

中大口径弹药内表面喷涂工艺改进

孙丽华¹, 李正勇², 刘立伟², 刘淑艳¹, 孙丽荣¹, 于广杰¹, 季淑杰¹

(1. 北方华安工业集团有限公司, 齐齐哈尔 161046;
2. 中国人民解放军驻 123 厂军事代表室, 齐齐哈尔 161046)

摘要: 目的 改进弹药内表面喷涂方式及涂料种类, 解决弹药装药环境适应性高低温贮存裂纹疵病的问题。方法 采用高压无气喷涂技术进行弹体内表面喷漆, 替代原有的空气喷涂。探讨涂料压力、涂料黏度、喷嘴移动速度等因素对涂层质量的影响, 通过正交试验确定最佳工艺参数。采用直线加速器检测不同漆膜厚度的弹体装药环境适应性裂纹疵病情况。结果 涂料压力为 65 kg/cm^2 , 涂料黏度为 30 s, 喷嘴移动速度为 50 Hz, 喷嘴孔径分别为 0.51, 0.71 mm 时, 弹药内表面漆膜具有较好的外观质量, 漆膜厚度及附着力满足要求。膜层厚度为 $180 \mu\text{m}$ 的弹药经高、低温贮存试验, 未出现裂纹。结论 应用实践证明, 高压无气喷涂工艺技术用于弹药卧式自动内表面涂装可行, 具有一定的行业推广价值。

关键词: 弹药内表面喷涂; 高压无气喷涂; 装药环境适应性; 裂纹

中图分类号: TG174.461

文献标识码: A

文章编号: 1001-3660(2015)02-0105-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.02.020

Process Improvements in Internal Surface Spraying of Medium and Large Caliber Ammunition

SUN Li-hua¹, LI Zheng-yong², LIU Li-wei², LIU Shu-yan¹, SUN Li-rong¹, YU Guang-jie¹, JI Shu-jie¹

(1. Northern Hua'an Industrial Group, Qiqihaer 161046, China;
2. Military Representative Office of 123 Factory, Qiqihaer 161046, China)

ABSTRACT: **Objective** To improve the spraying mode and paint variety of internal surface of ammunition, solve the problems of high environment adaptability of ammunition charge and crack flaw due to low-temperature storage. **Methods** A high pressure airless spray technique was adopted to carry out spray painting of internal surface of ammunition, to substitute the original air spray mode. The effects of factors such as paint pressure, paint viscosity, nozzle movement speed on the coating quality were discussed, and the optimal process parameters were determined by orthogonal experiments. The situation of the environment adaptability of ammunition charge and the crack flaw of paint film with different thickness were tested by linear accelerator. **Results** The paint film of inner surface of ammunition had good appearance quality, the thickness of paint film and the adhesion met the requirements when the paint pressure was 65 kg/cm^2 , the paint viscosity was 30 s, the nozzle movement speed was 50 Hz, the nozzle diameters were 0.51 and 0.71 mm, respectively. The ammunition with a paint film of $180 \mu\text{m}$ thickness did not crack after the high- and low-temperature storage tests. **Conclusion** It was proved by application that the high-pressure airless spray technique used for horizontal automatic inner surface spraying of ammunition was feasible and worthy of spreading in industry.

收稿日期: 2014-11-20; 修订日期: 2015-01-06

Received: 2014-11-20; Revised: 2015-01-06

作者简介: 孙丽华 (1972—), 女, 黑龙江人, 高级工程师, 主要从事表面处理工作。

Biography: SUN Li-hua (1972—), Female, from Heilongjiang, Senior engineer, Research focus: surface processing work.

KEY WORDS: spraying on the internal surface of ammunition; high-pressure airless spraying; environment adaptability of ammunition charge; crack

我厂在研的某型号大威力产品,采用分步压装的工艺方式装填 RL-F 等高能炸药^[1],替代原有 TNT 炸药,有效提高了弹丸的综合杀伤威力,提升了我军现有主装备的作战效能^[2]。在研制过程中,弹药经环境适应性高低温贮存试验后,70% 存在横向裂纹,直线加速器照相检验照片见图 1。经分析及验证,弹体内表面喷涂的漆种为 5403-2 铁红醇酸快干底漆^[3],该漆对炸药的结合强度较低;并且涂层较薄,仅为 20 μm ,不能有效缓冲炸药应力释放。沥青漆具有黏度高、对炸药粘附牢固的特点,可避免炸药应力释放时形成横向裂纹,因此将弹体内表面漆调整为沥青清漆。

