静电在火工品生产中的危害及防护

张闯
（海军驻泸州地区军事代表室，四川 泸州 646005）

摘要：在火工品生产中，静电是造成安全事故频发的重要原因，因此火工品生产和管理中的安全工作是各单位监管的重点。文中阐述了静电对火工品的危害，确定了火工品生产过程中的最大允许电压（即最大安全电压），从工艺方面提出了几种静电防护方法。

关键词：铜；火工品；静电危害；防护
DOI：10.7643/issn.1672-9242.2013.03.029
中图分类号：TJ450.89 **文献标识码：**A
文章编号：1672－9242(2013)03－0121－04

Electrostatic Harzard and Protection of Initiating Explosive Device during Production

ZHANG Chuang
(The Navy Representative Office in Luzhou, Luzhou 646005, China)

Abstract: Static is the important cause of safety accident during production of initiating explosive device. Therefore, safe operation of initiating explosive production is the focus of the supervision of each unit. Electrostatic hazard to the initiating explosive device was introduced. Maximum safety voltage during the initiating explosive device production was determined. Some safety precautions of electrostatic protection were put forward from the aspect of technology.

Key words: initiating explosive device; electrostatic hazard; protection

1 静电在火工品生产中的危害

静电是两种介电系数不同的物质相互接触、分离时，正、负极性的电荷通过某种方式分别积累在两个物体表面形成的，两个带上电荷的物体即成为静电源。就人体而言，成为静电源的方式大致有3种，即接触起电、感应起电和吸附起电。在火工品生产中，点火药剂经常与盛装容器摩擦而产生静电电荷。由于药剂、人体（穿绝缘胶鞋）、塑料、非金属器具等均为不良导体，当防护措施不当时，静电电荷就会堆积起来形成较高的静电电位，一旦外界形成放

收稿日期：2013-04-11
作者简介：张闯（1980—），男，河南桐柏人，工程师，主要研究方向为火工品质量监督。

电条件，就会产生静电火花。当静电释放的能量大于或等于火工品药剂的最小发火能量时，就会发生燃烧或爆炸，因此人体静电是火工品及其药剂生产过程中最危险、最常遇到的静电源。

1.1 静电对火工药剂的危害

在火工品生产过程中，各种静电源普遍存在，火工品及药剂所处的环境不同，静电源就会产生不同的放电形式，从而形成不同的能量耦合模式。由于人是各种活动的主体，所以人体是生产过程中最活跃的静电源。通常人体对地电容为50～250 pF，设人体电容为100 pF，带电量为0.4×10^{-6} C，电压计算见式(1)。

$$U=q/C=0.4\times10^{-6}/100\times10^{-12}=4000\ \text{V} \quad (1)$$

式中：U为电压；q为电量；C为电容。则人体所带的静电能量为：

$$E=CU^2/2=100\times10^{-12}\times4000^2/2=0.8\ \text{MJ} \quad (2)$$

火工品常用药剂中，静电发火能量最小的仅为0.0086 MJ，可见0.8 MJ的能量对火工品药剂而言，是非常危险的。

由式(2)可得$U=(2E/C)1/2$，$U_{min}\approx420$ V[1]。

因此，在火工品生产过程中，若静电电压超过420 V就可能引发静电危害。必须将火工品生产过程的静电电压控制在420 V以内，才能最大限度地保证火工品的生产安全。

1.2 静电对火工品的危害

在火工品生产过程中，当聚集了静电的人体或其它静电源与火工品直接或间接接触时，就可能发生静电放电。以桥丝类电爆装置为例，通常有脚线–脚线放电，脚线–管壳放电和桥丝–桥丝放电。

通常静电源为一个充电至一定电压的电容器，电发火管脚线与大地构成一个电容，与电发火管桥丝相连的脚线作为电容器的一端，接地的雷管外壳是电容的另一端。当静电源接触电发火管时，就会在桥丝脚线或脚线–管壳回路中感应相同量的电荷，从而形成瞬间放电。如果放电量大于或等于电发火管的最小点火能量，就会导致电发火管意外发火。

1.3 静电引发燃爆事故的条件

为了探索静电在火工品生产过程中形成危害所具备的条件，选用某雷管做静放电试验，试验设备为GJ93–1静电火花感度仪，其最高电压可达30 000 V。

为模拟火工品的生产过程，在某雷管表面无浮药和有浮药的状态下进行了试验，所有试验均在相对湿度55%的条件下进行。试验结果表明，静电要引起燃烧或爆炸事故必须同时具备3个条件。

