

基于健康评价模型的城市轨道交通信号设备 智能化监测平台研究*

谭文举^{1,2} 郜 洁^{3**}

(1. 北京交通大学电子信息工程学院, 100044, 北京; 2. 南宁轨道交通集团有限责任公司, 530029, 南宁;
3. 广西交控智维科技发展有限公司, 530201, 南宁//第一作者, 正高级工程师)

摘 要 针对当前城市轨道交通信号设备维护存在的诸多问题,提出了利用健康评价模型建立智能化监测平台的新型主动维保方式。通过对信号设备的研究和监测数据的分析,结合相应指标的国标和经验数据,建立设备级、站点级、线路级的健康评价模型,进而建立智能化监测平台,实现城市轨道交通信号设备的主动维护和智能化管理。

关键词 城市轨道交通; 信号设备智能化监测平台; 健康评价模型

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.007

Research on Intelligent Monitoring Platform of Urban Rail Signaling Equipment Based on Health Assessment Model

TAN Wenju, GAO Jie

Abstract Aiming at the many problems existing in the maintenance of urban rail transit signaling equipment, a new active maintenance mode that uses health evaluation model to establish an intelligent monitoring platform is put forward. Through the research of signaling equipment and analysis of monitoring data, combined with corresponding national standards and empirical data indicators, a health assessment model at equipment level, station level and line level is established. The intelligent monitoring platform is further established to realize the active maintenance and intelligent management of urban rail transit signaling equipment.

Key words urban rail transit; signaling equipment intelligent monitoring platform; health assessment model

First-author's address School of Electronic Information Engineering, Beijing Jiaotong University, 100044, Beijing, China

近年来,由于城市轨道交通信号设备使用年限的增长、设备数量的成倍增加,伴随着维修人员的相对缺失和作业时间的压缩,对信号设备的维护提出了更高的要求。因此,亟待设计一种智能化监测平台对信号设备进行智能维护,以实现城市轨道交通信号设备监测数据的实时采集、储存和分析,以及信号设备的自动诊断和故障预警。本文通过构建健康评价模型,设计智能化监测平台,及时发现运营期间存在异常的设备并进行维护,从而减少因设备问题造成的事故,保证城市轨道交通安全可靠运营。

1 信号设备健康评价模型

1.1 健康评价模型整体分析

信号设备是城市轨道交通安全高效运营的核心系统之一,其单元众多、结构复杂。经现场技术资料及运维作业勘查调研,围绕信号系统关键参数选用以下3种设备健康评价模型。

1) 结合在线设备状态、故障信息、日志信息及离线数据,将子系统设备的指标按重要程度进行分类,分为一级指标、二级指标、三级指标。根据这些指标对每一类设备进行健康度分析,并结合每一类设备指标进行权重分配,以此建立科学的设备级、站点级、线路级的健康评分模型。

2) 利用平均无故障间隔时间计算系统的可靠性:首先对历史报警数据进行预处理,筛除重复报警等不必要报警信息;然后根据处理后的数据计算平均无故障时间 F_{MTB} ,按照健康评价模型给出健康

* 广西重点研发计划项目(桂科 AB22035008)

** 通信作者

评价;最后根据系统当前报警等级及数量,给定当日合理扣分值,计算出最终健康评分。

3) 综合状态特征参数、工作载荷、环境应力、历史故障及维修历史数据建立健康评价体系,根据专家经验结合层次分析法确定各个指标的权重,分别对每个指标进行健康分析,最后通过加权求和得出整体健康评价。

因信号系统设备很多,本文仅针对信号系统的3个关键设备——道岔、车载、联锁设备建立健康评价模型。

1.2 道岔设备健康评价模型

1.2.1 道岔设备评价方法

道岔是信号系统的关键基础设备。道岔健康状态评估的具体流程如图 1 所示。其内容包括:① 结合多源异构运维数据分析及专家经验,构建道岔健康度评价指标体系;② 基于模糊层次分析法,结合监测数据,构建道岔健康度分层评估模型及评估算法;③ 根据道岔健康度评价指标、模型及算法,结合大数据,通过打分、评级的方式进行设备状态评

