

建筑职业技能培训教材

工程电气设备 安装调试工

(技师 高级技师)

建设部人事教育司组织编写



中国电力出版社

建筑职业技能培训教材

工程电气设备 安装调试工

(技师 高级技师)

建设部人事教育司组织编写

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程电气设备安装调试工 (技师、高级技师)/建设部人事教育司组织编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

(建筑职业技能培训教材)

ISBN 7-112-07654-4

I. 工... II. 建... III. ①房屋建筑设备: 电气设备-设备安装-技术培训-教材②房屋建筑设备: 电气设备-调试-技术培训-教材 IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 109336 号

**建筑职业技能培训教材
工程电气设备安装调试工
(技师 高级技师)
建设部人事教育司组织编写**

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
新华书店经销
霸州市顺浩图科技发展公司制版
北京富生印刷厂印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 10% 插页: 1 字数: 286 千字

2006 年 1 月第一版 2006 年 6 月第二次印刷

印数: 3001 - 5000 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-112-07654-4
(13608)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书内容为：第一部分 基础知识：电气理论基础知识，电气识图，电力拖动与自动控制，继电保护与电测仪表、计量知识，可编程序控制器和工业电视；第二部分 电气设备安装工艺：电气线路外线安装技术，成套盘柜安装，变压器安装，电缆敷设；第三部分 高压电气设备：高压试验技术，高压电气设备；第四部分 电气调试：电气仪表及计量测试，继电保护装置的调试；第五部分 电气施工管理与安全技术，电气施工管理，电气安全技术要求与运用。

本教材可作为工程电气设备安装调试工技师和高级技师的培训教材，也适用于上岗培训，以及读者自学参考。

* * *

责任编辑：朱首明 吉万旺 刘平平

责任设计：董建平

责任校对：李志瑛 刘梅

前 言

本培训教材依据建设部颁布的《建筑电气安装调试工技师、高级技师职业技能标准》、《建筑电气安装调试工技师、高级技师职业技能鉴定规范》、《建筑电气安装调试工技师、高级技师培训计划与培训大纲》进行编写，为建筑业职业工人岗位培训、鉴定考核辅导中使用。本书以我国现阶段建筑电气施工的主要内容，国家电气施工现行规范和标准的要求，结合新技术、新工艺、新材料、新设备的应用情况，本着工人以工为主，以实践为根本的特点，结合着理论，针对具有一定工作经验的技工进行培训、考核所编写。

鉴于电气安装调试专业理论性强、行业面宽，专业面广，目前阶段发展迅速，新旧技术、新旧设备转换淘汰快的特点，以及目前建筑电气对弱电系统、楼宇自动化系统、消防系统、通信安保系统等涉入的越来越多，越来越广，使建筑安装电气施工增添了一定的内容，培训教材中对此内容做了一定的阐述。与以往有所不同的是过去建筑电气安装工与调试工是分开的，此次安装调试合为一起，这样，培训教材增加了相关的调试内容。

变配电系统是建筑电气施工的主业，基本以10kV以下的供电设备及变配电的安装调试为主，占据篇幅较大，本教材共有五个部分，分为十六个章节。第一部分《基础知识》一~五章；第二部分《电气设备安装工艺》六~九章；第三部分《高压电器设备》十~十一章；第四部分《电气调试》十二~十四章；第五部分《电气安全技术与施工管理》十五~十六章。

教材中并不仅是建筑电气施工内容，其中还含有大量的工业设备安装电气施工的内容；教材中有些内容，并不是从最基本理

论讲起，考虑到参加培训的人员应具备高级工的水准，不需重复从头讲起，所以采用按书中之所需，不考虑初级、中级技工的技术知识，采用直接进入的方式进行阐述；电气调试部分中的配电系统，对极不常使用的，而且专业性非常强的，由专业电气调试人员掌握进行调试的电气项目，以及继电保护中个别的元器件，在有关章节中并未介绍，这些内容不作为建筑电气安装调试工掌握的内容；有关安全技术方面的规程规定，以突出预防为主，重点立足于应用的原则进行编写；有关质量、工程管理方面的知识内容，本教材有较详的论述，具有一定的指导性。在此说明，教材中不以大量数学公式来推导、论证、表达电工理论及电气知识，以朴素语言进行表达，力求语言简练，通俗易懂，图文并茂为原则。

