

# 纺织品静电电压半衰期测量仪的研制\*

范丽思<sup>1</sup>, 赵强<sup>1</sup>, 周星<sup>2</sup>

(1. 石家庄铁道大学 电气与电子工程学院, 河北 石家庄 050043; 2. 陆军工程大学石家庄校区, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 文章对纺织品电晕喷电静电衰减测试仪的特点及其效果进行了研究, 通过分析国内外纺织品静电衰减的测试方法, 研制了一种纺织品电晕喷电静电衰减测试仪, 并阐述了该测试仪的测试机理、传感器类型、信号处理电路、控制系统、电晕喷电装置. 结果表明, 该纺织品电晕喷电静电衰减测试仪满足国家标准GB/T12703.1-2008要求, 可适用于多种含有导电纤维纺织品静电衰减性能的检测.

**关键词:** 纺织品; 电晕喷电; 静电检测; 静电衰减; 半衰期

**DOI:** 10.13568/j.cnki.651094.651316.2019.08.26.0001

**中图分类号:** TM930.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2021)01-0108-04

**引文格式:** 范丽思, 赵强, 周星. 纺织品静电电压半衰期测量仪的研制[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2021, 38(1): 108-111.

**英文引文格式:** FAN L S, ZHAO Q, ZHOU X. Design of textiles electrostatics decay half period tester[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2021, 38(1): 108-111.

## Design of Textiles Electrostatics Decay Half Period Tester

FAN Lisi<sup>1</sup>, ZHAO Qiang<sup>1</sup>, ZHOU Xing<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Hebei 050043, China;  
2. Shijiazhuang Campus, Army Engineering University, Shijiazhuang Hebei 050003, China)

**Abstract:** In this paper, the characteristics and effects of the electrostatic decay tester for textile corona spraying are studied. By analyzing the testing methods for textile electrostatic decay at home and abroad, a kind of electrostatic decay tester for textile corona spraying is developed. The testing mechanism, sensor type, signal processing circuit, control system and corona spraying device of the tester are described respectively. The results show that the tester has high precision and can be used to test the electrostatic attenuation of many kinds of textiles containing conductive fibers.

**Key words:** textiles; corona spray; electrostatic detection; electrostatic attenuation; half-life period

## 0 引言

随着导电纤维的混纺、嵌织及防静电助剂等新技术的发展与应用, 具有防静电功能的纺织防护材料、包装材料以及装饰材料的品种越来越多, 为此, 欧美、日本等国家制定了多种纺织品静电的测试方法<sup>[1-3]</sup>. 为解决多种测试方法并存的局面, 需要根据材料的特点和使用的场合选择相应的测试方法和测试仪器<sup>[4,5]</sup>.

纺织品在使用过程中, 带电后电荷衰减的快慢直接导致其是否会发生静电现象<sup>[6]</sup>. 若纤维材料的导电性较好, 电荷一旦产生会很快耗散掉, 不会导致电荷积聚而发生静电现象; 相反, 若材料的绝缘性较好, 电荷不易导走, 就容易产生严重的静电现象. 因此, 本文参照国家标准GB/T12703.1-2008, 模拟使用过程中纺织品带电后其表面或针对纺织品静电电压衰减测试需求, 采用电晕喷电法, 研制了纺织品静电电压半衰期测量仪.

## 1 纺织品静电电压半衰期测试原理

纺织品静电电压衰减时间测试首先要使被测材料表面上堆积一些电荷, 然后利用非接触式静电场强计来直接测量材料表面电位衰减率, 以此来评价材料的静电耗散能力. 根据被测试样带电方式的不同, 目前的测试方法可以分为充电法<sup>[7]</sup>、电晕喷电法<sup>[8]</sup>和摩擦法<sup>[9]</sup>.

\* 收稿日期: 2019-08-26

基金项目: 电磁环境效应国家级重点实验室基金项目资助(614220503030517).

作者简介: 范丽思(1974-)男, 博士, 副教授, 主要从事牵引供电及其自动化、高电压试验技术和高铁电磁兼容方面的研究, E-mail: 184628396@qq.com.

国家标准GB/T12703.1-2008《纺织品静电性能的评定第1部分: 静电电压半衰期》<sup>[10]</sup>和日本标准JISL1094-2014《纺织品及针织品带电性能试验方法》<sup>[11]</sup>规定纺织品静电电压半衰期检测装置结构示意图如图1所示. 其测试原理是: 在旋转金属平台上, 用高压电晕喷电使安装好的试样感应带电, 试样上的电压稳定后断开高压电源, 通过接地金属平台自然衰减, 测定试样所带的稳定的静电压值及其衰减至初始值一半所需的时间, 这种测试方法具有操作简单、重复性好等优点.

