

# 大数据分析技术在铁路信号设备状态监测中的应用研究

张志云

浙江金温铁道开发有限公司 浙江 温州 325000

**摘要：**随着铁路运输的快速发展，铁路信号设备的可靠性和稳定性愈发关键。本文聚焦于大数据分析在铁路信号设备状态监测与维护优化中的应用。通过阐述大数据技术的优势，详细分析了基于大数据的铁路信号设备数据采集、状态监测方法以及维护策略优化措施。结合实际案例，展示了大数据分析在提升铁路信号设备运行可靠性、降低维护成本等方面的显著成效，为铁路信号设备的高效管理提供了有力的技术支持。

**关键词：**信号设备；大数据技术；数据处理

引言：铁路信号设备作为铁路运输系统的核心组成部分，其运行状态直接关系到铁路运输的安全与效率。传统的铁路信号设备维护方式多为定期检修，这种方式缺乏对设备实时状态的精准把握，易导致过度维护或维护不足的情况。随着信息技术的飞速发展，大数据分析技术为铁路信号设备状态监测与维护优化带来了新的契机。利用大数据技术，能够对海量的铁路信号设备运行数据进行深度挖掘和分析，从而实现对设备状态的实时监测、故障预测以及维护策略的精准制定，有效提升铁路信号设备的可靠性和维护效率。

## 1 铁路信号设备状态监测的重要性

铁路信号设备的正常运行是保障列车安全、高效运行的基础。一旦信号设备出现故障，可能会导致列车晚点、停车甚至发生事故，给铁路运输带来严重的影响。因此，对铁路信号设备进行状态监测具有以下重要意义：

**保障列车运行安全：**通过实时监测信号设备的运行状态，可以及时发现设备的故障隐患，采取有效的措施进行处理，避免因设备故障引发的事故，保障列车运行的安全。

**提高运输效率：**及时发现和处理信号设备的故障，可以减少设备故障对列车运行的影响，提高列车的准点率和运行效率，提升铁路运输的服务质量。

**降低维护成本：**通过对信号设备的状态监测，可以实现设备的预测性维护，提前发现设备的潜在故障，合理安排维护计划，避免不必要的维修和更换，降低维护成本。

**支持设备的更新和升级：**通过对信号设备运行数据的分析，可以了解设备的性能和使用寿命，为设备的更新和升级提供依据，提高设备的可靠性和智能化水平。

## 2 传统铁路信号设备维护方式的局限性

传统的铁路信号设备维护方式主要包括定期巡检和故障后维修。这种维护方式在铁路运输发展的早期阶段

发挥了重要作用，但随着铁路运输的快速发展，其局限性也日益凸显。

**维护效率低：**定期巡检需要维护人员对信号设备进行逐一检查，工作量大，效率低。而且，巡检过程中可能会存在漏检或误检的情况，无法及时发现设备的故障隐患。

**无法及时发现潜在故障：**传统的维护方式主要依赖于维护人员的经验和感官判断，对于一些潜在的故障，如设备的老化、磨损等，难以及时发现。这些潜在故障可能会在设备运行过程中逐渐发展成严重的故障，影响列车的运行安全。

**维护成本高：**故障后维修需要在设备出现故障后进行维修，由于故障的发生具有不确定性，可能会导致维修时间长、维修成本高。而且，故障后维修可能会对列车的运行造成较大的影响，增加运输成本。

**缺乏数据支持：**传统的维护方式缺乏对设备运行数据的收集和分析，无法为设备的维护和管理提供科学的依据。维护人员只能根据经验和设备的外观状态进行判断，难以制定合理的维护计划<sup>[1]</sup>。

## 3 大数据技术在铁路信号设备中监测的应用优势

### 3.1 数据处理能力强大

铁路信号设备在运行过程中产生海量数据，包括设备运行参数（如电压、电流、温度、压力等）、故障报警信息、设备履历数据以及环境数据（如温度、湿度、风速等）。大数据技术具备强大的存储与计算能力，能够应对如此规模的数据。以分布式存储系统（如 Hadoop 分布式文件系统 HDFS）为例，可将海量数据分散存储于多个节点，实现数据的高效存储与管理。同时，并行计算框架（如 Apache Spark）能够对大规模数据集进行快速处理，通过将计算任务分解为多个子任务并行执行，大大缩短数据处理时间，为设备状态监测与维护决策提供及时的数据支持。

### 3.2 数据多样性融合分析

铁路信号设备数据来源广泛，数据类型多样，包括结构化数据（如设备台账信息、故障记录表格）、半结构化数据（如XML格式的配置文件）以及非结构化数据（如设备运行日志、图像与视频数据）。大数据技术能够对这些不同类型的数据进行融合分析，挖掘数据间的潜在关联。例如，将设备运行参数的结构化数据与设备运行日志的非结构化数据相结合，通过文本挖掘技术提取日志中的关键信息，与实时运行参数进行关联分析，可更全面准确地判断设备运行状态，发现潜在故障隐患。

