

Mc  
Graw  
Hill

Education

美国高中主流理科教材

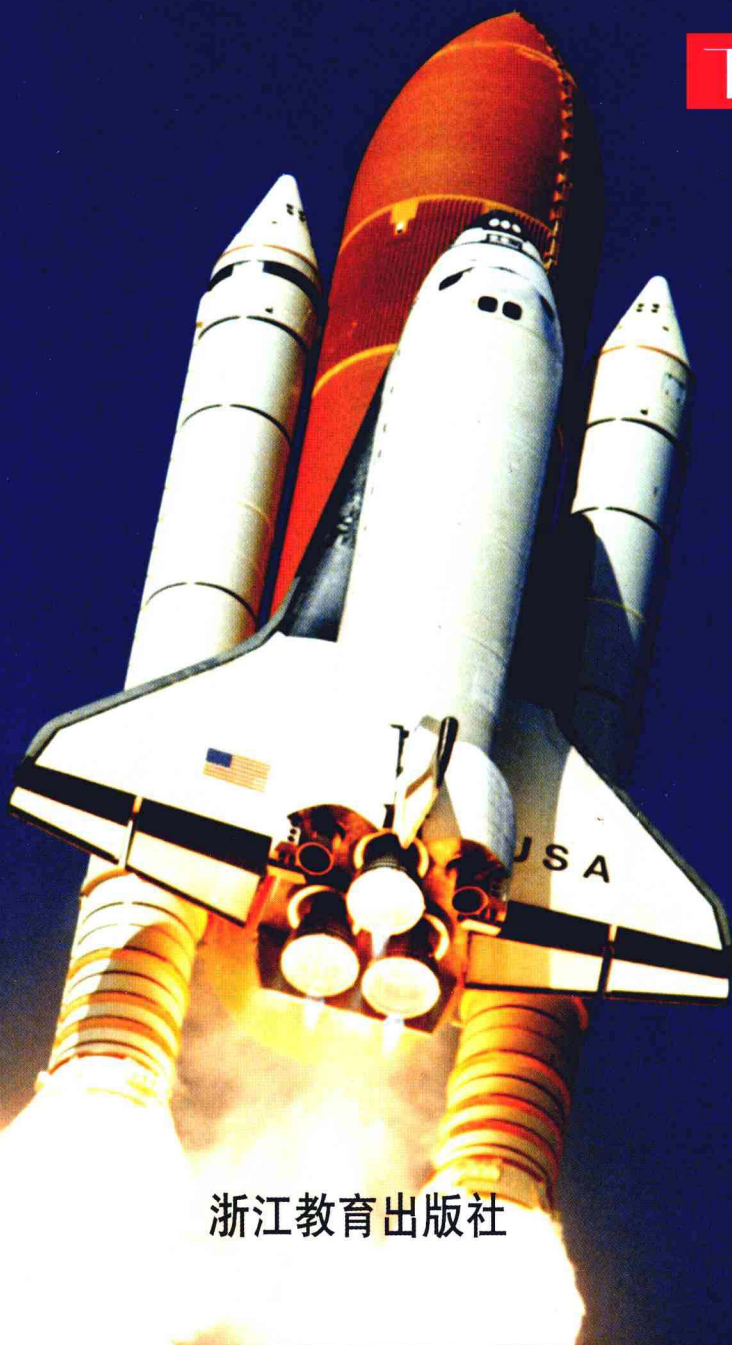
科学发现者

# 物理

# Physics 原理与问题

*Principles and Problems*

下册



浙江教育出版社

美国高中主流理科教材

科学发现者

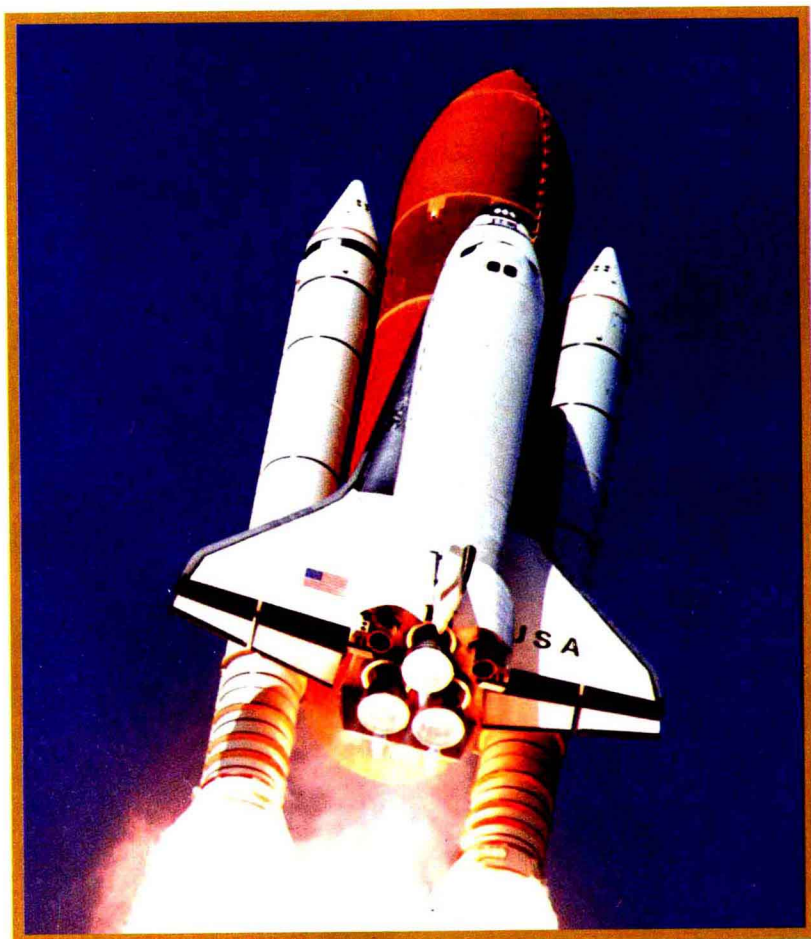
# 物理

# Physics

# 原理与问题

*Principles and Problems*

下册



浙江教育出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

科学发现者. 物理 原理与问题 下册 / (美) 齐泽维茨(Zitzewitz, P.W.)等著; 钱振华等译. —杭州: 浙江教育出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-5338-7248-9

I. 科… II. ①齐… ②钱… III. 物理课—高中—教学参考资料 IV. G634

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第118044号

### 科学发现者

### 物理 原理与问题

出版发行 浙江教育出版社(杭州市天目山路40号 邮编 310013)

