

电磁现象与应用



117

050

0075

电磁现象与应用

土 夫 编著

江西人民出版社

一九八二年·南昌

电磁现象与应用

土 夫 编著

江西人民出版社出版

(南昌市第四交通路铁道东路口)

江西省新华书店发行 江西新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.25 字数 165,000

1983年2月第1版 1983年2月第1次印刷

印数 1—3,000

统一书号: 15110·50

定价: 0.63 元

序 言

电磁学的建立是十九世纪自然科学的最大成就之一，它是近代许多科学理论和工程技术的基础。

远在纪元前300年，我们的祖先就发现磁铁矿的散片能够吸引铁制物的现象。在纪元前七世纪，希腊哲学家退利士·密列茨就提出用毛织物摩擦过的琥珀具有吸引纸屑、头发等轻小物体的能力。到1820年，奥斯特从实验中又发现电流和磁体之间具有力的作用。1831年英国订书工人出身的科学家法拉第发现了电磁感应现象。1864年麦克斯韦又把全部电磁现象归结为一组数学方程，并预言自然界中存在着传播速度和光速一样的电磁波。1888年德国青年物理学家赫兹用实验证明了麦克斯韦的理论。大量的实验和理论的发展，促成了电磁学的诞生，从而迎来了十九世纪七十年代出现的电力时代。电力的应用，也是继蒸汽机的使用之后出现的第二次技术革命，它为人类社会生产力的发展，特别是动力和通讯，产生了巨大的影响。

今天，环顾四周，电磁现象的研究与应用，可以说已经呈现出一片重芳叠锦、群蝶飞舞的迷人景象，但它的发展是不是到此为止了呢？许多事实告诉我们，有许多电磁现象至今还没有找到圆满的解说，有许多现象至今还没有得到充分的应用，有许多现象还尚待进一步去探索。

本书将通俗、简要地介绍近代电磁现象与应用的一些情况，尽可能使读者有一个比较全面的了解。但限于笔者水平，书中

不足或错误之处在所难免，恳望读者批评指正。

编 著 者

一九八二年

目 录

静电技术.....	(1)	场致发光.....	(62)
埃尔摩神火.....	(6)	奇异的电加工.....	(65)
闪电与应用.....	(8)	水电效应.....	(68)
地光及地震的控制.....	(12)	电化学加工.....	(70)
电晕与电动机.....	(14)	高频碎石.....	(73)
非均匀电场与应用.....	(19)	电化学防腐.....	(75)
静电造纸.....	(23)	涡流与应用.....	(78)
静电纺纱与植绒.....	(25)	霍尔效应.....	(82)
静电喷漆与喷涂.....	(28)	电磁泵.....	(83)
静电除垢.....	(30)	电渗析与电泳涂漆.....	(87)
静电分离与除尘.....	(32)	水的电处理及净化.....	(91)
静电喷农药.....	(37)	电测地下水.....	(94)
静电摄影.....	(38)	电离空气与健康.....	(96)
静电复印.....	(41)	电疗.....	(99)
静电录音.....	(43)	生物无线电.....	(102)
电场消毒.....	(44)	电磁污染及其它.....	(104)
		电击法的妙用.....	(106)
射电望远与电子显微.....	(45)	电波杀虫与除草.....	(107)
电罗径与电火箭.....	(48)	电流栽培法.....	(109)
超导现象与应用.....	(52)	电场处理种子及其它.....	(111)
加速器与应用.....	(55)	植物的电世界.....	(115)
冷冻与加热.....	(59)		

