

基于结构检测与抗震评估的高层住宅建筑安全性能研究

李发奕¹, 陈永亮²

¹南宁产业投资集团有限责任公司, 广西 南宁

²广西壮族自治区建筑工程质量检测中心有限公司, 广西 南宁

收稿日期: 2026年2月11日; 录用日期: 2026年3月4日; 发布日期: 2026年3月12日

摘要

以某高层住宅建筑为研究对象, 基于房屋安全性鉴定与抗震鉴定, 采用现场检测、材料性能测试、结构承载力验算及抗震措施评估等方法, 对该建筑的结构安全现状进行综合评价。结果表明: 建筑主体结构安全性等级为B_{Su}级, 略低于A_{Su}级标准, 不显著影响整体承载, 结构承载力和抗震能力满足现行规范要求; 采用多种检测方法相互验证的方案, 有效提高检测的可靠性。针对检测中发现的构件裂缝、钢筋锈蚀等问题, 提出了修复建议与使用维护措施, 为类似高层住宅建筑的安全评估与维护提供了有益的参考与借鉴。

关键词

安全性鉴定, 抗震鉴定, 高层建筑, 剪力墙结构, 结构检测

Study on Safety Performance of High-Rise Residential Buildings Based on Structural Inspection and Seismic Evaluation

Fayi Li¹, Yongliang Chen²

¹Nanning Industrial Investment Group Co., Ltd., Nanning Guangxi

²Guangxi Construction Testing Center Co., Ltd., Nanning Guangxi

Received: February 11, 2026; accepted: March 4, 2026; published: March 12, 2026

Abstract

Taking a high-rise residential building as the research object, based on the assessment of building

文章引用: 李发奕, 陈永亮. 基于结构检测与抗震评估的高层住宅建筑安全性能研究[J]. 土木工程, 2026, 15(3): 99-108.

DOI: 10.12677/hjce.2026.153058

safety and seismic resistance, a comprehensive evaluation of the structural safety status of the building was conducted using methods such as on-site inspection, material performance testing, structural bearing capacity verification, and seismic measures evaluation. The results show that the safety level of the main structure of the building is B_{su} level, slightly lower than the A_{su} level standard, and does not significantly affect the overall bearing capacity. The structural bearing capacity and seismic resistance meet the requirements of current regulations; The scheme of using multiple detection methods for mutual verification effectively improves the reliability of detection. Suggestions for repair and maintenance measures have been proposed to address issues such as component cracks and steel corrosion discovered during inspections, providing valuable reference and guidance for safety assessment and maintenance of high-rise residential buildings.

Keywords

Safety Assessment, Seismic Assessment, High-Rise Buildings, Shear Wall Structures, Structural Testing

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

本模随着我国城市化进程的加快, 高层建筑日益增多, 其结构安全性与抗震性能直接关系到人民生命财产安全。既有建筑在使用过程中, 由于材料老化、环境侵蚀、使用荷载变化以及建筑环境等因素的改变, 可能出现结构损伤, 影响其安全性能。因此, 定期开展建筑结构安全鉴定与抗震评估具有重要的现实意义。据此, 研究者和工程建设者针对高层建筑的安全评估开展了一系列研究。其中, 李永灿[1]针对高层建筑结构地下室出现渗漏及开裂等问题, 提出了以后浇带施工过程, 严格把控施工节点的方法进行有效纠偏。高帅德[2]针对高层建筑外墙开裂损坏的问题, 提出了以外墙施工质量节点管控的方法, 保证治理效果。汤东航等[3]提出基于 AI 人工智能的高层建筑安全的评价方法, 实现智能监控和综合评价方法。此外, 研究者在高层建筑治理方面也提出了多种尝试[4]-[6], 但是也仅限于特定的工程地质体上的建筑。且治理效果有效。综上所述, 国内外关于高层建筑病害的研究, 大多仅停留在针对性的治理某一类病害等方面, 对于综合评价既有高层建筑安全稳定性的研究相对鲜见。

