

测试条件对测试结果的影响

电子机房和洁净生产车间大量使用了防静电活动地板、防静电贴面地板、防静电涂覆层和移动式地垫、地毯。一般，地面工程施工前，要对这些装饰材料的导静电性能(即：面电阻、体电阻、面电阻率、体电阻率等)进行抽测验证，地面工程结束后还要对地面的导静电性能(即：表面电极间电阻、对地电阻或系统电阻)进行现场测试验收。所以，测试结果的准确与否，无论对于工程公司还是使用单位而言，都是很重要的。然而，导静电性能测试的方法和依据标准，无论在国内还是国外，都不是很统一，这样，便难以达成共识，经常闹出笑话甚至纠纷。为此，特作此文详细阐述测试条件对测试结果的影响，以供大家参考。

一、国内外有关标准地面的测试规定

现搜集国内外有关标准地面测试的规定，部分摘取汇集见表1。

表1 国内外有关标准地面测试条件规定

序号	标准名称	电极形状 尺寸重量	引 导 电极层	测试电压	测试 项目
1	SJ / T 11236-2001	SJ / T 11159— 1998(附录 A) Φ 50mm (带屏环)5kg	导电泡沫塑料 皮、导电硅橡 胶片(厚 6mm)	10V($<1 \times 10^5 \Omega$)	Rs Rv
2	SJ / T 10796-2001			100V($1 \times 10^5 - 1 \times 10^{10} \Omega$)	R _c
3	SJ / T10694—1996	圆柱形 Φ 50mm 2kg	湿润纸垫	500V	Rs Rv
4	IEC93 1980 GB 1410—1978	三电极系统 测量电极 Φ 50mm 500g	金属箔 导电涂层导电 凡士材	10V($\ll 1 \times 10^4 \Omega$) 100V($10^4 - 10^6 \Omega$) 500V($10^6 - 10^9 \Omega$) 1000V($>10^{10} \Omega$)	ρ _s ρ _v
5	YD / T753—1995	圆柱形 Φ 63.5 ± 2.5mm 2.5kg ± 0.5kg	导电材料 (橡胶)	10V($<1 \times 10^5 \Omega$) 100V($1 \times 10^5 - 1 \times 10^{10}$)	Rs R _c
6	ASTM F150-98	圆柱形 Φ 63.5 ± 1mm 2.27kg	Φ 64mm 导 电橡胶片	100V 500V	Rs R _c
7	EN 1801—1998	三角板架电极 300N	导电 橡胶脚	100V($\leq 5 \times 10^6 \Omega$) 500V($>1 \times 10^6 \Omega$)	Rs Rv R _c
8	DIN 51953	圆柱形 50mm, 1 kg	湿润纸垫	100V	Ro
9	DIN VDE 0100 T610	金属板 250 x250 x2mm 施加压力 750N	270 × 270mm 湿布	250V($\geq 0.25M \Omega$) 500V($\geq 0.5M \Omega$) 1000V($\geq 1.0M \Omega$)	R _c

标准名称

SJ/T11236-2001 防静电贴面板通用规范
 SJ/T10796-2001 防静电活动地板通用规范
 SJ/T10694-1996 电子产品制造防静电系统测试方法
 IEC 93.1980(GBI 410-1978) 固体绝缘材料体电阻率和面电阻率的测试方法
 YD/T 753-1995 通信机房静电防护通则
 ASTM F150-98 导静电及静电耗散型弹性地板电阻的测试方法

EN 1801-1998 弹性地板电阻的测量
 DIN 51953 有机地面饰材的检测：易爆室内空间地面饰材静电耗散能力检测
 DIN VDE 0100 T610 1994

