



简明物理学

(下册)

刘克哲 刘建强

高等教育出版社



简明物理学

(下册)

刘克哲 刘建强

JIANMING WULIXUE

高等教育出版社·北京

内容提要

本书根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),从学科自身的发展、要求和特点出发,将近代物理的基本内容融合到教材中,使物理学近代发展的新成果与物理学基本原理有机地结合起来。为适应教学改革的深入进行,本书在适当降低课程的难度和适当压缩课程的学时方面,做了有益的尝试,全书共计15章,分上、下两册出版。

本书可供综合性大学、师范大学和工科院校的理、工科非物理类专业70—100学时基础物理学课程作教材使用,也可供其他高等学校的相应专业选用,并可供中学物理教师进修、自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

简明物理学.下册 / 刘克哲,刘建强主编. -- 北京 : 高等教育出版社,2015.1

ISBN 978-7-04-041240-6

I. ①简… II. ①刘… ②刘… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第244452号

策划编辑 郭亚嫒 责任编辑 郭亚嫒 封面设计 张楠 版式设计 余杨
插图绘制 尹文军 责任校对 刘丽娟 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	国防工业出版社印刷厂	网上订购	http://www.landraco.com
开本	787mm×960mm 1/16		http://www.landraco.com.cn
印张	15.75	版次	2015年1月第1版
字数	280千字	印次	2015年1月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	24.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 41240-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第八章 电流和恒磁场	1
§ 8-1 恒定电流条件和导电规律	1
一、电流强度和电流密度	1
二、电流的连续性方程和恒定电流条件	3
三、导体的电阻	4
四、导体的电阻率	5
五、欧姆定律	6
六、电功率和焦耳定律	6
七、电动势	7
§ 8-2 磁场和磁感应强度	8
一、磁现象	8
二、磁感应强度	9
三、磁感应线和磁通量	11
§ 8-3 毕奥-萨伐尔定律	11
§ 8-4 磁场的高斯定理和安培环路定理	14
一、磁场的高斯定理	14
二、安培环路定理	15
§ 8-5 磁场对电流的作用	17
一、安培定律	17
二、两平行长直电流之间的相互作用	18
三、磁场对载流线圈的作用	19
* § 8-6 带电粒子在磁场中的运动	21
一、带电粒子在均匀磁场中的运动	21
二、带电粒子比荷的测定	23
三、霍耳效应	24
§ 8-7 磁介质的磁化	27
一、物质磁性的概述	27
二、磁化的磁介质内的磁感应强度	29

三、磁化强度与磁化电流的关系	30
四、有磁介质存在时的安培环路定理	32
* § 8-8 铁磁性	34
一、自发磁化强度	34
二、居里温度	34
三、铁磁体内的磁畴结构	35
四、磁滞现象	35
习题	36
第九章 电磁感应和麦克斯韦电磁理论	41
§ 9-1 电磁感应及其基本规律	41
一、电磁感应现象	41
二、电磁感应定律	43
三、感应电动势	44
§ 9-2 互感和自感	47
一、互感现象	47
二、自感现象	49
§ 9-3 磁场的能量	50
* § 9-4 超导体的电磁特性	53
§ 9-5 麦克斯韦电磁理论	56
一、位移电流	56
二、麦克斯韦方程组	59
§ 9-6 电磁振荡和电磁波	60
一、从电磁振荡到电磁波	60
二、电磁波的主要性质	62
三、电磁波的能量	63
* 四、电磁场的动量和光压	63
五、电磁波的波谱	65
习题	66
第十章 波动光学	69
§ 10-1 光波及其相干条件	69
一、光波	69
二、光程	70
三、相干条件	71
四、获得相干光波的方法	72

