

市政房建深基坑施工智能监测与安全预警研究

孙小俊

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810007

【摘要】：市政房建工程中深基坑施工安全风险较高，传统监测方式在数据时效性与风险识别方面存在不足。依托智能监测技术构建多源数据采集与分析体系，对基坑位移、支护结构变形及周边环境变化进行动态监控，并结合数据分析实现风险识别与预警判定。建立智能监测与安全预警协同机制，提高深基坑施工安全管理的实时性与准确性，为市政房建工程深基坑施工安全控制提供技术支撑。

【关键词】：深基坑施工；智能监测；安全预警；市政房建工程

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.025

引言

市政房建工程规模持续扩大，深基坑施工成为工程建设中的关键环节，其安全稳定直接影响工程质量与周边环境安全。复杂地质条件与施工扰动使基坑结构变形、支护失稳等风险不断增加，传统监测方式难以及时获取完整数据并进行快速判断。智能监测技术通过传感设备与数据平台实现连续监控，为施工安全管理提供新的技术路径。建立科学的监测与预警机制，有助于及时识别风险并采取控制措施，从而提升深基坑施工安全管理水平。

1 深基坑施工安全风险与监测需求

1.1 市政房建深基坑施工环境特征

市政房建深基坑施工通常处于城市建成区内部，周边道路、地下管线、既有建筑物及市政配套设施分布密集，施工环境具有明显的空间受限特征。基坑开挖后，土体原有应力平衡被打破，围护结构、支撑体系与周边地层之间形成复杂的相互作用关系，一旦控制不当，极易引发地表沉降、围护位移和邻近构筑物附加变形。特别是在软土、杂填土及地下水位较高区域，坑壁稳定性与止水效果更容易受到影响，施工扰动会沿土体与结构传递，导致风险在较短时间内快速累积。

在实际工程推进中，深基坑施工环境还表现出动态变化强、外部干扰源多的特点。土方分层开挖、支撑分段安装、降水运行及机械荷载变化，都会改变基坑受力状态和变形发展路径。市政房建项目往往工期紧、交叉作业频繁，监测对象不仅包括围护桩、内支撑、立柱和冠梁，还需同步关注地下水位、周边道路沉降及毗邻建筑物倾斜情况。由此可见，市政房建深基坑并非单一结构施工问题，而是涉及岩土工程、结构工程与环境控制的综合性施工系统，对现场监测精度、时效性与连续性提出了更高要求。

1.2 深基坑施工主要风险类型分析

深基坑施工风险具有阶段性及耦合性，核心风险集中体现为围护结构变形失控、坑底隆起、渗流破坏以及支撑体系受力异常。开挖过程中，若支护刚度不足或支撑轴力分布不均，围护墙体可能产生过量侧向位移，进而带动坑外土体沉降，影响邻近道路与建构筑物安全^[1]。当地下连续墙、灌注桩或钢板桩存在接缝缺陷时，地下水渗流路径会被放大，易形成流砂、管涌等不稳定现象。对于软弱土层中的深基坑，土体抗剪强度下降后，坑底抗隆起稳定储备不足，也会显著增加突发性失稳概率。

风险演化还与施工组织管理密切相关，任何一个控制环节失当都可能诱发连锁反应。土方超挖、支撑拆换不同步、降水强度过大、监测数据异常处置滞后，都会改变基坑体系内力重分布状态，使局部问题演变为整体安全隐患。市政房建工程往往紧邻地下管廊、雨污水管线和电力通信设施，基坑变形超过控制值后，不仅影响主体施工，还可能引发市政功能障碍和次生安全事件。由此判断，深基坑风险并非单纯来源于结构本体，而是地层条件、支护体系、地下水控制与施工管理共同作用的结果，必须通过全过程识别加以控制。

1.3 施工过程中的监测技术需求

市政房建深基坑施工对监测技术的需求，集中体现在实时感知、连续采集和精准预警三个层面。传统人工巡测虽然能够获取阶段性数据，但在高频变化工况下难以满足动态管理要求，尤其面对支护结构变形、立柱沉降、支撑轴力波动及地下水位异常等关键指标时，监测频率与响应速度直接影响风险判断质量。基于此，施工现场需要构建覆盖围护结构、支撑系统、坑外环境和水文条件的多参数监测体系，通过测斜仪、沉降监测点、轴力计、倾角传感器及水位监测设备实现全过程数据获取，以保证监测结果能够反映基坑实际工作状态。