价及自动化预警等。

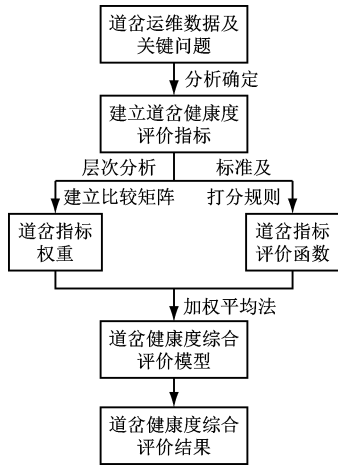
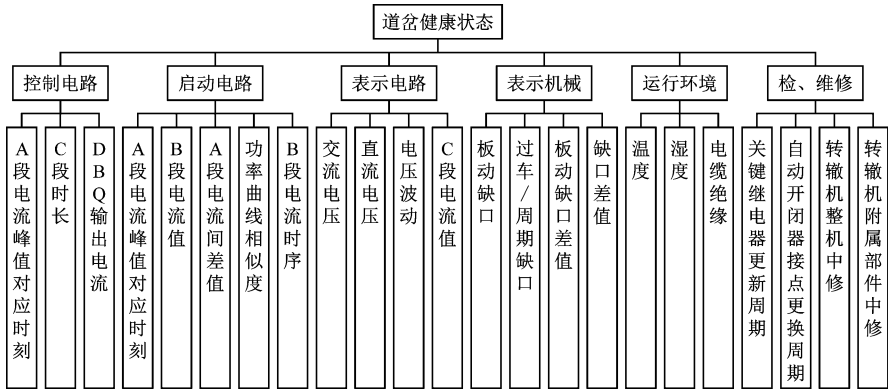


图 1 道岔健康状态评估流程图

Fig. 1 Flow chart of turnout health status evaluation

1.2.2 道岔设备评价指标

道岔的安全涉及多个参数极值,因此需考虑状态特征、工作载荷、环境应力、历史故障及维修历史数据等参数。依据《铁路道岔参数简明手册》中对参数的规定,建立道岔设备评价指标体系,见图 2。



注:DBQ 为断相保护器。

图 2 道岔设备评价指标体系

Fig. 2 Turnout equipment evaluation index system

1.3 车载设备健康评价模型

车载设备是对列车进行控制的核心设备。对车载系统进行健康度建模与评价,有助于开展系统设备的运营、维修、维护,保障列车安全高效运行。

1.3.1 车载设备评价方法

1) 历史报警数据预处理。通过基准数据库管理系统导出当前前 6~12 个月的历史数据,筛除重复报警等不必要报警信息。

2) F_{MTB} 的计算。根据每车组当前前 6 个月内运营列车的车组数与报警数量,计算得出对应车载

系统 F_{MTB} 。例如,5 号线 501 车组在 2020-02-01—2021-07-31 期间共报警 42 次,则 F_{MTB} 为 103。

3) 平时健康度评价。根据计算出的 F_{MTB} ,给出每车组车载系统合理的日常健康度评分。

4) 健康度最终评分。根据每车组车载系统当日的报警等级及数量,给定车载系统合理的扣分值,则健康度最终评分为日常健康度评分与当日报警扣分值的差值。

1.3.2 车载设备评价指标

反映设备状态的健康度 H 与设备实时故障率 λ

的量化关系描述如下:

$$\lambda = Ke^{CH} \quad (1)$$

式中:

K ——比例系数;

C ——曲率系数。

建立 H 与 λ 的转化关系:

$$\begin{cases} \lambda = \lambda_{\min}, & H = 100 \\ \lambda = \lambda_c, & H = 80 \end{cases} \quad (2)$$

式中:

λ_{\min} ——最小故障率;

λ_c ——常用故障率。

选取 λ_{\min} 为 400, λ_c 为 0.008, 通过式(1)一式(2), 得到 $K=0.890\ 0$, $C=-0.058\ 7$ 。则在 λ 已知 (F_{MTB} 已知) 的情况下, 根据式(1)可计算出对应的 H 。

1.4 联锁设备健康评价模型

联锁设备是负责行车进路建立的铁路行车核心控制设备。对联锁设备进行健康度建模与评价, 有助于开展系统设备的运营、维修、维护, 保障列车安全高效运行。

1.4.1 联锁设备评价方法

1) 历史报警数据预处理。通过基准数据库管理系统导出当前前 6~12 个月的历史数据, 筛除重复报警等不必要报警信息。

2) F_{MTB} 的计算。根据每套联锁系统(以集中站区分)在固定时间段内的小时车组数与报警数量, 得出对应联锁系统的 F_{MTB} 。

3) 日常健康度评价。根据计算出的 F_{MTB} , 给出每套联锁系统合理的平时健康度评分。

4) 健康度最终评分。根据联锁系统当日报警等级及数量, 给定联锁系统当日合理扣分值, 则健康度最终评分为日常健康度评分与当日报警扣分值的差值。

1.4.2 联锁设备评价指标

选取 λ_{\min} 为 0.000 27, λ_c 为 0.001 58, 通过式(1)一式(2), 得到 $K=1.271 \times 10^4$, $C=-0.176\ 7$ 。则在 λ 已知 (F_{MTB} 已知) 的情况下, 根据式(1)可计算出对应的 H 。

