

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.03.012

# 地面弹药堆垛设置隔爆墙试验研究\*

张艳明<sup>①</sup> 罗兴柏<sup>①</sup> 刘国庆<sup>①</sup> 冯兆轩<sup>②</sup> 玄克诚<sup>②</sup>

①军械工程学院弹药工程系(河北石家庄,050003)

②中国人民解放军 65316 部队(吉林长春,130000)

[摘 要] 为了验证便携式隔爆墙对野战弹药堆垛的防护能力,在不同规格便携式隔爆墙内填充不同的介质,并将其置于弹药堆垛的前方进行防护,距隔爆墙一段距离进行实弹静爆,通过观察实弹对隔爆墙的破坏程度,来判断隔爆墙对弹药堆垛的防护效果。结果表明,在试验条件下,1.0 m 厚隔爆墙在距炸点 2.0 m 以外,0.6 m 厚隔爆墙在距炸点 3.0 m 以外防护有效;填充砂泥土隔爆墙的防护能力最强。

[关键词] 弹药堆垛;隔爆墙;防护能力

[分类号] TJ410.6

## 引言

弹药一般是指壳体内装有火药、炸药或其他装填物的军械物品,能对目标起毁伤作用或完成其他任务<sup>[1]</sup>。作为一种重要的战略资源,弹药对于国防安全有着非常重要的意义。野战条件下,弹药一般是以堆垛的形式暴露在阵地,如果不采取任何的防护措施,作战时产生的爆轰产物、冲击波、破片和射流都可能引起弹药堆垛的爆炸,不仅会造成弹药的损失,更可能因为爆炸导致己方人员伤亡、战斗力丧失等非常严重的后果。因此提高野战弹药的防护能力是非常重要的,这也是各军事强国都面临的基础性和战略性课题<sup>[2]</sup>。

隔爆墙可以构造成简单的工事,布置在弹药堆垛的四周,通过其对爆轰产物、破片、冲击波的阻挡,对弹药堆垛起到防护作用。目前国内外对于隔爆墙的结构形式<sup>[3-6]</sup>、载荷及设计<sup>[7-8]</sup>、后流场压力和冲量分布<sup>[9-10]</sup>等做了一些研究,为隔爆墙的结构设计以及应用提供了非常重要的参考信息。

