

探索光纤通信技术在铁路沿线环境数据监测中的实践与创新

向进国

国能朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 河北沧州 062350

【摘要】本文探讨了光纤通信技术在铁路沿线环境监测中的应用及创新。光纤通信凭借高带宽、低衰减和抗干扰特性，有效支持环境数据的实时监测，提升数据传输稳定性，减少信号干扰，保障数据的准确传输。创新技术如分布式光纤传感、物联网与云计算结合，增强了系统的智能化和数据处理能力。研究表明，光纤通信可为铁路环境监测提供有效支持，未来应继续优化和推广，提升铁路运输安全与环境保护水平。

【关键词】光纤通信；铁路沿线；环境数据；数据传输

Explore the practice and innovation of optical fiber communication technology in
the environmental data monitoring along the railway

Xiang jinguo

Guoneng Shuohuang Railway Development Co., LTD. Suning Branch, Hebei Cangzhou Zip code 062350

【Abstract】This paper discusses the application and innovation of optical fiber communication technology in environmental monitoring along the railway. With high bandwidth, low attenuation and anti-interference characteristics, optical fiber communication effectively supports the real-time monitoring of environmental data, improves the stability of data transmission, reduces signal interference, and ensures the accurate transmission of data. Innovative technologies such as distributed fiber sensing and the combination of the Internet of Things and cloud computing enhance the intelligence and data processing capabilities of the system. The research shows that optical fiber communication can provide effective support for railway environmental monitoring, and should be continued to optimize and promote in the future to improve the level of railway transportation safety and environmental protection.

【Key words】optical fiber communication; along the railway; environmental data; data transmission

引言

铁路运输是我国重要的交通方式，随着铁路网扩展，沿线环境监测和数据传输需求增加。环境因素如噪声、空气质量和振动直接影响铁路安全与沿途生态。传统通信面临信号干扰和稳定性差的问题，光纤通信凭借高速、大带宽、低衰减、抗干扰强等特性，成为理想的数据传输解决方案。本文探讨光纤通信在铁路环境数据传输中的应用，分析其在监测系统、传输稳定性和网络架构等方面的优势，并展望未来发展趋势。

一、光纤通信技术概述

光纤通信技术是一种利用光导纤维传输信息的技术。与

传统的电缆通信方式相比，光纤通信具有许多独特的优势，使其在现代通信中发挥着重要作用。光纤的传输损耗非常低，通常在长距离传输过程中信号衰减较小，且在一定距离内无需中继放大，这大大提升了传输效率。单模光纤在1550nm波长处，衰减系数可降至0.2 dB/km以下，该技术使得长距离光纤传输表现优异，光纤通信在抵御电磁干扰方面显著优于电缆通信，鉴于光纤主要采用玻璃或塑料等非导电性材料构成，该介质免受电磁干扰(EMI)及射频干扰(RFI)的侵害。《光纤通信抗干扰性能研究报告》光纤通信信息传递过程中不涉及电流流动，故光纤通信可在复杂电磁环境下维持数据传输的稳定性，特别适宜于铁路周边等电磁干扰显著的地点，光纤通信具有极高的带宽容量，传输速率亦极快，可实现海量数据的高速传输，该特性凸显了光纤通信在数据密集型场景下应用的关键地位，《现代光纤通信技术应用报

告》光纤通信网络的速率可达 40 Gbps 及以上，光纤的传输带宽极限几乎不存在制约，可适应大规模数据实时传输要求。关于铁路沿线环境监测领域，光纤通信确保了高速且稳定的传输能力，实时监测沿线气温、湿度、空气质量、振动等参数，该数据对铁路安全运行极为关键，可助力铁路系统预判潜在安全风险，采取相应的预防策略，借助光纤通信技术，铁路管理部门能有效监控线路周边环境变动，为确保铁路安全提供有力保障。

