

[在线监测]

基于地铁自动扶梯系统在线监测系统的概述

文/王思遥

北京建筑大学机电与车辆工程学院

北京地铁6号线的机电设备故障监测与智能诊断系统，主要完成对机电设备故障的智能诊断，并利用软件智能化手段对设备运行、故障信息进行分析，完成更丰富的信息化应用。首先介绍了自动扶梯系统，之后阐述了地铁自动扶梯所存在的问题，然后引出了在线监测与故障诊断技术并介绍了相应案例。最后，指出未来自动扶梯在线监测与故障诊断的必要性。

地铁以其高速、安全、准时和载荷量大的优势，深受现代化城市的出行偏爱，成为现代城市解决交通问题最有效的手段。地铁车站及轨道沿线分布着各类机电设备，确保地铁的安全运营，并为地铁营造舒适的乘车环境。

随着国内城市轨道交通的迅速发展和地铁建设步伐加快，地铁自动扶梯系统的安全可靠性越来越受到关注。根据地铁运营服务需要，保证乘客出行的便利，确保车站自动扶梯的正常运行，地铁自动扶梯设备的运行质量变得尤为重要。因此地铁自动扶梯设备需要进行自动化监控和科学管理，对于设备的健康状况需要实时关注，以实现设备高质量运行，为地铁车站内部运营创造优良的服务环境。

地铁内设置环境与设备监控系统，对地铁自动扶梯实现监视功能，仅能满足部分数据实时查看功能，无历史监测分析功能，需要人为记录数据，并对大量数据进行分析，损耗人力，且增加时间损耗。为提高设备健康管理水平，北京地铁6号线增加了故障诊断与在线监测系统，通过采集地铁自动扶梯的各项运行数据，监测分析地铁自动扶梯的健康状况，并实时进行故障监视、历史数据记录和智能诊断分析数据，实现设备故障预警等功能，为地

铁自动扶梯的运行提供了良好的设备健康环境。本文主要通过此系统实现各个车站的自动扶梯系统实时状态监测、在线故障预警及闭环智慧运维，可有效减少过剩维修和备品备件的消耗，延长正常部件使用寿命，提高工作效率，降低运维成本。

自动扶梯系统

1. 自动扶梯概述

自动扶梯设备是轨道交通车站的重要组成部分，是每天运送大量乘客进出车站及换乘的特种设备，在 GB 16899—2011《自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范》中，对自动扶梯作了明确的定义：自动扶梯是由一台特种结构的链式驱动机通过驱动主轴带动梯级链和扶手带驱动链同时运动，并带有循环运行梯级，用于向上或向下倾斜运输乘客的机电一体化设备。自动扶梯系统的布置模式包括单独上行、单独下行及上下并行运行。自动扶梯具有结构紧凑、安全可靠的优点，并且可以连续不断地承载大量客流，同时自动扶梯具有连续快速疏散大量人流的优越性，其结构如图1所示。

按照主要的传动部件结构进行分类，自动扶梯由电动机、齿轮箱、基础设备、主驱动轴和驱动链

条、扶手带轴、扶手带驱动链和扶手带、梯级涨紧轴和梯级链、滚动轴承及其他部件（如回转臂、导轨等）构成，这几大部件相互配合支撑着扶梯的正常运转。

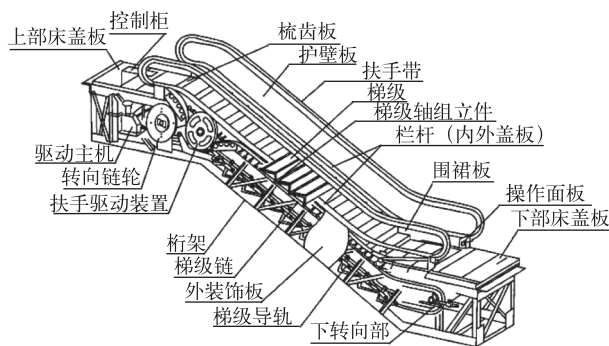


图1 自动扶梯结构示意图

2. 机电设备的维修方式

在开展城市轨道交通机电类设备维修方式的工作中，维修工作也在不断开展，设备不断细化，对于机电类设备维修方式的转变更是历经了不同的发展阶段。城市轨道交通机电类设备维修方式的发展，基于长期发展实践过程，现如今已经大致形成了故障后维修、定期维修、主动维修及预知维修等不同的维修方式。