2 信号设备智能化监测平台的建立

基于监测数据健康评价模型, 构建出一个完整

的城市轨道交通信号设备智能化监测平台。该平台可以实时监测所在线路信号设备的健康状态, 及时找出信号设备存在的问题。实时监测报警系统可对运行中各类信号设备的运转状态信息进行监测, 通过各类传输通道传输到设备终端, 并依据设备终端健康评价模型进行处理和计算, 从而实时获取全线各种信号设备故障的发生情况及危害程度, 并根据危害程度进行不同程度的报警。监测报警系统的完成依赖于 3 个不同的功能层: 第一层是采集层, 负责数据的采集与整理; 第二层是传输层, 负责数据的储存与运输; 第三层是应用层, 负责数据的处理与分析。

信号设备智能化监测平台包括 6 大模块: 主界面展示模块, 故障预测和寿命预测模块, 全生命周期管理模块, 维修管理模块, 健康评估模块, 处置意见及专家库模块。

2.1 主界面展示模块

对于整个平台而言, 该模块可整合平台中多专业、多线路的健康分析结果, 如运行质量指标、关键系统可靠性、线网健康状态评估等, 为维保管理提供可靠的数据支撑及维修支持。对于具体的故障页面而言, 每种故障都需从线路级、车站级、设备级进行各种设备安全情况的展示, 从健康度、维修建议、健康变化趋势等方面描述设备的健康状况, 并对设备进行诊断, 如若出现故障便会自动提示。主界面展示模块界面见图 3。

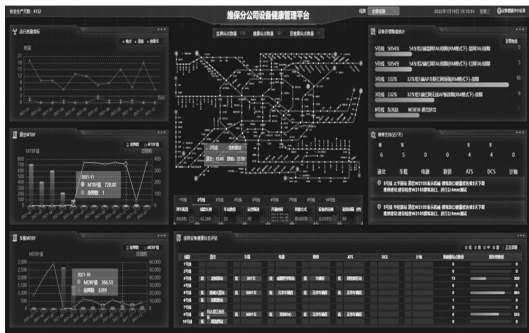


图3 信号设备智能化监测平台主界面

Fig. 3 Main interface of signaling equipment intelligent monitoring platform

2.2 故障预测和寿命预测模块

该模块具备关键设备寿命预测及管理、设备健康影响分析等功能, 并可根据设备劣化规律提供维

保处置建议,以实现其与故障处置建议模块的联动。

2.3 全生命周期管理模块

该模块具备设备全生命周期管理功能。其可结合设备运行状态、使用寿命等对设备全生命周期进行管理,并支持全生命信息查询功能。

2.4 维修管理模块

根据设备健康评估情况,支持推送关键设备健康状态不良以及对应评价指标劣化的设备给大屏或 PC(个人计算机)端,并给出设备维修建议,指导现场预防维修;根据设备劣化规律,提供维保处置建议。该模块具备线网设备预防性维修管理、专项排查管理,以及维修后设备健康度重新评估等功能,为设备技术人员提供设备管理决策,为管理层提供辅助决策。同时该模块可生成专项排查建议以及大、中修建议等,为设备管理工程师提供设备维护建议,为运营管理人员提供维保决策。

2.5 健康评估模块

构建通用型关键设备健康评估模型。该模型能够根据现场使用情况进行修改调整,可支持并匹配不同厂家、不同车辆制式的差异化。健康评估模型界面见图 4。



图 4 健康评估模型界面

Fig. 4 Health evaluation model interface

2.6 处置建议及专家库模块

该模块可为各子系统及设备提供相应的维修支持方案,同时支持自定义维护建议输入。建立知

识库,对故障特征值进行归纳总结;建立系统设备和基础设备故障的典型案例库,并支持其输出至其他平台运用。搭建线网级规则引擎库,对告警信息进行数据清理、归类整合,并周期性更新规则,以指导中台运用。

3 结语

本文针对目前城市轨道交通信号设备维护能力下降、维护压力增大的问题,建立了一套基于健康评价模型的城市轨道交通信号设备智能化监测平台。通过该平台,可对城市轨道交通信号设备进行实时监测,并给予相应的健康状况分析,从而为信号设备的主动维保提供依据。

通过对现场信号设备维护的调研,给出了相应的健康评价模型体系。并在引入 F_{MTB} 等相关参照值的基础上,通过相应的健康评分算法,精准地计算出各信号设备的健康度分值。该健康度分值可反映信号设备的健康状况,为平台的建立提供理论支撑。

参考文献

- [1] DENG H, YE H C H, WILLIS R J. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights[J]. Computers & Operations Research, 2000, 27(10): 963.
- [2] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011. WANG Yingluo. System engineering[M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [3] 王艳超. 低压电气设备运行状态信号特征检测系统设计[J]. 电子设计工程, 2019, 27(7): 113. WANG Yanchao. Design of signal feature detection system for low voltage electrical equipment running state[J]. Electronic Design Engineering, 2019, 27(7): 113.
- [4] MATHUMO T W, SWART T G, FOCKE R W. Implementation of a GNU radio and python FMCW radar toolkit[C]//IEEE. 2017 IEEE AFRICON. New York: IEEE, 2017: 585.

(收稿日期:2022-09-15)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821