

(沪)新登字第 305 号

责任编辑 陈英黔

插图作者 周箴纬

静电场中的动电性

——电学的故事

林凤生

上海科学普及出版社出版

(上海曹杨路 500 号 邮政编码 200063)

新华书店上海发行所发行 常熟文化印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.5 插页 2 字数 104000

1996 年 6 月第 1 版 1997 年 1 月第 2 次印刷

印数 23001—31000

ISBN 7-5427-1081-8/O · 25 定价:4.50 元

目

录

- 1 从奇异的琥珀说起 (1)
- 2 电学领域里的开拓者 (6)
- 3 静电的功与过 (13)
- 4 威力巨大的莱顿瓶 (17)
- 5 捕攫雷电的勇士 (22)

- 6 避雷针古今谈 (27)
- 7 沉睡了一百年的手稿 (31)
- 8 蛙腿抽搐引起的风波 (38)
- 9 形形色色的电池 (43)
- 10 电灯的昨天、今天和明天 (48)

- 11 从阿房官的传说说起 (54)
- 12 中国人的骄傲 (58)
- 13 美丽的极光 (64)
- 14 有趣的生物磁现象 (70)
- 15 几页纸的论文轰动了整个
欧洲 (75)

- 16 电学领域中的牛顿 (80)

17	逆境中的欧姆	(86)
18	订书工怎样成了电学家?	(92)
19	电磁感应的发现	(97)
20	电气化时代(上)	(103)
21	电气化时代(下)	(110)
22	电学大师法拉第	(117)
23	经典电磁学的顶峰	(123)
24	属于全世界的功绩	(128)
25	电波飞越大西洋	(134)

1.

从奇异的琥珀说起

公元前六世纪，小亚细亚西岸的米利都城是希腊在东方最大的城市和港口。那里人口稠密、手工业发达，海上贸易繁荣。街道上车辆如梭、港湾里船桅如林。

在城北的一条小街上，有一座古老的院落。浓荫蔽日，青藤掩墙，显得十分安静。房里有一排排书架，里面全是一卷卷羊皮、纸草的书稿，这里是哲学家泰勒斯的寓所。泰勒斯（约公元前 624～前 547）被历史学家称为，第一个把哲学从宗教和神话中分离出来的人。相传他年轻时是位商人，经商走过许多地方。到过埃及，在那里受到东方文化的熏陶，他研究了埃及的土地丈量术，创立了初等几何学。他还到过巴比伦，学习了那里的天文知识，奠定了希腊天文学基础。他预言过日食，并认为世上万物起源于水并复归于水。到了晚年他回到了米利都城，在那里著书立说，聚众讲学。在他的影响下形成了一个世界上最早的科学沙龙——米利都学派。

这天他又在讲课了。“我发现了一件很神秘的事。”泰勒斯看了一下席地围坐在他身边的学生，说：“看，这是什么？”他举起手，手里拿着一块棕黄色、透明的宝石，光彩熠熠。“这不是琥珀金吗？”一位学生说。“在海滩上常常可以拾到。”另一个学生接着说。“这种宝石并不好，刚擦拭过时看起来光亮，过了一会又蒙上灰尘了。”坐在墙角边的女学生也腼腆地插了

句话。“你们说得都对，不过还有呢。”他一边说一边用袍袖摩擦琥珀，当他把微微发烫的琥珀去靠近散落在地上的羊毛时，竟有几片羊毛从地上腾空飞起，牢牢地粘附在琥珀上。这一情景使在场的学生们看得目瞪口呆。“看，琥珀都有‘灵魂’哩！”泰勒斯半开玩笑地说，其实他自己也觉得困惑。这个故事被在场的学生记录而流传了下来。



“看，琥珀都有灵魂哩！”

泰勒斯半开玩笑地说。

嗡嗡地穿过草地，飞进树林。那里长着许多高大的松树，太阳照得火热，可以闻到一股松脂的香味。

那个小苍蝇停在一棵大松树上。它伸起腿来掸掸翅膀，拂拭那长着一对红眼睛的圆脑袋。它飞了大半天，身上已经沾满了灰尘。

忽然有个蜘蛛慢慢地爬过来，想把那苍蝇当做一顿美餐。它小心地划动长长的腿，沿着树干向下爬，离小苍蝇越来越近

读者也许会问，琥珀是什么？怎么会流落到海滩上？记得有一篇美丽的散文——“奇异的琥珀”回答了这个问题：“这个故事发生在很久很久以前，算来也总有一万年了。”