(1) 故障后维修

故障后维修是对一些生产设备在其发生故障或性能精度降低到不能满足运行要求时再进行维修。这种维修观念是：如果机器出现故障，就着手检修或更换零部件。这样可以达到主要零件的最大寿命，优点是充分利用机器且维修经济性好。缺点是有严重的连锁效应、停止运行带来损失及备件的需求量大。这种维修方式一般适用于故障停机不会造成损失的设备、维修技术简单且备件充足的设备或是利用率低的设备等。

(2) 定期维修（计划性）

定期维修是有意识根据设备的磨损规律，按照预定的维修周期进行维护检查和修理，以保证设备良好状态。这种维修方式可以减少非计划故障，将潜在故障消灭在萌芽状态。缺点是其经济性考虑不够，故障发生的随机性和维修周期的确定性矛盾明显。

(3) 主动维修

主动维修是通过一定的监测手段，捕捉设备在

发生故障前出现的异常，依此在设备发生故障前采取的维修行动。这种维修方式时刻关注设备运行情况，消除不可预测的非计划停机，并消除发生灾难性故障的可能性，尽可能延长设备寿命。优点是根据机器状态进行保养，充分利用元器件，无连锁效应，进行有计划的停产。缺点是状态检测费用提升。

(4) 预知维修

预知维修是在运用各种检测手段的基础上，对设备进行故障诊断分析，查找产生故障的根本原因，采取行动消除故障隐患，进一步了解设备为什么会产生隐患，并针对设备优化设计、制造、安装、维修维护及备件准备的流程制定相关方案。通过这种方式可以延长设备的使用寿命，提高设备可靠性，减少非计划停机和过盈维修成本。但同时也需要一定的资金投入，购置监测仪器，对人员进行培训，使其对于设备管理的思想有观念上的改变。优点是根据机器状态进行保养，无连锁效应，有计划停产，根据故障诊断充分利用元器件。缺点是状态检测费用提升，人员培养耗时较长。

维修方式在不断优化更新，这四种维修方式都存在一定的优缺点，但在实际生产作业中均有着其不可替代性。

自动扶梯存在的问题

目前，地铁自动扶梯系统仍存在问题。

1. 公共安全，事故频发

1) 自动扶梯由于传送组件的整体结构是敞开的，周围环境容易对设备造成伤害，对人体有潜在危险。

2) 传动组件的间隙对人体的夹持。

3) 对人体的施力方向与人承受的重力方向不一致（上行时），容易使人倾倒。

4) 传动链条的断裂（主驱动链、梯级链及扶手链）。

5) 运转设备的突然急停，易对人员造成伤害。

常见的安全事故往往发生在自动扶梯与相邻扶梯或建筑物所构成的夹角位置，或者是出入口处的踏板位置。

近年来，随着国家对安全的高度重视，大多数自动扶梯的安全措施得到了很大的提升，但安全隐

患仍然存在,扶梯安全事故仍时有发生。

2. 数量倍增, 人员不足

随着地铁运营线路的增加,站内自动扶梯的数量也日益增多,现有电梯维修人员无法关注到所有自动扶梯系统的运行情况,导致在维护检修过程中出现漏检、漏修或维修调整不到位的情况,长期以来会对自动扶梯的装置造成影响。

3. 现有BAS对设备的状态无法进行预判

环境与设备监控系统(BAS)与自动扶梯设备采用硬线接口,硬接点信号包括开关量输入信号(DI)和开关量输出信号(DO)。现有BAS在正常工况下,可以监视扶梯相关运行状态信息;火灾模式下,由BAS向扶梯发送“火灾指令”,扶梯执行消防动作后向BAS返信。BAS仅能通过扶梯的反馈信号得知扶梯目前处于何种状态,如上下行状态、停止状态、急停状态、检修状态、紧急故障及一般故障等,但这些反馈信号均无法对扶梯的状态进行预判。

