

建筑工程主体结构检测方法探讨

李斌

青岛信泰融汇投资有限公司 山东 青岛 266000

摘要：随着城市化进程的加快与建筑技术的持续革新，建筑工程主体结构的质量安全愈发受到重视。主体结构作为建筑物的核心支撑，其稳固性直接关系到整体安全与使用寿命。因此，科学有效的检测方法成为保障工程质量的关键。本文旨在深入探讨建筑工程主体结构的多种检测技术，包括无损检测、微破损检测及综合评估体系等，分析其原理、应用范围及优缺点，以期为提升建筑工程质量检测水平提供参考与借鉴。

关键词：建筑工程；主体结构；检测方法

引言：在建筑工程领域，主体结构作为建筑物的根基与骨架，其质量优劣关乎整个工程的安全性及耐久性。随着建筑行业的蓬勃发展，各类复杂结构不断涌现，对主体结构检测的精准度与全面性提出了更高要求。传统检测方法虽有一定成效，但存在局限性，难以满足当下需求。在此背景下，深入探讨创新且有效的建筑工程主体结构检测方法，对保障工程质量、推动行业健康发展意义重大。

1 建筑工程主体结构检测技术概述

1.1 主体结构检测的定义与分类

(1) 定义：建筑工程主体结构检测是保障工程质量与使用安全的核心环节，指采用专业技术手段，对建筑主体结构中的混凝土、钢结构、砌体等关键构件，开展强度、刚度、稳定性及耐久性等核心性能指标的检测评估，为工程验收、安全鉴定、维修加固等提供科学依据，贯穿建筑全生命周期。(2) 分类：按检测手段可分为破坏性检测与非破坏性检测。破坏性检测需对构件进行局部破损取样，如混凝土钻芯取样检测，数据精准但会影响结构完整性；非破坏性检测无需损伤构件，应用更广泛。按检测对象可分为材料检测、构件检测与整体结构检测，材料检测聚焦原材料性能，构件检测针对单个主体构件，整体结构检测关注结构整体受力与稳定性^[1]。

1.2 检测技术的发展历程

(1) 传统检测方法的局限性：早期以回弹法、钻芯法为代表，回弹法易受构件表面状态影响，检测精度有限；钻芯法虽精度较高，但属于破坏性检测，适用范围受限，且检测效率低、无法实现大面积普查，难以满足现代建筑工程高效、全面的检测需求。(2) 现代无损检测技术的兴起：随着科技进步，超声波检测、红外热成像检测、雷达扫描等现代无损检测技术逐步兴起。这类技术无需损伤结构，检测效率高、覆盖范围广，可实

现对构件内部缺陷的精准识别，部分技术还能实现智能化、自动化检测，大幅提升了检测的科学性与时效性，推动建筑工程主体结构检测技术向高效、精准、无损化方向发展。

2 建筑工程主体结构检测方法

2.1 传统检测方法

(1) 回弹法：原理基于混凝土表面硬度与抗压强度的相关性，通过回弹仪弹击混凝土表面，测量弹击后重锤的回弹值，再结合混凝土碳化深度等参数，推算混凝土抗压强度。适用范围主要为普通混凝土结构的强度普查，尤其适用于大面积、非破坏性的初步检测。优点是操作简便、检测速度快、成本低，对结构无损伤；缺点是检测结果受混凝土表面状态、碳化深度、骨料品种等因素影响较大，精度相对较低，不适用于表面破损或特殊配比混凝土的检测。(2) 钻芯法：操作流程需先根据检测方案确定取样位置，采用专用钻芯机在结构上钻取圆柱形混凝土芯样，随后对芯样进行切割、磨平处理，再通过压力试验机测试其抗压强度。数据修正需结合芯样尺寸偏差、含水率、龄期等因素，依据规范公式对测试结果进行调整。该方法对结构存在一定损伤性，取样部位会破坏混凝土原有整体性，需在检测后对孔洞进行修补，因此适用于对回弹法等检测结果的验证，或对结构关键部位强度的精准检测^[2]。(3) 静载试验：加载方式分为分级加载和一次性加载，实际检测中多采用分级加载，通过千斤顶、配重等加载装置向结构或构件施加荷载，直至达到设计荷载或极限荷载。变形监测需在加载过程中，利用位移计、应变计等仪器实时采集结构的位移、应变数据，记录荷载与变形的对应关系。结果分析需对比实测数据与设计计算值，判断结构的承载能力、刚度及稳定性是否满足要求，适用于大型构件、重要结构的承载能力评估，优点是结果直观可靠，缺点是

