

论坛与资讯

火炸药包装工艺中的防静电研究进展

张守华¹, 黎智², 刘兴海¹, 张国全², 黎厚斌¹, 张振中³, 张路遥³

(1. 武汉大学, 武汉 430072; 2. 武汉轻工大学, 武汉 430023;

3. 中国兵器工业集团有限公司805厂, 白银 730900)

摘要: **目的** 研究火炸药包装工艺中的防静电技术。**方法** 结合国内外最新的包装工艺静电防控技术, 对火炸药包装工艺中的防静电进行研究。**结果** 通过对设备及工艺的控制、增加湿度、静电接地、应用抗静电剂、应用静电消除器、人体静电防护和工房合理设计等措施, 可以有效减少火炸药包装过程中的静电, 降低意外燃爆事故的发生概率。**结论** 在火炸药包装工艺中防静电技术可以有效降低意外燃爆率, 专业化、一体化和智能化是静电防控的发展方向。

关键词: 火炸药; 包装工艺; 防静电; 静电敏感度

中图分类号: TB485.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0155-06

Research Progress on Electrostatic Protection in the Packaging of Explosive

ZHANG Shou-hua¹, LI Zhi², LIU Xing-hai¹, ZHANG Guo-quan², LI Hou-bin¹,

ZHANG Zhen-zhong³, ZHANG Lu-yao³

(1. Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

3. 805 Factory of China North Industries Group Corporation, Baiyin 730900, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the electrostatic protection in the packaging process of explosive. **Methods** In order to control the electrostatic hazard, the electrostatic protection in the packaging process of explosive was investigated based on the latest anti-static technology at home and abroad. **Results** Anti-static methods were introduced in order to improve the safety of explosive packaging process and reduce the incidence of explosion accidents, including the control of equipment and crafts, the increase of humidity, static grounding, and the application of anti-static agent, static eliminator, the protection of static of human body, and reasonable design of workshops. Precautions of static on powder and explosive were elaborated according to the potential dangers of powder and explosive. **Conclusion** The electrostatic protection in the packaging process of explosive could effectively reduce the incidence of combustion accidents. Specialization, integration and intellectualization are the future orientations of anti-static technology.

KEY WORDS: explosive; packaging process; anti-static; electrostatic sensitivity

火炸药是一类高能物质, 在现代农业、工业、国防等领域均有广泛的应用。火炸药最突出的特征是易热分解、易燃烧、易爆炸和易殉爆, 即易燃易爆性^[1]。火炸药是一种危险品, 在火炸药的生产加工、运输、贮

存和使用等过程中, 安全性就显得尤为重要。包装工艺是火炸药生产过程中的重要环节, 火炸药包装的主要作用是保护产品能够安全存储、运输及使用, 包装效果的优劣将直接影响火炸药在运输使用过程中的

收稿日期: 2013-12-05

基金项目: 工信部基础产品创新科研项目

作者简介: 张守华(1989—), 男, 山东日照人, 武汉大学硕士生, 主攻绿色包装工艺。

通讯作者: 黎厚斌(1963—), 男, 武汉大学教授、博士生导师, 主要研究方向为包装工程、功能材料、高分子化学与物理等。

安全性和可靠性。

火炸药发生意外燃爆事故的起因是多样的,其中以热作用、机械作用、静电作用为主。静电是火炸药发生意外燃爆的重要因素之一。据统计,有10%~20%的火炸药意外燃爆事故是由静电引起的^[2]。由此可见,加强火炸药包装过程中的静电防护具有重要意义。

1 火炸药包装工艺

火炸药的包装工艺流程为:从生产线进入料槽,经料槽充填到纸袋或纸筒中,纸袋或纸筒经过称量、整形后封合,封合后贴标,再进行贮存或者运输。

在包装过程中,火炸药与管道、容器内壁、筛网、滑槽之间不断发生摩擦、分离、断裂、碰撞等运动,从而导致静电的产生。另外,压电效应和感应起电等因素的存在也会导致静电的产生。

