

高强钢筋混凝土单向板在非接触爆炸下的抗爆性能研究

汪 维¹, 朱谢梅¹, 李 磊^{2,3*}, 何 翔^{2,3}

(1. 宁波大学 冲击与安全工程教育部重点实验室, 浙江 宁波 315211; 2. 军事科学院 国防工程研究院, 河南 洛阳 471023;
3. 河南省特种防护材料重点实验室, 河南 洛阳 471023)

摘要: 钢筋混凝土(RC)单向板是桥梁建设的重要组成部分. 对6块高强 RC 单向板进行非接触爆炸试验, 研究 HRB400、HRB500 和 HTRB600 高强 RC 单向板的抗爆性能, 分析爆炸后试件的破坏形态和参数. 结果表明: 非接触爆炸下, 3 种类型高强钢筋混凝土单向板的破坏形态相似, 单向板整体响应后出现弯曲破坏, 侧表面出现多条弯曲破坏裂缝; 在 2.5 kg TNT 作用下的 HTRB600 高强 RC 单向板的裂缝数量和裂缝类型与 2.1 kg TNT 作用下的 HRB500 高强 RC 单向板和 1.7 kg TNT 作用下的 HRB400 高强 RC 单向板差别不大, 相差范围在 1 条裂缝以内; HTRB600 高强 RC 单向板在承受更大载荷时, 其平均加速度峰值比低载荷下 HRB500、HRB400 高强 RC 单向板分别增加 45.1% 和 88.6%, 其抗弯承载力更好, 刚度更大.

关键词: 非接触爆炸; 高强钢筋; 混凝土单向板; 破坏模式; 抗爆性能

中图分类号: TU375.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2022) 06-0028-07

桥梁是交通运输的重要组成部分, 桥梁结构在爆炸作用下会发生破坏甚至坍塌, 造成巨大的经济损失和人员伤亡. 钢筋混凝土单向板在桥梁的设计中使用广泛, 其抗爆性能对于桥梁爆炸事故分析和桥梁抗爆设计方面有重要作用.

目前, 国内外的研究主要集中于钢筋混凝土双向板抗爆性能的数值分析和试验研究. 卢红标等^[1]通过高强 RC 板与普通 RC 板的对比试验, 分析了两种板在非接触爆炸下的动态响应和破坏形态, 对比得出高强 RC 板有更强的抗爆性能. 陈万祥等^[2]对高强 RC 板在不同配筋率下的抗爆性能进行试验, 研究了配筋率对位移、加速度等动力响应的影响, 发现高配筋率的 RC 板刚度更强. 侯小伟等^[3]利用数值模拟方法, 分析爆炸荷载作用下高强钢筋混凝土板的裂缝分布和破坏特征, 得到高强 RC 板的裂缝分布相比普通 RC 板更加均匀的结果. 李晓军等^[4]设计了钢纤维钢筋混凝土板抗爆试验, 分析了不同的破坏特征, 划分出 5 种典型的破坏类型. Guo 等^[5]对粘合玻璃纤维增强聚合物(GFRP)条

进行抗爆试验, 发现 GFRP 条加固后双向板的抗爆性能显著提高. Zhao 等^[6]应用数值分析, 评估得出新型 RC 板的抗爆性能, 并基于不同爆炸场景下对新型 RC 板的抗爆性能进行预测.

针对钢筋混凝土单向板的抗爆设计研究, 胡玉峰等^[7]通过试验研究发现聚脲材料加固后的混凝土单向板的抗爆性能优于钢纤维加固后的单向板. 吴志昇等^[8]通过数值仿真研究了单向板在接触爆炸下的动态破坏效应, 验证由数值分析得到的单向板抗爆模型的准确性. Wu 等^[9]研究了加固高强纤维的钢筋混凝土单向板的抗爆性能, 证明高强纤维是一种有效的抗爆材料. 以上试验或数值仿真都是在近距离接触爆炸条件下进行的, 在对普通钢筋混凝土单向板用不同材料加固进行抗爆试验或数值研究中, 分析材料的抗爆性能.

以往关于建筑材料中常用的钢筋混凝土双向板研究较多, 但对于桥梁中广泛使用的钢筋混凝土单向板的研究相对较少, 并且大部分 RC 单向板的试验或数值仿真都是在近距离接触爆炸的条件

收稿日期: 2022-04-09.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(11302261, 11972201).