夏天，太阳暖暖地照着，海在很远的地方翻腾怒吼，绿叶在树顶上飒飒地响。

一个小苍蝇展开柔嫩的绿翅膀，在阳光里快乐地飞舞。后来，它嗡嗡

了。

晌午的太阳光热辣辣地照射着整个树林。许多老松树渗出厚厚的松脂，在太阳光里闪闪地发出金黄的光彩。

蜘蛛刚扑过去，突然发生了一件可怕的事情。一大滴松脂从树上滴下来，刚好落在树干上，把苍蝇和蜘蛛一齐包在里头。

小苍蝇不能掸翅膀了，蜘蛛也不再想什么美餐了。两只小虫都淹没在老松树的黄色的泪珠里。它们前俯后仰地挣扎了一番，终于不动了。

松脂继续滴下来，盖住了原来的，最后积成一个松脂球，把两只小虫重重包裹在里面。

几十年，几百年，几千年，时间转眼就过去了。成千上万绿翅膀的苍蝇和八只脚的蜘蛛来了又去了，谁也不会想到很久很久以前，有两只小虫被埋在一个松脂球里，挂在一棵老松树上。

后来，陆地渐渐沉下去，海水渐渐漫上来，逼近那古老的森林。有一天，水把森林淹没了。波浪不断地向树干冲刷，甚至把树连根拔起。树断绝了生机，慢慢地腐烂了，剩下的只有那些松脂球，淹没在沙下面。

又是几千年过去了，那些松脂球成了化石。

海风猛烈地吹，澎湃的波涛把海里的泥沙卷到岸边。”

这就是琥珀的来历。

生活在地中海海边的居民早就知道它的这些特性，从琥珀一词的词源上也看得出其中的端倪。古希腊人把它叫“*ηλεκτρον*”（琥珀），波斯人则干脆叫它“*rapiens paleas*”（意思是粗糠，因为它在摩擦后会吸引粗糠。拉丁文“*succinum*”是由 *succus*（液汁）变来的。苏达非安人称它为“*geniter*”意思是 *genitum*（从土中生出来的）

就在古代希腊的罗马时代，在地球的东半球也有一片辽阔的土地，那里的文明与古希腊一样灿烂，那里的帝国与古罗马一样强盛。这就是中国的汉王朝。

古代中国人也注意到了绝缘体经过摩擦后能够吸引微小物体的现象，不信，有书为证。西汉末年，《春秋纬·考异邮》中记道：“瑋瑁吸楮”。“瑋瑁”也叫玳瑁，是一种跟龟很相似的海生爬行动物，它的甲壳黄褐色，光滑，有黑斑。被摩擦过后就会吸引轻微物体。东汉时的学者王充还认为“顿牟掇芥”（“顿牟”即玳瑁，掇芥就是吸拾轻小物体）和“磁石召针”这两种神秘的怪事，都是自然现象。并指出这两种现象在本质上是不同的。

三国时期的吴国人虞翻发现：“琥珀不取腐芥”。这是说琥珀不会吸引已经腐烂的草芥，可见他对琥珀吸芥已做过仔细的观察。南北朝的学者陶弘景在《名医别录》中指出：“琥珀惟以手心摩热拾芥为真。”这就是说要鉴别琥珀的真伪，只要用手把它摩擦发热，看它会不会吸引轻小物体就可以了。由这些记载可知，琥珀这类物体在摩擦后会吸引轻小物体的现象在我国古代是广为人知的。

虽说古代人早已知道琥珀在摩擦过后会吸引轻小物体，但谁也没有去探索它的原因。一直过了一千多年，到了16世纪，才有人去认真思索这个问题。第一位研究者是英国女王伊丽莎白一世的御医吉尔伯特。吉尔伯特兴趣很广泛，喜欢探索自然的奥秘。据历史记载，吉尔伯特受到泰勒斯故事的影响，做了琥珀吸引羽毛的实验，还表演给女王看。他想不会只有琥珀能吸引轻小物体吧！于是他找来了金刚石、蓝宝石、硫磺、树脂、明矾等物质，一一摩擦。发现这些物质在摩擦过后都会吸引轻小物体，这是一种很普遍的现象。他把这类现象和物质统称叫做 Electricity（电），以便与磁的相互作用加以区别。它

