

“如果象您所断言的,技术在很大程度上依赖于科学状况,那么科学状况却在更大的程度上依赖于技术状况和需求。社会一旦有技术上的需要,则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”我想引用恩格斯的这一著名论断

来结束本文,并向读者说明,本文并没有打算全面论述物理学与技术,或物理学与生产之间的相互关系。

(转载自1983年第6期《百科知识》)

## 现代的静电技术研究

李瑞年

(北京工业学院)

现代的静电技术包括静电的应用、防静电危害和静电技术参量的测量等三方面。

在某些操作细小介质材料的生产工艺中,人们有时不得不使用笨重的设备。但是如果设法使这些小介电体带电,它们的荷质比足可达到使其在人工生成的静电场内获得比自身重力大得多的静电力。那么用静电力来实现这些工艺岂不效益更佳。

静电除尘即是一例<sup>[1]</sup>。它能有效地扑集对人体十分有害的,粒径在10微米以下的尘埃。而它消耗的通风压差只有10至20毫米水柱,仅为过滤式除尘器的十分之一。漂尘进入静电除尘器时,先受电晕作用而带电,然后进入集尘室。在静电场作用下,带电的尘埃投向接地的集尘电极。定时振打集尘极,使尘层剥落进入导槽,再清出器外。由于俘获了电荷的尘粒的迁移率远低于电晕发生的气体离子的迁移率,故烟气的表观电阻率较高,它使空间电压降加大,使电晕受抑制,甚致熄灭。另外,在尘埃电阻率高( $10^{10}$ 欧姆·厘米以上)情况下,集尘板上尘层的电压降可达到发生局部击穿的程度,这时,击穿点发生反极性电晕,中和空间的电荷,使集尘作用消失。此外还有湍流、烟尘再飞散等问题。因此,在一个通风量达数千至数万平方米<sup>3</sup>/分、有效通风截面达数百平方米的装置内,为了使电荷流不断发生波动的各个空间区域都能长时间地在最佳参数下工作,必须通过各种直接的或模拟的试验方法,找出有效的技术措

施,才能实现。

目前我国先后投产使用的电除尘器已达数百台。我国已建立了专业电除尘研究所、研究室和设计中心。

各式各样的静电复印技术在于采用各种巧妙的方式由静电力操作荷电墨粉(或墨滴)实现文字或图象的转移或传递<sup>[2]</sup>。它集中着物理学、材料科学、化学和计算技术等多方面的新成果。静电复印术分两类。一是用光电导材料制成底版,因其暗电导低,经电晕充电后不致很快放电。带电底版经照相曝光形成静电潜象,带异号电的墨粉掠过潜象时,即可显影。底版再与纸张压触,印在纸上,然后用烘烤或其它方法使纸上墨迹粘牢。另一类是用计算机存储的信息控制墨水喷射,把相描在纸上,或控制激光扫描在带电的光导底版上描出静电潜象。

静电复印采用的光电导材料有无定形硒、增敏氧化锌、硫化锌、硫化镉及各种有机光电导材料。调节掺杂和制造工艺要使底版达到上述复印工艺要求。显影可采用磁刷、墨粉瀑布或浸入含墨绝缘液体等技术。计算静电潜象在空气中或在绝缘液体中并有各种辅助显影电极条件下的电场及其对调色子(墨粉)的作用,可以建立静电显影的理论。干式显影的分辨力可达10线/毫米左右,湿式达250线/毫米。此外是各种定影术。就复印方式而言,有普通晒版式文件复印机,用三种基色作成采色复印,用亲水胶质光导底版代替锌版用于影印,工业和医疗

用的 X 射线静电复印, 金属加工画线的静电象转移术(电印信号), 连续调色的静电摄影, 光信号记录等。第二类复印可采用激光扫描使画面变成光信息, 存储于计算机, 再通过控制墨水喷射或激光扫描制版实现象转移。也许可以利用激光的热作用把象直接描在特制的纸上。