第一作者: 汪维(1983-), 男, 江西瑞昌人, 博士/副教授, 主要研究方向: 爆炸与冲击动力学. E-mail: wangwei7@nbu.edu.cn

*通信作者: 李磊(1980-), 男, 河南开封人, 博士/助理研究员, 主要研究方向: 工程防护材料及其试验技术. E-mail: lileikf@163.com

下进行的,但是针对高强钢筋加固的混凝土单向板的非接触爆炸试验分析还很少.基于以上背景,本文对钢筋混凝土单向板在非接触爆炸作用下的抗爆性能进行了试验研究,分析 HRB400、HRB500 和 HTRB600 3 种高强钢筋对钢筋混凝土单向板抗爆性能的影响.

1 试验介绍

试验的研究目的是比较 HRB400、HRB500 和 HTRB600 3 种高强钢筋加固后的高强钢筋混凝土单向板的抗爆性能,并评估 3 种强度钢筋对单向板的影响.

1.1 试件规格

为研究 3 种不同类型的高强钢筋混凝土单向板的爆炸响应,共准备 6 块高强钢筋混凝土单向板,使用 3 种不同强度的高强钢筋,钢筋牌号分别为 HRB400、HRB500 和 HTRB600. 6 块高强 RC 单向板的尺寸相同,均为长 1 800 mm、宽 500 mm、高 120 mm,配筋率为 0.52%. 6 块高强 RC 单向板试件用于非接触爆炸下的抗爆试验,各试件采用相同配筋方式.如图 1 所示,试件两端配置直径为 $\Phi 6$ 的箍筋用于抗剪,中部受压区未配置钢筋.单向板试件的钢筋混凝土强度为 C40,混凝土覆盖厚度为 20 mm.

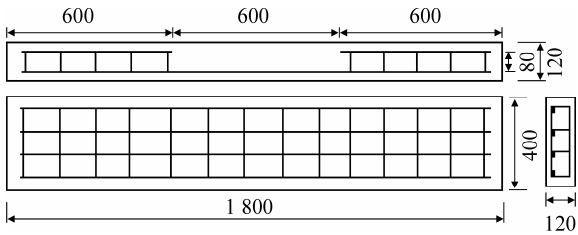


图 1 单向板试件配筋示意图(单位: mm)

对 6 块高强钢筋混凝土单向板试件进行编号,编号分别为 B1~B6,表 1 总结了 RC 单向板的测试参数、钢筋类型以及配筋率等信息.在试验过程中,使用 3 种不同质量的 TNT 炸药(1.7、2.1 和 2.5 kg),同时保持爆距(炸药底部和试件顶部之间的距离)恒为 1.5 m,比例爆距(单位:距离·炸药质量^{-1/3})为 1.26、1.17 和 1.11 m·kg^{-1/3},分析高强钢筋混凝土单向板在非接触爆炸下的抗爆性能.

1.2 试件材料力学性能

各组试件设计时预留了 3 个边长 150 mm 的立

表 1 单向板试件的测试参数、钢筋类型与配筋率

试件 编号	钢筋型号	配筋率/ %	装药量/ kg	爆距/ m	比例爆距/ (m·kg ^{-1/3})
B1	HRB400	0.52	1.7	1.5	1.26
B2	HRB400	0.52	1.7	1.5	1.26
B3	HRB500	0.52	2.1	1.5	1.17
B4	HRB500	0.52	2.1	1.5	1.17
B5	HTRB600	0.52	2.5	1.5	1.11
B6	HTRB600	0.52	2.5	1.5	1.11

方体混凝土块,对其进行单轴压缩测试,测得各组混凝土的平均抗压强度为 47.03 MPa.各组试件采用公称直径为 $\Phi 8$ 的高强钢筋,不同类型的高强钢筋材料性能不同,屈服强度的变化范围为 432~605 MPa,抗拉强度的变化范围为 618~823 MPa.各组单向板试件的高强钢筋的实测材料力学性能参数见表 2.

