

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2019.05.019

远程监测诊断系统在地铁风机中的应用现状及发展趋势

孟鑫, 张晓伟

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

摘要: 从目前地铁通风空调和排烟系统中轴流风机的振动监测现状出发, 分析目前的振动监测现状存在的不足, 提出建立远程监测诊断系统。新系统充分利用网络, 为地铁轴流式通风机配置振动保护仪表以及状态监测系统, 工作人员可以在线路的控制中心通过在线振动保护和监测系统及时了解整条线路被监测风机当前的运行状况, 通过被监测设备当前的运行状态, 判断被监测设备未来的运行状况, 同时根据大量的数据库数据来推断故障的几率及规定处理的时限。工作人员根据提示信号, 统一安排检查和维修, 避免造成故障扩大化, 从而有效地提高地铁运营安全的可靠性及稳定性。

关键词: 地铁; 振动; 远程监测诊断系统; 轴流风机; 排烟系统

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2019)05-0117-04

Long-Distance Monitoring and Diagnosis System for Subway Fans

MENG Xin, ZHANG Xiaowei

(Beijing Urban Construction Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100037)

Abstract: Studies on monitoring conditions of axial fan vibrations on the subway have shown that the current status of vibration monitoring was clearly insufficient. This paper proposes a long-distance monitoring and diagnosis system. The vibration protection instruments and condition monitoring systems were installed on the subway axial flow ventilators. The systems efficiently use the network. The staff who are in the control center room can appropriately understand the current operating conditions of the monitored fans on the entire line through the online vibration protection and monitoring system. The future development trend of the monitored equipment will be judged by monitoring the current equipment operating state; the probability of failure and time limit for the specified processing can be inferred based on the large amount of database data. The staff will arrange inspection and maintenance to avoid the expansion of a fault according to a prompt signal. This can effectively improve the reliability and stability of the subway operation safety.

Keywords: subway; vibration; long-distance monitoring and diagnosis system; axial fan; smoke exhaust system

20世纪60年代美国提出了故障诊断技术, 之后日本、英国、瑞典、挪威及丹麦相继进行了研究。20世纪70年代末设备故障诊断技术引入国内^[1]。1979—1983年, 一些石化企业购置了国外先进的频谱分析仪

等状态监测仪器, 进入了初步的实践阶段。自1984年起, 石化企业逐步开展了状态监测与故障诊断工作。20世纪90年代起, 火力发电行业开始开展大型汽轮发电机组的在线状态监测与故障诊断工作。进入21世纪以来, 在钢铁、炼铝、水力发电、风力发电及空分等行业故障诊断技术也开始得到重视与应用, 并呈现出上升的趋势^[2-8]。

在地铁的实际工程中, 一般每个地铁车站两端共

收稿日期: 2018-07-04 修回日期: 2018-07-24

第一作者: 孟鑫, 男, 本科, 教授级高级工程师, 从事轨道交通暖通设计工作, mengxin@bjucd.com

基金项目: 国家重点研发计划资助(2018YFC0705000)

设置4台隧道风机(风量为 $60\text{ m}^3/\text{s}$)、2台排热风机(风量为 $40\text{ m}^3/\text{s}$)，区间内根据实际需要设置一些射流风机(风量 $14\text{ m}^3/\text{s}$ ，推力 575 N)。上述3种风机都设置了振动监测系统，对其进行故障诊断。地铁工程大多数为地下密闭空间，通车运营后需要地铁的通风空调和排烟系统为地下空间进行通风换气以及排除烟气^[9]。一般情况下每天运营前30 min和运营结束后30 min，开启隧道风机对隧道进行纵向通风。在空调季节和过渡季节需要每天开启排热风机排除隧道内的热量。当隧道内温度过高时，列车的空调可能失效，尤其在夏季，很可能会引起乘客的慌乱不安，甚至出现一些过激行为，影响地铁的运营安全。