本文通过在弹药堆垛周围放置不同规格、填充不同介质的便携式隔爆墙,研究隔爆墙对弹药堆垛的防护效果和防护能力。直接作用于隔爆墙的是弹丸破片、冲击波和爆轰产物。

## 1 试验研究

### 1.1 试验条件

1)打击弹药:某型弹丸,弹丸装药量相当于 3.5 kg TNT,产生破片的数量大约为 1800 块。

2)打击方式:为使被试目标受弹概率均等并达到最大,试验采用地面静爆代替实打,弹丸口部朝下,落角约 90°,用电雷管起爆。

3)目标弹药:目标弹药中所使用的实弹、倒空弹药与打击弹药的型号相同,使用的包装箱分别有木质、塑料和铁质 3 种材质。

4)便携式隔爆墙:外围由钢丝编织而成,闲置时可以折叠,使用时将其展开,可以根据实际需要填充不同的介质,如图 1 所示。

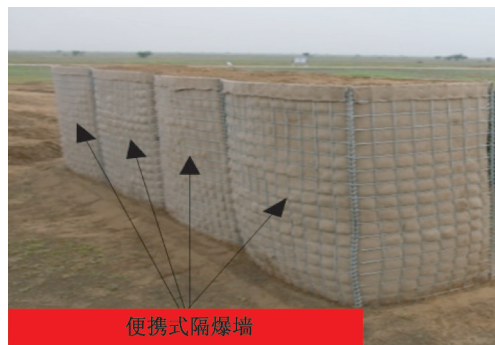


图 1 便携式隔爆墙

Fig. 1 Portable explosive-proof walls

## 1.2 试验过程

### 1.2.1 摸底试验

在受试目标无实弹情况下,实测便携式隔爆墙防护效果,为正式试验提供参考,示意图见图 2。

目标 1:地面弹药堆垛设置隔爆墙。厚度为 1.5 m,填充砂泥土,迎弹面到炸点距离为 4.0 m,弹药堆垛迎弹面如图 3 所示。

\* 收稿日期:2013-12-24

作者简介:张艳明(1989~),男,硕士研究生,主要从事弹药技术与保障研究。E-mail:zym1553681@163.com

通信作者:罗兴柏(1962~),男,教授,主要从事弹药技术与保障研究。

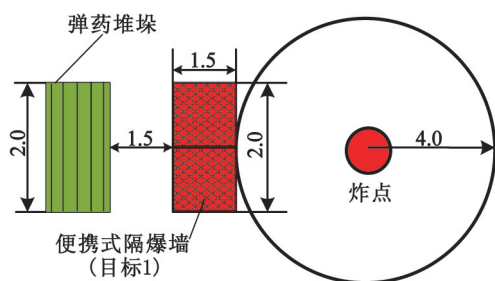


图2 摸底试验目标布设示意图(单位:m)

Fig.2 Arrangement sketch of goals in assessment experiment(unit:m)



图3 弹药堆垛迎弹面

Fig.3 Impacted side of ammunition stack

### 1.2.2 试验一

对比实测受试弹药距炸点 7.0 m 处,1.0 m 厚隔爆墙的毁伤效应和防护效果,示意图为图 4。

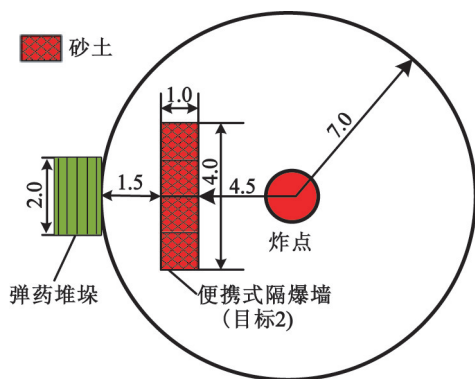


图4 试验一目标布设示意图(单位:m)

Fig.4 Arrangement sketch of goals in experiment 1(unit:m)

地面弹药堆垛:弹药 131 箱,分 5 层 2 列并排堆放。迎弹面放置实弹药筒 2 发,装倒空弹药的铁质、塑料包装箱各 2 个;其余包装箱装土配重。

目标 2:隔爆墙在炸点和弹药堆垛之间,距离弹药堆垛正面 1.5 m,用砂泥土装填。便携式隔爆墙长 4.0 m、厚 1.0 m、高 1.37 m。

### 1.2.3 试验二

距炸点 3.0 m 处,设 0.6 m 和 1.0 m 两种厚度隔爆墙。对比实测弹药对这 2 个目标的毁伤效应和防护效果,目标布设示意图为图 5。

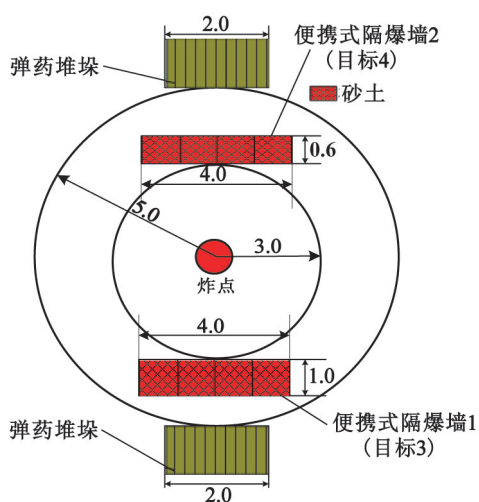


图5 试验二目标布设示意图(单位:m)

Fig.5 Arrangement sketch of goals in experiment 2(unit:m)

