



中华人民共和国国家标准

GB/T 3836.27—2019

爆炸性环境 第 27 部分：静电危害 试验

Explosive atmospheres—
Part 27: Electrostatic hazards—Test

(IEC 60079-32-2:2015, Explosive atmospheres—
Part 32-2: Electrostatic hazards—Tests, MOD)

2019-12-31 发布

2020-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 试验方法 4

 4.1 概述 4

 4.2 表面电阻 4

 4.3 表面电阻率 7

 4.4 体积电阻率 7

 4.5 泄漏电阻 7

 4.6 在用工作鞋试验 8

 4.7 在用手套试验 9

 4.8 粉末电阻率 10

 4.9 液体电导率 12

 4.10 电容 14

 4.11 电荷转移 16

 4.12 点燃试验 18

 4.13 电荷衰减测量 21

 4.14 击穿电压 23

参考文献 26

前 言

《爆炸性环境》分为若干部分：

- 第 1 部分：设备 通用要求；
- 第 2 部分：由隔爆外壳“d”保护的的设备；
- 第 3 部分：由增安型“e”保护的的设备；
- 第 4 部分：由本质安全型“i”保护的的设备；
- 第 5 部分：由正压外壳“p”保护的的设备；
- 第 6 部分：由液浸型“o”保护的的设备；
- 第 7 部分：由充砂型“q”保护的的设备；
- 第 8 部分：由“n”型保护的的设备；
- 第 9 部分：由浇封型“m”保护的的设备；
- 第 11 部分：气体和蒸气物质特性分类 试验方法和数据；
- 第 12 部分：可燃性粉尘物质特性 试验方法；
- 第 13 部分：设备的修理、检修、修复和改造；
- 第 14 部分：场所分类 爆炸性气体环境；
- 第 15 部分：电气装置的设计、选型和安装；
- 第 16 部分：电气装置的检查与维护；
- 第 17 部分：由正压房间“p”和人工通风房间“v”保护的的设备；
- 第 18 部分：本质安全电气系统；
- 第 19 部分：现场总线本质安全概念(FISCO)；
- 第 20 部分：设备保护级别(EPL)为 Ga 级的设备；
- 第 21 部分：设备生产质量体系的应用；
- 第 22 部分：光辐射设备和传输系统的保护措施；
- 第 23 部分：用于瓦斯和/或煤尘环境的 I 类 EPL Ma 级设备；
- 第 24 部分：由特殊型“s”保护的的设备；
- 第 25 部分：可燃性工艺流体与电气系统之间的工艺密封要求；
- 第 26 部分：静电危害 指南；
- 第 27 部分：静电危害 试验；

.....

本部分为《爆炸性环境》的第 27 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60079-32-2:2015《爆炸性环境 第 32-2 部分：静电危害 试验》。

本部分与 IEC 60079-32-2:2015 的技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适用我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用等同采用国际标准的 GB/T 1408.1 代替 IEC 60243-1；
- 用等同采用国际标准的 GB/T 1408.2 代替 IEC 60243-2；
- 用等同采用国际标准的 GB/T 1410 代替 IEC 60093；
- 用修改采用国际标准的 GB 3836.1 代替 IEC 60079-0；

- 用等同采用国际标准的 GB/T 3836.12 代替 ISO/IEC 80079-20-2 (原国际标准的 IEC 61241-2-2 被 ISO/IEC 80079-20-2 代替);
- 用修改采用国际标准的 GB/T 3836.26—2019 代替 IEC TS 60079-32-1;
- 用等同采用国际标准的 GB/T 5654 代替 IEC 60247。

——给出第 4 章中试验方法合格判据可依据的 GB/T 3836.26—2019 的具体条款,以便于使用。

本部分做了下列编辑性修改:

——修改了标准名称中的部分号;

——删除了 4.11.1 关于欧洲文件的注 2。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国防爆电气设备标准化技术委员会(SAC/TC 9)归口。

本部分起草单位:南阳防爆电气研究所有限公司、国家防爆电气产品质量监督检验中心、中海油天津化工研究设计院有限公司、托肯恒山科技(广州)有限公司、北京三盈联合石油技术有限公司、河南省济源市矿用电器有限责任公司、新黎明科技股份有限公司、福建上润精密仪器有限公司、江阴市富仁高科股份有限公司。

本部分主要起草人:王军、张刚、王巧立、季鹏、周斌涛、乔秦、张材、郑振晓、戈剑、徐东成。

爆炸性环境

第 27 部分：静电危害 试验

1 范围

《爆炸性环境》的本部分规定了避免由设备、产品和工艺过程而引起静电点燃和电击危险的试验方法。

本部分适用于静电危害的评定,或用于制定电气或非电气设备标准或专用产品标准。

本部分提供的标准试验方法,用于控制静电,如表面电阻、对地泄漏电阻、粉末电阻率、液体导电率、电容,以及评价触发放电的引燃性。本部分与 GB/T 3836 系列标准一起使用。

注:本部分不取代具体产品标准和工业应用标准。

本部分提供的现有最新技术可能与其他标准的要求稍有偏差,尤其是在试验气候条件方面。当本部分的要求与 GB 3836.1 的要求有冲突时,为了避免以前获证设备可能需要重新试验,则 GB 3836.1 的要求仅适用于 GB 3836.1 规定的设备。对于其他情况,本部分的要求适用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 1408.1 绝缘材料 电气强度试验方法 第 1 部分:工频下试验(GB/T 1408.1—2016, IEC 60243-1:2013, IDT)

GB/T 1408.2 绝缘材料 电气强度试验方法 第 2 部分:对应用直流电压试验的附加要求(GB/T 1408.2—2016, IEC 60243-2:2013, IDT)

GB/T 1410 固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法(GB/T 1410—2006, IEC 60093:1980, IDT)

GB 3836.1 爆炸性环境 第 1 部分:设备 通用要求(GB 3836.1—2010, IEC 60079-0:2007, MOD)

GB/T 3836.12 爆炸性环境 第 12 部分:可燃性粉尘物质特性 试验方法(GB/T 3836.12—2019, ISO/IEC 80079-20-2:2016, IDT)

GB/T 3836.26—2019 爆炸性环境 第 26 部分:静电危害 指南(IEC TS 60079-32-1:2013, MOD)

GB/T 5654 液体绝缘材料 相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量(GB/T 5654—2007, IEC 60247:2004, IDT)

IEC 61340-2-1 静电 第 2-1 部分:测量方法材料和产品耗散静电电荷的能力(Electrostatics—Part 2-1: Measurement methods—Ability of materials and products to dissipate static electric charge)

IEC 61340-2-3 静电 第 2-3 部分:用于防止静电电荷积聚的固体平面材料电阻和电阻率测定试验方法(Electrostatics—Part 2-3: Methods of test for determining the resistance and resistivity of solid planar materials used to avoid electrostatic charge accumulation)

IEC 61340-4-4 静电 第 4-4 部分:特定用途的标准试验方法 柔性集装袋(FIBC)的静电分类[Electrostatics—Part 4-4: Standard test methods for specific applications—Electrostatic classification]

of flexible intermediate bulk containers (FIBC)]

ISO 14309 硫化或热塑橡胶体积和/或表面电阻测定(Rubber, vulcanized or thermoplastic—Determination of volume and/or surface resistivity)

ASMT E582 气体混合物最小点燃能量及淬熄距离标准试验方法(Standard test method for minimum ignition energy and quenching distance in gaseous mixtures)

EN 1081 弹性地板覆盖物 电阻测定(Resilient floor coverings—Determination of the electrical resistance)

EN 1149-3 防护服 静电特性 第3部分:电荷耗散测量试验方法(Protecting clothes—Electrostatic properties—Part 3: Test method for measuring the charge dissipation)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

导电性 conductive

形容具有电阻率或电阻值低于耗散范围(见 3.4),允许产生杂散电流弧和静电电击的特性。

注 1: 导电性材料或物体既不耗散也不绝缘。当接地时,不会积聚显著的静电电荷。

注 2: GB/T 3836.26—2019 给出了固体材料、外壳、一些物体和散装材料的导电范围限值。

注 3: 包含静电特性的产品标准或其他标准通常会包含“导电性”的特殊定义,这些定义仅适用于这些标准规定的产品,与本部分的定义可能不同。例如,GB/T 9572 及 GB/T 7528 软管组件标准,GB/T 3684 皮带标准,GB/T 22042、GB/T 22043、EN 1149-3 和 EN 1149-5 防护服标准。

