

爆炸冲击波作用下钢板-砂土组合 防爆墙的实验研究*

曲 霞^{1,2}, 唐德高¹, 伍 俊³, 姜鹏飞¹

(1 解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007; 2 61622 部队, 北京 102202;

3 清华大学博士后流动站, 北京 100084)

摘 要:钢板-砂土组合防爆墙是一种有效、快捷的防护结构形式。针对该种组合结构进行了爆炸荷载作用下的抗爆特性试验研究,并结合国内外文献,着重研究了防爆墙结构上所承受的荷载,给出了荷载计算近似公式,为防爆墙设计计算提供参考依据。

关键词:钢板-砂土组合防爆墙;冲击波反射超压及冲量;实验研究

中图分类号: O383 **文献标志码:** A

Experimental Study of Steel Plate-sandy Soil Composite Blast Wall under the Effect of Blast Wave

QU Xia^{1,2}, TANG Degao¹, WU Jun³, JIANG Pengfei¹

(1 Engineering College of Engineering Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;

2 No. 61622 Unit, Beijing 102202, China;

3 Post-doctoral Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The steel plate-sandy soil composite blast wall is an effective and fast protective structure. The field tests of explosion resistance capacity are carried out on this composite structure under the action of explosion load. Combined with domestic and foreign documents, load of blast wall is heavily researched and computational approximation formulae are obtained. The results may provide good basis for blast wall design.

Keywords: steel plate-sandy soil composite blast wall; reflected shock overpressure and impulse; experimental research

0 引言

防爆安全是当前世界各国所关注的一个研究领域,为降低和防止爆炸冲击波对建筑物的破坏,需要预先设置防爆墙。目前在国内外使用多层复合结构已经成为防爆研究的热点,因为复合结构既可以大幅提高其对冲击波的防护能力,又可以降低成本^[1-3]。文中采用钢板-砂土-钢板3层复合结构,进行了TNT集团装药作用下的结构抗爆性能的试验,分析其抗爆特性,以期为这种复合结构在防护结构的抗爆设计中提供可靠的实验依据,为组合结构的防爆设计奠定基础。

1 实验研究

1.1 实验构件

活动装配式防爆墙由5排可调连杆连接的双层钢板组成,内填砂土,见图1(a)、图1(b)。构件之间的连接,采用独特设计的“U”型弹簧钢销锁紧连接方式,连接快速可靠,见图1(c)。单个构件尺寸为1.0m×0.5m×2.5m,结构与地面通过设计的底座螺孔,用膨胀螺栓或地脚螺栓固定,单个构件背面设有两道可调斜支撑,分别连接于墙体和地面,见图1(d)。钢板采用Q235钢板,厚度为3.5mm,内部连接钢管、后支撑钢管的直径均为38mm,壁厚为3.5mm。

* 收稿日期:2008-01-04

基金项目:国家自然科学基金(50578082)资助

作者简介:曲霞(1979-),女,山东烟台人,工程师,博士研究生,研究方向:武器效应及工程防护。

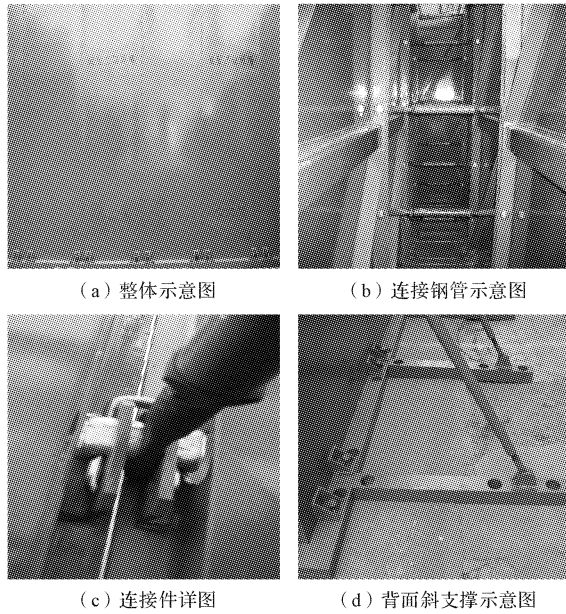


图 1 钢板-砂土组合防爆墙构件

1.2 量测系统及设备

采用 SS1792C 直流稳压器,以确保试验过程中电压的恒定;采集及信号放大系统选用 CS22125 动态测试仪。这是一套采用新一代集采集、分析、结果输出为一体的多功能智能化的测量系统。该设备的滤波频率为 100kHz,采集时间间隔为 0.8μs,采集记录长度为 1M 字节,采集通道 16,触发方式为 16 通道单通道触发;放大器采用 CS-1 型号适调放大器。该放大器特点是重量轻,体积小,抗震性能好,便于携带和搬运,频带宽,滤波频率 100kHz,电子自动平衡,适合测量中随时校准,保持时间 48h,放大倍数 3000;压力传感器采用抗电磁脉冲压力传感器,量测系统及设备见图 2。

