

doi: 10.7690/bgzd.2018.05.024

废旧弹药拆分技术现状与发展

李全俊¹, 王国辉², 雷林¹, 胡翔¹

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所装药中心, 四川 绵阳 621000;

2. 辽沈工业集团有限公司, 沈阳 110045)

摘要: 为安全、环保、经济高效地处理废旧弹药, 分析研究废旧弹药拆分技术的现状和发展。研究弹药拆分的过程及拆卸元件, 分别从弹药拆卸和装药倒空 2 个方面对国外发达国家的拆分技术现状进行阐述, 针对环境保护和资源利用, 分析低成本和环境友好的废旧弹药拆分技术发展方向。该研究对改善我国废旧弹药处理现状, 实现安全、绿色、高效处理具有重要意义。

关键词: 废旧弹药; 弹药拆卸; 装药倒空

中图分类号: TJ410.2 **文献标志码:** A

Present Situation and Development of Waste Ammunition Decomposition Technology

Li Quanjun¹, Wang Guohui², Lei Lin¹, Hu Xiang¹

(1. Center of Ammunition Charging, Automation Research Institute of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China; 2. Liao Shen Industrial Group Corporation, Shenyang 110045, China)

Abstract: For safe, environmental, economical and efficient disposal of waste ammunition, analyze the present situation and development of the separation technology of waste ammunition. Investigate process of ammunition split and demolition unit information, expand on technology situation of developed countries ammunition demolition and loading empty, for environmental protection and resource utilization, to analyze the development direction of low cost and environmentally friendly waste ammunition separation technology. It is of great significance to improve the disposal status of waste ammunition in our country and to achieve safe, green and efficient treatment.

Keywords: waste ammunition; ammunition demolition; loading empty

0 引言

废旧弹药指超过存储寿命年限以及战场遗弃, 性能和质量下降, 不能满足作战、训练要求, 失去军事利用价值的弹药, 或者因为新技术、新装备, 淘汰不再使用的弹药^[1]。废旧弹药由于其固有的不稳定性, 甚至存在毒性, 具有潜在危险。同时, 这些弹药需要占用大量库房进行存储, 在弹药供应、使用等方面有可能引发混乱, 不利于军事斗争准备。进入和平年代以来, 许多国家为战备存储的弹药逐步进入报废期, 废旧弹药的数量越来越多、品种也逐渐增多, 管理难度成倍增加。如何安全、环保、经济高效地处理这些废旧弹药成为各国关注的热点问题。废旧弹药拆分作为弹药销毁后续工艺的基础工序, 如烧毁、炸毁、含能化回收等处理前都需要拆分, 在整个废旧弹药销毁处理流程中起着重要作用, 越来越受到各国的重视。

1 废旧弹药拆分基本信息

弹药的拆分一般是按照弹药生产时的装配逆反

顺序进行, 是破坏性的不可逆过程, 主要包括 2 方面: 1) 弹体自身结构的拆分, 比如发射药筒与弹丸分离、引信与弹丸分离等; 2) 将含能材料(主要是火炸药等爆燃物质)或含有含能材料的弹药元件与惰性材料(如金属材料)或元件分离开, 比如发射药倒空、弹丸装药倒空等。

废旧弹药虽然不能满足作战或者训练的需要, 但其原有的燃烧、爆炸属性并没有改变。引信、传爆管和底火等敏感元件具有易燃易爆特性, 在受到外界能量的激发时, 可能引发燃烧、爆炸事故。弹药拆分技术可以先将敏感元件去除, 以降低弹药的敏感度, 提高报废元件后续运输、拆卸、销毁的安全性。

废旧弹药的拆分与其他废旧物资的拆分处理具有明显的不同, 主要表现为拆卸涉及的材料多、成分复杂、易燃易爆、有毒和安全防护困难等。一般弹药的拆卸元件相关信息如表 1^[2]所示。

收稿日期: 2018-02-11; 修回日期: 2018-03-09

作者简介: 李全俊(1987—), 男, 陕西人, 硕士, 工程师, 从事弹药装配技术研究。

表 1 拆卸元件信息

元件名称	基本信息
引信	机械引信、电引信、高膛压旋(非)转弹药引信、低膛压弹药旋(非)转引信
点火具	最低发火电流、可靠防护电流
发射药、推进剂	粒状药, 长(短)管状药, 粗(细)管状药, 片状药, 粉状药
弹丸、传爆管	梯恩梯、梯荼、梯黑铝、特屈尔等
底火	电击发、机械击发、电撞两用底火

