

填充墙对框架结构抗震性能影响研究综述

曹从峰, 刘 猛

辽宁工业大学土木建筑工程学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2026年6月30日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年8月3日

摘 要

填充墙作为框架结构中广泛应用的非结构构件, 其在地震荷载下的复杂受力机理与失效模式对整体结构安全性的影响, 一直是地震工程领域的研究热点。本文系统梳理了近年来国内外关于填充墙抗震性能的研究成果, 重点综述了填充墙与框架结构的相互作用机制、破坏模式分类及其对结构整体刚度、承载力及耗能能力的影响。首先, 回顾了从传统刚性填充墙到柔性连接、带开口填充墙的试验研究与数值模拟方法进展; 其次, 对比分析了等效斜压杆理论、精细化有限元模拟及宏观简化模型等不同计算方法的适用性与局限性。此外, 本文归纳了影响填充墙抗震性能的关键参数, 包括材料强度、高宽比、开洞率及连接构造措施, 并探讨了现有抗震规范中关于填充墙设计条款的不足。最后, 针对填充墙“不可预测的脆性破坏”及“强梁弱墙”等问题, 提出了未来研究应聚焦于新型高韧性连接件研发、多尺度协同工作机制及基于性能的抗震设计方法。

关键词

填充墙, 框架结构, 抗震性能

A Review of the Influence of Infill Walls on the Seismic Performance of Frame Structures

Congfeng Cao, Meng Liu

School of Civil Engineering and Architecture, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: June 30, 2026; accepted: July 21, 2026; published: August 3, 2026

Abstract

As a widely used non-structural component in frame structures, infill walls have long been a research hotspot in the field of earthquake engineering due to their complex mechanical mechanism

文章引用: 曹从峰, 刘猛. 填充墙对框架结构抗震性能影响研究综述[J]. 土木工程, 2026, 15(8): 1-5.
DOI: 10.12677/hjce.2026.158194

and failure modes under seismic loads, which exert significant influences on the overall structural safety. This paper systematically reviews the domestic and international research findings on the seismic performance of infill walls in recent years, focusing on the interaction mechanism between infill walls and frame structures, the classification of failure modes, and their effects on the overall stiffness, bearing capacity and energy dissipation capacity of the structure. Firstly, the progress of experimental research and numerical simulation methods from traditional rigid infill walls to flexible connections and infill walls with openings is reviewed. Secondly, the applicability and limitations of different calculation methods, such as the equivalent strut model, refined finite element simulation and macroscopic simplified models, are compared and analyzed. In addition, this paper summarizes the key parameters affecting the seismic performance of infill walls, including material strength, aspect ratio, opening ratio and connection details, and discusses the deficiencies of relevant design provisions for infill walls in current seismic codes. Finally, in view of the problems such as “unpredictable brittle failure” and “strong beam-weak wall” of infill walls, it is proposed that future research should focus on the development of new high-toughness connectors, multi-scale co-operative working mechanisms and performance-based seismic design methods.

Keywords

Infill Wall, Frame Structure, Seismic Performance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

填充墙框架结构是实际工程中最常用的结构形式之一。尽管填充墙通常按非结构构件设计,但大量震害和试验研究表明,填充墙与框架之间的相互作用显著影响着结构的刚度、承载力、延性和破坏模式。围绕这一问题,国内外学者从不同角度开展了系统研究。本文从三个方面对现有成果进行综述:首先,比较刚性连接与柔性连接方式下填充墙对框架抗震性能的影响;其次,总结填充墙开洞对结构受力性能的影响规律;最后,归纳各类改善填充墙抗震性能的构造措施及其效果。通过梳理上述研究现状,旨在为工程设计及相关规范的完善提供参考。

2. 不同连接方式填充墙对 RC 框架结构抗震性能研究现状

蒋欢军[1]等通过低周反复荷载试验,研究了刚性连接与柔性连接加气混凝土砌块填充墙对 RC 框架抗震性能的影响。结果表明:柔性连接框架的抗震性能介于空框架与刚性连接框架之间;填充墙构造措施(构造柱、拉结筋、竖缝)对性能影响不大;刚性连接显著提高刚度和承载力但降低延性,柔性连接则能保持较好的延性和耗能能力。吴方伯[2]等通过拟静力试验,研究了新型横孔空心砌块填充墙与 RC 框架的刚性及柔性连接抗震性能。共设计 4 榀足尺试件(1 榀空框架、1 榀刚性连接、2 榀柔性连接)。结果表明:柔性连接抗震性能介于空框架与刚性连接之间,刚性连接提高承载力但延性较差,柔性连接耗能能力更优;框架梁与墙体的拉结筋对性能改善有限。孟龙飞[3]等通过 ABAQUS 软件建立 5 种不同连接方式的模型,模拟填充墙在平面外力作用下的破坏模式,分析不同模型的荷载位移曲线及等效塑性应变。结果表明:平面外力对填充墙倒塌破坏影响显著,刚性连接可提高填充墙的平面外承载力,保证结构整体的承载力和塑性变形能力。葛海蓉[4]等采用 ABAQUS 软件,通过离散式建模和弹簧失效模拟,分析了 5 种连接条件下填充墙的平面外倒塌过程。结果表明:填充墙与框架梁刚性或柔性连接、与柱柔性连接均

