

海河港口工人技术培训教材

电气基础知识

大连港装卸联合公司 编

人民交通出版社

内 容 提 要

为适应工人技术培训需要，交通部教育局组织上海、天津、青岛、湛江港务局和大连港装卸联合公司编写了这套海河港口工人技术培训教材，共十三种，供机械装卸司机、机械修理工、电工、充电工等学习使用。

本书为具有初中文化程度的港口1~3级机械设备维修、大修电工学习教材，也可作其它部门工人自学电气知识参考。

全书共三十二章，1~25章介绍电工学基础、电工仪表及测量、电工材料。26~32章介绍常用低压电器、电工识图、安全用电与节约用电。

本书1~25章由邬杏月编写，26~32章由林世章编写，全书由王继华审核。

海河港口工人技术培训教材

电气基础知识

大连港装卸联合公司

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：21.375 字数：468千

1984年5月 第1版

1984年5月 第1版 第1次印刷

印数：0001—1,000册 定价：2.20元

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路的基本知识.....	1
第二节 电路中的基本物理量.....	2
第三节 电阻和欧姆定律.....	5
第四节 电功与电功率.....	10
第五节 克希荷夫第一、二定律.....	13
第六节 电阻的连接.....	15
第七节 电桥电路.....	21
第八节 复杂电路一般分析方法.....	23
第二章 磁场和磁路	30
第一节 磁和磁场.....	30
第二节 电流与磁场.....	32
第三节 磁感应强度和磁通.....	34
第四节 磁导率和磁场强度.....	35
第五节 磁路欧姆定律.....	37
第六节 电磁力及其简算法.....	38
第三章 电磁感应和电感	41
第一节 楞次定律.....	41
第二节 电磁感应定律.....	44
第三节 自感电动势和自感系数.....	46
第四节 互感电动势和线圈的极性.....	49
第五节 磁场能量.....	52

第六节	磁滞、磁滞回线·····	53
第七节	涡流、涡流的损耗、涡流的防止及应用·····	56
第四章	电容器·····	58
第一节	电容器和电容·····	58
第二节	电容器的充电、放电及特性·····	60
第三节	电容器的串、并联及简单计算·····	62
第四节	电容器的种类及用途·····	67
第五章	单相交流电路·····	70
第一节	交流电的应用, 正弦交流电动势的产生·····	70
第二节	正弦交流电的特性及一些基本量·····	73
第三节	交流电的有效值和平均值·····	75
第四节	相位与相位差·····	77
第五节	纯电阻交流电路·····	80
第六节	纯电感交流电路·····	84
第七节	纯电容交流电路·····	91
第八节	正弦交流电的矢量表示法·····	96
第九节	电阻、电感、电容混联电路及其计算方法·····	99
第十节	交流电路的功率因数·····	106
第十一节	交流电路的集肤效应·····	108
第六章	三相交流电·····	111
第一节	三相交流电动势的产生·····	111
第二节	三相交流电路中电源的连接·····	114
第三节	三相交流电路中负载的连接·····	118
第四节	三相交流电路中功率的计算·····	123
第五节	不对称三相电路·····	125
第七章	变压器·····	130
第一节	变压器的种类、构造和工作原理·····	130

第二节	三相变压器	138
第三节	自耦变压器	142
第四节	变压器的铭牌和数据	144
第五节	变压器的外特性和电压变化率	145
第六节	变压器的损耗与效率	148
第七节	小型变压器的计算	149
第八章	交流电动机	154
第一节	三相异步电动机的构造和连接方法	154
第二节	三相异步电动机的工作原理	158
第三节	三相异步电动机的机械特性	163
第四节	三相异步电动机的起动、反转和制动	170
第五节	三相异步电动机的效率与输出功率的关系	180
第六节	三相异步电动机技术数据	181
第七节	三相异步电动机的常见故障、原因与排除方法	184
第八节	三相异步电动机定子绕组同名端的简易判别	186
第九章	直流电机	188
第一节	直流电机的构造与基本原理	188
第二节	直流电机的励磁方式	194
第三节	直流电机的铭牌	196
第四节	直流电动机的种类及机械特性	198
第五节	直流电动机的起动和制动	203
第六节	直流电动机运行时的接线	207
第七节	直流电机的维修及试验	209
第八节	直流电机的故障与排除方法	211