2 弹药拆卸技术现状与发展

我国对废旧弹药的处理以安全为主, 处理手段以销毁为主, 在资源的回收利用方面, 技术手段相对薄弱, 因此目前主要采用焚烧、爆破和机械切割等方法。随着技术的发展, 国外废旧弹药拆卸主要向远程操控、批量化处理发展, 以安全可靠为前提, 更加注重工艺装备的自动化、柔性化和智能化。随着工业互联网的应用与普及, 西方发达国家将搬运机器人、机器视觉和智能管控等高新技术应用其中, 实现了多种类型废旧弹药大规模、自动化拆分^[3]。

2.1 自动拆卸技术

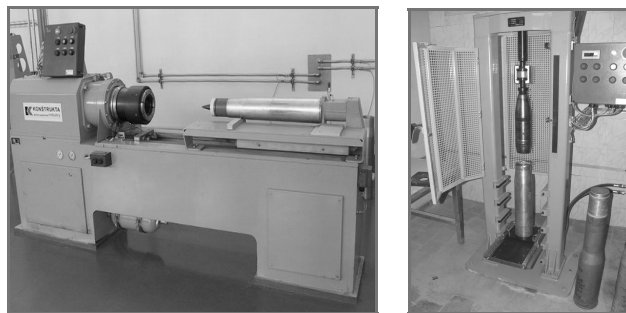
美国政府从 2002 年起资助武器弹药去军事化联合技术方案(JDTP)计划, 通过加强军队与企业间的合作实现废旧弹药的安全处理。比较典型的是麦卡莱斯特陆军弹药厂和桑迪亚实验室联合研制的弹药拆分装置, 可拆解 30~120 mm 口径的定装弹药、地雷等。该装置采用机器人技术, 计算机远程控制拆卸, 智能传感器在线采集机器人的相关操作数据。当弹药表面出现凹痕或者损伤时, 机械手根据传感器采集反馈回来的不同摩擦力, 选择适当的拆卸方式与力度。采用该拆卸装置后, 操作人员减少了 80%, 工作效率大幅提高, 同时也降低了成本, 如图 1 所示。



图 1 美国的拆弹机器人装置

此外, 瑞典的博福斯 AB 公司在 20 世纪 90 年代初将其他弹药销毁公司兼并后, 负责弹药销毁设

备的研制和生产, 承揽他国的弹药销毁, 成为世界弹药销毁行业比较有影响的公司。该公司研制的炮弹拆卸机采用模块化的设计思想, 包括固定弹药、引信旋卸、拔出弹丸和拆卸底火等, 主要销毁 120~280 mm 口径的炮弹和导弹等, 自动化程度较高, 见图 2。



(a) 拆引信装置

(b) 拔弹装置

图 2 瑞典博福斯 AB 公司的拆弹设备

2.2 超高压水切割

水切割以水为介质, 通过电动机或柴油机组驱动大流量高压泵, 将水加压至 40 000 psi (300 MPa) 以上的压力, 通过喷嘴利用水的动能对废旧弹药金属壳体进行切割。与传统切割方式相比, 水切割属于冷态物理切割, 其压力和流量可调节, 在切割过程中无化学变化、无热变形、无有害物质排放与环境污染问题, 且精度较高, 切割时不会引爆其中的危险元件, 从而安全分离弹药元件。

高压水切割技术在世界弹药销毁系统中得到广泛应用, 尤其在美国高速发展并领先于各国。美国自 1992 年开发出第一个高压水射流去军事化系统, 就利用该系统切割了 17 万枚炮弹, 之后持续得到陆军的研发资助, 2012 年开发出由 1 个 100 hp 的 KMT 泵和 2 个 200 hp 的 KMT 泵组成的新系统, 能够提供 4 个高达 55 000 psi 压力的磨料水射单元同时运行, 可以安全可靠的切割弹药^[3]。该系统兼有机电一体化、自动检测与补偿、计算机控制与机器人应用等多领域的高新技术, 切割成本低, 无二次污染。

2.3 激光飞秒切割

在采用传统切割方法时, 切割过程产生的热量会不断地传递到接触的炸药中, 正在加工的炸药吸收的热量达到一定范围后, 其热感度和机械感度随之升高, 安定性降低, 容易发生反应甚至爆轰^[4]。基于安全因素, 高能炸药的切割受到诸多限制。激光飞秒切割技术是废旧弹药在极短的时间内吸收超短的激光脉冲, 飞秒量级的激光脉冲能量远远超出金属壳体的

