



钢绞线网片聚合物砂浆加固 RC 梁抗弯性能试验

孟锦秀¹, 郑维良², 季长征³, 齐 玮⁴, 丁 通³

(1. 山东贝特建筑项目管理咨询有限公司, 山东 济南 250102; 2. 山东电力建设第一工程有限公司, 山东 济南 250100; 3. 山东省建筑工程质量检验检测中心有限公司, 山东 济南 250100; 4. 山东建科特种建筑工程技术中心有限公司, 山东 济南 250031)

摘要:为研究钢绞线网片聚合物砂浆加固技术的加固作用,对钢绞线网片聚合物砂浆加固 RC 梁进行受弯试验研究。通过设计对比试件,分析梁的混凝土应变、受弯承载力、跨中挠度及裂缝开展情况。研究结果表明:1)经过加固的 RC 梁仍符合平截面假定,且受弯承载力、刚度、裂缝状态等受力性能有了不同程度的改善;2)钢绞线网片聚合物砂浆加固法作为混凝土受弯构件加固手段,具有一定的适用性。本文成果可为混凝土受弯构件的加固设计提供一定的依据。

关键词:钢绞线网片聚合物砂浆; 加固; RC 梁; 抗弯性能

中图分类号:TU375.1

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)07-0001-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.07.083

Flexural performance test of RC beams reinforced with steel strand mesh polymer mortar

MENG Jinxiu¹, ZHENG Weiliang², JI Changzheng³, QI Wei⁴, DING Tong³

(1. Shandong Beite Construction Project Management Consulting Co., Ltd., Jinan 250102, Shandong, China;

2. Shandong Electric Power Construction First Engineering Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China;

3. Shandong Construction Engineering Quality Inspection and Testing Center Co., Ltd., Jinan 250100, Shandong, China;

4. Shandong Jianke Special Construction Engineering Technology Center Co., Ltd., Jinan 250031, Shandong, China)

Abstract: In order to study the reinforcing effect of steel strand mesh polymer mortar reinforcement technology, the flexural test study of RC beams reinforced with steel strand mesh polymer mortar is carried out. Through the design and comparison of specimens, the concrete strain, flexural capacity, mid-span deflection and crack development of the RC beams are analyzed. The results show that: 1) The reinforced RC beams still conforms to the assumption of flat cross-section, and the mechanical properties such as flexural capacity, stiffness, and crack state have been improved to varying degrees; 2) As a means of reinforcing concrete flexural components, the steel strand mesh polymer mortar reinforcement method has certain applicability. The results can provide a certain basis for the reinforcing design of concrete flexural components.

Key words: steel strand mesh polymer mortar; reinforce; RC beams; bending resistance

随着我国城市化进程的加速推进,越来越多的城市发展逐渐由增量向存量转换,城市更新成为驱

动城市高质量发展的新抓手,越来越多的老旧建筑需要加固改造,以提高其抗震能力和使用寿命。在

收稿日期: 2023-06-21

基金项目: 山东省住房和城乡建设厅科技计划资助项目(2021ZD005&2021ZD006)

作者简介: 孟锦秀(1992—),女,助理工程师,从事建筑工程监理及建筑工程项目管理工作。

通信作者: 丁 通(1986—),男,工程师,从事建筑结构检测鉴定与加固技术研究。

这些建筑中,钢筋混凝土结构占有很大比重,因此加固钢筋混凝土梁的技术研究显得尤为重要。钢绞线网片聚合物砂浆加固技术虽然具有耐久性好、适应性强等优点,但因需要高度专业化的技术和设备,施工难度大等缺点限制了该技术的广泛应用。