原著名 PHYSICS principles and problems

原出版 McGraw-Hill Education Glencoe

翻译 钱振华 沈珊雄 徐在新

责任编辑 周延春

封面设计 曾国兴

责任校对 郑德文

责任印务 温劲风

图文制作 君红阅读(北京)出版咨询有限公司

印刷 杭州富春印务有限公司

开本 787×1092 1/16

印张 54.25

字数 1 250 000

版次 2008年8月第1版

印次 2008年8月第1次

印数 0 001—5 000

标准书号 ISBN 978-7-5338-7248-9

定价 120.00元(上、中、下册)

联系电话: 0571-85170300-80928

e-mail: zjyy@zjcb.com

网址: www.zjeph.com

本书封底贴有麦格劳-希尔公司激光防伪标签, 无标签者不得销售。

# 第20章 静电

## 内容提要

- 观察电荷的行为，分析这些电荷是怎样与物质发生作用的。
- 考察存在于电荷之间的作用力。

## 学习本章的意义

在印刷机、复印机等设备的工作中，都应用了静电技术。但是，对于电子器件和闪电而言，静电现象却存在很大的危害。

**闪电** 你碰触到门的把手时所感受到的小火花，暴风雨中令人目眩的闪电等，都是放电现象的实例。尽管在这些情况中，电荷的产生过程及放电的规模有很大的区别，但它们的本质却是类似的。

## 想一想 ▶

雷电云层中形成电荷的原因是什么？它又是怎样以如此壮观的闪电形式放电的？



## 起步实验



### 塑料尺吸引小纸屑

#### 问题

将经毛皮摩擦过的塑料尺移近小纸屑时，你会看到什么现象？

#### 步骤

1. 用打孔机打下15~20片碎圆纸屑，将它们放在桌面上。
2. 取一把塑料尺，将它与一块毛皮摩擦。
3. 将这把尺移近碎圆纸屑，观察这把尺对纸屑的作用。

#### 分析

当尺移近纸屑时，有什么现象发生？当这些纸屑与尺接触后，又有什么现象发生？当尺移近纸屑时，你是否观察到某些未曾预料到的结果？如果是，请描述这些结果。

#### 理性思维

当尺移近纸屑之前，有哪些力作用在纸屑上？当尺移近纸屑时，你能否推断出纸屑受到了哪些力的作用？

根据你对上述问题的思考，提出一种假设，以解释尺对纸屑的作用。



## 20.1 电荷

**你**是否有过这样的体验：当你走在地毯上时，你的鞋子在与地毯充分摩擦后，如果再接触其他某个物体时，你的鞋底会有火花产生。1752年，富兰克林（B. Franklin）用他著名的风筝实验证明，闪电和摩擦所引起的火花是同一回事，由此激发了人们对电学领域的研究兴趣。富兰克林在实验中，将一串钥匙系在风筝上，并将这只风筝放飞到天空。当暴风雨来临时，他发现风筝线上松弛的部分开始向上竖起并摆动起来。而当富兰克林将他的指关节靠近这串钥匙时，产生了火花。用这种方法产生的电即为静电。

本章中，你将重点对**静电（electrostatics）**进行研究。静电的特点之一是能被人们收集并储存起来。从宏观世界的闪电现象，到微观世界的原子分子，都可以观察到静电的作用。由电池和发电机产生的是电流，而与电流有关的内容将在以后章节中讨论。

#### ► 学习目标

- 指出带电物体之间存在的作用力，包括吸引力和排斥力。
- 理解起电是电荷的分离过程，而不是电荷的创生过程。
- 描述导体和绝缘体之间的区别。

#### ► 关键术语

静电  
电中性  
绝缘体  
导体

## 带电物体

不知你是否注意到，在空气干燥的日子里，当你用塑料梳子梳头时，你的头发会被梳子吸引过去。如果用一只气球摩擦你的头发，你的头发就会竖立起来。或许你还观察到这样的现象：当你从干衣机中取出衣物，尤其是袜子时，它们有时会粘在一起。从这些现象，你也许就可以理解本章开头的塑料尺吸引小纸屑的实验了。如图20-1所示，在这个实验中，许多纸屑被尺子所吸引。这表明，有一个较强的力作用在纸屑上，且这个力所引起的向上的加速度比重力导致的向下的加速度更大。

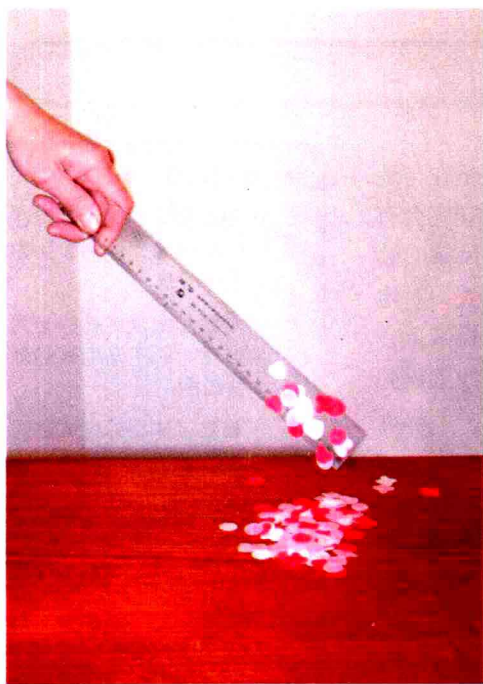
这个力和重力之间还存在其他的区别。只有用毛皮摩擦过的塑料尺才会吸引纸屑；而过一会儿后，尺子的这种吸引能力就会消失。与此不同的是，重力既不需要摩擦，也不会消失。当年，古希腊人在摩擦琥珀时，发现了与此类似的现象。琥珀一词在希腊语中为“elektron”，因此人们将这种吸引轻小物体的特性称为电，将物体经过摩擦而显示出电荷相互作用的过程称为起电。

**同种电荷** 事实上，你可以使用非常简单的器材（如透明胶带）来揭示电荷的相互作用。将一条胶带的一端折叠起5 cm作为把手，然后将余下的长约8~12 cm的部分贴在干燥、光滑的书桌上。然后，在它的旁边贴上第二条相同的胶带，并快速地将它们从桌面上拉起并使它们彼此靠近。这时你会看到，这两条胶带相互排斥，于是人们就说它们带电了。由于使它们带电的方法相同，因此它们带有的必然是同种电荷。这样，你就通过实验证明了带电物体的一条重要特性——带同种电荷的物体相互排斥。