2 实验结果及分析

2.1 实验数据

对防爆墙进行了多次试验,现以爆心在结构上的投影点的测试数据进行分析,不同比例爆距时的超压时程曲线如图 3 所示。

2.2 实验数据分析

2.2.1 结构上超压峰值比较

1) J. Henrych 公式^[4]

对于球形药包,冲击波作用在障碍物上爆心投影区的最大反射超压经验公式为:

$$\Delta P_m = \sqrt{\frac{C}{R^3}}, 0.01 < \Delta P_m < 0.25$$

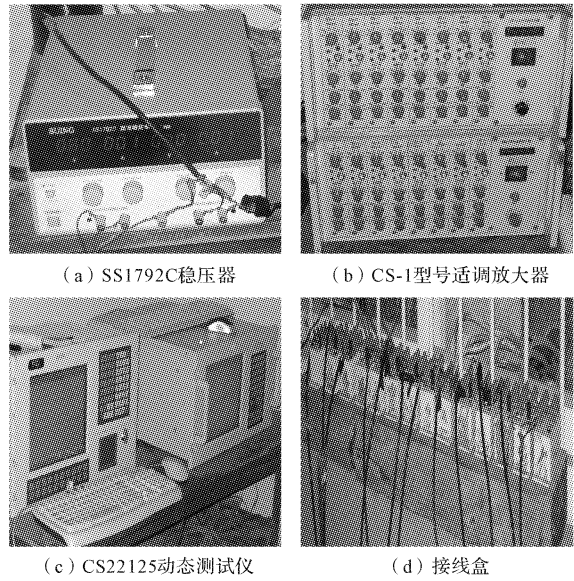


图 2 量测设备

式中:ΔP_m 为反射冲击波超压峰值(MPa);C 为等效 TNT 装药量(kg);R 为结构物距爆炸中心的距离(m)。

2) 爆炸基本原理公式^[5]

① 入射冲击波参数

当 $1 \leq R/\sqrt[3]{C} \leq 15$ 时:

$$\Delta P_m = 0.106 \frac{\sqrt[3]{C}}{R} + 0.43 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^2 + 1.4 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^3$$

式中:ΔP_m 为入射冲击波超压峰值(MPa)。

② 反射冲击波超压参数

$$\Delta P_m = 2\Delta P_m + 6\Delta P_m^2 / (\Delta P_m + 0.7)$$

3) 对比分析

现将实验数据以及利用 J. Henrych 公式、爆炸基本原理公式所求得的冲击波反射超压峰值的计算结果列于表 1,图 4 为三者的比较。

表 1 冲击波反射超压峰值 MPa

比例爆距 $\bar{R}/$ (m/kg ^{1/3})	试验值	J. Henrych 公式	爆炸基本 原理公式
2.154	0.7172	0.316	1.0498
3	0.2621	0.192	0.4008
3.23	0.2147	0.172	0.3294
3.557	0.2253	0.149	0.2578
4.07	0.1242	0.1218	0.1867
4.31	0.1938	0.112	0.1638
5.13	0.0804	0.086	0.1128
5.386	0.1219	0.080	0.1022

对表 1 及图 4 进行分析,可看出试验所得到的反射超压值介于爆炸基本原理公式和

J. Henrych 公式计算值之间,在比例爆距为 2.154 时, $\Delta P_m > 0.25\text{MPa}$, J. Henrych 公式计算得到的反射超压值过小,充分体现出 J. Henrych 公式的适用范围;从图 4 中可形象地看出反射超压与比例爆距间呈幂级关系,现以比例爆距为参数,假定:

$\Delta P_m = P_1 \cdot \bar{R}^{-3} + P_2 \cdot \bar{R}^{-1.5}$,经拟合,可得出 $P_1 = 5.104, P_2 = 0.60$,其拟合曲线与试验值的方差为 0.00176,拟合函数见图 4;若假定 $\Delta P_m = P_1 \cdot \bar{R}^{-3}$,则拟合后 $P_1 = 7.4442$,其拟合曲线与试验值的方差为 0.00301,偏差较大。

