



粉尘比电阻不同测试标准的对比分析

王 健¹, 钟圣俊^{2a}, 靳 鑫^{2a}, 李伟晔^{2b}

(1. 沈阳计量测试院, 辽宁 沈阳 110179; 2. 东北大学 a. 材料与冶金学院; b. 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 为了准确测定粉尘比电阻, 为静电除尘设计、静电防护设计和判定粉尘静电点燃提供重要参数, 根据粉尘比电阻的测定普遍采用的 3 个标准 IEC 1241-2-2、BS 5958-1 和 ASME PTC28 4.05, 开发 3 种不同的比电阻测定装置, 并对典型粉尘的比电阻进行测试。结果表明, 粉尘比电阻的测试结果与测试方法有关, 不同方法的测定结果有较大偏差; 粉尘样品的压实度和其上的加载电压是影响测定结果的重要因素, 压实度越大, 电压值越大, 测得的比电阻值越小; 对于不同的工程应用目的, 应采用不同的测试方法, IEC 标准和 BS 标准通常用于静电防护设计, 而 ASME 标准通常用于静电除尘设计。

关键词: 粉尘比电阻; 静电防护; 静电除尘

中图分类号: X924.4

文献标志码: A

文章编号: 1008-5548(2012)05-0024-04

Key words: dust resistivity; electrostatic prevention; electrostatic precipitation

静电除尘技术被广泛应用于冶金、化工、水泥等行业。在设计静电除尘器时, 为了使其具有较高的除尘效率, 达到理想的空气净化效果, 需要准确测定粉尘比电阻这个重要设计参数^[1-3]。

作为粉尘爆炸防护技术的一部分, 在粉尘的静电防护技术中, 粉尘比电阻也是一个重要设计参数, 它是界定物质导电性的重要参数。体积电阻率不大于 $10^6 \Omega \cdot m$ 的材料被称为静电导体; 体积电阻率介于 $10^6 \sim 10^{10} \Omega \cdot m$ 之间的材料被称为亚静电导体; 体积电阻率大于 $10^{10} \Omega \cdot m$ 的材料被称为非静电导体^[4]。

粉尘静电点燃的风险与粉尘比电阻和点燃能量有关, 粉尘比电阻是判定粉尘静电点燃的重要参数。比电阻不大于 $10^9 \Omega \cdot m$ 的粉尘, 静电点燃风险低; 比电阻大于 $10^9 \Omega \cdot m$ 的粉尘, 如果其最小点火能大于 10 mJ, 静电点燃风险较低^[5]; 也有研究认为判定粉尘静电点燃风险的比电阻阈值为 $10^{10} \Omega \cdot m$, 超过此限值就可能发生料堆放电^[6]。

粉尘比电阻是静电除尘设计、静电防护设计和判定粉尘静电点燃的重要参数, 采用正确的方法准确测定粉尘比电阻具有重要意义。粉尘比电阻的测试结果与测试方法有关。本文中根据普遍使用的几种比电阻测试标准^[7-11], 开发 3 种不同的比电阻测定装置, 对典型粉尘的比电阻进行测试, 并对实验结果进行对比分析。

1 粉尘比电阻测试标准对比

粉尘比电阻的测定主要采用 3 个国际标准: IEC 1241-2-2 (国内与之对应的标准为 GB 12476.9—2010《可燃性粉尘环境用电气设备: 第 9 部分: 试验方法: 粉尘层电阻率的测定方法》); BS 5958-1 和 ASME PTC28 4.05 (国内与之对应的标准为 GB/T 16913—2008《粉尘物性试验方法》)。

1.1 ASME PTC28 4.05 标准

1.1.1 测试原理

图 1 为 ASME PTC28 4.05 标准中规定的粉尘比

Comparative Analysis of Different Standards for Testing Dust Resistivity

WANG Jian¹, ZHONG Shengjun^{2a},
JIN Xin^{2a}, LI Weiye^{2b}

(1. Shenyang Metrology Testing Institution, Shenyang 110179;

2. a. School of Materials and Metallurgy; b. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: In order to choose a proper method to measure dust resistivity accurately to provide important parameters for design of electrostatic precipitation, electrostatic prevention and dust ignition prevention, three different test devices were developed according to corresponding three standards widely using for determination of dust resistivity, i.e. IEC 1241-2-2, BS 5958-1 and ASME PTC28 4.05. Resistivity of several typical dusts was tested. The results show that the testing results of dust resistivity have relationship with testing methods. Testing results of different methods have larger deviation. The compaction of dust sample and the test voltage applied on it are important affecting factor on test results. The larger the compaction is, the larger the voltage is, and the smaller the tested resistivity is. It is necessary to choose a proper test method according to different application of dust resistivity. In general, IEC and BS standards are applied to the design of electrostatic prevention and ASME standard is applied to the design of electrostatic precipitation.

