

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.04.013

活性金属药型罩射孔弹破甲试验研究^{*}

张子敏^① 许碧英^① 阎峰^② 刘丰旺^① 郭惊雷^② 付伟^①

①西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

②北方斯伦贝谢油田技术有限公司(陕西西安,710065)

[摘 要] 为增大射孔弹的穿孔孔径,设计了一种活性金属药型罩,该种药型罩中包含在外界作用下可产生放热反应的铝/镍金属体系,同时选用 3 种活性金属材料配方开展相应试验,并与铜钨金属粉末药型罩的作用效能进行对比。试验结果表明,添加一定比例反应性金属能够提高药型罩射流的后效作用能力、增大穿孔孔径,其中,铜粉质量分数为 10% 时对增加射流穿深几乎没有形成帮助,而当铜粉质量分数为 70% 时,射流的穿深显著增大。

[关键词] 活性金属药型罩 粉末药型罩 射孔弹 可反应金属

[分类号] TD235.1⁺1 TE257⁺.1

引言

随着我国石油工业的发展,国内的射孔器材及射孔技术也取得长足的进步。聚能药型罩是射孔弹的核心部件,对射孔弹性能的影响也最为重要。

由于粉末药型罩在形成射流时不形成整杵,射流性能可通过调整配方达到,近些年多应用于射孔弹中,而药型罩金属粉末配方的选择,一定程度上决定了药型罩形成射流的性能。

王毅^[1]等人介绍了近年来国内外粉末药型罩材料技术的研究现状,综述了一些国内外优秀研究成果,最后以活性金属药型罩为主线,提出了其新的发展方向和应用前景。王艳萍^[2]等在实验的基础上以 Ø24mm 大孔径石油射孔弹为研究对象,从药型罩、炸药的种类两个方面进行了实验研究,为大孔径射孔弹的设计开发提供了一些基础数据。赵腾^[3]等人对药型罩材料的密度、声速、物理对称性和几何对称性 4 个基本要素进行了探讨,论述了 4 个基本要素对使用性能的影响,阐述了在选择药型罩材料及其制作工艺时应遵循的原则。

目前为止,用于射孔弹药型罩的材料主要为铜基混合金属粉末,除此之外还有含钽、钼、镍、钨、铀、铯、铁、铝、银、锆和金等的单质金属粉末药型罩以及 W-Cu、Ta-Cu、Ta-W、Re-Cu 等的合金粉末罩。

笔者对可反应材料及聚能破甲技术的应用^[4-9]进行了调研,并以此为参考,研究了一种活性金属药型罩,该种药型罩中包含的金属在冲击波等外界作用下可发生反应并能释放出大量热能,从而增强射

孔弹产生射流的后效作用,一定程度上可增大射孔孔径。

1 药型罩配方设计

镍粉和铝粉混合物在经历冲击波作用时会形成带有显著输出能量的中间金属,而产生该化合物的铝/镍体系释放 9581.36J/cm³ 的能量密度,该反应产生和 TNT 的爆炸相似的能量密度(TNT 炸药的总能量释放为 9623.2J/cm³),不释放气体,生成热在 293K 时为 71128J/mol,该能量可以在射流中产生并用来卸放到目标物中^[10]。

基于以上原理,试验选用了以铝、镍金属粉末为主要组分(铝、镍以摩尔分数 1:1 的配比进行添加)的材料,并添加不同比例的铜金属粉末以增大射流的穿深。

表 1 是试验设计的 3 种药型罩所含的原材料配方情况,3 种配方中的聚四氟乙烯均是作为粘结剂存在,聚四氟乙烯的质量分数均为 0.75%,配方 2 中铜的质量分数为 10.00%,而配方 3 中铜的质量分数为 70.00%。