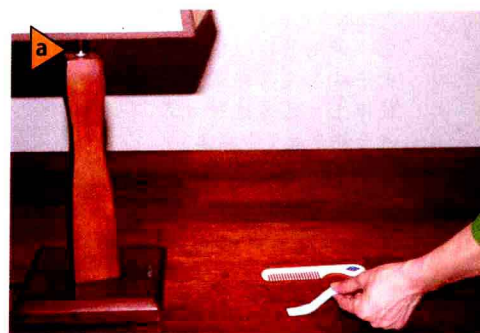
你还可以通过一些简单的实验了解更多的静电知识。例如，你可能会发现，这种胶带也会被你的手所吸引。那么，是两面都能被吸引，还是仅仅一面被吸引呢？此外你还会发现，用不了多久，胶带上的电荷就会消失，尤其是在空气潮湿的日子里。当然，你可以再次采用上述方法使胶带带电。你也可以通过用你的手指在胶带两面轻轻摩擦的方法，将胶带上的电荷移去。

**异种电荷** 现在，请将一条胶带贴在桌面上，再将另一条胶带贴在第一条的上面。如图20-2a所示。然后，拉住下方胶带的把手，使两条胶带一起离开桌面。用你的手指摩擦它们，直到它们不再被手吸引。这表明，你已经移走了胶带上的所有电荷。此时，如果用你的双手分别拉这两条胶带的把手，快速地将它们分开，你就会发现，它们又都带电了，且同时被你的手所吸引。那么这时它们是否依然相互排斥？答案是否定的，它们相互吸引了。这表明它们都带了电，但两者所带的不再是同种电荷，而是异种电荷。

■ 图20-1 用毛皮摩擦过的塑料尺对小纸屑产生了吸引力。当这把尺靠近纸屑时，这个吸引力就会使纸屑克服重力而向上做加速运动。



再次将两条胶带重叠地贴在桌面上。将下方的胶带标记为B，上方的胶带标记为T。将它们一起从桌面上拉起，使其放电，再将它们分开。然后，将这两条胶带的把手端分别粘在桌子、灯罩或其他类似物体的边缘上，并保持一定的距离。如果此时将在衣服上摩擦过的梳子或笔杆逐一靠近这两条胶带，你就会发现，其中的一条胶带被梳子等物件吸引，而另一条却被排斥，如图20-2b所示。这样，你就能通过胶带来揭示带电物体间的相互作用了。



**电荷实验** 你可以通过什么方法使其他物体，如玻璃、塑料袋等带电呢？其实方法很简单：只要用丝绸、羊毛、塑料纸等不同的材料与它们摩擦即可。如果空气干燥，你还可以将脚上的鞋子在地毯上摩擦几下，然后再将你的手指靠近塑料袋，使其带电。如果你想要检验丝绸或毛皮等布料的带电情况，那么你可以在手上套一只塑料袋。在与布料摩擦后，从塑料袋中抽出你的手，然后将塑料袋和布料一同靠近胶带纸条。这样，通过观察它们的吸引或排斥情况，你就可以一目了然地得到结果了。



■ 图20-2 两条胶带可以带有异种电荷(a)，因此它们可用来演示同种电荷与异种电荷的相互作用(b)。

大多数带电物体会吸引一条胶带而排斥另一条胶带。你永远也不可能发现对两条胶带都排斥的物体。但是你却会发现，某些物体对两条胶带都会产生吸引。例如，你的手指就可能将两条胶带都吸引过来。在本章后面部分，你将会探讨这种情况。

**电荷的种类** 通过上面的实验，你可以列出一张表，标记为B，表中的物体与贴在桌面上的下方胶带带有同种电荷。你还可以列出另一张表，标记为T，表中的物体与上方的胶带所带的电荷相同。不过，你无法列出第三张表，因为自然界中只存在两种类型的电荷——富兰克林分别称它们为正电荷和负电荷。根据富兰克林的规定，硬橡胶在与塑料摩擦后，所带的是负电荷；玻璃在与毛皮摩擦后，所带的是正电荷。

正如你已经证明的一样，原本不带电的两条胶带可以带异种电荷。你还可以证明，如果用毛皮摩擦塑料，那么塑料带负电，毛皮带正电。两类电荷不可能单独产生，而只能成对产生。这些实验表明，物体通常只能有两类电荷，即正电荷和负电荷。通过某些方式的接触，正、负电荷可以分离。若想进一步了解这一点，你必须考察物质的微观图像。

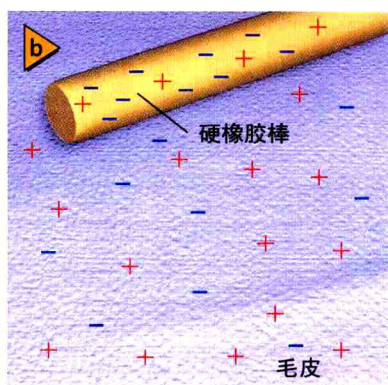
## 从微观角度考察电荷

电荷存在于原子中。1897年，汤姆孙(J.J.Thomson)发现，所有物质都包含质量很小且带负电荷的粒子，这种粒子被称为电子。在1909~1911年间，汤姆孙的学生，来自新西兰的卢瑟福(E.Rutherford)发现，原子中有一个质量很大的带正电的核。如果原子核所带的正电荷等于周围电子所带的负电荷，那么就说法原子呈电中性(neutral)。

### 颜色惯例

- 正电荷用红色表示。
- 负电荷用蓝色表示。

■ 图20-3 在用毛皮使硬橡胶棒带电的过程中，一些电子从毛皮转移到了硬橡胶棒上。通过这种方式，两者都变成了带电体。



借助外部能量，外层电子可以从原子中脱离。从整体上看，失去电子的原子带正电，因此，任何由这种缺少电子的原子所构成的物质都带正电。从原子中脱离的电子可以保持独立状态，或者附着在另外的原子上，成为带负电的粒子。从微观的角度看，物体获得电荷的过程就是电子的转移过程。

**电荷的分离** 如果两个电中性的物体相互摩擦，那么每个物体都将带电。例如，当硬橡胶棒和毛皮摩擦时，毛皮原子中的电子便转移到了硬橡胶棒上，如图20-3所示。硬橡胶棒上多余的电子使它带负电；失去电子的毛皮则带正电。但是，这两个物体的总电荷保持不变，即电荷是守恒的。这也从一个侧面说明，电荷既不能被创生，也不能被消灭，所有实际能够发生的只是通过电子的转移而使正负电荷分离而已。