当列车延误或车辆发生故障等特殊原因导致列车阻塞于区间超过4 min时，需要开启隧道风机进行阻塞时的通风，保证列车空调的正常运行，满足乘客的需求。当区间隧道、站台公共区及站台轨行区发生火灾时，需要开启隧道风机、排热风机以及对应区间隧道内的射流风机进行排烟。火灾发生时需要将烟气快速地排除到地面，同时需要补充新风，风机引导的气流方向能够帮助乘客快速跑向安全区域^[9]。基于以上几点可以看出，地铁通风空调和排烟系统中的轴流风机能够有效保障地下内部空气与外界空气的交换，尤其当地铁处于火灾工况时，风机高效地为地下空间进行排烟、补充新风更成为减少事故损失的重要条件。因此为了保证地铁的安全无故障运行，需要对地铁通风空调和排烟系统中的轴流风机进行实时管理并进行高效地维修保养。

故障诊断技术自身的发展过程大致可归纳为3个阶段：①离线的FFT(快速傅氏变换)分析仪阶段。通过磁带记录仪到现场记录振动信号，然后回实验室输入FFT分析仪回放，进行频谱分析，只有功率谱及波形。②离线或在线的计算机辅助监测、诊断阶段。通过计算机完成信息采集、信号分析、数据库管理以及给出诊断结论，有各种图谱，同时出现了专家辅助诊断系统。③网络化监测及诊断阶段。充分利用企业内部局域网络和Internet网络，做到资源共享、节省投资及远程诊断，对设备运行状态的把握更加全面及准确，实现了真正意义上的专家远程诊断。

1 故障诊断技术的发展现状

地铁轴流式通风机功率较大，分布相对分散，工况变化多，连续运行时间长，关系到地铁通风空调和

排烟系统的正常运行和人身、设备的安全。对于这类以驱动大质量部件旋转为核心工作的设备，主轴轴承是最容易损坏的部件，主要表现为轴承长期渐变的老化和损坏，这种发生微小变化的损坏往往都能从振动变化中反映出来。

虽然故障诊断技术已经发展到了相对成熟的阶段，但在地铁通风空调和排烟系统中该技术仍然停留在发展的第2个阶段。为了监测车站及区间隧道轴流风机的运行情况，目前的解决方案是：振动保护仪表被分布式安装在轴流风机上，仪表的输出信号通过总线汇集到在线振动监测系统(典型产品如PCM360系统，信号通过R485总线汇集)。同时作为在线振动监测的补充，配备离线振动分析仪，一旦在线监测系统反映风机系统出现异常状态，需要工作人员到现场采集更为丰富的振动频谱、波形等信息，进行频谱分析，快速诊断风机故障类型，实现预测性的维修。

目前这种方式存在明显的缺点：各个分站点的设备状态单独监测，无法上报和集中处理；无法对整条线路上的风机整体运行情况进行监测；各个分站点都需要配置振动监测领域的专业人员，导致在风机的后期运营维护上消耗大量的成本。

2 远程监测诊断系统的应用

为了更好地监测地铁通风空调和排烟系统的运行状况，需要将地铁通风空调和排烟系统中的故障诊断技术发展到目前系统最直接和有效的改进办法是将目前系统进行网络化改造，为地铁轴流式通风机配置振动保护仪表以及状态监测系统。对于PCM360系统，升级后的方案是：振动保护仪表被分布式安装在轴流风机上，仪表的输出信号通过R485总线汇集到以太网转换器，进而通过地铁线路的以太网汇集到线路控制中心的在线振动监测系统(PCM360)，集中监控，整体诊断，统一处理，这样就解决了原有方案的3个问题。

新方案下，专业人员可以在线路控制中心通过在线振动保护和监测系统及时了解整条线路被监测风机当前的运行状况。当机组振动值达到设定的报警值时，振动保护仪表就会及时报警，并传输到车站设备监控系统(BAS)，工作人员根据提示信号，统一安排检查和维修，避免造成故障扩大化，实现对地铁通风系统的保护作用。

3 地铁风机监测诊断组网的组成和特点

机械故障诊断是以故障机理和技术监测为基础，以信号处理和模式识别为基本理论与方法的技术。一般机械系统的故障诊断系统从物理上划分为机械测量、监视与保护、数据采集、振动状态分析及网络数据传输 5 个部分；从功能上，机械系统的故障诊断系统又可分成状态监测、故障诊断及诊断决策 3 个部分^[1]。

风机振动监测装置包括振动传感器、两芯双屏蔽电缆、双通道振动保护表、工控机及相关通信设备，见表 1。

表 1 风机在线振动监测装置配置
Tab. 1 Configuration of fan on-line vibration monitoring device

名称	数量	单位
振动传感器套件	2	套/1 台风机
双通道振动变送保护表	1	块/1 台风机
状态监测软件	1	套/1 条地铁线路
协议转换器	1	个/1 座地铁车站