收稿日期: 2012-03-15, 修回日期: 2012-03-28。

基金项目: 国家自然科学基金项目, 编号: 51174047。

第一作者简介: 王健(1976—), 男, 博士, 工程师, 研究方向为粉体检测与控制。电话: 13940530625, E-mail: wangjian.1976@yahoo.com.cn。

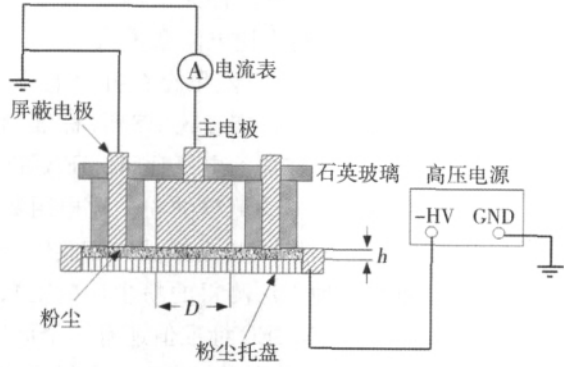


图 1 ASME PTC28 4.05 标准中的粉尘比电阻测试装置

Fig.1 Dust resistivity test apparatus in ASME PTC28 4.05 standard

电阻测试系统示意图。由图可知,粉尘样品置于一个导电性良好的圆形托盘中,该圆形托盘作为一个电极;另一个圆柱形的主电极置于粉尘样品上方;一个圆环形的屏蔽电极用来使通过粉尘层的电流均匀一致。高压电源的最大电压输出为 20 kV,粉尘比电阻按下式计算:

$$\rho=UA/Ih, \quad (1)$$

式中: ρ 为粉尘比电阻, $\Omega\cdot\text{m}$; U 为导电单元上的电压,V; I 为与电压 U 对应的电流,A; A 为电极的横截面积, m^2 ; h 为电极间粉尘层的厚度,m。

1.1.2 测试方法

将粉尘样品自然填充到圆盘内,压上测试电极。先测定击穿电压,方法是逐渐升高电压,当通过测试单元的电流由平稳到发生突变时的电压即为击穿电压。在试验电压为平均击穿电压的 85%~95%时,测定通过测试单元的电流,计算粉尘样品的比电阻。

1.2 IEC 1241-2-2 标准

1.2.1 测试原理

IEC1241-2-2 标准的测试单元如图 2 所示,由 2 个方形的不锈钢电极和绝缘附件组成。IEC 标准的测试电路如图 3 所示。被测粉尘样品置于 2 个方形电极之间的样品室,试验电压由 1 个量程为 0~2 000 V 的直流电源提供。1 个阻值为 10 k Ω 的限流电阻用于限制测试样品的击穿电流小于 0.2 A。采用 2 个型号为

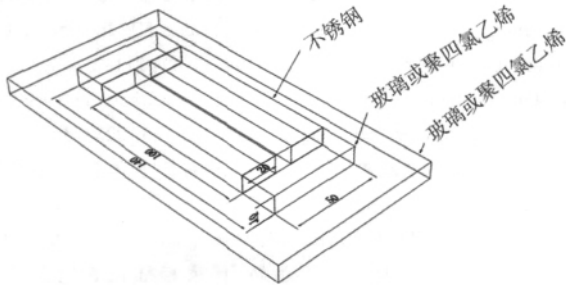


图 2 IEC 1241-2-2 标准的测试单元

Fig.2 Test cell of IEC 1241-2-2 standard

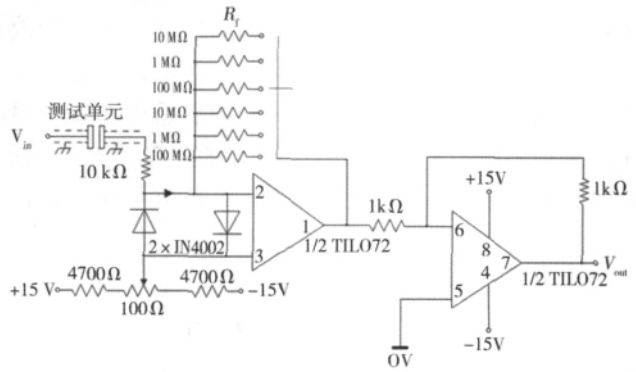


图 3 IEC 1241-2-2 标准的电路图

Fig.3 Circuit diagram of IEC 1241-2-2 standard

TL072 的运算放大器以实现通过测试电压的方式计算比电阻。测试样品的电阻为:

$$R=V_{\text{out}} R_f / V_{\text{in}} - 10\,000, \quad (2)$$

式中: R 为粉尘样品或空测试单元的电阻, Ω ; R_f 为选择的参考电阻, Ω ; V_{in} 为施加到测试单元上的电压,V; V_{out} 为放大器输出电压,其与通过测试单元的电流的关系为:

$$V_{\text{out}}=R_f I, \quad (3)$$

式中 I 为通过测试单元的电流,A。

1.2.2 测试方法

由式(2)测量空测试单元的电阻 R_0 ,然后把称重的粉尘样品装入测试单元样品室。在试验电压分别等于 110、220、300、500、1 000、1 500、2 000 V 的条件下,测出对应的测试单元电阻值 R_s 。每个电压值至少持续 10 s,如果极化现象比较明显,则应适当延长电压的持续时间。

在计算粉尘比电阻时,分以下 2 种情况考虑。如果 $R_0>10R_s$ (通常情况),比电阻按下式计算:

$$\rho=0.1R_s; \quad (4)$$

如果 $R_0<10R_s$,比电阻按下式计算:

$$\rho=0.1R_s R_0 / (R_0 - R_s), \quad (5)$$

式中: ρ 为粉尘比电阻, $\Omega\cdot\text{m}$; R_0 为测试单元为空时的电阻, Ω ; R_s 为测试单元填满粉尘样品时的电阻, Ω 。

1.3 BS 5958-1 标准

1.3.1 测试原理

图 4 为 BS 5958-1 标准的粉尘比电阻测试装置。

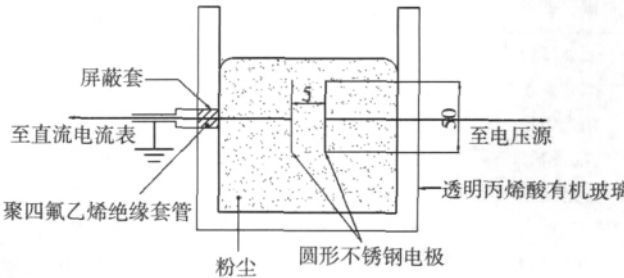


图 4 BS 5958-1 标准中的粉尘比电阻测试装置

Fig.4 Dust resistivity test apparatus of BS 5958-1 standard

BS 标准中的电路图与 ASME 标准中的电路图一致。把粉尘样品装入方桶形的测试单元中,使 2 个平行放置的圆柱电极之间填满粉尘样品。在电极上施加电压,采用 1 个量程为 10^{-12} ~ 10^{-4} A 的直流电流表测量通过测试单元的电流。图中接地的屏蔽套用于防止任何泄漏电流在测试单元的外壁产生环流从而抵达静电计。

1.3.2 测试方法

测试单元填满粉样后,轻轻敲打位于实验台上的测试单元使其内的粉样自然夯实。在图 4 所示的电路图中,对测试单元施加 500~1 000 V 的电压并使之持续足够长的时间,以使粉尘极化直至电流稳定。粉尘比电阻按下式计算:

$$\rho = RA/d = UA/Id, \quad (6)$$

式中: ρ 为粉尘比电阻, $\Omega \cdot m$; R 为粉体的电阻, Ω ; U 为施加的电压, V; I 为测得的电流, A; A 为每个电极的面积, m^2 ; d 为电极间的距离, m 。

2 结果与讨论

根据上述标准开发 3 套不同的粉尘比电阻测试装置,并对 8 种粉尘进行比电阻测试实验,实验结果如表 1 所示。由于各个标准对粉样的预处理要求各不相同,因此实验中均采用未经处理的原始粉尘作为粉样;另一方面,这些原始粉样能反映粉体在工厂中所处的实际工况。从表中可以看出,不同测试方法测得的实验结果有较大偏差,有时偏差可达 1~2 个数量级。按照 IEC(国际电工委员会)标准测得的粉尘比电阻数值最大,按照 ASME(美国机械工程师协会)标准测得的粉尘比电阻数值最小,根据 BS(英国标准学会)标准测得的实验结果比 IEC 标准测得的结果略小。

造成测试结果差异的原因在于 3 种测试方法中粉尘样品的密实度和加载的测试电压不同。在 ASME 标准测试方法中,由主电极和屏蔽电极组成的上电极对粉尘样品施加了 1 kPa 的荷载,因此粉尘样品的密

