

建筑工程无损检测技术的研究与应用

詹君宇

武汉市建筑工程质量安全中心 湖北 武汉 430000

摘要：建筑工程无损检测技术作为保障工程质量与安全的关键手段，近年来受到广泛关注。本文聚焦于建筑工程无损检测技术的研究与应用，阐述其在混凝土结构、钢结构、建筑材料等多方面的检测原理、方法及优势。通过对多种无损检测技术的对比分析，探讨其不同工程场景下的适用性。同时结合实际工程案例，展示无损检测技术在发现工程隐患、评估结构性能等方面的应用效果，为建筑工程无损检测技术的进一步发展与应用提供参考。

关键词：建筑工程；无损检测技术；研究；应用

1 无损检测技术

无损检测技术（NDT）是一门在不破坏被检测对象使用性能的前提下，借助物理、化学等手段，检测其内部及表面缺陷、结构、性能等特征的技术，在工业领域应用广泛。该技术种类丰富，常见的有超声检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测等。超声检测利用超声波在材料中的传播特性，可精准发现内部缺陷；射线检测通过射线穿透物体后的衰减差异成像，能直观呈现内部结构；磁粉检测针对铁磁性材料，借助缺陷处漏磁场吸附磁粉形成磁痕来指示缺陷；渗透检测则利用毛细作用，使渗透液渗入表面开口缺陷，经显像后显现缺陷痕迹。无损检测技术优势显著，能避免因破坏性检测导致的材料浪费和成本增加，保障产品完整性与安全性^[1]。在航空航天领域，确保零部件质量可靠；在石油化工行业，保障管道、容器等设备安全运行；在制造业中，提升产品质量和生产效率。随着科技发展，无损检测技术不断进步，向着自动化、智能化、高精度方向发展，如采用机器人进行自动化检测，利用人工智能算法提高缺陷识别准确率，为工业生产的安全与质量保障提供了更强大的技术支持。

2 建筑工程无损检测技术分类

2.1 声学检测技术

声学检测技术是建筑工程无损检测中应用较为广泛的一类方法，其原理基于声波在不同介质中的传播特性差异。超声波检测是声学检测的典型代表，超声波具有频率高、波长短、方向性好等特点，在混凝土等建筑材料中传播时，遇到缺陷（如裂缝、空洞等）会发生反射、折射和散射。通过分析反射波的时间、幅度等信息，可判断缺陷的位置、大小和形状。例如在检测混凝土构件内部缺陷时，可利用超声波换能器在构件表面发射和接收超声波信号，依据信号特征确定缺陷情况。声

发射检测则基于材料受力变形或断裂时会产生弹性波的原理，当建筑材料在荷载作用下出现损伤或裂纹扩展时，会发出声发射信号。通过在结构表面布置声发射传感器，实时监测信号特征，可评估结构的损伤程度和安全性。如在大型桥梁的健康监测中，声发射检测技术能够及时发现潜在的损伤风险。声学检测技术具有检测速度快、灵敏度高、对结构无损伤等优点，但受材料特性和环境因素影响较大，检测结果需要结合工程经验进行综合分析。

2.2 电磁检测技术

电磁检测技术利用电磁场与材料的相互作用原理，对建筑工程中的金属构件和部分非金属材料进行检测。涡流检测主要针对金属构件。当交流电通过线圈时，会在其周围产生交变磁场，若将线圈靠近金属构件，构件表面会产生感应涡流。涡流的大小、分布和相位会受到构件的电导率、磁导率、缺陷等因素的影响。通过检测涡流的变化，可判断构件表面和近表面的缺陷情况。例如在钢结构桥梁的检测中，涡流检测能够快速发现表面裂纹等缺陷^[2]。磁粉检测适用于铁磁性材料，在材料被磁化后，若表面存在缺陷，缺陷处会产生漏磁场，漏磁场会吸附磁粉形成磁痕，从而显示缺陷的位置、形状和大小。这种方法对表面和近表面缺陷的检测灵敏度高，操作简单，成本较低，常用于焊接接头的质量检测。电磁检测技术具有检测效率高、适用范围广等优点，但对于非金属材料 and 深部缺陷的检测能力有限。

2.3 光学检测技术

光学检测技术借助光学原理和方法，对建筑工程的表面和内部结构进行检测。激光全息检测利用激光全息干涉原理，通过记录物体变形前后的全息图，并进行干涉处理，可得到物体的变形场和应力分布情况。在检测建筑结构的变形和损伤时，激光全息检测具有高精度、

非接触等优点,能够直观地显示结构的变形形态。红外热成像检测基于物体热辐射原理,当建筑材料存在缺陷时,其热传导性能会发生变化,导致表面温度分布异常。红外热成像仪可以检测到这些温度差异,并以图像的形式显示出来。通过对热图像的分析,可判断缺陷的位置和范围。光学检测技术具有直观、快速等优点,但设备成本较高,对环境条件要求较为严格。

