

文章编号:1008-1534(2014)01-0057-05

不同内嵌材料加固钢筋混凝土梁抗弯性能试验研究

宋丽娟¹, 梁玉国^{2,3}, 张学士⁴

(1. 河北建研科技有限公司, 河北石家庄 050021; 2. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072; 3. 河北省建筑科学研究院, 河北石家庄 050021; 4. 河南汇成造价师事务所有限公司, 河南濮阳 457000)

摘要:分别对内嵌 CFRP 板、内嵌 CFRP 筋、内嵌 BFRP 筋加固钢筋混凝土梁, 以及未加固梁进行静力受弯试验, 并对试件承载力、荷载-应变曲线以及试件的裂缝形态进行分析。试验结果表明: 内嵌 CFRP 板比内嵌 CFRP 筋以及内嵌 BFRP 筋可以更好地提高梁的抗弯承载力; 内嵌 CFRP 板、内嵌 CFRP 筋以及内嵌 BFRP 筋都可以较好的约束裂缝的开展。

关键词:内嵌 CFRP 板; 内嵌 CFRP 筋; 内嵌 BFRP 筋; 加固; 抗弯承载力; 裂缝

中图分类号: TU532 文献标志码: A doi: 10.7535/hbgykj.2014yx0113

Experimental investigation of flexural behavior of the RC beams strengthened with different near-surface mounted materials

SONG Lijuan¹, LIANG Yuguo^{2,3}, ZHANG Xueshi⁴

(1. Hebei Building Research Technical Company Limited, Shijiazhuang Hebei 050021, China; 2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Hebei Academy of Building Research, Shijiazhuang Hebei 050021, China; 4. Henan Huicheng Budgeting Specialist Office Company Limited, Puyang Henan 457000, China)

Abstract: RC beams strengthened with near-surface mounted CFRP plate, CFRP tendon or BFRP tendon, and no-strengthened RC beams were tested under static bends load. The bearing capacity, load-strain curve and fracture shape of specimens were analyzed. Results show that the beam strengthened with near-surface mounted CFRP plate can better improve the flexural capacity than that strengthened with CFRP tendon and BFRP tendon. The near-surface mounted strengthening materials could inhibit the growth of cracks.

Key words: near-surface mounted CFRP plate; near-surface mounted CFRP tendon; near-surface mounted BFRP tendon; strengthening; flexural capacity; cracks

近年来,随着结构加固工程的增多,结构加固技

术也不断改进,许多加固工程中采用纤维增强复合材料(fiber reinforced polymer,简称 FRP)进行加固。在结构加固工程中应用较多有外贴碳纤维复合材料(carbon fiber reinforced plate/polymer,简称 CFRP),此外,还有一种较为新颖的方法,即内嵌式加固法(near-surface mounted,简称 NSM)^[1-3],即在混凝土表面开槽,放入加固材料,向槽内注入粘结材料使之成为整体,与构件共同受力,从而达到加固补强目的。内嵌式加固法具有粘结性能好、耐腐蚀、抗冲击性能高等优点。有一些学者对内嵌碳纤维板条加固技术进行了一些研究^[4-5],但到目前为止,对

收稿日期:2013-07-19;修回日期:2013-09-20

责任编辑:冯 民

作者简介:宋丽娟(1985-),女,河北行唐人,硕士,主要从事建筑结构检测、加固方面的研究。

E-mail: songlijuan112@126.com

宋丽娟,梁玉国,张学士. 不同内嵌材料加固钢筋混凝土梁抗弯性能试验研究[J]. 河北工业科技, 2014, 31(1): 57-61.

SONG Lijuan, LIANG Yuguo, ZHANG Xueshi. Experimental investigation of flexural behavior of the RC beams strengthened with different near-surface mounted materials[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2014, 31(1): 57-61.