§ 10-2 杨氏双缝实验	72
§ 10-3 薄膜干涉	75
一、薄膜干涉	75
二、迈克耳孙干涉仪	79
§ 10-4 惠更斯-菲涅耳原理和衍射现象分类	82
一、惠更斯-菲涅耳原理	82
二、衍射现象的分类	83
§ 10-5 单缝和圆孔的夫琅禾费衍射	83
一、单缝的夫琅禾费衍射	83
二、圆孔的夫琅禾费衍射	87
§ 10-6 衍射光栅	88
§ 10-7 衍射规律的应用	92
一、光学系统分辨本领的分析	92
* 二、X 射线在晶体中的衍射	93
* § 10-8 光信息处理概述	95
一、阿贝二次衍射成像	95
二、空间滤波和 $4f$ 系统	96
§ 10-9 光的偏振态	97
一、自然光和线偏振光	97
二、部分偏振光	98
* 三、椭圆偏振光和圆偏振光	98
§ 10-10 偏振光的获得和检测	100
一、偏振光的获得	100
二、偏振光的检测	103
§ 10-11 旋光现象和电磁场的光效应	104
一、旋光现象	104
* 二、电磁场的光效应	105
习题	107
第十一章 波与粒子	110
§ 11-1 黑体辐射	110
一、热辐射	110
二、黑体辐射的基本规律	112
三、普朗克辐射公式和能量子的概念	113
§ 11-2 光电效应	114

一、光电效应的实验规律	114
二、经典理论遇到的困难	116
三、爱因斯坦的光子论及其对光电效应的解释	117
§ 11-3 康普顿效应	119
一、康普顿效应及其观测	119
二、光子论对康普顿效应的解释	120
三、光的波粒二象性	121
§ 11-4 氢原子光谱和玻尔的量子论	122
一、原子的核型结构模型及其与经典理论的矛盾	122
二、氢原子光谱的规律性	123
三、玻尔的量子论	125
§ 11-5 微观粒子的波动性	127
一、德布罗意波及其实验观测	127
二、不确定关系	130
习题	132
第十二章 量子力学基础	135
§ 12-1 波函数及其统计诠释	135
§ 12-2 薛定谔方程	138
一、含时薛定谔方程	138
二、定态薛定谔方程	139
三、本征函数、本征值和平均值	141
§ 12-3 一维势阱和势垒问题	142
一、一维无限深方势阱	142
二、势垒穿透和隧道效应	145
*§ 12-4 氢原子	148
一、有心力场中的薛定谔方程	148
二、角动量的本征函数和相应的量子数	149
三、径向波函数和氢原子的能级	150
四、能量的本征函数和能级的简并度	151
习题	151
第十三章 电子的自旋和原子的壳层结构	153
§ 13-1 电子的自旋	153
一、施特恩-格拉赫实验	153
二、电子自旋和自旋磁矩	155

§ 13-2 原子的壳层结构	156
一、元素性质的周期性	156
二、原子中电子的壳层结构	157
*§ 13-3 X 射线	159
一、X 射线的发射和发射谱	160
二、同步辐射	162
*§ 13-4 激光	163
一、激光原理	163
二、激光的应用	166
习题	167
第十四章 热力学概述	168
§ 14-1 热力学第一定律	168
一、热力学中的基本概念	168
二、热力学第一定律	171
三、热容和焓	172
§ 14-2 理想气体的热力学过程	174
一、等体过程	174
二、等压过程	174
三、等温过程	175
四、绝热过程	176
§ 14-3 卡诺循环	179
一、循环	179
二、卡诺循环	180
§ 14-4 热力学第二定律	183
一、可逆过程和不可逆过程	183
二、热力学第二定律的两种表述	184
三、热力学第二定律的实质	186
§ 14-5 卡诺定理	187
§ 14-6 熵增加原理	188
一、熵的概念	188
二、熵增加原理和热力学基本关系式	191
*§ 14-7 热力学第三定律	193
一、获得超低温的有效方法	193
二、热力学第三定律	194

习题	195
第十五章 原子核和粒子	198
§ 15-1 原子核的一般性质	198
一、原子核的组成	198
二、原子核的质量数和电荷数	199
三、原子核的大小和形状	200
§ 15-2 核力	201
一、核力的性质	201
* 二、核力的介子场理论	203
* 三、核力的夸克模型	203
§ 15-3 原子核的稳定性和结合能	203
一、核素图和 β 稳定线	203
二、原子核的结合能	205
三、结合能的释放和利用	206
§ 15-4 原子核衰变的基本规律	209
一、放射性衰变	209
二、放射性衰变的规律	209
* § 15-5 三类放射性衰变	212
一、 α 衰变和衰变能的概念	212
二、 β 衰变和中微子假说	214
三、 γ 衰变	217
四、放射性同位素的应用	218
§ 15-6 对粒子的探索和研究	220
* § 15-7 粒子物理的标准模型	226
一、三代费米子	226
二、基本相互作用	227
三、规范玻色子	227
习题	228
习题答案	231
附录	238
(一) 物理学常用常量	238
(二) 国际单位制的有关规定	239

