

GXJH

工学结合新思维高职高专
航海技术类“十二五”规划教材
总主编 马彪君

船舶电路基础

CHUANBO DIANLU JICHU

[孙 铮 主 编]



对外经济贸易大学出版社
University of International Business and Economics Press

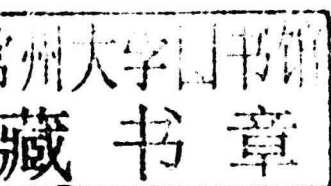
工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材

总主编 马魁君

船舶电路基础

孙 铮 主 编

郭国杰 刘 磊 副主编



对外经济贸易大学出版社
中国·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶电路基础 / 孙铮主编. —北京: 对外经济贸易大学出版社, 2012

工学结合新思维高职高专航海技术类 “十二五” 规划教材

ISBN 978-7-5663-0305-9

I. ①船… II. ①孙… III. ①船舶-电路-高等职业教育-教材 IV. ①U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 071727 号

© 2012 年 对外经济贸易大学出版社出版发行

版权所有 翻印必究

船舶电路基础

孙 铮 主编

责任编辑: 陈跃琴 朱 洋

对外经济贸易大学出版社

北京市朝阳区惠新东街 10 号 邮政编码: 100029

邮购电话: 010-64492338 发行部电话: 010-64492342

网址: <http://www.uibep.com> E-mail: uibep@126.com

山东省沂南县汇丰印刷有限公司印装 新华书店北京发行所发行

成品尺寸: 185mm × 260mm 17.5 印张 404 千字

2012 年 5 月北京第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5663-0305-9

印数: 0 001 - 3 000 册 定价: 32.00 元

出版说明

中国自 2001 年加入世界贸易组织之日起,严格遵守有关海运行业的发展承诺,全面实施《国际海运条例》等法规,在海运服务、港口建设等方面实行新的开放政策,为中外航商提供更为公平的市场经营环境,其开放度高于发展中国家,与发达国家基本相当。

当前,中国正在积极建设以渤海湾、长三角和珠三角三大港口群为依托的三大国际航运中心,即以天津、大连和青岛等港口为支撑的北方国际航运中心;以江浙为两翼、上海为中心的上海国际航运中心;以深圳、广州和香港为支撑的香港国际航运中心。

为适应我国海运事业蓬勃发展对航海技术类高素质技能型专业人才的迫切需要,对外经济贸易大学出版社认真贯彻教育部教高[2006]16号《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》的要求,联合天津海运职业学院、天津职业大学、天津中德职业技术学院、天津电子信息职业技术学院、芜湖职业技术学院、天津对外经济贸易职业学院、天津冶金职业技术学院、天津青年职业学院、天津城市职业技术学院和河北交通职业技术学院、天津国土资源和房屋职业学院、南通航运职业技术学院、广西职业技术学院、西安职业学院、济南铁道学院、福建交通职业学院、集美大学航海学院和辽东学院等国家、省(直辖市)级示范性高等职业院校创新推出的一套面向高职高专层次、涵盖航海技术类不同专业的立体化教材——工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材。该系列教材包括航海技术、海事管理、酒店管理(邮轮乘务)、轮机工程管理、航运经济、计算机网络技术、理化测试及质检技术等专业。

根据教高[2006]16号文件(关于“高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位(群)的任职要求,参照相关的职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量。”)的要求,本套教材的编者在深入行业实践、调研的基础上,着眼于提高学生专业实际操作能力和就业能力的宗旨,采取了情境模块、案例启发、任务驱动、项目引领、精讲解重实训的编写方式,使教材建设在理论够用的基础上,在专业技能培养与训练环节,特别是“教学做一体化”方面有所突破,“确保优质教材进课堂”。

根据国家职业教育的指导思想,目前我国高职高专教育的培养目标是以能力培养和技术应用为本位,其教材建设突出强调应用性和适用性,既要满足专业教育又能适应就业导向的“双证书”(毕业证和技术等级证)的人才培养目标需要。根据教育部提出的高等职业教育“与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材”的要求,本套教材的作者不仅具有丰富的高等职业教育教学经验,而且具有海运企业相关岗位的一线实践经历,主持或参加过多项应用技术研究。这是本套教材编写质量与高等职业教育特色的重要保证。

