

doi: 10.7690/bgzd.2025.05.004

活性材料药型罩侵彻试验

卫 夏¹, 赵成文², 冯雄波², 郑丽荣², 郝 飞², 雷文星², 谢彦章², 张建仁²

(1. 陆装驻太原地区第三军事代表室, 太原 030012; 2. 山西江阳化工有限公司, 太原 030041)

摘要: 为提高药型罩侵彻性能, 设计球缺形药型罩的装药结构, 研究其高效毁伤特性。针对混凝土靶标, 对多种活性材料和结构的药型罩进行侵彻对比试验研究, 分析活性材料药型罩的毁伤效果。通过试验结果及分析, 优选药型罩材料及优化结构设计。结果表明, 该研究为活性材料药型罩的工程化实际应用提供了参考。

关键词: 活性材料; 药型罩结构; 侵彻试验

中图分类号: TJ55 **文献标志码:** A

Active Material Liner Penetration Test

Wei Xia¹, Zhao Chengwen², Feng Xiongbo², Zheng Lirong², Hao Fei²,

Lei Wenxing², Xie Yanzhang², Zhang Jianren²

(1. No. 3 Military Representative Office in Taiyuan District, Army Equipment Department, Taiyuan 030012, China;

2. Shanxi Jiangyang Chemical Co., Ltd., Taiyuan 030041, China)

Abstract: In order to improve the penetration performance of shaped charge liner, the charge structure of segmental shaped charge liner was designed, and its high efficiency damage characteristics were studied. Aiming at the concrete target, the comparative experimental study on the penetration of various active material and structure liners was carried out, and the damage effect of the active material liner was analyzed. Based on the test results and analysis, the liner material and structure design are optimized. The results show that the study provides a reference for the engineering application of active material liner.

Keywords: active material; structure of liners; penetration experiment

0 引言

活性材料作为一种多元复合材料, 不但具有类金属侵彻性能, 而且在高动载冲击过程中被激活并发生热化学反应, 在进入目标内部后释放大量化学能, 形成类似炸药爆炸、爆燃、侵彻等综合杀伤因素, 在动能侵彻和化学能侵彻的双重作用下达到更加高效毁伤目标的效果^[1-2]。在武器装备工程化应用过程中, 研究人员利用活性材料所具备的高效毁伤特性, 将其充分应用于战斗部各零部件中, 旨在提升弹药毁伤威力。其中, 由活性材料制备药型罩就是当前提升弹药威力的重要工程化研究方向之一^[3]。

活性材料药型罩的毁伤性能影响因素很多, 如药型罩材料、药型罩结构、炸高及装药长径比等。近年来, 众多研究人员对活性材料药型罩进行了深入研究。苏成海等^[4]研究了 PTFE/Al 活性药型罩聚能装药对钢靶的侵彻爆燃行为及耦合作用机理, 获得了炸高对侵彻深度、侵彻孔径、钢靶爆裂行为影响特性。李延等^[5]通过数值模拟和试验验证相结合的方法, 对比了 PTFE/Ti/W 含能药型罩与铝罩的射

流成型差异, 研究了药型罩密度对射流凝聚性的影响。郭焕果等^[6]采用数值模拟和实验相结合的方法, 研究了活性-铜罩射流成型基侵彻钢靶增强行为, 得出活性-铜射流比单一活性射流对钢靶造成的侵深更大。孙韬等^[7]通过理论与数值模拟, 对 3 种不同形状 Al-PTFE 药型罩活性聚能侵彻体的成型行为开展了研究, 得出了不同活性聚能侵彻体在不同炸高条件下适用的打击目标。张雪朋等^[8]采用数值模拟和地面静爆实验相结合的方法, 对活性药型罩聚能装药在不同炸高条件下作用混凝土靶毁伤效应问题进行了研究。上述对活性材料药型罩的研究大都集中于理论模拟计算与验证试验分析, 但对于其在工程化实际应用的研究较为少见。