摩擦会使行驶中的汽车或卡车的轮胎带电；雷电云内部的活动会使其底部云层带负电，顶部云层带正电。在这两种情况中，电荷都没有被创生，而只是被分离了。

## 导体和绝缘体

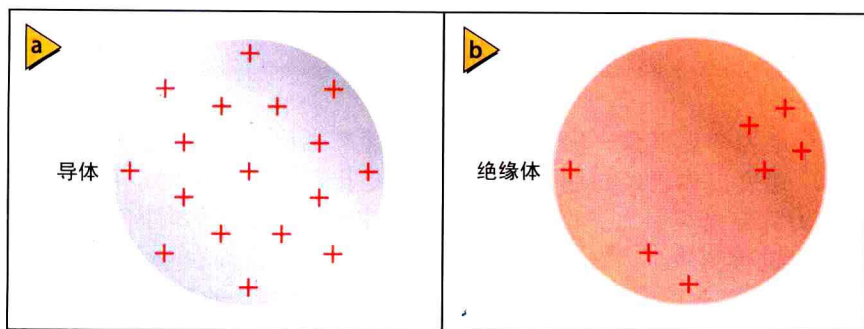
从中间握住一根塑料棒或一把梳子，只摩擦它们的一端，此时你会发现，只有被摩擦的一端带电了。换句话说，转移到塑料棒上的电子停留在原处而没有发生移动。在某些物体中，电荷很难发生移动，这些物体称为**绝缘体 (insulator)**。本章前面进行的起电实验中的胶带就是绝缘体。此外，玻璃、干燥的木头、大多数塑料、布料以及干燥的空气等，都是很好的绝缘体。

假定用绝缘体架起一根金属棒，那么金属棒就被绝缘了，或者说它完全被绝缘体包围了。此时如果用带电的梳子接触这根金属棒的一端，你就会发现，这些电荷会很快地散布于整根金属棒中。与绝缘体不同，在某些物体中，电荷很容易发生移动，人们将这种物体称为**导体 (conductor)**。例如，电荷能迅速地传遍整个金属，因此金属就是一种良导体。组成金属的每个原子中，至少有一个电子是很容易移动的，因此这

## 物理学的应用

► **导体还是绝缘体** 人们通常喜欢简单地将某种物体归入导体或者绝缘体，但事实上，这种分类可能会随着物体存在形态的改变而改变。例如，当碳以金刚石的形式存在时，它是一种绝缘体；而如果它是以石墨的形式存在的，它就变成导体了。这是因为，金刚石中的每个碳原子与另外四个碳原子总是紧密地结合在一起；然而，石墨中的每个碳原子只与另外三个碳原子有较强的作用力，而对第四个碳原子的束缚力较弱，因此在一定程度上容许其电子自由移动。这种内部结构的不同，导致石墨的导电性比金刚石强得多，虽然它们都是由同样的碳原子构成的。◀





■ 图20-4 导体中的电荷分布于整个表面(a), 而绝缘体中的电荷总是停留在它们原来的地方(b)。

些电子不是属于某个原子, 而是属于整个金属的, 它们可以在金属中自由穿行。如图20-4所示说明了电荷在导体和绝缘体中的区别。铜和铝都是很好的导体, 它们被广泛应用于电路中。等离子体(一种高度电离的气体)以及石墨也都是电的良好导体。

**空气可变为导体** 空气是一种绝缘体, 但在一定条件下, 它可变为导体, 使电荷在其中通过。例如, 当你穿着鞋子与地毯摩擦后再去开门时, 你的手指与门把手之间会有火花跳跃而使你放电, 放电后过量的净电荷离你而去, 你又呈现为电中性。同样地, 闪电是由于雷电云间的放电而产生的。在上述两种情况中, 空气在短时间内变成了导体。你之前已经学过, 导体中必须具有可以自由移动的电荷。所以, 在呈电中性的空气中, 必然可以形成可自由移动的带电粒子, 只有这样才会产生前面提到的电火花与闪电。当闪电发生时, 云层和大地中的过量电荷足以使电子从空气分子中脱离。这些电子会与带正电或带负电的原子形成等离子体(导体的一种)。大地与雷电云之间通过这种导体形式的放电而形成的明亮的电弧就是闪电, 而你的手指与门把手之间的放电则称为火花放电。

## 本节复习题

- 带电物体** 在与羊毛衣服摩擦之后, 塑料梳子就能吸引小纸屑了。为什么几分钟后这把梳子又会失去这种能力?
- 电荷的种类** 在本节开始所描述的实验中, 你如何知道究竟哪条胶带是带正电的?
- 电荷的种类** 木髓球是由轻质材料, 如泡沫塑料制成的小球, 其表面常常涂有一层石墨或铝粉。你该如何确定一只用绝缘线悬挂着的木髓球所带的电是正电还是负电?
- 电荷分离** 硬橡胶棒与毛皮摩擦后带负电。此时毛皮上的电荷会发生什么情况? 为什么?
- 电荷守恒** 一只苹果包含了亿万个带电粒子。当把两只苹果放在一起时, 为什么它们不会相互排斥?
- 使导体带电** 用丝线将一根长金属棒悬挂起来, 这样就可以认为它是绝缘的。现在用一根带电玻璃棒去接触这根金属棒的一端, 描述此时金属棒上的电荷分布情况。
- 摩擦起电** 硬橡胶棒在与毛皮摩擦后就会带负电。如果将一根铜棒与毛皮摩擦, 会发生什么情况?
- 理性思维** 曾有人提出, 电荷是一种流体, 它具有过量的这种流体的物体流向缺少这种流体的物体中。为什么两种电荷的流动模型比这种单流体的模型要好?