本书在编排的过程中，得到了建设部的领导、西安建筑职业技术学院、四川省工业设备安装公司及相关兄弟单位的大力支持和关怀，并提出许多宝贵意见，为此教材的编写奠定了基础，在此深表感谢。

本教材由周长强主编，刘勤、袁兴权、黄伟铭参与编写。经专家于权、任子铎审定。

因时间仓促，限于编者水平所限，本教材难免存有疏漏之处以及错误不当之处，恳请读者指正。

目 录

第一部分 基础知识

一、电气理论基础知识	1
二、电气识图	13
(一) 电气工程图的种类及电气常用图形符号	13
(二) 电气安装施工图的识读	16
三、自动控制与电力拖动	27
(一) 基础知识	27
(二) 自动控制的基本概念	28
(三) 电力拖动	31
(四) 晶闸管整流	37
(五) 直流电动机自控	43
四、继电保护与电测仪表、计量知识	52
(一) 继电保护装置的任务及基本要求	52
(二) 电力变压器保护及母线保护	57
(三) 供电线路的继电保护	84
(四) 电力电容器组的继电保护	93
(五) 电动机的继电保护	96
(六) 仪表、仪器使用和校验	102
五、可编程序控制器综合自动化设备	118
(一) 可编程序控制器	118
(二) 自动化设备简介	128
六、弱电系统功能介绍	135
(一) 楼宇自控系统	135

(二) 变配电监控系统	139
(三) 安防系统功能介绍	141
(四) 消防系统功能介绍	142
(五) 视听系统功能介绍	145
(六) 卫星电视接收系统功能简介	152
(七) 调光、光控系统功能介绍	153
(八) 综合布线系统的功能简介	154
(九) 程控交换机及电话系统的功能介绍	155

第二部分 电气设备安装工艺

七、电气线路外线安装技术	159
(一) 架空电力线路的构成及其电气图的特点	159
(二) 架空电力线路平面图和断面图	166
(三) 架空电力线路弛度安装曲线图	171
(四) 架空线路的施工要点	175
八、成套配电箱柜安装	188
九、变压器安装	195
十、电缆敷设与电缆头制作	203
(一) 电缆敷设	203
(二) 电缆头制作	205

第三部分 高压电气设备

十一、高压试验技术	209
(一) 绝缘电阻测试	209
(二) 介质损失角的测试	211
(三) 电气设备绝缘强度试验	214
(四) 高压电气耐压试验	225
十二、高压电气设备试验	232
(一) 配电变压器试验	232
(二) 变压器现场交接的试验	233

(三) 高压电动机	238
(四) 高压断路器	242
(五) 互感器	245
(六) 避雷器	246
(七) 电容器	247
(八) 套管、绝缘子	249
(九) 电力电缆	250
(十) 绝缘工具和安全用具电气试验	252

第四部分 电气调试

十三、电气仪表与计量测试	255
(一) 电测仪表简介	255
(二) 计量传递	261
(三) 电工常用电测仪表的鉴定测试 (三表)	262
(四) 电能测量	266
十四、继电保护装置的调试	270
(一) 继电保护装置的任务	270
(二) 继电保护的基本原理和构成方式	273
(三) 继电保护装置的检验要求	275
(四) 继电器的一般性检验	277
(五) 继电保护试验使用的仪器、仪表	280
(六) 继电保护检验的项目	283
(七) 继电保护的整组试验	291
十五、电气接地与接地电阻的测量	297
(一) 电气接地	297
(二) 接地电阻测量	300

第五部分 电气安全技术与施工管理

十六、电气安全技术与要求	303
十七、施工管理	318
参考文献	331

第一部分 基础知识

一、电气理论基础知识

1. 电路的有载、空载、短路三种状态及其特征

电力电路的构成，在机电安装工程中，安装和试运行或建成后的使用和生产中，由于需要或故障的原因，电路会出现有载、空载、短路三种不同状态。掌握这三种不同状态的特征，有利于对电力电路运行情况做出正确判断。