是由希腊文“琥珀”一词派生出来的，从此“电”这个名词登上了历史舞台。吉尔伯特指出：在带电体上渗透了一种看不见的特殊的“液体”，摩擦的时候，“液体”就被挤出来，沾满了物体表面，所以产生了吸引的力量。吉尔伯特对电学研究做出了开创性的工作，他的思想和实验方法被后人接受下来，奉为经典，他也被称为“电学之父”。

我们也来做个吉尔伯特做过的小实验。

用绒布摩擦塑料笔杆，将笔杆靠近一堆纸屑，纸屑会被笔杆吸起来，说明它带了电。

一般由摩擦产生的电，电量都很小，没有引起更多人的注意。吉尔伯特之后又半个世纪过去了，电学也没有新的进展。到了17世纪中期，科学界出了一位怪才名叫奥托·冯·格里克（1602～1682）。他是德国的一位酿酒商，后来还出任过马德堡市市长。著名的马德堡半球实验（即将两个金属半球合上，抽去内部的空气，用16匹马都无法把它们分开来。）就是由他设计和导演的。他在1660年发明了一种产生电的装置：把硫磺粉倒入一个球状玻璃瓶里，放在火上加热，使硫磺熔成一个球体，冷却后，敲碎玻璃取出硫磺球安放在支架上，这就是世界上最古老的起电机了。

当硫磺球绕轴旋转起来，干燥的布刷与球摩擦把撒在球四周的金箔、纸片、树叶如风卷残叶一般带动起来了，还不时发出噼噼啪啪的声响和闪烁的火花。同时，他的起电机还在英吉利海峡两岸卷起了一股电现象的研究热，电现象开始被广泛地研究了。

2.

电学领域里的开拓者

由吉尔伯特和冯·格里克开创的电学研究领域，在18世纪初期进展十分缓慢。当时一切研究成果全凭运气和偶然发现没有理论的指导，处在精密科学形成的初级阶段。只有少数坚韧不拔的开拓者仍在暗中探索，他们精神可嘉，功不可灭。

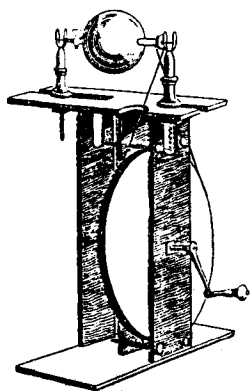
改进起电机的豪克斯贝

读者一定见到过水银温度计，或者气压计，如果在黑暗之中轻轻地晃动温度计，可以看到玻璃管里会发出粼粼的闪光。

奇怪吗？这种现象是1675年由一个叫皮卡尔的人发现的，于是引起了不小的轰动，人们争相撰文发表议论。

有人说这是水银里含了硫，也有人说这是一种特殊的磷光，众说纷纭，争论不休。最后还是伦敦皇家学会干事豪克斯贝找出了引起这种现象的原因。原来是水银摩擦玻璃管壁生成的静电在闪光。为了使众人心服，豪克斯贝在一个抽空的容器里悬吊了几根线，当被晃动过的气压计放进容器里时，几根悬线就会被玻璃管吸引。

豪克斯贝最重要的工作是改进了格里克的起电机。图中所示的起电机就是豪克斯贝的杰作。上部的圆球是直径约22厘米的密封空心玻璃球，当它绕轴旋转时，用手指靠近玻璃球



豪克斯贝改进了
格里克的起电机

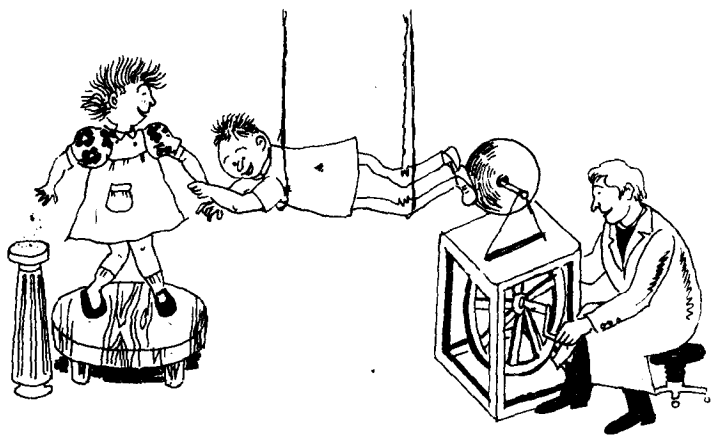
时，可迸发出 2 厘米长的“美丽的紫红色光。”这种明亮的火花竟可以让人在暗中阅读书本上的小字。

