

电工技术

肖辉进 杨承毅 江华圣 编著



世纪英才模块式技能实训
高职电工电子系列教材

电 工 技 术

肖辉进 杨承毅 江华圣 编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/肖辉进, 杨承毅, 江华圣编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007. 3

(世纪英才模块式技能实训高职电工电子系列教材)

ISBN 978-7-115-15651-8

I. 电... II. ①肖... ②杨... ③江... III. 电工技术—高等学校: 技术学校—教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 155122 号

内 容 提 要

本书共分 18 个知识模块。模块一至模块四为直流电路的基本知识, 模块五至模块九为单相交流电路的基本知识, 模块十、模块十一为三相交流电路的有关理论与应用, 模块十二为电路暂态过程的分析, 模块十三为非正弦周期电流电路的基本知识, 模块十四和模块十五为磁路的基本理论以及电磁原理的实际应用 (以变压器、电动机为例), 模块十六为二端口网络的介绍, 模块十七、模块十八是滤波器和高频传输线的简介。全书知识结构合理而极富现代电工的特色。

本书适合高职高专电工电子类、自动化、机电和控制专业的学生作为教材使用, 也可作为广大工程技术人员与自考生的自学参考读物。

世纪英才模块式技能实训

高职电工电子系列教材

电 工 技 术

-
- ◆ 编 著 肖辉进 杨承毅 江华圣
责任编辑 张 鹏
执行编辑 穆丽丽
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 11.25
字数: 267 千字
印数: 1—4 000 册
 - 2007 年 3 月第 1 版
2007 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-15651-8/TN

定价: 18.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

世纪英才模块式技能实训·高职电工电子系列教材

编 委 会

主 任: 杨承毅

编 委: 李忠国 梅开乡 江华圣 王 彦
姚建永 熊新国 刘慎熊 余 华
徐滤非 余宏生

策 划: 丁金炎

丛书前言

对职业院校而言,技能培训才是职业教育真正的主题,理论教学应该围绕着专业技能的需要而展开,这不仅是就业市场的需求,也是高职办学理念上的回归。因此,国家要求高等职业院校构建理论教学体系和实践教学体系的办学格局,指明了高等职业教育改革前进的方向。

职业院校“以就业为导向”的办学方针,意味着职业办学必须树立向市场靠拢的职教理念,探索全新的职教模式,在具体教学科目、教学内容选择上必须以市场需求为己任,要“有所为,有所不为”,而不是采取砍课程、减内容或等比例削减课时等简单化行为。

本系列教材是我们学习教育部“教高[2004]1号”文件,借鉴加拿大CBE(Competency-Based Education)教学思想的一次实践,也是借DACUM方法来开发教学计划的具体探索。新编教材忠实贯彻了“以就业为目标”的指导思想,扭转了“过多强调学科性”及“盲目攀高升格”的倾向,重视知识、技能传授的宏观设计及整体效果,改变了过去高职教材在学科体系基础上加加减减的编写方法。

本系列教材的主要特点如下。

(1) 教材结构“模块化”。一个模块一个知识点,重点突出,主题鲜明。模块化课程结构以其良好的弹性和便于综合的特点适应了职业教育市场化的多种需求。

(2) 注重“方法论”的教学思想。“授之以鱼,不如授之以渔”。教材是教学之本,故而方法也应是实践教材的主题,决不能简单地、狭义地认为技能实训就是学生的实际操作。技能实训教材以传授经过提炼、加工、升华的专家经验(方法论)为主,这也是与传统实验报告相比的区别所在。

(3) 教学内容“本体化”。一套教材由多本内涵不同的单科教材构成,就是教育“本体化”的体现,故而单个科目不向其他学科扩展渗透,追求单科教学内容单纯化,追求系列教材的组合效应是本系列教材的一个基本思想。

(4) 中、高职教材的梯度衔接。《世界21世纪高等教育宣言》指出:“教育内部层次的衔接是社会各种工作规范层次的需要,教育与就业的衔接,就是教育本身体现其价值的必然性要求。”编写中、高职教材涉及的问题很多,但中、高职教材有梯度的合理衔接应为首要问题,因为它对学校是一个教学的定位问题,对技术是一个标准问题,对企业是一个用人的问题,对社会则是一个公平问题。本系列教材为中职同类教材的生存留下了足够的空间。

