

零起步巧学
电工技术丛书

零起步巧学

低压电控系统

杨清德 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

零起步巧学
电工技术丛书

零起步巧学

低压电控系统

杨清德 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

由于国家大力提倡农村剩余劳动力转移,目前工人技术入门和培训的书籍是比较需要的。根据这部分读者的特点,特编写了本套丛书。本书以一个没有基础的人要学电工技术的角度编写,在编写的过程中多用图表来讲解,重点讲如何巧学、巧用。

本书共7章,具体内容包括:电工元器件的基础知识;各种高低压电器(如接触器、继电器等)的有关知识,包括各类电器的外形、内部结构、工作原理介绍以及它们的选用、安装、使用等。书中深入细致地分析了各种低压电气控制应用电路的实现方案,并且对原理进行图解说明等;书中还介绍了常用的电工材料、电线电缆及变频器的有关知识。

本书通俗易懂,适合于电工初学者阅读,及作为培训教材;也可供职业学校电工、电子专业师生参考;也可供有一定经验的电工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

零起步巧学低压电控系统 / 杨清德编著. —北京:中国电力出版社, 2009

(零起步巧学电工技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8456 - 6

I. 零… II. 杨… III. 低压电器 - 电气控制 IV. TM52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 011877 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年4月第一版 2009年4月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 32开本 10.875印张 334千字

印数0001—4000册 定价20.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



基于当前大量农民工就业、在职职工转岗就业、毕业生择业上岗和有志青年自学成才急需入门电工技术读物的需求，由中国电力出版社策划并组织有关专家、学者编写了《零起步巧学电工技术》丛书。

电工技术是一门知识性、实践性和专业性都比较强的实用技术，其应用领域较广，各个行业及各个岗位涉及的技术各有侧重。为此，本丛书在编写时充分考虑了多数电工初学者的个体情况，以一个无专业基础的人从零起步初学电工技术的角度，将初学电工的必备知识和技能进行归类、整理和提炼，并选择了近年来中小型企业电工紧缺岗位从业人员必备的几个技能侧重点，用通俗的语言，多用图、表来讲解，重点讲如何巧学、巧用，回避了一些实用性不强的理论阐述，以便让文化程度不高的读者能通过直观、快捷的方式学好电工技术，为今后工作和进一步学习打下基础。书中穿插了“知识链接”、“知识点拨”、“技能提高”等板块，以增加趣味性，提高可读性；每章之后设计了思考题，以留给读者较大的思维空间和探索空间。

本套丛书第一主编由杨清德担任，他是国家级重点职业学校的重庆市市级骨干教师、维修电工高级技师、国家职业技能鉴定高级考评员、工程师，发表文章四百余篇，出版专著十余本，是从事职业技术教育二十余年的专家和多家企业的技术顾问，具有丰富的教学经验和实践经验。在杨清德老师的组织下，由杨清德、胡萍、杨卓荣、余明飞、康娅、黎平、成世兵、谭光明、胡大华等同志组成丛书编委会（谭光明主要负责资料收集和部分插图的计算机绘制），分工合作编写了这套适合于初学者阅读的丛书，包括《零起步巧学巧用万用表》、《零起步巧学巧用电工工具》、《零起步巧学电工识图》、《零起步巧学低压电控系统》、《零起步巧学电动机维修》5本。为帮助读者能尽可能多地获取近年来的电工技术新知识，本丛书在编写过程中，吸取了许多书籍的精华，借鉴了

众多电气工作者的成功经验，在此向原作者表示真诚的感谢。

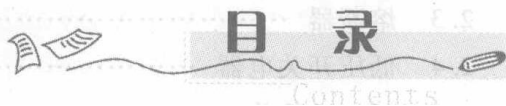
《零起步巧学低压电控系统》是本丛书中的一本，由杨清德编著，成世兵参与了第7章的编写。

本书主要包括电工元器件基础知识、常用低压电器元件及应用、常用高压电器元件及应用、常用电工材料及应用、电力电线电缆及应用、低压电气控制应用电路和变频器及选用等内容，重点介绍了近年来应用比较广泛的新器件、新技术。本书涉及的器件和电路比较多，读者可根据自己的实际工作需要，选学书中的部分内容。

本书通俗易懂，适合于电工初学者阅读，可作为培训教材，也可供职业学校电工、电子专业师生参考，亦可供有一定经验的电工技术人员参考。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在疏漏，敬请各位读者多提意见和建议，盼赐教至 yqd611@163.com，以期再版时修改。