粉体火炸药的包装过程比固态火炸药更容易积累静电,静电产生的危险性也更大^[3]。原因有3点:粉体物料具有很大的比表面积,其在包装过程中与管道、器壁等发生摩擦的机会更大,静电起电的概率和程度更大;粉体物料的流动性好,带静电的粉体火炸药极易流动到其他生产工序中,一旦发生静电放电,会造成更大的危害;粉体物料易悬浮在空中,物料颗粒对地绝缘程度高,静电难以泄露,不断积聚形成很高的静电压,形成严重的静电危险源。

2 火炸药静电性能

火炸药的静电性能主要包括静电积累和静电(火花)感度,其是评估火炸药在静电环境中安全性的重要参数^[4]。火炸药在包装过程中,不可避免的要与设备、人和包装件等发生接触分离,当接触距离小于2.5 mm时,便可以导致静电积累,静电积累是火炸药发生静电燃爆事故的基础。火炸药的静电感度又称为静电火花感度,是指在给定的实验条件下,火炸药对静电放电刺激量的敏感程度。通常用不同强度的静电放电刺激水平的概率曲线,即“S”曲线来表示。国内外标准多采用50%发火概率下的静电能量E50表示产品的静电(火花)感度^[5]。

马峰^[6]对火炸药生产过程中静电引起的燃爆事故

进行了研究,指出形成静电灾害要同时具备3个条件:易燃易爆物质、静电放电(ESD)源、ESD源与易燃易爆物之间能形成能量耦合且ESD能量大于等于易燃易爆物的最小点火能。火炸药作为一种易燃易爆物质,其包装过程中消除静电危险隐患,可以从消除ESD源和消除ESD源与火炸药之间的能量耦合着手。

3 火炸药包装工艺过程中静电防护

3.1 接地法

静电接地,是通过接地提供一条静电荷泄露的通道,达到消除静电的目的。防静电规范中最常用的防静电方法就是接地法,接地法也是目前工业生产应用最为广泛且效果明显的方法^[7]。应用时将导体一头接入大地,另一头接到带电载体上,把设备、人体和原料上的静电导入大地从而消除静电,通常泄放静电的接地电阻小于106 Ω 便可满足需要。根据接地方式的不同,静电接地可分为直接接地、间接接地、移动设备接地和跨接。

3.1.1 直接接地

直接接地即电气接地,又称硬接地,是用金属导线把带电体直接和接地干线连接。我国规定直接静电接地电阻不大于100 Ω ^[8]。直接接地对消除静电的作用,要根据具体情况区别对待,在火炸药包装过程中,需要反复试验论证,最后确定行之有效的接地方法。

3.1.2 间接接地

间接接地又称软接地,是指用金属以外的导电材料或防静电材料进行静电接地。在火炸药生产工艺过程中,与其接触的工装,如果接地电阻很小,则在工装与火炸药之间易产生放电火花。由此,火炸药加工操作装置的静电接地,易采取间接接地,加大接地电阻值。我国规定间接静电接地电阻不大于106 Ω ^[9]。

3.1.3 移动式设备工具接地

对于移动式设备如手推车、滚筒、料盘、槽、桶和工装等不能采用固定式接地方式,应根据实际情况采取与之相符的接地方式,比如采用鳄鱼式夹钳、专用链接接头等与接地干线或支线相连接^[10]。对于运输工具的车轮应采用导电轮胎或者导电胶条拖地的方式。

3.1.4 跨接

多个相距较近的小金属物体存在于静电危险场

所中时,将这些小金属物体串联起来,再把其中一个物体直接接地,这种接地方式称为跨接。跨接的目的是为了保持导体与导体之间、导体与大地之间不存在电位差。跨接与直接接地的区别见图1,用导线把管道上的法兰盘连接起来的方式是跨接,把其中一个法兰盘用导线与大地相连是直接接地。

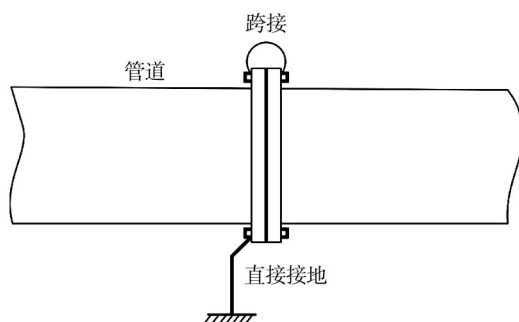


图1 跨接和直接接地

Fig.1 Bounding and grounding

3.2 设备及工艺控制

3.2.1 设备选型

火炸药包装过程中设备、用具材料的选择,应以降低静电产生数量为原则。为降低设备自身带电,应该选用导电材料,或选用能使物料先后与2种不同材料摩擦,产生异种电荷的材料,使产生的静电互相抵消^[11]。

