

文章编号 1000-5013(2003) 04-0374-06

GFRP 加固混凝土梁的抗弯承载力参数分析

黄奕辉 李梁峰

(华侨大学土木工程系, 福建 泉州 362011)

摘要 对采用 FRP 片材抗弯加固的钢筋混凝土梁, 进行正截面弯矩-曲率分析; 对抗弯承载力参数进行分析, 提出对加固梁抗弯承载力设计方法的建议. 分析结果表明, 加固量、FRP 片材的弹性模量和强度、混凝土强度, 以及梁的配筋率对抗弯承载力有较大影响. 用 FRP 片材对低配筋梁进行抗弯加固效果明显, 但必须考虑抗弯加固所导致的脆性破坏.

关键词 玻璃纤维增强塑料, 混凝土梁, 抗弯承载力, 参数分析

中图分类号 TU 377.9⁺ 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. 该项技术是将碳素纤维或玻璃纤维等高性能纤维应用于土木工程, 利用树脂类材料与此类纤维复合成材料体 FRP, 粘贴于结构或构件表面. 它与结构或构件的协同工作, 可达到对结构构件补强加固及改善受力性能的目的. 目前, 对于 FRP 片材抗弯加固钢筋混凝土梁的研究不少^[1~4]. 本文在文献[5]试验的基础上, 对采用 FRP 片材抗弯加固的钢筋混凝土梁, 进行正截面弯矩-曲率分析和抗弯性能参数分析, 并提出工程适用公式.

1 GFRP 片材加固混凝土梁的弯矩-曲率分析

1.1 基本假定

在进行 GFRP 片材梁底加固钢筋混凝土梁的正截面弯矩-曲率分析时, 先做 5 点假定. (1) FRP 片材加固钢筋混凝土梁截面应变线性分布(平截面假定). (2) 不考虑混凝土的抗拉强度. (3) 截面变形为小变形. (4) 不考虑剪切变形. (5) GFRP 片材与混凝土梁变形协调, 两者间不发生滑移. 钢筋假定为理想弹塑性材料, 如图 1(a) 所示, 其应力应变关系为

$$\sigma_s = \begin{cases} f_{sy}, & \epsilon_s \leq \epsilon_{sy}, \\ -f_{sy}, & \epsilon_s > \epsilon_{sy}, \\ \epsilon E_s, & -\epsilon_y < \epsilon_s < \epsilon_{sy}. \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期 2003-03-16

作者简介 黄奕辉(1959-), 男, 副教授, E-mail: huangyh@hqu.edu.cn

基金项目 福建省科技局科研基金资助项目(98-Z-35); 福建省建设局科研基金资助项目(JKK-99-10) <http://www.cnki.net>

在式(1)中, σ_s 为钢筋的应力, ϵ_s 为钢筋的应变, f_{sy} 为钢筋屈服应力, ϵ_{sy} 为钢筋屈服时的应变($\epsilon_{sy} = f_{sy}/E_s$), E_s 为钢筋弹性模量. GFRP 片材假定为线弹性材料, 本构关系如图 1(b) 所示. 其应

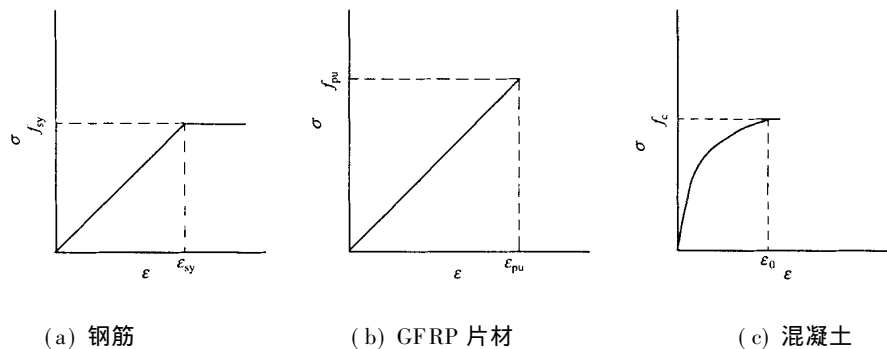


图1 本构关系

力应变关系为

$$\sigma_p = E_p \epsilon_p, \quad \epsilon_p \leq \epsilon_{pu}, \quad (2)$$

式中 σ_p 为 GFRP 片材的应力, ϵ_p 为 GFRP 片材的应变, E_p 为 GFRP 片材的弹性模量, ϵ_{pu} 为 GFRP 片材的极限拉应变. 受压混凝土建议采用文[6]使用的应力应变关系.