检测周期长、成本高,对检测环境和设备要求严格。

2.2 无损检测技术

(1) 超声波检测:核心原理是利用超声波在混凝土中的传播特性,混凝土强度越高,超声波传播速度越快,通过测量声速可推算混凝土强度;同时,当超声波遇到裂缝、孔洞等缺陷时会发生反射、折射,导致声时延长、振幅衰减,据此可实现缺陷的定位与尺寸判断。该技术适用于混凝土内部缺陷检测和强度评估,具有检测范围广、对结构无损伤的优点,缺点是受钢筋布置、混凝土含水率影响较大,对操作人员技能要求较高。

(2) 红外热成像检测:基于热传导模型,利用红外热像仪捕捉结构表面的温度分布图像。当结构存在裂缝、空鼓等缺陷时,缺陷部位与正常部位的热传导效率不同,会在表面形成温度差异,通过分析温度场分布可识别缺陷位置和范围。适用于建筑墙体、屋面的空鼓、裂缝检测,以及钢结构的锈蚀检测,优点是检测效率高、可实现大面积快速扫描,缺点是检测结果受环境温度、日照、风速等外界因素影响显著,不适用于隐蔽性极强的内部缺陷检测。(3) 雷达扫描检测:依据电磁波反射原理,雷达发射的高频电磁波穿透混凝土结构,当遇到钢筋、孔洞、裂缝等不同介质界面时,电磁波会发生反射,通过接收反射波的传播时间、振幅等参数,可判断介质的分布情况。主要用于混凝土结构中钢筋的定位、保护层厚度测量,以及混凝土密实度分析和内部缺陷检测,优点是检测速度快、分辨率高,缺点是易受电磁干扰,对大深度缺陷检测精度较低,检测结果解读难度较大^[3]。(4) 光纤传感技术:利用光纤的光弹效应和热光效应,当光纤受到应变或温度变化时,其传输光的相位、强度等参数会发生改变,通过解调设备获取这些参数变化,实现对结构应变和温度的实时监测。该技术具有长期稳定性好、抗干扰能力强、测量精度高的优点,适用于大型结构的长期健康监测,可实现多点分布式监测,缺点是初始安装成本高,光纤布设需结合施工进度,对施工工艺要求较高。

2.3 新兴智能检测技术

(1) 基于机器视觉的裂缝识别技术:通过高清摄像头采集结构表面图像,利用图像处理算法对图像进行预处理,去除噪声干扰,再通过边缘检测、特征提取等算法识别裂缝的位置、长度、宽度等参数。该技术实现了裂缝检测的自动化,大幅提升了检测效率,减少了人工主观误差,适用于建筑墙体、桥梁等结构的表面裂缝检测,目前正朝着高精度、实时性的方向发展,可与移动检测设备结合实现现场快速检测。(2) 无人机倾斜摄

影在结构外观检测中的应用:利用无人机搭载倾斜摄影相机,从多角度、多方位对结构外观进行图像采集,结合摄影测量技术生成结构的三维模型。通过对三维模型的分析,可全面识别结构表面的裂缝、锈蚀、掉块等缺陷,适用于高层建筑、大跨度桥梁、烟囱等高空、高危区域的结构外观检测。该技术不仅提升了检测的安全性和效率,还能为后续的结构评估和维修提供直观的三维数据支撑^[4]。(3) BIM(建筑信息模型)与检测数据的融合分析:将检测过程中获取的强度、缺陷、应变等数据与BIM模型进行关联,使检测数据可视化、结构化。通过BIM模型可直观展示检测点的位置、检测结果,还能利用BIM的模拟分析功能,结合检测数据对结构的安全性和耐久性进行预测评估。该技术实现了检测数据的有效管理和深度应用,为结构全生命周期的健康监测和维护提供了一体化解决方案,目前已在大型工程项目中逐步推广应用。

3 建筑工程主体结构检测方法的选择与影响因素

3.1 检测方法选择原则

(1) 匹配检测目的:验收检测需优先选择精度高、规范性强的方法,如钻芯法、静载试验,确保数据符合设计及规范要求;损伤评估应结合无损检测与局部破损检测,如超声波检测配合钻芯法,精确定位缺陷并评估损伤程度;耐久性监测则需选用长期稳定、抗干扰的技术,如光纤传感技术,实现对结构性能动态变化的持续追踪。(2) 适配结构类型:混凝土结构优先选用回弹法、超声波检测等成熟技术,针对关键构件可补充钻芯法验证;钢结构需侧重焊缝质量与钢材力学性能检测,可选用超声波探伤、磁粉检测等方法;木结构重点检测腐朽、虫蛀及节点强度,适合采用声发射检测、微波检测等无损手段,避免对木质构件造成额外损伤。(3) 契合环境条件:高湿度环境下需避免选用易受水汽影响的检测方法,如雷达扫描检测需做好防潮防护;高温环境下应选用耐高温的检测设备与技术,保障数据稳定性;存在强电磁干扰的区域,需规避电磁类检测方法,优先选择光学类技术如光纤传感、机器视觉检测等。

