

# 城市轨道交通车辆门系统故障预测与健康管理

徐万宝

(中车长春轨道客车股份有限公司生产管理部, 130062, 长春//高级工程师)

**摘要** 车门系统是城市轨道交通车辆系统中的一个重要子系统,而故障预测和健康管理是保障车门系统安全可靠的重要手段。从城市轨道交通车门系统结构出发,将车门典型故障进行分类,包括开关门障碍检测故障、关锁到位开关故障、3秒不解锁故障、电机位置编码器故障及控制器驱动电路MOS管短路故障。针对各类典型车门故障,提出相应的故障预测和健康管理框架,内容包括数据采集、数据预处理、特征值提取、状态监测、健康评估及最优维护。

**关键词** 城市轨道交通;车门;故障预测;健康管理

**中图分类号** U279.2

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.04.025

## Review of Fault Prediction and Health Management for Rail Vehicle Door System

XU Wanbao

**Abstract** Rail vehicle door system is an important subsystem in rail transit system equipment, the fault prediction and health management are important means to ensure the safe and reliable operation of vehicle door system. Starting from the structure of the rail vehicle door system, the typical door faults are classified, including the switch door obstacle detection fault, the lock-in position switch fault, the three-second non-unlocking fault, the motor position encoder fault and the controller drive circuit MOS tube short-circuit fault. Aiming at the above-mentioned typical faults, the corresponding management frameworks of fault prediction and health management are proposed, the main points include data acquisition, data preprocessing, feature value extraction, condition monitoring and health assessment, as well as the optimal vehicle door maintenance.

**Key words** urban rail transit; vehicle door; fault prediction; health management

**Author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着科学技术的发展,特别是信息技术和大数据技术的飞速发展,城市轨道交通技术正在从传统

技术向信息化、智能化方向发展<sup>[1-2]</sup>。同时,由于系统复杂程度和影响因素也同步增加,故发生故障和功能失效的概率也在加大,因此,复杂系统故障诊断和维护逐渐成为城市轨道交通的研究焦点<sup>[3]</sup>。其中,故障预测与健康管理(PHM)已成为城市轨道交通技术升级和发展的一个方向,推动着轨道交通产业向大数据智能化发展与升级<sup>[4-5]</sup>。

## 1 PHM基本框架

PHM包含两方面的内容,即预测和健康管理。故障预测是指根据系统现在或历史性能状态预测性地诊断部件或系统完成其功能的状态(未来的健康状态)<sup>[6]</sup>。PHM技术一般应具备如下功能:故障检测、故障隔离、故障诊断、故障预测、健康管理和寿命追踪。对于复杂的装备或系统,PHM应能在不同的层次上进行全面诊断、预测和健康管理<sup>[7-8]</sup>。PHM技术与传感系统结合起来使用,以捕获与系统属性相关的参数,这些参数可以用于系统的智能化分析、预测及控制。

如图1所示,PHM技术实现了维修策略从传统的事后维修或计划维修向视情维修策略的转变,它能够在准确的时间和准确的地点,对各行各业的维修与维护工作提供准确的指导。

## 2 车门系统实施PHM的必要性

城市轨道交通车辆的车门系统直接关系到乘客的人身安全,是城市轨道交通车辆的一个重要子系统,其可靠性和安全性一直城市轨道交通运营部门重点关注的问题<sup>[9]</sup>。由于城市轨道交通运营站距短,车门开闭极其频繁,门控电、气动零部件转易损坏,加之乘客干扰因素众多,使得车门故障频发,这不仅影响了列车的正常运行,耽误乘客出行,甚至还危及乘客人身安全。据某地铁运营公司的故障统计,车门故障占列车故障总数的30%以上,在列

