

一些影响纤维静电因素的测定

吕柏祥 孙冰倩

(华东纺织工学院) (山东纺织研究所)

【提要】 本文用LFY-4B型感应式静电仪测定了相对湿度、非纤维附着物以及涤纶纤维分子取向度对纤维静电电压及电荷半衰期的影响,发现相对湿度在45~60%范围内,合成纤维、蚕丝、羊毛的静电电压有最大值,各种纤维的半衰期随相对湿度增高迅速减短,当相对湿度达60%时,大多数纤维的半衰期已相当短,加上适当的非纤维附着物,可明显地降低静电电压,缩短半衰期。在测定范围内,随着涤纶纤维取向度的提高,静电电压增高。

一、试验仪器及方法

1. 试验仪器

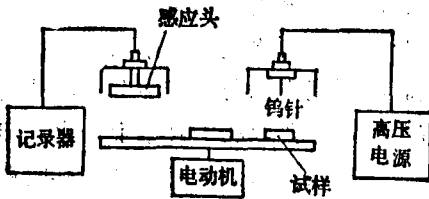


图1 感应式静电仪原理图

采用山东纺织科学研究所研制的 LFY-4B型感应式静电仪^[1]。主机的结构原理如图1所示,由充电系统、高速回转载物台及静电感应系统组成。充电系统主要为钨针电极,当钨针被加以高压电场后,由于尖端放电作用,使钨针周围空气电离,与钨针极性相同的离子被排斥到位于针下面载物台上的试样上,试样被充电,高速回转载物台将充电后的试样带至感应系统下面。在感应头上产生与试样异号的感应电荷,感应电荷值由测定仪表及记录仪记录。此仪器可测定在钨针一定放电电压下经一定充电时间(通常30秒)后试样上感生电压及衰减速度,称为定时法;也可调节放电电压,当试样上感生一定电压值时停止充电后测定试样上电荷的衰减速度,称为定压法。由于试样本身性

质、处理条件、大气状态等不同,导致纤维导电能力的差异,致使积累的电荷(或电压)及电荷的散逸速度不同。

2. 试验方法

取棉、毛、丝、粘胶、涤纶、腈纶、锦纶、丙纶等纤维作为试样,测试前用萃取法脱去纤维上所含油剂,干燥后称取一定重量(1.5克左右),在纤维引伸器上制成具有适当宽度及厚度的条子,在50°C的烘箱中预处理2小时,并置于预定相对湿度下平衡,然后用定时法测定各试样的静电电压及半衰期。

二、测试结果及讨论

1. 不同纤维的半衰期

经高压电场充电后,纤维上电荷散逸速度的快慢与纤维是否容易产生静电危害关系极大。纺织品在加工及使用过程中,纤维的静电危害主要决定于残留在纤维上电荷量或静电电压的大小。当纤维上残留的电荷量在某一限值以下时,不会造成危害,但若超出某一限值,静电危害就变得十分严重,产品质量恶化,甚至不能进行正常生产或危及人身安全。残留电荷量的多少决定于电荷产生的速度及纤维的导电能力。当产生的电量一定时,残留电量主要决定于纤维的导电能力,

收稿日期:1983年10月19日。

而导电能力与比电阻及介电常数有关。若充电产生的电荷量为 Q_0 ，相应的电位为 V_0 ，经时间 t 后纤维上残留的电量为 Q_t ，电位为 V_t ，纤维导电过程可看成一简单的充了电荷 Q_0 、具有电位 V_0 的电容器对电阻 R 的放电，于是有下列关系式：

$$Q_t = Q_0 e^{-t/RC} \text{ 或 } V_t = V_0 e^{-t/RC}$$

式中： R 为纤维的电阻； C 为电容器的电容。

令 $\tau = RC$

设试样的面积为 S ，厚度为 d ，体积比电阻为 ρ_v ，纤维相对介电常数为 ϵ ，空气绝对介电常数为 ϵ_0 （为一定值），则上式可化为：

$$\tau = \rho_v \frac{d}{S} \times \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d} = \rho_v \epsilon \epsilon_0$$

