基本结构和原理；懂得接触器的规格型号并掌握继电器的分类方法；最后通过具体的实训项目，加深对常用电器的理解。



2.1 常用控制电器

电器是对电能的生产、输送、分配和应用起控制、调节、检测及保护等作用的工具总称。如开关、熔断器、变阻器等。

通常把能够按照外界指定信号手动或自动接通和断开电路，实现对电路控制的电器称为控制电器。如熔断器、开关等即为控制电器。

显而易见，由控制电器的定义可知其功能是接通或断开电路，并且其功能与外界指定的信号有关。外界指定的信号对控制电器的作用即为控制电器的输入，控制电器对电路的通、断功能即为控制电器的输出。控制电器的输出只有通、断两种状态，故其输入也只有两种状态。因此，控制电器是一种双态元件。把控制电器接通电路的状态记作输出置“1”状态，断开电路记作输出置“0”状态，则控制电器可以看成是一种逻辑元件。

按动力的不同，控制电器可分为自动控制电器和非自动控制电器两类。例如，热磁断路器由人力直接操作，属于非自动控制电器；接触器由电磁力操作，属于自动控制电器。

按控制电器工作电压的高低，以交流 1200V、直流 1500V 为界，可划分为高压控制电器和低压控制电器两大类。

按控制电器的输出形式，可分为：

- 1) 有触点控制电器——电器通断电路的功能由触点来实现，如热磁断路器、接触器等。
- 2) 无触点控制电器——电器通断电路的功能不是通过接触，而是根据输出信号的高低电平来实现的，如晶闸管的导通与截止等。

按其控制对象的不同，控制电器分为电气控制系统用和电力系统用控制电器。本章叙述的是电气控制系统用控制电器。

按控制电器在电气控制系统中的作用，控制电器可分为信号元件和控制元件两大类：

- 1) 信号元件——用以把非电量（如机械位移、压力、温度等）的变化转换为电信号的控制电器。这类元件有按钮、行程开关、热继电器、速度继电器等。
- 2) 控制元件——是一种电器逻辑门。常见的有“与门”和“非门”，其输入和输出都是电信号。在电器控制系统中，它将信号元件和控制元件的输出经逻辑运算后的结果作为输入。因其节点数较多，且可以互相隔离，故输出可以同时分别控制自身、其他控制元件和执行元件（如电动机、电磁阀等）。这类元件有电磁式继电器、接触器等。

电器的分类方法很多，且相互交叉、覆盖。即某一电器按不同的分类方法，分属不同种类。如工作电压为 380V 的交流接触器，按不同的分类方法分属：低压电器、有触点电器、电气控制系统用电器。

下面就以施耐德电气（中国）投资有限公司（以下简称施耐德电气公司）的产品为例，介绍几种常用的控制电器。

2.1.1 控制电器的基本结构和原理

从结构上看，电磁式控制电器有 3 个基本组成部分：触点、灭弧原理、灭弧装置和电磁机构。

1. 触点

触点是一切有触点电器的执行部件，这些电器就是通过触点的动作来接通和断开被控电



路的。

(1) 触点的分断过程及电弧的产生

触点通常由动、静触点组合而成。两个触点之间的接触，从本质上来说是许多个点的接触。因此，在两个触点分开时势必最终要出现只有一个点在接触的现象。如果原先触点处于闭合状态，两个触点间有电流流过；分开时该触点处的电流密度惊人地增大（可达 $10^3 \sim 10^8 \text{ A/cm}^2$ ），致使触点金属熔化，并随着触点的互相分离形成熔化了的高温金属液桥。一旦金属液桥被拉断，触点就完全分开，从而在断开处立即产生电弧。如果随着触点的分离电弧被熄灭了，则相应的电路才被断开。

电弧实际上是一种气体放电现象。所谓气体放电就是气体中有大量的带电质点做定向运动。在触点分离的瞬间，动、静触点的间隙很小，电路电压几乎全部降落在触点之间，在触点间形成很高的电场强度，以致发生电场发射。发射的自由电子在电场作用下向阳极加速运动。高速运动的电子撞击气体原子时产生撞击电离。电离出的电子在向阳极运动过程中又将撞击其他原子，又使其他原子电离。撞击电离的正离子则向阴极加速运动，撞在阴极上会使阴极温度逐渐升高，到达一定温度时，会发生热电子发射。热发射的电子又参与撞击电离。这样在触点间隙中形成了炽热的电子流，即为电弧。

