

纤维增强水泥基复合材料加固梁柱节点抗压性能分析

Analysis of Compressive Properties of Green Fiber Reinforced Cement-based Composite Reinforced Building Beam-column Joints

辛 芳

(山东洋泽工程项目管理有限公司, 潍坊 261000)

摘要: 为提升加固梁柱节点的安全性, 研究纤维增强水泥基复合材料加固梁柱节点抗压性能。制作 4 组试件, 1 组普通梁柱节点试件, 3 组纤维加固梁柱节点试件, 纤维体积掺量分别为 1.0%、1.5%、2.0%, 比较加固与未加固试件的密度、抗压性能、抗弯性能。研究结果表明: 经过加固后的试件密度均较高, 纤维体积掺量为 1.5% 的纤维加固梁柱节点试件的密度相对较高; 添加 1.5% 复合材料加固后试件的抗压强度始终保持最高; 全部试件弹性刚度下降幅度略小, 加固后, 受压力影响相对较小; 初始加载阶段抗弯强度迅速下降, 之后无大幅度下降, 而加固后试件的抗弯强度达 10 MPa, 抗弯能力明显较强。水泥基复合材料加固梁柱节点时, 最佳养护时间为 28 d, 最合适的纤维体积掺量为 1.5%。

关键词: 绿色纤维; 增强水泥基; 复合材料; 加固建筑; 梁柱节点; 抗压性能

中图分类号: TU528.041 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2025) 01-0045-05

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.01.009

XIN Fang

(Shandong Fengze Engineering Project Management Co., Ltd., Weifang 261000, China)

Abstract: To improve the safety of reinforced beam column joints, the compressive performance of fiber-reinforced cement-based composite materials reinforced beam column joints is studied. Produce 4 sets of specimens, 1 set of common beam column joint specimens, and 3 sets of fiber-reinforced beam column joint specimens, with fiber volume contents of 1.0%, 1.5%, and 2.0%, respectively. Compare the density, compressive performance, and bending performance of reinforced and unreinforced specimens. The research results show that the density of the reinforced specimens is relatively high, and the density of the fiber-reinforced beam column joint specimens with a fiber volume fraction of 1.5% is relatively high; The compressive strength of the specimen remains the highest after adding 1.5% composite material reinforcement; The decrease in elastic stiffness of all specimens is slightly small, and after reinforcement, they are relatively less affected by pressure; The bending strength rapidly decreases during the initial loading stage, and there is no significant decrease thereafter. However, after reinforcement, the bending strength of the specimen reaches 10 MPa, indicating a significantly stronger bending capacity. When reinforcing beam column joints with cement-based composite materials, the optimal curing time is 28 days, and the most suitable fiber volume fraction is 1.5%.

Key words: green fiber; reinforced cement base; composite material; reinforcing buildings; beam-column joint; compressive performance

0 引言

梁柱节点是指在结构中梁和柱间的交汇部位, 是常规建筑物中的一种连接形式^[1-2]。考虑到施工环境较为复杂, 梁柱节点的施工质量直接影响到整个

作者简介: 辛 芳 (1974—), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向: 建筑工程, 新型低碳环保建材。

