

钢筋混凝土框架结构不同加固方法分析研究

冯宇飞

上海浦东路桥（集团）有限公司，上海 201206

DOI:10.61369/ETQM.2026070027

摘 要： 随着我国既有建筑加固改造需求的日益增长，结构加固技术的合理选择对工程质量与经济性至关重要。文章介绍了增大截面法、外包型钢法、粘钢加固法和粘贴碳纤维法四种常用加固方法的技术原理与适用特点。基于相关试验数据，从承载力提升、抗震性能、施工影响等方面进行对比分析，探讨不同加固方法的经济性差异。研究表明，四种加固方法各有技术优势与适用场景，工程实践中应综合结构受力需求、施工条件和投资预算等因素，合理选择加固方案或采用多种方法组合应用。

关 键 词： 结构加固；增大截面法；外包型钢；粘钢加固；碳纤维加固

Analysis and Research on Different Reinforcement Methods for Reinforced Concrete Frame Structures

Feng Yufei

Shanghai Pudong Road and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 201206

Abstract： With the increasing demand for reinforcement and renovation of existing buildings in China, the reasonable selection of structural reinforcement techniques is crucial for project quality and economy. This article introduces the technical principles and applicable characteristics of four commonly used reinforcement methods: increasing section method, external steel wrapping method, steel bonding reinforcement method, and carbon fiber bonding method. Based on relevant experimental data, a comparative analysis is conducted from the aspects of bearing capacity improvement, seismic performance, and construction impact, to explore the economic differences among different reinforcement methods. The research shows that each of the four reinforcement methods has its technical advantages and applicable scenarios. In engineering practice, factors such as structural stress requirements, construction conditions, and investment budget should be comprehensively considered to select a reasonable reinforcement scheme or adopt a combination of multiple methods.

Keywords： structural reinforcement; section enlargement method; external steel wrapping; steel bonding reinforcement; carbon fiber reinforcement

引言

钢筋混凝土框架结构在我国工业与民用建筑中应用广泛，随着建筑物使用功能的改变或由于设计施工因素、材料质量、耐久性等原因，加固改造已成为建筑行业新的发展热点之一^[1]。随着时间的推移，年代久远建筑安全问题不断浮现，老旧建筑维修改造成为中心城区项目实施的主要内容。

上海中心城区某装修加固项目，结构加固方法有增大截面法、外包型钢法、粘钢法和粘贴碳纤维法四种。周围毗邻河道和城市广场，施工条件较为复杂，对加固方案的施工便利性、工期和环境影响均提出了较高要求。设计效果图见图1。



图1 设计效果图

作者简介：冯宇飞（1979.9-），男，汉族，山东日照人，高级工程师，硕士，主要从事市政、水利水电等工程领域技术管理与工程管理。

一、不同结构加固方法的特点和适用范围

表1 不同结构加固方法优缺点和适用范围

结构加固方法	优缺点	适用范围
增大截面法	优点：同种材料，提高承载力，方法简单、适用面广。 缺点：作业量大，工期长，减少使用空间，增加结构自重。	梁、板、柱、墙等
外包型钢法	优点：显著提高承载力。施工简便，作业量小，空间占用小。 缺点：用钢量大，费用较高，节点处理困难。	梁、柱、屋架。化学灌浆时，表面温度不应过高（ $< 60^{\circ}\text{C}$ ）；腐蚀介质时，需可靠防护
粘钢加固法	优点：工期短，不影响原结构。 缺点：自重及刚度较大，施工操作难度大。	大跨度，高应力应变结构加固，温度不应过高（ $< 60^{\circ}\text{C}$ ）；混凝土收缩徐变小的结构
粘贴碳纤维复合材料法	优点：高强高效，耐久性和耐腐蚀性好，不增加体积和自重，适用各种形状。 缺点：承载力提升有限，高强度材料价格较高。	梁、板、柱等

（一）增大截面法

增大截面法又称外包混凝土加固法，是通过在原构件外侧新增钢筋混凝土层或钢筋网砂浆层，增加构件截面面积，从而提高其承载能力和刚度的一种传统加固方法。该方法工艺简单、适用面广，能够显著提升构件的承载能力，同时改变结构的自振频率。温凯等通过有限元分析表明，增大截面法加固后，随着加固层厚度的增加，加固柱的耐火极限明显提高；增加截面配筋率也能提高耐火极限，但增加幅度有限^[2]。现场照片见图2。