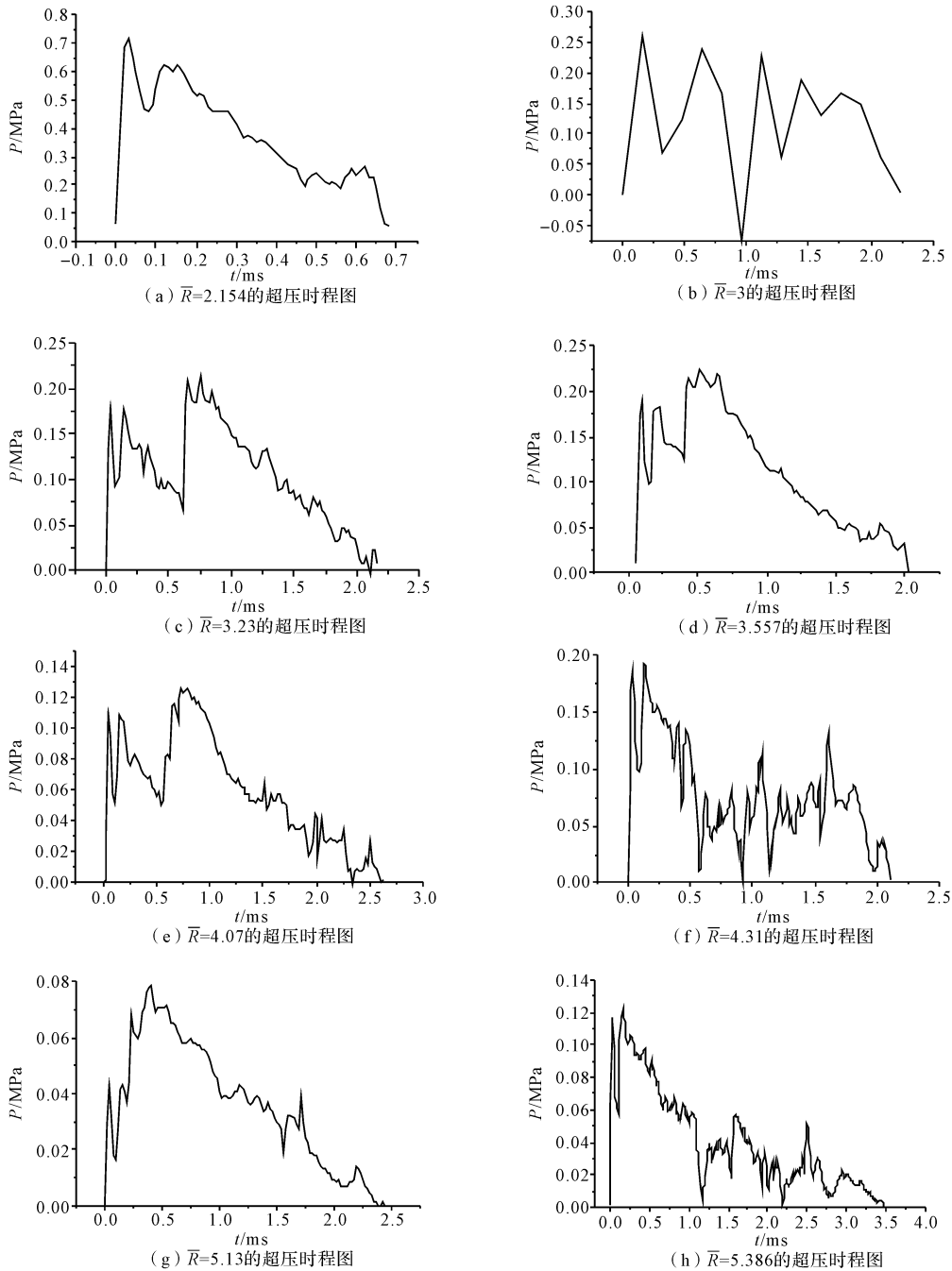


图 3 超压时程曲线图

2.2.2 结构所承受的冲量比较

1) J. Henrych 公式^[4]

反射冲击波的冲量为:

当 $R < 0.25 \sqrt[3]{C}$ 时, $I_r = 240 \times \frac{C}{R^2}$; 当 $R \geq$

$0.5 \sqrt[3]{C}$ 时, $I_r = A^* \times \frac{C^{2/3}}{R}$ 。

式中: I_r 为反射冲击波冲量 ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$), $A^* = 500 \sim 600$ 。

2) 爆炸基本原理公式^[5]

$$I_r = 700 \frac{C^{2/3}}{R}$$

式中: I_r 为反射冲击波冲量($N \cdot s/m^2$)。

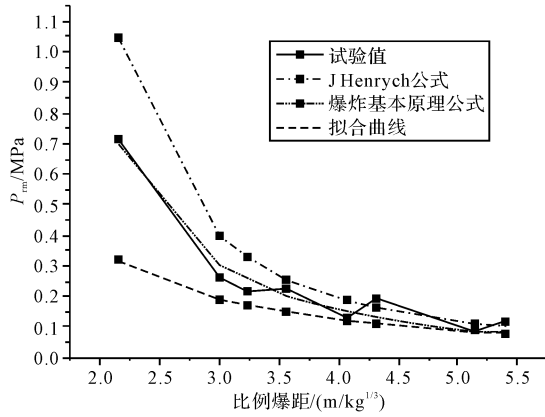


图 4 冲击波反射超压峰值对比(MPa)

