

弹药表面喷砂除锈理论与试验研究

刘鹏安, 张怀智, 黄鹏波, 金昌根, 谢全民

(武汉军械士官学校, 武汉 430075)

摘要: **目的** 进一步推进我军弹药维修工作, 完善弹药表面除锈工艺。 **方法** 综合分析多种除锈方法, 确定弹药表面除锈新作业方式, 确定弹药表面喷砂除锈应使用的磨料类型和喷枪倾角, 以 85 加弹丸除锈为例, 对喷砂除锈时弹药基体温度进行理论计算和试验测量, 对比分析内装含能材料的热感度确定安全性。 **结果** 温度最大理论升值为 6.35 ℃, 试验测量平均值为 3.72 ℃, 远低于内装含能材料热感度。 **结论** 利用喷砂技术进行弹药表面除锈可确保作业安全, 有效提高作业效率。

关键词: 喷砂; 含能材料; 弹药除锈

中图分类号: TG580.692; TJ089

文献标识码: A

文章编号: 1001-3660(2015)02-0129-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.02.025

Theoretical and Experimental Research on Sand-blasting for Rust Removal from Ammunition Surface

LIU Peng-an, ZHANG Huai-zhi, HUANG Peng-bo, JIN Chang-gen, XIE Quan-min

(Wuhan Ordnance Petty Officer School, Wuhan 430075, China)

ABSTRACT: **Objective** To further promote ammunition repairing in Chinese army, and to improve the technique of rust removal from ammunition surface. **Methods** Several rust removal methods were comprehensively analyzed, the new operation method using sand-blasting for rust removal from ammunition surface was proposed. The abrasive type and the obliquity of spray gun for rust removal from ammunition surface by sand-blasting were determined. Using the rust removal of 85 plus projectile as an example, theoretical calculation and experimental measurement were conducted for the ammunition substrate temperature during rust removal by sand-blasting, and the safety was assured by comparative analysis of the thermal sensitivity of the energetic materials. **Results** The maximum theoretical temperature increase was 6.35 ℃ and the average experimental measurement was 3.72 ℃, which was far lower than the thermal sensitivity of the energetic materials. **Conclusion** Rust removal from ammunition surface using the sand-blasting technology could ensure the operation safety and effectively improve the operation efficiency.

KEY WORDS: sand-blasting; energetic materials; ammunition rust removal

弹药作为军械装备的重要组成部分,是重要的军事物资,其可靠性和安全性直接影响到武器系统效能的发挥。弹药从生产到部队使用,大部分需要经历相当长的储存时间。弹药在储存的过程中受各种因素

的影响,其原有的战术技术性能会发生变化^[1-2]。为保证弹药的完好性能,保障平时训练和作战的需要,必须对弹药进行维修。弹药维修工作是我军军械装备技术保障活动的重要组成部分,是保证弹药质量,

收稿日期: 2015-01-02; 修订日期: 2015-01-18

Received: 2015-01-02; Revised: 2015-01-18

作者简介: 刘鹏安(1982—),男,河北定州人,硕士研究生,讲师,主要研究方向为弹药修理与销毁技术。

Biography: LIU Peng-an(1982—), Male, from Dingzhou, Hebei, Master graduate student, Lecturer, Research focus: repairing and destruction of ammunition.

确保弹药安全的重要手段,具有重大的军事效益。其中,弹药表面除锈是弹药维修的主要内容,除锈工艺是弹药维修的基础,它对后续整个漆层的喷涂有很大的影响,除锈工艺效果不佳就无法保证修复后的质量,将直接影响弹药的长期储存和使用的可靠性。同时,由于弹药不同于其它物资,其内部装填有炸药等易燃易爆物质,必须确保安全。

1 弹药表面除锈技术现状

目前,弹药除锈技术相对落后,还主要停留在手工作业加简单机械作业的阶段,主要以下 4 个表现。

1) 机具设备陈旧,劳动强度大。所用的除锈设备大部分是 20 世纪的产品,设备仅提供弹药旋转动力,针对不同弹种需要更换不同的配件,存在自动化程度低、结构不合理、通用性差、机具调整复杂、作业人员劳动强度大等问题。

2) 作业工序繁杂,作业效率低下。整个除锈过程需要作业人员先后使用钢丝刷、砂纸等 5 道工序才能完成,均是手工操作,除锈时间约为 40 min,存在前期准备复杂、作业效率低下等缺点。