1) 目标 3:隔爆墙距炸点 3.0 m,长 4.0 m × 厚 1.0 m × 高 1.37 m,填充砂泥土。

弹药堆垛:弹药 32 箱,分 2 列并排堆放,距炸点 5.0 m,迎弹面放置实弹药筒 2 发,倒空弹药 8 发,其余包装箱装土配重。

2) 目标 4:隔爆墙距炸点 3.0 m,长 4.0 m × 厚 0.6 m × 高 1.37 m,填充砂泥土。

弹药堆垛:弹药 36 箱,分 2 列并排堆放,距炸点 5.0 m,迎弹面放置倒空弹 10 发,其余包装箱装土配重。

### 1.2.4 试验三

不同填充介质隔爆墙共 7 个,目标的毁伤效应和防护效果测试示意图为图 6。

1) 目标 5:隔爆墙填充碎石,距炸点 3.0 m,长 2.0 m × 厚 0.6 m × 高 1.37 m。

弹药堆垛:弹药 70 箱,分 5 层 2 列并排堆放,包装箱装土配重。

2) 目标 6:隔爆墙填充袋装砂石, $V(\text{砂}):V(\text{石})=1:2$ ,距炸点 3.0 m,长 2.0 m × 厚 0.6 m × 高 1.37 m。

弹药堆垛:与目标 5 共用。

3) 目标 7:隔爆墙填充砂泥土,距炸点 2.0 m,长 1.0 m × 厚 1.0 m × 高 1.37 m。

弹药堆垛:弹药 62 箱,分 5 层 2 列并排堆放,包装箱装土配重。

4) 目标 8:隔爆墙填充砂石, $V(\text{砂}):V(\text{石})=1:2$ ,距炸点 2.0 m,长 1.0 m × 厚 1.0 m × 高 1.37 m。

弹药堆垛:与目标 7 共用。

5) 目标 9:隔爆墙填充碎石,距炸点 3.0 m,长

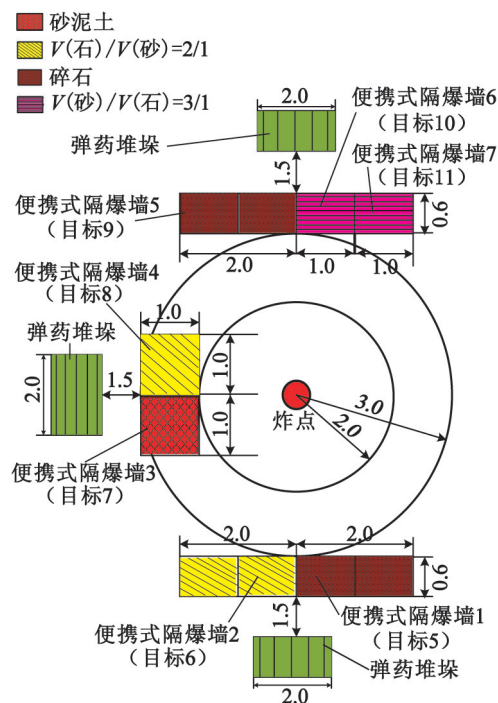


图 6 试验三目标布设示意图(单位:m)

Fig. 6 Arrangement sketch of goals in experiment 3(unit:m)

2.0 m × 厚 0.6 m × 高 1.37 m。

弹药堆垛:弹药 55 箱,分 5 层 2 列并排堆放,包装箱装土配重。

6) 目标 10:隔爆墙填充袋装砂石,砂石比例为  $V(\text{砂}):V(\text{石})=3:1$ ,距炸点 3.0 m,长 1.0 m × 厚 0.6 m × 高 1.37 m。

弹药堆垛:与目标 9 共用。

7) 目标 11:隔爆墙填充砂石, $V(\text{砂}):V(\text{石})=3:1$ ,距炸点 3.0 m,长 1.0 m × 厚 0.6 m × 高 1.37 m。

