

文章编号: 1000-5013(2007) 03-0300-04

HRB 500 级钢筋混凝土简支梁受弯试验

王全凤, 刘凤谊, 杨勇新, 黄奕辉, 张清河

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 在 3 根 HRB 500 级钢筋混凝土受弯试验的基础上, 分析 HRB 500 级钢筋和高强混凝土匹配下的梁的破坏形态、变形特点和承载性能. 结果表明, HRB 500 级钢筋混凝土的破坏特征、挠曲模式及截面应变分布与普通高强混凝土梁基本一致. 在开裂后, 混凝土的刚度明显降低, 随着混凝土强度等级或者配筋率的提高, 构件的承载力也相应提高. 受弯构件的承载力试验值与规范的计算值吻合, 梁的裂缝宽度和裂缝间距实测值较规范的计算结果小, 梁的挠度实测值比规范的计算值大.

关键词: 梁; HRB 500 级钢筋; 高强混凝土; 承载力; 挠度; 裂缝

中图分类号: TU 375.02; TU 511.3+ 2 文献标识码: A

HRB 500 级钢筋是一种强度高、延性好的新型钢筋, 在国外已得到广泛应用, 但在我国规范^[1]中尚未列入. 为尽快实现与国际接轨, 在我国工程领域应推广这种新型钢筋, 这就需对 HRB 500 级钢筋混凝土构件主要受力性能进行试验研究^[2]. 本文对 3 根 HRB 500 级钢筋匹配的高强混凝土梁进行了受弯试验研究.

1 试验概况

1.1 试件设计

本次试验主要以受拉钢筋的配筋率和混凝土强度为参数制作了 3 根梁. 实验中, 梁采用的跨高比为 7.5、剪跨比为 2.74. 梁底受拉纵筋和箍筋全部采用 HRB 500 级钢筋. 试件的几何尺寸和配筋率(σ)如表 1 所示. 表中, $f_c = 0.76 \times 0.88 \times f_{cu}$, $f_{tk} = 0.395 f_{cu}^{0.55}$, f_{cu} , f_y 分别为混凝土立方体抗压强度标准值、钢筋屈服强度.

表 1 试件参数及主要材料力学性能

Tab. 1 Parameters and material mechanical properties of specimens

试件	$b \times h$ mm \times mm	主筋			混凝土		
		A_s	$\sigma / (\%$)	f_y / MPa	$f_{cu, m} / \text{MPa}$	f_c / MPa	f_t / MPa
JL-1	200 \times 400	3 Φ 16	0.822	512	54.7	36.6	3.57
JL-2	214 \times 403	3 Φ 16	0.762	512	74.7	50.0	4.24
JL-3	201 \times 403	2 Φ 25	1.339	513	75.0	50.2	4.25

1.2 试验加载装置加载制度及量测

如图 1 所示, 试验采用三分点加载, 在跨中形成纯弯段^[3]. 在构件开裂前以开裂荷载的 10% ~ 15% 为加荷级差, 在开裂后, 加大级差以破坏荷载的 10% ~ 15% 为加荷级差, 在临近破坏时, 适当减小级差. 荷载由连接在千斤顶上的荷载传感器测量, 通过传感器数据线输出, 传感器数据线连接到 DH-3816 型静态自动数据采集箱, 通过计算机应变测量系统记录. 混凝土应变通过 10 cm 电阻应变片进行测量; 裂缝由肉眼借助读数显微镜观察和测量; 钢筋应变用 5 mm 的电阻应变片测量; 而通过电子位移计可以得到梁的挠度变化情况.

收稿日期: 2006-11-23

作者简介: 王全凤(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事结构工程的研究. E-mail: qfwang@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863)项目(2004A A33G050)

2 试验结果及分析

2.1 试验现象描述

开始加载时, 因为弯距尚小, 截面未开裂, 构件表现为弹性变形特征, 荷载稳定增长. 挠度增长近似为直线, 这时钢筋应力较小. 钢筋及混凝土应变增长都很稳定, 如图 2 所示. 当弯距达到一定时, 在构件纯弯段内或集中力附近出现垂直裂缝. 此时, 构件挠度突变, 随即稳定, 其增长速度较前一阶段快. 这时, 挠度-荷载 ($f-M$) 曲线出现第 1 个明显的转折点, 钢筋应力较开裂前明显增大, 钢筋应力-荷载曲线也有转折. 这是因为受拉区部分混凝土退出工作, 开裂部分混凝土承受的拉力传递给钢筋, 钢筋应变有突变现象. 继续加载后, 钢筋及混凝土应变进一步增加, 裂缝条数增多, 裂缝变宽, 高度增大不多, 尤其是在后期, 挠度进一步发展, 但这些变化均很稳定.

