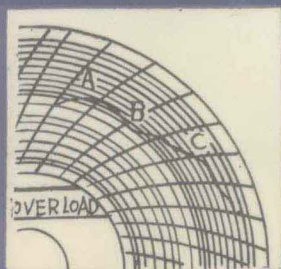
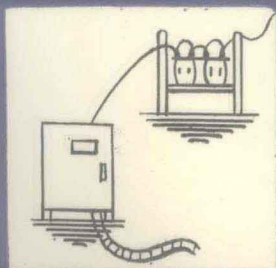
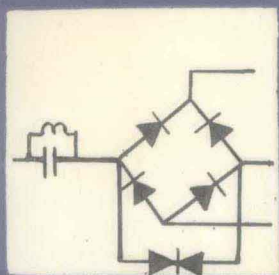


潜油电泵技术

(电气部分)

主编：白广文

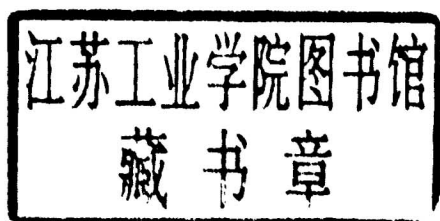


石油工业出版社

潜 油 电 泵 技 术

(电 气 部 分)

主编：白广文



石 油 工 业 出 版 社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书主要介绍潜油泵技术中的电机、控制柜、变压器、电缆的原理、结构和检修及故障处理,重点讲述了潜油电机、电缆与通用电机、电缆的区别和特殊性及其检修方法。本书的附录有常用电气线路图形符号和常用电工仪表及使用方法,潜油电缆主要技术参数与图表。

本书的读者对象是从事潜油泵机组工作的工人和技术人员以及石油院校采油专业的学生,也可供从事潜油泵机组制造的专业技术人员和工人参考。

潜 油 电 泵 技 术

(电气部分)

•

主编:白广文

石油工业出版社出版发行

(北京安定门外安华里二区一号楼)

大庆石油管理局勘探开发研究院印刷厂排版印刷

•

787×1092毫米 16开本17 印张409 千字印1-20000

1993年3月黑龙江第1版 1993年3月黑龙江第1次印刷

ISBN 7-5021-0774-6/TE·727

定价:13.50元

编 审 委 员 会

主 任：李春森

副主任：白广文 潘蔼生 李 森

委 员：张久高 郝惠欣 师世刚 丛泉滋 苑丽华

编 写 组

主 编：白广文

副主编：张久高 郝惠欣 师世刚 丛泉滋 苑丽华

编 者：刘 军 金超英 徐树文 周皇恩 邵永实 史忠武

程 良 邓 辉 李伯林 孙庆林 王登阁 袁水兴

孟宪军 张肃江 代明江 王彦辉 董振刚

前 言

潜油电泵自80年代初从国外引进并逐渐在全国各油田批量推广应用以来,经过十多年的消化、吸收,已经在应用技术、检修技术、制造技术等诸方面都得到了飞速的发展。目前全国已有大庆、胜利、大港、辽河、中原等十几个油田应用了潜油电泵。全国共有电泵井3600余口。从事电泵应用、电泵井管理、电泵机组检修制造人员已达2万人。基于此,尽快提高这支潜油电泵专业队伍的技术素质,是摆在我们面前的一项刻不容缓的工作。

由于石油天然气总公司大庆潜油电泵中心承担着为全国各油田从事电泵专业工作的技术人员、管理人员、岗位工人提供技术培训的光荣职责,因此,在1991年初我“中心”组织了一批高、中级工程技术人员,高、中级技师,老工人等20余人,经过一年多时间的努力,编写出了《潜油电泵技术》。本套培训教材分机械部分、电气部分、现场应用部分、故障处理部分4个分册。

