

Analysis of Safety Hazard Detection, Appraisal and Reinforcement Countermeasures for Old Masonry Building Structures

Yilin Liu

Yunnan Huadu Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

Due to their long construction history and low design standards, old masonry buildings generally have safety hazards such as insufficient bearing capacity and weak seismic performance. This paper systematically reviews the main damage types and causes of old masonry structures, including wall cracks, degradation of mortar strength, uneven foundation settlement, and defects in the floor system, and analyzes their impact on structural safety. In terms of detection and appraisal, it introduces masonry strength detection techniques such as the rebound method, in-situ axial compression method, and micro-drill sampling, and constructs a complete safety appraisal system in combination with the “Code for Reliability Appraisal of Civil Buildings” (GB 50292—2015). In terms of structural verification, it provides the core calculation formulas for masonry compressive bearing capacity and wall seismic shear bearing capacity. In terms of reinforcement countermeasures, it focuses on the main reinforcement technical routes such as reinforced concrete surface layer reinforcement, adding construction columns and ring beams, and verifies the effectiveness of the reinforcement scheme through a case study of a five-story brick-concrete residential building. The research shows that adopting targeted combined reinforcement measures based on scientific appraisal results can significantly improve the bearing capacity and seismic performance of old masonry buildings, providing a reference for the safety renovation of existing buildings.

Keywords

masonry structure; safety appraisal; structural inspection; bearing capacity verification; reinforcement technology; seismic performance

老旧砌体建筑结构安全隐患检测鉴定及加固对策分析

刘伊琳

云南华都工程质量检测有限公司, 中国·云南昆明 650000

摘要

老旧砌体建筑因建造年代久远、设计标准偏低, 普遍存在承载力不足、抗震性能薄弱等安全隐患。本文系统梳理了老旧砌体结构的主要损伤类型及成因, 包括墙体裂缝、砂浆强度退化、地基不均匀沉降及楼盖系统缺陷等, 并分析其对结构安全性的影响机理。在检测鉴定方面, 介绍了回弹法、原位轴压法及微钻取样等砌体强度检测技术, 结合《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292—2015) 构建了完整的安全鉴定体系。在结构验算方面, 给出砌体受压承载力和墙体抗震剪切承载力的核心计算公式。在加固对策方面, 重点阐述钢筋混凝土面层加固、增设构造柱与圈梁等主要加固技术路线, 并结合某五层砖混住宅楼工程实例验证了加固方案的有效性。研究表明, 依据科学鉴定结果采用针对性组合加固措施, 可显著提升老旧砌体建筑的承载能力和抗震性能, 为既有建筑的安全改造提供参考。

关键词

砌体结构; 安全鉴定; 结构检测; 承载力验算; 加固技术; 抗震性能

1 引言

我国在 1970-1990 年间建成的一大批砌体结构建筑, 所用的砌筑材料主要是烧结普通砖和混合砂浆。此类建筑多用预制混凝土空心板做楼盖体系, 由于整体抗弯刚度不够而导致承载能力明显下降^[1]。长时间的使用后, 上述构件的安全性问题越来越明显。由于早期抗震设计标准比较低, 约三成城镇的既有砌体结构不能达到现行《建筑抗震设计规范》

(GB50011-2010) 要求, 从而加大了其潜在的风险隐患。

2 老旧砌体建筑主要安全隐患分析

传统砌体结构建筑的主要安全问题包括墙体裂缝(分为荷载作用型、温差影响型、干缩效应型、沉降不均型, 其中荷载作用型裂缝多出现在窗间墙、洞口转角等应力集中部位, 温差影响型裂缝多见于顶层墙体)、地基基础问题(砖砌或毛石条形基础埋深浅、工艺简单, 软土或湿陷性黄土等地质条件下易发生不均匀沉降, 当沉降差大于《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 规定的 0.0020 限值时, 会引发竖向或多角形裂纹, 严重时可导致局部坍塌^[2]) 以及

【作者简介】刘伊琳(1993-), 女, 中国广西桂林人, 本科, 中级, 从事结构设计和房屋安全鉴定研究。

楼盖与整体性缺陷(预制混凝土空心板楼盖整体性差,存在板缝开裂、支撑长度不足、钢筋锈蚀等问题,许多建筑未设圈梁和构造柱,调查样本中构造柱缺损率为 55%,圈梁断裂率为 31%^[3],地震时因楼板与墙体无刚性连接易出现“墙倒屋塌”的连带破坏)。

