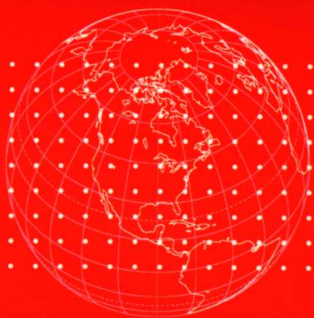


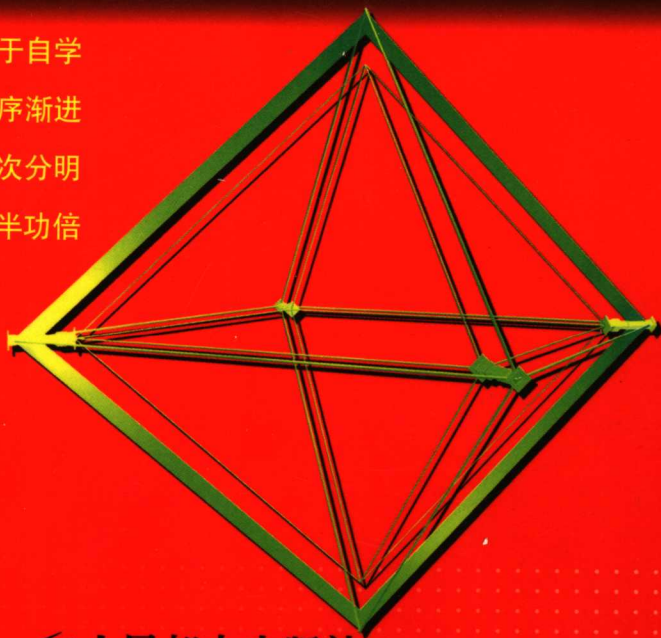
电子爱好者读本



电工电子 技术入门

陈永甫 主编

名师导读，宜于自学
由浅入深，循序渐进
重点突出，层次分明
学以致用，事半功倍



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电子爱好者读本

电工电子技术入门

陈永甫 主编

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术入门/陈永甫主编. —北京: 人民邮电出版社, 2005. 8

(电子爱好者读本)

ISBN 7-115-13410-3

I. 电... II. 陈... III. ①电工技术—基本知识②电子技术—基本知识
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 041137 号

内 容 提 要

本书是“电子爱好者读本”的基础篇, 主要内容有: 电荷与电场、直流电路、电源和电池、磁场、电与磁的相互作用、电磁感应和感应电动势、单相正弦交流电及其基本电路、三相交流电路、电源变压器和特别用途变压器等。这些内容是学习电工、电子、信息、通信、自动化、机电一体化等专业技术和技能必不可少的基础知识。

本书的编写以着重物理概念、注重实用性、培养应用能力为出发点, 选材讲究, 内容精练, 叙述严谨, 条理清楚, 语言通俗, 趣味性强, 图文结合, 易学易懂。本书适用于广大电子爱好者, 大中专院校、技校及职业院校的电气类、电子类专业的师生, 电气类、电子类工程技术人员、技师以及维修人员。

电子爱好者读本

电工电子技术入门

-
- ◆ 主 编 陈永甫
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 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: 720×980 1/16
印张: 15.5
字数: 280 千字
印数: 1-5 000 册
 - 2005 年 8 月第 1 版
2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13410-3 / TN · 2484

定价: 20.00 元

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

“电子爱好者读本”序言

随着科学技术的发展和高新技术的广泛应用，电子技术在国民经济的各个领域所起的作用越来越大，并深深地渗透到人们的生活、工作、学习的各个方面。新的世纪已跨入以电子技术为基础的信息化社会，层出不穷的电子新业务、电子新设施几乎无处不在、举目可见。掌握一定的电子技术知识和技能是电子信息时代对每个国民提出的要求和召唤，也是提高素质、搞好本职工作的需要。

我国的电子爱好者逾千万，而且每年都有大量青少年出于对电子技术的偏爱而源源不断地加入到这个行列中来。如何帮助这些电子爱好者尽快地学习和掌握电子技术基础知识和技能，尽快地融入这个五彩缤纷的电子世界，是众多电子科学普及工作者和教育者关心和考虑的问题。

