

文章编号:1671-6833(2008)02-0031-04

铆粘钢板加固钢筋混凝土梁的抗弯性能试验研究

谢丽丽¹, 余术刚², 刘立新², 彭长领², 王明智²

(1. 郑州大学 综合设计研究院,河南 郑州 450002;2. 郑州大学 土木工程学院,河南 郑州 450001)

摘 要: 笔者通过 6 根采用铆粘钢板加固的钢筋混凝土梁和 1 根未加固对照梁的受弯性能试验对比,分析了铆粘钢板加固梁正截面的受力特点以及承载能力、裂缝开展、刚度变化和加固效果,并与对照梁进行了对比,提出了铆粘钢板加固钢筋混凝土梁的受弯承载力建议计算方法。
关键词: 铆粘钢板;抗弯加固;建议公式
中图分类号: TU 375.1 **文献标识码:** A

0 引言

铆粘钢板加固方法是将事先打磨、钻好孔的钢板涂上胶在需加固的构件表面就位,用电锤对准钢板孔并垂直构件表面在混凝土中打孔,清除孔内灰尘并向孔内注胶,随后用手锤逐个打入特制的异形铆钉或者丝杆将钢板铆粘在构件上. 与粘贴钢板相比铆粘钢板加固混凝土梁具有加固效果好,加固质量容易保证等优点,是一种新的有广泛应用前景的加固技术. 笔者通过 6 根铆粘钢板加固的钢筋混凝土梁及根未加固的对照梁的受弯性能试验,分析了铆粘钢板梁正截面的受力特点以及加固效果,并与未加固的对照梁进行对比,提出了铆粘钢板加固钢筋混凝土梁的受弯承载力建议计算方法.

1 试验概况

为便于比较,各梁设计尺寸和配筋均相同. 为保证加固后的梁发生受弯破坏,试验混凝土梁均设计成强剪弱弯型. 试验梁设计尺寸和配筋如图 1 所示,试验梁参数如表 1 所示(实测值). 加固钢板均采用 Q235 级,铆钉采用特制的异形铆钉或直径为 10 mm 丝杆,加固胶分别采用建筑结构胶和水泥基胶.

试验梁分为 2 种类型: ADF1 为未加固的对照梁, ADF2 ~ ADF 7 为采用铆粘钢板加固的梁. 其中 ADF6 为先将未加固的梁加载至裂缝宽度达到 0.2 mm 后,卸载再采用铆粘钢板加固,其余的为直接采用铆粘钢板加固的梁. 试验梁加固不同

之处在于变化铆钉形式、粘接胶的种类和钢板宽度,试验梁加固参数如表 2 所示. 试验采用三分点加载方案,通过手动千斤顶及反力梁施加荷载,利用压力传感器配合 YD-88 应变仪控制加载,试验数据除百分表外均采用 CM-2B 静态应变测量仪自动采集.

表 1 试验梁参数

Tab. 1 Parameters of test beams

试验梁 编号	h_0 /mm	f_{cm} /MPa	f_c /MPa	f_t /MPa	A_s /mm ²	f_y /MPa
ADF1	272	38.67	29.39	2.95	309.8	399.7
ADF2	274	28.52	21.68	2.49	309.8	399.7
ADF3	278	29.40	22.34	2.54	309.8	399.7
ADF4	276	30.70	23.33	2.60	309.8	399.7
ADF5	277	29.72	22.58	2.55	309.8	399.7
ADF6	275	26.53	20.16	2.40	309.8	399.7
ADF7	273	31.14	23.66	2.62	309.8	399.7

注:表中 $f_c = \alpha_{c1} \alpha_{c2} f_{cm}$, 式中 α_{c1} 对 C50 及以下混凝土取 0.76, 对 C80 混凝土取 0.82, 中间按线性规律变化; α_{c2} 对 C40 及以下混凝土取 1.0, 对 C80 混凝土取 0.87, 中间按线性规律变化; $f_t = 0.395 f_{cm}^{0.55} \alpha_{c2}^{[5]}$.

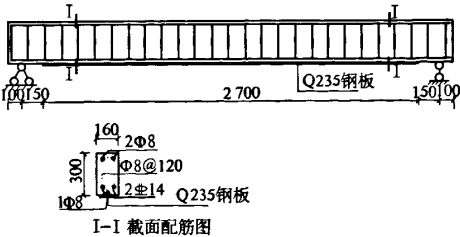


图 1 试验梁尺寸和配筋
Fig. 1 The size and reinforcement of beam

收稿日期:2008-03-24; 修订日期:2008-05-11
作者简介:谢丽丽(1954-),女,郑州大学教授级高级工程师,硕士生导师,主要从事混凝土结构、砌体结构基本理论及应用研究.

