

# 高速公路隧道施工安全信息化监控技术

文 / 卫波轮 中铁二十一局集团第三工程有限公司

**摘要:** 为了保障高速公路隧道施工安全,文章从信息化监控技术应用为切入角度,系统阐述了人员定位、监测测量、空气监测和语音交互等关键应用。针对监控设备技术集成度不足、海量数据处理分析能力欠缺、系统成本过高等问题,提出了构建统一标准促进技术整合、完善智能化数据分析预警体系、优化管理流程降低运营成本等优化对策,并结合实际工程案例验证了信息化监控技术的应用效果,旨在提升隧道施工安全管理水平,促进信息化监控技术在工程建设中的推广应用。

**关键词:** 高速公路隧道; 施工安全; 信息化监控技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.060

## 引言

随着高速公路建设规模的不断扩大,隧道工程日益增多,其施工安全问题备受关注。传统的人工巡查、经验判断等安全管理方式已难以满足现代隧道施工的需求。信息化监控技术的发展为解决这一问题提供了新思路,将物联网、大数据、人工智能等先进技术引入隧道施工安全管理,能够实现对施工过程的全方位、智能化监控。探讨信息化监控技术在隧道施工中的应用及优化策略,对于提升施工安全管理水平、保障工程顺利实施具有重要的理论和实践意义。

### 一、高速公路隧道施工安全信息化监控技术的应用

#### (一) 人员定位应用

高速公路隧道施工中人员定位技术的应用,能够实现对施工人员实时、精准的定位监控。通过在隧道内部署无线网络传输设备、定位软件、感应芯片和读卡器等硬件设施,并结合先进的北斗定位和RFID射频识别技术,提高定位精度和稳定性,管理人员可以实时掌握隧道内施工人员的分布情况和行动轨迹。这一技术的应用,使得管理人员能够根据施工进度和安全状况,科学调配人力资源,优化施工流程,提升施工效率。同时,人员定位系统也发挥着安全监管的重要作用。一旦发现施工人员处于危险区域或出现异常状况,系统可以及时预警并采取应急措施,最大限度地保障施工人员的生命安全。此外,人员定位系统还具备考勤功能,能够准确记录施工人员的出勤情况,实现人员管理的信息化和规范化。综上所述,人员定位技术在隧道施工中的应用,能够全面提升施工管理的科学性、安全性和效率,对于保障隧道工程的顺利实施具有重要意义<sup>[1]</sup>。

#### (二) 监测测量应用

为了确保高速公路隧道施工的安全和质量,监测测量技术在施工过程中发挥着关键作用。通过在隧道内部署各类传感器和监测设备,可以实时获取隧道内部的环境参数、支护结构受力变形情况以及围岩位移等关键数据。利用这些监测数据,技术人员可以及时分析隧道的稳定性和安全状况,预判可能出现的风险隐患,并据此优化施工方案和支护参数。目前,新奥法技术已成为我国隧道施工监测测量的主要手段之一。该技术不仅能够

动态监测隧道工程的水文地质条件,还可以精确测量围岩与支护的时空变形、应力以及压力情况。通过对测量数据的分析反馈,可以动态调整支护参数和应急预案,指导施工作业,保障隧道工程的安全与质量。此外,在实际的监测测量过程中,还需要严格遵循标准规范,科学设置测点,并使用精密仪器进行数据采集,以确保监测数据的准确性和可靠性。只有如此,才能真正发挥监测测量技术在隧道施工安全管理中的重要作用。