(1) 有载状态 对机电安装工程而言，电路有载是处于正常工作状态。这时电源供电的电压符合额定值，其偏移的百分比值符合当地供电部门的规定，电源及其开关设备流经的电流都在额定范围内。即使由于负载瞬时或短时出现过负荷，过负荷数值和时间也都在预期的允许范围内，预期的允许范围由施工设计在电源及其开关设备选定规格型号时给予考虑；用电设备侧的电压，流经的电流和用电设备输出的能力，也都在预期的额定范围内，额定范围由用电设备的铭牌或使用说明书明示。用电设备输出能力在允许范围内发生变异而电流发生波动。联结电源及其开关设备与用电设备间的供电用和控制用的线路工作正常，流经线路的电流承受的电压都在其额定允许范围内。总之，有载状态下的电力电路中各项电量参数（如电压、电流、功率等）和非电量参数（如发热情况、电动应力情况、噪声等级等）都处在预期的正常状态。最明显的特征是电路中既有电压，又有电流，发生电能与

其他能的正常转换。

(2) 空载状态 对机电安装工程而言, 电路空载是处于备用状态。备用状态可分为热备用、冷备用状态。无论对电路构成的哪一部分来描述, 其供电侧有电压, 但无电流通为热备用; 若供电侧既无电压, 又无电流通则为冷备用。最明显的特征是电路中存在电压, 但无电流通, 不发生电能与其他能的转换。

(3) 短路状态 对机电安装工程而言, 电路短路是处于故障状态。故障发生的位置可能是构成电路的任何部位, 但通常指不经负载流通电流为短路。短路处称短路点。自短路点至电源及设备开关、供电用线路流经的电流称短路电流, 通常要超过正常有载状态的电流若干倍。这时电路中各项电量参数, 非电量参数出现异常, 电源电压大幅下降。电流剧增, 短路电流流经的开关设备、线路温度骤升, 电动应力增大, 局部噪声增强。如开关设备等的继电保护装置功能正常, 便会迅速切断短路状态电路的电源供给, 避免故障状态扩大造成更大的损失。若功能不正常, 故障扩大引起电路上一级开关设备的继电保护装置动作, 切断短路电路电源供给称越级跳闸, 这通常是不希望发生的扩大停电覆盖面积的现象。最明显的特征是: 供电电源电压下降, 电路中电流剧增, 发生非预期的能量转换。

2. 电流、电压、功率及主要非电物理量测量的基本原理和方法

为了实施对机电安装工程试运行情况和日后生产或使用情况进行有效监视, 电气工程中有许多测量电量的仪表。如电流表、电压表、功率表等。同时为正确反映机械设备等的其他非电物理量, 以利手动或自动调节工艺参数和使用状态, 如设备的转速、造纸机上纸的厚度、照明的照度、轴瓦的温度、室内空气的温度等都可转换成电量仪表反映, 仪表的显示有指针式、数字式、记录式等不同类型。

(1) 直流电流的测量

按被测量直流电流数值的大小, 可分成大、中、小三段。机

电安装工程很少遇到处于小段的测量，以中段 $10^{-6} \sim 10^2$ A 为主，个别情况会遇到处于大段 $10^2 \sim 10^5$ A 的测量。

1) 中段直流电流的测量，接线如图 1-1 所示。

将直流电流表 (A) 串入负载电路中，注意表的极性，使直流电流 I 自表的正极流入，负极流出，接反后会无法测量或损坏仪表，同时为保证测量精度应选用直流电流内阻 R_A 的仪表， R_A/R 应小于允许误差的 $1/5$ 。允许误差的确定，往往是选用仪表精度等级的依据，通常由设计做出规定。