编 者



目 录

Contents

前言

第1章 电工元器件基础知识	1
1.1 电工元器件的基本功能	1
1.2 低压电器产品的分类	2
1.3 电器元件的绝缘等级	5
1.3.1 电器的绝缘	5
1.3.2 电器防触电等级	5
1.4 电器元件的额定值	5
1.5 电器元件的耐热性	6
1.6 电器产品的工作制	7
1.7 电器元件的故障率	7
1.7.1 电器故障率时段	8
1.7.2 不同“服役”期的检修	9
1.8 电工电器产品安全认证常识	11
第2章 常用低压电器元件及应用	16
2.1 接触器	16
2.1.1 交流接触器	17
2.1.2 直流接触器	27
2.2 继电器	32
2.2.1 电磁式继电器	33
2.2.2 时间继电器	39
2.2.3 热继电器	45
2.2.4 速度继电器	52
2.2.5 温度继电器	55

2.2.6	小型通用继电器	56
2.2.7	固态继电器	56
2.3	熔断器	60
2.4	低压开关电器	64
2.4.1	刀开关	64
2.4.2	组合开关	71
2.4.3	低压断路器	75
2.5	主令电器	80
2.5.1	控制按钮	81
2.5.2	行程开关	85
2.5.3	接近开关	88
2.6	互感器	89
2.6.1	电流互感器	89
2.6.2	电压互感器	94
2.7	电磁铁	98
2.8	电力电阻器和电容器	101
2.8.1	电力电阻器	101
2.8.2	电力电容器	104
第3章	常用高压电器元件及应用	110
3.1	高压断路器	110
3.2	高压隔离开关	122
3.3	高压熔断器	128
3.3.1	固定式高压熔断器	129
3.3.2	跌落式高压熔断器	130
3.4	高压负荷开关	138
3.5	避雷器	141
3.6	高压互感器	143
3.6.1	高压电流互感器	144
3.6.2	高压电压互感器	147
3.7	高压电容器	148

第4章 常用电工材料及应用	151
4.1 导电材料	151
4.1.1 常用金属材料的导电性	151
4.1.2 铜和铝	152
4.1.3 熔体材料	153
4.1.4 电刷	155
4.2 常用绝缘材料	158
4.2.1 概述	159
4.2.2 绝缘黏带	163
4.2.3 绝缘套管	166
4.2.4 绝缘板	167
4.2.5 常用其他绝缘材料	169
4.3 磁性材料	173
4.3.1 软磁材料	173
4.3.2 硬磁材料	174
4.4 常用焊料	175
 第5章 电力电线电缆及应用	 185
5.1 电线电缆的结构	185
5.2 导线的型号	187
5.3 常用电线电缆	190
5.3.1 高压交联聚乙烯绝缘电力电缆	190
5.3.2 聚氯乙烯绝缘护套电力电缆	190
5.3.3 10kV 钢芯铝交联聚乙烯绝缘架空电缆	191
5.3.4 聚氯乙烯绝缘护套控制电缆	192
5.3.5 聚氯乙烯绝缘硬电线	192
5.3.6 聚氯乙烯绝缘软电线	192
5.3.7 清洁环保建筑电缆	193
5.3.8 硬母线	194
5.3.9 导电带	197
5.3.10 裸导线	197

5.4	导线和电缆的选用	199
5.5	漆包线	206
第6章	低压电气控制应用电路	210
6.1	电动机单向直接起动控制电路	210
6.1.1	手动直接起动控制电路	211
6.1.2	电动机点动正转控制电路	213
6.1.3	电动机单向连动起动控制电路	223
6.1.4	既能点动又能单向连动的控制电路	229
6.1.5	两地控制同一台电动机的起停控制电路	230
6.2	电动机正反转控制电路	231
6.2.1	接触器连锁正反转控制电路	232
6.2.2	按钮连锁正反转控制电路	238
6.2.3	双重连锁正反转控制线路	241
6.3	三相异步电动机降压起动控制电路	244
6.3.1	星形/三角形降压起动控制电路	244
6.3.2	自耦降压起动控制电路	254
6.3.3	定子回路串接电阻降压起动控制电路	257
6.4	三相异步电动机制动控制电路	260
6.4.1	反接制动控制电路	260
6.4.2	能耗制动控制电路	265
6.4.3	回馈制动控制电路	269
6.5	三相异步电动机调速控制电路	270
第7章	变频器及选用	276
7.1	变频器调速系统的优势	276
7.2	变频器的基本结构	280
7.3	变频器的面板控制	283
7.3.1	操作面板	283
7.3.2	变频器的面板控制	285
7.4	变频器的外部接口	286