从工程应用角度看，监测技术要具备采集功能，还应具备

数据整合、阈值判别和异常联动能力。深基坑施工过程具有工序转换频繁、影响因素交叉叠加的特点，单一指标往往难以准确反映整体安全水平，因此需要借助信息化平台对位移、沉降、应力和水位数据进行关联分析，形成更具针对性的风险识别结果。监测成果应与现场施工组织实现快速对接，在出现预警信号时及时指导土方开挖调整、支撑加固、降水优化及周边保护措施实施。

2 深基坑施工智能监测与安全预警体系构建

2.1 多源传感监测系统构成

市政房建深基坑智能监测系统的构成应围绕“结构响应—岩土变形—水文变化—周边环境”四个维度展开，形成多层次、多参数联动的感知网络。围护结构部位通常布设测斜仪、应变计和轴力计，用于掌握地下连续墙、排桩及内支撑在开挖过程中的侧向位移、受力重分布和刚度变化情况；坑外区域则需配置地表沉降点、建筑物倾斜监测点及管线位移监测单元，以识别施工扰动对周边环境的传导效应。对于地下水条件复杂的工程，还应设置孔隙水压力计和水位观测设备，动态掌握降水运行与渗流场变化，为止水帷幕有效性判定提供依据。

系统配置不能停留在单点布设层面，还需突出监测对象之间的空间对应关系与数据协同性。传感终端通过有线或无线传输模块接入监测平台后，可实现对冠梁、立柱、支撑节点、坑底隆起敏感区及邻近道路沉降带的分区管理，提升监测断面的代表性与数据覆盖度。在工程实践中，深基坑不同施工阶段对监测重点存在明显差异，土方开挖期间应强化围护位移与支撑轴力监控，主体结构施工期间则需关注回弹变形和结构卸载响应。

2.2 监测数据采集与分析机制

深基坑施工监测数据的采集机制应以时序连续、精度可控和异常可追溯为基本要求，依托自动化采集终端与信息平台实现全过程运行管理。现场各类传感器按照既定采样频率获取位移、沉降、轴力、倾角、水位等关键参数，经数据采集器完成初步汇总后上传至中央处理平台^[2]。平台接收信息后，需要对原始数据进行去噪、筛选、校核与时间同步处理，避免因设备漂移、通信波动或施工干扰造成误判。对于同一监测断面的多项指标，还应建立关联数据库，实现围护结构变形、支撑受力和坑外沉降之间的联动比对，以提升数据解释的可靠性。

数据分析环节决定了智能监测体系能否真正服务现场决策。针对深基坑施工工况变化快、影响因素多的特点，平台应采用趋势分析、阈值比对、速率识别和相关性计算等方法，对关键指标的演化规律进行研判。当监测曲线出现突变、累计值逼近控制标准或变化速率明显偏离常态区间时，系统可自动标

记异常点位，并结合开挖深度、支撑施工节点和降水工况进行综合分析，从而判断风险来源及影响范围。将离散监测数据转化为可识别、可追踪的风险信息，监测分析机制得以从单纯记录功能转向施工安全管控功能，更符合市政房建深基坑精细化管理需求。

2.3 安全预警判定与信息反馈机制

安全预警判定机制的关键，在于将深基坑监测数据转化为可执行的风险等级信号，并与现场处置流程形成有效衔接。预警判定通常依据设计控制值、规范限值、历史监测基线及现场施工工况进行综合设定，对围护墙侧移、支撑轴力增量、地表沉降速率、地下水位异常波动等指标建立分级阈值。当某项参数接近警戒区间时，系统应识别其发展趋势与持续时间，而非仅依据单次超限作出判断，这样能够减少偶发误差对预警结果的干扰。对多指标同时异常的工况，还需引入综合评估逻辑，判断其是否反映基坑整体受力状态失衡，从而提高预警结论的针对性。

信息反馈机制强调“发现异常—传递信息—落实处置—跟踪闭环”的管理路径。监测平台完成预警判定后，应将异常点位、风险等级、变化曲线及建议措施同步推送至项目管理、监理和施工技术人员，使各责任主体能够在最短时间内掌握现场动态。对于黄色、橙色及更高等级预警，应结合施工日志、巡查记录和支护结构验算结果开展复核，并及时采取减缓开挖、补强支撑、调整降水参数或加密监测等控制措施。处置完成后，系统还应持续跟踪关键指标恢复情况，确认风险是否解除。建立闭环式信息反馈机制，智能预警不再停留于提示层面，而是真正嵌入深基坑施工安全管理流程之中。