豪克斯贝的起电机吸引了人们研究的注意力，不久形态各异而原理类同的摩擦起电机层出不穷，人们用这些起电机来引燃炸药、乙醚，点燃刚刚熄灭的蜡烛，其中最引人瞩目的 是 1743 年由德国电学家豪森做的“人体链”实验。下图是按他的著作《电学史上的新进展》中的插图而复制的：图的右边是一个巨大的玻璃起电机，一个男孩被丝绳悬吊起来，双脚触着旋转的玻璃球，手拉着一位小女孩。当玻璃球旋转时，摩擦产生的电会通过男孩，一直传递到小女孩的身上，顿时，这一对俊美的小孩的脸上和手上都闪烁着美丽的电火花，犹如天国来的小天使一般，带了电的小女孩还会把放在桌上的谷子和糠屑吸引起来。

这些实验虽然很吸引人，但毕竟只是前人工作的重复和改进。一直到了 18 世纪 30 年代，电学研究里才有了新的突破。

发现电传导现象的格雷

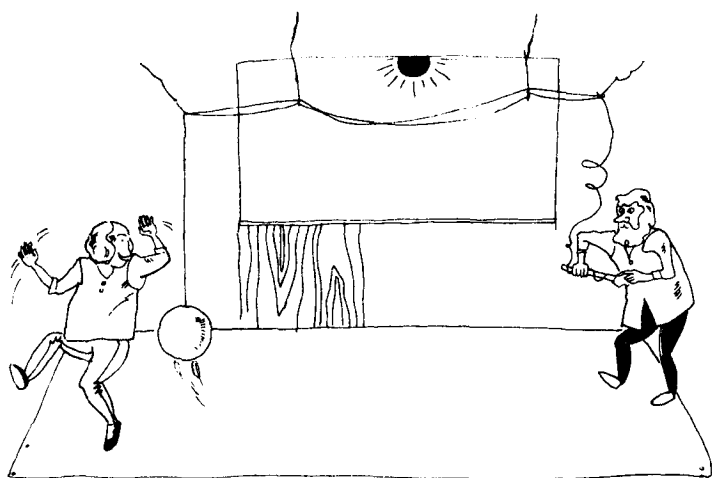
1729 年 7 月 3 日，笼罩在伦敦上空的大雾渐渐散去，淡淡的日光透过云层，整个市区变得光亮起来。在阿突坦广场一侧的街道旁，站着一位衣着寒酸、年近半百的人。他似乎在等人，不住地向四周张望。连马车驶过身旁溅起污水都不理会。



小孩的脸上手上闪烁着美丽的火花，

犹如天国来的小天使一般

他叫斯蒂芬·格雷，是一个靠领取退職金度日的穷人。一段时间来他迷上刚刚崭露头角的电学，整天不是思索问题就是摆弄仪器，简直到了废寝忘食的地步。最近又结识了一位志同道合的朋友惠勒，也是一个电学迷，两人一见如故，成了莫逆之交。惠勒很富有，出钱买了器材、添了设备。格雷得到了惠勒的资助，真是如鱼得水一般，劲头更足。几天前他们爬上了伦敦最高的建筑物——1710年才竣工的新圣保罗大教堂的钟塔，使电荷沿着30多米长的金属线垂流下来。成功的喜悦使两人都激动不已。于是他们约定今天再做一个试验，看看电荷会不会沿着水平方向流动。不一会儿惠勒来了，见面就问：“东西都带齐了？”格雷拍了一下手提箱回答：“全在这儿了，走吧！”两人来到了大教堂后院的一个空谷仓里。格雷取出一大捆金属线，于是就在谷仓里把金属线从一头拉到那一头，再从



