

doi: 10.7690/bgzd.2023.08.002

报废炮弹分解拆卸技术现状与发展

王笑笑, 张峰, 闫青春, 廖凯

(中国人民解放军 32736 部队, 河南 洛阳 471000)

摘要: 针对国内外具有代表性的报废炮弹分解拆卸技术案例以及我军报废弹药分解拆卸技术现状和存在的问题, 提出报废炮弹分解拆卸技术向多品种和小批量、深度拆解和精细化选分、柔性化和智能化以及机控本安化转变。研究表明, 该研究可为今后报废弹药分解拆卸技术发展提供参考。

关键词: 报废弹药; 分解拆卸技术; 柔性化; 智能化

中图分类号: TJ410.89 **文献标志码:** A

Present Situation and Development of Abandoned Ammunition Disassembly Technology

Wang Xiaoxiao, Zhang Feng, Yan Qingchun, Liao Kai

(No. 32736 Unit of PLA, Luoyang 471000, China)

Abstract: In view of the representative cases and technologies of the disassembly and dismantlement technology of discarded shells at home and abroad, as well as the status quo and existing problems of the disassembly and dismantlement technology of discarded shells reported by our military, it is proposed that the disassembly and dismantlement technology of discarded shells should be transformed into multi variety and small batch, deep disassembly and refined sorting, flexibility and intelligence, and machine control safety. The research results of the status quo of the disassembly and dismantlement of discarded ammunition show that this research can provide a reference for the development of the disassembly and dismantlement technology of discarded ammunition in the future.

Keywords: abandoned ammunition; disassembly and disassembly technology; flexibility; intelligence

0 引言

为建设国防力量, 国家和军队需要储存大量炮弹火药作为重要战略储备物资^[1-3]。报废弹药是指军队进行日常军事演习以及过往战争冲突中遗留下来的因引信失效、炸药变质或其他原因而没有发生爆炸、燃烧等作用的各类炸药、火药和未爆弹药; 使用性能不符合作战、演习和储存要求, 超过允许使用期限失去修理和使用价值的耗材^[4-7], 或者按照弹药质量分级标准被定为废品的弹药, 以及按相关部门文件规定作报废处理的弹药等。报废弹药销毁方法的选择主要取决于弹药的结构、弹体材料、销毁目标和环境条件等, 同时还要考虑到环保要求和经济及社会效益。

废旧弹药常用的处理技术主要有分解拆卸、倾倒排空^[8-13]、焚烧销毁、爆炸销毁^[14-18]等。对大批量、单一品种报废弹药进行分解拆卸销毁是最为经济高效的选择, 对于一些仍有使用价值的报废弹药部件应当及时进行回收再利用, 最大限度地避免有用资源的浪费。尽量避免发射药、猛炸药、烟火剂、

引信、底火等弹药原件材料销毁产生的废水、废气、废渣污染环境, 尽量消除销毁过程中的噪声、冲击波、振动、破片、飞石等对周边环境的影响。笔者综述了近年来国内外报废弹药分解拆卸技术现状以及我军报废弹药分解拆卸技术现状和存在的问题, 并对报废弹药分解拆卸技术的柔性化、智能化给出建议, 以期对今后报废弹药分解拆卸技术发展提供参考。

1 国内外报废炮弹分解拆卸技术现状

报废炮弹销毁中的分解拆卸^[19]是指利用一定的技术手段改变炮弹及其元件的原有结构, 但保持元件或零部件原有形态基本不变的技术方法。拆卸销毁时, 一般先按大件分解, 再进行原件分解。炮弹分解拆卸大体上按生产装配顺序逆向拆解, 除非必要且能保证安全, 一般不对弹药元件或零部件进行切削加工, 即分解拆卸后的弹药元件和零部件基本上保持原有形态不变。

炮弹的分解拆卸一般需要多个分解拆卸步骤,

收稿日期: 2023-04-07; 修回日期: 2023-05-05

基金项目: JN 科研基金(LB2021A010057)