碳纤维复合材料的另一种形式碳纤维筋材的研究则不多见,此外对另一种纤维复合材料——玄武岩纤维复合材料(basalt fiber reinforced plate/polymer,简称 BFRP)的研究还较少。BFRP 具有耐酸、耐碱、耐盐性能,具有良好的化学稳定性。

本文对 4 根钢筋混凝土梁进行了静力受弯试验,其中一根为未加固梁,一根内嵌 CFRP 板加固梁,一根为内嵌碳纤维筋加固梁,另外一根为内嵌玄武岩纤维筋加固梁,通过试验现象及试验结果,对试验梁的承载力、荷载-应变曲线以及试件的裂缝形态进行对比分析。

1 试验概况

本次试验共设计了 4 根矩形截面简支梁,如表 1 所示。其中 L1 为对比梁,未进行加固,L2 为内嵌碳纤维板加固梁,L3 为内嵌碳纤维筋加固梁,L4 为内嵌玄武岩纤维筋加固梁。试验梁横截面尺寸为

$b \times h = 150 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$,跨度为 2 100 mm,计算跨度为 1 800 mm。混凝土强度等级为 C45,梁底受拉钢筋为 $2 \Phi 14$ (HRB335 级), $\rho = 0.82\%$,架立筋为 $2 \Phi 10$ (HRB335 级),箍筋为 $\phi 8 @ 100$ (HPB300 级)。试件尺寸及配筋情况如图 1 所示。加固用碳纤维板厚度为 1.4 mm,宽度为 20 mm;碳纤维筋直径为 6 mm;玄武岩纤维筋直径为 6 mm。各材料力学指标见表 2。

本次试验将内嵌碳纤维板加固梁和内嵌碳纤维筋,以及内嵌玄武岩纤维筋加固梁的抗弯性能与普通未加固梁进行对比研究。内嵌式加固梁制作方法如下:在梁底用开槽机在指定的部位开槽,开槽后将槽清理干净,然后在槽中注入粘结材料环氧树脂,环氧树脂高度约为槽深度的 1/3,然后将加固材料(碳纤维板、碳纤维筋、玄武岩纤维筋)嵌入槽中,最后用环氧树脂将槽填满,养护即可。加固梁的开槽尺寸、位置及加固材料位置见图 2。

表 1 试件一览表

Tab. 1 List of samples

试验梁编号	加固情况	加固材料截面尺寸		嵌贴长度/mm	粘结材料
		宽度	厚度		
L1	未加固	—	—	—	—
L2	内嵌 2 条 CFRP 板加固	20 mm	1.4 mm	2	环氧树脂
L3	内嵌 2 根 CFRP 筋加固	$\pi \times 6 \text{ mm}^2$	—	2	环氧树脂
L4	内嵌 2 根 BFRP 筋加固	$\pi \times 6 \text{ mm}^2$	—	2	环氧树脂

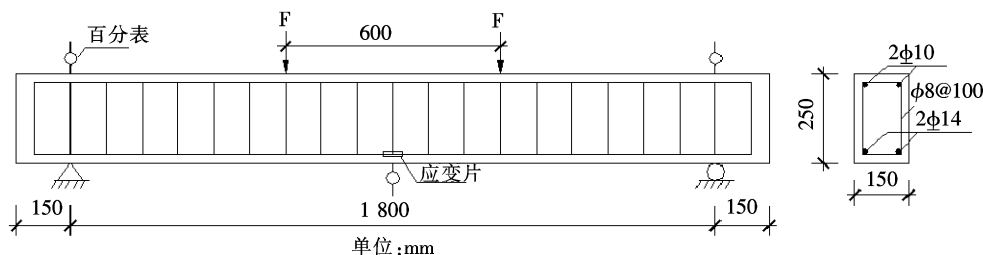


图 1 梁尺寸、钢筋布置及加载测试示意图

Fig. 1 Size and reinforcement of the samples and load icon

表 2 各材料力学性能指标

Tab. 2 Mechanical properties of materials

材料	屈服强度/MPa	极限强度/MPa	弹性模量/MPa	伸长率/%
钢筋($\Phi 14$)	346	485	2.0×10^5	—
混凝土(C45)	—	47.7	3.35×10^4	—
碳纤维板(厚度 1.4 mm)	—	2 450	1.7×10^5	1.72
碳纤维筋(直径 6 mm)	—	2 000	1.5×10^5	1.4
玄武岩纤维筋(直径 6 mm)	—	900	5.5×10^4	2.6