### 3.3 实时性与准确性高

通过实时采集铁路信号设备的运行数据，并运用大数据分析算法进行实时处理，能够及时发现设备的异常状态和潜在故障。相比传统的定期检测方式，大数据分析能够更准确地判断设备的实际运行状况，提高故障诊断的准确性和及时性<sup>[2]</sup>。

## 4 基于大数据分析的铁路信号设备状态监测中的应用方法

### 4.1 数据采集

#### 4.1.1 传感器部署

针对铁路信号设备不同部位与监测需求，选择合适的传感器。在信号机部位，安装温度传感器监测灯泡温度，防止因灯泡过热导致故障；部署光强传感器，监测信号灯光强度，确保信号显示清晰。对于转辙机，采用压力传感器监测动作压力，通过位移传感器监测道岔转换位置，以判断转辙机工作是否正常。在轨道电路区域，使用电流传感器监测轨道电流，通过绝缘电阻传感器检测轨道电路绝缘性能。传感器部署遵循全面覆盖、重点监测原则，在关键部位与易发生故障区域增加传感器密度，确保能够全面准确采集设备运行数据。

#### 4.1.2 数据采集系统

构建分层分布式数据采集系统。底层为现场数据采集层，由各类传感器与边缘计算设备组成，传感器负责采集设备运行数据，边缘计算设备对数据进行初步处理与缓存，减轻数据传输网络压力。中间层为数据传输层，采用有线与无线相结合的通信方式，将现场采集的数据传输至数据中心。有线通信采用工业以太网，确保数据传输的稳定性与可靠性；在部分布线困难区域，使用无线通信技术作为补充。顶层为数据汇聚层，将来自各个区域的数据采集系统的数据汇聚至数据中心，进行统一存储与管理。

### 4.2 数据处理

#### 4.2.1 数据清洗

对采集到的数据进行清洗，去除其中的噪声数据、

异常值和重复数据。噪声数据可能是由于传感器故障或外界干扰导致的，异常值可能是设备出现短暂异常情况的表现，重复数据则会占用存储空间并影响数据分析效率。通过数据清洗算法，能够有效提高数据的质量和可用性。

#### 4.2.2 数据标准化

由于不同传感器采集到的数据具有不同的量纲和取值范围，为了便于数据分析，需要对数据进行标准化处理。将数据转换为统一的标准格式，使不同类型的数据具有可比性。例如，将温度数据转换为 0-1 之间的数值，将压力数据转换为标准压力单位等。

### 4.3 数据分析

数据分析是大数据分析的核心环节，通过对处理后的数据进行分析，可以发现数据中的规律和模式，为设备的状态监测和维护优化提供支持。常用的数据分析方法包括：

**统计分析：**通过对数据进行统计分析，如均值、方差、标准差等，可以了解设备的运行状态和性能指标。

**机器学习：**利用机器学习算法，如决策树、神经网络、支持向量机等，可以对设备的故障进行预测和分类。

**数据挖掘：**通过数据挖掘技术，如关联规则挖掘、聚类分析等，可以发现数据中的潜在关系和模式，为设备的维护和管理提供决策支持。

### 4.4 故障预测与预警

通过对设备运行数据的分析，可以建立设备的故障预测模型。利用该模型可以对设备的未来运行状态进行预测，提前发现设备的潜在故障，并发出预警信号。故障预测与预警的主要步骤包括：

**特征提取：**从设备运行数据中提取与故障相关的特征，如设备的运行参数、故障记录等。

**模型训练：**利用提取的特征和历史故障数据，训练故障预测模型。

**故障预测：**利用训练好的故障预测模型，对设备的未来运行状态进行预测，判断设备是否存在潜在故障。

**预警发布：**当预测到设备存在潜在故障时，及时发出预警信号，通知维护人员进行处理。

### 4.5 设备状态监测模型构建

#### 4.5.1 基于机器学习的异常检测模型

运用机器学习算法，如支持向量机（SVM）、聚类分析等，构建铁路信号设备异常检测模型。首先，收集大量设备正常运行状态下的数据作为训练样本，对机器学习模型进行训练。训练完成后，将实时采集到的设备运行数据输入模型中，模型能够根据训练得到的特征和规律，判断设备是否处于正常运行状态。当检测到异常