作者简介: 王笑笑(1996—), 男, 安徽人。

如定装式后装炮弹分解拆卸包括引信拆卸、底火拆卸、拔弹、装药排空等具体流程。炮弹的分解拆卸一般的作业组织形式是先将大部件分解,再进行元件分解,最终目的是将含能材料(主要是炸药、火药等爆燃物质)或包含含能材料的元件与惰性元件分离开来,为后续处理作准备^[20]。拆卸弹药时必须考虑能量消耗、综合成本及对周边环境的影响,以及弹药拆卸时的安全防护。

1.1 国内发展现状

刘晨敏^[21]研发了一种炮弹自动拆卸系统,将弹药旋转拆卸与分解技术有效结合,能够完成多种口径、多种型号的弹药拆解自动化。拆解工艺是先运用旋转拆卸拆除引信和底火,然后运用拔弹将弹丸和药筒分解。自动拆解系统主要包括炮弹运输机、弹体分解机和转运机械臂 3 大部分,全面覆盖无人自动化流程,提高报废弹药的拆解速率,提高劳工的工作效率,且有效避免了拆解过程中可能造成的安全风险。控制系统主要由 PLC、触摸屏、压力传感器和伺服驱动器等组成。作为控制系统的核心,PLC 一方面协调控制元件对信号的采集、处理和指令的执行;另一方面,通过 Host-Link 和 EtherCAT 协议与触摸屏和伺服驱动器进行数据交换。

钟明寿等^[22]介绍一种导爆索爆炸拆分废弃常规弹药的方法,在弹药壳体预定位置缠绕导爆索,再用胶布包裹,以便固定;露出的索头连接电雷管,然后点火引爆即可。此方法对报废防坦克地雷取得了初步试验的成功,方法简单、易操作,可广泛应用于常规废弃弹药的销毁。

夏鑫^[23]设计了一种炮弹无人自动拆解系统,该系统包括自动化运输及定位系统、弹药拆卸系统和远程监控系统 3 个主要部分。自动化运输及定位系统中针对机械臂进行了详尽介绍,对机械臂手部模块、腕部模块、直臂模块和横臂模块进行了优化设计;弹药拆解系统中,设计了新型的弹药底火旋拧装置、拔弹装置和切割倒药装置,满足了自动拆解的需求。远程监控系统从控制系统原理介绍入手,分别从硬件结构和软件需求上确定了控制系统,通过上位机与 PLC 的通信,军械仓库操作人员可以远程监控拆解作业,提高了传统作业中操作工的工作效率、自动化程度和安全可靠性。系统的多项性能指数进行了多次重复测试,并在军械仓库展开应用,符合预期效果。

徐兆明等^[24]针对轻量弹药的销毁拆除问题,设

计了一种移动式销毁系统,由手榴弹分解机、小口径炮弹分解机和自动控制系统组成。该系统可用于机动销毁报废的通用轻量弹药,对口径小于 37 mm 的定装式炮弹进行顶部引信旋卸、拔弹分离效果较好,并能对木柄手榴弹和 82 系列无柄手榴弹拆卸分解。分解过程全程智能化、无人化,减少了操作人员工作强度,并有效降低了操作工的安全危险性。防护室设计经过理论运算、有限元分析和实践检验后得出,能提高作业安全系数。在分解过程中采用了元器件检测、控制温度、防范保护和减震减压等各种保护措施,训练系统迅速应对复杂多变的作业环境。

杨青山等^[25-26]针对小口径报废炮弹拆卸进行研究,为解决引信旋卸系统“失控”、装药系统倒空和控制系统问题,对底火处理装置和中央控制系统进行重新设计。该系统分为引信旋卸装置、弹体分离装置和装药倒空装置,其中控制系统采用分布式 I/O 系统的 Profibus-DP 网络,实现人机分离,操作工于安全区控制室内进行远程操作。分布式 I/O 是一种高度模块化的 I/O 系统,可使用 S7-300 可编程序对信号模块、功能模块、通信模块等模块进行拓展,适用于复杂高精密高强度的自动化系统深度学习。