3.2

电导率 conductivity

体积电阻率(见 3.14)的倒数。

注: 单位为西门子每米。

3.3

导体 conductor

导电物体。

3.4

耗散性 dissipative

静电耗散性 electrostatic dissipative

形容具有电阻率或电阻值介于导电与绝缘之间的特性(见 3.1 和 3.7)。

注 1: 耗散性材料或物体既不导电也不绝缘,但是像导电物体一样,与地接触时,即使在安全限制条件下接触,仍会产生和/或耗散其设计应用的最大起电电流。

注 2: GB/T 3836.26—2019 给出了固体材料、外壳、一些物体和散装材料的耗散范围限值。

注 3: 包含静电特性的产品标准或其他标准通常会包含“耗散性”的特殊定义,这些定义仅适用于这些标准规定的产品,与本部分的定义可能不同。见 3.1 及其注 3。

3.5

外壳 enclosure

围绕和封装设备的墙、门、盖、电缆引入装置、杆、轴、涂层等。

注 1: 对于电气设备来说,外壳指 GB 3836.1 规定的外壳。

注 2: 柔性集装袋(FIBC)及其他类似的容器不是设备外壳,在 GB/T 3836.26—2019 中单独考虑。

3.6

危险场所 hazardous area

可燃性或爆炸性气体/蒸气与空气的混合物或粉尘与空气的混合物出现或可能出现的量达到足以

要求采取专门防点燃措施的区域。

注：见 GB 3836.14 和 GB/T 12476.3。

3.7

绝缘性 insulating

形容具有电阻率或电阻值高于耗散范围(见 3.4)的特性。

注 1：绝缘性材料或物体既不导电也不耗散。静电电荷可在上面积聚,即使与地接触时也不易耗散。

注 2：GB/T 3836.26—2019 给出了固体材料、外壳、一些物体和散状材料的绝缘范围限值。对于某些物体,其他标准中有特殊定义。

注 3：包含静电特性的产品标准或其他标准中通常有“绝缘性”的特殊定义,这些定义仅适用于这些标准规定的产品,与本部分的定义可能不同。见 3.1 及其注 3。

注 4：形容词“非导电性”常被用作“绝缘性”的同义词。本部分避免使用,因为“非导电性”可以理解为“绝缘性”“绝缘或耗散性”,以免混淆。

3.8

被隔离导体 isolated conductor

由于接地泄漏电阻超过 GB/T 3836.26—2019 规定的值,可积聚电荷的导电物体。

3.9

泄漏电阻 leakage resistance

接地电阻 resistance to earth

接触测量表面的电极与地之间的电阻。

注 1：单位为欧姆。

注 2：泄漏电阻取决于材料的体积和/或表面电阻率,以及所选测量点与地之间的距离。

3.10

电阻 resistance

通过试样的电压和电流之比。

注：根据采用的电极不同,有下列不同的电阻：

——绝缘电阻(欧姆),见 3.11；

——泄漏电阻(欧姆),见 3.9；

——表面电阻(欧姆),见 3.11；

——表面电阻率(欧姆),见 3.12；

——体积电阻率(欧姆米),见 3.14。

3.11

表面电阻 surface resistance

接触测量表面的两个电极之间的电阻。

注 1：单位为欧姆。

注 2：该表面电阻定义不严密,因为两个电极之间的电阻也取决于受试材料的体积电阻率。但是在评价材料通过传导耗散电荷的能力时,此定义具有实际意义。

注 3：按照 3.11 测量的表面电阻通常随着厚度增加而降低。降低的量取决于表面电阻和体积电阻之间的关系。

注 4：在 GB/T 10064 中,表面电阻也叫绝缘电阻。

注 5：在 GB/T 1410 中,表面电阻定义为纯表面电阻,没有任何通过体积的电流。

3.12

表面电阻率 surface resistivity

通过物体表面相对两边单位长度和单位宽度的电阻值。

注 1：通常用欧姆表示。有时用欧姆每平方表示电阻率。这样表示不符合国际单位制,宜避免使用。

注 2：表面电阻率是按照 4.2 测量的表面电阻的 10 倍。

3.13

兆欧表 **teraohm meter**

测量上限至少为 1 TΩ、可变测量电压为 1 kV 或以上的电阻测量仪。

3.14

体积电阻率 **volume resistivity**

绝缘材料按照 GB/T 1410 测量,耗散材料按照 IEC 61340-2-3 测量时,物体单位长度和单位横截面的电阻值。

注:单位为欧姆米。

4 试验方法

4.1 概述

材料静电特性测量结果的偏差主要是试样(例如,材料表面不均匀、几何形状和状况不同)造成的偏差,而不是电压、电流、电极几何形状的不确定度或者测量装置的不确定度造成的。这是因为极小的差异都能严重影响静电特性,因此统计结果非常重要。

例如,在 ASTM E582 中,用 100 次或 1 000 次不点燃确定爆炸性气体的最小点燃能量。但是这并不排除 1 001 次试验不会点燃。由于受统计因素影响,统计离散性影响静电特性的精确度和复现性。

静电特性的精确度和复现性通常为 20%~30%。这比典型的电气测量高得多,电气测量时通常小于 1%。因此静电阈值含有一定的安全裕量,以补偿出现的统计离散性。

提高试验质量并不能减小出现的统计离散性,这一点可能难以理解。但是应接受这种状况,谨记静电试验应有足够的安全裕度,以补偿这种影响。

制造工艺(例如浇注、挤压等)会改变材料的静电特性。因此建议尽可能用成品进行试验,不用制作产品的材料试验。

为了全世界所有实验室的测量具有可比性,宜在规定的相对湿度(RH)和温度条件下测量试样[通常温度(23±2)℃、相对湿度(25±5)%,至少 24 h]。湿度或温度较低或较高的国家,对当地较高或较低的相对湿度和温度可合理增大数值,例如,热带地区温度增加到(40±2)℃,相对湿度增加到(90±5)%,对于极端寒冷气候的国家温度为(23±2)℃、相对湿度为(15±5)%。

为了避免材料因湿度迟滞特性不同而造成测量误差,试样宜先干燥,然后再调节到特定的气候条件。

在一些其他标准中,例如 GB 3836.1,过去规定 50%RH 或 30%RH 条件下测得的不同限值,没有考虑试验箱除湿的影响。经验表明,在该气候条件下的测量结果与按照本部分要求测量的结果不一致。但是为了与以前按照其他标准评定的设备保持一致性,可能需要用其他标准规定的气候条件。

本部分规定的试验方法用于各种情况所有类型设备可能比较困难。因此试验报告中应清楚地说明本部分的哪些章节全部适用,哪些章节部分适用。同时说明不能全部适用的技术原因,以及采用的其他方法与本部分规定的方法的等效性。

注意:本部分规定的试验方法涉及使用高压电源,一些试验中如果处理不当可燃性气体可能会出现危险。鼓励本部分的使用者在进行任何试验程序之前,进行适当的危险评定并关注地方法规的有关规定。

4.2 表面电阻

4.2.1 概述

按照 3.11 规定表面电阻非常低的表面,与地接触时不会产生静电起电。因此,表面电阻是与材料

通过传导耗散电荷有关的基本静电特性。表面电阻通常随着相对湿度降低而增大,因此,在测量过程中需要用较低相对湿度代替最不利条件。

GB/T 1410 和 IEC 61340-2-3 规定了固体平面材料表面电阻、体积电阻和电阻率的测量方法。IEC 61340-4-10 是测量表面电阻的另一种方法。但是,由于材料的规格和形状问题,尤其是用于设备的材料,通常无法用这些方法进行试验。因此,对于非平面材料以及小型产品,可用 IEC 61340-2-3 规定的试验方法测量电阻,或者,用下列替代方法。

4.2.2 原理

规定长度和距离的两个导电电极与表面接触,测量两个电极之间的电阻。高电阻通常随着电压增大而减小,所施加的电压至少应增加至 500 V。在电阻非常高时,最好增加到 1 000 V。

注:最新技术显示,在 10 kV 时测量高电阻可能有利。但是,对这种情况,需要防止产生火花(例如,电极之间绝缘泡沫造成的火花),合格判据也需要修改。

当较薄的绝缘层下另有导电性较强材料时,施加的电压会作用到下面的材料,得出的结果具有不确定性。

4.2.3 设备

测量设备符合 GB 3836.1 的规定,有两个平行的电极,尺寸如图 1 所示。可通过用合适的模板喷涂银粉漆电极,或者将柔软的条状橡胶导电电极安装在带有弹簧的金属压舌上,或者把导电泡沫条安装在绝缘支架上来实现。

单位为毫米

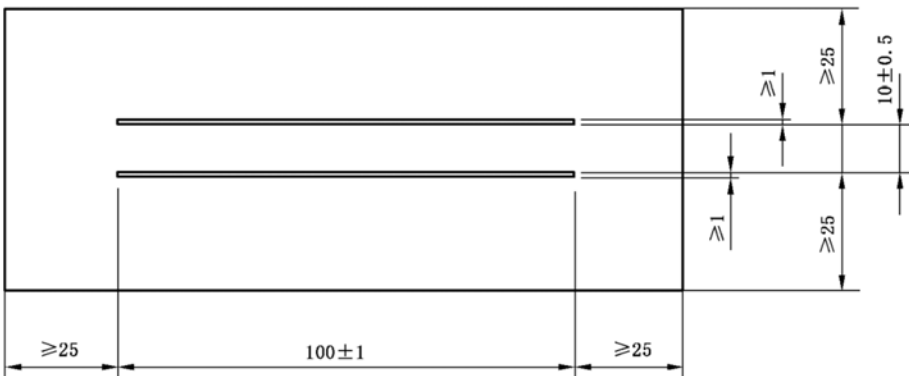


图 1 带有电极的试验样品

注 1: 表面电阻取决于电极布置。

注 2: 例如,GB/T 10064 中也采用该电极布置。

非均质材料尤其是纤维,在不同的方向测量,结果可能不同。采用 IEC 61340-2-3 或者 ISO 14309 规定的同心环电极系统,可避免这种情况。

用柔软的条状橡胶导电电极限制表面化学反应,比喷涂银粉漆电极效果好。

对于不均匀试样,喷涂银粉漆电极比用柔软电极效果好,因为能与不均匀试样尺寸更好配合。

图 1 中给出的电极周围区域大于 25 mm 仅适用于片状材料试验,对于实际产品可以忽略。

电极与兆欧表连接。电极上可再放置一带防护罩的电极,减少电气噪声。试验过程中,电压应非常稳定,这样,电压波动产生的电荷电流与通过试验样品的电流相比,可以忽略不计。

兆欧表的精度应定期通过几个已知的介于 1 MΩ~1 TΩ 的电阻进行核验,其精度应在规定的范围内。导电橡胶电极或泡沫电极的几何尺寸也应通过测量其痕迹定期检查。如果电极达到最小电阻值时施加的力大于 20 N,则应用更柔软的导电橡胶代替。

