

Research on the Key Technology of Carpet Resistance Test

Chengli Yang^{1,2}, Hui Wang^{1,2}

¹Shandong Textile Research Institute, Qingdao Shandong

²Shandong Provincial Key Laboratory of Special Textiles Processing Technology, Qingdao Shandong

Email: ycl7303@126.com

Received: Jul. 7th, 2017; accepted: Jul. 21st, 2017; published: Jul. 26th, 2017

Abstract

This paper introduces the key technology research point of the carpet resistance testing, also the design and using effect of the test instrument. The technology principle of the carpet resistance testing is illustrated. The instrument uses the adjustable DC power supply and the constant weight column electrode with conductive rubber plate to apply voltage to the test sample. The sample and the known value standard resistance build up the Wheatstone bridge test circuit to measure the resistance value of the sample. The carpet resistance test instrument can achieve exact test results, also has good stability. It can correctly test and evaluate the resistance property of different carpet material.

Keywords

Carpet Resistance Property, Wheatstone Bridge, Key Test Technology, Experiment Analysis

地毯电阻性能检测关键技术研究

杨成丽^{1,2}, 王 慧^{1,2}

¹山东省纺织科学研究院, 山东 青岛

²山东省特种纺织品加工技术重点实验室, 山东 青岛

Email: ycl7303@126.com

收稿日期: 2017年7月7日; 录用日期: 2017年7月21日; 发布日期: 2017年7月26日

摘 要

介绍地毯电阻检测关键技术研究要点及测试仪器的设计和使用效果。阐述了地毯电阻测试的技术原理,

采用可分档调节的直流稳压电源以及恒重量的粘有导电橡胶板的柱状电极给试样施加电压, 将加压后的试样与已知阻值的标准电阻组成惠斯通电桥测试回路, 测量试样的电阻值, 使得研制出的地毯电阻性能测试仪测试结果准确, 稳定性好, 能够正确评价不同地毯材料的电阻性能。

关键词

地毯电阻性能, 惠斯通桥, 检测关键技术, 试验分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 具有高抗静电性能的特殊用途地毯, 如航空地毯、汽车内饰地毯或用于安放电子设备的配套地毯等的相继问世, 对于地毯静电特性的评价和检测存在迫切地需求。地毯电阻测试主要应用于地毯等铺地材料抗静电性的研究, 抗静电性一般采用表面电阻和静电压来表征, 地毯电阻是地毯静电性能评价的一个关键性指标。可供地毯生产企业、地毯纤维生产企业、纺织品检验机构、航空和汽车内饰行业及科研单位用于质量检验和技术评价使用。目前国内外对于材料电阻性能检测主要包含绝缘电阻、体积电阻、体积电阻率、表面电阻、表面电阻率的测试, 相关标准主要有 GB/T 22042-2008《服装防静电性能表面电阻率试验方法》; EN 1149-1-1995《防护服静电性能第1部分表面电阻检验方法和要求》; GB/T 1410-2006《固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法》(与国际标准 IEC93-1980 等效); FZ/T 64013-2008《静电植绒毛绒》; SJ/10694-2006《电子产品制造与应用系统防静电检测通用规范》6.1 及 ASTM D257《绝缘材料的直流电阻或电导试验方法》要求制作。GB/T 2439-2001《硫化橡胶或热塑性橡胶导电性能和耗散性能电阻率的测定》; GB/T 10581-2006《绝缘材料在高温下电阻和电阻率的试验方法》; GB/T 1692-2008《硫化橡胶绝缘电阻率的测定》; GB/T 12703.4-2010《纺织品静电性能的评定第4部分: 电阻率》; GB/T 10064-2006《测定固体绝缘材料绝缘电阻的试验方法》; GB1672-88 液体增塑剂体积电阻率的测定等。地毯电阻性能测试就是在上述标准及检测方法的基础上进行研发实施的。

2. 地毯电阻检测方法研究

2.1. 测试原理[1] [2]