罗同杰等^[27]针对国内弹药拆卸技术现状以及操作系统发展水平,设计一种针对废旧单兵破甲弹销毁的多端高压水射流切割系统。系统由切割器、多切割头平台、超高压发生器、水质处理装置、工件随动装置和控制系统 6 部分组成;拆分处理是将其中的引信、炸药、发射药、点火具这些爆炸危险品拆除,使其完全去功能化;高压水切割拆解采用高压水射流对破甲弹 4 部位同时进行环形切割,使部件分离,取出其中的爆炸危险品。系统实现了危险作业完全人机隔离,避免危险品的频繁装夹、移送,简化了作业流程,安全可靠性好;避免了破甲弹拆分不开,需炸毁处理的安全隐患,减少了环境污染,同时可提高材料回收率;实现破甲弹拆解自动化,提升破甲弹拆解生产的本质安全度,有效提高操作人员的工作效率,自动化程度高。

1.2 国外发展现状

Roeske 等^[28]研发一种飞秒激光切割高能炸药以及推进剂的技术,原理是利用超短脉冲光在短时间快速切割废旧弹药,飞秒量级的激光脉冲能量超出金属壳体所能承受的压力极限,壳体瞬间汽化。

由于激光作用时间极短，汽化产生的热量难以散布到药体周围对其造成热影响，从而发生了“冷”切割过程。该项技术利用 100~150 飞秒数量级的激光脉冲切割，产生多光子离子化体和等离子体。该过程发生于药体晶格振动周期数量级的时间内，由于时间短，激光脉冲切割产生的能量无法嵌入药体晶格之中，而是经由等离子体的冷却和流体膨胀将能量输送到药体表面，从而导致弹药壳体分离，进行分解拆卸。飞秒激光切割技术安全高效，对环境无污染，可应用于多种危险环境中，但使用及维护成本较高，要求环境苛刻，尚未实现全面工业化普及。

美国 TC 公司针对废旧弹药倒空研发了一种全自动化、连续化的高压液氮射流设备。该设备利用液氮等低温流体流动过程中产生的高压射流动能高频率冲击弹药装药，使其发生脆性断裂、破碎、脱落和溶解，从而实现废旧炮弹药体与壳体分离。该方法可以快速高效、安全无风险分解拆卸废旧炮弹。

Griffiths 等^[29-30]利用超低温冷冻来处理废旧炮弹，在废旧弹药周围喷洒冷冻液体，削弱爆炸产生的爆轰波的威力，并且收集未爆弹药冷冻处理便后期处理销毁，还对能否采用该技术深入处理推进剂进行了研究。该技术属于装药低温倒空技术的一种方式，常见的一种方式是利用高低温循环倒空，在低温环境下对弹药进行冷冻，然后升至室温，再冷冻再升温，不断重复循环，导致药体内部的热应力分布不均，形成裂纹，随后发生破碎，最后从设备中取出破裂药体，达成废旧弹药的拆卸掏空；第 2 种方式是在低温环境紧急处理未爆弹，先进行冷冻使弹药失去引爆能力，然后进行分解拆卸，此方法风险较低，工作强度低，适用于人口密集区域的突发事件作业。

2 我军报废炮弹分解拆卸技术存在的问题

目前，我军需要批量销毁的报废弹药中，各类炮弹、火箭弹品种数量所占比例可达 75%~80%，而且现有炮弹分解拆卸作业线存在着传输线及配套设备陈旧落后，机械化自动化程度低；销毁作业人工辅助环节多，劳动强度大，操作人员职业健康防护水平低；危险工序隔爆措施简单，安全防护能力弱；现场管理简单粗放、信息化程度低等问题。

2.1 工房设施陈旧，功能落后

目前，我军销毁机构共建有报废弹药销毁作业

线 11 类，其中炮弹分解拆卸作业线 6 类，基本采用 1 类弹种建 1 条作业线，配套建设对应标准的工房、工间，建设面积数量需求多，拆解作业线分弹种多线布设，工房设施陈旧功能落后。作业工房结构功能落后，不能满足可靠防爆以及人机隔离要求。危险工序工间之间没有可靠的防爆隔离措施，工间弹药限量不能精准有效控制。

