

doi: 10.7690/bgzdh.2015.08.008

国外战斗部装药生产装备现状及发展趋势

雷 林, 伍凌川, 张 博, 韩智鹏

(中国兵器工业第五八研究所弹药中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对目前我国战斗部装药装备与国外主要军事发达国家存在差距的现状, 通过对战斗部压装药装备、熔铸装药装备、浇注装药装备和挤注装药装备情报资料的搜集整理, 分析了国外战斗部装药技术装备的现状与发展趋势。分析结果表明: 国外已形成了系列化、标准化的战斗部装药装备, 数字化信息化技术得到大量应用, 具有精密化、柔性化、连续化生产特点的新型工艺装备是主要发展趋势, 据此提出了我国战斗部装药未来发展的相关建议。

关键词: 战斗部装药; 自动化; 装备; 趋势

中图分类号: TJ410.5⁺2 **文献标志码:** A

Current Situation and Development Trend of Charging Equipment for Warhead in Abroad

Lei Lin, Wu Lingchuan, Zhang Bo, Han Zhipeng

(Ammunition Center, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industry, Mianyang 621000, China)

Abstract: In view of the present situation of the gap between China and the major military developed countries in the warhead charging equipment field. Then collected and collated of the press equipment, casting equipment, pouring equipment and extrusion molding equipment's information. The development trend of the equipment in the future is analyzed. The analysis results show that the overseas has formed the seriation and standardization of the warhead charging equipment, digital information technology get a large number of applications, with precision, flexibility and continuous production of new technology and equipment is the main development trend, and puts forward the future development suggestions.

Keywords: warhead charge; automation; equipment; trend

0 引言

战斗部装药具有工艺复杂、工艺条件要求严格和危险性高等特点, 一旦发生事故, 后果不堪设想。安全生产是企业的头等大事, 如何提高生产设备的本质安全, 实现生产自动化、减少在线操作人员成为人们关注的重要问题。

目前, 我国在战斗部装药设备的研发方面跟国外还有较大的差距^[1-2]。有些设备依然是 20 世纪五六十年代研制或引进的, 设备老化严重, 自动化程度低, 工作环境恶劣容易使工人患职业病^[3-5]。而国外主要发达国家的战斗部装药设备已经拥有很高的自动化、信息化和模块化水平。在设备安全、工艺条件控制精度, 实时信息化监控以及在线检测等方面具有一定的技术优势。

在今后一段时间, 我国可能会面临人力资源短缺的情况, 而且在复杂的国际形势下又要适应在需要的时候迅速提高产量的要求。这就要求我们应尽快对战斗部装药设备进行自动化、信息化以及连续

化改造或者研制新的自动化工艺设备。

1 国外战斗部装药装备现状

1.1 国外压装装药装备

压机发展已经系列化、精密化, 并开发了新型压制装备。目前美国有 2 处重要的战斗部压药工厂, 各种压药机一应俱全, 一处是美国军械公司 (American Ordnance LLC) 经营的衣阿华陆军弹药厂, 如图 1; 另一处是美国 Crane 弹药研究中心^[6]。

Crane 弹药研究中心拥有 50 台压药机, 从 100~800 t 不等, 炸药表面可获得 20 000 psi 的压力, 达到 98% 的最大相对密度, 足以满足各种装药需求。压装方法包括单冲头 500 t 压力机到多冲头高压压药机, 可以装填 76~165 mm 的弹药、导弹战斗部 (如麻雀导弹和响尾蛇导弹)、火工品、各种传爆药和助推药柱等。美国成功地制造了 54 倍口径的 PBX 压力装药设备, 该设备拥有 4 排压力冲头, 反向冲头带有加热模具和真空装置, 该压装设备用于装填麻雀导弹战斗部。海尔法导弹、TOW 2B 通

