

化工工人技术理论培训教材



电工常识

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写作》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司
化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书由化学工业部人事司和化学工业部培训中心组织编写。本书介绍了电的理论知识，以及电路、电机和安全用电的基本常识。

本书可供从事装配和维修电机、电路的工人、技术员以及技校的师生学习、使用。

目 录

电工常识 (公 001)

第一章 直流电路	2
第一节 电的基本知识	2
一、电路图	2
二、电流	3
三、电压、电动势	3
第二节 欧姆定律	4
一、一段无源电路的欧姆定律	4
二、全电路欧姆定律	5
第三节 电阻	6
一、电阻	6
二、电阻率	7
三、电阻的温度系数	7
第四节 电功率和电流的热效应	8
一、电功率	8
二、电流的热效应	10
三、额定值	10
第二章 电和磁	12
第一节 电流的磁效应	12
一、磁铁和磁极	12
二、磁场和磁力线	12
三、电流的磁效应	13
第二节 磁场中的几个物理量	15
一、磁通量	15
二、磁感应强度	15
三、导磁系数	16
四、磁场强度	16

第三节 磁场对载流导体的作用力	16
第四节 电磁感应	17
一、导体切割磁力线产生感应电动势	17
二、楞次定律	17
第五节 自感、互感、涡流	20
一、自感	20
二、互感	20
三、涡流	21
第三章 交流电路	22
第一节 正弦交流电势的产生	22
第二节 交流电的基本概念	23
一、瞬时值、最大值、有效值	23
二、交流电的周期和频率	24
三、角频率	24
四、相位、初相位、相位差	25
第三节 正弦量的矢量表示法	26
第四节 单元件交流电路	27
一、纯电阻电路	27
二、纯电感电路	28
三、纯电容电路	30
第五节 电阻和电感串联电路	33
一、日光灯电路工作原理	33
二、阻抗	35
三、电压、功率三角形	35
第六节 三相交流电路	36
一、三相交流电动势的产生	36
二、三相电源绕组的连接	37
三、三相负载的连接	39
第四章 变压器和直流电机	41
第一节 变压器的构造及工作原理	41
一、变压器的结构	41
二、变压器的工作原理	42
第二节 三相变压器和特殊变压器	45

一、三相变压器	45
二、特殊变压器	45
第三节 三相异步电动机的构造及工作原理	46
一、异步电动机的构造	47
二、异步电动机的工作原理	48
三、转差率	49
第四节 电动机的起动、使用、维护及故障处理	50
一、电动机起动	50
二、异步电动机的使用、维护	50
三、异步电动机常见故障及处理方法	51
第五章 电控知识	53
第一节 低压电器	53
一、开关	54
二、熔断器	54
三、交流接触器	55
四、按钮	55
五、热继电器	55
第二节 直接起动控制线路	58
一、点动控制线路	58
二、接触器自锁控制线路	58
三、具有过载保护的自锁控制线路	59
第六章 安全用电	60
第一节 安全用电常识及防止触电措施	60
一、安全用电常识	60
二、使用电气设备安全常识	60
第二节 触电事故及防止人身触电技术措施	61
一、触电事故	61
二、防止人身触电的技术措施	62
第三节 触电急救常识	63
一、对低压触电事故应采取的急救措施	63
二、对高压触电事故应采取的急救措施	63
三、触电者脱离电源后应进行现场急救	63

电 工 常 识
(公 001)

吉林化学工业公司化肥厂 袁莉文 编
吉林化学工业公司化肥厂 孙子龙 审

第一章 直流电路

第一节 电的基本知识

一、电路图

1. 电路的组成和作用

图 1-1 是简单的直流电路。电路就是电流所流经的路径。它是由电源、负载、连接导线和开关三个基本部分组成。

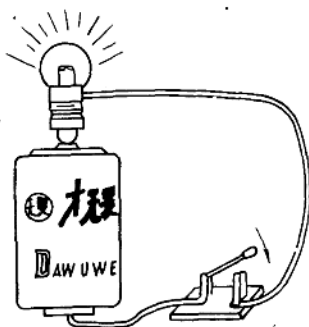


图 1-1 简单直流电路

电源是把其他形式的能转换为电能的设备。常用的电源有蓄电池、发电机。图 1-1 电路以蓄电池作为电源，它是将化学能转换为电能供给负载的。而发电机则是把机械能转换为电能供给负载的。