3.2.2 减少摩擦

理论和实践表明^[12-13],静电起电量与摩擦条件(摩擦力、摩擦速度、摩擦次数和摩擦方式等)有密切关系。在传动装置中,应减少或杜绝皮带与其他传动件的打滑现象。皮带松紧要适当,保持一定压力,避免过载运行。选用的皮带应采用导电胶带或传动效率较高的导电三角带,定期检查皮带电阻,并保持皮带清洁。

3.2.3 提高静电消散速度

静电产生与静电消散是同时存在的,增加物体的静电消散可减少物体的静电电荷积累,自然可以消除静电危害。静电消散有2种方式来实现:一种是静电放电,另一种是静电泄露。静电放电会给火炸药包装过程造成严重的安全威胁,所以如何加速静电泄露是提高包装安全性的重要环节。

将静电产生占优势的区段称为静电产生区,将静电泄露占优势的区段称为静电逸散区。火炸药包装过程中的料斗、料仓等是静电逸散区,加大火炸药在

静电逸散区的静置时间,如降低火炸药的包装速率有利于静电逸散。

3.3 增加湿度

相对湿度是指空气中水汽压与饱和水汽压的比值。湿度越高,空气中的水汽分子越多,由于吸附作用,介质表面形成一层连续的水膜,从而降低带电体的表面电阻,提高其导电性能。在接地条件下,可以迅速将静电电荷导走,从而达到消除静电危害的目的。

此外,空气湿度的增加,有利于降低空气中粉尘的流动,从而减少静电产生。文献[14—15]指出防静电工作区的环境相对湿度以不低于65%为宜。空气加湿是在厂房内人为制造一个小气候环境,使局部空间的湿度达到所需要的水平。一般采用恒温恒湿调节器、加湿器等设备实现环境湿度的调节。增加湿度是一种简单易行、效果明显的消除静电的方式,目前已经得到了较为广泛的应用。

3.4 使用抗静电剂

产品中加入抗静电剂可以降低带电体的体积电阻和表面电阻,从而达到消除静电聚积的目的。抗静电剂的种类主要有:无机盐类、表面活性剂类、无机半导体类和电解质高分子成膜类等,其中表面活性剂类应用最广^[16]。表面活性剂是一种两亲分子,同时具有亲水的极性基团和憎水的非极性基团。抗静电剂按照其使用方式可分为外部抗静电剂和内部抗静电剂,其主要作用是抑制电荷产生和促进静电泄露。

Talawar^[17]等研究了聚维酮包覆起爆药对其静电火花感度的影响,实验结果显示,包覆后叠氮化银的静电火花感度变化不大,叠氮化铅的明显降低。这表明对于不同的药剂,抗静电剂的效果相差甚远,抗静电剂的应用应该基于大量的试验结果,针对不同的药剂选用最优的抗静电剂。近期,巴斯夫公司开发出了Elastostat^[18]抗静电母粒,该产品具有优良的抗静电效果,并且不需要特定的使用环境。Elastostat母粒应用于火炸药管道、软管和传送带等,可以有效防止静电电荷的产生和输送。

3.5 静电消除器

静电消除器是一种可以使空气电离并产生消除

静电所必需的离子的装置,又称消电器。它是利用空气电离发生器使空气电离产生正负离子对,中和带电体上的电荷。静电消除器发展至今已有几十年的历史,静电消除器分为无源自感应式、外接高压电源式和放射源式等三大类。

无源自感应式消电器是一种简单的静电消除器,应用比较广泛,它的工作原理见图2。在靠近带电体的上方安装一个接地的针电极,由于静电感应,针尖上会感应出密度很大的异号电荷,从而在针尖附近形成很强的电场。当静电消除器周围电场达到或超过起晕电场,针尖周围空气被电离,电晕区产生大量正负粒子,与带电体极性相反的带电粒子向带电体方向运动,中和带电体上的电荷,与其极性相反的粒子向放电针方向流动。带电体上有连续静电产生,则电晕放电持续进行,从而不断的中和带电体上的静电荷,达到消除静电的目的。

