

# 公路施工中的智能化监测与预警技术研究

朱秀霞

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要：**传统公路施工监测多依赖人工作业，整体管控模式较为被动，难以适配现阶段规模化、精细化的工程建设需求。本文结合公路施工的现场工况与工序特点，梳理智能化监测与预警技术的基础特性与运行机理，剖析感知采集、数据传输、智能分析、风险预警的完整运行逻辑，划分技术在路基、路面、附属结构及现场设备环境中的应用场景，针对设备布设、数据体系、判别标准、运行机制提出系统性优化方向，有效改善传统施工管控的短板，全面提升公路施工现场风险防控与精细化管理水平。

**关键词：**公路施工；智能监测；预警技术；施工管控；数据感知

**引言：**公路工程属于线性露天施工项目，作业跨度大、施工环境复杂，施工过程极易受地质、气候、设备工况等多重因素干扰，各类质量隐患与安全风险伴随施工全过程。传统人工监测方式存在采集频次不足、数据精度有限、风险识别滞后等诸多问题，难以实现施工状态的动态把控。智能化监测与预警技术依托数字化感知与数据处理能力，能够实现施工状态的实时捕捉与异常识别，革新传统现场管控模式，为公路施工全过程的动态化、精细化管理提供全新的技术支撑。

## 1 公路施工监测基础与智能化技术特性

### 1.1 公路施工常规监测内容与作业特征

公路施工常规监测覆盖路基、路面、桥梁、边坡等核心施工模块，是把控施工质量与现场安全的核心手段。监测工作主要包含路基沉降、路面平整度、结构位移、边坡稳定性及施工环境参数检测等基础内容，贯穿公路施工全流程。常规监测作业依托人工巡检与基础监测设备开展，作业节奏匹配施工工序推进，多为定点、定时的数据采集模式。现场作业容易受到地形、天气及施工工况干扰，数据采集点位固定、采集频次较为稳定，能够直观反馈施工阶段的基础状态，满足基础施工管控的常规需求<sup>[1]</sup>。

### 1.2 传统公路施工监测作业短板

传统监测模式的局限性在规模化公路施工中逐步凸显。人工主导的采集模式耗费大量人力物力，整体作业效率偏低，野外复杂工况下容易出现数据漏采、错采等问题。数据采集间隔周期较长，无法捕捉施工过程中瞬时状态变化，监测数据存在明显滞后性。人工记录与整理数据的作业形式，会让数据精准度受到人为因素干

扰，原始数据误差难以彻底规避。传统监测仅可完成基础数据采集工作，无法开展数据系统化分析，难以精准预判施工隐患，只能在问题出现后实施补救处置，不利于施工风险的前置化管控。

### 1.3 智能化监测技术基本类型与技术属性

公路施工智能化监测技术包含传感监测、无线传输监测、视频感知、自动化数据采集分析等主流类型，可适配不同施工场景的监测需求。各类监测设备可全天候布设于施工点位，依托自动化装置完成数据捕捉、传输、存储等工作。这类技术具备自动化、实时化、精细化的鲜明属性，能够替代人工完成高频次、不间断的数据采集工作。设备环境适配性较强，可适应山区、临水、露天等复杂公路施工场景，采集的数据精度更高、覆盖范围更广，可全面填补传统监测存在的点位盲区。

### 1.4 智能化预警技术运行特质与适配优势

智能化预警技术以实时监测数据为核心支撑，全程维持动态运行状态。系统可自主完成海量施工数据的筛选、比对与分析，依托预设施工安全阈值判别现场工况状态。一旦监测数据超出安全标准，系统可快速触发预警信号，为现场管控工作预留充足的处置时间。该技术可适配公路施工各阶段、各分项工程的风险管控需求，精准识别沉降超标、位移异常、边坡失稳等各类隐患。相较于传统被动管控模式，智能化预警能够实现风险前置防控，减少施工安全事故与工程质量缺陷，有效提升公路施工整体管控水平。

## 2 公路施工智能化监测与预警技术机理

### 2.1 施工工况信息智能化感知机理

公路施工工况智能感知依托各类智能传感设备搭建底层采集体系,主动捕捉施工现场各类状态信息。传感设备依托物理感应原理,对路基形变、结构位移、环境变化、设备运行状态等施工参数完成信号转化。设备可持续捕捉施工现场的细微状态波动,将物理工况信号转化为可识别的数字化电信号或光信号。感知流程无需人工干预,按照预设采集频率自主收录信息,覆盖公路施工各类隐蔽点位与动态变化工况<sup>[2]</sup>。持续的信息捕捉工作可完整记录施工状态的变化过程,为后续数据处理与风险研判提供真实、连续的原始数据,保障智能化监测工作有序推进。