1）火工药剂或与其接触的介质积累有足够的静电荷，且这些介质的局部场强超过其击穿场强，发生静放电现象；

2）静电火花放电的能量超过火工品及其药剂最小点火能量，成为点火源；

3）放电通道必须通过火工品及其药剂的结块或药粉层。

2 静电对火工品危害的综合防护

火工品生产过程中静电防护的根本出发点是使发生静电危害的3个条件不能同时出现，结合生产实际，减少静电的放电能量。

火工品生产过程中，静电的产生不可避免。加强静电泄漏，使电荷不在生产用具上积累。静电泄漏有3种方法：接地法、增大物体导电率和提高周围环境湿度。在火工品生产过程中，生产工艺对环境湿度的要求十分严格，所以一般选用接地法和增加物体导电率来消除静电危害。

2.1 接地法

静电的产生和积累是有限的，在器具或装置上积累静电电荷的同时也存在静电放电，当不断产生的电量和放电电量趋于平衡时，器具、装置上的电量就饱和了。在一定条件下，器具或装置上的带电量未达到饱和时，单位时间内产生的电量为一常数，见式(3)[2]。

$$\mathrm{d}Q_1/\mathrm{d}t=K \quad (3)$$

式中：Q_1为积累的电量；t为放电时间，s；K为常数。

瞬间放电电流见式(4)。

$$I=\mathrm{d}Q_2/\mathrm{d}t=V/R=V_0/R\cdot\mathrm{e}^{-t/RC} \quad (4)$$

式中：Q_2为积累的电量；V为电荷积累电压，V；R为放电电阻，Ω。由式(3)减去(4)，单位时间内所积累的电量见式(5)。

$$dQ/dt=dQ_1/dt-dQ_2/dt=K-V/R \quad (5)$$

通过数学整理及积分得出电荷积累电压的方程,见式(6)[3]。

$$V=KR(1-e^{-t/RC}) \quad (6)$$

式中:K为常数。

由式(6)可知,当$t\to\infty$时,带电电压$V=KR$,即为饱和电压。R越大,电荷积累电压V越大。如果器具或装置接地良好,即$R\to0$时,$V\to0$,静电很难形成。

火工品生产中利用导线接地就可有效避免静电危害。所谓接地法,是将导体(静电导体,即电阻率为10^8 Ω·m以下的物体)一端接到带电载体上,另一端接入大地,把生产过程中的静电通过导体导入大地。从摩擦起电的过程来看,物体的表面状况很重要;对接地而言,应着眼于物体的表面电阻。当物体的表面电阻率在10^8 Ω·m以下,也可认为是静电导体。在火工品生产过程中,凡是静电导体就可作为接地对象。

2.2　泄漏电阻和接地电阻的确定[4]

接地时,应区分泄漏电阻和接地电阻的概念。泄漏电阻是指物体和大地间的总电阻,它包括物体和接地线的接触电阻、接地电阻及带电体本身的电阻、跨接电阻等。在火工品生产过程中,从接地目的来说,只要泄漏电阻值不使物体对地电位成为危险值即可。因此,若单位时间内向大地泄漏的静电电量为I_t,安全对地电压为U_s时,泄漏电阻R_t应满足:

$$R_t\leqslant U_s/I_t \quad (7)$$

然而,在确定泄漏电阻时,应根据工装设备和产品加工综合分析。如果工装和产品所带的电荷都能很容易地接地导走,则其泄漏电阻越小越好,一般规定不大于4 Ω。在火工品生产过程中,加工产品(如火炸药、敏感药剂等)多为导电性很差的电介质,其体电阻率大都在10^{14} Ω·m以上,静电荷很难通过接地线导走。如果此时工装设备的泄漏电阻很小,反而容易造成工装与火工品(或敏感药剂)之间产生静放电火花。因此在火工品生产过程中利用接地法消除静电危害时,必须将泄漏电阻值控制在一定范围内,既保证工装或产品上的静电电荷能及时泄放,又避免工装与带电产品形成高压放电而产生火花。

在各种条件下,从安全的角度出发,物体的对地电压在1~10 V为宜。由于单位时间内静电的泄漏电量$I_t=(1\sim10)\times10^{-6}$ A,由式(7)得泄漏电阻$R_t\leqslant10^6$ Ω。可见,在一般情况下,泄漏电阻在10^6 Ω以下即可满足使用要求。

