

铁路道岔转换设备状态监测与故障诊断方法探究

杨红强

湖南铁道职业技术学院，湖南 株洲 412000

DOI: 10.61369/SSSD.2025090027

摘要：道岔转换设备作为铁路信号系统中极其重要的设备之一，它的运行状态一方面与铁路运行秩序的维持息息相关，另一方面还直接关乎着列车整体运行的质量与效率。在铁路信号系统的不同类型故障中，道岔转换设备的故障所占比例很高，其故障状态直接威胁行车安全。为提高道岔转换设备的状态监测与故障诊断效率，本文首先简要规划铁路道岔转换设备智能诊断功能需求与技术路线，以此来确保智能诊断技术的落地实施与高效应用；接着，将研究对象对准交流电液转辙机并设计便捷式终端微机监测系统，旨在确保铁路道岔转换设备的稳定运行，为保证行车安全并大幅度提高运输效率贡献一份力量。

关键词：铁路道岔；转换设备；状态监测；故障诊断

Research on Condition Monitoring and Fault Diagnosis Methods for Railway Turnout Switching Equipment

Yang Hongqiang

Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou, Hunan 412000

Abstract : As one of the extremely important mechanisms in the railway signal system, the operating status of switch conversion equipment is not only closely related to the maintenance of railway operation order, but also directly related to the overall operation quality and efficiency of trains. In the past two years, the frequency of failures in switch conversion equipment has shown a significant upward trend, which has invisibly reduced the transportation efficiency of railways and, more importantly, directly threatened the safety of train operation. In order to meet the high-load and high-density operation requirements of modern railways, this paper first briefly plans the functional requirements and technical routes of intelligent diagnosis for railway switch conversion, so as to ensure the implementation and efficient application of intelligent diagnosis technology; then, it focuses on the AC electro-hydraulic switch machine and designs a portable terminal microcomputer monitoring system, aiming to ensure the stable operation of railway switch conversion equipment and contribute a modest effort to ensuring train operation safety and significantly improving transportation efficiency.

Keywords : railway switch; conversion equipment; condition monitoring; fault diagnosis

引言

铁路道岔转换设备作为铁路的重要组成环节，其运行状态监测与养护任务一直是铁路工作的重中之重。当前，一部分铁路采用定期巡检的方式维护铁路道岔转换设备，但因需要耗费大量的人力、物力与财力，此种方式在当代的弊端日益突出。为了大幅度提升铁路道岔转换设备的运维效率，本文结合新时期铁路运维智能化发展方向，以交流电液转辙机作为研究对象，设计了一种便捷式终端微机监测系统，与此同时，还从铁路道岔转换设备典型故障出发，明确诊断功能需求，设计了由传感层、数据层、诊断层组成的智能诊断系统，旨在为铁路道岔转换设备状态监测与故障诊断提供全新的思路和有效的方法。

一、铁路道岔转换设备工作状态智能诊断技术

(一) 典型故障

铁路道岔转换设备长期被应用于复杂且严峻的环境中。多数线路除了需要穿越山区、矿区之外，还需要长期承受极端环境的影响，比如高温、风雪、雨季等，这在无形中会加剧设备部件的

磨损与疲劳，继而降低使用寿命与工作效率。正因如此，与铁路道岔转换设备相关的养护工作长期面临着严峻挑战。值得注意的是，铁路道岔转换设备作为控制道岔位置的关键执行机构，其状态参数变化往往是故障高发的主要因素之一^[1]。相关研究得出，铁路道岔转换设备故障多集中于两方面，分别为机械故障与油路故障，具体如下所示：

第1, 机械故障最常表现为两方面, 分别为电机空转故障和转换后无表示故障。前者的诱因很多, 比如油液泄露、道岔密贴调整过紧、尖轨与基本轨之间存在异物卡阻等。这些原因可能会引发一系列问题, 常见的有道岔无法正常解锁、道岔转换途中出现卡滞现象、道岔最终无法锁闭等^[2]。如若以上问题得不到及时且有效的解决, 那么持续的空转可能会导致电机烧毁, 严重情况下还可能引发严重的行车事故。后者的诱因主要可归纳为三方面, 分别为转辙机接触不良、机械转动链失效、机内卡缺口等, 这些原因可能会引发信号联锁异常等问题^[3]。

第2, 油路故障, 作为电液转辙机的特有故障类型, 其具体表现如下: 1. 因油箱内油液不足而引发的道岔无任何动作故障。此时, 电机启动后往往处于空转的状态; 2. 因油液泄露或者油路卡阻等而引发的道岔动作无法达到指定位置的故障; 3. 因空气进入油路而引发的油缸反弹故障; 4. 因温度诱发的油压异常故障, 其可能直接降低转辙机工作效率, 更严重的情况下还可能导致道岔转换失败等类似的问题^[4]。

