

城市更新背景下既有建筑结构鉴定关键技术研究

庞桂彬 王君

北京紫衡轩建筑工程检测有限公司, 北京 102400

[摘要]在我国城市化进程中,从增量建设到存量提质转变,城市更新对于既有建筑结构鉴定要求越来越高。此文主要针对城市更新中既有建筑结构鉴定关键技术问题进行总结,在检测技术上主要介绍无损检测以及结构健康监测技术应用优势,在评估方法上主要就结构力学性能评估、数值模拟分析以及风险等级划分等方面进行阐述。结果表明,面向城市更新结构鉴定不应局限于传统安全等级评定,而应该考虑满足改造需求同时保证结构性能要求,在此基础上对鉴定技术进行改进提高。

[关键词]城市更新;既有建筑;结构鉴定

DOI: 10.33142/ucp.v3i1.19219

中图分类号: TU318.3

文献标识码: A

Research on Key Technologies for Structural Appraisal of Existing Buildings under the Background of Urban Renewal

PANG Guibin, WANG Jun

Beijing Zihengxuan Construction Engineering Testing Co., Ltd., Beijing, 102400, China

Abstract: In the process of urbanization in China, from incremental construction to stock improvement, urban renewal has increasingly high requirements for the identification of existing building structures. This article mainly summarizes the key technical issues in the identification of existing building structures in urban renewal. In terms of detection technology, it mainly introduces the advantages of non-destructive testing and structural health monitoring technology applications. In terms of evaluation methods, it mainly elaborates on structural mechanical performance evaluation, numerical simulation analysis, and risk level classification. The results indicate that the identification of urban renewal structures should not be limited to traditional safety level assessment, but should consider meeting the needs of renovation while ensuring structural performance requirements, and improve the identification technology on this basis.

Keywords: urban renewal; existing buildings; structural identification

引言

如今,我国建筑业已由大建设向大规模运维转变。现有建筑规模达到 600 亿 m^2 , 其中约 30%~50% 存在不同程度的安全性下降或者功能性退化问题,需要进行检测评定加固。城市更新对结构鉴定提出了更高的要求:鉴定结果是评价建筑物当前状况的重要参考,同时又是判断是否可以改造的技术依据。但是由于缺少图纸资料、结构老化严重以及改造需求多样化等原因导致传统的鉴定方式不能完全满足要求。因此本文主要针对当下城市更新背景下既有建筑结构鉴定的关键技术进行研究,主要是对检测技术和评价方法这两方面的内容进行分析总结,以期给实际工作起到一定的借鉴作用。

1 城市更新与既有建筑改造需求分析

城市更新包括老旧小区改造、工业遗存活化、历史建筑保护及功能提升等不同形式,在不同的改造形式中对于结构鉴定有不同的技术要求。老旧小区改造主要包含增加电梯、管线更换等工作,在鉴定时要着重考虑结构布置方式、构件连接情况、损坏程度以及变形位移等问题;工业遗存活化一般有加层、抽柱、开洞等空间重塑过程,会对原有结构受力产生较大影响,在鉴定时需要改造设计方

案进行可行性和安全性评价;而历史建筑保护必须以保持原有的面貌为原则进行结构评估,在鉴定过程中既要考虑到文物保护又要保证结构安全。既有建筑结构鉴定遇到的主要问题有以下几点。首先,很多老房子没有原始图纸资料,只能通过现场测量来估算出一些参数,这对检测的技术水平以及细致程度都有很高的要求。其次,由于年久失修或者自然老化,材料的老化是不可避免的现象,而且这种老化往往是缓慢的、渐进的过程,在一般性的检测中很难发现其中的风险所在。第三,在改造以前需要对当前的安全状况进行评价的同时还要预测到以后改建过程中乃至改建以后使用期间可能存在的问题,因此要求鉴定报告要有预见性和指导性。第四,由于涉及到改造的设计、施工等环节,因此鉴定的结果要能够服务于后续的改造设计工作。针对以上问题,迫切需要开发符合城市更新需求结构鉴定关键技术,让鉴定工作由单纯的结构安全性评价提升到全面、系统的鉴定水平。