地球的磁场..... (118)	土壤磁学..... (182)
从指南针到磁悬浮飞行 (120)	发电器的家谱..... (184)
电磁勘探..... (124)	原子能发电..... (187)
磁法选矿及其它..... (127)	太阳能发电..... (191)
磁场冶金及淬火..... (130)	风力发电..... (194)
磁型铸造..... (132)	海洋温差发电..... (197)
磁力成形..... (135)	潮汐发电..... (199)
焊接与切割..... (138)	波浪发电..... (200)
磁力除尘..... (140)	地热发电..... (202)
金属探测器..... (142)	沼气发电..... (204)
纺纱与织布..... (144)	燃气发电..... (205)
水的磁处理..... (147)	热电偶发电..... (207)
磁场在车间里的应用... (150)	磁流体发电..... (208)
从录音到录像..... (156)	热电子发电..... (210)
磁性印刷..... (160)	电气体发电..... (212)
磁摆、磁动轮和磁风... (162)	渗透法发电..... (214)
磁性液体与应用..... (165)	晶体发电..... (215)
磁化学..... (167)	驻极体..... (216)
磁场与生命..... (169)	燃料电池..... (218)
磁场与医疗..... (173)	细菌电池..... (220)
植物与磁场..... (175)	热磁、热电和动电效应 (221)
古地磁的变迁及影响 (179)	“涅克曼、雷诺”和“奥 斯丁”效应..... (223)
磁场与气候..... (181)	

静 电 技 术

1960年我国登山队在攀登世界顶峰——珠穆朗玛峰时，有一夜狂风呼啸，队员们担心山风会把帐篷吹走，所以用头顶着帐篷睡觉，不一会儿大家头部忽然感到针扎似的难受。是什么原因呢？经检查，奇怪地发现帐篷上面闪烁着一道道绿色的火光。火光是从哪儿来的呢？原来是风与帐篷摩擦产生的静电在作恶的缘故。某石油化工厂的车间，由于热交换器装置的冷却器管道破裂，所以管道里面的大量氢、煤油高速喷出，奇怪的是当时没有火苗，却引起了一场大火，火究竟是从哪里来的呢？原来是氢、煤油从管道破裂口高速喷出的时候，与管壁摩擦能产生静电，一旦静电积累到相当的电压，就会发生静电放电，从而点燃了氢和煤油，因此说，“纵火犯”却是静电。

在我们的日常生活中，静电是一种很常见的自然现象，如在干燥的季节时，当你用塑料梳子梳头的时候，常常能听到“啞啞”的声音，而且梳子还能吸引头发；当你晚上脱下尼龙衣裤的时候，除了能听到“淅淅”的响声之外，在黑暗中还能看到金星四溅；当你穿着橡皮底鞋在沥青地上行走的时候，往往能产生1,000伏的电位差，如果走路时间较长，则还能产生高达5,000~10,000伏的电位差，从而会引起电击的危险。静电既然到处都有，但为什么不会经常发生危害呢？这是因为一般摩擦所产生的静电能量都非常小，即使电压很高，也不会发生危险。另外，静电积累并不容易，遇到导体或当空气中的相对湿度大于65%的时候，静电就能通过导体或空气中的水滴而消遁。

自然界中的静电一般是由摩擦产生的。当两个介电体（或

介电体和导体)相互摩擦时,就能产生静电。此时,在介电常数较高的物体上带正电荷,在介电常数较低的物体上带负电荷。那时的两个带电体,也可以看作是电容器的两个极板,它们组成了一个电容器。如果此时的电容器电容为 C ,极板上所带的电荷为 q ,则两板间的电势差 V 就可以用下式表示:

$$V = q/C。$$

物体在相互摩擦时,瞬间所产生的电势差虽然不大,但由于电容器的电容与极板间的距离成反比,所以当两个带电体相互离开时,电容器的电容量减少,由上式可知,电势差就会增大。如果带电体的绝缘良好,摩擦所生的电荷不能流入地下,长时间积累的结果就必然会产生很高的电压了。据说日本关东邮电医院的一位护士在整理毛毯时,由于毛毯很多,整理时间很长,结果发生了不幸的电击事故。

有关的静电试验表明,当静电火花的放电量大于0.07微库伦时,碳氢化合物所饱和的介质就会着火;当静电电压达到500伏时,空气中的苯蒸汽就要着火;当静电电压超过20万伏时,则静电能击穿宽达300~400毫米的空气层。

