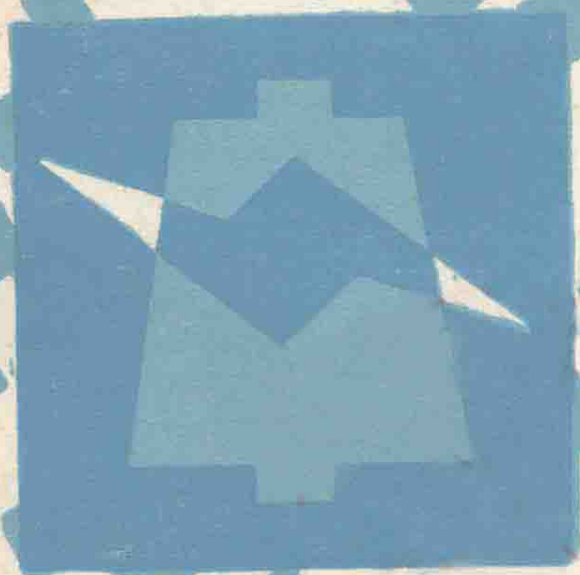


纺织静电

马峰 杨定君 编
赵锡嘉 审校



FANGZHI
JINGDIAN

陕西科学技术出版社

纺 织 静 电

马 峰 杨定君 编

赵锡嘉 审 校

陕西科学技术出版社

纺织静电

马 峰 杨定君 编

赵锡嘉 审 校

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街131号)

西安友谊印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 6.75印张 14万字

1991年1月第1版 1991年1月第1次印刷

印数: 1—2000

ISBN7—5369—0939—X/TS·25

定价:3.05元

序

近半个世纪以来，在纺织工业，开发了多样的新型静电应用技术。例如静电纺纱利用静电场使纤维排列成序，然后加拈成纱。静电纺纱有产量高、流程短、能耗低和尘埃与噪声污染小等优点。静电植绒用静电场使带电绒毛植于涂有粘合剂的底布或其它衬底上，这项技术在一次性使用的绒面，有良好的工业开发前景。此外，还有模仿电摄影技术开发的织品静电印花技术。所有这些技术的特点都是利用精心设计的静电场（有时还包括气流场）来操作细小的带电物体实现某种工艺。对于不同的加工对象和工艺要求都可能制出设计各异的静电机械。这是纺织工业中全新的技术领域，具有广阔的发展前景。

随着化纤的广泛应用及纺织原料的用量与流速的加大，纺织工业的静电危害问题尖锐地提出来了。织物及其原料的静电起电不只会阻碍工艺流程顺利进行，同时也使成品的产量和质量降低。解决纺织静电危害问题，会给生产带来巨大效益。

研究纺织应用静电技术和纺织静电危害都要做基础静电参量的测量，而这些测量是在织品、纤维及其周围带电体的特殊边界条件下进行的，这就形成了纺织应用静电所特有的静电测试技术。

我国纺织工业应用静电的发展已有30余年的历史。马峰

和杨定君同志编写的《纺织静电》的出版发行，将会进一步推动此项技术的发展与普及。

中国物理学会静电专业委员会主任
北京理工大学教授

李瑞年

1990年6月7日于北京

前 言

静电是一种最普遍、最大量、最基本的电现象。用塑料梳梳头时的劈啪声，晚上就寝脱衣的哗哗作响声，以及大自然中的电闪雷鸣都属于静电现象。

静电是相对于流电而言，它所涉及的是由于电荷间的相互作用而出现的各种现象。静电并非绝对不动，是指电荷在空间缓慢移动，其磁效应比起电场的作用可以忽略。静电的作用仅仅取决于电荷的位置、分布、多少及周围的环境，而电磁和电热现象取决于电荷的运动——电流。