第八章

电流和恒磁场

人们对磁的认识是从磁铁吸引铁屑开始的,并利用了与电荷相似的概念——磁荷,去研究磁现象。自从发现了电流的磁效应之后,人们才认识到,磁场是由电流产生的,并且一切物质的磁性都起源于电流。在本章,我们首先讨论产生磁场的电流,得出电流的连续性方程、恒定电流条件,以及导电规律。然后引入磁场的概念,介绍描述磁场的物理量——磁感应强度和磁通量,研究电流产生磁场的规律——毕奥-萨伐尔定律,讨论反映磁场性质的磁场高斯定理和安培环路定理。最后介绍磁介质。

§ 8-1 恒定电流条件和导电规律

一、电流强度和电流密度

在导体中存在大量可以自由运动的带电粒子,带电粒子的定向运动就形成电流,提供电流的带电粒子就称为**载流子**。在金属导体中载流子是自由电子,在电解液导体中载流子是正、负离子,在电离的气体中载流子是正、负离子和电子。在本章中,我们主要讨论金属导体的情形。

在一般的导体中,在没有电场作用时载流子只作热运动,不形成电流。在受到电场作用时,载流子将作定向运动从而形成电流,不过这个电场不应该是静电场,因为静电场作用于导体,将出现静电平衡,导体内部电场将消失,电流只能维持短暂的一瞬间。关于如何将电场施加于导体内部,将在本节的最末讨论。

为了描述电流的强弱,我们引入**电流强度**这个量,定义为**单位时间内通过导体截面的电荷量**,常用符号 I 表示。电流强度常简称为电流。如果在 dt 时间内通过导体某截面的电荷量为 dQ ,则通过该截面的电流为

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (8-1)$$

电流强度是标量,但由于电荷在导线中流动有正、反两个方向,所以电流有

正、负之分,是代数量。而电流的正、负是按照预先选定的标定方向来确定的,与标定方向相同流向的电流为正电流,与标定方向相反流向的电流为负电流。

习惯上我们把正载流子的流动方向代表电流的方向。显然,正载流子沿某方向流动所形成的电流,与负载流子沿相反方向作相同流动所形成的电流是等同的。这种等同性只限于载流子所形成的电流的大小和方向、电流所产生的磁场等方面,而对于霍尔效应、电流的化学效应等,正载流子的运动与负载流子沿相反方向的运动,具有不同的效果。

在国际单位制中,电流强度是七个基本物理量之一,其单位 A(安培),是七个基本单位中的一个。关于这个单位的定义,我们将在以后给出。

电流强度反映了单位时间内载流子通过导体整个横截面的状况,不涉及载流子穿越该横截面各处的细节。如果导体的粗细不均匀,在大截面上各处和小截面上各处载流子的分布状况显然是不同的。为了描述电流的分布,需要引入另一个物理量,即电流密度。电流密度是矢量,它在导体中任意一点的方向与正载流子在该点的流动方向相同,它的大小等于通过该点并垂直于电流的单位截面的电流强度。如果流过导体中某点处垂直于电流方向的面元 dS 的电流强度为 dI ,则该点的电流密度可以表示为

$$\mathbf{j} = \frac{dI}{dS} \mathbf{e}_n, \quad (8-2)$$

式中 \mathbf{e}_n 是面元 dS 的法向单位矢量。若同一点处的另一面元 dS' 不垂直于电流,其法线 \mathbf{n}' 与该处电流密度 \mathbf{j} 之间有一夹角 θ ,如图 8-1 所示。根据式(8-2),该处电流密度的大小可以表示为