表 2 钢筋实测材料力学性能参数

钢筋牌号	公称直径/ mm	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa
HRB400	8	432	618
HRB500	8	521	682
HTRB600	8	605	823

1.3 试验装置

试验中使用 TNT 炸药.试件的安装和加载方式如图 2 所示.将单块炸药组合并捆绑为近立方体形状,炸药质量分别为 1.7、2.1 和 2.5 kg.炸药用轻绳悬挂至设定距离,方形炸药底面与板块的表面平行.3 根木条固定炸药,将炸药悬空放置,并保证炸药中心在试件中心的正上方.为研究高强钢筋混凝土单向板的非接触抗爆性能,炸药底面到测试试件表面的距离设定为 1.5 m.

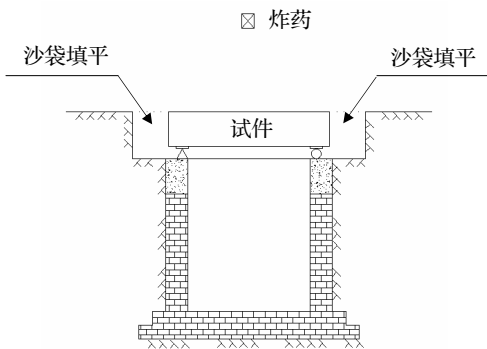


图 2 试件的安装和加载方式

每个试件都在爆坑内进行试验,试件采用两边简支方式支撑在爆坑内.在两端支撑部位用地脚螺栓进行约束,保证支撑点只能转动,不能跳起,防止试件反弹.试件上表面与地面平齐,保证炸药产生的爆炸空气冲击波直接作用在试件上表面,试件周围用沙袋和回填土填充.由此,试件上表面仅受到空气冲击波加载,同时避免试件出现横向移动,而土中压缩波对试件侧面的影响可以忽略.

2 破坏形态与分析

2.1 HRB400 钢筋加固单向板的破坏形态

HRB400 高强 RC 单向板试件在 TNT 装药量为 1.7 kg 的条件下进行试验,试件与炸药之间的距离为 1.5 m,比例爆距为 $1.26 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$. 试验完毕后,试件 B1 和试件 B2 的侧表面出现多条裂缝,说明在爆炸荷载作用下单向板发生了整体响应,记录试件的跨中位移时程曲线如图 3 所示.对可观察到的裂缝进行标记,试件破坏情况如图 4 所示.试件 B1 出现 9 条裂缝.在单向板的中间部分出现 3 条深度很大的裂缝,这些裂缝的深度基本达到了单向板深度的 2/3,其中 1 条裂缝直接贯穿单向板的拉伸侧和受压侧,出现弯曲破坏.在爆炸荷载作用下,短时间内钢筋混凝土单向板的中部区域受到强冲

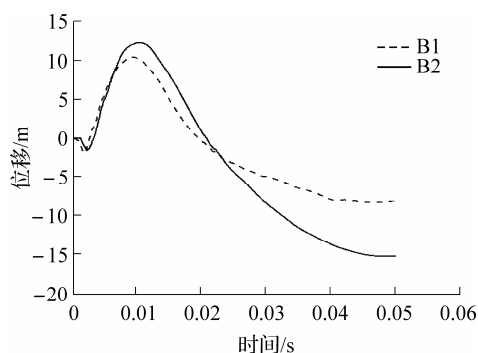


图 3 试件跨中位移—时程曲线

击波作用,导致试件中部受压区域出现反弹,产生直接贯穿裂缝.同时,由于爆炸荷载作用,单向板试件发生偏转和振动,超过试件的抗拉强度产生了弯曲开裂,因此在板的前后 1/3 处观察到弯曲开裂,出现 6 条弯曲破坏裂缝.试件 B2 一共观察到 8 条裂缝,分别是位于中间部分 3 条深度很大的弯曲破坏裂缝、单向板前后 1/3 处 4 条深度较小的弯曲破坏裂缝和 1 条贯穿拉伸侧和受压侧的直接贯穿裂缝.试件 B1 和试件 B2 在两端简支处均没有任何可观察到的剪切裂缝,说明未出现剪切破坏.值得注意的是,尽管 HRB400 加固的 2 块试件在爆炸荷载整体响应后,侧面出现多条裂缝,但是试件整体保持完好,且只发生弯曲破坏,表明 HRB400 高强 RC 单向板试件有一定的抗爆和抗冲击能力.