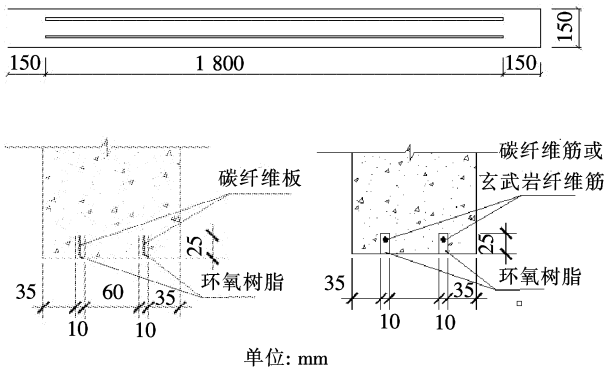


图 2 加固梁示意图

Fig. 2 Schematic diagram of reinforced beams

试验采用液压式压力试验机进行加载,加载位置为梁的三分点处,采用分级加载,在试件开裂前每级加载 4 kN,开裂后每级加载 5 kN,接近破坏阶段每级加载 2 kN。在试验过程中记录每级荷载下梁跨中及支座处位移,记录跨中部位钢筋及加固材料的应变。试验加载及测点布置见图 1。

2 试验结果及分析

2.1 抗弯承载力分析

各试件承载力试验结果见表 3。

表 3 试验梁加载试验结果

Tab. 3 Test results of the test beams

试件编号	破坏形态	极限承载力/kN	相对 L1 增强效果/%
L1	受弯破坏	99	—
L2	受弯破坏	136	37.4
L3	受弯破坏	114	15.2
L4	受弯破坏	107	8.1

采用内嵌碳纤维板、内嵌碳纤维筋以及内嵌玄武岩纤维筋加固钢筋混凝土梁均可提高梁的承载力,提高幅度在 8.1%~37.4%。内嵌碳纤维板加固梁承载力较内嵌碳纤维筋加固梁极限承载力有大幅度提高,因为两者加固材料面积基本一致,抗拉强度及弹性模量相差不多,而内嵌碳纤维板与环氧树脂的粘结面积较内嵌碳纤维筋与环氧树脂粘结面积增大了约 15%,因而在加固量相等的情况下,增大加固材料的表面积可以有效提高加固梁的承载力。

对比 L3 和 L4 可以发现,加固材料面积、表面积均相等的情况下,内嵌碳纤维筋加固梁的极限承载力较内嵌玄武岩纤维筋加固梁极限承载力要高。

2.2 荷载-挠度曲线

各试验梁荷载-挠度曲线见图 3。

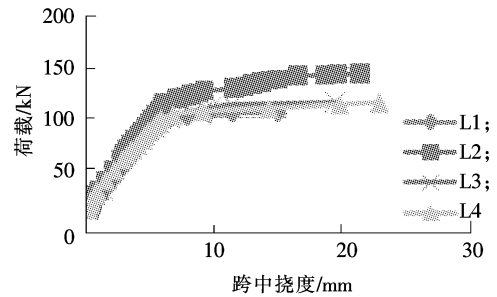


图 3 各试验梁荷载-挠度曲线

Fig. 3 Load-deflection curves of the test beams

由图 3 可知,加固梁和未加固梁的荷载-挠度曲线都可以分为 3 个阶段,即未裂阶段,带裂缝工作阶段和破坏阶段。

在未裂阶段,梁上没有裂缝,试件挠度很小,在此阶段,由于试件处于弹性阶段,加固材料的作用尚不明显,各试验梁刚度一致;试验梁 L1 出现第 1 个拐点较其他加固梁要早,说明采用内嵌式加固钢筋混凝土梁可以延缓裂缝开展。

在带裂缝工作阶段,试件裂缝开始逐渐向梁顶部延伸,并有新的裂缝出现,梁的挠度还不明显;在此阶段,受压区混凝土高度不断减小,试验梁截面刚度不断减小,对比各试件荷载-挠度曲线可以得出,采用内嵌碳纤维板进行加固的梁的刚度较其内嵌碳纤维筋和内嵌玄武岩纤维筋加固的梁以及未加固梁的刚度要大,说明采用内嵌碳纤维板加固对提高梁刚度作用明显;在此阶段,内嵌碳纤维筋和内嵌玄武岩纤维筋的刚度基本一致。

在破坏阶段,钢筋屈服,裂缝宽度增大,试件挠度急剧增大。在此阶段,由于碳纤维板表面积大,纤维能够更好地发挥作用,因而内嵌碳纤维板加固梁的刚度较其他加固梁以及未加固梁的刚度要大。