收稿日期: 2015-03-06; 修回日期: 2015-06-08

作者简介: 雷 林(1986—), 男, 四川人, 助理工程师, 从事弹药装药装配工艺技术研究。

过新的压装工艺其性能提高了 10%。TOW 2A 导弹战斗部的密度从 20 世纪 80 年代末的 80%~90%到 1989—1992 年期间提高到 98%，海尔法导弹成本从 1989 年到 1993 年下降了 67%。美国米兰陆军弹药厂的压药机则包括 5、30、50、100、200、300、500 和 800 t 等各种吨位，另外 0.5~5 t 的空气压药机、

30 t 的半自动油压机、20 英寸的水压机。除了压药机的系列化之外，BEA 系统公司研制了一种自动旋转压药机(如图 2)，通过这种自动旋转压药机制出来的药柱可以得到均匀的密度和高装填密度，可以看出冲压杆带有螺纹，可能属于分步压装工艺，具体信息尚未获知。



图 1 美国衣阿华陆军弹药厂的 800 t 压药机(左)及精密压制战斗部药柱毛坯^[7]

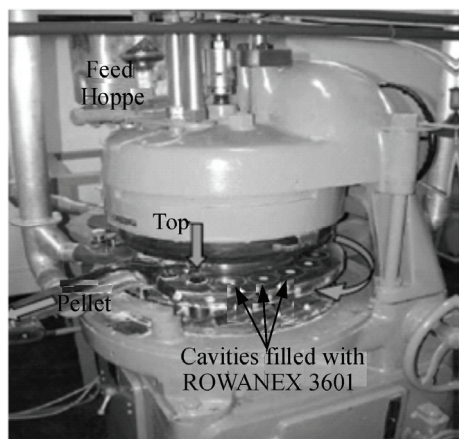


图 2 BEA 系统公司的自动旋转压药机^[8]

1.2 国外熔铸装药装备

装药生产线的柔性化发展是趋势。美国霍斯顿陆军弹药厂其 L-4 号建筑内有一条不敏感熔铸炸药生产线和装药线，主要设备由 2 个 381 L 不锈钢水蒸汽加热熔融锅、变速搅拌器、保温管、刨片机传送带和位于炸药传送带末端的筛选器组成(如图 3)，每个熔融锅的处理能力为 544~680 kg。这条生产线柔性化程度很高，只需对工艺稍作调整即可适应所有 DNAN 基熔铸炸药，如 IMX-101、IMX-104、PAX-21、PAX-41 等，美国采用上述生产线生产了约 40tIMX-104 炸药，批产量为 590 kg。

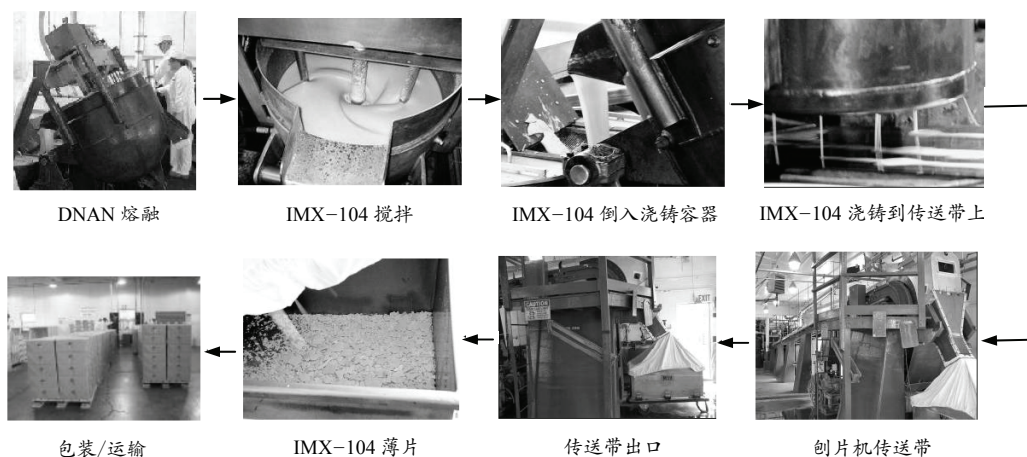


图 3 美国 IMX-104 炸药生产流程及主要设备^[9]

