

# 建筑工程无损检测技术研究

肖程

楷德电子工程设计有限公司 四川 成都 610000

**摘要：**建筑工程无损检测技术对于保障建筑质量与安全意义重大，本文首先阐述建筑工程在保障生命安全、支撑社会稳定、驱动经济发展方面的重要性，接着介绍超声波、射线、红外热成像、磁粉检测技术的原理、优劣势及应用场景。而后从人员、设备、环境、检测方法与操作四个维度，探讨无损检测的精度控制措施，强调通过系统化管理确保检测结果准确可靠，为建筑结构全生命周期安全管控提供技术支持。

**关键词：**建筑；结构工程；无损检测技术

## 引言

建筑工程工程的安全性是保障生命、维护社会稳定及推动经济发展的基石。然而，结构内部缺陷隐蔽性强，传统检测方法局限性大，难以满足现代工程需求。无损检测技术凭借其非破坏性、高精度及高效性，在建筑结构检测中发挥着关键作用。本文深入探讨了建筑工程的重要性，详细介绍了超声波、射线、红外热成像及磁粉检测技术，并从人员、设备、环境及检测方法等方面提出了精度控制策略，旨在为建筑结构安全检测提供科学指导。

## 1 建筑工程的重要性

第一，保障生命是建筑工程最根本的职能。作为建筑物承载各类荷载的主体框架，结构安全性直接决定人员安全。在自然灾害如地震、台风或突发事故如火灾、爆炸发生时，符合安全标准的建筑结构通过有效分散荷载、抵抗外力作用，为人员提供生存空间，避免因结构失效导致的倒塌事故。若结构存在设计缺陷或施工隐患，在灾害冲击下极易引发连锁性破坏，造成大规模人员伤亡。第二，建筑工程对社会稳定具有基础性支撑作用。建筑质量不仅关乎个体安全，更影响群体安全感与社会秩序。大规模结构事故会引发公众恐慌，削弱社会信任体系，而高质量建筑通过可靠的性能表现增强公众安全信心，维护社会和谐，同时桥梁、隧道等关键基础设施的结构安全直接关联城市运行效率，结构失效将导致交通瘫痪、公共服务中断，进而引发经济活动停滞。第三，建筑工程是经济发展的重要驱动力。作为国民经济支柱产业，建筑行业通过结构工程的质量管控直接影响建筑全生命周期价值。优质结构工程通过优化材料选用、施工工艺等环节，降低后期维护成本，延长建筑使用寿命，提升资产保值能力，将这种质量优势直接转化为市场竞争力，增强投资者信心，促进房地产市

场健康发展<sup>[1]</sup>。在工业领域，稳定可靠的建筑结构为生产设备提供安全运行环境，减少因结构问题导致的停工损失，保障产业链连续性，进而推动工业经济效率提升。

## 2 建筑工程中的无损检测技术

### 2.1 超声波检测技术

超声波检测技术其核心原理是利用超声波在材料内部传播时与不同界面相互作用产生的反射、折射及散射特性。当超声波在均匀介质中传播时，其传播路径与速度保持稳定，而遇到内部缺陷时，传播路径会发生偏移，同时反射波的幅度、频率和相位等参数产生显著变化。通过解析这些参数的动态特征，可精确定位缺陷的空间位置、测算其几何尺寸并判定缺陷类型。该技术具备高灵敏度特性，能够识别材料内部的微小裂纹、气孔及夹杂等缺陷；强穿透能力使其适用于厚截面构件的深度检测；高效扫描特性支持大面积快速检测流程；经济性优势体现在设备成本低且操作便捷；同时其无辐射特性确保了对人体及环境的无害性。该技术覆盖金属与非金属材料检测领域，在混凝土结构中可识别裂缝、空洞及不密实区等病害，在钢结构中可检测焊缝内部的气孔、夹渣及裂纹等缺陷<sup>[2]</sup>。通过量化分析反射波的时域与频域特征，不仅可以实现缺陷的三维定位，还可评估其严重程度，为结构安全性评估提供量化依据。

### 2.2 射线检测技术

射线检测技术作为建筑工程中重要的无损检测手段，依托X射线或 $\gamma$ 射线穿透材料时的吸收差异特性实现缺陷识别，当射线穿透材料时，不同密度区域对射线的吸收程度不同，若材料内部存在缺陷，其密度与周围基体存在差异，将导致缺陷部位射线吸收量改变，进而使透过该区域的射线强度产生变化，最终在检测器上形成与缺陷几何形态对应的影像，通过分析射线底片或数字图像中的影像特征即可判定内部缺陷的存在状态。该