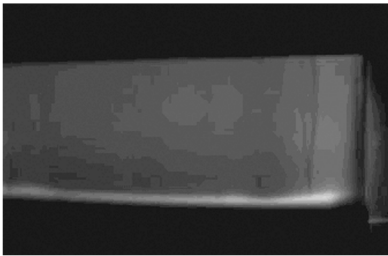


图 1 直线加速器照相检验照片

Fig. 1 Linear accelerator photographic inspection image

我厂现有的弹体内表面喷涂方式为空气喷涂,供漆方式为落后的重力供漆,不适宜喷涂黏度较高的沥青清漆,涂层质量及厚度也不能满足产品要求。高压无气喷涂是涂料施工的一项新工艺^[4],油漆经增压后通过特殊的喷嘴小孔喷出,可形成均匀的涂膜^[5],具有涂装效率高、涂层质量好、涂料利用率高、对环境污染小、防腐性能好等特点^[6-9],最适宜大面积喷涂作业,能满足各种涂装行业的需要,已在船舶、汽车车辆、桥梁、钢结构件、建筑及各机械行业广泛应用。文中将高压无气喷涂技术应用于某型号大威力产品内表面,分析了涂层质量的影响因素,确定了最佳喷涂工艺参数及适宜的漆膜厚度。

1 高压无气喷涂技术的应用

某型号大威力产品形状较为复杂、口径多变,如图 2 所示。

所用涂料为 L01-6 沥青清漆。喷涂设备为美国诺信高压无气喷涂设备,其组成包括:高压柱塞泵(压

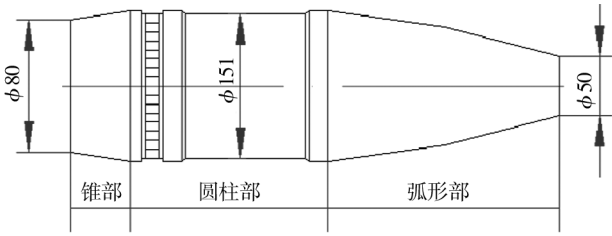


图 2 产品示意

Fig. 2 Schematic drawing of the product

力比 32 : 1)、泵用空气调压过滤器(高压范围 0 ~ 0.7 MPa)、涂料流量调节器(带压力表)、涂料过滤稳压器(过滤精度 100 目)、内喷涂自动无气喷枪(枪杆长度 1 m,喷嘴口径 0.51, 0.71 mm)、水平往复自动机(减速器减速比 20 : 1)及工件识别和喷枪控制系统。

喷涂工艺流程为:上料→上螺纹保护帽→感应预热→1 号枪喷涂→吹干→2 号枪喷涂→吹干→检验漆膜质量→上挂具→挂料→外表面喷漆。主要控制的工艺参数包括:涂料黏度、涂料压力、喷嘴移动速度、A 点(关枪位置)、B 点(开枪位置)、远点(进枪位置)。A 点、B 点及远点位置如图 3 所示。喷涂时,进枪不喷漆,出枪喷漆。进枪喷漆时,若喷嘴雾化不好,枪端滴漆将影响漆膜质量。

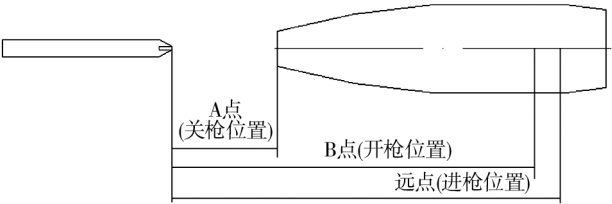


图 3 工艺参数图示

Fig. 3 The graphic representation of process parameters

2 涂层质量的影响因素

在高压无气喷涂设备不断进步的同时,国内外学者对高压无气喷涂的施工工艺也进行了相应的研究^[10-11]。针对弹药内表面高压无气喷涂实验的情况,影响涂层质量的因素主要有:涂料压力、涂料黏度、开枪位置距弹体底平面的距离、喷嘴雾化环形直径大小及喷嘴移动速度。

喷涂压力影响着喷嘴流量,在一定范围内提高喷涂压力可以增大涂料的流量。喷涂压力最好保证涂

料完全雾化,涂料不同,完全雾化的压力也不同。涂料的雾化效果对涂层质量有着直接的影响:雾化颗粒过大将影响涂层表面的均匀性;雾化颗粒过小,将影响涂层的附着力及涂料的利用率^[12-13]。黏度一定时,压力越大,喷嘴雾化环形直径越大。