弹药堆垛:与目标 9 共用。

## 2 结果及分析

### 2.1 毁伤情况

距炸点不同距离的 11 个隔爆墙毁伤情况不尽相同,3 个发生局部坍塌(目标 7、目标 8、目标 11),主要是由于冲击波的冲击作用。其余发生防护布烧毁或撕裂、钢质网片变形或脱焊、钢质网片切断等损伤情况,主要是弹丸破片的作用。除一处隔爆墙结合部(目标 9 与目标 10 结合部)被破片穿透,进而击穿包装箱外,其余均未造成包装箱损坏。隔爆墙破坏模式如图 7。

### 2.2 试验结果

试验结果统计见表 1。

1) 不同规格隔爆墙的防护距离。以隔爆墙后弹药堆垛迎弹面包装箱不被击穿作为隔爆墙防护有



(a) 隔爆墙局部坍塌



(b) 防护布烧毁、撕裂



(c) 钢质网片变形、脱焊



(d) 钢质网片切断

图 7 便携式隔爆墙的破坏模式

Fig. 7 Failure modes of explosive-proof walls

效判据。1.0 m 厚隔爆墙在 4.5 m、3.0 m、2.0 m 炸距上均未被击穿;0.6 m 厚隔爆墙在 3.0 m 炸距上,6 组样本量均未被击穿,破片最大侵深 0.56 m;迎弹面包装箱均未受损。综合判定,1.0 m 厚隔爆墙在距炸点 2.0 m 以外、0.6 m 厚隔爆墙在距炸点 3.0 m 以外防护有效。

2) 不同填充介质隔爆墙的防护能力。以破片对填充介质的侵彻深度作为隔爆墙防护能力的判据。砂泥土的最大侵深为 0.45 m,砂石体积比 3:1 的为 0.56 m,砂石体积比 1:2 和碎石均为 0.50 m;在 0.52 m 侵深内,砂泥土和碎石的拦截率为 100%,砂石体积比 3:1 的为 90.3%,砂石体积比 1:2 的



表 1 试验结果统计  
Tab. 1 Statistics of experimental results

目标 序号	厚度 规格 /m	炸 距 /m	填充介质		破片最大 侵深/cm	侵 深 分 布 率 /%			弹药包装 击穿情况	隔爆墙 爆后情况
			介质	密度/ (kg · m <sup>-3</sup> )		0 ~ 26 /cm	27 ~ 52 /cm	53 ~ 80 /cm		
1	1.5	4.0	砂泥土	2085	—	—	—	—	无	整体结构完好,迎弹面有 轻微破坏
2	1.0	4.5	砂泥土	2085	45	53.7	46.3	0		
3	1.0	3.0	砂泥土	2085	—	—	—	—		
4	0.6	3.0	砂泥土	2085	41	87.2	12.8	0	无	同目标 1 ~ 3
5	0.6	3.0	碎石	3321	50	75.0	25.0	0		
6	0.6	3.0	V(砂): V(石) = 1 : 2(袋装)	2738	50	89.3	7.1	3.6		
7	1.0	2.0	砂泥土	2085	—	—	—	—	无	局部坍塌
8	1.0	2.0	V(砂): V(石) = 1 : 2	2738	—	—	—	—		
9	0.6	3.0	碎石	3321	—	—	—	—		
10	0.6	3.0	V(砂): V(石) = 3 : 1(袋装)	2364	56	41.9	48.4	6.5	无	同目标 1 ~ 3
11	0.6	3.0	V(砂): V(石) = 3 : 1	2364	—	—	—	—		

