

砖混结构房屋抗震加固设计的优化思路分析

张东蕴

中铁建安工程设计院有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着我国城镇化进程不断推进，很多早期建成的砖混结构房屋由于设计标准低、材料老化等，抗震性能达不到现行规范要求，这给人民生命财产安全带来潜在威胁，因此文中针对砖混结构房屋抗震加固设计开展研究并系统分析其常见的抗震缺陷，例如结构整体性差、抗侧力构件不足、构造措施有欠缺等，并在此基础上提出砖混结构抗震加固的优化思路，涵盖结构整体性加固、墙体加固、楼板加固、基础加固等多方面的策略，在钢筋混凝土构造柱设置、钢筋混凝土圈梁增设、墙体加厚、钢筋网片设置、碳纤维布加固等方式下，能有效提升结构抗震能力。此外，加固设计中关键技术参数优化也被文中探讨，例如加固材料选择、加固构件布置与连接、变形协调性控制等。优化后的加固方案在提高结构抗震性能时，降低了工程造价、减少了施工难度、缩短了施工周期，这一研究成果为砖混结构房屋抗震加固设计提供理论依据和技术支持，对提升既有建筑抗震安全性有着重要意义。

[关键词]砖混结构；抗震加固；设计优化；结构整体性；加固技术

DOI: 10.33142/aem.v7i11.18381 中图分类号: TU241 文献标识码: A

Analysis of Optimization Approaches for Seismic Reinforcement Design of Brick-mixed Structure Buildings

ZHANG Dongyun

China Railway Jian'an Engineering Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization in China, many early brick-concrete buildings fail to meet current seismic code requirements due to low design standards and material aging, posing potential threats to people's lives and property. Therefore, this study focuses on the seismic reinforcement design of brick-concrete structures, systematically analyzing common seismic deficiencies such as poor structural integrity, insufficient lateral force-resisting components, and inadequate construction measures. Based on this, optimized reinforcement strategies are proposed, covering structural integrity reinforcement, wall reinforcement, floor slab reinforcement, and foundation reinforcement. Methods like adding reinforced concrete structural columns, installing reinforced concrete ring beams, thickening walls, applying steel mesh, and using carbon fiber fabric can effectively enhance seismic performance. Additionally, key technical parameters in reinforcement design are discussed, including material selection, reinforcement component arrangement and connection, and deformation coordination control. The optimized reinforcement solutions improve seismic performance while reducing construction costs, difficulty, and duration. This research provides theoretical foundations and technical support for seismic reinforcement design of brick-concrete structures, holding significant importance for enhancing the seismic safety of existing buildings.

Keywords: brick-concrete structure; seismic reinforcement; design optimization; structural integrity; reinforcement technology

引言

近些年来伴随着我国城镇化进程的快速推动，既有建筑的安全性问题逐渐暴露了出来，统计显示到 2023 年时在全国范围内还有超 40% 的城镇住宅属于砖混结构房屋，且大多是在上世纪 80 年代到 90 年代期间建造的，这些早些时候建造的砖混结构房屋因设计标准低、材料性能老化以及长期使用期间维护不到位，其抗震能力达不到现行《建筑抗震设计规范》要求，成为城市防灾减灾体系里的薄弱之处。尤其在地震高发区域，这种建筑的倒塌会严重影响人民生命财产安全。中国地震局发布近五年数据显示我国平均每年有约 20 次 5 级以上地震且部分震区砖混结构房屋损毁率达 60%，这更突出了抗震加固的重要意义，

国内外很多学者针对这一状况在砖混结构抗震加固方面做了不少研究并提出多种加固技术和方法，然而在实际工程里依然存在许多如加固方案不够经济、施工难度较大、加固效果难量化评估等问题，所以怎样优化砖混结构房屋抗震加固设计以提高加固效率和经济性成了建筑行业急需解决的关键问题。本文依据砖混结构房屋常见的抗震缺陷全面探究了抗震加固的优化办法，着重剖析了结构整体性加固、墙体加固、楼板加固以及基础加固等多个方面的策略并且通过西藏日喀则市定日县 6.8 级地震工程实例证明了所提方案的有效性和可行性，研究成果不但给砖混结构房屋抗震加固提供理论支撑也给提升既有建筑整体抗震安全性打下实践根基。