7.5	变频器的主要控制功能	290
7.6	变频器的选择	297
7.6.1	电压等级的确定	298
7.6.2	变频器类型的选择	298
7.6.3	变频器容量的选定	300
7.7	变频器周边设备的选配	302
7.7.1	周边设备及连接导线的选配	302
7.7.2	断路器和漏电断路器的选配	304
7.7.3	电磁接触器、过载继电器的选配	305
7.7.4	电抗器、滤波器的选配	307
7.7.5	制动电阻的选配	308
7.7.6	电网电源切换电路	309
7.8	变频器的正确使用	310
7.8.1	开机前的检查	310
7.8.2	变频器开机方法	315
7.8.3	变频器基本参数的设置	317
7.8.4	变频器的日常维护	320
7.9	变频器故障处理	325
7.9.1	变频器故障处理方法	325
7.9.2	变频器常见故障及原因	327
	参考文献	335



第 1 章

电工元器件基础知识

电工元器件是元件和器件的总称,涉及的种类很多。本章仅介绍电工元器件的基本功能,低压电器产品的分类,电器元件的绝缘等级,电器元件的额定值、耐热性、工作制、故障率和电器产品安全认证常识等一般常识,为正确运用常用电工元器件奠定必要的基础。



1.1 电工元器件的基本功能

电器是指能够根据外界施加的信号和要求,自动或手动地接通和断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现对电路或非电量对象的变换、检测、控制、保护、调节、显示和传递信息用的电器元件。

电器在电控系统中的基本功能主要有以下几个方面:

(1) 通断功能:按工作要求来接通或断开主电路,如各种高低压断路器、负荷开关、隔离开关等。

(2) 保护功能:对供电系统进行过电流和过电压等保护,如高低压熔断器、避雷器、保护继电器等。

(3) 变换功能:按供电系统工作的要求来改变电压和电流,如电力变压器、互感器、模拟量与数字信号转换器(A/D转换器)等。

(4) 控制功能:控制电路和控制系统的通断,如接触器、控制继电器、控制开关等。

(5) 调节功能:调节供电系统的电压和功率因数等参数,如电压调节器、无功功率补偿装置。

(6) 显示功能:显示系统的各工作参数状态,如电流表、电压表、热

电耦温度表、时间继电器、LCD 显示器等。

1.2 低压电器产品的分类

从生产或使用的角度, 电器可分为高压电器和低压电器两大类。电力用户的各种生产机械设备, 绝大多数是采用低压供电的, 故电器产品中以低压电器的品种与数量为多。

低压电器的种类很多, 分类方法也多种多样。

(1) 按用途和控制对象的不同来分类: 电力网配电电器与电力拖动控制电器。

(2) 按电器动作的特点来分类: 自动切换电器与非自动切换电器。

(3) 按使用的工作环境、条件来分类:

1) 通用型低压电器: 它是低压电器的基本类型。

2) 矿山用低压电器: 主要用于矿山(井), 具较好的防尘和较强的防爆特性。

3) 化工企业用低压电器: 属防腐蚀、防尘、防爆类电器。

4) 船用低压电器: 有抗摇动、防潮湿、防盐雾及霉蚀功能。

5) 航空低压电器: 高可靠性, 耐振动, 体积小而轻。

6) 热带低压电器: 散热性能好, 适用于热带各种气候。

7) 牵引低压电器: 主要用于各类电力牵引机车, 综合性能好, 能耐高温、倾斜及振动等。

8) 高原低压电器: 适合于海拔 1000 ~ 4000m 的高原地区。

(4) 按防护形式和防护级别来分类: 产品的防护级别由外壳防护标志字母“IP”加两位数表示, 即 IPXX。IP 后第一位数代表“第一类防护形式及级别”; IP 后第二位数代表“第二类防护形式及级别”。例如: IP3X (无第二类防护时用字母 X 填充)、IPX3 (无第一类防护时, 也用字母 X 填充)、IP35 等。

