

doi: 10.7690/bgzdh.2024.11.018

异形压装药柱精密成型工艺

焦云多, 毕晓露, 邹琅, 成臣, 欧腾达, 易茂光, 张明明, 冉靖, 刘攀
(重庆红宇精密工业集团有限公司, 重庆 402760)

摘要: 为实现某抗过载高能炸药异形药柱精密压制成型, 对异形压装药柱成型质量进行研究。对成型模具结构设计、配合间隙设计、应力校核, 获得满足尺寸要求的异形药柱成型模具。对某高能炸药开展工艺参数对异形压装药柱成型质量影响研究, 获得最佳工艺参数。结果表明: 该异形药柱成型模具满足异形压装药柱成型要求, 某异形压装药柱成型工艺最佳预热温度为 $85^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、比压为 $1\ 800\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 、保压时间为 $900\ \text{s}$, 在该条件下, 某高能炸药的压药密度能达到 $2.044\ \text{g}/\text{cm}^3$, 达到理论密度的 98% , 实现了异形压装药柱精密成型。

关键词: 成型模具; 工艺参数; 异形压装药柱; 精密成型

中图分类号: TJ510.3+6 **文献标志码:** A

Technology of Precise Formation of Heteromorphic Grain by Pressing

Jiao Yunduo, Bi Xiaolu, Zou Lang, Cheng Chen, Ou Tengda,
Yi Maoguang, Zhang Mingming, Ran Jing, Liu Pan

(Chongqing Hongyu Precision Industry Group Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

Abstract: In order to realize the precisely pressing formation of heteromorphic grain with certain type of anti-overload high explosive, the author performed the mould structure design. Mating clearance design and stress checking, and obtained the heteromorphic grain mould that meets the requirement of dimensions. After the study of process parameters on the forming quality of heteromorphic grain by pressing, the author acquired the optimal parameters. The result shows that, the designed heteromorphic grain mould meets the requirement of formation by pressing, and the optimal preheating temperature for the heteromorphic grain formation by pressing is $85^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, with the specific pressure of $1\ 800\ \text{kg}/\text{cm}^2$ and the pressure hold time of $900\ \text{s}$. Under this condition, the pressed density of the high explosive can reach $2.044\ \text{g}/\text{cm}^3$, which equals to 98% of the theoretical density. And the precise pressing formation of heteromorphic grain is realized.

Keywords: mould; process parameters; heteromorphic grain formed by pressing; precise formation

0 引言

伴随现代战争模式的不断创新与发展, 未来作战打击目标更加机动、坚固、隐蔽。具有战略意义的大型固定指挥与控制中心、人员掩蔽部、地下机库、武器存储设施等目标往往位于地面以下几米甚至几十米的位置, 毁伤这类深层工事需达到一击即毁的作战效果, 从而对导弹战斗部的“钻得深”“打得狠”提出了更高要求^[1]。侵彻战斗部作为打击地下坚固目标、航母、大型舰艇等高价军事目标的杀手锏武器, 近年来得到了快速发展, 与此同时, 侵彻战斗部为了提高装药量, 对内腔结构进行了扩大利用, 使战斗部内腔结构呈现异形化。

以往这类侵彻战斗部均选用抗过载熔铸炸药进行装填, 并采取适当的护理措施从而达到战斗部装药要求, 但随着作战武器的发展, 熔铸法已难以满足现在侵彻战斗部发展需要。压装炸药具备抗过载

性能高、能量密度大、力学性能好、内部疵病少等优点, 被选为新一代侵彻战斗部的主装药^[2]。为了实现压装炸药应用于异形战斗部装填, 需根据战斗部结构开展异形压装药柱制备, 但目前国内在异形压装药柱成型模具及工艺研究较少, 迫切需要开展相关研究工作, 解决压装炸药在异形结构战斗部的应用难题。

笔者针对某高能炸药异形药柱精密成型技术, 开展了模具设计和工艺参数研究, 获得高能炸药精密成型关键工艺参数, 为异形装药内腔结构战斗部装药压装炸药提供技术指导。

1 异形压装药柱结构分析

为使侵彻类战斗部壳体在侵彻过程中具有较好的姿态稳定性和安定性, 战斗部头部通常设计为卵形结构^[3]。为了适应战斗部装药结构, 生产中需压制与之匹配的异形药柱, 如图 1 所示。

