

人体静电释放器测试方法及测量不确定度评定

韩家薇 王建新 杨扬 张丽 刘朵朵

内蒙古北方重工业集团有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i4.8342

[摘要] 在现代工业和科研领域中,静电现象普遍存在,特别是干燥环境中。人体静电的积累可能导致多种问题,而使用人体静电释放器成为一种常见的静电防护措施,并且人体静电释放器的性能和准确度直接关系到其防护效果,因此人体静电释放器的测试尤为重要。本文介绍了应用较广泛的静电亚导体型静电释放器的测试方法,并对静电释放器的主要技术参数进行了简要测量不确定度分析。

[关键词] 人体静电; 人体静电释放器; 测试电荷转移量; 测量不确定度

中图分类号: TM581.1 **文献标识码:** A

Testing methods and evaluation of measurement uncertainty for human electrostatic discharge devices

Jiawei Han Jianxin Wang Yang Yang Li Zhang Duoduo Liu

INNER MONGOLIA NORTH HEAVY INDUSTRIES GROUP CORP.LTD

[Abstract] The existence of human static electricity affects our daily life, production, and work. The harm caused by carrying static electricity in the human body is becoming increasingly prominent. The use of human electrostatic discharge devices has received attention, and whether the main parameters of human electrostatic discharge devices meet the requirements has become the key to eliminating human static electricity. This article introduces the testing methods of commonly used electrostatic discharge devices with sub conductors, and briefly analyzes the measurement uncertainty of the main parameters of electrostatic discharge devices.

[Key words] Human static electricity; human electrostatic discharge device; testing of charge transfer; measurement uncertainty

引言

人体静电不仅对人体健康产生危害,而且在许多行业的生产环境和工艺流程中由于存在大量的易燃易爆介质所以人体静电的积累对安全生产也会构成严重的威胁。静电放电火花会引起可燃气体着火或爆炸,因此必须对人体静电问题引起重视。解决人体静电的最直接的方法是使用人体静电释放器。人体静电释放器的主要参数,如表面电阻和电荷转移量等,是否能满足使用要求成为关键问题,如果人体静电释放器的主要参数不能满足要求,不但不能消除人体静电,反而是增加了一处点火源,加大了静电的危险性。因此必须对人体静电消除器主要参数进行测试,保障现场工作人员的人身安全和生产设备安全。

1 人体静电释放器的测试方法

人体静电释放器是一种适用于易燃、易爆和防静电场所的人体静电释放产品,使用人体静电释放器能够通过人体释放电阻将人体本身所积累的静电荷安全的释放掉,避免由人体静电而引发的火灾爆炸事故和人体电击现象的发生。人体静电释放器的工作原理:人体静电消除器是采用一种无源式电路,利用人

体上静电使电路工作,最后达到消除静电的作用。目前应用较为广泛的人体静电释放器是由半导体材质触摸球、内置放静电元器件、导体内芯、导体杆和静电电压显示装置组成。

人体静电释放器的整体性能测试方法,主要是围绕是否能将静电安全有效的释放入地进行测试,对整体性能指标,利用数字高阻计及表面电阻测试仪对触摸体表面与金属支撑体表面间的电阻值进行测量,采用静电放电发生器产生高压对触摸体接触放电,读取示波器的放电脉冲,测试电荷转移量。利用接地电阻表按照三极法检测接地线的接地电阻值,采用等电位测试仪测试静电触摸球与接地线的过渡电阻。

1.1 静电释放性能触摸体表面与金属支撑体表面间的电阻值测试

触摸体测试极板放置触摸体上部,数字高阻计一根测试线接在支撑体的接地端子上,另一根接在触摸体测试极板上,开通电源,对人体静电释放器施加100V~1000V电压,30s后读取高阻计上的电阻值R,R为触摸体表面与金属支撑体间电阻值,见图1。重复测量5次,取平均值为测量结果。

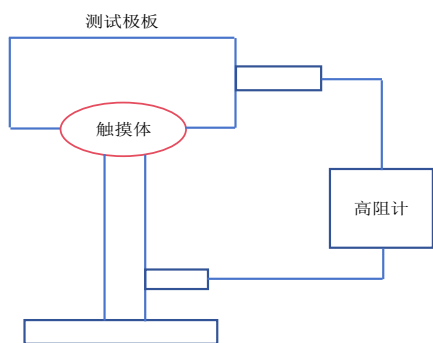


图1 触摸体表面与金属支撑体间电阻值测试示意图

1.2 静电释放性能要求电荷转移量的测试

因静电放电电荷转移量为0.1 μC时其放电将能够引燃起燃油品挥发的可燃气体，所以人体带电后与人体静电消除器触摸体相接触其放电电荷转移量必须小于0.1 μC才能保证其安全性。电荷的转移量与触摸体的电阻值有关系，电阻值越大，电荷转移量越小，如果电阻值太大，电荷转移量将非常小，人体静电就很难释放掉。因此，不但要解决静电放电电荷转移量的测试，还要确定人体电位在不同情况下人体静电消除器触摸体电阻值的限制，确保人体静电消除器起到消除静电的作用。