笔者以某型战斗部前置聚能装药所用药型罩为研究对象, 对比分析活性材料药型罩的实际毁伤效果。为研究不同种类活性材料药型罩毁伤效果的差异, 设计了钛合金、氟聚物、稀土 3 种活性材料药型罩对比试验, 其中药型罩结构均采用球缺形等壁厚结构, 试验过程采用统一的装药结构。另外, 设

收稿日期: 2024-08-13; 修回日期: 2024-09-21

第一作者: 卫 夏(1987—), 女, 山西人。

计了相同材料、不同壁厚药型罩对混凝土靶标的侵彻试验, 得出了不同壁厚药型罩的毁伤效果。研究结果对战斗部工程化应用过程中活性材料药型罩的材料选型、结构设计以及毁伤评估具有一定的参考价值。

1 试验准备

1.1 药型罩结构

为满足开孔孔径及穿深的指标要求, 实现高效毁伤性能, 试验采用球缺形药型罩, 其结构如图 1 所示。

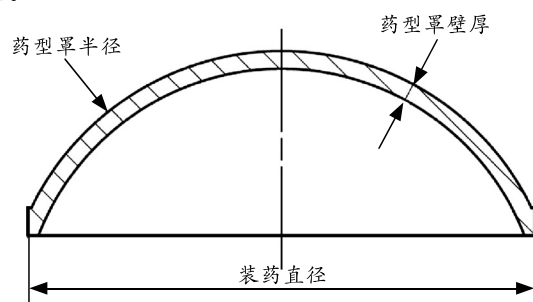


图 1 药型罩结构

1.2 装药结构

试验用装药结构主要由活性材料药型罩、主装药、传爆药柱等组成, 装药结构如图 2 所示。其中, 主装药采用 JH-2 炸药压制成型, 药柱密度为 1.72 g/cm^3 , 爆速为 8400 m/s , 装药量约为 3.5 kg ; 试验过程中所用传爆药柱为钝化黑索今, 药量约为 15 g 。试验起爆采用 8#电雷管起爆。

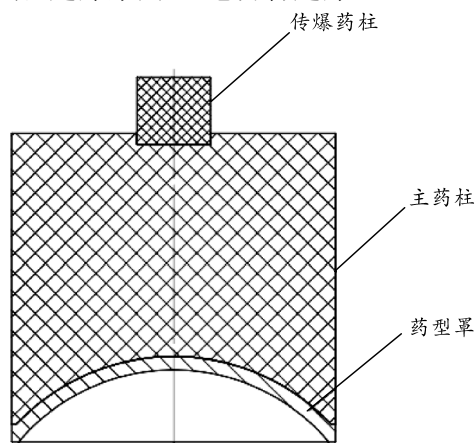
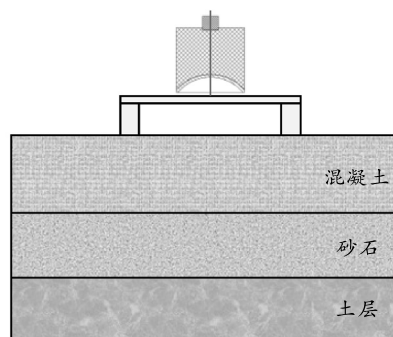


图 2 试验装药结构

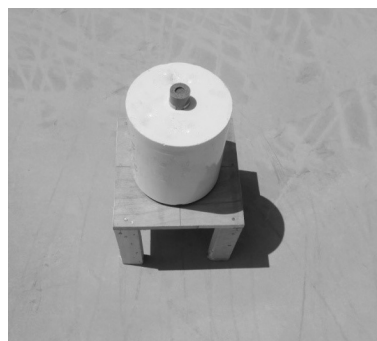
1.3 试验布置

试验用靶标为混凝土修筑的 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 靶标, 自上而下分别为 C40 标准水泥面层、砂石层、土层等。侵彻试验布置及实物如图 3 所示, 其中, 以木质支架支撑试验装药, 在一定炸高下作用于混凝土靶标;

