

化工和石油化工检修工人

技术等级标准自学丛书

电气试验工

化学工业部劳资司
中国石油化工总公司人事部



化学工业出版社

内 容 简 介

《电气试验工》是《化工和石油化工检修工人技术等级标准自学丛书》之一，本书根据技术等级标准所规定的一级工至六级工应知应会的要求，分为基础知识和操作实例两部分，较全面地逐级介绍电气试验工所必须的基础知识、专业知识和操作技能，对所需了解和掌握的其他专业知识也作了相应的介绍。为方便使用，于附录中编入了化工部1981年颁发的《化工检修工人技术等级标准》（试行本）中的电气试验工部分。

本书由大连化学工业公司秦维仁、沙成福编写，吕庆荣整理，顾立湖审阅。

本书可供具有初中以上文化水平的电气试验工自学使用，也可作为工厂技工培训的参考读物。

化工和石油化工检修工人技术
等级标准自学丛书

电 气 试 验 工

化 学 工 业 部 劳 资 司

中国石油化工总公司人事部

责任编辑：李诵雪

封面设计：任 辉

*

化学工业出版社出版发行

（北京和平里七区十六号楼）

化学工业出版社印刷厂印刷

豆各庄装订厂装订

新华书店北京发行所经销

*

开本787×1092¹/₃₂印张25⁷/₈字数 576 千字

1990年6月第1版 1990年6月北京第1次印刷

印 数 1—1,350

ISBN 7-5025-0651-9/TM·3

定 价12.30元

前 言

目前，全国各化工及石油化工企业正在开展全员文化培训和技术培训，为了适应这些企业的检修工人技术培训的需要，不断提高检修工人的技术理论水平和实际操作技能，不断提高他们的技术素质。我们按照化学工业部一九八一年颁发的《化工检修工人技术等级标准》（试行本）（以下简称《等级标准》），组织编写了这套《化工及石油化工检修工人技术等级标准自学丛书》，全套丛书共计十五册，将陆续出版。

丛书根据《等级标准》中应知应会的要求，相应分为基础理论和实际操作两部分，由一级工到六级工逐级撰写。

丛书是工人技术考核自学用书，力求把《等级标准》中基本要求的内容用通俗易懂的文字、形象直观的插图和有代表性的示例系统地加以阐述。它不是《等级标准》的详细说明和解释，也不是升级考核的标准答案。

丛书在编写方式上，为了便于广大工人自学，保持知识的系统性和完整性，将《等级标准》中应知应会的条文作了适当的归类和次序的调整，并力求做到取材先进、重点突出、举一反三，尽量兼顾大、中、小企业的不同情况。但由于丛书的专业性较强、涉及的知识面又广，加上各企业之间工艺、设备和技术水平等方面的差异，又由于受到篇幅的限制，所以，只能就一些共性的问题进行讨论，因而，不可避免地会存在一些片面性和局限性。但是，丛书是编写者的辛勤劳动的结晶，尤其是那些操作实例，是他们实践经验的总

结，对广大工人学习技术无疑是有裨益的。

化 学 工 业 部 劳 资 司

中国石油化工总公司人事部

1985年8月

目 录

一 级 工

基 础 知 识

一、电工学基础知识	1
二、常用工具的名称、用途及使用方法	52
三、常用继电器的动作原理及其表示符号	57
四、识电气图基本知识	67
五、常用仪表仪器的名称、用途、使用注意事项及方法	75
六、单相电度表的结构原理和测量接线	78
七、厂用高压电气设备的名称及用途	81

操 作 实 例

一、电阻测量与交、直流耐压试验	99
二、常用继电器的试验	108
三、常用交、直流电流和电压表的检定及修理	121
四、单相电度表的检定	136

二 级 工

基 础 知 识

一、复杂直流电路的计算	142
二、晶体管的型号和二极管、三极管极性的识别方法	151
三、常用示波器的使用方法	155
四、常用导线、电缆的名称、规格及用途和绝缘材	

料的分类及耐热等级	162
五、电流及电压保护的動作原理	169
六、二次回路的接线原理	181
七、交、直流电流、电压表结构原理	194
八、常用被试电气设备的基本结构和简单原理	201
九、变压器及互感器的变压比和极性试验	224