本套教材主要讲述潜油电泵机组的离心泵、分离器、电机、保护器、电缆、控制柜、变压器等7大部件的结构、原理、检修方法、测试方法等方面的内容;讲述潜油电泵应用、电泵井管理、选井选泵等技术;讲述电泵井各类故障典型事例分析、处理以及事故防范等方面内容。这是自潜油电泵引进以来第一套比较系统、比较完整、技术全面、内容丰富的职工培训教材。可供从事潜油电泵专业的技术人员、管理人员和岗位工人进行不同层次的培训,也可供自学或专业学校作为参考书。

由于潜油电泵机组的7大部件既有它的特殊性,又有它的通用性,因此,我们在编写时遵循尽量避免重复,删繁就简,以求实用的原则。这样,选用本教材培训时,根据不同培训对象,需要时可再选些通用参考书。

在编写本套教材的过程中,我们虽然进行了反复校阅,严格把关,但由于水平和能力有限,难免会出现错误和不足,诚请各位读者提出批评指正。

本套教材在初稿形成以后,曾得到石油天然气总公司劳资局培训处工程师向守源同志和大庆石油管理局培训部孙连材同志及大庆市勘探开发研究院编辑部副编审林玉君同志的帮助、指导,在此一并致以谢意。

《潜油电泵技术》编写组

1992年4月

目 录

第一篇 电气基础知识

第一章 电和磁的概念	(1)
第一节 电的概念	(1)
第二节 磁的概念	(2)
第二章 直流电路	(5)
第一节 直流电路基本定律	(5)
第二节 电阻连接	(8)
第三章 交流电路	(10)
第一节 正弦交流电	(10)
第二节 含电阻、电感、电容的交流电路	(12)
第三节 三相交流电路	(18)
第四节 涡流及趋肤效应	(20)
第四章 晶体管及集成电路	(21)
第一节 二极管及电路	(21)
第二节 三极管及其电路	(24)
第三节 晶闸管及其电路	(28)
第四节 集成电路	(34)

第二篇 潜油电机

第一章 潜油电机的结构	(39)
第一节 潜油电机的基本结构	(39)
第二节 潜油电机的结构特点	(43)
第三节 潜油电机的铭牌	(45)
第四节 潜油电机的定子绕组	(47)
第二章 潜油电机的基本原理	(50)
第一节 潜油电机的工作原理	(50)
第二节 潜油电机的空载运行	(53)
第三节 负载时潜油电机的物理情况和磁势、电势方程式	(56)
第四节 潜油电机的功率和转矩方程式	(59)
第五节 笼型转子的极数、相数	(61)
第六节 小结	(63)
第三章 潜油电机的运行特征	(65)
第一节 潜油电机的工作特性	(65)
第二节 转矩—转差率关系	(67)

第三节	潜油电机的固有特性和人为特性	(75)
第四节	用直接负载法求取工作特性	(77)
第五节	潜油电机参数的测定	(77)
第六节	由参数算出潜油电机的主要运行数据	(81)
第七节	潜油电机的电流圆图	(82)
第八节	从圆图求取潜油电机的运行数据	(85)
第九节	小结	(88)
第四章	潜油电机的检修与定子制造工艺	(90)
第一节	潜油电机的拆检	(90)
第二节	潜油电机定子的大修	(93)
第三节	潜油电机的装配	(94)
第四节	潜油电机试验	(98)
第五节	潜油电机定子制造	(99)
第五章	潜油电机设计概述及其发展	(110)
第一节	潜油电机设计概述	(110)
第二节	潜油电机绕组设计概述	(112)
第三节	潜油电机的发展概况	(114)
第三篇 潜油电泵专用变压器		
第一章	变压器的基本工作原理和结构	(116)
第一节	变压器的基本工作原理	(116)
第二节	变压器结构的主要部件	(116)
第三节	变压器的发热与冷却	(117)
第四节	变压器的额定值	(118)
第二章	变压器的运行和特性	(119)
第一节	变压器的空载运行	(119)
第二节	变压器的负载运行	(120)
第三节	变压器的运行特性	(122)
第三章	三相变压器	(124)
第一节	三相变压器的磁路系统	(124)
第二节	三相变压器的电路系统——线圈的连接法和连接组	(124)
第三节	自耦变压器	(127)
第四章	变压器的瞬变过程	(129)
第一节	变压器空载合闸时的瞬变过程	(129)
第二节	副方突然短路时的瞬变过程	(130)
第三节	变压器的过电压现象	(130)
第五章	潜油电泵专用变压器的检测及验收方法	(132)
第一节	变压器的检测	(132)
第二节	变压器验收方法	(133)
第三节	变压器的故障分析与处理	(136)