风机振动在线状态监测系统网络图如图 1 所示。

1) 每台大型轴流风机安装两个速度型振动传感器，安装在符合相应安全规范和国家标准的位置(由风机厂家确定)，振动传感器通过两芯双屏蔽电缆连接到双通道振动保护表(安装在就地仪表箱中或者风机控制柜中)。

2) 安装简便。安装振动传感器，只需在机壳上做一个直径 25 mm 的平台，开一个 M6 的螺孔将传感器固定在螺孔上，无需对机器内部进行任何操作。

3) 双通道振动保护表具有现场显示、两极报警继电器输出、报警倍增、RS485 接口、原始信号缓冲输出和状态监测功能等。

4) 测振装置给车站环境与设备监控系统(BAS)提供报警继电器输出信号，具备报警延时和报警组态功能，各个车站的 BAS 通过以太网接收风机的振动值。

5) 测振装置的信号由 RS485 转换成以太网的方式通过地铁网络将风机状态监测信息传输给控制中心，每个车站需要提供 1 个独立可见的 IP 地址。控制中心预留一台工控机，工控机安装振动监测在线数据采集分析软件，振动监测系统将风机运行状态上传给 BAS，振动状态监测显示软件嵌入 BAS，实现控制中心 BAS 可以监测全线各车站风机的运行状态，显示风机振动值、报警状态及运行状态各类图表。

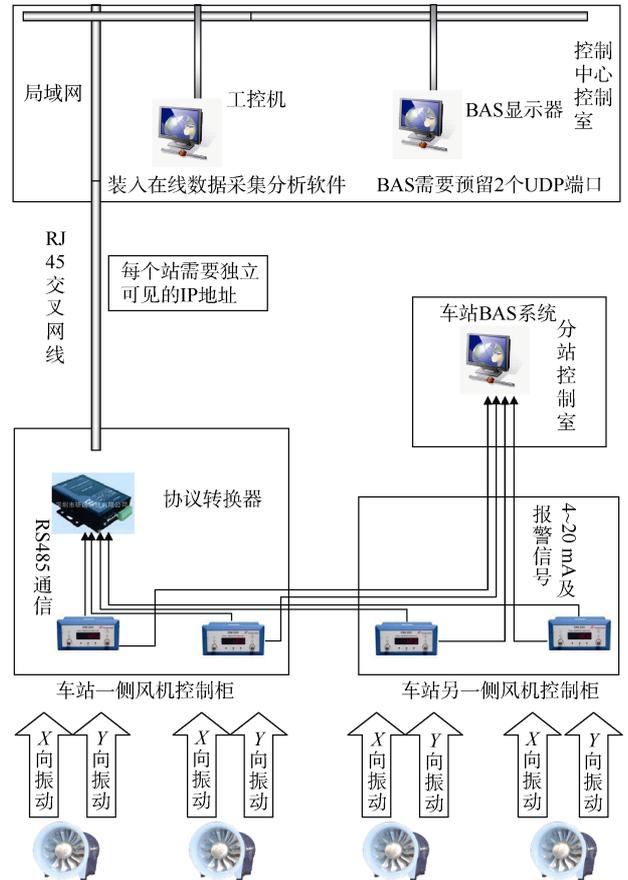


图 1 在线状态监测系统网络

Fig. 1 Network of online status monitoring system

6) 测点选择位置：对振动反应敏感处；信息丰富、振动集中处；适应诊断目的处；适宜安装传感器处；符合安全操作要求处。

7) 与目前已有的地铁车站的风机监控系统模式相比，该系统需要增加一个工作站；在设备系统接口上需要 BAS 专业预留更多的接口。该系统相对稳定，抗干扰能力极强。

4 风机监测诊断系统的故障分析

旋转机械主要故障分布：转子不对中占 60%；转子不平衡占 20%；轴承故障占 17%；其他占 3%。根据以往的频谱特性分析，可以归纳为以下几种：质量不平衡主要表现为 1 倍频振动较大，转速不变时振幅和相位基本不变；叶片断裂主要表现为振动突变；叶片积尘主要表现为振动逐渐变化；不对中主要表现为 2 倍频振动较大，轴向振动较大；喘振主要表现为低频振动较大；松动主要表现为高频振动较大，振动不稳定；滚动轴承故障主要表现为轴承内圈、外圈和保