4.2.4 试验样品

如果试样尺寸允许,应在实际样品部件上测量表面电阻。或者,如果试验样品含有符合图 1 尺寸的矩形板,也可在试样样品上测量。试验样品表面应完整清洁。一些溶剂会在表面上留下导电残渣,或者会对表面的静电特性产生不利影响,因此最好只用刷子清理表面。对于用特殊防静电剂处理过的表面,这一点尤其重要。

但是如果表面上有手指印或其他脏污,并且表面上没有采用特殊防静电剂,应用 2-丙醇(异丙醇)或其他不影响试验样品材料的溶剂清洁试样,然后在空气中干燥。

随后在温度 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(25\pm 5)\%$ 条件下放置至少 24 h,不应用裸手触摸。对于电气设备的外壳,应采用 GB 3836.1 规定的气候条件和 500 V 试验电压测量,与以前的测量结果进行比较。

4.2.5 程序

测量程序如下:

- a) 在与预处理相同的气候条件下进行试验;
- b) 把试样放置在表面电阻超过 $10\text{ T}\Omega$ 的绝缘垫上;
- c) 把电极放置在试样表面上;
- d) 在电极上施加 20 N 的力(如果是涂漆电极则不需要);
- e) 在电极之间施加 $(10\pm 0.5)\text{V}$ 的测量电压,保持 $(15\pm 5)\text{s}$;
- f) 测量两个电极之间的电阻,测量结束,记录电阻值;

注 1: 测量低电阻试样时,为了避免大电流造成电极损坏,需从低电压开始测量。

- g) 如果电阻在 $1\text{ M}\Omega$ 和 $10\text{ M}\Omega$ 之间,应在 $(15\pm 5)\text{s}$ 内把测量电压增至 $(100\pm 5)\text{V}$ 。如果电阻在 $10\text{ M}\Omega$ 和 $100\text{ M}\Omega$ 之间,应用 $(500\pm 25)\text{V}$ 电压测量,时间 $(65\pm 5)\text{s}$ 。如果表面电阻大于 $100\text{ M}\Omega$,电压至少 $(500\pm 25)\text{V}$,最好是 $(1\ 000\pm 50)\text{V}$,时间 $(65\pm 5)\text{s}$ 。

注 2: GB 3836.1 中采用 500 V 电压。

注 3: IEC 61340-4-1 中,电阻在 $1\text{ M}\Omega$ 和 $10\text{ M}\Omega$ 之间,采用 100 V 电压。电阻更大,采用的电压更高。

IEC 61340-2-3 中,电阻大于 $1\text{ M}\Omega$ 都采用 100 V 电压。由于高电阻通常随着电压的增大而降低,需要更长时间得出稳定结果。因此,测量高电阻时,建议采用更高电压和更长的测量时间。

- h) 对同一试样在不同位置重复测量 9 次,或者,如果试样太小重复测量不可行,或者测量结果范围在 $\pm 10\%$ 之内,也可用另外的试样重复测量。对于这种情况,可以减少测量次数,但是不宜少于 3 次试验。

4.2.6 合格判据

合格/不合格判据见使用此试验方法的标准。如果标准中没有给出合格/不合格判据,可依据 GB/T 3836.26—2019 中表 1 给出的限值。

应按照最高测量电压时测得的电阻对试样进行分级。例如,如果 10 V 时电阻是 $1.5\text{ M}\Omega$,100 V 时电阻是 $900\text{ k}\Omega$,试样分类应为具有 $900\text{ k}\Omega$ 的电阻。

4.2.7 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;

- 试验结果；
- 施加的测量电压；
- 测量次数；
- 几何平均电阻；

注：几何平均数为 n 个数乘积的 n 次方根。

$$\bar{x} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}$$

例如：5 个数值 1、2、5、50 和 100 的几何平均数为 $(1 \times 2 \times 5 \times 50 \times 100)^{1/5} = 8.71$ 。

测量电阻时，由于数量级不同，平均数通常会发生变化，因此用几何平均数比算术平均数更具实际意义。

例如，五次电阻测量可能包括四次 1 GΩ 测量和一次 1 TΩ 测量。算术平均数是 1 TΩ 测量加权，而几何平均数更接近代表材料实际情况。

- 使用仪器标识；
- 本部分编号。

4.3 表面电阻率

用 4.2 测量表面电阻的电极形状测得的表面电阻值的 10 倍为表面电阻率。

4.4 体积电阻率

确定材料静电荷电率时，表面电阻或表面电阻率比体积电阻率更具有实际意义。本部分体积电阻率关系不大，没有规定体积电阻率的测定。对于物体实际接地要求，体积电阻率更重要。如果需要确定材料的体积电阻率，应采用 ISO 14309 规定的橡胶或热塑材料的体积电阻率测量程序，或者 IEC 61340-2-3 规定的耗散材料的测量程序，或者 GB/T 1410 规定的绝缘材料的测量程序。

4.5 泄漏电阻

4.5.1 概述

物体尤其是地板的泄漏电阻是重要的静电安全特性。测量地板泄漏电阻的几个标准，其测量方法有所不同。这些标准也可用于测量其他物体（例如，柱状旋转体、外壳、有接地点的袋子）的泄漏电阻。IEC 61340-4-1 中，用 (2.5 ± 0.25) kg（硬地板）或 (5.0 ± 0.25) kg（软地板）的力，把直径 (65 ± 5) mm 的圆形电极压在地板上进行试验。GB/T 23165 中，用 (5.0 ± 0.1) kg 的力，把直径 (65 ± 2) mm 的圆形电极压在地板上进行试验。ASTM F150 中，用 2.5 kg 的力，把直径 63.5 mm 的圆形电极压在地板上进行试验。EN 1081 中，用三足式电极，人站在上面压在地板上进行试验。每种方法测得的电阻可能会不同，因此，在产品技术条件和试验报告中要说明使用的测量方法。

注：在理想的情况下，上述不同测量方法测得的电阻值差别不大。在现实中，粗糙的表面，例如，含有砂石的水泥地面，由于使用的电极表面和施加压力不同，会影响到测量结果。IEC 61340-4-1 中电极下面用导电泡沫板增加几毫米粗糙度，测量结果会精确一些。但是，这并不能代表人穿着硬底鞋的实际情况。

由于泄漏电阻可能在导电或耗散范围内（见 GB/T 3836.26—2019），应先从 10 V 低电压开始测量，然后增加到 4.2 规定的值。如果需要在潜在爆炸性环境中测量，例如，在加油站，测量电压不宜超过 (100 ± 5) V，防止出现引燃放电火花。

4.5.2 原理

地板或物体与规定的电极接触，测量电极对地电阻。

4.5.3 设备

通常用直径 (65 ± 5) mm、表面覆盖导电橡胶的圆形电极，用 2.5 kg 或 5 kg 的力，压到物体上进行

试验,电极符合 4.5.1 列出的几乎所有标准规定的电极技术条件。但是,如果需要模拟人体压在地板上,则 EN 1081 规定的三足电极可能更合适。

注:随着电极压力增大,测得的电阻趋向于减小,但是到某一点后,压力进一步增大,对测量电阻的影响减小。经验表明多种地板材料,施加 5 kg 的压力,用直径 65 mm 的电极就可以进行精准测量。

电极与兆欧表连接。电极上可再放置一带防护罩的电极,减少电气噪声。试验过程中,电压应非常稳定,这样,电压波动产生的电荷电流与通过试验样品的电流相比,可以忽略不计。

应采用已知的高电阻值,定期检查兆欧表的精度。如果为了达到最小电阻,试验样品需要在电极上施加大于 20 N 的力,则应采用更加柔软的电极代替橡胶电极。

4.5.4 试验样品

试验地板或物体的表面应清洁完整。如果测量的地板或物体在室外(例如,加油站前面的地面),在测量之前 24 h 内应没有雨雾天气(相对湿度大于 50%)。用于室内的地板或物体,应在温度 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $(25\pm 5)\%$ 条件下放置 24 h,然后在实验室测量,或者在现场测量环境条件下测量。

对于容易吸附湿气的纺织品地板罩和其他材料,可能需要增加预处理时间(见 GB/T 23165)。

4.5.5 程序

试验应按照 4.2.5 的程序进行,但一个电极和地之间的测量除外。在测量地板时,测量次数应由相关方根据测量目的(合格认定、核查等),充分考虑地板的基质、同质性和地板的面积等因素达成一致。当核查地板面积较大的工厂或仓库时,每 100 mm^2 测量一次可能是可以接受的。当地板的同质性未知时,关键区域合格认定的测量每平方米不应少于 1 点。

4.5.6 合格判据

合格/不合格判据见使用此试验方法的标准。如果标准中没有给出合格/不合格判据,可依据 GB/T 3836.26—2019 中表 1 给出的限值。

4.5.7 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;
- 试验结果;
- 测量电压;
- 电极描述;
- 施加的压力;
- 测量次数;
- 几何平均电阻;
- 使用仪器标识;
- 本部分编号。