地毯电阻测试的基本原理是采用惠斯通电桥法测量, 通过电极对地毯施加电压, 将取样电阻(阻值远小于试样阻值)串联在测试回路之中, 测得试样两端的电流, 经采样电路、信号放大、A/D 转换电路、驱动显示等电路, 最终显示试样的表面电阻或体积电阻。

将测试试样 R_x 与已知阻值的标准电阻 R_0 (选择为试样 R_x 的 1%) 搭建入惠斯通阻抗电桥测试回路中, 如图 1 所示, 测量试样的电阻值。

根据分压原理可知[3] [4]:

$$U_r = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_s \quad (1)$$

$$U_0 = \frac{R_0}{R_x + R_0} E_s \approx \frac{R_0}{R_x} E_s \quad (2)$$

$$R_x = \frac{U_r}{U_0} \cdot \frac{R_0}{k_2} \quad (3)$$

式中:

$$k_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

R_1 、 R_2 为桥臂电阻,

E_s 为试验电源, 电源内阻忽略不计,

U_0 为采样电压,

U_r 为基准参考电压,

R_0 选择为试样 R_x 的 1%, 所以在公式(2)中可以忽略不计。

采用了在伏安法测量电路旁并联一个基准电压支路, 构成桥式电路测量法, 把被测量值与已知标准值通过比较来确定测量结果。从式中可以看出, 由于引入了基准参考电压 U_r , 消除了试验电压 E_s 精度和稳定度对测试结果的影响。

2.2. 地毯电阻测试的物理过程

要研究地毯的电阻检测, 就要涉及其材料成份和特性。地毯电阻性能一般用来表达材质均匀的地毯静电特征, 其阻值是等效平均值, 是以均匀带电为前提, 从大面积平均的角度对地毯进行宏观测量。由于导电纤维的价格相对较昂贵, 在生产地毯时实际添加量需要得到有效控制。当地毯材料使用了导电纤维时, 其阻值特征并不能反映局部微观的电荷分布, 即高密度静电荷的局部聚集。在实际样品中可能存在条状或块状分布的高电荷聚集区域, 这些高电荷聚集区域具备发生静电放电的条件。

用电阻率来表达含有导电纤维纺织品的抗静电性能是否合适, 在学术界仍然存有争议, 但是只要在适当的试验条件下(不能有导电纤维跨接测试电极)还是可以从宏观反映地毯的静电衰减性能, 地毯电阻越高, 其静电衰减越慢。

塑料、合成纤维等高分子材料, 具有优越的电绝缘性能, 其根本原因是这类高分子材料都是有机化

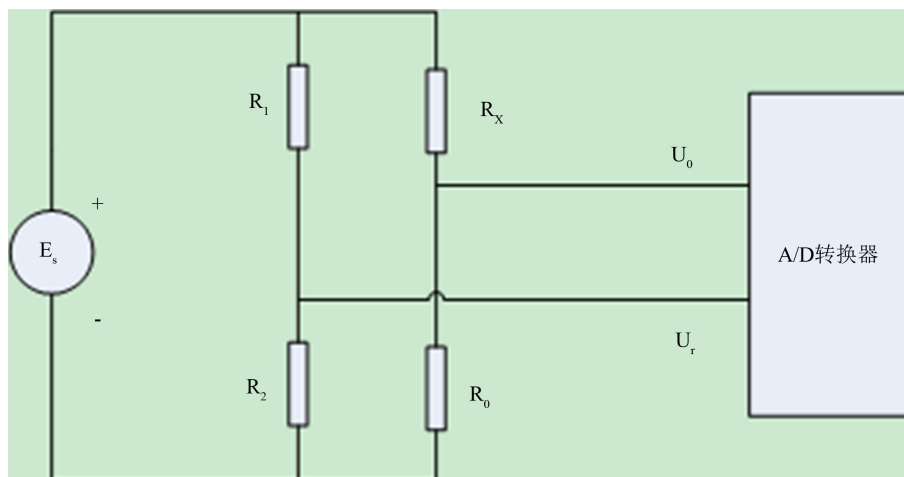


Figure 1. The principle diagram of resistance test using electric bridge method

图 1. 电桥法电阻测试原理图

合物, 大分子中的化学键都是共价键, 因此它们不会电离, 也不能传递电子和离子, 具有较高的面电阻和体电阻。但是, 当它们受到相互摩擦或接触分离时会产生较高的静电。

