

# 工程主体结构施工质量现场检测技术研究

刘典

广东建浩检测科技有限公司

**摘要：**工程主体结构施工质量检测是确保工程质量和安全的关键环节。现场检测技术经过长期发展，已形成多种成熟技术体系，如混凝土无损检测、钢结构焊缝检测等。但传统方法也存在检测效率低、精度有限等不足。文章全面评述了当前检测技术的发展现状、应用情况及面临的挑战，重点介绍了混凝土、钢结构、砌体结构等不同类型结构的检测方法及特点，旨在为相关人员提供借鉴，为工程质量保驾护航。

**关键词：**施工质量检测；无损检测；智能检测；机器视觉；人工智能

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.22.009

## 引言

工程主体结构施工质量直接关乎工程的安全性和使用年限，其质量检测工作举足轻重。多年来，检测技术不断发展完善，手段日益先进，但仍无法完全满足实际工程需求。如何提高检测精度和效率，突破传统检测方法的瓶颈，已成为行业内的热门话题。本文将全面评述工程结构检测领域的现状与发展趋势，剖析检测技术面临的机遇与挑战，为推动该领域理论研究和工程实践提供参考。

## 一、检测技术概述

### （一）检测技术的分类

工程主体结构施工质量的现场检测技术是一个复杂而关键的课题，涉及多种原理和对象。检测技术可以按检测原理分为物理检测、化学检测和无损检测等。物理检测通常利用电磁波、声波或其他物理场强的变化来探测材料内部缺陷或性能变化，如钻芯法、回弹法和超声波检测法等。化学检测则依赖于化学反应原理，如硝酸盐含量测定等<sup>[1]</sup>。无损检测是指在不损坏被检测对象完整性的前提下进行检测，如射线检测、涡流检测等。根据检测对象的不同，检测技术也有所区别。混凝土是工程结构中最常见的材料，其检测技术主要包括强度检测、耐久性检测和缺陷检测等。强度检测常采用回弹法、抗压强度法等，耐久性检测则关注碳化深度、氯离子含量等。缺陷检测主要利用无损检测手段，如超声波探伤、冲击回弹综合法等。钢结构检测重点在焊缝质量、腐蚀状况和应力集中等方面，常用射线探伤、磁粉探伤和涡流检测等。木结构检测则更多关注含水率、密度和节理等缺陷。现场检测技术的选择需要综合考虑检测目的、对象特性、现场环境及经济因素等，合理搭配使用不同技术手段，以获得准确可靠的检测结果。

### （二）检测技术的特点

工程主体结构施工质量现场检测技术需具备实时

性、准确性和便捷性等特点，以满足工程施工对质量控制的实际需求。实时性要求检测技术能够实时监测整个施工过程，及时发现并纠正各种缺陷和异常情况。这就需要采用在线检测、自动化监测等手段，实现对混凝土浇筑、钢结构焊接、预应力张拉等关键工序的全程跟踪监控。测量数据要及时传输至监控中心，通过大数据分析和人工智能技术对异常情况自动识别并发出报警，确保施工质量问题能够在发生的最初阶段就得到解决。准确性则要求检测结果能够真实反映结构材料和构件的性能状态。一方面需要检测手段本身具有足够的分辨率和精确度，如超声波检测厘米级缺陷、钻芯法检测混凝土抗压强度等。另一方面还需要考虑实际工程环境和使用条件，校正环境影响因素，并通过合理的检测布点和测量重复性保证数据的代表性和可靠性。便捷性则需要检测设备体积小、重量轻、易于携带和布设。测量操作流程和接口要尽量简单明了，不需要过多专业培训即可熟练掌握。同时还要具备良好的抗干扰能力，能够适应各种恶劣的施工现场环境，以确保检测数据的质量。此外，检测设备还应具备远程操控、自动存储传输等智能化特征，提高检测效率和管理水平。