因此，静电放电电荷转移量的测试为重要指标，按照图2接好测试电路，将静电发生器升压至(0.5~10)kV，将静电放电发生器高压电极与触摸体接触放电，读取示波器上的放电脉冲，电荷转移量按公式(1)计算，重复测量5次，取平均值为测量结果。

$$Q = CV_m \quad (1)$$

式中，Q——电荷转移量，μC

C——电容，pF

V_m——放电脉冲电压，V

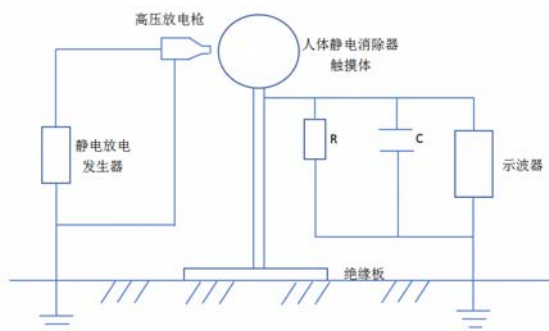


图2 电荷转移量测试示意图

1.3 接地线的接地电阻值测试

测试人体静电释放器的支撑接地端子至接地主干线或接地导体之间的接地电阻值，采用接地电阻表按三极法进行测量。重复测量3次取平均值为测量结果。确保人体静电释放器与大地可靠连接。

1.4 静电触摸球与接地线过渡电阻值测试

用等电位测试仪测试静电触摸球与接地线过渡电阻值，检查其是否处于可靠电气连接状态。用等电位连接电阻测试仪对

静电触摸球与接地线过渡电阻施加高压，测量过渡电阻值，重复测量3次，取平均值为测量结果。根据测量值来判断静电触摸球与接地线过渡电阻值是否满足要求。

1.5 人体静电释放器显示静电电压表示值误差测试

静电电压表外观应完好，各功能开关、按键应正常，通电后显示屏指示灯应正常工作。静电电压表的每个量程应至少选取包含10%、20%、50%、80%、100%量程在内的5个测试点，各测试点在电压上升和下降时各测量一次，取平均值作为测量结果。静电电压表示值误差采用标准分压器法，按图3连接仪器，确定测试线路连接完好后开始测试；标准电压源产生一个高压信号，标准分压器上电压的读数作为标准值U，静电电压表的读数为，并记录标准分压器的分压比K。静电电压表的示值误差按公式(2)计算。

$$\Delta = U_x - KU_s \quad (2)$$

式中：

Δ——被校静电电压表的绝对误差，kV

K——标准分压器的分压比，kV/V

U_s——标准电压表的示值，V

U_x——被校静电电压表的示值，V

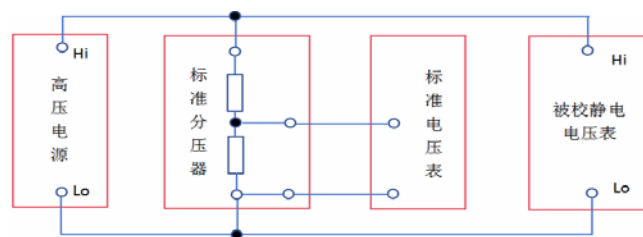


图3 标准分压器法测试静电电压表示值示意图

2 人体静电释放器主要参数的测量不确定度评定

2.1 人体静电释放器电荷转移量测量结果不确定度评定

根据公式(1)确定了测量模型，由此可知人体静电释放器电荷转移量测量结果不确定度来源主要为以下三个，标准设备允许误差引入的不确定度，标准设备分辨力引入的不确定度，重复性引入的不确定度，

2.1.1 不确定度评定过程。(1)标准设备允许误差引入的不确定度u₁。静电放电发生器高压电极与触摸体接触放电，读取示波器上的放电脉冲电压，示波器脉冲电压的允许误差为±3.0%，经检定合格，属均匀分布，k=√3。

$$u_1 = 3.0\% / \sqrt{3} = 1.7\%$$

(2)标准设备分辨力引入的不确定度u₂。示波器脉冲电压5V/div的分辨力为0.1V，属均匀分布，k=√3

$$u_2 = 0.1\% / \sqrt{3} = 0.058\%$$

(3)重复性引入的不确定度u₃。模拟静电1kV，对电荷转移量进行10次测量，示波器放电脉冲电压数据如下：

4.4V、4.4V、4.3V、4.5V、4.4V、4.3V、4.4V、4.5V、4.4V、4.4V。

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} = 3.3\%$$

$$u_5 = \frac{s(x_i)}{\sqrt{5}} = 1.5\%$$

2.1.2合成标准不确定度计算。考虑到标准设备读数的重复性和分辨力存在重复,在合成不确定度中将两者中较小值舍去,以上各不确定度分量互不相关,所以合成不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 2.3\%$$