阈值，材料得以瞬间气化，因为作用于工件的时间极短，所以气化过程中的热量来不及传导到含能材料周边造成热影响，形成一个“冷”切割过程。

美国 21 世纪初期采用 100~150 fs 数量级的激光脉冲切割时，形成多光子的离子化和等离子体。该过程发生在含能材料晶格振动周期数量级的时间内，因为时间太短，激光脉冲切割产生的能量无法耦合进含能材料的晶格内，而是通过等离子体的冷却和流体膨胀将能量带到含能材料的表面，从而使得弹药壳体分离，达到分解拆卸的目的。由于造价相当昂贵，使用环境复杂，该技术目前还未大量工程化使用，但拆卸过程安全、无废液废渣等优点，将会是未来弹药拆卸技术发展的重点技术之一。

3 装药倒空技术现状与发展

将弹药中的金属材料和易燃易爆的含能材料分开是弹药拆分的重要内容，是废旧弹药回收利用与非含能化的技术保障。把装药从弹药金属壳体中分离出来的方法称为装药倒空技术。装药倒空又分为弹丸装药倒空和发射药装药倒空。一般后装炮弹的发射药装药流散性比较好，分解拆卸后可直接倒出。而弹丸装药由于装填材料、密度和装填方式的不同，不能直接倒出，需要使用更加复杂的技术。

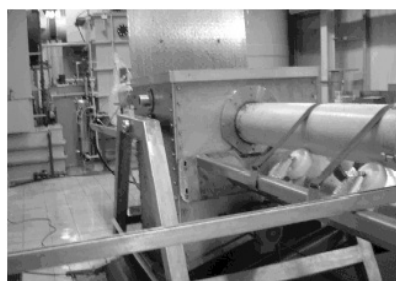
目前，装药倒空技术主要有加热融化技术、溶解倒空技术、破碎倒空技术以及切割倒空技术等，基于加热融化技术的蒸汽加热倒药法适用于 TNT 等低熔点的弹丸装药，基于溶解倒空技术的热水脱药法适用于注装装药。但在实际应用过程中，操作安全性、过程连续性和技术通用性还存在弊端，发达国家在研究针对不同类型废旧弹药合适处理方法的同时，工艺技术与装备逐渐向自动化、连续化和无人化方向发展。

3.1 高压水射流技术

高压水射流技术以水为介质，通过高压泵将水加压，再通过单个或多个喷嘴喷射而出，喷嘴由油压或者气压驱动旋转，形成多束、多角度、强度各异的超高压旋转水射流，利用高速水射流的动能将弹体内受热后不易软化或者不熔融的炸药冲蚀破碎，随着水流将破碎的炸药倒出，实现倒药目的。美国、德国、法国等国家的该项技术比较成熟，其中美国、乌克兰、荷兰等已将高压水射流技术成功地应用于火箭发动机拆分、弹箭处理等领域，形成了系列化的后处理技术，实现了火炸药的绿色回收

处理。我国对该技术方面的研究尚处于起步阶段，主要针对 120~155 mm 口径的炮弹倒药方面。由于高压水射流工艺对冲蚀破碎安全技术、废水处理要求很高，欧美等国大力加强全套自动化工艺装备研发，强化壳药分离与三废处理技术，提高操作的安全性和实现绿色倒药。

美国 Nammo 公司研制的高压水冲倒料系统，用于冲洗装有 APC 推进剂的火箭发动机，其冲洗能力为 150 kg/h。此外美国 ATK 公司通过自主研制的高压水射流对废旧火箭发动机进行装药掏空作业，工作过程中，水分可以循环利用，经过滤后的 AP 纯度可以达到 99.8%，处理后可用作高氯酸产品、烟火剂或民用炸药^[5]，见图 3。目前，该技术已成熟应用并且工艺装备的自动化水平较高。