## 二、工程主体结构施工质量现场检测技术的现状

工程主体结构施工质量现场检测技术经历了长期发展，目前已形成了多种成熟技术体系。无损检测技术如射线探伤、磁粉探伤、涡流检测等广泛应用于钢结构焊缝和铸件的缺陷检测。超声波检测技术可用于混凝土内部缺陷、钢筋锈蚀及锚固情况评估。近年来，基于光纤传感、无线传感网络、三维扫描等新技术也逐步推广应用，为施工全过程监控、变形监测等提供了有力手段。然而，尽管取得长足进步，但当前检测技术在实际工程中的应用仍面临诸多挑战。一方面，大型复杂结构给检测带来极大困难。以超高层建筑为例，混凝土浇筑高度和钢结构焊缝数量巨大，需要大量检测点位布设，操作工作量惊人；同时混凝土的高温高压环境，以及狭小空间等因素也使检测作业变得更加艰难。另一方面，现有检测设备的性能和自动化水平有待提高。检测精度和分辨率受到技术本身局限性的制约，数据采集和解析环节还存在大量手工操作，效率低下且容易出现人为误差。此外，检测技术的应用离不开熟练的操作人员，但专业技术人才缺乏已经成为行业发展的瓶颈之一。大量检测依赖人工经验判读，缺乏规范化标准，数据解释存在较大主观性。

## 三、工程主体结构施工质量现场检测的内容及现行检测方法

### （一）混凝土结构检测

混凝土结构作为工程主体最常见的构件类型，其施工质量检测一直是研究的重点。传统检测方法如回弹法、超声波法等经过多年应用，已经相当成熟，但也存在一定局限性。回弹法是通过钻石锥体撞击混凝土表面测得回弹高度，再根据经验公式估算混凝土强度的方法，如图1所示。其优点是操作简单、便携性好、无损伤，但准确度较低，易受表面环境和人为因素影响。近年来，配套应用智能化数据采集设备和反算模型有所改进，但整体上回弹法适用于粗糙快速初评估。超声波检测则是利用声波在混凝土内部的传播速度反映内部质量缺陷的方法<sup>[2]</sup>。根据2023年相关统计数据，超声波检测技术在大型基础设施工程中应用比例超过70%，可见其重要地位。然而，传统超声波仍存在测量盲区、端面耦合效应等问题，且对人员操作技能要求较高。为克服以上不足，近年来涌现出多种新型检测方法。其中，冲击回弹综合无损检测技术通过将回弹法和超声波检测相结合，有望达到相对较高的检测精度。此外，基于机器视觉的图像识别技术、X射线CT成像等新兴手段也展现出广阔的应用前景。



图1 利用回弹法检测混凝土结构

### (二) 钢结构检测

钢结构是工程主体结构的重要组成部分，其检测方法主要针对焊缝缺陷、材料缺陷和腐蚀状况等。常用的无损检测方法包括磁粉探伤、射线探伤、超声波探伤等。磁粉探伤是利用磁性能力吸引铁磁性粉末显示钢材表面或近表面缺陷的方法<sup>[3]</sup>。该技术操作简单，成本低廉，检出能力强，尤其适用于探测焊缝裂纹等表面缺陷。然而由于仅限于钢材表面，故对于埋藏较深的内部缺陷检测能力有限。根据2023年统计数据，在钢结构制造和安装环节，磁粉探伤仍占据重要地位，使用比例达60%以上。射线探伤则是利用射线透过被检钢材后在底物上形成影像，由影像上的差异判断内部缺陷。射线能穿透较厚的钢材，对内部缺陷如气孔、夹渣、未焊透等检出能力很强，是检测钢焊缝质量的主要手段。但射线的辐射性给操作带来一定风险，设备笨重，现场适用性略差。除上述方法外，超声波探伤技术借助高频声波在钢材中的传播行为来检测内部缺陷，是一种灵活高效的