3) 人为影响大,难以保证维修质量。除锈质量与作业人员的身体状况、精神状态和工作熟练程度等个体因素关联很大,很难保证除锈作业能够达到规定要求。

4) 除锈效果和作业安全间的矛盾突出。传统的弹药除锈中,主要采用除锈材料与弹体之间的摩擦去除表面锈蚀,而摩擦程度与除锈效果之间存在很大的矛盾:所用耗材粒度过大或过度摩擦容易损伤弹药基体、导致温度升高;而在擦拭时摩擦力度过小则会影响弹药表面的除锈效果。在用钢丝转盘除锈时还会产生大量的火花而存在安全隐患。

2 弹药表面喷砂除锈关键技术

目前,在金属表面除锈处理中的方法主要有手工、电动工具、喷射、热除锈、化学除锈、振动除锈等方式^[3-6]。弹药作为一种特殊的装备,由于内部存在炸药、火药装药以及火工元件,使得金属表面通用的除锈方法在弹药表面除锈应用中存在着较大的局限,一直制约着新型除锈设备的设计思路。考虑新的弹药除锈方法时,主要应从弹药安全性,不影响和改变弹药基体、除锈效率、费效比以及环保等方面着

手。

对目前主要的除锈技术进行对比^[7-10],由于弹药装备的特殊要求,热除锈和振动除锈可能会使得内部含能材料发生爆炸,酸洗等化学除锈会对弹药基体产生影响,水射流除锈效果不佳且会对内装含能材料等元件产生影响。喷砂除锈技术可以很好地解决弹药高效除锈、不损伤弹药基体和保证作业安全等问题,一发炮弹弹丸的除锈时间约为 1.5 ~ 2 min,除锈效率远远高于手工除锈和传统摩擦除锈。基于弹药的的特殊性,弹药表面喷砂除锈中的关键点在于磨料的选型、喷枪倾角以及除锈时的安全性等。

2.1 磨料选型

喷砂除锈所使用的磨料主要应根据不同的基体材料及要求进行选择^[11-12]。我军弹药使用的基体材料主要是弹丸钢、黄铜以及少量的铸铁等。目前使用的磨料的品种主要有钢砂、钢丸、石英砂、棕刚玉、铜矿砂、玻璃珠、胡桃壳、铝丸、不锈钢丸等^[13-16]。通过对金刚砂、棕刚玉、核桃砂、玻璃珠等多种磨料进行试验发现:金刚砂和棕刚玉在除锈过程中产生少量火花,而核桃砂的除锈效果不佳。最终确定采用不产生火花且除锈效果最佳的玻璃珠作为炮弹表面除锈磨料。另外,根据弹丸内装填炸药的火焰感度要求,即使砂粒中偶有杂质而产生零星火花,其能量亦不足以引起弹药或炸药爆炸。

2.2 喷枪倾角确定

假设质量为 m 的磨料颗粒以速度 v 从与水平成 α 夹角的方向冲击到弹药基体表面,产生的冲击力为 F ,如图 1 所示。

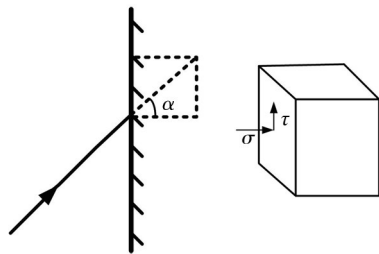


图 1 磨料颗粒冲击示意

Fig. 1 Sketch of abrasive pellet lashing

磨料颗粒对锈渍的冲击力可以分解为一个垂直方向的力 σ 和一个切线方向的力 τ 。则 σ, τ 分别为:

$$\sigma = F \cos \alpha = m v \cos \alpha$$

$$\tau = F \sin \alpha = m v \sin \alpha$$

则锈渍单元体所受到的最大应力为:

$$\delta_{\max}=\frac{\sigma}{2}+\sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2+\tau^2}$$

整理化简得:

$$\delta_{\max}=F\left(\frac{1}{2}\cos\alpha+\sqrt{1-\frac{3}{4}\cos^2\alpha}\right)$$

可以求得,当 α 为 54.7° 时, δ_{\max} 值最大。即在该倾角下工作时,锈渍最容易破裂变形而被清除掉。考虑到磨料从喷枪中喷射出来后存在一定的角度扩散以及目前我军通用弹药的外形,喷枪倾角应该控制在 $45^\circ\sim70^\circ$ 之间。