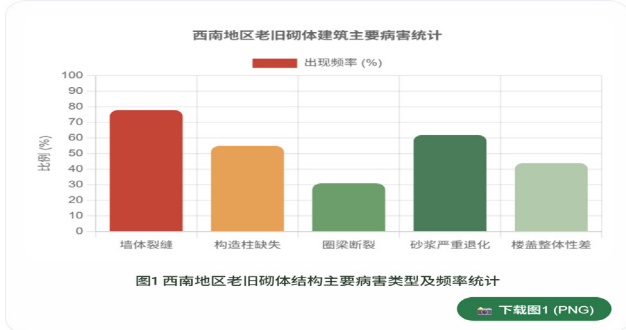


图 1 西南地区老旧砌体结构主要损伤类型及频率统计

3 检测鉴定技术与方法

砌体强度现场检测方法包括回弹法(利用表面硬度估计烧结砖强度,操作简单广泛应用、原位轴压法(半破损,精度高^[4])及取样法(半破损,结果可靠但成本高);砂浆强度现场检测方法包括回弹法(需结合碳化深度,受表面平整度影响)、贯入法(操作简便、损伤小、精度高)、及推出法(半破损,可靠但繁琐);依据《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB50292-2015),结构安全性综合鉴定分为前期调研、现场勘查检测、结构性能分析、等级评定四个程序,建立构件、子单元、整体建筑三个层次的评价体系,用 a 级(完全满足安全标准)、b 级(有缺陷但满足使用要求)、c 级(明显偏离设计规范影响稳定)、d 级(严重违反技术要求危及安全^[4])表示。

4 结构安全性验算

根据《砌体结构设计规范》(GB 50003-2011),轴心受压构件在正截面抗压承载力方面具有以下主要规定:

$$N \leq \phi f A \quad (1)$$

以上公式中各个参数的含义如下,轴心力设计值用 N_k 来表示,高厚比和轴心力偏心距对受压构件承载能力的影响折减系数用 ϕ 来表示,取值应按照现行标准附录的相关规定执行,砌体抗压强度设计值采用兆帕 Mpa 为计量单位,截面面积用 mm^2 表示。

对于现场砌筑砂浆试件不能达到设计强度的情况,必须依照现行规范所规定的要求,按照一定的强度换算公式将检测的数据加以修正。在偏心受压构件分析中,当构件偏心距超过截面塑性核心时,要按照有关的技术规范,对截面的承载力指标做一定的折减。

5 工程实例分析



图 2 建筑现状

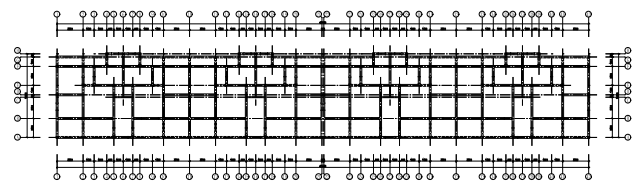


图 3 建筑一至五层平面布置图

该五层砖混结构住宅楼始建于 1993 年,总建筑面积 3570.6 平方米,平均层高 3.0 米。建筑平面为矩形布置,纵、横墙间距分别为 3.3 米、2.7 米、2.4 米、3.6 米。墙体使用 MU10 级烧结普通砖砌筑,原设计中用 M2.5 强度等级水泥砂浆砌筑。楼板用现浇混凝土板,屋面为现浇混凝土板。建筑物位于抗震设防烈度为 7 度的地区,地基土质类别为 II 类,抗震设计时按照第三组地震动参数分区标准进行有关的分析与计算。

综合检测结果表明,施工现场砂浆试块的实际强度推定值比设计标准低很多,呈 M0.6 ~ M0.8 的趋势,比预期目标低了约 60%。承重墙体有明显的斜向裂缝,最大裂缝宽度达 2.8 毫米。部分墙体的抗压承载力小于理论计算值。建筑物设置构造柱和圈梁的位置不满足《建筑抗震鉴定标准》(GB 50023—2009),造成建筑物整体结构抗震性能较差。具体情况见附表 1 ~ 3。

综合评价结果表明,该建筑结构安全等级现阶段综合评定为 C_{su} 级,即:该房屋安全性不符合本标准对 A_{su} 级的要求,显著影响整体承载,应采取措施,且可能有极少数构件应及时采取措施。必须立即进行专项加固和修复工程来保证使用安全。

