

文章编号 1000-5013(2002)02-147-04

# 玻璃纤维增强塑料加固砼梁的抗弯试验

黄奕辉 李梁峰

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

**摘要** 通过对钢筋混凝土梁用 GFRP 片材进行抗弯加固试验, 研究其受弯破坏特征、对梁的极限承载力、刚度等的影响. 得出平截面假定适用、加固梁初期效果不明显, 片材厚度、片材端到支座的距离为主要影响因素, 而对锚固端 U 形加强条进行加强处理的效果明显等结论. 它为进一步的理论研究提供依据.

**关键词** 玻璃纤维增强塑料, 混凝土梁, 刚度, 抗弯极限承载力

**中图分类号** TU 377. 9<sup>+</sup> 10. 2

**文献标识码** A

纤维增强塑料(FRP)加固修复混凝土结构技术, 是近年来在发达国家兴起的一项新型加固技术. 该项技术利用树脂类材料把碳纤维粘贴于结构或构件表面, 形成复合材料体 FRP. 通过其与结构或构件的协同工作, 达到对结构构件补强加固, 以及改善受力性能的目的<sup>[1-4]</sup>. 本文将对 5 根采用 GFRP 片材抗弯加固的混凝土梁和 1 根基准梁, 进行加固梁抗弯性能试验研究. 对用玻璃纤维增强塑料(GFRP)加固钢筋混凝土梁后的受弯破坏特征, 以及对梁的极限承载力、刚度等的影响, 进行系统的研究分析.

## 1 试验设计

### 1. 1 试件设计与制作

试件混凝土的立方体强度  $f_{cu} = 20.7$  MPa, 轴心抗压强度  $f_{ck} = 9.5$  MPa, 抗拉强度  $f_{tk} = 1.08$  MPa, 弹性模量  $f_c = 24$  GPa. 钢筋和 GFRP 片材的力学性能, 如表 1 所示. 表中  $f_y$  为屈服强度,  $f_s$  为极限强度,  $E$  为弹性模量,  $G$  为剪切模量. 试验之前, 将试件的混凝土表面进行打

表 1 材料的力学性能

材 料	$f_y$ /MPa	$f_s$ /MPa	$E$ /GPa	$G$ /GPa
≅ 12	218	417	210.0	-
≅ 8	283	473	210.0	-
≅ 6	251	454	210.0	-
GFRP 片材	-	230	11.0	-
粘胶层	-	-	5.7	2.05

磨、平整, 去掉 1~2 mm 的表面疏松层, 并将浮灰清除干净. 随后, 在混凝土表面涂抹一层均匀饱满的环氧树脂(粘结剂), 将已裁剪好的玻璃纤维布粘贴上去. 沿玻璃纤维受力方向按压赶出气泡, 以使玻璃纤维布与混凝土表面紧密粘结. 当玻璃纤维布粘幅层数多于一层时, 重复上述过程. 最后, 在玻璃纤维布表面再涂抹上一层环氧树脂, 经过 7 d 时间待环氧树脂完全固化后进行试验.

## 1.2 试验参数设计

本试验的试验参数为 GFRP 片材加固层厚度  $h$ 、长度  $l$ 、加固方式和粘胶层厚度  $n$ . 各参数及试验结果, 如表 2 所示. 表中,  $P_u$  为极限荷载,  $d$  为破坏时梁跨中位移. 图 1 为试件模型图,

表 2 试件参数及主要结果表

编号	$n/\text{mm}$	加固方式	$h/\text{mm}$	$l/\text{mm}$	$P_u/\text{kN}$	$d/\text{mm}$	破坏形式
ML-01	-	-	-	-	28.2	9.80	-
ML-02	0.4	2 层 GFRP	2	1 000	41.3	7.60	梁底 GFRP 剥离+ 剪切
ML-03	0.4	3 层 GFRP	3	1 000	30.1	5.60	梁底 GFRP 剥离+ 剪切
ML-04	0.4	1 层 GFRP	1	800	35.1	7.90	梁底 GFRP 剥离+ 剪切
ML-05	0.4	2 层+ U 形加强条	2	1 000	44.4	7.75	梁底 GFRP 剥裂+ 剪切
ML-06	0.4	3 层+ U 形加强条	3	1 000	37.5	8.50	U 形条 GFRP 剥离+ 剪切

图 2 为试验的装置图. 试验采用反力架倒挂液压千斤顶, 加载方式为两点加载. 加载点为试验梁的三分点, 由分配梁来实现两点加载. 试验过程中采用压力传感器控制每级荷载, 采用电阻应变片量测应变和百分表量测位移.