本研究依托华南某市一高层建筑工程病害治理工程, 通过采用多种分析检测方法并结合现场监测等手段, 综合分析检测及监测成果, 并得出楼栋安全性评价结论, 该成果基于普通高层建筑, 其研究成果对于全国大范围的普通高层建筑工程病害分析具有重要参考意义。

2. 工程概况

2.1. 高层建筑工程概况

项目楼盘位于华南地区, 见图 1。主要功能为商住一体建筑, 设计使用年限为 50 年。主体为剪力墙结构, 裙房为框架结构, 安全等级为二级, 设计抗震设防烈度 6 度, 抗震设防类别: 标准设防类(丙类), 设计地震分组为第一组, 设计基本地震加速度为 0.05 g。剪力墙抗震等级为三级, 框架抗震等级为三级。其中, 工程病害楼栋是该楼盘一期 1#楼, 1#楼主体结构为地下 1 层, 地上 30 层, 局部 31 层, 建筑高度 92.3 m, 总建筑面积为 26251.8 m²。工程采用人工挖孔桩基础, 建筑桩基设计为甲级。桩端支承岩, 取中风化砂岩作为持力层, 桩端承载力特征值为 2500 kPa, 桩端进入持力层 1000 mm。1#楼于 2011 年竣工验收, 已经交付使用多年。于 2024 年发现楼栋结构出现裂缝、部分住户墙体裂缝及窗户松动开裂等病害。



Figure 1. Schematic diagram of the location of the engineering project
图 1. 工程项目所在地示意图

2.2. 场区工程地质概况

工程场区位于, 该地区的主干河流所形成的冲积平原上。场区内揭露的主要地层从上至下依次为: 粉质黏土、砂卵石层、砂岩层及红色泥岩层, 地层岩性, 详见表 1。场区内地层较为连续且简单, 构造作用较弱, 无破坏性的大断层穿越, 地层相对稳定, 地震烈度为六度, 地震峰值加速度为 0.05 g。建筑场地类别为 II 类, 基本风压为 0.75 kN/m², 地面粗糙度为 B 类。场区 50 m 以东有该地区的主干河流穿越, 年净流量 12.3 亿 m³, 是该地区的地下水的补给及地表水排泄的主要通道。

Table 1. Table of lithological characteristics of strata in the engineering site area

表 1. 工程场区地层岩性特征表

序号	岩层	岩性特征
①	粉质黏土	黄色, 硬~可塑状态, 摇晃反应中等, 层厚 0.3~1.4 m
②	砂卵石层	主要由红色, 硬~可塑状, 无摇晃反应, 厚度 3.3~5.1 m
③-1	中风化砂岩	棕黄色, 中风化, 强度较低, 中厚层状构造, 单轴抗压强度为 17 MPa~21 MPa
③-2	微风化砂岩	黄褐色, 微风化, 厚层状构造, 单轴抗压强度为 40 MPa~45 MPa
④	微风化泥岩	紫红色, 微风化, 中厚层状, 单轴抗压强度为 7 MPa~13 MPa

3. 工程检测方法和内容

为了有效查明 1#楼栋的结构损坏状况, 本研究采用现场踏勘、变形监测、取样试验等方法, 分别获取 1#楼的工程病害类型、裂缝类型、受力构件的破损状态、承重构件的强度指征以及 1#的沉降变形等重要参数。

3.1. 工程检测方法及规范

针对 1#楼的基本情况, 依据建筑结构工程检测的基本要求和规范[7]-[11], 本次的工程检测主要分为 3 大类, 即工程外观检查、变形检测及工程构件力学, 详见表 2。

Table 2. Basic information on the engineering inspection of Building 1
表 2. 1#楼工程检测基本信息