τ 称为放电时间常数，可见 τ 与纤维导电的本质有关，是一个反映静电衰减速度的物理量。

当 $Q_t = Q_0/2$ 或 $V_t = V_0/2$ 时，相应的衰减时间为 $t_{1/2}$ ，称为半衰期，于是有：

$$t_{1/2} = \tau \ln 2$$

所以，半衰期 $t_{1/2}$ 也是反映静电散失快慢的一个物理量，由于测定方便，故实际应用中常测定 $t_{1/2}$ 。

在46%相对湿度、3千伏充电电压下充电30秒钟，使试样上产生感应电荷，然后停止充电，测定各纤维试样脱去油脂的静电压衰减曲线（见图2）。设30秒钟充电结束时的感应电压为 V_0 ，随着时间延长，电荷散逸，其电压为 V_t 。几种纤维的半衰期 $t_{1/2}$ 及衰减时间常数 τ 见表1。所测的几种纤维上静电的衰减速度从慢到快依次为：丙纶→蚕丝→涤纶→锦纶→羊毛→腈纶→棉及粘胶，其半衰期大小也有同样的次序。一般，合成纤维静电衰减均较缓慢，丙纶最慢，粘胶的半衰期最短。在天然纤维中，蚕丝的静电衰减速度最慢，而棉最快。这与实际生产中所产生的静电现象基本上是一致的。

由前面讨论可知，半衰期决定于纤维的

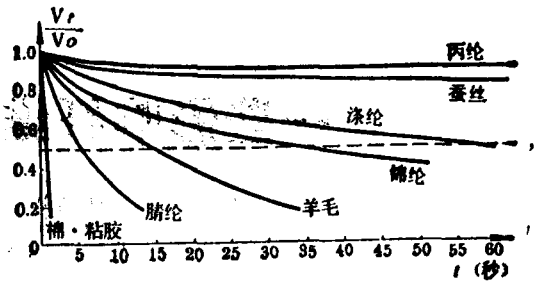


图2 几种纤维的静电压衰减曲线

表1 几种纤维的半衰期 $t_{1/2}$ 及衰减时间常数 τ

纤维	丙纶	蚕丝	涤纶	锦纶	羊毛	腈纶	棉·粘胶
$t_{1/2}$ (秒)	>15(分)	400.6	56.2	35.3	14.3	5.7	<1.0
τ (秒)	>21.6(分)	578.1	81.1	50.9	20.6	8.2	<1.0

比电阻 ρ_v 和介电常数 ϵ 的乘积。在46%相对湿度下，各种纤维的 ϵ 值从2.5到7.0左右^[2]，差异不很大，但 ρ_v 值却有百万倍的变化^[3]。所以，静电散失速率与纤维比电阻关系十分密切。而比电阻大小与纤维吸湿能力有关。吸湿能力除与纤维中分子的聚集态结构有关外，主要取决于纤维上亲水基团的多少，亲水基极性的强弱以及亲水基团在纤维大分子链上的位置。由纤维的离子导电理论^[4]可知，通常情况下纤维中电荷的载体主要为离子，电荷散逸速度取决于离子迁移速度，当吸收有足够的水分子后，纤维中就会形成连续的水膜，带电离子会沿着水膜这一通路迅速迁移，电荷散失迅速。如果吸收的水分子较少，不能形成连续的水膜通路，电荷迁移到水膜断开的地方就会停留下来。当中断的通路经一定时间由于吸收新的水分子而被接通时，电荷才能继续向前迁移。纤维吸湿能力越差，通路被中断的次数越多，相对湿度越低，通路中断的时间越长，电荷迁移速度越慢。丙纶纤维没有亲水基团，纤维吸湿只是靠表面吸附或毛细水吸附，在46%相对湿度下，回潮率几近于零，电荷散失非常缓慢，故半衰期很长。涤纶、锦纶、腈纶的亲水基团较少，亲水性也相对较弱，在46%相对湿度下，回潮率很低，故静电散失比较