4. 定期维修模式造成资源浪费

地铁自动扶梯系统每年都会对每台扶梯进行扶梯大修的任务,这种定期维修的方式虽属于有计划的停产检修,但在经济方面存在一些损失。

5. 受乘客人数和状态影响较大

如果自动扶梯的维修频率过高,将影响到乘客进出车站的便利性,由于地铁内站厅、站台及出入口步行阶梯数量较多,给老幼及行动不便的人群带来麻烦。

综上所述,基于设备健康运行的理念及地铁运营的需求,对自动扶梯系统实现集群在线故障预警功能,并给出维修建议实现闭环智慧运维,自动给出自动扶梯运行状态信息和故障维修建议并下发派工单,使运维人员有针对性地对自动扶梯进行检修。通过预警和报警实现故障延缓与状态维修,为自动扶梯故障预测与健康(PHM)、技术改进提供数据。不仅提高了运维人员的工作效率,降低了运行维护成本,而且为轴流风机等机电设备的信息化和技术改进提供了支撑。

自动扶梯在线监测、故障诊断技术

随着自动扶梯应用范围越来越广,本身的安全性对于人们的生命财产安全有愈加重要的意义。为了进一步提升自动扶梯的安全性,同时应对快速

发展过程中的新挑战,对自动扶梯进行在线监测与故障诊断正在逐步成为“必选项”。

故障诊断与在线监测系统围绕故障监测、智能诊断及专家决策等功能进行设计。从设备运营管理的角度出发,系统必须满足运营维修管理模式,根据实际运营更新系统,提高运营维修管理水平。系统按照三级监测、两级管理的结构进行设置。

主要对车站主要机电设备的运行状态和故障信息进行采集,将信号进行数字化处理,经故障诊断器进行智能分析,再将分析结果和数据信息上传至机电工区系统。故障诊断系统包含设备传感器、数据采集器、通信接口模块、故障诊断分析器、现场显示屏、网络交换机及电器线缆等。利用智能感知、集群采集的大数据,广义共振与共振解调、信息融合和人工智能技术,实现轴流风机集群在线故障预警和智慧运维。

1. 安全保护装置与在线检测系统的区别

自动扶梯是一种常见的特种设备,通常用于商场、地下通道出入口等处。自动扶梯可以用来解决大客流的垂直通行,但由于其使用率高、客流量大的特点,且其主要危险在于间隙处异物的卷入、失去动力的反向溜梯及关键部件的失效等,因此需要对其采取安全措施,如加装安全保护装置,以防止安全事故的发生,保护乘客的安全。安全保护装置的加装位置如图2所示。

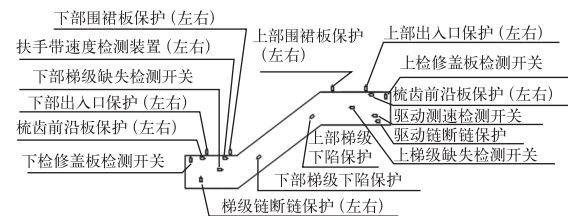


图2 安装开关位置示意图

在线监测系统与现有扶梯的安全保护装置关注的部件及故障不同,在线监测所关注的部件及故障是发展式的,通常对驱动电动机、变速箱、底角基础、主驱轴和链轮、涨紧轴和链轮、扶手轴和链轮、扶手带压紧装置和导向装置、扶手带、电动机电流及其他监测参数。

现有的扶梯安全装置有很多,但均是触发式,其特点是当触发安全保护装置时,安全开关已经动作,故障已经发生,且无法阻止故障发生,只能尽

量减小伤害，现阶段采用的安全防护装置虽一定程度上起到保护作用，但存在较为明显的缺点。基于上述观点，安全保护装置是底线。在线监测系统提示设备异常或报警，说明故障还没发生，能够起到预警的作用。