可提高抗倒塌能力, 其中梁、柱均设柔性连接时防倒塌性能最佳。周晓洁[5]等(2015)通过 5 榀空心砌块填充墙框架的低周反复荷载试验, 系统研究了刚性连接与柔性连接、全墙填充与半墙填充对结构抗震性能的影响。分析了滞回特性、承载力、位移延性、刚度退化、强度衰减、耗能能力及变形性能等指标。结果表明: 柔性连接方案对结构承载力的提高幅度低于刚性连接, 但在延性、耗能能力、刚度退化速率和强度衰减等方面均明显优于刚性连接, 且能有效减轻填充墙的破损程度, 避免框架柱出现剪切破坏特征, 整体抗震性能得到显著改善。张永兵[6]等(2024)基于 7 榀 1/2 缩尺试件的低周反复加载试验, 采用 DIANA 软件建立了简化分离式有限元模型, 分析了连接方式、砌块材料、柔性连接材料及砂浆强度对填充墙 RC 框架抗震性能的影响。结果表明: 以橡胶作为柔性连接材料, 能减缓刚度和强度退化、降低结构破坏程度、显著提高抗震性能; 高弹性橡胶与高阻尼橡胶性能优异, 而聚苯板(EPS)效果较差; 刚性连接下砌块材料影响显著, 采用柔性连接可削弱墙-框相互作用; 合理降低砂浆强度有利于抗震。Kose (2008) [7]通过三维有限元迭代模态分析, 系统研究了填充墙对 RC 框架结构基本周期的影响参数。结果表明, 填充墙的存在显著提高了结构刚度, 使结构基本周期比纯框架缩短约 5%~10%。将有限元结果与多国规范(如土耳其规范、欧洲规范 8、UBC 等)经验公式对比发现。现行规范普遍低估带填充墙结构的实际周期, 低估幅度在 2%至 47%之间。这反映出规范中采用固定周期折减系数近似考虑填充墙影响的做法存在较大偏差。因此, 建议根据不同填充墙类型和布置形式对周期计算方法进行修正。Bala Balaji [8]采用 SAP2000 软件将填充墙模拟为铰接压杆, 通过反应谱分析研究了不同填充墙布置方式对结构抗震性能的影响。结果表明, 填充墙及其配置方式对结构周期、基底剪力、位移及楼层响应等关键抗震参数具有显著影响, 强调了在抗震设计中将填充墙作为受力构件加以考虑的重要性。

3. 填充墙开洞对 RC 框架结构抗震性能影响研究现状

张茂花等[9] (2023)通过平面外拟静力试验, 对比研究了普通柔性连接与新型柔性连接(槽钢轨道+构造柱)对开洞填充墙 RC 框架平面外抗震性能的影响。结果表明: 新型柔性连接能有效增强框架对填充墙的约束, 促进水平拱承载机制的形成, 防止墙-框脱离。相比普通柔性连接, 新型连接试件的峰值承载力和峰值刚度分别提高 44.14%和 9.70%, 可抵御的罕遇地震加速度提高约 80%, 显著改善了开洞填充墙的平面外稳定性与抗震性能。张永兵等[10] (2024)采用 DIANA 软件建立了柔性连接开洞填充墙 RC 框架的分离式简化微观模型, 通过数值模拟对比了柔性连接与刚性连接在不同开洞情况下的抗震性能, 并进行了开洞率参数分析。结果表明: 柔性连接能降低结构刚度和强度, 但有效提高延性, 延缓承载力下降; 开洞对两种连接方式的影响规律相似, 开洞率越大承载力越小; 基于参数分析提出了柔性连接中心开洞填充墙 RC 框架承载力和刚度的折减计算公式。沈萍等[11] (2021)通过 5 榀 1/2 缩尺单层单跨试件的低周反复荷载试验, 研究了混凝土空心砌块填充墙开洞率及开洞位置对 RC 框架抗震性能的影响。结果表明: 整体或局部填充墙均能提高框架的刚度和承载力, 提高程度与开洞率及洞口位置有关; 开洞率越大承载力越小; 相同开洞率下, 局部填充墙高宽比越小, 其斜撑作用越强; 部分填充墙可提高框架的延性, 建议用于改善既有框架的抗震性能。陈深等[12] (2023)基于试验结果, 采用 ABAQUS 对开洞填充墙 RC 框架进行了多参数非线性分析。结果表明: 墙框材料强度比越高, 填充墙压杆作用越明显; 减小墙厚会降低承载力, 对开窗洞结构影响更大; 洞口位于墙中部时承载力更高; 洞口面积越大承载力越小; 随填充墙高宽比增大, 结构承载力降低。程俊涛和唐兴荣[13] (2013)采用 ABAQUS 建立了开洞砌体填充墙 RC 框架的非线性有限元模型, 选用 C3D8R 实体单元模拟混凝土和砌块、T3D2 杆单元模拟钢筋、SPRING4 弹簧单元模拟墙-框连接, 并通过与 5 榀 1/2 缩尺试件(包括整体填充墙、开洞填充墙及纯框架)的试验结果对比, 验证了模型的准确性。基于该模型进一步分析了开洞率对结构承载力的影响。结果表明: 随着开洞率增大, 填充墙框架的水平峰值荷载逐渐降低; 开洞率 0%、33.3%、44.4%、100%试件的峰值荷载