负载就是用电器，它的作用是将电能转换为其他形式的能量。常见的负载有电灯、电热器及电动机等。

导线和开关是电源与负载之间不可缺少的连接和控制部分，起着传输电能和控制保护电路的作用。电路

中还可以接上各种测量仪表以了解电路的工作情况。

实际工作中遇到的电路比图 1-1 的电路复杂得多。但不管电路结构怎样复杂，它们的基本组成部分是相同的。

2. 电路图

在实际应用中，如果每个电路都用语言去说明它的结构和工作情况，很难表述清楚。为了便于分析计算，人们常用规定的电工符号代替具体的电路，这种图叫电路图。图 1-2 就是用电工符号表示的图 1-

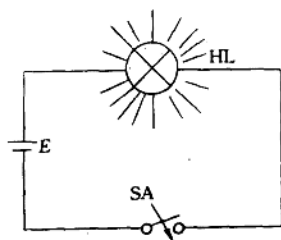
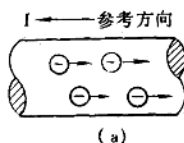
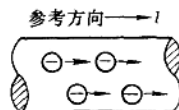


图 1-2 简单直流电路



(a)



(b)

图 1-3 电流的正负

1 的电路图。

二、电流

由于原子结构的原因金属导体内容易形成自由电子，在电场力的作用下，自由电子就向着与电场强度相反的方向有规则地移动。电荷有规则地移动就形成了电流。习惯上人们都把正电荷移动的方向定为电流的正方向。它与电子移动的方向相反（图 1-3）。

电流的强弱可以用在一定时间通过导体某一横截面电量的多少来衡量，叫做电流强度，简称为电流。在数量上等于单位时间内通过导体某一截面的电量，用下式求得，

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中 I ——电流强度，安培；

Q ——电荷量，库仑；

t ——通电时间，秒。

电流强度单位是安培，符号为 A。如果每秒钟通过导体截面的电荷量为 1 库仑，则导体内的电流强度就是 1A。电流的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μA)，其换算关系为：

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{A} = 10^3\text{mA} \quad 1\text{mA} = 10^3\mu\text{A}$$

三、电压、电动势

1. 电压

电荷在电场中受到电场力的作用移动时电场力做了功。衡量电场力做功能力引入了电压这个物理量。 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。数学表达式为：

$$U_{ab} = \frac{A}{Q} \quad (1-2)$$

式中 A ——电场力做的功，焦耳；

Q ——电量，库伦；

U_{ab} —— a 、 b 两点间电压，伏特。

电压的单位是伏特，符号为 V 。如果将 1 库伦的电量，从 a 点移动到 b 点，电场力做了 1 焦耳的功，那么 a 、 b 两点间的电压就是 1 伏特。电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)，其换算关系为：

$$1kV = 10^3V \quad 1V = 10^3mV \quad 1mV = 10^3\mu V$$

习惯上规定正电荷受电场力的方向为电压正方向。

2. 电动势

在电源内存在着的非电场力称为电源力。电源力能不断将正电荷从电源负极经内部移动到正极，此时电源力做了功。电源电动势是衡量电源力做功能力。电源的电动势在数量上等于电源力把单位正电荷从电源负极经过内部移动到正极所做的功。数学表达式为：

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-3)$$

式中 A ——电源力做的功，焦耳；

Q ——电量，库伦；

E ——电源电动势，伏特。

电动势的单位也为伏特，其正方向为由负极指向正极。

第二节 欧姆定律

一、一段无源电路的欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律，它是研究电阻、电压和电流之间的

关系的。在图 1-4 所示电路中, 如果电阻两端加上电压并改变电压, 电流也会随着改变。如果导体的电阻变了, 电流也会跟着改变。1827 年科学家欧姆从实验中发现: 通过电阻电流的大小与电阻两端的电压成正比, 而与电阻的阻值成反比, 这就是一段无源电路欧姆定律, 数学表达式为:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