1) 第一类防护形式及级别: 第一类防护形式是为防止固体异物进入低压电器内部及防止人体触及内部带电或运动部分的防护。这种防护共分

为 0~6 七个等级, 即 IP0X、IP1X、IP2X、IP3X、IP4X、IP5X、IP6X。等级数越大, 防护越严密。

2) 第二类防护形式及级别: 第二类防护形式是防止水进入低压电器内部达到有害程度的防护。这种防护共分为 0~9 十个等级, 即 IPX0、IPX1、IPX2、IPX3、IPX4、IPX5、IPX6、IPX7、IPX8、IPX9。等级数越大, 防护越严密。

3) 同时具有两种防护的: 在 IP 后面同时跟有两位数。例如: IP36, 含义为该低压电器产品具有 3 级防止固体异物进入低压电器内部及防止人体触及内部带电或运动部分的防护能力, 同时也具备 6 级防止水进入能力。外壳防护等级的分类代号含义说明见表 1-1。

表 1-1 外壳防护等级的分类代号含义说明

项 目	代 号 组 成 格 式	
代号含义说明	 注: 只用于单一防水或固体时, 则另一特征数字用字母 X 代替	
特征数字	含 义 说 明	
	第一位特征数字	第二位特征数字
0	无防护	无防护
1	防大于 50mm 的固体异物	防滴 (垂直滴水对设备无有害的影响)
2	防大于 12mm 的固体异物	15°防滴 (倾斜 15°, 垂直滴水对设备无有害的影响)
3	防大于 2.5mm 的固体异物	防淋水 (倾斜 60°以内淋水, 对设备无有害的影响)
4	防大于 1mm 的固体异物	防溅水 (任何方向溅水, 对设备无有害的影响)
5	防尘 (尘埃进入量不致妨碍正常运转)	防喷水 (任何方向喷水, 对设备无有害的影响)
6	尘密 (无尘埃进入)	防猛烈喷水 (任何方向猛烈喷水, 对设备无有害的影响)

续表

项 目	代 号 组 成 格 式	
特征数字	含 义 说 明	
	第一位特征数字	第二位特征数字
7	—	防短时浸水影响（浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致达到有害影响）
8	—	防持续潜水影响（持续潜水后外壳进水量不致达到有害影响）



【知识链接】

高低压电器元件的划分

电器元件以对地电压 250V 为高、低压的界限，这是从安全的角度上来定的。《电业安全工作规程》总则第四条规定：“电器元件分为高压和低压两种：高压，设备对地电压在 250V 以上者；低压，设备对地电压在 250V 及以下者。”此规定考虑到高压和低压对人身安全的威胁不同以及安全措施的要求不同，明确以 250V 为界作为执行高低压工作安全措施的分界。如 250V 及以下就不需要加遮栏等，而 250V 以上就需保持一定的安全距离，必要时还需加遮栏等安全措施。但规程所指的低压，并不是对人身没有危险的电压，只是安全措施不同而已。另外，接于 380/220V 三相电器元件，当系统中性点直接接地时，属于低压电器元件；当中性点不直接接地时，则属于高压设备。这是因为在一相发生碰壳接地的情况下，当中性点直接接地时，其他两相的对地电压仍为 220V；而当中性点不直接接地时，其他两相的对地电压超过 250V 而接近于 380V。

我国交流电高电压和低电压的划分标准，在实际工程上另有一种划分，即以 1kV 为界划分高低压。这是出于高电压技术的需要，即 1kV 以下的电器元件称为低压电器，1kV 及以上的电器元件则称为高压设备。《电业安全工作规程（变电站和发电厂电器部分）（试行）》总则第七条规定：“电器元件分为高压和低压两种：高压电器元件，电压等级在 1000V 及以

上者；低压电器元件，电压等级在 1kV 以下者。”



