光纤通信技术在铁路安全监控中的可行性探讨及优势分析

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】本文分析了光纤通信技术在铁路安全监控中的应用及其优势，旨在研究探讨光纤通信在提升铁路安全监控效能方面的重要作用，介绍光纤通信在列车运行状态监控、轨道健康检测和环境灾害监测等场景中的应用方式。通过分析光纤通信的高效数据传输、抗干扰性能、大容量等特点，指出其在铁路安全领域的核心价值。研究表明，光纤通信技术能够显著提高铁路运行的安全性和效率，为铁路运输系统的数字化和智能化发展提供重要支持。

【关键词】光纤通信；铁路安全；监控系统；技术应用

Feasibility Study and Advantage Analysis of Fiber Optic Communication Technology in Railway Safety Monitoring

Xiang Jinguo
Guoneng Shuohuang Railway Development Co.，Ltd. Suning Branch，Cangzhou，Hebei　062350

【Abstract】This article analyzes the application and advantages of fiber optic communication technology in railway safety monitoring，aiming to explore the important role of fiber optic communication in improving the efficiency of railway safety monitoring. It introduces the application of fiber optic communication in scenarios such as train operation status monitoring，track health detection，and environmental disaster monitoring. By analyzing the efficient data transmission，anti-interference performance，and large capacity of fiber optic communication，its core value in the field of railway safety is pointed out. Research has shown that fiber optic communication technology can significantly improve the safety and efficiency of railway operations，providing important support for the digital and intelligent development of railway transportation systems.

【Key words】Fiber optic communication；Railway safety；monitoring system；Technical application

引言

铁路运输作为国民经济的重要组成部分，其安全性直接关系到社会的稳定和发展。随着铁路网的不断扩展和运营速度和效率的提升，如何构建高效、精准的安全监控体系成为当前研究的重要方向。传统的通信手段已无法满足复杂铁路环境对密集数据传输和实时响应的需求，而光纤通信技术凭借其优越的性能逐步成为铁路监控系统的核心支撑。该技术不仅具备高速率和高带宽传输的能力，还能够有效规避复杂电磁环境带来的干扰问题。

表 1　光纤通信的技术特点

参数类别	传输速率（Gbps）	传输距离（km）	信号衰减率（dB/km）	数据延迟（ms）
光纤通信（单模）	1000	100	0.2	0.5
光纤通信（多模）	100	2	1	1
铜缆通信	1	1	5	2.5
无线通信	0.5	0.1	无	5
光纤传感系统	10	50	0.5	0.8

1. 光纤通信技术概述

1.1 光纤通信的技术特点

光纤通信称为通信的神经系统，是通信发展的核心技术，它呈现高速传输与高容量传输的显著特征。在数据传输速度方面，单模光纤可实现每秒数百吉比特的高速率传输，远超传统铜缆数兆百比特每秒的传输速率。在远距离传输方面，光纤信号衰减常数极低，每公里仅可达 0.2dB/km 及更低，这表明在百余公里距离范围内，无需增设放大设备即可维持高质量数据传输。而铜缆在长度超过五十公里时，需进行多次信号放大。此外，光纤通信展现出优异的抗干扰能力。

在铁路线路周边高压接触网邻近区域，铜缆传输易受电磁干扰影响，容易造成信息遗失或误码，而光纤通信不存在此类问题，可确保列车速度、轨道应力等关键信息的稳定传输，其技术优势显著增强了铁路安全监控的效能与稳定性[1]。详情如表 1 所示。

1.2 光纤通信技术的分类

光纤通信技术依其光波传输方式之差异，分为单模光纤与多模光纤两大类别。单模光纤仅支持单一光波模式的传输，传输精度更高，传输距离更远，适用于长距离、高容量数据传输，如跨区域铁路安全监测体系。而多模光纤可承载多种光波模式的传输，尽管其传输范围有限，然而在成本上展现出显著优势，适用于铁路车站或中短途监控网络的部署。根据实际需求挑选适当的光纤种类，亦能有效降低系统开销，仍可满足多样化监控场景的技术需求，构建铁路安全监控系统的适应性高效策略。