惠勒欣喜地看到，撒在象牙球四周的

羽毛片和纸片都飞了起来，粘到了球上面。

那一头拉到这一头，兜了好几个来回。粗一算，拉出来的金属线有 270 米。然后两人又用细丝线把金属线悬吊在木樑上。线架好后，格雷又在金属线的一端系上一个象牙球，这才对惠勒说：“你把羽毛放在象牙球的附近，注意观察，我去那一边。”格雷走到另一端，把金属端线绕在 30 厘米长的实心玻璃棒上。当他用丝绸使劲摩擦玻璃棒时，守在另一端的惠勒欣喜地看到，撒在象牙球四周的羽毛片和纸片都飞了起来，粘到了球上面。“电传过来啦！”惠勒兴奋得大喊起来。听到惠勒的声音，格雷越发使劲地摩擦玻璃棒，突然哗啦一声，金属线掉了下来，原来悬吊金属线的细丝线经不起晃动，断了。“唉，实验做不成了，丝线可没有了。”惠勒扫兴地说。“用铜线来代替吧，铜线更牢哩！”格雷刚刚被看来可以成功的实验提起了兴致、

实在不愿意就此停下来。于是两人改用了粗铜丝把金属线重新悬吊好。奇怪，这一来无论格雷怎样使劲地摩擦玻璃棒，象牙球一点反应都没有。”惠勒好生纳闷：“不会是金属线给摔断了？”“不，你看。”格雷用手指着天花板说：“电荷都从铜线跑到木槓上去啦。原来电荷流不过丝线，可以流过铜线。”惠勒经点拨，恍然大悟地说：“啊，这不是一个重大的发现吗？格雷你太了不起了。”格雷先生确实了不起，他一眼就看清楚了铜线和丝线的区别，从而发现了导体和绝缘体。“导体”和“绝缘体”的名词则是1740年由另一位电学家德萨古利斯提出的。格雷先生有如此敏锐的洞察力，在于他对电学有强烈的兴趣，以及长期孜孜不倦地苦心钻研。这就是常说的“心有灵犀一点通”吧！格雷先生做过许多有趣的实验，我们也来试一下，领悟其中的奥秘和乐趣。

将一只盛满水的玻璃杯放在桌上，用带电的玻璃棒去靠近水面时，可以看到玻璃棒附近的水会向上微微凸起，高于周围的水面。



用纸剪一个五角星，把它的中心安放在针尖上。再把一个烘干的玻璃杯倒扣在上面。用毛呢慢慢地朝着某一个方面转圈摩擦玻璃杯的侧面，五角星就会跟着您的手旋转起来。

读者朋友，你能解释上述两种现象吗？

格雷在1931年发表了他对导电体和绝缘体的发现，由此被选为伦敦皇家学会会员。

提出“二元电液理论”的杜飞

当英国学者热衷于电现象实验时，与英伦三岛隔海相望的法国，电学研究也开展得十分活跃。最出名的要数杜飞

(1698~1739) 和诺莱 (1700~1770) 这对搭档。

杜飞生于巴黎，年轻时在军队任职，当过陆军军官。因体弱，战后辞去军职致力于科学研究。1732 年起担任巴黎植物园园长。他对格雷的工作很感兴趣。当他了解到格雷曾经使一个站在树脂板上的小孩带上了电，决定要切身体验一下。他是行伍出身，做实验就像上战场，敢冲敢打毫无惧色。他请诺莱和几个助手把自己用绝缘丝绳悬吊在天花板上，并用起电机使自己带上了电，当诺莱走近他的时候，他突然感觉针刺般的灼痛，身上竟射出长长一串闪烁的火花，同时发出噼噼啪啪的声响。这奇妙的情景使他俩都惊讶得半晌说不出话来。事后诺莱对人说：“这个情景永生难忘。”诺莱生于潘普雷，曾在克莱蒙、博韦和巴黎学习，当时他在巴黎担任实验物理学校教师。莱诺后来在电学上多有建树，他还特别热衷做人体传导电荷的实验，并且当众表演，有几次表演气势宏大，场面壮观，给观众留下了深刻的印象。他也因此声誉鹊起，当时诺莱的大名在法国是妇孺皆知的。

18 世纪初，英吉利海峡两岸的自然哲学家们都以极大的热情在电学这片未被开垦的处女地里辛勤耕耘，但研究的风格却迥然不同。英国学者偏重于实验和应用，法国学者更倾向于电现象理论的探索。这也许与当时英国正在进行工业革命而法国酝酿着启蒙运动有关吧？