缓慢，半衰期也较长。棉、粘胶等纤维素纤维上有较多、较强的亲水基团——羟基，故在46%相对湿度下，回潮率较高，静电散失相当迅速，半衰期很短。羊毛虽然亲水基极性基较多，且较强，吸收水分子也较多，但由于羊毛纤维分子间有很强的横向交键，其吸湿为三相吸湿，水分子被紧紧地吸附在侧链上，影响了电荷的传递，电阻较大，静电衰减仍较缓慢。蚕丝为β丝朊结构，侧链上的亲水基团比羊毛少，吸湿能力比羊毛差，故静电衰减相当缓慢，这是绢丝纺织加工过程中产生严重静电干扰的主要原因。

2. 相对湿度对静电性能的影响

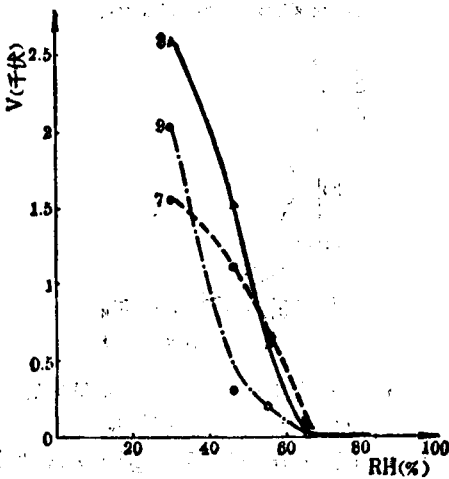
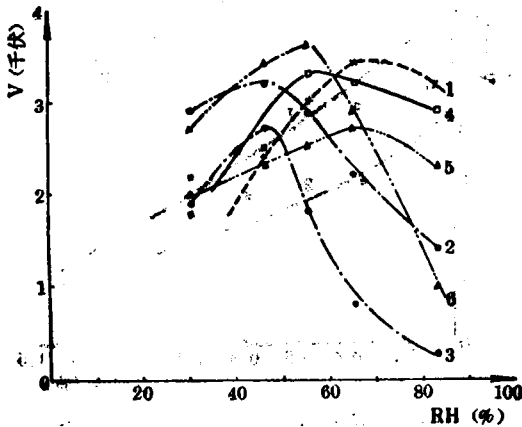


图3 几种纤维的静电电压随相对湿度的变化曲线
 1—脱油漆纶；2—锦纶；3—脱油腈纶；4—脱油丙纶；
 5—脱胶丝；6—羊毛；7—脱油粘胶；8—脱脂棉；9—棉。

图3为几种纤维的静电电压随相对湿度的变化曲线，由于控制设备限制，低于30%相对湿度的情况没有测定。可以看出，在测定的相对湿度范围内，大部分纤维的静电电压先随相对湿度的提高而增大，除棉、粘胶纤维外，当相对湿度达45~60%左右时，静电电压达最大值，之后，则随相对湿度的提高静电电压降低。

在感应式静电仪测定中，相对湿度的提高起两方面的作用：其一，按离子云中和说^[1]的观点，当加以电压，产生汤生放电时，与钨针电极极性相反的离子被排斥向试样，其中一部分与试样上原来所带异号电荷相中和，多余的带电离子则积聚在试样表面，随着相对湿度的提高，空气中水分子数增多，在同样放电电压下，空气更易于电离，提高了空气的离子浓度，使起电有增大的趋势；其二，随着相对湿度的提高，纤维回潮率提高，电阻降低，电荷散逸能力增大，电荷的积聚减少。感应式静电仪上放电时所测得的静电电压从本质上说是这两方面影响相互消长的结果。在相对湿度低时，纤维电阻较高，电荷散逸的通路被大量阻隔，此时，离子云在纤维表面累积是主要因素，所以在一定相对湿度范围内，随着湿度的增高，纤维上带电荷量增加。但是，随着相对湿度继续增大，纤维上导电通路的阻隔数逐渐减少，电荷散逸加快，以致达某一临界相对湿度值后，电荷散逸速度便成为主要因素，纤维静电值下降。临界相对湿度值随纤维的吸湿性能而异，低吸湿性能的合成纤维其值高于吸湿性好的纤维。在测定范围内虽未测得棉与粘胶纤维的临界值，但按上述分析，可以推测，其临界值应位于更低的相对湿度范围内，塞尔达^[4]的实验曾指出，其临界值在20~25%附近。按三相吸湿理论，羊毛、蚕丝尽管吸湿较高，但其临界值应该出现在较高相对湿度时，这与测定的结果在规律上是一致的。