分别为纯框架的 1.78、1.44、1.22、1.00 倍; 当开洞率超过 60% 时, 承载力与纯框架相差不大, 填充墙对刚度和承载力的贡献可忽略。该研究为开洞填充墙框架的非线性分析提供了可靠的建模方法。

4. 改善填充墙抗震性能研究现状

蒋欢军和段延锋[14] (2019) 系统综述了改善砌体填充墙抗震性能的研究进展, 分析了填充墙的受力机理、破坏模式及对框架结构抗震性能的影响。归纳了两种设计思路: 将填充墙作为结构构件(参与受力)或非结构构件(不参与受力)。在此基础上, 介绍了六种改善方法: 传统加固(增强面层、增强带、构造柱)、密肋结构体系、砌体摇摆墙体系(参与受力); 柔性连接、水平滑移层、摇摆砌体填充墙(不参与受力), 并对比分析了各种方法的优缺点。周云等[15] (2011) 归纳了九江、盐津、普洱、汶川地震中框架填充墙的震害特征及原因, 提出“以强御强”(捆绑墙体、构造次框架)和“以柔克刚”(填充墙开缝、耗能柔性连接、阻尼减震墙、节点耗能器)两类改善抗震性能的新途径与新方法, 为相关设计与研究提供了参考。唐兴荣等[16] (2012) 通过 5 榀 1/3 缩尺试件的低周反复加载试验, 研究了带竖向缝槽加气混凝土砌块填充墙框架的抗震性能。结果表明: 竖向缝槽减少了墙-柱相互作用, 延缓了开裂; 带竖缝框架的初始刚度与整体填充墙框架相当, 承载力介于纯框架与整体填充墙框架之间, 但延性和耗能能力显著改善, 极限位移角与纯框架基本持平。冯远等[17] (2020) 通过 4 个试件的低周反复加载试验, 研究了带竖缝混凝土填充墙 RC 框架的抗震性能。结果表明: 整片素混凝土填充墙易发生脆性剪切破坏; 预设竖缝能有效降低墙体抗侧刚度, 将破坏模式转变为延性弯剪破坏, 显著提高耗能能力和塑性变形能力; 配置少量分布钢筋虽对承载力影响不大, 但能有效限制裂缝开展、增大极限位移角, 降低平面外侧塌风险。唐兴荣[18] 等(2012) 通过 5 榀 1/3 缩尺试件的低周反复加载试验, 研究了拉结筋、构造柱、水平系梁等不同构造措施对加气混凝土砌块填充墙框架抗震性能的影响。结果表明: 填充墙显著提高了框架的刚度和承载力, 但不同构造措施对初始刚度和承载力影响不大; 设置构造柱、水平系梁或两者同时设置, 能明显改善延性和耗能能力, 减缓刚度退化。张令心等[19] (2024) 基于 19 篇文献中 68 个试件的拟静力试验数据, 定量对比了柔性连接、增强整体性和设置阻尼耗能装置三类填充墙构造方法对 RC 框架抗震性能的影响。结果表明: 柔性连接平均降低承载力 17.34% 和刚度 31.25%, 但提高延性 21.93%; 增强整体性平均提高承载力 48.19%、刚度 218.01% 和延性 39.68%; 设置阻尼装置平均降低承载力 47.35% 和刚度 58.55%, 但提高延性 30.28% 和耗能能力。增强整体性适用于既有结构加固, 柔性连接和阻尼装置适用于新建建筑韧性提升。

