

# 隧道数字综合布线及智能监测技术在项目中应用探索

陈光勇

山东省交通规划设计院集团有限公司 山东济南 250000

**摘要:**在城市地下空间和交通基础设施建设中,隧道电缆系统的安全与可靠运行直接影响整体工程的稳定性和运营效率。本文围绕隧道电气系统数字化管理的实际需求,提出了面向模块化施工的电缆关键节点监测方法,构建设计、施工、运维全寿命周期的综合布线成套技术。同时,探索了考虑常态化监测的接地风险预警体系,研制出接地电阻自动监测预警装备,有效预防接地隐患导致的安全事故。在此基础上,搭建了基于BIM的数字综合布线可视化分析平台,提出供电线缆运行风险指数与临界阈值,并建立综合监控系统接口标准,该技术体系能显著提升隧道电缆布设的规范化与可视化水平,提高故障预判和应急处置能力,为隧道智能化运维提供可靠支撑。

**关键词:**隧道工程;数字化;综合布线;智能监测

## 引言

随着城市基础设施建设规模的不断扩大,隧道工程在城市交通、给排水、电力管廊等领域的应用愈加广泛。然而,传统隧道电缆布线在设计与运维中存在布设杂乱、监测手段落后、维护效率低等问题,尤其在发生短路、漏电或供电中断时,故障点难以快速定位,造成安全风险与经济损失。在新一轮数字化建设浪潮下,综合布线技术与智能监测系统逐渐成为隧道运维的关键方向。通过信息化与智能化手段对电缆运行状态进行实时监控,不仅能显著提升安全等级,还能优化隧道电气系统的运行管理效率。本文结合工程实际,探索隧道数字综合布线及智能监测技术在项目中的应用路径,从系统架构、关键节点监测、接地风险预警到可视化平台搭建,形成一套可推广的技术体系,为后续类似项目提供参考与借鉴。

### 1 隧道数字综合布线及智能监测技术发展意义

随着城市地下空间开发的不断深入,隧道工程在交通、市政、能源输送等领域的比重日益提升。然而,传统隧道电缆布线方式多依赖人工经验与分段施工,存在布线复杂、信息孤立、管理滞后等问题。一旦供电线缆出现故障,不仅排查困难、修复周期长,还可能造成交通中断或设备损毁,带来较大的安全与经济风险。在此背景下,发展数字综合布线与智能监测技术具有重要的现实意义和长远价值。

数字综合布线技术以信息化、标准化为核心,通过模块化设计与统一接口,实现隧道电缆的有序规划与高效施工。

这种方式可在设计阶段进行三维建模与路径优化,避免传统布线中出现的交叉混乱与资源浪费,从根本上提高工程质量与施工安全。其次,智能监测技术的引入,使隧道电气系统实现了从“人工巡检”向“智能预警”的转变。通过在关键节点布设传感器,可实时监测温度、电流、电压、接地电阻等运行参数,及时发现潜在风险,防止短路、漏电及火灾等事故发生。

此外,数字化布线与监测系统为后期运维提供了可视化管理基础。通过数据平台,管理人员能够直观掌握线缆布局与设备运行状态,实现远程监控与精确维护。总体来看,该技术的推广应用,不仅提升了隧道电气系统的安全可靠性与运维效率,也推动了基础设施建设向数字化、智能化方向迈进,为城市交通与能源管控提供了更高效的技术支撑。

## 2 模块化布线与关键节点监测技术

### 2.1 模块化布线的总体思路与设计理念

在传统隧道电缆施工中,线缆路径冗长、交叉复杂,往往依赖经验式布设,缺乏系统化设计和可追溯管理,导致后期维护困难。为此,在隧道电气系统中引入模块化布线理念,是实现标准化建设和智能化运维的重要突破。模块化布线的核心在于“分区分段、统一接口、结构清晰”。在设计阶段,整个隧道电缆系统被划分为多个功能模块,如供电模块、照明模块、通信模块和监控模块等,每个模块均依据功能需求独立布线,并在接口处采用标准化接头,以便后期快速对接与替换。这种分段化结构能有效降低布线混乱度,使

设计方案更加直观可控。模块化布线还强调“施工即维护”的理念，即在施工阶段就同步考虑后期运维需求，预留检查口、检测点和接线空间，使维修工作不再依赖人工排查和拆改。通过模块化设计，电缆布局更加合理，布线路径清晰，整体系统的可靠性和施工安全性均得到提升，为后续数字监测与运维管理奠定了坚实基础。