目前, 我国硒鼓式文件复印机和静电胶版印刷已开始普及, 专业性静电复印研究中心也已建立。

静电涂敷有涂漆和敷粉两种<sup>[3]</sup>。由于工件形状不同, 涂料的利用率可达 40% 至 95%, 而用喷枪, 只有 10% 至 50%, 因而有减轻污染和降低成本的优点。静电喷漆是将漆液用机械方式射出, 同时受电晕荷电使分裂成细雾, 细雾在电场力作用下飞向工件。荷电成雾、均匀涂敷及高利用率等最佳条件通过正确选定电参数(电晕电压、漆电导率等)和机械参数(漆粘性、射出初速和机械结构等方面)获得。静电敷粉是树脂粉喷出后由电晕荷电, 带电粉在电场作用下投向工件。粉层到一定厚度(如 50 微米), 即送去烘烤, 冷后即形成敷层。在一定条件下, 粉末在工件上淀积厚度有一个极限。极限厚度与粉粒飞速、电阻率、电晕电压和极性、粉体粘性等有关。适当选择这些参数可达到均匀一定的极限厚度。若条件不合适, 敷层表面局部电位过高, 会出现击穿, 产生斑孔。

利用静电喷涂的原理可制成轻巧简便的高浓度农药喷射器, 有喷敷均匀(可及叶背面)、减轻劳动和提高药效之优点。静电喷射也用于制瓦和制造砂纸。

静电分选主要用于选矿<sup>[4]</sup>, 也可分选谷种、茶叶等。实际上, 任何两种电阻率、电极化或起电等特性有区别的粒状材料, 都能在高压带电导体表面或附近或在电流场中获不等量的电荷或极化而在电场中被分离开来。

静电纺纱和静电植绒是通过电场操纵带电的纤维实现的。纤维材料及电场中各机械构件的电参数及气流速度等都对工艺有影响。利用静电力还可净化油品和封结器件。

近年来, 应用驻极体制造声电器件已经普

及, 驻极材料用于除尘和医疗的技术正在探索。驻极体的压电、热电及对辐射的效应也在开辟其应用。

静电危害起因于静电力和静火花放电。清洁的织品、塑料表面及摄影胶片因带电而吸尘, 产生不良影响。静电力使化纤纺织发生麻烦, 使叠色印刷产生废品, 使通过管路用气力输送的介质发生粘壁。静电放电使人感受电击, 使生产中的胶片感光。目前我国已制成或正在研制各种抗静电剂, 导电的织品、胶制品、塑料制品、涂料和建筑材料等, 并利用放射同位素和电晕静电消除器等来逐步解决这些问题。随着大面积集成电路的发展, 洁净车间的建立, 大型电子计算机的推广使用及其机房的建立, 电子环境的静电问题广泛而尖锐地提出来了。这主要是 MOS 器件和组件的氧化硅高阻层因栅极接受静电作用而损坏或击穿, 再是电子计算机因接受周围静电放电的电磁辐射而发生误动作。MOS 器件的高阻层约厚 500 至 1000 埃, 在 50 伏左右就可击穿, 击穿作用能约 2 微焦。损坏的器件也可能使低频噪声提高,  $h_{FE}$  下降或形成半击穿。MOS 器件击穿点放大 8000 倍才可能看到。静电放电的辐射频带很宽, 它可能输入给电子计算机使工作脉冲变形, 于是发生误动作, 并又会使受电子计算机控制的系统发生其他问题。防止电子环境静电危害的研究包括消除电子环境的静电发生源和提高器件和计算机的抗静电性能。

静电危害的另一课题在于静电放电的火种会引起可燃介质的起火和爆炸的灾害。研究静电灾害发生的物理过程须从两方面着手进行, 一是研究运行中的介质的静电起电, 二是研究介质在电火花作用下的起燃规律(通过测量最小静电点火能)。

不同材料的物体接触或摩擦后再分离时发生静电, 一般认为是由于电子逸出功不同。1951 年 W. R. Harper 通过不同金属的接触起电证实了这点。现代关于金属与半导体接触势垒理论也大体与这种电子转移的理论相符。