收稿日期: 2023-03-21

材料科学

建筑项目的安全性与稳定性。如何对建筑梁柱节点进行加固,提高节点的抗压性能^[3-4],是目前学术界的研究热点。

许多学者应用不同的加固材料与手段,研究加固梁柱节点受力性能。石妍等^[5]研究水工高延性纤维增强水泥基复合材料性能,该方法通过加入不同粒径的人工砂,制备得到用于加固的复合材料,将此应用到水电工程中,发现人工砂的加入对材料性能有一定提升;谢磊等^[6]研究聚乙烯醇纤维增强水泥基复合材料动态压缩性能分析,该方法通过向水泥材料中添加不同掺量的纤维,提高材料的力学性能,抗破碎能力;钱辉等^[7]利用超弹性形状记忆合金和工程水泥基复合材料复合加固钢筋混凝土梁,加固后混凝土梁的承载能力得到提高,也具备一定的抗变形能力;陈智勇^[8]将新型环氧粘结材料应用在钢桥面加固中,应用后桥面的最大抗拔强度与抗拔强度均得到增强。侯利军等^[9]采用纤维网-超高韧性水泥基复合材料加固钢筋混凝土柱,加固后的柱节点有效约束了混凝土的变形,抑制了裂缝扩展,提高柱的变形、延性和耗能能力。孙亚颇^[10]采用普通硅酸盐水泥 P·O 42.5 为基材,添加不同比例的纳米碳纤维,制备了增韧水泥基复合材料,加固梁节点,提升了梁的抗压强度和抗折强度。

综上,以往研究成果仅仅集中在加固材料与手段的改进,而对抗压性能的研究较少。纤维增强水泥基复合材料是一种由水泥基体和纤维增强材料组成的新型建筑材料^[11-13],能够改善混凝土耐久性,对此,提出一种纤维增强水泥基复合材料加固梁柱节点抗压性能分析方法。将普通梁柱节点试件与纤维体积掺量分别为 1.0%、1.5%、2.0% 复合材料加固的梁柱节点试件的抗压性能、抗弯性能,通过应力-应变曲线和抗弯载荷进一步描述纤维增强水泥基复合材料加固对梁柱节点抗压性能影响,为类似的建筑梁节点加固技术和研究提供参考。

1 试件制备及测试

1.1 试件制备

1.1.1 纤维增强水泥基复合材料

制备纤维增强水泥基复合材料,具体原料为:聚羧酸高性能减水剂;PVA 纤维,材料长度为 12 mm,

弹性模量为 42.8 GPa; P·O 42.5 级水泥,比表面积为 350 m²/kg,密度为 3 100 kg/m³;精致石英砂,0.105~0.15 mm,密度为 2 630 kg/m³; I 级粉煤灰,需水量为 91%,烧失量为 2.8%。

1.1.2 梁柱节点试件制作

钢筋混凝土梁柱节点通过纤维增强水泥基复合材料进行加固。为避免整体结构重量增加,加固层整体厚度为 30 mm。梁柱节点试件的混凝土强度等级均为 C40,箍筋采用 HPB300 级钢筋,而纵向受力钢筋则采用 HRB400 级钢筋。箍筋直径 80 mm。其中 L1 为无加固梁柱节点试件,L2、L3、L4 为纤维加固梁柱节点试件,纤维体积掺量分别为 1.0%、1.5%、2.0%。试件为 1 000 mm × 120 mm × 80 mm 的立方体,每种试件制备 10 组,养护至测试龄期。

1.2 试验方法

1.2.1 密度

试件分别在养护 7、14、21、28 d 取出,将试件放至烘箱中,烘干至恒重,之后取出放置于干燥器内冷却至室温,在室温状态下,测试每种材料的密度。

1.2.2 抗压性能

采用 SANS-SHT4635 微机控制电液伺服万能机、静态数字应变仪以及应变片等设备进行抗压性能测试。试件对称面上粘贴一组应变片,测试试件在受压后的变化,获取试件的抗压性能。

将试件放置在电液伺服万能机中,通过位移控制方式加载,加载达到 1 000 N 时,维持 30 s 载荷,然后持续加载,直至试件损坏。在加载过程中,采用 0.1 mm/min、0.2 mm/min 两种加载速度。加载完成后,测试试件应力-应变,分析试件轴力变化;测试不同加载速度下的试件抗压强度。

1.2.3 抗弯性能测试与分析

通过四点弯曲试验法测试试件的抗弯指标。试验采用位移控制方式,设定加载速率为 0.5 mm/min。通过载荷传感器测试试件在加载过程中的自身变化,并利用数据采集系统收集这些数据。最后对收集到的数据进行处理,以分析试件的抗弯性能。