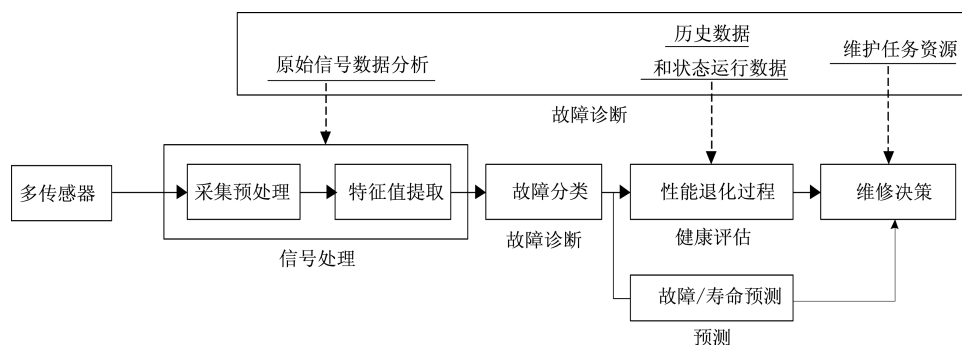


图1 PHM技术体系框架

车各子系统中排名第一<sup>[10]</sup>。

近年来,因车门故障导致城轨列车停运、延误的事件屡见不鲜<sup>[11-12]</sup>。2017年8月3日,北京地铁由四惠开往土桥方向的列车车门发生故障,车门无法正常关闭,为不影响后续车辆运营,地铁公司只能采取应急措施,在车门处悬挂布帘,并在旁边会配备安保人员看守保障安全,使故障车辆行驶到可以修理的地方;2018年3月,武汉地铁2号线因为车门故障发生临停事件,受此事件影响,2号线大部分列车班次出现晚点,站台滞留了大量乘客。如何早期发现车门系统异常征兆并进行预报分析,已成为保障轨道交通安全有序运行的关键问题。

车辆出厂前的检测过程和关键参数无法得到有效监控;车门系统故障时的原因和故障前后的关键工作状态无法获取,无法对关键核心产品和设备的亚健康状态进行状态预警;出现故障时只能通过现场检修发现,没有成熟的检修流程用于指导维修。这也都增加了车门系统发生故障的潜在可能性。

除了安全性和可靠性因素,车门系统的运行维修决策问题也日益突出,特别是进入网络化运营后,车门系统等相关设备目前仍采用计划维修模式,逐渐暴露出了维修不足和维修过剩的问题。因此,基于状态维修的PHM技术逐步得到了更广泛的认可。

PHM技术促进了维修策略的转变,使得故障诊断从传统的基于发送器的诊断转变为基于智能系统预测的诊断,使得事后维修或定期维修向视情维修转变<sup>[13-14]</sup>。通过PHM技术的实施,能够使车门系统达到:①保证设备和维修人员的资源需求,降低维修、维护成本;②减少维保时间,特别是减少计划外维保时间,提高列车完备率;③通过健康感知,降低故障风险,提高列车运营效率。

### 3 车门系统PHM框架

城市轨道交通车门系统结构复杂,机电耦合性强,难以建立精确的物理模型描述其状态变化机理。随着传感器技术、数据存储技术、通讯技术等新技术的发展与应用,线上车门状态监控数据可以实时传送到远程数据中心平台,线下开展的故障实验、加速失效寿命实验等累积存储的历史数据也越来越丰富,使得基于车门监测数据的数字驱动模型成为研究车门系统健康评估和预测的有效方法。同时,数据挖掘、机器学习等新技术的发展与应用,为基于数据的健康评估和预测方法提供了有力的支持。

基于数据的健康评估和预测方法主要根据设备(同类设备)的状态监测数据对其由性能状态变化过程进行评估,并预测剩余使用寿命。这种方法不需要关注设备的动力学模型和物理失效机理,对专家知识经验也没有过多的依赖性,仅依靠采集到的监测数据,通过数据挖掘手段将监测数据转化为健康状态信息和剩余寿命信息。

车门系统在运行过程中,数据采集传输系统将车门不同部位的传感器数据,通过无线传输方式传输至地面服务器。地面服务器对门状态数据进行采集与预处理,但不能进行监测与管理,必须结合相关预测方法完成系统数据的状态监测,并进行状态的故障诊断及预测。车门系统PHM框架如图2所示。

#### 3.1 数据采集传输与处理

车门系统PHM通过无线方式获取车门传感器数据(包括电机电流、霍尔信号、振动信号等),并对数据进行分析 and 处理,常用算法包括快速傅立叶变换和小波变换等,然后对数据进行过滤、压缩和简化,使其成为后续状态监测所需的数据格式。