第十章	特殊电机	215
第一节	单相异步电动机.....	215
第二节	伺服电动机.....	218
第三节	测速发电机.....	220
第四节	旋转式直流弧焊机.....	221
第十一章	电力拖动基础	227
第一节	拖动原理.....	227
第二节	港口生产机械和电动机的机械特性.....	228
第三节	三相异步电动机调速方法及一般分析.....	233
第四节	直流电动机的调速方法及一般分析.....	237
第十二章	晶体管整流电路	242
第一节	晶体二极管.....	242
第二节	单相整流电路及滤波器.....	249
第三节	三相整流电路及滤波器.....	257
第四节	二倍压整流及多倍压整流电路.....	261
第五节	整流电路应用举例.....	265
第十三章	晶体管放大器	267
第一节	晶体三极管.....	267
第二节	晶体三极管的放大作用.....	272
第三节	晶体三极管的特性及参数.....	274
第四节	单管放大器一般知识.....	280
第五节	交流放大器一般知识.....	282
第六节	直流放大器一般知识.....	297
第七节	功率放大器一般知识.....	302
第八节	放大器应用举例.....	310
第十四章	晶体管稳压电路	313
第一节	稳压管及其稳压原理.....	313

第二节	串联型晶体管直流稳压电路及其应用·····	316
第十五章	正弦波振荡电路·····	323
第一节	LC 振荡器·····	323
第二节	RC 振荡器·····	330
第三节	自激多谐振荡器·····	331
第四节	LC 振荡器的应用举例·····	334
第十六章	可控硅及其应用·····	337
第一节	可控硅元件的结构、原理及一般测试方法·····	337
第二节	可控硅的特性及参数·····	342
第三节	单相可控硅整流电路·····	345
第四节	三相可控硅整流电路·····	349
第五节	可控硅阻容移相触发电路·····	353
第六节	单结晶体管触发电路·····	355
第七节	晶体管脉冲触发电路·····	363
第十七章	电气测量的基本知识·····	366
第一节	测量的概念和分类·····	366
第二节	仪表度盘的标志符号(标志)·····	367
第三节	电工仪表的误差·····	370
第十八章	电气仪表的结构和工作原理·····	373
第一节	磁电式仪表的结构和工作原理·····	373
第二节	电磁式仪表的结构和工作原理·····	376
第三节	电磁系电流表和电压表的工作原理·····	380
第四节	电动系仪表的结构和工作原理·····	383
第十九章	常用仪表和测量·····	386
第一节	万用表·····	386
第二节	万用表使用注意事项·····	394

第三节	钳形电流表的使用·····	396
第四节	兆欧表·····	397
第五节	兆欧表的使用和校验方法·····	399
第六节	电阻的测量·····	402
第七节	功率的测量·····	404
第二十章	电工仪表的常见故障及原因·····	408
第一节	磁电系仪表常见故障及原因·····	408
第二节	电磁系仪表常见故障、原因及消除方法·····	410
第三节	电动系仪表常见故障、原因及消除方法·····	411
第四节	万用表常见故障及原因·····	413
第五节	摇表的常见故障及原因·····	416
第二十一章	电线与电缆·····	420
第一节	裸电线·····	421
第二节	电磁线·····	423
第三节	配电、动力与照明用绝缘电线及电机 工业用绝缘线·····	424
第四节	电缆·····	427
第二十二章	电阻合金材料、电刷·····	429
第一节	电阻合金材料·····	429
第二节	电刷的种类及功用·····	430
第二十三章	磁性材料·····	434
第一节	铁磁材料·····	434
第二节	电工硅钢板·····	435
第三节	电工用纯铁材和纯铁薄板·····	435
第二十四章	绝缘材料·····	439
第一节	绝缘材料的分类和性能指标·····	439
第二节	常用绝缘材料的规格与用途·····	441