额定电压至1000V的强电设备的安装检测，首次检测
 SJ/T11159-1998 地面覆盖层和装配地板静电性能的测试方法

电阻名称

RS—表面电极间电阻 RV—体积电阻 R_G—对地电阻
 R_L—泄漏电阻 ρ_S—表面电阻率 ρ_V—体积电阻率

二、测试对象的选择和处理

为测量数据准确、可靠，测量对象的选择和处理是很重要的一环。材料表面被污染，附着水份或混有杂质，对其导静电性能测量电阻值是有影响的，甚至测试数据相差1于1个数量级。见表2所示。

表2 试材表面的沾污状况及导静电性

Ω

数 据	PVC 地板			橡胶地垫		
	洁 净	沾 水	沾 灰 尘	洁 净	沾 水	沾 灰 尘
RS(Ω)	4.28×10^5	9.6×10^4	6.23×10^6	4.7×10^7	6.5×10^6	9.3×10^7
RV(Ω)	8.2×10^4	2.32×10^4	3.92×10^5	1.21×10^7	2.8×10^6	3.26×10^7

注：测试电极φ60mm，2.5kg，引导电极层为导电橡胶 $5 \times 10^3 \Omega$ ；
 测试电压500V，温湿度为8℃、56%RH；

因此，在实验室进行装饰材料的面电阻率和体电阻率测量时，首先要将材料按测试标准统一要求制作成边长为120mm方形块或φ100mm的圆形平板，为了较真实反映材料的特性和材料加工的均匀性，通常试样要准备3块。检查试样不能有损伤和裂痕，表面要平整，不能有变形和麻点。接着应将试样预处理，一般用干净的棉纱或无水乙醇浸过的棉纱布擦净，如果表面严重沾污，可用中性清洗剂洗净，并进行充分干燥，然后置于一定温度下放置1h，清除试验的热变形，再放入干净的测量环境下放置24h，便可进行测量。

现场施工的地板贴面、涂覆层和活动地板，同样在验收测量前，应用洁净的纱布将表面擦干净，严重沾污的应用中性液清洗干净，然后将室内空调打开，保持一定温度连续开上2—3天，在规定的温湿度条件下测量其系统电阻(对地电阻)和表面电极间电阻。

然而，在现场测量中，经常发现测量数据不尽人意。当超标大于 $10^8 \Omega$ 时，使用湿润的手，或用湿布去揩擦，有的还上含水导静电蜡水，使系统电阻和表面电极间电阻降至规定合格的范围内。这种做法，其实不是预处理，而是弄虚作假。因为用湿润的手，或湿布揩擦后，贴面地板、涂覆层地板、活动地板的表面便会形成导电水膜，上含水导静电蜡水则在表面形成导电水蜡膜，这样使表面电极间电阻大大减小，是不正确的，所测得的数据也是不准确的。

三、电极形状尺寸和重量的影响

通常材料的导电性是测量其电阻率，更能真实反映材料的特性，但测量体电阻率时，为了减少表面泄漏，去除边缘效应，使测量电极下电场趋于均匀，测量面电阻率时，也要减少体内电流的影响，故采用三电极系统，如图1所示。

