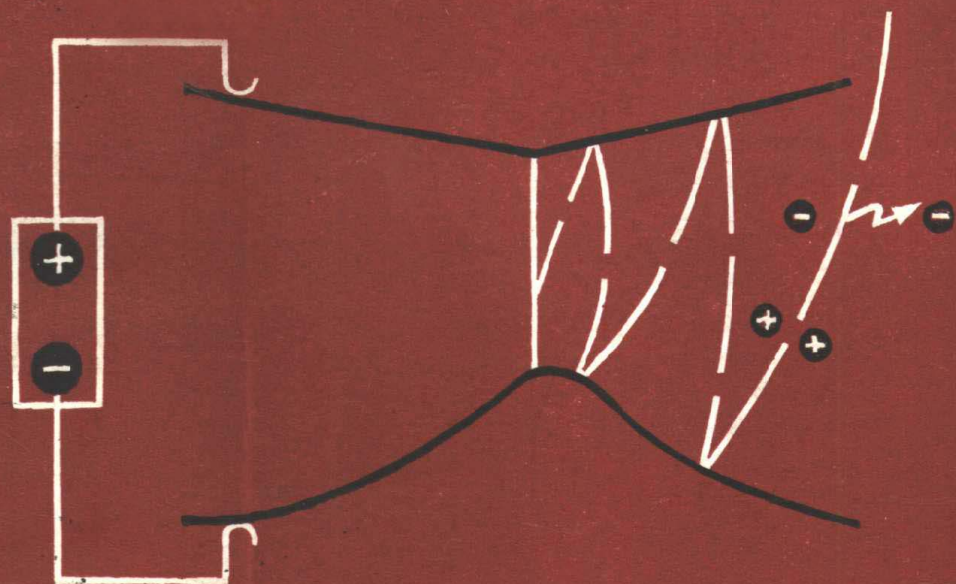


[苏] В.И.波勃科夫 М.И.格拉佐夫 著 许鉴良等 译 朱浩等 校



静电场中 纤维充电动力学 和运动形式

纺织工业出版社

静电场中纤维充电动力学 和运动形式

[苏]B.И.波勃科夫 M.И.格拉佐夫 著

许鉴良等 译 朱浩等 校

纺织工业出版社

**КИНЕТИКА ЗАРЯДКИ И ДИНАМИКА ВОЛОКОН
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

В.И.ПОПКОВ, М.И.ГЛАЗОВ

静电场中纤维充电动力学和运动形式

(苏)В.И.波勃科夫 М.И.格拉佐夫 著

许鉴良等 译 朱浩等 校

纺织工业出版社出版

(北京东长安街12号)

保定地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张: 5 8/32 字数: 114千字

1983年4月 第一版第一次印刷

印数: 1—5,000 定价: 0.67元

统一书号: 15041·1240



内 容 提 要

本书从实验和理论上研究了静电场中纤维充电动力学和运动形式,对纤维的电子-离子工艺提出了一些设想,创制了静电纺纱模型和纤维电分离装置。全书共分八章:第一章介绍纤维的电物理性能和空气动力学特性;第二章是研究纤维充电和运动形式的实验装置和方法;第三、四、五、六章阐述了纤维在静电场中两极充电、与电极接触充电、在电晕电场中充电、纤维自身放电时充电,分析了纤维充电过程,确定了充电参数,测定和计算了纤维上剩余电荷的大小,分析了电导率对纤维充电的影响;第七章研究了纤维在静电场中定向、方向性运动和纤维流凝聚;第八章阐述了静电纺纱和纤维电分离原理,提出了实验装置。书末附有电晕放电的简短说明。

本书可供纺织专业的技术人员、科学研究人员和大专院校师生参考。

译 序

近年来，随着我国四化建设的迅速发展和科学技术水平的不断提高，国防、石油、化工、轻工、纺织、印刷等国民经济部门防止或应用静电的范围日益广泛。就纺织工业而言，防止化纤加工中的静电危害，利用静电纺纱、除尘和植绒等技术，在我国已取得不少可喜的成果。因此，人们越来越迫切需要更深入地掌握防止静电危害和静电应用的技术。为了更好地适应我国科学技术的发展，促进国内静电研究，学习和吸取外国的有益经验是十分必要的。为此，我们翻译了《静电场中纤维充电动力学和运动形式》一书。