电弧一经形成，在弧隙中产生大量热能，其间的原子以很高的速度做不规则的运动并相互剧烈撞击，撞击的结果使原子产生电离，这种因高温使原子撞击所产生的电离称为气体热游离。特别是当触点表面的金属蒸气进入弧隙后，气体热游离的作用更占主要地位。

显然，电压越高，电流越大（即电弧功率越大），弧区温度越高，游离程度越剧烈，电弧亦越强。

应当指出，伴随着电离的进行也存在着消电离的现象。消电离主要是通过正、负带电质点的复合进行的。温度越低，带电质点运动越慢，越容易复合。

带电触点的分断过程就是电弧的形成及抑制过程。

(2) 触点的接通过程及电接触原理

有触点电器接通被控电路是靠触点的闭合来实现的。一般说来，触点的接触面积越大，触点的接触电阻越小，则触点接通电路的性能越好。所以，触点一般都是选用导电率高的金属材料制成的。

但不论什么金属表面，即使加工的再精密，也不可能形成理想的光滑表面。即两个金属接触面总是凹凸不平的，只有少数的点才是真正接触上的。因此，当触点接通电路时，触点实际上通电截面很小。此外，金属在空气中难免要氧化或硫化，在其表面生成氧化膜或硫化膜，而后的电阻率比金属本体要大得多，这都使触点接触处的电阻增大。在触点接触处的电阻称为触点接触电阻。为了减少损耗、降低温升，希望接触电阻尽量小些。

接触电阻的大小与触点的接触形式、接触压力、触点材料电阻率、机械性能和表面状况有关。一般来说，接触面积大，接触压力大，触点材料电阻率小，塑性形变好，表面光滑的触点的接触电阻较小。

触点在从分离到闭合的接通过程中，经常发生机械振动，即触点的闭合一分离一再闭合过程的重复。产生振动的原因可以从撞击的角度来解释。一般触点是通过弹簧机构来保证有一定的接触压力，使接触可靠。在触点闭合的瞬间，动触点弹簧被压缩。一旦弹簧的张力大于该反作用力，动触点又被推回与静触点接触。这样，动、静触点反复碰撞、反弹，但弹回



的距离一次比一次小，直到弹跳完全停歇，触点完全闭合。除机械碰撞外，触点电流仅从两触点间的少数触点流过，形成收缩状电流线。触点间的收缩电流产生的电动力也能导致触点振动，特别是当接通较大的电流时，电动力的影响更加显著。

触点的机械振动会使触点表面产生电气磨损。即触点弹跳时两触点间形成电弧，致使触点表面有部分金属被熔化，每次接触过程中动、静触点间的相对滑动将熔化的金属带走。此外，熔化了了的金属还可能喷溅或蒸发，而金属蒸气有可能被气流或磁吹作用所冲走，使触点材料越来越少，形成电气磨损。当触点接触表面有熔化的金属时，一旦机械振动过程结束，熔化了了的金属便因失去电弧产生的大量热量而凝固，使动静触点粘在一起，再也不能分开，即发生熔焊现象。

电气磨损会缩短触点的使用期限，熔焊则使电器不能正常工作。防止的办法是减少触点的振动。根据力学原理，适当增大触点弹簧的初压力、减小触点质量、降低触点的接通速度都可减少振动。

(3) 触点的基本结构形式

触点的接触形式：触点的接触形式有点接触（如球面对球面、球面对平面等）、线接触（如圆柱对平面、圆柱对圆柱等）和面接触（如平面对平面）3种。如图 2-1 所示，其中图 2-1a) 是点接触；图 2-1b) 是线接触；图 2-1c) 是面接触。