技术优势在于成像直观,可清晰显示缺陷形状、尺寸及空间位置,尤其对气孔、夹渣等体积型缺陷具有较高检测精度,能为焊缝强度评估提供量化依据,但其局限性同样突出,射线辐射具有生物危害性,需建立多重防护体系保障操作安全;设备购置与维护成本高昂,且单次检测耗时较长;对薄壁构件或微小缺陷的检测灵敏度较低,易出现漏检情况。该技术主要应用于钢结构桥梁、压力容器等关键金属结构的焊缝质量管控,通过射线成像可精准识别焊缝内部的气孔、夹渣及裂纹等缺陷,确保焊接质量符合设计规范。

### 2.3 红外热成像检测技术

红外热成像检测技术作为建筑结构工程中基于红外辐射原理的非接触式无损检测手段,通过红外热成像仪采集物体表面发射的红外辐射能量并转换为可视化热图像,利用缺陷区域与正常区域导热性能差异导致的温度分布异常进行缺陷识别。当材料内部存在裂缝、脱空或保温缺陷时,热量传导路径发生改变,形成局部高温或低温区域,热像仪以不同色阶或灰度直观呈现温度差异,进而定位缺陷位置并推断其类型。该技术具有非接触、高效、可视化等优势,可在不破坏结构的前提下实现大面积快速检测,并通过温度场分析直观显示潜在缺陷分布<sup>[3]</sup>。但其检测精度受环境温度波动、物体表面发射率变化及风速干扰等因素影响,需在恒温无风条件下进行参数校准。在建筑领域,该技术广泛应用于外墙渗漏检测、保温层质量评估及混凝土结构内部损伤诊断,通过外墙表面温度场分析可识别渗水路径,检测保温层温度异常可定位空鼓区域,分析混凝土结构表面热传导特征可发现内部裂缝或脱空缺陷。

### 2.4 磁粉检测技术

磁粉检测技术的原理基于材料磁化后缺陷部位产生的漏磁场吸附效应。当铁磁性钢材被磁化时,若存在裂纹、发纹等缺陷,缺陷区域因磁导率显著低于周围基体,导致磁力线在缺陷界面发生畸变并逸出表面,形成可吸附磁粉的漏磁场。此时施加在材料表面的磁粉在漏磁场作用下沿缺陷走向聚集,形成与缺陷几何形态精确对应的可见磁痕,通过分析磁痕的分布特征即可判定缺陷位置、走向及类型。该技术具备操作简便、检测成本低、灵敏度高优势,可识别铁磁性材料表面及近表面0.1mm级微小缺陷,尤其对裂纹类线性缺陷具有优异检测性能。但其应用范围受材料属性严格限制,仅适用于碳钢、合金钢等铁磁性材料,对铝合金、铜合金等非铁磁性材料无效。在建筑领域,该技术主要用于钢结构构件的表面质量管控,重点检测焊缝表面、热影响区及母材基体的

裂纹缺陷,通过早期发现初始裂纹可有效预防应力作用下的缺陷扩展,尤其适用于桥梁、压力容器等承重结构的制造验收及服役期安全评估,其检测结果为结构完整性评价提供直接可靠的量化依据。

## 3 建筑结构工程无损检测的精度控制

### 3.1 人员因素控制

一是需强化专业培训,要求检测人员系统掌握各类无损检测技术的原理、操作规范及验收标准,培训内容须涵盖理论教学与实操训练,通过考核认证后方可独立开展检测工作,确保其具备规范操作能力。二是需注重经验积累,通过长期实践提升检测人员对复杂工况的应对能力,使其能根据材料特性、结构形式及环境条件动态调整检测参数,例如针对曲面构件或异形节点优化探头布置方式,在高温环境选择适宜耦合剂等,通过定期组织技术研讨与案例分析会促进经验共享,提升团队整体检测水平。三是需加强责任心培养,明确检测工作直接关系结构安全,要求操作人员严格遵循标准流程,规范填写原始记录并实施三级审核制度,确保数据可追溯性;同时通过职业道德教育强化质量意识,建立检测质量责任追溯机制,对因操作失误导致的漏检误判实施责任追究,倒逼检测人员以严谨态度对待每个检测环节。