操 作 实 例

一、电流、电压、时间、中间以及信号继电器的调整和故障 的排除	252
二、二次回路的检查和配二次线	259
三、盘式电流、电压表的调整和运行中故障的判断	263
四、单相电度表的调整及一般故障的判断与排除	267
五、对一台550千瓦、6千伏高压电动机进行预防性试验， 并做出试验报告	274

三 级 工

基 础 知 识

一、晶体管的基本结构及其特性曲线	279
二、整流电路的工作原理	290
三、零序（接地）电流保护和纵联差动保护	302
四、常用电工仪表的内部结构	318
五、试验室常用仪表、仪器的简单工作原理	224
六、三相电度表的结构及测量接线	331
七、常用高电压试验设备	336
八、绝缘预防性试验的意义及其试验方法	342
九、电力电缆绝缘击穿原因的分析	386
十、避雷器试验	387
十一、电缆故障的测寻	396

操 作 实 例

一、二次回路和电流、电压保护的整组检验	410
二、根据原理图绘制安装接线图	425
三、高压异步电动机二次接线原理图电路分析	428
四、三相电度表的检定、调整与故障判断	430
五、电机、变压器空载、短路试验仪表及试验设备的选择	438

四 级 工

基 础 知 识

一、低频放大器和直流稳压电源的基本原理	441
二、可控硅的基本原理及其简单控制线路	467
三、接地方向保护和横联差动保护工作原理	487
四、备用电源自动投入装置与自动重合闸装置	495
五、功率表、功率因数表和频率表的结构与测量接线	501
六、三相无功电能的测量原理	515
七、电流互感器二次接线相序正确性的检查 (功率六角图法)	518
八、高压电气设备交接试验各项项目的意义及其试验方法	522
九、泄漏试验产生误差的原因及其防止的方法	535
十、常用电气设备(如电机、变压器和油开关等)故障的 类型及发生的原因(与本工种有关的项目)	538
十一、绝缘油试验	541

操 作 实 例

一、接地方向继电器、差动继电器、系统自动装置的试验	551
二、低电压、电流、差动、接地保护装置故障的排除	563
三、万用表和兆欧表的检定、故障判断及张丝仪表的修理	571
四、功率表、功率因数表和频率表的检定与调整	578

五、有功、无功功率表和功率因数表接线的检查	591
六、三相无功电度表的检定	592
七、电机的温升试验及电机故障点的寻测	596

五 级 工

基 础 知 识

一、方向、平衡和距离保护原理	599
二、常用继电器的选型及继电器屏的屏面布置	619
三、简单数字电路原理	622
四、测量电路、电感和互感的方法	627
五、互感器的误差及测量方法	629
六、变压器并列运行的条件及其简单理论分析	652
七、绝缘材料的性能分析	954
八、常用电动机的起动方式和接线	660
九、同步电动机参数的测量	664
十、整流变压器和电炉变压器的结构原理	693

操 作 实 例

一、方向和平衡继电器的试验调整	699
二、0.5 及以上等级电工仪表的检定	705
三、无功电度表运行中故障的判断	710
四、同步电动机“V”形曲线的绘制及其试验方法	711
五、电炉变压器和整流变压器的试验	712

六 级 工

基 础 知 识

一、三线圈变压器差动保护基本原理	720
------------------------	-----

二、电气主接线的基本形式和电流、电压互感器的选 择与配置·····	723
三、继电保护和自动装置的配置原则·····	726
四、对称分量法基本知识·····	731
五、低周率、负序电流和负序电压继电器原理·····	733
六、同期装置、自动励磁调节装置和可控硅励磁装置的 工作原理·····	749
七、电力系统的过电压及其预防·····	770

操 作 实 例

一、同步检查继电器和同步电动机可控硅励磁装置的试验	778
二、低周率、负序电流和负序电压继电器的试验调整·····	786
三、用电度表试验台试验功率表、功率因数表和接地方向 继电器·····	796
四、绘制异步电动机圆图并根据圆图求取电动机各种特性 参数·····	798