2 既有建筑结构检测技术

2.1 无损检测技术

无损检测方法是目前建筑物结构检测主要方式之一,由于它可以避免对原有结构造成任何损坏而获取结构参数及缺陷信息,在城市更新改造过程中发挥着重要作用。

应力波无损检测方法也是其中一种重要方法,主要有音波回音法、超震波法以及敲击回音法等。实验表明,使用超震波法得到基桩深度一般都比音波回音法大一些,但是二者相差不大,通常都在7%以内,所以音波回音法与超震波法测量结果较为接近,可以相互参照以检查桥梁基桩深度。另外,利用敲击回音法定测楼板及连续墙厚度后与设计图纸对比,误差仅为4.33%,表明非破损检测可以得到较高准确度的结构尺寸信息。混凝土结构非破损检测技术是最常用的一种,包括混凝土强度检测、缺陷检测以及钢筋分布检测等。回弹法是根据混凝土表面硬度来推测混凝土强度大小的方法,简单易行但是受到脱碳层的影响较大;超声法是基于声波在混凝土中传播的速度来判断混凝土密实程度或者存在缺陷的位置;雷达法则是在电磁波被混凝土反射之后来确定钢筋的位置及保护层厚度。不同类型的检测方法应用场合及准确度不同,在具体工程中要根据检测目的及现场情况合理选择(见表1)。

表1 常用无损检测技术适用范围与精度对比

检测技术	适用结构	检测参数	优点	局限性	典型精度
回弹法	混凝土结构	抗压强度	操作简便、成本低	受碳化、表面状况影响	相对误差±5%
超声法	混凝土、砌体	内部缺陷、弹性模量	可探测内部状况	耦合要求高、受钢筋干扰	缺陷定位±5cm
雷达法	混凝土、砌体	钢筋位置、保护层厚度	成像直观、速度快	解析复杂、深度受限	定位±1cm
音波回音法	基桩、楼板	长度、厚度、完整性	信号稳定、重复性好	无法施作时需替代方法	深度误差<5%
超震波法	基桩、岩体	深度、波速	穿透能力强	现场条件限制较多	与音波法差异<7%
敲击回音法	楼板、墙体	厚度、内部缺陷	单面检测、操作灵活	波形解析需经验	厚度误差4.33%
红外热成像	围护结构、饰面	空鼓、渗漏	大面积快速扫描	环境条件依赖性较强	定性为主
三维激光扫描	整体结构	变形、尺寸	高精度点云数据	设备昂贵、数据处理量大	毫米级精度

2.2 结构健康监测技术

结构健康监测系统结合传感器网络、数据采集以及信号处理等手段,对现有建筑物进行实时在线检测,为城市更新改造提供数据基础。由于大量的存量建筑尤其是老旧低层楼房、结构复杂的高层建筑和大跨度公共建筑,依靠传统的人工检查已经不能保证建筑的安全性。利用结构健康监测技术可以使得房屋的管理由人防到技防再到智防。根据其监测对象的不同又可以分为局部监测和整体监测。局部监测主要是对某个部位或者某几个部位进行检测,一般使用应变片、裂缝计、位移计等传感器获得这些部位的响应;整体监测主要针对整个结构的整体变形以及动力特性进行观测,采用GPS、全站仪、倾角仪等对地面沉降、

倾斜、振动等进行观测。施工扰动期间的监测非常重要,在施工过程中对于拆除、加固、加建等工作都会造成结构内部受力变化,而这些都可以通过监测来发现异常变形情况,保证施工安全。对长期荷载下的变形监测主要是为了了解建筑物在投入使用后一段时间内的工作状态变化情况,以便采取相应的维修措施。而近几年来,天空地一体化监测方法得到了很大的发展,通过对SAR卫星的数据分析可以得到城市中大量建筑物上的稳定散射体,据此可以找到危险地点,再配合实地查看和裂缝记录就可以大大降低对整个城市范围内房屋的安全检查的工作量。湖南大学的研究人员在干涉相位模型中增加一个温度项,克服了传统的永久散射体干涉测量方法不能很好地反演高层建筑复杂非线性的温度变形问题,利用差分干涉测量及结构识别的方法,将热致变形从整体变形中剔除出来,从而可以对大跨空间结构的异常进行识别以及预警。这一体系包括天眼卫星、鹰眼无人机、地网传感器等多种类型的监测手段,为城市的建筑群的安全监测提供了一个新的思路。