第四篇 潜油电泵电气控制设备

第一章 潜油电泵专用控制柜原理结构	(138)
第一节 潜油电泵专用控制柜简介	(138)
第二节 控制柜结构及技术特性	(138)
第三节 控制柜原理	(140)
第四节 常用控制柜电路原理及技术特性	(142)
第五节 变频控制柜	(146)
第二章 控制柜主要组件	(151)
第一节 电流互感器	(151)
第二节 自动空气开关	(151)
第三节 熔断器	(152)
第四节 交流接触器和真空接触器	(154)
第五节 控制变压器	(156)
第三章 电流记录仪	(158)
第一节 XWG-100型记录仪	(158)
第二节 ACJ型交流电流记录仪	(161)
第三节 ACJ-4型交流电压电流双笔记录仪	(163)
第四节 记录仪调试检验	(165)
第四章 中心控制器	(168)
第一节 雷达中心控制器	(168)
第二节 圣垂利夫特中心控制器	(175)
第三节 天津SBI-200型中心控制器	(181)
第四节 中心控制器的调试	(183)
第五章 控制柜调试、操作及故障处理	(188)
第一节 调试仪器及设备	(188)
第二节 调试方法及步骤	(188)
第三节 常见故障及处理方法	(191)
第四节 典型故障分析及处理方法	(191)
第六章 潜油电泵压力和温度测试装置	(195)
第一节 PHD测试仪表原理与使用	(195)
第二节 PSI测试仪表原理与使用	(196)

第五篇 潜油电缆

第一章 潜油电缆的结构特点和潜油电缆材料	(201)
第一节 潜油电缆的结构特点	(201)
第二节 潜油电缆的材料	(202)
第二章 潜油电缆的技术参数及测试	(206)
第一节 潜油电缆的技术参数	(206)
第二节 潜油电缆技术参数的测试	(211)
第三章 潜油电缆的连接	(219)

第一节 潜油电缆的连接材料	(219)
第二节 潜油电缆的连接方法	(221)
第四章 潜油电缆头的结构	(224)
第一节 插入式电缆头	(224)
第二节 缠绕式电缆头	(225)
第五章 潜油电缆头的性能指标及测试	(227)
第一节 潜油电缆头的电气性能指标	(227)
第二节 潜油电缆头的各项性能指标测试	(227)
第六章 潜油电缆的选择	(229)
第一节 电缆耐温等级和电缆载流量的选择	(229)
第二节 电缆压降、损失功率和经济性的选择	(229)
第七章 潜油电缆的故障及检测	(231)
第一节 潜油电缆的故障原因	(231)
第二节 潜油电缆的故障检测	(232)
附录	(240)
附录Ⅰ 常用电气线路图形符号及识图方法	(240)
附录Ⅱ 常用电工仪表及使用方法	(246)
附录Ⅲ 潜油电缆主要技术参数与图表	(251)

第一篇 电气基础知识

本篇不准备全面介绍电气基础知识，只对潜油电泵应用中遇到的一些电气知识加以介绍，以便于读者深入掌握潜油电泵有关技术。主要讲述以下几个方面的内容：电和磁的基本概念；直流电路；交流电路以及晶体管和集成电路等方面的基本知识。