对起电的这种理解也外推到各种介质材

料。然而发生起电的普通介质表面以致内部状况与接触起电试验的洁净金属或半导体的情况有很大不同。因此,介质起电有很多现象尚难解释。有液相和气相参加的起电理论也是以两相接触面形成偶电层为基础。试验表明:烃类油品在管内流动的饱和冲流电流大约与流速的平方成正比。在生产中介质的起电和放电火花的强弱受多种具体因素的影响,如介质温度,湿度,通量,界面压力,孤立出口的存在,介质大量堆积环节的出现,介质粘壁和堵塞的突然疏通,飞机进入冰晶云层和着陆驻跑等。

物质的起电过程都伴随着电导放电过程。起电快慢与过程的特点有关,而电导放电则大体由物质的放电时间常数决定。因此,高绝缘介质起电后能长时间保持带电,这容易理解。高电导材料起电后,立即断开放电通路,也会显现静电。1926年 Vollrach 曾用铜管吹出铁粉或铈粉的办法制成 26 万伏的静电发生装置。又如用海水喷射冲洗油舱曾多次因静电使油轮爆炸损坏。此外,有些介质放电时间常数虽不足一秒,但因起电更快而呈瞬现的静电,这对可燃介质也不是无危险的。

可燃物质的最小静电点火能似应指:在通常可能出现的各种条件下,可燃物质有被点燃几率所需的最小电火花能量。这样,在测量每种物质的最小电点火能时,都须找出物质和电火花对放电点燃的最敏感条件,而不同材料的这些条件可能是不一样的。自从 1960 年以来, Dorsett 等人采用大体确定的试验条件、仪器设备和试验规程<sup>[9]</sup>,陆续测出并发表了农业粉尘、炭素粉尘、化学药剂、染料、农药、金属和塑料等粉状物质的最小点火能。IEC 出版物发表了可燃气体由于电路断路放电而点燃的最小能量。这些数据的大部分只有按其规定的测试条件,才能复现。否则,也可能出现比它更小的数据,特别对现场实际存在的重复放电等各种情况。但也有少数材料(如氢气、汽油等)的数据,对不同方法的再现性较好。B. Lewis 等人通过实验求得了可燃气体与空气(或氧)的混合物在不同气压下电火花点燃的最佳电极间隙和最佳混合比,

并给出了某些可燃气体的最小静电点火能。B. Lewis 认为<sup>[6]</sup>,在点燃可燃气体时,电火花作用时间越短最小点火能越小。1976 年 M. Kono<sup>[7]</sup>等人用串联电感的方法调节火花放电的时间常数  $\tau$ ,在作 3.5% 丙烷与空气混合物的放电点火试验时,发现在  $\tau = 50$  微秒时,最小点火能达到极小值。关于固体可燃材料,七十年代以来,许多人(包括我国一些研究者)<sup>[8]</sup>提出了最小静电点火能对火花放电时间或储能电容或串联电阻的含极小值的实验曲线,这些材料各有自己的最佳点燃时间(或电容、电阻)和其它条件。涉及的材料有起爆药、黑火药及烟火剂等能够自燃(爆)的物质。对于需氧助燃的粉状材料,也预料有类似情况。

放电起燃的研究又包括两方面,一是不同条件的放电产生的微小等离子体特征的研究,二是这些特征参数不同的等离子体对可燃物会引起什么化学反应,在什么条件下,存在着局部反应发展为燃烧的几率。

最小静电点火能的存在表明可燃物质中的静电有一个安全限,越过这个界限,生产就有发生静电灾害的几率(或危险)。然而,从工艺设计和生产管理等方面来控制静电灾害的发生,要比控制其它灾害困难得多。于是,常常会出现生产中介质带电超过安全界限的情况,静电灾害就会以某种几率发生。世界各国都或多或少有这样的问題。