第二十五章 其它材料	446
第一节 润滑脂.....	446
第二节 滚动轴承.....	447
第二十六章 常用低压电器	448
第一节 刀开关和转换开关.....	448
第二节 熔断器.....	453
第三节 接触器.....	468
第四节 起动器.....	485
第五节 继电器.....	492
第六节 自动开关.....	513
第七节 主令电器.....	526
第八节 电阻和变阻器.....	533
第二十七章 低压电器常见故障与修理	540
第一节 触头的修理.....	540
第二节 电磁系统的修理.....	544
第三节 灭弧系统的故障及修理.....	546
第四节 常用低压电器线圈及其绕制.....	547
第五节 管式频敏变阻器的绕制.....	555
第六节 自动开关的维护与修理.....	557
第七节 控制器的维护与修理.....	560
第八节 接触器的使用与维护.....	564
第九节 电磁线圈的简易换算.....	565
第十节 控制继电器的使用、修理及常见故障.....	574
第十一节 电阻器的发热及使用注意事项.....	578
第二十八章 电路图的基本知识	579
第一节 电路图的种类.....	579
第二节 电工系统图图形符号和文字符号.....	580

第三节	电工系统图的回路标号·····	591
第二十九章	电气原理图·····	593
第一节	看电气原理图的步骤和方法·····	593
第二节	电力拖动的控制电路·····	601
第三节	识图实践（练习）·····	629
第三十章	电气安装配线图·····	639
第一节	安装配线图的基本知识·····	639
第二节	看安装配线图的步骤和方法·····	643
第三节	配线·····	645
第三十一章	安全用电·····	650
第一节	触电及其预防·····	650
第二节	触电的急救方法·····	655
第三节	保护接地和保护接零·····	659
第四节	防雷保护·····	663
第三十二章	节约用电·····	668
第一节	采用移相电容器提高功率因数·····	668
第二节	空载自动停车装置·····	669
第三节	电焊机节电装置·····	672

第一章 直流电路

直流电路是各种电路中最基本的一种。所谓直流电路，就是其中的电流、电压、电动势等物理量的大小和方向都不随时间变化的电路。

本章主要讨论电路的基本物理量，电路的基本定律，电路的基本联接方式，以及利用这些基本定律来分析和计算各种直流电路的方法。

第一节 电路的基本知识

由电源、负载与控制设备经导线连接而形成的闭合回路，称为电路，如图 1-1 所示。

电源是提供电能的装置，如电池、发电机等。其作用是将各种形式的能量(如化学能、机械能和热能等)转换为电能。

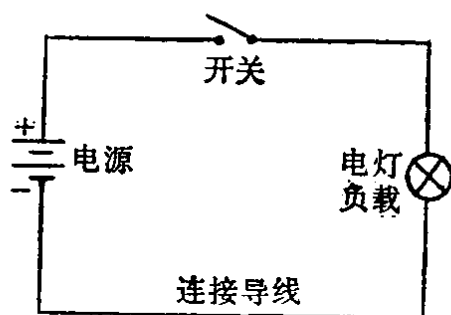


图1-1 简单电路

负载是消耗能量的设备。如电灯、电炉、电动机等，它们分别把电能转换为光能、热能、机械能等各种不同形式的能量。

导线和开关是电源和负载之间连接和控制必不可少的元件，只有合上开关才能形成一个闭合路径。如图 1-1 中合上开关，电源和灯泡形成一个回路，电流由电源流过灯泡，使

灯发亮。

实际遇到的电路结构远比这个电路复杂得多，但不管实际电路如何复杂，其基本部分是相同的。

第二节 电路中的基本物理量

本章主要介绍电流、电压（电位差）、电位和电动势这几个物理量，它们是描述、分析和计算电路的基础，是在生产和科学实验中经常碰到的概念。

一、电 流

电荷在电路中有规则的定向运动，就形成了电流。电荷的数量称为电量，常用符号 Q 表示，它的单位是库〔仑〕(C)。1 库约等于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量。自然界中存在的最小电量就是一个电子的电量，物体中所存在的电量都是这个最小电量的整数倍。以每秒通过导线某一截面的电荷量（电量）的多少来衡量电流的强弱，称为电流强度，用符号 I 表示，即

$$I = \frac{Q}{t}$$

式中： I ——电流强度，简称电流，安〔培〕(A)；

Q ——电量，库〔仑〕(C)；

t ——时间，秒(s)。

如果每秒有 1 库的电量通过导线的某一截面，这时的电流就是 1 安，即

$$1 \text{ 安} = \frac{1 \text{ 库}}{1 \text{ 秒}}$$

所以，如果每秒钟通过某导线截面电量是10库，电流就是10安。

电流的单位也可用千安(kA)，毫安(mA)或微安(μA)，它们之间的换算关系是

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = \frac{1}{1000}\text{A} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = \frac{1}{1,000,000}\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