工程检测类型	检测内容	检测方法	检测仪器
工程外观检测	地基基础	外观检测	裂缝宽度观测仪、激光测距仪
	上部结构及围护结构	外观检测	裂缝宽度观测仪、激光测距仪
	构件变形	外观检测	裂缝宽度观测仪、激光测距仪
	结构整体牢固性	外观检测	裂缝宽度观测仪、激光测距仪
工程变形监测	1#楼顶点侧向位移	变形监测	全站仪
工程构件力学检测	混凝土结构构件抗压强度检测	回弹法	无线蓝牙云回弹仪
	混凝土结构构件截面尺寸检测	间接检测	钢卷尺及一体式楼板测厚仪
	混凝土结构构件配筋情况检测	间接检测	一体式钢筋扫描仪

3.2. 工程检测内容及结果

3.2.1. 中工程外观检测内容及结果

1) 混凝土墙构件

现场对该房屋混凝土墙构件损伤及缺陷情况进行检查。未发现明显受力裂缝、保护层脱落、露筋等缺陷情况。

2) 混凝土梁构件

现场对该房屋混凝土梁构件损伤及缺陷情况进行检查。除部分梁构件存在开裂、抹灰空鼓、开裂、脱落及因梁底箍筋锈蚀导致梁底轻微露筋、梁底露筋的情况外，未发现其余混凝土梁构件存在明显受力裂缝、保护层脱落、露筋等缺陷情况，存在裂缝的梁构件现场实测裂缝宽度在 0.1 mm~0.2 mm 之间。见图 2。



(a) 梁抹灰层大范围开裂



(b) 梁与砌体脱层开裂

Figure 2. 1# Building beam component engineering disease

图 2. 1#楼梁构件工程病害

3) 混凝土板构件

现场对该房屋混凝土板构件损伤及缺陷情况进行检查，除部分板构件存在开裂、抹灰空鼓、开裂、龟裂、脱落及因板底钢筋锈蚀导致板底露筋、板底轻微露筋的情况外，未发现其余混凝土板构件存在明显受力裂缝、保护层脱落、露筋等缺陷情况，存在裂缝的板构件现场实测裂缝宽度在 0.1 mm~0.2 mm 之间。见图 3。

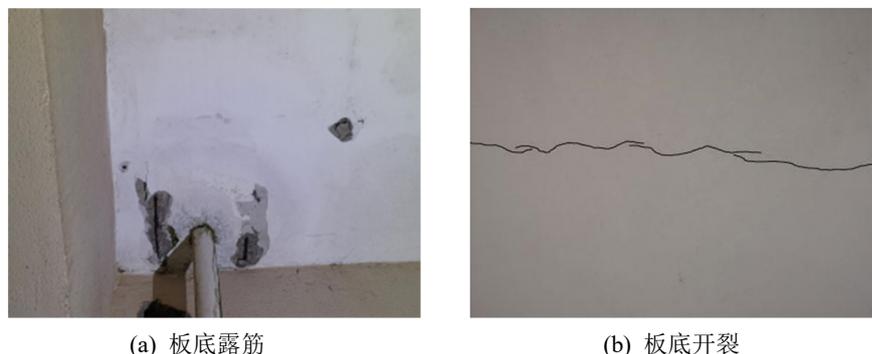


Figure 3. 1# Building beam component engineering disease

图 3. 1#楼梁构件工程病害

4) 围护系统

现场对该房屋围护系统的承重部分进行检查, 发现部分填充墙体有明显裂缝, 个别门窗构件存在玻璃开裂现象。

5) 地基基础现状检查

对该建筑的基础进行了外部勘查, 经过现场勘查。现阶段未发现建筑周边散水及周边地面有开裂现象; 上部结构构件未见因不均匀沉降引起的裂缝; 房屋未发现存在明显倾斜现象。