4.6 在用工作鞋试验

4.6.1 概述

工作鞋实验室试验方法见 IEC 61340-4-3 和 IEC 61340-4-5。工作鞋和地板现场试验方法见

IEC 61340-4-5。对于日常定期试验,人员穿的工作鞋对地泄漏电阻通常可用鞋导电计(人员地阻仪)测量。如果没有这样的装置,则可按照下列方法测量。

4.6.2 原理

测量手持物体与双脚站立金属板之间的电阻。与鞋的电阻相比,假定人的电阻可以忽略不计。

4.6.3 设备

测量装置有一金属板放置在地板上,另有一手持式金属物体(例如,直径 20 mm、长度 100 mm 的金属条,或直径 50 mm 的金属球)。用两个电极测量手持式物体和金属板之间通过人体和脚之间电阻,两个电极之间连接兆欧表。用已知高电阻值,定期检查兆欧表精度。

为了防止电击,测量电压应不超过 100 V。如果测量电压大于 100 V,测量电路中应连接约 1 MΩ 的保护电阻。当用 10 V 电压测量低电阻时,可不用保护电阻。

4.6.4 程序

测量程序如下:

- a) 在温度(23±2)℃、相对湿度(25±5)%条件下测量。如果相对湿度超过该值,记录湿度值。
- b) 穿上受试鞋子。
- c) 等待 5 min,使鞋子和袜子有足够湿度。
- d) 双脚站在金属板上,一只手裸手抓住金属物体。
- e) 记录显示的鞋子电阻。

4.6.5 合格判据

合格/不合格判据见使用此试验方法的标准。如果标准中没有给出合格/不合格判据,可依据 GB/T 3836.26—2019 中表 1 给出的限值。

4.6.6 试验报告

如果是例行控制试验,可以用红灯、绿灯或其他显示器显示试验结果,显示器的电阻限值与 4.6.5 规定的合格判据对应即可。如果采用其他方法,试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;
- 试验结果;
- 测量电压;
- 测量次数;
- 使用仪器标识;
- 本部分编号。

4.7 在手套试验

4.7.1 概述

对于日常定期试验,手套可以与鞋子一起测量电阻,不过通常不能用鞋导电计(人员地阻仪)测定总电阻。因此,可能需要用下列方法测量电阻。

注：实验室测试手套的方法参见 EN 16350。

4.7.2 原理

戴手套所持物体和裸手持物体,通过身体和双脚站立金属板之间的电阻,按照 4.6 的方法测量。如果鞋的电阻未知,则应测量戴手套所持物体与人员手臂上佩戴的电阻已知的防静电手环之间的电阻。

4.7.3 设备

与 4.6 相同。

4.7.4 程序

人通过鞋子接地的测量程序如下：

- a) 按照 4.6.4 规定测量在用鞋子的电阻；
- b) 手套戴在手上再次测量；
- c) 记录两次测量值及其比值。

人通过防静电手环接地的测量程序如下：

- a) 人通过电阻已知的防静电手环接地；
- b) 测量戴手套所持金属物体与防静电手环之间的电阻；
- c) 记录两个值及二者的差值。

4.7.5 合格判据

合格/不合格判据见使用此试验方法的标准。如果标准中没有给出合格/不合格判据,可依据 GB/T 3836.26—2019 中表 1 给出的限值。

4.7.6 试验报告

试验报告至少应包括下列信息：

- 测量实验室；
- 测量日期；
- 温度和相对湿度；
- 样品描述和标识；
- 防静电手环或鞋子的电阻；
- 试验结果；
- 测量电压；
- 测量次数；
- 使用仪器标识；
- 本部分编号。

4.8 粉末电阻率

4.8.1 概述

粉末电阻率有不同的测量方法:GB/T 3836.12(凹槽单元)、GB/T 1410(冲压单元)、有内外环电极的同心圆单元(见参考文献[24]、[27])。根据 Stahmer et al(见参考文献[27])，凹槽单元和同心圆单元得出的结果相同。但是,由于粉末的压缩,在测量压缩粉末电阻率时,冲压单元得出的结果能小十倍。因此应按照下列基于 GB/T 3836.12 的程序测量粉末电阻率。该试验方法不仅用于评定静电安全性,

也可用于确定粉末的导电性是否足以造成电气设备短路。如果试验用于评定静电安全外的目的,可能需要多个试验电压并进行广泛分析,以全面确定粉末的特性及其使用时的危险。

随着电压变化,一些粉末的测量电阻变化很大。选择的试验电压应能代表实际危险,如果需要,试验报告应包括所有试验电压的测量结果,确保能够进行全面分析。

4.8.2 原理

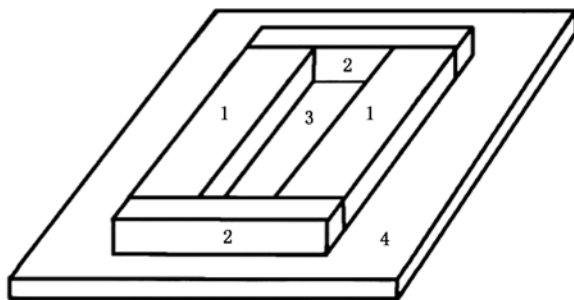
在有两个电极的特定测量单元内,装入固定体积的粉末。测量两个电极之间的电阻。

注:粉末的电阻主要取决于颗粒大小和体积密度。

4.8.3 设备

符合 GB/T 3836.12 的测量单元有两个相反电极(1),用抛光的不锈钢棒制成,电极与两个绝缘玻璃棒或其他绝缘材料支撑板(2)组合在一起(图 2)。电极的厚度应为 5 mm~10 mm。两个电极之间的电阻 R 应大于 $100\text{ T}\Omega$ 。对于 4.8.4 的几何修正系数,单元的实际尺寸应已知。

注:GB/T 3836.12 中,尽管有高绝缘电阻的要求,规定支撑板仍用玻璃棒。



说明:

- 1——抛光的不锈钢棒,高度 $(10\pm1)\text{mm}$ 、长度 $(100\pm1)\text{mm}$ 、距离 $(10\pm1)\text{mm}$;
- 2——绝缘玻璃棒,高度同 1;
- 3——装满粉末的单元;
- 4——绝缘基座。

图 2 粉末电阻率测量单元

电极连接到兆欧表上。应用 $1\text{ M}\Omega\sim1\text{ T}\Omega$ 之间的已知电阻,定期校核兆欧表的精度。兆欧表应在其精度范围内测量电阻。按照 JNIOISH TR42 的建议,为了减少电气噪声,可在测量单元上放置一带护罩电极,但是不接触电极。试验过程中,电压应非常稳定,使电压波动形成的电荷电流与通过试验样品的电流相比,可忽略不计。

4.8.4 程序

测量程序如下:

- a) 把试验粉末放置在温度 $(23\pm2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(25\pm5)\%$ 条件下至少 24 h。粉末充分干燥或吸水,对于特殊技术工艺过程中电阻特性非常重要的粉末,应在该工艺气候条件下测量。
- b) 在试验电极(3)之间加入一定量未预处理的试验粉末。
- c) 用直尺沿不锈钢棒(1)上部转动把多余的粉末去掉。
- d) 施加下列直流电压,持续 10 s,测量电极(1)之间充满粉末的试验单元的电阻 R : $(105\pm10)\text{V}$ 、 $(500\pm25)\text{V}$ 、 $(1\ 000\pm50)\text{V}$ 。试验单元中的粉末试样可用于进行一个电压值的所有试验。10 s 之后如果没有达到稳定测量值,则测量时间应延长至 $(60\pm5)\text{s}$ 。

注: Perrin et al, 2007(见参考文献[25])建议使用至少 500 V 和 1 000 V 电压,用纸牌抹平试样,试验时间至

少 60 s。但是,当评价粉末的静电安全性能时,高电压会导致物理或化学反应,从而得出错误结果。

e) 用下式计算所有试验电压的电阻率 ρ :

$$\rho = 0.001 \times R \times H \times \frac{W}{L}$$

式中:

R —— 电阻,单位为欧姆(Ω);

ρ —— 电阻率,单位为欧姆米($\Omega \cdot \text{m}$);

H —— 电极高度,单位为毫米(mm);

W —— 电极长度,单位为毫米(mm);

L —— 电极之间的间隙,单位为毫米(mm)。

f) 步骤 b)~e)重复两次,计算所有试验电压的平均值。

4.8.5 合格判据

合格/不合格判据见使用此试验方法的标准。如果标准中没有给出合格/不合格判据,可依据 GB/T 3836.26—2019 中 9.1 给出的限值。

4.8.6 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;
- 测量电压;
- 所有测量电压的试验结果;
- 所有测量电压的测量次数;
- 使用仪器标识;
- 本部分编号。

4.9 液体电导率

4.9.1 概述

带浸入电极的电导仪精度通常可满足静电测量要求。由于导电性主要取决于温度,在报告中也应记录液体温度。

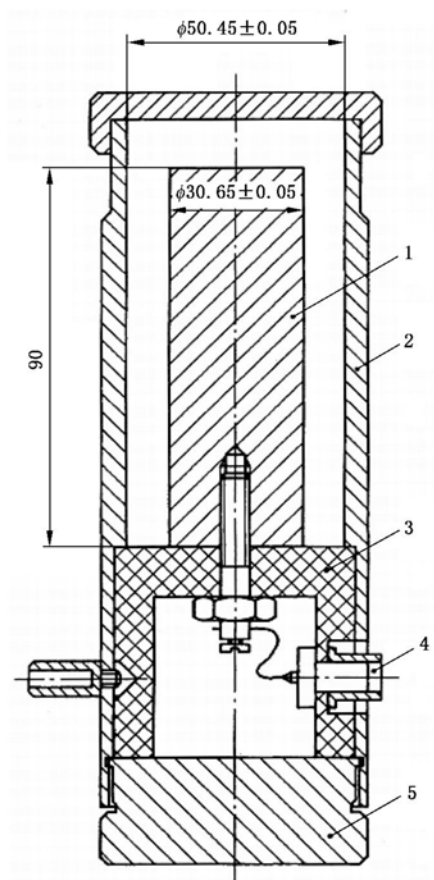
如果需要更准确的数据,应采用下列规定的试验单元进行试验。该试验单元可用于单相液体和多相稳定液体。或者,也可按照 GB/T 5654 测定液体电导率。

