

高压电器及元件装配工教程

GAOYA DIANQI JI YUANJIAN ZHUANGPEIGONG JIAOCHENG

主编 © 魏光林



电子科技大学出版社

高压电器及元件装配工教程

主 编 魏光林

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高压电器及元件装配工教程 / 魏光林主编. —成都:
电子科技大学出版社, 2010. 10
ISBN 978 - 7 - 5647 - 0685 - 2

I. ①高… II. ①魏… III. ①高压电器—装配—教材
IV. ①TM5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 203769 号

高压电器及元件装配工教程

主 编 魏光林

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 谢应成 郭 庆

责任编辑: 谢应成

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 平顶山龙发印刷有限公司

成品尺寸: 190mm×265mm 印张 25 字数 560 千字

版 次: 2010 年 10 月第一版

印 次: 2010 年 10 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-0685-2

定 价: 48.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

编 委 会

主 编 魏光林

副 主 编 王普庆 李俊涛 赵文强 孙 鹏 杜春江 历 达
郭英杰 方煜瑛

编委会成员 张国跃 常娟娟 史周兴 蒋志恒 李秀娟 张洪涛
张 涛 和永峰 许明圣 刘亚敏 付庆虹 姜渊玺
常朋克

前 言

高压电器及元件装配工是高压开关制造业的关键技术工种，装配人员的技术业务素质与产品质量密切相关。为提高装配操作人员的技能水平，满足高压电器及元件装配工的岗位需要和职业技能鉴定要求，特组织编写本教程。

随着科学技术的迅猛发展，高压开关设备的品种、数量不断增多，性能及电压等级不断升级，特别是特高压技术的应用，对培训工作提出了更高的要求。为适应国家电网公司快速发展的需要，在中电装备平高集团有限公司领导及相关单位的大力支持下，公司于2009年5月开始组织专家和产品设计人员在原《高压电器及元件装配工》的基础上进行改编，增加了钳工基础知识、电工基础知识、特高压知识简介、互感器、典型零部件装配实例等内容，作为中级装配工培训教材。同时增加了高级装配工内容，主要包括：智能电网、高压电器试验技术、液压操动机构、弹簧操动机构、电动操动机构、高压交流断路器、高压交流隔离开关和接地开关、气体绝缘金属封闭开关设备、典型零部件产品装配实例等。经过1年多的艰苦努力，于2010年7月完成。希望本教程的出版能够为高压开关设备制造业提供技术指导和借鉴。

本教程的指导思想是：贯彻党的教育方针，注重操作人员素质的全面提高。坚持理论与生产实际相结合，突出岗位和职业技能培训的科学性和先进性，注重对操作人员分析问题、解决问题能力的培养，体现高压开关行业技术的发展，与公司生产实际需求紧密结合。

本教程的培养目标是：以中、高级操作技能型人才为培养目标，满足公司岗位需要，达到国家职业标准的要求。

由于我们的水平有限，再加上时间仓促，书中不妥或错误之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见或建议，以便及时更正修改。

编 者

2010年8月

目 录

第一篇 基础部分

第一章 基础知识	2
第一节 电工基础知识	2
第二节 钳工基础知识	14
第二章 高压电器概述	23
第一节 电力系统与高压电器	23
第二节 高压电器的型号编制办法	30
第三节 特高压知识简介	33
第三章 高压开关行业发展概述	36
第一节 行业宏观形势	36
第二节 高压开关行业发展前景	43

第二篇 专业部分

第四章 高压电器装配工艺	47
第一节 高压电器装配基础知识	47
第二节 装配中的清洁度的处理	50
第三节 典型装配工艺技术	52
第四节 安全操作规程	70
第五章 电气控制系统	79
第一节 电气控制系统概述	79
第二节 二次控制原理	80
第三节 常用电器元件	88