在线监测系统位于车站内，主要对车站机电设备的运行状态和故障信息进行采集，将信号进行数字化处理，经故障诊断器智能分析，将分析结果和数据信息上传至机电工区级系统。现场级系统按照机电设备类型分为若干个故障诊断子单元，子单元功能相对独立，互不干扰，主要完成对机电设备单一部位故障的诊断分析，在现场显示诊断结果和采集原始数据，现场级网络支持手持或便携终端的接入，方便维修人员现场调用数据操作。现场级系统可独立运作，脱离全线系统后仍能完成对机电设备数据的采集和诊断分析。

2. 在线监测、故障诊断技术

故障诊断与健康维护技术包括在线或远程状态监测与故障诊断、自愈合调控与损伤智能识别及健康维护技术，重大装备的寿命测试和剩余寿命预测技术，可靠性与寿命评估技术。

上述介绍了自动扶梯的八大部件，根据多年的维修经验，对自动扶梯检测可能会出现的主要故障类型，可分为以下几类：电动机转子不平衡；齿轮磨损；基础松动；主轴（大轴、扶手带轴、涨紧轴及磨损裂纹等）故障；链条润滑不良或链松链紧（主驱动轮链、扶手带驱动链及梯级链）；扶手带偏磨打滑等；梯级故障（跑偏、偏磨、撞击回转臂和导轨）；滚动轴承磨损。在收集扶梯部件的参数之后，经过计算，得到了扶梯主要部件的基础频率成分，其频率成分与部件相互关联，相互对应，如：各链条多边形效应频率；各轴承的特征频率；各轴转频（谐波）；各级齿轮的啮合频率；变频器的给定频率；梯级的频率等。

在众多监测技术中，利用频谱分析法对机械零部件或设备进行振动监测，是最基本和最常用的故障诊断方法。第一，在旋转机械类设备的所有故障中，发生振动故障的概率较高；第二，振动信号包含的设备状态的信息量最大，既包含了转子、轴承、联轴器、齿轮、壳体、基础及管线等机械零部件自身运行状态的信息，又包含了转速、流量、压

力、温度、介质组分及润滑油（主要是油温）等工艺及运行参数影响机组运行状态的信息，因为机械零部件或运行参数的非正常变化都会引起振动值增大，振动信息量极其丰富，是其他任何监测所无法比拟的；第三，振动信号易于拾取，便于在不影响机组运行的情况下实行在线监测和诊断。因此，振动分析法是转动设备故障诊断中运用最广泛、最有效的方法，将振动监测传感器装于扶梯内各个相应监测部位，如图3所示。

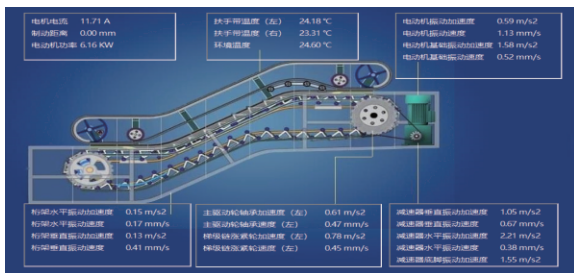


图3 监测部位布置图

3. 应用实例

故障诊断由专业的工程师对各参数的趋势进行监测，如图4所示。若特征值趋势异常，再进一步分析各专业图谱。

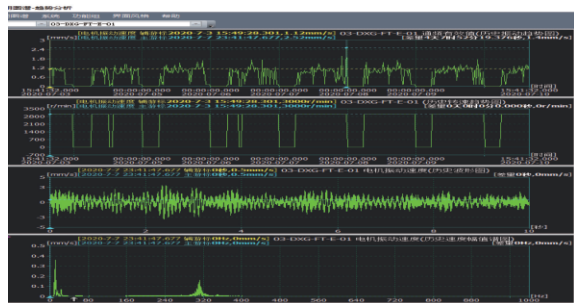


图4 电动机振动速度波形图

在某新线开通的系统调试阶段，通过在线监测系统检查数据，从频谱图中发现振动幅值异常偏大，其电动机振动幅值已达到16 mm/s。而对于自动扶梯的电动机而言，若振动值高于7 mm/s，该电动机振动值处于报警临界值水平；若振动值高于12 mm/s，则该电动机振动值处于危险值水平，如图5所示。