4.9.2 原理

把规定体积的液体倒入有两个电极的测量单元中。测量两个电极之间的电阻。

4.9.3 设备

图 3 的测量单元(来源于 DIN 51412-1),单元常数 K 为 1/m。也可用其他单元尺寸,但是,应按照几何形状确定固定的单元布局。内部和外部电极之间应施加 (100 ± 1) V 直流电压 U 。可直接测量电阻,或者为了得到更精确的结果(尤其是电阻测量不稳定时),可把皮克安培计连接到能够记录电荷衰减的装置(例如,示波器或个人电脑)上,记录产生的电流 I 。



说明:

- 1——内部电极(铝);
- 2——外部电极(铝);
- 3——隔离环(PTFE);
- 4——BNC;
- 5——塞堵(铜镍合金)。

图 3 液体电导率测量单元

如果测量的液体与铝反应,则测量单元的电极材料宜更换成合适的材料,例如不锈钢。

4.9.4 程序

测量程序如下:

- a) 用未经处理的试验液体冲洗测量单元至少 3 次。如果试验液体不足,可用纯基准绝缘液体冲洗(例如乙烷)试验单元。
- b) 把 $(100 \pm 0.5) \text{ cm}^3$ 未经处理的试验液体倒入测量单元,用盖子盖上。
- c) 施加 100 V 电压 10 s,在两个电极之间直接用高阻表测量,测出充满液体的试验单元的电阻 R 。

注：多数情况 100 V 试验电压就够了。评价液体的静电安全性能时，高电压会导致物理或化学反应，从而得出错误结果。测量其他参数时可能需要高电压。测量大于 1 pS/m 的电导率时，原来建议的 10 V 电压可能就够了。

- d) 如果测得的电阻下降较多，用示波器或个人电脑连接到皮克安培计上，测量电流 I ，时间持续 10 s。如果结果仍然不稳定，或者需要更准确的数据，测量时间应延长至 (65 ± 5) s。
- e) 从记录的电流 I 或者 $R = U/I$ 外推 $t = 0$ 的电流 I_0 ；
- f) 根据下式计算电导率 σ ，单位为西门子每米(S/m)：

$$\sigma = K \times \frac{I_0}{U}$$

1 pS/m = 10^{-12} S/m = 1 cu(电导率单位)。

- g) 重复该程序两次。

4.9.5 合格判据

合格/不合格判据见使用此试验方法的标准。如果标准中没有给出合格/不合格判据，可依据 GB/T 3836.26—2019 中 7.1.4 给出的限值。

4.9.6 试验报告

试验报告至少应包括下列信息：

- 测量实验室；
- 测量日期；
- 液体的温度；

注：液体的电导率主要取决于温度。

- 样品描述和标识；
- 几何平均电导率；
- 测量电压；
- 测量次数；
- 使用仪器标识；
- 本部分编号。

4.10 电容

4.10.1 概述

避免被隔离导体产生较大电容，是防静电的重要原则之一。因此，在危险场所仅允许使用小型低电容隔离导电物体。为了检查有疑问的导电物体（例如，外壳的金属螺钉、手持式设备金属连接插座）是否在允许的限值范围内，应进行下列试验。沉陷在外壳上的金属插座和触头，预期放电不会达到接地物体，不需要进行该项试验。

3 pF 的小电容宜认为对可靠性有影响，接近 6 pF~10 pF 的电容宜认为有较大的不确定性。宜考虑另外进行电荷转移和/或点燃试验。

4.10.2 原理

试验样品放置在未接地的金属板上，用电容计测量裸露导电部件和金属板之间的电容。

4.10.3 设备

测量装置由一个未接地金属板（对地电阻应大于 10 TΩ）和一个电容计组成，金属板面积要显著大于试验样品面积，电容计测量范围 1 pF~10 pF，测量频率至少 1 000 Hz 时，测量不确定度小于 0.5 pF。

施加的电压应在 1 V~9 V 之间。测量负极连接到金属板上,正极自由活动,用于测量电容。连接部分应尽可能短,避免出现杂散电流。应避免金属板表面氧化,导致测量结果错误。

为了确保无接地回路,读数稳定,可能需要电池供电电容计。

其他电气设备,尤其是荧光灯,距离试验样品至少应为 2 m。

4.10.4 试验样品

应在完全组装好的设备样品上进行试验。应在温度 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $(25\pm 5)\%$ 的气候箱内对试样进行预处理。

注:对于未接地的导电物体,电容会受几何形状和湿度的影响。

4.10.5 移动部件试验程序

该程序适用于几何形状对地不固定的裸露金属部件。对于这种情况,试验样品上每个裸露金属部件与金属板之间的电容应按下列程序测量:

- a) 把试样放置在金属板上。试样上要测试的导电部件应与金属板隔离。如果试样需要支撑,可用绝缘材料制成的夹子夹住,但不应用手握。
- b) 试样位置应使测试的裸露金属试验点尽可能接近未接地金属板,但不接触。如果外部金属部件与内部金属部件有电气接触,则需要测量设备各个方向的电容,确保测出最大电容。
如果金属部件不易接触电容计测量点,可插入螺钉延长金属部件,成为试验点。螺钉应比金属部件小,并且不能与内部任何其他金属部件有电气接触。
导电部件和人体与受试样品至少应保持 50 cm 的距离,以减少杂散电容。
- c) 把电容计负极测量端连接到未接地金属板上。
- d) 电容计正极测量棒放置在距离金属试验点 3 mm~5 mm 处,尽可能远离金属板。记录空气中该杂散电容值到最接近的 pF。
- e) 把电容计的正极测量端与金属试验点接触,记录电容值到最接近的 pF。
- f) 计算步骤 d) 和步骤 e) 测量值之差,记录数值。
- g) 每个试验点重复步骤 d)~f) 两次。
- h) 根据三次测量结果计算平均电容。如果按照步骤 b) 增加小螺钉辅助测量,则应考虑其电容,并从测量值中减去。
- i) 计算出的电容小于 3 pF,应计作 <3 pF。

如果隔离金属部件与物体其他金属部件的电容大于对地电容,则应再次测量该电容,并进行评价。

4.10.6 固定部件试验程序

该程序适用于距离和几何形状对地固定的金属部件。对于这种情况,试验样品上每个裸露金属部件与地之间的电容,应在最不利安装条件(例如,接地金属箱系统内的金属板)下测量。不需要未接地的金属板。按以下程序测量电容:

- a) 把电容计的负极测量端连接到接地点。电容计的正极测量端尽可能短,并且尽可能远离电缆。
- b) 按照 4.10.5 试验程序步骤 d)~i) 进行试验。

4.10.7 合格判据

允许的最大电容取决于危险区域类型。如果使用此试验方法的标准中没有给出最大允许电容,可依据 GB/T 3836.26—2019 表 2 给出的限值。

4.10.8 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室；
- 测量日期；
- 温度和相对湿度；
- 样品描述和标识；
- 几何平均电容；
- 测量电压；
- 测量频率；
- 测量次数；
- 使用仪器标识；
- 本部分编号。

4.11 电荷转移

4.11.1 概述

根据 GB 3836.1 和 GB/T 3836.26—2019 的规定,爆炸性环境中要限定绝缘材料最大允许的表面积。但是,多数情况仍需用绝缘材料达到足够的安全水平。例如,嵌入电晕尖端的表面、粘贴印制电路板的外壳、击穿电压仅几千伏的材料。因此,如果表面积不符合要求,可进行下列起电试验,对物体进行评定。

对于一些特定情况,需要不同的试验方案。例如,评定位于爆炸性环境的燃油管道时,最好在最不利条件下,用能产生高电荷的燃油通过管道,测量产生的电荷。

注:优质的甲苯是最易产生电荷的一种液体。但是甲苯更具着火危险。因此 SAE J1645 中建议用技术品质加氢脱硫重石脑油,沸点范围 145 ℃~200 ℃,闪点 40 ℃[商业名称:石油溶剂油(2 型:常规),斯陶达溶剂,或者试验苯精]。

对衣服进行试验时,试验结果可能与其他试验方法得出的结果不一致。因此,通常用 4.12 或 EN 1149-3 规定的电荷衰减方法对衣服进行试验。

操作人员不同、起电条件和摩擦材料的细微差别,都会导致转移电荷测量结果不同。如果认证需要测量转移电荷,建议实验室之间定期经常进行循环比对试验,以减少不同实验室之间的差别。

4.11.2 原理

有时,用最不利条件下放电转移的最大电荷,表示火花或刷形放电的最大预期引燃性,不用爆炸性环境中的点燃试验表示。

4.11.3 设备

需要用下列物品:

- a) 耗散性材料制成的桌子或刚性板,例如,未经处理的木材;