1.2 弯矩-曲率的计算

在进行加固梁的正截面分析时, 按普通钢筋混凝土梁正截面分析方法进行分析. 假定混凝土受压区外边缘应变, 根据平截面假定求得钢筋、混凝土和片材的应变. 另外, 根据应力-应变关系求得各自应力, 而根据截面力的平衡方程和弯矩平衡方程, 可分别求得受压区高度和截面弯矩. 通过受压区外边缘应变和受压区高度, 则可以求得截面曲率.

2 FRP 片材加固混凝土梁的抗弯性能参数分析

采用本文方法, 对梁底粘贴 FRP 片材加固的单筋混凝土矩形截面梁进行算例参数分析时, 可分为四类梁, 每类 4 组, 每组梁用一种 FRP 片材加固. 算例梁编号为“L#-# #”. 第 1 个“#”代表梁的种类, 分类标准是混凝土强度等级(图中标示的混凝土强度为轴心抗压强度)和配筋率 ρ . 即“1”为 C20, $\rho = 0.69\%$; “2”为 C30, $\rho = 0.69\%$; “3”为 C20, $\rho = 1.69\%$; “4”为 C30, $\rho = 1.69\%$. 第 2 个“#”代表 FRP 片材的种类, 分组标准是片材的弹性模量 E_p 和抗拉强度 f_{pu} . 即“0”为对比梁, 未进行加固; “1”为 $E_p = 235$, $f_{pu} = 3.550$ GPa; “2”为 $E_p = 380$ GPa, $f_{pu} = 3.000$ GPa; “3”为 $E_p = 220$ GPa, $f_{pu} = 1.80$ GPa; “4”为 $E_p = 74$ GPa, $f_{pu} = 1.50$ GPa. 第 3 个“#”代表粘贴的 FRP 片材的截面积, 编号“0”到“3”, 分别(mm^2)为 0, 30, 60 和 90.

图 2 为 4 种 FRP 片材加固低配筋低混凝土强度的 L1 类梁弯矩(M)-曲率(φ)图, 以及其 FRP 弹模 E_f 影响图. 从图中可以看出, 随着加固率的增大, 屈服弯矩、极限弯矩(M_u)提高的幅度和极限曲率(φ_u)降低的幅度也越大. 对比图 2(a), (c) 可见, 两者的弯矩-曲率图几乎一样, 相同加固率下极限弯矩提高的幅度也差不多. L1-11 的极限弯矩为 143.17 kN·m, L1-31 的极限弯矩为 131.25 kN·m; L1-13 为 247.86 kN·m, L1-33 为 247.28 kN·m. 由图 2(e), (f) 可见, 对于低混凝土强度等级低配筋的 L1 类梁, FRP 片材的弹性模量(E)和截面积起决定作用. 一般情况下, 梁在破坏时都是受压区混凝土压碎破坏, FRP 片材均未达极限抗拉强度.