## 2.2 施工监测数据信息传输机制

施工监测数据传输依托无线传输网络架构搭建完整信息传导链路,承接前端感知设备输出的各类数据。传输体系适配野外公路施工的复杂环境,有效规避地形遮挡、气候干扰引发的信息中断问题。采集得到的数字化数据按照既定传输协议有序上传,实现现场监测点位与后台管控终端的信息互通。传输链路具备稳定的信息吞吐能力,可承载大批量、高频次的监测数据流转。链路架构能够保障数据传输的完整性与时效性,杜绝数据丢失、错乱、延迟等问题,让后台终端实时同步施工现场最新工况,保障监测体系持续稳定运转。

## 2.3 多源施工数据智能分析机理

公路施工场景会产生类型繁杂、维度多样的监测数据,多源数据智能分析依托数字化算法体系完成数据规整与深度解析。系统对位移、沉降、温湿度、设备状态等不同类型的开展分类梳理,统一数据统计口径与解析标准。算法体系对零散的原始数据进行筛选、清洗与整合,剔除无效干扰数据,留存有效工况信息。通过挖掘数据内在规律解析施工状态变化趋势,梳理工况参数的波动规律与内在关联。数据分析环节可深度挖掘浅层数据背后蕴含的施工状态信息,为风险判别提供精准的数据支撑。

## 2.4 施工风险智能判别与预警触发机理

施工风险智能判别依托标准化工况阈值与算法逻辑实现隐患识别。系统对比实时分析数据与预设安全参数范围,判定施工工况所处的安全状态。参数偏离合理区间后,系统识别施工现场存在的异常隐患,结合异常严重程度划分不同风险等级。对应等级的预警指令会自动生成并推送,完成整套预警触发流程。整套运行模式以数据驱动实现风险识别与提示,主动排查施工隐患,扭转传统施工问题被动发现的管控模式,实现施工风险的

前置管控与科学处置<sup>[3]</sup>。

## 3 智能化监测与预警技术在公路施工的应用维度

### 3.1 公路路基施工智能监测与预警应用

路基施工质量直接影响公路施工进度与后期服役状态,是公路建设的核心工序。智能监测技术可覆盖路基填筑、分层压实、固结沉降等全施工阶段,实现施工状态的动态管控。施工现场布设智能传感设备,自动采集土体沉降、内部形变、土层密实度等核心参数,持续记录路基结构的状态变化。系统依托实时监测数据研判施工工况,针对沉降增速异常、土体松散、形变超标等问题主动触发预警。施工人员依据预警信息调整填筑厚度与碾压工艺,在施工过程中规避不均匀沉降、局部失稳等常见路基施工病害。

### 3.2 公路路面施工智能监测与预警应用

路面施工对作业精度、施工温度及工序均匀性有着严苛要求,施工细节偏差极易诱发各类路面病害。智能监测体系可覆盖沥青摊铺、机械碾压、面层成型等关键工序,动态采集摊铺厚度、碾压密实度、施工温度、路面平整度等核心施工指标。系统实时跟进施工动态,精准捕捉各类数据的异常波动,快速定位施工偏差问题。施工人员结合预警提示调整摊铺速度、碾压频次与作业温度,优化现场施工方式。这种精细化管控模式,可有效改善路面开裂、表面起伏、压实度不足等质量问题,提升路面成型精度与整体结构性能。

### 3.3 公路附属结构施工智能监测应用

边坡支护、支挡结构、排水沟槽、护栏基础等附属结构,是公路安全防护体系的重要组成部分。这类工程施工点位分散、作业环境复杂,传统人工巡查难以实现全方位隐患排查。智能监测设备可适配各类复杂施工场景,精准采集结构位移、土体波动、构件成型状态等关键数据。在边坡开挖、支挡浇筑、排水设施施工的全过程中,监测系统持续收集现场数据,精准排查施工阶段隐藏的安全与质量隐患。这套监测模式可以补齐传统人工管控的短板,规范附属结构施工流程,精准把控构件成型质量。

### 3.4 施工环境与施工设备智能预警应用

公路露天施工模式容易受到自然环境与机械设备运行状态的干扰,两类因素均会影响施工进度与施工质量。智能预警系统可对施工现场环境开展常态化监测,持续采集温湿度、风力、降水、场地地表状态等环境数据。系统结合实测数据判别现场风险,及时发出预警,方便施工班组灵活调整施工计划,规避恶劣环境引

发的施工隐患。各类施工机械接入监测系统后,可实时上传运行工况,及时识别部件异常、参数偏移等设备故障。提前排查设备隐患,能够规避机械故障引发的停工问题,规范现场作业秩序,降低外界因素对施工流程的干扰。