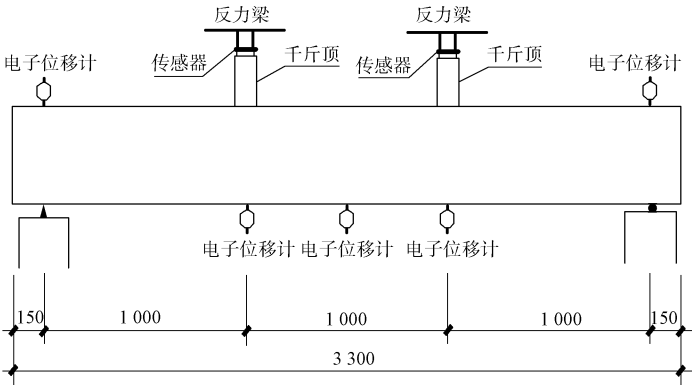
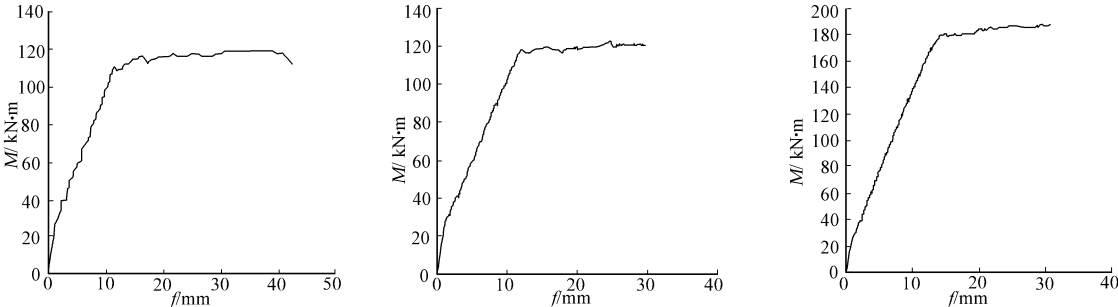


图 1 加载系统(mm)

Fig. 1 Loading system (mm)



(a) JL-1

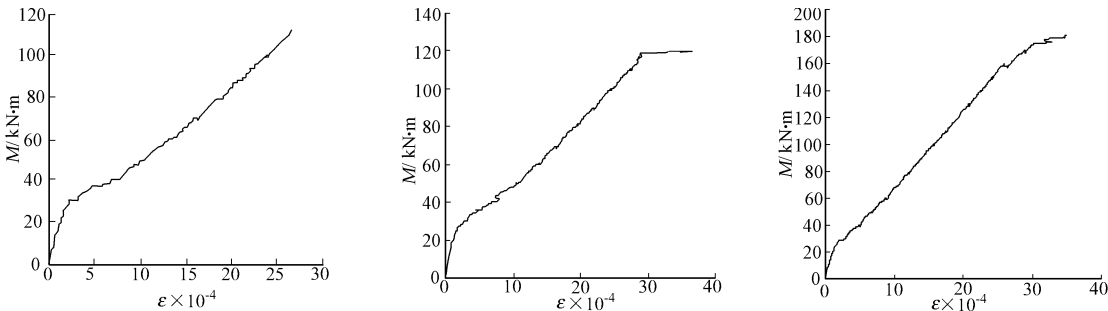
(b) JL-2

(c) JL-3

图 2 挠度-荷载曲线

Fig. 2 Deflection-load curve

当钢筋应变逐步增大到一定阶段时, 钢筋屈服, 挠度增长很快, 裂缝增长亦加快, 荷载-挠度曲线出现第 2 个明显的转折点. 当钢筋进入强化阶段后, 荷载基本不能增长, 而挠度进一步增长直至混凝土压坏或钢筋拉断. 其跨中钢筋应变-荷载 ($\epsilon-M$) 曲线, 如图 3 所示.



(a) JL-1

(b) JL-2

(c) JL-3

图 3 跨中钢筋应变-荷载曲线

Fig. 3 Strain of mid span reinforcement-load curve

2.2 试验结果

2.2.1 平截面假定 在钢筋混凝土受弯构件计算理论中, 平截面假定作为一个基本假定已被广为接受. 现行规范中受弯计算理论也是以平截面假定为基本前提的^[4], 本试验通过混凝土应变片测得在不同荷载作用下的混凝土应变. 图 4 为 JL-1 截面应变图. 从图 4 可以发现, 在整个构件破坏的过程中, 结构基本符合平截面假定, 随着裂缝的开展, 截面的中性轴渐渐地向上移动, 可以发现在各级荷载作用下, 混