6) 构件变形检查

该建筑混凝土墙、梁及板构件的变形进行检查。经现场检查, 未发现该建筑存在明显变形的混凝土墙、梁及板构件。

7) 结构整体牢固性检查

经现场检查, 该建筑布置合理, 形成完整的体系, 且结构选型及传力路线设计正确; 结构形成完整的支撑系统, 能传递各种侧向作用; 连接方式正确、可靠, 无松动变形或其他残损。

3.2.2. 工程变形检测内容

正本次检测采用全站仪对 1#楼的楼顶 4 个角部顶点(D, E, U, V)的大角, 总共 8 个方向的侧向位移进行监测。见图 4。

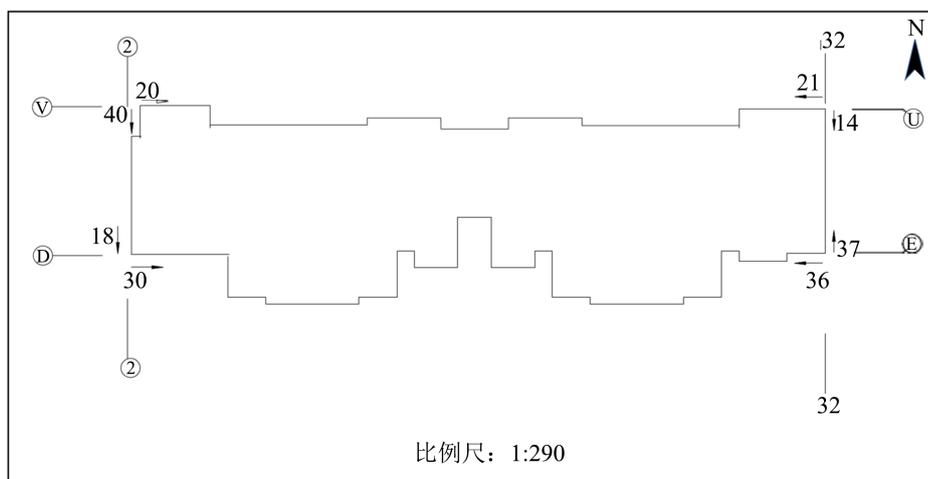


Figure 4. Layout of monitoring points on Building 1#

图 4. 1#楼监测点布置

3.2.3. 工程构建力学检测内容

1) 混凝土结构构件抗压强度检测

采用“回弹法”对该建筑墙(柱)构件抽取 5 个构件、梁构件抽取 5 个构件进行混凝土抗压强度检测, 抽样位置现场随机确定。检测结果表明: 所测 5 个墙(柱)构件和 5 个梁构件的混凝土抗压强度均满足设计要求。

2) 混凝土结构构件截面尺寸检测

检测采用钢卷尺及一体式楼板测厚仪对该建筑墙构件抽取 5 个构件、梁构件抽取 5 个构件进行截面尺寸检测。检测结果表明: 所测 5 个墙构件及 5 个梁构件截面尺寸偏差均在规范允许偏差范围内。

3) 混凝土结构构件配筋情况检测

采用一体式钢筋扫描仪对该建筑墙构件抽取 5 个构件、梁构件抽取 5 个构件、板构件抽取 5 个构件进行配筋情况检测。检测结果表明: 5 个墙构件、5 个梁构件及 5 个板构件的筋配置检测均在规范允许偏差范围内。

4. 检测结果分析

4.1. 结构损伤分析

根据现场踏勘统计结果:

1) 1#楼建筑地基基础现状调查, 楼栋周边的散水、地面没有出现裂缝和破损。表明房屋的现有工程病害, 并非由于基础的沉降或差异性沉降所导致。

2) 上部结构中的承重构件, 如梁体、剪力墙、板件及承重柱均未发现明显的开裂、保护层脱离、露筋等严重病害。表明主体承重结构未损坏, 建筑主体可以继续安全承受载荷。