关于钢绞线网片聚合物砂浆加固技术已有不少的研究,对钢绞线网片聚合物砂浆加固 RC 梁(钢筋混凝土梁,简称“RC 梁”)受力性能也有些探讨。黄群贤等^[1]通过开展抗震性能试验,验证了闭合预应力钢绞线加固 RC 框架节点可有效提高梁柱节点核心区受剪承载力;蒋济同等^[2]通过对 9 片砌体墙进行拟静力试验,发现钢绞线-聚合物砂浆面层交叉条带加固方法可以提高砌体墙抗剪承载力和延性,并可大幅度提高组合墙体的承载力;廖维张等^[3]通过对 5 块加固 RC 板和 1 块未加固 RC 板进行爆炸试验,研究了砂浆强度、钢绞线间距、钢绞线预应力和界面增设销钉等因素的影响规律,对比得出高强钢绞线网片-聚合物砂浆加固能显著提高 RC 板的抗爆性能;宋佳等^[4]研究了钢绞线-聚合物砂浆加固法对于方形截面柱的加固效果,发现该方法可在一定程度上提高试件的峰值应力、峰值应变和变形能力,但对试件轴压力学性能的影响不显著;贾天宇^[5]通过对 12 面剪力墙进行低周反复试验,发现该技术不仅可提高试件的开裂荷载、屈服荷载和峰值荷载,还可提高试件延性、减缓刚度的退化,提高最终耗能;汪小鹏等^[6]通过空心板原型梁的缩尺试验,论证了钢绞线-聚合物砂浆加固法能有效地限制裂缝的发展,并且在破坏过程中加固体和原 RC 梁可以很好地协同工作;柳战强等^[7]通过建立有限元模型,对不同持荷比下加固梁的力学性能进行了研究,发现加固梁的极限承载力提高幅度随着持荷比的提高而逐渐减小,并给出抗弯加固持荷 RC 梁的极限承载力计算公式。本文通过受弯试验探讨钢绞线网片聚合物砂浆加固技术对 RC 梁的加固效果和影响,以期类似钢筋混凝土受弯构件的工程加固提供一点借鉴。

1 试件准备及方法

1.1 试件准备及加固方案

为模拟混凝土强度不足的情况,试验预制两

根混凝土矩形截面梁,其中一根作为对比梁,编号为 L_0 ,不进行加固;另一根采用梁底钢绞线网片聚合物砂浆加固法进行加固,编号为 L_1 。混凝土设计强度等级为 C15,主筋配置为 $2 \Phi 14 \text{ mm}$,梁截面尺寸为 $150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ (宽 $\times$ 高),总长度为 $2\,400 \text{ mm}$ 。混凝土浇筑之前,在主筋跨中部黏贴应变片,焊接信号线,并做好防潮处理。纵向钢绞线网片为 $5 \text{ } \Phi 4.5 \text{ mm}$, 25 mm 厚聚合物砂浆,梁配筋情况如图 1 所示,各有关材料的强度实测值如表 1 所示。

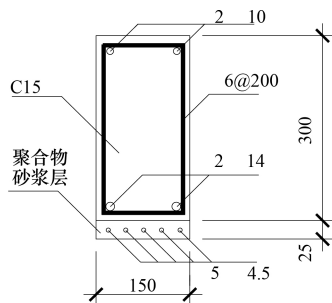


图 1 构件配筋情况

mm

表 1 各材料的强度实测值

MPa

混凝土抗压强度	纵向钢筋屈服强度	钢绞线抗拉强度
16.2	415	1 715

1.2 试验方法

采用分配梁对试验梁进行两点加荷^[8],试验装置如图 2 所示。在 1.0 倍标准荷载作用下持荷 30 min,其余每级荷载之间持荷 10 min。持荷结束后,及时读取并记录百分表的数值。同时,利用静态应变仪自动记录该荷载情况下混凝土及加固材料的应变情况。每级荷载持荷完成后均量测所有已出现裂缝的长度和宽度。加荷至适筋梁受弯破坏标志出现,停止加荷。

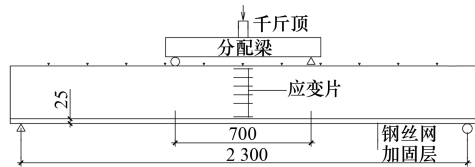


图 2 试验装置

mm

2 结果与讨论

2.1 梁混凝土应变分析

在 L_0 、 L_1 梁跨中侧面不同高度的部位黏贴应变片,以分析各级荷载作用下 L_0 、 L_1 梁侧面各个

高度位置的应变, 结果如图 3 所示。预埋的 L_0 、 L_1 梁底主筋跨中应变, 在各级荷载作用下的测试结果如图 4 所示。

由图 3、4 可知: L_0 、 L_1 梁混凝土在各级荷载作用下的不同截面高度位置处应变值均呈线性变化, 且均符合平截面假定, 即符合混凝土受弯构件正截面承载力计算方法的基本假定。梁底主筋的弹性模量按 2.0×10^5 MPa, 屈服强度按 400 MPa 计算^[9], 钢筋屈服时的应变约为 $2\,000\ \mu\epsilon$, 此时 L_0 梁跨中弯矩约为 $27.209\ \text{kN}\cdot\text{m}$, L_1 梁跨中弯矩约为 $30.233\ \text{kN}\cdot\text{m}$, 跨中弯矩提高了 11.1%。综上, 混凝土梁第一次受弯破坏过程和加固后受弯破坏过程中, 在任一级荷载作用下, 梁侧面的应变值与该处所处截面高度基本成线性关系。这表明不仅普通混凝土梁受弯时符合平截面假定, 因超载破坏的梁只要受压区混凝土没有破坏, 再进行加固后受弯时也符合平截面假定, 这也为理论计算提供了依据。