此外,本套教材配有教师用 PPT 文稿,方便教师教学参考。

天津海运职业学院院长马魁君教授担任本套教材的总主编。本套教材的参编企业有

中远散运有限责任公司、中国石油集团海洋工程有限公司、伦敦海事、微软（中国）有限公司、中铁工程设计院（天津）有限公司、新浪网技术（中国）有限公司和思科（中国）网络技术有限公司等。

愿本套工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材的出版对我国海运高等职业教育的创新发展与高职人才培养质量的稳步提升有所助益！

对外经济贸易大学出版社

2010 年 6 月

前言

《船舶电路基础》是工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材之一。

随着改革开放的不断深入和社会市场经济迅速发展，社会对高素质、高技能专业人才的需求日益迫切，职业教育的理念、模式也在随之改革与创新。高职高专教材建设工作是高职高专整体教学领域的重要组成部分。在各级教育部门、学校和出版社的共同努力下，一批批高职高专专业课程教材陆续出版。但从整体看，充分体现“工学结合”与“教学做一体化”特色的高职高专教育教材仍然十分匮乏，航海技术类专业的教材建设更是落后于事业发展的需要。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》是我国进入 21 世纪之后的第一个教育规划，是今后一个时期指导全国教育改革和发展的纲领性文件。《规划纲要》进一步明确提出：要实施职业教育办学模式改革试点，以服务为宗旨，以就业为导向，推进教育教学改革，实行工学结合、校企合作、顶岗实习的人才培养模式，以切实提高职业教育教学质量为重点，满足经济社会对高素质劳动者和技能型人才的需要。

《船舶电路基础》根据交通部科教司颁发的航海职业教育教学计划与教学大纲而编写，同时遵循国际海事组织制定的《经 1995 年修正的 1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》和中华人民共和国海事局最新颁发的《海船船员适任考试和评估大纲》。本书既可作为轮机工程（电子船员）和航海技术专业等航海类高职高专教材，也可满足海船船员考证培训和在岗船员自学之需。

《船舶电路基础》努力实现职业性、实用性和开放性的特色：

（1）**能力为本，理论够用。**本教材努力遵循能力本位和理论知识“必需、够用为度”的主导思想，突出职业教育特色，结合航海类专业特点，对教材的深度、难度做了一定程度的调整，在避免繁琐理论推导的同时，引入大量工程实例及相关信息资料，加强实践性教学内容。随着本教材的学习与训练逐渐深入，学生不仅能扎实了解船舶电路的基本理论，更能熟练掌握该门课程所涉及到的基本故障分析方法和基本操作技能，为学习后续专业课程奠定厚实的基础。

（2）**贴紧岗位，模块教学。**本教材在编写模式上，摒弃了传统教材章节形式的编排方式，在对原有电工学与仪器仪表知识体系打破的同时，依据国家海事局对海船船员知识和能力的要求，将教学内容精心筛选并重新构架为四大教学模块，并以“学习与训练总目标”明确教学要求，以“导学案例”和“思考题”吸引学生逐步走近未来的工作岗位目标。

四大总模块下共计 13 个子模块：模块一为电工基础，包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、电与磁四个子模块；模块二为船舶常用控制电路，包括基本控制电器、常用控制电路、控制电路的保护环节、常用控制电器的检修与维护四个子模块；模块三为船舶电气设备安全用电，包括船舶照明系统的安全用电、船舶安全用电和安全管

理、船舶电气人员的安全职责三个子模块；模块四为船舶常用仪表与蓄电池，包括船舶常用仪表、船用蓄电池两个子模块。每个子模块下都明确交代“学习目标”与“重点难点”，便于师生共同把握岗位技能之需。

(3) **生动直观，学做一体。**在模块化组合教学内容的前提下，适时加入了一定数量与船舶电路基础相关的实物照片、图形展示基本知识点，以直观生动的形式培养学生的学习兴趣；同时结合知识点与技能点设计安排了很多贴近现代生产、生活的“资料卡”“想一想”、“练一练”，启发和培养学生独立思考、主动训练的潜质，将“教、学、做”的过程深度融合为一体。