经验表明,容易产生静电的地方是很多的:当乙醇、乙醚、乙醛、甲苯、油类等液体以及乙炔、乙烯、丙烯、丁烯、丁烷、二氧化碳、氢等压缩气体或液化气体等物体,以大于0.7~1米/秒的速度在管道中运动时,或液化气体或压缩气体由管道口喷出的时候,就能产生很高静电。如乙炔由钢瓶中放出来时,可产生6,000伏的电势差,二氧化碳由钢瓶中放出来时,能产生高达8,000伏电势差;当含有煤尘的空气在风管中以2.5米/秒的速度流动时,管上产生的静电电压可达7.5千伏,还会燃起长达3毫米的放电火花;当向容器灌入或放出液体时,或将液体由一个容器转注到另一个容器时,也容易产生静

电。如向汽车油槽车或铁路油槽内灌油时，就可以产生1千伏的静电电压。当从6米高的地方将预热的润滑油流入容器中时，能产生长达1厘米的放电火花；在制造塑料和橡胶时，也容易产生电压高达15,000伏的静电；当用皮带传动机器时，由于皮带经常摩擦，产生的静电据说曾烧毁过离皮带100毫米处的金属栅栏；在印刷工业中，由于纸上的静电能吸引空气中的尘埃或带颜色的微粒，所以会降低印刷质量；在合成纤维的生产中，静电也能吸引空中的尘埃，使得纤维牢度下降；在制药过程中，静电吸引的灰尘，也常常会使药品达不到标准的纯度，等等。

怎样来防止静电发生的危险呢？这要根据具体情况来采取适当的措施。一般来说，最简单且又最可靠的办法是接地。接地时可以采取各种金属导线，一端连接设备的接地螺钉或直接焊接到设备上面，另一端则连接到接地极上。这样，由摩擦产生的静电就可以通过导线跑到地下，而不能积聚起来，静电危险就可以避免了。

接地用的连接线，一般可采用直径6毫米圆钢、 4×12 平方毫米扁钢、6平方毫米截面的裸铜线、1.5平方毫米截面的绝缘铜线或6平方毫米截面的裸铝线。连接线在具体选用时，应根据连接方式、施工情况 and 经济等几方面来考虑，但在户外及地下，则严禁采用铝线。至于接地用的接地电极，考虑到接地电阻一般要求不能大于100欧姆，所以常采用将一根长约2.5米的 $40 \times 40 \times 5$ 毫米的角钢或5厘米直径的钢管打入地下2米左右的深处。

对于那些无法接地的非金属物体，考虑到当空气中的相对湿度为30~40%时，最容易发生爆炸，而当空气中的相对湿度为65%或更高时，静电由于无法聚集不存在静电危险，所以可

以采用湿润空气或局部进行湿润的办法，来促使静电的消除。除此之外，也可以采用尖端放电或用放射性元素使空气游离，从而将设备上的电荷带走。

为了防止积聚在人身上的静电达到火花放电的危险电位差，可在有爆炸危险建筑物的入口处设立铝或铜制的金属板（或金属网格的网眼不大于 15×15 平方厘米的金属网格水泥板），其宽度应不小于门的宽度，长度不小于300毫米，厚度不小于2毫米。

为了减少摩擦生电，也可以在生产许可的范围之内，尽可能降低气体或液体的流动速度；当灌注液体时，可将灌注皮管放到容器的底部，以避免同容器冲击而产生静电。

静电虽然会带来许多危害，但只要正确认识它，采取适当的措施，是完全可以防止的。随着人们对它的研究逐步深入，还发现静电的某些特性，能够为发展工业、农业、医学和科学研究等部门作出很大的贡献，成为近代科学技术领域中一项异军突起的新兴技术。