6 加固对策与措施

钢筋混凝土面层加固承重墙体的流程:清除抹灰层,布设 C6 ~ 8@400 锚筋,铺设双层钢筋网(纵 C12@150、横 C8@200),浇筑 $\geq C25$ 、 $\geq 60mm$ 厚混凝土(喷射时

≥50mm)；墙体抗压和抗剪承载力分别提升约 50% ~ 120% 和 60% ~ 150%。植筋深度 ≥8d，喷射混凝土分层 ≤25mm。对砂浆强度低、酥碱、风化的墙体，辅以砖墙拆砌（更换高强度砖及 M7.5 以上砂浆），遵循先补弱、再面层加固的原则。针对未按规范要求设置构造柱和圈梁的情况，按 GB50702-2011 增设截面 ≥240×240mm，主筋 4C12，箍筋 C6@200 的构造柱；增设截面高度 ≥180mm，宽度同墙厚，纵筋 4C12，

箍筋 C6@200 的圈梁，与楼板、基础可靠连接，形成闭合体系，使墙体由脆性剪切转为延性破坏，提高抗震韧性。

以第五章工程实例为依托，对首层 C 级承重墙做 50mm 厚 C25 钢筋混凝土面层，各楼层增设构造柱及圈梁，修复 > 0.5mm 结构性裂缝。经过 YJKS (6.0) 建模模拟加固后，墙体抗压及抗震剪力均达标，抗震抗剪承载力提升约 60%，满足 7 度设防，结构安全性等级由 C_{su} 级提升至 B_{su} 级。

表 1 贯入法检测砂浆抗压强度结果表

编号	构件名称	贯入深度平均值 (mm)	强度换算值 (MPa)	砂浆设计强度	结论
2	二层 4/B-C 轴墙	14.30	0.6	2.5	不满足
3	二层 8-9/C 轴墙	14.14	0.6	2.5	不满足
4	二层 9/B-C 轴墙	14.35	0.6	2.5	不满足
5	三层 11/B-C 轴墙	13.71	0.7	2.5	不满足
6	三层 12/B-C 轴墙	12.91	0.8	2.5	不满足
7	三层 8-9/C 轴墙	13.31	0.7	2.5	不满足
8	三层 8/B-C 轴墙	14.36	0.6	2.5	不满足
9	四层 8/B-C 轴墙	12.61	0.8	2.5	不满足
10	四层 9/B-C 轴墙	13.65	0.7	2.5	不满足
11	四层 3-4/C 轴墙	12.26	0.9	2.5	不满足
12	四层 3/B-C 轴墙	13.38	0.7	2.5	不满足
13	五层 4/B-C 轴墙	12.75	0.8	2.5	不满足

强度推定:

当按批抽检时，该检测单元的砂浆抗压强度平均值 $m_{f_2}^c = 0.7\text{MPa}$ $f_{2,e1}^c = 0.91m_{f_2}^c = 0.6\text{MPa}$

和 $f_{2,e2}^c = 1.18f_{2,\min}^c = 0.7\text{MPa}$

该检测单元的砂浆抗压强度推定值取 $f_{2,e1}^c$ 和 $f_{2,e2}^c$ 中的较小值作为该批构件的砌筑砂浆抗压

强度推定值， $f_{2,s}^c = \{f_{2,e1}^c, f_{2,e2}^c\}_{\min} = 0.6\text{MPa}$ 。

表 2 回弹法检测砖抗压强度结果表

构件名称		编号	测区的砖抗压强度平均值 f_{li} (MPa)	砖设计强度 (MPa)	结论
二层 3/B-C 轴墙	1				
二层 4/B-C 轴墙	2	9.83	10.00	不满足	
二层 8-9/C 轴墙	3	10.33	10.00	满足	
二层 9/B-C 轴墙	4	9.30	10.00	不满足	
三层 11/B-C 轴墙	5	9.79	10.00	不满足	
三层 12/B-C 轴墙	6	9.14	10.00	不满足	
三层 8-9/C 轴墙	7	10.93	10.00	满足	
三层 8/B-C 轴墙	8	9.74	10.00	不满足	
四层 8/B-C 轴墙	9	9.77	10.00	不满足	
四层 9/B-C 轴墙	10	10.65	10.00	满足	
四层 3-4/C 轴墙	11	10.30	10.00	满足	
四层 3/B-C 轴墙	12	10.22	10.00	满足	
五层 4/B-C 轴墙	13	9.45	10.00	不满足	