(4) **就业导向，获取“双证”。**本教材的建设努力贯彻国家教育部有关高职院校毕业生须同时获取毕业证书与职业资格证书的“双证书”制度要求，紧密结合国家海事局最新颁发的《海船船员适任考试和评估大纲》对知识和能力的要求，强化学生对考证知识点的掌握及专业技能的培养。依据《海船船员适任考试和评估大纲》，在每个子模块后面均安排一定数量的“思考与训练”内容，既可用于学生的自主复习与自我检查，也可供教师对学生知识掌握程度的考察与评估。

《船舶电路基础》由天津海运职业学院孙铮老师担任主编，刘磊、郭国杰老师担任副主编。本书编写的分工如下：模块一、模块二和模块三中的子模块三由孙铮编写，其中陈祥光负责模块二的材料收集与整理工作；模块三中的子模块一和子模块二由郭国杰编写；模块四由刘磊编写。本书在材料收集和编写过程中，得到山东交通学院郭俊杰、武汉船舶职业技术学院刘学、天津理工大学李修强、浙江国际海运职业技术学院王雪峰、中交天津航道局有限公司职工中等专业学校冯晨、天津海运职业学院张明齐等同行的大力支持和帮助；同时感谢中远散货有限公司、中通国际物流公司、天津航道局、河北远洋运输集团、天津海事局、舟山船级社对本书的编写队伍的热情培训，并提供大量企业一线的案例资料。

本教材在创意、研讨和建设过程中得到天津海运职业学院院长马魁君教授的大力支持、协调与帮助，天津对外经济贸易职业学院魏秀敏教授对本书的编写思路、体例安排、框架设计、内容选取，特别是“教学做一体化”特色的彰显方面给予了精心指导，在此向他们表示最诚挚的谢意。

本教材的建设过程中参考了大量网站资料和图书杂志，在书末以参考文献等形式列出。在此，对这些书籍与资料的作者表示衷心感谢。

由于作者深入海洋运输一线实船轮机操作的时间有限，本教材疏漏和不足之处在所难免，敬请航海实业界轮机工程专家、航海技术类高职教育界同仁与广大读者不吝赐教，以便日后充实完善。

编 者
2012 年 2 月

目 录

模块一 电工基础.....	(1)
子模块一 直流电路	(2)
子模块二 正弦交流电路	(36)
子模块三 三相交流电路	(60)
子模块四 电与磁	(76)
模块二 船舶常用控制电路	(92)
子模块一 基本控制电器	(92)
子模块二 常用控制电路	(116)
子模块三 控制电路的保护环节	(128)
子模块四 常用控制电器的检修与维护	(131)
模块三 船舶电气设备安全用电	(144)
子模块一 船舶照明系统的安全用电	(145)
子模块二 船舶安全用电和安全管理	(166)
子模块三 船舶电气管理人员的安全职责	(191)
模块四 船舶常用仪表与蓄电池	(203)
子模块一 船舶常用仪表	(204)
子模块二 船用蓄电池	(230)
附录一 电气工程图形符号	(248)
参考文献	(269)

电 工 基 础



学习与训练总目标

知识目标

1. 学会电路的基本概念、基本定律（定理）；
2. 学会电路分析和计算的一般方法；
3. 了解基本电路的工作原理及电路的基本作用；
4. 了解电与磁的关系和应用；
5. 掌握安全用电基本常识。

能力目标

1. 具有分析电路一般问题的能力和电路的基本操作技能；
2. 具有识读电路图与计算电路基本物理量的能力；
3. 能应用电路理论解决生产、生活中的实际问题；
4. 具有学习和应用电工新知识、新技术的能力。

情感目标

1. 感受学习《船舶电路基础》的乐趣；
2. 形成规范操作与安全文明生产的意识；
3. 养成严谨、求是、务实的职业精神。



导学案例

船舶直流电制的兴衰

20 世纪 50 年代，中国建造的绝大多数机动船舶仍继续采用蒸汽往复机作为主机。为技术简便和便于蓄电池充电，一般采用直流电制，电力负荷只有一些照明设备和电风扇，电气化程度低。直流电制船舶最初采用 110V 或 24V 电压，之后除一些小船仍用 24V 电压外，大多采用 220V。一般船舶均采用双线绝缘制，有些船则采用以船体作回路的单线制，如“安徽”号、“浦江”号火车渡船和 190kW 渔船。