化纤材料在外界电场的作用下, 其电阻特性会呈现极化、电导、损耗、击穿和老化等物理过程[5][6]。

(1) 极化: 在电场的作用下, 材料沿电场方向产生偶极矩, 呈现在材料表面产生束缚电荷的现象。当材料由多种不同介电系数和电导系数组成复合材料时, 带电质点将停留在复合材料交界面上, 各层电位由最初按介电系数分布逐渐过渡到稳态时按电导系数分布。为适用电位的重新分布, 最后在各层交界面上累积电荷, 束缚电荷的极性与外加电压的极性相反。这种极化稳定时间一般在数秒甚至几天。根据 GB/T 23165-2008 标准, 施加电压时间规定为 15 s。

(2) 电导: 理想的绝缘介质不含带电质点, 也没有自由电子, 不具有导电特性。在现实的世界中, 这种介质并不存在, 任何材料在电场的作用下都会因载流子的定向运动形成微电流。

(3) 损耗: 泛指材料在一定电压作用下所产生的各种损耗。其中包括电导电流使材料发热而产生的电导损耗和极化过程产生的损耗。

(4) 击穿: 当施加于材料上的电压超过某一临界值时, 施加电压与通过材料的电流不再遵循欧姆定律, 电流剧增, 介质的分子结构发生破裂或分解, 直至丧失其固有的高阻特性。发生击穿时刻的电压为击穿电压。适当的选择测试电压是很重要的, 测试电压太低可能无法揭示材料在实际情况的电阻特性, 电压太高又可能发生绝缘损伤和击穿。

根据 GB/T 23165-2008 和 ISO/FDIS10965:2011 (E)标准要求, 施加电压(分别为 500 V, 100 V, 10 V)是按不同的电阻值($>10^8 \Omega$, $10^5 \Omega \leq R_X < 10^8 \Omega$, $< 10^5 \Omega$)而改变, 就是为了防止试样的击穿现象发生。

(5) 老化: 地毯材料在长期充电过程中不可避免的会产生各种物理和化学变化, 老化是一种渐变和不可逆的过程, 最终导致材料电阻特性的改变。

地毯电阻测试是属于非破坏性物理测试, 依据绝缘材料试验数学模型的定量分析方法, 可以明晰地揭示地毯电阻测试物理过程各种关系的本质。试验时, 施加直流测试电压后, 置于电场的地毯纤维中的介质沿电场方向产生偶极矩, 形成极化现象, 流经样品的总电流由电容充电电流 i_g 、介质吸收电流 i_a 和泄漏(电导)电流 i_c 三者构成。

$$i(t) = i_g(t) + i_a(t) + i_c(t) = \frac{E_s}{R_s} e^{-t/R_s C} + (1 - e^{-t/R_s C}) E_s \left(CDt^{-n} + \frac{1}{R_c} \right) \quad (4)$$

$$R_s = R_i + R_0 + R_m \quad (5)$$

式中

E_s ——直流测试电源的电动势;

R_s ——测量回路串联总电阻;

R_i ——测试电源的等效电阻;

R_0 ——采样电阻;

R_m ——附加电阻(包括检测网络的电阻)

R_c ——试样的真实电阻;

C ——试样的电容量;

t ——从 $t = 0$ 开始的测量时间;

D ——与试样性能、状况和温度有关的比例因数, $1/\Omega \cdot F$;

n ——乘幂, 介于 0~1 之间的常数, 为吸收电流衰减指数, A/s;