### 2.2 关键节点的智能监测与数据采集方法

隧道电缆系统中，节点位置多、运行环境复杂，极易受到潮湿、高温及电磁干扰等因素影响，因此对关键节点的实时监测尤为重要。本文提出在模块化布线的基础上，于关键节点处安装智能传感单元，对温度、电流、电压、绝缘状态等核心参数进行动态采集。传感器通过无线或有线网络与监控平台相连，实现数据的实时传输与自动记录。通过算法模型分析，系统可识别出电缆运行中的细微异常，如导体升温、接头松动、电流突变等，并在出现风险时自动报警，提醒运维人员及时处理。该监测方式突破了以往人工巡检的局限，使运维由“定期检测”转为“持续监控”。此外，监测数据还可与历史记录进行比对，形成趋势分析曲线，为判断设备老化和电缆寿命提供依据。通过这种智能监测体系，隧道电缆实现了从静态管理到动态感知的转变，不仅提高了安全防护能力，也为后续建立电缆健康档案与风险评估体系提供了真实、可量化的数据支撑。

### 2.3 模块化布线与监测系统的协同应用成效

模块化布线与关键节点监测技术并非孤立存在，而是在项目实施中形成互为支撑的技术体系。模块化布线保证了线路布局的规范与可视化，使监测点的布设更加合理；而智能监测系统又反过来为模块运行状态提供实时数据反馈，形成“布线—监测—调整”的闭环管理机制。通过该体系，运维人员能够快速掌握各功能模块的运行状态，当局部电缆出现异常时，系统可精确定位至具体节点，显著缩短故障排查时间。例如，在某市隧道电气系统改造中，应用该技术后，电缆故障平均处理时间由原先的3小时缩短至40分钟，电缆过载和接地不良警报准确率提高至95%以上。与此同时，模块化与监测数据的融合，使电缆运行状态实现可视化呈现，运维人员可通过BIM平台直观查看线路布局、风险指数与历史数据，大幅提升管理效率和应急响应能力。实践证明，该协同体系能有效降低安全隐患，延长电缆使用寿命，为隧道运维数字化转型提供了坚实技术支撑。

## 3 接地风险预警与自动监测装备

### 3.1 接地风险的形成与监测必要性

隧道供电系统通常运行在高湿、高盐雾、通风条件差的环境中，接地装置易受腐蚀、老化或结构松动影响，导致接地电阻增大或接触不良。传统的人工检测方式多依赖定期抽检，周期长、覆盖面窄，无法及时反映系统的真实运行状态。一旦接地性能下降，供电设备可能产生漏电电流，引发电击、短路或火灾等严重事故。特别是在隧道这种封闭空间中，安全隐患极易放大。因此，构建常态化、实时化的接地风险监测体系显得尤为必要。本文提出的接地风险预警技术，通过在供电系统关键接地点安装高灵敏度传感器，实时采集电流、电压及接地电阻数据，并结合历史运行曲线进行动态分析，能够有效识别潜在风险变化趋势，为运维人员提供提前干预的决策依据。

### 3.2 自动监测预警装备的结构与原理

接地电阻自动监测预警装备由数据采集模块、信号处理单元、无线传输系统和远程监控接口组成。其核心原理是利用微弱电流信号模拟接地状态，通过算法计算出电阻变化值，从而判断接地性能是否正常。该装备具备抗干扰设计，能够在强电磁环境中稳定运行，避免了外界信号对检测精度的影响。监测数据经无线模块实时上传至隧道综合监控平台，系统自动比对设定的安全阈值，一旦检测到异常升高或周期性波动，立即触发多级预警机制，包括声光报警和短信、网络提示等方式。同时，设备可实现自动标记异常点位，方便运维人员快速定位。此系统的结构紧凑、安装便捷，不需断电即可检测，大幅降低了维护工作量和检测风险。

## 4 BIM 可视化分析与综合监控平台建设

### 4.1 BIM 技术在隧道综合布线中的应用价值

传统隧道电缆布线设计多依赖二维图纸，存在信息割裂、更新滞后、数据共享困难等问题，难以满足现代化管理需求。BIM（建筑信息模型）技术的引入，使隧道电缆系统的空间布局、材料属性和施工节点实现了三维可视化和信息集成。通过BIM模型，设计人员能够在施工前直观查看隧道全貌，合理规划电缆走向和安装位置，避免交叉冲突与重复布设。在施工阶段，BIM模型可与进度计划、施工日志相匹配，实现实时调整与动态更新；在运维阶段，模型中嵌入的电缆编号、负荷容量、维护记录等信息，为后续检修提供完整的数据支撑。实践表明，BIM技术不仅优化了设计精度，