振动幅值高，主要与电动机的转频成分相关，也可能存在平衡类问题、轴系相关部件（制动器、

（下转第107页）

结束语

基于VR技术的无人机电网巡检系统是一种数字化的电网巡检系统。通过二者的技术融合、设备融合及实践应用，为VR技术在无人机电网巡检系统中的应用奠定了坚实的基础。VR技术的应用可以有效提高无人机电网巡检系统的工作效率和安全指数，对于保证巡检工作的高效开展也有着积极的意义。在无人机电网巡检工作开展的过程中，要提高对VR技术的重视程度，并以此为基础，不断提高无人机电网巡检效率。EA

(收稿日期：2023-3-1)

参考文献

- [1] 宋国旺. 基于VR技术的无人机电网巡检应用分析[J]. 电力设备管理, 2020(2): 141-142.
- [2] 张昊洋, 张国春, 秦志勇. 无人机电力自主巡检技术应用与分析[J]. 农村电气化, 2022(7): 51-53.
- [3] 田志平. 无人机电力电缆安全巡检关键技术开发与应用[J]. 机械管理开发, 2022, 37(2): 14-16.

(上接第104页)

联轴器垫圈)基础类问题等。观察频谱图几天后,该扶梯出现异响,现场打开地板,经多方共同确认,发现电动机与平衡盘的整体平衡存在问题。

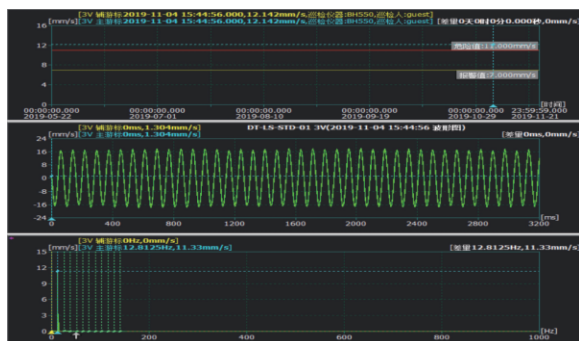


图5 电动机振动波形图

结束语

保障自动扶梯的安全运行,既要从硬件设备方面做好技术保障和实施,提升设备的技术水平,也要从软件方面做好考虑,通过自动扶梯在线监测与故障诊断系统,管理人员可以实时监控自动扶梯的运行状态,及时发现自动扶梯运行中存在的问题,可以对故障进行快速诊断,迅速找出故障原因,缩短故障停梯时间,为自动扶梯安全提供可靠保障。随着自动扶梯在生产生活中的广泛使用,作为自动扶梯快速发展的一个领域,电梯在线监测与故障诊断系统必将在故障预警、设备健康状况评估等方面获得更大的发展,为人们生产生活的安全、健康和

高质量发展提供重要保障。

先进的设备更需要先进的维护和管理,人员和扶梯设备处于运行的大系统中,因此,扶梯的安全防护措施除了需要不断从硬件、软件等方面加以提升和改进外,还需要考虑对于管理人员素质的培训,以此保障整个系统的良好运行。EA

(收稿日期：2023-3-19)

参考文献

- [1] 孟宪颐,高振莉,刘永峰.现代设计方法基础[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 吴占稳,刘佳璐,于凤国.自动扶梯在线监测及故障诊断技术现状综述[J].中国特种设备安全,2022,38(11): 1-7, 13.
- [3] 班希翼,余建勇,宋凯.基于磨损理论的城市轨道交通车辆设备定期维修模式[J].南方农机,2018,49(6): 60-68.
- [4] 蔡信团,王作成,张晓曦,等.浅谈自动扶梯安全措施[J].福建建设科技,2022(5): 143-145.
- [5] 郑侃,刘卫东,周才发,等.城市轨道交通车辆段和停车场轨电位异常情况分析[J].电气应用,2020,39(3): 44-50.
- [6] 戚立峰,瞿业明,李洪兵.带电跨越施工作业安全距离检测方法及应用研究[J].电气应用,2021,40(2): 51-56.