## 2 纺织品静电电压半衰期测试仪的设计

根据GB/T 12703.1-2008, 试验台直径为200 mm, 试样夹的内框尺寸至少为32 mm×32 mm, 电针针尖至试样表面距离2 mm, 感应电极直径为28.0 mm与试样上表面距离为15 mm. 测试装置实物如图2所示.

将小块被测试样固定在试样夹上, 对被测试样表面进行消电处理后, 用电机驱动转动平台, 转速至少为1 000 r/min, 待转动平稳后, 由高压直流电源给针状电晕电极施加一定的电压, 给被测试样周期性充电, 经30 s或表面电位稳定后, 切断高压电源, 同时用记录仪或示波器测得电位随时间的衰减曲线, 得到静电衰减时间.

## 3 静电电位测试部分

在综合考虑技术可行性、精度要求等各方面因素要求后, 本测试系统采用直接感应式静电电位传感器, 即运用静电感应原理, 利用探头与被测带电体靠近时二者之间产生的畸变电场来间接测试带电体的静电电位. 测量探头剖面图如图3所示, 不锈钢测量电极和被测织物之间的分布电容为 $C_1$ , 测量电极与金属电极外筒之间分布电容为 $C_2$ .

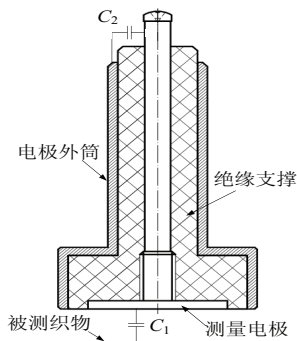


图3 测量探头剖面图

Fig 3 Profile of the measuring probe

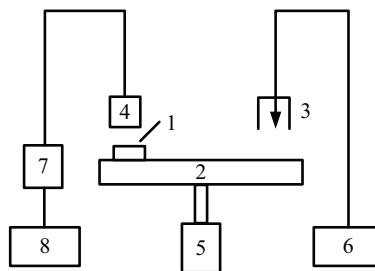


图1 织物品静电电压半衰期测量装置结构示意图

Fig 1 Structure diagram of measuring device of static half period for textile

1. 试样; 2. 转动平台; 3. 针电极; 4. 圆板状感应电极;
5. 电机; 6. 高压直流电源; 7. 放大器; 8. 示波器或记录仪.

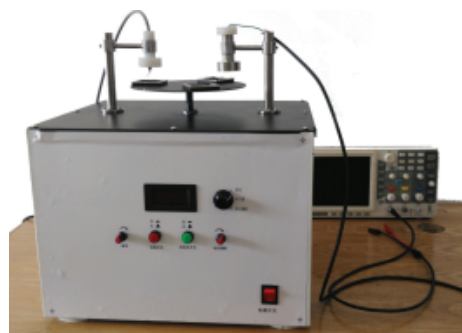


图2 织物品静电电压半衰期测量装置实物图

Fig 2 Real picture of static voltage half period tester

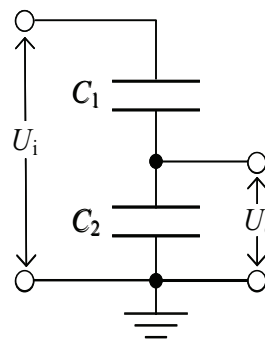


图4 静电电位测试等效电路图

Fig 4 Equivalent circuit of electrostatic potential test

利用非接触式测试方法(即测试仪不与带电体接触)将测试探头置于带电体所产生的电场中, 金属外壳与大地相连接, 起到屏蔽外部干扰信号的作用. 中心平板电极与被测材料形成耦合电容, 由于被测材料带电后形成的电场作用, 中心平板电极上将产生感应电压, 其等效电路如图4所示.

则初始时刻探头对地电位 $U_0$ 与被测试样对地电位 $U_i$ 关系为:

$$U_i = \frac{C_1 + C_2}{C_1} U_0 \tag{1}$$

传感器在恒定直流电场下,静电传感器采集的信号一般都比较微弱,所以采集到的信号需要进行一定的放大处理.静电衰减测试仪信号放大电路原理图如图5所示.