试验过程中,试件中部出现 1 条拉伸侧与受压侧贯穿裂缝,主要是由于试件中部受压区没有配置钢筋,且两端简支,造成试件中部在受压弯曲后,产生反向变形成贯穿裂缝.在爆炸荷载作用下,试件首先将动能以弹性势能形式储存在高强钢筋中,在板的回弹阶段又以动能形式进行猛烈释放.试件出现弯曲破坏,产生贯穿裂缝.试验结束后,从试件 B1 和 B2 的曲线(图 3)也可以看出,位移增长之后出现反弹,压区混凝土受压之后产生拉伸应变.

爆炸荷载作用下,试件在短时间内受到高强荷载作用,结构的应力变化快,产生反弹效应.同样也可以从挠度曲线得出结果,在受压作用的短时间内,结构首先沿着受压方向产生向下的挠度,此时弹性应变能储存在 RC 单向板的钢筋中.此后,在短时间内,储存的弹性应变能在试件回弹阶段迅速释放,产生较大的反向应变,增加了 RC 单向板的回弹挠度,出现回弹偏转,即为跨中位移的反弹现象.

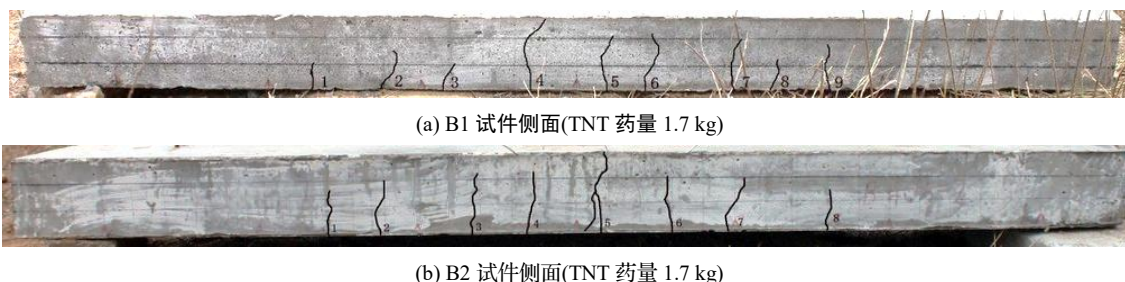


图 4 HRB400 加固的试件侧面破坏情况

2.2 HRB500 钢筋加固单向板的破坏形态

HRB500 高强 RC 单向板在 TNT 药量 2.1 kg 的条件下进行试验, 试件与炸药之间的距离为 1.5 m, 比例爆距为 $1.17 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$. 试验完毕后, 试件 B3 和 B4 在侧表面出现裂缝, 表面试件发生整体响应, 对可观察到的裂缝进行标记, 试件破坏情况如图 5 所示. 试件 B3 中部出现 4 条深度很大的裂缝, 这些裂缝的深度几乎都达到了板深度的 $2/3$, 深度最大的 1 条裂缝位于跨中, 贯穿试件的拉伸侧和受压侧, 其余 2 条为弯曲破坏裂缝. 在单向板长度方向的前后 $1/3$ 处, 产生 2 条深度较小弯曲破坏裂缝. 试件 B4 中部也出现 4 条深度很大的裂缝, 其中 1 条深度最大的裂缝位于跨中, 其余 3 条为弯曲破坏裂缝, 并在单向板的前后 $1/3$ 处观察到 6 条深度较小的弯曲破坏裂缝. 综上, 试件 B3 一共出现 6 条裂缝, 试件 B4 一共出现 10 条裂缝, 且在两端简支处均未出现剪切裂缝, 说明未出现剪切破坏. 此外, 虽然 HRB500 高强 RC 单向板试件沿高度方向出现多条弯曲破坏裂缝, 但是试件整体保持完好. 对比低药量下进行抗爆试验 HRB400 钢筋加固的单向板试件 B1、B2, HRB500 高强 RC 单向板试件 B3、B4 受到的爆炸荷载更大, 但破坏形态和裂缝数量并没有出现明显变化, 表明 HRB500 高强 RC 单向板试件比 HRB400 高强 RC 单向板试件有更好

的抗爆和抗冲击能力.

