

中等职业学校专业基础课通用教材

电工技术基础

主编 冀全明 程明枢



国防科技大学出版社

中等职业学校专业基础课通用教材

电工技术基础

主 编： 冀全明 程明枢
编 委： 武 瑞 冯云霞
郭凯华 吴惠东
李富书 吴强辉

国防科技大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国务院《大力发展职业教育的决定》精神,并结合电气类专业教学大纲和相关工种的等级考核标准而编写的。主要内容有:电路基础知识、直流电路、电容和电容器、磁场和磁路、电磁感应、正弦交流电路、三相交流电路、变压器、电机知识和控制技术与 PLC 等。

本书是中等职业学校三、四年制专业基础课通用教材,也可供技工学校、职业技术学院及技术工人自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/冀全明、程明枢主编. —长沙:国防科技大学出版社,2006.5
ISBN 7-81099-307-0

I. 电... II. ①冀... III. 电工学—专业学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 024663 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

E-mail:faxing@gfkdcbs.com

责任编辑:肖滨

全国各新华书店经销

北京楠萍印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数 300 千字

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1~3000 册

定价:20.80 元

前 言

本书是根据国务院《大力发展职业教育的决定》精神,并结合电气类专业教学大纲和相关工种的等级考核标准而编写的。它是电气类专业的基础课程,旨在培养学生具有与本专业相适应的专业基础水平,使其掌握该专业的基础知识、基本原理、基本规律、基本技能等。该教材也可作为行业岗位培训及自学人员使用。

本书编写主要有以下特点:

1. 近年来,电气类专业服务面日趋增多,就业岗位日趋广泛,专业应用背景发生了大的变化,出现了学科交叉,技术融合的新态势,为此我们在编写时打破了原有的专业学科限制,努力实现以专业学科为本位向职业岗位和就业为本位的转变。

2. 坚持教育教学与生产实践、社会服务和技术推广紧密结合的原则,克服教育教学和生产实际相脱节的现象,以提高学生的专业职业能力。

3. 加强学生的实践操作技能和动手能力的培养,着重应用性知识,以增强岗位适应性。

4. 降低理论知识的难度,减少定量计算,注重概念、原理、性能等内容的定性分析。坚持必需、够用、求精的原则,删除了一些过时的、偏多、偏深而又不实用的教学内容,增加了一些符合时代发展趋势的新知识,以力求突出针对性、实用性、先进性。

书中带“*”的内容各学校可根据实际情况自行选择。

本书由冀全明、程明枢主编。参加编写的人员分工如下:冀全明编写第1、2两章,并对全书进行了组稿、定稿,程明枢编写第7、8、9章,并对全书进行了审稿,武瑞编写第4、5章,冯云霞编写第6章,郭凯华编写第10章,冯云霞和郭凯华共同编写第3章。此外参加编写的还有吴惠东、李富书、吴强辉。在本书的编写过程中,得到了有关领导、同志及兄弟院校和有关企业的大力帮助,在此一并感谢!此外,编写时查阅参考了大量资料,在此向原作(编)者表示真诚的谢意!

本书总课时约100课时,各章节大体分配如下,各地教师可根据当地学生的实际灵活调整。

课时参考表(单位:课时)

章 节	建议课时
第一章 电路基础知识	8
第二章 直流电路	14
第三章 电容和电容器	8
第四章 磁场和磁路	10
第五章 电磁感应	8
第六章 正弦交流电路	14
第七章 三相交流电路	10
第八章 变压器	6
第九章 电机知识	8
第十章 控制技术与 PLC	4
机动	10
合计	100

由于时间比较仓促,加上经验不足,教材中难免会有缺点和错误,希望使用本教材的师生与广大读者提出批评和改进意见,以便进一步修改。

编者
2006 年 5 月

教师联谊卡

尊敬的老师：

您好！谢谢您在百忙之中阅读此书并填写本张“教师联谊卡”！当我们收到您填写的“教师联谊卡”后，会与您建立以下合作事宜：

1. 对本书提出修改意见或指出错误(10 处以上)赠送精装文学名著一本(不限人数)；
2. 邀请您审阅我们后续推出的“中等职业学校文化课教学用书——练习册系列丛书”或“中等职业学校通用教材系列丛书”，在出版时署上您的姓名；
3. 邀请您编写部分专业教材。

