

# 大数据驱动的轨道交通运营结构监测数据管理与预警系统设计

张 磊<sup>1</sup> 杨 健<sup>2</sup>

1. 天津轨道交通线网管理有限公司 天津 300000  
2. 中铁投资集团交通运营有限公司 天津 300000

**摘要：**大数据驱动的轨道交通运营结构监测数据管理与预警系统，对保障轨道交通安全运营至关重要。数据管理系统涵盖四个模块：数据采集模块通过多种方式收集数据；数据传输模块将数据准确、及时地传至存储端；数据存储模块合理存储海量数据，便于调用；数据分析模块挖掘数据价值，为决策提供支持。预警系统方面，预警指标体系从多维度构建指标，预警模型精准评估预测安全状况，预警流程确保及时响应风险，整个系统为轨道交通运营安全保驾护航。

**关键词：**大数据；轨道交通；运营结构监测；数据管理；预警系统设计

**引言：**随着城市轨道交通的快速发展，其运营里程不断增加，运营管理难度和维护压力也日益增大。传统的数据管理和预警方式已难以适应多元化、井喷式增长的数据量以及网络化实时数据动态分析的需求。大数据技术的发展为解决这些问题提供了新的途径。通过大数据驱动的轨道交通运营结构监测数据管理与预警系统，能够实现对海量数据的有效采集、传输、存储和分析，构建科学的预警指标体系和模型，设计合理的预警流程。这有助于及时发现运营结构中的潜在风险，提高轨道交通运营的安全性和可靠性，具有重要的现实意义。

## 1 大数据与轨道交通运营结构监测概述

在当今数字化时代，大数据技术正深刻影响着各个领域，轨道交通运营结构监测也不例外。理解大数据与轨道交通运营结构监测的相关概念及融合意义，对于提升轨道交通的安全性和运营效率至关重要。大数据是指规模巨大、类型多样且增长迅速的数据集合，具有海量性、多源异构性、高时效性和强关联性等特点。传统的数据处理工具难以应对如此庞大复杂的数据，而大数据技术通过先进的算法和模型，能够对这些数据进行高效采集、存储、分析和可视化展示，从而挖掘出有价值的信息和知识。轨道交通运营结构监测是保障轨道交通安全运营的关键环节，其监测对象涵盖轨道、桥梁、隧道等关键基础设施，监测内容包括结构的变形、应力、振动等多个方面<sup>[1]</sup>。及时准确地掌握这些结构的状态信息，有助于提前发现潜在的安全隐患，预防事故的发生，确保轨道交通系统的稳定运行。在数据采集方面，借助各种传感器和监测设备，可以实时获取海量的结构状态数

据，这些数据来源广泛，包括列车运行数据、环境数据等，为全面了解轨道交通结构的运行状况提供了丰富的信息基础。在数据分析阶段，大数据技术能够对采集到的多源异构数据进行深度挖掘，通过建立合适的模型和算法，分析结构状态的变化趋势，预测可能出现的故障和安全问题。例如，利用机器学习算法对历史监测数据进行训练，建立故障预测模型，实现对结构故障的早期预警。大数据还能实现对轨道交通运营结构的实时监测和动态管理，通过可视化技术，将监测数据以直观的图表和报表形式展示出来，方便运营管理人员及时掌握结构的运行状态，做出科学合理的决策。同时，大数据的应用也有助于优化轨道交通的运营管理流程，提高资源利用效率，降低运营成本。大数据与轨道交通运营结构监测的结合，为轨道交通的安全运营和可持续发展提供了强有力的支持。

## 2 轨道交通运营结构监测数据管理系统设计

### 2.1 数据采集模块设计

数据采集模块是轨道交通运营结构监测数据管理系统的关键组成部分，其设计需综合考虑多种因素，以确保数据的全面性、准确性和实时性。（1）传感器选型与布局：根据轨道交通运营结构的特点和监测需求，选择合适的传感器类型，如应变传感器、加速度传感器、位移传感器等，并合理布置传感器位置，以全面覆盖关键监测部位，确保能够获取到结构在不同工况下的详细数据。（2）数据采集频率：依据监测对象的动态特性（如列车运行速度、结构振动频率等）确定数据采集频率。采集频率过高会增加数据量和处理负担，而过低则可能