(a) 高压水射流倒药



(b) 火箭发动机装药掏空

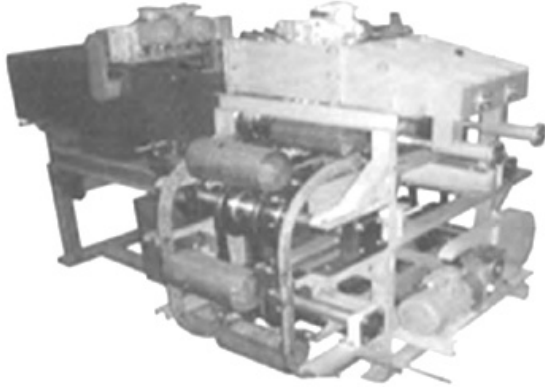
图 3 美国的高压水射流倒药设备

3.2 高强度水力空化技术

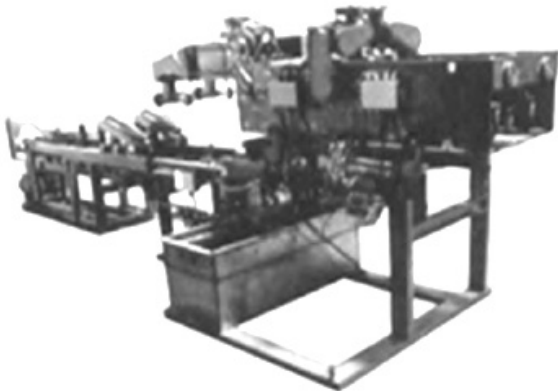
该技术是俄罗斯独创的倒药技术，将水射流技术与空化现象相结合，利用空泡破裂时产生的枪弹冲击力来增强射流的作用效果，使其冲蚀能量更强、工作效率更高。相对于其他倒药技术具有安全性高、工艺流程简单和装药适用性强的优点，适用于处理 TNT、浇注 PBX 炸药和固体火箭用推进剂等敏感装药产品。

目前，俄罗斯采用该原理研制了多种类型的倒药装置，并依托该技术实现了废旧弹药的综合利用。据报道，俄罗斯彼得大帝战略导弹研究院利用流速不同的两相水流产生压力差，在水流中形成许多直

径 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 的空泡, 这些空泡遇到炸药等固体界面时溃灭, 瞬间负压达到 $100\ \text{MPa}$, 从而逐层剥离炸药, 并且实现炸药与水自动化分离、工艺用水自动循环净化功能^[3], 其研制的设备见图 4。



(a) 500 MPa 级水力空化设备



(b) 200 MPa 级水力空化设备

图 4 俄罗斯 2 种高强度水力空化设备

3.3 高压氨射流掏空技术

高压氨射流技术原理是基于 AP、RDX、HMX, 在液氨中溶解性较好, 利用高压氨射流的动能, 连续冲击弹体中的炸药, 将其破碎, 溶解于液氨中。

1996 年, 美国国会出资研究化学武器非军事工程, 将该工程委托给 T-C 公司 (teledyne brown engineering, Inc), 该公司进行了大量的试验, 首次将液氨加压作为切割射流应用于废旧弹药倒空工序中。目前, 研制的设备氨射流压力为 $5\ 000\ \text{磅/平方英寸}$ 时, 能安全、可靠、快速地分解对人体有毒有害的化学药剂、高能炸药, 以及固体推进剂的弹丸或火箭发动机。与高压水射流技术相比, 其速度

更快、效率更高。

3.4 电磁加热装药倒空技术

一般装填 TNT 炸药材料的弹丸, 采用加热的方法进行倒空, 传统的加热方法包括蒸汽加热、蒸汽水煮和热水浸泡等。电磁加热装药倒空技术是根据导体感应磁场产生涡流的原理, 将弹体作为感应磁场中的导体, 磁场由缠绕壳体的线圈产生, 将交流电作用在线圈上, 在壳体内部产生交变的涡流, 从而对弹体加热。据相关资料报道, 国外使用内装 B 炸药的 $60\ \text{mm}$ 迫击炮弹进行试验, 电流为 $4\ \text{kW}$ 时, 平均熔化时间为 $119\ \text{s}$, 比采用传统的热热水溶解倒药方式效率提升了 5 倍左右, 倒药过程中基本不产生废水。由于其高效环保的特点, 得到了国外众多企业的青睐, 正在进行工程应用攻关。该技术是未来弹药倒空技术重点发展方向之一。

4 结束语

如何安全有效地处理废旧弹药是军事发达国家关注的热点之一。利用工业技术对含能材料回收利用是未来主要发展方向。废旧弹药拆分作为回收全流程中重要的工序, 欧美军事发达国家不仅发展了多种先进技术, 实现了弹药拆卸、装药倒空过程的连续化、自动化, 很好地解决了处理需求, 而且建立健全了军方与科研院所之间的合作机制, 在研究经费上与制度上予以保障, 为废旧弹药处理发展做了长远规划。借鉴和吸收发达国家先进成熟的处理技术, 对改善我国废旧弹药处理现状, 实现安全、绿色、高效处理具有重要意义。

参考文献:

- [1] 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: 16-19.
- [2] 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.
- [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] 张光全, 廖龙渝. 退役含能材料(炸药)的处理技术[J]. 公共安全中的化学问题研究进展, 2015(4): 156-173.
- [5] 伍凌川, 雷林, 张博, 等. 废旧弹药高压水射流处理技术国外应用现状[J]. 兵工自动化, 2016, 35(10): 77-79.