书名：《电工技术基础》

您的资料	姓 名：_____ 性 别：_____ 年 龄：_____ 担任课程：_____ 学 历：_____ 专 业：_____ 担任职务：_____ 学校性质：_____ 电 话：_____ E-mail：_____ 邮 编：_____ 通讯地址：_____ 学校全称：_____
对本书的评价及建议	
学校情况简介 (含师生人数和开设专业)	
现用教材及辅导书基本情况	

学校主要开设 专业(至少三个)	
学校属于哪些 工种的培训基地	
对哪些专业 教材有编写兴趣	
你认为出版什么样的书 最适合中职师生使用	
对目前中等职业 教育的一些看法	
来信请寄:北京市 100085 信箱 68 分信箱 中职图书编辑部(收) 邮编:100085 E-mail:zhxmin@sohu.com (010)82833682	

注:请随信附教师资格证书复印件或加盖学校公章

目 录

第一章 电路基础知识	1	2.2.2 常用电工仪表的测量原理	33
1.1 电路	1	复习题	37
1.1.1 电路的组成及种类	1	2.3 电阻的测量	37
1.1.2 电路图	2	2.3.1 伏安法	37
1.1.3 电路的三种状态	2	* 2.3.2 直流单臂电桥法	39
复习题	4	2.3.3 万用表法	40
1.2 电路的基本物理量	5	复习题	42
1.2.1 电流	5	2.4 电池知识和电路中电位的计算	43
1.2.2 电位、电压和电动势	6	2.4.1 电池知识	43
复习题	9	2.4.2 电路中电位的计算	44
1.3 基本定律与应用	9	复习题	45
1.3.1 电阻定律	9	2.5 基尔霍夫定律及其应用	46
1.3.2 欧姆定律	12	2.5.1 概述	46
1.3.3 电功率和电能	14	2.5.2 基尔霍夫第一定律	46
复习题	17	2.5.3 基尔霍夫第二定律	48
1.4 焦耳定律及其应用	18	2.5.4 支路电流法	48
1.4.1 焦耳定律	18	复习题	50
1.4.2 定律应用	19	* 2.6 其他规律简介	50
复习题	20	2.6.1 电源的等效变换	50
本章习题	20	2.6.2 叠加原理	52
第二章 直流电路	23	2.6.3 戴维宁原理	52
2.1 电阻电路的联接方式	23	复习题	54
2.1.1 电阻的串联	23	本章习题	54
2.1.2 电阻的并联	27	第三章 电容和电容器	57
2.1.3 电阻的混联	30	3.1 电容器和电容	57
复习题	32	复习题	59
2.2 常用电工仪表的测量原理	32	3.2 电容器的参数和种类	60
* 2.2.1 电工仪表知识简介	32	复习题	61
		3.3 电容器的联接	62

3.3.1 电容器的串联	62	复习题	104
3.3.2 电容器的并联	63	5.5 涡流及其损耗	104
3.3.3 电容器的混联	63	复习题	106
复习题	65	本章习题	106
3.4 电容器的充、放电和电容器中的电场能	65	第六章 正弦交流电路	109
复习题	67	6.1 正弦交流电的基本概念	109
3.5 国产小型电容器知识简介	68	6.1.1 正弦交流电的产生	109
复习题	69	6.1.2 周期、频率、角频率	110
本章习题	70	6.1.3 正弦交流电的数值	112
第四章 磁场和磁路	72	6.1.4 正弦交流电的相位关系	113
4.1 电流的磁场	72	复习题	115
复习题	74	6.2 正弦交流电的分析方法	115
4.2 磁场的主要物理量	75	6.2.1 三角函数法	116
4.2.1 磁感应强度和磁通	75	6.2.2 波形图法	116
4.2.2 磁导率和磁场强度	76	6.2.3 相量图法	117
复习题	78	复习题	119
4.3 磁场对电流的作用	79	6.3 几种典型的单相正弦交流电路	120
复习题	81	6.3.1 纯电阻电路	120
4.4 铁磁性材料和磁路	81	6.3.2 纯电感电路	121
4.4.1 铁磁性材料	81	6.3.3 纯电容电路	123
4.4.2 磁路的欧姆定律	84	6.3.4 纯电阻电路、纯电感电路、纯电容电路的 比较	125
复习题	86	6.3.5 RL 串联电路	126
4.5 电磁铁	86	6.3.6 RLC 电路	127
复习题	88	复习题	133
本章习题	89	6.4 功率因数	133
第五章 电磁感应	92	6.4.1 电路的功率和功率因数	133
5.1 电磁感应现象	92	6.4.2 功率因数的提高及意义	137
复习题	93	* 6.4.3 功率因数的管理	138
5.2 楞次定律和右手定则	93	复习题	139
复习题	96	本章习题	140
5.3 法拉第电磁感应定律	96	第七章 三相交流电路	143
复习题	99	7.1 对称的三相交流电	143
5.4 自感、互感和同名端	99	复习题	145