2.3 HTRB600 钢筋加固单向板的破坏形态

HTRB600 高强 RC 单向板试件在 TNT 药量为 2.5 kg 的条件下进行试验, 试件与炸药之间距离为 1.5 m, 比例爆距为 $1.11 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$. 试验完毕后, 试件 B5 和 B6 在侧表面出现裂缝, 说明试件在爆炸荷载下整体响应, 对可观察到的裂缝进行标记, 试件破坏情况如图 6 所示. 试件 B5 中部出现 4 条深度很大的裂缝, 这些裂缝的深度几乎都达到单向板高度的 $2/3$, 其中深度最大的 1 条裂缝位于跨中, 直接贯穿试件的拉伸侧和受压侧, 其余 3 条为弯曲破坏裂缝. 在单向板前后 $1/4$ 处观察到 5 条深度不大的弯曲破坏裂缝. 试件 B6 中部出现 4 条深度很大的裂缝, 其中 1 条深度最大的裂缝位于跨中, 其余 3 条为弯曲破坏裂缝. 在单向板前后 $1/3$ 处观察到 3 条深度不大的弯曲破坏裂缝. 综上, 试件 B5 一共出现 9 条裂缝, 试件 B6 一共出现 7 条裂缝, 且在两端简支处均未出现明显剪切裂缝, 说明未出现剪切破坏. 此外, HTRB600 高强 RC 单向板试件虽然出现多条裂缝, 但是试件整体保持完好, 对比低药量下进行试验的 HRB400 高强 RC 单向板试件 B1、B2 以及 HRB500 高强 RC 单向板试件 B3、B4, HTRB600 高强 RC 单向板试件 B5、B6 承受的爆炸荷载更大, 但破坏模式和裂缝数量并没有较大区

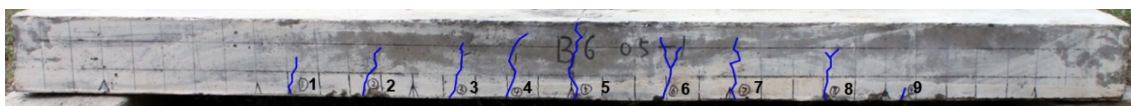


(a) B3 试件侧面(TNT 药量 2.1 kg)

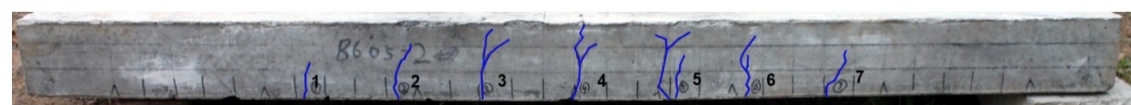


(b) B4 试件侧面(TNT 药量 2.1 kg)

图 5 HRB500 加固的试件侧面破坏情况



(a) B5 试件侧面(TNT 药量 2.5 kg)



(b) B6 试件侧面(TNT 药量 2.5 kg)

图 6 HTRB600 钢筋加固的试件侧面破坏情况

别, 表明 HTRB600 高强 RC 单向板试件对比 HRB 400 和 HRB500 高强 RC 单向板试件有更好的抗爆性能和抗冲击能力.

3 破坏参数及曲线分析

3.1 裂缝数量

试验结束后, 在各试件侧面上观察到不同深度的弯曲破坏裂缝. 根据裂缝深度的不同, 试件上出现 3 种不同类型的裂缝: 轻度破坏裂缝(裂缝深度 ≤ 40 mm)、中度破坏裂缝($40 \text{ mm} < \text{裂缝深度} \leq 80$ mm)、重度破坏裂缝($80 \text{ mm} < \text{裂缝深度} \leq 120$ mm). 各种类型裂缝的破坏特征如图 7 所示. 对各个试件上可观察到的裂缝进行标记, 并统计 3 种类型裂缝的数量(表 3).