对于广大电子爱好者来说，显然，自学是他们学习电子技术的重要方式。但自学碰到的问题很多，首要的问题就是选择适合于自学的课本或读物。目前，国内虽然出版了不少不同版本的电气、电子类教材，但大都是面向全日制大中专院校或脱产学习的职业院校学生编写的，而适用于电子爱好者自学的读本并不多见。没有适合的课本或读物，自学的困难是显而易见的。

笔者年少时，出于对无线电的好奇进而痴迷，并选择了无线电专业学习，后长期从事电子技术的应用、开发和教学工作。作为一个工作多年的电子爱好者，深知自学的艰辛和电子爱好者的需求。为电子爱好者编写一套通俗易懂的电子读本，是笔者多年的愿望。根据自学的特点，结合自己长期的学习心得、实践体验和教学经验，编写了这套电子通俗读本。

这套电子爱好者读本先期包括《电工电子技术入门》、《常用电子元件及其应用》、《常用半导体器件及模拟电路》、《数字电路基础及快速识图》等，后期将推出电子技术专题读物。各读本的内容前后关联（先原理，后应用；先元件，后电路；先基础，后专题），可组成一套较系统的电子技术读物。但各册的内容又相对独立，读者可视自身情况进行选择，如初学者可系统地阅读，有一定基础者可择册选读。

本套读本在内容安排上尽量做到由浅入深、循序渐进、内容精练、概念清晰、应用性强；在编写上，尽量用通俗的语言和图文结合的方式，阐明电磁学、电子技术各相关方面的基本原理和基本物理概念，尽量避免冗长的理论分析，淡化烦琐的数学推导，简明扼要地阐明必须掌握的核心内容及问题的实质，突出应

用；在写法上，每章节按“要点”、“基本内容”、“例题”（或“实例”）依次讲解，还有选择地设置了“相关知识”、“知识链接”、“应用知识”等栏目，重点突出、层次分明。

这套电子爱好者读本虽然是为广大电子爱好者编写的，但也适合于在读的大中专院校及职业院校的学生阅读、参考。全日制学生必学科目多，课业重。过量的知识灌输、冗长的理论分析以及复杂的数学推导，使多数学生头脑胀满、不堪重负。本套读本的内容涵盖了电气、电子类专业的电磁学、电工学、电子技术基础（包括模拟电子技术和数字电子技术）、电子元器件等课程的主要内容，但内容精练、选材得当。对电磁学、电工学及电子技术中的重要定律（定理）和相关概念、原理，均有明确的定义和扼要说明，表述确切、概念清晰、重点突出。本套读本可帮助读者从过量灌输的知识中理清思绪、分清主次、抓住并掌握核心内容和问题的实质。同时，本套读本除基本内容外，还编进了大量应用知识、相关知识、具体应用实例、分析方法、设计技巧和实践经验，这对于培养能力、扩大知识面和提高素质是有益的。

本套读本由陈永甫主笔，谭秀华、陈一民、高国君、龙海南、李芬华、潘立冬、舒冬梅、景春国、张微、陈立和张梦儒等参加了编写工作。

关于书中相关栏目的说明

◆ **要点：**位于每节的开始，点明该节的实质内容或结论，以利于读者了解所讲述的中心内容和精髓所在。

◆ **基本内容：**是本节的主要部分，对“要点”点明的内容进行详细介绍或系统论证，突出基本概念和基本定律，语言通俗，易学易懂。

◆ **例题：**结合内容，列举典型例题，以有助于深入理解课程内容，消化所学知识，并从中学习解决问题的方法，提高分析问题的能力。

◆ **相关知识：**穿插于各章节之中，对与所讲内容相关的知识或连带的技术（信息）做扼要说明或介绍，加强知识间的链接，拓宽知识面。

◆ **应用知识：**穿插于各章节中，结合书中内容，联系实际，列举应用实例或典型现象，进行简短说明或分析，学用结合，提高读者的应用能力和动手制作能力。

◆ **图表的使用：**为了便于理解所讲内容，书中安插了大量配图，图形绘制精细，表达确切，图文结合，易学易懂；书中也配备了大量数据表格，资料来源确切、翔实，可直接用来进行电路计算或工程设计。