2.2 自动化智能化程度低

当前，我军炮弹分解拆卸设备大多配套使用的是第 1 代定型或改进型设备。作业线弹药传输方式一般采用链板式或皮带式传送带，不能实现准确工位起停和定量积放功能。分解拆卸机具处于机械化、半自动化状态，大多需要人工辅助才能完成，自动容错纠错能力弱。个别弹种的自动分解拆卸设备，仅部分工序实现自动拆解功能，配发或自研设备升级换代慢，自动化智能化程度低。

2.3 作业人员密集安全压力大

目前，我军销毁作业准备、弹药上下传送线、发射装药倒空等工序仍然采用人工操作，作业人员密集且安全压力大，危险工间内操作人员至少 2~3 人，多的达到 8~9 人，定员定量较难控制。

2.4 职业健康防护水平较差

在弹丸装药的倒空过程中，工房内会产生较高浓度的梯恩梯(TNT)蒸汽和粉尘或者二硝基萘、黑索金(RDX)、奥克托今(HDX)等有害物质的挥发物，操作人员作业时间长、连续接触、接触有害物质浓度水平较高等问题对作业人员的健康构成了危害，操作人员暴露和接触的职业危害因素较多，职业健康防护水平较差^[31]。

3 报废炮弹分解拆卸技术发展方向

从 20 世纪 90 年代开始，特别是进入 21 世纪以来，经过部队销毁机构、工厂的集中销毁，库存报废弹药越来越少，传统弹药大批量报废销毁已接近尾声。随着我军作战理念、作战方式的转变，新型弹药的生产储存向多品种、少批量方向转化^[32]。

随着我军实战化进程的深入推进，部队训练演练更加频繁，弹药消耗量不断增多，弹药的生产与消耗逐步达到平衡，新产生的报废弹药逐渐减少；因此，报废弹药销毁现状由少品种、大批量朝着多品种、小批量的方向转变，导致其发展方向也随之改变。

3.1 弹药深度拆解和精细化

分解拆卸方式由大件肢解型向深度精细化方向拓展。传统弹药的分解拆卸销毁主要是对大件进行肢解,然后再对有含能材料的元部件进行烧毁或炸毁处理,这种销毁方式回收利用率低,对环境污染大,已经不符合新时代报废弹药销毁绿色无害化发展理念。

自 20 世纪 80 年代以来,新型弹药在我军装备中的报废比例逐渐增加,对于这些具有远程压制、态势感知、精确打击、高效毁伤等功能的新型弹药,高能混合炸药、云炸药、电子时间引信等新原理、新技术、新结构、新工艺得到广泛应用。这些新型弹药已逐渐成为未来废弃炮弹分解和拆卸的主要目标^[33]。特别是高新技术弹药的结构组成与传统弹药相比较,稀土有色金属、高能量火炸药、电子元器件等零部件比例明显增多,对这些高价值、高污染的原材料、元部件进行回收再利用或无害化处理,必须进行深度拆解和精细化选分。

3.2 作业线柔性化、智能化

拆卸技术由机械化半自动化向柔性化、智能化方向发展^[34-35]。传统报废弹药销毁作业主要依托分解拆卸、装药倒空和烧炸毁等技术手段,人工干预多、单机作业多、体力劳动多的特点比较明显,连续化、自动化、少人化程度不高,安全与效率都无法得到保障。迫切需要对现有作业线进行自动化升级改造或重新研发,构建自动化无人值守、非接触隔离操作、一站式柔性处理、无害化绿色销毁的新一代销毁装备设备,实现销毁装备设备向智能操控、安全连锁、在线监测等智能化无人化装备设备转变,减轻销毁作业强度,提升销毁作业效率,保护销毁作业人员职业安全与健康。

3.3 机控本质安全化

分解拆卸作业安全由人控随机型向机控本质安全型提升。现有的报废弹药分解拆卸工房,大多采用钢混或砖混结构,防爆隔爆能力弱。现行的分解拆卸作业线,大都采用挖洞穿墙方式,危险工序工间之间基本没有采取有效的隔离隔爆措施。在用的分解拆卸设备仍然处于机械化、半自动化水平,所有操作必须通过人员辅助才能完成,这些设施设备的功能和技术状态,不能满足销毁安全要求,必须进行设施设备升级换代,从人控随机型向机控本质型的方向逐步提升。

