

钢筋混凝土结构内粘钢板加固 技术可行性分析

林润德 刘泽圻 卢国强 徐全庆
(同济大学结构理论研究所 上海 200092)

摘要 通过对钢筋混凝土结构内粘钢板的模型进行爆炸模拟试验,分析研究钢筋混凝土结构内粘钢板加固以增强局部抗爆炸能力的可行性,试验结果与理论分析表明,作者认为该加固技术是可行的。

关键词 钢筋混凝土 模拟试验 爆炸 可行性

中图法分类号 O 383 3

1 国内外研究现状与方法

为了增强钢筋混凝土的承载能力,在钢筋混凝土表面覆以钢板这种措施已在土建结构中广泛应用,并取得了良好的效果。目前的核反应堆中大多采用混凝土-钢板组合而成的安全壳。在抗震方面也有许多良好的例子,如1995年1月17日发生在日本阪神的大地震中,高架道路的桥墩凡是表面用钢板包裹加固的均未破坏,而未加固的则受到严重破坏,造成巨大损失,同样在国外导弹发射井盖中也采用混凝土-钢板组成的构件。

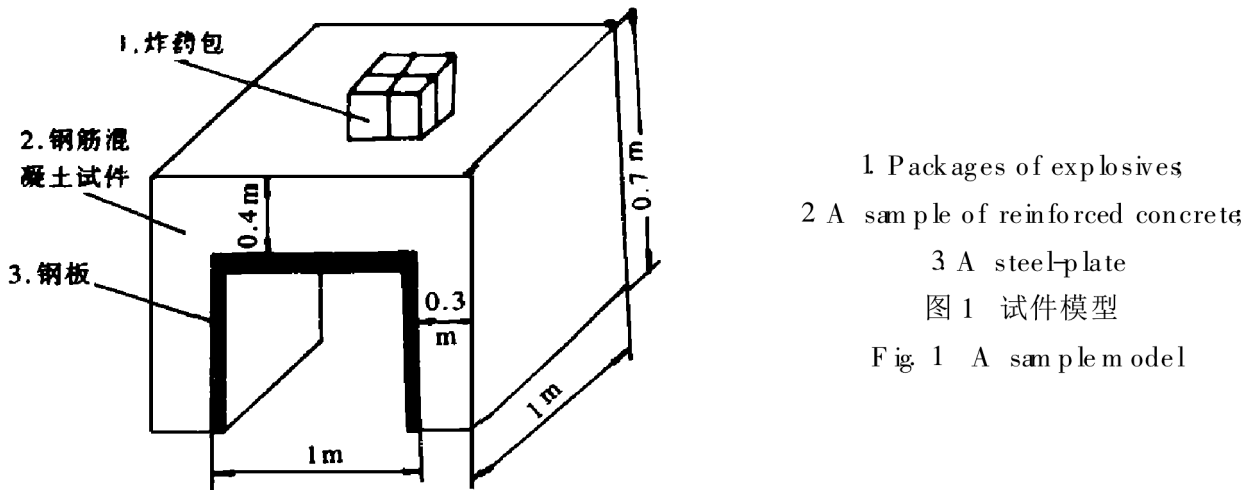
鉴于这种结构具有很高的承载能力,可以大大减小构件的截面尺寸,因而引起了国内外技术人员的重视,做了大量的动、静载试验研究。美国土木工程与防护工程界对构件在核爆冲击波荷载作用下的冲剪与受弯破坏的极限状态进行了计算,得出了许多有用的结果,而这种分析都是把钢板-混凝土作为复合结构考虑的。前苏联防护工程界以低速冲击的局部破坏为背景,对反应堆安全壳进行了动力分析,但由于工程背景的不同,所采用的研究方法也存在差别。

本文是研究在现有的某些特殊钢筋混凝土结构中,为了进一步提高其对现代战争的防护能力,也便于工程施工,而提出了在其内部粘接钢板的加固技术,提高其局部抗爆能力。这种混凝土-钢板的组合,在受炸的初期是结合在一起的,但受炸后,由于粘结剂的强度所限,可能相互不再粘在一起,故分析研究它们的受力情况就不能作为复合结构相互作用了,本文从模拟试验的结果着手,以应力波理论为指导初步分析了该加固技术的可行性,从结构的防护性能出发,得出了该加固的技术的可行性结论,以便作为实际工程应用的依据。

* 1996-07-21收到原稿,1996-12-18收到修改稿。

2 试验模型与结果

试验的基本构件(模型)为 40 cm 厚 1m× 1m 的矩形板, 两侧接 30 cm 的侧墙, 板内按现行特殊工程规范的典型形式配筋, 混凝土强度等级为 C30 用 1 cm 厚的钢板粘结构件内表面, 每种模型爆炸两次, 模型如图 1 所示。