(5) 合理控制教学成本。若实践教学以教授做事方法为主导,则教学成本不会很高,但若以学生实践为主题,则教学成本会增加许多。如今,不计教学成本的时代即将离去,故而,本系列教材要求作者对每一个技能实训的成本作出估算,以免“曲高和寡”,最终难以得到教学双方的认可。

(6) 教材内容更加直观。本系列教材广泛使用图表归纳法,用简洁的图表归纳整理,以解决日益庞大的知识内容与学时偏少之间的矛盾。同时,本系列教材图文并茂、直观清晰、便于自学,文字表达简洁明了、明快易懂。

(7) 练习题体现了理论对实践技能的指导。每一个“技能模块”的练习题都需要学生开动脑筋、相互讨论,到图书馆、互联网去查阅资料,到实验室去做实验才能解答;同时,练习题更加贴近实际,体现应用,而不再只是验证真理。它摒弃了传统应试教育的问答方式,力求体现理论对实践技能的指导,引导学生去探索、去实践、去领悟、去创新。

综上所述,本系列实训教材是符合当今高等职业教育发展方向的一个有潜在价值的教学模式。本系列教材的作者都是长期担任相关课程教学工作的有工程背景的教师,不仅具备扎实的理论功底,还在职业技能方面积累了大量的经验。正是由于本系列教材的作者们具备了这些条件,才有了本系列教材的高质量出版。

总之,本系列教材的出版价值不仅在于它贯彻了国家教育部“教高[2004]1号”文件中高等职业教育的改革思想,而且与当前就业单位“招聘的人能立即上岗”的要求合拍,并为学生毕业后在电类各专业间转岗奠定了最基本的知识和技能基础。同时其新(新思想、新技术、新面貌)、实(贴近实际、体现应用)、简(文字简洁、风格明快)的编写风格令人耳目一新。

如果您对这个系列的教材有什么意见和建议,或者您也愿意参与这个系列教材中其他专业课教材的编写,可以发邮件至 wuhan@ptpress.com.cn 与我们联系,也可以进入本系列教材的服务网站 www.ycbook.com.cn 留言。

系列教材编委会

前 言

《电工技术》是一本理论教材，其中心任务就是阐述电工技术的基本理论，为电子技术等专业课程服务。本教材在内容选择上列入了二端口网络、滤波器、传输线等知识，进一步完善了电工技术的理论体系。

本教材共分 18 个知识模块。模块一至模块四为直流电路的基本知识，模块五至模块九为单相交流电路的基本知识，模块十、模块十一为三相交流电路的有关理论与应用，模块十二为电路暂态过程的分析，模块十三为非正弦周期电流电路的基本知识，模块十四和模块十五为磁路的基本理论以及电磁原理的实际应用（以变压器、电动机为例），模块十六为二端口网络的介绍，模块十七、模块十八是滤波器和高频传输线的简介。全书知识结构合理而极富现代电工的特色。目前，本教材已列入“世纪英才 NEW IDEA INSIDE”教材出版工程（详情可访问 www.ycbook.com.cn）。

本教材有如下特点：

（1）本教材体现了高职层次的应用型人才的培养目标，同时也尊重了教学现状，遵循了因材施教的教学规律。

（2）本教材对传统电工基本理论的阐述力求简洁、易懂、实用。淡化推演过程，强调结论和应用，回避了烦琐的数学推导。

本教材由四川文理学院的肖辉进、武汉铁路职业技术学院的杨承毅和武汉科技大学中南分校的江华圣共同编写，全书由江华圣统稿。本书在编写过程中参考和引用了国内部分教材的成果，在此一并表示感谢。尽管我们在探索《电工技术》教材模块化方面作出了许多努力，但由于作者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

另附教学学时分配表，此分配表为最少的学时建议，在具体实行时，学时可由任课教师适当调整。

序 号	模 块 名 称	建 议 学 时
知识模块一	电路的基本理论	2
知识模块二	电路的基本元件	2
知识模块三	电路的基本定律	4
知识模块四	电路基本定律的应用	2
知识模块五	正弦交流电路的基本知识	4
知识模块六	单一参数的正弦交流电路	4
知识模块七	正弦电路的相量分析	2
知识模块八	谐振电路	4
知识模块九	电气设备的功率因数	2
知识模块十	三相正弦交流电路	2
知识模块十一	三相交流电路在实用中的理论问题	4