美国皮卡汀尼兵工厂建有一个高能熔铸炸药小规模生产车间(810 号工房)，车间内有 189 L、284 L 熔融浇注系统。189 L 熔融浇注系统主要包括格栅熔融炉、固体填料加料器、189 L 熔融釜、4 喷嘴加

注机和冷却箱，能满足陆军 155 mm M107 和 M795 弹丸小规模炸药装填需要，每天能装填 16 枚弹。目前，美国陆军还用此系统生产 PAX/AFX-196 炸药，装填 155 mm 不敏感弹药。未来将开发新型压力浇

铸系统，以满足黏度较大的熔铸不敏感炸药装填需求；284 L 熔融浇注系统主要包括炸药格栅熔融炉、284 L 熔融釜、16 喷嘴加注机和蒸汽加热冷却箱，该系统的当前主要任务是优化 PAX-21 炸药在 60 mm 迫击炮弹中的装填和冷却工艺。

1.3 国外浇注装药装备

1) 大型钻地弹 PBX 炸药浇铸工艺。

美国海军水面战中心印第安岬分部已经解决了大容量弹体的装药浇注工艺，还能实现浇铸过程连续化，但这种装药工艺的特点是生产周期比较长。BLU-109 钻地战斗部的浇铸就耗费了 5 个星期，其中用了 3 个星期准备原材料、设备安装和装药工艺的设计，弹体内壁包覆、烘干花了 1 个星期，从浇注、成形固化又花了 1 个星期，如图 4。



图 4 美国 BLU-118B 炸弹浇注 PBXIH-135 炸药^[10]

2) 温压炸药无水装药工艺。

美国海军水面作战中心印第安岬分部主要从事温压炸药的生产与装填。图 5 是生产流程中的主要设备。

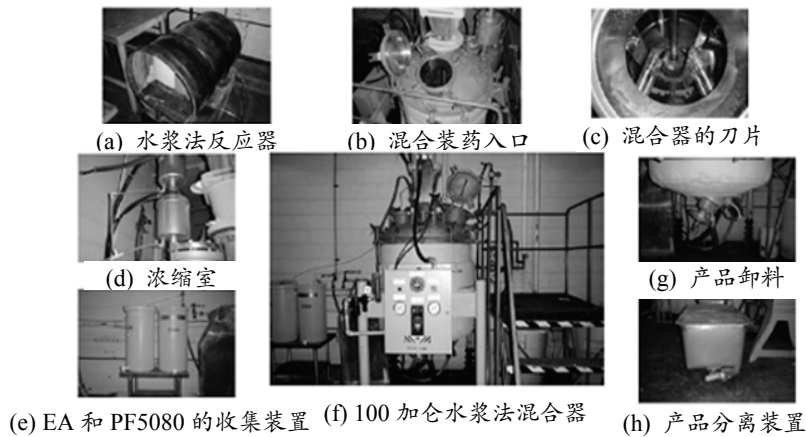


图 5 美国海军水面战中心用于生产温压炸药 PBXIH-18 的装置^[11]

基于 PBXIH-18 等高铝温压炸药中水与 Al 发生反应的问题，美国霍尔斯顿弹药厂在 PBXIH-18 生产过程中采用了一种新型无水温压炸药装药工艺，即采用可回收、再利用、沸点接近于水、既无色又无火焰燃烧危险的溶剂代替水，消除了 PBX 生产工艺中的水介质，具有不与金属粉末发生反应和水流体性能的特点，主要工艺过程包括爆炸性物质的成浆、聚合物/增塑剂分散在溶剂中、包覆循环和溶剂的回收/再利用等环节。该工艺流程和方法已成功用于大型温压弹药的生产，达到了 500~6 000 加仑的大规模生产能力。

3) 不敏感 PBX 炸药装药工艺。

欧洲含能材料公司(法国火炸药集团公司的子公司)建有一条不敏感 PBX 炸药生产、装填自动化生产线，采用的是“双组分”生产工艺，解决了传统间断工艺存在的适用期短、固化时间长和成本高等不足。不敏感塑料黏结炸药自动化生产线建在一