第一章 电和磁的概念

第一节 电的概念

本节主要介绍关于电的几个概念，即电压、电动势、电流、电流强度、电阻、导体和绝缘体。

一、电压与电动势

在电场中，将单位正电荷由高电位点移向低电位点时，电场力所做的功称为电压。电压又可表述为高低两点之间的电位差。其表达式为：

$$U_{\text{高低}} = -\frac{A_D}{q} \quad (1.1-1)$$

式中 A_D —电场力所做的功，J；

q —电荷量，C；

$U_{\text{高低}}$ —高低两点之间的电压，V。

电压的正方向规定为高电位指向低电位，即电位降的方向。

在电场中，将单位正电荷由低电位移向高电位时外力所做的功，称为电动势。电动势在数值上等于外电路断开时电源的两个极间的电位差。其表达式为：

$$E = \frac{A_w}{q} \quad (1.1-2)$$

式中 A_w —外力所做的功，J；

q —电荷量，C；

E —电动势，V。

电动势的正方向规定为由低电位指向高电位，即电位升的方向。

电压与电动势的区别：电压是反映电场力做功的概念，其正方向为电位降的方向；而电动势则是反映外力克服电场力做功的概念，其正方向为电位升的方向，两者的方向相反。

二、电流与电流强度

电子在导体中，当受到某种力（电动势）的作用时，便形成了有规律电子流，我们把这种电子流称之为电流。

电流是有方向性的，它是从电位较高点移向电位较低点。根据电子运动特点，在电路中

电荷是从负极流向正极的，这才是电流的真正流动方向，但是我们一般讲电流的方向是从正极流向负极的，现在已成为习惯。

为了衡量电流的强弱，我们引入电流强度这一物理量。它的定义是：单位时间内通过导体某一横截面积的电荷量的代数和。用公式表示为：

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.1-3)$$

式中 I —电流强度，A；

t —时间，s。

我们规定在每秒钟内通过导体某一横截面积的电子数为625亿个时，该电流强度为1A。

三、电阻

电流在导体内流动所受到的阻力叫电阻，用符号 R 表示。电阻的大小是由物体本身的性质和条件来决定的。

在一导体两点之间加电压为1V，若电流为1A时，则这两点之间的电阻就为1 Ω ，即：1 $\Omega = 1V/A$ 。

电阻的大小与导体的长度 L 成正比，与导体的横截面积 S 成反比，并且与该导体的材料有关，我们把这一关系称为电阻定律，用公式表示为：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.1-4)$$

式中 ρ —导体材料的电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ；

L —导体的长度，m；

S —导体横截面积， mm^2 。

四、导体和绝缘体

导电能力很强的物质（如铜、铝等金属及电解液）称为导体；几乎不能导电的物质（如橡胶、塑料、变压器油等）称为绝缘体。

导体内拥有大量的自由电子或离子，在电场力作用下，很容易定向移动形成电流。导体的电阻率很小，一般在 $10^{-2} \sim 1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 之间。

绝缘体由于原子核对其外层电子束缚力很强，自由电子极少，故导电能力差，电阻率很大，一般约为 $10^{13} \sim 10^{24} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。但是，绝缘体的绝缘是有前提的，它与电压有很大关系，当电压高到一定程度，电场力超过原子核束缚外层电子的能力时，外围电子就变成了自由电子，绝缘体发生质变而成了导体，这种情况称为“绝缘击穿”。

第二节 磁的概念

电与磁是电工技术中大量接触的现象，彼此之间有着密切的联系。我们下面要讲述的潜油电机和潜油变压器都是根据电与磁的相互转化、相互作用原理制成的。所以，掌握磁的基本规律以及电与磁之间的关系，有利于我们对潜油电泵技术的学习。在这一节中，我们主要讲述以下几个概念：磁场、电流和磁的关系、电动机左手定则、电磁感应、导磁材料及其磁化曲线。