20 世纪 60 年代起，中国越来越多的采用柴油机动力装置建造船舶，促进了船舶电力装置的发展和船舶电气化。由于船电交流化处于探索试验阶段，故直流电制仍占主要地位。

20 世纪 70 年代，中国克服船舶电力装置交流化的困难，采用交流电系统。但一些小

型客船、货船、拖船、渔船等常配备小容量直流发电机（或主机轴带小容量发电机）和浮充的备用蓄电池。有些旅游船为避免污染水域及降低噪声，也采用蓄电池与直流电机作为推进动力。常规动力潜艇一般采用直流电系统，在一些以交流电作为主系统的工程船和石油钻探平台，有时也另设直流副系统以供电给特种机械、挖掘机械、钻机、泥浆泵等。

直流系统虽然数量有所减少，但在一定范围内依然在应用。

思考题

- 1. 直流电源有哪些？
- 2. 直流电路的分析方法有哪些？

子模块一 直流电路

知识点与技能点	学习与训练目标
直流电路的基本概念	掌握
电路常用元件	熟悉
欧姆定律	掌握
电路的开路、短路及带载通路状态	了解
基尔霍夫定律	掌握
电路中电位的概念	掌握
串、并联电阻电路	掌握
电源模型	了解
复杂直流电路常用分析方法	了解

一、直流电路的基本概念

（一）电路的组成及作用

电路就是电流的通路，是为某种目的而将一些电气元件或设备按一定方式组合而成。按其发挥的作用，电路大致可分为两大类。

第一类是用来实现电能的转换与传输的电路，即通常所说的电力系统。它包括发电、输配电、电力拖动、照明等部分。一个完整的电力系统电路大致可以归纳为三个基本组成部分：电源、负载、中间环节，见图 1.1。



图 1.1 电力系统电路示意图

资料卡

“电力天路”架起第一段直流输电线路

2011年4月27日,青海送变电公司员工在铁塔下架设输电导线。当日,在青藏交直流联网工程格尔木至拉萨段施工工地,电力建设者架起第一段400kV直流输电线路。具有“电力天路”之称的青藏联网工程于当年11月底竣工投产。总投资达162亿元的青藏交直流联网工程是世界上海拔最高、穿越冻土地里程最长的输变电工程。工程建成投运后,可从根本上解决西藏缺电问题,对促进青海、西藏经济社会可持续发展具有重要意义。



1. 电源

电源(Power Supply)是提供电压的装置。把其他形式的能转换成电能的装置叫做电源。

发电机能把机械能转换成电能,干电池能把化学能转换成电能。发电机、电池本身并不带电,它的两极分别有正负电荷,由正负电荷产生电压(电流是电荷在电压的作用下定向移动形成),电荷导体里本来就有,要产生电流只需要加上电压即可,当电池两极接上导体时为了产生电流而把正负电荷释放出去,当电荷散尽时,即荷尽流(压)消。

通过变压器和整流器,把交流电变成直流电的装置叫做整流电源。能提供信号的电子设备叫做信号源。晶体三极管能把前面送来的信号加以放大,又把放大的信号传送到后面的电路中。晶体三极管对后面的电路即可看做是信号源。整流电源、信号源有时也叫做电源。

向电子设备提供功率的装置,也称电源供应器,它提供计算机中所有部件所需要的电能。电源功率的大小,电流和电压是否稳定,将直接影响计算机的工作性能和使用寿命。

根据电路中电源的种类不同,电路可分为直流电路和交流电路。直流电路由直流电源供电,其电压、电流的大小和方向都不随时间而变化;交流电路由交流电源供电,其电压、电流的大小和方向都随时间而变化。

资料卡

直流电源

直流电源（DC Power Supply）有正、负两个电极，正极的电位高，负极的电位低。当两个电极与电路连通后，能使电路两端之间维持恒定的电位差，从而在外电路中形成由正极到负极的电流。单靠水位高低之差不能维持稳恒的水流，而借助于水泵持续地把水由低处送往高处就能维持一定的水位差而形成稳恒的水流。与此类似，单靠电荷所产生的静电场不能维持稳恒的电流，而借助于直流电源，就可以利用非静电作用（简称为“非静电力”）使正电荷由电位较低的负极处经电源内部返回到电位较高的正极处，以维持两个电极之间的电位差，从而形成稳恒的电流。