第四节 配线工艺	97
第六章 六氟化硫断路器	113
第一节 六氟化硫断路器的性能知识及技术参数	113
第二节 六氟化硫断路器的结构形式及原理	117
第三节 六氟化硫断路器的装配工艺	138
第四节 六氟化硫断路器出厂前的检验	161
第五节 六氟化硫断路器的现场安装	165
第七章 高压交流隔离和接地开关	187
第一节 概述	187
第二节 高压交流隔离和接地开关的性能知识及技术参数	187
第三节 高压交流隔离开关和接地开关的结构型式及原理	192
第四节 高压交流隔离开关和接地开关的装配工艺	198
第五节 高压交流隔离开关和接地开关的出厂检验	202
第六节 现场安装	205
第八章 气体绝缘金属封闭开关设备	208
第一节 GIS 基础知识、性能及技术参数	208
第二节 典型接线方式及总体布置	214
第三节 GIS 的结构形式及原理	222
第四节 GIS 的典型装配工艺	241
第五节 GIS 出厂前检验	254
第六节 GIS 现场安装	265
第九章 中压电器	281
第一节 中压电器的范畴和特点	281
第二节 中压电器典型产品结构和工作原理	282
第三节 中压电器产品的装配工艺	288
第四节 中压电器产品出厂前的试验	293
第五节 中压电器产品现场安装	296
第十章 高压互感器	299

第一节	高压互感器现状及展望	299
第二节	互感器的用途及分类	302
第三节	电压互感器	304
第四节	电流互感器	308
第五节	互感器制造工艺	320
第六节	互感器试验	326
第七节	互感器现场安装	328
第十一章	高压交流断路器典型零部件、产品装配实例	330
第十二章	高压交流隔离开关典型零部件、产品装配实例	342
第十三章	GIS 典型零部件、产品装配实例	358
第一节	ZF11 产品装配实例	358
第二节	ZF12-126 隔离开关装配实例	371
附 录		378

第一篇

基 础 部 分

第一章 基础知识

第一节 电工基础知识

一、直流电路基本知识

1. 直流电路的基本物理量

电源——为电路提供电能的设备。常用的电源有发电机和蓄电池等。

电动势——表示电源将正电荷从电源负极经电源内部移向正极的能力，符号为 E ，单位为伏特 (V)。

电压——电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，称为 a 、 b 两点间的电压，用 U_{ab} 表示。单位为伏特 (V)。

电流——电荷的定向移动形成电流，用符号 I 表示，单位为安培或安 (A)。

电阻——导体在通过电流时对电流起的阻碍作用。电阻常用 R 表示，单位为欧姆 (Ω)。

电功——电流所做的功，简称电功 (即电能)，用字母 W 表示。单位为焦耳或焦。常用单位还有千瓦时和度。

电功率——电流在单位时间内所做的功，用字母 P 表示，单位为瓦特 (W)。

2. 电路和电路元件

简单地说，电路就是电流的通路。由直流电源供电的电路叫直流电路。

电路有四个基本组成部分：

电源——为电路提供电能的设备；

负载——又称用电器，作用是将电能转变为其他形式的能；

导线——起连接电路和输送电能的作用；

控制装置——主要作用是控制电路的通断。

电路的连接有串联、并联及混联三种形式。

3. 电阻的串联、并联和混联

(1) 电阻的串联

凡是电阻首尾依次相连，使电流只有一条通路的连接方式称为电阻的串联。串联电路的特点：

① 电路中流过每个电阻的电流都相等；

② 电路两端的总电压等于各电阻两端的分电压之和，即 $U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$ ；

③ 电路的等效电阻 (即总电阻) 等于各串联电阻之和，即 $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$ ；

④ 电路中各个电阻两端的电压与它的阻值成正比，即 $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n}$ 。

(2) 电阻的并联

把多个元件并列地连接起来，由同一电压供电的连接方式称为电阻的并联电路。并联电路的特点：

- ① 电路中各电阻两端的电压相等，且等于电路两端的电压；
- ② 电路的总电流等于流过各电阻的电流之和，即 $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ ；
- ③ 电路的等效电阻（即总电阻）的倒数等于各并联电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