3) 部分梁段抹灰层空鼓、开裂, 部分箍筋锈蚀; 存在的 0.1~0.2 mm 微细裂缝对结构的安全不构成威胁, 属于正常受力的破坏范围。该类型的破坏, 属于施工或者使用过程中不利因素所导致, 且不影响受力构件的正常工作, 即该部分不影响结构安全, 修补后可正常使用。

4) 部分楼层板件存在开裂、抹灰空鼓、开裂、龟裂、脱落及因板底钢筋锈蚀导致板底露筋、板底轻微露筋的情况外, 但是未发现其余混凝土板构件存在明显受力裂缝、保护层脱落、露筋等缺陷情况, 存在裂缝的板构件现场实测裂缝宽度在也仅在 0.1 mm~0.2 mm 之间, 对板件的受力安全不构成危害, 修补后可正常使用。

5) 现场对该房屋围护系统的承重部分进行检查, 发现部分填充墙体有明显裂缝, 个别门窗构件存在玻璃开裂现象。围护结构承重部分受到自重及混凝土干燥收缩等因素, 同时, 也可能是由于周边环境振动、爆破因素的影响, 使得部分结构出现振动沉陷, 最终形成裂缝, 窗户玻璃也会由于墙体的沉陷牵拉而发生变形扭曲, 进而发生破坏。但该部分不作为主体结构的承重部分, 不影响主体结构安全, 仅需修补处理即可恢复正常使用。

6) 凝土墙、梁及板构件的变形, 未发现该建筑存在明显变形的混凝土墙、梁及板构件。表明 1#楼的结构整体性较好, 未发生结构性的损坏。

7) 检测表明, 1#楼建筑布置合理, 形成完整的体系, 且结构选型及传力路线设计正确; 结构形成完整的支撑系统, 能传递各种侧向作用; 连接方式正确、可靠, 无松动变形或其他残损。表明该楼栋设计没有存在明显缺陷, 就不会导致建筑出现结构内应力超限的情况, 因此, 排除了设计因素导致的楼栋病害。

4.2. 标建筑结构材料性能分析

4.2.1. 中混凝土结构构件抗压强度检测

混凝土结构抗压强度检测主要包含梁体和墙体, 其监测成果见图 5。由图 5 可知, 其梁体取样抗压强

度为 41.2~54.5 MPa; 墙体抗压强度为: 46.5~59.6 MPa, 强度值均满足设计的极限强度值。不论梁体和墙体, 均满足结构安全的最低阈值, 表明作为承重结构的梁、墙体基本完好, 无过度损伤, 仍可满足结构承重安全的需要。但, 值得关注的是, 该混凝土的抗压强度离散性较大, 可能是由于施工振捣不均, 亦或是后期使用过程中, 受到渗漏水或者其他不确定性载荷的长期作用, 削弱混凝土的结构强度, 造成抗压强度离散化分布。综上所述, 1#楼结构体抗压强度仍处于安全范围, 可以继续使用, 而抗压强度离散性大的现象尚且不对结构造成安全威胁。