2 试验分析

2.1 试件密度

通过材料密度分析试件的抗压能力,材料的密

度越高,说明试件抗压能力越强,测试结果如图 1 所示。

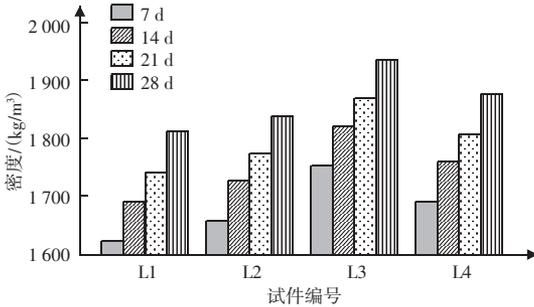


图 1 材料密度测试
Fig. 1 Material density test

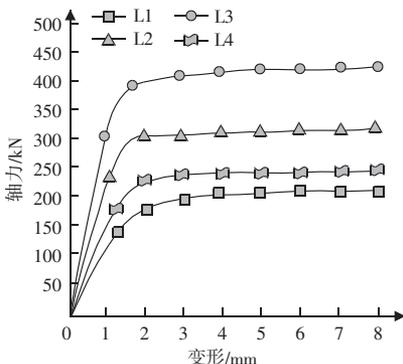
试件养护期越长,试件密度越高,当养护至 28 d 时,4 种试件的密度均达到 $1\ 800\ \text{kg}/\text{m}^3$ 以上;在试件养护 7 d 时,仅有 L3 试件的密度达到 $1\ 700\ \text{kg}/\text{m}^3$ 以上;L1 试件的密度始终在最低水平,说明未经过复合材料加固的梁柱节点试件密度较低,而经过纤维增强水泥基复合材料加固后的试件密度均较高;而 L3 试件密度高于其他试件,当纤维体积掺量增大到 2.0% 后,试件的密度呈现下降状态,说明纤维体积掺量为 1.5% 的 L3 试件的密度相对较高。

2.2 抗压性能

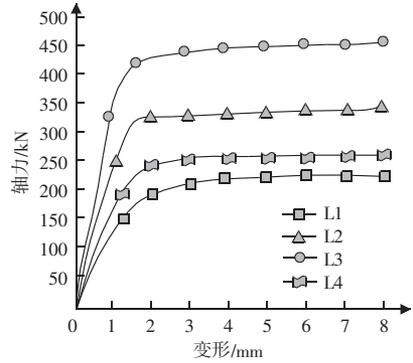
2.2.1 应力-应变曲线分析

设置加载速度为 $0.1\ \text{mm}/\text{min}$ 与 $0.2\ \text{mm}/\text{min}$,测试试件的轴力变化,通过轴力分析试件在应变加载过程中的抗压性能,测试结果如图 2 所示。

当应变值不断增大,试件的轴力也随之上升,当上升到一定幅度时,加载速度无论是 $0.1\ \text{mm}/\text{min}$ 还是 $0.2\ \text{mm}/\text{min}$,试件的轴力均在 2 mm 的变形时,逐渐趋于平稳状态。其中,在试件的同一变形尺寸下,L3 试件在加载过程中始终能够承受较高的轴力,说明 L3 试件的抗压能力高于其他试件。



(a) $0.1\ \text{mm}/\text{min}$



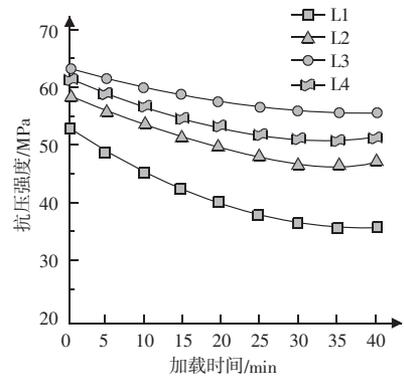
(b) $0.2\ \text{mm}/\text{min}$

图 2 应力-应变曲线变化分析

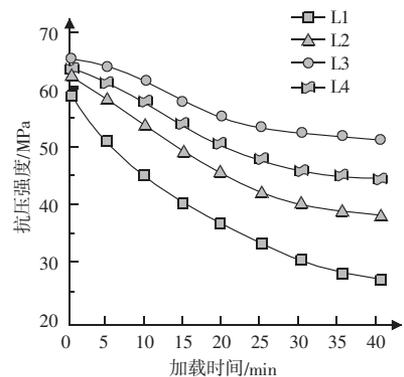
Fig. 2 Stress-strain curve variation analysis