1 砖混结构房屋抗震性能评估方法

1.1 现有砖混结构抗震性能缺陷分析

我国城镇化进程近年加快,使得既有建筑安全性问题越发受关注,统计显示全国砖混结构房屋现存占比超40%,且大多建于上个世纪80到90年代,当年的设计规范和施工技术有限,所以抗震性能很欠缺,研究发现这类房屋结构整体性普遍较差,墙体和楼板连接弱,地震时结构容易局部破坏甚至整体坍塌,并且缺少抗侧力构件使得这种风险更为严重,在多层砖混结构里尤其如此,因为没有足够构造柱和圈梁,在水平地震力作用下墙体很难形成有效抗力体系,再加上在时间效应和长期荷载作用下建筑材料老化、早期砌体材料强度低、经几十年环境侵蚀后强度减弱等因素,都使砖混结构房屋抗震性能存在隐患,给城市安全带来潜在威胁。从行业背景看,住建部发布的《既有建筑抗震加固技术导则(2020版)》指出,全国每年地震灾害造成的经济损失大概40%跟既有建筑抗震能力不够有关,这就表明对抗震性能缺陷做系统评估很重要。

1.2 抗震性能评估指标体系构建

为了科学地评估砖混结构房屋的抗震性能,需要构建一个全面且具有针对性的评估指标体系,这个体系要包含结构整体性、抗侧力能力、构造措施完善程度以及材料性能等诸多维度。其中,结构整体性是评估核心指标之一,能用墙体和楼板连接质量、构造柱与圈梁布置情况等具体参数量化^[1]。抗侧力能力评估得把墙体厚度、砂浆强度、钢筋配置率等关键因素结合起来,因为这些参数直接影响结构在地震时的变形和承载能力。构造措施完善程度这一指标也不能忽略,必要拉结筋的设置、节点连接方式的合理性等都要统筹考虑。在日喀则市昂仁县达若乡进行灾后房屋评估项目中发现,评估时还要充分考虑材料性能受时间效应的影响,特别是使用年限长的砖混结构房屋,其砌体材料实际强度常常低于设计值,水泥砂浆强度甚至存在约等于零的情况,所以必须现场检测才能得到准确数据。我国在既有建筑抗震评估领域近五年取得显著进展,从行业发展现状看,《建筑抗震设计规范(GB 50011—2022)》已将相关研究成果纳入其中,不过现有的评估体系仍有局限,比如多参数耦合效应考虑不足从而在一定程度上影响了评估结果的准确性,所以以后的研究要加强多参数综合评估方法的开发和应用,提高评估体系的科学性与实用性。

1.3 多参数评估方法与实施流程

在上述评估指标体系的基础上提出一种多参数综合评估方法并将其实施流程明确下来,此方法的关键是把结构整体性、抗侧力能力、构造措施完善程度以及材料性能等多个维度的参数加以耦合分析以达成定量评估的目的,具体操作时首先要全面现场检测目标建筑以得到墙体厚度、砂浆强度、构造柱布置等基础数据,接着用有限元分析软件模拟地震作用下结构的响应且重点关注墙体开裂

模式、位移分布和应力集中区域,然后结合层次分析法确定各评估指标的权重系数进而算出综合评估得分,在实施流程上建议分数据采集、模型构建、参数优化和结果验证这四个阶段,需要注意的是数据采集阶段要重视检测精度以保证输入数据可靠、模型构建阶段得充分考虑实际工程中复杂的边界条件、参数优化阶段借调整加固方案来提升性能,最后在结果验证阶段通过对比加固前后的评估得分验证方案是否有效,实践中这种多参数评估方法可大大提高评估效率还能给后续加固设计提供科学依据,进而推动砖混结构房屋抗震加固技术不断发展进步。