图2 增大截面法加固照片

（二）外包型钢法

外包型钢加固法是指在混凝土梁、柱四周包以型钢，分为干式和湿式两种。湿式外包法采用环氧树脂化学灌浆等方法将角钢粘贴于构件四周，角钢之间以缀板相互连接，在荷载作用下角钢套箍对核心混凝土产生侧向约束，使混凝土的轴向抗压强度得到提高。该方法可在不显著增加构件截面尺寸的前提下大幅提高承载能力和抗震性能，现场工作量大，整体稳定性好、受力可靠。但对使用环境的温度和湿度有一定要求，且成本相对较高。现场照片见图3。



图3 外包型钢加固照片

（三）粘钢加固法

粘钢加固法是在混凝土或钢筋混凝土构件外部粘贴钢板，通过结构胶将钢板与混凝土构件粘结成一体，实现共同受力，提高正、斜截面承载力和刚度。周清等以《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）为基础，推导了粘钢法加固 RC 梁受弯与受剪承载力公式，研究表明粘贴 4.2 mm 厚钢板后 RC 梁的受弯承载力可提高约 33%，侧面粘贴 1 mm 厚钢板后受剪承载力可提高约 57%^[3]。现场照片见图4。



图4 粘钢加固照片

（四）粘贴碳纤维法

粘贴碳纤维法是通过在混凝土构件表面粘贴碳纤维增强复合材料 CFRP（Carbon Fibre Reinforced Polymer）布或板，利用碳纤维高抗拉强度来提升结构承载能力的一种新型加固方法（见图5）。碳纤维材料具有强度高、重量轻、耐腐蚀等诸多优点，近年来在土木工程中发展十分迅速。该方法施工便捷、几乎不增加结构自重、耐久性好，适用于多种环境条件。秦宇等通过四点弯曲试验验证了预应力碳纤维布加固 RC 梁的设计方法，结果表明加固后 RC 梁呈理想塑性破坏形态，承载能力满足设计要求^[4]。



图5 碳纤维加固照片

二、不同加固方法加固效果分析

（一）承载力提升效果

研究表明，不同加固方法对承载力的提升幅度存在显著差异。钢筋混凝土柱加固中，增大截面法可使原构件轴压承载力提升约 113%，CFRP 加固法提升约 128%，粘钢加固法提升约 112%。在侧压承载力方面，CFRP 加固法的提升效果最为显著，可达 192%，粘钢加固法为 154%，增大截面法为 105%^[5]。

对于受弯构件的加固，研究表明，碳纤维布、非预应力钢绞线、预应力钢绞线和粘钢加固梁的极限承载力较未加固梁分别提高了 48.0%、71.1%、74.6% 和 75.6%^[6]。其中粘钢加固的极限承载力提升幅度最大（75.6%），碳纤维布的提升幅度相对较小但仍有显著改善。

（二）延性与抗震性能

除承载力外，延性和抗震性能也是衡量加固效果的重要指

标。卓卫东等通过对 RC 墩柱模型的拟静力试验发现，外包钢管加固法对 RC 墩柱的延性提高幅度最大，增大截面法对承载力的提高幅度最大，而粘贴玄武岩纤维布的加固方法在综合性能方面表现较优^[7]。柴少峰等同样指出，增大截面法、外贴碳纤维法、外包钢法和粘钢法等在处理钢筋混凝土构件的抗震性能方面各有特点^[8]。

（三）施工影响与适用场景

从施工角度看，增大截面法施工周期较长，结构自重显著增加，对地基基础造成额外负担。粘钢加固和碳纤维加固则具有施工速度快、基本可不停产施工的优点，碳纤维加固尤其适用工期较紧工程。粘钢加固适用于承载力和刚度均需大幅提升情况。增大截面法则适用于构件严重损坏或承载力缺口较大情况。外包型钢法适用于需要大幅度提高截面承载能力和抗震能力的钢筋混凝土梁柱构件。