表 2 试验梁加固方式及加固参数

Tab.2 Reinforcement methods and parameters

of test beam				
试验梁 编号	加固钢板(长×宽 ×厚)/mm	A_{sp} /mm ²	f_{sp} /MPa	加固方式
ADF1	—	—	—	未加固
ADF2	2 700×99.84×6.02	528.8	226.0	异形铆钉, 结构胶粘 贴
ADF3	2 700×80.81×6.02	414.2	226.0	异形铆钉, 结构胶粘 贴
ADF4	2 700×80.96×6.02	415.1	226.0	异形铆钉, 水泥基胶 粘贴
ADF5	2 700×81.16×6.02	416.3	226.0	丝杆,结构 胶粘贴
ADF6	2 700×80.95×6.02	417.8	226.0	先压裂,异 形铆钉,结 构胶粘贴
ADF7	2 700×80.95×6.02	415.1	226.0	丝杆,水泥 基胶粘贴

注:表中 ADF2~ADF7 的 A_{sp} 为扣除铆钉孔径 12 mm 后钢板的净横截面积, f_{sp} 为实测加固钢板的屈服强度。

2 试验现象和试验结果

对照梁 ADF1 在荷载作用下发生典型的适筋破坏,当弯矩增加到破坏弯矩的 27% 时梁的受拉边缘出现裂缝,弯矩—挠度曲线出现转折,受拉钢筋达到屈服强度后跨中挠度增加很快,最后受压区混凝土被压碎而破坏。

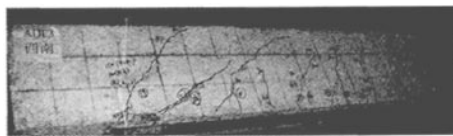
加固梁 ADF2 和 ADF3 加固方式相同,仅加固钢板宽度不同。它们的开裂荷载、弯矩—挠度曲线和极限承载力基本相同(图 4(a))。由于梁底钢板的约束作用,弯矩—挠度曲线转折不明显,裂缝出现相对较晚,构件开裂后在同一外荷载作用下的裂缝宽度明显小于 ADF1。在达到极限承载力时,梁底钢板端部均发生铆钉被拔出现象,梁底粘贴钢板均能达到屈服强度。从破坏形态上看:ADF2 呈有腹筋梁的剪压破坏特征(图 2(a)); ADF3 发生适筋破坏,梁顶混凝土被压碎(图 2(b))。试验表明,随着粘贴钢板宽度的增加,加固梁刚度逐渐增大,但其延性却有所降低,加固构件破坏形态由弯曲破坏变为弯剪破坏,破坏性质由塑性转为脆性^[4]。

加固梁 ADF4 为水泥基胶粘贴,异形铆钉加固。其弯矩—挠度曲线在开始阶段与 ADF3 梁基本相同(图 4(a)),梁底钢板应变也相同(图 4(b))。与 ADF3 相比 ADF4 破坏时梁两端钢板脱落,呈有

腹筋梁的剪压破坏特征,为突然的脆性破坏(图 3(a))。ADF5 和 ADF7 同为丝杆加固,由于异形铆钉在施工时施加预应力,在加固梁达到极限荷载前,在相同荷载作用下,ADF5 钢板应变小于 ADF3, ADF7 钢板应变小于 ADF4,在钢板屈服以后,钢板应变增加迅速,钢板剥离层的破坏归于粘接层的应力状态和板端较大的剥离力^[2],在破坏时,ADF5 和 ADF7 都发生适筋梁受弯破坏,钢板未从梁端剥离(图 3(b))。钢板与梁的连接破坏由正应力控制,而钢板与混凝土之间的连接力由结构胶的剪切强度提供,当钢板的拉应力超过结构胶的剪切强度和铆钉的强度之和时,发生钢板与梁体被剪开现象,丝杆加固不仅能避免钢板发生剥离破坏,而且还能获得与未加固梁同样的延性性能。