本著作是苏联动力工程学院高压实验室，在莫斯科纺织工学院纤维材料教研室协助下，对纤维电性能、纤维充电动力学和纤维在静电场中的运动进行研究的成果。作者创制了一种研究纤维充电和运动的实验装置，并用“三处悬吊”的方法，测定和计算静电场中单纤维上的电荷和受力；运用频闪摄影观测静电场中纤维运动；详细研究了利用纤维在静电场中两极充电、与电极接触充电、在电晕电场中充电及纤维在静电场中自身放电充电等不同充电方法，控制静电场中纤维运动的原理；研究了纤维充电过程，确定了充电参数，分析了湿度、电导率对纤维充电的影响；对纤维在均匀电场和不均匀电场中运动的不同控制方式——纤维分离、定向、方向性运动和凝聚作了探讨。本书还综述了纤维电物理性能和空气动力学特性，简要介绍了电分离原理；对美国 and 苏联的静电纺纱装置作了比较。

本书试验方法独特，内容比较全面、系统，既有大量实

验数据，又有系统理论计算和纺纱试验，在运用电动力学一般原理，分析静电纺纱实际问题方面，作了有益的尝试。因此，该书对从事静电应用技术的同志将有所启发和借鉴，特别对静电纺纱的实验和理论研究，将有一定的参考价值。

本书译校过程中，对原书中已发现的印刷错误，作了订正。对于书中有关名词术语，除纺织专用者外，均统一于一般电动力学术语。

本书目录、第三、四、七、八章及附录由许鉴良同志翻译，绪论、第一、五章由邵宽同志翻译，第二章由王仲宜同志翻译，第六章则由许鉴良同志和邵宽同志合译。全书由朱浩和张渠同志校阅。根据校阅意见，许鉴良同志对全文作了修改。

初稿译出后，严灏景同志曾提过宝贵意见，在此特表深切的谢意。

由于我们水平有限，译文中一定会存在不妥之处，敬请读者批评指正。

许鉴良

1982年4月

目 录

绪 论	(1)
第一章 纤维的某些电物理性能及空气动力学	
特性	(8)
第一节 纤维的电导率	(8)
第二节 纤维运动时的空气阻力	(12)
第二章 研究纤维充电方式和运动形式所用的	
实验装置和实验方法	(22)
第一节 实验装置	(22)
第二节 测定纤维剩余电荷的方法。纤维在 分梳机构出口处初始充电	(27)
第三节 用纤维“三处悬吊”的方法测定两 极电荷	(31)
第四节 预经两极充电的纤维定向研究方法	(36)
第三章 纤维在静电场中两极充电	(40)
第一节 远离电极的电场中纤维上电荷的静 电感应。电荷的极限值	(40)
第二节 两极电荷大小及其沿纤维长度分布 特性的实验估计	(45)
第四章 纤维在静电场中与电极接触时充电	(49)
第一节 湿度对棉纤维充电参数和运动的影 响	(49)
第二节 确定纤维在电极上充电的时间常数 和电导率	(60)
第五章 电晕放电电场中纤维流的充电	(63)

第六章 静电场中纤维自身放电时纤维流充电	(75)
第一节 纤维在静电场中不与电极接触时的 充电机理.....	(75)
第二节 高压电场中电晕放电的特点.....	(76)
第三节 依靠纤维自身放电使纤维充电所需 条件的估计.....	(82)
第四节 纤维充电方法可行性的实验检验和充 电时间及剩余电荷大小的测定结果.....	(86)
第七章 纤维在电场中的运动形式	(95)
第一节 纤维的定向.....	(95)
第二节 纤维的方向性运动.....	(108)
第三节 纤维流凝聚.....	(112)
第八章 控制电场中纤维流的概述	(126)
第一节 静电场中纱条自由端形成的概述.....	(126)
第二节 纤维在纺纱区间内的运动过程和纺纱 机构最佳参数的选择.....	(133)
第三节 纤维电分离原理及其示意图.....	(140)
附录 电晕放电的简短说明	(152)
参考文献	(157)

绪 论

虽然人类早在公元前六世纪，观察轻微粒子在“琥珀摩擦”起电的电场中运动时，就第一次认识了电，但对这一系列类似现象的实践意义，直到二十世纪初叶甚至中叶之前还不理解。到了十七世纪和十八世纪，这种现象的某些方面，仅仅引起了物理学家的一些兴趣，他们还没有进一步认识和实践的打算。此后，随着电-磁现象的理论和电物理学的蓬勃发展，虽然打开和扩大了电磁感应的应用范围，但在一定程度上，忽略了静电方面的研究和应用，致使静电的理论和应用，几乎是在电技术理论中发展最慢、研究得最少的。