- ④ 电路中通过各支路的电流与支路的阻值成反比，即 $I_1/I_2 = R_2/R_1$ 。

(3) 电阻混联

既有电阻串联又有电阻并联的连接方式称为电阻混联。对于电阻混联电路的分析计算，要把电路分解为若干个串联和并联关系的电路（然后在电路中各电阻的连接点上标注不同的字母），再根据电阻串、并联的关系逐一化简、计算等效电阻，并作出等效电路图。

4. 欧姆定律及直流电路计算

(1) 欧姆定律

欧姆定律是表示电压、电流和电阻三者关系的基本定律。通过电阻的电流与电阻两端所加的电压成正比，与电阻成反比，即 $I = U/R$ （或 $U = IR$ 、 $R = U/I$ ）。

(2) 直流电路的计算公式

- ① 电流、电压、电阻计算公式： $I = U/R$ 、 $U = IR$ 、 $R = U/I$ ；
- ② 电功计算公式： $W = UI t = I^2 R t = U^2 t / R$ ；
- ③ 电功率计算公式： $P = W/t = UI = I^2 R = U^2 / R$ 。

二、交流电基本知识

1. 交流电和单相交流电路的概述

大小和方向都随时间按一定规律作周期性变化的电动势、电压、电流分别称为交变电动势、交变电压和交变电流，统称为交流电。在交流电作用下的电路称为交流电路。在工业上应用的交流电，一般按正弦曲线的规律变化，所以称为正弦交流电。

2. 交流电的基本物理量

- ① 瞬时值——交流电在某一瞬间的数值称为瞬时值，规定用小写字母表示，分别用 e 、 u 、 i 表示。
- ② 最大值——正弦交流电在一个周期所能达到的最大瞬时值，又称峰值、幅值。最大值用大写字母加下标 m 表示，如 E_m 、 U_m 、 I_m 。
- ③ 有效值——使交流电和直流电加在同样阻值的电阻上，如果在相同的时间内产生的热量相等，就把这一直流电的大小叫做相应交流电的有效值。有效值用大写字母表示，如 E 、 U 、 I 。正弦交流电电流、电压、电动势有效值等于最大值 E_m 、 U_m 、 I_m 的 $1/\sqrt{2}$ 。
- ④ 周期——交流电变化一周所需的时间，用符号 T 表示，单位为秒（s）。
- ⑤ 频率——交流电每秒变化的次数，用符号 f 表示，单位为赫兹（Hz），周期和频率

互为倒数关系。

⑥ 角频率——交流电每秒变化的弧度，单位为弧度/秒（rad/s）。

3. 三相正弦交流电路

① 三相正弦交流电的概念

三相电源是由频率相同、振幅值相同、相位依次互差 120° 的三个电动势组成的。

这三个电动势称为三相对称交流电动势，通常是由三相交流发电机产生的。把组成三相电路的每一单相电路称为一相，即称为A相、B相和C相。

② 三相电源的连接

星形连接——把发电机三相绕组的末端连接在一起成为一个公共端点（称中性点），用符号“N”表示，从中点N引出的线称为中线（又叫零线）；从三个线圈始端分别引出一根导线称为端线或相线，俗称火线。这种接法又称为三相四线制，如图1-1所示。

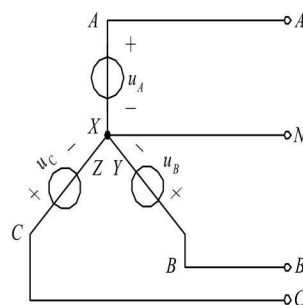


图 1-1

三相四线制可以输送两种电压，一种是端线与端线之间的电压，称为线电压，另一种是端线与中线之间的电压，称为相电压，线电压与相电压在数值上的关系为 $\sqrt{3} U_{\text{相}} = U_{\text{线}}$ ，相位上线电压总是超前于对应的相电压 30° 。