2. 负载

各种类型的用电设备均为负载（Load），如电动机、电灯、电炉、电视机、电脑等各种装置。

3. 中间环节

电能的传输及控制装置为中间环节，包括连接电源与负载之间的电缆、变压器、熔断器、断路器等各种控制设备。

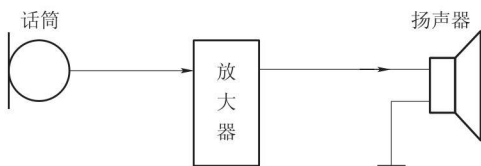


图 1.2 扩音机电路示意图

第二类是用来处理与传递信息的电路，也就是信息系统。

图 1.2 表示的扩音机电路示意图是最简单的信息处理系统，话筒将语音信息转换为音频电动势，通过导线和放大器驱动扬声器，复示或放大语音信息。信息处理系统近年发展迅猛，诸如多媒体电脑、网络、数字电视、主机遥控系统、机舱集中监视与报警系统等都是信息处理系统的实例。

想一想

不论电路如何复杂，总可归纳为由哪三部分组成？

（二）电路模型

要设计一个电气设备，首先要建立一个电路模型进行分析计算，该电路模型由一些理想元件组成电路。理想元件就是将实际元件理想化，即在一定条件下，突出其主要的电气性能，忽略其次要因素，把它看作具有单一电气性能的元件。理想元件常用规定符号及其相应的参数表示、常见的原件符号见附录一。

由一些理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型，简称电路。例如：常用的手电筒，其实际电路元件有电池、灯泡、开关和筒体，其电路模型如图 1.3 所示。

灯泡是电阻元件，参数为电阻 R ；电池为电源，其参数是电

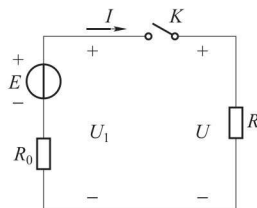


图 1.3 手电筒电路模型

电动势 E 和内电阻 R_0 (简称内阻); 筒体是连接电池与灯泡的中间环节 (包括开关), 其电阻忽略不计, 认为是无电阻的理想导体。

(三) 电路的基本物理量及单位

电源通过导线与负载连接, 即构成一个完整的电路, 电源的电动势在电源的正、负输出端产生电压, 接通负载后, 即在电路中产生电流, 而电流在有阻力的电路中又产生电压降。因此电流、电压、电动势即为电路的基本物理量。

1. 电流

电荷在电场力作用下有规则的运动形成电流 (Current)。

电流的大小用电流强度 (简称电流) 来衡量。电流强度在数值上等于单位时间通过导体横截面的电荷量。

若在极短的时间 dt 秒内通过导体横截面的微小的电荷量 dq 为库仑, 则电流为:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

式 (1.1.1) 表示电流的大小是随时间变化的。

如果电流的大小不随时间变化, 即 $dq/dt = \text{常数}$, 则这种电流称为直流。当在 t 秒内有 q 库仑的电荷量通过导体横截面, 则直流电流 I 可用下式计算, 即

$$I = q/t \text{ (A)} \quad (1.1.2)$$

我国在工程计算中大多采用国际单位制 (SI)。在国际单位制中, 电流 (强度) 的单位是库仑/秒, 称为安培, 简称安 (A), 千进制, 常用的小电流单位有毫安 (mA) 和微安 (μA)。 $1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A}$ 。本书如不特别说明均采用国际单位制, 且在电学中的单位多为千进制。

电流的实际方向: 规定正电荷移动的方向 (即负电荷移动的反方向) 为电流的实际方向。但在电路分析中, 一些较为复杂的电路, 有时某段电流的实际方向难以判断, 甚至有时电流的实际方向还在随时间不断改变, 于是要在电路中标出电流的实际方向较为困难。