持架的通过频率等。

风机的机械故障主要表现为轴承的老化和损坏,是一个长期渐变的过程。由于轴承的结构参数是确定的,利用组网采集后的数据可以精确地计算轴承的通过频率,判断故障所在。

通过安装振动保护监测装置可以连续监测振动的有效值并上传到BAS,根据振动监测的相关标准,确定故障的严重程度,并确定报警值,可设定为两级报警,分别为报警和连锁停机。由于同类风机较多,也可采用类比判断标准,如果某风机的振幅大于其他大多数正常设备的1倍以上,可认为出现异常。采用安装振动监测仪表后,也可采用相对判断标准,即以新风机的振幅为基准,如果当前振幅达到2倍以上,可认为出现异常^[10]。

系统会根据大量的数据库数据来推断故障的几率及规定处理的时限。专家可以根据BAS采集的数据进行故障状态分析,得到较为精准的解决方案,真正地实现了远程诊断。

5 结论

故障诊断系统新的组网方案能够实现对地铁通风空调和排烟系统中轴流风机的在线监测,快速诊断风机故障的类型,实现预测性的维修。通过被监测设备当前的运行状态,判断被监测设备未来的发展趋势,同时根据大量的数据库数据来推断故障的几率及规定处理的时限,实现了远程诊断,同时减少了设备系统的运行成本,能够有效地提高地铁运营安全的可靠性及稳定性。

参考文献

- [1] 薛光辉, 吴森. 机电设备故障诊断方法研究现状与发展趋势[J]. 煤炭工程, 2010(5): 103-105.
- [2] 赵永满, 梅卫江. 机械故障诊断技术发展及趋势分析[J]. 机床与液压, 2009, 37(10): 255-256.
ZHAO Yongman, MEI Weijiang. The basic implementation process and development tendency of machine fault diagnosis[J]. Machine tool & hydraulics, 2009, 37(10): 255-256
- [3] 尤丽静. 地铁环控系统轴流风机故障诊断方法研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2010.
YOU Lijing. Research of method on faults diagnosis of

axial fan in the environment control system of metro[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2010.

- [4] 高洪涛, 王敏. 证据理论在旋转机械综合故障诊断中应用[J]. 大连理工大学学报, 2001, 41(4): 459-462.
GAO Hongtao, WANG Min. Application of D-S evidential reasoning to the comprehensive fault diagnosis of rotating machine[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2001, 41(4): 459-462.
- [5] 王琳. 机械设备故障诊断与检测常用方法及其发展趋势[J]. 武汉工业大学学报, 2000, 22(3): 62-64.
WANG Lin. The usual methods of fault diagnosis and monitoring for mechanical equipment and Its' development trend[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2000, 22(3): 62-64.
- [6] 钟秉林, 黄仁. 机械故障诊断学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
ZHONG Binglin, HUANG Ren. Introduction to machine fault diagnosis[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006.
- [7] 赵翔, 李著信. 故障诊断技术的研究现状与发展趋势[J]. 机床与液压, 2002, 30(4): 3-6.
ZHAO Xiang, LI Zhuxin. Present situation and its advance of fault diagnosis technique[J]. Machine tool & hydraulics, 2002, 30(4): 3-6.
- [8] 龚雪, 张克仁. 工程机械故障诊断技术的现状和发展趋势[J]. 建筑机械, 2010(23): 93-95.
GONG Xue, ZHANG Keren. Current research and trend on fault diagnosis of construction machinery[J]. Construction machinery, 2010(23): 93-95.
- [9] 温敏健. 地铁风机故障诊断系统的研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2013.
WEN Minjian. Research on fault diagnosis system of metro fan[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2013.
- [10] 王金福, 李富才. 机械故障诊断技术中的信号处理方法: 时频分析[J]. 噪声与振动控制, 2013, 33(3): 198-202.
WANG Jinfu, LI Fucui. Review of signal processing methods in fault diagnosis for machinery[J]. Noise and vibration control, 2013, 33(3): 198-202.

(编辑: 王艳菊)