7.2 三相电源的供电方式	145	本章习题	183
7.2.1 三相三线制供电	145	第九章 电机知识	187
7.2.2 三相四线制供电	146	9.1 三相异步电动机的结构和铭牌	187
复习题	147	9.1.1 三相异步电动机的结构	187
7.3 三相负载的联接方式	147	9.1.2 三相异步电动机的铭牌	190
7.3.1 负载的星形联接	148	复习题	192
7.3.2 负载的三角形联接	149	9.2 三相异步电动机的工作原理	192
复习题	151	复习题	194
7.4 三相不对称电路	151	9.3 三相异步电动机的运行原理和运行特性	194
复习题	153	复习题	197
7.5 三相负载的功率计算与测量	153	9.4 三相异步电动机控制知识简介	197
7.5.1 三相负载功率的计算	153	复习题	199
7.5.2 三相负载功率的测量	155	9.5 单相异步电动机	200
复习题	156	复习题	202
7.6 安全用电	157	* 9.6 同步电机	202
复习题	160	复习题	204
* 7.7 低压电力网的无功补偿	160	9.7 直流电机	205
复习题	163	复习题	209
本章习题	163	* 9.8 特种电机简介	209
第八章 变压器	168	复习题	210
8.1 变压器的结构和分类	168	9.9 电动机的节电管理	210
复习题	170	复习题	213
8.2 变压器的工作原理	170	本章习题	213
复习题	173	第十章 控制技术与 PLC	216
8.3 变压器的外特性和电压调整率	173	10.1 传统控制技术	216
复习题	174	复习题	222
8.4 变压器的损耗和效率	175	10.2 PLC 和 PLC 控制	222
复习题	176	复习题	225
8.5 三相变压器	177	本章习题	225
复习题	180		
8.6 互感器和自耦变压器	180		
复习题	183		

第一章 电路基础知识

本章概述:

本章是全书的开头篇,主要阐述了电路的基本知识。首先从电路的组成、元件的作用、电路图知识及电路的三种状态入手,介绍了电流、电位、电压、电动势、电阻和电导一些基本的物理量;其中,针对电位、电压和电动势这三个物理量易混淆的难点,加大了对这三者关系的介绍;在此基础上,阐述了电阻定律、欧姆定律、焦耳定律的知识,这是本章的重点;为了更好地学习后边的内容,对电源外特性、电源最大输出功率、电能及功率测量仪表的知识也作了一些介绍;另外,为了生产实践和社会服务的需要,我们有意识地加大了电阻与温度的关系、节约电能和焦耳定律应用等内容的说明。

学习目标:

- 了解电路的组成、电路元件的作用、电路图及节约电能的知识。
- 理解电路的三种状态、电阻与温度的关系、电源外特性、电能及功率测量仪表的知识。
- 理解电流、电位、电压、电动势、电阻和电功率等基本物理量。
- 熟练掌握电阻定律和欧姆定律。
- 掌握焦耳定律及其应用。

1.1 电 路

1.1.1 电路的组成及种类

1. 电路的组成

电流经过的路径称为电路。最简单的电路由电源、负载、连接导线和辅助装置等组成。分别介绍如下:

(1) 电源

电源是将其他形式的能量转换成电能的装置。如干电池、蓄电池、光电池和发电机等,它们分别把化学能、光能、机械能等转换成了电能。

(2) 负载

负载是将电能转换为其他形式能量的器件或设备,又称为用电器。如电灯是把电能转换为光能和热能的器件,电铃和扬声器是把电能转换为声能的器件,电动机是把电能转换成机械能的设备,电磁炉是把电能转换为热能的设备等。

(3) 连接导线

连接导线是连接电源和负载的导体,起着输送和分配电能的作用。最常用的导线有铜线和铝线,一般地在长度和截面积相等的条件下,铜丝电阻小、价格贵;铝线电阻大、价格便宜。

(4) 辅助装置

辅助装置能保证电路安全、可靠地工作,而且使电路自动完成某些特定工作成为可能。如开关可以把负载与电源接通或断开,熔断器可以保证电路安全地运行等。

2. 电路的种类

电路按使用的电源分为直流电路和交流电路。其中,直流电路有简单直流电路与复杂直流电路之分(见第一章和第二章);交流电路又有单相交流电路和三相交流电路之分(见第六章和第七章)。