$$j = \frac{dI}{dS} = \frac{dI}{dS' \cos \theta},$$

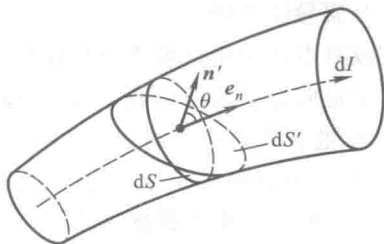


图 8-1

所以

$$j \cos \theta = \frac{dI}{dS'}. \quad (8-3)$$

上式表示,通过任一面积元单位面积的电流强度,等于该处电流密度矢量沿该面积元法向的分量。

在国际单位制中,电流密度的单位是 $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$ (安培/米²)。

由电流密度的定义可知,通过导体中任一曲面 S 的电流 I 可以表示为

$$I = \iint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S}. \quad (8-4)$$

将上式与电通量定义式(7-22)相比较,可以看出, I 与 \mathbf{j} 的关系是一个通量与其矢量场的关系。在有电流流过的导体中,每一点都具有一定大小和方向的电流密度矢量,这些矢量就构成了矢量场,称为**电流场**。为形象描述电流场中电流的分布,引入**电流线**,电流线是按照这样的规定所画的一系列曲线:曲线上每点的切线方向都与该点的电流密度矢量的方向相同。由电流线围成的管状区域,称为**电流管**。显然,在恒定条件下,通过同一电流管的任一横截面的电流是相等的。

二、电流的连续性方程和恒定电流条件

在导体内任取一闭合曲面 S ,根据电荷守恒定律,单位时间由闭合曲面 S 内流出的电荷量,必定等于在同一时间内闭合曲面 S 所包围的电荷量的减少,也就是下面的关系必须成立:

$$\oiint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} = -\frac{dq}{dt}, \quad (8-5)$$

这就是**电流连续性方程**。

恒定电流就是其**电流场**不随时间变化的**电流**。电流场不随时间变化,就要求电流场中的电荷分布也不随时间变化,由分布不随时间变化的电荷所激发的**电场**,称为**恒定电场**。既然恒定电场中电荷分布不随时间变化,电流连续性方程(8-5)必定具有下面的形式:

$$\oiint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} = 0, \quad (8-6)$$

上式就是**恒定电流条件**。

恒定电流条件表明,在**恒定电流场**中通过任意闭合曲面的**电流**必定等于零。这也表示,无论闭合曲面 S 取在何处,凡是从某一处穿入的**电流线**都必定从另一处穿出。所以,恒定电流场的**电流线**必定是头尾相接的**闭合曲线**。

上面所说的**恒定电场**,是由运动的而分布不随时间变化的电荷所激发的。在遵从高斯定理和环路定理方面,恒定电场与静电场具有相同的性质,所以两者通称为**库仑电场**。

三、导体的电阻

处于正常状态下的导体都具有一定的电阻。如果在导体两端施加的电势差为 U , 导体中产生的电流为 I , 则把 U 与 I 之比定义为该段导体的电阻, 以 R 表示, 即

$$R = \frac{U}{I}, \quad (8-7)$$

上式是适用于一切导电物体的电阻的普遍定义式。若以电势差 U 作横坐标、以电流 I 作纵坐标, 所描绘出的导电物体的电阻曲线, 称为该导电物体的**伏安特性曲线**。对于金属导体和电解液导体, 伏安特性曲线是一条通过原点的直线, 如图 8-2(a) 所示。具有这种性质的电阻称为**线性电阻或欧姆电阻**, 具有这种性质的器件称为**线性器件**。但是有很多电阻、器件都是非线性的, 如热敏电阻 [图 8-2(b)]、晶体管 [图 8-2(c)]、真空二极管 [图 8-2(d)] 以及各种电真空器件等, 它们的伏安特性曲线都是曲线, 其电阻是与所施加的电势差和电流有关的变量。