一、磁场

在磁性物体周围的空間存在一种特殊的物质，它能表现一种力的作用，这一特殊物质叫

磁场。

磁场有大小和方向，可用磁力线表示。磁场越强，磁力线越密集。磁力线的方向是从N极指向S极，这也是磁场的方向，在磁体内部磁力线的方向是从S极指向N极，磁力线永远不会交叉，始终是闭合的。

通过磁路导磁截面积（ S ）磁力线的总数称为磁通（ Φ ），磁通的单位是Wb，较小的单位是Mx，1Mx就是一根磁力线，那么：

$$1\text{Wb}=10^8\text{Mx}$$

单位面积通过的磁通量称为磁感应强度，用 B 表示，即：

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1.1-5)$$

式中 Φ ——磁通量，Wb；

S ——导磁截面积， cm^2 ；

B ——磁感应强度，T。

如果磁通量 Φ 的单位是Wb，导磁截面积 S 的单位是 m^2 ，则：

$$1\text{Wb}/\text{m}^2=1\text{T}$$

二、电流和磁的关系

磁现象和电现象是互相关联的、不可分割的统一整体。有磁就有电流存在，有电流必定有磁的存在。

导体通电后产生磁场的方向可用右手螺旋定则来确定，如图1.1—1所示。

右手握导线，拇指指向电流方向，四指指向的是磁力线方向，或者用螺旋旋进的方向代表电流方向，那么旋转的方向表示其磁力线的方向。

若是一个线圈通电后，同样也产生磁场，那么它的磁场方向同样可用右手螺旋定则来确定。

如图1.1—2所示，用右手握线圈四指指电流方向，那么拇指所指的方向为磁场的方向。

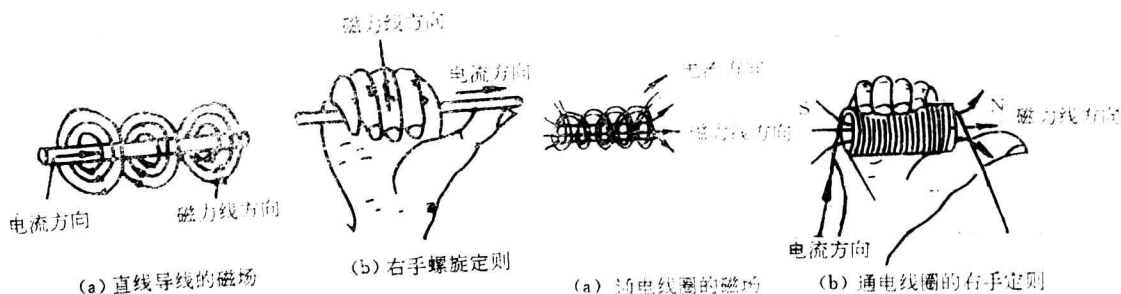


图1.1—1 通电导体中电流产生的磁场

图1.1—2 右手螺旋定则

三、电动机左手定则

通电导体在磁场中总是要受到一种力的作用，这种力（ F ）的大小与磁通密度（ B ）、导线中的电流（ I ）及导线有效长度（在磁场内的导线长度）（ L ）成正比关系，即：

$$F = B \cdot I \cdot L \quad (1.1-6)$$

式中 B —磁通密度, Wb/m^2 ;

I —电流, A ;

L —导线的有效长度, m ;

F —作用力, N 。

该关系式适用于 F 、 L 、 B 在空间相互垂直的情况。

电动机左手定则: 伸开左手, 使拇指与其余四指垂直, 并和手掌都在同一平面内, 并让磁力线垂直穿入手心, 四指指的是电流方向, 则拇指指的就是载流导体受力方向, 如图1.1—3所示。

四、电磁感应

由变化的磁场在导体中产生电动势的现象, 称为电磁感应。由此产生的电动势称为感应电动势。

感应电动势的方向(感应电流的方向)可用右手定则来确定: 将右手展平, 四指伸直, 大拇指与四指垂直, 使磁力线穿入手心, 拇指指向导体的运动方向, 那么四指所指的方向就是感应电动势的方向, 如图1.1—4所示。