## 20.2 静电力

### 学习目标

- 归纳静电力与电荷以及两者距离之间的关系。
- 解释怎样通过传导和感应的方法使物体带电。
- 建立一种模型，显示带电物体是怎样吸引电中性物体的。
- 应用库仑定律求解一维和二维问题。

### 关键术语

验电器  
传导起电  
感应起电  
接地  
库仑定律  
库仑  
元电荷

**静**电力一定很强，因为它很容易就能产生比重力加速度更大的加速度。你已经知道，静电力可能是排斥力，也可能是吸引力，而重力肯定是吸引力。许多科学家曾经花费了许多年的时间，试图对静电力进行测量。因在流体力学领域的出色工作而闻名于世的伯努利(D. Bernoulli) 就曾在1760年对静电力进行过某种粗略的测量。1770年，卡文迪许(H. Cavendish) 证明了静电力服从平方反比关系，但他却一直没有公布他的这一研究成果。直到一个多世纪后，他的手稿才被人们发现，而那时，他所做的所有工作都已由别人重复完成并公布于世了。

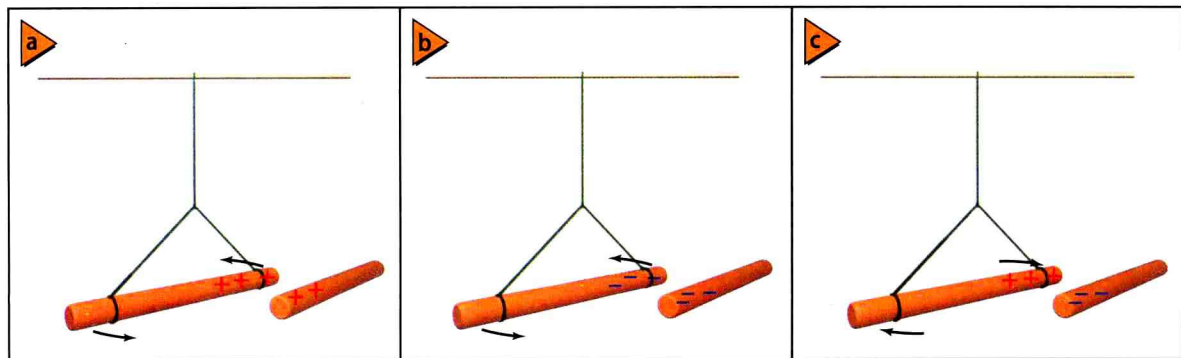
### 作用在带电体上的力

你在胶带实验中所观察到的力，也可以通过一根悬挂着的并能自由转动的带负电的硬橡胶棒来显示，如图20-5所示。如果将另一根带负电的硬橡胶棒接近这根悬挂着的硬橡胶棒，那么它就会被弹开。也就是说，两根带负电的棒，即使并不相互接触，也彼此排斥。它们之间的这种力称为静电力，它能超越距离产生作用。如果将一根带正电的玻璃棒悬挂起来，再将另一根带同种电荷的玻璃棒靠近它，那么这两根带正电的棒也会彼此相斥。但是，如果将一根带负电的硬橡胶棒靠近一根带正电的玻璃棒，它们就会彼此相互吸引，且悬挂着的玻璃棒将转向带异种电荷的硬橡胶棒。根据胶带实验以及带电棒实验的结果，可以得出以下结论：

- 电荷有两类：正电荷与负电荷。
- 电荷可以在相隔一定距离的情况下对其他电荷施加作用力。
- 当电荷彼此靠近时，这种力将会增强。
- 同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

无论是胶带实验还是带电棒实验，都不能非常灵敏且方便地确定物体所带的电荷。为此，科学家发明了一种称为验电器的仪器。验电器(electroscope) 上有一个金属球，它通过一根金属杆与两片又轻又薄的金属箔片相连。如图20-6所示为一只尚未带电的验电器，此时金属箔片自由下垂。验电器中的金属箔片被密封在瓶中，以消除空气流动对它的影响。

■ 图20-5 当一根带电棒移近另一根悬挂着的带电棒时，两者或者相互吸引，或者相互排斥。

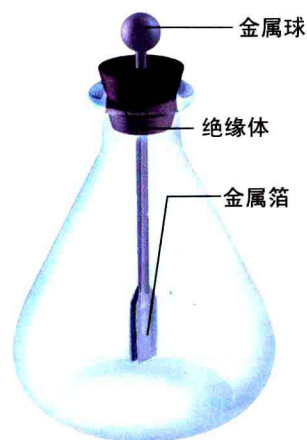


**传导起电** 当带负电的棒接触验电器上的金属球时，负电荷就会转移到球上。然后，这些电荷将遍布金属的整个表面，如图20-7a所示。由于两片金属箔片上都有了负电荷，它们便相互排斥而彼此分开，此时验电器获得了净电荷。通过与带电物体接触，使电中性的物体带电的过程称为**传导起电 (charging by conduction)**。如果验电器带的是正电，箔片也会张开。那么，怎样才能知道验电器带的究竟是正电还是负电呢？这可以通过将带有已知电荷类型的棒靠近该验电器的金属球，然后根据箔片张开的情况来确定。如果验电器与这根棒的电性相同，如图20-7b所示，那么箔片将分得更开；如果验电器与这根棒的电性相反，如图20-7c所示，那么箔片将靠拢。

**电中性物体上的电荷分离** 在本章开头的实验中，当你的手指接近胶带时，胶带被你的手指所吸引。但是你的手指是电中性的，它具有等量的正电荷与负电荷。你已经知道，金属中的电荷很容易移动。并且，在出现电火花的情况下，静电力可使绝缘体变成导体。根据这些知识，你就可以建立一个简单的模型，并用它来解释你的手指对带电胶带的施力问题。

假定你将你的手指或其他任何不带电的物体靠近一个带正电的物体，此时你手指中的负电荷将被这个带正电的物体所吸引，而你手指中的正电荷将被排斥。尽管此时手指仍保持电中性，但正负电荷却被分离了。你的手指与带电物体靠得越近，静电力越强。因此，电荷的分离使得你的手指与带电物体之间产生了吸引力。带电的塑料尺对电中性的纸屑的作用力同样也是这种电荷分离过程的结果。

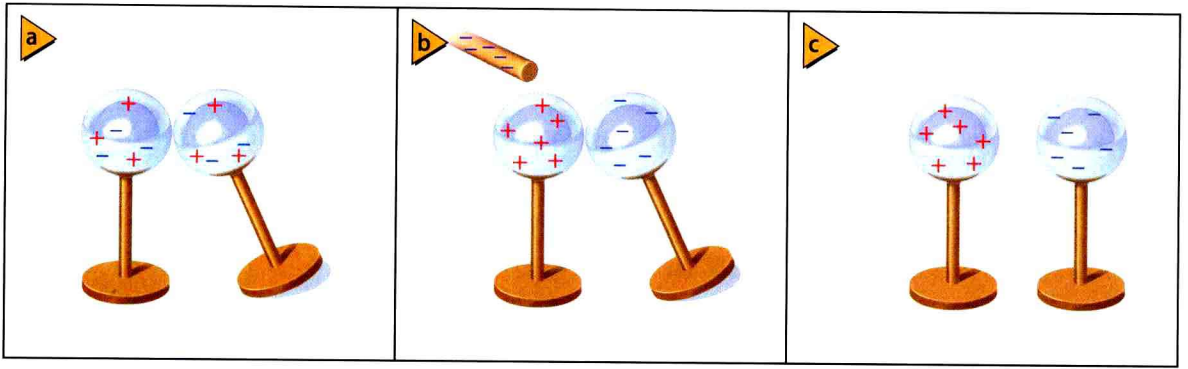
雷电云层下部的负电荷也能导致大地中的电荷分离，使得大地中的正电荷被吸引到云层下方的地球表面上去。云层与地面上的电荷之间的作用力可将空气分子电解为带正、负电荷的粒子。这些粒子可以自由运动，因此它们在大地与云层之间建立了导电通道。当雷电以500 000 km/h的数量级的速率通过这种导电通道，使得云层放电时，你就看到了闪电。