人们对电磁规律的认识是从研究静电开始的，我们可以列出静电研究的大事年表：

1600年，吉尔伯特发现摩擦过的琥珀、硫磺等有吸引轻小物体的性质。

1663年，盖利特制成了用摩擦产生大量电荷的机械（摩擦起电机）。

1729年，斯蒂芬·格雷研究了导电现象。

1733年，杜飞发现两种电荷，提出双流质假说。

1742年，富兰克林提出单流质假说。

1746年，穆欣·布罗克发明了莱顿瓶。

1752年，富兰克林发明避雷针。

1773年，卡文狄许发现静电的平方反比定律。

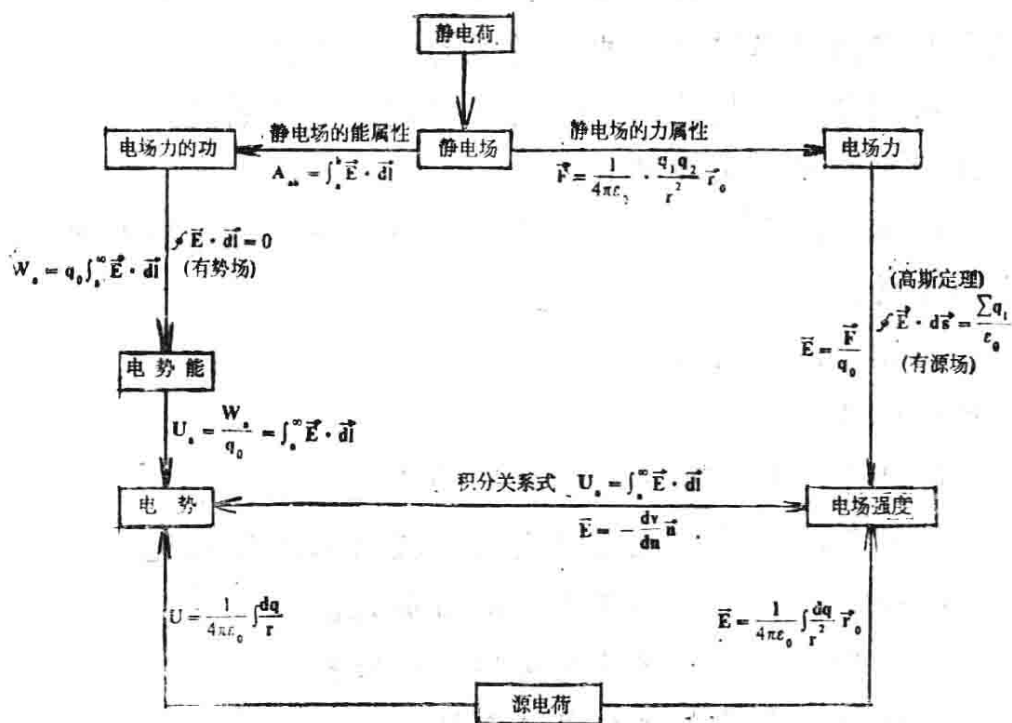
1785年，库仑制造出扭秤并应用于测定电荷间的相互作

用力。

1792年，伏打发现了接触静电序列。

我国古代约在1世纪到2世纪（西汉末年），《春秋纬 考异邮》中就记载了“璆瑁吸裙”的现象。到了东汉，王充在《论衡 乱龙篇》记载到“顿车掇芥”，指的也是摩擦起电现象。

在一段较长的历史时期内，人们对电现象的认识进展缓慢，直到18世纪情况才开始改观。自18世纪中叶起，在大约100多年的时间内，相继发现了许多重要的电现象并确立了有关规律，形成了静电学理论，其基本概念和基本规律可归纳如下：



由于西蒙·泊松、乔治·格林等对静电现象进行了一系列数学研究，使静电有了系统的数学理论，开拓了一条通向理论电学的道路。然而，继伽伐尼发现“动物电”后(1780年)，于1880年伏打研制出伽伐尼电池的原型——伏打电堆，人们开始把注意力转向对动电的研究，静电这个古老的领域似乎成了被遗忘的角落。