在本世纪初，科特列尔（Котрел）才第一次将上述静电现象，应用到工业生产中，这就是静电过滤器。它是利用带电粒子在电场中运动时，从工业气体中分离出这些粒子，并且沉淀在电极上，以防止将有害气体排放到大气中，或将分离出的粒子回用到贵重产品的生产上。基于这一原则，自本世纪中叶起，又实现了带电粒子在高压电场中的运动，并且将其推广到了其它的工业过程中。例如，工件或装饰品的涂层，松散材料自矿石，以至粮食作物种子的分离和级选，凝集气体中的同质悬浮体，利用原材料的各向异性电物理性能，在电场内制成层状电介质或其它材料，在纺织生产或其它工业生产上制造某些半制品或者成品，等等。上面列举的各点仅是静电应用的一部分，还远未包括已经实现或正在实现的加工过程，可以说，这一新型的电技术，即静电工艺，或根据国外术语称电子-离子工艺（本文献中用此术语，因为在很多情况下，利用的都是离子化的气体介质）具有广阔前

景。现在，这两种名称都不十分确切，它不能反映出在强电场作用下，这种工艺过程所具有的全部特征。此地以展开的形式给它定义为：利用强电场和松散材料所带电荷间相互作用，以及利用电场内带电材料运动特点，使材料具有形成产品所必需的各种有规则的运动，加工原材料和制成成品的过程和方法。

电场和与质点相连的电荷间的相互作用形式是多种多样的，用受控电场可使带电材料流具有不同形式的有规则和定向运动。

一般说来，作用在电场中质点上的电场力是不大的，而且都作用在附于表面的电荷上。因此为了使它显示有足够的电场力，这就涉及到材料的分离和扩散问题，以扩大材料的表面。分离程度的大小与静电过程形式的关系，可能是各不相同的，质点从小于微米数量级到以十毫米计的大小，特别是在纤维材料的情况下，分离程度都各不相同。此时，处于标准密度下气体中的质点，沿电场方向运动的速度，可以从每秒一厘米到上百厘米变化。在某些情况下，当电荷相互作用距离很小时，材料的分离程度不起实质性的作用。

仅能利用分散材料，大概是静电过程的唯一缺点，但它大大地为下列优点所补偿。静电过程主要可适用于任何材料——导电的或者绝缘的，适用于任何集聚状态——固态的、液态的或气态的，以及适用于任何介质——气体的、真空的或者液体的（电介质）。在后一情况下，过程的某些状态近似于所谓电泳现象。同时，电场与电荷间相互作用的形式各不相同，所有这些都可以应用在不同工业部门的作业中。

既然，这些静电作业不仅能在电场中单独进行，而且也可能与热的或化学的作用合在一起进行。同样，在分散材料

的情况下，常常也是有效的，与这里所说的极其精辟、极其普遍的电工学方法是一致的。原则上，电工学的方法能使材料和结构复杂的产品，在电场内形成，而且可以控制产品的结构。所有这些都特别符合于现代自动化生产条件的要求。其实，我们所研究的静电过程都是连续的过程，况且有不同程度的可控性。在这方面，它能与这样的电子学过程相比较，就是说它不是在小小的电子管空间内，而是在工业设备的工作空间内，实现电子过程。此处，接近于控制离子流和电子流，而几乎具有与电子管相同的精度，从广义上讲，电场控制着带电原料流的运动。从这点来说，静电的电子过程与电子管的电子过程是一致的。尽管这样的大量而连续的过程，所有的作用都加于粒子流中的每一个粒子上，而不管这些粒子多少。这种与其它一系列此处难以说明的情况同时作用的特性，可用于多种生产中完成最细致、最精确的作业。而事实上，在某些设备上确实完成了象制造金银丝线这类产品的精细作业。

可以确实地说，上述工艺的潜在的可能性，它的本质至今还没有弄清，而这里之所以要仔细地阐明这个空白点，是为了使大家进一步深入探讨和研究它的未来应用，这是没有疑问的。当然，一般关于电场与带电材料间相互作用的想法，其实与其他的许多想法一样，进一步地发展了产生或应用电能的新方法，这点大家早已知道了。然而，有关已被人类利用的静电现象，它的复杂的物理机械综合概念，尤其是关于数量上的分布规律，是远远不清楚的。因而创造一种对带电物体有目的定向的有效和可控工业过程，以及改进在实践中已普及的静电工艺是困难的。