■ 图20-6 验电器是用来检验电荷的仪器。当验电器尚未带电时，两片金属箔自由下垂，几乎靠在一起。

■ 图20-7 验电器带负电后，它的两片金属箔片将分开(a)。带负电的棒将电子推向箔片，使金属箔片分得更开(b)；而带正电荷的棒吸引了一些电子，从而使两片金属箔片并拢些(c)。





■ 图20-8 感应起电的一种办法是让两个电中性的球相互接触(a)，将一根带电棒靠近它们(b)，然后将两球分开，再移去带电棒(c)。分开后，这两个球上所带的电荷的数值相等，但电性相反。

**感应起电** 如图20-8a所示，有两个完全相同且互相接触的带绝缘支架的金属球。当一根带负电的棒移近其中一个金属球时，如图20-8b所示，靠近棒的球上的电子就会被驱赶到离棒较远的那个球上，使其带负电。此时若将两球分开，那么每个球上便都带了电。而且，如图20-8c所示，它们所带的电荷的数量相等而电性相反。这种没有接触而使物体带电的过程称为**感应起电 (charging by induction)**。

单个物体通过**接地 (grounding)**的方法也能感应起电。接地就是将物体与大地连接以消除过量电荷的过程。地球是一个巨大的球体，它能吸收大量的电荷而不会成为明显的带电体。如果将一个带电体与大地接触，那么带电体上的所有电荷都会流向大地。

如图20-9a所示，当一根带负电的棒移近验电器的金属球时，电子被排斥到了箔片上。如果此时将验电器的金属球接地，那么这些电子就会不断地从验电器转移到大地，直到箔片变成电中性为止，如图20-9b所示。如果撤除接地，移走带电棒，此时验电器就如图20-9c所示，因缺少了电子而带正电。接地也可用来产生负电。例如，将带正电的棒移近一个接地验电器的金属球，那么大地中的电子将被吸引过来，验电器便获得了负电。在这个过程中，验电器上的感应电荷的电性与用来使它起电的物体的电性相反。由于带电棒始终未曾与验电器接触，它的电荷没有被转移，因此它可多次被用来使物体感应起电。

■ 图20-9 带负电的棒引起验电器中的电荷分离(a)。如果验电器接地，负电荷就会从验电器转移到大地中(b)。撤除接地，再移走带电棒，验电器上便只留下了正电荷(c)。



## 库仑定律

你已经看到，两个或多个带电体之间存在力的作用。在胶带实验中你又发现，这个力与距离有关。带电梳子离胶带越近，这个力就越强。你还发现，梳子所带的电荷量越多，这个作用力就越大。那么，在实验中，如何才能控制电荷量的变化呢？1785年，法国物理学家库仑(C.Coulomb)解决了这个问题。库仑使用了如图20-10所示的装置：一根绝缘棒的两端各有一个导体小球A和A'，绝缘棒用一根金属丝悬挂着。将一个同样的小球B固定在与球A相接触的位置上。当A、B两球与一个带电体接触后，电荷便均匀地分布在这两个球上。因为这两个球的大小相同，因此它们所带的电荷的数值相同。如果用 $q$ 表示电荷量，那么这两个球所带的电荷量可分别表示为 $q_A$ 和 $q_B$ 。

**静电力与距离的关系** 通过实验，库仑发现了两个带电小球之间的作用力与它们之间的距离存在一定的关系。首先，他仔细测量了使金属丝扭转一定角度所需的力的大小。其次，他设法使A球和B球带上等量的电荷，并改变它们之间的距离 $r$ 。此时，作用在A球上的力使金属丝发生了扭转。通过测量A球的扭转角度，库仑计算出了A球和B球之间的排斥力。他的这一实验表明，带电小球之间的静电力 $F$ 与两球球心之间距离 $r$ 的平方成反比，即

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

**静电力与电荷量的关系** 为了研究静电力与电荷量的关系，必须在测量中改变两球所带的电荷量。这并没有难倒库仑。首先，他像之前所做的那样，使两球带上等量电荷。然后，他取一个不带电的、大小与B球相同的C球，当C球与B球接触时，这两个球便会平均分配原来B球上的电荷。因为两球的大小相同，所以此时B球上的电荷量只有原先的一半。也就是说，此时B球上的电荷量等于A球的一半。接着，库仑将C球移走，调整B球的位置，使得A、B两球的距离 $r$ 与先前相同。此时他发现，A、B两球间的作用力只有原来的一半大小。也就是说，两个物体之间的静电力与物体所带的电荷量成正比，即

$$F \propto q_A q_B$$

经过多次类似的测量后，库仑归纳出一条定律，即著名的**库仑定律(Coulomb's law)**。库仑定律指出，两个相距为 $r$ 的电荷 $q_A$ 和 $q_B$ 之间的作用力大小，与它们所带的电荷量成正比，与它们之间距离的平方成反比：

$$F \propto \frac{q_A q_B}{r^2}$$

**电荷的单位：库仑** 直接测量一个物体所带的电荷量是比较困难的。不过，库仑实验表明，电荷量与静电力之间存在一定的关系。因此，你可以通过带电物体之间的静电力来推导电荷量的单位。在SI单位制中，电荷量

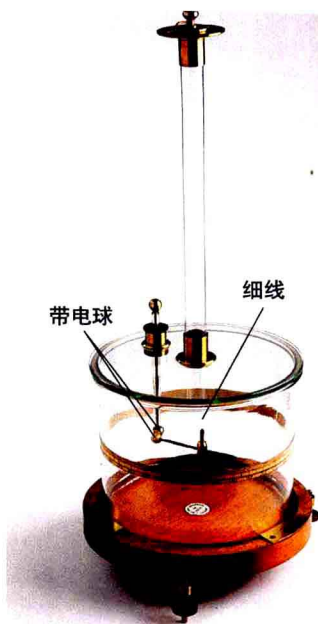


图20-10 库仑利用该装置测量了A球和B球之间的作用力。同时，他还研究了改变A、B两球之间的距离时球A的偏转情况。

## 迷你实验

### 对感应起电和传

### 导起电的研究

利用气球和验电器研究感应起电和传导起电。

1. 将一只气球与毛皮摩擦，使它带电，然后让它接近一个尚未带电的验电器。对将会发生的情况作出**预测**。
2. **预测**当这只气球与验电器接触时，将会发生什么情况。
3. **检验**你的上述预测。