◆ **小结：**每一章的结尾都附有小结，起画龙点睛的作用。只要读懂了每节开头的“要点”及后面的“小结”，应该说已经掌握了该章的实质内容和精髓。“要点”和“小结”旨在帮助读者掌握课程内容的重点，检查学习效果，并起到归纳总结的作用。

目 录

第1章 电荷和电场	1
1.1 摩擦起电现象	1
1.2 电荷的产生与电量	2
应用知识 油罐车尾部的拖地铁链是干什么用的	4
1.3 静电力与库仑定律	4
相关知识 1 库仑 (C) 异性电荷间的静电力有多大	6
1.4 电场、电场强度和电位	7
相关知识 矢量的概念及其表示方法	9
1.5 静电感应与静电屏蔽	10
应用知识 用自制的验电器做静电实验	12
1.6 感应电荷与尖端放电	13
应用知识 避雷装置的防雷作用	15
小结	16
第2章 直流电路	18
2.1 电流的概念、大小和方向	18
相关知识 直流电流的测量	20
2.2 电压的概念、大小和方向	22
相关知识 直流电压的测量	25
2.3 导体、半导体、绝缘体、电阻及其性质	26
应用知识 漏电的阻断与绝缘材料的使用	30
2.4 直流电路和局部电路欧姆定律	31
相关知识 非线性电阻元件及其 V—A 特性	35
2.5 电阻的串联、并联和混合连接	36
应用知识 多量程电流表与分流电阻 (并联应用)	40
多量程电压表与分压器 (串联应用)	41
2.6 电功、电功率与焦耳定律	42
应用知识 热量单位——焦耳和卡 [路里]	44

电能与热能的换算	44
小结	45
第3章 电源、电动势以及电池	47
3.1 电源和电动势	47
3.1.1 电源	47
3.1.2 电动势	48
3.2 一次电池和充电电池	49
3.2.1 电池是什么	49
3.2.2 一次电池及其工作原理	49
3.2.3 充电电池及其工作原理	51
应用知识 一次电池的种类及其特点	55
充电电池的主要种类及应用	56
3.3 电池的连接及其总电动势和内阻	56
3.3.1 电池的连接方式	57
3.3.2 电池组的内阻及总电动势	58
应用知识 充电电池和干电池的标识及选用	60
3.4 太阳(能)电池	61
3.4.1 光电池的用途	61
3.4.2 光电池的种类、工作原理和结构	62
3.4.3 常用硅光电池	64
3.4.4 硅光电池的检测及应用	65
应用知识 太阳能光伏电源系统	68
小结	69
第4章 磁场、电与磁的相互作用	71
4.1 磁铁、磁荷及库仑定律	71
4.2 磁场、磁力线及磁场强度	74
相关知识 地球磁体、地极、磁极及生物磁	77
4.3 磁通、磁通密度与磁导率	78
相关知识 磁导率 μ 及磁介质分类	80
4.4 载流导线及线圈产生的磁场	80
应用知识 电流进出的图形符号(标志)	83
4.5 电流与磁场强度的关系——安培环积分定律	84

4.6 磁场对通电导体的作用力	86
应用知识 用电动机左手定则设计直流电动机	88
4.7 磁场对运动电荷的作用力	89
应用知识 洛仑兹力与显像屏上的电子束扫描	90
小结	91
第5章 电磁感应和感应电动势	93
5.1 电磁感应现象	93
5.2 感应电动势与发电机右手定则	93
应用知识 “动磁生电”与直流发电机	95
5.3 楞次定律和法拉第电磁感应定律	97
5.4 自感电动势、自感系数和电感线圈	100
应用知识 日光灯的点亮与自感电动势	104
5.5 互感应、互感电动势和互感系数	105
5.6 涡流——大平面上流动的感应电流	108
应用知识 电磁炉的构造与涡流加热原理	110
阿拉戈圆盘及其应用	111
小结	112
第6章 单相交流电及其基本电路	115
6.1 交流电的概念	115
6.2 正弦交流电动势的产生	116
相关知识 三角函数及其典型数值	119
6.3 正弦交流电的基本物理量	119
6.3.1 正弦交流电的周期、频率和角频率	120
6.3.2 正弦交流电的相位、初相位和相位差	121
相关知识 弧度的概念及弧度角	124
6.4 正弦电流的有效值	125
相关知识 $I = 0.707I_m$ 的证明及物理意义	127
$I_{av} = 0.637I_m$ 的证明及物理意义	128
6.5 正弦交流电的几种表示方法	129
6.5.1 解析式(三角函数式)	129
6.5.2 正弦曲线法(波形图)	130
6.5.3 旋转矢量表示法	130