2.1.3扩展标准不确定度计算。 $U=ku=2 \times 2.3\%=4.6\%$,式中 $k=2$

2.2静电电压表示值误差测量结果不确定度评定

根据公式(2)确定了测量模型,由此可知人体静电释放器静电电压表示值误差测量结果不确定度来源主要为以下几个方面,标准高压源稳定度引入的不确定度,标准电压表最大允许误差引入的不确定度,标准分压器最大允许误差引入的不确定度,被测表重复性引入的不确定度,被测表显示分辨力引入的不确定度。

2.2.1不确定度评定过程。(1)标准高压源稳定度引入的不确定度 u_1 。高压电源输出电压不低于被测静电电压表额定电压的1.1倍,1min电压稳定度应小于被检静电电压表最大允许误差绝对值的1/10,因此高压电源的稳定度为 $\pm 0.05\%$,属均匀分布, $k=\sqrt{3}$

$$u_1 = 0.05\% / \sqrt{3} = 2.9 \times 10^{-4}$$

(2)标准电压表最大允许误差引入的不确定度 u_2 。标准电压表的允许误差为 $\pm 0.05\%$,属均匀分布, $k=\sqrt{3}$

$$u_2 = 0.05\% / \sqrt{3} = 2.9 \times 10^{-4}$$

(3)标准分压器最大允许误差引入的不确定度 u_3 。标准分压器的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$,属均匀分布, $k=\sqrt{3}$

$$u_3 = 0.1\% / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-4}$$

(4)被测表显示分辨力引入的不确定度 u_4 。被校表显示分辨力为1V,属均匀分布, $k=\sqrt{3}$

$$u_4 = 1V / \sqrt{3} = 0.58V / \sqrt{3} = 0.33V$$

(5)被测表重复性引入的不确定度 u_5 。用标准源输出2kV电压进行10次测量,测量数据如下:

1992V、1993V、1992V、1991V、1991V、1992V、1992V、1993V、1994V、1993V。

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} = 4.8 \times 10^{-4}$$

$$u_5 = \frac{s(x_i)}{\sqrt{2}} = 3.4 \times 10^{-4}$$

2.2.2合成标准不确定度计算。考虑到被测表读数的重复性和分辨力存在重复,在合成不确定度中将两者中较小值舍去,以上各不确定度分量互不相关,所以合成不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_5^2} = 7.8 \times 10^{-4}$$

2.2.3扩展标准不确定度计算。

$$U = ku = 2 \times 7.8 \times 10^{-4} = 1.6 \times 10^{-3}, \text{式中 } k=2$$

3 人体静电释放器的符合参数分析

人体静电对导体放电时的放电能量和放电电流均应小于爆炸性气体的最小点燃能量和最小点火电流,因此必须静电消除器的触摸球表面与金属支撑体表面间的电阻值要满足要求才能达到释放电流的目的。

人体对接地导体放电时参数的计算

人体静电电位: 通常2kV~5kV

人体平均电容: 通常200Pf

人体表面电阻: 通常 $10^4 \Omega$

则人体储存静电能量: $W = 1/2CU^2 = (0.4 \sim 2.5) \text{ mJ}$

放电电流最大值: $I_{\max} = U/R = (0.2 \sim 0.5) \text{ A}$

通过上述计算,人体对接地导体放电电流均远大于爆炸性气体的最小点燃能量和最小点火电流,因此必须通过增加静电消除器的触摸球表面与金属支撑体表面间的电阻值来减小放电电流,GB12158《防止静电事故通用导则》中要求,放电电阻最大不超过 $10^9 \Omega$,当静电消除器的触摸球表面与金属支撑体表面间的电阻值 $10^6 \Omega \sim 10^9 \Omega$ 范围内时,人体静电放电电流最大值为5mA,因此触摸体表面与金属支撑体表面间的电阻值限制在 $10^6 \Omega \sim 10^9 \Omega$,可判断触摸体表面与金属支撑体表面间的电阻值满足要求。

其他参数指标测试的电荷转移量 $\leq 0.1 \mu\text{C}$,接地电阻值应 $\leq 100 \Omega$,静电触摸球与接地线过渡电阻值 $\leq 0.03 \Omega$,可判断满足要求。

4 结论

在日常生活工作中极易产生人体静电,而且容易被忽视,人体携带静电在易燃易爆场所危害和影响特别大,因此了解静电产生的原理、掌握静电消除的方法非常必要,人体静电释放器的安全有效尤为重要,定期对人体静电释放器的测试必不可少,只有认真对待人体静电释放器的测试才能真正做到保证人员的生命安全,保证安全生。

【参考文献】

[1]GB12158-2016《防止静电事故导则》[S].

[2]Q/SY1413-2011《防静电安全技术规范》[S].

[3]GB3836.1-2010爆炸性环境第一部分:设备通用要求[S].

[4]李朝刚,田梅,赵阳.人体静电放电模型和人体静电消除器参数分析[J].安全、健康和环境,2015,15(8):17-20.

[5]张宁,赵宇,刘飞.浅谈人体静电释放仪的检测[J]工业技术,2017,(31):112-113.

作者简介:

韩家薇(1973--),女,汉族,内蒙古自治区包头市人,本科,工程师,内蒙古北方重工业集团有限公司,研究方向:计量技术。