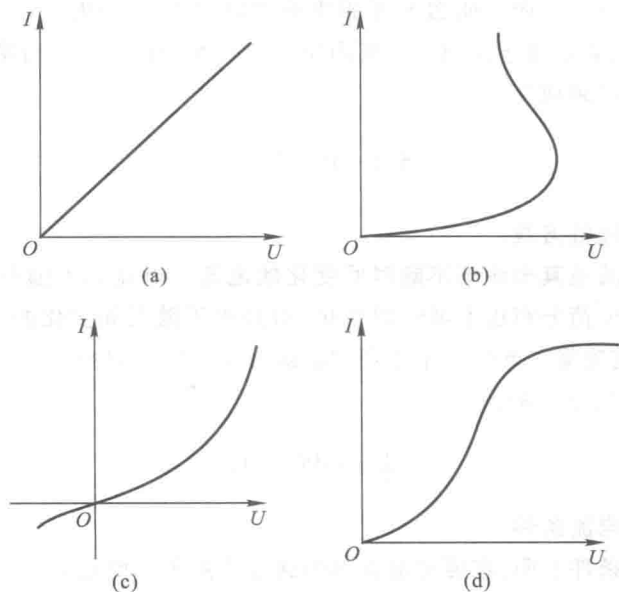


图 8-2

在国际单位制中电阻的单位是 Ω (欧姆):

$$1 \Omega = 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1},$$

即当加在导体两端的电势差为 1 V 、通过的电流是 1 A 时, 该导体的电阻就是

1 Ω 。电阻的倒数称为电导,常用 G 表示,单位是 S (西门子):

$$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}.$$

四、导体的电阻率

导体材料中某点的电阻率 ρ 定义为该点的电场强度 E 的大小与同点的电流密度 j 的大小之比,即

$$\rho = \frac{E}{j}. \quad (8-8)$$

由一定材料制成的横截面均匀的导体,如果长度为 l 、横截面积为 S ,则由式(8-8)可以证明这段导体的电阻为

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (8-9)$$

导体材料的电阻率决定于材料自身的性质。各种材料的电阻率都随温度而变化。在通常温度范围内,金属材料的电阻率随温度作线性变化,变化关系可以表示为

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (8-10)$$

式中 ρ 为 t $^{\circ}\text{C}$ 时的电阻率, ρ_0 为 0 $^{\circ}\text{C}$ 时的电阻率, α 称为电阻温度系数。表 8-1 中列出了一些金属、合金和碳的 ρ_0 和 α 值。

表 8-1 一些材料的 ρ_0 和 α 值

材料	$\rho_0 / (\Omega \cdot \text{m})$	$\alpha / ^{\circ}\text{C}^{-1}$
银	1.49×10^{-8}	4.3×10^{-3}
铜	1.55×10^{-8}	4.3×10^{-3}
铝	2.50×10^{-8}	4.7×10^{-3}
碳(非晶态)	$3\,500 \times 10^{-8}$	-4.6×10^{-4}
镍铬合金 (60% Ni, 15% Cr, 25% Fe)	110×10^{-8}	1.6×10^{-4}

由表中的数据可以看出,纯金属的 α 值都在 0.4% 左右,这表示温度每升高 1 $^{\circ}\text{C}$,其电阻率约增加 0.4%。而这些材料的线膨胀系数要小得多,温度每升高 1 $^{\circ}\text{C}$ 其线度只增大 0.001% 左右。所以在考虑金属导体的电阻随温度变化时,可以忽略其长度 l 和截面积 S 的变化。在式(8-10)两边同乘以 l/S ,就得到金属导体电阻随温度的变化关系

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (8-11)$$

式中 R 是 t °C 的电阻, R_0 是 0 °C 的电阻。根据这一线性关系可以制成电阻温度计,用于温度的测量。常用的电阻温度计有铜电阻温度计(-50 °C ~ 150 °C)和铂电阻温度计(-200 °C ~ 500 °C)。

在国际单位制中,电阻率的单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ (欧姆·米)。电阻率的倒数称为电导率,常用 σ 表示,其单位是 $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ (西门子/米)。

某些材料的电阻率在其特定温度 T_c 以下会减小到接近零,这种现象称为超导体,处于超导状态的材料称为超导体。超导体除电阻消失外,还具有其他一些独特的物理性质,我们将在 §9-4 中讨论。