试验用 TNT 炸药直接放置于构件表面爆炸, 见图 1 试验炸药量为 3 和 5kg 试验结果见表 1

表 1 试验结果

Table 1 The experimental result

试件号	构造	炸药量 / (kg)	压缩漏斗孔情况		震塌情况	图号
			直径 / (cm)	深度 / (cm)		
1	40 cm 砼构件	3	60~ 65	9.5 左右 钢筋外露	裂缝明显, 呈辐射状	2~ 3
2	40 cm 砼构件	5	70~ 75	10.0 左右 钢筋颈缩	柔性铁丝网下塌 (直径 70~ 80 cm), 震塌块总量 115 kg 左右	4~ 5
3	40 cm 粘 1 cm 板	5	70~ 75	10.0 左右 两根 钢筋断裂	钢板无明显翘曲, 砼表面有裂缝, 但不明显	6~ 9

3 试验结果分析

试验结果表明, 当试件的内表面覆以钢板后, 构件上表面的漏斗孔基本一样, 但在内表面出现明显的差别, 这一现象可用应力波理论解释为^[2]: 当构件下表面未有钢板层而是空气界面时, 入射的爆炸波在内表面反射成拉应力波, 从而形成构件内表面的震塌漏斗孔与震塌裂缝, 但当粘上钢板后, 由于钢板的声阻抗大于混凝土的声阻抗, 这样在钢板与混凝土的界面上将很难产生反射拉应力波, 从而混凝土不再震塌。试验表明内粘钢板的构件内表面由于应力波的作用机理发生了变化, 使构件的抗震塌性能得到了很大的提高。

试验表明,压缩漏斗孔的形成与有否内粘钢板无多大联系,而根据爆炸相似定律的计算结果,理论与实际符合较好,即压缩漏斗孔直径可用 $D=K\sqrt[3]{C}$ 的公式计算^[1],其中 K 为压缩系数, C 为装药量(kg),计算结果如下:

当 $C=3\text{kg}$ 时, $D=63\text{cm}$, 此时求得: $K=D/\sqrt[3]{C}=0.44$ 。故当 $C=5\text{kg}$ 时, 可求得压缩漏斗孔直径 $D(\text{理})=K\sqrt[3]{C}=75(\text{cm})$ 。这与实测数据非常吻合。