### 3.2 设备因素控制

(1) 严格设备选型,依据检测对象材质特性、结构形式及检测标准要求,匹配对应检测技术的专用设备。重点评估设备关键性能指标,如超声波检测设备的频带宽度与穿透力、射线检测设备的辐射强度与成像分辨率、磁粉检测设备的磁化强度与磁粉吸附性等,确保设备检测灵敏度、测量范围及分辨率等参数满足工程检测精度需求,避免因设备性能不足导致漏检误判<sup>[4]</sup>。(2) 强化设备校准管理,建立全生命周期校准制度,依据国家计量规程与行业规范,制定周期性校准计划,对设备零点漂移、线性度、重复性等核心参数进行溯源校准,同步记录校准环境条件、校准数据及调整过程,形成可追溯的校准档案。对故障设备实施维修后,须经第三方计量机构复检合格方可重新启用,确保设备始终处于可靠工作状态。(3) 推进设备迭代升级,跟踪无损检测技术发展趋势,定期评估现有设备技术性能,对精度衰减、功能落后的设备制定淘汰计划,优先引进具备多技术融合、智能化分析、远程监控等功能的新型检测装备,通过设备升级提升检测数据采集精度与处理效率,为结构安全评估提供更可靠的技术支撑。

### 3.3 环境因素控制

第一,在温度控制上,针对红外热成像这类对温度

敏感的检测技术,要挑选环境温度波动幅度小的时段开展作业,同时避开阳光直射、大风、雨雪等不良天气状况。在作业过程中,需持续监测被检物体表面与所处环境的温差,保证温差处于设备能够正常工作的允许范围之内,防止因温度梯度过大而对热图像分析产生干扰,影响检测结果的准确性。第二,在湿度控制,对于超声波等湿度敏感型检测技术,要维持检测环境的相对湿度处于较低水平,避免水分对探头与构件之间的声耦合效果造成影响,进而引发信号衰减的问题。可采取使用防水型耦合剂、搭建临时干燥舱或者选择在天气晴朗时进行作业等措施,来降低湿度对检测工作的不利影响。若构件已经受潮,则需提前对其进行烘干处理,确保检测条件符合要求。第三,电磁干扰防控方面,射线检测、超声波检测等设备容易受到电磁场的干扰。要确保检测区域与高压线、大型电机等强电磁源保持足够的安全距离。对于精密检测场景,应采用铜箔屏蔽网或铝箔套管对检测线路进行包裹处理,同时让检测设备外壳可靠接地。若现场电磁干扰情况较为严重,必要时需暂停周边大型机电设备的运行,以此减少电磁干扰对检测设备的影响,保证检测工作能够稳定、准确地进行。

### 3.4 检测方法选择与操作控制

检测方法选择需基于检测对象材质特性、缺陷形态及检测标准要求综合判定,优先选用单一技术可覆盖检测需求的方法,对复杂结构或隐蔽缺陷采用多技术协同检测模式,如超声波与射线检测组合用于焊缝内部缺陷验证,磁粉与渗透检测互补用于表面裂纹筛查,通过技术互补提升缺陷检出率。操作流程控制须严格遵循技术规范,检测前需校准设备参数,根据材料厚度设置超声波检测频率、调整射线检测曝光参数;在检测中规范探头移动轨迹与扫描速度,确保磁粉检测磁化电流符合标

准;检测后实施双人复核机制,对关键数据交叉验证。数据管理环节要求完整记录检测时间、部位坐标、环境参数及原始信号,采用数字化采集系统存储检测图像与波形数据,建立结构唯一标识的电子档案。数据分析需依据标准图谱比对缺陷特征,通过信号幅度、当量尺寸等量化指标判定缺陷严重程度,对临界值数据实施三级评审制度<sup>[5]</sup>。检测报告应包含缺陷位置示意图、尺寸标注及处置建议,所有记录保存期限不低于结构设计使用年限,确保检测结果可追溯、可复核。

### 结语

综上所述,建筑结构工程无损检测技术作为保障建筑安全的关键手段,在建筑工程全生命周期中发挥着不可或缺的作用。通过合理运用超声波、射线、红外热成像、磁粉等多种检测技术,并从人员、设备、环境、检测方法 & 操作等多维度进行精准控制,能够全面提升无损检测的精度与可靠性。未来,随着技术的不断创新与进步,无损检测技术将更加智能化、高效化,为建筑工程的质量管控与安全评估提供更为坚实的技术支撑,推动建筑行业持续健康发展。

### 参考文献:

- [1]石琳菲.建筑结构工程质量检测的无损检测技术探究[J].石油工程建设,2025,47(3):24-26.
- [2]王浩.建筑工程主体结构混凝土强度无损检测技术研究[J].数字化用户,2025(8):127-129.
- [3]刘伟,程锦辉,张杰.无损检测技术在建筑工程检测中的应用研究[J].塑料包装,2025(2):43-45,196.
- [4]徐航.无损检测技术在建筑工程检测中的应用研究[J].智能建筑与工程机械,2024,6(5):88-90.
- [5]刘婷婷.建筑结构工程质量检测中的无损检测技术研究[J].建筑工程技术与设计,2020(7):2491.