### 分析与结论

4. **描述**你的观察结果。
5. **解释**每一步骤中金属箔片的状况，并将其用示意图表示出来。
6. **描述**用毛皮使验电器起电的结果。

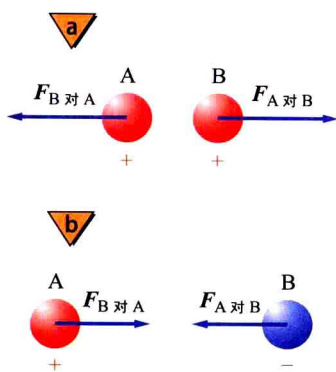


图20-11 确定静电力的方向的规则:同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引。

的单位为库仑(Coulomb),用符号C表示。1 C是指 $6.24 \times 10^{18}$ 个电子或质子所带的电荷量。一个电子所带的电荷量为 $1.60 \times 10^{-19}$  C,人们将这个最小的电荷量称为元电荷(elementary charge)。即使是一个很小的物体,如一枚分币,也含有大约 $1 \times 10^6$  C的负电荷。但是,数量如此巨大的负电荷却几乎不产生任何外部效应,因为它被等量的正电荷所平衡。若电荷不平衡,即使是 $10^{-9}$  C的电荷量,也能显示出很大的力来。

根据库仑定律,电荷 $q_B$ 作用在与它相距 $r$ 处的电荷 $q_A$ 上的力可表示为:

$$\text{库仑定律 } F = k \frac{q_A q_B}{r^2}$$

两个电荷之间的静电力,等于静电力常量与这两个电荷的电荷量的乘积,再除以它们之间距离的平方。

当电荷的单位为C,距离的单位为m,力的单位为N时,静电力常量 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 。

库仑定律既给出了 $q_A$ 作用于 $q_B$ 上的力的大小,也给出了 $q_B$ 作用于 $q_A$ 上的力的大小。这两个力大小相等、方向相反。当你将两条带有同种电荷的胶带靠近时,你就会观察到一个符合牛顿第三定律的情况:每条胶带都对另一条施加作用力。这时,如果将一把带电的梳子靠近其中任一条胶带,你就会发现,质量较小的胶带更容易发生运动。但是,由于梳子和你的总质量很大,所以你们的加速度非常小,根本无法显现出来。

与其他的力一样,静电力也是矢量,它既有大小又有方向。然而上面的库仑定律仅仅给出了力的大小。为了确定力的方向,就需要利用“同性相斥、异性相吸”的原理作出判断。当两个带正电的物体A和B相互靠近时,它们彼此间施加的是排斥力,如图20-11a所示;但是,如果物体A带正电而物体B带负电,那么这种力就是吸引力了,如图20-11b所示。

### ► 解题策略

#### 关于静电力的问题

用以下步骤求解电荷间静电力的大小和方向。

1. 作出系统的示意图,标出所有的距离和角度的大小。
2. 作出系统的矢量图。
3. 利用库仑定律计算力的大小。
4. 根据你所画的图示,利用三角关系找出力的方向。
5. 分别对数值和单位进行代数运算,保证单位与问题中变量的单位一致。
6. 检查你的答案,看一看数值是否合理。

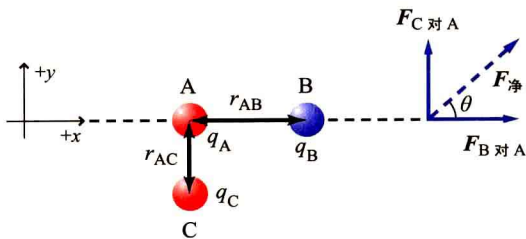
## 例题 1

**二维空间中的库仑定律** 已知小球A所带的电荷量为 $+6.0 \mu\text{C}$ ，小球B所带的电荷量为 $-3.0 \mu\text{C}$ ，B球位于A球右方 $4.0 \text{ cm}$ 处。

- 求B球对A球的作用力。
- 如果所带电荷量为 $+1.5 \mu\text{C}$ 的第三个小球C加入该系统，它位于A球的正下方 $3.0 \text{ cm}$ 处，求此时A球受到的静电力。

### 1 分析概括问题

- 建立坐标轴，标出这些小球的大概位置。
- 画出并标明各球之间的距离。
- 画出并标明各个矢量力。



**已知：**

$$\begin{aligned} q_A &= +6.0 \mu\text{C} & r_{AB} &= 4.0 \text{ cm} & F_{B \text{ 对 } A} &=? \\ q_B &= -3.0 \mu\text{C} & r_{AC} &= 3.0 \text{ cm} & F_{C \text{ 对 } A} &=? \\ q_C &= +1.5 \mu\text{C} & & & F_{\text{净}} &=? \end{aligned}$$

**未知：**

### 2 求解未知量

- 计算B球对A球的作用力。

$$\begin{aligned} F_{B \text{ 对 } A} &= k \frac{q_A q_B}{r_{AB}^2} \\ &= 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \times \frac{6.0 \times 10^{-6} \text{ C} \times 3.0 \times 10^{-6} \text{ C}}{(4.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{将 } q_A = 6.0 \mu\text{C}, q_B = 3.0 \mu\text{C}, \\ r_{AB} = 4.0 \text{ cm 代入。} \end{array}$$

因为A球与B球所带的是异种电荷，所以B对A的静电力方向向右。

- 计算C球对A球的作用力。

$$\begin{aligned} F_{C \text{ 对 } A} &= k \frac{q_A q_C}{r_{AC}^2} \\ &= 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \times \frac{6.0 \times 10^{-6} \text{ C} \times 1.5 \times 10^{-6} \text{ C}}{(3.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{将 } q_A = 6.0 \mu\text{C}, q_C = 1.5 \mu\text{C}, \\ r_{AC} = 3.0 \text{ cm 代入。} \end{array}$$