试样的电阻值与总电流成反比, 随测试时间增加而逐渐增大, 最终稳定于 R_c , 表示为

$$R_x(t) = \frac{E_s}{i(t)} \Big|_{t \rightarrow \infty} \rightarrow R_C \quad (6)$$

式(4)表明, 电容电流的衰减过程与时间常数 $\tau_s = R_s C$ 密切相关。因此, R_s 的参数直接影响测量的准确度, 主要反映在测试电源的内阻及测试回路的电阻是否足够小, 当 $R_s = 0$ 时(理想状态)试样电容被立刻充满电荷, $i_s = 0$ 。为了获取样品的真实电阻值 R_c , 设计仪器时, 要求测试电源的内阻、电极和测试回路系统接触电阻足够小。

2.3. 地毯电阻测试仪设计[7] [8]

地毯电阻测试仪整体结构设计紧凑实用, 采用卧式机箱。开关、显示器、档位选择等功能器件布置在仪器的前面板上。用不同的色块区分档位选择, 这样可以方便选择测试电压和对应的测试档位, 避免误操作。采用底部粘有导电橡胶板的恒重(5.0 ± 0.1) kg 的柱状电极作为加压电极[9], 为了保证电极间直流加压可靠, 电极与导电胶板间采用导电性能好的银胶作为胶黏剂。如图 2 所示。

由于该仪器采用一体化设计, 所有电子元件都安装在一个箱体内, 这样就不可避免高压和低压器件之间产生干扰, 我们采取了以下措施:

(1) 线路布局: 合理布局减小电路的分布电容和杂散磁场, 强弱信号传输线分离, 插件板间传输的信号采用高电平传输方式, 这样防止了微弱信号在传输过程被串扰。

(2) 接地点的选择: 高压与低压信号地分开进行一点共地, 低压系统接地网中呈放射状, 最终以并联形式接在总的接地点上, 避免了回路耦合形成公共阻抗, 防止信号交互串扰。

(3) 信号屏蔽: 采用屏蔽线传输弱信号, 屏蔽层采用单端接地, 避免形成环路, 防止在屏蔽层编织线中干扰电流流过而感应到芯中弱信号中。

(4) 线路板设计: 线路板上设计屏蔽环, 将弱信号电路进行区域性闭环屏蔽, 避免各电路或元件之间公共阻抗性回路耦合, 防止了信号与干扰汇流。

(5) 屏蔽箱: 试样置于金属屏蔽箱内进行测试, 整个仪器采用金属机箱, 避免现场外界电磁场的干扰。测试电源和运算放大器采用双重屏蔽措施。

2.4. 地毯电阻检测关键技术

由于 GB/T 23165-2008 和 ISO/FDIS10965:2011 (E)标准规定测量地毯电阻精度的期望值并不很高, $1 \times 10^3 \Omega \sim 1 \times 10^9 \Omega$ 精度为 $\pm 5\%$, 超过 $1 \times 10^9 \Omega$ 时精度为 $\pm 10\%$ 。因此, 在设计仪器时, 就要考虑避免设计精度过高而造成仪器成本大量增加, 但也不能过低, 以免仪器读数位数少而缺乏足够的可信度。

地毯电阻测试仪并不是简单设计制作高阻测试仪, 而是在功能方面按照标准要求, 对不同的阻值范围对应不同的测试电压进行分区, 采用专用的测试电极, 对测试时间增加了时间定时器, 当测试时间到达时, 自动锁定当前的测试电阻数据[10] [11]。测试原理框图如图 3 所示。