涂料的黏度越大,喷涂时所需的压力越大,如此才不会造成喷嘴孔的堵塞,有利于提高涂料的雾化质量。压力一定时,黏度越大,喷嘴雾化环形直径越小。在生产过程中,应尽量保证漆液黏度的一致性,每天配漆量不宜过多,盛漆桶应加盖,防止溶剂挥发。

喷嘴的几何形状、孔径大小关系到涂料的雾化效果和涂层质量的好坏^[14-15]。根据我厂各种产品的形状特点、涂料种类及涂膜厚度要求,选用孔径为 0.51 mm 和 0.71 mm 两种喷嘴,雾化形状为空心锥形。针对我厂大威力产品形状,开枪位置决定弹药底平面及锥部漆膜质量,应根据涂料压力及相应的雾化直径大小进行调整。在压力一定的情况下,开枪位置距弹体底平面越近(位置 1),着漆直径越小,底平面越易产生流痕;开枪位置距弹体底平面越远(位置 3),着漆直径越大,底平面漆膜越薄,甚至喷不上漆;开枪位置适中(位置 2),底平面及锥部漆膜质量相对较好。开枪位置及着漆直径如图 4 所示。

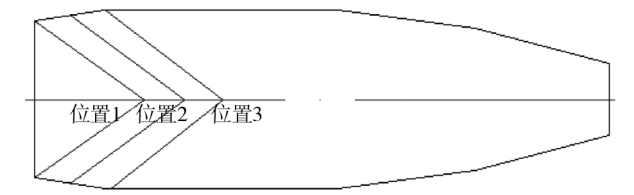


图 4 开枪点位置及工件着漆直径示意

Fig. 4 Schematic drawing of painting position and painted diameter of the workpiece

喷嘴移动速度由涂层厚度决定,与涂层厚度成反比。为保证喷枪平稳,过冲小,喷枪进入工件的速度不宜太快。

3 工艺参数的确定

3.1 正交试验及结果

根据弹药内表面喷涂涉及的工艺参数,固定喷嘴孔径(选用 0.71 mm)、开枪位置(600 个脉冲)、工件温度(50 ℃,接近弹体磷化后余热温度),以涂料黏度(因素 A)、涂料压力(因素 B)及喷嘴移动速度(因素

C)为变量,采用 $L_9(3^4)$ 正交表进行实验,根据弹药内表面漆膜质量确定最佳工艺方案。

高压无气喷枪要求的涂料黏度高于空气喷枪,选定黏度范围为 20 ~ 30 s(大威力弹药选用的沥青清漆最高黏度为 35 s)。由于沥青清漆自身黏稠度较高,漆液完全雾化的压力大于 65 kg/cm²,因此选定涂料压力范围为 65 ~ 75 kg/cm²。在保证喷枪运行速度稳定的情况下,选定喷嘴移动速度为 40 ~ 50 Hz。试验设计及结果见表 1 和表 2。

表 1 因素水平表
Tab.1 Factors and levels

水平	涂料黏度/s	涂料压力/(kg · cm ⁻²)	喷嘴移动速度/Hz
1	20	65	40
2	25	70	45
3	30	75	50

表 2 试验方案及结果
Tab.2 Scheme and results of the orthogonal test

试验号	水平			内表面漆膜质量
	A	B	C	
1	1	1	1	底平面流挂
2	1	2	2	底平面流挂
3	1	3	3	弧形部、底平面流挂
4	2	1	2	弧形部局部、底平面流挂
5	2	2	3	圆柱部局部、底平面圆 R 处流挂
6	2	3	1	圆柱部局部流挂,底平面圆 R 处膜厚
7	3	1	3	弧形部、圆柱部漆膜均匀,底平面中心处略薄
8	3	2	1	弧形部、圆柱部漆膜均匀,底平面中心处薄
9	3	3	2	弧形部、圆柱部漆膜均匀,底平面薄

分析表 2 中各组弹药内表面喷涂漆膜质量可见,7 号试验的弹药内表面各部位漆膜质量相对较好,但底平面中心处漆膜仍略薄。通过调整开枪点位置进行多次试验,但改善效果不大。之后将 1 号枪换成口径为 0.51 mm 的喷嘴,2 号枪仍采用口径 0.71 mm 的喷嘴,经喷涂试验,底平面中心处的漆膜质量合格。