(2) 诊断功能

智能诊断技术在铁路道岔转换故障中的应用, 是有效解决实际问题的重要举措。智能诊断技术具备实时采集数据的功能, 可以实现实时监测铁路道岔转换设备状态以及精准定位典型故障, 与此同时, 还可实现与集中监测系统的无缝衔接, 从而为铁路一体化综合维修目标的实现提供强大的技术支撑。

根据监测对象的不同, 状态监测具体可分为两方面, 分别为转辙机监测与道岔监测。前者的监测项点主要包括转辙机内部温湿度、振动加速度信号、油压、动作电流曲线、缺口图像和视频等; 后者的监测项点主要包括包含方向、轨距在内的道岔几何参数、转换阻力、密贴力等^[5]。在明确状态监测的主要监测项点之后, 智能诊断系统可以根据对道岔转换设备运行状态中图像、电流、油压等多维特征的综合分析, 精准识别并精确定位故障点。在此过程中, 借助机器学习等智能算法, 系统可以实时提取诸多动态、静态特征参数。这些参数主要反映的是列车经过道岔时的实际运行状态, 通过对参数的综合评估与退化分析, 真实反映铁路道岔转换设备的真实运行状态, 以便为现场维修工作提供科学依据与正确指导, 促进维修模式逐步向预防性维修方向转变^[6]。

(3) 诊断系统

1. 传感层

传感层作为智能诊断系统的物理基础, 其承载着实时采集并传输各种物理量的重要使命。传感层的设计应遵循“以小盖全”的基本原则, 即以最小化的传感单元实现最全面的有效感知, 如此, 在降低成本的同时还能满足复杂的诊断需求。结合铁路道岔转换设备的典型故障特征, 传感层的监测项点应尽可能全面覆盖铁路道岔转换设备的关键部位, 旨在精准定位关键参数, 实现对设备状态的全方位监测^[7]。需要注意的是, 所有传感器及其数据接口安装应牢固可靠, 同时, 确保接口信号传输的稳定性。不仅如此, 传感器的安装应秉持与道岔现场机械装置相互无干扰的原则, 以确保长期运行的质量和效率。

2. 数据层

通常情况下, 数据层主要由两部分组成, 分别为采集通信模块与中心数据库, 主要功能为采集、传输、转换、存储状态参数等。其中, 前者的主要功能集中于多种信号类型的采集, 同时, 还可兼容多种通信协议以及接口标准, 常见的有太网、PLC、xDSL等。采集通信模块由于具备无线、有线等多种数据传输能力, 因而可以满足多样化、个性化的道岔转换设备监测需求^[8]。中心数据库的主要功能集中于以人机交互的形式为用户执行指令与查看道岔转换设备状态信息提供便利, 同时, 还具备数据存储、数据管理、系统运行状态记录等诸多独特功能。数据层的设计应结合国家标准对工业级设备的要求, 具体包括温湿度耐受性、抗振动性、防护等级等诸多方面。

3. 诊断层

故障诊断需依赖诊断层这一关键层级。它的核心功能主要表现为两方面, 分别为故障实时定位以及健康状态预测。其中, 故障实时定位应突显实时性特征。具体步骤为, 首先, 基于铁路道岔转换设备的内在工作原理与故障机理建立理论模型; 接着, 实时提取并分析设备数据特征, 比如电流、振动、油压等; 最后, 在线判断设备运行状态并精准定位故障。一旦识别出故障, 需要立即触发报警系统, 这样, 能为现场应急处置提供可参考的依据。健康状态预测需要立足长期积累的大数据基础, 通过将人工神经网络、专家经验、支持向量机等紧密结合起来, 建立多维度、高精度的预测模型, 继而实现对道岔转换设备健康状态评估的目的, 与此同时, 预测未来一定周期内设备的健康发展趋势, 最终为预测性维护提供科学的决策依据^[9]。