测量面电阻率ρ_S，A为测量电极，B为高压电极，C为保护电极(接地)。测量体电阻率ρ_V时，A为测量电极，B为保护电极(接地)，C为高

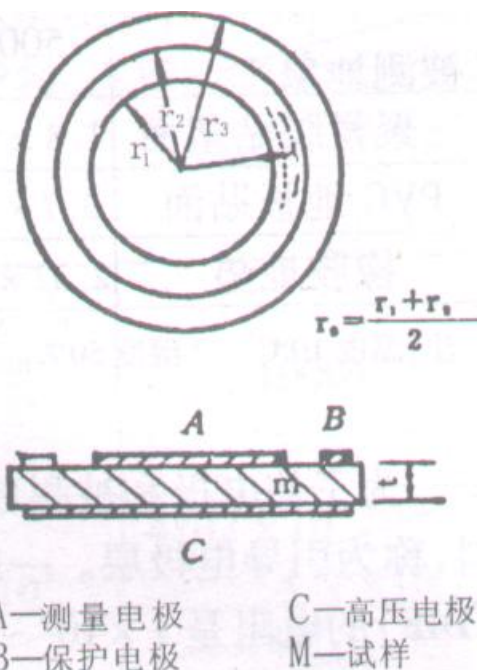


图1 圆板试样三电极系统

压电极。如材料试样厚度为d,其电极尺寸要求: $r_1 \geq 2d$ $r_2 - r_1 \geq 2d$ $r_3 - r_2 \approx 2d$ 这样,体电阻和面电阻的测量结果便更为真实。故现在使用的标准三电极, $r_1=25\text{mm}$, $r_2=27\text{mm}$, $r_3=37\text{mm}$, B电极面为 $\Phi 100\text{mm}$ 。测量时,还应使电极C和电极A的间隙均匀,避免不均匀带来的误差。

三电极系统测量方法国内外是统一的、公认的标准测量方法,但是,这种方法比较麻烦:①测试条件要求高,操作起来比较繁琐。②测试的数据需要换算,这样对于现场测试,尤其是地面工程施工完工后的验收测试,难以做到。所以通常测量地板材料都是采用两电极系统测量表面电极间电阻Rs和体积电阻Rv。对地面工程完工后的验收测试也是采用两电极系统测量地面的表面电极间电阻Rs和系统电阻Re(或称对地电阻)。但是国内外对有关两电极的形状、尺寸和重量的要求都不统一。在形状方面,有板形电极、圆柱形电极和三脚架电极,圆柱形电极尺寸有 $\Phi 50\text{mm}$ 、 $\Phi 60\text{mm}$,圆柱形电极重量方面有500g、1kg、2.5kg,甚至有5kg。不同的电极形状尺寸和重量,在其它测试条件相同的情况下,测得的数据是有差别的,见下表3所示。

表3 不同电极形状尺寸和重量的Rs/RG

Rs/Rg		Ω			
		圆柱电极 1kg Φ 50mm	圆柱电极 5kg Φ 50mm	圆柱电极 2.5kg Φ 60mm	三脚架电极
PVC		/ 9.8×10^8	/ 5.7×10^8	$2.55 \times 10^9 / 5.8 \times 10^8$	$2.07 \times 10^9 / 1.7 \times 10^8$
三聚氰胺		/ 6.5×10^9	/ 3.6×10^9	$2.19 \times 10^{10} / 4.09 \times 10^9$	$1.36 \times 10^8 / 1.9 \times 10^9$
台垫		/ 4.79×10^7	/ 1.51×10^7	$4.22 \times 10^7 / 1.4 \times 10^7$	$2.8 \times 10^7 / 2.0 \times 10^7$

注:表面电极间电阻Rs/对地电阻RG
温度9℃、湿度32%RH 试验电压500V

从理论和实测数据来看,电极接触面大,重量重,测出的电阻值便低,电极接触面小,重量轻,测出的电阻值便高。防静电地面工程主要的作用是确保消除人体静电,所以,电极的尺寸和重量应模拟人的鞋、脚的大小和人体的重量,电覆面采用 $\Phi 60\text{mm}$ 是可取、合适的,电极的重量的影响我们进行了有选择的简易试验,选择硬面(三聚氰胺贴塑面)、软面(橡胶地垫)和半硬半软的PVC贴面,试验数据见表4所示。

从数据可以看出,随着电极重量的增加,接触变得更紧密,电阻值会减小,当重量增加到一定数额时,电阻值的减小便不明显了,所以,没必要很重,考虑到携带方便,选用美国、德国标准规定的2.5kg是可行的。