实度比自然状态下要大;粉尘样品上施加的电压最大;而按此种方法测得的粉尘比电阻数值最小。在 IEC 标准测试方法中,粉尘样品自然填充在方形电极中,不受任何外部压力,因此其密实度比 ASME 标准测试方法中的小;粉尘样品上施加的电压比 ASME 标准测试方法中的小;而按此种方法测得的粉尘比电阻数值最大。在 BS 标准测试方法中,粉尘样品的密实度介于上述二者之间,而按此种方法测得的粉尘比电阻数值介于中间。BS 标准值小于 IEC 标准值还有一个原因,就是不仅位于电极之间的粉尘参与导电,电极周边的粉尘也参与了导电(相当于并联了电阻)。由此可见,粉尘的比电阻与粉尘样品的密实度和加载的测试电压有关。密实度越大,电压值越大,测得的比电阻值越小。

3 结论

1) 粉尘比电阻的测试结果与测试方法有关,不同方法的测定结果有较大偏差。IEC 标准的测试结果最大,ASME 标准的测试结果最小,二者相差有时可达 1~2 个数量级。BS 标准的测试结果比 IEC 标准的略小。

2) 粉尘样品的密实度和其上的加载电压是影响比电阻测定结果的重要因素。密实度越大,电压值越大,测得的比电阻值越小。

3) 对于不同的工程应用目的,应采用不同的测试方法。IEC 标准和 BS 标准通常用于静电防护设计,而 ASME 标准通常用于静电除尘设计。

参考文献(References):

- [1] 唐敏康,何锦龙,蔡丽蓉.静电除尘器收尘极板上粉尘沉积与电流分布特性[J].江西理工大学学报,2009,81(5):1-3.
- [2] ORTIZ F J G, NAVARRETE B, CAÑADAS L. Dimensional analysis for assessing the performance of electrostatic precipitators [J]. Fuel Processing Technology, 2010, 91(12): 1783-1793.
- [3] SALCEDO R, PALVA J. Pharmaceuticals: efficient cyclone systems for fine particle collection[J]. Filtration and Separation, 2010, 47(1): 36-39.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.GB 12158—2006 防止静电事故通用导则[S].北京:中国标准出版社,2006:1-2.
- [5] UNIT W E. Guidelines on the electrostatic hazards during pneumatic conveying and storage of flammable powders [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 1991, 4(4): 211-216.
- [6] GLOR M. Ignition hazard due to static electricity in particulate processes[J]. Powder Technology, 2003, 135/136: 223-233.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.GB 12476.9—2010 可燃性粉尘环境用电气设备:第 9 部分:试验方法:粉尘层电阻率的测定方法[S].北京:中国标准出版社,2010:1-3.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.GB/T 16913—2008 粉尘物性试验方法[S].北京:中国标准出版社,2009:14-15.

(下转第 31 页)

表 1 不同方法测得的粉尘比电阻结果

Tab.1 Dust resistivity results determined according to different methods

粉尘种类	粉尘比电阻/($\Omega \cdot m$)		
	IEC 标准	BS 标准	ASME 标准
土豆淀粉	2.12×10^6	1.18×10^6	2.52×10^5
抛光铁粉	3.42×10^4	3.46×10^4	8.3×10^3
抛光铝粉	2.5×10^4	1.05×10^4	7.53×10^3
硫磺粉		1.31×10^{14}	4.67×10^{13}
玉米淀粉	1.71×10^9	9.87×10^8	1.42×10^8
镁粉	$< 10^3$	$< 10^3$	$< 10^3$
二氧化硅粉	2.51×10^5	9.46×10^4	3.51×10^4
灭草剂	2.13×10^7	1.15×10^7	8.34×10^6