收稿日期: 2024-06-18; 修回日期: 2024-07-26

第一作者: 焦云多(1980—), 男, 重庆人。

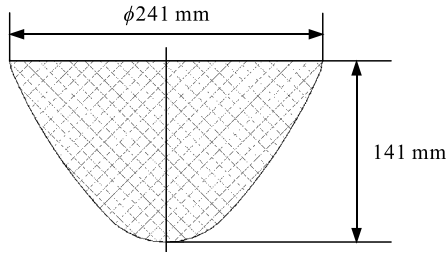


图 1 异形药柱结构

该异形压装药柱为卵形结构，在保证药柱外形尺寸的同时，还需确保药柱密度均匀性和整体密度满足要求，成型工艺存在以下难点：现有异形药柱通常采用先将炸药压制成圆柱形药柱，再车削加工成卵形结构的方法进行加工，车削过程需使用水作为冷却剂。由于高能炸药含有特细球形铝粉，车削过程与水长时接触会损失部分活性，所以压制-车削加工的方法难以实现高能炸药异形药柱的生产；如果沿用常规模具设计方法，即将模具设计为整体成型结构，小端只能设计在下冲头上(设计在上冲头上弧顶的炸药密度较低)，大端设计在上冲头上，压制时存在上冲头伸入下冲头口部导致楔形挤压炸药和模具的情况，安全风险较大，且难以退模；药柱为异形结构，压制过程中各部分受力不均，容易出现局部压制不成型和产生裂纹的情况。

2 异形药柱成型模具设计

根据头部异形药柱结构及尺寸要求，笔者设计了下冲头组合结构和衬套开合结构成型模具，开展了模具结构强度数值仿真分析。

针对异形药柱外形尺寸，设计了开合结构压药模具。模具由上冲头、压块、衬套、下冲头、模衬组成，其中衬套为开合结构，由左半模和右半模组成，本方案中仅新设计衬套，其余部件为现有模具。开合结构模具如图 2 所示。

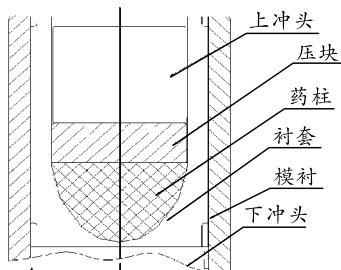


图 2 开合结构模具组成

2.1 异形药柱成型模具结构设计

如图 3 所示，笔者设计的衬套由左半模和右半模组成，内部弧形与异形药柱保持一致，外径和高

度与现有模衬相匹配，在左半模、右半模的两端分别设置了衬套分离的压力施加部位。

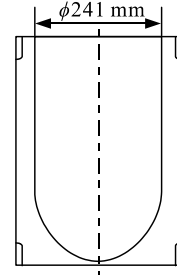


图 3 衬套结构

2.2 异形药柱成型模具间隙设计

笔者研究的异形压装药工艺预热温度为 95 °C ±5 °C，计算时取工艺条件下使用的最高温度 100 °C。根据模具设计尺寸和膨胀量计算公式可计算受热后的尺寸，模具计算结果如表 1 所示^[4]。

表 1 模衬与衬套冷/热状态间隙对比表 mm

温度环境	常温状态	加热状态
间隙范围	0.45~0.80	0.20~0.36

2.3 异形药柱成型模具仿真分析

采用 ANSYS 有限元软件对压药模具压制过程中，衬套的左半模和右半模应力应变情况进行数值仿真分析。衬套的左半模和右半模压制过程中应力及位移如图 4-7 所示。

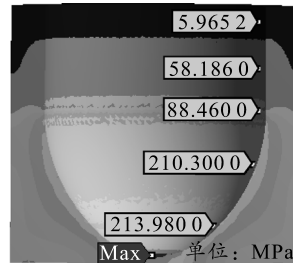


图 4 左半模应力

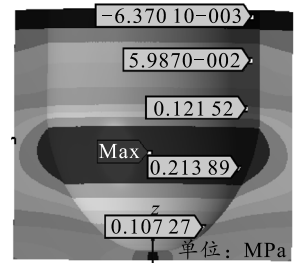


图 5 左半模径向位移

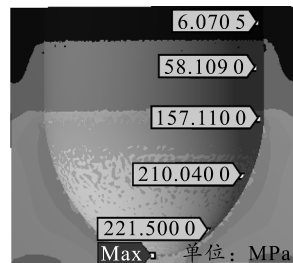


图 6 右半模应力

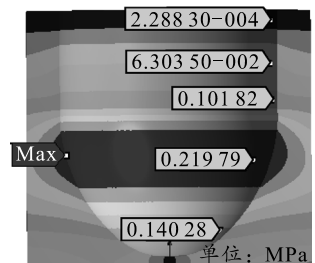


图 7 右半模径向位移

计算结果表明：衬套在 2 000 kg/cm² 的比压下变形量为 0.22 mm，发生在模具内侧，模具材料屈服强度为 480 MPa，衬套压制过程中最大应力值为 376.95 MPa，发生在衬套底部，小于模具材料的屈服强度，且实际压力按照 1 800 kg/cm² 的比压计