静电电压是描述纤维带电性能的一种指

标,但是与造成静电危害关系更为密切的是静电半衰期。图4为几种纤维静电半衰期随相对湿度的变化曲线,由图可见,随着相对湿度的提高,各种纤维的半衰期下降。合成纤维、羊毛和蚕丝等当相对湿度达60%时半衰期已相当短了,而棉、粘胶等纤维在40%时就很短了,电荷几乎在一瞬间就散失掉,所以,静电测试时的相对湿度以40%左右为宜。

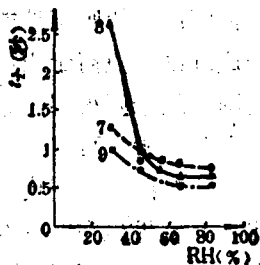
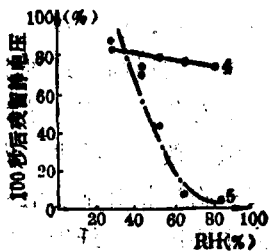
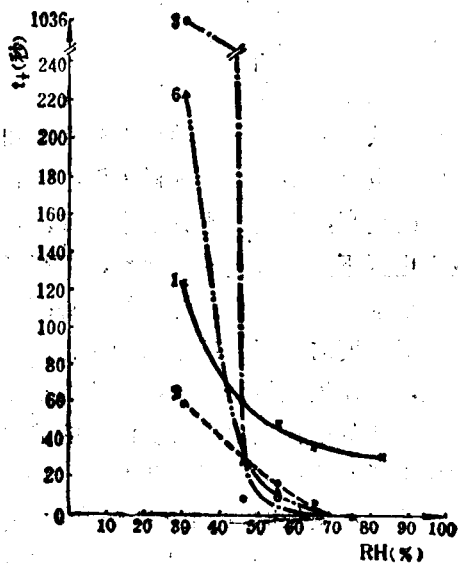


图4 几种纤维半衰期随相对湿度的变化曲线

1—脱油涤纶; 2—锦纶; 3—脱油腈纶; 4—脱油丙纶; 5—脱胶丝; 6—羊毛; 7—脱油粘胶; 8—脱脂棉; 9—棉。

3. 非纤维附着物对静电性能的影响

任何材料导电的载体主要是电子(包括空穴)及离子,作为高分子材料的纺织纤维,由于其原子是成共价键方式结合,在电场作用下,其原子既难于脱落外层电子而形成电子电导,也难于离解成离子而成离子电导,故纯净的纺织纤维具有非常高的电阻,是良好的绝缘体。但是,在纤维的形成过程中一旦沉积有棉腊、油脂或者加上化学纤维油剂以及其它金属盐化合物等非纤维物质后,在一定相对湿度条件下,当电场作用时,这些非纤维杂质能电离成带电载体——离子,沿着水分子提供的通路使电荷迅速散逸。