混凝土的应变是符合平截面假定的。

2.2.2 承载力分析 《GB 50010- 2002 混凝土结构设计规范》中 7.2.1 条对受弯构件的承载力公式早有明确的规定. 构件设计时, 公式中材料取值均为设计值, 但在计算本次试验构件的实际承载力 M_u^c 时, 材料强度 f_c , f_y 均取实测强度标准值, 具体取值见表 1. 由试验测定了构件的破坏荷载 P_u 以后, 加入对应构件自重, 即可确定构件的极限弯距 M_u , 对应三分点加载方案的计算公式: $M_u = \frac{1}{3}P_u l + \frac{1}{8}ql^2$. 其中, l 为构件的计算跨度, 支座净间距; q 为自重产生的均布线荷载. 实测值 M_u 与计算值 M_u^c 的比较, 如表 2 所示. 从表 2 可看出, 将实测的混凝土强度和实测的钢筋屈服强度带入规范公式中, 得到的受弯承载极限 M_u^c 与试验结果复合良好; M_u/M_u^c 比值的平均值 $\bar{\mu}_1 = 1.077$.

2.2.3 裂缝分析 HRB 500 级钢筋混凝土试验梁在荷载作用下, 其裂缝发胀过程及裂缝形态和一般混凝土梁相同. 当弯距超过开裂弯距后, 首先在跨中或加载点附近出现第 1 条垂直裂缝; 随着荷载的增大, 陆续出现多条垂直裂缝, 裂缝分布较为均匀, 裂缝宽度发展缓慢; 当荷载较大时, 在梁的弯

距和剪力共同作用区段还将出现弯剪斜裂缝; 临近破坏时, 裂缝发展迅速, 有明显的破坏预兆. 图 5 为试验梁的裂缝形态图. 将平均裂缝间距的实测值 l_α 与计算值 l_{cr}^c 进行比较(表 3), 可以发现得到的实测值均比计算值小, l_{cr}/l_α^c 的平均值 $\bar{\mu}_2 = 0.876$. 在表 3 中, n 表示裂缝条数, s_{min} 表示最小裂缝间距, s_{max} 表示最大裂缝间距. 实测的最大裂缝宽度为短期最大裂缝宽度 ω_{max}^s 乘上放大系数 1.5, 可视其为长期作用影响的最大裂缝宽度 ω_{max}^l . ω_{max}^l 与计算的裂缝宽度 ω_{max}^c 比较见表 4. 由试验结果可以看出, 实测的长期裂缝宽度比计算的长期裂缝宽度小, $\omega_{max}^l/\omega_{max}^c$ 比值的平均值 $\bar{\mu}_3 = 0.852$, 仍然比规范规定的裂缝宽度限值大.

2.2.4 挠度分析 构件在使用荷载下可能不会破坏, 但可能因挠度过大而影响使用. 当一个构件下垂

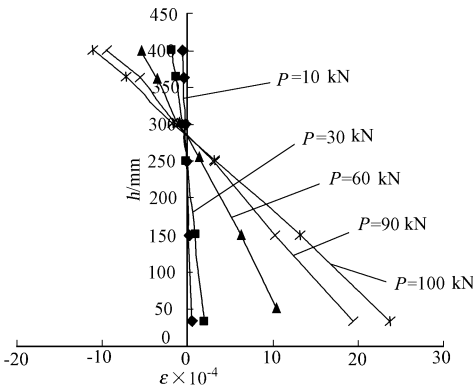


图 4 JL-1 构件截面应变
Fig. 4 Strain on cross section of JL-1 beam

表 2 破坏荷载表

Tab. 2 Failure loads			
构件	$M_u / \text{kN} \cdot \text{m}$	$M_u^c / \text{kN} \cdot \text{m}$	μ_1
JL-1	114.3	106.8	1.070
JL-2	120.4	109.9	1.096
JL-3	183.3	172.2	1.064