静电技术的应用范围非常广泛。

如果你在一张薄纸的后面放有一枚高电压、低电流的探针，然后将它放到丙烷的火焰之中，结果发现这张纸居然能在高温的火焰中安然无恙。纸在火焰中为什么不会烧起来呢？研究表明，原来从探针上释放出来的电子流，能够使这张薄纸冷却到燃烧点以下。这就是所谓的静电冷却效应。这种效应可以用于焊接技术。实践表明，它不仅能使焊接质量提高，而且还可以简化焊接工艺。除此之外，在工业技术领域中，它还可以用来延长金刚石刀具的寿命；使正在沉积的熔融金属迅速冷却，敷面材料就可以得到均匀的分布，从而消除了收缩时产生的空隙。有人曾经用一枚25千伏的探针做试验，发现可以使白

人的体温在30分钟内降低 16°C 左右。根据这个原理，静电冷却还可用来降低人体的温度，以便于进行手术和减轻高烧病人的痛苦。

静电技术还可以用来制造特种离合器。大家知道，一般的平面磨床是靠电磁吸力来固定加工的物体，但当要加工铜、铝及塑料等非磁性材料时，电磁吸盘往往就无能为力了。此时如果你在一块半导体电极上涂上一层很薄的绝缘材料，被加工的物件放在绝缘材料的上边，然后在半导体电极和被加工的工件上，分别加上正、负电压，则在静电吸引力的作用下，被加工的工件就可以牢牢地和半导体电极吸合在一起。

若仔细地观察，你还会发现砂纸或砂布上的每一颗砂粒，由于使用上的需要其尖头都是垂直于纸面上的。这是什么原因呢？是用什么办法来生产的呢？这也有静电的功劳。当落到传送带上的砂粒，通过一对静电电压高达 $6\sim 8$ 万伏的正、负电极时，砂粒在静电感应的作用之下，就会从靠近正极板的传送带上，飞向靠近负极的粘有胶液的纸（或布）带上。当许多砂粒离开传送带飞向空中的时候，由于带同性的电荷具有相互排斥的作用，所以它们在运动的过程中不会集结起来，却能很均匀地飞到和负电极相接触的纸（或布）带上，在静电力的作用下，砂粒的尖头就会自然地向下与纸（或布）面垂直地粘合在一起。

静电技术还可以用作金相分析。为了要观察金属结构的特点，一般在磨平的金属表面上用化学药品进行腐蚀，然后再放到显微镜中去进行观察，但有些特殊的合金对化学药品具有良好的抗腐本领，所以一般的金相分析法就不适用。此时可以采用高压电场来进行分析，将被分析的金属与负电极相接，并使电压不断升高，当升高到某一数值时，在电场力的作用下，被

分析金属中的一些电子就会被拉出来飞向正极。在飞途中，由于电子和空气分子产生碰撞电离，会造成许多正离子，它们在电场力的作用下又会高速飞向被分析的金属表面。由于金属面晶体结构交界的地方都是边角，电场特别强，所以就能被击出明显的沟纹来，这样，在显微镜下就可以很容易地看清它们的“真面目”了。

埃 尔 摩 神 火

在天空阴霾或暴雨将临的时刻，航船在茫茫大海中，其桅杆的尖端常常可以看到一种美丽柔和的雾状光亮，这就是中世纪航海家所熟悉的“埃尔摩神火”。起先，水手们把“神火”看做是不祥的征兆，但事后却发现神火的出现能够使他们一次又一次地摆脱险境，因此，“神火”就成了他们所信仰的圣神埃尔摩的一种保护，藉以安慰处于狂风骇浪中惶惶不安的灵魂。

这种奇异的光芒不仅出现在船只桅杆的顶部，有时甚至在飞机的引擎和翼尖上也有发现。

这是什么原因呢？原来地球不仅存在着弱的磁场，而且也存在着一个垂直的、电势梯度相当高的电场。巨大的大气电场，其平均强度有每米130伏左右。这就是说，从我们头顶的空气到脚下的地面之间，竟然有高达220伏左右的电位差。如果此时有一片带电的云层在上空飘过，则电场强度还会猛增到每米10,000伏以上哩！在这个大气电场中，根据科学工作者们的观测，地壳大约带有50万库仑的负电荷，在地壳与大气层外缘的电离层之间，存在着36万伏左右的电位差。在大气电场的作用下，空气中的正离子向下运动，负离子向上运动，从而形成