角形连接——将三相绕组的相头和相尾依次连接在一起，称为三角形连接，如图1-2所示。这时从三个连接点分别引出的三根端线A、B、C就是火线，显然三角形连接时，线电压与相电压的关系为 $U_{\text{相}} = U_{\text{线}}$ 。

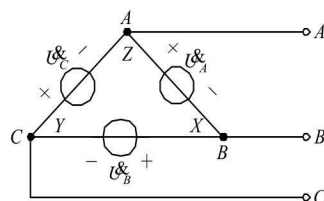


图 1-2

③ 三相负载的连接

星形连接——把三相负载分别接在三相电源的一根相线和中线之间的接法（常用“Y”标记）。

三角形连接——把三相负载分别接在三相电源每两根相线之间的接法（常用“ Δ ”标记）。

三、电磁基本知识

1. 磁场及其基本物理量

物体能够吸引铁、镍、钴等物质的性质称为磁性，具有磁性的物体称为磁体。磁体两端磁性最强的部分称为磁极。指北的磁极称北极（N），指南的磁极称南极（S）。同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引。在磁体周围的空气中存在的一种特殊物质称为磁场。磁极之间的作用力就是通过磁场进行传递的。

磁感应强度——描述磁场中各点磁场强弱和方向的物理量称为磁感应强度或磁通密

度，用符号 B 表示，单位为特斯拉或特 (T)。

磁力线——人们为了形象的描述磁场的强弱和方向，假想出的一根根闭合曲线。磁感应线是互不交叉的闭合曲线，磁场强的地方磁力线较密，磁场弱的地方磁力线较稀疏。磁力线在磁体外部是由北极到南极，在磁体内部是由南极到北极。

磁通——磁感强度 B 和与它垂直方向的某一截面积 S 的乘积，用字母 Φ 表示，单位为韦伯或韦 (Wb)，磁通的大小为 $\Phi=BS$ 。

磁导率——表示磁场媒质磁性的物理量，衡量物质的导磁能力，用符号 μ 表示，单位为亨/米 (H/m)。真空的磁导率为常数，用 μ_0 表示， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$

通常我们习惯用相对磁导率 μ_r 来描述介质的导磁能力 即： $\mu_r = \mu / \mu_0$

2. 电流的磁效应及磁场对通电导体的作用

电流周围有磁场存在，人们把这种现象叫做电流的磁效应。载流导体周围磁场的方向与产生此磁场的电流方向有关。

通电导体（线圈）周围磁场的方向，可用右手螺旋定则（也叫安培定则）来判断：

① 对于通电直导体产生的磁场方向的判定方法：用右手握住导线，以右手拇指的指向表示电流方向，弯曲四指的指向即为磁场方向；

② 对于通电线圈磁场方向的判定方法：将右手的大拇指伸直，其余四指沿着电流的方向围绕线圈，则大拇指所指的方向就是线圈内部的磁场方向。

通电导体在磁场中会受到力的作用，这个力称为电磁力或电动力，用符号 F 表示，单位名称为牛顿或牛 (N)。通电导体在磁场中受力的方向可以用左手定则来判断：平伸左手，使拇指垂直其余四指，手心正对磁场的方向，四指指向表示电流方向，则拇指的指向就是通电导体的受力方向。

电磁力的大小用如下公式来表示： $F = BIL \sin \alpha$

3. 电磁感应

① 当导体与磁力线之间有相对切割运动时，这个导体中就有感应电动势产生；

② 穿过线圈的磁通发生变化时，线圈回路中就有感应电动势产生。

以上现象称为电磁感应现象，由电磁感应现象所产生的电动势称为感应电动势，产生的电流称为感应电流。

导体切割磁力线运动时，所产生的感应电动势的方向可用右手定则来确定：平伸右手，拇指与其余四指垂直，让磁力线垂直穿入手心，拇指指向导体运动方向，则其余四指的指向就是感应电动势的方向（由一指向+）。产生的感应电动势的大小为：