二、基于交流电液转辙机的便携式终端微机监测系统

铁路信号微机监测系统是保障铁路行车安全的核心基础设施, 在整个铁路运营过程中扮演着不可替代的重要角色。然而, 传统的微机监测系统存在一系列弊端, 比如搭建的基础设备难以满足复杂数据传输服务需求, 要想满足需求, 则需要构建繁琐的基础设施并建立集中式服务架构, 这可能引发诸多问题, 如系统结构庞杂且扩展性不足。另外, 系统功能升级与优化往往面临着各种各样的困难和挑战, 常见的有开发过程复杂、实施难度大、耗费的成本高等。更为重要的是, 由于系统本身规模庞大且结构复杂, 如果想要对其进行全面改造或者二次开发, 不仅需要面临巨大的经济负担, 而且实际工作任务也异常艰巨。因而, 笔者建议可以以单片机作为节点监测平台, 设计微机监测系统方案。该方案将单片机作为嵌入式系统, 与传统微机监测系统相比, 具有显著的便捷性、灵活性优势, 同时, 也能为功耗控制提供诸多便利。便携式监测系统能满足特殊作业场景的需求, 能完成实时监测并记录关键数据的目的。便携式终端微机监测系统的功能如下:

第1, 终端监测节点。终端监测节点的重要组成为电流传感器。传感器作为系统的“感知器官”, 主要功能为实时感知监测系统的关键数据。它能精准测量诸如电、磁、光、力等物理量并

实时返回对应数值。电流等数据的采集主要依托 IO 口与控制器之间的连接与通信。主控制器主要负责数据的简单处理、传输并监测。经处理后的数据可实时在 LCD 显示屏上显示，这为现场人员直观查看数据并制定针对性的故障处理对策提供了便利^[10]。

第2，数据异常报警。电气特征参数对电务日常维护发挥着至关重要的作用。系统可以多维度分析监测数据并设置道岔转换设备各项参数的正常阈值范围。一旦数值超出正常范围，那么系统会立即启动报警机制。电务专业科室可人工分析异常曲线并结合日常工作经验判断数据的大致范围，更重要的是要通过现场模拟验证，以此来形成监测—处置日常数据的完美闭环。

第3，数据存储。微机监测系统可以全过程、全方位地记录铁路道岔转换设备的运行状态，旨在为设备故障预测以及健康管理提供科学且详实的数据依据。系统可以依托无线网络将采集到的监测数据上传至上位机终端，同时，将数据存储至本地空间，

继而实现监督、监测设备运行状态的目的，不仅如此，也为大容量的数据归档与存储提供便利。如此，现场维护人员可以远程浏览、分析、查找相关数据并根据数据分析结果判断设备是否处于正常运行状态，同时，还能精准定位故障点，旨在大幅度提升故障诊断与维修的效率，确保铁路行车安全^[11]。

三、结语

综上所述，本文分别从铁路道岔转换设备工作状态智能诊断技术以及基于交流电液转辙机的便携式终端微机监测系统设计两个维度深入探究铁路道岔转换设备状态监测与故障诊断的相关内容，这不仅能为现场工作人员提供强大的技术与平台支撑，而且能够大幅度提高故障处理的质量和效率，在增强道岔系统可靠性与稳定性的同时能够确保铁路高效且安全的运行。

参考文献

- [1] 李超. 高速铁路道岔转换系统状态监测和预测方法研究 [D]. 北京：北京交通大学，2022.
- [2] 史龙，周荣，王智新，等. 道岔转换设备故障诊断与预测系统研究与设计 [J]. 铁路通信信号工程技术，2019, 16(7):5–8, 13.
- [3] 戴岳. 基于功率数据的铁路道岔故障诊断方法研究 [D]. 陕西：西安理工大学，2023.
- [4] 宋巍. 转辙机自动开闭器接点状态监测和故障诊断系统 [D]. 北京：北京交通大学，2024.
- [5] 杨晓刚，姚艳. 铁路道岔转换设备防水通风装置的研究 [J]. 设备管理与维修，2021(21):81–82.
- [6] 张鹤，郭书莲，王明玉. 探讨高速铁路道岔转换设备故障分析及问题对策 [J]. 建筑工程技术与设计，2021(1):957.
- [7] 何锐康. 铁路信号系统道岔转换设备故障监测诊断技术研究 [J]. 建筑工程技术与设计，2020(32):286.
- [8] 王凯，董勇，齐小民. 基于主副销结构的道岔转换设备健康状态分析系统研究与应用 [J]. 铁道通信信号，2023, 59(4):42–46.
- [9] 吕军. 基于大数据分析的道岔转换设备故障诊断系统 [J]. 铁道通信信号，2022, 58(12):32–37.
- [10] 陈利东. 道岔转换设备安全参数实时监测系统研究 [J]. 铁道通信信号，2023, 59(8):23–29.
- [11] 郑佳宜. 道岔转换设备故障诊断与预测系统研究与设计 [J]. 百科论坛电子杂志，2021(1):1068.