从本世纪初，随着工业的高度发展，静电这个不速之客，开始闯入石油化工、航空、采矿、电子等工业领域，给人们带来了不同程度的危害，同时静电的应用也开始活跃起来。总之，伴随着静电的危害和消除以及在工业中的应用，静电又重新焕发了青春。

随着合成纤维在纺织材料中比重的不断增加，纺织静电现象越来越引起了人们的注意。在纺纱、织造、染整各工序中都会造成生产的障害，影响产品的产量和质量，织物在服用过程中也会给人们带来诸多烦恼。同时，静电在纺织工业中也有重要的应用，静电纺纱、静电植绒、静电印花等新技术即是应用的例子。

1759年罗伯特·赛默做了白色羊毛袜和黑色丝袜的脱袜实验，有人称这是世界上第一次记载了纺织纤维间的摩擦带电现象。其实，我国明代(约16世纪)都邳记述了一个丝绸带电现象，他在《三余赘笔》中记载道：“吴绫为裳，暗室中力持曳，以手摩之良久，火星直出。”这比西方的发现要早几百年。

静电与纺织有着十分密切的关系。因此，纺织静电方面的知识应是纺织工作者——有关院校的师生和工厂的技术人员必备的知识。出于这种考虑，从1980年起我们率先在我院

开设了《静电及其应用》的选修课，编者之一的马峰同志着手编写了讲义。几年来，我们对此讲义进行了全面、深入、细致的修订和补充，最后成书并更名为《纺织静电》。全书共分四章，第一、三章由杨定君执笔，第二、四章由马峰执笔。

第一章，纺织静电基础理论，为研究消除静电障害及静电应用技术提供理论基础。

第二章，纺织静电障害及消除对策，既指出了纺织生产和纤维制品使用中之障害，又指出了消除纺织静电的两大对策。

第三章，纺织工业中的静电应用技术，着重介绍了纺织行业中较为成熟和具有一定发展前途的静电应用项目：静电植绒、静电纺纱和静电印花。

第四章，纺织静电测试，主要介绍了有关的纺织静电测试标准和纺织材料的定性和定量的测量方法。

在编写过程中，我们试图突出纺织特色，体现较强的系统性，在注意理论性的同时使之具有实用性，并努力反映最新的成果。

本书可供从事化纤、纺织、印染、服装缝纫以及使用纤维制品的有关行业的人员阅读、参考，也可作为纺织院校有关专业开设静电选修课的参考用书。

本书承蒙中国物理学会静电专业委员会主任李瑞年教授赐序，天津市静电专业委员会主任、《静电》杂志主编赵锡嘉副教授在百忙之中审校了全书，西北纺织工学院教材科的同志对本书的出版也给予了有力的支持和帮助。对此，我们一并顺表谢意。

本书在编写过程中，除参阅了书末所列各参考文献外，还参阅了北京理工大学静电研究室、河北大学静电科研组、中国纺织大学静电纺纱科研组、陕西省纺科所等单位提供的资料，在此一并致谢。

由于编者水平所限，不妥与错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

1990年5月于西安

目 录

第一章 纺织静电基础理论	(1)
§1—1 纺织材料的静电起电.....	(1)
§1—2 静电荷的积累和流散.....	(14)
§1—3 纤维在静电场中的充电.....	(21)
§1—4 静电的物理现象.....	(23)
第二章 纺织静电障害及消除对策	(33)
§2—1 纺织静电障害.....	(33)
§2—2 纺织静电的消除原理.....	(43)
§2—3 消除纺织静电的物理方法.....	(52)
§2—4 消除纺织静电的化学方法.....	(84)
第三章 纺织工业中的静电应用技术	(109)
§3—1 静电植绒.....	(109)
§3—2 静电纺纱.....	(130)
§3—3 光导体—静电印花.....	(153)
第四章 纺织静电测试	(156)
§4—1 纺织静电测试概论.....	(156)
§4—2 纺织材料静电性能的定性测试.....	(164)
§4—3 纺织材料带电特性参数的测量.....	(170)
§4—4 纺织材料电气特性参数的测量.....	(189)