实际上，电流是由带负电荷的自由电子移动形成的，而习惯上规定以正电荷移动方向作为电流的正方向，与自由电子移动的实际方向恰好相反。但这样规定并不影响对电流的分析和计算，也不影响对电流的测量，所以现在仍把正电荷移动的方向作为电流的方向。

二、电压和电位

为什么负载和电源接通就会有电流通过呢？这是由于电源力驱使电子按一定方向在电路里循环移动，而形成电流，也即电源力对它们作了功，给它们提供能量的结果。将一个单位的正电荷从电路中的 *a* 点移动到 *b* 点，电源对电荷所做的功叫做 *a*、*b* 两点间的电压。电压总是存在于电路中两点之间，是衡量单位正电荷作功大小的物理量。

电压的单位是伏〔特〕，用符号 V 表示。

电压的单位也可用千伏(kV)。毫伏(mV)和微伏(μV)。它们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 1000\text{V} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = \frac{1}{1000}\text{V} = 10^{-3}\text{V}$$

$$1\mu\text{V} = \frac{1}{1,000,000}\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

电压又叫电位差，它表示电场中两点间电位的差别。电场中某点和参考点（零电位点）之间的电压就是该点的电位。但电位与电压是有区别的。电位的数值与高度一样，是一个相对的概念，它与零电位（接地点电位）的选择有关，电压则是电路中两点之间的电位差（电压）值。应该注意，在同一个电路中只能选择一个零电位，才能保证其它各点的电位是唯一确定值，并且互相之间可以进行比较，否则就没有意义。

带正电物体的电位叫正电位；所带正电越多，电位越高。带负电物体的电位叫负电位；所带负电越多，电位越低。正电位比零电位高，零电位比负电位高。正电位和负电位，根据电路中选择零电位来决定。如图 1-2 所示，假定 B 点为零电位，则 A 点的电位比 B 点高 U 值，为 $+U$ 。假定 A 点为零电位，则 B 点电位比 A 点低 U 值，为 $-U$ 。电位的正负概念，对电子线路分析很有用处。

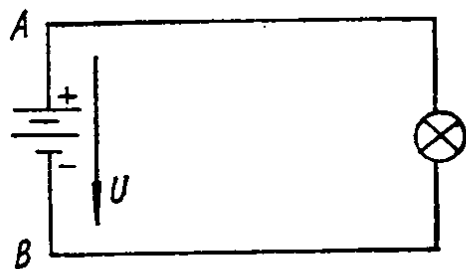


图1-2 电位的确定

三、电 动 势

电源与负载连接会有电流产生，是由于电源力做功的缘故。不同的电源产生电源力的方法不同：如蓄电池是靠其内部的电解液与极板之间的化学反应；而发电机则是由于电磁感应作用。它们分别依靠化学能和机械能把电源内部导体中

所存在的正、负电荷分离，并且分别向两极推动，使一个极集中有一定量的正电荷，而另一极集中有同量的负电荷。在此过程中，化学能或机械能推动电荷运动的作用叫电源力，电源力推动电荷做功，使电荷集中在两极上而产生电能。

电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所作的功，叫做电源的电动势，用符号 E 表示，单位是伏〔特〕(V)。

电源电压与电源电动势在概念上是不同的。电源电压是指两个电极间存在的电位差，而电动势则是电源内部所具有的把正电荷从负极（低电位）移动到正极（高电位）以建立电位差的本领。