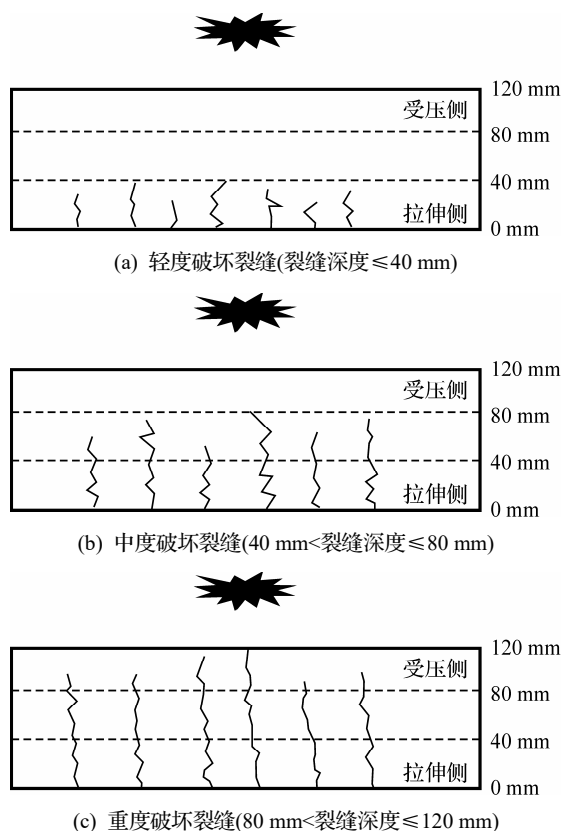


图 7 裂缝破坏深度示意图

根据 TNT 装药质量不同进行分类, 分析不同装药量下 3 种类型裂缝数量的平均值, 结果如图 8 所示. 比较 2.1 kg TNT 装药量下 HRB500 高强 RC 单向板试件 B3、B4 与 1.7 kg TNT 装药量下 HRB400 高强 RC 单向板试件 B1、B2, 在装药量增加 0.4 kg 时, 轻度破坏平均裂缝数量相同, 中度破坏平均裂

表 3 各试件爆炸后的裂纹数量统计表

组别 编号	装药量/ kg	轻度破 坏裂缝 数/条	中度破 坏裂缝 数/条	重度破 坏裂缝 数/条	总裂缝 数/条
B1	1.7	2	4	3	9
B2	1.7	0	4	4	8
B3	2.1	0	2	4	6
B4	2.1	2	4	4	10
B5	2.5	0	3	5	8
B6	2.5	1	3	4	8

缝数量减少了 1 条, 重度破坏平均裂缝数量相同. 可见随着装药量增加, 2 组试件 3 种类型的平均裂缝数基本保持一致, 承受更大爆炸载荷的 HRB500 高强 RC 单向板试件与 HRB400 高强 RC 单向板试件具有相似的破坏形态, HRB500 高强 RC 单向板试件在承受更大载荷的情况下具有更好的抗爆性能. 同样对比 2.5 kg 装药量下 HTRB600 高强 RC 单向板试件 B5、B6 与 2.1 kg 装药量下 HTRB600 高强 RC 单向板试件 B3、B4, 在装药量增加 0.4 kg 情况下, 轻度破坏平均裂缝与重度破坏平均裂缝相同, 但重度平均破坏裂缝增加了 1 条. 虽然 TNT 装药量增加 0.4 kg, 但 2 组试件 3 种类型的平均裂缝数基本保持一致, 部分有所差别但不显著, 承受更大爆炸载荷的 HTRB600 高强 RC 单向板试件与 HRB500 高强 RC 单向板试件具有类似的破坏形态, 可见 HTRB600 高强 RC 单向板试件拥有更好的抗爆性能.

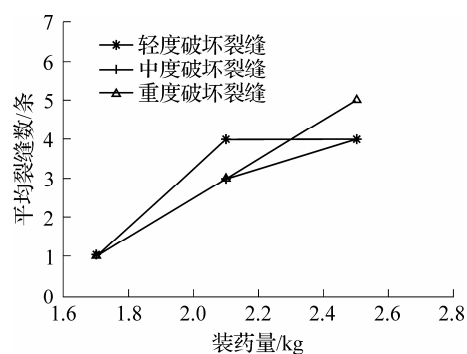


图 8 不同类型的平均裂缝数随装药量的变化曲线

不同装药量下, 不同高强钢筋类型试件的平均裂缝数如图 9 所示. 随着 TNT 装药量的增加, HRB500 高强 RC 单向板试件对比 HRB400 高强 RC 单向板试件的平均裂缝数减少了 1 条, HRB500 高

强 RC 单向板试件与 HTRB600 高强 RC 单向板试件平均裂缝数相同。在装药量质量不断增加情况下, 试件承受的爆炸载荷增加, 不同钢筋类型加固试件在试验后的平均弯曲裂缝数无显著差异, 说明板的抗弯强度随着钢筋强度而增加, 高强钢筋试件整体抗弯承载力增加。由此可见, HTRB600 高强 RC 单向板试件的抗爆性能最优, HRB500 高强 RC 单向板试件的抗爆性能较优, HRB400 高强 RC 单向板试件的抗爆性能一般。