2.2.2 抗压强度

采用 $0.1\ \text{mm}/\text{min}$ 与 $0.2\ \text{mm}/\text{min}$ 的加载速度对试件进行加载,分析在不同加载时间下,试件的抗压强度,如图 3 所示。



(a) $0.1\ \text{mm}/\text{min}$



(b) $0.2\ \text{mm}/\text{min}$

图 3 不同试件抗压强度分析

Fig. 3 Analysis of compressive strength of different specimens

当加载时间逐渐增多,试件在不同加载速度下的抗压强度均呈现下降状态,说明随着加载时间增长,试件抗压能力逐渐减弱。在加载速度为 $0.1\ \text{mm}/\text{min}$ 时,试件最高抗压强度在 60 MPa 以上;当加载速度

材料科学

为 0.2 mm/min 时, 试件最高抗压强度为 55 MPa, 说明加载速度提升后, 试件抗压能力降低; 在四种试件中, 未经过加固的 L1 试件在两种加载速度下始终保持最低抗压强度, 说明该试件抗压能力最弱, 经过复合材料加固后的试件抗压强度明显提升, 其中, 添加 1.5% 复合材料加固后的 L3 试件抗压强度始终保持最高。

2.2.3 弹性刚度

分别测试 0.1 mm/min 与 0.2 mm/min 两种加载速度下试件弹性刚度变化, 通过弹性刚度, 评估试件的抗压能力, 测试结果如图 4 所示。

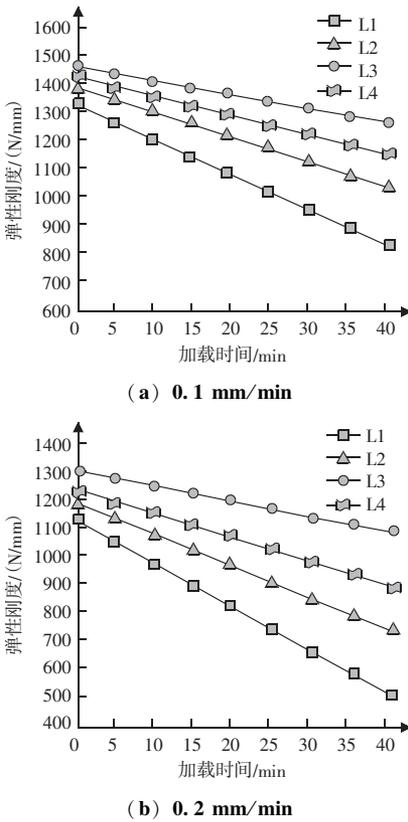


图 4 试件弹性刚度分析

Fig. 4 Specimen elastic stiffness analysis

在加载过程中, 试件的弹性刚度均呈现下降状态。当试件处于 0.1 mm/min 的加载速度下, 试件的弹性刚度下降幅度略小; 而试件在 0.2 mm/min 的加载速度时, 试件的弹性刚度下降幅度较大, 可以看出较大的加载速度, 可以使试件刚度迅速下降。在 4 种试件中, L1 试件弹性刚度始终保持最大的下降幅度, 说明 L1 试件在加载过程中无法维持抗压效果, 更容易变形; 而 L2、L3、L4 试件的弹性刚度均保持在较高水平, 其中, L3 试件的弹性刚度始终最高,