遗漏重要信息。因此，需通过实验和分析确定合理的采集频率，以平衡数据量与监测精度。（3）数据传输方式：选择可靠的数据传输方式，如有线传输（以太网、光纤）和无线传输（Wi-Fi、4G/5G）。有线传输具有高稳定性和低延迟的特点，适用于固定监测点；无线传输则具有灵活性高、安装方便的优点，适用于移动监测设备或难以布线的区域。（4）数据校准与同步：定期对传感器进行校准，确保采集数据的准确性。同时，采用时间同步技术（如GPS时钟同步），确保不同传感器采集的数据在时间上的一致性，便于后续的数据分析和处理。（5）数据采集设备的可靠性与维护：选用高可靠性的数据采集设备，并建立完善的设备维护机制。定期检查设备运行状态，及时发现并解决设备故障，确保数据采集的连续性和稳定性。

## 2.2 数据传输模块设计

数据传输模块是轨道交通运营结构监测数据管理系统的关键环节，其设计需确保数据的高效、稳定和安全传输，以满足实时监测和数据分析的需求。（1）传输协议优化：根据数据特性选择合适的传输协议。对于实时性要求高的数据，采用UDP协议以减少传输延迟；对于可靠性要求高的数据，则采用TCP协议以确保数据的完整传输。（2）传输介质选择：结合有线和无线传输方式的优势，构建混合传输网络。有线传输适用于固定监测点，提供高带宽和低延迟；无线传输则用于移动监测设备或难以布线的区域，增强系统的灵活性和扩展性。（3）数据加密与安全：采用加密技术对传输中的数据进行加密处理，防止数据泄露。设置访问控制和身份验证机制，确保只有授权人员可以访问数据。（4）数据完整性校验：在数据传输过程中，采用校验机制（如CRC校验）确保数据的完整性。一旦发现数据传输错误，立即进行重传，确保数据的准确性和完整性。（5）冗余设计与故障切换：设计冗余传输路径，当主传输路径出现故障时，能够自动切换到备用路径，确保数据传输的连续性。建立故障报警机制，及时通知维护人员进行处理，保障系统的稳定运行。

## 2.3 数据存储模块设计

数据存储模块设计在轨道交通运营结构监测数据管理系统中扮演着举足轻重的角色，合理的设计是确保数据高效存储与便捷调用的关键。以运营期地铁结构监测数据管理系统为例，其数据存储于部署在阿里云的SQL数据库。该系统的数据呈现出种类繁多、数量庞大且更新频繁的特点。因此，在进行数据库设计时，需要深入理清数据的层次结构、内在逻辑以及时间关系，从而构建

一个科学合理的数据存储体系。在前端从数据库调取数据方面，存在直接读取和利用触发器等重组数据表后读取这两种方式。鉴于数据量的庞大，采用后一种方式能够显著提高调取效率，使系统能够更快速地响应用户需求。而在轨道交通系统非关系型数据存储系统中，实时数据处理结果的存储方式更为灵活<sup>[2]</sup>。部分数据存入非关系型数据库的数据文件，部分则存入关系型数据库。非关系型数据库的数据文件具有特定的链表数据结构，在检索时采用索引块检索方式，并结合关系型数据库的点位信息来定位数据。这种独特的存储和检索方式能够有效减少网络问题的影响，实现快速返回查询结果，大大提升了数据的使用效率。

## 2.4 数据分析模块设计

数据分析模块设计是轨道交通运营结构监测数据管理系统的根本，它能从海量数据中挖掘有价值信息，为运营决策提供支持。在运营期地铁结构监测数据管理系统中，数据分析利用自动化监测系统和移动扫描检测系统配套的数据处理软件处理原始数据，得到数据报表并判断隧道变形的风险等级。通过分析自动化监测系统的平距、天顶距等原始数据及处理结果报表，还有移动扫描检测系统的收敛监测、错台分析等结果报表，能全面掌握地铁结构状况。对于轨道监测数据自动化处理与分析系统，数据分析模块分数据预处理、监测报表、预测分析三个功能模块。数据预处理为后续分析做准备，监测报表直观呈现数据，预测分析则基于历史数据对轨道结构未来状态进行预估，辅助提前制定应对措施，保障轨道交通运营安全。