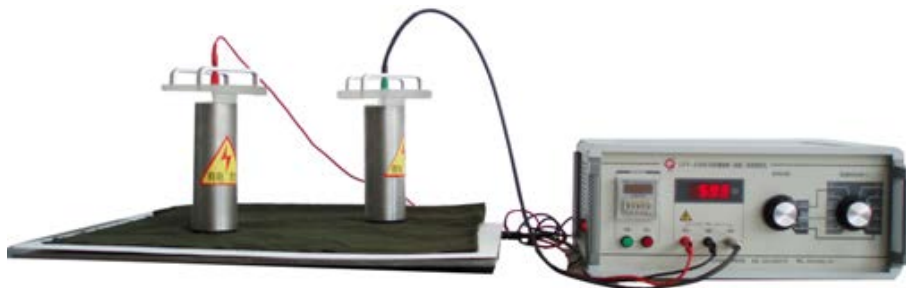


Figure 2. Sketch map of the instrument
图 2. 仪器外观示意图

采用惠斯通电桥法作为仪器的基本测试机理, 确保测试精度高于标准规定, 主要关键技术如下:

运算放大器采用线性电源供电, 线性电源(Linear power supply)如图 4, 是先将交流电经过变压器降低电压幅值, 再经过整流电路整流后, 得到脉冲直流电滤波得到带有微小波纹电压的直流电压。经过集成稳压电路达到高精度的直流电压。线性电源技术很成熟, 制作成本较低, 可以达到很高的稳定度, 波纹较小, 自身的干扰和噪声都比较小。

DC10V、DC100V 和 DC500V 直流测试电源采用一体化高压电源组, 在高压回路里取样反馈, 高压电流达到设定限流值时会自动反馈到控制器[12], 如图 5 所示。当试样短路、击穿或阻值极度低于量程范围时, 为了保护试样不被大的短路电流烧毁或仪器的测量电路不致因短路使电源过载, 设置了短路保护功能。但是在设置