#### (三) 空气监测应用

高速公路隧道施工过程中,由于空间相对封闭,通风条件较差,施工环境中往往存在大量粉尘和有害气体,严重威胁着施工人员的身体健康和生命安全。为了有效应对这一问题,空气监测技术在隧道施工中得到了广泛应用。通过在隧道内部署空气监测设备,可以实时采集隧道内部的空气样本,分析其中的粉尘浓度、有毒有害气体含量等关键指标,并将监测数据传输至监控中心。一旦监测数据超出安全阈值,系统就会立即触发警报,提醒现场人员采取应急措施,疏散撤离危险区域。与此同时,监控中心的技术人员还可以根据监测数据,及时调整通风设备的运行参数,加强隧道内的空气流通,改善施工环境。空气监测技术的应用,不仅能够有效预防因有毒有害气体引发的中毒、窒息等安全事故,还可以最大限度地保障施工人员的身心健康,提高施工效率和质量。因此,在隧道施工过程中,必须高度重视空气监测技术的应用,建立完善的监测预警机制,切实保障施工安全。

#### (四) 语音交互应用

在高速公路隧道施工过程中,由于施工环境复杂,噪音干扰大,传统的人工呼叫和对讲方式往往难以满足施工现场的沟通需求。而语音交互技术的应用,则为解决这一问题提供了有效途径。通过在隧道内部署语音对讲系统,施工人员可以便捷地与管理人员进行实时语音通信,及时汇报施工进度,反馈现场情况。管理人员也可以通过语音系统,远程指挥调度施工作业,传达安全管理要求,提高现场管理的时效性和规范性。在紧急情况下,语音交互系统还可以发挥应急指挥的重要作用。一旦发生安全事故,现场人员可以通过语音系统,及时

向管理人员报警求助，管理人员也可以利用语音广播，指导现场人员有序撤离，开展应急救援工作。可以说，语音交互技术在隧道施工中的应用，极大地提高了现场管理的效率和安全保障水平。未来，随着语音识别、自然语言处理等技术的不断发展，语音交互系统必将在隧道施工现场发挥越来越重要的作用，成为安全管理不可或缺的重要工具。

高速公路隧道施工安全信息化监控系统架构如图1所示。

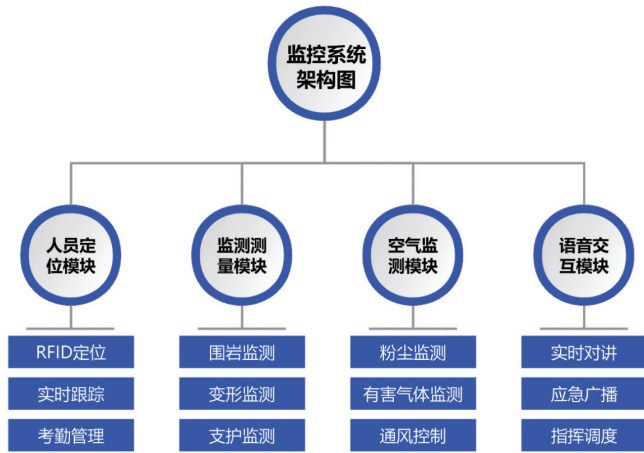


图1 高速公路隧道施工安全信息化监控系统架构图

## 二、高速公路隧道施工安全信息化监控技术面临的挑战

### （一）监控设备技术集成度有待提高

在高速公路隧道施工安全信息化监控领域，不同生产厂商的监控设备因采用独立的通信协议和数据格式，导致技术集成性问题日益凸显。视频监控、环境监测、人员定位、设备管理等子系统间缺乏统一的标准或协议，严重影响系统间信息的无缝交互与集成。技术的不兼容性阻碍了监控系统各个部分的互联互通，降低了整体监控效率和响应速度。现有系统在数据传输过程中经常出现断点、延迟等问题，影响监控数据的实时性和准确性。同时，监控设备的升级维护因标准不统一而面临诸多困难，增加了系统维护的复杂度。在紧急情况下，各子系统之间协调响应能力不足，无法及时形成联动机制，对隧道施工安全管理造成潜在风险。推动行业标准统一和开放接口协议的建立已成为解决技术集成性问题的关键<sup>[2]</sup>。