注:1)炸点距离指炸点至隔爆墙迎弹面的水平距离;2)隔爆墙高度规格均为 1.37 m,长度单元均为 1.0 m;3)“—”代表数据未统计或无法统计。

为 96.4%。综合判定,填充砂泥土隔爆墙的防护能力最强;填充砂石混合物和碎石的隔爆墙由于样本量较少,未能得到防护能力的统计规律。

2.3 理论分析

2.3.1 侵彻深度

破片对隔爆墙的侵彻深度可以按弹丸侵彻土壤公式(1)计算<sup>[11]</sup>:

$$h = \lambda K \frac{m}{d^2} v_c \sin \theta_c \tag{1}$$

式中:  $h$  为侵彻深度, m;  $m$  为弹丸质量, kg;  $d$  为弹径, m;  $v_c$  为着速, m/s;  $\theta_c$  为落角, rad;  $K$  为取决于土壤介质的侵彻系数, m<sup>2</sup> · s/kg;  $\lambda$  为取决于弹头部形状的系数。

假设破片为球形破片,则式(1)可转化为:

$$h = \lambda K \frac{m}{(2\sqrt[3]{3m/4\pi\rho})^2} v_c \sin \theta_c \tag{2}$$

式中:  $\rho$  为破片材料密度。

由式(2)可知,侵彻深度与破片质量、速度成正比。

破片初速可由下面的公式求得<sup>[11]</sup>:

$$v_0 = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{m_\omega}{m_s + 0.5m_\omega}} \tag{3}$$

式中:  $m_s$ 、 $m_\omega$  分别为弹丸壳体和炸药的质量,  $\sqrt{2E}$  为取决于炸药性能的常数。

由试验结果可知,破片对隔爆墙最大侵彻深度为 0.56 m。利用以下参数对破片的最大侵彻深度进行理论估算:头部形状系数  $\lambda = 1$  (球形头部)<sup>[12]</sup>; 系数  $K = 6.5 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup> · s/kg<sup>[12]</sup>; 选取最大破片质量  $m = 43.8$  g; 破片密度  $\rho = 7.85$  g/cm<sup>3</sup>;  $v_c$  取破片初速 1050 m/s(式 3 求得); 落角  $\theta_c = 90^\circ$ 。

将上述各数值代入式(2)求得理论最大侵彻深度为  $h = 62$  cm,这与试验所得结果比较接近。

从试验和理论的结果分析可得:为了保证弹药堆垛对该试验弹丸破片的防护,可选取 1.0 m 厚的隔爆墙对弹药堆垛进行防护。

2.3.2 冲击波作用

冲击波对隔爆墙的破坏可以按照式(4)计算<sup>[12]</sup>:

$$\Delta p_m = 0.1001 \frac{\sqrt[3]{\omega}}{x} + 0.3914 \left( \frac{\sqrt[3]{\omega}}{x} \right)^2 + 1.236 \left( \frac{\sqrt[3]{\omega}}{x} \right)^3 \tag{4}$$

式中:  $\Delta p_m$  为装药在普通土壤地面爆炸时空气冲击波的峰值超压, MPa;  $\omega$  为 TNT 装药量, kg;  $x$  为到爆心的距离, m。

将  $x = 2.0$  m,  $w = 3.5$  kg 代入式(4)可得  $\Delta p_m = 0.80066$  MPa, 将  $x = 3.0$  m,  $w = 3.5$  kg 代入式(4)可得  $\Delta p_m = 0.31113$  MPa。

由试验结果分析可知,距离炸点 2.0 m 处,规格厚度为 1.0 m 的隔爆墙在杀爆弹打击下,前半部分发生坍塌,损坏严重,不具备修复价值,但弹药堆垛结构完好;而在距离炸点 3.0 m 处,只有 0.6 m 厚,且  $V(\text{砂}):V(\text{石})=3:1$  的隔爆墙局部坍塌,而其余隔爆墙都结构完整,基本未受到损害。

因此,为了防护试验弹下冲击波对弹药堆垛的破坏,可选取 1.0 m 厚的隔爆墙,并将其放置于弹药堆垛的 2.0 m 外。

### 3 结论

1) 从结果分析可得,在试验条件下,1.0 m 厚隔爆墙在距炸点 2.0 m 以外、0.6 m 厚隔爆墙在距炸点 3.0 m 以外,隔爆墙能够有效地对弹药堆垛进行防护。