4 结论

随着我国国防和军队现代化的飞速发展,弹药武器的更新换代以及超出存储年限的弹药不断增多,对于绿色、高效、安全的报废炮弹分解拆卸技术需求也迫在眉睫。目前国内外利用高压水、激光飞秒切割拆解技术用以切割拆解报废炮弹以及研制多种适用于弹药自动拆解的系统、弹药拆分柔性工作台,尚具有一定的局限性,不能完全满足报废炮弹分解拆卸的新需求,深度拆解和精细化选分、柔性化和智能化、机控本质安全型转变将是报废炮弹分解拆卸技术未来发展的重要方向。

参考文献:

- [1] 尹建平,王志军. 弹药学[M]. 北京:北京理工大学出版社,2014:1-2.
- [2] 李金明,雷彬,丁玉奎. 通用弹药销毁处理技术[M]. 北京:国防工业出版社,2012:25-33.
- [3] 徐其鹏,陈松,罗志龙,等. 国外废旧弹药回收全流程技术进展[J]. 飞航导弹,2016(1):67-73.
- [4] 姜建武,龙源,谢兴博. 废弃火炸药和常规弹药的处置与销毁技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007:61-80.
- [5] 李全俊,王国辉,雷林,等. 废旧弹药拆分技术现状与发展[J]. 兵工自动化,2018,37(5):93-96.
- [6] BICKFORD A. Militaries and militarization of anthropology[J]. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences,2015(5):483-489.
- [7] ROMANO J A. Toxicology in the US Department of Defense (DoD)[J]. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition) -ReferenceModule in Biomedical Sciences,2014(7):760-765.
- [8] 施洪杰,向红军,吕庆教,等. 废旧弹药装药倒空现状与发展[J]. 兵工自动化,2021,40(12):33-37.
- [9] 霸书红,沙育林,陈永进,等. 废旧弹药装药倒空方法的研究进展[J]. 安全与环境学报,2018,18(1):291-295.
- [10] WILKINSON J, WATT D. Review of demilitarization and disposal techniques for munitions and related materials[R]. Springfield: NATO Munitions Safety Information Analysis Center,2006.
- [11] 罗同杰,张保良,宁灵生. 高压水射流技术倒出弹体装药的试验研究[J]. 中北大学学报(自然科学版),2014,35(2):122-126.
- [12] 满海涛,罗兴柏,丁玉奎,等. 基于水力空化技术的照明炬冲蚀试验研究[J]. 爆破器材,2015,44(4):60-64.
- [13] 郭萌萌,廉鹏,陈松,等. 基于水力空化原理倒出装药的模拟与实验[J]. 兵工自动化,2019,38(8):58-61.
- [14] 郭涛,齐世福,王树民,等. 大批量废旧弹药爆破销毁技术的应用[J]. 工程爆破,2011,17(2):89-91.