3.2 漆膜质量检测

- 1) 外观。弹药各部位涂层均匀、连续、光滑,无气泡、堆漆及漆流痕,锯切后的照片见图 5。
- 2) 厚度。由于弹药口径较小,内表面漆膜厚度无法用测厚仪进行检测。通过对内表面各部位进行粘贴试片,测得 2 次喷涂漆膜厚度大于 30 μm,满足



图 5 弹药内表面漆膜照片

Fig.5 The picture of the paint film at the internal surface of ammunition

产品要求。

3) 附着力。对锯切后的弹体用压敏胶带进行粘贴检测,漆膜附着牢固,无脱落。

4 内表面涂层厚度对弹药环境试验结果的影响

为了有效缓冲炸药应力释放,减少弹药高低温贮存横向裂纹,产品要求内表面漆膜厚度大于 90 μm。经多次喷涂,漆膜厚度满足要求后,选取 10 发弹药进

行高低温贮存环境试验。经直线加速器照相检验,仍有 4 发弹药经高温贮存及低温贮存后出现裂纹,弹药锯切照片见图 6a。

为进一步考核不同漆膜厚度对弹药环境试验结果的影响,对涂层厚度为 120,150,180,210,240,270 μm 的弹药进行了环境试验,具体直线加速器照相(恢复常温照相)检验记录见表 3。试验中发现,厚度为 150,180 μm 的弹药经高低温贮存后未出现裂纹。后续又对 150 发漆膜厚度为 180 μm 的弹药进行环境试验验证,高低温贮存后均未出现裂纹,弹药锯切照片见图 6b。

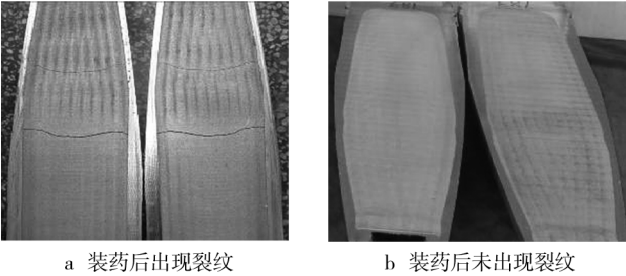


图 6 弹药锯切后照片

Fig.6 Pictures of ammunition after saw cutting

表 3 不同漆膜厚度环境试验直线加速器照相检验记录

Tab.3 Environmental testing linear accelerator photographic inspection record of paint film with different thickness

序号	涂层厚度/μm	实验数量/发	高温(65 ℃保温 48 h)	低温(-55 ℃保温 48 h)
1	90	10	3 发出现裂纹 距口部 170 mm 处裂纹 1 条 距口部 260 mm 处裂纹 1 条	1 发出现裂纹 距口部 170 mm 处裂纹 1 条
2	120	10	1 发出现裂纹 距口部 150 mm 处裂纹 1 条	无可见疵病
3	150	10	无可见疵病	无可见疵病
4	180	10	无可见疵病	无可见疵病
5	210	10	2 发出现裂纹 距口部 270 mm 处裂纹 1 条 距底部 70 mm 处裂纹 1 条	1 发出现裂纹 距底部 70 mm 处裂纹 1 条
6	240	10	1 发出现裂纹 距口部 180 mm 处裂纹 1 条	无可见疵病
7	270	10	9 发出现裂纹 距口部 180 mm 处裂纹 1 条	1 发出现裂纹 距口部 180 mm 处裂纹 1 条
8	180	150	无可见疵病	无可见疵病