### （二）海量数据处理分析能力不足

高速公路隧道施工安全信息化监控过程中，监控设备数量和种类的激增导致数据量呈指数级增长，传统数据处理方法难以应对如此庞大的数据流。实时监控数据的采集、存储、检索和分析对系统硬件性能和软件算法提出了更高要求。监控系统需要在极短时间内完成数据处理和分析任务，以便及时发现安全隐患并采取应对措施，但现有技术在处理速度、准确性和自动化水平上仍显不足。此外，数据采集设备的同步性和数据传输的实

时性也面临严重挑战，影响监控系统的整体性能。数据分析过程中存在信息提取不充分、关键风险指标识别不准确等问题，影响了预警效果。特别是在复杂地质条件下，多源异构数据的融合分析能力有限，无法全面评估隧道施工风险。机器学习、人工智能等先进技术在监控数据分析中的应用尚未充分发挥作用，智能化分析水平需要进一步提升。

### （三）信息化监控系统成本过高

高速公路隧道施工安全信息化监控系统的实施和运行涉及巨额成本投入，成为制约系统推广应用的重要因素。高精度传感器、先进摄像头等硬件设备采购费用高昂，加上构建稳定可靠的网络基础设施，保证实时数据传输的投入，导致系统初始建设成本居高不下。软件平台的开发和维护需要专业技术团队持续投入，产生大量人力成本。随着监控数据规模扩大，数据存储和处理需要购置昂贵的服务器硬件或租用云服务，长期运营成本持续攀升。系统需要定期升级以适应最新的安全标准和技术发展，升级改造费用给单位带来较大压力。专业技术人员的培训费用也是不可忽视的支出，需要确保操作人员具备处理高科技监控设备和软件的能力。高额的综合成本支出影响了信息化监控技术在高速公路隧道施工领域的广泛应用。

## 三、高速公路隧道施工安全信息化监控技术的优化对策

### （一）构建统一标准促进技术整合

高速公路隧道施工安全信息化监控系统要实现高效运转，关键在于建立统一的技术标准体系，实现各子系统的协同运作。首先，制定行业统一的数据采集与传输标准，规范监控设备的通信协议、数据格式和接口规范，实现不同厂商设备间的无缝对接。通过中间件技术和集成框架，打破设备间的信息壁垒，建立起互联互通的监控网络。其次，引入云计算等现代IT技术构建统一的监控平台，采用分布式架构实现资源的弹性配置和高效调度。通过云平台整合视频监控、环境监测、人员定位等子系统，提升系统整体性能和可靠性。最后，建立标准化的数据共享机制，统一数据存储格式和访问接口，实现监控数据的集中管理和共享利用。通过数据标准化促进各系统间的信息融合，为安全监控决策提供全面的数据支持。通过构建完善的标准体系和技术框架，推动监控系统向更高水平的集成化、智能化发展，全面提升安全监控效能。

### （二）完善智能化数据分析预警体系

高速公路隧道施工安全信息化监控系统的核心价值在于实现数据的智能分析和风险预警，必须建立完善的智能化分析预警体系。一方面，开发基于机器学习和深度学习的智能分析算法，通过对历史数据的挖掘分析，建立隧道施工安全风险评估模型。利用人工智能技术实现对监控数据的自动分类、特征提取和异常识别，提高数据分析的准确性和效率。另一方面，构建多层次的预警模型体系，结合地质信息、施工参数和环境监测数

据,建立不同风险等级的预警阈值。通过实时数据分析,对隧道变形、地质灾害、设备故障等潜在风险进行智能预测和预警。此外,建立自适应的预警响应机制,根据预警等级自动触发相应的处置流程,实现风险防控的闭环管理。预警信息通过多种渠道及时推送给相关人员,确保应急处置的及时性和有效性。通过持续优化智能分析预警体系,不断提升系统的风险防控能力,为隧道施工安全提供强有力的技术保障。