2.3 荷载-应变分析

在试验过程中记录了受拉钢筋和碳纤维板、碳纤维筋以及玄武岩纤维筋跨中应变值,各试验梁荷载-应变见图 4。

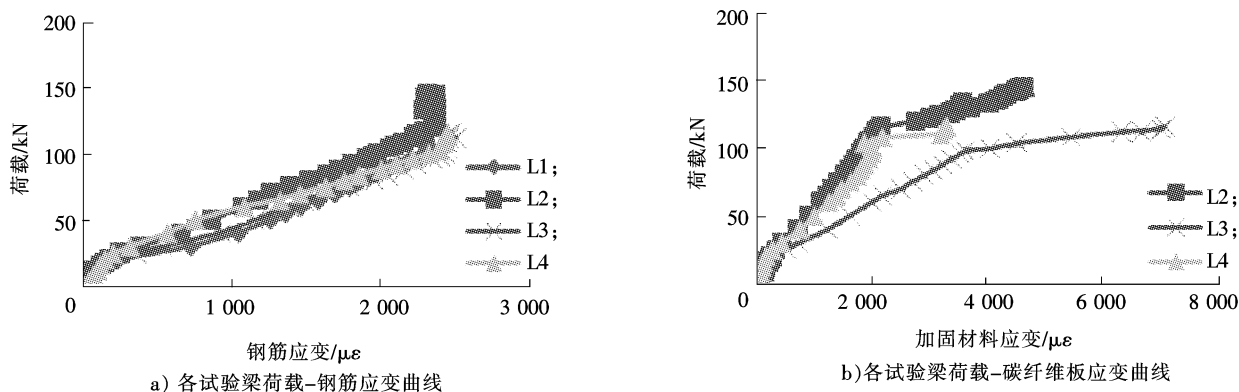


图 4 各试验梁荷载-应变曲线

Fig. 4 Load-strain curves of the test beams

通过图 4 可以看出,加固梁在混凝土开裂前,钢筋的应变较未加固梁要稍小,碳纤维板、碳纤维筋以及玄武岩纤维筋应变很小。在混凝土开裂后钢筋应变迅速增大,加固材料应变也迅速增大,但增大幅度比钢筋要小,在此阶段,加固梁钢筋应变要比未加固梁钢筋应变要小。在达到屈服荷载后,钢筋应变基本不再增大,而碳纤维板、碳纤维筋以及玄武岩纤维筋应变迅速增大。由图 4 可以得出,加固材料在试件带裂缝工作阶段以及破坏阶段发挥作用较大;碳纤维板材较碳纤维筋材能更充分发挥作用。

2.4 裂缝形态分析

未加固梁 L1 在出现裂缝后,随着荷载增大,裂缝逐渐向上扩展,在梁破坏时,主裂缝主要分布于梁的纯弯段及加载点附近,裂缝宽度基本一致。各试验梁裂缝分布及形态见图 5。内嵌碳纤维板加固梁和未加固梁的破坏形态及裂缝发展状况基本相似,只是裂缝分布比未加固梁更加均匀,裂缝宽度比未加固梁要小。而内嵌碳纤维筋加固梁 L3 和内嵌玄武岩纤维筋加固梁 L4 最终破坏时,主裂缝数量较少,裂缝宽度相对较大。

