

# 轨道交通信号设备故障诊断与维护技术研究

石齐亚

太原中铁轨道交通建设运营有限公司 山西太原 030006

**摘要：**在现代城市交通体系中，轨道交通以其高效、环保的特点，成为缓解城市交通压力的重要手段。然而，信号设备作为轨道交通系统的核心组成部分，其稳定性和可靠性直接关系到整个系统的安全运行。本文旨在探讨轨道交通信号设备的故障诊断与维护技术，分析常见的故障类型及原因，提出有效的诊断与维护策略，以期提高信号设备的运行效率和安全性。

**关键词：**轨道交通；信号设备故障诊断；维护技术

## 一、轨道交通信号设备概述

轨道交通信号设备作为城市运营的神经中枢，其重要性不言而喻。它们不仅确保着列车的安全运行，还优化了交通效率，为数以万计的通勤者提供可靠保障。信号设备主要分为信号机、转辙机、轨道电路、计轴系统、列车自动控制系统（ATC）等，每一部分都扮演着不可或缺的角色。信号机如同道路上的红绿灯，指引列车安全通行；转辙机负责切换轨道，确保列车按既定路线行驶；轨道电路与计轴系统则实时监测列车位置，防止冲突发生；而ATC系统集成了列车自动防护（ATP）、列车自动运行（ATO）及列车自动监控（ATS）功能，实现了列车的自动化控制与管理。

在现代交通系统中，轨道交通信号设备的重要性日益凸显。随着城市化的加速发展，人口密度的增加，轨道交通成为缓解城市交通压力的关键。信号设备不仅需要满足日常大客流的运营需求，还要应对突发事件，确保系统的稳定性和可靠性。此外，随着科技的不断进步，智能技术的融入为信号设备带来了全新的变革，物联网、大数据、人工智能等技术的应用，使得信号系统的监测、预警、维护更加智能化，为城市轨道交通的安全、高效运行提供了强有力的支持。然而，这些智能技术的引入也带来了数据安全、系统兼容性、人员培训等挑战，需要行业内外共同努力，以确保信号设备的持续进化与完善，满足未来城市交通发展的需求。

## 二、信号设备故障类型与原因分析

### （一）硬件故障分析

在轨道交通信号设备中，硬件故障是影响系统稳定性的主要因素之一。这类故障通常由设备老化、机械磨损、电子元件故障以及外部环境因素引起。设备老化是

不可避免的自然现象，随着时间的推移，信号设备的性能逐渐下降，如信号机的灯泡亮度减弱、转辙机的齿轮磨损，这些都会影响设备的正常功能。机械磨损主要发生在频繁动作的部件上，如转辙机的转辙杆、轨道电路的连接器等，长期的摩擦和振动会导致这些部件的损坏，进而影响信号系统的可靠性。电子元件故障通常与设备的制造质量和使用环境有关，高温、潮湿或电磁干扰都可能引发电子元件的故障，导致信号设备的误报或失灵。

外部环境因素对信号设备的影响也不容忽视。雷电、洪水、地震等自然灾害可能导致信号系统的大范围瘫痪，而日常的尘土、雨水侵蚀则会逐渐侵蚀设备的防护层，影响其长期稳定性。此外，极端温度变化也会对信号设备造成损害，如低温可能使电子元件失去正常工作能力，高温则可能加速设备的老化过程。因此，对信号设备进行定期维护和检测，及时更换老化或磨损的部件，以及采取有效的防护措施以应对恶劣环境，是保障轨道交通信号系统稳定运行的关键。通过这些措施，可以显著降低硬件故障的发生率，提高系统的整体可靠性，为城市轨道交通的安全运行提供坚实保障。

### （二）软件故障解析

在轨道交通信号设备的运行中，软件故障同样不容小觑，其影响往往更为隐蔽且难以预测。软件故障主要包括编程错误、系统冲突、数据处理异常以及软件兼容性问题。编程错误是软件故障中最常见的类型，它可能源于逻辑设计的瑕疵、编码中的疏忽或是对特定场景下的异常处理不当，导致系统在特定条件下出现错误响应或功能失效。例如，列车自动控制系统中的错误算法可能导致列车无法准确停车或加速，影响整个系统的调度效率。

系统冲突则通常发生在软件更新或系统升级过程中，新的软件版本与现有系统中的其他程序不兼容，导致系统运行不稳定，甚至出现崩溃。这种情况下，信号设备可能无法正常接收或处理数据，影响列车的实时监控和控制。此外，数据处理异常也是软件故障的一种表现形式，它可能因数据格式错误、数据传输延迟或数据处理逻辑漏洞而产生，导致信号设备对列车位置、速度等关键信息的误判，进而影响列车的安全行驶。