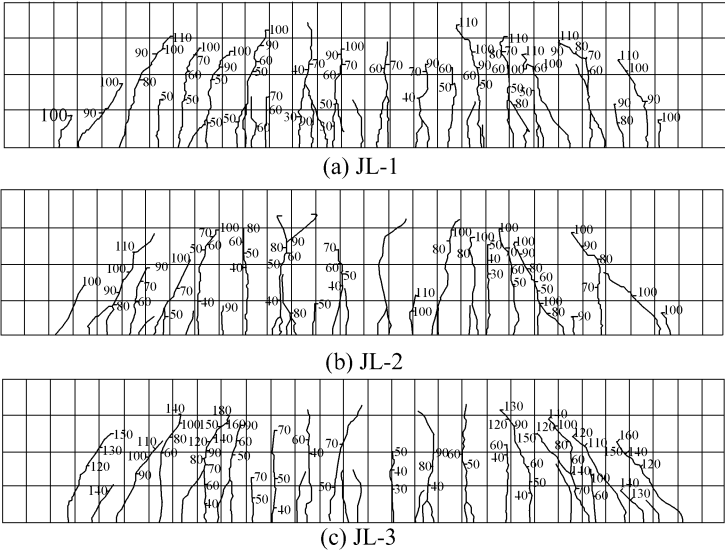


图 5 裂缝形态图
Fig. 5 Crack distribution

表 3 裂缝间距表

Tab. 3 Crack spacing						
构件	n	s_{min} / mm	s_{max} / mm	l_{cr} / mm	l_{cr}^c / mm	μ_2
JL-1	22	53	182	119.2	132.4	0.900
JL-2	23	21	237	115.9	138.9	0.834
JL-3	23	44	177	116.5	130.1	0.895

表 4 裂缝宽度表

Tab. 4 Crack width				
构件	ω_{max}^s	ω_{max}^l	ω_{max}^c	μ_3
JL-1	0.20	0.300	0.434	0.691
JL-2	0.25	0.375	0.409	0.917
JL-3	0.30	0.450	0.475	0.947

到经常能被注意到的程度, 即使结构的承载力没有问题也会令观察者产生不安全感. 所以规范也对构件在正常使用状态下的挠度进行限制. f_s/f^c 比值的平均值 $\bar{\mu}_4 = 1.303$. 将荷载标准组合作用下的弯距 M_k 所对应的短期刚度 B_s 求出, 并通过结构力学的方法^[5] 算出短期荷载作用下的梁的挠度 f^c ; 实测的挠度

f_s 由荷载挠度图上在荷载数值为 M_k^c 时相应的挠度求得. 将 f_s^c 与实测的挠度 f_s 进行比较, 如表5所示. 从表 5 可以看出, 实测的挠度值要比计算的挠度值大.

3 结论

HRB 500 级钢筋混凝土梁与普通的混凝土梁一样, 在开裂后刚度都明显地降低. 随着混凝土强度等级或者配筋率的提高, 构件的承载力也提高. 规范对受弯构件的承载力计算与试验结果比较吻合, HRB 500 级钢筋混凝土受弯构件可以继续沿用规范中的公式. HRB 500 级钢筋混凝土受弯构件的最大裂缝宽度实测值略比计算值小些, 裂缝间距实测值也比计算值小, 应对规范中的公式作出一定的调整. 计算与实测的最大裂缝宽度均大于规范的规定, 故应加大对 HRB 500 级钢筋混凝土受弯构件的裂缝验算. 试验中梁的挠度实测值比计算值大, 故在设计中应加强对 HRB 500 级钢筋混凝土构件的挠度进行挠度验算, 验算的规范公式应该适当地调整. 在实际工程应用中, 应加强构件的裂缝宽度和挠度的控制措施, 例如加强养护, 尽量采用小直径 HRB 500 级钢筋, 等等.

参考文献:

[1] 中华人民共和国建设部. 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: 44- 48, 99- 111, 283- 290.

[2] 张 艇, 刘立新, 徐有邻. HRB 500 级钢筋混凝土构件受力性能的试验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2004: 14~ 35.

[3] 中国建筑科学研究院. GB 50152- 92 混凝土结构试验标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992: 1- 47, 55- 64.

[4] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003: 24- 27.

[5] 卢建峰, 蒋永生, 梁书亭. 高强钢筋高强混凝土梁风度的试验研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 1996, 26(6B): 109- 113.

Experimental Investigation on Flexural Behavior of Simple Supported RC Beams with Grade HRB 500 Reinforcement

WANG Quan-feng, LIU Feng-yi, YANG Yong-xin,

HUANG Yǎ-fui, ZHANG Qing-he

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Based on the flexural experiments of 3 beams with grade HRB 500 reinforcement and matched high strength concrete, the failure modes, deformation characteristics and load carrying capacities are analyzed. The result indicates: the failure modes, deflection types and the strain distribution on the section of the 3 beams are almost consistent with the common reinforced concrete (RC) beams. After cracking, The rigidity of 3 RC beams decreases obviously; with increasing the concrete strength or the area ratio of reinforcement to section, the load carrying capacity increases. The experimental load carrying capacities agree with the ones calculated by the code; the experimental crack widths and the spacing are less than the ones calculated by the code, the experimental deflections are larger than the ones calculated by the code.

Keywords: beam; grade HRB 500 reinforcement; high strength concrete; load carrying capacity; deflection; crack

(责任编辑: 黄仲一)