

# 建筑工程中智能监测技术的应用与发展

张昊 王超

新疆塔里木建设投资集团新疆第一工程有限公司 新疆 阿拉尔 843300

**【摘要】**：建筑工程行业在数字化、智能化转型过程中，传统监测模式的缺陷逐渐显现出来，无法满足现代工程精细化管理的要求，智能监测技术成为工程安全、质量控制的主要方法。该技术以传感、物联网、人工智能等技术为基础，结合大数据技术，从数据采集、智能分析等方面对施工安全、结构健康、设备环境等工程场景进行应用。本文对建筑工程智能监测技术的核心构成与应用领域进行梳理，分析建筑工程智能监测技术在落地过程中存在的适配性、数据利用等问题，并对建筑工程智能监测技术的发展趋势进行探讨。

**【关键词】**：建筑工程；智能监测技术；结构感知；全生命周期运维

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.061

建筑工程规模不断扩大，结构形式愈加复杂，深基坑、大跨度钢结构、超高层建筑等工程类型增多，对工程监测精度与实时性要求也越来越高。智能监测技术依靠传感器、物联网、大数据分析等信息技术，可以实现工程数据的自动采集、实时传输、智能预警，贯穿于建筑工程设计、施工、运维的全生命周期。本文对建筑工程智能监测技术进行研究，整理出其技术组成与适用场景，分析存在的问题并探讨其发展趋势，为建筑行业的智能监测技术深入运用提供理论参考。

## 1 建筑工程智能监测技术的核心构成

### 1.1 感知层技术

感知层是智能监测技术的基础部分，承担工程数据的采集任务，核心为各种智能传感器技术，是整个监测体系的神经末梢。建筑工程中的传感器具有高精度、小型化、低功耗等特点，根据监测要求可以布置在工程结构的关键部位与施工现场各个区域。根据结构位移、沉降的监测要求，GNSS 位移传感器、裂缝宽度传感器等设备可以检测毫米级甚至微米级的结构变化，针对应力、荷载的监测，应变传感器、支撑轴力传感器可以实时采集构件受力数据，反映结构的承载状态，倾角、温度、地下水位等传感器分别对应结构倾斜、环境与构件温度、基坑水文等监测指标，实现对工程多维度数据的全面采集。部分传感器可以支持无线组网以及长期稳定工作，适应建筑工程复杂的施工环境，减少对工程作业的干扰。

### 1.2 传输层技术

传输层是连接感知层和分析层的纽带，主要任务是把感知层采集到的海量工程数据及时、稳定地传送到数据处理平台，其技术性能好坏决定数据传输效率和完整性。建筑工程智能监测的传输技术主要是无线和有线两种。其中，有线传输以以太网为代表，在数

据量大、稳定性要求高的固定监测场景中应用，可以保证数据的无丢失传输。无线传输技术更适合建筑工程施工现场分散、环境复杂的特点，5G 技术具有高速率、低延时的特点，适合实时监测数据传输速度要求高的场景，可以实现秒级传输，LoRa 等技术主打远距离、低功耗，适合大量传感器组网传输，可以覆盖大型工程的广阔监测区域。部分监测系统采用无线和有线双通道传输，配备 4G、5G 备用网络，主网络出现问题时可以自动切换，提升数据传输的稳定性，并且支持断点续传功能，避免临时断网造成的缺失。

### 1.3 分析层技术

分析层是智能监测技术的“智慧大脑”，主要是利用大数据分析、人工智能等技术对传输层得到的原始数据进行处理、分析、风险研判，实现从数据到决策的过程。本层级首先要对原始数据进行清洗整合，去除冗余数据和异常值，保证数据的有效性，再建立数据模型，分析各个监测指标之间的相关关系，挖掘数据背后工程规律。人工智能算法在这一层次起着核心作用，机器学习模型可以利用历史监测数据进行训练学习，对工程结构状态进行预测，提前发现潜在的安全隐患，深度学习算法可以处理复杂的非结构化数据，自动判断监测数据是否超过安全阈值，根据风险程度划分不同的预警等级。边缘计算技术被融入其中，部分数据处理工作可以在本地完成，减轻数据回传的压力，加快风险研判和预警的速度，让分析层的决策更具有实时性。

## 2 建筑工程智能监测技术的核心应用领域

### 2.1 施工阶段安全质量监测

施工阶段是建筑工程安全风险的高发期，智能监测技术成为施工阶段安全、质量控制的主要手段，可以实现对高危施工环节的全方位、不间断监测。深基

坑施工时，监测系统可以实时采集围护结构位移、钢支撑轴力、地下水位等数据，当数据出现异常波动的时候，就会发出预警信号，防止基坑坍塌等事故的发生。高支模施工时，用倾角传感器、应变传感器监测架体倾斜、立杆荷载，在混凝土浇筑等重要工序中加大监测频率，防止架体失稳。钢结构施工以构件应力、温度、变形监测为重点，对钢结构安装时由于温度变化、荷载作用而产生的微小变形进行捕捉，保证钢结构安装精度和安全。混凝土结构施工时，裂缝宽度传感器、回弹式强度传感器可以实时监测构件裂缝的发展和强度的发展情况，为混凝土养护和质量控制提供数据支持。