个综合车间(POGS 车间)内，从弹体准备、炸药浇注、固化、控制到炮弹的组装、X 射线检验和包装等工序，均在这个车间内完成。该生产线具有生产效率高、自动化程度高和产能高的特点，从最开始的弹体准备到最后炮弹装到货盘上准备运输只需 5 d，生产过程中只需 5 名工作人员，年产能达到 5 万发 155 mm 或 10 万发 120 mm 不敏感炮弹。

值得一提的是，不敏感 PBX 炸药自动化生产线装填的所有炮弹都可以追根溯源。在弹体准备阶段，每发炮弹上均会贴有一个条形码标签，条形码内的数据库记录并储存了所有参数，以备在需要的时候追溯相关原始数据。有些参数，如炮弹重量、炸药级别等，则直接发送到质量管理部门，如图 6。

数字化、自动化和模块化在弹药装药工艺中也得到应用，欧洲含能材料公司建立了中大口径弹药装填 PBX 炸药的自动化装药示范线，机器人已在装药过程中得到应用，图 7 为欧洲含能材料公司

PBX 炸药自动化装药设备。

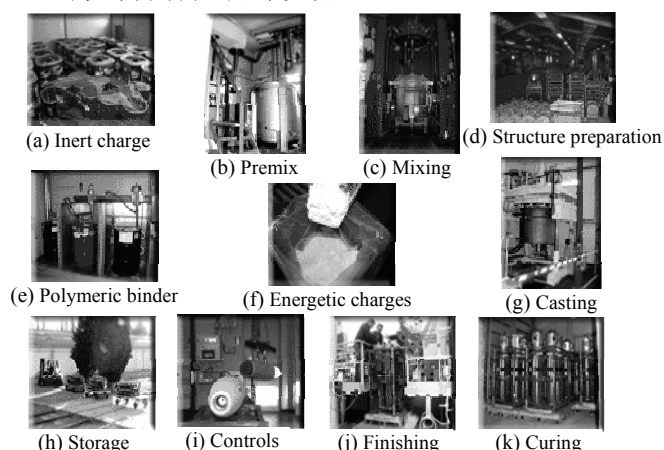


图 6 欧洲含能材料公司不敏感炮弹批量生产流程图^[12]

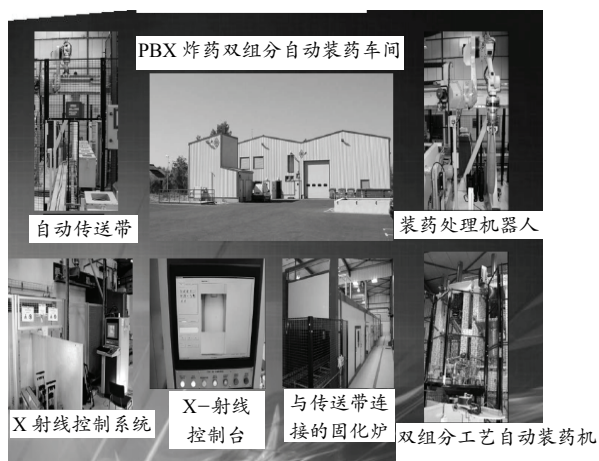


图 7 欧洲含能材料公司 PBX 炸药自动化装药设备^[13]

1.4 挤注装药装备

挤注装药是一种高性能精密装药方法。挤注炸药由主体炸药、聚合物黏结剂、液体增塑剂及固化剂等组成，如以 HMX 为主体炸药，以 AFNOL(伯重氮硝基酚和 44 二硝基庚二酰氯的液体预聚物)为黏结剂，以氟二硝基乙醇缩甲醛 (FEFO) 为增塑剂的挤注炸药，用挤压浇注工艺制造成形，可挤注到任何形状的弹体中固化，毋需机械加工。通过挤注工艺制备的 RX-08 药柱无气孔、不收缩、质地均匀，属于低易损高聚物黏结炸药。高性能挤注炸药采用低压液压系统进行压力驱气和装填成形，黏结剂采用多官能度聚合物和二官能度聚合物的混合物，在室温固化，加入少量乙酰丙酮铁催化剂，该炸药最大理论密度为 1.804 g/cm^3 ，实际装填密度可达 $1.797 \sim 1.800 \text{ g/cm}^3$ 。其能量密度类似或高于 LX-14 造型粉压装炸药，已用于蝮蛇反坦克导弹战斗部和自锻破片战斗部装药。挤注炸药装药既具有独特的平滑爆轰波和高能量，又兼具低感度