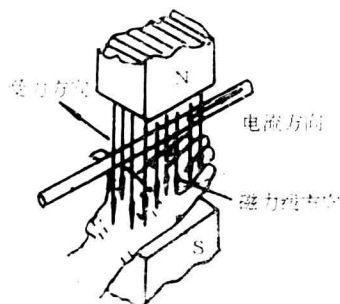


图1.1—3 电动机左手定则

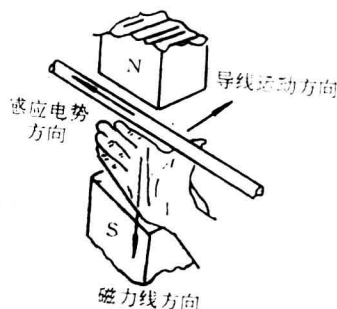


图1.1—4 右手定则

感应电动势的大小与磁场强度 B , 导线运动速度 v , 导线在磁场中的有效长度 L , 导线切割磁力线的角度 α 的正弦成正比关系, 用公式表示为:

$$E = B \cdot L \cdot v \cdot \sin \alpha \quad (1.1-7)$$

式中 B —磁通密度, Wb/m^2 ;

L —导线有效长度, m ;

v —导线运动速度, m/s ;

E —感应电动势, V 。

五、磁性材料及其磁化曲线

磁性材料分为软磁材料和硬磁材料。它们对磁场的作用可概括为两点: 1) 增强磁场; 2) 改变磁场分布。在这里, 我们主要介绍一下电工硅钢薄板, 即硅钢片。

硅钢片按含硅量分为 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 四个等级。 D_1 级含硅量在1%左右; D_2 级含硅量2%左右; D_3 级为3%左右; D_4 级为4%左右。在每一个含硅量等级中, 又根据损耗大小而分成牌号, 如 D_{11} 、 D_{12} 、 D_{21} 、 D_{22} 、 D_{23} 、 D_{24} 、 D_{31} 、 D_{32} 、 D_{41} 、 D_{42} 、 D_{43} 等, 硅钢片牌号中第二位数字(1, 2, 3, 4)表示钢板的电磁性能等级, 一般由1到4, 损耗由高到低。

按轧制工艺的不同, 硅钢片有热轧和冷轧之分。冷轧片电磁性能较好, 加工工艺性能也较

好，但轧制较为困难。冷轧片一般在相应的热轧硅钢片号前加注一个0字或在后面加注0，如0D₁₂、D₂₀。

硅钢片的电磁性能指标主要有两个：一是磁化性能，用 B_{25} 、 B_{50} 、 B_{100} 表示，分别指当磁场强度 H 达25、50、100A/cm米时，该材料基本磁化曲线上的磁感应强度值，单位是高斯（Gs）；另一个是比损耗，即在交变磁通作用下，单位重量铁芯中的损耗，通常用 $P_{10/50}$ 、 $P_{15/50}$ 表示，分别指当交变频率为50Hz，磁感应强度为 10×10^3 Gs和 15×10^3 Gs时，每千克铁的能量损耗，单位为W/kg。

磁性材料磁化后，其所通电流与产生的磁通能够反映出磁通密度和磁场强度的关系。我们把表示磁通密度和磁场强度关系的曲线称为磁化曲线，即 $B-H$ 曲线。

图1.1—5为磁化铸钢和 D_{21} 硅钢片的 $B-H$ 曲线。磁化初始，磁化强度由0增至 H_1 ，磁通密度由0增至 B_1 ，在此阶段，铸钢（或 D_{21} 硅钢片）的磁力线增加很快，近似线性增长。当磁场强度由 B_1 增至 B_2 时，磁通密度只由 B_1 缓慢增至 B_2 ，以后虽然再增加 H ，但磁通密度几乎不再增加，出现磁饱和现象。