2. 光纤通信在铁路安全监控中的应用

2.1 列车运行状态实时监控

光纤通信技术在铁路列车运行监控领域的应用，可为铁路系统的高效运作与安全防护贡献了稳固的技术保障。在铁路交通领域，列车速度的上升与列车密度的加大，实时监控成为确保运营安全的关键组成部分。利用光纤通信技术，可达成列车运行状况的精确数据搜集与传递，优化监控效能与稳定度。

在实践层面，光纤传感器可应用于列车关键部位，例如轮子、滚珠、制动装置以及车箱内外环境。此类传感器可实现列车速度、加速度、振动、温度等参数的实时监测，经光纤网络将信息传送至核心监控平台。光纤通信凭借其广阔的带宽和极低的延迟特性，确保了数据传输的稳定性与即时性，进而实现列车运行状态的全面监控。当列车遭遇异常状况时，例如车轮及车轴温度过高、制动系统压力异常或振动参数超出警戒线，系统随即触发警报信息，指导操作者实施策略，防止事故发生。光纤通信的高效传输性能确保了该过程近乎无时延，保障了监控体系的即时反应[2]。

2.2 轨道健康监测

铁路轨道是列车运行的核心基础设施，其健康状况对铁路运输的安全性及效率产生直接影响。光纤通信技术在铁路轨道监测领域的应用，可为轨道动态监控与维护提供科学策略。借助光纤传感器与通讯技术的融合，可即时监控轨道的应力、形变、振动及温度等指标，全面把握轨道运行态势。

光纤布拉格光栅（FBG）传感器属轨道健康监控领域常用装置，其卓越的灵敏度与精确度特性，实现微小轨道表面变形的检测功能。此类传感器通常设置于轨道关键区域，连接部分、阶梯及弯道，以光纤通信技术传输所获数据至核心控制系统以供分析。一旦铁路出现异常，例如由列车频繁经过引发的细微裂缝，预警系统将即时启动，指导维修人员初期开展轨道修复工作，避免更恶劣的后果。

2.3 环境灾害监测与预警

光纤通信技术与分布式光纤传感系统（DAS）的融合，可为铁路周边环境灾害监控提供了强有力的技术保障。该系统依托光纤内光波传播特性，实时监控沿线地质变动及环境变迁，其技术参数彰显了优异表现。关于传感精度层面，分布式光纤感应位移监测系统的精度可达 1 微米，可检测细微的地质构造变动；同时，其振动监测频谱涵盖 0.1 赫兹至 50 千赫兹，可满足涵盖低频地震活动至高频环境噪声的多样化监测需求。关于温度监控，光纤传感器温度分辨能力达 0.01 ℃，可精确监测沿线气温变化，适用于环境灾害预警之温差剖析。

光纤通信传输效能的保障亦为系统稳固运作的核心要素。单模光纤通信技术在增设放大设备的情况下，于长距离 500 公里监测应用中信噪比下降率仅为 0.2dB/km。分布式光纤网络采样速率达每秒 1000 次，可捕捉灾害前期关键动态信息，将相关数据以低于 1 毫秒的时延发送至监控中心，保障系统对紧急状况的即时应对。此外，光纤通信的多通道功能使得一根光纤能够同步监测至 200 个独立的监测点，同步传输多种信息，例如位移、温值、振幅等。每个监测站的数据传输速率达到 10 吉比特每秒，能充分满足灾害监测对大数据量传输的充分需求[3]。详情如表 2 所示。

表 2　环境灾害监测与预警

参数类别	监测精度	频率范围	传输能力	延迟
位移监测	0.001 毫米	–	100 公里	< 1 毫秒
振动监测	–	0.1 Hz – 50 kHz	100 公里	< 1 毫秒
温度监测	0.01 摄氏度	–	100 公里	< 1 毫秒
信号衰减率	–	–	0.2 dB/km	–
数据采样频率	–	–	每点 10 Gbps	< 1 毫秒
单根光纤监测点数量	–	–	200 个独立点	< 1 毫秒

2.4 隧道与桥梁结构安全监测

铁路网络的关键组成部分包括隧道与桥梁，其结构安全性直接影响铁路运输的稳定性与可靠性。光纤通信技术在隧道和桥梁结构安全监控领域可扮演关键角色，借助光纤传感技术的优异灵敏度与精确度，构建关键基础设施的实时监管体系。