控制静电灾害的措施通常是针对起电过烈的部位,设法降低流速和流量,减少带电介质的堆量,采用起电较小的设备材料等,使静电降到安全限以内。在某些情况下,可以采用降低介质电阻率的措施,如使用抗静电剂、导电作业服和各种消电装置等。有了这类措施,就可能把其他对工艺条件的限制放宽一些,但决非无须限制。

我国科技人员在进行静电模拟试验、鉴定静电灾害危险性和研究防静电危害措施等方面都取得了一些进展,但还不能满足当前工业建设的需要。

静电应用和防静电危害研究的物理基础涉

及到气体放电、半导体和介质物理、电磁理论、流体力学、材料科学和弱信号检测等许多方面。在静电除尘、复印、喷涂、分选和纺纱等都用到使介质(如烟尘、光导底版、墨粉、纤维、涂料乃至被分选的矿粒、种子或茶叶等)带电的技术。防静电危害方面有固体、液体接触(或摩擦)及液体雾化等起电现象。使介质带电或起电的过程十分敏感地受到微量杂质、表面状态、温湿度、环境气氛、接触压力和相对速度等因素的影响。掌握和控制这些影响因素对静电应用和防害都很重要。静电技术的研究涉及到介质的放电问题。就气体放电而言,有各种不同方式和不同程度的半击穿电晕放电、火花放电和沿固体或液体介质表面的电晕和火花放电。而这些研究常常要结合除尘、复印、喷涂等工艺的介质起电或反电晕、导电纤维的预击穿放电等具体条件进行。固液气体介质都因含少量自由载流子或甚致宏观带电微粒而发生传导放电。固体材料的光电导是静电复印的基础。离子风导电可用于消除静电。驻极体的热释电现象是研究和发现新驻极材料的有力手段。在防静电危害方面遇到的气体放电常常是总能量很小的单次火花脉冲生成的微等离子体,它会引起化学反应,并发射频宽达数百兆赫的电磁波。除起电和放电之外,还有静电作用的动力学问题,这涉及到带电的漂尘、纤维、墨粉、矿粉或谷种之类物质在静电场中的行为,也包括流体在静电场作用下发生的各种动力现象。

静电技术研究的重要方面之一是静电材料。实际上各种静电应用技术中,都需要对操作对象(如尘埃、调色子、涂料、绒毛或纤维以及被分选的粒状物等)的静电性能作具体研究,甚至探索改变其性质的技术,使改性后的这些材料容易实现要求的静电工艺。静电复印的光导材料更是静电材料的重大课题。所有静电设备都需使用能强电场下长期工作的绝缘材料。为了防静电危害需要,人们还研制了导电橡胶、导电塑料、导电涂敷材料、导电纤维等。在化纤表面涂敷抗静电剂和在石油产品混入微量抗静电剂都可提高它们的电导率,有助消除或减少其

静电危害。制造静电测试仪器常用到电阻率极高、压电和热积电流极小的绝缘材料和憎水材料,有时也用到压电、热电和 Pockels 效应材料等。

研究静电技术问题用到许多特殊的测量技术。由于静电场是由导体与介质的边条件和电荷分布决定的,任何仪表或探头的引入都将改变边界条件,因此测试结果都需另作分析,才能得到有意义的结果。小的孤立导体或介质探头对场量影响较小,可以设法采用。静电场量测量仪器的探头有静电感应型(转子或振簧)和离子耦合型,测量讯号的传递有无线和有线方式两种,读数可采用普通指示仪表或响应速度很高的各种仪器显示。在复印技术研究中,表面电荷密度测量的分辨力要在十分之几毫米量级。静电场量测试仪表大多要求输入阻抗极高,但也有用于大气静电测试的输入阻抗低达一千欧姆也能工作的仪表。

静电技术研究还用到弱电磁波讯号测量和微等离子体过程的观测。前者是在充满各种工作电磁波和天然电磁波的空间,检测出静电放电的信号,甚至定出静电放电的位置,后者用于揭示可燃物质放电起燃的化学动力学过程,并寻求各种防止静电危害的放电技术措施。