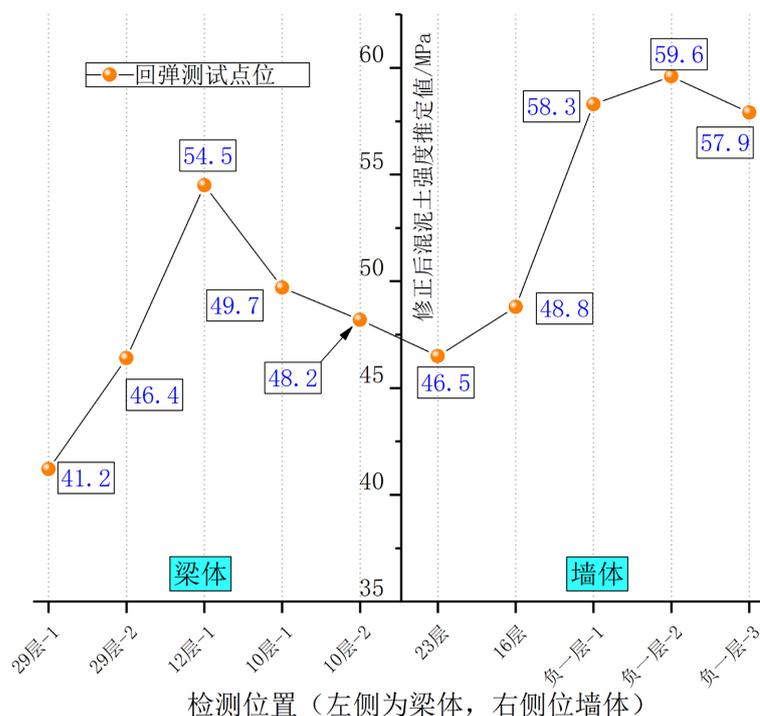


Figure 5. Test results of compressive strength of concrete structural components in Building 1#
图 5. 1#楼混凝土结构构件抗压强度检测成果

4.2.2. 中混凝土结构构件截面尺寸检测

混凝土结构截面尺寸检测: 结果见图 6 和表 3。由此可知, 结构体截面尺寸实测值基本处于设计值的正常的上下波动范围内。表明结构截面未受到侵蚀破坏, 仍能满足结构承重的基本要求。但是, 上部结构的截面尺寸基本都大于设计尺寸, 而地下室结构则出现实测值变小的情形。主要是地下室结构受到地下水及岩土体的复合作用, 使得梁体墙体等发生冲蚀和化学腐蚀作用, 使得截面不规则, 甚至减薄。根据该建筑所处的地理位置, 极可能是由于临近的河流周期性的水流补给地下潜水, 使得该楼栋的建筑地基常年受到流动水流的影响, 从而加速地下室墙面及桩基的侵蚀作用。

Table 3. The inspection results of the cross-sectional dimensions of the concrete structural beams in Building 1

表 3. 1#楼混凝土结构梁截面尺寸检测成果

检测位置	设计值 $b \times h$ (mm)	实测值 $b \times h$ (mm)	实测偏差 $\Delta b, \Delta h$ (mm)
29 层梁	250 × 420	251 × 419	250 × 420
26 层梁	250 × 470	249 × 472	250 × 470

续表

12 层梁	250 × 470	253 × 477	250 × 470
10 层-1 梁	250 × 420	252 × 421	250 × 420
10 层-2 梁	250 × 470	255 × 473	250 × 470