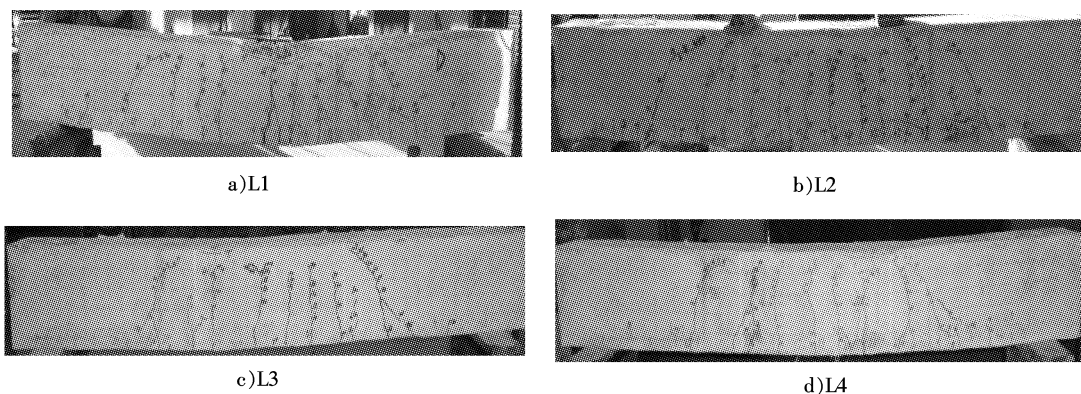


图 5 各试验梁裂缝分布及形态

Fig. 5 Crack distribution and fracture shape of the test beams

试验梁在各级荷载下的最大裂缝宽度见图 6。通过图 6 可以得出,在相同荷载下加固梁 L2, L3 和 L4 的最大裂缝宽度比试验梁 L1 要小,这说明内嵌碳纤维板、碳纤维筋以及玄武岩纤维筋加固的钢筋混凝土梁,均可较好抑制裂缝发展。

3 结论

本文通过对采用内嵌不同纤维材料加固钢筋混凝土梁和未加固梁进行静力受弯试验,将试验结果进行对比分析,得出如下结论。

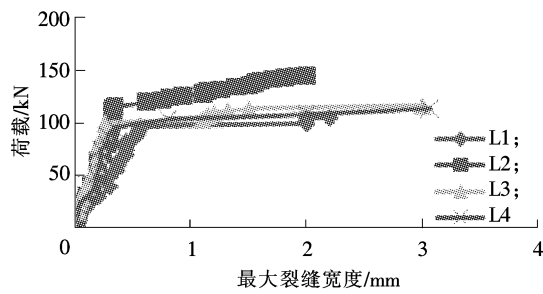


图 6 各试件荷载-最大裂缝宽度曲线

Fig. 6 Load-maximum crack width curves of the test beams

1)在加固量相同的情况下,内嵌碳纤维板加固梁的承载力比内嵌碳纤维筋加固梁的承载力要高,内嵌碳纤维板加固梁的承载力较未加固梁约提高 37.4%,而内嵌碳纤维筋加固梁的承载力较未加固梁约提高 15.2%。内嵌碳纤维板加固效果更明显;适当增大加固材料表面积可以显著提高梁的承载力。

2)内嵌碳纤维筋加固梁较内嵌玄武岩纤维筋加固梁承载力提高幅度要大。

3)内嵌碳纤维板、碳纤维筋以及玄武岩纤维筋加固梁均可较好地抑制裂缝的发展。

参考文献/References:

- [1] 梁金福,燕柳斌,赵君君,等. CFRP 板条嵌入式加固钢筋混凝土梁抗弯性能试验研究[J]. 工业建筑,2009,39(2):100-102.
LIANG Jinfu, YAN Liubin, ZHAO Junjun, et al. Experimental study of bending performance of RC beams strengthened with near-surface mounted CFRP plate[J]. Industrial Construction,2009,39(2):100-102.
- [2] De Lorenzis L, RANNI A. Bond between NSM fiber reinforcement polymer rods and concrete in structural strengthening[J]. ACI Structural Journal,2002, 99(2):123-132.
- [3] 丁亚红,曾宪桃,王兴国. 内嵌 CFRP 板条加固混凝土梁试验研究[J]. 工业建筑,2006,36(7):89-91.
DING Yahong, ZENG Xiantao, WANG Xingguo. The experimental study of concrete beams strengthened with near-surface mounted CFRP [J]. Industrial Construction, 2006, 36 (7): 89-91.
- [4] 贺学军,周朝阳,徐 玲. 内嵌 CFRP 板条嵌入式加固混凝土梁的抗弯性能试验研究[J]. 土木工程学报,2008,41(12):14-20.
HE Xuejun, ZHOU Chaoyang, XU Ling. Experimental study on the flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with near-surface mounted CFRP laminates[J]. China Civil Engineering Journal,2008,41(12):14-20.
- [5] 梁金福,燕柳斌,赵君君. 碳纤维板条嵌入式加固钢筋混凝土梁试验研究[J]. 混凝土,2009(1):46-49.
LIANG Jinfu, YAN Liubin, ZHAO Junjun. Experimental study on RC beams strengthened with near-surface mounted CFRP plate[J]. Concrete,2009(1):46-49.