## 3 轨道交通运营结构监测预警系统设计

### 3.1 预警指标体系设计

预警指标体系是轨道交通运营结构监测预警系统的核心，其科学性与合理性直接关系到预警的准确性和及时性。（1）结构安全指标选取：以应力、应变、位移、振动频率等关键参数作为结构安全指标，这些指标能直接反映轨道交通运营结构的受力状态和变形情况，是判断结构是否处于安全状态的重要依据。（2）运营性能指标关联：将列车运行速度、延误时间、设备故障率等运营性能指标与结构状态关联起来，通过分析这些指标的变化趋势，提前发现潜在的结构问题，为预警提供更全面的参考。（3）指标阈值设定：根据历史数据和专家经验，为每个预警指标设定合理的阈值。当指标值超过阈值时，系统触发预警，提醒相关人员及时采取措施。（4）指标权重分配：综合考虑各指标的重要性和敏感性，分配不同的权重。重要且敏感的指标赋予较高权

重,以确保预警系统的准确性和可靠性。(5)动态调整机制:建立预警指标体系的动态调整机制,根据轨道交通运营环境的变化和监测数据的积累,定期评估和优化指标体系,使其始终保持适应性和有效性。

### 3.2 预警模型构建

预警模型构建是轨道交通运营结构监测预警系统设计的关键环节,它能对运营结构安全状况进行精准评估与预测。在城市轨道交通运营安全预警系统中,可采用定性与定量结合的方法构建预警模型。从人、设备、环境、管理四个层次采集预警指标的各类静态和动态基础数据。通过对这些数据的分析,确定各指标的权重,利用数学模型计算出安全状态得分。根据得分划分不同的安全等级,如安全、注意、危险等,对应不同的预警级别。对于城市轨道交通工程,监测预警依据实测值与控制值的对比情况,分为黄色、橙色和红色预警。巡查预警根据现场巡查发现的不安全状态分为三个级别<sup>[3]</sup>。综合预警则是在综合监测预警、巡查预警等信息的基础上,经过核查分析后判定工程风险,其预警级别高于前两者。预警模型还应具备自适应调整能力,随着运营数据的不断积累和运营环境的变化,模型要能自动优化指标权重和预警阈值,以提高预警的准确性和可靠性。通过构建科学合理的预警模型,能够及时发现轨道交通运营结构中的潜在风险,为采取有效的防范措施提供依据,保障轨道交通的安全运营。

### 3.3 预警流程设计

预警流程的科学性与合理性是轨道交通运营结构监测预警系统高效运行的关键,其设计需确保从数据监测到预警响应的全过程顺畅、及时且准确。(1)数据实时监测与采集:系统持续实时监测轨道交通运营结构的各项关键指标数据,通过传感器网络将数据快速采集并传输至数据处理中心,为预警提供基础数据支持。(2)数据预处理与分析:对采集到的原始数据进行清洗、筛选和转换等预处理操作,去除噪声和异常值,确保数据质

量。随后运用数据分析算法,如机器学习模型,对数据进行深度挖掘,识别潜在的结构异常模式。(3)预警触发与评估:当监测数据超出预设阈值或数据分析结果表明存在异常时,立即触发预警机制。系统自动评估预警的严重程度,根据不同的预警级别采取相应的响应措施。(4)预警信息推送与反馈:将预警信息通过短信、邮件、系统界面等多种方式及时推送给相关管理人员和维护人员,确保信息快速传达。同时,建立反馈机制,接收相关人员对预警信息的处理情况反馈,以便对预警系统进行优化调整。(5)预警记录与分析:系统自动记录每次预警的时间、地点、指标值、处理结果等详细信息,形成预警历史数据库。定期对预警记录进行统计分析,总结预警规律,为预警指标体系的优化和预警阈值的调整提供数据支持,持续提升预警系统的性能和可靠性。

### 结语

未来,可进一步结合新技术,如人工智能、物联网等,不断优化系统性能,提升预警的准确性和及时性,持续保障轨道交通的安全、稳定、高效运营,推动轨道交通行业的智能化发展。通过大数据驱动的轨道交通运营结构监测数据管理与预警系统,能够实现对海量数据的有效采集、传输、存储和分析,构建科学的预警指标体系和模型,设计合理的预警流程。这有助于及时发现运营结构中的潜在风险,提高轨道交通运营的安全性和可靠性,具有重要的现实意义。

### 参考文献

- [1]梅文胜,王涛,于安斌,闫立松,吕世望.运营期地铁结构监测数据管理系统设计与实现[J].测绘地理信息,2022,47(S01):38-43.
- [2]汪波,腾骞,鲍枫,宋晓敏.城市轨道交通设施安全智能监测预警系统设计[J].都市快轨交通,2021,34(6):58-64.
- [3]郭敏.轨道交通工程设计元数据应用研究[J].铁道标准设计,2023,67(7):51-56.