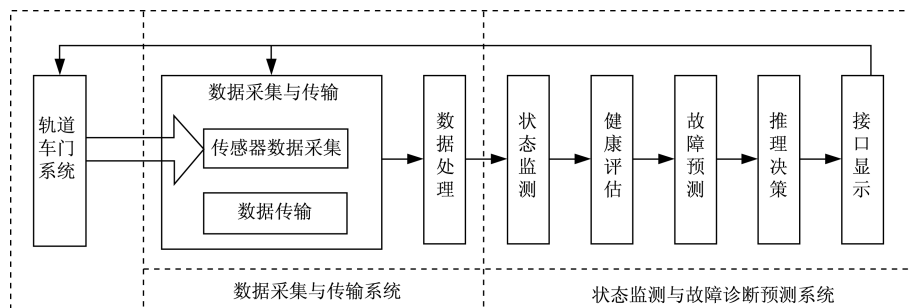


图2 车门PHM技术体系框架

### 3.2 状态监测

车门系统PHM将从数据处理模块和状态控制模块得到的数据与预定的故障标准进行比较,用于控制当前状态并提供故障警告,确定不同参数指定的预定边界。目前,前沿的状态监测方法主要有改进的主成分状态监测和卷积神经网络状态监测等。

### 3.3 健康评估

车门系统PHM对监控对象的健康状态进行评估,生成故障诊断记录,确定故障发生的概率,并根据各种健康状态历史数据、工作状态及维护历史数据对车门系统进行判断。不同的车门状态发送到不同的处理模块,实现分类诊断和集中决策,并且相关的评估方法也由人工识别逐渐变为智能识别。

车门系统典型故障主要分为以下5类:开关门障碍检测故障、关锁到位开关故障、3秒不解锁故障、电机位置编码器故障、控制器驱动电路MOS管短路故障。

### 3.4 故障预测

车门系统PHM综合使用前几部分提供的信息,参照预先确定的数据或经验数据,预测车门系统各部件的剩余寿命。当到达警戒线时发出警告信息,对现有可追溯的车门故障进行总结,并对典型故障的成因进行分析,以确定用于健康评估的故障对象。PHM利用相关数据驱动的方法进行故障预测,包括集成学习算法、粒子滤波优化和维纳过程随机模型等。

### 3.5 推理决策

车门系统PHM确定系统中的异常工作或故障部件,以及异常工作或故障的程度,检查故障部件是否有潜在的负面影响,以便在被监控系统发生故障前进行必要的处理,同时给出车门系统的维修、维护建议。

### 3.6 接口显示

车门系统PHM具有与其他信息系统通信的能

力,具有状态监测模块的警告信息显示功能以及健康评估模块的数据呈现功能。

## 4 结语

多传感器采集参数、多故障诊断和预测方法、多决策策略融合是车门系统PHM技术未来的发展方向。伴随着传感器技术、5G网络技术、智能化技术及大数据技术的不断发展,PHM技术必将在城市轨道交通中得到越来越广泛的应用。

## 参考文献

- [1] 肖奇峰. 现代城市轨道交通综合监控系统的设计分析[J]. 通讯世界, 2018, 336(5): 44.
- [2] 曹银平, 毛宇丰. 智能化——城市轨道交通未来发展方向[J]. 自动化博览, 2016(1): 82.
- [3] 张晓阳. 面向复杂系统生命周期的故障诊断技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
- [4] 邵俊捷, 邓洋, 于闯. 故障预测与健康管理技术在动车组中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2018(2): 102.
- [5] 李雪昆. 故障预测与健康管理技术在地铁列车上的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2018(2): 105.
- [6] 陶大羽. 基于退化数据的产品剩余寿命预测方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [7] 杨军祥, 田泽, 李成文, 等. 新一代航空电子故障预测与健康管理系统综述[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(4): 972.
- [8] 许建良. 基于OSA-CBM的油气井故障预测系统的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [9] 杨颖, 李骏, 彭冬良, 等. 地铁列车车门系统故障分析及诊断方法[J]. 电力机车与城轨车辆, 2014(6): 21.
- [10] 高云. 城轨列车车门系统关键部件可靠性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [11] 杨颖, 李骏, 彭冬良, 等. 地铁列车车门系统故障分析及诊断方法[J]. 电力机车与城轨车辆, 2014(6): 21.
- [12] 刘晶. 改进模糊Petri网在城轨列车客室车门系统故障诊断中的应用研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [13] 毛京明, 胥家常. 一种新的自主式武器装备后勤保障系统[J]. 兵工自动化, 2009, 28(7): 23.
- [14] 刘鹏鹏, 左洪福, 孙见忠. PHM体系中的航空器维修决策理论研究[J]. 航空制造技术, 2012, 416(20): 46.

(收稿日期: 2019-08-26)