为解决这一问题, 在电路分析时常采用电流的“参考方向”这一概念。电流的参考方向可以任意选定, 在电路图中用箭头表示。当然, 所选的参考方向不一定是电流的实际方向。当参考方向与电流的实际方向一致时, 电流为正值 ($i > 0$); 当参考方向与电流的实际方向相反时, 电流为负值 ($i < 0$)。这样, 在选定的参考方向下, 根据电流的正负即可确定电流的实际方向。

在分析电路时, 先假定电流的参考方向, 并以此去分析计算, 最后用求得答案的正负值确定电流的实际方向。

想一想

1. 电流的实际方向与产生这一电流的电子运动方向有何关系?
2. $300\mu\text{A} = \underline{\hspace{1cm}}\text{mA} = \underline{\hspace{1cm}}\text{A}$ 。

2. 电压

如上所述, 电荷在电场力作用下运动形成电流。在此过程中, 电场力推动电荷运动做功。为表示电场力对电荷做功的本领, 引入了“电压 (Voltage)”这个物理量, 用 U

表示。在数值上电压就是电场力把单位正电荷从一点移到另一点所做的功。

电压的单位是伏特 (V)，还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV)。它们的关系是：

$$1\text{V}=10^3\text{mV}=10^6\mu\text{V}$$

有时还用电位这个概念。它是表示电场中某一点性质的物理量，而且是相对于确定的参考点所言。电场中某点的电位在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移到参考点所做的功。A 点电位用 U_A 表示。将电位与电压进行比较，可以得出，电场中某点就是该点到参考点之间的电压。电位的单位也是伏特。且规定参考点的电位为零，故参考点也叫零电位点。

在同一电路中，当选定不同参考点时，同一点的电位不同。参考点一经选定，各点的电位就是唯一确定的值。没有选定电路的参考点，讲某点的电位则无意义。

电压的实际方向就是电场的方向，也就是正电荷移动的方向，是由高电位点指向低电位点。沿着电压的方向，电位是逐点降低的。正电荷沿着这个方向运动时，将失去电能，并转换成为其他形式的能量。

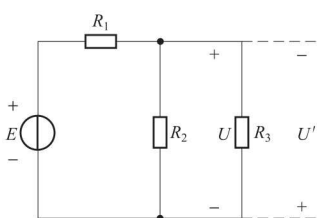


图 1.4 电压的参考方向

在进行电路分析时，如电压的实际方向难以确定，也可任意假定某个方向作为电压的参考方向。这个参考方向可能与电压的实际方向不一致，当电压的实际方向与参考方向一致时，其值为正；当电压的实际方向与参考方向相反时，其值为负。例如图 1.4 中，可以分析得知当电源电压为 12V 时，电压 U 的参考方向与实际方向一致， $U>0$ ；电压 U' 的参考方向与实际方向相反， $U'<0$ ，而且 $U=-U'$ 。

电压的参考方向可以用三种方法表示。

- (1) 用 “+”、“-” 符号分别表示电压参考方向的高电位端和低电位端。
- (2) 用箭头的指向来表示，它由电压参考方向的高电位端指向低电位端。
- (3) 用双下标字母来表示。如用 U_{ab} 表示电压的参考方向，则第一个字母表示高电位端，第二个字母表示低电位端。参考方向是从 a 指向 b。



练一练

1. 电流和电压的国际单位分别用安培和伏特来表示，那么 1A 和 1V 分别都可以用哪些单位表示？

2. $300\mu\text{V} = \underline{\hspace{1cm}}\text{mV} = \underline{\hspace{1cm}}\text{V}$ 。

3. 电场力推动电荷移动而作功，衡量电场力作功能力大小的物理量是什么？

3. 电动势

电动势 (Electromotive Force) 是表示电源性质的物理量。电动势常用 E 来表示，其单位也是伏特 (V)。

电源的 E 在数值上等于电源力把单位正电荷从低电位端经电源内部移到高电位端所做的功。它的实际方向是在电源内部由低电位端指向高电位端，是电位升高的方向。和

电流、电压一样，也应引入参考方向的概念。在电路中，其参考方向的标注同电压一样，有极性标注、箭头标注和双下标标注。如参考方向与其实际方向一致，其数值为正，否则为负值。通常情况下，电源的电动势常用端电压来表示。