注 1: 正确使用耗散桌子表面,确保带电荷的桌面上由于相吸作用积聚强烈电荷。从桌面上拿起试样之后,电荷不再受桌面相反电荷的吸引,形成最佳放电条件。

- b) 不加罩面漆、没有摩擦电序正端和负端的材料制作的布料,有足够大面积,避免在摩擦过程中试样与试验人员手指、手套或其他平滑的天然皮革接触。

注 2: 摩擦电序见 IEC TR 61340-1。

注 3: 适合摩擦起电的正极材料,包括平滑的天然皮革、羊毛毡、雨衣用聚酰胺布料、棉花、毛皮。适合摩擦起电的负极材料,包括聚氨酯和聚乙烯桌布。

- c) 单针金属电极或多针电极与 30 kV~70 kV 高压电源的负极连接,用于电晕放电。
- d) 用下列设备或等效设备测量电荷转移:

- 1) 直径 (25 ± 5) mm 抛光金属电极连接到示波器 50Ω 输入端,示波器至少 1 G/s 采样速率、 300 MHz 带宽,至少 300 MHz 带宽时环路接地并联电阻 $(0.25 \pm 0.05) \Omega$ (见参考文献[28]);或者
- 2) 直径 (25 ± 5) mm 抛光金属电极连接到 $(100 \pm 10) \text{ nF}$ 接地电容器上,电容器与 $(15 \pm 2) \text{ k}\Omega$ 电阻并联,二者均接入电压表输入端,自动触发,并保持最大值(见参考文献[26]);或者
- 3) 直径 $(3 \pm 1) \text{ mm}$ 抛光金属电极,插入直径 $(25 \pm 5) \text{ mm}$ 接地空心球中一直径 $(5 \pm 1) \text{ mm}$ 的光孔,连接到 $(100 \pm 10) \text{ nF}$ 接地电容器的库仑计输入端(见参考文献[23])。
- 4) 厚度小于 3 mm 、用 PTFE 制作的扁平圆盘,面积大于 $20\,000 \text{ mm}^2$,作为可高度起电的基准(见参考文献[28])。

4.11.4 试验样品

应在完全组装好的产品试样上,或者具有相同制造参数的材料上进行试验。试验之前试样不应进行其他试验。试样可包含绝缘材料、导电材料或耗散材料。

例如,由于内部导电部件对电荷的吸引作用,可能有助于防止危险放电,所以最好在完全组装好的产品上进行试验。

应在温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(25 \pm 5)\%$ 的环境试验箱内,对试样进行至少 24 h 预处理。

试验样品的表面应完整清洁。任何溶剂都会在表面上留下导电沉积物,最好仅用刷子清理表面。对于用特殊防静电剂处理的表面,这一点尤其重要。

表面上如果有指印或其他脏污,而且没有采用特殊防静电剂,则试样应按照 4.2.4 进行清洁。

4.11.5 程序

应对试验样品的所有绝缘部件进行试验。如果使用过程中确保接地,则试验过程中导电部件应接地。

按下列程序进行试验:

- a) 应确认测量系统操作正确,例如,在校核过的静电伏特计输入端,通过球形电极约 50 nC 的试验脉冲确认,静电伏特计输入电容已知(例如 10 nF)、施加电压已知(例如 5 kV)。或者,在库仑计输入端(通常 100 nF 输入电容)短时连接 1.5 V 的电池,应显示转移的电荷(通常 165 nC)。
- b) 用基准 PTFE 盘检查试验步骤 c)~d),验证至少达到 100 nC 。
- c) 从摩擦电序的正极用材料摩擦试验样品,在远离试验人员方向,用中等力(约 40 N)至少每秒摩擦一次。不应裸手接触试验表面。应持续摩擦 $(10 \pm 1) \text{ s}$,最后用重摩擦结束。
 注 1: 可用称量器测量 40 N 的中等力。
 注 2: 适合摩擦起电的正极材料,包括平滑的天然皮革、羊毛毡、雨衣用聚酰胺布料、棉花、毛皮。适合摩擦起电的负极材料,包括聚氨酯和聚乙烯桌布。
- d) 用隔离夹夹取试样,尽量减少因疏忽造成的放电。
- e) 小心提起试样,离桌面至少 20 cm ,尽量减少放电。
- f) 将测量设备的球形电极慢慢移向试验样品,直至出现放电,使样品尽快放电。应特别注意:
 - 1) 应使试样最危险的部件放电,例如,较大表面积和小的导电部件。
 - 2) II A 类在小于 2 mm 的间隙放电、II B 类在小于 1 mm 的间隙放电、II C 类在小于 0.5 mm 的间隙放电,比它们由于猝灭效应转移电荷的引燃性小。
- g) 从电极附近迅速移走样品。
- h) 读出显示器上的数值,或者根据记录的电流计算(通常平行设定 40 ns/div),乘以已知的校准系数。如果记录到多次放电,需要寻求专家意见。
- i) 立即重复步骤 c)~h),重复 9 次。

- j) 用一种材料从摩擦电序负极摩擦,重复步骤 c)~i)。
 - k) 用第二种材料从摩擦电序正极摩擦,重复步骤 c)~i)。
 - l) 用第三种材料重复步骤 c)~i),或者用皮手套平滑的部分击打试样 5 下,重复 9 次。
 - m) 检查试验样品中是否有绝缘部件被导体支撑,或者是否有耗散部件或导电部件。如果是,用棉布闪烁起电程序,重复步骤 d)~i),然后继续步骤 p);如果不是,进行步骤 n)。
- 注 3: 这是保证不产生传播型刷形放电所必需的,传播型刷形放电易对测量设备造成损坏。
- n) 把电晕电极放在稍高于试验样品的上方,进行小圆周运动产生电荷,使试样起电。如果是多点电极,不需要圆周运动。10 s 后使电极远离试样,但仍然施加高压,避免电荷从带电试样上返回电极上。
 - o) 继续步骤 d)~i)。
 - p) 试验结束。

4.11.6 合格判据

用所有起电方法得出的最大值进行评定。

最大允许值取决于危险区域类型。如果使用此试验方法的标准中没有给出最大允许值,可依据 GB/T 3836.26—2019 中表 4 给出的限值。

与机器摩擦、通过离子发生器和静电喷涂设备附近电子产生电荷,以及通过流动液体和粉末产生电荷相比,电晕起电及击打皮手套起电产生的电荷更强。

4.11.7 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;
- 使用的布料类型;
- 电晕电压;
- 测得的最大值;
- 测量次数;
- 用基准试样测得的最大值;
- 使用仪器标识;
- 本部分编号。

如果不考虑电晕起电及皮手套击打起电的结果,应说明在比人工摩擦产生更强电荷的过程中可以不用试验样品。

4.12 点燃试验

4.12.1 概述

对最不利条件下引发放电的引燃性进行评定,有第二种可能的方法,即在引发放电的区域,用点燃试棒点燃规定的爆炸性环境。放电试棒如图 4 和图 5 所示,详见 IEC 61340-4-4。

如果用其他类型的设备能够再现试验原理,并能得出具有可比性的结果,则也可用规定设备之外其他类型设备。

建议进行循环试验,证实试验结果具有可比性。

4.12.2 设备

符合 IEC 61340-4-4 的点燃试棒是用刚性非导电材料(例如聚碳酸酯或丙烯酸)制成的圆柱体,内径(70±5)mm,内部长度(100±5)mm(见图 4)。制作试棒的材料厚度和强度应能承受重复点燃,不会破裂、变形或出现其他问题。

圆柱体一端封闭,中心留有开口,使可燃气体进入。开口大小没有规定,但是应满足流速要求,同时不会形成过压。在供气管线尽可能接近点燃试棒的地方,应安装合适的火焰熄灭器。

圆柱体另一端安装金属板形成固定基座,用于安装放电电极(见图 5)。金属板上钻有直径(5±1)mm 的孔,使气流围绕放电电极均匀通过。

直径(20±5)mm 的圆形金属电极安装在金属板中央。电极、金属板和点燃试棒的其他金属材料或导电材料,通过低阻抗(<10 Ω)连接到公用接地点。接地点应是局部结构或设备的共用接地点。共用接地点也可连接到电源接地上。电极、金属板和接地连接件之间的连接应足够坚固,能承受物理影响和热影响。使用之前,应检查放电电极和接地连接件之间的电气连续性。

点燃试棒中装有玻璃珠或瓷珠,公称直径 1 mm~2 mm,由主圆柱体端部的细小金属丝网或筛网固定。瓷珠辅助混合气体,并防止火焰通过试棒返回。

绝缘材料制作的可调护圈,安装在圆柱体上,将气体引向放电电极及放电电极前面产生静电放电的区域。护圈开孔(40±5)mm。

将试验气体(纯度约 99.5%)与空气混合形成可燃性气体。使用的空气应含(21.0±0.5)%的氧和(79.0±0.5)%的氮。用混气和控制设备将气体以适当比例吹向点燃试棒。试验气体及体积比见 GB 3836.3,如表 1 所示。

表 1 可燃性试验气体混合物体积比

试验气体	体积比(在空气中)	最小点燃能量 ^a	类别
氢气	(21±2)%	0.016 mJ	II C
乙烯	(7.8±0.5)%	0.082 mJ	II B
丙烷	(5.25±0.25)%	0.25 mJ	II A
甲烷	(8.3±0.3)%	0.28 mJ	I
注:表中的浓度范围代表试验气体最易点燃浓度的中间值和范围。与 GB 3836.3 和 GB 3836.4 的规定值等同,与 GB/T 3836.26—2019 给出的最小点燃能量的最佳点燃浓度可能稍有不同。在 GB 3836.2 中,用其他浓度代表最佳点燃压力和火焰最佳传播能力。			
^a 见 GB/T 3836.26—2019。			