第一章 纺织静电基础理论

§1—1 纺织材料的静电起电

静电的“产生”是一种很复杂的物理过程。对于静电产生机理的研究是近几十年来随着新技术的发展才开始的，目前这方面的理论尚不很成熟，有各种各样的假说，概括起来产生静电有三条途径：在没有外场时，原来不带电的物体相互作用而带电；带电体和非带电体间的电荷转移；存在外场时使物体带电。但完全一致的观点是两个不同的物体接触或摩擦后分离，就会产生静电。

在纺织加工过程及织物服用过程中，纺织材料与导纱器、罗拉等机件接触，纤维间相互接触摩擦，纤维受到压缩和拉伸，热风干燥，纺织品在带电体的电场中的感应都会产生静电。上述的各种带电现象是十分复杂的，但通常认为合成纤维和金属机件或合成纤维间相互摩擦而发生一系列的接触与分离过程，造成了电荷在物体表面间的转移，产生静电。

一、接触电势差

早在1794年伏打就发现，当两种不同的金属紧密接触时（接触面间的距离在 25 \AA 左右），则在二接触面间会产生零点几伏到几伏的电势差（接触电势差）。到1879年亥姆霍兹

又提出偶电层理论，即当两块金属接触到小于 25 \AA 的距离时，一种金属就会把电子传给另一种金属，前者失去电子而带正电，后者得到电子而带负电，于是在其接触边界上，形成了等量异号的电荷层，称为偶电层（图1-1）。1917年福

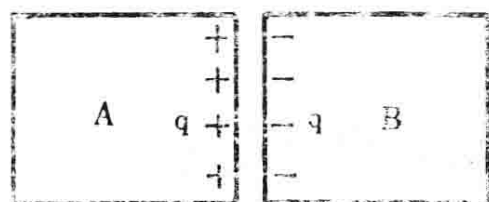


图1-1 偶电层的形成

兰克耳又把这种理论引伸应用于电介质材料。这样，无论是金属间、金属与电介质间或电介质间的接触带电，都可用偶电层理论来解释。

偶电层是在金属、电介质等固体材料的接触面上形成的，在金属中的厚度约为十分之几毫微米，电介质中的厚度约为几微米。

固体接触带电的最大电荷密度由偶电层的厚度和接触电势差共同决定，可达 0.1 C/m^2 。

接触电势差虽然微小但却能使固体具有很高的静电电势，为了说明这个问题，可把接触面视为一个平板电容器，则单位面积的电容为

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d} \quad (\text{F})$$

其中， ϵ_r —间隙的相对介电系数

d —间隙距离 (m)

故每个接触面上所带电量为

$$q = C U_{AB} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d} U_{AB} \quad (\text{C})$$

U_{AB} 为接触电势差。

如果我们将二接触面从距离 d 分离到 d_1 ，此时电容变为

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d_1} \quad (\text{F})$$

假定在接触面分离的过程中，电流不发生倒流，接触面上的电量保持不变，则电势差变为

$$U_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{d_1}{d} U_{AB} \quad (\text{V})$$

增大了 $\frac{d_1}{d}$ 倍。由于 d 值很小 (为 10^{-8} 数量级)，即使 d_1 为 1mm 电势差也会增大几十万倍。

综上所述，接触产生静电的过程可概括为：

紧密接触 $\xrightarrow{\text{电荷移动}}$ 形成偶电层 $\xrightarrow{\text{机械分离}}$ 电荷分离而产生静电 (图1—2)。