6.5.4 正弦量的相量表示法	131
相关知识 正弦量为什么用复数表示	135
复数的四种表示式	135
复数的四则运算	136
6.6 单一参数的正弦交流电路	137
6.6.1 纯电阻交流电路	137
6.6.2 纯电感交流电路	139
6.6.3 纯电容交流电路	142
相关知识 R、L、C 元件在交、直流电路中的应用特点	144
6.7 电阻和电感的串联电路	145
6.8 电阻和电容的串联电路	149
相关知识 相位差及相位的超前与滞后	152
6.9 电阻、电感和电容的串联电路	153
6.10 电阻和电感串联后再与电容并联的交流电路	156
6.11 感性负载的并联补偿及功率因数的提高	160
应用知识 具有无功功率补偿功能的日光灯电路	162
小结	164
第7章 三相交流电路	168
7.1 概述	168
7.2 三相交流电动势的产生	169
相关知识 对称三相交流电动势的四种表示方法	172
7.3 三相电源的连接	172
7.3.1 三相交流电源的星形 (Y) 连接	172
7.3.2 三相交流电源的三角形 (Δ) 连接	175
7.4 三相负载的连接	177
7.4.1 三相负载的星形 (Y) 连接	177
7.4.2 三相负载的三角形 (Δ) 连接	178
相关知识 三相负载中各电压和电流的关系	181
7.5 三相交流电路的功率	181
应用知识 三相负载怎样连接才更合理	184
小结	185

第8章 电源变压器和特别用途变压器	187
8.1 变压器的工作原理	187
8.1.1 概述	187
8.1.2 变压器的电压变换原理	188
8.1.3 变压器的阻抗变换原理	190
8.2 实际变压器的损耗及主要技术参数	191
8.2.1 变压器的损耗	192
8.2.2 变压器的主要性能参数	193
8.3 电源变压器的分类和结构	194
8.3.1 电源变压器的分类	195
8.3.2 单相电源变压器	196
8.3.3 三相变压器	198
8.4 特别用途的变压器	200
8.4.1 自耦变压器	200
8.4.2 电焊变压器	202
8.4.3 电流互感器	205
8.4.4 电压互感器	208
8.4.5 音频变压器	210
8.4.6 中频变压器	214
8.4.7 行输出变压器	216
应用知识 变压器与直流稳压电源电路	217
三相桥式整流电路	218
小巧的钳形电流表	219
电压、电流组合互感器	220
变压器耦合推挽放大单元电路	220
单调谐和双调谐中频放大器	223
小结	225
附录1 电工电子技术常用公式	227
附录2 国际单位制 (SI) 的基本单位和常用导出单位一览表	231
附录3 电工电子技术常用的法定单位与符号	234

第 1 章

电 荷 和 电 场

我们每天都在和电打交道：电灯的点亮照明，电扇、空调器的运转，电炉、电炊具的使用，收录机、电视机的收听、收看，微机办公、上网等，都离不开电。电究竟是什么？它具有什么特征？这些基本问题就是本章要讨论的内容。

1.1 摩擦起电现象

要点

摩擦可以使物体带电，即能产生电荷。电荷有正、负两种，电荷之间有相互作用力。同性电荷相斥，异性电荷相吸。

人们对电的认识，最初来自摩擦起电。早在公元前五六百年之前，古希腊人就发现用琥珀或玻璃棒摩擦丝绸后，能够吸引羽毛和轻小的物体碎片。我国在西汉年间（公元前1世纪末），有人发现玳瑁经摩擦后能吸引细碎的纸屑、布片。史书记载为“玳瑁拾芥”。我们不少人还经历过用牛角或胶木制作的梳子梳理干燥的头发时，常发出劈劈啪啪的响声，摩擦过的梳子也能吸引纸屑等碎物。人们把这种现象叫做“摩擦起电”，或者说物体“带了电”，如图1-1所示。