2.4 射线检测技术

射线检测技术利用射线(如X射线、 γ 射线)穿透物体的特性,对建筑工程的内部结构进行成像检测。当射线穿过被检测物体时,由于不同材料对射线的吸收能力不同,射线会发生不同程度的衰减。在物体的另一侧放置探测器,接收透过物体的射线,并将其转换为电信号,经过处理后形成图像。通过分析图像,可清晰地看到物体内部的缺陷情况,如混凝土中的空洞、钢筋的位置和锈蚀情况等。射线检测技术具有成像直观、检测结果准确可靠等优点,能够对物体的内部结构进行全面检测,射线对人体有一定的辐射危害,检测过程中需要采取严格的防护措施。射线检测设备价格昂贵,操作复杂,检测成本较高。

3 建筑工程无损检测技术的应用

3.1 在混凝土结构检测中的应用

混凝土结构是建筑工程中最为常见的结构形式之一,其质量直接关系到建筑物的安全性和耐久性。无损检测技术在混凝土结构检测中发挥着重要作用。超声波检测是混凝土结构检测的常用方法,它利用超声波在混凝土中的传播特性,能够检测混凝土内部的缺陷,如裂缝、空洞、不密实区等。通过测量超声波的传播时间、波幅和频率等参数,可以判断缺陷的位置、大小和形状。例如,在检测混凝土梁的内部质量时,超声波检测可以准确发现梁体中存在的裂缝或空洞,为后续的维修和加固提供依据^[3]。回弹法检测也是一种广泛应用于混凝土强度检测的无损技术,该方法通过测量回弹仪在混凝土表面弹击后的回弹值,结合混凝土的碳化深度,推算出混凝土的抗压强度。回弹法操作简单、快捷,适用于大量混凝土构件的强度检测,能够快速评估混凝土结构的整体质量水平。钻芯法检测虽然属于半破损检测方法,但在某些情况下与无损检测技术结合使用,也能发挥重要作用。通过钻取混凝土芯样,可以直接观察混凝土内部的实际情况,如骨料分布、胶结情况等,同时对芯样进行抗压强度试验,验证其他无损检测方法的准确性。在混凝土结构质量存在疑虑时,钻芯法检测能够提供可靠的依据。红外热成像检测在混凝土结构检测中也

有应用。它可以检测混凝土表面的温度分布,发现由于内部缺陷(如潮湿、空洞)引起的温度异常,从而判断混凝土结构的质量状况。

3.2 在钢结构检测中的应用

钢结构具有强度高、自重轻、施工速度快等优点,在建筑工程中得到了广泛应用。无损检测技术对于确保钢结构的质量和安​​全至关重要。磁粉检测是钢结构表面缺陷检测的常用方法,当钢结构表面存在裂纹、夹渣等缺陷时,在磁化作用下,缺陷处会产生漏磁场,吸附磁粉形成磁痕,从而显示缺陷的位置、形状和大小。磁粉检测对表面和近表面缺陷的检测灵敏度高,操作简单,成本较低,常用于钢结构焊接接头的质量检测。超声波检测在钢结构检测中主要用于检测内部缺陷,如焊缝中的未熔合、未焊透、气孔等。超声波在钢结构中传播时,遇到缺陷会发生反射和折射,通过分析反射波的特征,可以判断缺陷的性质和位置。射线检测可以对钢结构的内部结构进行成像检测,直观地显示缺陷的形态和分布。射线检测对于检测钢结构中的裂纹、夹渣等缺陷具有较高的准确性,但检测成本较高,且对人体有一定的辐射危害,需要采取严格的防护措施。涡流检测适用于钢结构的表面和近表面缺陷检测,尤其对于导电材料具有良好的检测效果。它通过检测涡流的变化来判断钢结构是否存在缺陷,具有检测速度快、自动化程度高等优点。

3.3 在建筑材料检测中的应用

建筑材料的质量直接影响建筑工程的质量和性能,无损检测技术在建筑材料检测中也有着重要的应用。X射线荧光光谱分析是一种无损检测建筑材料成分的方法。它可以快速、准确地分析建筑材料(如水泥、砂石等)中的元素组成和含量,为材料的质量控制提供依据。例如,在检测水泥的化学成分时,X射线荧光光谱分析可以确定水泥中各种氧化物的含量,判断水泥是否符合相关标准要求。核磁共振检测可用于检测建筑材料的孔隙结构和含水率,它通过测量材料中氢原子的核磁共振信号,分析材料的孔隙分布和含水情况。在检测木材、保温材料等建筑材料时,核磁共振检测能够提供详细的孔隙结构和含水率信息,有助于评估材料的性能和质量。激光诱导击穿光谱技术是一种新兴的无损检测建筑材料成分的方法。它利用高能量激光脉冲激发材料表面,产生等离子体,通过分析等离子体的光谱特征,可以确定材料中的元素组成^[4]。该技术具有快速、灵敏、无需样品制备等优点,在建筑材料现场检测中具有广阔的应用前景。热导率检测也是建筑材料无损检测的重要内容之