二、光纤通信在铁路沿线环境数据传输中的应用

（一）环境数据的实时监测与传输

铁路沿线环境数据的实时监测与传输在确保铁路安全和环境保护方面发挥着重要作用。环境数据包括气温、湿度、大气压力、空气质量、噪音、振动等，这些数据可以帮助铁路管理部门及时掌握沿线环境变化，从而采取必要的预防措施。传统通信技术遭遇信号干扰、带宽局限性、传输范围受限等挑战，这导致传统通信技术在复杂环境下难以满足大规模数据传输及实时性要求，相比之下，光纤通信技术依托其高带宽、低延迟及抗干扰特性，在铁路周边环境数据传输领域显现显著优势，可构建高效率的大规模环境信息传输机制。其优势主要体现在光纤通信技术可实现超过 100 公里的传输距离，信号衰减程度极低，确保了长距离数据传输的稳定性；信息传递时延一般不超过 1 毫秒，该低延迟特性使环境数据传输近乎即时，显著增强了数据传输效率；在抗干扰性能上尤为显著，光纤通信光信号不受电磁干扰，在复杂的电气化铁路周边环境环境中尤为关键。构建环境监测光纤通信网络，铁路管理机构可获得稳固、精确的生态环境信息，从而提高铁路运输的安全性和可靠性。

（二）铁路沿线环境监测中的优化

铁路沿线环境监测系统依托光纤通信技术，实现气温、湿度、大气压力、空气质量、噪音、振动等关键环境要素的实时采集和高效传输。光纤通信凭借高带宽、低延迟和抗干扰特性，突破了传统通信方式的局限，为铁路管理机构提供精准的环境数据支持。气温、湿度和大气压力是影响铁路运行安全的重要环境参数，极端天气条件下，这些数据可预警路基沉降、轨道变形等问题。光纤布拉格光栅（FBG）传感器部署于铁路沿线，可实现温度变化精度达 0.1°C 、湿度误差小于 $\pm 2\%$ 、大气压力测量精度达 $\pm 0.5\text{ hPa}$ ，确保环境

监测数据的高可靠性。空气质量监测方面，光纤气体传感器利用拉曼散射光谱技术，可精准检测 PM2.5、PM10、CO₂ 等污染物，提供 ppb 级别浓度变化的实时监测数据，结合大数据分析优化铁路沿线空气污染防控措施。噪音与振动监测在轨道维护与环境治理中同样重要，光纤分布式声波传感（DAS）技术精准识别列车运行噪声，并优化降噪措施，而光纤振动传感器则可检测 0.1 微米级别的轨道振动变化，有效评估轨道稳定性。通过光纤通信网络，铁路管理机构可高效收集和传输环境数据，并结合大数据分析与人工智能，实现预测性维护和环境风险评估，提升铁路运输的安全性、稳定性和可持续性^[1]。

（三）数据中心与监控平台的数据汇聚

在铁路沿线环境数据的采集和传输中，数据中心和监控平台承担着重要的汇聚、存储、处理和分析功能。光纤通信通过其高效的传输能力，将来自沿线不同环境监测点的数据传输到集中的监控平台或数据中心。数据存储、处理及分析工作由数据中心承担，为铁路管理部门提供实时的决策依据，尤其对预测自然灾害、评估环境风险等方面具有关键价值，《光纤通信在大数据时代的应用与挑战报告》光纤通信可实现每秒超过 40 Gbps 的数据传输速率，促使了大量环境信息数据快速汇集至数据中心，数据中心在获取相关数据后，可借助大数据分析、人工智能等技术，对长期累积的环境数据实施深度探索与剖析，预测特定地域可能发生的自然灾害，如泥石流、洪水等自然灾害。对数据进行即时解析，铁路企业可预先实施应对策略，降低自然灾害所造成的影响，例如，借助大数据技术，铁路企业可依托气象资料、地质资料、过往灾害信息等开展集成预测，提供灾害预防工作的科学支撑，《大数据与云计算在铁路安全中的应用研究》数据中心能够处理并存储数百 TB 的数据，并能依据多样化分析需求输出即时报告，为决策提供数据保障。光纤通信在此阶段确保了高效的数据传输支持，优化数据分析和决策支持系统的运行效率，提升了铁路运输的安全性和可持续性^[2]。