1.3 电器元件的绝缘等级

1.3.1 电器的绝缘

电器的绝缘分为基本绝缘、附件绝缘、双重绝缘、加强绝缘 4 种。

(1) 基本绝缘：是指用于带电部分、提供防触电基本保护的绝缘措施。

(2) 附件绝缘：是指在基本绝缘失效之后提供的防触电保护绝缘（是基本绝缘以外的独立绝缘措施）。

(3) 双重绝缘：是基本绝缘与附件绝缘组合而成的绝缘。

(4) 加强绝缘：是用于带电部分的一种单一绝缘系统，其防触电保护等级相当于双重绝缘。

1.3.2 电器防触电等级

电器产品按防止人身触电的程度可分为 5 级。

(1) 0 级：仅有基本绝缘，无接地元件（接地螺栓、接地端子等）或其他防止触电的保护元件。

(2) 0I 级：有基本绝缘、接地元件及连接电源的导线，但无接地芯线。

(3) I 级：有基本绝缘和接地元件，如果此级产品有连接电源的导线，则这种导线应有接地芯线和带接地极的插头（使用时插在有保护接地插孔的专用插座上）。

(4) II 级：有双重绝缘或加强绝缘但无接地元件。

(5) III 级：低电压产品，内部电路与外部电路均无 45V 以上的电压。



1.4 电器元件的额定值

为了保证电器元件及电路元件能够长期安全地工作，规定了额定电

压、额定电流、额定功率等铭牌数据。

(1) 额定电压：电器元件或电路元件在正常工作条件下允许施加的最大电压。

(2) 额定电流：电器元件或电路元件在正常工作条件下允许通过的最大电流。

(3) 额定功率：在额定电压和额定电流下消耗的功率，即允许消耗的最大功率。

(4) 额定工作状态：电器元件或电路元件在额定功率下的工作状态，也称满载状态。

(5) 轻载状态：电器元件或电路元件在低于额定功率时的工作状态。轻载时电器设备不能得到充分利用或根本无法正常工作。

(6) 过载（超载）状态：电器元件或电路元件在高于额定功率时的工作状态。过载时电器元件很容易被烧坏或造成严重事故。

1.5 电器元件的耐热性

电器元件的工作允许温度很大程度受其制作绝缘材料耐热温度的限制。常用的绝缘材料有合成树脂、有机薄膜、玻璃纤维、云母、棉纱、纸、陶瓷、石棉等。不同绝缘材料其耐热温度不同，一般可分为 7 级，从低到高分别是 Y、A、E、B、F、H、C 级。例如，常用的电动机多为 A 级、E 级或 B 级。各种级别的极限温度见表 1-2。

表 1-2 常用绝缘材料的耐热等级及其极限温度

数字 代号	耐热 等级	极限温度 (℃)	相当于该耐热等级的绝缘材料简述
0	Y	90	用未浸渍过的棉纱、丝及纸等材料或其混合物所组成的绝缘结构
1	A	105	用浸渍过的或浸在液体电介质（如变压器油）中的棉纱、丝及纸等材料或其混合物所组成的绝缘结构
2	E	120	用合成有机薄膜、合成有机瓷器等材料的混合物所组成的绝缘结构
3	B	130	用合适的树脂黏合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等，以及其他无机材料、合适的有机材料或其混合物所组成的绝缘结构

数字 代号	耐热 等级	极限温度 (℃)	相当于该耐热等级的绝缘材料简述
4	F	155	用合适的树脂黏合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等,以及其他无机材料、合适的有机材料或其混合物所组成的绝缘结构
5	H	180	用合适的树脂(如有机硅树脂)黏合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等材料或其混合物所组成的绝缘结构
6	C	> 180	用合适的树脂黏合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维,以及未经浸渍处理的云母、陶瓷、石英等材料或其混合物所组成的绝缘结构

注 C 级绝缘的极限温度应根据材料具体情况确定

1.6 电器产品的工作制

电器按其通电时间长短、使用的时间间隔不同,一般可划分为 4 种工作制:

(1) 8 小时工作制:当电器的电流回路通过一稳定电流时,其通电时间足以达到热平衡,但超过 8h 时必须断开电路。

(2) 长期工作制:当电器的电流回路通过一稳定电流时,其通电时间超过 8h 也不断开电路。长期工作制也称不间断工作制。

(3) 短期工作制:在电器的电流回路中,通电时间与断电时间相互交替,通电时间比断电时间短的工作制,并且通电时间不足以使电器达到热平衡,而两次通电之间的间隔的时间足以使电器温度恢复到环境温度。

(4) 反复短时工作制:在电器的电流回路中,通电时间与断电时间相互交替,并且有一定比值。反复短时工作制也称断续周期工作制。

电器因其工作制的不同,其结构、选材、成本都有差异。了解电器的工作制特点,是合理选用电器元件的重要参考依据。

1.7 电器元件的故障率

电器元件在整个“服役”期限内,故障发生的次数和使用时间之间是