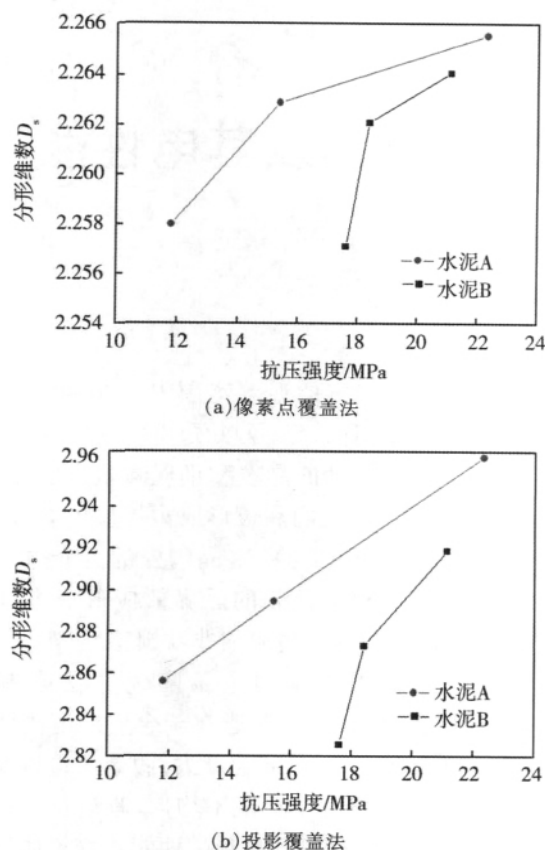


图6 水泥砂浆断面的表面分形维数与抗压强度的关系

Fig.6 Relatong between dimension and compression strength of compressive fracture surface of cement mortar

2)像素点覆盖法具有极大的线性相关系数,计算数据的线性相关性好,分形维数值精确,但是断口分

形维数值的变化微小,实际运用效果不佳。

3)投影覆盖法的线性相关系数稍低,有部分离散点,分形维数精度较低,但是其数值变化幅度较大,有利于实际应用。

参考文献 (References):

- [1] LUNG C W, TOSATTI E. Fractals in physics [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986: 189.
- [2] MANDELBORT B B. Fractals: form chance and dimension [M]. San Francisco: Freeman, 1977.
- [3] ZHANG X L, FENG L Q. Study on the relationship between the surface fractal dimension of wood and its main mechanical properties [J]. Inner Mongolia Agricultural University, 2009, 30(2): 217-222.
- [4] 王玲, 张洪涛, 姚燕, 等. 超细复合水泥及其混凝土性能的研究 [J]. 建筑材料学报, 2002, 5(2): 103-107.
- [5] 唐玮, 朱华, 王勇. 应力腐蚀断面的分形行为 [J]. 钢铁研究学报, 2007, 19(8): 56-58.
- [6] ZHUANG X D, MENG Q C. Multi-feature edge extraction with local fractal features [C]// Conference on convergent technologies for Asia-Pacific region. New Delhi: Allied Publishers Private Ltd., 2003, 1: 247-251.
- [7] 林道云, 胡小芳. 水泥断口表面形貌的分形维数定量表征研究 [J]. 材料导报, 2009, 23(14): 280-283.
- [8] XIE H P, WANG J A, STEIN E. Direct fractal measurement and multifractal properties of fracture surface [J]. Physics Letters A. 1998, 242(1/2): 41-50.
- [9] ZHOU H W, XIE H P. Anisotropic characterization of rock fracture surfaces subjected to profile analysis [J]. Physics Letters: A, 2004, 325(5/6): 355-362.

(上接第26页)

- [9] The American Society of Mechanic Engineers. ASME PTC28 Test code for determining the properties of fine particulate matter: section 4: method for the determination of bulk electrical resistivity [S]. New York: ASME, 1965: 16-17.
- [10] International Electrotechnical Commission. IEC 1241-2-2 Electrical

apparatus for use in the presence of combustible dust: part 2: test methods: section 2: method for determining the electrical resistivity of dust in layers [S]. London: BSI, 1993: 15.

- [11] British Standards Institution. BS 5958 Code of practice for control of undesirable static electricity: part 1: general considerations [S]. London: BSI, 1992: 34-36.

《无机盐工业》2013 年征订启事

《无机盐工业》(月刊)是全国中文核心期刊,是国家科委批准的无机化工行业公开发行的科技刊物,1960 年创刊,国内外公开发行,主要报道国内外无机化工行业最新科技成果与技术进展,以及新技术、新工艺、新设备、新产品、新用途等方面的动态及商品信息、市场行情等。内设综述与专论、研究与开发、工业技术、应用技术、环境·健康·安全、化工分析与测试、化工装备与设计、电池材料、综合信息等栏目,是无机化工行业必不可少的良师益友。

本刊印刷精美、质量上乘、影响面广,是您无机化工行业扩大产品影响的最佳选择。欢迎来函来电洽谈广告业务。同时,热诚欢迎您在本刊刊登新产品、新技术广告及企业、公司形象宣传广告。

《无机盐工业》月刊,64 页,单价 8.00 元,全年共 96.00 元,邮发代号:6-23。

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系。编辑部订价 120.00 元/年(含邮费)。

地址:天津市红桥区丁字沽三马路 85 号《无机盐工业》编辑部

邮编:300131 电话:022-26658343; 26689072; 26658341 传真:022-26658343

E-mail: book@wjygy.com.cn http://www.wjygy.com.cn