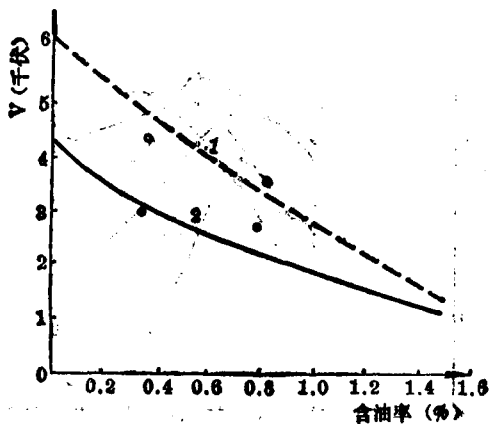


图5 涤纶卷绕丝含油率与静电电压关系
1—28%RH; 2—55%RH。

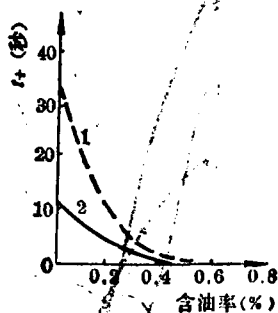


图6 涤纶卷绕丝含油率与半衰期关系
1—28%RH; 2—55%RH。

图5和图6分别为涤纶卷绕丝含油率与静电电压及半衰期的关系曲线。由图可见,随着含油率的增加,不管相对湿度如何,静电电压及半衰期都明显下降。这已为大量生产实

践所证实。

化学纤维油剂的主要作用之一是界面配向性，油剂分子憎水的一端与纤维结合，亲水的一端朝向空气，这样，就可以吸收空气中的水份，形成电荷迁移通路，提高导电能力，降低电压及缩短半衰期。在同样含油率下提高空气相对湿度，能被吸收的水分子数增多，通路中断次数减少，因而静电电压降低，半衰期缩短。在同样相对湿度下，随着油剂含量的增加，吸收水分子增多，静电电压将降低，半衰期也将缩短。在一定相对湿度条件下，当油剂含量达到某一值时，例如本试验中油剂含量达0.4%后，已能在纤维表面形成连续的油膜和水膜，再继续增加含油时，电荷迁移的速率增加很小，半衰期不会再明显缩短。这一限值随纤维种类及油剂性质而异。

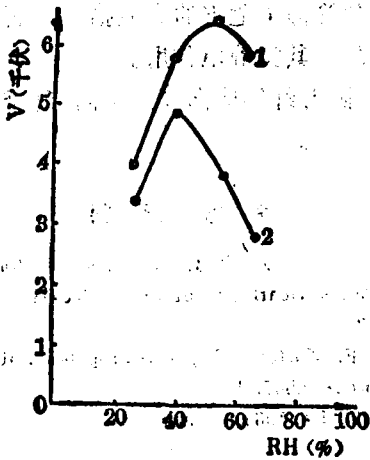


图7 蚕丝经油剂处理前后静电电压的变化
1—未处理蚕丝；2—经油剂处理蚕丝。

图7为家蚕丝经油剂处理前后在不同相对湿度下静电电压的变化，表2为处理前后半衰期的变化值。可见经处理后，静电电压和半衰期有明显降低，在绢纺工艺中，静电现象有明显改善。

表2 蚕丝经油剂处理前后半衰期变化

相对湿度(%)	28	55	65
处理前半衰期(秒)	210.8	46.8	14.5
处理后半衰期(秒)	9.2	1.5	1.5

除油剂外，若在纤维上加易于电解的金属盐，也会收到降低静电的效果。我们曾测定了经不同浓度KCl溶液处理过的棉纤维静电电压变化，如图8所示，证实了这一规律。

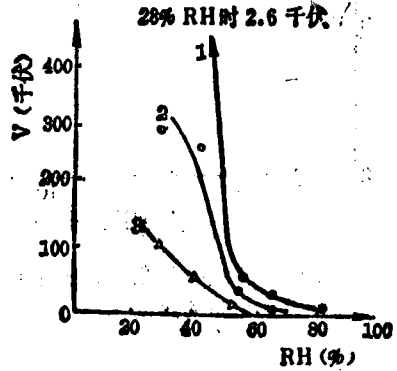


图8 经KCl处理棉纤维静电电压变化
1—未处理；2—经0.5%KCl处理；3—经1%KCl处理。

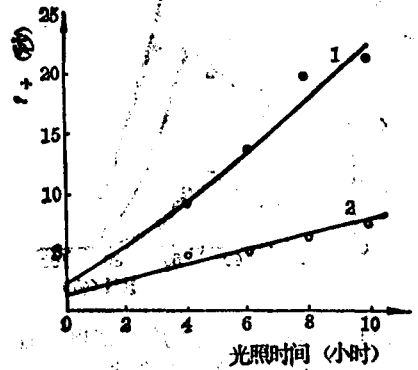


图9 锦纶纤维经不同时间紫外线照射后半衰期变化
1—28%RH；2—46%RH。

加油剂等非纤维附着物会增加导电能力，但是随着纤维贮存时间的增长以及贮存过程中温湿度等大气条件的变化，抗静电性能有明显减退。图9为在日晒牢度仪上模拟日晒的锦纶纤维，经紫外线照射后静电半衰期的变化曲线。从图中可见，随着光照时间的增长，半衰期明显延长。因紫外线波长较短，照射时温度较高，使油剂蒸发与裂解，破坏了油膜的分布与亲水性能，增大了纤维的电阻，如图10所示，故半衰期延长。