为什么会出现磁饱和现象呢？这是因为最初铸钢（或硅钢片）的磁分子成混乱排列，稍加一些磁势，就可将磁分子排列整齐，随后绝大部分磁分子已经排列整齐，再增加磁势，磁性的增强已经不明显了，也就是说，这时铸钢（或硅钢片）已经进入磁饱和状态。

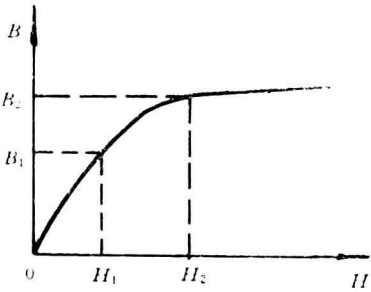


图1.1—5a 铸钢磁化曲线

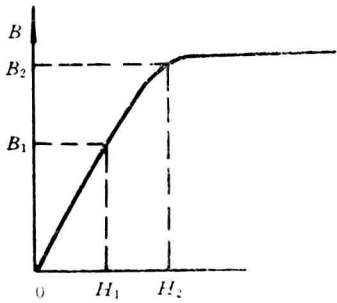


图1.1—5b 硅钢片磁化曲线

第二章 直流电路

在电路中的电流（电压）的方向和大小不随时间发生变化，这样的电流（或电压）称为直流电流（或直流电压），此电路称为直流电路。

第一节 直流电路基本定律

本节中主要介绍欧姆定律、焦耳-楞次定律和克希荷夫定律。

一、欧姆定律

部分电路的欧姆定律：一段电路中的电流强度跟这段电路上的电压成正比，跟这段电路的电阻成反比，用公式表示为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.2-1)$$

式中 I —— 电流, A;
 U —— 电压, V;
 R —— 电阻, Ω 。

R 是一个表示该段电路特性而与电压、电流大小无关的物理量。

全电路欧姆定律: 在包含有电源在内的完整电路中的电流的大小, 与电路中电源电动势的大小成正比, 而与电路中全部电阻值 (包括外电路电阻及内电阻) 成反比, 用公式表示为:

$$I = \frac{E}{R + r_{\text{内}}} \quad (1.2-2)$$

图1.2—1为有源直流电路。

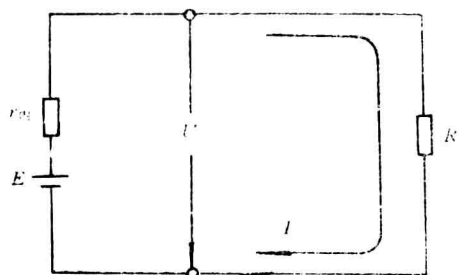


图1.2—1 有源直流电路

二、电功与电功率

1. 电功

电场中, 电场力把电荷从一点推移到另一点时所做的功叫做电功。电功用符号“ W ”表示。电功的大小与电路中的电压和电流以及通电的时间成正比例关系, 用公式表示:

$$W = I \cdot U \cdot t \quad (1.2-3)$$

式中 W —— 电功, J;
 I —— 电流, A;
 U —— 电压, V;
 t —— 通电时间, s。

在纯电阻电路中, 根据欧姆定律, 电功的公式又可写成下列形式:

$$W = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t = qU \quad (1.2-4)$$

式中 W —— 电功, J;
 I —— 电流, A;
 U —— 电压, V;
 q —— 电量, C;
 R —— 电阻, Ω ;
 t —— 时间, s。

2. 电功率

单位时间内电流所做的功称为电功率, 用 P 表示, 简称功率, 可用公式表示为:

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1.2-5)$$

式中 P —— 功率, W。

三、焦耳—楞次定律

电流通过导体消耗的电能所产生的热量 (Q) 与通过的电流 (I) 的平方成正比, 与该导体的电阻 (R) 和通电时间 (t) 也成正比例, 这个关系称为焦耳—楞次定律, 用公式表示为:

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1.2-3)$$

式中 I —— 电流, A;

R —— 电阻, Ω ;

t —— 时间, s;