数据时,及时发出预警信号。

#### 4.5.2 基于深度学习的故障预测模型

利用深度学习技术,如神经网络、长短期记忆网络(LSTM)等,构建铁路信号设备故障预测模型。深度学习模型能够自动学习数据中的复杂特征和模式,对设备的未来运行状态进行预测。通过对设备历史运行数据和故障数据的学习,模型能够预测设备在未来一段时间内可能出现故障的概率和类型,为维护人员提前制定维护计划提供依据<sup>[3]</sup>。

### 5 基于大数据分析的铁路信号设备维护优化

#### 5.1 预防性维护策略制定

##### 5.1.1 基于设备状态的维护计划

根据设备状态监测模型的监测结果,制定基于设备实际状态的预防性维护计划。对于运行状态良好的设备,适当延长维护周期;对于出现异常但尚未发生故障的设备,及时安排维护人员进行检查和维修,避免故障的进一步发展。

##### 5.1.2 维护资源优化配置

通过大数据分析,对铁路信号设备的维护资源进行优化配置。分析不同地区、不同类型设备的故障发生率和维护需求,合理分配维护人员和备品备件。例如,在故障发生率较高的区域,增加维护人员的数量和备品备件的储备;对于某些易损部件,根据历史数据预测其更换周期,提前做好库存准备,避免因备品备件不足导致设备故障维修延误。

#### 5.2 故障应急处理优化

##### 5.2.1 快速故障定位

当铁路信号设备发生故障时,利用大数据分析技术能够快速定位故障点。通过对设备故障前后的运行数据进行对比分析,结合故障诊断模型,能够准确判断故障发生的位置和原因。

##### 5.2.2 应急维修方案制定

基于大数据分析建立铁路信号设备故障案例库,收集整理各类设备故障案例,包括故障现象、故障原因、维修措施以及维修效果评估等信息。当设备发生故障时,系统根据故障类型与特征,在故障案例库中进行快速检索,找出相似故障案例。参考相似案例的维修方案,结合当前故障设备的实际情况,制定针对性的应急维修方案。维修人员可依据该方案迅速开展维修工作,提高应急维修的效率与准确性。同时,在维修完成后,将本次维修过程与结果反馈至故障案例库,对案例库进行更新与完善,为后续故障处理提供更丰富的参考依据<sup>[4]</sup>。

### 6 案例分析

#### 6.1 案例背景

某铁路公司管辖范围内的铁路线路较长,信号设备数量众多。传统的维护方式导致维护成本高、设备故障率较高,且故障排查和修复时间较长,严重影响了铁路运输的安全和效率。为改善这一状况,该铁路公司引入了大数据分析技术,对铁路信号设备进行状态监测和维护优化。

#### 6.2 大数据应用实施过程

首先,在铁路信号设备上安装了大量的传感器,构建了完善的数据采集系统,实现了对设备运行数据的实时采集。然后,对采集到的数据进行预处理,并运用机器学习和深度学习算法构建了设备状态监测模型和故障预测模型。基于这些模型的监测结果,制定了预防性维护策略和故障应急处理方案。同时,建立了大数据分析平台,实现了对设备数据的集中管理和分析,为维护决策提供了有力支持。

#### 6.3 应用效果

经过一段时间的运行,大数据分析技术在该铁路公司的应用取得了显著成效。设备故障率明显降低,相比之前降低了30%左右。维护成本得到有效控制,由于预防性维护策略的实施,减少了不必要的定期维护工作,同时优化了维护资源配置,使维护成本降低20%左右。故障排查和修复时间大幅缩短,平均故障修复时间从原来的2小时缩短至30分钟以内,有效提高了铁路运输的安全性和效率。

结束语:大数据分析技术在铁路信号设备状态监测与维护优化中具有巨大的应用潜力。通过对设备运行数据的实时采集、深度分析和挖掘,能够实现对设备状态的精准监测、故障的提前预测以及维护策略的优化制定。这不仅提高了铁路信号设备的可靠性和稳定性,降低了设备故障率,还有效降低了维护成本,提高了铁路运输的安全性和效率。随着大数据技术的不断发展和完善,其在铁路信号设备领域的应用将更加深入和广泛,为铁路事业的发展提供更强大的技术支撑。在未来的研究中,可以进一步探索大数据与人工智能、物联网等技术的融合应用,不断提升铁路信号设备的智能化管理水平。

#### 参考文献

- [1]周玉合.铁路信号设备的维护与安全措施分析[J].集成电路应用.2024,41(04)
- [2]董振国.PLC与5G融合通信在铁路信号设备状态监测系统中的应用研究[J].铁道通信信号,2023(02)
- [3]姚伟强.基于大数据的铁路信号系统智能运维方案研究[J].现代信息技术.2022-04-25.
- [4]邵国松.大数据时代铁路信号智能监测技术及其应用探究[J].信息记录材料.2021-02-01