处于电场中的纤维状等细长型粒子的性状，在许多方面

都是特殊的，这要做专门的研究。

在以前发表的论文中，关于纤维与电场间相互作用问题的描述，实际上都没有超出纺织工业中所使用的，不同电场方法的定性描述范围。对于纤维通过电场空间时所发生的这样或那样的物理过程的作用，无论是在理论上还是在实践上，都没有做过定量的分析。缺乏有关充电方法，技术上可达到的力的大小，纤维的运动形式，电场对纤维作用所需要的时间，纤维运动的速度等方面的数据。

探讨电子-离子工艺方法的科学原理的任务是由 Г.М. 柯尔齐查诺夫斯基动力学院高压实验室(ЛВН ЭНИН)，在六十年代初期提出的。

本文所研究、实验和分析的主要问题是：

——发展关于电场对纤维作用的物理机械综合概念；

——研究纤维以不同的方式进行充电的过程（在静电场内的电极充电，在电晕放电电场内充电，等等），包括确定充电的参数以及研究纤维的电学性质、湿度、电导率对充电过程的影响；

——估计电荷和电场力的最大值；

——说明采用不同的充电方法，对控制电场中纤维流运动的可能性；

——研究纤维在均匀电场和不均匀电场中运动时的不同的控制方式（定向、方向性运动的不同形式、纤维的凝聚、纤维的分离）；

——探讨上述过程的研究方法；

——探讨在电场内实现纺织生产某些工艺过程中的根本方式，例如，由原棉纺成细纱的过程。

书中着重引述了所提到的文献中的某些主要结论。

根据电场与分布在粒子上电荷间相互作用的特点，有两种不同类型的电荷：一种是自由电荷，这是导电物质所固有的；另一种是束缚电荷，是电介质所固有的。自由电荷，包括电偶极子（感应）对作用在纤维上的电场力大小的影响已经解决了。纤维充电引起的作用力，比作用在“未充电的”电介质纤维上的力，以及引起电场与极化（束缚）电荷间的相互作用力，高3~4个数量级。

不过，要特别注意空气的湿度对电场中纤维活动特性的影响。这是因为纤维的导电性与空气湿度有关系，纤维电导率的大小直接影响到电场中纤维的充电强度。在实际湿度的范围内，确定棉纤维充电时间常数，是确定棉纤维充电过程的重要参数之一。

大家知道，纤维在电场内获得剩余电荷有两种方法：其一是电极充电，此时纤维与静电场的一个电极接触而充电；其二是在电晕放电电场内充电，包括处于体电荷范围内，沉积在纤维上的离子的充电过程。

本书提供了论证纤维在静电场中脱离体电荷的自由电荷的作用，以及纤维在不与电极接触的情况下实行充电的新方法，这种新方法对控制纤维流的运动，有很大的实际意义。其原理就是利用纤维一端自身放电而获得剩余电荷，用纤维尖端上发生的电离现象，代替从前的充电方法。虽然如此，研究利用这种现象使纤维流在静电场内充电的可能性还是第一次。也没有发表和论证过关于静电场内的纤维特性问题，而依靠纤维尖端电离现象所获得的“飞行中”的电荷，则不需与前述的任何一个电极接触。

本书研究了（分析和实验）实现纤维的这种充电方法所需具备的条件，同时确定了纤维的运动和充电的参数。

利用电场力控制纤维流的问题，包含着一系列的问题需要解决。例如，纤维的定向和伸直，纤维的方向性运动和速度，纤维的分离和除杂，从而最终得到纤维流。

书中分析了棉纤维定向时所发生的一系列物理现象，并且确定了纤维在电场中进行快速定向的条件。

此外，研究了带有剩余电荷的纤维，在电力线方向上的前进运动情况，也分析了不充电纤维及极化充电纤维，在不均匀电场中沿电场强度增强方向上的运动过程。这同样是探讨控制纤维流的最重要的问题之一，这就是关于该纤维流的凝聚问题，即纤维流在“线性焦点”上的收缩问题。确定了纤维在由特殊形状的电极（二维或三维空间）构成的静电场内，纤维的凝聚力和运动速度的大小。

书中写进了电分离纤维的研究结果，其中包括根据长纤维在静电场内有选择充电的可能性，将纤维按长度加以分离的方法。

书中介绍了研究方法，尤其是“三处悬吊”法。用这种方法可以分别测量出两极充电纤维上的两种极性电荷的多少。同时，介绍了“电场变向”方法，用来研究纤维在电场内的定向过程和运动速度。

书中引用了苏联动力学院高压实验室所取得的某些成果，探讨和研究了利用电场力形成纤维流的工艺流程，以及控制该纤维流的方法，以便创造出静电无钢领纺纱装置。这种实验装置的工作状态，是按静电场中形成的细纱的平均细度进行设计的。