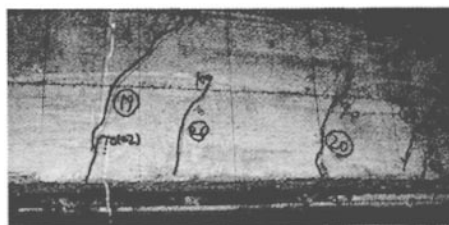
(a) ADF2 的弯剪裂缝



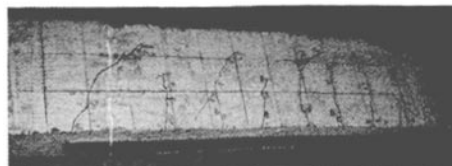
(b) ADF3 梁顶混凝土被压碎

图 2 铆粘钢板宽度对破坏形态的影响

Fig. 2 The Steel plate width on the damage morphology



(a) ADF4 梁端钢板脱落,铆钉拔出



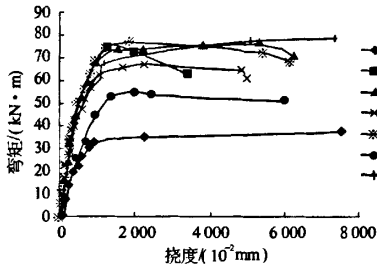
(b) ADF7 梁端钢板未脱落

图 3 铆钉和丝杆加固效果对比

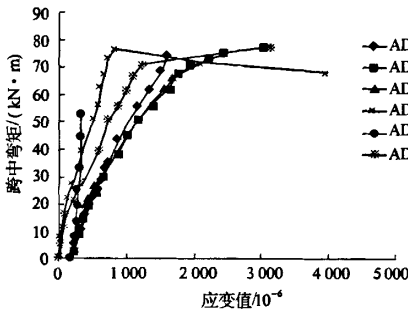
Fig. 3 Reinforcement comparison of rivets and screw

加固梁 ADF6 先压至裂缝宽度 0.2 mm 再用钢板加固,加固方式同 ADF3。在相同荷载作用下

其挠度大于 ADF3(图 4a),表明开裂后再加固其刚度小于直接加固的梁.破坏时钢板的最大应变只有 $321\ \mu\text{e}$ (图 4b),远未达到其屈服强度,主要原因是混凝土梁抗剪能力不足,弯剪斜裂缝过宽而发生弯剪破坏.破坏时铆钉有拔出现象,这是因为铆钉所提供的正应力小于钢板变形的拉应力. ADF3 和 ADF5 为结构胶粘贴, ADF4 和 ADF7 为水泥基胶粘贴,结构胶粘贴能使钢板和受力钢筋变形同步,而使用水泥基胶时存在钢筋应力超前、而钢板应力滞后的情况.



(a) ADF1 ~ ADF7 荷载挠度曲线



(b) ADF2 ~ ADF7 钢板弯矩-应变图

图4 各梁跨中弯矩-挠度曲线、梁底钢板弯矩-应变曲线比较

Fig.4 The comparison of moment - deflection curve and moment - compared strain curve of each beam

3 铆粘钢板加固梁的受弯承载力计算

试验结果表明,梁的截面应变分布基本符合平截面假定,临近受弯破坏时(除 ADF6)钢板均能达到屈服强度,其强度均能充分发挥.根据文献[1]试验结果,铆粘钢板加固梁受弯承载力可采用与粘钢加固梁类似的方法,结构胶粘贴时铆钉能够阻止钢板的剥离破坏,对实际受力影响不大,因此可以采用混凝土结构加固设计规范中粘钢加固钢筋混凝土梁的计算公式.采用水泥基胶粘贴时,根据锚贴钢板加固钢筋混凝土梁受弯性能试验研究的研究结果^[1],可对铆粘钢板的作用乘以

0.8 的折减系数,则受弯承载力的计算公式可改为

$$\alpha_1 f_c b x + f_y' A_s' - f_y A_s - 0.8 f_{sp} A_{sp} = 0 \quad (1)$$

$$M \leq \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') +$$

$$0.8 f_{sp} A_{sp} \left(\frac{t_b}{2} + a_s \right) \quad (2)$$

式中各值代表的含义可参照《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367-2006).