五、欧姆定律

实验表明,对于给定的金属导体,电阻 R 是与所施加的电势差 U 和通过的电流 I 无关的常量。或者,通过某段金属导体的电流 I 与施加在该导体两端的电势差 U 成正比,即

$$I = \frac{U}{R}, \quad (8-12)$$

这就是欧姆(G. S. Ohm, 1787—1854)定律。它反映了金属导体导电的基本特性,即金属导体的电阻是不随电势差和电流而变化的常量,表示了电流与电势差的正比关系。欧姆定律不仅适用于金属导体,对于电解液和熔融的盐类也是适用的。

在金属导体的电流场中,取一长度为 Δl 、截面积为 ΔS 的细电流管,根据欧姆定律,通过该电流管的电流 $\Delta I = \Delta U/R$,其中 $\Delta I = j\Delta S$, $\Delta U = E\Delta l$, $R = \Delta l/\sigma\Delta S$,于是就得到下面的关系:

$$j = \sigma E. \quad (8-13)$$

这个关系称为欧姆定律的微分形式,它反映了在金属导体中任意一点上 j 与 E 之间的关系。这个关系不仅适用于恒定电流的情形,在变化的电流场中仍然是正确的。

六、电功率和焦耳定律

若把电器 G 接在电路的 A (电势为 V_A) 和 B (电势为 V_B) 之间,如图 8-3 所示。当恒定电流 I 通过时,正电荷从高电势的点 A 经过电器 G 到达电势低的点 B ,电势能的降低等于电场力作的功。在电路中,电场力作的功称为电流的功,或电功。根据能量守恒定律,降低的电势能被电器 G 转变为其他形式的能量,

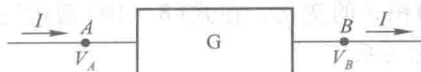


图 8-3

数值上等于电流在 A 和 B 之间所作的功,即电功。

如果用 U 表示从点 A 到点 B 的电势降落,电荷 dq 从点 A 经电器 G 到点 B 电流所作的功为

$$dA = dqU = IU dt.$$

因为电流是恒定的, I 和 U 都不随时间变化,所以在 t 时间内电流所作的总功为

$$A = IUt. \quad (8-14)$$

上式表示,在某段电路上的电功 A 等于该段电路两端的电势差 U 、通过的电流 I 和通电时间 t 三者的乘积。相应的电功率为

$$P = \frac{dA}{dt} = IU. \quad (8-15)$$

如果电器 G 是阻值为 R 的纯电阻,上述电势能的降低将通过电场力作功而全部转变为热能 Q ,这称为电流的热效应。根据电阻的定义式(8-7),式(8-14)和式(8-15)可分别化为以下两式:

$$Q = A = I^2 R t, \quad (8-16)$$

$$P = I^2 R. \quad (8-17)$$

式(8-17)就是焦耳定律的数学表达式。

七、电动势

要维持电路上的恒定电流,必须保证导体两端有恒定的电势差。试设想,将一个已充了电的电容器两极板沿外部用导线连接起来,构成闭合回路,电路上将会有电流流过。不过,随着两极板电荷量的减少,它们之间的电势差降低,电流很快就消失了。从恒定电流条件看,恒定电流场的电流线必定是闭合线。但在上述设想的情况中,电流线是从电容器的正极板沿外部的导线终止于负极板,并不构成闭合线,所以不满足形成恒定电流的条件。要维持恒定的电流,必须设法沿另一路径(例如,沿电容器内部),将流到负极板的正电荷再送回正极板。但要这样做,必须克服两极板间的静电场而作功。能够提供这种功的力,一定是除静电力以外的力,这种力称为非静电力。提供非静电力的装置称为电源。

单位正电荷所受的非静电力,定义为非静电性电场的电场强度,用 K 表示。在电源内部,即内电路电荷同时受到恒定电场和非静电性电场的作用,而在外电路却只有恒定电场的作用。因此,在电荷 q 沿电路运行一周的过程中,各种电场所作的总功为

$$A = \int_{+}^{-} qE \cdot dl + \int_{-}^{+} q(E + K) \cdot dl = \oint qE \cdot dl + \int_{-}^{+} qK \cdot dl.$$