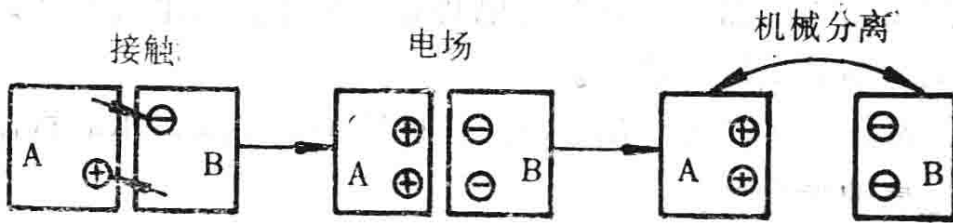


图1—2 接触产生静电过程

图1—3表示滚筒和织物的接触摩擦带电。

图1—4表示织物整理时的剥离接触带电。

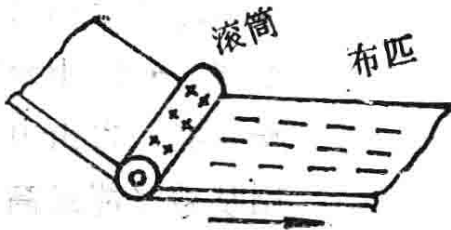


图1—3 接触摩擦带电

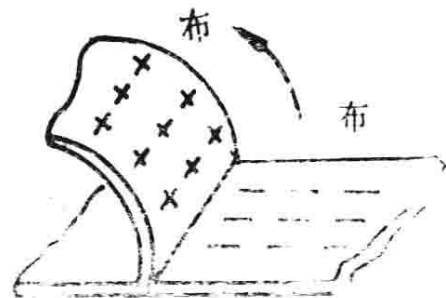


图1—4 剥离接触带电

偶电层理论是固体接触带电的基本理论，在金属—金

属、金属—电介质或电介质—电介质的分界面处，都存在这种电荷的空间分布。用该理论来解释金属接触带电问题比较简单，而且非常成功。

1. 金属接触时的接触电势差 在正常情况下，电子受到金属内正离子的束缚，一般不会逸出金属之外，只有通过外界对它做功，才有可能使电子脱离原来的原子。使一个电子逸出金属表面外界做的功称为逸出功。不同金属的逸出功是不同的，一般在 $2-5\text{eV}$ 之间。

利用逸出功概念可以容易而且形象地解释接触电势差及接触带电的问题。

接触电势差产生的原因有二：由于金属中自由电子密度不同所产生的接触电势差（称内接触电势差）和由于金属电子逸出功不同而产生的接触电势差（称外接触电势差）。我们只分析外接触电势差。

欲使电子逸出金属表面，外界施于电子的最小能量应等于金属的逸出功。

设有两块金属A和B，相应的逸出功为 ϕ_A 和 ϕ_B ，且 $\phi_A < \phi_B$ ，逸出功小者意味着它的费米能级高。A、B接触前的势阱如图1—5所示，

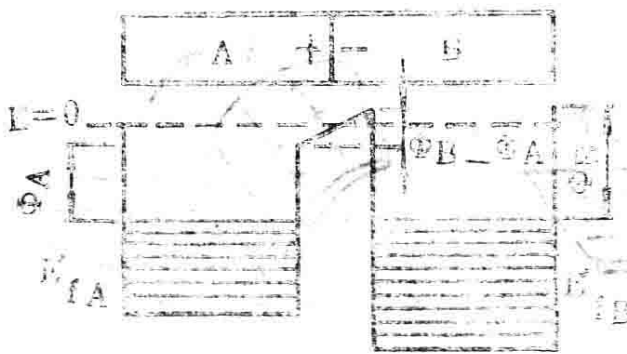


图1—5 接触前势阱

阱如图1—5所示， E_{fA} 为A的费米能级， E_{fB} 为B的费米能级。当A、B紧密接触时，自由电子则从费米能级高的A进入费米能级低的B。当达到动平衡时，两种金属的