2.3 安全性分析

弹药除锈时的安全性是第一要素,影响安全性的因素主要为温度,温度升高可能会导致内部含能材料爆炸。

除锈时,气体和磨料混合体在高压空气的推动下能够获得很高的速度,使磨料带有很大的动能,含磨料的高压气流在出口处可以获得超音速度,其马赫数大于 1,即:

$$V_e=Ma\sqrt{kRT_e}$$

根据关系式:

$$Ma=\sqrt{\frac{2}{k-1}\left(\frac{T_0}{T_e}-1\right)},\frac{T_e}{T_0}=\left(\frac{P_e}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

得到:

$$V_e=\sqrt{2\frac{k}{k-1}RT_0\left(1-\left(\frac{P_e}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right)}$$

式中: Ma 为马赫数; k 为比热容; V_e 为气体出口速度, m/s ; P_e 为气体出口压力, Pa ; P_0 为气体滞止压力, Pa ; T_e 为气体出口温度, K ; T_0 为气体滞止温度, K 。

通过调整高压气体压力,常温下当气体出口压力 P_e 与滞止压力 P_0 之比为 $1:4$ 时,通过计算得到的气体出口速度 V_e 约 400 m/s 。

从喷嘴喷出的磨料随气体高速冲击炮弹表面,达到去除锈层的目的。同时,由于高速冲击产生的能量,会使弹药温度上升,如果温度过高,则会引发爆炸等安全事故。在此,必须以最苛刻条件计算炮弹表面升温值。根据能量守恒定律,假定单发炮弹除锈所用砂粒的动能全部转化为炮弹弹体内能,即:

$$\frac{1}{2}m_1v_3^2=cm_2\Delta t$$

式中: m_1 为砂粒质量, kg ; c 为弹体比热容,

$\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$; m_2 为弹体质量, kg ; Δt 为温度升高值, $^\circ\text{C}$; V_e 为出口速度, m/s 。

以 85 加弹丸除锈为例,根据弹丸长度和表面积确定的弹丸除锈时间计算,1 发 85 加弹丸除锈所需砂粒质量 m_1 约为 0.3 kg ,计算所得出口速度 V_e 为 400 m/s ,弹丸基体材料比热容为 $460\text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$,弹体质量为 8.217 kg 。通过计算,得出弹体升高温度最大值为 $6.35\text{ }^\circ\text{C}$ 。

采用设计的喷砂除锈设备进行除锈试验,为确保安全,采用已倒空的 85 加榴弹进行除锈试验,测量试验前后弹体温度,通过试验测得的数据见表 1。

表 1 弹药喷砂除锈试验数据

Tab.1 Experimental data for ammunition rust removal by sand-blasting

试验 弹种	试验频次		
	序号	测量温度/ $^\circ\text{C}$	
		喷砂前	喷砂后
85 加 榴弹	1	24.4	27.2
	2	24.2	27.6
	3	24.5	28.1
	4	24.3	27.8
	5	24.6	27.9

备注:弹体温度使用红外测温仪测量。

试验结果表明,经喷砂除锈后,弹药的温度有所上升,上升值平均为 $3.72\text{ }^\circ\text{C}$,小于理论计算最大值。

温度升值对弹药安全的影响主要取决于弹药内装填炸药的热感度。热感度是指炸药在热作用下发生爆炸的难易程度,它表示炸药在受到热作用以后,温度升高而引起爆炸或着火的能力。弹丸内装常用炸药的热感度见表 2^[17]。

表 2 常用炸药热感度

Tab.2 Heat sensitivity of common explosives

炸药名称	5 min 延期爆发点/ $^\circ\text{C}$	5 s 延期爆发点/ $^\circ\text{C}$
梯恩梯	295 ~ 300	475
特屈儿	195 ~ 200	257
黑索金	225 ~ 235	260
太 安	205 ~ 215	225
硝化甘油	200 ~ 205	222

通过理论计算和试验测量,弹药在喷砂表面除锈

过程中,所产生的温度升值远远低于内装炸药的热感度,其热量不足以引起弹药内部装药爆炸,可见采用喷砂除锈处理弹药是非常安全的。

3 弹药表面喷砂除锈的优点

喷砂技术应用于弹药表面除锈可提高除锈效率、质量和安全性,相对于传统除锈方法,具有以下优点:

1) 使用喷砂技术进行除锈不会产生火花及温度过度升高,有效保证了弹药除锈的安全性。

2) 空气压力等级可进行控制,选择合适的压力等级不会损伤弹药基体。

3) 除锈效果好、成本低,节能,通过设置滤芯除尘装置等,可有效回收磨料再利用,环境污染小。

4) 不需要进行夹紧固定,通用性好,且易于实现机械化、自动化和智能控制。

4 结论

通过理论与试验研究,可以得出采用喷砂方式进行弹药外表面除锈,磨料应选用玻璃珠,喷枪倾角应控制在 $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 之间,单发弹丸的除锈时间为 $1.5 \sim 2 \text{ min}$,可确保除锈时的安全,能够很好地解决除锈效率、除锈质量和降低劳动强度等问题,具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 郝永安,谷智国. 通用弹药维修技术[M]. 武汉:武汉军械士官学校出版社,2005.
HAO Yong-an, GU Zhi-guo. Repairing of Ammunition[M]. Wuhan: Wuhan Ordnance Petty Officer School Press, 2005.
- [2] 张琳. 碳钢和耐候钢在盐雾环境下的腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 1—6.
ZHANG Lin. Study on Corrosion Behavior of Carbon Steel and Weathering Steel in Salt Spray Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 1—6.
- [3] 谢建丽. 带锈碳钢在稀 NaCl 溶液中的腐蚀行为[J]. 表面技术, 2014, 43(2): 55—59.
XIE Jian-li. Corrosion Behavior of Rusted Carbon Steel in Diluted NaCl Solution[J]. Surface Technology, 2014, 43(2): 55—59.
- [4] 李艳宾. 钢铁件除油除锈防锈一步法处理液的研究[J].

河北化工, 2012, 35(5): 108—112.

LI Yan-bin. Investigation on Degreasing Derusting and Be Antirust for Steel Parts by One Step Solution[J]. Hebei Chemical Industry, 2012, 35(5): 108—112.

- [5] 邱兆飏. 脉冲激光除锈工艺研究[J]. 应用激光, 2013, 33(4): 42—46.
QIU Zhao-biao. Process Parameter Study on the Removing Rust Using Pulsed Laser[J]. Applied Laser, 2013, 33(4): 42—46.
- [6] 戴良博. 冰粒水射流除锈实验研究[J]. 煤矿机械, 2010, 31(8): 92—95.
DAI Liang-bo. Experimental Study of Rust Removal Using Ice Water Jet[J]. Coal Mine Machinery, 2010, 31(8): 92—95.
- [7] 任启东. 大直径旋转磨料水射流除磷除锈技术研究[J]. 流体机械, 2012, 40(12): 68—72.
REN Qi-dong. Technology Research of Large Diameter Abrasive Water for Descaling and Derusting[J]. Fluid Machinery, 2012, 40(12): 68—72.
- [8] 衣正尧. 纯水射流除锈性能的仿真对比分析与试验研究[J]. 流体机械, 2012, 40(6): 5—9.
YI Zheng-yao. Modeling Simulation and Analysis on Ultra-high Pressure Pure Water Jet Stripping Impact for Ship Rust Removal[J]. Fluid Machinery, 2012, 40(6): 5—9.
- [9] 胡丽. 酸洗除油除锈添加剂的研究[J]. 广州化工, 2013, 41(9): 52—54.
HU Li. Study on Acid Pickling Degreasing Rust Removing Oil Additive[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2013, 41(9): 52—54.
- [10] SUNGKYU L. Enrichment by Air Classification of Indium Components from in-containing Scrap Powders Scraped by Sand-blasting Chamber Shields of Sputter Coaters[J]. Real Metals, 2010, 29(1): 1—7.
- [11] 王志刚. 喷砂工艺除尘设备的改进[J]. 电镀与精饰, 2010, 32(9): 23—24.
WANG Zhi-gang. Improvement of Dust Remover in Sand-blasting for Electroplating[J]. Plating and Finishing, 2010, 32(9): 23—24.
- [12] 王长江. 自动喷砂除锈装置在西气东输三线管道工程的应用[J]. 流体机械, 2014, 42(3): 53—56.
WANG Chang-jiang. Automatic Sand-blasting Equipment Applied to 3rd West-east Natural Gas Project[J]. Fluid Machinery, 2014, 42(3): 53—56.
- [13] 单志鹏. 人工喷砂除锈的问题及改进措施[J]. 变压器, 2013, 50(5): 38—41.
SHAN Zhi-peng. Problems and Improvement of Artificial Blast Sanding Rust Removal[J]. Transformer, 2013, 50(5): 38—41.