说明 L3 试件可最大程度维持原始状态, 受压力影响相对较小。

2.3 抗弯能力测试

2.3.1 抗弯强度

测试试件在加载过程中的抗弯强度变化, 获取试件受到加载后的抗弯能力, 测试结果如图 5 所示。

在最初加载阶段, 试件的抗弯强度迅速下降, 随着不断加载, 试件的抗弯强度逐渐平稳, 不再出现大幅度下降; 其中, L1 试件在初始加载阶段抗弯强度达到 12 MPa 左右, 当加载时间达到 40 min 时, 试件的抗弯强度仅为 4 MPa, 下降幅度较大; 其他 3 种试件的抗弯强度均要高于 L1 试件, 当加载时间为 40 min 时, L3 试件的抗弯强度达 10 MPa 左右, 依然保持在较高水平。说明, 经 1.5% 复合材料加固后的试件, 抗弯性能更强。

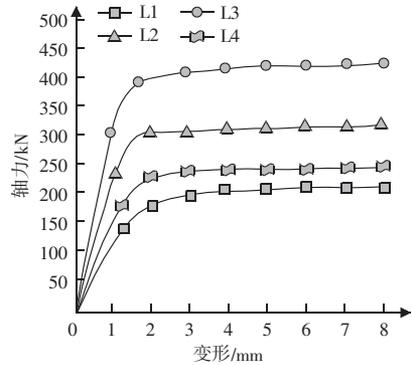


图 5 试件抗弯强度分析

Fig. 5 Analysis of specimen flexural strength

2.3.2 抗弯载荷

试件经加载后的弯度变化情况见表 1。

表 1 不同试件抗弯变化测试

Table 1 Bending change test of different

试件编号	抗弯开裂荷载/N	抗弯开裂挠度/mm	抗弯极限荷载/N	抗弯极限挠度/mm	抗弯弹性刚度 / (N/mm)
L1	357	0.31	965	23.6	890
L2	447	0.46	1038	26.9	1032
L3	479	0.52	1053	28.8	1074
L4	456	0.49	1043	27.5	1042

经过加载后, L1 试件的抗弯开裂载荷与挠度、抗弯极限荷载与挠度以及弹性刚度在 4 种试件中保持最低水平, 试件抗弯能力较弱, 无法承载较强的弯曲压力; 经过复合材料加固后的试件抗弯能力明显较强, 其中, L3 试件的抗弯能力保持在最高水平, 因此, L3 试件不仅具有较高的抗压性能, 还保持较强的抗弯能力。
(下转第 104 页)

建筑结构

对喷射混凝土壳体的整体性能有很大影响,较高的初始应力释放率不一定会导致喷射混凝土壳体的荷载降低。正如初始应力释放率为95%时,假定的纵向零应变条件导致拉伸应力达到拉伸强度,从而导致拉伸软化。

参考文献

- [1] 李克伟. 隧道新奥法施工围岩稳定性监测与二衬施作时间研究 [J]. 公路交通科技, 2018 (2): 263-265.
- [2] 吴浪. 隧道工程中新奥法施工技术的应用分析 [J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40 (6): 173, 175.
- [3] 王新增. 新奥法在岭南高速公路隧道施工中的应用 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2007 (10): 48-50.
- [4] 郑颖人, 邱陈瑜, 张红, 等. 关于土体隧道围岩稳定性分析方法的探索 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27 (10): 1968-1980.

- [5] 周森, 张学民, 杨峰, 等. 浅埋软弱围岩隧道掌子面失稳破坏模式研究 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2013, 9 (11): 291-294.
- [6] 王杰之, 温树磊, 张超, 等. 喷射混凝土的研究及应用 [J]. 建筑技术, 2022, 53 (10): 1295-1297.
- [7] 罗梦. 一种隧道初支喷射混凝土滑板覆膜施工方法 [P]. 江苏省: CN115095352A, 2022-09-23.
- [8] 渠忠, 陈志永, 任贵华. 隧道初期支护喷射混凝土配合比优化设计 [J]. 冶金与材料, 2022, 42 (4): 52-53, 181.
- [9] 关毓, 牛荻涛, 王家滨, 等. 喷射混凝土受压损伤本构模型研究 [J]. 铁道学报, 2016, 38 (12): 118-124.
- [10] 朱广兵. 喷射混凝土研究进展 [J]. 混凝土, 2011 (4): 105-109.
- [11] 董新平, 谷胜利, 周顺华. 地下工程喷射混凝土材料时间效应的有限元模拟 [J]. 河南科学, 2006 (1): 104-106.
- [12] 吴博. 混凝土应力-应变曲线试验研究与随机损伤本构模型 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.