## 2.2 施工现场环境与设备监测

智能监测技术的应用不但覆盖到工程结构本身，而且延伸到施工现场的环境和设备管理，助力打造绿色、安全、高效的智慧工地。施工现场环境监测以扬尘、噪声、温湿度、有害气体浓度等指标为主，当扬尘、噪声超标时，监测系统可联动喷淋、降尘设备自动启动，达到环境指标动态控制的目的，满足绿色施工的要求。气象数据（温度、湿度、风力等）的实时监测，可以根据施工进度调整施工计划，防止恶劣天气对施工的影响。施工设备监测主要是对塔吊、升降机、卸料平台等大型施工机械，采用安装力矩传感器、倾角仪、重量传感器等设备的方式，对设备的运行状态进行实时监测，实现设备防碰撞、超载自动停机、倾斜预警等功能，降低设备运行的安全风险。钢丝绳探伤监测系统可以实时检测起重设备的钢丝绳断丝、磨损等隐患，实现设备的预测性维护，延长设备的使用寿命。

## 2.3 特殊建筑与工程场景监测

根据古建筑、历史遗迹、地铁隧道、地下空间等特殊建筑及工程场景的特点以及监测要求，智能监测技术与之相结合，形成了一套专门为这些工程所设计的监测方案，为这些工程的保护和安全管理提供支持。古建筑、历史遗迹监测主要是对温湿度变化对建筑材料的影响、结构倾斜、沉降等数据进行监测，防止环境变化、人为因素造成的结构性破坏，从而达到对历史建筑精准保护的目的。地铁隧道及地下空间工程的监测主要是衬砌变形、渗漏水、振动等指标，实时掌握地下工程结构状态，防止隧道变形、渗漏水引发安全事故，保证地下交通设施安全运行。在有限空间作业场景中，智能监测系统能够对空间内的气体浓度、人员位置等进行实时监测，与通风设备、报警系统联动起来，实现有限空间作业全过程的数字化安全管控，

降低作业安全风险。

## 3 建筑工程智能监测技术应用的现存问题

(1) 技术适配性与兼容性不足：建筑工程的结构形式多种多样，施工环境也较为复杂，不同工程对监测的需求不同，目前智能监测技术的适配性不高。部分监测设备和手段并没有为建筑工程特殊场景定制化改良，在复杂的施工环境中易引发信号干扰、设备故障等状况，从而造成监测数据的精确性与稳定性出现欠缺。而且，不同的品牌设备、传输系统、分析平台之间有技术壁垒，数据接口与格式不统一，难以实现多设备、多系统的协同组网和数据互通，容易形成“数据孤岛”。部分监测系统不能与建筑工程已有的 BIM 平台、智慧工地管理平台有效对接，需要人工进行数据二次录入，增加了管理成本，也降低了监测数据的利用效率。

(2) 数据利用效率与价值挖掘不够：建筑工程智能监测过程会产生大量的多维度数据，目前行业对于这些数据的利用还只停留在基础层面，数据价值挖掘不够。大多数监测系统只能完成数据采集、传输和简单的异常预警，不能对大量的监测数据进行深入的分析与挖掘，无法从数据中提炼出工程结构变化的规律、施工工艺的优化方向等有价值的信息，难以给工程的设计优化、施工管控、运维决策提供深层次的支持。部分工程企业把监测数据当作“存档数据”，没有建立完善的数据管理与分析体系，造成数据资源的浪费。另外人工智能算法在监测数据处理上的深度不够，有些算法模型并没有依照建筑工程实际数据来训练优化，其预测精度以及风险研判能力还有待提升。

(3) 行业标准与规范体系不完善：智能监测技术在建筑工程中正处于快速发展时期，对应的行业标准和规范体系还不完善，造成技术应用缺少统一的指导和约束。目前对于智能监测设备的安装规范、监测数据的精度标准、预警阈值的设定标准等还没有形成全国统一的行业标准，各地、各企业技术应用的标准不同，造成监测结果不能进行比较和验证。新的监测技术数字孪生、边缘计算在建筑工程监测中没有相对应的技术规范和验收标准。工程企业在应用时缺少依据，加大了技术落地的风险。另外，智能监测数据的管理、共享、安全规范有待健全，数据泄露、数据篡改等问题的防范缺少具体的标准要求。