### (三) 优化管理流程降低运营成本

面对高速公路隧道施工安全信息化监控系统的高额成本问题,需要从管理流程优化入手,实现系统的高效运营。首先,制定科学的设备采购和配置方案,根据施工现场实际需求合理配置监控设备,避免重复建设和过度投入。通过设备的集中采购和规模化部署,有效降低硬件采购成本,同时通过设备供应商的战略合作和长期框架协议的签订,进一步实现成本的规模化优化。其次,建立标准化的运维管理流程,实现监控系统的精细化管理。采用项目管理软件优化人力资源配置,建立定期维护和巡检制度,延长设备使用寿命,减少维修成本。最后,引入数据驱动的决策支持系统,优化资源调度和配置。通过数据分析指导设备更新和系统升级,实现投入产出的最优化。建立完善的培训机制,提高操作人员的专业技能,减少人为故障和维护成本。通过管理流程的系统性优化,既保障了监控系统的运行质量,又实现了运营成本的合理控制,推动信息化监控技术的可持续发展。

## 四、兰永临高速公路西固隧道施工安全信息化监控技术应用案例分析

### (一) 工程概况

兰永临高速公路为国家重点工程项目,设计时速120公里。西固隧道工程为左右分离式双向四车道高速公路,全长1868米(左)、1858米(右),为长隧道。该隧道采用上下台阶法施工,最大埋深375米,地质条件为黄土陷穴、坡面溜滑、风积黄土且具有强湿

陷性、崩塌及滑坡、边坡稳定性差,全隧道围岩为V级。本合同段内施工总工期48个月,工程总造价14.7亿元。项目施工环境条件差,存在溜塌、滑坡等多种地质灾害风险,对施工安全管理提出了极高要求,为保障施工安全,项目部全面应用了信息化监控技术。为保障施工安全,项目施工现场全面应用了信息化监控技术。在各方共同努力下,项目施工进度顺利,如图2所示。

### (二) 信息化监控技术应用

项目部构建了一套完整的隧道施工安全信息化监控系统,实现了对人员、环境和工程参数的全方位监控。在人员管理方面,采用基于RFID技术的智能安全帽系统,实现对入场人员的实时定位和轨迹追踪,系统可自动统计各区域人员数量,对非授权区域入侵进行报警提示。在环境监测方面,布设了粉尘浓度、有毒有害气体、温湿度等多参数在线监测设备,建立起环境参数智能预警平台。对围岩变形监测方面,采用激光测距仪、多点位移计、应变计等设备,构建起支护结构受力变形监测网络。项目建立了统一的数据管理中心,运用大数据分析技术对监测数据进行挖掘分析,建立了基于机器学习的隧道施工风险预测模型。同时,搭建了基于5G网络的高清视频监控系統,实现了施工现场的实时可视化。系统各模块之间实现了数据共享和联动响应,形成了闭环的安全管理体系。

### (三) 应用效果

通过信息化监控技术的应用,项目安全管理水平得到显著提升。施工期间,系统共发出预警信息81次,成功预防地质灾害事故1起,避免了重大人员伤亡和经济损失。人员定位系统的应用使得现场管理更加规范,违规作业率下降85%。环境监测系统的投入使得粉尘超标率降低67%,职业病危害得到有效控制。工程监测数据的积累为优化支护参数提供了依据,节约工程造价约30万元。项目目前正在施工中。

### 结束语

综上所述,信息化监控技术在高速公路隧道施工安全管理中发挥着不可替代的作用。通过人员定位、环境监测、工程参数监测等多维度监控手段,结合大数据分析和智能预警技术,有效提升了施工安全管理水平。未来应着力推进监控技术标准化建设,深化人工智能技术应用,优化系统成本结构,促进信息化监控技术与施工安全管理的深度融合,为建设智慧、安全的现代化隧道工程贡献力量。

### 参考文献

- [1]尹平.高速公路隧道施工安全信息化监控技术探析[J].智能建筑与工程机械,2024,6(2):82-84.
- [2]黄红亚,罗荣辉,肖文东.高速公路隧道施工安全信息化监控技术探析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(18):37-39.

作者简介:卫波轮(1982.12),男,汉族,山西新绛县人,本科,工程师,研究方向:安全技术管理。



图2 兰永临高速公路西固隧道