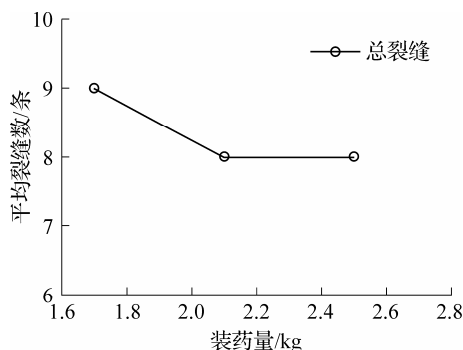


图9 总平均裂缝数随装药量的变化曲线

3.2 加速度峰值

测得各组试件的平均加速度曲线如图10所示。当TNT装药量为1.7 kg时, HRB400 高强 RC 单向板试件 B1、B2 的平均加速度峰值为 $27\,890\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$; 当TNT装药量为2.1 kg时, HRB500 高强 RC 单向板试件 B4、B5 的平均加速度峰值为 $36\,220\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。由此可见, HRB500 高强 RC 单向板在2.1 kg TNT 爆炸荷载作用下有更大的加速度峰值, 能保持更强刚度, 可承受更大的爆炸载荷。而 HRB400 钢筋加固的单向板在爆炸荷载作用下的抗振能力弱, 耗能多, 刚度较低。继续增加0.4 kg 装药量, 即 TNT 装药量增加至2.5 kg, HTRB600 高强 RC 单向板试件 B5、B6 的平均加速度峰值为 $52\,570\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。因此, HTRB600 高强 RC 单向板在更高爆炸荷载作用下可维持更好的刚度, 抵抗更大的振动。相比较来说, B5、B6 试件的平均加速度峰值分别为 B1、B2 试件平均加速度峰值的 88.6%, 为 B4、B5 试件平均加速度峰值的 45.1%。综上, 在3种不同类型的高强钢筋加固试件中, HTRB600 高强 RC 单向板的刚度最大, 抗爆性能最好; HRB500 高强 RC 单向板的刚度较大, 抗爆性能较好; HRB400 高强 RC 单向板的刚度不大, 抗爆性能一般。

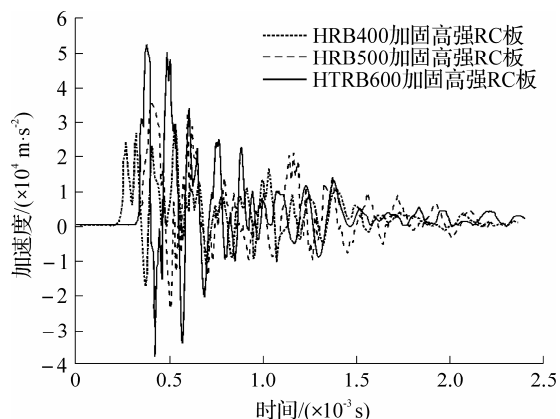


图10 加速度时程曲线

4 结论

对钢筋类型不同的钢筋混凝土单向板在不同装药量下进行了非接触爆炸试验, 分析了爆炸破坏参数、特征曲线以及抗爆性能, 主要结论有:

(1) 分别在 1.26 、 1.17 和 $1.11\text{ m}\cdot\text{kg}^{-1/3}$ 的比例爆距下承受爆炸载荷, 测试所有高强 RC 试件整体响应, 测试完毕后, 除侧面出现弯曲破坏裂缝, 其余未观察到明显损伤, 所有试件整体保持完好。由于试件在爆炸荷载作用下发生偏转和振动, 超过试件的抗拉强度, 侧面出现多条弯曲破坏裂缝。跨中区域由于反弹出现一条贯穿试件拉伸侧和压缩侧的裂缝。大多数裂缝集中于板中间 $2/3$ 跨度, 且在两筒支端未观察到剪切破坏裂缝。

(2) 只改变装药量, 分别在 1.7 、 2.1 和 2.5 kg 的 TNT 药量下承受爆炸载荷。在承受 2.5 kg 的 TNT 爆炸荷载时, HTRB600 高强 RC 单向板总裂缝数与承受 2.1 kg TNT 作用的 HRB500 高强 RC 单向板试件、承受 1.7 kg TNT 作用的 HRB400 高强 RC 单向板试件基本保持一致, 轻度、中度以及重度破坏的平均弯曲破坏裂缝数有所差别, 但不显著, 保持在1条裂缝差距之内。