电压的正方向是正极到负极的方向，即电位降低的方向。电动势的正方向是指从负极到正极的方向，即电位升高的方向，如图 1-3 所示。

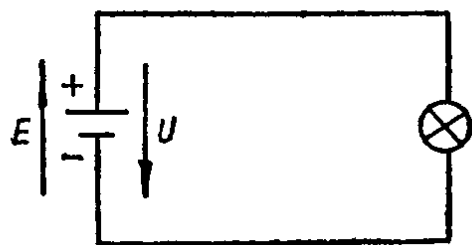


图1-3 电源电压与电动势方向

第三节 电阻和欧姆定律

一、电 阻

导体内自由电子在运动过程中不断地互相碰撞，而且还与导体内分子相碰撞。碰撞的机会多与少取决于材料的结构，如分子的大小、分子间距离的远近、自由电子的多少等。物体中这种阻碍电流通过的阻力叫电阻。用符号 R 表示。

电阻的单位是欧〔姆〕(Ω)。如果在导体两端加上 1 伏电压，通过 1 安电流，那么，这个导体的电阻就是 1 欧，即

$$1 \text{ 欧}(\Omega) = \frac{1 \text{ 伏}(\text{V})}{1 \text{ 安}(\text{A})}$$

实用上有时嫌欧这单位太小，可用千欧（kΩ）和兆欧（MΩ）做单位

1 千欧(kΩ) = 10³欧(Ω)

1 兆欧(MΩ) = 10³千欧(kΩ) = 10⁶欧(Ω)

导体电阻的大小不仅与导体本身导电性能好坏有关，同时与导体的尺寸大小有关。实验证明，同一材料的导体其电阻与导体长度成正比，与导体的横截面成反比，公式表示如下

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

式中： l——导线长度，米（m）；

s——导线截面积，米²（m²）；

ρ——比例常数 叫做导体的电阻率，欧姆米(Ω·m)。

电阻系数 ρ 是反映材料导电性能好坏的物理量。几何尺寸相同的不同材料， ρ 越大的材料其电阻 R 越大，否则反之。

材料的电阻率和电阻温度系数 表1-1

材 料 名 称	电 阻 率 ρ [20℃]	平均电阻温度系数 α
	欧 姆 米	[0~100℃](1/℃)
碳	10.0 × 10 ⁻⁸	- 0.0005
银	0.0165 × 10 ⁻⁸	0.0036
铜	0.0175 × 10 ⁻⁸	0.004
铝	0.0283 × 10 ⁻⁸	0.004
钨	0.055 × 10 ⁻⁸	0.0052
铂	0.106 × 10 ⁻⁸	0.00389
低 碳 钢	0.13 × 10 ⁻⁸	0.006
锰 铜	0.42 × 10 ⁻⁸	0.000005
康 铜	0.44 × 10 ⁻⁸	0.000005
镍 铬 铁	1.0 × 10 ⁻⁸	0.00013
铝 铬 铁	1.2 × 10 ⁻⁸	0.00008

表 1-1 中是几种常用材料在20℃时的电阻系数。

从表 1-1 可以看出，银的电阻系数最小，导电性能最好。但用它制造导线价格昂贵，所以通常用铜和铝制造导线。

材料的电阻不仅与材料的性质、几何尺寸有关，还与温度有关。从表 1-1 中可以看出，银、铜、铝等电阻值都随温度的升高而增大，但碳的电阻值却随温度的升高而减小。

为了计算导电材料在不同温度下的电阻值，我们把导体的温度每升高1℃时，它的电阻值增大的百分数叫做电阻的温度系数，用 α 表示。温度系数也随温度变化而略有变化，但在0~100℃范围内可按表 1-1 中所列的平均电阻温度系数进行计算。

例1-1 一根长10米，截面积为 2.5 毫米²铜导线，计算该导线的电阻值（温度为20℃）。

已知 $l = 10$ 米， $s = 2.5 \times 10^{-6}$ 米²

求 $R = ?$ 欧

解 从表 1-1 中查得铜的电阻系数

$\rho = 0.0175 \times 10^{-6}$ 欧姆米

$$R = \rho \frac{l}{s} = 0.0175 \times 10^{-6} \times \frac{10}{2.5 \times 10^{-6}} = 0.07 \text{ (欧)}$$

二、欧 姆 定 律

我们已经知道，灯泡接上电源后有电流通过，灯泡就亮。现在要研究一下电流的大小和电压及灯丝电阻值的大小有什么关系。

先做一个简单实验。把电池组、电阻、伏特表和安培表按图1-4实验电路连接起来。滑动点 O 可以在 A 、 B 、 C 、 D