附 录

化工检修工人技术等级标准 电气试验工·····	807
-------------------------	-----

一 级 工

基 础 知 识

一、电工学基础知识

(一) 直流电路

1. 电路

电路就是电流所流经的路径。电流在电路中流通时，同时进行着电能的传输和分配，以及把电能转换成所需要的其它形式的能量。直流电路是指电路中的物理量（如电流、电压和电动势等）的方向和大小都不随时间而变化的电路。

(1) 电路的组成

电路由电源、负载、连接导线和开关四个基本部分组成，如图 1-1 所示。电源是电路的能源，其作用是将各种形式的能量（如化学能、机械能和热能等）转换成电能。负载

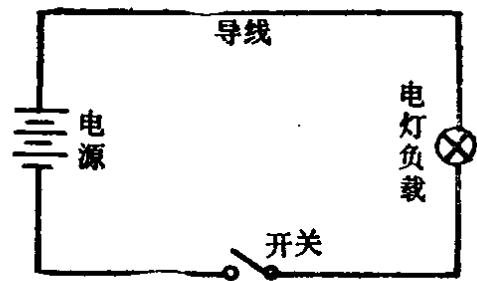


图 1-1 电路的组成

是用电设备，它的作用是把电能转换成所需要的其它形式的能量，电灯、电烙铁、电动机和电炉等都是负载。导线和开关是电源和负载之间的连接和控制部分，是用来传输电能和执行控制任务的（闭合和断开电路）。

(2) 电路中的物理量

1) 电流 电荷有规则的定向运动叫做电流。电荷的数

量叫做电荷量（电量），以符号 Q 表示，单位是库仑（C）。单位时间内流过导线某一截面的电量称为电流强度（简称电流），用符号 I 表示，单位是安培简称安（A）。用公式表示为：

$$I = Q / t \quad (1-1)$$

式中 t ——表示通过电量 Q 所用的时间。

如果每秒钟有一库仑的电量通过导线截面，这时的电流就是 1 安培，即

$$1 \text{ 安培} = 1 \text{ 库仑/秒}$$

电流很大时，常以千安（kA）为单位，电流很小时则以毫安（mA）或微安（ μA ）为单位，换算关系为：

$$1 \text{ 千安} = 1000 \text{ 安} = 10^3 \text{ 安}$$

$$1 \text{ 毫安} = 1/1000 \text{ 安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = 1/1000000 \text{ 安} = 10^{-6} \text{ 安}$$

2) 电流密度 通过导线单位截面积的电流，称为电流密度，用 δ 表示。单位为安/毫米²（A/mm²）。

$$\delta = I / S \quad (1-2)$$

式中 I ——电流，安培；

S ——导线截面积，毫米²。

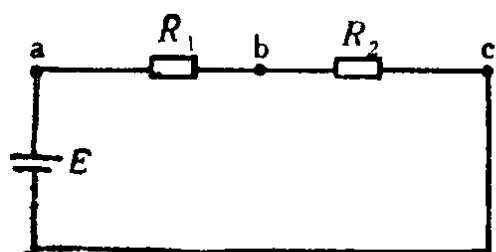


图 1-2 电压和电位

3) 电压、电位和电位差

在负载电路中，之所以有电流产生是因为电荷受电场力的作用。在图 1-2 中，电场力将单位正电荷由电路中的 a 点移到 b 点所做的功，称为 a、b 两点之间的电压，用 U_{ab} 表示，单位为伏特，简称伏（V）。

电压很高时常以千伏 (kV) 为单位, 电压很低时则以毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 为单位, 换算关系为:

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 毫伏} = 1/1000 \text{ 伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 微伏} = 1/1000000 \text{ 伏} = 10^{-6} \text{ 伏}$$

分析电路时也往往采用电位和电位差的概念。选取电路中的一个参考点作为零电位点, 电路中其它各点与零电位点之间的电压称作该点的电位。电位的单位也是伏特, 而电路中任意两点之间的电位之差称做两点之间的电位差, 也就是两点之间的电压。

在图1-2中, 若选 c 为参考点, 则

$$\text{c 点电位} \quad \varphi_c = 0$$

$$\text{a 点电位} \quad \varphi_a = U_{ac}$$

$$\text{b 点电位} \quad \varphi_b = U_{bc}$$

$$\text{a、b 两点间的电位差} \quad U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