算，所以压制过程中下冲头模套能够承受压机施加的压力。

3 工艺参数对异形压装药柱成型质量研究

通过炸药成型机理分析可知，炸药的成型质量主要与温度、压力、保压时间等相关，若工艺参数控制不当，炸药压制成型退模后会出现膨胀、裂纹、密度偏低等现象^[5]；因此，需要开展药柱压制工艺试验，研究温度、压力、保压时间对异形压装药柱成型质量影响规律，掌握炸药压制最佳工艺参数，获得高质量成型药柱。

3.1 温度对异形压装药柱成型质量影响研究

本试验选用 $\phi 241 \text{ mm} \times 141 \text{ mm}$ 的压药模具开展某高能炸药压制成型药柱压制工艺试验，研究了温度对某高能炸药压制成型性能的影响。在不同温度环境下预热 0.5 h，保持其他工艺条件不变化，进行药柱压制。检测药柱压制后不同时间高度尺寸的变化，对比不同预热温度对某高能炸药柱成型性能的影响。限位高度均为 141.00 mm，共进行了 4 组试验，试验结果如表 2-5 所示。

表 2 药柱高度变化统计表($65^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) mm

第 1 组	高度均值		
	初始	24 h 后	120 h 后
1	141.98	142.01	142.01
2	141.97	142.03	142.03
3	141.93	142.00	142.00
4	141.83	141.90	141.90
反弹量	0.83~0.98	0.90~1.03	0.90~1.03

表 3 药柱高度变化统计表($75^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) mm

第 2 组	高度均值		
	初始	24 h 后	120 h 后
1	141.74	141.78	141.78
2	141.45	141.47	141.47
3	141.51	141.53	141.53
4	141.53	141.54	141.54
反弹量	0.45~0.74	0.47~0.78	0.47~0.54

表 4 药柱高度变化统计表($85^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) mm

第 3 组	高度均值		
	初始	24 h 后	120 h 后
1	141.40	141.42	141.42
2	141.38	141.42	141.42
3	141.34	141.38	141.38
4	141.30	141.34	141.34
反弹量	0.30~0.42	0.34~0.42	0.34~0.42

表 5 药柱高度变化统计表($95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) mm

第 4 组	高度均值		
	初始	24 h 后	120 h 后
1	141.38	141.40	141.40
2	141.32	141.34	141.34
3	141.28	141.30	141.30
4	141.42	141.44	141.44
反弹量	0.28~0.42	0.30~0.44	0.30~0.44

由表 2-5 可以看出：某高能炸药通过 4 种不同温度下预热 0.5 h 后，在 $85^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 预热后进行压制成型的药柱尺寸反弹和波动最小。因此，从本次研究结果得出某高能炸药压制的最佳预热温度为 $85^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

同时，用排水法测试药柱密度，经测试，在 $85^\circ\text{C} \pm 4^\circ\text{C}$ 温度条件下压制的药柱，某高能炸药柱密度值介于 $1.995 \sim 2.044 \text{ g/cm}^3$ 之间。

3.2 压力对异形压装药柱成型质量影响研究

本试验选用 $\phi 241 \text{ mm} \times 141 \text{ mm}$ 的压药模具开展某高能炸药压制成型药柱压制工艺试验，研究压力对某高能炸药压制成型性能的影响。某高能炸药在 $85^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 温度环境下预热 0.5 h，按照不同的比压进行压力计算，保持其他工艺条件不变化，进行药柱压制。考核压力对某高能炸药成型质量的影响，测试结果如图 8 所示。

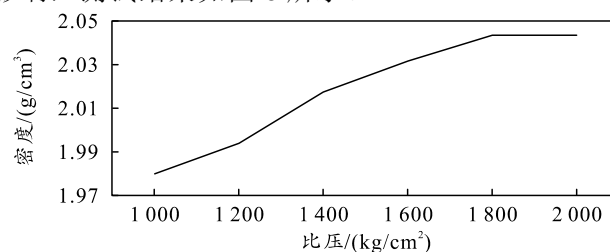


图 8 压力对某高能炸药密度的影响

上图结果表明：在比压为 1800 kg/cm^2 时，某高能炸药的压药密度能达到最大值，继续增加比压并不能增加炸药的压药密度，其主要原因是压药密度接近于理论密度。在这个条件下，增加比压并不能有效的增加炸药的压药密度，如果压力过大，反而存在爆炸的危险，药柱无裂纹等疵病，所以最优的比压为 1800 kg/cm^2 。

3.3 保压时间对异形压装药柱成型质量影响研究

本试验选用 $\phi 241 \text{ mm} \times 141 \text{ mm}$ 的压药模具开展某高能炸药压制成型药柱压制工艺试验，研究保压时间对某高能炸药压制成型性能的影响。某高能炸药在 $85^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 温度环境下预热 0.5 h，比压为 1800 kg/cm^2 ，按照不同的保压时间进行保压，保持其他工艺条件不变化，进行药柱压制。考核保压时间对某高能炸药压制质量的影响，测试结果如图 9 所示。结果表明：某高能炸药的保压时间应不低于 900 s，才能得到高密度成型药柱，保压时间过短，药柱在退模后会出现反弹，从而降低了药柱的压药密度，当保压时间超过 900 s 后，增加保压时间并不能增加炸药的压药密度。