在地下隧道结构监控领域，光纤传感器可布置于隧道墙体、支架和衬砌表层，用于评估应力分布、环境温湿度波动及地质变动导致的结构变形。所收集的传感器数据信号经光纤通信传递至监控中心，实现了对隧道环境全貌的深入了解。在桥梁监控领域，光纤传感器设置于关键受力区域，例如桥梁基础、桥身主要梁架及拉索构造，用于评估结构受力状况及风载效应。桥梁的稳定性易受极端气候及持续负荷作用影响，光纤通信技术显著提升了监控系统的实时数据传输效率，确保了桥梁安全状况的即时掌握。

3. 光纤通信在铁路安全监控中的优势

3.1 高效的数据传输能力

光纤通信凭借其高带宽及高速传输特性，可满足铁路安全监控系统对大规模数据实时传输的要求。于长距离传输之际，光纤信号损耗极小，确保信息完整与精确，是跨区域铁路监控之关键。此外，光纤通信实现多节点互联互通，确保监控系统具备应对复杂线路及多元监控设施的适应性。与传统电缆相较，光纤通信传输速度更胜一筹，降低了对中继设备的依赖程度，显著增强了系统的稳定性与效能，为铁路安全保障提供了坚实的科技支撑。

3.2 极强的抗干扰能力

铁路周边的电磁状况复杂，高压输电线路及接触网设施均可能对常规通信手段造成干扰。光纤通信以光信号为传输介质，与电磁场实现完全隔离，能在各类复杂场景中确保数据传输的稳定性。该特性在高速铁路及多电气设备应用场景中尤为显著。此外，光纤通信具备显著的抗气候变化特性，不易受高温、低温及湿度波动影响，能在各类严苛环境中维持稳定的通信效能。其优异的抗干扰能力显著增强了铁路安全监控系统的稳定性与可信度[4]。

3.3 经济高效的长期应用

尽管光纤通信初始投入成本相对较大，其长期使用寿命与低维护费用显著提升了其整个生命周期的经济效益。光纤材质具备耐腐蚀与不易受外界环境影响的特性，即便在严酷的户外条件下亦能持续可靠运行。此外，与传统的通信手段需频繁进行维护与更替比较，光纤通信维护需求较小，显著降低运营开支。针对铁路安全监控系统而言，光纤通信显著降低了长期投资成本，系统运行效能与可靠性得以增强，以实现经济效益与性能的优化结合。

3.4 支持多功能集成

光纤通信技术非仅限于数据传输范畴，可整合于多种传感技术，构建综合功能体系。例如，借助光纤传感器，铁路系统可实时监控轨道应力、隧道温湿度变动及桥梁健康状况。此外，光纤通信可助力地震预警、火灾报警等拓展应用，保障铁路综合安全监控的全面性。这种多用途综合特性，且显著增强了铁路安全监控技术水平，进一步简化和降低了系统复杂性及设备成本，为智能化铁路发展筑牢坚实基础。

结论

光纤通信技术因其高速率、大容量、抗干扰等优越性能，在铁路安全监控中的应用愈加广泛。从列车运行状态监控到轨道健康检测，再到环境灾害监测，光纤通信为铁路安全提供了全面保障。其高效的数据传输能力、优异的抗干扰性能以及经济高效的长期应用特性，使其成为铁路安全监控领域的核心技术之一。未来，随着技术的进一步发展，光纤通信将在更复杂的铁路安全场景中展现出更大的潜力，为铁路运输的安全性与高效性提供持续助力。

参考文献

[1]查双全.铁路通信工程中的光纤传输系统设计与优化[J].信息与电脑（理论版），2024，36（17）：181-183.
[2]崔毅夫.铁路通信系统中光纤通信技术运用分析[J].中国信息界，2024，（05）：61-63.
[3]呼元.光纤通信技术在铁路通信系统中的应用[J].数字通信世界，2024，（08）：130-132.
[4]田先彬.基于铁路通信与信号技术的智能铁路交通系统规划与构建[J].通讯世界，2024，31（03）：12-14.