还大幅提升了工程协同效率,为数字化隧道运维提供了坚实基础。

#### 4.2 风险指数与临界阈值模型的构建

为了实现对电缆运行状态的量化管理,平台基于BIM模型构建了供电线缆风险指数与临界阈值模型。系统通过实时采集电流、电压、温度、环境湿度等参数,结合电缆材料特性和运行年限,自动计算出风险指数。当某一参数接近设定阈值时,系统会自动触发预警,并在模型中以颜色标识高风险区域。该模型不仅能反映当前运行状况,还能通过历史数据趋势预测未来的风险变化,提前指导维护决策。通过与监控平台的数据联动,管理人员可对不同区域的电缆安全等级进行分级管理,实现“看得见、管得准、防得早”的目标。这种模型化管理方式,为隧道供电系统的安全运营提供了科学的量化依据。

#### 4.3 综合监控与电力系统接口标准设计

在隧道电气系统的综合管理中,监控平台与电力系统之间的标准化接口至关重要。本文基于BIM平台提出了统一的数据交互标准,实现了电缆运行监控平台、综合监控系统与电力监控系统的互联互通。接口标准主要包括数据格式、通信协议及安全校验机制,确保不同系统之间的信息同步与稳定传输。通过该标准,电缆运行参数、设备负荷状态及告警信息可实时传递至监控终端,形成完整的多源数据融合体系。同时,系统还支持按权限分级管理,运维人员、管理部门及设计单位可分别查看所需信息,避免数据冗余与操作冲突。接口标准的建立,使隧道电气监控系统真正实现了“一张图管理、一次录入、全程共享”的信息化目标。

#### 4.4 平台应用成效与未来优化方向

BIM可视化分析与综合监控平台在多条城市隧道项目中投入使用后,显著提升了运维效率与安全管控能力。通过平台的三维可视化界面,运维人员能够在几分钟内定位故障点,相比传统人工排查节省了近70%的时间;风险指数模

型的实时计算,使得隐患处理更具前瞻性。平台还整合了接地电阻监测、能耗分析等模块,实现了多维度的运行状态评估。在未来优化方向上,平台将进一步引入AI算法,对电缆老化趋势进行智能预测,并结合物联网传感终端,实现更高频次、更精准的数据采集。此外,可探索与城市综合管廊、交通管理平台的互联,形成更广域的基础设施数字化管理体系,为智慧城市建设提供可靠的技术支撑。

### 5 结论

综上所述,隧道数字综合布线及智能监测技术的应用,标志着传统电气运维模式的升级与转型。通过模块化设计、智能感知、可视化分析和数据化决策,实现了隧道电缆系统从“静态布设”向“动态管理”的跨越。该体系有效解决了线缆布设混乱、故障定位困难、接地风险无法实时掌控等问题,提升了隧道运行的安全性和管理效率。在信息化时代背景下,随着物联网和人工智能技术的进一步发展,隧道综合布线与智能监测将更加精细化、智能化,为城市地下空间的安全运行和数字化管养提供坚实的技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] 姬云平. 青藏线西格段增建第二线杂布沟隧道塌方处理方案[J]. 甘肃科技, 2011, 27(1): 112-11388
- [2] 李文杰. 分区开挖基坑对下卧既有地铁区间隧道影响数值分析[J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2025, 25(1): 1-7
- [3] 尹小康, 罗威, 赵思为, 王仕兴, 杨开明. CSAMT深埋长大隧道破碎岩体靶向勘察研究[J]. 中国铁路, 2024(6): 57-67
- [4] 王安东, 宋佳宁, 姜留涛. 基于BIM技术的浅埋隧道无限元法数值研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(8): 75-78
- [5] 沈磊. BIM技术在隧道施工阶段的应用探索与实践[J]. 太原城市职业技术学院学报, 2024(5): 49-50
- [6] 韩瑀萱, 邓科, 李想, 谭碧舸, 马春驰, 李天斌. 山地轨道交通隧道Geo-BIM建模方法与应用研究[J]. 铁道标准设计, 2024, 68(3): 163-171