电路按电流通过的路径分为外电路和内电路。从电源一端经过负载再回到电源另一端的电路称为外电路,电源内部的通路称为内电路,如干电池正极与负极之间的电路就是内电路。

电路的种类还有很多,这里不再赘述。

1.1.2 电路图

电路的表示方法多种多样,常用的有实物图和电路图等。

实物图是为了工程施工的方便,按设备的大小取一定的比例绘制而成。电路图习惯又称为“原理图”或“电原理图”,它的使用不受对象实际大小和复杂程度的限制,它反映的是电路的功能和原理,绘制时不考虑实际位置。如图 1-1 所示。

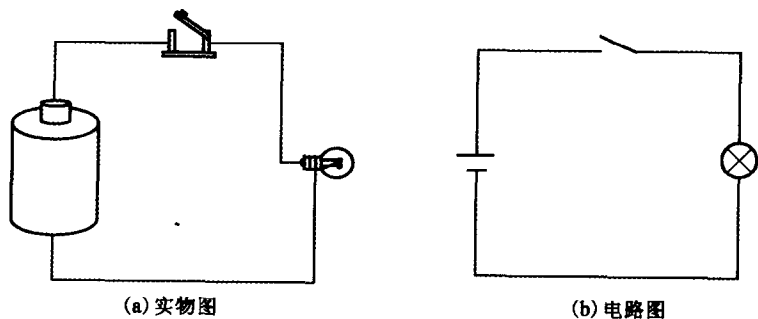


图 1-1 实物图与电路图

电路图中常用的部分电路元件符号见表 1-1。

1.1.3 电路的三种状态

电路通常有三种状态,分别为通路、开路、短路。

1. 通路

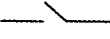
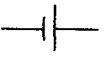
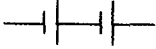
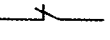
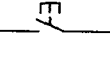
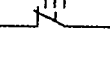
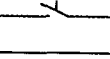
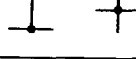
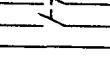
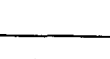
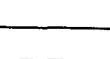
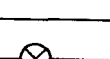
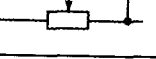
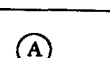
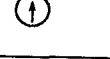
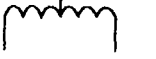
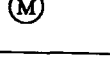
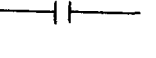
通路又叫做闭路,是指电路各部分连接成闭合回路,有电流通过。如图 1-2(a)所示。

2. 开路

开路又叫做断路,是指电路断开,电路中没有电流通过。如图 1-2(b)所示。在图中,开关断开、a 点或 b 点断开、负载断开等都为开路。

第一章 电路基础知识

表 1-1 常用的电路元件符号

电路元件符号	名 称	电路元件符号	名 称
	开关		直流电
	电池		电池组
	动断触点		交流电
	按钮开关 (动合按钮)		交、直流电
	按钮开关 (动断按钮)		导线相交不连接
	双极开关		导线连接
	三极开关		接地
	接触器动合触点		端子
	接触器动断触点		电阻
	熔断器		白炽灯
	白炽灯		电位器
	电流表		线圈
	电压表		铁心线圈
	检流计		抽头线圈
	电动机		电容