此外,在观测空间离子和荷电宏观微粒方面,还用到单极性和双极性离子探针技术,测量荷电宏观微粒的迁移速度可利用激光 Doppler 效应。

要想把各种静电现象的一般观察变成为能够用于工业的实用技术,必须针对工业的技术目标进行系统的试验研究,特别是要进行上述的各种物理过程的测试和研究。在开发一项新技术时,还常常要求对实施的条件和可能性作必要的理论论证。从这个意义讲,结合静电技术的研究目标,扩展和应用基础科学,特别是物理学的成果,是发展现代静电技术的重要动力。

## 参 考 文 献

- [1] 増田関一, 静電気ハンドブック, 静電気学会編, オーム社, (1981), 473-555.

- [2] R. M. Schaffert, *Electrophotography* (Revised Ed.), Focal Press, (1975).
- [3] A. W. Bright, *Electrostatics*, London, Oxford Univ. Pr., (1978).
- [4] 村崎憲雄, 静電気応用装置, 新日本印刷, (1966).
- [5] Dorsett et al., *USBMRI*, (1961), 5753, (1962), 5971, (1964), 6519, (1965), 6597, (1968), 7132, (1968), 7208.
- [6] B. Lewis, et al., *Combustion Flames and Explosions of Gases*, Acad. Pr. N. Y., (1961).
- [7] M. Kono et al., *16th Int. Symp. on Combustion*, (1976).
- [8] G. Li et al., *J. Electrostatics* 11(1982), 319—322.

## 物理学与医学

郁 与 民

(贵州大学物理系)

### 一、引 言

物理学的原理与方法应用于医学由来已久。近代物理学的发展,为现代医学开辟了广阔的道路。物理学和医学的融合,形成一门新兴的学科医学物理学(Medical Physics),它作为一门学科在国际上出现,还是二十世纪五十年代以后的事情。在五十年代以前,各国约有不少学者进行了一些有关物理学应用于生物体的研究与探讨,不限于物理学用于研究人体的生理、病理与医疗者方面。国际上并没有作为一种专业性学科而出现。在当时各种辞书中亦难以寻到医学物理学这个名辞的释义。至今医学物理学的涵义仍存在不同的解释。医学物理学在学科领域中仍可说是比较年轻的一门学科。其理论体系尚未完整,所含内容亦未十分明确。

### 二、医学物理学的涵义

对医学物理学的涵义,各家尚存在不同的看法,如中国医学物理学会理事长刘普和教授在他著的“关于医学物理学研究内容和意见(摘要)”一文中提出“医学物理学是物理学和医学之间的一门边缘学科,属于应用物理学”。美国威斯康星大学物理学教授甘美伦(J. R. Cameron)博士在他著的《医学物理学》(1978年版)

提出“医学物理学是医学和物理学两大学科的会合”及医学物理学这个词指两大方面:一方面指物理学用于阐明人体健康和疾病时的功能,这应当称为生理学的物理学;另一方面指物理学用于医学实践,它包括:听诊、叩诊、激光、超声、辐射等等”。其他有的认为医学物理学仍然是物理学,不过是指物理原理、方法与技术应用于医学范围而已,这与将物理学应用于工程技术及农业生产完全一样,不能另称为医学物理学,不是专业性学科。

虽然各家对医学物理学的涵义理解不同,但是总的不外于应用物理学的原理与方法研究人体的结构与功能,应用物理学的实验技术从事人体疾病的诊断与治疗。就此可知物理学与医学的关系是非常密切的,它在医学领域里是占有适当地位的。

在科学技术的发展过程中,物理学的新发现为医学理论探索提供了理论基础和手段,而医学的发展不断向物理学提出新的课题。医学物理学的发展是医学现代化的重要标志之一,国外非常重视医学物理学,它的功绩,主要是对人体的研究从宏观、定性两方面描述进到微观、定量深入到本质上的探讨,重点解决预防、治疗等方面提出的疑难问题。

医学物理学的形成与发展,虽有赖于医学与物理学进展与新发现,并借助于相互间之促进与融合,但医学物理学作为一门学科,它应具