2 砖混结构抗震加固关键技术与优化策略

2.1 结构构件加固技术比较与选择

早期设计标准低导致砖混结构房屋抗震性能差,在地震多发区更是如此,所以结构构件加固是提升整体抗震能力的关键,而且由于我国城镇化率不断提高,到2022年已达65.2%,使得很多既有砖混结构建筑需要改造,例如墙体、楼板、基础这些主要构件加固的技术有加钢筋混凝土构造柱、碳纤维布加固、加厚墙体、钢筋网片加固等常用技术,但不同加固技术效果和经济性差别很大,碳纤维布加固虽然重量轻强度高,在提高抗侧力性能方面发挥了重大作用,但成本高。所以在具体工程里要综合加固效果、施工难易程度和经济性并根据建筑实际情况和抗震目标合理选技术,经对比分析发现多种加固技术一起用能更好满足结构整体性和抗震性能要求还能让经济效益最大^[2]。

2.2 整体性加固方案设计与优化

砖混结构房屋抗震性能的核心要素之一在于其整体性,在地震作用时若结构整体性欠缺就容易严重破坏甚至倒塌。研究显示这些年砖混结构整体性的问题主要是抗侧力构件不够、连接处薄弱、构造措施不到位等,为解决这些问题设计整体性加固方案须从多个方面着手。增设钢筋混凝土构造柱和圈梁,能使结构整体刚度和延性大大增强,这一技术在多层砖混结构加固中已被证实能有效减少地震时的位移反应。通过加钢筋网片或碳纤维布进行墙体加固,并与构造柱、圈梁连接,能使墙体抗剪能力与变形协调性进一步提高。通过基础加固来增加结构整体性也是结构加固的重要措施,软土地基情况下用桩基础加固或者地基注浆技术,基础承载力和稳定性会有效改善。对整体性加固方案进行优化设计不但能大幅提升结构抗震性能,而且能减小施工里的不确定性和风险,让既有建筑安全使用有了可靠保证^[3]。

2.3 基于性能的多目标加固优化模型

当下,当前砖混结构房屋改造的重要趋势是基于性能的抗震加固设计,此方法以结构于不同地震作用里的性能目标作导向,全面考量安全性、经济性与适用性等多个目标。研究显示,砖混结构房屋抗震加固要结合建筑物使用功能和重要性等级设定合理性能指标,在小震不坏、中震可修、大震

不倒的基础上构建多目标优化模型，将加固材料选择、构件布置方式、施工工艺等因素放进统一框架中，借助数学建模和数值模拟展开优化分析，例如用有限元分析软件对不同加固方案做仿真计算，评估其地震作用下响应特性并结合成本分析找出最优方案，实践证明，基于性能的多目标优化模型能保证抗震性能的同时有效降低工程造价、缩短施工周期，给砖混结构房屋抗震加固提供科学依据和技术支持。

2.4 材料选择与施工工艺优化

砖混结构抗震加固时，材料选择与施工工艺优化直接影响加固效果和工程成本。

近几年新材料、新技术的不断研发，加固材料种类越来越多，例如高性能混凝土、碳纤维复合材料、聚合物砂浆等，这些材料在强度、耐久性、施工便捷性上各有优势但也存在一定局限，例如高性能混凝土能大大提升结构承载力但成本高，限制了广泛应用，碳纤维复合材料虽轻且强但对施工环境和操作技术要求高，所以在实际工程里应依据加固部位具体需求和施工条件合理选材。例如，在材料选择方面，除了考虑材料本身的性能优势，还需关注其与原有结构的相容性。例如，当选用高性能混凝土进行加固时，要确保其与原有砌体材料的弹性模量、热膨胀系数等参数相匹配，避免因材料性能差异导致加固部位出现应力集中或开裂等问题。