表 1 活性金属药型罩原材料配方组分

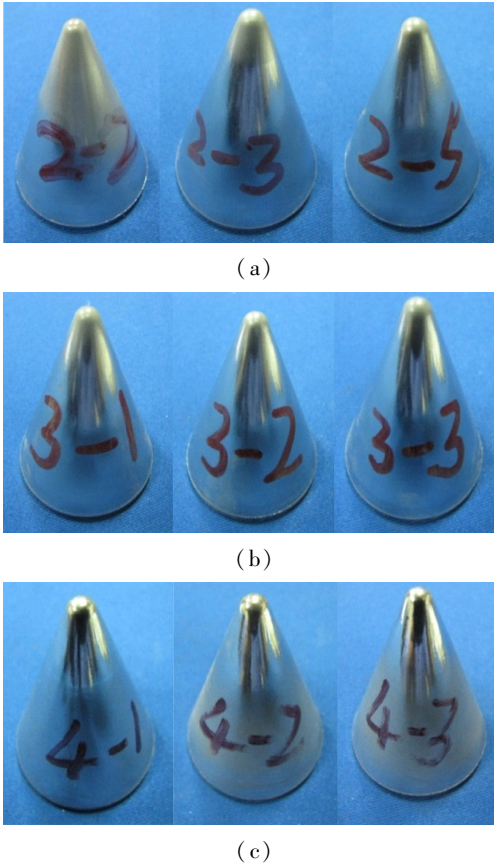
Tab.1 Raw materials of active metal charge liner

配方编号	原材料	对应的药型罩编号
配方 1	镍粉、铝粉、聚四氟乙烯	2-2,2-3,2-5
配方 2	镍粉、铝粉、铜粉、聚四氟乙烯	3-1,3-2,3-3
配方 3	镍粉、铝粉、铜粉、聚四氟乙烯	4-1,4-2,4-3

按以上 3 个配方进行原材料配制,利用粉末旋

^{*} 收稿日期: 2013-05-03
作者简介: 张子敏(1981~)女,硕士,工程师,主要研究方向:聚能战斗部设计研究。E-mail:zhangzimin1981@163.com

压成型技术完成药型罩成型,最终成型的药型罩如图 1 所示。



(a) 配方 1;(b) 配方 2;(c) 配方 3
图 1 活性金属药型罩
Fig. 1 Active metal charge liner

从图 1 所示的药型罩图片可以看出,随着组分配比的不同,药型罩外观也表现出一定的色差,同时由于混粉设备的局限性,使得最终成型的药型罩上出现了明显的粉末混合不均匀迹象,尤其是加大铜粉的质量分数后(配方 3),由于组分密度的增大,铜粉呈现明显的堆积,这可能会在后续的试验中影响到射流作用的稳定性。

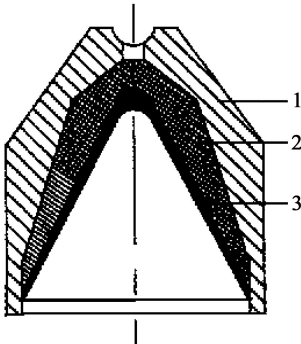
2 试验部分

2.1 试验装置

试验选用 DP44RDX98-3 型射孔弹(由北方斯伦贝谢油田技术有限公司提供),罩口径为 $\varnothing 52\text{mm}$,主装药为 RDX,示意图如图 2,实物如图 3。
试验采用 45# 钢柱作为试验靶柱,直径 60mm。炸高取 60mm,导爆索为油井专用 06 塑料导爆索,图 4 为试验前射孔弹在靶场的布置情况。

2.2 试验结果

共进行了 4 组共 12 发试验,一种活性材料配方为一组,最后采用一组 3 发以铜钨混合粉末作为药型罩的同型号射孔弹进行对比试验,试验后射流在



1-弹壳;2-炸药装药;3-含能药型罩
图 2 射孔弹示意图
Fig. 2 Schematic diagram of perforating bullet



图 3 试验用射孔弹
Fig. 3 Perforating bullet for experiment



图 4 试验弹布置情况
Fig. 4 Organization of perforating bullet in experiment

靶柱上形成穿孔,图 5 到图 8 是不同靶柱上孔的俯视图照片。

配方 1 药型罩(2-2、2-3、2-5)射孔弹所用的靶柱分别为 5、6、7 号靶柱,试验后的穿孔如图 5 所示。

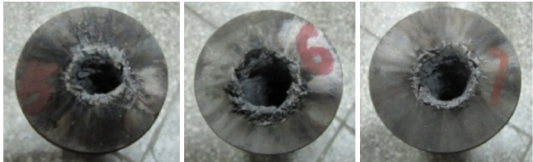


图 5 试验后的 5、6、7 号靶柱
Fig. 5 Target column after experiment (No. 5, 6, 7)