(上接第48页)

3 结论

通过引入纤维增强水泥基复合材料,研究了纤维增强水泥基复合材料加固建筑梁柱节点抗压性能,养护至28后,与无加固梁柱节点试件相比,纤维体积掺量为1.5%的纤维加固梁柱节点可以承受较高的轴力,切轴力均在2mm的变形时,逐渐趋于平稳状态,可以维持抗压效果,抗压强度始终保持最高,还保持较强的抗弯能力。显著提高了梁柱节点的力学性能,增强了其在承担负荷时的稳定性和可靠性。

参考文献

- [1] 杨文, 康升荣, 程宝军, 等. 低水胶比高性能纤维增强水泥基复合材料性能研究 [J]. 新型建筑材料, 2021, 48 (10): 20-23.
- [2] 李祚, 潘丁菊, 罗月静, 等. 骨料粒径对纤维增强水泥基复合材料性能的影响 [J]. 材料科学与工程学报, 2022, 40 (2): 318-327.
- [3] 韩建平, 李佳佳. 配筋PVA-钢混杂纤维增强水泥基复合材料梁弯剪性能试验研究及数值模拟 [J]. 结构工程师, 2022, 38 (5): 84-92.
- [4] 刘佳鑫, 尹立强, 刘曙光, 等. 冻结状态聚乙烯醇纤维/水泥基复合材料抗压本构模型 [J]. 复合材料学报, 2022, 39 (5): 2356-2368.

- [5] 石妍, 李家正, 吕兴栋, 等. 人工砂最大粒径对水工高延性纤维增强水泥基复合材料性能的影响研究 [J]. 新型建筑材料, 2022, 49 (10): 40-44.
- [6] 谢磊, 李庆华, 徐世焱. 纤维掺量对聚乙烯醇纤维增强水泥基复合材料动态压缩性能的影响 [J]. 复合材料学报, 2021, 38 (9): 3086-3100.
- [7] 钱辉, 陈程, 张庆元, 等. 自修复SMA/ECC复合材料加固RC梁受弯性能试验研究 [J]. 工程力学, 2023, 40 (6): 73-84.
- [8] 陈智勇. 新型环氧粘结材料在钢桥面加固中的应用 [J]. 化学与粘合, 2024, 46 (3): 307-312.
- [9] 侯利军, 徐冉, 张秀芳, 等. 纤维网-超高韧性水泥基复合材料加固钢筋混凝土柱抗震性能研究 [J]. 建筑结构学报, 2022, 43 (12): 59-69.
- [10] 孙亚颀. 纳米碳纤维增韧水泥基复合材料的力学性能和耐久性研究 [J]. 功能材料, 2023, 54 (1): 1115-1119.
- [11] 郑志豪, 任辉启, 龙志林, 等. PP/CF增强珊瑚砂水泥基复合材料冲击压缩力学性能研究 [J]. 爆炸与冲击, 2022, 42 (7): 61-73.
- [12] 王聪聪, 杜红秀, 石丽娜, 等. 碳纤维-钢纤维水泥基复合材料电学性能试验研究 [J]. 硅酸盐通报, 2022, 41 (8): 2696-2705.
- [13] 高峰, 郝贞洪, 吴安利, 等. 低模量聚酯纤维/水泥基复合材料抗冲击性能及损伤机制 [J]. 复合材料学报, 2021, 38 (11): 3838-3849.