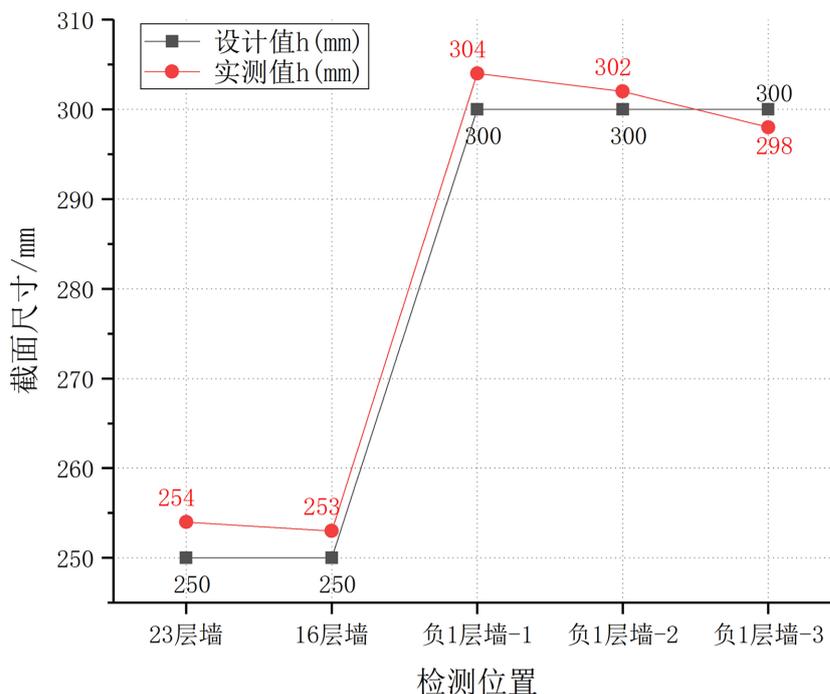


Figure 6. Test results of cross-sectional dimensions of concrete wall structural components in Building 1#
图 6. 1#楼混凝土墙结构构件截面尺寸检测结果

4.2.3. 中混凝土结构构件配筋情况检测

根据结构检测结果, 1#楼的剪力墙、梁体、板件的所测的钢筋配筋位置、数量及间距均满足设计要求, 偏差均在规范允许的容差范围内。结合 3.2.1 中对混凝土抗压强度的分析, 表明结构体各受力构件均可正常发挥其承载作用, 结构体不存在钢筋混凝土结构损伤的情况。

4.3. 建筑结构顶点侧向检测位移分析

由图 4 和表 4 可知, 1#楼 4 个角点的横纵向位移偏差值均未超过规范所限定的最低阈值, 其中最大偏差值 E、V 点, 最大偏差值未 37 mm 和 40 mm, 其反映的是该地区常年受到北风作用的影响所致。所测各点的顶点侧向位移未超出规范要求所评定为 Cu 或 Du 级的限值要求。由此可知, 其受外部载荷, 如风载荷的长期力学响应处于合理范围, 该楼栋结构受外部载荷的作用并未对主体结构损伤造成危害。

Table 4. The lateral monitoring displacement results of the mixed vertex of Building 1#
表 4. 1#楼混顶点侧向监测位移成果

测点轴线位置	测点处总高度 H (mm)	顶点位移偏差(mm)	规范界限值	测点轴线位置
2 × D	78491	18 (朝 D 轴方向)	>H/300 或 >400 mm, 评定 Cu 级或 Du 级	未达到评为 Cu 级或 Du 级的要求
	78191	30 (朝 32 轴方向)		

续表

32 × E	79808	36 (朝 2 轴方向)	未达到评为 Cu 级或 Du 级的要求
	79629	37 (朝 U 轴方向)	
32 × U	78386	14 (朝 E 轴方向)	未达到评为 Cu 级或 Du 级的要求
	79997	21 (朝 3 轴方向)	
3 × V	79502	20 (朝 32 轴方向)	未达到评为 Cu 级或 Du 级的要求
	79456	40 (朝 D 轴方向)	

4.4. 建筑结构承载力及抗震分析

结构承载力验算不考虑地震因素的影响, 采用盈建科建筑结构设计软件, 建模验算混凝土墙、梁及板构件的承载力, 验算结果见表 5。由表 5, 墙、梁及板构件结构承载力均满足设计要求。表明该楼栋的承载力可以满足正常使用的载荷需求, 不影响结构安全。此外, 主体结构抗震承载力及其力学响应的验算成果(见表 6), 原结构振型规则、无明显刚度偏心、无局部振动异常。1#楼抗震能力满足国家相关技术标准要求。

Table 5. Table of structural bearing capacity verification results of Building 1

表 5. 1#楼结构承载力验算成果表

验算内容	验算结果	结论
墙构件承载力	$R/(\gamma_0 S) \geq 1.00$	满足设计
梁构件承载力	$R/(\gamma_0 S) \geq 1.00$	满足设计
板构件承载力	$R/(\gamma_0 S) \geq 1.00$	满足设计