为保证被加固梁的受拉钢筋和铆粘钢板均能达到屈服强度,受拉区高度应满足下列公式:

$$\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_b \quad (3)$$

式中: ξ_b 为受弯构件的相对界限受压区高度,按《混凝土结构设计规范》的规定取值.各试验梁的计算结果如表3所示:

表3 试验值与计算值的对比

Tab.3 The contrast of experimental data and calculated values

试验梁 编号	试验值 M_u^e /(kN·m)	计算值 M_u^c /(kN·m)	M_u^e/M_u^c
ADF3	75.1	56.519	1.33
ADF4	66.0	52.34	1.26
ADF5	76.9	56.656	1.36
ADF7	77.2	51.93	1.48

注:ADF2 发生剪压破坏, ADF6 为先压裂后加固,钢板未屈服,结果没有列入表中.

由表3可知, ADF3 和 ADF5 试验极限荷载比计算荷载平均提高 34.5%, ADF4 和 ADF7 试验极限荷载比计算荷载平均提高 37.0%.因此采用结构胶粘贴和采用水泥基胶粘贴使用不同的计算公式具有一定的可行性和适用性.

试验结果表明,在试验梁纯弯段内的异形铆钉或者丝杆基本不承受水平剪力,而在锚固区段的异形铆钉或丝杆承受的水平剪力由铆钉或者丝杆和粘接胶共同承担,并且临近破坏时锚固段内各异形加固铆钉或丝杆承受的剪力致相等^[1].在对异形铆钉嵌入混凝土内受剪试验结果的研究基础上,分析得到铆粘钢板加固梁钢板锚固区段铆钉的数量 n_t 应满足下面公式的要求.

$$n_t \leq \frac{f_{sp} A_{sp} - A_{sp} \max(2.5, f_{ik})}{N_v^c} \quad (4)$$

式中: f_{sp} 为铆粘钢板抗拉强度设计值; A_{sp} 为铆粘钢板净截面积; N_v^c 为单个异形铆钉或者丝杆承受的剪力设计值; $N_v^c = 0.19 A_{sn} \sqrt{f_c E_s} A_{sn}$ 为单个铆

钉或丝杆的横截面积; f_c 、 f_k 和 E_c 分别为被加固梁混凝土的轴心抗压强度、抗拉强度标准值和弹性模量。

4 结论

(1) 铆粘钢板施工质量容易得到保证,与对照梁相比,可有效提高构件的受弯承载力,并能减小构件挠度和裂缝宽度。

(2) 铆钉形式对构件承载力影响不大,在破坏形态上采用丝杆加固时钢板不容易发生剥离。

(3) 铆粘钢板具有粘钢加固的优点,克服了粘钢钢板与混凝土粘贴不密实等缺点,有效避免粘钢加固混凝土梁的脆性破坏。

(4) 铆粘钢板加固梁的受弯承载力当使用结构胶时可按混凝土结构加固设计规范中粘钢加固钢筋混凝土梁的计算公式计算,当使用水泥基

胶时可按(1)、(2)和(3)式计算,锚固区段所需铆钉的数量可按(4)式计算。

参考文献:

- [1] 刘立新,桑大勇,王仁义. 锚贴钢板加固钢筋混凝土梁受弯性能的试验研究[J]. 建筑结构 2007, (7): 41-45.
- [2] 刘祖华,朱伯龙. 粘钢加固梁的解析分析[J]. 同济大学学报, 1994, 22(1): 38-42.
- [3] GB 50367-2006 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [4] 李英明, 韩大刚, 林文修. 锚栓钢板加固法抗弯性能试验及设计方法[J]. 工程抗震与结构加固, 2006, 28, 68-71.
- [5] GB 50010-2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

Experimental Study on Flexural Properties of R. C. Beams Strengthened with Externally Bonded Steel Plate Anchored by Rivets or Screw

XIE Li-li¹, YU Shu-gang², LIU Li-xin², PENG Chang-ling², WANG Ming-zhi²

(1. Zhengzhou University Multifunctional Design and Research Academy, Zhengzhou 450002, China; 2. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: R. C. beam is strengthened with externally bonded steel plate anchored by rivets or screw is introduced. Six R. C. beams strengthened with this method and one un-strengthened R. C. beam are tested and analyzed. The flexural properties, bearing capacity, development of cracks, rigidity and the strengthened effect of the beams anchored by rivets or screw are discussed and compared with the un-strengthened beam. A design formula is given about R. C. beam is strengthened with externally bonded steel plate anchored by rivets or screw in this paper, and the results show that the formula has good reliability.

Key words: externally bonded steel plate anchored by rivets or screw; flexural strength; proposed formula