续表

序 号	模 块 名 称	建 议 学 时
知识模块十二	电路的暂态过程分析	4
知识模块十三	非正弦周期电流电路	2
知识模块十四	磁路的基本概念及应用	4
知识模块十五	交流电动机的基本理论知识	4
知识模块十六	二端口网络	4
知识模块十七	滤波器简介	2
知识模块十八	传输线简介	4
总 计		56

编 者

目 录

知识模块一 电路的基本理论	1
第一部分 教学要求	1
一、教学目的	1
二、教学节奏与方式	1
第二部分 教学内容	1
一、电路及电路模型	1
二、电路的基本物理量	3
三、电路的工作状态及特征	6
四、电路中电位的计算	9
第三部分 思考与练习	10
知识模块二 电路的基本元件	12
第一部分 教学要求	12
一、教学目的	12
二、教学节奏与方式	12
第二部分 教学内容	12
一、电阻、电容和电感元件	12
二、电压源和电流源	15
三、集总元件	17
第三部分 思考与练习	17
知识模块三 电路的基本定律	18
第一部分 教学要求	18
一、教学目的	18
二、教学节奏与方式	18
第二部分 教学内容	18
一、欧姆定律	18
二、基尔霍夫定律	20
三、叠加原理	22
四、戴维南定理和诺顿定理	24
五、对偶原理	26
第三部分 思考与练习	28
知识模块四 电路基本定律的应用	30
第一部分 教学要求	30

一、教学目的	30
二、教学节奏与方式	30
第二部分 教学内容	30
一、支路电流法	30
二、电源模型的等效变换	31
第三部分 思考与练习	34
知识模块五 正弦交流电路的基本知识	36
第一部分 教学要求	36
一、教学目的	36
二、教学节奏与方式	36
第二部分 教学内容	36
一、正弦交流电的基本概念	37
二、正弦量的复数表示法及相量表示法简介	40
第三部分 思考与练习	42
知识模块六 单一参数的正弦交流电路	44
第一部分 教学要求	44
一、教学目的	44
二、教学节奏与方式	44
第二部分 教学内容	44
一、纯电阻电路	44
二、纯电感元件的正弦交流电路	46
三、纯电容电路	48
第三部分 思考与练习	51
知识模块七 正弦电路的相量分析	52
第一部分 教学要求	52
一、教学目的	52
二、教学节奏与方式	52
第二部分 教学内容	52
一、RLC 串联电路	52
二、阻抗的串联	56
三、阻抗的并联	58
第三部分 思考与练习	60
知识模块八 谐振电路	62
第一部分 教学要求	62
一、教学目的	62
二、教学节奏与方式	62

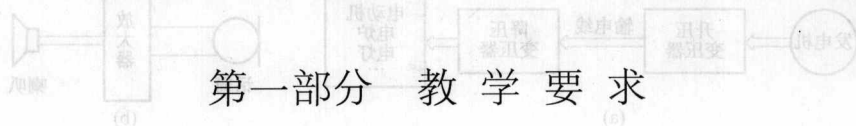
00	第二部分 教学内容	62
00	一、串联谐振电路	62
50	二、并联谐振电路	65
50	三、耦合谐振电路	67
00	第三部分 思考与练习	70
50	知识模块九 电气设备的功率因数	71
10	第一部分 教学要求	71
10	一、教学目的	71
10	二、教学节奏与方式	71
10	第二部分 教学内容	71
20	一、提高功率因数的意义	71
30	二、提高功率因数的方法	72
80	三、补偿率	74
0	第三部分 思考与练习	75
	知识模块十 三相正弦交流电路	77
5	第一部分 教学要求	77
5	一、教学目的	77
5	二、教学节奏与方式	77
5	第二部分 教学内容	77
5	一、三相交流电的产生	77
10	二、三相交流电的表示	78
5	三、三相电源的联接	79
5	第三部分 思考与练习	80
	知识模块十一 三相交流电路在实用中的理论问题	81
5	第一部分 教学要求	81
5	一、教学目的	81
5	二、教学节奏与方式	81
5	第二部分 教学内容	81
5	一、三相负载的星形联接	81
5	二、三相负载的三角形联接	84
5	三、三相电路的功率及测量	86
5	第三部分 思考与练习	88
5	知识模块十二 电路的暂态过程分析	90
5	第一部分 教学要求	90
5	一、教学目的	90
5	二、教学节奏与方式	90