$$e = BLV \sin \alpha$$

线圈中磁通变化所产生的感应电动势的方向可用楞次定律判定，楞次定律的内容是：感应电流的磁场总是要阻碍原磁通量的变化。线圈中产生的感应电动势的大小可用法拉第电磁感应定律判定，即感应电动势的大小与线圈中磁通的变化速度（即变化率）成正比。用公式表示为：

$$e = -\frac{N\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

四、常用低压电器基本知识

1. 低压电器的分类

常用低压电器是指工作在交流电压 1200V 以下、直流电压 1500V 以下的电器，用于对电路实现开关、控制、保护和调节等作用。

(1) 按用途分

控制电器——主要用于控制电路的通断以及调节电动机的各种运行状态，如刀开关、接触器、继电器、按钮、电磁阀等。

保护电器——保护电源、线路或电动机，使它们不在短路或过载状态下工作，如熔断器、热继电器、断路器等。

(2) 按动作方式分

手动电器——依靠外力（如人力）的直接操作而动作的电器，如开关、按钮等。

自动电器——按照信号指令或某一物理量（如电流、电压、时间、速度等）变化而自动动作的电器，如接触器、时间继电器、速度继电器等。

(3) 按执行机理分

有触点电器——有可分离的动触点和静触点，利用触点的接触和分离来实现电路的通断。

无触点电器——没有机械触点，而是利用晶体管的开关效应来实现电路的通断。

2. 常用低压电器的作用

(1) 低压断路器

低压断路器又称自动空气开关或自动空气断路器，是一种集控制和多种保护功能于一体的自动开关。正常情况下，用于不频繁的接通和分断电路以及控制电动机运行。当电路发生短路、过载或欠压等故障时，能自动切断故障电路，保护线路和电气设备。

(2) 按钮

按钮，即一种手动电器，通常用来接通或断开小电流的控制电路。按静态（不受外力作用）时触点的分合状态，可分为常开按钮（启动按钮）、常闭按钮（停止按钮）和复合按钮（常开和常闭组合为一体的按钮）。

(3) 行程开关

行程开关又称限位开关，利用生产机械某些运动部件的碰撞使触点动作，对电路实现接通或断开；当运动部件一离开，其触点自动还原到原始状态，用来控制生产机械的运动方向、速度、行程大小或位置，也可以对生产机械给予必要的保护。

(4) 低压熔断器

熔断器又称保险丝，是一种结构简单、使用方便、价格低廉的保护电器。在使用中，熔断器是同他所保护的电路串联的，当该电路发生过载或短路故障时，如果通过熔断器的电流达到或超过了某一值，在熔体产生的焦耳热量便会使其温度升高到熔体金属的熔点，于是熔体自行熔断，并以此切断故障电流，完成保护任务。

(5) 接触器

接触器是一种生产方便、成本低廉、用途广泛的控制电器，用来频繁的远距离接通或分断电动机主电路或其他负载电路的控制电器。按主触点通过的电流不同可分为交流接触

器和直流接触器两种。

(6) 继电器

继电器是根据输入信号（电量或非电量）的变化，接通或断开小电流的电路，实现自动控制和保护的电器。根据输入信号不同，有电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器、热继电器、速度继电器等。

3. 常用电气文字和图形符号（如表 1-1、表 1-2 所示）

表 1-1 常用电气文字和图形符号

名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号
动合按钮		SB	动断按钮		SB
接触器动合触点		KM	接触器动断触点		KM
线圈（接触器、时间、中间继电器）		KM KT K	信号灯		HL
继电器动合触点		同操作元件	继电器动断触点		同操作元件
延时闭合动合触点		KT	延时断开动合触点		KT
延时闭合动断触点		KT	延时断开动断触点		KT
延时闭合延时断开动合触点		KT	延时闭合延时断开动断触点		KT
热继电器的热元件		FR	热继电器常闭触点		FR
熔断器		FU	三相断路器		QF
直流		DC	交流		AC
刀开关		QS	三相刀开关		QS
端子		X	可拆卸端子		X
端子板		XT	导线连接点		X