2.2 受弯承载力分析

2.2.1 实测值对比

试验试件加固前后均为适筋梁, 各梁的受弯承载力如表 2 所示。 L_0 梁的破坏形式为梁跨中裂缝宽度大于 1.5 mm, L_1 梁的破坏形式为主筋屈服后钢绞线网片端部滑移, 混凝土受压区破坏。由

表 2 可知: 经加固的梁受弯承载力提高了 30%, 加固效果显著。

表 2 各试验梁受弯承载力实测值 $\text{kN}\cdot\text{m}$		
梁编号	开裂弯矩	受弯承载力
L_0	6.801	30.233
L_1	9.069	39.303

2.2.2 实测值与理论值对比

为验证加固后的混凝土梁仍符合平面假定, 对某一截面的内力情况进行分析^[10]。为便于与试验结果相对照, 理论计算值采用材料强度实测值(表 1), 无实测值的, 采用材料标准值。

图 5 为正截面受弯承载力计算简图。其中: h 为梁底至梁顶整个截面的高度, mm; a_1 为钢筋形心距梁底的距离, mm; a_2 为新增钢绞线网片形心距梁底的距离, mm; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, N/mm²; b 为矩形截面梁的宽度, mm; x 为混凝土受压区高度, mm; f_y 为混凝土梁中主筋的抗拉强度, MPa; A_s 为混凝土梁底主筋的截面积, mm²; f_{cf} 为新增钢绞线网片的抗拉强度, MPa; A_{cf} 为新增钢绞线网片的截面积, mm²; M 为截面设计弯矩, KN·m; a 为受拉区纵向普通钢筋与外加钢绞线网片的合力点至截面受拉边缘的距离, mm。根据平衡条件得到基本公式如下。