Table 6. The main dynamic characteristic parameters of Building 1 structure

表 6. 1#楼结构主要动力特性参数

内容	参数	数值
自振周期 (周期折减系数)	第一平动周期(X 向)	$T_1 \approx 1.40 \text{ s}$
	第二平动周期(Y 向)	$T_2 \approx 0.35 \text{ s}$
	第一扭转周期	$T_t \approx 0.20 \text{ s}$
周期比(控制扭转效应)	T_1/T_t	$T_1/T_t \approx 0.14 < 0.9$
振型特点	第 1 振型	X 向整体平动, 振型光滑、无明显反弯点, 呈剪切 - 弯曲型
	第 2 振型	Y 向整体平动, 形态与 X 向接近, 两主轴刚度接近。
	第 3 振型	绕竖轴扭转, 扭转幅值很小, 仅顶层略有放大

4.5. 鉴定结论

1#楼建筑, 其地基基础及主体承重尚未受到损伤, 在正常外部载荷, 如常年季风和极端台风载荷作用下, 结构未发生超限偏移。建筑体仅是其附属结构、构造结构和装饰结果出现较为明显的损坏, 但该建筑主体结构安全性等级评定为 B_{su} 级, 同时, 该建筑主体结构抗震能力满足国家相关技术标准要求。此外, 由于该楼栋出现整体性的非承重构造结构和装饰构建病害, 主要是受到临近桥梁和河道施工的冲

击和低频载荷作用,使得具有一定使用年限的1#结构体构造部分和装饰部分发生开裂破坏,但是主体结构并未受损,仍可以安全使用。

5. 治理对策及措施

针对1#楼栋的工程病害,基于本研究的结论,可采取如下措施与对策:

1) 对该建筑存在缺陷的部位及钢筋锈蚀露筋的混凝土构件进行凿毛,后进行重新填补,并查找可能空鼓的装饰抹灰,及时清理并填补。

2) 对于外部墙体,其装饰层也可能存在空鼓脱落的风险,应当予以确认并及时铲除清理并修复。

3) 对于地下室中可能存在的地下水以及化学腐蚀现象,应当及时查明地下水路径,予以有效引排,保证地下室结构体和桩基础的安全。

6. 结论

1) 本研究针对具有代表性的普通高层建筑工程病害采用多种检测手段,分别从主体结构强度、抗震、设计、基础稳定性,楼层位移监测等方面开展调查。并综合多方面的检测成果,判断高层建筑的安全、稳定性。研究采用多种检测相互验证的方法,避免了单一检测带来的不确定性,保证检测的结果及结论的可靠性。

2) 该建筑最大的工程病害是地下室结构体受到临近河流与地下水的周期性水流补给和输泻,使得地下室周边侵蚀加剧,造成结构体的损坏。本研究成果是基于某普通高层工程病害的分析,对于全国大范围的普通高层的工程病害检测具有一定的参考和借鉴意义。

参考文献

- [1] 李永灿. 高层建筑地下室施工病害及监理控制要点分析[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(4): 180-182.
- [2] 高帅德. 高层建筑外墙渗漏成因及预防对策[J]. 佛山陶瓷, 2022, 32(11): 77-79.
- [3] 汤东航, 李博然, 王帅. 基于 AI 智能技术下建筑安全评价方法研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(9): 141-143.
- [4] 柳勇. 深填黄土区既有高层建筑纠倾加固技术分析与应用[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2019.
- [5] 朱福祿. 静压锚杆桩在建筑加固中的应用[J]. 科技信息, 2011(11): 349+416.
- [6] 全露锋. 浅谈锚杆静压桩在高层建筑病害工程桩加固中的应用[J]. 四川建材, 2006(3): 129-131.
- [7] 中国建筑科学研究院. GB 50011-2010 建筑抗震设计规范(2016 年版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [8] 福建省建筑科学研究院. CECS 293-2011 房屋裂缝检测与处理技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [9] 山东省建筑科学研究院有限公司. DB37/T 5170-2020 动能回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2020.
- [10] 中国建筑科学研究院. GB 50223-2008 建筑工程抗震设防分类标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [11] 中国建筑科学研究院. 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.