三、光纤通信在铁路沿线环境数据传输中的创新技术

（一）分布式光纤传感技术

分布式光纤传感技术通过利用光纤的反射、散射等物理特性，对沿线环境的多个参数进行实时监测。该技术对光纤内光信号进行全程检测，可提供高精度、高灵敏度的环境信

息,例如,基于分布式光纤传感技术(例如 Brillouin 散射型传感器)的全程监测系统,可对温度与应变进行分布式测量,在铁路沿线领域的应用,特别适用于铁路运行状态、地面沉降、环境气温等即时数据的收集,研究显示,采用分布式光纤传感器系统,检测温度与应变精度可达 1°C 及 $2\mu\epsilon$ 以下。《中国光纤传感技术现状与发展趋势报告》运用该技术的轨道交通环境监控系统,缩短数据采集时间至每秒,且传输范围超过 100 公里,实现了铁路周边广大区域、持续监控的必要条件,分布式光纤传感技术在遭遇电磁干扰等外界影响时,呈现卓越的抗干扰性能与高可靠性,此技术于复杂的铁路沿线环境中显现出其作为监测手段的优越性^[1]。如表 1 所示。

表 1 分布式光纤传感技术在铁路沿线环境监测中的技术参数

| 技术参数 | 数值 |
|---------|---------------------|
| 温度检测精度 | 1°C |
| 应变检测精度 | $2\mu\epsilon$ |
| 数据采集间隔 | 1 秒 |
| 最大传输距离 | 100 公里 |
| 抗干扰能力 | 极强 |
| 监测系统稳定性 | 高 |

(二) 光纤网络与物联网的结合

光纤通信网络与物联网的结合为铁路沿线环境数据监测带来了更为智能化的解决方案。物联网装置(诸如温湿度感应器、气体感应器等)借助光纤网络实现数据传递,可达快速、远距离的数据感知与处理,依据《2023 年物联网发展趋势分析报告》,光纤网络在带宽方面的优势为物联网传感器的稳定通信提供了有力保障,以铁路沿线生态环境监测为案例,光纤通信网络的传输速率一般可达 40 Gbps,能保障数百个物联网传感器的数据实时传输,避免延迟和数据

遗失。实现物联网与光纤通信的紧密结合,铁路环境监测系统可实现温度、湿度、气体浓度等数据的实时获取与远程传送,大幅提升铁路周边环境监管效能,具体来说,环境数据传输时延可降至毫秒量级,且可在超过 100 公里的光纤网络范围内实现无损耗数据传输,确保监测数据的准确性和及时性^[4]。

(三) 光纤通信与云计算的结合

光纤通信与云计算的结合,使得铁路沿线的环境数据能够在云平台上进行实时处理、存储和分析。随着铁路环境数据积累的丰富,传统局部计算模式难以满足需求,云计算所赋予的分散式存储与计算实力显著增强了数据处理的效能,依据《2024 年度云计算技术及其应用调研报告》,光纤通信结合云计算系统可实现数据在 100 毫秒内传输与处理,显著缩短了铁路周边环境数据处理的耗时,云服务架构下的海量数据解析平台,可借助数据挖掘与机器学习,预测环境变迁趋势,协助铁路企业预先实施必要的调度及应急对策。例如,基于气象资料、温度湿度数据、气体浓度数据等,铁路企业可预判环境变动对铁路设施的作用,在云端平台自动构建最佳调度策略,保障铁路运输安全与效能,光纤通信高带宽、低延迟的数据传输功能,保证了大数据在云平台上的实时处理能力。

结论

光纤通信技术在铁路沿线环境数据传输中具有重要应用价值,其高带宽、低衰减和抗干扰特性保障了数据传输的稳定性,为铁路安全与环境监测提供精准支持与决策。结合分布式光纤传感技术、物联网和云计算等创新技术,光纤通信在数据处理能力和智能化监测方面前景广阔,为提升铁路系统的安全运营与环境保护提供强劲动力。

参考文献

- [1]闫鉴.铁路沿线防风治沙工程施工技术[J].科学技术创新,2025,(01):128-131.
- [2]吴松涛,郑爱心,何明毅.哈市内环铁路沿线地区演变历程与更新策略研究[J].低温建筑技术,2024,46(11):25-30.
- [3]刘抚英,王源,卢祖良.京奉铁路沿线铁路住宅建筑研究:以沈阳皇姑屯站英国工程司住宅为例[J].世界建筑,2024,(12):78-85.
- [4]张静晓,程莉渊,李慧,等.重大铁路工程施工对沿线生态环境的影响[J].工程管理学报,2024,38(05):75-80.