炸药起爆后, 活性材料药型罩在爆轰能量的作用下形成射流, 对混凝土靶标进行开孔, 射流进入混凝土靶标内部后释放化学能, 进一步实现对混凝土靶标高效毁伤的目的。



(a) 试验布置



(b) 试验实物

图 3 试验布置及试验实物图

1.4 对比试验设置

在实际工程应用中, 活性材料药型罩用于串联战斗部中前置聚能装药战斗部对混凝土靶标进行开孔, 其开孔孔径和穿深应达到指标要求, 便于后续战斗部进入目标通道进行二次毁伤。笔者设置了 2 组对比试验, 用于研究不同药型罩材料和药型罩结构对混凝土靶标侵彻的开孔孔径及穿深的毁伤效果, 便于后续在工程中的实际应用。其中, 第 1 组试验: 药型罩材料为钛合金(1-1#)、稀土(1-2#)、氟聚物(1-3#), 其余试验条件相同; 第 2 组试验: 药型罩材料为稀土材料, 药型罩壁厚为 5 mm (2-1#)、 5.5 mm (2-2#)、 6 mm (2-3#)。

2 试验结果与分析

2.1 不同药型罩材料侵彻试验结果与分析

在本组试验中, 采用相同药型罩结构, 制备药型罩材料分别为钛合金、稀土及氟聚物材料, 对混凝土靶标进行侵彻, 其毁伤效果如图 4—6 所示。试验后通过测量内开孔孔径及穿深来评估其毁伤效果, 测得的试验数据如表 1 所示。



图 4 钛合金药型罩(1-1#)毁伤效果



图 5 氟聚物药型罩(1-2#)毁伤效果



图 6 稀土药型罩(1-3#)侵彻试验结果

表 1 不同药型罩材料试验结果

编号	药型罩材料	孔径	穿深
1-1	钛合金	100×100	640
1-2	氟聚物	120×110	580
1-3	稀土	150×130	800

通过表 1 可以看出：3 发不同药型罩材料试验中，钛合金材料所制备药型罩侵彻穿深较浅，内开孔孔径较小，混凝土表面层均被破坏，如图 4 所示；氟聚物材料所制备药型罩侵彻穿深适中，内开孔孔径相比于钛合金药型罩，内开孔孔径有所增大；稀土材料所制备药型罩侵彻穿深较大，相比于其他 2 种材料，内开孔孔径也显著增大。

通过上述 3 种材料对比，稀土材料所制备的药型罩都展现出相比于其他 2 种材料有更好的侵彻性能，稀土材料药型罩形成的孔径最大，侵彻深度最深。上述试验结果表明：药型罩材料的选取对于聚能装药战斗部侵彻效果具有重要影响，不仅能增加

穿深，而且能增加孔径，为后续工程化实际应用提供指导，便于在工程实际应用中根据穿深及孔径等要求，来选取最佳药型罩材料。

2.2 不同药型罩壁厚侵彻试验结果与分析

通过上组试验结果可知，稀土药型罩在侵彻试验中表现出更优的穿深及孔径。为进一步验证药型罩结构对侵彻试验结果的影响，如图 7 所示。本组试验设计具有不同药型罩壁厚的稀土材料药型罩，炸高相同，对混凝土靶标进行侵彻，试验后通过测量内开孔孔径及穿深来评估其毁伤效果，测得的试验数据如表 2 所示。