手段，能检测出各种形态的缺陷，如图2所示。不过，它对被检表面的要求较高，操作人员的经验水平也直接影响检测质量。

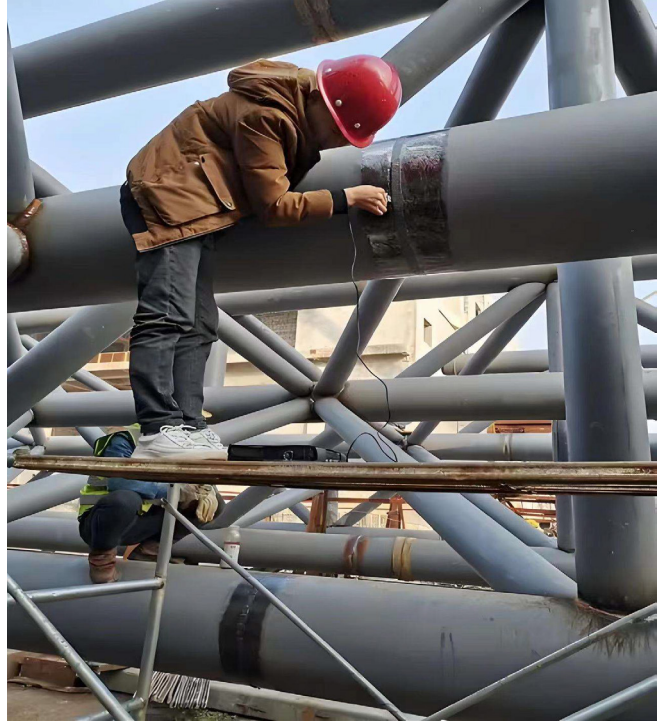


图2 利用超声波探伤技术检测钢结构缺陷

### (三) 砌体结构检测

砌体结构作为传统建筑的主要承重体系，其质量检测一直是行业关注的重点。常用的检测方法包括敲击法、红外热像法等。敲击法是通过敲击砌体表面，根据声音的清浊来判断内部空鼓、裂缝等缺陷的简单方法。它操作便捷，无须复杂设备，尤其适合现场快速初步检测。但敲击法存在主观性较强、精度较低的缺陷，难以量化评价缺陷程度，而且对于深厚砌体的检测能力也较差。红外热像技术则是利用不同材料对热辐射吸收、传导和发射特性的差异，通过探测表面温度分布来发现内部缺陷的现代检测手段。它无损、无辐射、无污染，可大范围快速扫描，不仅能检测出空鼓、裂缝，还能反映砌体的保温性能和渗漏情况。目前在住宅外墙、地下管廊等领域应用广泛，使用比例达到50%以上。但红外热像技术受气象环境因素影响较大，对操作人员的技能要求也较高。此外，近年来一些新兴技术在砌体检测领域也取得突破，如超声波成像法、电磁波雷达成像法等<sup>[4]</sup>。2023年首次在重点工程中应用新型光隙三维扫描检测技术，可直观反映砌体开裂走向及宽度，极大提高了检测精度。

### (四) 地下结构检测

地下结构检测由于工作环境的特殊性和结构本身的隐蔽性，给检测带来了独特的挑战。目前，常用的检测方法包括地质雷达(GPR)、声波测井等<sup>[5]</sup>。地质雷达是利用电磁波在不同介质之间的反射和透射特性，对地

下介质及结构进行无损探测的技术，如图3所示。它可以准确探测到地下管线、基础等结构的位置、形态和完整性。尤其在城市地下综合管廊的检测中发挥了重要作用，帮助发现了大量未知障碍物，避免了重大安全隐患。2023年数据显示，GPR技术在重点基础设施地下结构检测中的占比高达75%。GPR虽然易于现场操作，成本低廉，但对介质电磁性能的依赖性较大，对于一些吸波严重的土质环境，探测深度和分辨率会受到一定影响。声波测井技术则是将声波发射到地层或结构中，根据反射波的时间、频率、振幅等特征分析结构缺陷或地层分布。和传统钻探法相比，它是一种先进的无损检测手段，可以精准定位地下管线位置和锚杆完整性。特别是配合水平定向钻技术在市政管线无损修复中，声波测井发挥了不可替代的作用。然而声波测井费时费力，需要大型设备，水平定向钻孔对人员技术水平要求较高，成本较高，限制了其在普通工程中的广泛应用。