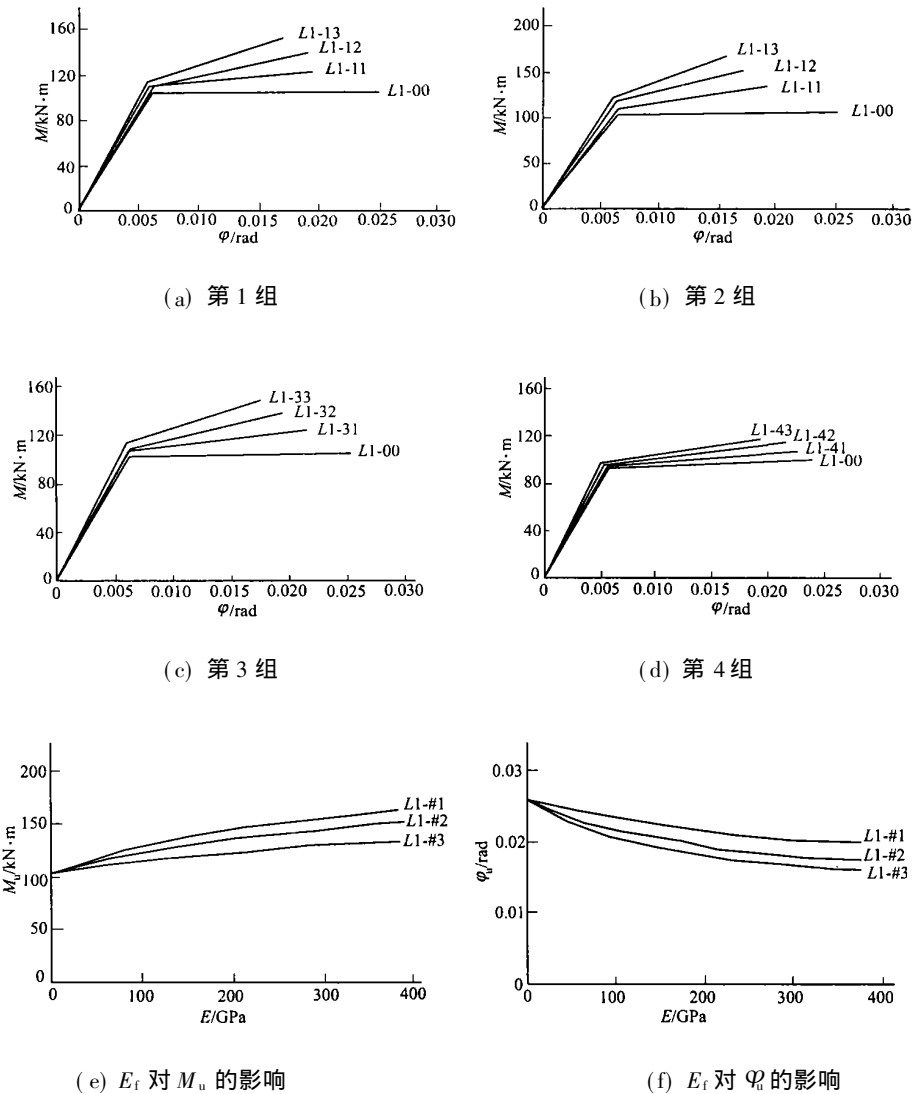


图 2 不同 FRP 材料加固 L1 类梁的弯矩-曲率图和 FRP 弹模影响图

图 3 为 4 种 FRP 片材加固高混凝土强度(C),低配筋的 L2 类梁弯矩-曲率图,以及混凝土强度等级影响图.对比图 3(a), (c) 可见,第 3 组片材和第 1 组片材的弹性模量相近.在 FRP 片材拉断破坏前,两图的曲线基本相同.但是由于前者的抗拉强度较小,仅为后者的一半.在加固量较低的情况下, L2-31 和 L2-32 是 FRP 材料拉断破坏.所以,极限弯矩比受压区混凝土压碎而破坏的 L2-11 和 L2-12 要低.在加固量较高的情况(如 L2-33)下,是受压区混凝土压碎而破坏,则和 L2-13 的曲线基本相同,极限弯矩也相近.图 3(e), (f) 加算了混凝土为 C15 和 C25,配筋率相同的两类梁.从图中可见,对于混凝土强度等级较低的梁,不宜采用 FRP 材料粘贴方法进行梁正截面抗弯加固.粘贴的 FRP 材料的弹性模量越大,则在加固率、配筋率和混凝土等级相同的情况下,加固梁破坏时的极限曲率降低幅度越大,延性性能也越差.图 4 是 4 种 FRP 片材加固低混凝土强度、高配筋的 L3 类梁弯矩-曲率图和配筋率(η)影响图,从图中可以看出,