3 结构性能评估与分析方法

3.1 结构力学性能评估

结构力学性能评价是在已有检测数据基础上,对既有建筑物承载能力、刚度以及变形能力等方面进行评价的过程。而城市更新过程中的力学性能评价有三个特点:评价对象大多是使用年限较长建筑物,建筑物所用材料性能有所下降;评价目的是不仅要保证目前建筑物安全使用,还要考虑其今后使用受力情况;评价方法既要符合规范又要反映实际情况。对于现状材料力学性能反演评价是重点部分。根据检测得到材料强度、截面尺寸、配筋等信息,将其代入到相应的力学模型中求解出构件抗力以及整个结构反应。依据《既有建筑鉴定与加固通用规范》要求,对主体结构现状进行检查,主要内容有结构体系布置、构件连接、缺陷损伤以及位移变形等。在检测过程中要重视结构整体性的判断,如抗侧力构件布置是否规则,结构连接形式如何,各部分之间是否能够协调一致等。考虑损伤累积对结构剩余寿命进行估算属于力学性能分析的一个重要方面。由于在使用过程中,由于疲劳、腐蚀、徐变等因素的作用使材料力学性能下降,从而导致结构承载能力降低,在此基础上利用退化的特性建立结构在一定时期内的性能变化的趋势,确定该结构在此期间的安全性,进而为后续的维修加固提供依据。

3.2 数值模拟与有限元分析技术

数值计算、有限元分析方法是现有建筑物结构检测的重要工具,可以对复杂的受力情况进行分析,预测改造对建筑物的影响。而利用实际测试结果修正模型是保证分析可靠性的前提条件之一。通过模态分析得到在环境振动测试中建筑物的频率以及振型来调整有限单元法中的材料性质,使得模型的模态特性与实际情况一致。由文献^[1]可知,修正后的材料性质与经验值差别很大,说明进行实际测试后修正模型很有必要。改造施工过程的仿真分析也是数值计算的应用。加层改造要分析增加重量给原有地基带来压力、内力重新分

配以及节点受力情况；抽柱改造属于结构体系发生改变，需要考虑传力途径变化，保证临时支撑和永久加固可行性。复杂的受力情况下进行非线性计算是有限元方法一大难题。在古建筑修缮过程中要考虑砌体非线性、材料非均匀性和损伤积累问题。离散元法可以模拟砌块与灰缝之间相互作用以及裂缝扩展情况，有利于古建筑修复工作。

3.3 风险等级划分与可靠性分析

风险等级划分和可靠性分析是既有建筑结构鉴定工作的最后一环，把检测数据、鉴定结论以风险等级的形式展现出来并提出相应的处理意见给后续修缮改造提供参考依据。风险等级一般采用多层次综合评价的方法，从结构安全、适用性和耐久性等方面对构件进行打分评价^[2]。根据《农村住房安全性鉴定技术导则》，房屋各部分危险性划分为4个等级，即a、b、c、d；房屋整体危险性也划分为4个等级，即A、B、C、D。这样既能反映构件自身的损坏情况又能体现整个房屋共同受力的情况。可靠性分析是以概率的观点来评价系统在一定的时间内，在一定的条件下完成预定功能的可能性大小。而传统的可靠性分析是基于可靠度的概念进行，考虑的是荷载效应以及结构抗力都是具有随机性分布的特点。而对于现有的建筑物来说，需要考虑到材料的老化以及历史上的荷载等因素的影响，因此需要引入时变可靠度的概念。国家自然科学基金重点项目对混凝土结构的抗力退化以及钢筋的锈蚀等问题进行了研究并提出了一个基于可靠度的方法来进行已有结构健康状态评价的新体系（如表2所示）。