(a) 编号 2-1



(b) 编号 2-2



(c) 编号 2-3

图 7 不同药型罩结构毁伤效果

表 2 稀土药型罩不同试验参数试验结果 mm

编号	药型罩壁厚	孔径	穿深
2-1	5.0	100×150	970
2-2	5.5	140×150	680
2-3	6.0	160×100	620

由图 7 和表 2 可以看出：不同壁厚药型罩侵彻混凝土获得了相似开孔孔径，但是穿深具有明显变化，在药型罩口径尺寸不变的情况下，药型罩壁厚的增加，侵彻深度明显减小。这是由于药型罩壁厚的增加，导致药型罩质量增加，在炸药爆轰作用下单位质量药型罩获得能量减小，射流速度梯度降低，进而导致侵彻深度降低^[9]。

在第 1 组试验(不同药型罩材料)的基础上，进一步研究了药型罩结构(壁厚)对于混凝土靶标的侵彻试验，药型罩结构壁厚选择 5.5 mm 满足要求，药型罩壁厚参数对于侵彻效果有很大程度的影响，这便于在工程化应用中进一步对药型罩结构的优化，具有工程指导意义。

3 结论

在上述 2 组试验中，开孔孔径及穿深都达到了指标要求，但是由于药型罩材料及结构的不同，得到了不同的侵彻性能。试验结果表明：

1) 活性材料因其高效毁伤特性，具有比普通金属材料药型罩更优的侵彻性能，所获得的孔径及穿深都能够满足工程实际应用的指标要求。

2) 药型罩材料及结构作为影响其侵彻性能的主要因素之一，不同材料和壁厚的药型罩展现出的侵彻性能具有较大差异：钛合金、氟聚物、稀土 3 种活性材料药型罩中，稀土材料药型罩展现出优于其他 2 种材料的毁伤性能；同一活性材料药型罩随着壁厚的增加，影响其对混凝土靶标的侵彻深度，选取适中的药型罩壁厚尤为重要，同时兼顾开孔孔径和侵彻深度。

笔者通过侵彻试验，旨在突出药型罩材料及结构对于工程化实际应用中的影响。开孔及穿深是体现战斗部威力性能的重要指标。为满足不同指标要求，对药型罩材料进行选型和结构设计，是当前工程化应用中的主要研究方向。在后续工程化应用中，可以通过优化装药结构、药型罩结构及药型罩加工工艺等方式提高药型罩侵彻性能，从而进一步提升战斗部威力。

参考文献：

- [1] 辛春亮, 余道建, 史文卿, 等. 活性药型罩聚能装药子弹毁伤效应研究[J]. 兵工学报, 2014, 35(S2): 217-221.
- [2] 苏成海, 王海福, 谢剑文, 等. 活性射流作用混凝土靶侵彻与爆炸效应研究[J]. 兵工学报, 2019, 40(9): 1829-1835.
- [3] 王宝林, 刘文娟, 徐鹏, 等. 含能材料应用于反跑道战斗部药型罩实验研究[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 19-20, 29.
- [4] 苏成海, 李宗谕, 郑元枫, 等. 活性药型罩聚能装药侵彻爆燃试验及耦合作用机理分析[J]. 兵工学报, 2023, 44(2): 334-344.
- [5] 李延, 王伟, 张雷雷, 等. 聚四氟乙烯基药型罩射流成型凝聚性研究[J]. 兵工学报, 2019, 40(12): 2433-2439.
- [6] 郭焕果, 卢冠成, 何锁, 等. 活性复合罩聚能装药侵彻增强行为[J]. 北京理工大学学报, 2020, 40(12): 1259-1266.
- [7] 孙韬, 袁盈, 郑元枫, 等. 药型罩形状对活性聚能侵彻体成型的影响[J]. 北京理工大学学报, 2024, 44(4): 327-335.
- [8] 张雪朋, 肖建光, 余庆波, 等. 活性药型罩聚能装药作用混凝土靶毁伤效应[J]. 北京理工大学学报, 2016, 36(12): 1211-1215.
- [9] 韩阳阳, 尹建平, 陈闯, 等. 药型罩结构参数对 K 型聚能装药成型影响分析[J]. 兵工学报, 2018, 39(S1): 57-61.