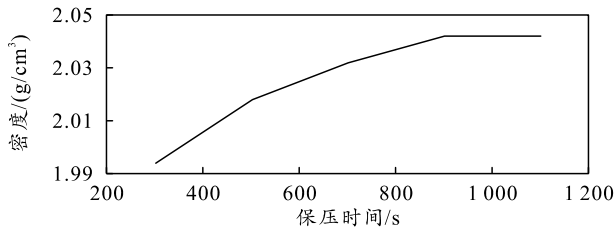


图 9 保压时间对某高能炸药密度的影响

4 结论

1) 笔者设计的衬套开合结构成型模具结构简单、使用方便、配合间隙设计合理，能实现异形药柱压制成型。

2) 某异形压装药柱成型工艺最佳预热温度为 85 ℃±5 ℃、比压为 1 800 kg/cm²、保压时间为 900 s，在该条件下，某高能炸药的压药密度能达到

2.044 g/cm³，达到理论密度的 98%。

3) 通过本研究的开展，实现了异形压装药柱精密成型加工。

参考文献:

[1] 胡晓东, 蒋学乔, 熊伟, 等. 国外弹药战斗部先进制造技术发展思考[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 7-9.

[2] 欧育湘. 炸药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 1.

[3] 陈国光, 董素荣. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004: 10.

[4] 中国机械工程学会. 中国机械设计大典: 第 2 卷[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2002: 5.

[5] 黄求安, 席静, 肖勇, 等. 基于常规弹药生产设计安全技术[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 49-54.

(上接第 60 页)

[12] WANG L, YANG G, SUN Q, et al. An uncertain optimization method for overall ballistics based on stochastic programming and a neural network surrogate model[J]. Engineering Optimization, 2019, 51(4): 663-679.

[13] 王才东, 王立权, 赵冬岩, 等. 变自由度螺栓夹紧机构设计及试验研究[J]. 中国机械工程, 2013, 24(13): 1743-1748.

[14] CHEN M Z, ZHANG X C, ZHUANG W H, et al.

Kinematics and dynamics simulations of cold orbital forging machines based on ADAMS[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2023, 237(1-2): 250-260.

[15] LIU Y M, FU L, ZHAO Z Z, et al. Analysis of the coaxiality-geometric hysteresis model of a rotate vector reducer based on Ansys Adams[J]. Mechanical Sciences, 2022, 13(2): 855-866.

[16] 刘太素, 钱林方, 陈光宋. 火炮输药机构小射角输药到位一致性稳健优化设计[J]. 兵工学报, 2020, 41(8): 1473-1482.

(上接第 82 页)

[7] 王平, 王彩芸, 王文健, 等. GA-BP 网络在钢轨磨损量预测中的应用[J]. 润滑与密封, 2011, 36(2): 99-102, 71.

[8] 王富强, 李晓理, 于学斌. 基于 GA-BP 预测控制的燃煤机组脱硝系统优化研究[J]. 控制工程, 2021, 28(7): 1490-1495.

[9] 吴凯枫, 张立新, 王军昂, 等. 基于精英反向学习的 GA-BP 神经网络的压力传感器校准[J]. 电子制作, 2022, 30(20): 60-62.

[10] 刘萍, 俞焕. 一种改进的自适应遗传算法[J]. 舰船电子工程, 2021, 41(6): 101-104.

[11] 王新春, 李锦涛. 基于 MEA-BP 算法的 IGBT 的寿命预测[J]. 电工技术, 2021, (18): 116-119, 123.

[12] 孙强. 基于人工神经网络的汽车声品质评价与应用研

究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.

[13] 郭海湘, 诸克军, 胡杰, 等. GA-BP 嵌套算法的理论及应用[J]. 数学的实践与认识, 2008(1): 116-125.

[14] 孙慧慧. 基于 GA-BP 神经网络的车内声品质评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.

[15] MA C G, LI Q, LIU Q H, et al. Sound quality evaluation of noise of hub permanent-magnet synchronous motors for electric vehicles[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(9): 5663-5673.

[16] 张香港, 游有鹏, 王国富. 基于 GA-BP 神经网络的钣金折弯过程随动预测模型[J]. 机械制造与自动化, 2023, 52(2): 81-84.

[17] 杨易, 高骏, 谷正气, 等. 基于 GA-BP 的汽车风噪声声品质预测模型[J]. 机械工程学报, 2021, 57(24): 241-249.