表2 既有建筑结构风险等级评定指标体系与处理建议

风险等级	结构状态描述	评定指标	检测数据特征	处理建议
A级	结构安全	无危险点；承载力满足规范要求；无明显变形损伤	材料强度达标；裂缝宽度<限值；沉降稳定	正常使用，定期检查
B级	基本安全	个别构件处于危险状态，但不影响主体结构安全；承载力基本满足	局部裂缝超限；个别构件轻微损伤；整体变形在允许范围	针对性维修，加强监测
C级	局部危险	部分承重结构不满足安全使用要求，局部出现险情	关键构件承载力不足；明显不均匀沉降；局部损伤严重	立即加固，限制使用荷载
D级	整体危险	承重结构整体不满足安全要求，出现整体险情	多项承载力严重不足；结构整体倾斜超限；基础不稳定	停止使用，整体加固或拆除

风险等级划分中最主要的问题在于指标权重以及界限值如何设定。不同类型、不同用途、不同翻新目的条件下的各个评价指标的重要性是不一样的。比如对历史文化建筑而言，其建筑文化价值比建筑结构性能更重要，而在人员密集场所中，安全性能是第一位的。在对房屋各部分进行危险性评估时是以最严重的情况来决定该部分危险性，这是为了保

证评估结果的安全余地，但是在对整个建筑风险进行评价时，则需要考虑到各个部分之间的相互影响以及结构的整体冗余性以免由于某一部分的问题而夸大整体的风险程度。

4 关键技术发展趋势与创新

现有建筑结构检测技术向数字化、智能化、系统化迈进。天空地一体化监测技术应用于大范围城市建筑安全管理。以遥感卫星监测为基础，利用无人机进一步勘察以及地面布设各种传感器进行测量，多层次、全方位、无死角覆盖建筑安全问题检查，大大降低人工劳动强度，增强隐患发现效率和全面性^[3]。借助大数据分析其原因分析得出的风险预警以及根源分析报告可作为政府相关部门制定相应措施重要参考意见。基于性能评估方法代替单纯以安全为标准评价方式。针对城市更新中的各种不同的改造目的，在鉴定时要根据不同改造后使用的功能、设计使用年限、抗震设防目标等进行分类设置相应的评价指标及验收条件。对于改变用途的项目要考虑到新功能对于荷载、振动、防火等方面的要求；而对于历史建筑来说，在保证原有风貌的前提下也要满足现在使用安全性的问题。标准规范的不断改进和完善以及鉴定技术的进步是相互促进的关系。不断的总结经验、研究出更加合理完善的标准、然后再应用到工程实际中去的工作思路，使得鉴定工作越来越规范，从而更好的服务于城市更新。

5 结语

城市更新过程中，既有建筑结构鉴定是保证改造安全、优化设计方案、延长使用寿命的重要手段和技术措施。本文针对面向城市更新的结构鉴定关键技术问题进行了总结梳理，从检测技术和评价方法两个方面进行论述，在检测技术上对无损检测和结构健康监测技术应用的特点进行了介绍，在评价方法上对力学性能评价、数值分析以及风险等级划分的主要内容进行了阐述。结果表明，符合城市更新要求的鉴定技术不能局限于以往的方法，而应该构建检测—评价—决策一条龙的技术路线，并逐步使鉴定工作由主观到客观，由静止到动态，由单一到全面。依托天空地一体化监测、人工智能评价、数字孪生等新技术发展，未来的既有建筑结构检测工作将会越来越先进、便捷、智能化，对城市更新起到很好的促进作用。

[参考文献]

- [1]袁阳光.住宅建筑结构安全检测及结构加固分析[J].居舍,2025(36):40-43.
 - [2]王玉艳,周建.建筑结构抗震性能检测与鉴定研究[J].广东建材,2025,41(12):69-72.
 - [3]张凌烽.建筑物结构安全性评估与检测鉴定研究[J].江西建材,2025(11):341-343.
- 作者简介：鹿桂彬（1990.11—），毕业院校：北京工业大学通州分校，所学专业：建筑工程技术，当前工作单位：北京紫衡轩建筑工程检测有限公司，职务：鉴定事业部副总经理，职称级别：初级。