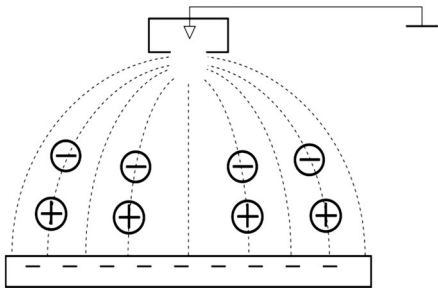


图2 无源自感式静电消除器的工作原理

Fig.2 Operational principle of self-induction electrostatic eliminator

静电消除器具有不影响产品质量、使用方便等优点,目前已广泛应用于粉体加工、纺织、橡胶、塑料等行业^[19]。

3.6 人体静电防护

人是一切活动的主体,人体静电也是火炸药包装工艺中的主要危害源之一。人体电阻约为103~105 Ω^[20],而且人体静电具有分布随机、存在普遍、移动性强和活动形式多样等特点,这也加大了人体静电的防护难度。

3.6.1 人体静电的产生形式

人体静电的产生形式有摩擦起电、感应起电、接触传导起电、吸附带电和自身活动起电^[21]等。摩擦起电是指人与物体摩擦过程中产生的静电。人体静电

的产生可以是一种起电形式导致,也可以是多种形式共同引起的^[22]。

3.6.2 人体静电积累的影响因素

1) 衣物材料。当衣物与外界物体发生摩擦时,人体带电极性和带电量大小取决于它们在静电序列中的位置。在带电序列中距离越远的材料接触起电时,其带电量越大,所以衣物的性能直接影响静电的产生和消散。

2) 动作强度。人体静电电位与人体的动作强度直接相关。有报道称人穿塑料材质的鞋在橡胶地面上行走,快走时产生的静电电压可以达到2500 V,慢走时只有800 V。李岩^[23]通过对慢走、跑步、跳跃等3种人体场景动作情况下人体静电电位进行实验测量,结果表明动作强度会对人体静电电位产生显著影响,这种影响主要体现在最高人体静电电位和静电电荷积聚与消散的振荡周期,最大人体静电电位随着动作强度的增加而显著增加。

3) 环境因素。环境因素尤其是湿度也是影响人体静电产生的重要因素。湿度的提高将会使物体表面形成一层薄水膜,其使得材料具有一定的导电性,从而不会积累静电荷。通常情况下,空气湿度保持在65%以上就可以防止静电的积累。人体电压在不同湿度情况下的数值见表1^[24]。

表1 不同湿度时人体电压

Tab.1 Human body voltage at different relative humidity			V
人体活动方式	相对湿度为10%~20%	相对湿度为65%~90%	
在地毯上行走	35 000	1000	
在乙烯塑料地板上行走	12 000	250	
在工作台上操作	6000	100	
在工作台上将乙烯袋拿起	20 000	1200	
从坐在人造橡胶泡沫靠垫的座椅上起立	18 000	1500	

3.6.3 人体静电防护措施

1) 使用静电防护产品。人体静电防护用品主要有:防静电帽、防静电手套、防静电服、防静电鞋和防静电腕带等^[25]。防静电帽、防静电手套可选用相应的防静电布料或导电纤维制造,工作人员在配戴防静电帽时不能将头发露在帽外。防静电服由防静电纺织品制成,起着为人体提供静电屏蔽、静电消除和减

轻静电危害的作用。GB 12014—2009《防静电服》中对防静电服的抗静电性能、测试环境条件等做了详尽的规定。工作人员应避免防静电服受到强烈的机械或化学试剂的洗涤。防静电鞋使人体与大地实现连接,有效地将人体静电荷进行泄露。在穿防静电鞋时不能另加鞋垫,GB 4386—95《防静电胶底鞋、导电胶鞋安全技术条件》中要求防静电鞋电阻值为 $5.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^8 \Omega$,导电鞋电阻值不得大于 $1.5 \times 10^5 \Omega$ 。防静电腕带使用柔软且富有弹性的材料配以导电丝混编而成,其导电性好,长度可调。防静电腕带分为有绳腕带和无绳腕带2类。在佩戴腕带时要确保腕带直接与人体接触,不能佩戴在衣物上。