4. 分子取向度对静电性能的影响

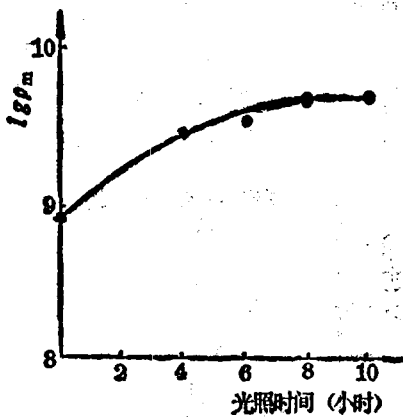


图10 经不同时间紫外线照射后锦纶纤维质量比电阻的变化

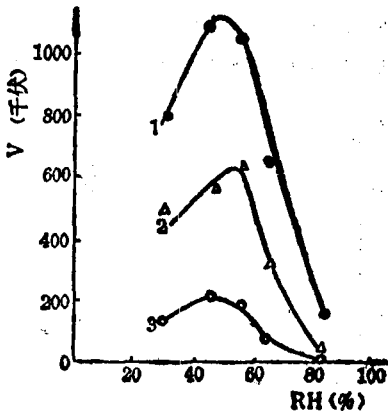


图11 不同取向度涤纶丝的静电电压随相对湿度的变化曲线

1— $\Delta n=0.0508$; 2— $\Delta n=0.0305$; 3— $\Delta n=0.0114$ 。

图11为由同一喷丝头纺出的几种不同取向度涤纶丝的静电电压与相对湿度的关系曲线, 纤维取向度以双折射率 Δn 表示, 其值分别为0.0114、0.0315和0.0508。由图可见, 纤维分子的取向度愈高, 静电电压愈大。这是因为当分子取向度愈高时, 大分子排列愈整齐, 分子间距离愈小, 水分子不易进入纤维, 电荷迁移的通路被更多地阻隔中断, 电荷难转移, 所以, 累积在纤维上的电荷增多。

三、结 论

1. 不同纤维由于其组成成分不同, 纤维

上亲水基多少、亲水性能强弱以及不同纤维的吸湿机理不同, 在同样大气条件下, 静电性能不同。吸湿性愈差, 电荷迁移通路阻隔中断次数愈多, 电荷愈不易消失, 静电压愈高, 半衰期愈长, 静电危害便愈严重。

2. 随着空气相对湿度提高, 所测纤维的静电压起初逐渐增高, 达临界值后再继续增高相对湿度时, 静电压则下降, 对大多数合成纤维、羊毛和蚕丝, 这一临界值在45~60%, 棉与粘胶的临界相对湿度小于30%。各种纤维的静电半衰期随相对湿度的增加而降低, 对大多数纤维, 当相对湿度大于60%时, 半衰期已比较短, 棉、粘胶等高吸湿性能纤维的半衰期这时已难以精确测定。

3. 非纤维附着物起到降低静电压, 加快电荷散逸的作用。加适当油剂是消除化学纤维及蚕丝等静电危害的有效措施, 而油剂的老化将降低其抗静电作用。

4. 随着纤维取向度的提高, 纤维上静电现象会严重。

参 考 资 料

- [1] 《山东纺织科技》, 1981年, 第1期, 第40页。
- [2] J. W. S. Hearle, 《Moisture in Textiles》, p.125, 1962.
- [3] W. E. Morton, 《Physical Properties of Textile Fibres》 p.507, 1975.
- [4] 《J. T. I.》, 1964, T288.

《实用棉织学》即将出版

宁波市纺织学会会员赵秉然同志编写了《实用棉织学》一书, 该书近30万字, 280幅插图, 总结了提高纯棉和化纤织物的外观质量和实物质量经验, 分析了织机各种故障和织物成形理论, 介绍了织机动态分析技术和一些新技术、新设备。该书经浙江省纺织学会邀请各地专家进行会审和修改, 由浙江省科技出版社于今年出版。欢迎向浙江省科技出版社发行科预订。