应检查气体混合物的浓度是否控制在规定容差范围内,例如,用气体分析仪对供气管道中的气体混合物抽样分析。

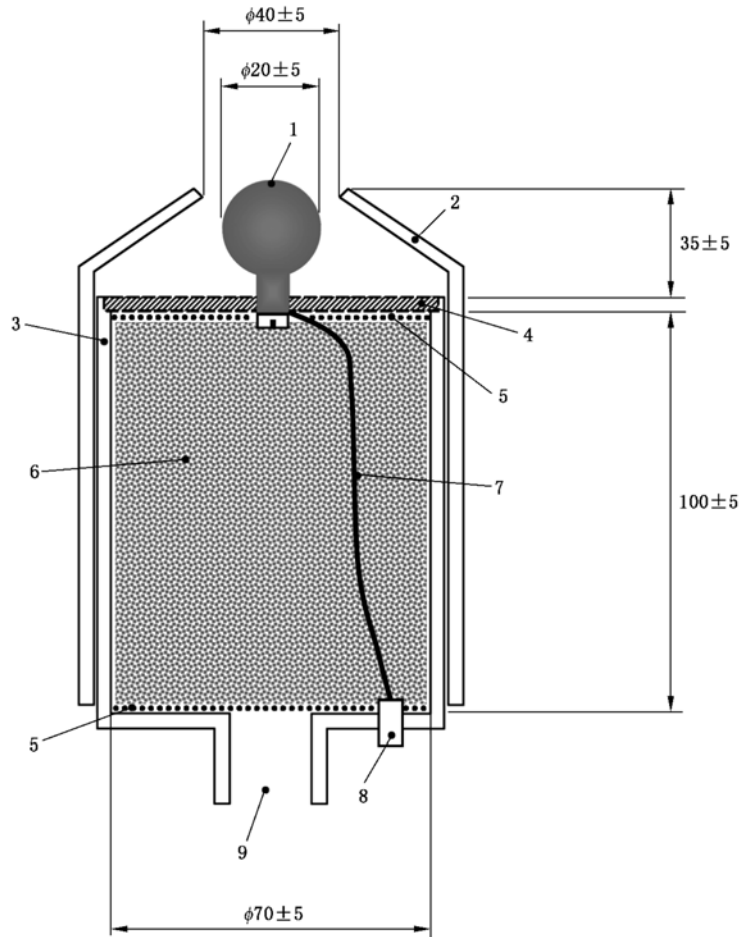
如果使用的气体混合物与表 1 规定的浓度不同,则应用 ASTM E582 方法验证气体混合物的最小点燃能量。

用压缩气缸供气比较方便,但是也可用其他方式供气。如果需要,应用分子筛过滤器,保证气体有较低含水量。当使用压缩机直接供应空气时,这一点尤其重要。

用流量计和控制阀监控每种气体。通过点燃试棒的所有气体总流速应为(0.21±0.04)L/s。

使用快速切断阀,在发生点燃时切断试验气体。切断阀仅应切断试验气体,不应切断空气,空气应自由流动,在点燃后干燥和冷却试棒。切断阀的类型和位置应与整套设备的设计相适应。

单位为毫米

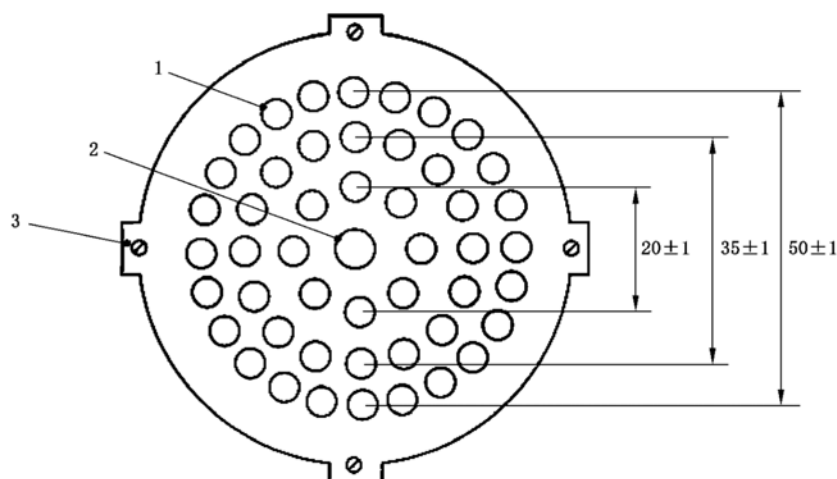


说明：

- 1——放电电极；
- 2——绝缘材料(例如聚碳酸酯或丙烯酸)制成的可调护圈；
- 3——绝缘材料(例如聚碳酸酯或丙烯酸)制成的圆柱体；
- 4——公称厚度 2 mm 的多孔金属板；
- 5——细金属筛或丝网(例如铜)；
- 6——(公称)直径 1 mm~2 mm 的珠子(例如玻璃或陶瓷)；
- 7——牢固的接地连接；
- 8——接地连接件；
- 9——可燃气体入口。

图 4 点燃试棒

单位为毫米



说明:

- 1——直径 (5 ± 1) mm的孔;
- 2——放电电极安装孔;
- 3——把板固定到点燃试棒上的螺钉。

图5 点燃试棒的孔板

4.12.3 程序

点燃试棒靠近带电荷的试验样品,可燃性气体混物流过试棒,进行点燃试验。试验程序与 4.11.5 相同,进行步骤 b)~p),但是为了补偿统计离散性,试验次数至少应增加一倍。

4.12.4 合格判据

出现任何点燃都应视为产品不符合特定气体类别的要求。

与机器摩擦、通过离子发生器和静电喷涂设备附近电子产生电荷,以及通过流动液体和粉末产生电荷相比,电晕起电及击打皮手套起电产生的电荷更强。

4.12.5 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;
- 布料类型;
- 电晕电压;
- 试验气体(浓度和最小点燃能量);
- 点燃试验结果;
- 未点燃次数;
- 用基准试样是否点燃;
- 使用仪器标识;
- 本部分编号。

4.13 电荷衰减测量

4.13.1 概述

评定材料荷电率也可用另一种方法。按照 IEC 61340-2-1 规定的下列方法测量电荷衰减进行评

定。这种方法主要用于测量衣服。

注：在欧洲用 EN 1149-3 规定的方法测量人员防护服的电荷衰减。

4.13.2 原理

材料通过电晕产生电荷,材料表面衰减相同电压,用场强计测量,在已知电压区间内记录。

4.13.3 设备

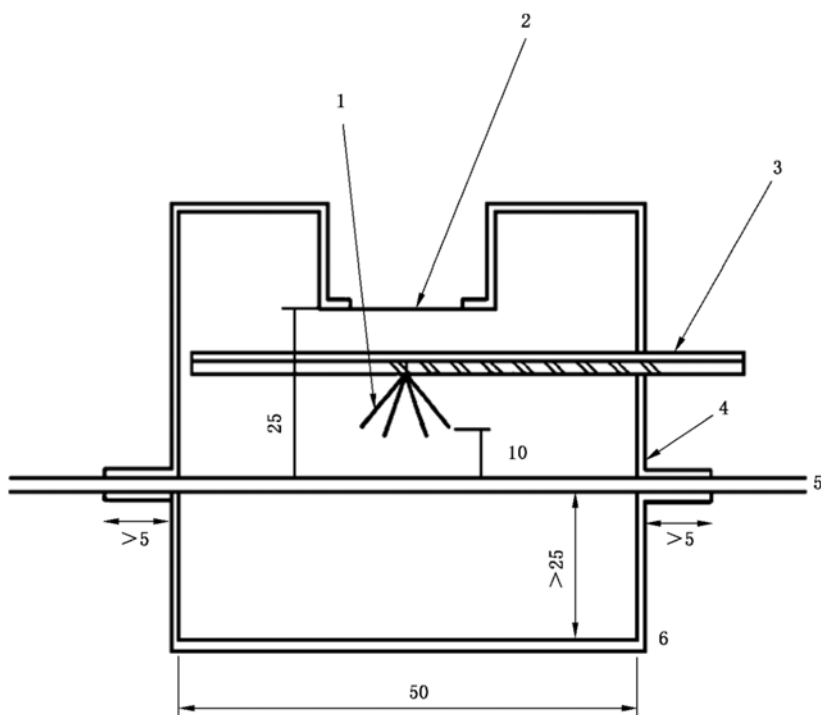
试验设备示例如图 6。沉积和测量沉积电荷的试验孔,直径应为 (50 ± 1) mm,或为等效面积的正方形孔。所有电晕点安装在试验孔中心上方、一个可移动的板 (10 ± 1) mm 上直径 (10 ± 1) mm 的圆周内。场强计感应孔应位于试验区域中心上方 (25 ± 1) mm 处。带电晕点的板全部移开时,至场强计感应孔平面的试验区域都应清理干净。

场强计应为电场仪型仪表,能够以低于需测量的表面电压下限值 $\pm 5\text{ V}$ 的精度,测量表面电压。响应时间(10%~90%)至少应为需要测量的最快衰减时间的1/10。零稳定性应允许以大于需测量的最长衰减时间的精度,测量表面电压。测量箱内的剩余离子应小于10 V,可用全部导电材料评价。

强场计应连接到能记录电荷衰减的装置上(例如示波器或个人计算机)。

注：该测量程序的更多说明及所需设备的图纸见 IEC 61340-2-1。

单位为毫米



说明:

- 1——电晕点直径 10 mm 圆圈;
2——场强计感应孔;
3——可移动板:
 ● 绝缘板:安装电晕点(对地电阻 $>10^{14} \Omega$);
 ● 上部接地表面:保护场强计。
4——接地外壳;
5——试样;
6——开启式保护支撑。

注：所有尺寸为公称值。

图 6 电荷衰减测量布局示例

4.13.4 试验样品

试样是典型的衣服材料,直径至少 60 mm。轻轻刷掉或用干净的空气吹掉任何松动的粉末。如需进一步清洁,需要用户和实验室之间协商。但是不要对明显有污物的部件进行测试。

预处理和试验环境温度应为 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $(25\pm 5)\%$ 。试验前预处理时间至少为 48 h,或者按照用户和实验室协商的时间预处理。

4.13.5 程序

试验程序如下:

- a) 把衣服夹在设备上。
- b) 移动中间隔板使电晕点有效放置,并保护场强计。
- c) 在电晕点负极施加 5 kV~10 kV 电晕,持续 $(1\pm 0.5)\text{s}$ 。
- d) 去掉中间隔板,使场强计能够测量试棒表面等效电势。
- e) 从初始电压至双方协商的最低电压级别,测量电荷衰减。
- f) 在不同位置,步骤 b)~e)重复 2 次。
- g) 用正极重复步骤 a)~f)。

4.13.6 合格判据

衰减时间与具体产生电荷的过程有关。如果是手动操作,则产生电荷的过程取决于人的活动,从 1 000 V 到 100 V 衰减时间大概 1 s~2 s,可以接受。如果电荷电流较大,可要求更短衰减时间。

注:没有更明确的合格标准。

4.13.7 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;
- 试验结果;
- 施加的电晕电压;
- 起电时间;
- 使用仪器标识;
- 本部分编号。

4.14 击穿电压

4.14.1 概述

应按照 GB/T 1408.1 短时(快速升高)试验及 GB/T 1408.2 对直流试验的附加要求,测量电气击穿电压。

4.14.2 原理

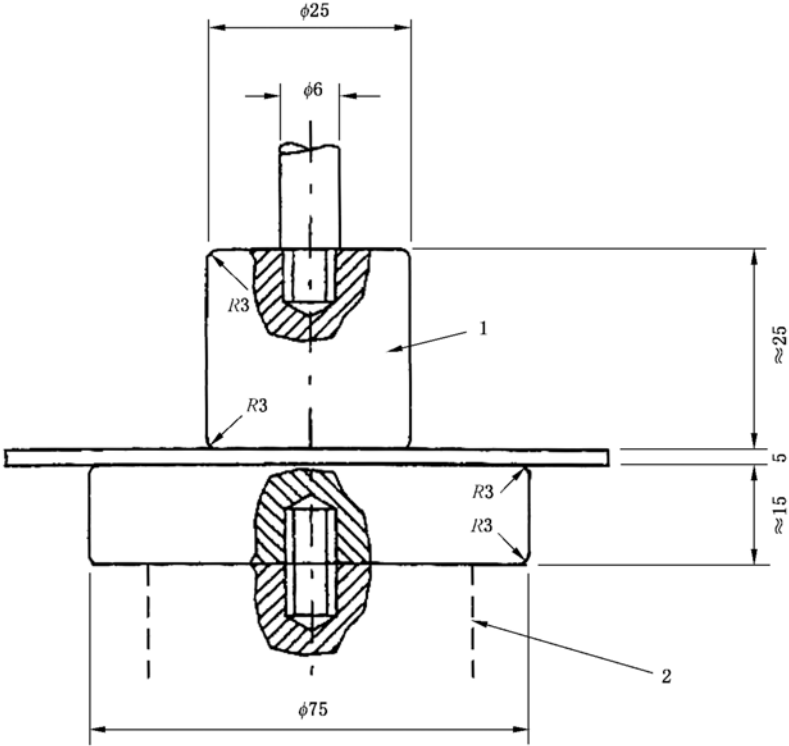
试样放置在两个金属电极之间。施加直流电压,增大电压直至出现击穿。

4.14.3 设备

如果是板形、圆盘形和片状试样,试样放置在两个金属圆柱体之间。第一个圆柱体直径 $(25\pm 1)\text{mm}$,

高度 (25 ± 1) mm,用 1 kg 的力压在试样上,第二个圆柱体直径 (75 ± 1) mm,高度 (10 ± 1) mm(见图 7)。金属圆柱体外圆半径应为 (3 ± 0.2) mm,避免电晕放电。对于小型软管,电极应为金属杆,并尽可能接触软管内部及试样外部的金属锡箔带。

单位为毫米



说明：
1——金属；
2——电极支撑。

图 7 测量片状试样击穿电压的电极

电极连接到直流高压发生器上,发生器带有校准电压和电流的显示器。测量常规静电,最大 20 kV 电压就可以了。如果对管状试样进行试验,最大需要 120 kV 电压。

4.14.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 在温度 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(25\pm 5)\%$ 条件下对试样进行预处理,有其他协商条件的情况除外。
- b) 把试样放置在电极之间,环境条件同上。
- c) 在电极之间施加直流电压,从 0 V 慢慢增加电压。不超过 6 kV,可用 100 V/s 的速率增加电压。6 kV 以上,速率宜增大到 300 V/s。
- d) 监控该程序过程中的电流。
- e) 如果电流快速增加,而且通常伴随着声响和烟雾出现,或者达到协商的电流上限时,停止试验。
- f) 如果电极电压达到 4 kV(织物为 6 kV)之前,直流电源输出电流到达 1 mA,则应认为受试材料具有足够低的击穿电压。

注：该测量程序的更多信息见 GB/T 1408.1 和 GB/T 1408.2。

4.14.5 合格判据

最大允许值取决于危险区域类型,在 GB 3836.26—2019 中 6.3.4.3 和 9.6.1 给出。

4.14.6 试验报告

试验报告至少应包括下列信息:

- 测量实验室;
- 测量日期;
- 温度和相对湿度;
- 样品描述和标识;
- 击穿电压算术平均值或达到 1 mA 限值(适用者);
- 使用仪器标识;
- 本部分编号。

参 考 文 献

- [1] GB 3836.2 爆炸性环境 第2部分:由隔爆外壳“d”保护的設備
- [2] GB 3836.3 爆炸性环境 第3部分:由增安型“e”保护的設備
- [3] GB 3836.14 爆炸性环境 第14部分:場所分类 爆炸性气体环境
- [4] GB/T 3684 输送带 导电性 规范和试验方法
- [5] GB/T 7528 橡胶和塑料软管及软管组合件 术语
- [6] GB/T 9572 橡胶和塑料软管及软管组合件 电阻和导电性的测定
- [7] GB/T 10064 测定固体绝缘材料绝缘电阻的试验方法
- [8] GB/T 12476.3 可燃性粉尘环境用电气设备 第3部分:存在或可能存在可燃性粉尘的場所分类
- [9] GB/T 22042 服装 防静电性能 表面电阻率试验方法
- [10] GB/T 22043 服装 防静电性能 通过材料的电阻(垂直电阻)试验方法
- [11] GB/T 23165 地毯 电阻的测定
- [12] IEC TR 61340-1 Electrostatics—Part 1:Electrostatic phenomena—Principles and measurements
- [13] IEC 61340-4-1 Electrostatics—Part 4-1:Standard test methods for specific applications—Electrical resistance of floor coverings and installed floors
- [14] IEC 61340-4-3 Electrostatics—Part 4-3:Standard test methods for specific applications—Footwear
- [15] IEC 61340-4-5 Electrostatics—Part 4-5:Standard test methods for specific applications—Methods for characterizing the electrostatic protection of footwear and flooring in combination with a person
- [16] ASTM F150 Standard test method for electrical resistance of conductive and static dissipative resilient flooring
- [17] EN 1149-5 Protective clothing—Electrostatic properties—Part 5:Material performance and design requirements
- [18] EN 16350 Protective gloves—Electrostatic properties
- [19] EN 50050-1 Electrical hand-held spraying equipment—Safety requirements—Part 1:Hand-held spraying equipment for ignitable liquid coating materials
- [20] CENELEC TR 50404 Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity
- [21] DIN 51412-1 Testing of petroleum products—Determination of the electrical conductivity—Part 1:Laboratory method
- [22] SAE J1645 Surface vehicle recommended practice—Fuel systems and Components—Electrostatic Charge Mitigation
- [23] J.N.Chubb, Measurement of charge transfer in electrostatic discharges, J. Electrostatics 64 (2006), pp.321-325
- [24] J.Lucas, Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstands mit einer speziellen Messzelle, Technische Sicherheit 1(2011), pp.33-36(available in German only)
- [25] L.Perrin et al, Dust and electrostatic hazards, could we improve the current standards? Journal of Loss Prevention in the Process Industries 20(2007)pp.207-217
- [26] Schnier hand coulombmeter HMG 11/02, Schnier Elektrostatik, Bayernstr.13, 72768 Reut-

lingen-Rommelsbach, Germany (available in German only)

[27] K. W. Stahmer, H. J. Teske, and M. Gerhold, Vergleichende Betrachtungen von Verfahren Zur Bestimmung des Durchgangswiderstandes einer Staubschüttung. Abschlussbericht IFA-Projekt 3119, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, 2012 (available in German only)

[28] U. von Pidoll, E. Brzostek, H.-R. Froechtenigt, Determining the incendivity of electrostatic discharges without explosive gas mixtures. IEEE Trans. Industry Applications, 40(2004), pp. 1467-1475

[29] JNIOOSH TR 42, Recommendations for Requirements for Avoiding Electrostatic Hazards in Industry