2) 严格按照操作规程操作。操作人员应该严格按照操作规程文明操作,不允许出现掉落、抛掷、野蛮装卸等现象,严防作业人员出现麻痹大意的情况。根据操作对象、设备和环境湿度条件,确定工作人员操作速度的安全界限,避免奔跑、打闹嬉戏等行为。

3.7 工房设计

火炸药工房设计要依照原中国兵器工业总公司制定的规范进行,该规范将火药、炸药、弹药、引信及火工品工厂中建筑物的危险等级划分为A1, A2, A3, B, C1, C2, D等7个等级。针对产品包装也有具体的安全级别划分,不同火炸药工房设计需要按照不同危险等级进行。

存在静电安全隐患的工房要采用防静电地面或导电地面。目前国内已成功开发了聚氨酯导电地面等20多种导电地面,性能稳定,效果良好,可以根据不同的安全级别选用不同的导电地面^[26]。工房内外的静电接地、防雷电接地和保护接地等,均要作为火炸药工房设计的重要因素考虑。

工房内表面要光滑平整,凹角为圆弧形。吊顶不应采用易脱落材料,不能设置通气孔等孔洞。火炸药包装工房,与生产无直接联系的辅助间如通风室、配电室、空调机室、控制室、水泵间等,应和生产工作间隔开,而且宜单独设出入口。

4 结语

火炸药包装过程中防静电研究意义重大,静电事故一旦发生,会造成严重的经济损失和人身安全伤

害。静电防控是一个系统工程,要全盘考虑原料、设备、操作人员、环境条件和工房等因素。对于每一个可能发生静电事故的环节,都要做出相应的预防措施。要综合各个学科的特点,运用不同的手段,将火炸药包装工艺中的静电事故发生概率降到最低。

随着火炸药包装过程的自动化程度不断加强,生产效率不断提高,给静电防控提出了更高的要求。今后火炸药包装工艺中的静电防控将沿着专业化、智能化、一体化的方向发展,将会有防静电效果更好的新材料、新技术、新工艺投入到火炸药的包装工艺中来。

参考文献:

- [1] 肖忠良,胡双启,吴晓青,等. 火炸药的安全与环保技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.
XIAO Zhong-liang, HU Shuang-qi, WU Xiao-qing, et al. Safety and Environmental Technologies of Explosives[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Publishing House, 2005.
- [2] 林大泽,徐天瑞. 工业粉尘防爆与治理[M]. 北京:北京科学技术出版社,1990.
LIN Da-ze, XU Tian-rui. Explosion-proof and Control of the Industrial Dust[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1990.
- [3] 曹海峰,王国立. 粉状乳化炸药静电安全性研究[J]. 矿冶, 2004(3):9—12.
CAO Hai-feng, WANG Guo-li. Evaluation of Electrification Safety of Powder Emulsion Explosives[J]. Mining and Metallurgy, 2004(3):9—12.
- [4] KESHAVARZ M H. Theoretical Prediction of Electric Spark Sensitivity of Nitroaromatic Energetic Compounds Based on Molecular Structure[J]. J Hazard Mater, 2008, 153 (1/2): 454—459.
- [5] 柯贤文. 功能性包装材料[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
KE Xian-wen. Functional Packaging Materials[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [6] 马峰. 火炸药生产中的静电危害及其防护[J]. 安防科技, 2004(5):44—45.
MA Feng. The Dangers and Protection of Electrical Static in Powder and Explosive Process[J]. Security and Safety Technology, 2004(5):44—45.
- [7] 龙朝阳,卢立新. 防静电包装设计方法[J]. 包装工程, 2009, 30(8):81—82, 105.
LONG Chao-yang, LU Li-xin. Methods of Anti-static Packaging Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30 (8): 81—