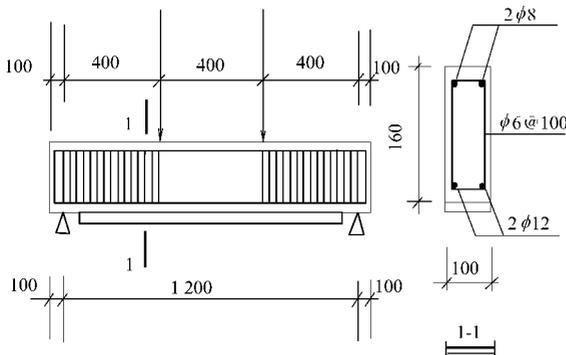


图 1 试件模型图

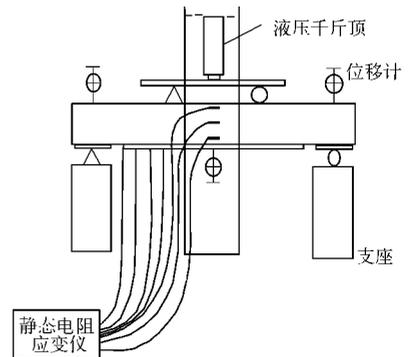


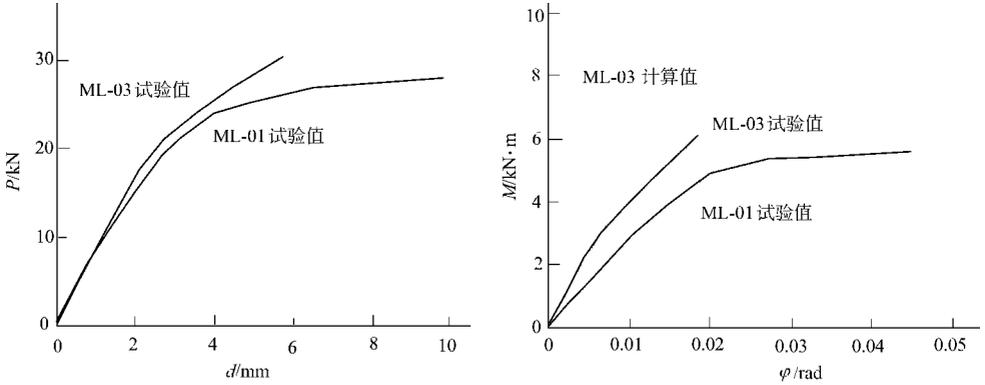
图 2 试验装置图

## 2 试验结果和分析

对于加固梁 ML-02, ML-03 和 ML-04, 无论加固形式如何, 在试验初期的荷载( $P$ )较小时, 其截面弯矩( $M$ )主要由受压区混凝土和受拉区混凝土、钢筋及 GFRP 片材共同承担. 此时, GFRP 片材并未发挥效果. 因此, 跨中位移( $d$ )、曲率( $\varphi$ )和基准梁 ML-01 基本相同. 但随着荷载的增加, GFRP 片材开始和梁底钢筋共同承担拉力, 从而导致截面刚度增加而跨中截面位移和曲率却降低. 此时, 不同的加固方式表现出不同的特点.

图 3 为 ML-03 试件的试验结果图. 由试验结果可以看出, ML-03 比 ML-02 梁多贴了一层的 GFRP 片材, 在等荷载下其跨中截面曲率也较小. 同样, ML-02 比 ML-01 梁多贴了一层

的 GFRP 片材, 等荷载下其跨中截面曲率也较后者小, 且屈服弯矩也比后者高. 由此可见, 随着加固层厚度的增加, 梁的整体刚度和截面刚度也随着变大. 由表 2 可见, 3 根梁的破坏形式