第二部分 教学内容	90
一、电路的暂态过程及换路定则	90
二、RC 电路的暂态过程	92
三、分析电路暂态过程的三要素法	97
四、微分电路与积分电路	99
第三部分 思考与练习	102
知识模块十三 非正弦周期电流电路	104
第一部分 教学要求	104
一、教学目的	104
二、教学节奏与方式	104
第二部分 教学内容	105
一、非正弦周期量(傅里叶级数)的分解与计算	105
二、非正弦周期电流电路的计算	108
第三部分 思考与练习	110
知识模块十四 磁路的基本概念及应用	112
第一部分 教学要求	112
一、教学目的	112
二、教学节奏与方式	112
第二部分 教学内容	112
一、磁场的基本概念	112
二、交流铁芯线圈电路	116
三、变压器	117
第三部分 思考与练习	122
知识模块十五 交流电动机的基本理论知识	124
第一部分 教学要求	124
一、教学目的	124
二、教学节奏与方式	124
第二部分 教学内容	124
一、三相异步电动机的结构及转动原理	124
二、三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	127
三、三相异步电动机的使用	129
四、单相异步电动机	132
第三部分 思考与练习	135
知识模块十六 二端口网络	136
第一部分 教学要求	136
一、教学目的	136

二、教学节奏与方式·····	136
第二部分 教学内容·····	137
一、二端口网络的定义及参数·····	137
二、二端口网络的网络函数·····	144
三、二端口网络的等效电路·····	146
第三部分 思考与练习·····	147
知识模块十七 滤波器简介 ·····	149
第一部分 教学要求·····	149
一、教学目的·····	149
二、教学节奏与方式·····	149
第二部分 教学内容·····	149
一、滤波器的分类·····	149
二、RC 滤波器 ·····	150
三、LC 滤波器 ·····	153
第三部分 思考与练习·····	154
知识模块十八 传输线简介·····	155
第一部分 教学要求·····	155
一、教学目的·····	155
二、教学节奏与方式·····	155
第二部分 教学内容·····	155
一、平行双导线传输线·····	155
二、“长线”和“短线” ·····	157
三、传输线上的波·····	158
四、传输线的特性阻抗·····	159
五、无损耗传输线的输入阻抗·····	160
六、传输线的应用·····	161
第三部分 思考与练习·····	163

知识模块一 电路的基本理论

由电学常识可知，无论发电、用电还是控制，均离不开电路。为了分析和研究电路规律，常用一些物理量来表示电路的状态及电路中各部分参数之间的相互关系。这些物理量主要有电流、电压、电位、电动势、电功率等。认识和了解这些知识点，是学习电工技术的基础。



第一部分 教学要求

一、教学目的

- ① 了解电路的组成。
- ② 了解电路及电路模型的概念。
- ③ 理解有关基本物理量的定义，熟记它们的单位和符号。
- ④ 了解电路的三种状态，理解它们的电流、电压关系。
- ⑤ 掌握电位的计算方法。

二、教学节奏与方式

项 目		时间 安排	教学方式（参考）
1	课前准备	课余	预习本模块内容
2	教师讲授	2	重点：①电路及电路模型，电路的基本物理量； ②电位及计算方法
3	思考与练习	课余	同学间相互讨论或独立完成教师指定的习题

第二部分 教 学 内 容

学 习 目 标	学 习 内 容	学 习 方 法	学 习 时 间	学 习 地 点
一、电路及电路模型				
1. 电路				
电路就是电流的通路。组成电路的电磁器件和电气设备统称为电路的部件，如电阻器、电容器、电感器、电池、晶体管、变压器、发电机、电动机等。电路是由电源、负载和中间环节三个部分组成的。				

电路的一个作用是实现电力的传输、分配和转换。图 1-1 (a) 为电力系统的电路示意图。其中，发电机是电源，是供应电能的设备，在发电厂内可把热能、水能或核能转换为电能；变压器和输电线是中间环节，是连接电源和负载的部分，它起传输和分配电能的作用；电动机、电炉、电灯…是负载，是取用电能的设备，它们分别把电能转换为热能、机械能、光能等。电路的另一个作用是实现信号的传递和处理。

图 1-1 (b) 为扩音机电路示意图，在电路中，先由话筒（术语为传声器）把语言或音乐转换为相应的电压和电流，即电信号，再通过放大器放大后传递到喇叭（术语为扬声器），把电信号还原为语言或音乐。信号的这种转换和放大称为信号的处理。