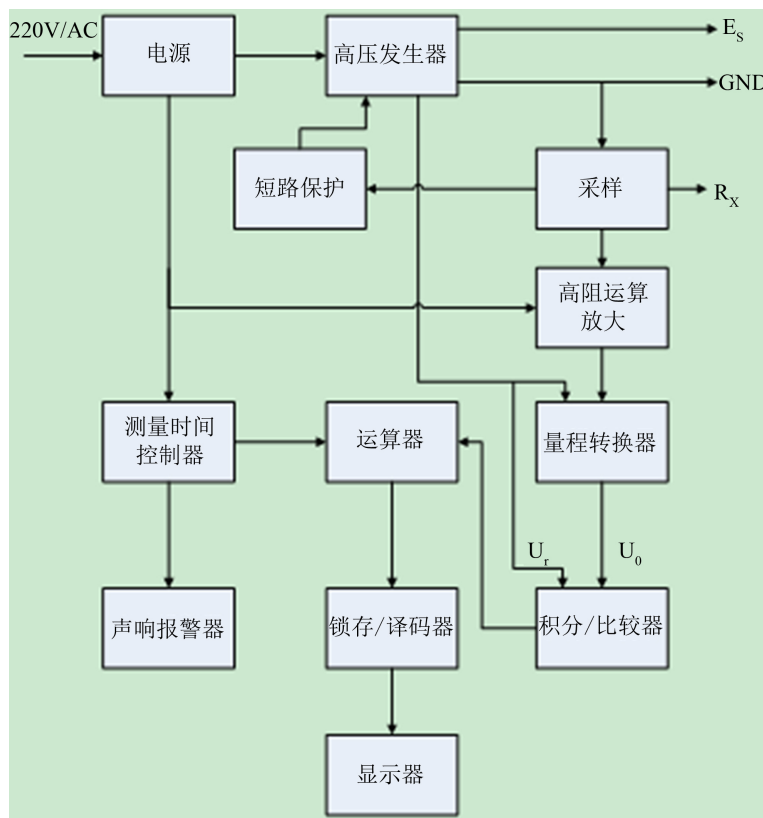


Figure 3. Principle diagram of carpet resistance tester
图 3. 地毯电阻测试仪原理框图

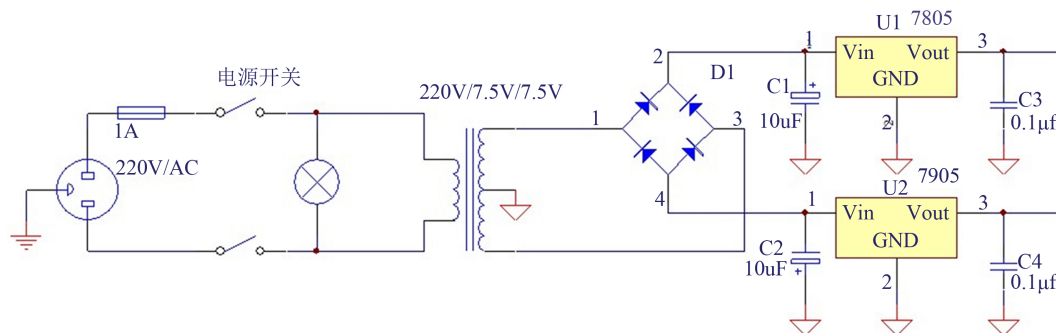


Figure 4. Linear power circuit diagram
图 4. 线性电源电路图

短路保护功能的同时, 还应不影响对起始电流较大的容性样品的正常测试, 故设计了动作延迟短路保护功能, 即输出电流超过额定数值数秒以后自动关闭高压的功能。当高压电流未达到额定电流时, 保护电路不起作用。