强度推定:

检测单元的测区强度平均值 f_2 , $m = \bar{x} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} f_{li} = 10.47\text{MPa}$, 强度标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{x} - f_{li})^2}{n_2 - 1}} = 0.73, \text{ 强度变异系数 } \delta = \frac{s}{\bar{x}} = 0.07; \text{ 强度标准值}$$

$f_{lk} = \bar{x} - 1.8s = 9.16\text{MPa}$, 该检测单元的砖抗压强度推定等级为 MU10。

表3 构件承载力安全性评定结果

评定结果	鉴定部位及构件总数 a			构件评级和含量百分比 (%)								
				%	b	%	c	%	d	%		
主要构件	第1层	墙	78	68	84.8	0	0.0	10	15.2	0	0.0	
	第2层	墙	70	70	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
	第3层	墙	70	70	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
	第4层	墙	70	70	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
	第5层	墙	70	70	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
	次要构件	第1层	梁	52	52	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
		第2层	梁	52	52	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
		第3层	梁	52	52	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
		第4层	梁	52	52	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
		第5层	梁	52	52	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

表4 鉴定系统安全性等级评定结果

子系统	各子系统安全性等级评定结果	鉴定系统安全性等级评定
地基基础	B _u	C _{su}
上部承重结构	C _u	
围护系统承重部分	C _u	
评定标准	1. 一般情况下, 应根据地基基础和上部承重结构的评定结果按其中较低等级确定。 2. 当鉴定系统的安全性等级按上款评为 A _{su} 级或 B _{su} 级, 但围护系统承重部分的等级为 C _u 级或 D _u 级时, 可根据实际情况将鉴定系统所评等级降低一级或二级, 但最后所定的等级不得低于 C _{su} 级。 3. 对下列任一情况, 可直接评为 B _{su} 级建筑: 1) 建筑物处于有危房的建筑群中, 且直接受到其威胁; 2) 建筑物朝一方向倾斜, 且速度开始变快。	
备注: 房屋结构安全性等级说明		
A _{su}	该房屋安全性符合本标准对 A _{su} 级的要求, 不影响整体承载, 可能有极少数一般构件应采取的措施。	
B _{su}	该房屋安全性略低于本标准对 A _{su} 级的要求, 尚不显著影响整体承载, 可能有少数构件应采取的措施。	
C _{su}	该房屋安全性不符合本标准对 A _{su} 级的要求, 显著影响整体承载, 应采取的措施, 且可能有极少数构件应及时采取措施。	
D _{su}	该房屋安全性严重不符合本标准对 A _{su} 级的要求, 严重影响整体承载能力, 必须立即采取措施。	

7 结语

本文以老旧砌体建筑结构安全性能为研究对象, 系统探究其损伤特性、检测评估方法、承载力计算模型及加固技术。研究揭示, 砂浆强度下降、墙体裂缝(占比 78%)和构造柱缺失(占比 55%)为常见损伤, 且三者对抗震性能存在协同加剧效应; 依据《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292-2015), 采用回弹法、贯入法等现场检测技术获取数据, 并针对材料强度退化效应进行修正, 结合软件建模对构件及子单元进行分层分级评价; 基于此, 制定了钢筋混凝土面层加固、增设构造柱与圈梁等复合化加固措施, 有效提升了结构的承载能力、延性及耗能性能, 使加固后的抗震承载力与整体性满足现行规范要求, 验证了技术体系对提升结构安全性的显著效果。

参考文献

[1] GB 50003—2011. 砌体结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
 [2] GB 50007—2011. 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[3] GB 50023—2009. 建筑抗震鉴定标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
 [4] GB/T 50344—2019. 建筑结构检测技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
 [5] 施楚贤. 砌体结构理论与设计(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
 [6] GB 50292—2015. 民用建筑可靠性鉴定标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
 [7] GB 50702—2011. 砌体结构加固设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
 [8] GB/T 50315—2011. 砌体工程现场检测技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
 [9] GB 50203—2011. 砌体结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
 [10] GB 55021—2021. 既有建筑鉴定与加固通用规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
 [11] JGJ/T 136—2017. 贯入法检测砌筑砂浆抗压强度技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.