配方 2 药型罩(3-1、3-2、3-3)射孔弹试验用的靶柱分别为 9、10、11 号靶柱,试验后的靶柱状态如图 6 所示。

配方 3 药型罩(4-1、4-2、4-3)试验时所用的靶柱分别为 13、14、15 号靶柱,试验后的靶柱状态如图

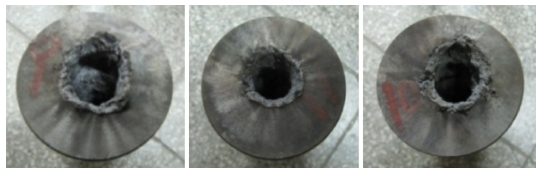


图 6 试验后的 9、10、11 号靶柱

Fig. 6 Target column after experiment (NO. 9, 10, 11)

7 所示。

为进行对比试验,除了以上 3 种配方的药型罩之外,选取了 3 发(5-1、5-2、5-3)铜钨系粉末药型罩射孔弹(DP44-3 型)进行相同条件下的试验,所得试验结果如图 8 所示(3 发试验所用的靶柱分别为 18、19、20)。

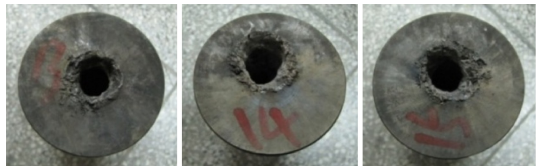


图 7 试验后的 13、14、15 号靶柱

Fig. 7 Target column after experiment (No. 13, 14, 15)



图 8 试验后的 18、19、20 号靶柱

Fig. 8 Target column after experiment (No. 18, 19, 20)

试验后对射流穿孔的入口孔径和穿深进行了测

量,得到结果见表 2。

在进行以上试验时,罩金属粉末混合不够均匀,难以形成完整连续射流,对试验结果造成了一定的影响,需要在今后的工作中进一步改进。但通过研究试验可以认为,将反应金属作为粉末药型罩的原材料形成的活性金属药型罩,其射孔弹产生明显的后效作用,并由此增大了射流对目标材料的穿孔孔径。

3 结论

分析以上试验及数据,可以大致得出以下几点结论:

1) 比较靶柱孔周围表面,可以发现 5~7 号、9~11 号、13~15 号靶柱上有明显放射性的烧蚀痕迹,表面颜色相比 18~20 号靶柱呈明显的黑色。由此可以说明铝、镍两种金属在冲击波作用下发生了相比铜钨混合粉末强烈的放热反应;

2) 和铜钨系粉末药型罩相比,使用可反应铝/镍体系金属材料的 3 组活性金属药型罩,产生射流的穿孔孔径增大,但穿深减小。说明可反应金属材料的添加对增大药型罩射流在目标靶上的穿孔孔径起到了一定的作用;

3) 在含能药型罩配方中,铜粉含量的比例对射流穿深有一定的影响,本试验中,质量分数为 10.00% 铜粉的添加对增加射流穿深几乎没有形成帮助,当铜粉质量分数为 70.00% 时,射流的穿深明显增大,但穿孔孔径减小,合理的配比尚需根据实际应用的需求作进一步地研究。

表 2 射孔弹破甲试验

Tab. 2 Results of Perforating bullet jet pentration test

试验 次序	对应 配方	试验弹 编号	对应靶 柱编号	靶柱规格/ (mm × mm)	穿孔深度/ mm	深度平均值/ mm	穿孔孔径/ mm	孔径平均值/ mm
1	1	2-2	5	Ø60 × 200	100	108	22	24
2		2-3	6		104		25	
3		2-5	7		120		24	
4	2	3-1	9	Ø60 × 200	105	110	28	27
5		3-2	10		102		28	
6		3-3	11		122		24	
7	3	4-1	13	Ø60 × 200	155	149	20	21
8		4-2	14		141		22	
9		4-3	15		152		20	
10	铜钨 药型 罩	5-1	18	Ø60 × 230	靶柱透	—	20	20
11		5-2	19		212		21	
12		5-3	20		靶柱透		19	