一，热导率是衡量建筑材料保温性能的重要指标，通过无损检测方法测量建筑材料的热导率，可以评估材料的保温效果，为建筑节能设计提供依据。

4 无损检测技术的智能化发展趋势

4.1 多源数据融合技术

随着无损检测技术的不断发展，检测过程中产生的数据来源日益多样化，包括声学、电磁、光学、射线等多种检测手段所获取的数据。多源数据融合技术应运而生，成为无损检测智能化发展的重要趋势。多源数据融合技术能够将不同检测方法获得的数据进行整合和分析，充分发挥各种检测方法的优点，弥补单一检测方法的局限性。例如，在检测复杂结构部件时，单一的超声波检测可能难以全面发现所有缺陷，而结合射线检测和光学检测的数据，通过数据融合算法进行分析，可以更准确地判断缺陷的类型、位置和大小。该技术通过对多源数据的综合处理，能够提高检测的精度和可靠性，为后续的决策提供更全面的信息支持。多源数据融合还可以实现数据的可视化展示，使检测人员更直观地了解检测结果，便于进行深入分析和判断。未来，随着数据采集技术的不断进步和数据处理算法的优化，多源数据融合技术将在无损检测领域发挥更加重要的作用，推动检测技术向更高水平发展。

4.2 人工智能与机器学习应用

人工智能与机器学习技术在无损检测领域的应用为检测技术的智能化发展带来了新的机遇。机器学习算法可以对检测信号进行特征提取和模式识别，建立缺陷检测模型。例如，在超声检测中，利用深度学习算法对超声回波信号进行分析，可以准确识别不同类型的缺陷，如裂纹、气孔等，并判断其严重程度。与传统的基于规则的检测方法相比，机器学习算法具有更强的自适应能力和泛化能力，能够处理复杂的检测场景和多样化的缺陷类型。人工智能技术还可以实现检测过程的自动化和智能化控制，通过对检测设备的智能控制，可以根据检测对象的特征自动调整检测参数，优化检测流程，提高检测的质量和效率。基于人工智能的检测系统还可以进行自我学习和优化，不断提升检测性能，适应不断变化的检测需求。随着人工智能技术的不断发展和完善，其

在无损检测领域的应用将更加广泛和深入，推动检测技术实现质的飞跃。

4.3 机器人与自动化检测系统

机器人与自动化检测系统的发展是无损检测技术智能化的重要体现。传统的无损检测通常需要人工操作检测设备，不仅劳动强度大，而且检测效率和质量受到人为因素的影响较大^[5]。机器人与自动化检测系统的出现，有效解决了这些问题。机器人检测系统可以根据预设的程序和路径，自动对检测对象进行全面、精确的检测。它们具有高度的灵活性和适应性，能够适应不同的检测环境和任务需求。例如，在大型工业设备的检测中，机器人可以进入狭窄的空间或危险区域进行检测，避免人工检测的风险。自动化检测系统则实现检测过程的自动化控制和数据处理。从检测信号的采集、传输到分析处理，再到检测结果的输出和存储，整个过程都可以由自动化系统完成。这不仅提高检测效率，还减少人为误差，保证了检测结果的准确性和可靠性。

结束语

建筑工程无损检测技术的研究与应用对于提升工程质量、保障建筑安全具有重要意义。随着科技的不断进步，无损检测技术正朝着智能化、高效化、精准化的方向发展。未来，应进一步加强对无损检测技术的研究投入，不断完善检测方法和标准，提高检测的可靠性和准确性。同时注重无损检测技术与工程实践的紧密结合，推动其在建筑工程中的广泛应用，为建筑行业的可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]李勇.王强.无损检测技术在建筑混凝土结构检测中的应用研究[J].建筑技术开发,2020,47(14):124-125.
- [2]何建煌.无损检测技术在建筑工程检测中的应用[J].房地产世界,2022(03):131-133.
- [3]卜青青.建筑钢结构工程及焊缝无损检测技术应用探究[J].中华建设,2022(02):138-139.
- [4]高菊.无损检测技术在建筑工程检测中的应用分析[J].工程与建设,2022,36(4):1031-1032.
- [5]梁伟卓.无损检测技术在建筑工程检测中的应用分析[J].广东建材,2021,37(6):45-46.