## 4 建筑工程智能监测技术的发展趋势

### 4.1 多技术融合深化与智能化升级

多技术融合会成为建筑工程智能监测技术发展的

主要趋势,传感器、物联网、人工智能、大数据分析、数字孪生等技术的深度融合将推动监测系统实现智能化升级。北斗定位技术同位移传感器结合,可使结构位移监测精度、定位准确性得到进一步提高,适合大型工程远程检测。数字孪生技术将创建出建筑工程的全维度数字镜像,使监测数据与数字模型同步,用模型模拟推演来预测工程结构未来状态,给工程决策提供更加直观、科学的依据。人工智能大模型嵌入监测数据的处理过程之中,用大量的工程数据训练优化后提高风险研判、预测的准确度,实现由被动预警到主动预测的变化,使得工程风险控制更具前瞻性。边缘计算和云计算结合在一起,可以实现对监测数据的分层处理,进而提高系统的响应速度以及数据处理效率。

#### 4.2 监测体系一体化与全周期覆盖

智能监测技术会由单个环节、单个场景的应用,转变为工程全生命周期、全要素一体化监测体系,对建筑工程的设计、施工、运维、拆除全过程进行全方位的监测。未来的智能监测体系会打破各个层次、各个应用场景之间的壁垒,使得感知层、传输层、分析层、应用层之间无缝对接,并且施工安全、结构健康、环境设备等各个方面的监测数据可以互相联通。监测系统会同建筑工程的 BIM 平台、智慧工地管理平台、工程运维平台深度整合,创建起一体化的工程管控体系,促使监测数据同工程设计数据、施工数据、运维数据联动分析,给工程全生命周期决策赋予全面的数据支撑。同时监测体系将会对工程人员、设备、材料、环境、结构等全要素进行监测,形成一个立体化、无死角的工程监测网络。

#### 4.3 设备轻量化与低功耗化发展

为了适应建筑工程复杂的施工环境以及长期监测的要求,智能监测设备将会向轻量化、小型化、低功耗化方向发展,同时还要保证监测精度和稳定性。未来的传感器体积更小、重量更轻,可以方便地安装在

建筑结构的小部位上,减少对施工及结构外观的影响。低功耗技术的应用使传感器工作时间长,部分设备可以采用太阳能自供电,满足建筑工程户外监测长时间工作需要,降低后期维护成本。监测设备的抗干扰能力、环境适应性也将得到提高,在高温、高湿、强振动等复杂的施工环境下可以正常工作,保证监测数据的准确性。另外,监测设备将会向模块化、标准化方向发展,各个模块可以按需要自由组合,使设备的适配性和通用性得到提高。

#### 4.4 行业应用标准化与普及化推进

随着智能监测技术在建筑工程中的使用不断深入,行业标准和规范体系将会逐步完善,给技术的标准化、规范化使用提供指导,也促使技术被整个行业普遍应用。国家以及行业主管部门将会加快制定智能监测设备安装、数据精度、预警阈值、系统验收等各方面的统一标准,规范企业技术应用行为,提高监测结果的可比性、权威性。根据中小工程企业的实际情况来推出低投入、轻量化智能监测方案,降低技术的应用门槛,促进智能监测技术在中小工程的普及。行业协会同企业一起开展智能监测技术的推广与培训工作,提高工程企业对智能监测技术的认识和应用能力,使智能监测技术成为建筑工程常规的监测手段。

### 5 结语

智能监测技术属于建筑工程行业数字化、智能化转型的关键技术之一,它把传统的工程监测模式彻底改变,由原来的被动补救变为主动防控,由原来的被动监测变为主动监测。该技术是以多技术融合为特点,贯穿于工程全生命周期和全要素,对施工安全、结构健康、环境设备等各个方面都起到重要的作用。尽管目前技术的应用还存在适配性、数据利用、标准体系、人才培养等问题,但是随着新一代信息技术的发展以及行业不断地探索,智能监测技术会朝着多技术融合、一体化发展、轻量化普及的方向前进。

#### 参考文献:

- [1] 李晶.建筑基坑工程边坡智能监测技术研究[J].中国建设信息化,2025,(17):62-65.
- [2] 宋仕宽,苏宝罡,彭德曦.基于 BIM 的建筑工程施工现场智能监测技术研究[J].绿色建造与智能建筑,2025,(07):41-43+47.
- [3] 斯庭尉.基于 BIM 的建筑工程深基坑安全智能监测技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(11):109-111.
- [4] 姜庆达,魏颖,李升超.建筑工程施工阶段智能监测技术研究[J].新城建科技,2025,34(05):34-36.
- [5] 詹立敏.建筑基坑工程施工智能监测技术应用探析[J].张江科技评论,2025,(03):50-52.