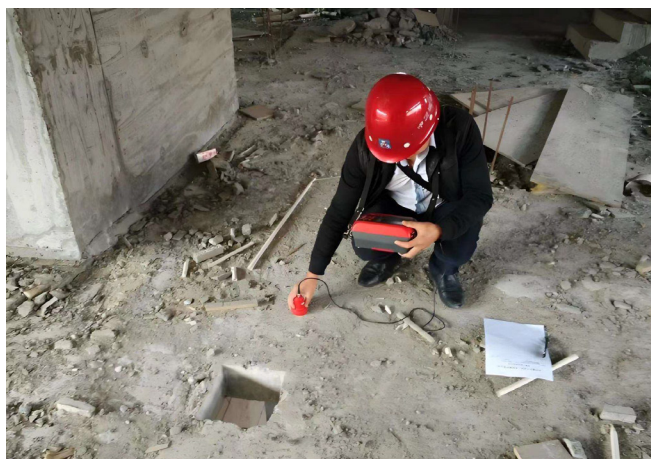


图3 利用GPR技术对地下介质及结构进行无损探测

#### （五）新型材料及复合结构检测

随着新型材料和复合结构在工程领域的不断推广应用，其质量检测工作也面临全新的挑战。由于这些新型材料具有独特的内部结构和力学性能，传统检测手段往往难以完全满足需求。因此，无损检测技术和智能检测技术等新兴检测方法正在此领域快速发展。无损检测技术利用物理场的相互作用对材料内部缺陷进行检测，而不损坏被检材料的完整性和使用性能<sup>[6]</sup>。例如，锐钛英林等金属间化合物可借助浆射射线探伤技术检测其致密铸造工艺缺陷；碳纤维增强复合材料结构则可通过红外热成像检测分层和脱胶情况。智能检测技术则是将人工智能等前沿技术融入检测过程，实现自动化、智能化检测。以机器视觉为例，可通过深度学习算法自动识别复杂图像中的缺陷特征，检出效率是传统目视检测的数十倍。例如，某工程在大桥钢桥梁智能巡检中应用了基于3D激光扫描的机器视觉技术，极大提高了裂缝等缺陷的检出速度和准确性。除此之外，物联网、大数据等新兴技术也将为新材料检测带来革命性变革。通过在复合材料内部植入多种智能传感器，不仅可实时监测制造和

使用过程中的应力、变形等状态，还能利用云计算进行大数据分析，准确预测寿命，实现智能化质量管理。

#### 四、工程主体结构施工质量现场检测技术的未来发展趋势

工程主体结构施工质量检测技术正在向智能化方向快速发展，人工智能、机器学习等前沿技术正在为传统检测领域注入新的活力。智能化检测的一个重要体现是机器视觉技术的广泛应用。通过深度学习算法训练，机器视觉系统能够自动识别复杂图像和视频中的缺陷特征，检出效率是传统目视检测的数十倍。2023年，在一条高速铁路隧道工程中，基于3D激光扫描的机器视觉系统实现了对混凝土裂缝的自动检测，极大提高了工作效率。同时，应用增强现实技术，工作人员可随时调阅检测结果的三维可视化呈现，为缺陷评估提供了直观依据。除机器视觉外，人工智能技术还可用于检测数据的智能解析和决策支持。以无损检测为例，通过训练海量案例数据，人工智能系统能够自主学习识别超声波、射线等各类检测信号图像中的缺陷模式，且精度往往超过传统人工解释。在检测设备智能化方面，机器人技术、自主导航等也将是未来发展趋势。无人驾驶检测机器人不仅能在恶劣环境中作业，还可根据复杂工况自主调整检测路线和参数，实现自适应智能检测。2023年，国内率先研制出可自主攀爬的钢结构焊缝检测机器人，在超高层建筑检测中展现出巨大潜力。

#### 结束语

工程结构质量检测技术的发展离不开新理论、新技术的不断推动。未来，随着人工智能、大数据、物联网等前沿技术的深入融合应用，检测领域必将发生革命性变革。智能化自适应检测系统将可自主优化检测路径，智能识别各类缺陷，实时监控施工过程。无损检测手段也必将更加精准、高效。同时，检测设备将趋于一体化集成，检测流程将实现自动化和无人化。期待在不远的将来，智能检测技术将彻底解决传统检测方法的痛点，为工程质量把好最后一道防线。

#### 参考文献

- [1] 李义荣. 建筑幕墙工程施工质量与控制措施分析[J]. 陶瓷, 2023(05): 130-132.
  - [2] 李溢. 建筑工程主体结构施工监理质量控制措施[J]. 住宅产业, 2022(11): 79-81.
  - [3] 杨纯. 关于建筑主体结构工程质量管理的研究[J]. 中国设备工程, 2022(06): 209-210.
  - [4] 吴晓明. 建筑工程主体结构质量检测方法及运用注意事项的分析[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2021(11): 179-181.
  - [5] 张福军. 工程主体结构的质量检测方法探讨[J]. 科技视界, 2021(21): 43-44.
  - [6] 尹向东. 建筑工程主体结构质量检测的有效措施[J]. 四川建材, 2020, 46(07): 20-21+23.
- 作者简介: 刘典(1987-), 男, 汉族, 湖南, 本科, 主要从事工程检测工作。