图5为测试仪中静电电位测试电路的主要组成部分.采用同轴电缆与测量探头直接相连,第一级采用高输入阻抗运算放大器CA3140构成的同相放大器做跟随器,CA3140为MOSFET器件,具有极高的输入阻抗,因此,对输入级和输出级之间起到较好的隔离作用.次级放大电路采用高精度的OP07运算放大器组成反相放大器,通过选择反馈电阻可以实现三种不同的放大倍数.在本放大电路中为防止开关电源高次谐波对测量结果造成的影响.采用12 V的开关电源接DC-DC转换模块,将12 V的直流电源转换成正负9 V的纯净电源给两个放大器供电.

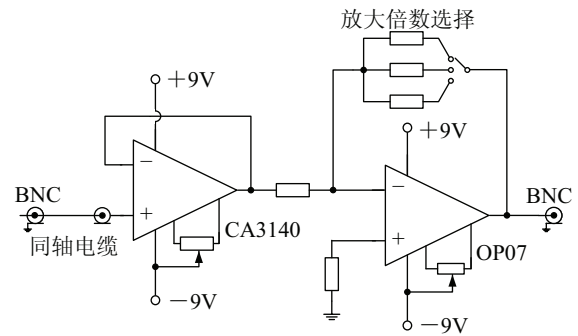


图 5 信号放大电路原理图

Fig 5 Schematic diagram of signal amplifier circuit

### 4 数据采集部分

将被测纺织品放于转盘上,启动电动机,待转盘转动平稳后,在针电极上加10 kV的高压.加高压30 s后断开高压,试验台继续旋转至静电电压衰减至一半以下,即可停止试验,记录高压断开试样静电电压及其衰减至一半所需要的时间.将经过放大电路后的信号接入示波器,试样转动经过测量探头下方时测得的电压波形如图6所示,测量波形近似为半个正弦波.测量波形中振荡噪声为仪器机箱抖动所致,可以通过平滑滤波方法加以滤除.

在断开高压后,截取被测材料带电后的衰减过程如图7所示.取衰减波形中的峰值,将所测的峰值连接起来,所形成的衰减图形便是纺织品静电衰减波形.在衰减波形上找到断开高压时瞬间静电电压的一半,此时对应的时间与断开高压时瞬间静电电压对应的时间之差为所需测得的半衰期.

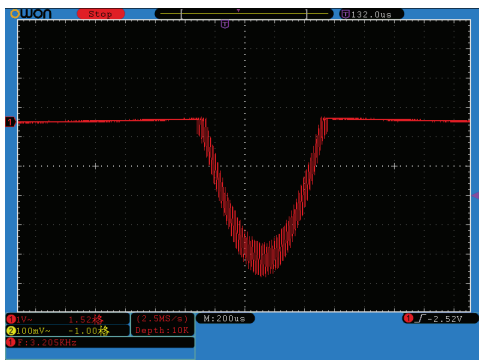


图 6 试样静电电压波形

Fig 6 Electrostatic voltage waveform of sample

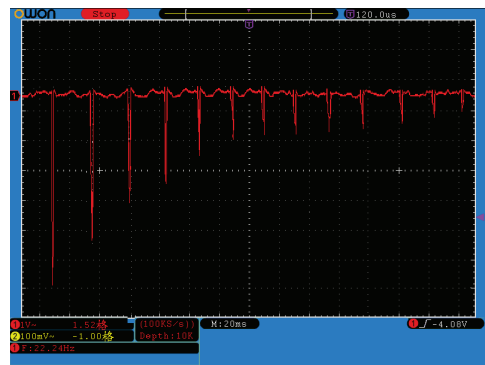


图 7 静电电压衰减测量波形

Fig 7 Static voltage decay waveform of the sample

为实现仪器的自动化测量和控制,选用NI公司生产的USB-4716采集卡(采用率最高可达200 kHz)来完成测试数据的采集以及控制信号的处理.利用高速USB接口与USB-4716相连,由上位计算机读取试样,通过测量探头下方时测得的波形并加以平滑滤波,将滤波后的峰值相连得到被测材料的衰减曲线,如图8所示.