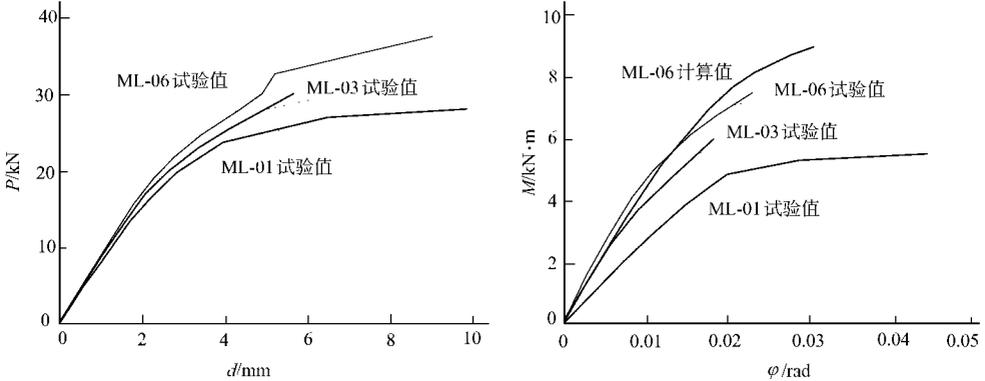


(a) 荷载-跨中位移图 (b) 弯矩-曲率图

图 3 ML-03 试件的试验结果

都是梁底端部 GFRP 片材剥离, 导致梁发生剪切破坏. ML-03 粘贴 3 层 GFRP 片材. 片材端部锚固区的粘结剪应力和剥离正应力, 均比粘贴 2 层的 ML-02 大, 因而较早发生剥离破坏. 破坏时, 受拉钢筋尚未屈服, 片材也未拉断. 通过 ML-02, ML-03, ML-04 间的相互对比分析, 可以看出随着加固层厚度的增加, 梁的整体刚度和截面刚度随着变大. 但是, 它们相应的片材端部的最大粘结剪应力和最大剥离正应力也变大, 容易发生片材端部剥离破坏而导致的斜截面剪切破坏<sup>[5]</sup>. 这样, 会使得片材的性能没有得到充分的利用, 梁的极限承载力可能反而降低.

ML-05 在端部采用 U 形加强条, 对梁底 GFRP 片材锚固端进行加固处理. 这样, 可以有效提高 GFRP 片材和混凝土梁的协同共同工作性能, 防止由于片材剥离而引起的整体破坏. 它充分发挥 GFRP 片材的高强性能, 从而极大地提高极限荷载. 由试验结果可见, ML-05 破坏时, 梁底 GFRP 片材断裂. ML-06 在端部采用 U 形加强条进行锚固加固, 加强条承担了大部分的锚固力. 因此, 所能承担的荷载大大高于同样粘贴 3 层 GFRP 片材的 ML-03. 从图 4 中可以看出, ML-06 的极限荷载大大高于 ML-03. 与 ML-05 相比, ML-06 由于 GFRP 片材层数



(a) 荷载-跨中位移图 (b) 弯矩-曲率图

图 4 ML-06 试件的试验结果

较多, 锚固端粘结剪应力和剥离正应力较大. 因此, 最后导致 U 形锚固加强条连带混凝土发生

剥离而丧失锚固作用,进而导致梁发生脆性剪切破坏。

### 3 结束语

通过本文试验研究可以得出4点结论。(1)对于粘贴GFRP片材加固的钢筋混凝土梁,平截面假定依然适用。(2)由于GFRP片材很薄,通常在加载初期发挥的作用很小,所以加固后,梁的开裂荷载变化很小,荷载-位移曲线和未加固梁基本一样。(3)GFRP片材的厚度、GFRP片材端部到支座的距离,是影响加固梁发生片材剥离破坏的主要因素。剥离破坏将导致梁发生脆性剪切破坏,这在实际工程中是必须绝对不允许的。(4)GFRP片材锚固端采用U形锚固加强条进行加强处理后,U形锚固加强条将参与承担锚固力。于是,它对梁底GFRP片材起到锚固作用。这是避免片材发生锚固粘结破坏的一种有效方法。

### 参 考 文 献

- 1 Hanid S, Ehsani M R. RC beams strengthened with FRP plates —— Experimental study[J]. ASCE Journal of Structural Engineering, 1991, 117(11): 3 417~3 433
- 2 Sharif A, Ai-sulaimani G J, Basunbul I A, et al. Strengthening of initially loaded reinforced concrete beams using GFRP plates[J]. ACI Structural Journal, 1994, 91(2): 160~168
- 3 吴刚,安琳,吕志涛.碳纤维布用于钢筋混凝土梁抗弯加固的试验研究[J].建筑结构,2000,(7):3~6
- 4 黄奕辉,欧阳煜.玻璃纤维材料加固混凝土结构新技术[J].华侨大学学报(自然科学版),2001,22(1):44~47
- 5 欧阳煜.玻璃纤维片材(GFRP)加固混凝土框架结构的性能研究[D]:[学位论文].杭州:浙江大学土木工程系,2001.20~47

## Testing the Bending Resistance of Concrete Beam Reinforcing by Fibre Glass Reinforced Plastics

Huang Yihui      Li Liangfeng

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** A test of bending resistance and reinforcement is carried out on RC beam by applying sheet of fibre glass reinforced plastics(FRP). A study and analysis is given to the traits of bending and rupture of RC beam reinforced by applying FRP and to the effect of FRP on ultimate bearing capacity and stiffness of the beam. As it is concluded by the above-mentioned studies, the horizontal section assumption is suitable for use; the initial effect of reinforced beam is indistinct, the thickness of sheet and the distance from the end of sheet to the pedestal are the main influencing factors, and the strengthening effect of U-shaped reinforcing stripe at the anchorage end is distinct. These conclusions provide a basis for further theoretical study.

**Keywords** fiber glass reinforced plastics, concrete beam, stiffness, ultimate bearing capacity to bending