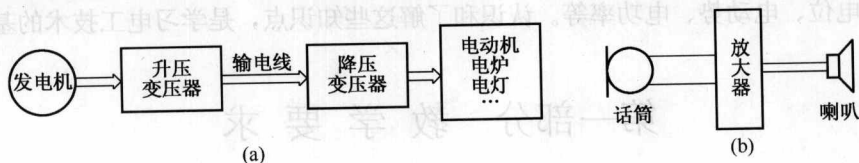


图 1-1 电路示意图

2. 电路模型

实际的电器和设备的种类是很多的，其中发生的物理过程亦很复杂。因此，为了便于研究电路的特性和功能，必须进行科学的抽象，用一些模型来代替实际元件，这种模型即称为电路模型。构成电路模型的元件称为理想电路元件。

理想电路元件分为两类：一类是有实际的元件与它对应，如电阻器、电感器、电容器、电压源、电流源等；另一类是没有直接与它相对应的实际电路元件，但是它们的某种组合却能反映出实际电器元件和设备的主要特性和外部功能，如受控源等。下面要研究的电路均指模型电路。

图 1-2 (a) 所示为一个实际的简单电路。它由电源（干电池）、连接导线、负载（灯泡）三部分组成。电源产生电能，连接导线传输电能，负载转换电能。为了便于分析电路，一般要将实际电路模型化，用足以反映其电磁性质的理想电路元件或其组合来模拟实际电路中的器件，从而构成与实际电路相对应的电路模型，简称电路图，如图 1-2 (b) 所示。

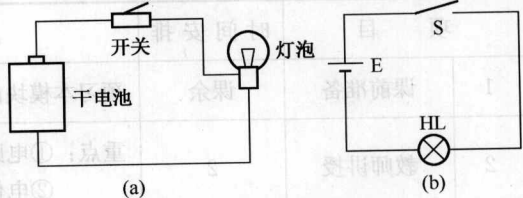


图 1-2 简单电路及其电路模型

在电路图中，各种电路元件都用规定的图形符号表示，电路图只反映各理想电路元件在电路中的作用及其相互连接方式，并不反映实际设备的内部结构、几何形状及相互位置。常用元件的图形符号及文字符号如表 1-1 所示。

表 1-1 部分元件的图形符号及文字符号

名 称	图形符号	文字符号	名 称	图形符号	文字符号
导线	——		电压表		PV
开关		S	电流表		PA
原电池（组） 蓄电池（组）		E	二极管		VD

续表					
名 称	图形符号	文 字 符 号	名 称	图形符号	文 字 符 号
灯泡		HL	晶体管		VT
电阻器		R	变压器		T
可变(调)电阻器		R	带铁芯变压器		T
电容器		C	理想电压源		E
电感器		L	理想电流源		I_s

例 1.1 手电筒的电路模型如图 1-3 所示。

手电筒电路由电池、灯泡、开关和电筒筒体组成。电池是电源元件，其参数为电动势 E 和内阻 R_0 ；灯泡主要具有消耗电能的性质，是电阻元件，其参数为电阻 R ；筒体用来连接电池和灯泡，其电阻忽略不计，认为是无电阻的理想导体；开关用来控制电路的通断。

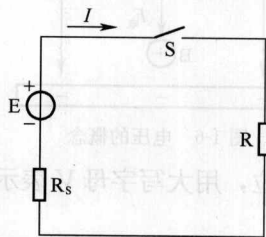


图 1-3 手电筒的电路模型

二、电路的基本物理量

1. 电流

(1) 电流的概念

带电粒子（电子）在外力作用下有规则的定向移动就形成电流。在金属导体中流动的电流是自由电子在电场作用下定向运动而形成的。人们把单位时间内通过某一导体横截面的电荷定义为**电流强度**（简称**电流**），它是衡量电流强弱的物理量。

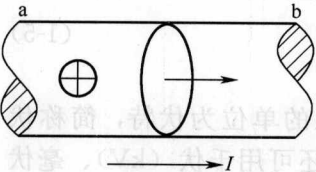


图 1-4 导体中的电流

如图 1-4 所示，设在极短的时间 dt 内，通过导体 ab 横截面 S 的微小电荷量为 dq ，则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1-1}$$