另外, 前置放大电路、检波电路及 A/D 转换电路, 减少信号漂移, 提高系统的检测精度。

2.5. 地毯电阻的测试步骤

地毯电阻的测试步骤如图 6 所示。

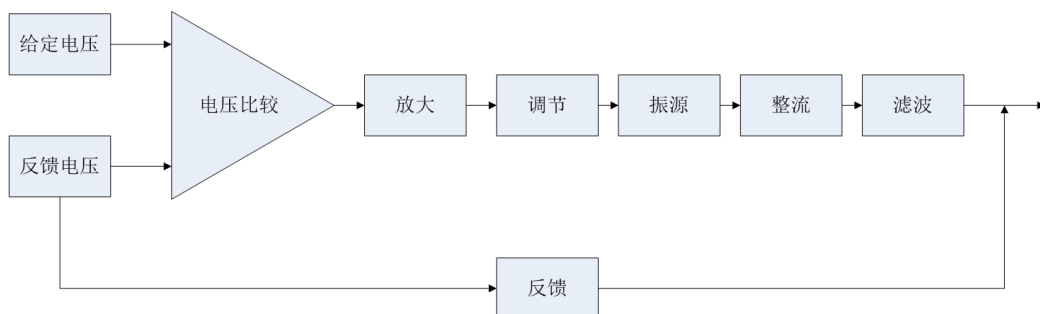


Figure 5. Schematic diagram of high voltage power supply

图 5. 高压电源示意图

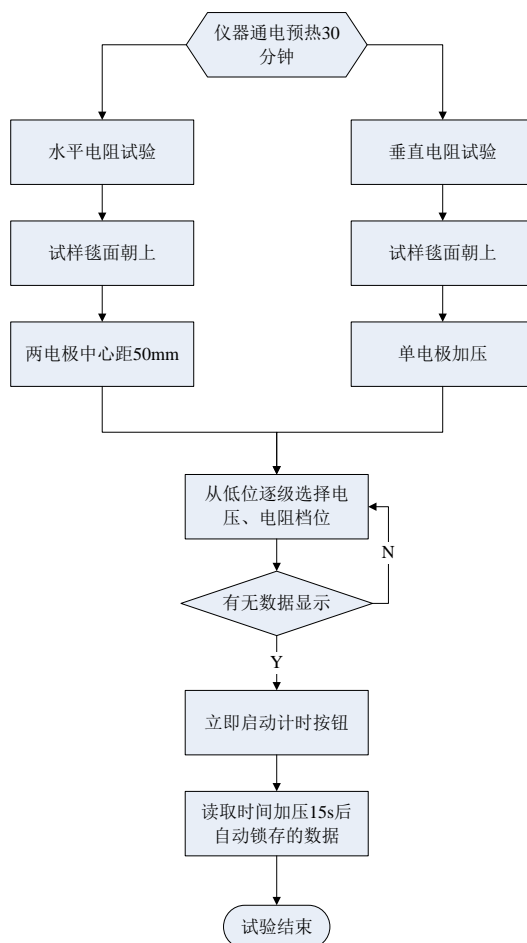


Figure 6. Test procedure of carpet resistance test

图 6. 地毯电阻测试试验操作步骤

3. 试验分析

选取八种不同的地毯试样, 在温度为 23℃, 相对湿度为 25%RH 的恒温恒湿环境里进行测试, 试验结果见表 1~8 所示。

通过以上试验结果可以看出, 我们在地毯电阻检测关键技术基础上研发的地毯电阻性能测试仪测试结果准确, 稳定性好, 能够正确评价材质均匀的不同地毯材料的电阻性能。

4. 结论

地毯电阻检测由恒重的加压电极、可分档调节的直流稳压电源、惠斯通阻抗电桥、采样、信号放大、A/D 转换、驱动显示等电路模块组成, 各模块之间既相互关联又各自独立。采用可分档调节的直流电源

Table 1. Result data of the sample WT-1

表 1. 试样 WT-1 试验结果数据


试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
 WT-1	1	6.1	1.47×10^{11}	2.80×10^{11}
	2		1.45×10^{11}	1.33×10^{11}
	3		8.51×10^{11}	1.27×10^{11}
	4		8.73×10^{11}	1.36×10^{11}
	5		3.45×10^{11}	2.40×10^{11}
	平均值	6.1	5.69×10^{11}	1.83×10^8

Table 2. Result data of the sample WT-2

表 2. 试样 WT-2 试验结果数据


试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
 WT-2	1	5.5	2.68×10^8	5.72×10^7
	2		2.83×10^8	4.51×10^7
	3		2.51×10^8	1.67×10^7
	4		1.23×10^8	7.79×10^7
	5		1.87×10^8	2.88×10^7
	平均值	5.5	2.22×10^8	4.51×10^7

Table 3. Result data of the sample WT-3

表 3. 试样 WT-3 试验结果数据


试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
 WT-3	1	8.8	1.39×10^{11}	1.07×10^{10}
	2		1.55×10^{11}	3.10×10^{10}
	3		2.51×10^{11}	4.06×10^{10}
	4		2.19×10^{11}	1.74×10^{10}
	5		2.87×10^{11}	2.47×10^{10}
	平均值	8.8	2.10×10^8	2.49×10^8

Table 4. Result data of the sample WT-4

表 4. 试样 WT-4 试验结果数据


试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
WT-4 	1	5.5	3.61×10^{11}	3.71×10^{10}
	2		2.87×10^{11}	4.13×10^{10}
	3		2.73×10^{11}	4.01×10^{10}
	4		2.46×10^{11}	4.95×10^{10}
	5		2.77×10^{11}	3.42×10^{10}
	平均值	5.5	2.89×10^{11}	4.05×10^{10}

Table 5. Result data of the sample WT-5

表 5. 试样 WT-5 试验结果数据

试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
WT-5 	1	10.5	4.43×10^9	3.34×10^8
	2		4.75×10^9	6.33×10^8
	3		5.11×10^9	5.22×10^8
	4		5.73×10^9	6.75×10^8
	5		5.05×10^9	9.06×10^8
	平均值	10.5	5.01×10^9	6.14×10^8