苏联动力学院高压实验室的实验工作，主要就是研究利用电场控制棉纤维流过程的方法。然而，可以肯定地说，不论是实验的还是理论的，他们所取得成果的意义，在于扩

大了这些过程与纤维材料电物理性能间的联系，可以把这些成果用到其他的物理-化学结构的、别的形状的、尺寸不同的长形粒子上。同样，也探讨了静电纺纱的原理。目前所完成的工作，譬如说，仅仅是利用了所取得的成果，去研究纤维的充电方法及控制纤维流的方法。这些成果在许多方面，可以直接用来评定模拟装置中电场与其他天然纤维、化学纤维间的相互作用的状态。

一旦揭露了事物的本质，即使在一定的程度上对电场力控制纤维流的问题研究得不够，也可以预言近期纤维材料加工工艺中所使用的各种各样电场的发展趋势。

作为本书的基础是作者在动力学院高压实验室内做出的研究成果。

作者非常感谢工程师A.A.皮摩辛和A.K.瓦那哥斯，他们帮助我们做了部分实验工作；感谢技术科学副博士A.T.那基扎吉参加了初期阶段的研究，尤其要感谢技术科学博士B.И.列文托夫教授和技术科学副博士A.Γ.梁平，他们提出了一些有价值的和中肯的建议，多次讨论了实验的结果。

在工作中接触了中央棉纺织科学研究院的工作人员，他们就实验装置设计的工艺问题以及工艺实验的问题，提出了不少建议。作者对中央棉纺织科学研究院静电纺纱研究室的工作人员，在工作中提出的有价值的意见，以及他们在自制的试验机台上，帮助我们做的大量实验表示感谢。

第 一 章

纤维的某些电物理性能 及空气动力学特性

第一节 纤维的电导率

在分析电场内长形粒子（例如纤维）间的相互作用时，不仅需要考虑粒子材料的介电性质，而且也应考虑粒子材料的电导率。

粒子的充电效果决定于带电粒子的电荷量大小（集中在粒子两端上的电性符号不同的电荷量或粒子上一端形成同一符号电性的电荷量），以及实现充电过程的时间长短。

电场内，粒子充电的动力学过程决定于指数方程式：

$$q = Q[1 - \exp(-t/\tau)] \quad (1-1)$$

式中： q ——电荷量；

Q ——饱和电荷量；

t ——充电时间；

τ ——充电过程的时间常数。

充电时间常数是影响纤维在电场内充电过程及其充电强度的重要参数之一。时间常数的大小与纤维的几何尺寸及其电物理性能（导电率，介电常数）有关，同时在某种程度上也与外部介质的状态有关。

棉纤维的电导率，正象文献^[1-1~1-6]所指出的，与周围介质的湿度有明显的关系，当空气湿度从20%变化到80%时，棉纤维的电导率增加达百万倍以上。应当指出，纤维的电导率与周围空气湿度的关系仅仅是间接的关系，而与处于一定的平衡状态下纤维的回潮率直接有关。

棉纤维吸收空气中水分的现象，在很大程度上是由纤维的物理吸着过程产生的。最初是吸附作用，即将水蒸气凝聚在纤维表面，以后是吸收作用，即水分被吸收到整个纤维体内，而毛细管作用的凝聚现象就是纤维的毛细管中的水蒸气的液化作用^[1-7~1-8]。当条件变化时，纤维从周围介质中吸收的水蒸气量，或将水蒸气扩散到周围介质中的量达到一定的极限，这就是通常所说的吸附平衡。根据资料^[1-9]的介绍，当温度为20℃时，棉纤维的平衡含水率 w 与空气相对湿度 r 的关系如图1-1。

据文献^[1-1]，当空气湿度变化时，在最初的10~20min的时间内，棉纤维的电导率产生明显的变化，而达到完全平衡需经三昼夜以上的时间。

本文中，采用空气的相对湿度表示空气的湿度。在测试棉纤维的电导率之前，试样需在一定的空气条件下预先放置三天以上的时间，而空气的温度应保持为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

由于棉纤维的吸湿性，在空气相对湿度 $r \geq 25 \sim 30\%$ 时，就造成了棉纤维的导电性。棉纤维导电的主要部分是纤维中具有离子特性的部分，而电导率的大小则决定于流过纤维无定型区的电流量。这已被结晶区的纤维素具有高的比电阻（棉纤维的回潮率低时，实际上是电介质），以及由于电流流过纤维而出现的电解产品所证实^[1-10, 1-11]。

表示棉纤维电导率特性的有两种极端的观点：