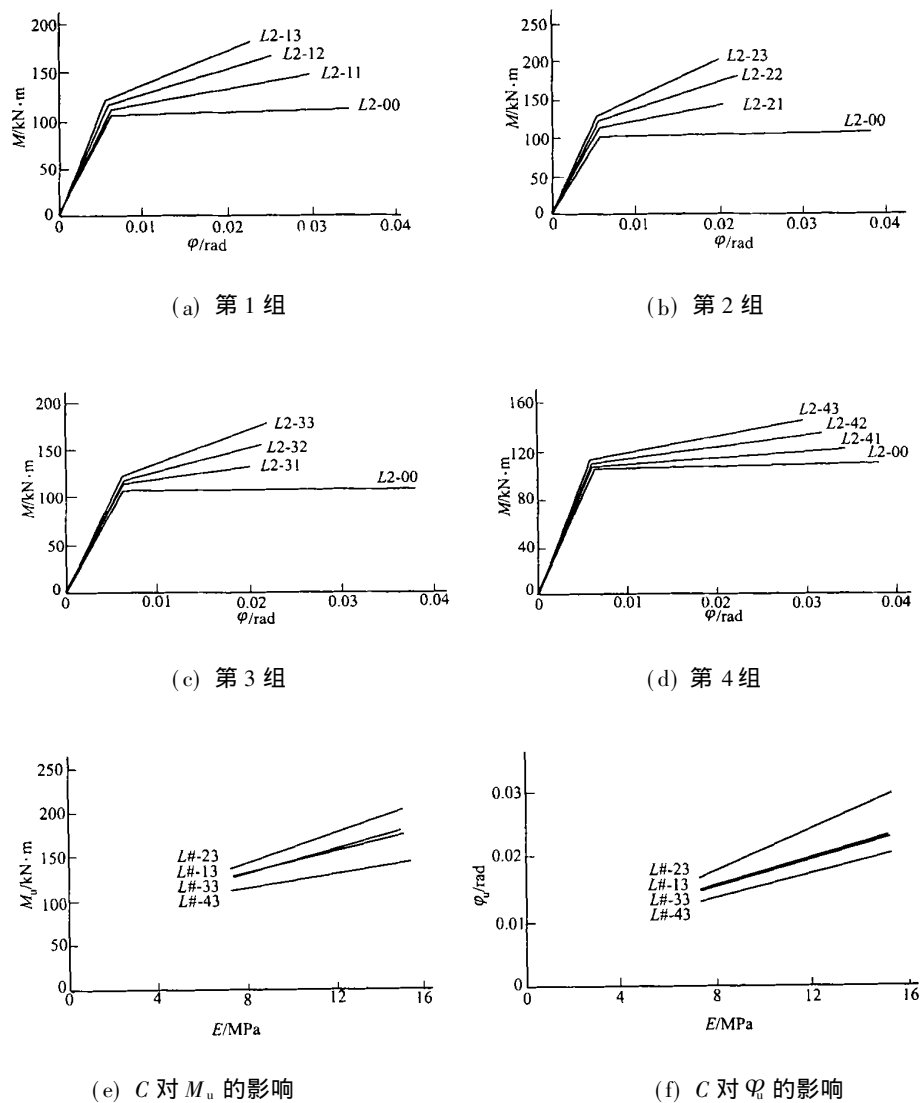


图 3 不同 FRP 材料加固 L2 类梁的弯矩-曲率图和混凝土强度的影响图

无论粘贴 FRP 材料的弹性模量和加固率的大小, 加固梁的截面极限弯矩和极限曲率基本没有多大变化, 即加固效果不明显。这主要是由于受拉区钢筋已足以平衡受压区的压力, 粘贴的 FRP 加固材料还未发挥作用, 受压区混凝土就已经压碎破坏了。图 4(e), (f) 加算了同混凝土强度等级, 配筋率分别为 0.87%, 1.08%, 1.31% 的三类梁算例。随着配筋率的增加, 无论 FRP 加固率的大小, 加固梁的极限弯矩和极限曲率基本没有变化, 并趋于一致。可见, FRP 片材加固混凝土梁只有在受拉钢筋不足时才是有效的, 对于配筋率较高的梁则基本没有效果。L4 类梁为高混凝土强度高配筋, 其性能和 L3 类梁相似。加固梁的极限弯矩和极限曲率变化不大, 曲线基本和未加固梁相同。综上所述, 对于低配筋梁, 用 FRP 片材粘贴加固后梁截面的极限抗弯承载力有较大提高(如 L1 类梁和 L2 类梁), 但延性性能有所降低。随着加固率、FRP 材料弹性模量的增加, 极限承载力的提高幅度越大, 延性性能也越差。对于高混凝土等级低配筋的梁,