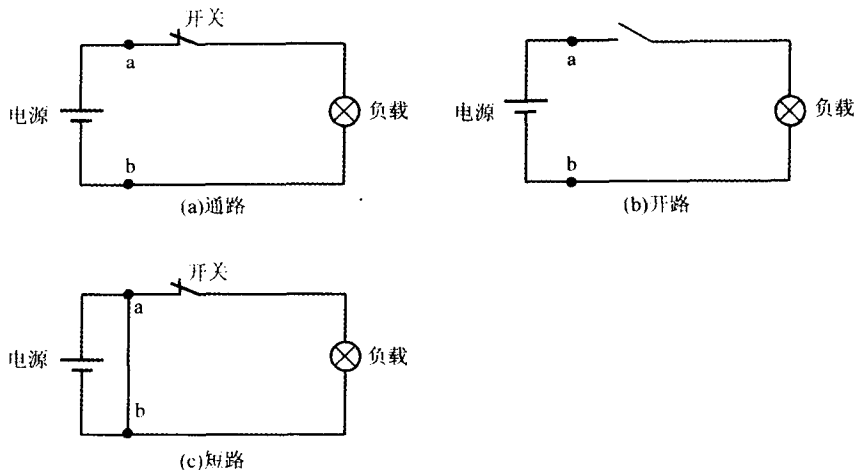


图 1-2 电路的三种状态

3. 短路

短路又叫做捷路,是指电源两端的导线直接相连(称为电源短路)或负载两端的导线直接相连(称为负载短路),电路中有较大电流通过。如图 1-2(c)所示。因为电源短路时提供的电流将比通路时大很多倍,因而一般不允许电源短路。一般情况下,电源短路易损坏电源或导线,而负载短路易使负载不能正常工作,如图 1-3 所示,负载 1 就不能正常工作。有时,在电子设备的调试过程中,将某一部分电路短路,这是为了使与调试过程无关的电流通过而采取的一种特殊方法。

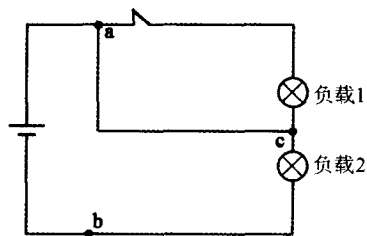


图 1-3 部分负载短路

需要说明的是,电路还有一个名称叫做电网络,通常它们是相互通用的,但网络具有“复杂”的意思。



复习题

一、问答题

1. 电路由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?
2. 电路有哪几种状态? 含义是什么?

二、实践操作题

仔细观察手电筒,说明它工作时对应着哪种电路状态,并找出其连接导线部分。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电荷与电荷量

(1) 电荷

物质由分子组成,分子由原子组成,原子又由带正电的原子核和带负电的电子组成。通常,原子核所带的正电荷与外面电子所带的负电荷总量相等,原子不带电,呈中性,所以,物质也不显电性。自然界存在着两种电荷:正电荷和负电荷。

(2) 电荷量

电荷量表示带电物体所带电荷多少的物理量,简称电量,用符号 Q 或 q 表示,单位为库仑(C)。

2. 电流的大小与方向

(1) 电流的大小

把导体两端接上电源,导体中的正、负电荷就会定向移动,从而形成电流。为了描述电流的大小,我们引入电流强度这一物理量。电流强度是指单位时间内通过导体某一横截面积的电荷量。电流强度简称电流,其单位为安培(A),简称安,表达式为

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

式中 I ——电流强度,单位为 A;

Q ——电荷量,单位为 C;

t ——导体某一横截面通过电荷量 Q 时所用的时间,单位为 s。

由上式可知:在相同的时间内通过导体横截面的电荷量越多,表示流过该导体的电流越强;反之越弱。

(2) 电流的方向

习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。在金属导体中电流的方向与自由电子定向移动的方向相反。计算时,若无法确定电路中电流的方向,可先假定一个电流方向(称为参考方向)。若计算结果为正,则电流实际方向与参考方向一致;若计算结果为负,则电流实际方向与参考方向相反。若不规定参考方向,则电流的正负毫无意义。

我们把方向不随时间而变化的电流叫做直流电;把大小和方向都随时间而变化的电流叫做交流电。其中,直流电又分为稳恒直流电和脉动直流电;前者的大小、方向都不随时间变化;后者的大小随时间变化,而方向不随时间变化。如图 1-4 所示。

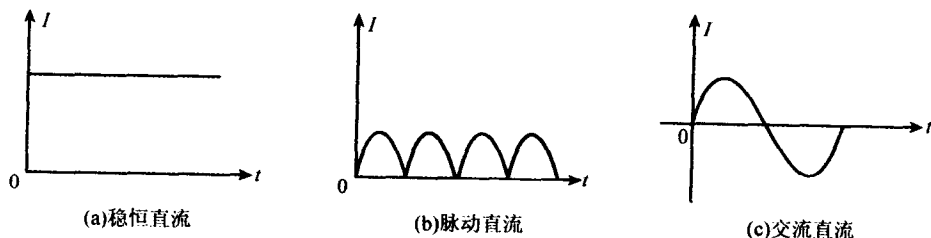


图 1-4 直流电与交流电

3. 物理量的单位级别

物理量的单位级别见表 1-2, 从左至右各相邻两单位级别的数量级为 10^3 。

表 1-2 物理量的单位级别

单位级别	吉	兆	千	基本单位	毫	微	纳	皮
表示字母	G	M	k	表示字母	m	μ	n	p

如电流的基本单位为安(A), 则

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^3 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