5. 展望

带填充墙的钢筋混凝土框架结构空间布局灵活、造价经济实用, 在我国乃至全球建筑工程中应用十分普遍。多场地震灾害观测与大量试验分析结果证明, 填充墙会显著影响框架整体损毁与构件局部破坏, 地震作用下墙体和框架会产生协同相互作用, 采用有限元数值模拟是探究填充墙框架受力特性最经济高效的研究方法。综上, 未来研究不应仅停留在“对比哪种连接更好”或“验证某类墙体更优”的层面, 而应转向机制理解-材料创新-系统建模-设计方法的全链条研究范式。唯有如此, 才能从根本上解决填充墙“不可预测的脆性破坏”与“强梁弱墙”等长期困扰工程界的难题, 推动填充墙框架结构向高韧性、可设计、可评估的方向发展。

参考文献

- [1] 蒋欢军, 毛俊杰, 刘小娟. 不同连接方式砌体填充墙钢筋混凝土框架抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2014, 35(3): 60-67.
- [2] 吴方伯, 李大禹, 欧阳靖, 等. 不同连接方式下新型砌体填充墙框架结构的抗震性能[J]. 建筑科学与工程学报, 2016, 33(3): 28-35.

- [3] 孟龙飞, 叶燕华, 周小方, 等. 连接方式对填充墙平面外性能的数值模拟分析[J]. 新型建筑材料, 2015, 42(9): 47-50.
- [4] 葛海蓉, 叶燕华, 彭程, 等. 连接条件对填充墙倒塌影响的数值模拟分析[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2012, 34(6): 136-140.
- [5] 周晓洁, 李忠献, 续丹丹, 等. 柔性连接填充墙框架结构抗震性能试验[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2015, 48(2): 155-166.
- [6] 张永兵, 覃智阳, 李勇. 柔性连接填充墙 RC 框架结构非线性有限元分析[J]. 建筑结构, 2024, 54(5): 117-125, 110.
- [7] Kose, M.M. (2009) Parameters Affecting the Fundamental Period of RC Buildings with Infill Walls. *Engineering Structures*, **31**, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.07.017>
- [8] Bala Balaji, Y., Prasad, S.A.V. and Kavitha, B. (2024) Effect of Infill Walls on Seismic Performance of RC Framed Buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **1409**, Article ID: 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1409/1/012030>
- [9] 张茂花, 丁俊男, 金薇, 等. 新型柔性连接开洞填充墙 RC 框架结构平面外抗震性能[J]. 地震工程与工程振动, 2023, 43(3): 97-105.
- [10] 张永兵, 李声坤, 吴建新, 等. 柔性连接开洞填充墙 RC 框架结构抗震性能数值模拟研究[J]. 建筑结构, 2024, 54(14): 69-76.
- [11] 沈萍, 唐兴荣, 程俊涛. 开洞砌体填充墙钢筋混凝土框架抗震性能试验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2021, 43(4): 8-18.
- [12] 陈深, 宁宁, 张纪刚, 等. 开洞填充墙 RC 框架结构抗震性能分析[J]. 青岛理工大学学报, 2023, 44(4): 91-100.
- [13] 程俊涛, 唐兴荣. 开洞砌体填充墙混凝土框架结构的非线性有限元分析[J]. 苏州科技学院学报(工程技术版), 2013, 26(2): 24-27.
- [14] 蒋欢军, 段延锋. 改善砌体填充墙抗震性能的研究进展[J]. 地震工程与工程振动, 2019, 39(5): 86-94.
- [15] 周云, 彭水淋, 郭阳照, 等. 提高框架填充墙结构抗震性能的新途径和新方法[J]. 防灾减灾工程学报, 2011, 31(5): 469-476.
- [16] 唐兴荣, 刘利花, 周振轶, 等. 带竖缝砌体填充墙钢筋混凝土框架结构抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(10): 84-93.
- [17] 冯远, 张川, 张萍, 等. 钢筋混凝土框架带竖缝混凝土填充墙的抗震性能试验研究[J]. 建筑结构, 2020, 50(22): 71-76.
- [18] 唐兴荣, 杨亮, 刘利花, 等. 不同构造措施的砌体填充墙框架结构抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(10): 75-83.
- [19] 张令心, 陈子平, 谢贤鑫. 不同填充墙构造方法对 RC 框架抗震性能影响研究[J]. 地震工程与工程振动, 2024, 44(4): 26-36.