式中 U ——端电压, 伏特;

R ——导体电阻, 欧姆;

I ——通过的电流, 安培。

根据欧姆定律所表示的电压、电阻、电流三者的关系, 知道其中任意两个参数便可求出另一个参数。

【例 1-1】 如图 1-4 所示; 电阻两端电压 $U = 24\text{V}$, 电阻 $R = 200\Omega$, 求通过的电流值。

已知: $U = 24\text{V}$ $R = 200\Omega$

求: I

解: $I = \frac{U}{R} = \frac{24}{200} = 0.12 \text{ (A)}$

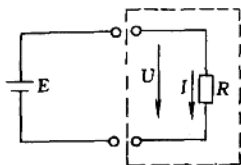


图 1-4 部分电路

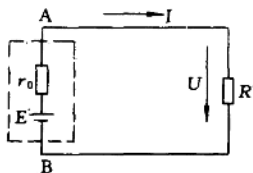


图 1-5 最简单的全电路

二、全电路欧姆定律

图 1-5 是一个含电源的完整电路。电源内部存在着的电阻称内电阻, 用 r_0 表示, R 为外电阻。

实验证明, 电路中电流与电源的电动势成正比, 与内阻及外阻的和成反比, 这就是全电路欧姆定律。用公式表示为:

$$I = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1-5)$$

式中 E ——电源电动势，伏特；

r_0 ——电源内阻，欧姆；

R ——外电阻，欧姆。

将部分电路欧姆定律公式 $U = IR$ 代入式 (1-5) 可写成

$$E = Ir_0 + IR = Ir_0 + U \text{ 或 } U = E - Ir_0$$

Ir_0 称为电源内部压降。

当电路闭合时，电路中有电流通过，其端电压等于电源电动势减去内部压降。

【例 1-2】 如图 1-5 所示，已知负载电阻为 20Ω ；在电路开路时测得 AB 两端电压为 $220V$ ；在电路闭路时，测得电路的电流为 $10A$ 。求电源内阻 r_0 和闭路时电源的端电压？

已知： $R = 20\Omega$ $U = 220V$ $I = 10A$

求： r_0 ， U

解：

$$U = IR = 10 \times 20 = 200V$$

$$I = \frac{E}{r_0 + R}$$

$$r_0 = \frac{E - IR}{I}$$

$$= \frac{220 - 200}{10}$$

$$= 2 (\Omega)$$

第三节 电 阻

一、电阻

自由电子在物体中沿一定方向运动时，不可避免地要遇到阻力，这种阻力是自由电子与物体中原子发生碰撞而产生的。物体中存在的这种阻碍电流通过的阻力叫电阻，用符号 R 或 r 表示。

电阻的单位是欧姆，用符号 Ω 表示。

当导体两端电压是 $1V$ ，导体内通过的电流是 $1A$ 时，这段导体的

电阻就是 1Ω 。计量大电阻时用千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$)。其换算关系为:

$$1k\Omega = 10^3\Omega \quad 1M\Omega = 10^3k\Omega$$

二、电阻率

物体电阻的大小与制成物体的材料,物体的几何尺寸及温度有关。实验证明,在一定温度下,一般导线的电阻由下式求得

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-6)$$

式中 l ——导线长,米;

s ——导线截面积,平方毫米;

ρ ——电阻系数,欧姆·毫米²/米;

R ——导线的电阻,欧姆。

电阻系数又叫电阻率,它是长 $1m$ 、截面积是 $1mm^2$ 的导体在 $20^\circ C$ 时具有的电阻值。

材料不同电阻系数 ρ 的数值也不同。材料的电阻系数越大,导电能力越差;电阻系数越小,则导电性能越好。各种物质按照电阻率大小可分为导体、绝缘体和半导体三大类。

三、电阻的温度系数

导体的电阻不仅与材料、几何尺寸有关,而且与温度有关。一般金属导体的电阻随着温度的增加而增加,而炭的电阻却随着温度增加而减小。

为了计算温度变化后的电阻值,我们把导体的温度每升高 $1^\circ C$ 时,它的电阻值增大的百分数叫电阻温度系数。用符号 α 表示,单位为 $1/^\circ C$ 。可用下式表示