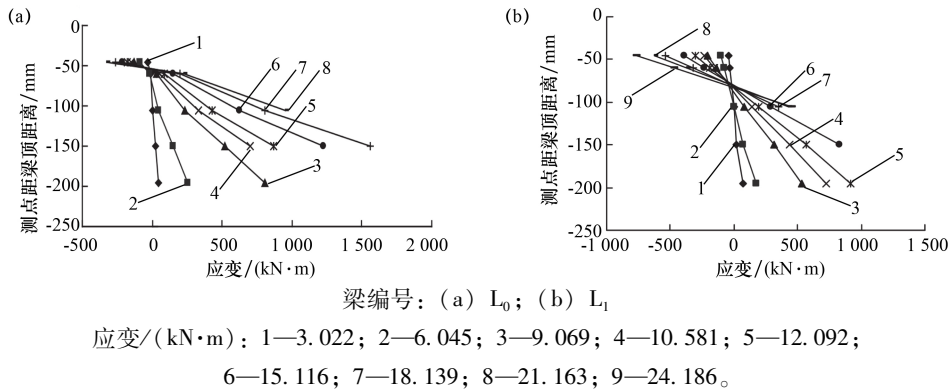


图 3 不同梁混凝土应变

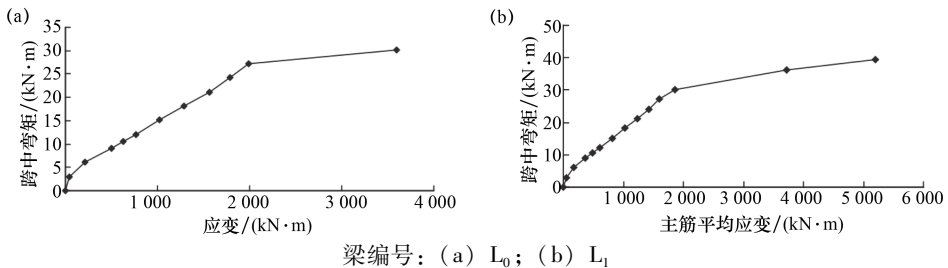


图 4 不同梁主筋应变

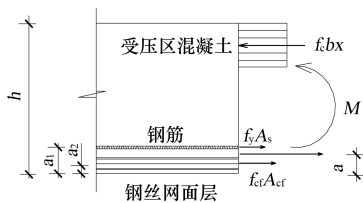


图5 承载力计算简图

钢筋与钢绞线网片的合力 $N(N)$ 为

$$N = f_y A_s + f_{ct} A_{cf} \quad (1)$$

作用点距梁底的距离 a (mm) 为

$$a = \frac{f_y A_s a_1 + f_{ct} A_{cf} a_2}{N} \quad (2)$$

根据静力平衡原理, 混凝土梁顶部受压区高度 x (mm) 为

$$f_c b x = f_y A_s + f_{ct} A_{cf} = N \quad (3)$$

$$x = \frac{N}{f_y A_s} \quad (4)$$

加固后截面所承受的弯矩 M ($\text{kN} \cdot \text{m}$) 为

$$M = f_c b x \left(h - a - \frac{x}{2} \right) \quad (5)$$

图6为两根试验梁承载力的理论计算值和实测值对比。由图6可知: 未加固梁 L_0 的理论计算值与试验值误差约为12%; 加固梁 L_1 的理论计算值与试验值基本相等, 误差约为1%, 并且加固后构件的受弯承载力有了很大幅度的提高。同时, 对比结果表明, 本次计算所采取模型是正确的。

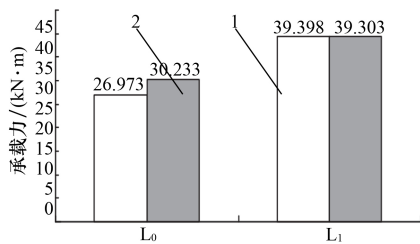
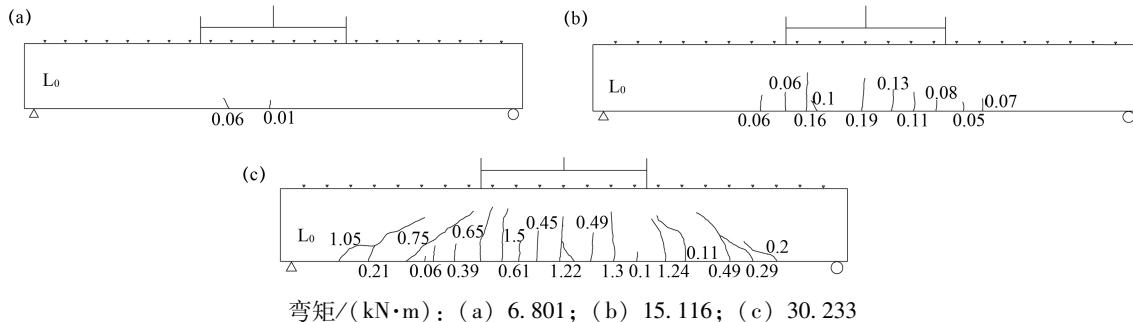


图6 承载力对比

图8 梁 L_0 在各级荷载下的裂缝特征

2.3 跨中挠度分析

采用百分表测出各级荷载作用下的跨中挠度值, 并扣除支座沉降的影响, 跨中弯矩 - 挠度的对应关系如图7所示。由图7可知: 加固前后的梁, 在受荷初期的刚度变化较小; 到受荷中期以后, 新增钢绞线网片的作用逐渐显现出来, 对刚度的有利影响逐渐增大。在跨中弯矩为 $10.581 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 的作用下, 挠度减小了35.12%, 在跨中弯矩为 $21.163 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 的作用下, 挠度减小了68.55%。