表4 不同重量电极测出的体电阻Rv

数据		圆柱形 Φ 50mm				圆柱形 Φ 60mm			
		500g	1.0kg	3.0kg	5.5kg	2.5kg	5.0kg	7.5kg	10.0kg
三聚氰胺贴塑面		1.8×10^{10}	1.36×10^{10}	1.3×10^{10}	1.25×10^{10}	1.06×10^{10}	8.6×10^9	8.1×10^9	8.08×10^9
PVC地板贴面		3.7×10^5	2.39×10^5	1.31×10^5	1.27×10^5	1.64×10^5	1.47×10^5	1.39×10^5	1.19×10^5
橡胶地垫		2.32×10^7	2.23×10^7	1.9×10^7	1.79×10^7	1.44×10^7	1.37×10^7	1.37×10^7	1.37×10^7

注:温度10℃、湿度50%RH 试验电压500V

四、不同材质的引导电极层的影响

为了使电极和被测地板试材表面、被测地面充分接触,通常会在它们之间加入软导电材料,称为引导电极层。一般导静电型地板(ECF)的电阻是 $1 \times 10^4 - 1 \times 10^6 \Omega$,静电耗散型地板(DIF)的电阻是 $1 \times 10^6 - 1 \times 10^9 \Omega$,所以,引导电极层的材料的体电阻必须 $\leq 1 \times 10^3 \Omega$ 。

试验室采用三电极系统进行材料测试时,该引导电极层多采用金属箔、导电涂层或导电凡士林等,而现场活动地板、贴面地板和涂覆层地面,两电极系统测量时,引导电极层则多采用导电塑料片、导电橡胶片、导电海绵、湿润的纸或海绵等,但是不同材质的引导电极层,测试数据是有差别的,甚至差别很大,见表5所示。

有的单位或个人参照GB4386—1984和国际标准ISO 2251和ISO 2024,德国标准DIN 51954,用湿润纸甚至用导电海绵或蘸水海绵作为引导电极层,这是不妥当的。因为在电极重量压力下,电极接

触面积扩大了。另外，水虽然可以使电极与介质材料表面的接触更充分，但会因引起地面介质材质的吸湿，而导致电阻值大大降低。所以，现在用的比较多的是导电塑料片、导电硅橡胶片和导电橡胶片。需注意的是，导电塑料片和导电橡胶片经多次使用后，很容易老化，体电阻上升，建议一般在使用20—30次后，便需及时更换。

表5 不同引导电极层的RsRv

Ω

Rs/Rv 引导	地材	芬兰 PVC 卷材	泰国三聚氰胺 贴塑面	国产橡胶台垫	涂覆层样板
光 电 极		$3.82 \times 10^7 / 1.27 \times 10^7$	$2.75 \times 10^{10} / 6.85 \times 10^9$	$1.12 \times 10^7 / 6.68 \times 10^6$	$4.18 \times 10^{11} / 5.58 \times 10^{10}$
导电橡胶片		$3.63 \times 10^7 / 1.15 \times 10^7$	$4.54 \times 10^9 / 1.83 \times 10^9$	$1.07 \times 10^7 / 5.6 \times 10^6$	$1.6 \times 10^{11} / 4.2 \times 10^{10}$
蘸水海绵		$9.7 \times 10^7 / 3.1 \times 10^7$	$4.14 \times 10^8 / 2.6 \times 10^8$	$3.6 \times 10^7 / 2.01 \times 10^6$	$4.1 \times 10^7 / 1.35 \times 10^8$
润 湿 纸		$1.51 \times 10^7 / 8.5 \times 10^6$	$5.24 \times 10^8 / 4.14 \times 10^8$	$7.6 \times 10^6 / 3.45 \times 10^6$	$3.97 \times 10^8 / 1.61 \times 10^8$
湿 纸		$1.5 \times 10^7 / 4.36 \times 10^6$	$5.77 \times 10^8 / 4.2 \times 10^8$	$6.9 \times 10^6 / 3.3 \times 10^6$	$1.35 \times 10^7 / 1.05 \times 10^7$

注：表面电极间电阻Rs/体电阻Rv

温度10℃、湿度63%RH 试验电压500V

严格说为了模仿人着鞋在地面上走动，不用引导电极层更为实际。因为即使加了导电塑料片或导电橡胶片也未必能使接触更充分。最好是采用导电涂层或导电凡士林等作为引导电极层，但对于现场测量取点比较多的情况下，则无此必要。