通过下面的实验还会发现，不同物体摩擦后带的“电”也不同。将用毛皮摩擦过的一根胶木棒悬吊起来，再将另一根同样被毛皮摩擦过的胶木棒去靠近它的一端，如图1-2（a）所示，将会发现两根胶木棒相互排斥；若用一根用丝绸摩擦过的玻璃棒去接近该悬吊着的胶木棒，会发现两者相互吸引，如图1-2（b）所示。

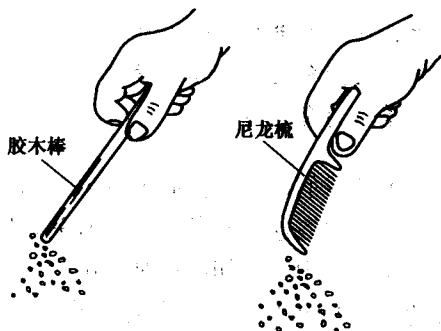


图 1-1 摩擦起电现象

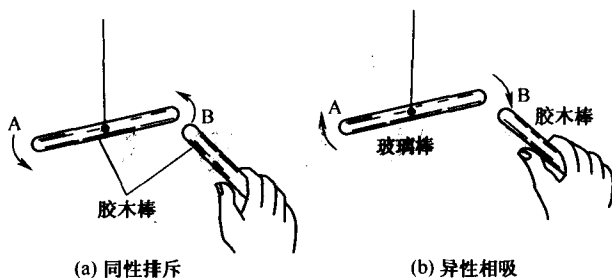


图 1-2 电的相互作用

上述实验说明，用毛皮摩擦过的胶木棒上所带的电荷与用丝绸摩擦过的玻璃棒上所带的电荷，是两种不同性质的电荷。历史上曾规定：被丝绸摩擦过的玻璃棒上所带的电荷为正电荷，用“+”号表示；而胶木棒被毛皮摩擦后所带的电荷为负电荷，用“-”号表示。这些规定一直沿用至今。

大量实验证明，所有其他物体，无论用什么方法使它带电，所带的电荷或者与玻璃棒上的电荷相同（即带正电荷），或者与胶木棒上的电荷相同（即带负电荷）。因此，可以得出：

- ① 摩擦可以使物体带电，即产生电荷。
- ② 在自然界中，电荷有正电荷和负电荷两种。
- ③ 电荷与电荷之间有相互作用力，同性电荷相斥，异性电荷相吸。

1.2 电荷的产生与电量

► 要点

电荷是客观存在的物质，为物体所固有，它只能从一个物体转移到另一个物体上，这就是电荷守恒定律。当由于某种原因，物体失去电子后便带正电，获得电子后就带负电。物体所带电荷的数量称为电量。将一个电子所带的电量定义为一个单位的负电荷。

上节我们讲了摩擦起电现象。那么，摩擦起电的机理是什么？电荷是怎样产生的？要回答这一问题，需从有关物质的电结构讲起。

自然界中的一切物质都是由分子所组成的，而分子则是由一些更小的微粒组成的，这些更小的微粒就是原子。原子则是由原子核和围绕它旋转的电子组成的。原子核中有质子和中子，中子不带电，质子带正电。一个质子所带的电量和

一个电子所带的电量相等。电子有规则地分层分布在原子核周围，并且围绕着原子核在轨道上作等速运动，如图 1-3 所示。

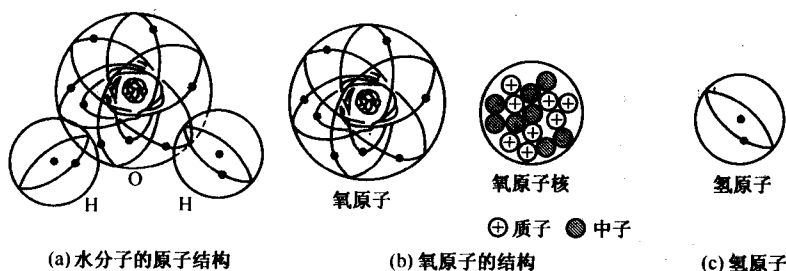


图 1-3 几种物质分子的结构

在正常情况下，无论何种物质，原子核所带的正电荷（质子）的总数与原子核周围负电荷（电子）的总数是相等的。电子围绕着原子核不停地运动，并且受到原子核的束缚，跟地球、水星和火星围绕着太阳旋转相似，如图 1-4 (a) 所示。由于原子核所带的正电荷和周围电子所带的负电荷相等，原子作为一个整体，对外不呈现带电的性质，即呈中性状态。当原子失去电子后，就带正电，如图 1-4 (b) 所示；而当原子俘获额外电子时，就带负电。