了大气电流，观察后的计算表明，全球的大气电流竟能高达1800安培。也就是说，在一秒钟内就有1800库仑的正电荷要从电离层流动到地面上。由于大气中存在着一一种尖端放电现象，所以大气电场并不因为电子的流动而减弱或消失，仍可维持着这种电的平衡状态。

尖端放电现象，就是当带强电的云层接近大地（或海面）时，附近的地（水）面就会感应电荷。这种电荷又能沿着高出地（水）面的树木、桅杆和建筑物而集中到尖端。当尖端的电荷积累到一定数量时，云层和地（水）面尖端之间的空气就会被电离，尖端上的大量电荷就会通过电离的空气跑到空中去，出现尖端放电现象。埃尔摩神火就是一种可见的尖端放电现象。根据理论计算，整个地面的尖端放电电流，大约有2000安培左右。

地球电场存在着大量的能量，早在1752年，科学家富兰克林就曾经利用这种电场击响了一个电铃，但几百年过去了，人们至今还不能利用这种电场来作为一种动力的装置。这是因为大气电场虽然具有很高的电位差，但空气的电导很小，所以人们能得到的电流也非常微小，如一个离地10米高的天线，虽然可以从大气电场中获得1200伏的电位差，但得到的电流却只有几分之一微安。七十年代初，美国西弗吉尼亚大学的学者提出了将地球电场变换为连续机械转动的设想。他们采用一个24呎（约7.4米）的天线，对一个驻极体电动机施加数百伏的电压，使电机产生每分钟60转的转速，输出功率达百万分之一匹马力。

利用大气电场进行作功的电机原理是这样的：用两块极性相反的半圆形驻极体拼合在一起，并固定起来，在其上、下还分别安置两个开缝的轻质金属圆盘电极，此时电极如果通电，

电机就会绕中心轴旋转起来。近代研制成功的大气电场电动机，其转速已高达10,000转/分，最大功率可达70瓦。由于电机的功率太小，还不可能作为动力源，故目前仅用来研究、检测大气电场分布情况的各种仪器。

闪电与应用

震耳欲聋的霹雳和划破长空的闪电，是自然界中规模最为壮观的一种气体放电现象。闪电，据不完全统计，全世界每秒钟内大约要发生一百万次。素以雷电闻名于世的印度尼西亚茂物市，一年之中竟然有322天的电闪雷鸣。

闪电的峰值电流可高达几万安培左右，有时甚至能超过10万安培。这样大的电流，当在直径只有几厘米的闪电通道中经过时，通道温度就能迅速的增加到30,000℃以上。因炽热的高温几乎能使通道中的空气完全电离，所以闪电在刹那间能放射出耀眼的光芒。由于闪电通道的电能，是在十万分之几秒的极短瞬间释放出来的，所以能产生50~200个的大气压力向外膨胀，形成冲击波，并以每秒5公里的速度向外扩展，其破坏半径能达几米，有时甚至能达一、二十米左右。冲击波在产生和扩展过程中所形成的隆隆雷声，实际上就是闪电所形成的爆炸过程。当闪电发生时，强大的脉冲电流能辐射出频谱极为丰富多彩的各种电磁波，频率范围从几赫到几千兆赫，其中以5~10千赫的电磁波辐射最为强烈。

闪电按照其发生部位的不同，可分以云体为基点，在云层内部形成的云内闪电、在两块云层之间形成的云际闪电、在云层与大地之间形成的云地闪电以及在云层与无云空气之间（特殊情况）的云空闪电等几种类型。如果根据闪电发生时的形态