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) \\ &= R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \end{aligned} \quad (1-7)$$

式中 R_1 ——温度为 t_1 时电阻值,欧姆;

R_2 ——温度为 t_2 时电阻值,欧姆;

α ——电阻温度系数, $1/^\circ C$ 。

常用材料的电阻率及电阻温度系数见表 1-1。

表 1-1 常用材料的电阻率及电阻温度系数

用途	材料名称	电阻率 (20℃) /Ω· mm ² ·m ⁻¹	平均电阻温度系数 α (0~100℃) /℃ ⁻¹
导 电 材 料	炭	10.0	-0.0005
	银	0.0165	0.0036
	铜	0.0115	0.004
	铅	0.0285	0.004
	低碳钢	0.13	0.006
电 阻 材 料	锰铜	0.42	0.000005
	康铜	0.44	0.000005
	镍铬铁	1.0	0.00013
	铅铬铁	1.2	0.00008
	铂	0.106	0.00389

【例 1-3】 有一台 JO₂-41-4 型电动机，铜线绕组。当室温为 26℃ 时测得电阻是 1.25Ω，加上额定负载运行 3 小时后，电阻值升高为 1.5Ω，求这时电动机绕组温度。

已知： $R_1=1.25\Omega$ $R_2=1.5\Omega$ $t_1=26^\circ\text{C}$

求： t_2

解：由表 1-1 查 $\alpha=0.004\text{ }1/^\circ\text{C}$

$$R_2=R_1+\alpha R_1(t_2-t_1)$$

$$\begin{aligned}
 t_2 &= \frac{R_2-R_1}{\alpha R_1} + t_1 \\
 &= \frac{1.5-1.25}{0.004 \times 1.25} + 26 \\
 &= 76 (^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

第四节 电功率和电流的热效应

一、电功率

在电路中电场力(或电源力)推动电荷移动时做的功叫电功。单位时间内所做的功叫电功率，用符号 P 表示。数学表达式为：

$$P = \frac{A}{t} \quad (1-8)$$

式中 A ——电场力做的功，焦耳；

t ——时间，秒；

P ——电功率，瓦特。

由式 (1-2) 得 $A=UQ$ ，由式 (1-1) 得 $Q=It$ ，代入式 (1-8) 得

$$P=UI \quad (1-9)$$

式 (1-9) 说明电功率等于端电压和通过电流的乘积。

由式 (1-4) 得 $U=IR$ ，代入式 (1-9) 中得

$$P=I^2R \quad (1-10)$$

由式 (1-10) 知，电功率与电阻和通过电流平方成正比。

电功率的单位是瓦特，用符号 W 表示。若电流在每秒钟内所做的功为 1 焦耳，则电功率就是 1 瓦特。电功率的单位还有千瓦 (kW)，其关系为

$$1kW=10^3W$$

知道了电功率，由式 (1-8) 可求出电功 (或电能)。电流做功的能力叫电能。电能的单位是焦耳，又叫瓦特秒，符号为 J 。实际中还有更大的单位为 1 千瓦时 (kWh)

当功率是 1 千瓦、工作 1 小时则消耗能量是 1 千瓦时，被称为 1 度电。这就是电表计量单位。

$$1 \text{ 度} = 1kWh = 1000W \times 3600s = 3.6 \times 10^6 J$$

【例 1-4】 某礼堂有 40 盏电灯，每盏电灯的功率为 $100W$ ，若全部使用 2 小时消耗的电能是多少？

已知： $P=100W$ $n=40$ $t=2h$

求： A

$$\begin{aligned} \text{解：} \quad P &= \frac{A}{t} \\ A &= Pt \\ &= 100 \times 10^{-3} \times 40 \times 2 \\ &= 8 \text{ (kWh)} \\ &= 8 \text{ (度)} \end{aligned}$$