2) 大段直流电流的测量，接线如图 1-2 所示。

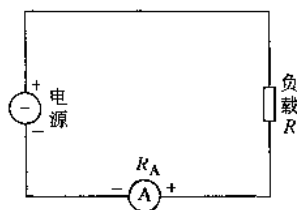


图 1-1 中段直流电流的测量

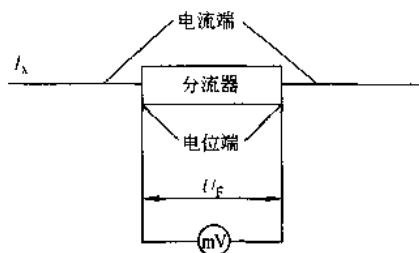


图 1-2 大段直流电流的测量

在负载电路内串一个电阻值较小，基本不会影响负载电流 I 变异的分流器 F ，分流器 F 的电阻值 R_F 是个常数，目的是保持测量的准确性。只要用直流毫伏表、电位差计或直流数字电压表 (mV)，测量出分流器 F 两端的直流电压值，通过 $I = U_F / R_F$ 计算，便可获得所测直流电流的数值。当然也可在专用的毫伏计、电位差计、直流数字电压表的显示部分制成相对应的直流电流读数。这些仪表接线同样要注意极性。

大段直流电流测量除用分流器法外，还有直流互感器法，直流比较仪法等。

(2) 直流电压的测量 同样直流电压值也分大、中、小段，机电安装工程也以测量中段 $10^{-4} \sim 10^2$ V 为主，大段 $10^2 \sim 10^6$ V 较少。

1) 中段直流电压的测量，接线如图 1-3 所示。

将直流电压表的两根连线并联在负载，或电源的两端，便可

读得负载上或电源的直流电压值，同样要注意连线的极性不可错。直流电压表的内阻 R_v 要远大于负载电阻 R ， R/R_v 至少应小于允许误差的 $1/5$ 。

2) 大段直流电压的测量：接线如图 1-4 所示。

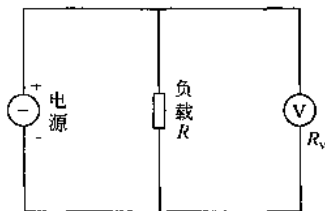


图 1-3 中段直流电压的测量

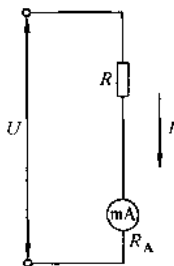


图 1-4 大段直流电压的测量

用一大阻值的电阻 R 与一直流毫安表串联起来，且电阻 R 的阻值远远大于毫安表的内阻 R_A ，同时电阻 R 在使用温度范围内，阻值是稳定的，则毫安表测得电流乘上 R ，即 $U=IR$ 为所测电压值。毫安表的显示部分可指出相对应电压值的读数。这个方法称附加电阻法。

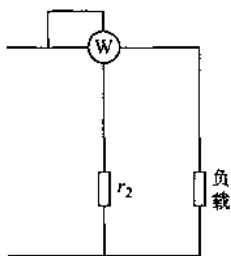


图 1-5 直流功率的测量

大段直流电压测量除用附加电阻法外，还有电阻分压器法、直流电压互感器法等。

(3) 直流功率的测量 接线如图 1-5 所示。

由于直流功率 $P=UI$ ，所以功率表要输入电压 U 和电流 I 两个信号，图中， W 为功率表的电压、电流线圈的始端， r_2 为电压线圈的附加电阻，功率表读数直接指出电路负载功率值，这个方法适用于 $0.025\sim 10A$ ， $1\sim 1000V$ 之间。

(4) 正弦交流电的有效值 正弦交流电的电流和电压是随时间发生变化的，某一时间的数值称瞬时值，在工程实际应用中

各类电工产品铭牌标示上以及仪表测量显示都以有效值表示。有效值的定义为在相同的电阻上，正弦交流在一个周期内损失的电能与一直流量损失的电能相同则这个直流量的数值称正弦交流的有效值。所以正弦交流电流的有效值为：

$$I = \sqrt{1/T} \int_0^T I^2 dt$$

如 I_m 为交流电流的最大值（幅值），则有效值为：

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{1/T} \int_0^T I^2 \sin^2(\omega t + \phi) dt = I_m / \sqrt{2} \\ &= 0.707 I_m \end{aligned}$$

因此，交流电流的有效值又称为交流电流的均方根值。同理，交流电压的有效值为： $U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m$ ；交流电动势的有效值为： $E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 E_m$ 。对交流电流、电压、功率的测量值是对有效值的测量。