Table 6. Result data of the sample WT-6

表 6. 试样 WT-6 试验结果数据

试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
WT-6 	1	14.0	1.12×10^{12}	1.74×10^{11}
	2		1.16×10^{12}	1.65×10^{11}
	3		1.07×10^{12}	1.72×10^{11}
	4		1.03×10^{12}	1.49×10^{11}
	5		1.13×10^{12}	1.53×10^{11}
	平均值	14.0	1.10×10^{12}	1.63×10^{11}

Table 7. Result data of the sample WT-7

表 7. 试样 WT-7 试验结果数据

试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
WT-7 	1	12.5	1.92×10^{12}	1.57×10^{11}
	2		2.01×10^{12}	1.61×10^{11}
	3		1.52×10^{12}	1.34×10^{11}
	4		1.21×10^{12}	1.42×10^{11}
	5		1.17×10^{12}	1.54×10^{11}
	平均值	12.5	1.57×10^{12}	1.50×10^{11}

Table 8. Result data of the sample WT-8
表 8. 试样 WT-8 试验结果数据

试样编号	试验次数	试样厚度(mm)	表面电阻(Ω)	垂直电阻(Ω)
WT-8 	1	10.0	5.53×10^{10}	1.16×10^{10}
	2		5.81×10^{10}	1.49×10^{10}
	3		6.72×10^{10}	1.28×10^{10}
	4		9.61×10^{10}	1.19×10^{10}
	5		9.98×10^{10}	1.06×10^{10}
	平均值	10.0	7.53×10^{10}	1.24×10^{10}

稳压电源以及恒重量的粘有导电橡胶板的柱状电极对试样施加电压, 将加压后的试样与已知阻值的标准电阻组成惠斯通阻抗电桥测试回路, 测量试样的电阻值, 使得研制出的地毯电阻性能测试仪测试结果准确, 稳定性好, 能够正确评价材质均匀的地毯材料的电阻性能, 从而来表达材质均匀的地毯的静电特征。所研发的仪器设计合理, 使用方便, 测试结果准确, 现已投入使用, 并得到用户的认可。该仪器便于企业、质检、纤检、大专院校以及研究机构对地毯材料的静电性能评价使用, 确保进入市场的各种地毯材料防静电性能符合使用要求。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国国家标准 GB/T 23165-2008 地毯电阻的测定[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2008.
- [2] International Standard, ISO/FDIS 10965: 2011(E). Textile Floor Coverings—Determination of Electrical Resistance. Case Postale 56 • CH-1211 Geneva 20: ISO Copyright Office 2011.
- [3] 赵明屏. 伏安法和惠斯通电桥法测电阻的比较[J]. 河北能源职业技术学院学报, 2010(1): 69-71.
- [4] 谭兴文, 韩力. 惠斯通电桥灵敏度的探究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2008(4): 149-152.
- [5] 何曼君, 等. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2000.
- [6] 成正维. 大学物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] Amey, W.G. and Hamberger Jr., F. (1949) A Method for Evaluating the Surface and Volume Resistance Characteristics of Solid Dielectric Materials Proceedings. *American Society for Testing and Materials*, **49**.
- [8] Witt, R.K., Chapman, J.J. and Raskin, B.L. (1947) Measuring of Surface and Volume Resistance. *Modern Plastics*, **24**,
- [9] Lauritzen, J.I. (1963) The Effective Area of a Guarded Electrode. Annual Report, Conference on Electrical Insulation. NAS-NRC Publication 1141. <https://doi.org/10.1109/eic.1963.7466555>
- [10] Greenfield, E.W. (1944) Insulation Resistance Measurements. *Electrical Engineering*, **66**, 698-703. <https://doi.org/10.1109/EE.1947.6443624>
- [11] Field, R.F. (1944) Interpretation of Current-Time Curves as Applied to Insulation Testing. AIEE Boston District Meeting.
- [12] Dorcas, D.S. and Scott, R.N. (1964) Instrumentation for Measuring the D-C Conductivity of Very High Resistivity Materials. *Review of Scientific Instruments*, **35**. <https://doi.org/10.1063/1.1718992>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：app@hanspub.org