3.2 关键影响因素分析

(1) 平衡检测精度与成本:高精度检测如静载试验、钻芯法虽能提供可靠数据,但存在耗时久、成本高的问题;常规无损检测如回弹法、红外热成像检测效率高、成本低,但精度有限。实际选择需结合项目需求,在满足检测目的的前提下,实现精度与成本的最优平衡,避免过度检测或检测不足。(2) 考量操作人员技能水平:复杂检测技术如BIM融合分析、无人机倾斜摄影

检测等,对操作人员的专业素养和实操能力要求较高,需具备设备操作、数据处理及模型分析等综合能力;若操作人员技能不足,易导致设备误用、数据误判。因此需根据现场人员配置情况,选择适配技能水平的检测方法,或提前开展专业培训。(3)关注检测设备精度与校准周期:检测设备的精度直接决定数据可靠性,如回弹仪、超声波检测仪等需定期按规范完成校准,确保误差在允许范围内;若设备超期未校准或精度不达标,会导致检测结果失真,影响结构评估结论。选择检测方法时,需同步核查设备校准状态,优先选用精度达标且处于有效校准周期内的设备对应的检测技术^[5]。

4 建筑工程主体结构检测技术发展趋势与挑战

4.1 技术发展趋势

(1)多技术融合:不同检测技术的交叉融合成为主流方向,如无人机搭载AI图像识别系统,实现高空结构外观缺陷的自动巡检与精准识别;超声波与雷达扫描技术结合,提升混凝土内部缺陷检测的全面性与精度,多技术协同突破单一技术的应用局限,大幅提升检测效率与可靠性。(2)实时在线监测系统的普及:依托物联网、无线传感等技术,实时在线监测系统逐步替代传统离线检测。该系统可24小时不间断采集结构应变、温度、位移等数据,通过云端平台实现数据实时分析与预警,为结构安全运维提供动态支撑,在大型基建、高层建筑中应用日益广泛。(3)绿色检测技术:低能耗、无辐射的绿色检测技术受关注度提升。研发低功耗传感设备、优化检测流程降低能源消耗,推广光学类、声波类等无辐射检测技术,减少检测过程对环境 and 人体的影响,契合建筑行业绿色低碳发展理念。

4.2 现存挑战与对策

(1)复杂结构检测的标准化问题:异形、大跨度等复杂结构检测缺乏统一标准,导致检测结果可比性差。

对策是加快制定专项检测规范,明确复杂结构的检测流程、技术参数与评价指标,推动检测工作规范化、标准化。(2)大数据与人工智能在检测中的应用瓶颈:检测数据海量且碎片化,AI算法对缺陷特征的识别精度受数据质量影响大。对策是建立统一的数据共享平台,规范数据采集标准,加强算法训练与优化,提升AI对复杂场景的适应能力。(3)检测人员专业能力提升路径:新兴技术对检测人员综合素养要求高,现有人员技能难以匹配。对策是构建多层次培训体系,开展校企合作定向培养,结合实操演练与线上课程,提升人员对智能设备、数据分析技术的应用能力。

结束语

建筑工程主体结构检测是保障工程质量与安全的关键环节。通过对多种检测方法的深入探讨,我们认识到每种方法都有其适用场景与优势,也存在着一定的局限性。在实际应用中,需结合工程具体情况,综合运用多种检测手段,以获取更全面准确的结果。未来,随着科技的不断进步,检测技术将愈发先进智能,我们应持续探索创新,提升检测水平,为建筑工程的高质量发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1]陈宁.建筑工程主体结构质量检测的有效对策[J].工程管理,2020,1(11):67-68.
- [2]贺忠明,陈航.建筑工程主体结构质量检测方法研究[J].绿色环保建材,2020(11):167-168.
- [3]武兆魁.建筑工程主体结构质量检测内容及方法分析[J].福建建材,2023(04):18-22.
- [4]徐栋.建筑工程建设中的主体结构检测分析[J].安徽建筑,2022,29(12):176-177.
- [5]郑俊升.建筑工程主体结构质量检测技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2022(31):49-51.