C球与A球所带的是同种电荷，因此它们彼此相斥，所以C球对A球的静电力方向向上。

计算 $F_{B \text{ 对 } A}$ 及 $F_{C \text{ 对 } A}$ 的矢量和，求出作用在A球上的净力 $F_{\text{净}}$ 。

$$\begin{aligned} F_{\text{净}} &= \sqrt{F_{B \text{ 对 } A}^2 + F_{C \text{ 对 } A}^2} \\ &= \sqrt{(1.0 \times 10^2 \text{ N})^2 + (9.0 \times 10^1 \text{ N})^2} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{将 } F_{B \text{ 对 } A} = 1.0 \times 10^2 \text{ N}, F_{C \text{ 对 } A} = 9.0 \times 10^1 \text{ N 代入。} \\ = 130 \text{ N} \end{array}$$

$$\tan \theta = \frac{F_{C \text{ 对 } A}}{F_{B \text{ 对 } A}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{F_{C \text{ 对 } A}}{F_{B \text{ 对 } A}} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left( \frac{9.0 \times 10^1 \text{ N}}{1.0 \times 10^2 \text{ N}} \right) \quad \begin{array}{l} \text{将 } F_{C \text{ 对 } A} = 9.0 \times 10^1 \text{ N}, F_{B \text{ 对 } A} = 1.0 \times 10^2 \text{ N 代入。} \\ = 42^\circ \end{array}$$

$F_{\text{净}} = 130 \text{ N}$ ，方向与x轴成 $42^\circ$ 角向上。

### 3 验证答案

- 单位是否正确？**  $1 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{C}/\text{m}^2 = 1 \text{ N}$ 。因此答案的单位的的确是N。
- 方向是否有意义？** 同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。
- 数值是否合理？** 净力与分力的大小相差不大。

## 练一练

9. 一个电荷量为 $-2.0 \times 10^{-4} \text{ C}$ 的电荷与另一个电荷量为 $8.0 \times 10^{-4} \text{ C}$ 的电荷相距 $0.30 \text{ m}$ 。这两个电荷间的静电力为多大?
10. 一个电荷量为 $-6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的电荷对另一个相距 $0.050 \text{ m}$ 的电荷施加了 $65 \text{ N}$ 的吸引力。第二个电荷的电荷量为多少?
11. 在例题1中, 如果B球所带电荷量为 $+3.0 \mu\text{C}$ 。试作出示意图, 计算A球受到的净力。
12. A球位于原点, 所带的电荷量为 $+2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 。B球位于x轴上的 $+0.60 \text{ m}$ 处, 所带的电荷量是 $-3.6 \times 10^{-6} \text{ C}$ 。C球位于x轴上的 $+0.80 \text{ m}$ 处, 所带的电荷量是 $+4.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 。试确定作用在A球上的净力。
13. 确定第12题中作用在B球上的净力。

在应用库仑定律时, 要牢记库仑定律只适用于点电荷或电荷均匀分布的带电小球。也就是说, 如果电荷均匀地分布在整个球面或球体上, 那么就可以将这个球体作为全部电荷位于其球心处的一个点电荷来处理。但是, 如果带电球为一个导体, 且附近存在另外的带电体, 那么由于球上的电荷会被吸引或排斥, 因此它的作用就不能再等同于一个位于球心的点电荷了。所以, 在应用库仑定律之前, 必须仔细考察两个带电球的大小及其距离远近的情况。在本书的习题中, 除非另有说明, 一般总是假定带电球足够小, 相距足够远, 因此它们都可看成是点电荷。当你应用库仑定律讨论长导线或平板等形状的带电体时, 这种非点电荷的情况要另作考虑。

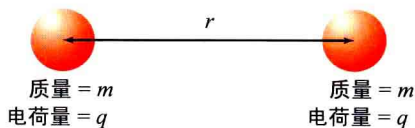
## 静电知识的应用

静电知识在实际生产、生活中有很多应用。例如, 如图20-12所示, 利用静电技术收集从烟囱排出的煤烟灰, 可减少空气污染; 通过静电感应使

## 挑战性问题的

如右图所示, 两个质量均为 $m$ 的相同小球带有等量的正电荷 $q$ , 已知它们相距 $r$ 。

1. 为了使每个球都处于平衡状态, 也就是说, 为了使两球间的万有引力和静电斥力相等, 试推导出球上所带的电荷量 $q$ 所必须满足的关系式。
2. 如果两球的距离增加1倍, 这对上一问题中所得到的 $q$ 的表达式会有怎样的影响?
3. 如果两球的质量均为 $1.50 \text{ kg}$ , 为了保持平衡, 小球所带的电荷量为多少?







■ 图20-12 从高大的烟囱中排出的煤灰是煤燃烧的产物。静电除尘器可用来减少煤灰的排放量。

油漆微粒带电，这样油漆就能被非常均匀地喷涂在汽车或其他物体上了；复印机利用静电将墨粉印到纸上，从而使原文件精确地再现……但是，静电也有许多危害——静电会引起灰尘的吸附，从而毁坏胶片；静电荷放电时会损坏电子设备。由于存在这些情况，因此在设计电子和电器设备时，要尽量避免静电荷的聚集，并设法消除已积累的静电荷，以保证安全。

## 本节复习题

14. **静电力与电荷量** 静电力与电荷量之间有什么关系？描述一下同种电荷间和异种电荷间的静电力。
15. **静电力与距离** 静电力与距离之间有什么关系？如果两个电荷间的距离增加到原来的3倍，静电力的大小将如何改变？
16. **验电器** 验电器带电时，它的金属箔片将张开一定的角度，并保持这一角度不变。为什么它们不会进一步张开？
17. **使验电器带电** 解释怎样利用以下带电体使验电器带正电。
  - a. 带正电的棒。
  - b. 带负电的棒。
18. **吸引电中性物体** 哪两个特性可以说明电中性的物体能被带正电和带负电的物体所吸引的原因？
19. **感应起电** 在用验电器进行感应起电时，如果先移走带电棒，再撤去金属球的接地，这样做可能会发生什么情况？
20. **静电力** 两个带电小球相距 $r$ 。已知其中一个小球所带的电荷量为 $+3\mu\text{C}$ ，另一个小球所带的电荷量为 $+9\mu\text{C}$ 。试比较前者对后者的静电力与后者对前者的静电力。
21. **理性思维** 假定你正在用一个带正电的小塑料球和一个带正电的大金属球验证库仑定律。按照库仑定律，它们之间的静电力与 $\frac{1}{r^2}$ 有关，其中 $r$ 是两球球心间的距离。然而，随着两球间距离的减小，它们之间的静电力比用库仑定律计算所得到的要小。试说明原因。