- [14] 谢孟华. 钢桥面喷砂除锈施工工艺研究[J]. 交通标准化, 2014, 42(9): 32—34.
XIE Meng-hua. Construction Technology of Sandblasting Rust Treatment for Steel Bridge Deck[J]. Transportation Standardization, 2014, 42(9): 32—34.
- [15] 易丞波. 钢渣作船体喷砂除锈磨料的可行性研究[J]. 表面技术, 2010, 39(4): 91—93.
YI Cheng-bo. The Study on Feasibility of Steel Slag Abrasive Used in Shot Peening Derusting in Hull[J]. Surface Technology, 2010, 39(4): 91—93.
- [16] 钟鹏. 风淬转炉渣作为喷砂磨料的可行性及效果研究[J]. 表面技术, 2014, 43(2): 49—54.
ZHONG Peng. Feasibility and Application Effect Research of the Wind Quenching Slag as Sand Blasting Abrasive[J]. Surface Technology, 2014, 43(2): 49—54.
- [17] 陈玲, 刘鹏. 炸药与火药[M]. 武汉: 武汉军械士官学校出版社, 2008.
CHEN Ling, LIU Peng. Explosive[M]. Wuhan: Wuhan Ordnance Petty Officer School Press, 2008.

(上接第 37 页)

- [11] HU Rong-gang, ZHANG Su, BU Jun-fu, et al. Recent Progress in Corrosion Protection of Magnesium Alloys by Organic Coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 2012, 73: 129—141.
- [12] 许晨阳, 杨盼, 刘彩梅, 等. AZ91D 镁合金表面激光熔覆 Al60Si40 涂层研究[J]. 表面技术, 2009, 38(6): 21—23.
XU Chen-yang, YANG Pan, LIU Cai-mei, et al. Laser Surface Cladding of Al60Si40 Coating on AZ91D Mg Alloy[J]. Surface Technology, 2009, 38(6): 21—23.
- [13] 王霞, 彭健锋, 张志东, 等. 化学镀 Ni-P 镀层的应用现状[J]. 西部探矿工程, 2006(增刊): 135—137.
WANG Xia, PENG Jian-feng, ZHANG Zhi-dong, et al. The Application Status of Ni-P Coating[J]. West-china Exploration Engineering, 2006(S): 135—137.
- [14] 朱丹, 丁毅, 朱靖, 等. AZ31 镁合金化学镀 Ni-Cu-Sn-P 前处理工艺的研究[J]. 电镀与环保, 2012, 32(3): 25—27.
ZHU Dan, DING Yi, ZHU Jing, et al. A Study of the Pre-treatment for Electroless Ni-Cu-Sn-P Plating on AZ31 Magnesium Alloy[J]. Electroplating & Pollution Control, 2012, 32(3): 25—27.
- [15] ZHANG W X, JIANG Z H, LI G Y, et al. Electroless Ni-Sn-P Coating on AZ91D Magnesium Alloy and Its Corrosion Resistance[J]. Surface & Coatings Technology, 2008, 202: 2570—2576.
- [16] 刘克铭, 马壮, 李海玉, 等. Ni-Sn-P 化学镀层对镁合金耐腐蚀性能的影响[J]. 热加工工艺, 2013, 42(8): 142—144.
LIU Ke-ming, MA Zhuang, LI Hai-yu, et al. Effect of Ni-Sn-P Coating on Corrosion Resistance of Magnesium Alloy[J]. Hot Working Technology, 2013, 42(8): 142—144.
- [17] 贺忠臣. AZ31 镁合金在碱性溶液中化学镀 Ni-P/Ni-Sn-P 工艺研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2007: 46—57.
HE Zhong-chen. Investigation of Electroless Plating Ni-P/Ni-Sn-P in an Alkaline Solution on AZ31 Magnesium Alloy[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2007: 46—57.

(上接第 114 页)

- [14] 田伟, 谢发勤, 吴向清. 锌镍合金电镀工艺研究[J]. 材料保护, 2008(1): 34—35.
TIAN Wei, XIE Fa-qin, WU Xiang-qing. Electroplating of Zinc Nickel Alloy[J]. Materials Protection, 2008(1): 34—35.
- [15] 何为. 锌镍合金的异常共沉积与正常共沉积的转变[J]. 表面技术, 1998, 27(2): 22—24.
HE Wei. Anomalous Codeposition of Zinc Nickel Alloy Deposits Normal Shift[J]. Surface Technology, 1998, 27(2): 22—24.