和容易制造的特点。

挤注装药的设备有活塞式挤压机(如图 8)、螺旋式挤压机(如图 9)和双螺杆挤压机等不同型号。将混合炸药的温度控制在稍高于梯恩梯熔点的温度，使混合炸药成为塑性状态，由螺旋压杆将炸药输入弹体，并在其轴向和径向力作用下被压实。此法的最大优点是可装填高能固体组分含量较高的混合炸药，从而提高弹药威力。药柱密度均匀，疵病较少，生产效率高，设备简单。缺点是炸药冷却后体积发生收缩与弹体结合不好，故用于装填低膛压的杀伤弹、杀爆弹及各种爆破器材。

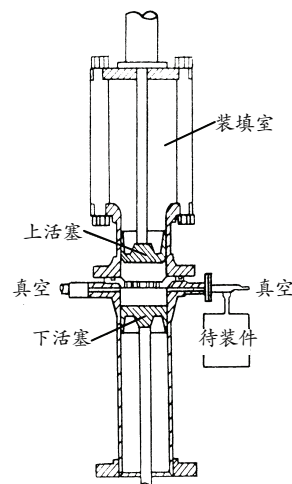


图 8 活塞式挤压机示意图^[14]

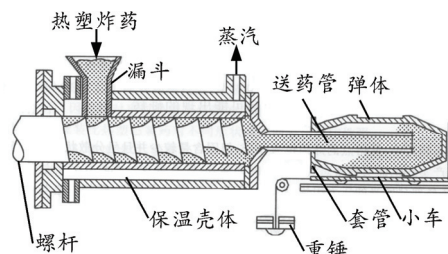


图 9 螺旋挤压压药机示意图^[15]

真空挤注固化对于各种形状弹体装药的适应性强，装药不易产生气孔、缩孔、裂纹和底隙等疵病，装药密度均匀，尺寸变化小，与弹体结合力强，具有不可修复性，不仅可以获得较高的能量输出，还可以明显提高安全性能。挤注法适于大规模连续生产，效率高且装药质量稳定，但由于成本高，目前只在少数发达国家使用。另外，炸药挤注工艺和低压液压机振动装药系统，适应高黏流态炸药装填成形，特别适合异型和复杂结构战斗部装填。采用挤注 PBX 炸药，可以获得固相含量达 84%，爆速 8481 m/s ，装填密度 98% 以上，轴向密度差仅 0.46%，均匀性非常好的成形产品。

2 战斗部装药生产装备发展趋势

2.1 自动化、数字化精密装药装备是主要发展趋势

国外主要军事发达国家战斗部装药装备在经过多年的发展后, 自动化、数字化、模块化得到了大量应用。压机吨位已经系列化, 压装密度、精密度进一步提高; 熔铸装药生产线柔性化程度很高, 只需稍作修改就能满足所有的 DNAN 基熔铸炸药; 自动化大药量连续浇注已经实现, 集成化程度高, 自动化生产线建在一个综合车间内, 可完成从弹体准备、炸药浇注、固化、控制到炮弹的组装、X 射线检验和包装等所有工序; 适用于大规模连续生产的挤注装药装备, 部分国家已经开始使用, 效率高、装药质量稳定。

2.2 新型装药装备不断涌现, 已有工程化应用

BEA 系统公司研制了一种自动旋转压药机, 通过这种自动旋转压药机压制出来的药柱可以得到均匀的密度和高装填密度; 美国陆军将开发新型压力浇铸系统, 以满足黏度较大的熔铸不敏感炸药装填需求; 新型无水温压剂浇注工艺在大型温压弹装药中得到应用, 形成了 500~6 000 加仑的大规模生产能力; 机器人出现在装药生产过程中, 具备了数字化车间建设能力; 双螺杆连续挤出机也已成功应用到了炸药混合挤注装药领域。