4) 电动势 电源接上负载后, 电路中就会有电流, 这说明电源两极之间有电位差。不同的电源产生电位差的方法是不同的。在蓄电池中是由于电解液和极板之间的化学作用; 在发电机中是电磁感应作用。但它们都是用非电的化学能或机械能把电源内部导体中所存在的正负电荷分别向两极推动, 使得一个极具有一定量的正电荷, 另一个极具有一定量的负电荷, 于是两极之间产生了电位差。电源内部这种推动电荷移动的作用力统称为电源力。

电源力将单位正电荷由电源的负极移到正极所做的功, 称为电源的电动势, 用 E 表示, 单位是伏 (V)。

5) 电路中物理量的正方向 电流的正方向是正电荷移动的方向。电压的正方向是由高电位指向低电位的方向。电

电动势的正方向是由低电位（负极）指向高电位（正极）的方向。

在分析电路时，某些电流、电压的方向往往难以事先确定，此时可人为的选定一个方向作为正方向。若所得结果是正值，说明实际方向与选定方向一致；若所得结果为负值，则说明实际方向与选定方向相反。

（3）电路中的能量转换

在外电路正电荷由高电位流向低电位，是电荷在电场力作用下克服阻力做功，是消耗电能的过程。在这过程中，电荷陆续消耗掉从电源获得的能量，并转变为其它形式的能量。在电源内部，为保持电源电动势的恒定，电源力将正电荷源源不断地由负极推到正极，是消耗其它形式的能量而取得电能的过程。内、外电路共同组成一个电流流通的闭合回路，在这闭合回路中，同时进行着电能的传输和能量的转换过程。

2. 电阻、电阻的串联和并联

（1）导体电阻的计算

电荷在导体内移动时，导体阻碍电荷移动的能力称为电阻，用 R 表示，单位为欧姆（ Ω ）。大电阻用兆欧（ $M\Omega$ ）和千欧（ $k\Omega$ ）为单位，换算关系为：

$$1 \text{ 千欧} = 1000 \text{ 欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 1000000 \text{ 欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

小电阻用毫欧（ $m\Omega$ ）和微欧（ $\mu\Omega$ ）为单位，换算关系为：

$$1 \text{ 毫欧} = 1/1000 \text{ 欧} = 10^{-3} \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 微欧} = 1/1000000 \text{ 欧} = 10^{-6} \text{ 欧}$$

导体的电阻决定于它的尺寸和材料的性质，实践证明，

同一材料导体的电阻和导体长度成正比，与导体截面积成反比，即

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{1-3}$$

式中 L ——导体长度 米 (m);
 S ——导体截面积 毫米²(mm²);
 ρ ——导体的电阻率 欧·毫米²/米 (Ω·mm²/m);
 R ——导体电阻 欧 (Ω)。

导体的电阻率，是长度为 1 米，截面积为 1 平方毫米导体的电阻值。不同的材料具有不同的电阻率，几种常用材料在20℃时的电阻率列入表1-1。

表 1-1 几种常用材料的电阻率和电阻温度系数

用途	材料名称	20℃时的电阻率 Ω·mm ² /m	0~100℃范围内平均 温度系数, 1/℃
导电材料	银	0.0165	0.0036
	铜	0.0175	0.004
	铝	0.0283	0.004
电阻材料	锰铜	0.42	0.000005
	康铜	0.44	0.000005
	镍铬铁	1.0	0.00013
	铂	0.106	0.00389

(2) 导体电阻与温度的关系

导体的电阻随温度的变化而变化，一般金属的电阻都随着温度的上升而增大。电阻与温度之间的关系可用下式表示

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{1-4}$$

式中 R_1 ——温度为 t_1 时导体的电阻，欧姆；
 R_2 ——温度为 t_2 时导体的电阻，欧姆；

α ——导体电阻的温度系数, $1/^\circ\text{C}$ 。

电阻的温度系数表示导体温度每升高 1°C 电阻增大的百分数。不同的材料有不同的温度系数, 几种常用材料在 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 范围内的平均电阻温度系数如表1-1所列。

(3) 电导与电导率

衡量导体传导电流本领的物理量称为电导, 它是电阻的倒数, 以 G 表示, 单位为西门子(S)。

$$G = 1/R \quad \text{西门子} \quad (1-5)$$

式中 G ——电导;