由于电源内存在电源力，正电荷不能通过电源内部由（正）端回到（负）端。但当电源与外部负载电路接通时，正电荷可在电场力的作用下通过外电路由高电位端向低电位端移动，从而形成电路电流。随着两端电荷及其电场力的减少，电源力又可克服电场力的阻力继续将正电荷不断地移向高电位端，从而保持连续的电流。在电场力的作用下电荷通过外部负载电路移动的过程中，由于克服电路的阻力而使电荷的电位能逐渐减少，这是将电能转换为非电能量（如热能）的过程。电动势的方向表示亦同电压，但方向与电压相反，即由低电位端（负）指向高电位（正）端。



资料卡

电场力和非电场力

电场力（静电力）即电荷之间的作用力，表现为同号电荷相斥，异号电荷相吸。任何带电现象都首先是非电场力克服电场力而分离异号电荷形成。除电场力以外的力，电学上通常称为非电场力。电荷在非电场力的作用下移动，非电场力做功，使电荷的电位能增加；相反，电荷在电场力的作用下移动，则电场力做功，电荷的电位能减少。

想一想

非电场力把单位正电荷从低电位处经电源内部移到高电位处所做的功是_____。

4. 使用参考方向需要注意的几个问题

（1）电压和电流的方向是客观存在的。参考方向是人为规定的方向，在分析电路时需要先规定参考方向，然后根据这个规定的参考方向列写方程式。

（2）参考方向一经确定，在整个分析计算过程中就必须以此为准，不能再改变。

（3）不标明参考方向，则说某个电压或电流的值为正、为负就没有意义。

（4）参考方向可以任意选取而不影响结果。

（5）电压和电流的参考方向可以分别单独选取。但为了分析方便，同一段电路的电流和电压参考方向要尽量一致（电流的方向从电压的+极流入，从电压的-极流出）。

【例 1.1.1】图 1.5（a）中 $U=8\text{V}$ ；图 1.5（b）中 $U_{ab}=-6\text{V}$ ，试分别比较 a、b 两点的电位高低。

解：图 1.5（a）中参考方向，a 点为负，b 点为正，因 $U=8\text{V}>0$ ，所以电压的实际方向与参考方向一致。则 b 点电位高于 a 点电位。

图 1.5（b）中 U_{ab} 是从 a 点到 b 点的电压，而 $U_{ab}=-6\text{V}<0$ ，所以电压的实际方向与参考方向相反，则 b 点电位高于 a 点电位。

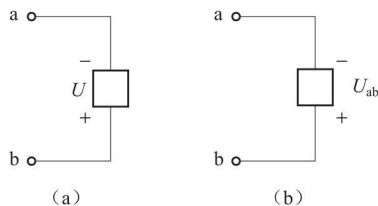


图 1.5 电路电压

(四) 电功率与电能

使用电路的目的就是为了进行电能与其他能量之间的转换，所以在电路分析与计算中还常用到电功率 (Electric Power) 与电能这两个物理量。

单位时间内电场力所做的功就是电功率。用 P 表示。在 SI 单位制中功率的单位是瓦特 (W)，简称瓦。也可用千瓦 (kW) 或毫瓦 (mW) 作单位，关系是：

$$1\text{kW}=10^3\text{W} \quad 1\text{W}=10^3\text{mW}$$



资料卡

“马力”的由来

“马力”，即马的力量。

1765 年，英国人瓦特发明了世界第一台蒸汽机，使人类进入“蒸汽时代”。蒸汽机最早应用于煤矿。一家煤矿矿主，想用蒸汽机代替马匹提水，向瓦特定购蒸汽机。瓦特测量了一匹健壮的马的功率，该匹马能把 70kg 重的水用 1m/s 的速度向上拉起，即该匹马的功率是 $70\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，瓦特据此功率制造出功率为 $75\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 的蒸汽机，并把蒸汽机功率称作一“马力”。