### 三、故障诊断技术

#### （一）预测性维护技术

预测性维护技术的引入，标志着轨道交通信号设备维护从被动应对转向了主动预测。这一转变的关键在于通过实时监测设备运行状态，收集大量数据进行分析，从而预测潜在的故障点和发生时间，实现对设备维护的精准安排。在信号设备中，预测性维护技术主要依赖于物联网、大数据分析和人工智能等智能技术。物联网技术通过在设备上安装传感器，实时采集设备的运行参数，如温度、振动、电流等，这些数据被传输至云端进行处理。大数据分析技术则对收集到的海量数据进行深度挖掘，通过建立预测模型，识别设备状态变化的趋势和模式，进而预警即将发生的故障。人工智能技术的应用进一步提升了预测性维护的智能化水平，机器学习算法能够从历史数据中学习故障特征，优化预测模型，提高预测的准确性和响应速度。

例如，在转辙机的维护中，通过安装振动传感器和温度传感器，可以实时监测转辙机的工作状态。数据分析系统能够识别出与设备磨损和故障相关的模式，一旦监测到异常，系统立即发出预警，维护人员可以及时采取措施，避免故障的发生。与此同时，通过对历史故障数据的分析，人工智能系统可以预测未来可能发生的故障类型和时间，为维护工作提供前瞻性的指导，从而减少非计划停机时间，提高设备的可用性和效率。

#### （二）远程诊断系统

在轨道交通信号设备的维护中，远程诊断系统的应用极大地提升了故障诊断的效率和准确性。这一系统通过集成先进的通信技术和数据分析算法，能够实现对信号设备的远程监控和故障诊断，无需维护人员亲临现场，便能迅速定位问题，指导现场维修。远程诊断系统的核心在于实时数据传输和智能分析平台。信号设备上安装的各类传感器，如温度、振动、电流传感器等，持续监测设备的运行状态，将数据实时传输至远程诊断中心。这里，大数据分析技术对收集的数据进行深度挖掘，通

过对比历史数据和预设的故障模式，快速识别异常信号，判断故障类型和可能的影响范围。

例如，当监测到转辙机的振动频率异常，远程诊断系统能够立即分析数据，结合设备的历史维修记录，快速判断是否为齿轮磨损或紧固件松动导致，并将诊断结果实时反馈给维护团队。维护人员根据远程诊断系统的指导，可以迅速准备相应的备件和工具，准确地定位故障位置，大大缩短了故障处理时间，降低了设备停运的风险。

远程诊断系统还能够实现故障趋势预测，通过对设备运行数据的长期跟踪，分析故障发生的周期性和规律，提前预警潜在的维护需求。这种前瞻性的故障诊断模式，有助于维护团队合理安排维修计划，避免因突发故障导致的运营中断，提高了系统整体的稳定性和可靠性。

然而，远程诊断系统的成功应用也依赖于系统的准确性和稳定性。为了确保诊断结果的可靠性，系统算法需不断优化，通过机器学习技术，让系统能够从每一次的故障诊断中学习，不断调整和优化诊断模型。同时，系统的安全性同样重要，保障数据传输的安全，防止数据泄露和被恶意利用，是远程诊断系统得以顺利运行的前提。

### 四、维护策略与实践

#### （一）定期检查与维护

在轨道交通信号设备的维护策略中，定期检查与维护扮演着至关重要的角色。它不仅能够预防设备故障，还能确保系统的长期稳定性和可靠性。定期检查涉及对信号设备的全面体检，包括信号机、转辙机、轨道电路等关键部件，以及对数据传输系统的健康状态进行评估。维护计划的制定需遵循设备制造商的建议，并结合设备的实际使用情况和历史维护记录，以制定出既符合实际需求又具有前瞻性的维护策略。

信号设备的定期检查应涵盖外观检查与功能测试两个方面。外观检查旨在发现设备的物理损坏，如裂纹、腐蚀或明显的磨损，这对于及时发现潜在的故障点至关重要。功能测试则通过模拟运行环境，检查设备在各种条件下的响应能力，确保其在实际运营中的准确性和可靠性。例如，信号机的亮度和色彩准确度、转辙机的切换速度和精度、轨道电路的信号传输效率等，都是定期检查的重点。

维护计划应包括预防性维护和纠正性维护两个层面。预防性维护侧重于通过定期的检查和保养，预防设备故障的发生，如更换接近寿命结束的零件，清理设备内部灰尘，检查连接部件的紧固情况等。纠正性维护则是在设备出现故障后，迅速采取措施进行修复，减少故障对