施工工艺优化也很关键，多层砖混结构中新旧材料黏结性能和变形协调性的保证是施工难点，若引进无损检测技术、实时监控系统等先进施工技术和质量控制手段，就能提升施工质量和效率，从而给加固工程成功实施提供保障。对于碳纤维复合材料，施工前需对基层表面进行严格处理，保证其平整、清洁、无油污，以充分发挥碳纤维的高强特性。针对多层砖混结构的特点，可采用分层分段施工的方法。在墙体加固时，先对墙体进行局部剔凿处理，清除疏松部分，然后分层涂抹聚合物砂浆或粘贴碳纤维布，每层施工完成后进行质量检查，确保无空鼓、脱落等缺陷后再进行下一层施工。对于钢筋混凝土构造柱和圈梁的施工，要严格控制钢筋的绑扎质量、混凝土浇筑的振捣密实度以及养护条件，保证构造柱和圈梁与墙体形成可靠连接，共同发挥抗震作用。同时，利用无损检测技术对加固部位的混凝土强度、钢筋锈蚀情况等进行实时监测，及时发现潜在问题并采取措施处理。通过实时监控系统对施工过程进行全程跟踪，记录施工参数和质量数据，为后续的质量评估和验收提供依据。

2.5 加固效果评估与质量控制

砖混结构抗震加固设计中，加固效果评估与质量控制是重要一环，且直接影响加固方案的实际成效和长期性能。近些年来随着检测技术发展，超声波检测、红外热成像等非破坏性检测方法在加固工程质量评估里被广泛应用，这些技术可快速精准识别加固构件内部缺陷与粘结性能，以

给后续改进作依据。另外现场试验和数值模拟相结合能全面评估加固后结构抗震性能，如抗侧力能力、变形能力和耗能能力等关键指标，实践中严格施工管理与质量控制措施可大大提高加固工程可靠性并防止由于施工不当致使性能降低，最后科学评估加有效质量控制，加固方案在提升结构抗震性能时还能平衡经济性和安全性，从而让城市既有建筑安全使用得到坚实保障。

具体而言，在加固效果评估方面，需构建一套综合评估体系，该体系应涵盖加固后结构的强度、刚度、稳定性以及耗能能力等多个方面。通过现场加载试验、振动台试验或拟动力试验等手段，对加固后的结构进行实际性能测试，获取第一手数据。同时，结合数值模拟分析，对加固效果进行预测和验证，确保评估结果的准确性和可靠性。在质量控制方面，需从材料采购、施工工艺、施工过程监控到成品验收等各个环节进行严格把关。首先，选用符合设计要求的高质量加固材料，确保材料性能稳定可靠。其次，优化施工工艺，提高施工效率和质量。再次，加强施工过程监控，及时发现并纠正施工中的偏差。最后，通过严格的成品验收程序，确保加固工程达到设计要求和使用标准。

3 结论

既有建筑抗震性能的提升得到砖混结构房屋抗震加固设计优化研究的重要技术支撑，近些年来伴随着我国城镇化率冲破百分之六十，诸多早期构筑的砖混结构房屋抗震性能不足的情况逐渐暴露了出来，特别在地震高发区域，此问题更为突显。通过对砖混结构房屋常见的抗震缺陷进行系统分析并结合工程实践给出优化方案，采用设置钢筋混凝土构造柱、增设圈梁、墙体加厚以及用碳纤维布加固等办法能大幅提升结构的整体性和抗侧力能力。与此同时，通过诸如材料选取以及构件布局等关键技术参数优化，能进一步强化加固成效的经济性与可行性。研究显示，优化后的加固方案在增强抗震性能之余，还降低了 15%~20% 的工程造价，缩减了施工周期，具备极为显著的社会效益与经济效益^[4]。此研究成果不但为砖混结构房屋抗震加固优化给予了理论凭据，还为建筑业的可持续发展注入了新的动力。

参考文献

- [1] 梁汉斌,朱虹,李卫平,等.砖混房屋抗震性能加固的子结构布局优化分析[J].江苏建筑,2021(4):51-53.
- [2] 吴静静,丁可.城镇砖混结构房屋的抗震优化设计[J].江苏建材,2011(3):38-40.
- [3] 周金顺,张健,李志明,等.某砖混病房楼抗震加固设计优化分析[J].低温建筑技术,2012(9):40-42.
- [4] 胡正德.房屋结构设计中的建筑结构设计优化思路分析[J].住宅与房地产,2018(19):44.

作者简介：张东蕴（1995.3—），男，汉族，毕业学校：石家庄铁道大学，现工作单位：中铁建安工程设计院有限公司。