5 结论

1) 在涂料压力为 65 kg/cm²,涂料黏度为 30 s,喷嘴移动速度为 50 Hz,喷嘴孔径分别为 0.51,0.71 mm

的工艺条件下,弹药内表面涂层外观质量、厚度及附着力满足产品要求。经直线加速器照相检测,内表面漆膜厚度为 180 μm 的弹药经高、低温贮存环境试验后未出现裂纹。

2) 弹药内表面喷涂工艺的改进保证了某型号大

威力弹药成功立项,使弹药喷涂技术达到了国内先进水平,填补了高压无气喷涂技术在弹药卧式自动内表面涂装的应用空白,具有一定的行业推广价值。

参考文献

- [1] 孙家利,夏克祥,方晓玲,等. 压制武器分步压装 RL-F 高能炸药工艺技术[J]. 兵工自动化,2013,32(10):44—45.
SUN Jia-li, XIA Ke-xiang, FANG Xiao-ling, et al. Technology of Step Pressing on RL-F High-energy Explosive[J]. Ordnance Industry Automation, 2013, 32(10):44—45.
- [2] 王秋雨,王连义,孙家利,等. 中大口径弹药包装全寿命标准化应用研究[J]. 包装工程,2011,32(23):83—85.
WANG Qiu-yu, WANG Lian-yi, SUN Jia-li, et al. Application Research of Total Life Standardization of Middle and Large Caliber Ammunition Packaging[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(23):83—85.
- [3] 李正勇,孙丽华,宋瑞华,等. 中大口径弹药表面防腐控制[J]. 装备环境工程,2013,10(1):105—107.
LI Zheng-yong, SUN Li-hua, SONG Rui-hua, et al. Surface Corrosion Control of Medium and Large Caliber Ammunition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(1):105—107.
- [4] 李红生,王文丽. 高压无气喷涂设备的应用[J]. 材料保护,2004,37(4):51—52.
LI Hong-sheng, WANG Wen-li. The Application of High Pressure Airless Spraying Machine[J]. Materials Protection, 2004, 37(4):51—52.
- [5] 上海市化学化工学会,上海涂料公司. 高压无气喷涂[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
Shanghai Society of Chemistry and Chemical Industry, Shanghai Paint Company. High Pressure Airless Spraying[M]. Beijing:China Mechanical Press, 1991.
- [6] 冯继文. 气动式高压无气喷涂机结构创新设计[D]. 杭州:浙江大学,2010.
FENG Ji-wen. Innovative Structure Design of the Pneumatic Airless Spray Machine[D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2010.
- [7] 李红生,王文丽. 高压无气喷涂工艺设备技术的应用[J]. 化工设备与防腐蚀,2004(4):33—35.
LI Hong-sheng, WANG Wen-li. The Application of High-pressure Airless Spraying Process Equipment Technology[J]. Chemical Equipment and Anticorrosion, 2004(4):33—35.
- [8] 王祖芬. 高压无气喷涂在工程施工中的应用[J]. 工程机械与维修,2000(6):83.
WANG Zu-fen. High Pressure Airless Spraying Application in the Engineering Construction[J]. Construction Machinery & Maintenance, 2000(6):83.
- [9] 黄大江. 无气喷涂技术及其应用[J]. 涂装与电镀,2008(1):16—22.
HUANG Da-jiang. Airless Spraying Technology and Its Application[J]. Painting and Electroplating, 2008(1):16—22.
- [10] 朱丽松,曹金才. 高压无气喷涂设备及其发展[J]. 造船技术,1997(8):31—33.
ZHU Li-song, CAO Jin-cai. High Pressure Airless Spraying Equipment and Development[J]. Journal of Marine Technology, 1997(8):31—33.
- [11] 沈国良,吕莉华. 高压无气喷涂机的使用和保养[J]. 上海涂料,2006,44(6):27—29.
SHEN Guo-liang, LV Li-hua. The Use and Maintenance of the High Pressure Airless Spraying Equipment[J]. Shanghai Coatings, 2006, 44(6):27—29.
- [12] 腾艳,王譔,孙中圣,等. 高压无气喷涂涂料雾化特性实验研究[J]. 表面技术,2011,40(6):68—70,100.
TENG Yan, WANG Xuan, SUN Zhong-sheng, et al. Experimental Research on Atomizing Characteristics of Paint for High-pressure Airless Spraying[J]. Surface Technology, 2011, 40(6):68—70, 100.
- [13] 宋会江. 扇形喷嘴的雾化特性研究[J]. 连铸,2011,5(3):31—33.
SONG Hui-jiang. Research Spraying Performance of Flat Nozzle[J]. Continuous Casting, 2011, 5(3):31—33.
- [14] 李敏风. 无气喷涂工艺中专用喷嘴的选择[J]. 现代涂料与涂装,2007,10(4):32—36.
LI Min-feng. Selection of Special Nuzzle for Airless Spraying Process[J]. Modern Paint & Finishing, 2007, 10(4):32—36.
- [15] 郝大光,龚允怡,彭志军,等. 椭圆孔射流的雾化问题[J]. 内燃机学报,1996,11(4):370—377.
XI Da-guang, GONG Yun-yi, PENG Zhi-jun, et al. Atomization of a Liquid Jet from an Elliptical Orifice[J]. Transaction of CSICE, 1996, 11(4):370—377.