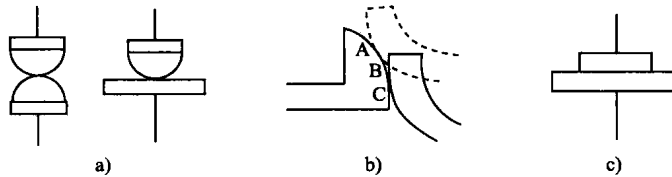


图 2-1 触点的 3 种接触形式

在这 3 种接触形式中，点接触的接触点数最少，因此它只能用于小电流的电器中，如接触器的辅助触点和继电器的触点。面接触的接触点数最多，它允许通过较大的电流。这种触点一般在接触表面上镶有合金，以减小触点接触电阻和提高耐磨性，多用于较大容量的接触器的主触点。线接触的接触区域是一条直线，其触点在通断过程中有滚动动作，如图 2-1b) 所示。开始接触时，动、静触点在 A 点接触，靠弹簧的压力经 B 点滚到 C 点。断开时作相反运动。这样可以清除触点表面的氧化膜。同时长期工作的位置是在 C 点而不是在易烧灼的 A 点，从而保证了触点的良好接触。这种滚动线接触多用于中等容量的触点，如接触器的主触点。

触点的结构形式：在常用继电器和接触器中，触点的结构形式主要有单断点指形触点和双断点桥式触点。

图 2-1b) 所示为单断点指形触点。该触点的特点是只有一个断口，一般多用于接触器的主触点。其优点为

- 1) 闭合、断开过程中有滚滑运动，能自动清除表面的氧化物，以保证接触可靠；
- 2) 可采用铜或铜基合金触点材料；
- 3) 触点接触压力大，电动稳定性高；
- 4) 触点参数较易调节。



其缺点是：

- 1) 触点开距大，从而增大了电器体积；
- 2) 触点闭合时冲击能量大，并有软连接，不利于机械寿命的提高。

图 2-2 所示为双断点桥式触点的结构示意图。这种触点的优点是：

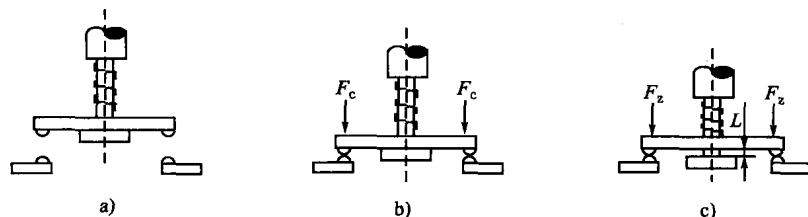


图 2-2 双断点桥式触点

a) 最终断开位置 b) 刚刚接触位置 c) 最终闭合位置

- 1) 具有两个有效灭弧区域，灭弧效果很好。小容量交流接触器或继电器采用这种触点时，可利用两个断点，增加电弧长度，有利于熄弧；
- 2) 触点开距小，使电器的结构紧凑，体积小；
- 3) 触点闭合时冲击能量小，无软连接，有利于提高机械寿命。

这种触点的缺点是：

- 1) 触点不能自动净化，触点材料必须用银或银基合金；
- 2) 每个触点的接触压力小，电动稳定性较低；
- 3) 触点参数不易调节。

触点的初压力、终压力和超程：为了减小接触电阻及减弱触点接触点的振动，需要在触点间加一定的压力。此压力一般是由弹簧产生的。当动触点与静触点刚接触时，由于安装时动触点的弹簧已经被预先压缩了一段，因而产生一个初压力 F_c （如图 2-2b）所示。初压力的作用是削弱接触振动，它可通过调节触点弹簧预压缩量来增减。触点闭合后弹簧在运动机构的作用下被进一步压缩，运动机构运动终止时，弹簧产生的压力为终压力 F_z （如图 2-2c）所示。终压力的作用是减小接触电阻。弹簧被进一步压缩的距离 L 称为触点的超程，超程越大终压力亦越大。有了超程，触点在被磨损的情况下仍具有一定的接触压力，能继续正常工作。当然，磨损严重时应及时更换触点。

2. 灭弧原理及灭弧装置

如前所述，当动、静触点在通电状态下脱离接触时，两者之间的间隙会产生电弧。电弧的存在不但妨碍了电路及时可靠地分断，而且会使触点受到磨损。为此，必须采取适当且有效的措施，以保护触点系统，降低它的磨损，提高它的分断能力，从而保证整个电器的工作安全可靠。

根据前述电弧产生的物理过程可知，欲使电弧熄灭，应设法降低电弧区温度和电场强度，这就需加强消电离作用。当电离速度低于消电离速度时，电弧即逐渐熄灭。常用的灭弧方法有拉长电弧、切断或分隔电弧等。

(1) 多断点灭弧

在交流继电器和接触器中常采用桥式触点（如图 2-2 所示），这种触点有两个断点。交