2) 从隔爆墙填充介质分析可得,相同条件下填充砂泥土隔爆墙的防护能力最强。

### 参 考 文 献

- [1] 王志军,尹建平. 弹药学[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.
- [2] 宣兆龙. 基于事故树分析的野战弹药防护系统设计[J]. 装备环境工程,2006,3(4):91-95.  
Xuan Zhaolong. Protection of field ammunition based on fault tree analysis [J]. Equipment Environment Engineering,2006, 3(4):91-95.
- [3] Bogosian D, Piepenburg D. Effectiveness of frangible barriers for blast shielding [C]//Proceedings of the 17th International Symposium on Military Aspects of Blast and Shock. Las Vegas,2002.
- [4] Browles P K. Barrier assesement for safe standoff (BASS) test series[C]//Proceedings of the 11th Interaction of the Effects of Munitions with Structures. Berlin, 2003:202-208.

- [5] 韩军,王世欣,陈高杰,等. 国外折叠式防护墙应用及其关键技术分析[J]. 工兵装备研究,2010,29(3):59-64.
- [6] 邓春涛. 国外恐怖袭击与反恐防恐措施研究[D]. 南京:解放军理工大学工程兵工程学院,2004.  
Deng Chuntao. Study about foreign terrorist attack and anti-terrorism measures [D]. Nanjing:Engineering Institute of Corps Engineers of PLA University of Science and Technology,2004.
- [7] Scherbatiuk K, Rattanawangcharoen N. Experimental testing and numerical modeling of soil-filled concertainer walls[J]. Engineering Structures, 2008,30(2):3545-3554.
- [8] 刘飞,任辉启,王肖均,等. 抗爆墙在地面重要建筑物反爆炸恐怖袭击中的应用[J]. 防护工程,2004,26(6):20-25.  
Liu Fei, Ren Huiqi, Wang Xiaojun, et. al. Application of blast wall in important ground building of anti-terrorism explosive attack [J]. Protective Engineering, 2004,26(6):20-25.
- [9] Rose T A, Smith P D, Mays G C. Leakage pressure behind blast walls [C]//Proceedings of the 6th International Symposium on the Interaction of Nonnuclear Munitions with Structures. Panama City, Florida, 1993.
- [10] Rose T A, Smith P D, Mays G C. Leakage pressure behind blast walls: Phase II [R]. Final Construct Report on Defence Agency Agreement,1994.
- [11] 隋树元,王树山. 终点效应学[M]. 北京:国防工业出版社,2000.  
Sui Shuyuan, Wang Shushan. Terminal effects [M]. Beijing: National Defense Industry Press,2000.
- [12] 王儒策,赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京:北京理工大学出版社,1993.

## Experimental Research on the Explosive-proof Walls Setting in front of the Ammunition Stack on Ground

ZHANG Yanming<sup>①</sup>, LUO Xingbai<sup>①</sup>, LIU Guoqing<sup>①</sup>, FENG Zhaoxuan<sup>②</sup>, XUAN Kecheng<sup>②</sup>

<sup>①</sup>Department of Ammunition Engineering, Ordnance Engineering College (Hebei Shijiazhuang, 050003)

<sup>②</sup>65316 Troops of PLA (Jilin Changchun, 130000)

[ABSTRACT] In order to verify the proofing effect on the field ammunition stack, portable explosive-proof walls in different sizes and filled with different media were placed in front of the ammunition stacks, from which the ammunition explosion was conducted in a certain distance. The proofing capacity of the portable explosive-proof walls to the ammunition stacks could be determined from the failure degree of explosive-proof walls. Results show that when the explosive-proof wall in a thickness of 1.0 m is put at a distance of 2.0 m from the detonation point or the one in a thickness of 0.6 m is put at a distance of 3.0 m from the detonation point, the proofing is effective. The explosive-proof wall filled with loam and mold shows the strongest proofing capacity.

[KEY WORDS] ammunition stacks; explosive-proof walls; proofing capacity