3) 对比分析

对图 3 所示的由试验获得的超压时程曲线进行积分后,可得到不同爆距下爆心投影点的冲量值,并与利用 J. Henrych 公式、爆炸基本原理公式所求得的冲击波反射冲量的计算结果列于表 2,图 5 为三者的比较。

表 2 冲击波反射冲量 kPa · s

比例爆距 $\bar{R}/(m/kg^{1/3})$	$\frac{C^{2/3}}{R}$	试验值	J. Henrych 公式	爆炸基本 原理公式
2.154	0.431	0.257	0.2586	0.302
3	0.333	0.2621	0.2	0.233
3.23	0.2876	0.23	0.1725	0.2013
3.557	0.237	0.2223	0.1423	0.166
4.07	0.181	0.154	0.109	0.127
4.31	0.215	0.1643	0.129	0.151
5.13	0.114	0.08824	0.0684	0.078
5.386	0.1724	0.14175	0.1034	0.1207

从表中数据可看出,实验所测得的冲量值要大于其他两者,冲击波反射冲量与比例爆距间不存在明显的规律,因而借鉴 J. Henrych 公式及爆炸基本原理公式形式假定 $I_r = k \frac{C^{2/3}}{R}$,经拟合后,得出 $k = 835$,其拟合曲线与试验值的方差为 0.00017,曲线见图 5。

2.3 钢板组合结构抗爆性能分析

实验中按比例爆距等效原则,采用 6kgTNT 距离结构 3m 爆炸,因传感器全部被振掉,未能获得实验数据,但结构整体较好,仅爆心局部有轻微突起,满足预先设计要求(226kgTNT,10m 爆

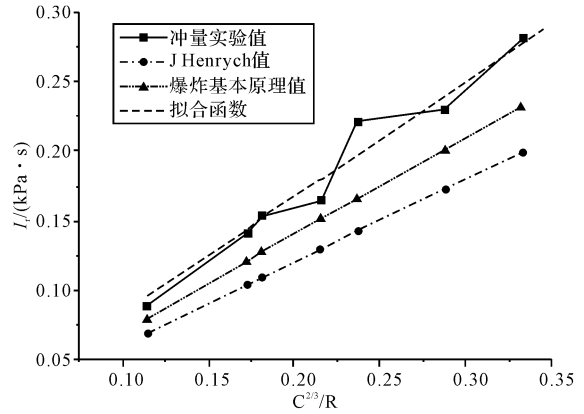


图 5 冲击波反射冲量对比($kPa \cdot s$)

炸情况),其抵抗能力强于同尺寸的钢筋混凝土防爆墙^[6]。

3 结论

通过对实验现象及实验数据的分析,可以得出如下结论:

1) 冲击波反射超压峰值 ΔP_m 与比例爆距 \bar{R} 关系可近似拟合为函数: $\Delta P_m = 5.104 \cdot \bar{R}^{-3} + 0.6 \cdot \bar{R}^{-1.5}$,且针对文中情况,比例爆距 $\bar{R} \geq 2$,此函数更为接近实验值。

2) 冲击波反射冲量与比例爆距间不呈现明显的规律,借鉴国内外的经验公式,反射冲量的拟合函数为: $I_r = 835 \frac{C^{2/3}}{R} (N \cdot s/m^2)$ 。

3) 钢板组合防爆墙具有较好的抗爆性能,其防护能力要优于同尺寸下的钢筋混凝土防爆墙。

参考文献:

- [1] Mourtize A P. Ballistic impact and explosive blast resistance of stitched composites[J]. Composites Part B, 2001,32: 431-439.
- [2] 王礼立. 爆炸与冲击载荷下结构和材料动态响应研究的新进展[J]. 爆炸与冲击, 2001,21(2): 81-88.
- [3] 王海福,冯顺山. 爆炸载荷下多孔材料中理论初始冲击波特性的[J]. 北京理工大学学报, 1998,18(5): 634-637.
- [4] J Henrych. The dynamics of explosion and his use [M]. Elsevier Scientific Publishing Company, 1979:106.
- [5] 张守中. 爆炸基本原理[M]. 北京:国防工业出版社,1988.
- [6] 丁娜娜. 重要建筑物外部防爆墙研究[D]. 南京:解放军理工大学,2007.