参 考 文 献

- [1] 王毅,姜伟,刘宏英,等. 聚能装药粉末药型罩材料技术的发展和现状[J]. 爆破器材,2007,36(5):33-36.
Wang Yi, Jiang Wei, Liu Hongying, et al. The development and current situation of material and technology about explosive-loading powder Liners [J]. Explosive Materials, 2007,36(5):33-36.
- [2] 王艳萍,黄寅生,姜延东. 大口径石油射孔弹性能的实验研究[J]. 火炸药学报, 2002(3):79-80.
Wang Yanping, Huang Yinsheng, Jiang Yandong. Experiment study of big entry hole charge for petroleum [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2002(3):79-80.
- [3] 赵腾,罗虹,贾万明,等. 药型罩材料技术基本要素探讨[J]. 兵器材料科学与工程,2007,30(5):77-82.
Zhao Teng, Luo Hong, Jia Wanming, et al. Discussion on the basic elements of shaped charge liner material [J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2007, 30(5):77-82.
- [4] 王毅,姜伟,刘宏英,等. 粉末药型罩材料及其工艺技术的研究进展[J]. 含能材料,2007,15(5):555-559.
Wang Yi, Jiang Wei, Liu Hongying, et al. Progress in materials and processing technology of powder liners [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2007,15(5):555-559.
- [5] Committee on advanced energetic materials and manufac-

- turing technologies, National Research Council. Advanced Energetic Materials [M]. Washington D C: The National Academies Press, 2004.
- [6] 韩欢庆,姜伟,张鹏,等. 金属粉末在药型罩中的应用[J]. 粉末冶金工业,2004,14(3):1-4.
Han Huanqing, Jiang Wei, Zhang Peng, et al. Application of metal powders to shaped charge liner [J]. Powder Metallurgy Industry, 2004,14(3):1-4.
- [7] 李晋庆. 几种新型石油射孔弹的研究和讨论[J]. 爆破器材,2003,32(4):27-30.
Li Jinqing. Research and discuss of new types oil perforator [J]. Explosive Materials, 2003,32(4):27-30.
- [8] 胡忠武,李中奎,张廷杰,等. 药型罩材料的发展[J]. 稀有金属材料与工程,2004,33(10):1009-1012.
Hu Zhongwu, Li Zhongkui, Zhang Tingjie, et al. Advanced progress in materials for shaped charge and explosively formed penetrator liners [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2004,33(10):1009-1012.
- [9] 史慧生,王志信. 增效射孔的整体设计[J]. 爆破器材, 2001,30(2):32-38.
Shi Huisheng, Wang Zhixin. The integrative design of synergistic perforation [J]. Explosive Materials, 2001, 30(2):32-38.
- [10] Bourne B. Oil Well Perforator: US, 6877562B2 [P]. 2005-04-12.

Penetrating Test of Active Metal Charge Liner Perforating Bullet

ZHANG Zimin^①, XU Biying^①, YAN Feng^②, LIU Fengwang^①, GUO Jinglei^②, FU Wei^①^① Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi, Xi'an 710065)^② North Schlumberger Oilfield Technologies CO., Ltd (Shaanxi, Xi'an 710065)

[ABSTRACT] An active metal charge liner for perforating bullet was designed to enlarge the diameter of the hole in the object. The liner contained an Al/Ni metal system that can generate exothermal reaction by certain external action. Meanwhile, 3 active metal material formulas were chosen to develop corresponding experiments, and they were compared with the action of shaped charge liner consisting of copper-tungsten metal powder. The results show that the addition of certain scale reactive metals can help the shaped charge liner provide certain energy to improve the after effect ability of jet and enlarge the hole diameter. There is no help to increase the jet perforating deep when the mass ratio of copper powder is 10%, while the jet perforating deep was significantly increased when the mass ratio of copper powder grows to 70%.

[KEY WORDS] active metal charge liner, powder shaped charge liner, perforating bullet, reactive metal