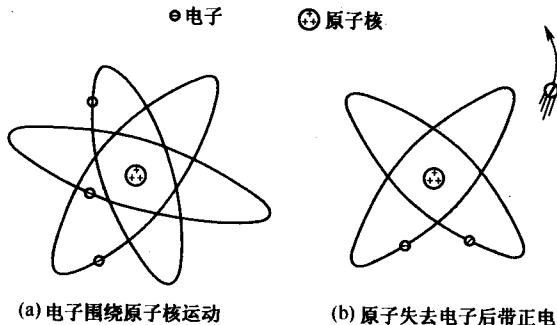


图 1-4 原子的电结构

在了解了原子的电结构后，我们再回到摩擦如何起电上来。当用丝绸摩擦玻璃棒时，玻璃棒的温度会升高，增强了玻璃棒内分子、原子的热运动，使得玻璃棒中带负电的电子较容易地摆脱原子核的束缚而逸出，并被丝绸俘获。结果，失去电子的玻璃棒就带了正电，获得了多余电子的丝绸就带了负电。因此，所谓摩擦起电可理解为摩擦“分”电，不过是利用摩擦将物体里的原本存在的正、负电荷分离并转移的结果。

由此可见，正、负电荷是物体固有的，它们既不能被创造，也不能被消灭，只能从一个物体转移到另一个物体上，或者从物体的一部分转移到另一部分。这

个规律叫做电荷守恒定律。

物体带电的现象称做静电现象，摩擦起电就是常见的静电现象。

大量实验证实，任何物体的电子，其大小、质量和电荷都是相同的。将一个电子所带的电量定义为一个单位的负电荷。

物体所带电荷的数量称为电量，常用符号 Q 表示。衡量电量大小的单位叫做库仑（简称库），用符号 C 表示。大量实验证实，1 库仑（1C）约等于 625×10^{16} 个电子所带的电量，即 625 亿亿个电子所具有的总电量为 1 库仑（1C）。



应用知识

油罐车尾部的拖地铁链是干什么用的

你是否注意到马路上的油罐车或送油汽车的尾部拖着一根金属链条？它有什么作用呢？

汽车在快速行驶过程中，油罐或油筒里的汽油、柴油会随着车的运动、颠簸与油罐或油筒的壁发生冲撞和摩擦。由于摩擦生电，油罐或油筒内就会产生许多电荷而带电。我们知道，汽车的轮胎是用不导电的橡胶制作的，大量电荷无处泄放，会在油罐或油筒的壁上越聚越多，并可能产生火花，从而导致油燃烧、爆炸。运油车，甚至运货车在跑车时发生爆炸，新闻媒体时有报导。

在车尾部接上一根拖地铁链，就可以随时将油罐或油筒内积聚的电荷通过大地释放掉，防止运油车发生自燃或爆炸事故，如图 1-5 所示。

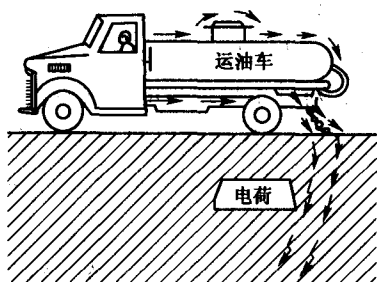


图 1-5 运油车尾部的拖地铁链释放摩擦生电的电荷

1.3 静电力与库仑定律

要点

静电荷之间存在着作用力，称做静电力。点电荷间的相互作用力定律叫做库仑定律。该定律指出：两个点电荷间的作用力与它们的电量的乘积成正比，与它们之间的距离的平方成反比。作用力的方向在它们的连线上。库仑定律的数学表达式为