(5) 交流电流的测量 同样交流电流值分为大、中、小段，机电安装工程也以测量中段 $10^3 \sim 10^4$ A 为主，大段 $10^3 \sim 10^5$ A 较少。

1) 中段交流电流的测量：接线如图 1-6 所示。

将电流表 A 串入负载电路内即可读得交流电流的有效值，交流电流表无极性要求， R_A/R 应小于允许误差 1/5，以保证测量精度。

2) 大段交流电流的测量：接线如图 1-7 所示。

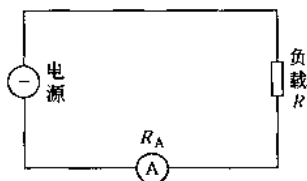


图 1-6 中段交流电流的测量

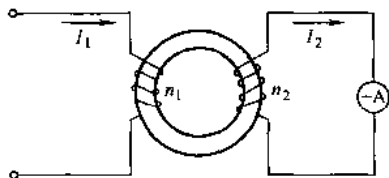


图 1-7 大段交流电流的测量

将适配的交流电流互感器串入负载电路内，互感器由于电磁作用，在二次侧线圈内便有二次电流流通，通过计算便可得负载电流 I_1 （称一次电流）的数值。

$$I_1 = n_2 / n_1 I_2 = K I_2$$

式中 K ——电流互感器的变比, $K = n_2/n_1 = I_1/I_2$ 。

采用交流电流互感器测量交流大电流的注意事项:

国家标准规定, 无论互感器一次侧电流额定值大小为多少, 互感器二次侧电流值为 5A 不变。

互感器二次侧接线不允许开路, 且二次电路标有的接地端钮必须接地。

电流互感器主线路(一次侧)与测量线路(二次侧)间有电的隔离, 这对高压电流测量十分有利。所以电流互感器的规格型号有不同的电压等级, 千万注意不能以低压电流互感器替代高压电流互感器, 一定要与负载电路的电压等级适配; 二次侧线路中电流表如与电流互感器配套的, 显示额定数值不是 5A, 而是已乘 K 值后的一次侧电流数值。

(6) 交流电压的测量 同样交流电压值分为大、中、小段, 机电安装工程也以中段 $10^{-3} \sim 10^3$ V 为主, 大段 $10^3 \sim 10^5$ V 也时常遇见。

中段交流电压的测量: 接线如图 1-8 所示。

将交流电压表的两根连线并联在负载 R 或电源两端, 便可读得负载上或电源的交流电压值, 交流电压表无极性要求, R/V 应小于允许误差 1/5, 以保证测量精度。

在交流电压小于 1500V 时, 可以用与大致直流电压测量方法相同, 采用附加电阻法。当电压大于 1500V 时, 需采用交流电压互感器法, 接线如图 1-9 所示。

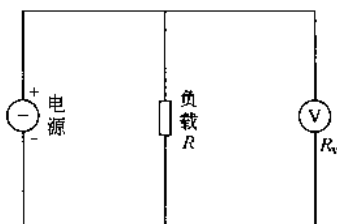


图 1-8 中段交流电压的测量

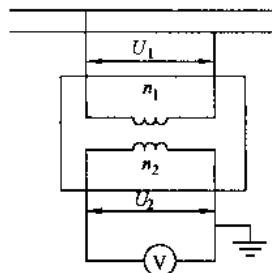


图 1-9 交流电压互感器法

交流电压互感器有一次、二次线圈，一次并联于被测电压 U_1 ，二次接电压表 V ，不论一次电压 U_1 高低多少，二次电压额定值通常为 $100V$ 。如一次线圈匝数为 n_1 ，二次线圈匝数为 n_2 ，则 $U_1 = n_1/n_2 U_2 = K U_2$ ， K 称为电压互感器的变比，且只要测得较低的电压 U_2 ，便可求得 U_1 ，当然接在二次回路的专用电压表 V ，可以显示出一次回路的读数。要注意二次回路不允许短路，回路要有接地，且依据电压互感器的规格型号，对二次回路仪表的阻抗有一定匹配要求。