【例 1.1】导线的电流密度 J 是指电流在导体的横截面上均匀分布时, 该电流 I 与导体横截面积 S 的比值, 即 $J = \frac{I}{S}$ 。某电路中的导线, 在 5min 时间内需要通过其横截面的电荷量为 4 500C, 问应选用多粗的铜导线? (设铜导线的允许电流密度为 6A/mm^2)。

解: 通过导线的电流为

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{4\,500}{5 \times 60} = 15\text{A}$$

应选用的铜导线截面积为

$$S = \frac{I}{J} = \frac{15}{6} = 2.5\text{mm}^2$$

1.2.2 电位、电压和电动势

1. 电位

带电体周围存在着电场, 电场对处于场内的电荷有力的作用。当电场力使电荷移动时, 就说电场力对电荷做了功。如图 1-5 所示的均匀电场, 电场力对电荷做的功为

$$W_{ao} = FL_{ao}$$

$$W_{bo} = FL_{bo}$$

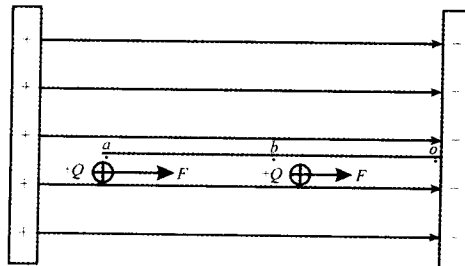


图 1-5 电场力做功

式中 W_{ao} ——电场力将正电荷 Q 从 a 点移动到 o 点所做的功, 单位为 J;

W_{bo} ——电场力将正电荷 Q 从 b 点移动到 o 点所做的功, 单位为 J;

F ——正电荷 Q 在电场中受到的电场力, 单位为 N;

L_{ao} ——电场中 a 点与 o 点的距离,单位为 m;

L_{bo} ——电场中 b 点与 o 点的距离,单位为 m。

若电荷的电量增加一倍,则作用在电荷上的电场力也增加一倍,电场力所做的功也相应地增加一倍。即在一个已知的电场中,电场力做的功与电荷量成正比。为了描述电场中电场力做功的强弱程度,我们引入电位这一新的物理量。规定:电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点做的功,称为电场中该点的电位,用字母 V 表示。

以 o 点为参考点,则

$$\text{a 点的电位} \quad V_a = \frac{W_{ao}}{Q}$$

$$\text{b 点的电位} \quad V_b = \frac{W_{bo}}{Q}$$

分析可知: $V_a > V_b$ 。即以 o 点为参考点,a 点比 b 点的电位高。

说明:

(1) 电场力把正电荷从 a 点移到 o 点,所做的功比从 b 点移到 o 点多,a 点比 b 点具有更高的电位。

(2) 电场力对正电荷做功的方向就是电位降低的方向。

分析电位时要注意:

首先要选定参考点,所谓参考点就是假定电位为零的点。电路中各点的电位都是相对的,与参考点的选择有关;比参考点高的电位为正,比参考点低电位为负。在图 1-5 中,若选 o 点为参考点,则 a 点、b 点电位为正;若选 b 点为参考点,则 a 点电位为正,o 点电位为负。参考点不同时,即使在电路中的同一点,其电位值也不相同。如果一个电路只有一个参考点,那么,电路中各点的电位就只有一个数值。通常以大地作为参考点,而在电子设备中一般以金属底板、机壳等公共点作为参考点,这样便于比较各点的电位。

若功的单位为焦耳(J),电荷量的单位为库仑(C),则电位的单位为伏特(V),简称伏。除伏特外,常用单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV),关系为

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

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

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

2. 电压

把电场中两点间的电位差称为电压。用字母 U 表示,单位也是伏特(V)。如图 1-5 所示,a 点与 b 点之间的电位差为

$$V_a - V_b = \frac{W_{ao}}{Q} - \frac{W_{bo}}{Q} = \frac{W_{ab}}{Q} = U_{ab}$$

电压与电流一样,不但有大小,而且有方向。电压的方向规定为电位降低的方向,通常用箭头、双下标量(如 U_{ab} ,方向为 a 点指向 b 点)或参考极性“+”、“-”三种方法表示方向。

需要说明的是,处于外加电场中的导体两端具有电压时,电荷受到电场力的作用而有规则的定向运动,从而形成电流。故导体内产生电流的条件是导体两端必须有电压。另外,电场中两点间的电压与参考点的选择无关。