费米能级相等。平均地看，逸出功小的A将失去电子带正电，逸出功大的B将获得电子带负电，如图1—6所示。此时A的静电势将比B

的高，由于电势差的形成好似A的势阱降低B的势阱升高，其高度差即等于电子势能的变化，使得二者能量相等。能量的变化

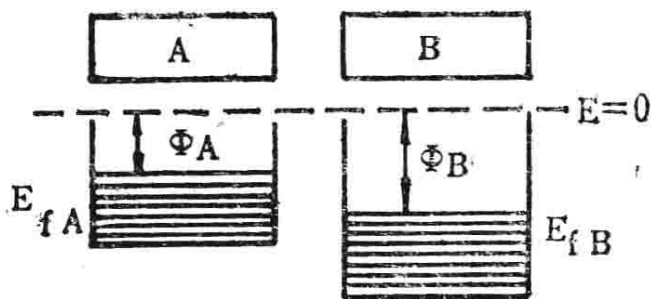


图1—6 动平衡时的费米能级

值为 eU_{AB} ，其中 e 为电子电量， U_{AB} 即外接触电势差。

从图1—6可以看出，外接触电势差与逸出功的关系为

$$U_{AB} = \frac{\phi_B - \phi_A}{e} \quad (1-1)$$

2. 电介质材料接触时的接触电势差 从上面的讨论可知，两种金属的接触带电是由接触机理所制约，其本质是由于金属具有各自不同的逸出功，金属材料具有自由电子的导电性。但对电介质材料而言，它的导电性极差，在强电场中，电子从能级中逃逸时所需的能量非常之大，以致于能够破坏晶体的结构。对于电介质接触时的导电机理众说不一，情况比较复杂。福兰克耳于1917年提出电介质具有“固有的电子电势”。西诺等仍引用逸出功的概念，并提出了一系列电介质的逸出功。上述提法都是基于电子可以单独转移的假定。也有人认为电介质的接触起电，主要是离子转移所致。

随着表面物理的发展，人们提出了新的看法。由于电介质化学成分起伏、氧化和吸附分子所引起的表面缺陷，使

得电介质的表面状态和其内部不同，似一薄金属片，因此视电介质具有等效功函数。这样，我们仍可应用逸出功的概念来解释金属—电介质、电介质—电介质间的接触带电问题。值得提出的是，这种理论尚不完全，与实验结果常有较大的偏离。

二、纺织材料的静电起电

静电带电现象按其过程分为：接触带电、吸附带电、电解带电、感应带电、压电效应带电、喷射带电、断裂破坏带电等。接触带电的偶电层发生于金属—真空、金属—气体、金属—金属、金属—半导体、电介质—电介质、液体—液体、液体—固体、液体—气体的分界面。纺织生产中常遇到的固体接触带电常发生于金属—金属、金属—电介质与电介质—电介质的相互接触。但是金属—金属间紧密接触虽能产生偶电层，但分离时接触面两边的正、负电荷将互相中和，结果两块金属皆不带电。而处于绝缘状态的金属—高分子电介质、高分子电介质—高分子电介质紧密接触时，两者都会带电。下面就讨论后两种情况：

1. 金属与高分子固体电介质材料的接触带电 在纺织纤维加工过程中，纤维与设备壁或其它机件（如导纱器、罗拉等）接触即属此种情况。

当金属与高分子固体电介质（如合成纤维）紧密接触时，界面上的带电情况如图1—7所示：对于金属，电荷集中于表面，呈面分布，用面电荷密度 σ_m 表征；对于电介质，电荷分布在一定深度的表层内，呈体分布，用体电荷密度 ρ_m 来表征。下面我们来计算表征接触带电情况的重要参数 σ_m 和 ρ_m 。

如图1—7所示，设电介质中电荷层厚度为 d 。在界面上取端面积为 S 、在电介质内长为 x 的圆柱面，由电介质中的