(7) 交流功率的测量 由于交流电路电压和电流波形同步的程度，即初相角的差与负载特性有关，因而任何瞬间的功率 $P = u \cdot i$ ，如 u 、 i 的方向一致，由该电路向电源吸取能量，如 u 、 i 的方向相反，则该电路向电源送出能量。如图 1-10 所示。

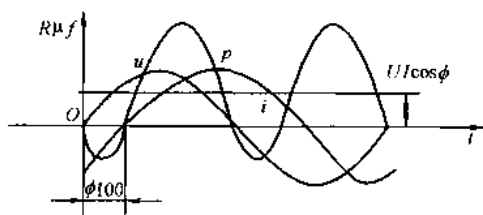


图 1-10 交流瞬时功率

$$\text{设 } u = \sqrt{2}U \sin \omega t$$

$$i = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \phi) \text{ 即 } i \text{ 滞后于 } u \text{ 的角度为 } \phi$$

$$p = ui = 2UI \sin \omega t \sin(\omega t - \phi)$$

$$= UI \cos \phi - UI \cos(2\omega t - \phi)$$

可见瞬时功率由不变 $UI \cos \phi$ 和两倍电源频率变化的 $-UI \cos(2\omega t - \phi)$ 两份量组成。

1) 交流有功功率 交流瞬时功率在一个周期 T 的平均值称为平均功率，又称有功功率，以 P 表示，单位为 (W)。

$$P = 1/t \int_0^T P dt = 1/T \int [UI \cos \phi - UI \cos(2\omega t - \phi)] dt$$

$$= UI \cos \phi$$

交流有功功率 P 的值是交流电压有效值 U 乘上交流电流有效值 I 再乘以电流与电压的相角差 ϕ 的余弦, $\cos\phi$ 称为电路的功率因数。

2) 交流视在功率 交流电路的 UI 不是实际消耗功率, 称视在功率, 以 S 表示, 即 $S = UI$, 单位为伏安 (VA)。视在功率用以标记电气设备的额定状态, 如额定电压、额定电流, 两者乘积, 单相时 $S = UI$, 三相时 $S = \sqrt{3}UI$, 称为容量。

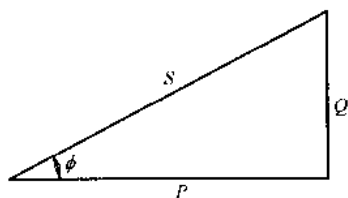


图 1-11 功率三角形

3) 交流无功功率 P 、 Q 、 S 、 ϕ 的关系如图 1-11 所示, 称为功率三角形。 $Q = UI \sin\phi$, Q 为无功功率, 单位为乏 (Var)。

交流功率测量: 同样要有电流、电压两个信号输入功率表, 如图 1-12 (a) 直接接入法测量, 图 1-12 (b) 经互感器接入法。接线时注意有点标的端钮接在低电位端。

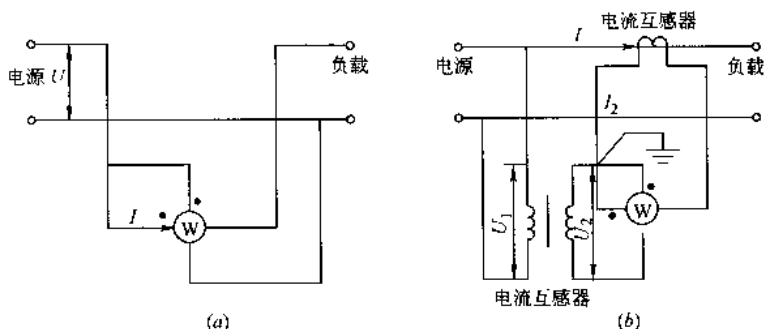


图 1-12 交流功率测量法

(a) 直接接入法测量; (b) 经互感器接入法

(8) 主要非电物理量采用电量法

测量系统由待测的非电量转换成相应的电量传感器、对电量进行测量的测量电路、非电量显示及处理电路三部分组成。

测量的特点: 灵敏度高、响应快、反作用小、可无接触测量