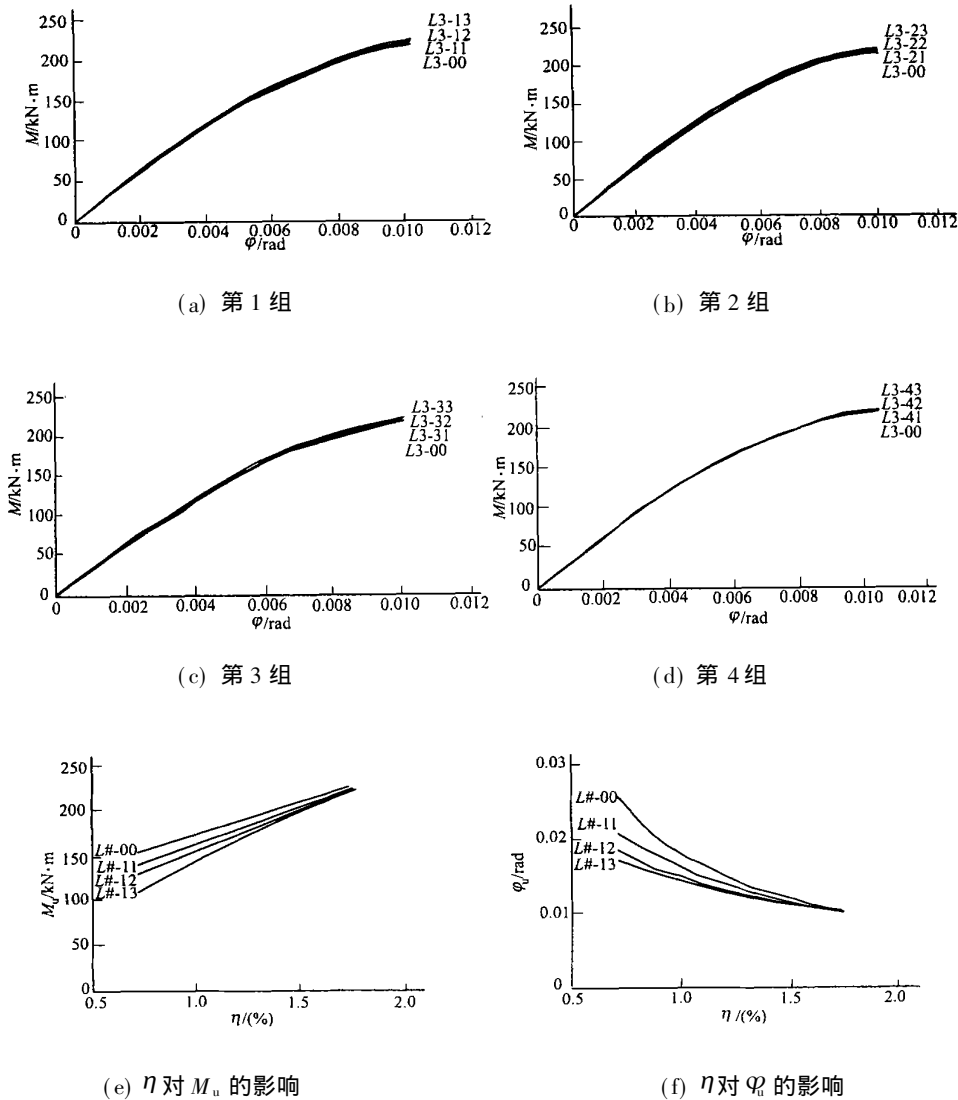


图 4 不同 FRP 材料加固 L3 类梁的弯矩-曲率图和配筋率的影响图

可能发生 FRP 片材拉断破坏; 而对于高配筋梁, 加固效果不明显.

3 FRP 片材加固钢筋混凝土梁的抗弯承载力设计方法

抗弯加固设计中, 最主要的是确定加固后截面的极限弯矩 M_u . 依照文 [6] 中的方法, 可以计算矩形截面梁采用 FRP 片材粘贴加固后的正截面强度. 其关键在于破坏时 FRP 片材的强度及应变取值, 本文建议设计极限状态根据 FRP 片材拉应变确定. FRP 片材的设计极限拉应变(允许拉应变)取值为 $[\epsilon_p] = \min[0.01, k\epsilon_{pu}]$. 其中 0.01 是考虑到和文 [6] 中的规范的衔接, 防止受拉钢筋应变过大, k 为安全系数, 取 $k = 2/3$. 截面达到设计极限状态时, 设计强度 f_p

4 结束语

通过对粘贴 GFRP 片材加固混凝土梁的抗弯性能参数分析,可以得到 5 点结论。(1) 对于低配筋梁采用粘贴 GFRP 片材进行抗弯加固时,尽管延性略有降低,但可以大幅度提高截面的抗弯极限承载力,加固效果显著;对于高配筋梁,则当截面受压区混凝土压碎破坏时,钢筋尚未屈服,GFRP 片材的性能也不能得到充分利用,加固效果不好。(2) 由于 GFRP 片材在最终拉断时表现为显著的脆性。因此,在梁破坏时 GFRP 片材可达到其极限抗拉强度的情况下,应当选择小于其极限拉应变的允许拉应变作为梁达到极限状态时的设计应变,以保证足够的安全性和延性。(3) 为避免出现受压区混凝土压碎,而受拉钢筋尚未屈服的情况出现,加固前应根据截面原有钢筋验算受压区高度。如果大于或接近于界限受压区高度,则说明原梁属于高配筋梁,不宜采用粘贴 GFRP 片材加固法。(4) 对于加固梁尚应验算梁的受剪承载力,避免因受弯承载力提高过大,而导致受剪破坏先于受弯破坏。

参 考 文 献

- 1 Sharif A, Al-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
- 2 欧阳煜. 玻璃纤维片材(GFRP)加固混凝土框架结构的性能研究[J]. [学位论文]. 杭州:浙江大学土木工程系, 2001. 20~47
- 3 吴 刚, 吕志涛. 外贴 GFRP 加固混凝土结构的抗弯设计方法[J]. 建筑结构, 2000, 30(7): 7~10
- 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 黄奕辉, 李梁峰. 玻璃纤维增强塑料加固砼梁的抗弯试验[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2002, 23(2): 147~150
- 6 中华人民共和国建设部编. GB 50010-2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 12~37

Parametric Analysis on Bending Resistance and Bearing Capacity of RC Beam Strengthened by GFRP

Huang Yihui Li Liangfeng

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

Abstract The sheets of glass fibre reinforced plastics (GFRP) are adopted to resist bending of a RC beam and to strengthen it. The obvious effect of GFRP in resisting bending of the beam with low reinforcement ratio and in strengthening it is shown by the results of relevant analyses. These analyses include its front-sectional moment-curvature analysis and parametric analysis of its bending resistance and bearing capacity. Moreover, some suggestions are made on the method of designing bending resistance and bearing capacity of strengthened beam.

Keywords glass fibre reinforced plastics, concrete beam, bending resistance and bearing capacity, parametric analysis