R ——电阻。

电导率(电导系数)是衡量物质导电性能的参数, 它是电阻率的倒数, 以 γ 表示。单位为米/欧·毫米²。

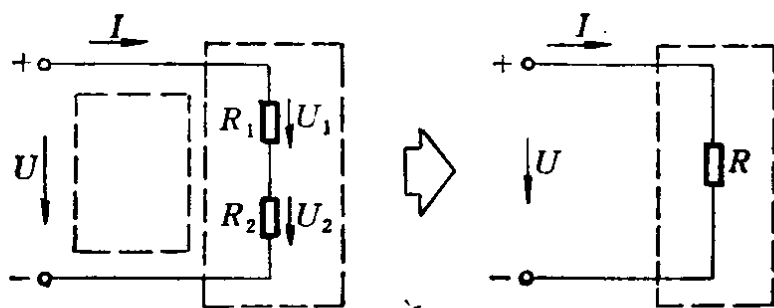
$$\gamma = 1/\rho \quad \text{米/欧·毫米}^2 \quad (1-6)$$

式中 γ ——电导率;

ρ ——电阻率。

(4) 电阻的串联

把几个电阻的头尾依次相联, 在这几个电阻中通过的是同一电流, 这种联接方式叫串联。图1-3(a)中 R_1 和 R_2 就是两个串联的电阻。



(a) 两个串联的电阻

(b) 用等效电阻代替串联电阻

图 1-3 电阻的串联

所有串联电阻在电路中的作用可用一个等效电阻 R 来代替, 如图1-3(b)所示。等效电阻的大小等于相串联的各电阻阻值之和, 即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-7)$$

“等效”的意思就是电路的某一部分被替换之后, 电路中其余部分的电压和电流并不发生变化。

在图1-3(a)中, 串联电阻 R_1 和 R_2 上的电压降分别为

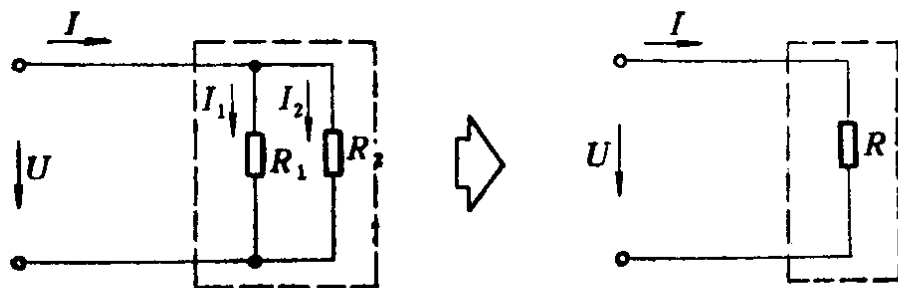
$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1-8)$$

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-9)$$

比值 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 叫做串联电路分压比。

(5) 电阻的并联

几个电阻同接在两个节点之间, 每个电阻两端所承受的是同一个电压, 这种联接方式叫并联。图1-4(a)中 R_1 和 R_2 就是并联电阻。



(a) 两个并联的电阻

(b) 用等效电阻代替并联电阻

图 1-4 电阻的并联

并联电阻的等效电阻和各并联电阻之间符合下式关系

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-10)$$

即并联电阻的等效电阻的倒数，等于各并联电阻的倒数的和。两电阻 R_1 和 R_2 并联也可用符号 $R_1 \parallel R_2$ 表示。

在图1-4(a)中，并联电阻 R_1 和 R_2 中流过的电流 I_1 和 I_2 分别为

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-11)$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1-12)$$

比值 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 叫做并联电路分流比。

(6) 电阻的混联

在电路中，既有串联又有并联的接线方式称为混联。求混联电阻的等效电阻时，要按照串联或并联的计算方法，逐步求出等效电阻，直至简化成一个电阻，此电阻就是混联电阻的等效电阻。

3. 欧姆定律

(1) 无源支路欧姆定律

在电阻电路中，电流的大小与电阻两端电压的高低成正比，而与电阻的阻值大小成反比，这就是欧姆定律。用公式表示为：

$$I = \frac{V}{R} \quad (1-13)$$