3 智能监测技术在深基坑施工安全管理中的应用

3.1 基坑变形与结构状态实时监控

深基坑施工期间，基坑变形与结构状态实时监控的核心在于对围护体系受力响应进行连续识别，并及时掌握土体与支护结构之间的协同变化。监测内容通常覆盖围护墙顶部水平位移、深层侧向变形、支撑轴力、立柱沉降、冠梁挠度以及坑外地表沉降等关键参数。依托自动化传感设备与监测平台，可对不同断面、不同深度的数据进行同步采集，形成反映基坑空间变形特征的动态信息链。对于软弱地层或地下水丰富区域，基坑受力路径更易受到开挖扰动和降水影响，实时监控能够及时揭示局部异常变形的扩展趋势，为支护结构稳定性判断提供依据。

结构状态监控关注单项指标变化，还强调对整体工作性能的综合研判。施工现场在土方分层开挖、内支撑安装、拆换撑转换等关键节点，围护体系内力分布往往发生明显调整，若监

测数据表明位移增速、轴力偏差或沉降量出现异常波动,说明结构可能已进入敏感响应阶段。此时需要结合设计计算参数、监测控制值及现场工况,对围护构件刚度衰减、节点连接可靠性和支撑受压稳定性进行复核。

3.2 施工阶段风险识别与预警响应

深基坑施工风险识别应紧扣不同施工阶段的工况特征开展动态判断。土方开挖阶段,围护墙侧移、地表沉降和坑底回弹是反映稳定状态的重要指标;支撑安装与拆换撑阶段,支撑轴力重分布、节点应力集中及立柱受力变化更具识别价值;降水运行阶段则需重点关注地下水水位下降幅度、孔隙水压力变化及坑外附加沉降情况^[3]。对这些监测参数进行时序分析和趋势比对,可以较准确地识别支护失稳、渗流异常、坑底隆起及周边环境扰动等风险源。风险识别的关键不在于单一数值是否超限,而在于异常变化是否具备持续性、扩展性和耦合性。

预警响应机制直接关系到监测成果能否转化为有效控制措施。当系统判定监测指标进入警戒区间后,应依据风险等级启动分层处置流程,及时向施工、监理和技术管理人员推送预警信息,并附带异常点位、变化速率和影响范围等内容。现场收到预警后,需要结合施工进度和支护状态快速采取措施,包括调整开挖节奏、局部回填反压、补加支撑、优化降水参数以及加密现场巡查。对于连续预警或多项指标联动异常的情况,还应组织专项复核,对结构验算和施工工序衔接情况进行再评估。

3.3 监测信息在施工安全管理中的应用

监测信息在施工安全管理中的价值,体现在其能够为现场

决策提供量化依据,并推动管理方式由经验判断向数据支撑转变。项目实施过程中,监测成果可直接服务于开挖顺序优化、支护参数调整、降排水控制和周边保护措施制定。管理人员分析围护变形、支撑轴力及沉降曲线变化,可判断当前施工工况是否处于可控区间,并据此修正施工组织安排。对于存在邻近道路、既有建筑物或地下管线的工程,监测信息还可作为环境保护控制的重要依据,帮助现场准确划定敏感区域,提升安全管理的针对性与精细化水平。

监测信息的应用还体现在施工全过程协同管理之中。平台汇总形成的数据报表、趋势曲线和预警记录,可作为技术交底、班前分析和风险会商的重要内容,使管理层、技术层和作业层对现场状态形成统一认知。对于关键施工节点,监测结果能够为专项施工方案调整、应急预案启动及隐患整改闭环提供可追溯的数据支撑,减少单纯依赖现场经验带来的判断偏差。工程进入后续结构施工阶段后,前期积累的监测数据还能够用于检验支护体系控制效果和施工措施实施成效。

4 结语

本文围绕市政房建深基坑施工智能监测与安全预警展开分析,结合深基坑施工环境特征与主要风险类型,对多源传感监测系统、数据采集分析机制以及安全预警判定体系进行了系统阐述,并探讨了监测信息在施工安全管理中的实际应用路径。构建信息化、动态化的监测与预警体系,能够及时掌握基坑变形与结构状态变化,提高风险识别与处置效率,为市政房建工程深基坑施工安全控制提供可靠技术支撑。

参考文献:

- [1] 范文腾.基于时序知识图谱的深基坑坍塌风险预警方法研究[D].北方工业大学,2025.
- [2] 孟庆贺.土岩组合深大基坑变形空间效应和深度学习预测方法[D].青岛理工大学,2025.
- [3] 王晓伟.基于 BIM 平台的基坑监测信息化应用研究[C]//全国建筑工程勘察科技情报网华东情报站,中国建筑学会工程勘察分会,上海市地质学会,上海市勘察设计行业协会工程勘察与岩土分会,国家卫星定位系统工程技术研究中心.第十九届全国岩土工程测试学术大会、第六届工程监测技术大会论文集.上海山南勘测设计有限公司,;2024:108-115.