续 表

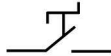
旋转开关 转换开关		QS	拉拔开关		Q
接地		E	接机壳		E
三相鼠笼 异步电动机		M	三相绕线 异步电动机		M

表1-2 常用的辅助文字符号及线路、引出线标号

辅助文字符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号
	高	H	正	FW	白	WH	闭合	ON	手动	MAN
	低	L	反	R	蓝	YF	断开	OFF	启动	ST
	升	U	中	M	直流	DC	附加	ADD	停止	STP
	降	D	红	RD	交流	AC	异步	ASY	控制	C
	主	M	绿	GN	电流	A	同步	SYN	信号	S
	辅	AUX	黄	YF	时间	T	自动	AUT		
回路标号	线路名称			标号		电动机接线点			标号	
	交流电源		第一组	L1	绕组		第一组	U		
			第二组	L2			第二组	V		
			第三组	L3			第三组	W		
			中性线	N			中性线	N		
	直流电源		正极	L+						
			负极	L-						
	保护接地			PE						
	保护中性线			PEN						
	接地			E						

五、安全用电常识

1. 电流对人体的伤害

电流对人体有两种类型的伤害：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。电击是最危险的触电事故。

电伤是指在电弧作用下或熔断丝熔断时，对人体外部的伤害，如电弧灼伤，与带电体接触后皮肤红肿以及在大电流下熔化的金属飞溅到皮肤表面而烧伤。

按照人体触及带电体的方式和电流通过人体的途径，触电可分为单相触电、两相触电和跨步电压触电三种情况。

电流对人体的伤害程度取决于通过人体电流强度、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。

2. 安全电压

加在人体上一定时间内不造成伤害的电压称为安全电压。通常规定交流 36 V 以下及直流 48 V 以下为安全电压。

3. 防止触电的技术措施

① 保护接地

将电气设备的金属外壳与大地可靠地连接，称为保护接地。它适用于中性点不接地的三相供电系统。

② 保护接零

将电气设备在正常情况下不带电的外露导电部分与供电系统中的零线相接，称为保护接零。

4. 家庭安全用电常识

(1) 家庭电路的组成部分及其作用

进户线——由火线和零线组成，其作用相当于家庭电路的电源。我国家庭电路的火线与零线之间有 220V 电压，火线与地之间也有 220V 电压，零线与地之间没有电压。不同国家的家庭电路的电压是不相同的。

电能表——记录家庭电路消耗电能多少。

闸刀开关——家庭电路的总开关，控制整个家庭电路的通断，便于家庭电路的安装与检修。

熔断器——当电路中电流过大时，可以自动熔断切断电路，起到保护电路的作用。

各种开关——控制用电器的通断。

家用电器——把电能转化为我们所需要的能的装置。例如：电灯把电能转化为光能；电炉把电能转化为内能；电扇把电能转化为机械能。

插座——有三孔插座和两孔插座两种，其作用相当于用电器的电源，是便于电器的连接。

两孔插座的左孔必须与零线相连，右孔必须与火线相连，简称“左零右火”。

三孔插座的接线方式是：“左零右火上地”。即左孔接零线，右孔接火线，上孔接地线。

(2) 安全用电注意事项

① 判断电线或用电设备是否带电，必须用试电器（或测电笔），决不允许用手触摸。

② 在检修电气设备或更换熔体时，应切断电源，并在开关处设置“禁止合闸”的标志。

③ 根据需要选择熔断器的熔丝粗细，严禁用铜丝代替熔丝。

④ 安装照明线路时，开关和插座离地一般不低于 1.3 m。不要用湿手去摸开关、插座、灯头等，也不要湿布去擦灯泡。

⑤ 在电力线路附近，不要安装电视机的天线；不放风筝、打鸟；更不能向电线、瓷瓶和变压器上扔物品。在带电设备周围严禁使用钢板尺、钢卷尺进行测量工作。