杜飞在实验时注意到两个带电体不仅会相互吸引，有时也会互相排斥，于是他提出了二元电液理论。他说：“存在着两种实质上不同的带电形式，其中的一种我称为玻璃型的，另一种称为树脂型的。第一种电在玻璃、宝石、毛发和其他物体上出现，而另一种出现在琥珀、生漆、丝绸等物体上。这两种电的特殊标志是：同种电相排斥，而异种电相吸引。”

我们来做一只由杜飞设计的，后经英国物理学家贝内特

牧师（1750～1799）改进的验电器。

材料是：玻璃瓶、软木塞、金属杆。

制作过程是：在软木塞中央钻一小孔，插入金属杆。金属杆上端固定一个金属小球（或拧一个螺帽）。金属杆下端用胶水纸固定两片狭长形的金属箔。盖紧木塞，用蜡封口。

当用带电体接触金属杆上部时，金属箔带上同种电荷，互相排斥会张开一个角度。

3.

静电的功与过

上面介绍的金属箔验电器是一种简单而实用的仪器。现在用它再来做个实验：把一根带正电的玻璃棒靠近验电器，但不与金属球接触，可以看到验电器的箔片也会张开。这种现象叫做静电感应，是由俄国物理学家里赫曼（1711~1753）和英国物理学家坎顿（1718~1772）发现的。后来经过德国科学家埃皮努斯（1724~1802）的研究，弄清楚其中的道理。原来当带正电的玻璃棒靠近验电器时，由于异种电荷相互吸引，负电荷纷纷涌到金属球上，而箔片由于缺少了负电荷而显了正电，因此箔片张开。此时用手指去碰一下金属球，人体中会有一部分负电荷跑到箔片上去，与箔片上的正电荷中和。再移去玻璃棒，留在金属球上的负电荷会分布在小球、金属杆和箔片上，整个验电器带负电。这种起电办法叫做感应起电。

在实验上用感应起电的办法似乎比摩擦起电更胜一筹，以致后来都用感应起电机来取代了摩擦起电机。下面我们来做感应起电板的小实验。这种起电板是由鼎鼎大名的电学家伏打发明的。

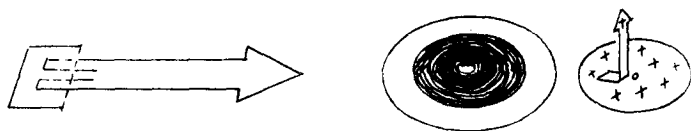
器材是：旧钢精锅盖一只，废薄膜唱片一张。

制作过程是：先将钢精锅盖用木槌敲平，并用砂皮擦一下。剪一条10厘米长、1厘米宽的薄纸条，在一头的中间部分剪去一条（如图所示）再用胶纸粘到纸条尾部，固定在锅盖

内表面。

用手捏住锅盖的绝缘旋钮，把锅盖水平放置，内表面向上。

用干燥丝绸摩擦薄膜唱片，能使它带很多电荷。把带电的唱片平放在锅盖上，用手摸一下锅盖的外表面，再移开唱片，薄纸条就会向上竖起。



如果锅盖上带电较多时，用镊子夹一小片金属箔，让箔落到锅盖上，它就会明显向上跳起。移动锅盖跟随金属箔，可以使金属箔在空中停留很长时间。

摩擦起电和感应起电是自然界里两种最普遍，最大量，也是最基本的电现象。由摩擦和感应产生的电荷通常被束缚在带电体上，不能像导线中的电荷那样沿特定的方向流动，所以称做静电。

静电最显著的特点，就是电压高。摩擦起电时，电压可以高达 4.5×10^5 伏特。在干燥的空气里，产生电火花（即击穿电场），电场强度要达到 3 万伏/厘米。当我们在黑暗中脱毛衣、听到噼啪之声、看到火星流散，这时毛衣上达到的电压已有好几千伏特哩！幸好它的电量很小，还不会给人体带来伤害。然而就是这点点星火，在某些场合也会酿成弥天大祸！例如摸过衣服，带了高压静电的手，再去取集成电路块板，就会击坏元器件。医生在手术时引起的静电火花，会引起“乙醚”爆炸，危及医生和病人。至于化工、石油、炸药等危险品在生产、储藏和运输的时候更是要谨防静电的捣乱。历史上这种血