系统运行的影响。两者相辅相成，共同构建起设备维护的双重保障。

维护策略应充分考虑设备的使用环境和运行负荷，制定出符合实际需求的检查周期和维护流程。在高负荷运行的线路或环境恶劣的区域，应适当增加检查频率，以及时发现并解决可能存在的问题。同时，应建立详细的维护记录，包括每次检查的结果、发现的问题、所采取的措施等，这不仅有助于追踪设备的健康状况，也为未来的维护计划提供数据支持。

## （二）预防性维护案例

在预防性维护的实际应用中，上海地铁的信号设备维护案例尤为突出。上海地铁系统面临着庞大的客流量和高频率的列车运行，对信号设备的稳定性和可靠性提出了极高要求。为应对这一挑战，上海地铁采用了基于状态的预防性维护策略，通过实时监测设备状态，提前识别潜在故障，有效减少了故障的发生。

例如，转辙机作为信号系统的关键组成部分，其可靠运行直接影响列车的安全调度。上海地铁的维护团队在转辙机上安装了振动传感器和温度传感器，实时收集设备运行数据。系统通过大数据分析，将这些数据与历史故障模式进行比对，一旦检测到异常信号，立即启动预警机制。在一次监测中，系统识别出某转辙机的振动频率异常，结合设备历史数据，迅速判断为齿轮磨损所致。在故障真正发生之前，维护人员便收到预警，得以及时更换磨损的齿轮，避免了一次可能的设备故障，确保了列车的正常运行。

上海地铁还利用物联网技术，实现了信号设备的远程监控和诊断。一旦监测到设备状态偏离正常范围，系统会自动发送预警信息至维护中心，维护人员可根据预警信息，预先准备所需的备件和工具，迅速定位并解决故障，大大减少了故障处理时间。例如，当轨道电路的信号传输效率下降时，维护团队能够迅速响应，提前安排维护工作，避免了因信号中断导致的列车延误。

上海地铁的预防性维护实践，不仅显著降低了设备故障率，提高了系统的稳定性和可靠性，还有效减少了维护成本，确保了高密度、高强度下的列车运营安全。这一案例充分证明了预防性维护在轨道交通信号设备维护中的重要性和有效性，为其他城市轨道交通系统的维护策略提供了宝贵的经验和借鉴。通过实施预防性维护，可以显著提高设备的使用寿命，减少非计划停机时间，保障轨道交通信号系统的高效运行，为乘客提供更加安全、便捷的出行体验。

## 五、未来趋势与挑战

展望未来，轨道交通信号设备故障诊断与维护技术的发展趋势将更加智能化、集成化与可持续化。智能技术的深度融合，如物联网、大数据分析与人工智能，将推动故障诊断向预测性维护的全面转型，实现信号设备状态的实时监测与智能预警，显著降低故障率，提升系统整体的稳定性和运行效率。集成化趋势体现在多系统间的无缝对接与数据共享，形成统一的故障诊断与维护平台，优化资源分配，提高响应速度。可持续化则要求在技术进步的同时，注重环保与节能，推动绿色维护技术的应用。

然而，这一发展道路并非坦途，挑战与机遇并存。数据安全与隐私保护成为不容忽视的问题，如何在收集、分析与传输设备数据的过程中，确保信息安全，避免数据泄露，是行业需共同面对的课题。技术标准与规范的制定也显得尤为迫切，以确保不同系统间的兼容性与数据的可比性。此外，技术革新带来的经济负担不容小觑，高昂的研发与实施成本要求政府与企业进行合理规划与投入。人才培育与技术培训同样关键，维护人员需掌握新技术，适应智能化维护模式。

## 结束语

轨道交通信号设备的故障诊断与维护技术是保障轨道交通系统安全、高效运行的关键。通过采用先进的诊断技术，实施科学的维护策略，可以有效减少信号设备的故障率，延长设备使用寿命，提高轨道交通系统的整体运行效率。

## 参考文献

- [1] 赵磊. 轨道交通信号设备的故障定位方法研究[J]. 交通与运输, 2024, 40(04): 64-68.
- [2] 谢明军, 何剑峰, 胡小溪, 曹源. 基于故障日志的城轨地面信号故障诊断[J]. 北京交通大学学报, 2020, 44(05): 27-35.
- [3] 陈则宇, 卢凡, 王恒丁, 曹从咏. 基于案例推理的轨道交通信号设备故障诊断方法[J]. 城市公共交通, 2019, (01): 32-35.
- [4] 林伟, 胡志高. 基于多Agent信息融合的轨道交通信号设备故障诊断技术要点[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 19(04): 53-58.
- [5] 白冰. 信号机故障检测与处理[J]. 科技风, 2019, (18): 84.