三、不同加固方法综合分析

（一）成本构成分析

加固工程的总成本包括材料费、人工费、工期成本和后期维护成本等。粘钢加固使用钢板较重，施工难度大，人工成本高于碳纤维加固。增大截面法产生大量湿作业和建筑垃圾，施工周期长，综合成本较高。外包型钢法虽然现场工作量较小，但高质量的钢材和灌浆材料使材料成本居高不下。碳纤维加固和粘钢加固减少因停产造成的间接经济损失，在经济性评估中亦应予以考虑。

（二）方案优选思路

张贵文等基于价值工程原理，应用 Delphi 法和层次分析法建立了结构加固方案优选的综合评估模型，通过功能系数、成本系数和价值系数对加固方法进行定性定量优化分析^[9]。该研究表明，加固方案的优选需要综合考虑技术性、经济性和施工性等多个维度，而非单纯追求最低造价或最强加固效果。

表2 不同加固方法综合对比

参数	加固方法			
	增大截面加固	外包型钢加固	粘钢加固	碳纤维加固
承载力增加	50%–100%	50%–80%	40%–80%	30%–60%
刚度增加	大	显著	显著	很小
自重增加	很大	较大	较大	很小
施工工期	20–40 天	10–15 天	10–20 天	7–15 天
工序流程	复杂	一般	一般	简单
耐久性	≥ 50 年	30–50 年	30–50 年	20–50 年
经济性	200–600 元 /m ²	1000–3000 元 /m ²	300–1500 元 /m ²	400–2500 元 /m ²

四、结语

文章以上海中心城区某装修加固项目为工程背景，对增大截面法、外包型钢法、粘钢加固法和粘贴碳纤维法四种常用钢筋混凝土结构加固方法进行了系统对比分析。

研究表明，四种加固方法在承载力提升效果、延性改善能力、施工便利性和经济成本等方面各有优劣。结构加固方案的选

择应坚持“技术可靠、经济合理、施工可行”的原则，根据具体工程的结构特点、受力需求、施工条件和投资预算综合决策^[10]。

对于由多栋建筑和多种结构组成的综合性项目，建议在参考详细结构检测和受力分析的基础上，针对不同部位、不同受力特点合理选配加固方法，必要时采用多种方法组合应用的复合加固方案，以实现最优的技术经济综合效益。

参考文献

[1] 林茂. 混凝土结构加固方法对比研究 [D]. 江苏大学, 2006.
[2] 温凯, 刘猛, 许兆友, 等. 增大截面法加固 RC 柱耐火性能有限元分析 [J]. 辽宁工业大学学报 (自然科学版), 2021, 41(03): 184–187+194.
[3] 周清, 宋真真, 齐麟. 粘钢法加固 RC 梁受弯与受剪承载力公式的工程应用 [J]. 四川建筑科学研究, 2023, 49(02): 40–47.
[4] 秦宇, 张泽宇, 冉瑶, 等. 预应力碳纤维布加固 RC 梁设计理论及试验研究 [J]. 山东大学学报 (工学版), 2026, 56(01): 114–121.
[5] 李静薇, 张浩宇, 滕振超. 既有 RC 变截面柱加固前后的力学性能 [J]. 黑龙江科技大学学报, 2024, 34(04): 564–571.
[6] 邓宗才, 李辉, 林劲松, 等. 不同方法加固足尺寸 RC 梁的抗弯性能 [J]. 北京工业大学学报, 2013, 39(02): 208–213.
[7] 卓卫东, 林莹冰, 刘丽玲, 等. 基于模型试验的 RC 墩柱抗震加固方法比较 [J]. 工程抗震与加固改造, 2015, 37(04): 109–115.
[8] 柴少峰, 王平, 王峻, 等. 钢筋混凝土构件修复加固与抗震性能比较 [J]. 地震工程学报, 2013, 35(04): 872–876.
[9] 张贵文, 张智慧, 代清冬. 基于价值工程的结构加固方法优选 [J]. 甘肃科学学报, 2012, 24(02): 146–150.
[10] 高鹏宇. 砌体与钢筋混凝土框架混合结构加固方法研究 [J]. 工程机械与维修, 2022 (05) : 195–197.