- [15] 杨扬, 吴荫松, 黄尚芬, 等. 爆炸物品及废旧炮弹销毁方法与实践[C]//第九届全国工程爆破学术会议. 青岛: 中国力学学会, 中国工程爆破协会, 2008: 913-916.
- [16] 罗福友, 周浩仓, 罗福龙, 等. 废旧手榴弹销毁设计与实施[J]. 价值工程, 2016, 35(26): 262-264.
- [17] 张志辉, 郑恒威. 碉室爆炸法销毁爆炸物品[J]. 广东公安科技, 2019(2): 72-74.
- [18] 郝文博, 同剑, 赵云涛, 等. 便携式非接触聚能射流引爆器销毁废旧弹药[J]. 工程爆破, 2020, 26(3): 75-78, 88.
- [19] 李金明, 王国栋, 张玉令, 等. 报废弹药拆卸销毁安全性探讨[J]. 工程爆破, 2016, 22(1): 46-48, 60.
- [20] 瞿新富, 应安明, 许晨昱, 等. 浅谈废弹药销毁过程中的安全问题及对策[J]. 四川兵工学报, 2002, 23(4): 36-37.
- [21] 刘晨敏. 一种自动拆解系统设计[J]. 机械工程师, 2019(4): 63-64, 67.
- [22] 钟明寿, 龙源, 孙远征, 等. 导爆索爆炸拆分废弃常规弹药的初步试验研究[J]. 爆破器材, 2008(2): 31-34.
- [23] 夏鑫. 炮弹无人自动拆解系统的研究[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [24] 徐兆明, 闫立凯, 杨晓波. 手榴弹与小口径炮弹移动式销毁系统[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 43-45, 84.
- [25] 杨青山, 郭建新, 郝云峰, 等. 战斗部装药热胀特性试验与分析[J]. 兵工自动化, 2018, 37(7): 92-96.
- [26] 朱贺, 赖利国, 张欲立, 等. 基于小口径报废炮弹拆卸系统的研究[J]. 兵工自动化, 2019, 38(12): 86-89.
- [27] 罗同杰, 孙长稳, 杜文胜, 等. 废旧单兵破甲弹高压水切割拆解设计和技术探析[J]. 价值工程, 2014, 33(4): 305-306.
- [28] ROESKE F, BENTEROU J, LEE R, et al. Cutting and machining energetic materials with a femtosecond laser[J]. Propellants Explosives Pyrotechnics, 2003, 28(2): 53-57.
- [29] GRIFFITHS S, HANDROCK J, KASBERG D, et al. Cryocycling of energetic materials: final report[R]. Albuquerque: Sandia National Laboratories, 1995.
- [30] GRIFFITHS S, HANDROCK J, KASBERG D, et al. Cryocycling of energetic materials: status report for FY94[R]. Albuquerque: Sandia National Laboratories, 1995.
- [31] 曹宏安, 张怀智, 黄鹏波, 等. 报废弹药销毁处理职业危害因素分析与控制[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(3): 31-36.
- [32] 刘治德, 徐向东, 孙鹏展. 浅谈机载制导武器批生产柔性制造技术[J]. 飞航导弹, 2007(11): 57-61.
- [33] 夏福君, 宋桂飞, 肖东胜, 等. 报废弹药绿色无害化处理技术发展思路探讨[J]. 兵工自动化, 2011, 30(5): 94-96.
- [34] 郭宇飞, 侯保林. 传动柔性及负载变化弹药传输机械臂位置控制及柔性振动抑制[J]. 振动与冲击, 2015, 34(22): 1-8.
- [35] 邵晓东, 王丽梅, 宋海龙, 等. 柔性智能化装配系统关键技术研究[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(5): 102-104, 107.

(上接第 4 页)

参考文献:

- [1] 徐公华, 张申. 雷达对低空目标探测的地形遮蔽算法研究[J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(12): 185-186.
- [2] 唐晓兵, 张琳, 刘晨. 防空目标分配中雷达遮蔽区问题研究[J]. 现代防御技术, 2012, 40(42): 89-92, 97.
- [3] 郭福喜. 炮兵射击指挥[M]. 张家口: 炮兵指挥学院, 2009.
- [4] 钟宜兴, 谢文, 柳建民, 等. 中国人民解放军陆军炮兵射击教程[M]. 北京: 解放军出版社, 2018: 81-82.
- [5] 郎守林, 郭玉仑. 射击实施[M]. 张家口: 炮兵指挥学院, 1999.
- [6] 汤国防, 高瑞明, 闫双平, 等. 机动雷达阵地堪选及实战对抗战术[J]. 火力指挥与控制, 2020, 45(10): 111-116.
- [7] 陈中起, 任波, 张斌, 等. 目标通视性检测建模与仿真[J]. 火力指挥与控制, 2010, 35(2): 45-47.
- [8] 施光燕, 钱伟懿, 庞丽萍. 最优方法[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 83-87.
- [9] 肖悠南. 现代数值计算方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010: 110-116.
- [10] 杨大地, 王开荣. 数值分析[M]. 5 版. 北京: 科学出版社, 2013: 106-110.
- [11] 薛毅. 数值分析与科学计算[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 190-195.