Q —— 热量, cal。

Q 在实用中多用千卡, 即 $1 \text{Kcal} = 1000 \text{cal}$ 。

该公式只适用于纯电阻电路。

四、克希荷夫定律

1. 克希荷夫第一定律

在电路中任何时刻任一节点的各电流的代数和都等于零, 这个结论称为克希荷夫第一定律, 用公式表示:

$$\sum I = 0 \quad (1.2-7)$$

如图1.2-2所示。

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

或

$$I_1 + I_4 - I_2 - I_3 - I_5 = 0$$

上式中规定流入节点的电流为正, 流出节点的电流为负。

2. 克希荷夫第二定律

在电路中, 任何时刻任何一个闭合回路的各段上的电压之代数和等于零, 这一规律为克希荷夫第二定律。

如图1.2-3所示, 箭头指的是绕行方向,

$$E_2 + E_1 = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1.2-8)$$

或

$$E_2 + E_1 - U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

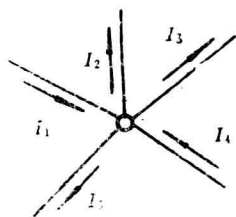


图1.2-2 节点电流代数和为零

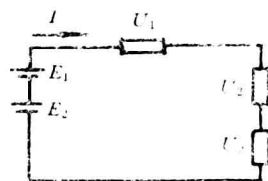


图1.2-3 闭合回路中电压和为零

我们应用这一定律时, 首先要选择回路的绕行方向, 这一方向我们可任意确定, 在一个闭合的回路中顺时针方向或逆时针方向均可, 其次要确定回路中电动势和电阻上的电压降正负符号, 电动势的正方向以低电位到高电位, 也是电位升高的方向 (指电源内部从负极到正极), 跟绕行方向一致则该电动势取正值, 否则取负值。

第二节 电阻连接

在电路中,电阻的连接方式通常有串联、并联和混联三种。这一节中,我们介绍电阻的三种联接方式及其电路。

一、电阻串联

如图1.2—4所示,把几个电阻的首尾逐个连接起来,剩下一个首端和一个尾端,使电流只有一条通路,这种连接方式称为串联。

串联电路有下列特点:

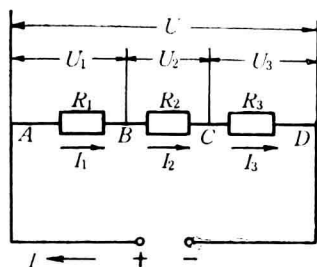


图1.2—4 电阻的串联

(1) 电路中各处的电流均都相等,流过每个电阻中的电流都和线路中的电流相同,即:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

(2) 总电压等于线路中各段电压降的总和,即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

(3) 总电阻(等效电阻)等于所有各段电阻的和,即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1.2-9)$$

二、电阻并联

把每个电阻的一端连接在一起,另一端也连接在一起,这样的连接称为并联,如图1.2—5所示。

并联电路有下列特点:

(1) 并联电路中的总电流(I)等于各并联支路电流的总和,即:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

(2) 各并联电路两端的电压都相同,并都等于电源电压,即:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = U$$

(3) 并联电路中的总电阻 R (等效电阻)的倒数等于各分路中的电阻倒数的总和,即:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \cdots \cdots \quad (1.2-10)$$

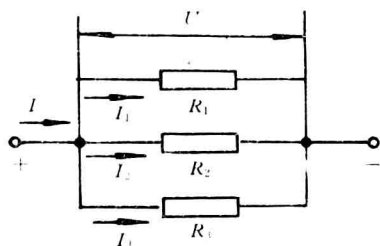


图1.2—5 电阻的并联

的计算方法,一步步地把电路简化,求出它们的等效电阻后,再求出总的电阻阻值。

四、电源的串联与并联

1. 电源的串联

第一个电源的正极与第二个电源的负极连接,第二个电源的正极与第三个电源的负极相