五、测试电压和读数时间的影响

众所周知，介质材料的电阻值是随测试电压的大小和施加电压时间的长短变化的。一般在常温下，当电压较低时，电导电流是随外加电压线性增大的，当电压超过一定值后，由于游离增大，离子化活动加剧，电流的增长远比电压增加快的多。可见，测试电压愈大，所测得的电阻值便愈低。实测的数据。见表6所示，而测试不同系统电阻的介质材料，选用的测试电压推荐

见表7。

表6 不同测试电压下的RsRv

Ω

Rs/Rv 材料	电压	10V	100V	500V	1000V
PVC 贴面		$6.7 \times 10^5 / 4.6 \times 10^5$	$5.83 \times 10^5 / 2.8 \times 10^5$	$4.31 \times 10^5 / 1.0 \times 10^5$	$4.02 \times 10^5 / 4.9 \times 10^4$
三聚氰胺贴塑面		$>10^{10} / >5 \times 10^{10}$	$6.76 \times 10^9 / 3.46 \times 10^9$	$3.58 \times 10^9 / 1.5 \times 10^9$	$2.4 \times 10^9 / 9.6 \times 10^8$
橡胶地垫		$5.5 \times 10^7 / 2.3 \times 10^7$	$3.0 \times 10^7 / 1.8 \times 10^7$	$2.4 \times 10^7 / 1.3 \times 10^7$	$2.0 \times 10^7 / 1.0 \times 10^7$
涂覆层地坪		—	$1.52 \times 10^{11} / 1 \times 10^{11}$	$3.7 \times 10^{10} / 3.4 \times 10^{10}$	$2.4 \times 10^{10} / 9 \times 10^9$

注：温度8℃、湿度67%RH 电极Φ60mm 2. 5kg

表7 不同介质材料推荐的测试电压

系统电阻(Ω)	$>10^9$	$10^6 - 10^9$	$5 \times 10^4 - 10^6$	$<5 \times 10^4$
测试电压(v)	1000	500	100	10(50)

为了现场使用方便， 5×10^4 — $1 \times 10^6 \Omega$ 的也使用测试电压500V的同一类数字式兆欧表，但应记住，显示的电阻值是偏低的。

在现场被测的地面，当施加直流电压时，其流过地面介质的电流随时间变化如图1所示。从图中电流变化曲线可以看出，在施加测试电压的瞬时，流过较大的充电电流，接着一段是按指数曲线衰减的吸收电流。最后达到较平稳的电导电流。充电电流是决定于被测对象的几何形状、尺寸和材料的性质，其开始上升最大，然后在极短时间内便减到极小，故一般都可以略去。而吸收电流是由介质的松弛极化，随时间按指数曲线逐渐变小，所以，

为了准确测出电导电流的数据，通常取指数曲线衰减到平直的电导电流的转弯点时间，然而到这转弯点的时间约要4-5个衰减时间常数 τ ，如衰减规律为 $I = I_0 e^{-t/\tau}$ ，衰减变化见表8所示。

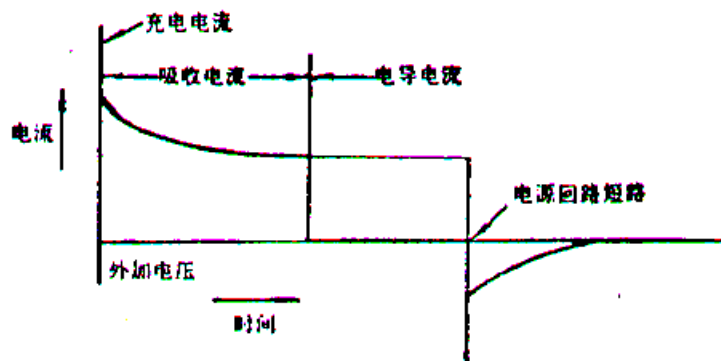


图2 测量介质电阻时电流随时间变化特性

表8 吸收电流I的衰减与时间的关系

时间 t(τ)	τ	2 τ	3 τ	4 τ	5 τ
电流 I 的衰减	0.369 I_0	0.137 I_0	0.05 I_0	0.018 I_0	0.007 I_0