来分，则又可分线状闪电、球状闪电、带状闪电和联珠状闪电等几种形式。

线状闪电。它象树干上伸出的许多树枝一样，能在空气中快速曲折地行进，是最常见的一种闪电。云地的线状闪电能产生很大的危害，冲击波能使烟囱崩毁、墙垣倒塌。闪电通道的高温会引起火灾。闪电产生的电磁波也会干扰或中断正常的无线电通讯。

球状闪电。它外形呈球形，直径为几厘米到几十米，通常呈红色和桔黄色，偶而也呈美丽的绿色。它一般出现于线状闪电之后，能在空中维持几秒至十几分钟之久，常以每秒几米的速度在空中飘动。时而停止不动，时而高速移动，时而逆风而行。球状闪电的最早记载出现于1837年，一百多年来已有近千次的记录。1962年7月22日19时18分左右，在我国泰山玉皇顶的西厢房内，一个直径约15厘米的殷红色球状闪电，曾似幽灵般的从窗缝窜入室内，并以每秒2~3米的速度在空中轻盈飘移，经过3~4秒钟后才从烟囱逸出。途经床单时留下了长约10厘米的焦痕，烟囱也被击坏。

带状闪电。闪电通道宽约十几米，蜿蜒曲折，要比线状闪电大几百倍，看上去似带状一般，每次闪电都是由多次闪电所组成的。它的成因与大气中的风速分布状况有密切的关系。

联珠状闪电。闪电似一长串佛珠般的发光点线从云底伸向地面，又叫链状闪电，是最罕见的一种闪电。联珠状闪电大都出现在强烈的雷雨活动期间，持续时间比线状闪电要长，熄灭过程也比较缓慢。1916年5月8日在德国德累斯顿城一所临街房屋的钟楼上，联珠状闪电出现的亮珠多达32颗，直径约5米，形似蛋状，整个持续时间约2~3秒钟。

闪电和雷击常常带来很大的灾害。为了进行有效的防止，

目前常采用避雷针和避雷线的办法。避雷针的保护区象伞一样，是一个上小下大的圆锥体，地面上的保护半径约等于避雷针高度的1.6倍（高度大于30米的避雷针，保护半径要减小）。避雷线的保护空间似一个帐篷，呈三角体，保护角为50度。为了积极主动地进行防雷，有人提出在雷雨云中撒布导电物质，或采用高压放电的方法使云内逐步放电而中和，但这种直接去影响云中雷电的设想，目前仍然在试验之中。

有关闪电的研究表明，在一个大气压下的干燥空气中，电场强度达到30,000伏/厘米时才能产生放电现象，但对于雷暴云来说，由于云中积累了足够的电荷，所以很容易产生矫若游龙的闪电，把暴风雨的夜空撕得粉碎。

为了研究闪电的物理过程，人们常常在雷雨云或阵雨云中的电场强度还不足以形成闪电的时候，人为地增大电场使其达到临界值，引起触发闪电，这就是所谓的人工触发闪电。具体操作时可在有雷暴云的情况下，用火箭将一根已接地的长导线向云中射出去，这时由于细导线尖端的强电场很容易使空气发生击穿而造成人工触发闪电。美国是研究人工触发闪电技术最早的国家，在1957年就首先触发成功。我国是在1977年触发闪电成功的。当十分强烈的触发闪电产生时，地面电场能从-200伏/厘米变化到+500伏/厘米，变化量能高达700伏/厘米。

闪电的研究具有很大的现实意义，它不仅有助于开展等离子体、高压击穿、人工控制闪电、人工降水、防雹、大型电子计算机机房的避雷和闪电对通讯传播的影响等方面的研究工作，而且对于发展工农业生产也能起到积极的作用。

苏联列宁格勒的地质学家们，曾创造了一种通过闪电电磁场来研究地球内部构造的新方法。这是因为在地球的大气中，每秒钟要发生约几百次的闪电，闪电所产生的低频电磁场分布