3 我国战斗部装药未来发展建议

1) 以精密成型为主线, 着重进行双向精密压药工艺及技术装备的研究, 并大力开展近净成形技术在压装药领域的应用研究, 形成系列化、标准化的自动精密压药装备。

2) 针对熔铸炸药装药特点, 开发适合多种熔铸炸药装药的柔性生产线, 增强变品种应对能力。提升熔铸装药生产线自动化程度, 实现从上料、熔融混合到加注等工序全流程的自动化, 并结合实时在线检测技术, 提高工艺过程参数监控能力。

3) 大容量、复杂弹体形状战斗部中高能炸药的自动化、连续化、高质量装填是进行弹药大批量、快速生产的重要保障, 是实现弹药高效毁伤、安全使用的关键。我国应将浇注固化装药工艺的连续化改造作为研究重点, 使其适用于大容量钻地弹、大口径常规弹药等弹药的装药需求。

4) 以双螺杆挤出工艺为核心技术的火炸药柔性制造技术, 具有多功能、连续化和自动化的特点, 生产设备能迅速转换产品种类和品种, 能对战争、

和平时期提出的某些紧急需求和要求做出快速反应, 应作为我国挤注装药未来发展的主要方向。

4 结束语

我国战斗部装药装备经过近年来的不断发展, 已取得了一定进步, 但总体上与国外发达军事国家还存在差距。进一步推进信息化技术与自动化技术在装药领域的应用, 提升我国战斗部装药装备技术水平, 应是近期发展的主要方向。其次, 精密化、数字化、柔性化、连续化装药技术及装备是国际主流发展趋势。大力开展相关技术研究, 是我国赶超国际先进水平的重要途径。

参考文献:

- [1] 崔亚宾. 弹药装药工艺技术及发展趋势[J]. 兵工自动化, 2012, 17(4): 1-4.
- [2] 唐迎佳. 国外弹药装药装配发展趋势[J]. 兵工自动化, 2012, 33(8): 117-119.
- [3] 张根生. 装药工艺技术及其自动化[C]. 绵阳: 国防科技工业弹药自动装药技术研究应用中心, 2014: 172-176.
- [4] 陈新民. 浇注 PBX 用双螺杆挤出机工程化设计[C]. 绵阳: 国防科技工业弹药自动装药技术研究应用中心, 2014: 159-163.
- [5] 王国平. 精密双向抽真空自动压装药技术[C]. 绵阳: 国防科技工业弹药自动装药技术研究应用中心, 2014: 105-107.
- [6] Pressing. American Ordnance LLC [EB/OL]. www.AOLLC.BIZ, 2012.
- [7] CRANE[EB/OL]. www.crane.army.mil, 2011.
- [8] Ron Hollands, EXPLOSIVE BOOSTER SELECTIO CRITER-IA FOR INSENSITIVE MUNITIONS APPLICSTIONS[EB/OL]. www.beasystems.com, 2012.
- [9] Virgil Fung. Development and Manufacture of an Insensitive Composition B Replacement Explosive IMX-104 for Mortar Applications[R]. Insentive Munitions and Enregetic Materials Technology Symposium, 2010.
- [10] NAVY [EB/OL]. http://www.navy.mil/, 2014.
- [11] NAVY [EB/OL]. http://www.navy.mil/, 2014.
- [12] EURENCO [EB/OL]. http://www.eurenco.com/content/explosives/defence-security/loading-insensitive-munitions/missile-and-torpedoes-warheads-underwater-mines/, 2013.
- [13] EURENCO[EB/OL]. http://www.eurenco.com/content/explosives/defence-security/loading-insensitive-munitions/bombs/, 2013.
- [14] Picatinny-Home of American Firepower [EB/OL]. https://www.pica.army.mil, 2010.3.16.
- [15] Catherine LADAUGE A step further for the XF Explosive Family dedicated to Insensitive Munitions[R]. Insentive Munitions and Enregetic Materials Technology Symposium, 2012.