τ 是随地面介质材料不同而异($\tau = RvC = \sum \rho v$)，如若取5 τ 作为读数时间，根据地面介质材料的 ρv (或 Rv)，推荐大致读数时间见下表9。

表9 推荐读数时间

地面介质系统电阻 Ω	$>1 \times 10^{12}$	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$	$10^4 - 10^6$
推荐读数时间	60s	20-30s	10-15s	5-7s

事实上，正常地面介质材料施加电压后达到较平稳的电导电流的时间，对系统电阻大的($>10^{10} \Omega$)上述推荐的读数时间可能不够，对系统电阻小的($<10^6 \Omega$)上述推荐的读数时间又足足有余，为既考虑读取数据时间不宜太长，否则现场测试取点多，耗费时间太长，工作效率低，又考虑读取时间太短，操作需要时间来不及，仪表且也有响应时间，所以取表9推荐的数据为宜。

有些地面测量系统电阻时，兆欧表显示的数字会随时间一直缓慢地增大，这可能是由于地面工程施工中的导电粘胶尚未干，地板材料潮湿等原因造成的。

测量完后如果需第二次测量，必须将电极间进行短接，使试样上的带电电荷和极化电荷释放掉，方可开始下一次测量。而短接时间长短，要视地板的材质和施加电压大小而定。但一般至少短接1分钟以上为宜。

六、温湿度的影响

一般说来，随着温度湿度的升高，测量的地板介质电阻值要减小，这是其一；其二是表面电阻对湿度比较敏感，而体积电阻则对温度比较敏感。

环境温度的增加，地板表面容易吸附形成水膜，促使表面泄漏增大，如果材料是吸湿性的，还会使体电导电流大增。温度升高，地板介质材料的吸附电流和电导电流会相应增大点。曾有资料报导，介质材料在70℃时的电阻值只有20℃时电阻值的1/10，而相对湿度增大10%，对易吸潮的地面介质材料来说，其电阻值大约要降低1个数量级。笔者也选择了几种地面材料，在正常标准的不同相对湿度下，进行其电阻值的测试，数据见表10所示。

表10 地面在不同相对湿度下的电阻值 R_s / R_v

		Ω			
R_s / R_v	湿度	20%	40%	50%	65%
材料					

PVC 地板贴面	$4.31 \times 10^5 / 2.78 \times 10^5$	$3.65 \times 10^5 / 2.7 \times 10^5$	$3.93 \times 10^5 / 2.54 \times 10^5$	$2.52 \times 10^5 / 8.6 \times 10^4$
三聚氰胺贴塑面	$4.8 \times 10^{10} / > 7.5 \times 10^9$	$3.4 \times 10^{10} / 6.06 \times 10^9$	$1.38 \times 10^{10} / 4.28 \times 10^9$	$5.1 \times 10^9 / 1.77 \times 10^9$
橡胶地垫	$1.42 \times 10^8 / 4.34 \times 10^7$	$5.98 \times 10^7 / 2.31 \times 10^7$	$4.03 \times 10^7 / 1.89 \times 10^7$	$3.18 \times 10^7 / 1.6 \times 10^7$
涂覆层地坪	$3.7 \times 10^{12} / 7.13 \times 10^{11}$	$2.53 \times 10^{12} / 5.36 \times 10^{11}$	$5.86 \times 10^{11} / 1.2 \times 10^{11}$	$1.58 \times 10^{11} / 3.9 \times 10^{10}$

注：温度8℃、 电极Φ60mm 2.5kg 试验电压500V