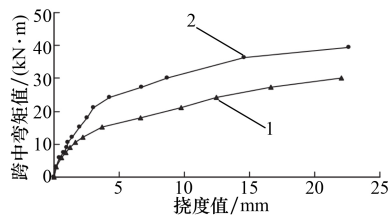


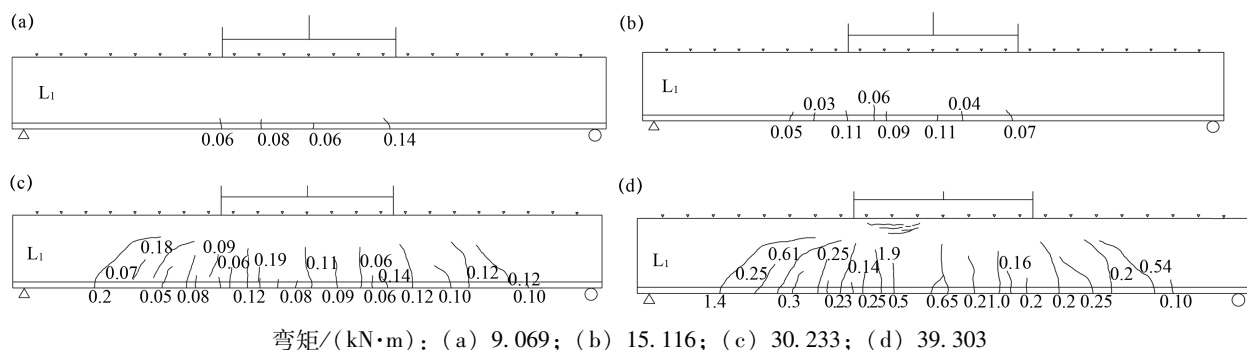
图7 不同梁荷载 - 挠度曲线

2.4 纯弯段裂缝分析

混凝土梁跨中纯弯段开裂弯矩在不同弯矩作用下的裂缝特征对比结果如图8、9所示。由图8、9可知: 加固后构件的初裂荷载有所提高, 但提高幅度较小, 受荷前期裂缝特征相似。在受荷中期以后, 裂缝数量继续增加, 但在相同弯矩的作用下, 加固后的梁 L_1 比未加固梁 L_0 的裂缝宽度、平均裂缝长度均有很大程度地减小, 平均裂缝间距有了一定地减小。裂缝特征由未加固的宽而疏变为加固后的窄而密, 受力状况得到了很好地改善, 同时也有利于结构的耐久性。裂缝宽度达到 0.2 mm 时的弯矩值由加固前的 $15.116 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 增加到加固后的 $30.233 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 增加了100%。

3 结 论

(1) 外加钢绞线网片需要在构件继续变形的

图 9 梁 L_1 在各级荷载下的裂缝特征

情况下才能体现出加固效果,属于被动加固措施,其对挠度的影响,特别是早期挠度的影响较小,但对后期挠度影响较大。

(2) 加固后的 RC 梁开裂荷载提升有限,但受荷中期后其裂缝宽度、长度及间距均显著减小,裂缝特征变窄变密,改善了受力状况,提升了结构耐久性。

(3) 推导出加固梁的承载力计算公式,且理论计算值与试验值吻合度非常高,但其适用范围还需要进一步的验证。

(4) 在实际试验过程中,加固后的 RC 梁的破坏形式为钢绞线网片端部锚固破坏,非跨中部位拉断,从而影响了极限承载力。

(5) 钢绞线网片聚合物砂浆加固 RC 梁是一种可靠且有效的加固方法,具有一定的适用性,可以在工程实践中推广应用。

参考文献:

- [1] 黄群贤,郭子雄,姚秋来.采用闭合预应力钢绞线-聚合物砂浆加固 RC 框架节点技术研究[J].福州大学学报(自然科学版),2013,41(4):471-476.
- [2] 蒋济同,王家存,周献祥,等.钢绞线-聚合物砂浆面

层交叉条带加固砌体墙拟静力试验研究[J].建筑结构,2022,52(4):92;136-141.

- [3] 廖维张,刘锴鑫,张春磊,等.高强钢绞线网片-聚合物砂浆加固 RC 板抗爆性能试验研究[J].振动与冲击,2021,40(2):235-242.
- [4] 宋佳,郭俊平,左勇志.预应力钢绞线-铁丝网聚合物砂浆加固混凝土柱轴压力学性能试验研究[J].混凝土,2017(3):33-35;42.
- [5] 贾天宇.预应力钢绞线-聚合物砂浆加固剪力墙试验研究[D].北京:北京建筑大学,2015.
- [6] 汪小鹏,封明明,张国强,等.预张紧钢绞线网片-聚合物砂浆加固混凝土梁研究[J].公路,2016,61(12):105-114.
- [7] 柳战强,叶勇,郭子雄,等.预应力钢绞线-聚合物砂浆面层抗弯加固持荷 RC 梁数值分析及承载力计算[J].华侨大学学报(自然科学版),2021,42(3):281-288.
- [8] 混凝土结构试验方法标准:GB/T 50152—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [9] 混凝土结构加固设计规范:GB 50367—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [10] 混凝土结构设计规范(2015 版):GB 50010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

本刊编辑部版权许可声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、万方数据电子出版社、重庆维普资讯有限公司、超星学术期刊“域出版”等第三方平台在其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊编辑出版的文章。本刊不收取版面费、专家审稿费(相关著作权许可使用费与审稿费相抵,不再另行支付),对优质稿件支付稿酬。作者向本刊提交文章发表的行为视为同意上述许可声明,如有异议请来稿说明,本刊将作适当处理。