(3) 在非接触爆炸作用下, 承受 2.5 kg TNT 爆炸荷载时, HTRB600 高强 RC 单向板的破坏程度以及裂缝数量与承受 2.1 kg TNT 的 HRB500 钢筋加固的 RC 单向板和承受 1.7 kg TNT 的 HRB400 高强 RC 单向板类似, 说明 HTRB600 高强钢筋的抗弯承载力更好。HTRB600 高强 RC 单向板平均加速度峰值较 HRB500、HRB400 高强 RC 单向板分别增加 45.1% 和 88.6%。说明 HTRB600 高强 RC 单向板刚

度更高, 抗震能力强, 是一种更有效的抗爆加固方式.

参考文献:

- [1] 卢红标, 刘云, 周布奎, 等. 高强混凝土板的抗爆性能试验研究[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(10):91-95.
- [2] 陈万祥, 卢红标, 侯小伟, 等. 高强钢筋加强混凝土板抗爆性能试验研究[J]. 振动与冲击, 2015, 34(10):135-141.
- [3] 侯小伟, 卢红标, 陈万祥, 等. 高强钢筋混凝土板抗接触爆炸破坏形态分析[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(9):96-100.
- [4] 李晓军, 郑全平, 杨益. 钢纤维钢筋混凝土板爆炸局部破坏效应[J]. 爆炸与冲击, 2009, 29(4):385-389.
- [5] Guo Z G, Xu Z W, Chen C, et al. Behavior of GFRP retrofitted reinforced concrete slabs subjected to conventional explosive blast[J]. Materials and Structures, 2017, 50(6):236.
- [6] Zhao C F, Wang Q, Lu X, et al. Numerical study on dynamic behaviors of NRC slabs in containment dome subjected to close-in blast loading[J]. Thin-Walled Structures, 2019, 135:269-284.
- [7] 胡玉峰, 宋殿义, 谭清华, 等. 接触爆炸作用下 RC 单向板抗爆加固的试验研究[J]. 防护工程, 2019, 41(5):1-7.
- [8] 吴志昇, 宋殿义, 严波, 等. 接触爆炸作用下钢筋混凝土单向板动态响应的数值分析[C]//第27届全国结构工程学术会议论文集(第II册), 西安, 2018.
- [9] Wu C, Oehlers D J, Rebentrost M, et al. Blast testing of ultra-high performance fibre and FRP-retrofitted concrete slabs[J]. Engineering Structures, 2009, 31(9):2060-2069.

Explosion resistance performance experiment on concrete one-way slabs with high strength reinforcements subjected to non-contact explosion

WANG Wei¹, ZHU Xiemei¹, LI Lei^{2,3*}, HE Xiang^{2,3}

(1. Key Laboratory of Impact and Safety Engineering of Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Institute of Defense Engineering, Academy of Military Sciences, Luoyang 471023, China;

3. Henan Key Laboratory of Special Protective Materials, Luoyang 471023, China;)

Abstract: One-way reinforced concrete (RC) slabs are the significant structural components in constructions of bridges. The 6 high strength RC one-way slabs were tested under the non-contact explosion to analyze the damage modes and parameters of specimens after explosion. And the explosion resistance performances of HRB400, HRB500 and HTRB600 high strength RC one-way slabs were experimentally investigated. The experiment results indicate that the damage modes of 3 different high strength reinforcement types of RC one-way slabs are similar. The bending failure occurs in one-way slabs after overall response. There exist many flexural cracks appearing on the side surface. Subjected to TNT loadings at weight of 2.5 kg, the cracks number and pattern on HTRB600 high strength RC one-way slabs are similar to the HRB500 high strength RC one-way slabs under 2.1 kg TNT and the HRB400 high strength RC one-way slabs under 1.7 kg TNT. The cracks number among the three patterns high strength specimens differs at the range of only one crack. Under the severer blast loadings, the average peak values of accelerations of HTRB600 high strength RC one-way slabs increase by 45.1% and 88.6% compared to HRB500 high strength RC one-way slabs and HRB400 high strength RC one-way slabs respectively, which means the HTRB600 high strength RC one-way slabs have better flexural bearing capacities and better stiffness.

Key words: non-contact explosion; high strength reinforcement; concrete one-way slab; damage mode; explosion resistance performance

(责任编辑 章践立)