#### 4 公路施工智能监测预警技术的优化路径

##### 4.1 施工感知设备布设与采集方式优化

智能感知设备是公路施工监测数据获取的核心载体,设备布设形式与采集模式直接决定原始数据的完整度与精准度。常规施工监测作业普遍存在布设点单一、布设密度不合理的问题,复杂施工区域与隐蔽施工部位极易形成监测空白区域。针对性优化工作需要结合公路路基、路面、边坡及附属结构的施工特点,划分重点监测区域与常规监测区域。按照施工风险等级差异化布置传感感知设备,加密高危施工点位的布设密度,彻底补齐局部监测盲区<sup>[4]</sup>。结合不同施工工序的作业节奏调整数据采集频次,匹配结构形变与环境工况的变化速率。优化设备安装固定工艺,提升设备在露天、高温、潮湿等复杂野外工况下的运行稳定性,规避设备松动、偏移引发的数据失真问题,保障源头数据采集质量。

##### 4.2 监测数据传输与处理体系优化

公路野外施工地形条件复杂,遮挡干扰因素多发,传统数据传输架构普遍存在信号不稳、数据吞吐能力有限的短板。各类监测数据混杂无序,大幅提升后期风险研判的工作难度。数据传输体系优化可依托复合型网络架构升级传输链路,增强野外复杂环境下的信号穿透能力与抗干扰能力。搭建分层式数据传输通道,对工况数据、设备运行数据、环境监测数据实行分类传输,规避多源数据混杂造成的通道拥堵。搭建标准化数据处理流程,引入数据清洗、筛选与规整机制,自动剔除采集过程中产生的无效、干扰数据。统一各类监测数据的统计口径与存储格式,构建规整有序的施工监测数据库,提升数据利用效率,为智能分析与风险判别提供规整的数据支撑。

##### 4.3 智能预警判别体系完善

现阶段公路施工智能预警判别标准相对笼统,通用阈值无法适配不同地貌环境、不同施工工艺的差异化管控需求,误判、漏判问题时有发生。完善预警判别体系需要结合公路工程分项施工特征,细化路基、路面、边坡、附属结构的专属判别标准。结合地质条件、施工工

艺、结构设计参数更新分级预警阈值,搭建分层、分类的风险判别机制。拓展系统风险识别维度,结合瞬时数据异常与长期数据变化趋势综合研判施工状态,提升隐患识别精准程度。优化预警等级划分规则,依据隐患影响范围、危害程度区分不同预警层级,匹配对应的现场处置参考标准,让预警输出内容更贴合现场施工管控的实际需求。

##### 4.4 施工智能监测预警运行体系优化

完整规范的运行体系是智能监测预警技术长效落地的关键,多数施工现场的智能化应用存在作业流程零散、岗位协同力度不足的问题。体系优化需要整合数据采集、传输分析、预警推送、现场处置等全部环节,搭建全流程闭环作业模式。明确技术运维、现场施工、安全管控等岗位权责,理顺各岗位在监测预警体系中的协同流程。建立常态化的设备运维与数据核查机制,定期排查感知设备、传输链路与系统平台的运行状态,保障整套体系持续稳定运转。统一施工全过程监测预警作业标准,规范异常工况的处置流程与归档要求,持续提升公路施工智能化管控的规范性与系统性<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

智能化监测与预警技术依托自动化感知、数字化传输与智能分析能力,彻底改变公路施工传统被动的管控模式,可覆盖路基、路面、附属结构及施工现场的多维度管控需求。通过梳理技术运行的内在机理,明确各类施工场景的具体应用形式,从设备采集、数据处理、预警判别、体系运行多个维度完善技术应用模式,能够持续规范施工现场管控流程,提升施工隐患识别的精准度与及时性,推动公路施工管理朝着数字化与智能化方向稳步升级。

#### 参考文献

- [1] 冯军宏.公路施工中的智能化监测与预警技术研究[J].新疆有色金属,2026,49(1):108-110.
- [2] 韩立中.高速公路施工中的智能化安全监测与预警技术研究[J].建筑工程技术与设计,2023,11(7):10-12.
- [3] 刘庆.智能化监测技术在公路桥梁施工安全管控中的应用探讨[J].城镇建设,2025(24):133-135.
- [4] 段光浩.公路施工中智能化监测技术的应用研究[J].智能建筑与工程机械,2025,7(10):93-95.
- [5] 赵峰.公路桥梁施工中的智能化监测技术及其应用效果分析[J].电脑采购,2024(42):116-118.