国际上一匹就是一马力，即 735W，中国定为 750W。最通常的说法是 $1\text{HP}=735\text{W}$ 。

除功率外，有时还要计算一段时间内电路所消耗（或产生）的电能，用 W 表示

$$W=P \cdot t \quad (1.1.3)$$

电能的单位为焦耳 (J)。因为 J 这个单位太小，计量不方便，所以电气工程中常用千瓦小时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 为电能的计量单位，1 千瓦小时俗称 1 度电。它们的换算关系是：

$$1\text{度电}=3.6 \times 10^6 (\text{J}) = 1\text{kW} \cdot \text{h}$$



练一练

1. 电冰箱工作时，实际消耗的电功率是 100W，假设它的停歇时间与工作时间之比为 3，一个月（按 30 天计）电冰箱消耗电能是多少度？
2. 某电炉电阻丝的电阻为 10Ω ，接在电压为 220V 的电源上，其功率为多少？如果将电阻丝去掉一半，还接在电压为 220V 的电源上，其功率为多少？

二、电路常用原件

电路由许多电器元件组成。研究表明，实际电路元件的工作过程与其电磁现象有关。根据各元件的电磁关系和它在电路中所起的主要作用不同（忽略其次要作用），可分为三大类：电阻元件、电感元件和电容元件。

(一) 电阻元件

习惯上称电阻元件为电阻 (Resistance)，所以“电阻”既表示电路元件，又表示元

件的参数。

电阻元件是一种最常见的二端电路元件。它的特性可以用元件两端的电压 U 和通过元件的电流 I 的关系表示, 这种关系称为电压电流特性。由于电压的单位是伏特, 电流的单位是安培, 故又称为伏安特性。如果在 UI 直角坐标平面上做出表示这一关系的曲线则称此曲线为伏安特性曲线。根据电阻元件性质的不同, 分为线性电阻和非线性电阻。

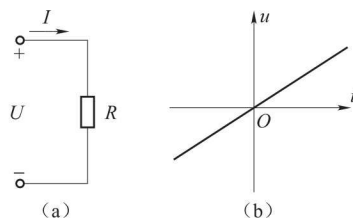


图 1.6 电阻元件

线性电阻元件的伏安特性曲线是通过坐标原点的直线, 见图 1.6 (b)。伏安特性曲线不是直线的电阻元件称为非线性电阻。除有说明外, 一般都是线性电阻。电阻的电路图形符号见图 1.6 (a), 电压和电流参考方向一致时, 线性电阻元件的伏安特性表达式为:

$$U = IR \quad (1.1.4)$$

式 (1.1.4) 中 R 为电阻元件的电阻值, 称为电阻, 它是表示电阻元件特性的参数。电阻的 SI 单位是 Ω (欧 [姆])。大的单位是千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$)。其换算关系是

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

值得注意的是, 导体的电阻不随其端电压的大小变化, 是客观存在的。当温度一定时, 导体的电阻与导体的长度 l 成正比, 与导体的横截面积 S 成反比, 还与导体的材料性质 (电阻率 ρ) 有关, 即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.1.5)$$

式中, R 的单位是 Ω , ρ 的单位是 Ωm , l 的单位是 m , S 的单位是 m^2 。

实际导体的电阻与温度还有关系。一般来讲, 金属导体的电阻随温度的增加而增大而非金属则相反。不同的导体材料有不同的温度系数 α ($1/^\circ C$), 其电阻值随温度变化的情况可用下式计算, 即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1.1.6)$$

式中, R_1 和 R_2 是同一个导体分别在温度为 t_2 ($^\circ C$) 和 t_1 ($^\circ C$) 时的电阻值。在实际工作中应当注意温度对电阻值的影响, 有时它会影响设备的运行性能或引起故障, 例如当船舶从冷带海域驶入热带海域, 电网电压通常会降低; 反之会升高。这就是电力系统阻值变化所引起的, 需要及时加以调整。

它取用的电功率为:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.1.7)$$

上式表示: 不论 U 、 I 是正值还是负值, P 总是大于零, 电阻元件总是取用电功率, 所以电阻元件是一种消耗电能, 并把电能转变为热能的元件。

工程上常利用电阻器来实现限流、分压, 如各种碳膜电阻、金属膜电阻及绕线式电阻等。对各种电热器件如电烙铁、电阻炉及白炽灯等, 常忽略其电感、电容的性质, 而认为它们是只具有消耗电能特性的电阻元件。