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{N})$$

式中: K 是比例常数, $K = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

一、电荷间的作用力

实验发现, 电荷之间会发生相互作用: 同种电荷互相排斥, 异种电荷互相吸引, 如图 1-6 所示。

带电荷的物体称为带电体。与电荷一样, 带电体之间也存在相互作用, 如图 1-6 所示。带电体上的电荷处于静止状态下, 称为静电。

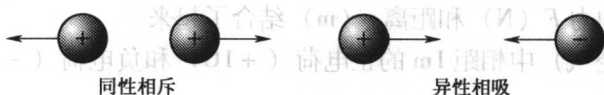


图 1-6 电荷间相互作用示意图

静电荷之间存在作用力, 称为静电力。两个电荷之间作用力的大小与带电量的多少及它们之间的距离有关。法国物理学家库仑研究发现, 带电荷量越多, 距离越近, 其作用力就越大。

二、库仑定律

两个点电荷间的作用力 F 表示为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

式 (1-1) 即为静电场的库仑定律。式中: F 为电荷间的作用力, 作用力的方向在两电荷的连线方向上 (如图 1-7 所示), 它的单位是牛顿 (N); r 为两个点电荷之间的距离, 单位是米 (m); Q_1 、 Q_2 分别为两个点电荷

的带电量, 其单位是库伦 (C); ϵ 称为介电常数, 随电极间的物质不同而不同, 在真空 (空气) 中为 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ (F/m)}$ 。

在真空中, 两个点电荷间的静电力为

$$F = 8.99 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{N}) \quad (1-2)$$

静电的库仑定律说明: 两个电荷之间的作用力 F 与两个电荷量 Q_1 (C) 和 Q_2 (C) 的乘积成正比, 与电荷间距离的平方 r^2 成反比。

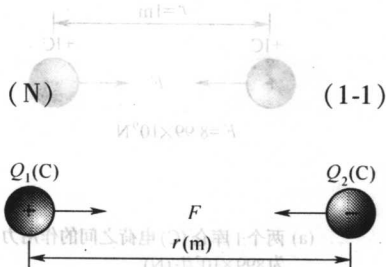


图 1-7 库仑定律的图示 (异种电荷情况)

利用静电的同种电荷相斥、异种电荷相吸的作用，可解释自然界中不少现象，并设计出一些电子设备，如空气净化器的集尘、静电涂覆、静电复印等。大家常用的复印机，其复印原理也是利用静电效应。它是先将着色剂吸附在磁鼓上，然后再转印到复印纸上进行复印的。



相关知识

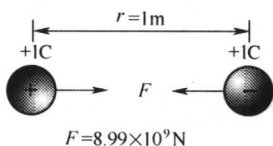
1 库仑 (C) 异性电荷间的静电力有多大

在真空（或空气）中两个点电荷 Q_1 (C)、 Q_2 (C) 间的静电力的库仑定律用式 (1-2) 表示。该式是电磁学中的重要公式，它把电磁现象中最根本的物理量电荷与普通的力 F (N) 和距离 r (m) 结合了起来。

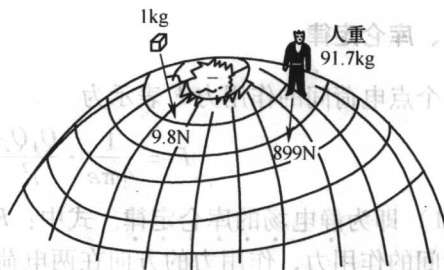
真空（或空气）中相距 1m 的正电荷 (+1C) 和负电荷 (-1C) 之间的吸引力为

$$F = 8.99 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{1^2} = 8.99 \times 10^9 \text{ (N)}$$

这个作用力有多大呢？下面以地球引力进行对比说明，请看图 1-8 所示的静电力和地球引力示意图。



(a) 两个 1 库仑 (C) 电荷之间的作用力为 8.99×10^9 牛 (N)



(b) 体重达 91.7kg 的人与地球间的引力仅为 899 牛 (N)

图 1-8 有关静电力和地球引力的对比示意图

与式 (1-2) 所给的点电荷的作用力一样，两个质点之间存在着万有引力。该引力 F 与两质点的质量的乘积 $M \times m$ 成正比，与距离 r 的平方成反比，即

$$F = G \frac{M m}{r^2} \text{ (N)} \quad (1-3)$$

式中 G 为万有引力常数，在真空（或空气）中 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ，将 G 代入式 (1-3)，则有

$$F = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{M m}{r^2} \text{ (N)} \quad (1-4)$$