式中的 i 表示随时间而变化的电流在某一瞬时的瞬时值。如果电流不随时间变化，则 dq/dt 为一常数，这种电流称为**恒定电流**，简称**直流**，常用大写字母 I 表示，即

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{Q}{t} \tag{1-2}$$

(2) 电流的单位

电流的法定计量单位是安培，简称安（A）。当 1 秒（s）时间内通过导体截面的电荷为 1 库仑（C）时，则电流为 1A，即 $1A = 1C/s$ 。在计量大电流时，用千安（kA）为计量单位；计量微小电流时，用毫安（mA）或微安（ μA ）为计量单位。其换算关系为

$$1kA = 10^3A \quad 1mA = 10^{-3}A \quad 1\mu A = 10^{-6}A$$

(3) 电流的方向

电流的方向有实际方向和参考方向之分。习惯上规定正电荷移动的方向或负电荷移动的相反方向为电流的方向（实际方向）。当某段电路中电流的方向难以判断时，可先任意假定电流的参考方向（也称正方向），然后列方程求解。当解得的电流为正值时，说明电流的实际方向与参考方向一致，如图 1-5 (a) 所示；反之，解得的电流为负值时，说明电流的实际方向与参考方向相反，如图 1-5 (b) 所示。

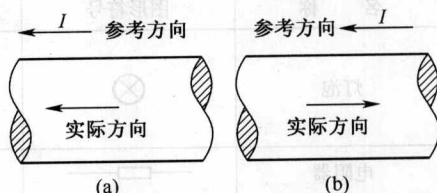


图 1-5 电流的参考方向

2. 电压、电位和电动势

(1) 电压、电位和电动势的概念

电压又称电位差。在图 1-6 中电源的两个极板 A 和 B 分别带有正、负电荷，这两个极板间就存在一个电场，其方向由 A 指向 B。在电场中若电场力将电荷 Q 从 A 点移到 B 点所做的功为 W_{AB} ，则功 W_{AB} 与电荷 Q 的比值就称为该两点之间的电压，用字母 U_{AB} 表示。其数学表达式为

$$U_{AB} = W_{AB} / Q \quad (1-3)$$

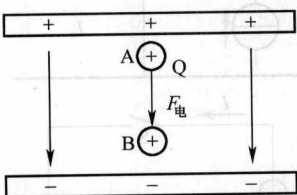


图 1-6 电压的概念

为了分析电路方便，常指定电路中任意一点为参考点。电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功，称为该点的

电位，用大写字母 V 表示。电压与电位的关系是：

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

电源中存在一种电源力，在正电荷由低电位端移向高电位端的过程中，电源力做了功，把非电能转变为电能。

电动势是衡量电源力做功能力的物理量，恒定（直流）电动势用字母 E 表示。在图 1-6 中，电源的电动势 E_{BA} 在数值上等于电源力把单位正电荷从低电位的 B 端经电源内部移到高电位 A 端所做的功。如果不考虑电源内部可能存在的其他形式的能量转换，则电源力对单位正电荷所做的功，应等于单位正电荷位能的增加，即

$$E_{BA} = V_B - V_A \quad (1-5)$$

(2) 电压、电位和电动势的单位

当电荷的单位为库仑 (C)，功的单位为焦耳 (J) 时，电压的单位为伏特，简称伏 (V)，即 $1V = 1J/C$ 。电位、电动势的单位也是伏特。在工程中还可用于千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV) 为计量单位，其换算关系为

$$1kV = 10^3V \quad 1mV = 10^{-3}V \quad 1\mu V = 10^{-6}V$$

(3) 电压与电动势的方向

电压的实际方向是从高电位点指向低电位点，是电位降的方向。电压的方向可用箭头表示，如图 1-7 (a) 所示；也可用“+”、“-”表示，如图 1-7 (b) 所示。电动势的实际作用方向是在电源内部由低电位端指向高电位端，是电位升的方向。直流电动势的两种图形符号如图 1-8 所示。

和电流一样，电压和电动势也应引入参考方向（或参考极性）的概念。如参考方向与其实际方向一致，其数值为正，否则为负值。

例 1.2 已知： $V_A = 10V$ ， $V_B = -10V$ ， $V_C = 5V$ 。求 U_{AB} 和 U_{BC} 各为多少？

解：根据电位差与电位的关系可知：

$$U_{AB} = V_A - V_B = 10 - (-10) = 20V$$