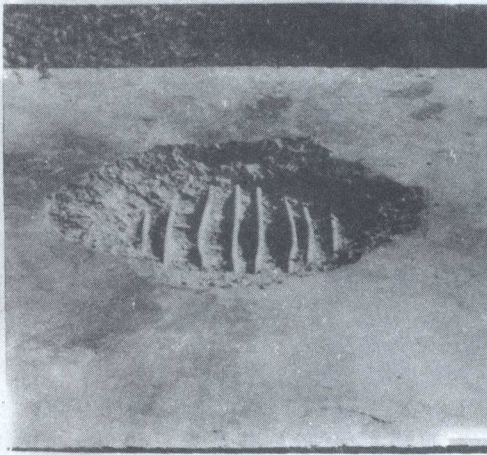


图2 炸后压缩漏斗孔

Fig. 2 The crater of explosion

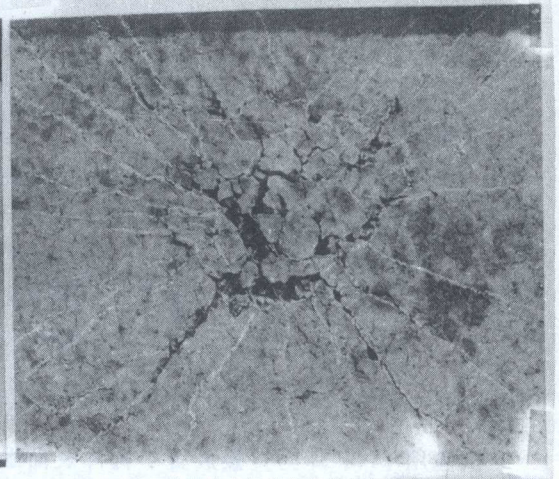


图3 炸后内表面破坏情况

Fig. 3 The inside cracks of explosion



图4 炸后压缩漏斗孔

Fig. 4 The crater of explosion



图5 炸后内表面破坏情况

Fig. 5 The inside damage of explosion

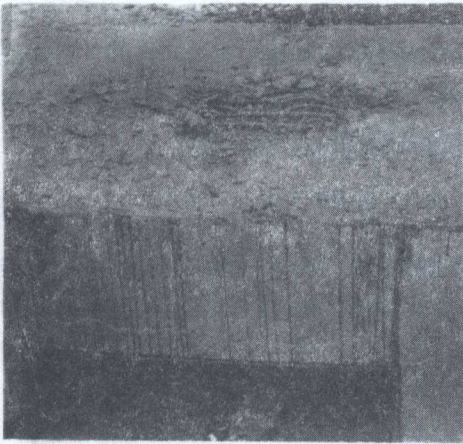


图 6 炸后压缩漏斗孔
Fig. 6 The crater of explosion

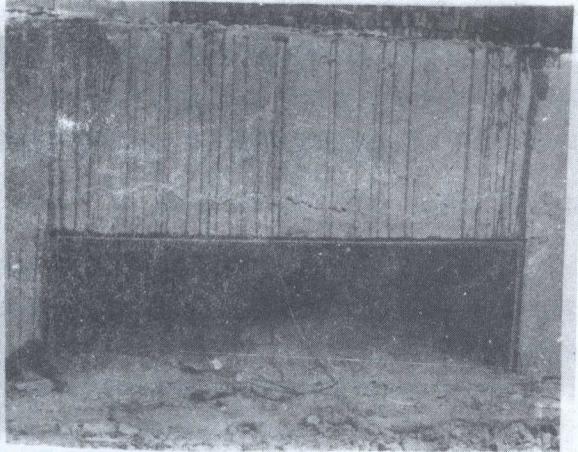


图 7 爆炸后的试件端面
Fig. 7 Side view of the sample after explosion

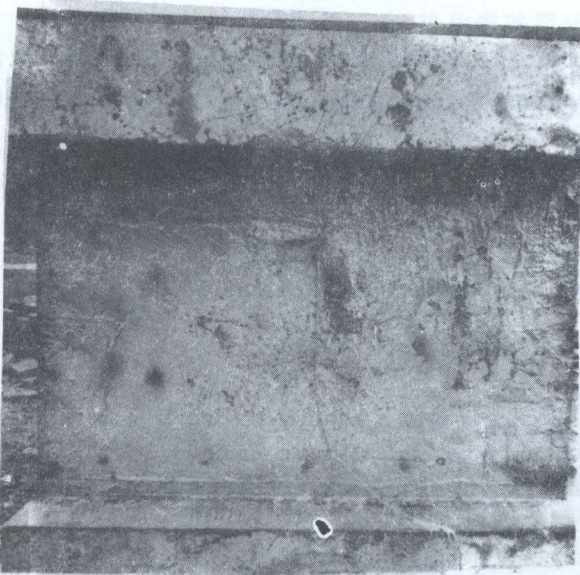


图 8 拆除钢板后的试件内表面无破坏痕迹(看到的是胶水痕迹)
Fig. 8 No damage trace observed inside a sample after pulling down a steel-plate(the observed trace is cause by glue)



图 9 钢板无明显变形
Fig. 9 No obvious steel-plate deflection

从试验结果分析可知,当炸药量为 5 kg,且构件未粘钢板时,其内表面出现震塌漏斗孔,此时的震塌系数约为 0.27,但当粘结钢板后,内表面几乎没有破坏痕迹,由此推断其震塌系数大于 0.63^[1],整整大了一倍多,也就是说此时好比钢筋混凝土厚度增加了一倍

又由资料 [1] 可知, 震塌厚度近似与药量的立方根成正比, 即 $H \propto \sqrt[3]{C}$, 当 H 增大一倍, 近似于药量增大 8 倍, 即粘结钢板后可以抗 40 kg 的炸药, 且钢板没有明显整体变形, 所以我们分析认为钢筋混凝土内表面粘结钢板可以大大提高其抗爆性能, 但由于钢筋混凝土结构的具体工程情况有别, 抗爆要求不同, 到底粘结多厚的钢板为宜, 还有待进一步的理论计算, 本文只提出钢筋混凝土内粘钢板加固的可行性结论, 供实际工程应用参考。

4 结 论

对模拟试验的分析结果表明, 钢筋混凝土结构内粘钢板可以大大增强抗爆炸性能, 作者认为这一加固技术是可行的, 且施工方便、成本低、效果好, 很适合于现有某些特殊结构的加固, 值得推广。

参 考 文 献

- 1 解放军工程兵工程学院编. 防护结构计算原理: [内部资料] 南京: 解放军工程兵工程学院, 1981
- 2 王礼立编. 应力波基础. 北京: 国防工业出版社, 1985

A FEASIBLE ANALYSIS TO THE TECHNOLOGY OF INCREASING STRENGTH INSIDE A REINFORCED CONCRETE STRUCTURE BY STICKING STEEL-PLATES

Lin Runde, Liu Zeqi, Lu Guoqiang, Xu Quanning

(Tongji University, shanghai, 200092)

ABSTRACT The paper analyses the feasibility that a reinforced concrete structure can greatly increase its ability against explosion by sticking steel-plates inside it. By means of analogue tests to reinforced concrete models and theoretical analysis, this technology is proved practicable.

KEY WORDS reinforced concrete; analogic tests; explosion