- 82, 105.
- [8] GJB 232—82, 爆炸和火灾危险场所电气装置篇[S].
GJB 232—82, Explosion and Fire Hazard Electrical Installations[S].
- [9] 陈瑞民. 电火工品防静电研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
CHEN Rui-min. Anti-static Research of Electro Explosive Device[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2008.
- [10] GREASON W D. Review of the Effect of Electrostatic Discharge and Protection Techniques for Electronic Systems[J]. Industry Applications, 2008, 23: 205—216.
- [11] 马辉, 高绪勇, 杨士亮, 等. 野战弹药防静电包装设计[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 145—146.
MA Hui, GAO Xu-yong, YANG Shi-liang, et al. Anti-static Packaging Design of Ammunition on the Condition of Field Operations[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 145—146.
- [12] 谭志良, 陶凤和, 刘尚合, 等. 防静电阻隔包装材料发展动态及其防静电机理探讨[J]. 包装工程, 2000, 21(1): 3—5.
TAN Zhi-liang, TAO Feng-he, LIU Shang-he, et al. Development of Anti-static Barrier Packaging Material and Its Anti-static Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(1): 3—5.
- [13] 陈萌, 罗世永, 许文才, 等. 防静电包装研究进展[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 52—54.
CHEN Meng, LUO Shi-yong, XU Wen-cai, et al. Research Development of Anti-static Packaging[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 52—54.
- [14] JEAN C. Electrostatic: Principles, Problems and Applications [M]. Adam Hilger, Bristol: IOP Publishing Limited, 1987.
- [15] LIU Shang-he. Modification of Polyvinyl Chloride Surface Electrostatic Properties by an Icon Beam[M]. Vacuum, 1989, 39(2/4): 271—272.
- [16] 袁晓芳. 抗静电剂研究现状[J]. 塑料制造, 2010(11): 75—78.
YUAN Xiao-fang. Research Status of Anti-static Agent[J]. Plastics Manufacture, 2010(11): 75—78.
- [17] TALAWAR M B, AGRAWAL A P, ANNIYAPPAN M, et al. Primary Explosives: Electrostatic Discharge Initiation, Additive Effect and Its Relation to Thermal and Explosive Characteristics[J]. J Hazard Mater, 2006, 137(2): 1074—1078.
- [18] BASF. Develops New Antistatic Additive for the Plastics Industry[J]. Additives for Polymers, 2013: 1—2.
- [19] 郭鑫, 刘俊, 孙可平. 新型粉体静电消除器的设计研究[J]. 广东工业大学学报, 2011(3): 33—35.
GUO Xin, LIU Jun, SUN Ke-ping. Design Research of Newly Powder Static Eliminator[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2011(3): 33—35.
- [20] 李国瑞, 孙健新. 浅析人体静电的产生与防止措施[J]. 太原理工大学学报, 2002(1): 112—114.
LI Guo-rui, SUN Jian-xin. Analysis of Produce and Protection of the Human Static[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2002(1): 112—114.
- [21] 常天海, 郑艳华, 梁添. 危险品工作区域中人体静电隐患的防护[J]. 安全, 2005(3): 28—30.
CHANG Tian-hai, ZHENG Yan-hua, LIANG Tian. The Protection of Human Static in the Dangerous Work Zone[J]. Safety, 2005(3): 28—30.
- [22] 颜锦, 农高海. 人体静电及其防护措施的探讨[J]. 百色学院学报, 2007(6): 60—62.
YAN Jin, NONG Gao-hai. Research of Human Static and Its Protection[J]. Journal of Baise Institute, 2007(6): 60—62.
- [23] 李岩. 动作强度对人体静电电位影响的实验研究[J]. 武警学院学报, 2013(6): 14—15.
LI Yan. Experimental Study about Impact of Action Intensity on Human Electrostatic Potential[J]. Journal of Chinese People Armed Police Force Academy, 2013(6): 14—15.
- [24] 刘尚合, 武占成. 静电放电及危害防护[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004.
LIU Shang-he, WU Zhan-cheng. Electricity Static Discharge and Protection[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2004.
- [25] 汪承龙. 浅谈人体静电的产生与防范[J]. 安全、健康和环境, 2004(12): 41.
WANG Cheng-long. Talking about the Produce and Prevention of Human Body Static Electricity[J]. Safety, Health and Environment, 2004(12): 41.
- [26] 王国利, 曹海峰. 粉状火炸药生产的静电安全[C]//第七届全国工程爆破学术会议论文集, 成都, 2001.
WANG Guo-li, CAO Hai-feng. Electro Static Safety of Powder Explosives Press[C]//Proceedings of the 7th National Conference on Engineering Blasting, Chengdu, 2001.