根据电路回路中电流的分布原理,要保证物体上的静电电荷向大地顺利泄放,接地电阻必须低于接地回路中的泄漏电阻。根据防静电相关规范规定,静电接地电阻一般应小于100 Ω,火工品生产中的电气设备静电接地兼作防雷保护接地和安全接地时,其接地电阻应控制在10 Ω以下。同时,为了降低其接地电阻,应以多点接地为宜。

2.3　增大导电率

电阻率在10^8~10^{14} Ω·m的静电中间体和电阻率在10^{14} Ω·m以上的静电绝缘体上的静电荷不会因接地而泄漏[5]。在火工品生产过程中,这类物体或设备就成为防护的重中之重。根据上述分析,只要将其电阻率降至10^7 Ω·m以下,或将其表面电阻率降至10^8 Ω·m以下,使其成为静电导体,采用接地法就可消除静电危害。这里采用在其表面铺设电阻率10^8 Ω·m以下的防静电胶垫或改用表面电阻率满足要求的器具来实现。

3　火工品生产过程中的综合防静电措施

要将火工品生产过程中的静电危害控制在最小,首先必须从人体静电防护着手。人体静电危害火工品安全的最小静电电压为420 V,为了保证火工品生产的静电防护可靠性,取防护裕度为4,即必须将正常操作状态下的人体静电电压控制在:

$$U_{安全}=U_{min}/4=105\ \text{V} \quad (8)$$

根据静电起电的3种方式,结合生产过程中的实际情况,要预防和控制火工品生产过程中的静电危害,就应从人体和环境着手,建立一套立体、全方位的静电防护体系,见表1。

在火工品的生产过程中,确定防护静电危害的具体措施,有效地预防和控制静电危害,为火工品的安全生产提供了有力的保障。

表1 静电安全区域内的防静电体系组成

Table 1 Composition of anti-static system in electrostatic safe region

序号	防护范围	方法或途径
1	工作台/工位	各种加工、生产设备可靠接地;操作人员配置专用防静电服、工位防静电鞋、防静电手腕带。
2	贮存/周转	所有的装配台、测试台等表面都应铺设防静电胶销、静电离转子风机和可靠的接地系统。
3	地面	所有与火工品原材料进货、生产、测试、周转运输、包装、发货有关区域铺设防静电胶垫。
4	防静电检测	防静电腕带、防静电鞋的对地电阻、防静电胶垫的表面电阻测率和人体在防护状态下的静电电压值都应定期检测。
5	静电接地	接地系统的可靠性、接地电阻、泄漏电阻应定期检测和系统维护。
6	器具/周转用具	火工品生产过程中使用各种表面电阻率在108 Ω·m以下的防静电器具,如防静电周转箱、托盘、元件盒、毛刷、工作椅、包装袋等。
7	操作人员	增强人员防护意识,制定科学合理的静电防护管理制度和培训方案。

参考文献:

[1] 穆丽军,高俊国,张玉令. 静电放电对电火工品作用机理分析与试验研究[J]. 工业安全与环保,2010(5):43—44.

[2] 陈飞,周彬,秦志春,等. 半导体桥火工品的防静电和防射频技术[J]. 爆破器材,2010(3):32—36.

[3] 刘春凤,刘金城,李志鹏,等. RESD-1人体静电放电模型系统设计与研究[J]. 河北大学学报(自然科学版),2010(5):157—160.

[4] 陈瑞民. 电火工品防静电研究[D]. 南京:南京理工大学,2008.

[5] 常新龙,王建龙,张磊. 人体静电作用下桥丝火工品发火概率计算[J]. 装备环境工程,2012,9(2):80—84.

(上接第120页)

Beam Sources during Spark Down[C]// The 8th Symposium on Engineering Problems of Fusion Research. 1979:1260—1266.(余不详)

[8] MAYHALL D J, SHIMER D W. Design and Testing of Low Capacitance, 80 kV Source Cables for MFTF Sustaining Neutral Beam Power Supplies[C]// Proceedings of 8th Symposium on Engineering Problems of Fusion Research. 1979:709—713.(余不详)

[9] 王海田,李格,曹亮. EAST中性束注入器用高压缓冲器分析[J]. 强激光与粒子束,2010,22(6):1374—1377.

[10] TAKEIRI Yasuhiko. Negative Ion Source Development for Fusion Application[J]. Review of Scientific Instruments, 2010,81(2):114—121.

[11] 段进,倪栋. ANSYS10.0结构分析[M]. 北京:兵器工业出版社,2006:60—61.