纺织品静电电压半衰期测量仪的电压分辨率由数据采集卡的精度决定,USB-4716采集卡精度为16位,所以电压分辨率为 $1/2^{16}$ .纺织品静电电压半衰期测量仪的

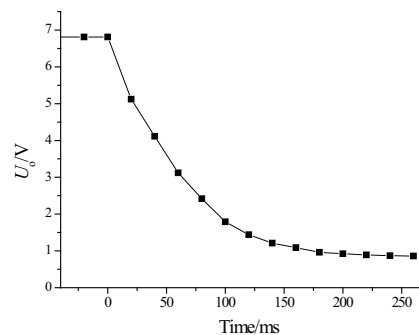


图 8 被测材料静电衰减测量曲线

Fig 8 Water phantom calculation geometry

时间分辨率由转台的周期决定,试样夹每经过探头下方一次,采集到一次峰值.纺织品静电电压半衰期测量仪采用的电机转速为1 800转/分钟,如果采用一块试样,每秒钟采集到的电压峰值为30次,所以时间分辨率为33.33 ms.为提高时间分辨率,可以采用多块试样,本纺织品静电电压半衰期测量仪安装三块试样,每块试样通过测量探头下方时测得一次峰值,时间分辨率减小为大约11.11 ms,具体时间值有上位机软件定时器计算得到.

## 5 结论

本文针对纺织品静电电压半衰期测试需求,参照国家标准GB/T 12703.1-2008研制了纺织品静电电压半衰期测试仪.测试仪主要包括测试平台、测量探头、信号放大和数据采集模块,整个测试系统由上位计算机控制.主机模块采用了稳定可调的 $\pm 10$  kV的高压直流电源对被测试样电晕喷电.通过计算机控制模块的设计,实现了电机和高出压电源自动开关,保证了试验过程的安全方便.同时采用了多级运算放大器进行信号处理,对测试系统进行了优化,保证了仪器的测试精度和响应速度.试验结果表明该仪器具有良好的稳定性,能够正确评价织物的静电衰减性能,可用于纺织品和服装的静电衰减性能检测,为防静电材料的研制提供指导.

## 参考文献:

- [1] International Organization for Standardization. Textiles-Test methods for evaluating the electrostatic propensity of fabrics-Part 4: Test method using horizontal mechanical Friction: ISO 18080-4:2015[S]. Geneva: ISO Central Secretariat, 2015.
- [2] European Committee for Standardization. Protective clothing- Electrostatic properties-Part 5: Material performance and design requirements: EN 1149-5:2018[S]. Brussels: CENELEC Management Centre, 2018.
- [3] INDA, EDANA. Standard test method for electrostatic decay of nonwoven fabrics: WSP 40.2(08)[S]. New York: America INDA standard, 2008.
- [4] BAUMGARTNER G. Electrostatic decay measurement theory and applications[C]. Phoenix: Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995.
- [5] CHUBB J N, HARBOUR J, PAVEY I. Stutter timing for charge decay measurement[C]. Bangor: Institute of Physics Electrostatics 2011 Conference, 2011.
- [6] 刘尚合,魏光辉,刘直承,等.静电理论与防护[M].北京:兵器工业出版社,1999: 369-378.  
LIU S H, WEI G H, LIU Z C, et al. Electrostatic theory and protection[M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1999: 369-378. (in Chinese)
- [7] 全国纺织品标准化技术委员会. 纺织品静电性能的评定静电衰减法: GB/T 33728-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
National Technical Committee on Textiles of Standardization Administration of China. Textiles-Evaluation for electrostatic properties-Method of static decay: GB/T 33728-2017[S]. Beijing: China Standard Press, 2017. (in Chinese)
- [8] 中国包装总公司. 塑料薄膜静电性测试方法半衰期法: GB/T 14447-93[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.  
China National Packaging Corporation. Test method for electrostatic properties of plastic films-Half-Life method: GB/T 14447-93[S]. Beijing: China Standard Press, 1993. (in Chinese)
- [9] European Committee for Standardization. Protective clothing, electrostatic properties, Part 3: Test methods for measurement of charge decay: EN 1149-3: 2004[S]. Brussels: European Committee for Normalization, 2004.
- [10] 国家纺织制品质量监督检验中心. 纺织品静电性能的评定第1部分: 静电电压半衰期: GB/T 12703.1-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
National Textile Products Quality Supervision and Inspection Center. Textile-Evaluation for electrostatic properties-Part 1: Static half period: GB/T 12703.1-2008[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.(in Chinese)
- [11] Japanese Industrial Standards. Testing methods for electrostatic propensity of woven and knitted fabrics: JIS L 1094-2014[S]. Tokyo: Japanese Standards Association, 2014.

责任编辑: 赵新科