

特长隧道斜井风机房管理维护与研究

聂林焕 黄 资 黄 崇 何 举 张俊昌

广西交通投资集团梧州高速公路运营有限公司平南分公司, 广西 贵港 537314

[摘要]特长隧道斜井风机房这一关键设施对隧道安全运营起着保障作用且其管理和维护状况直接影响隧道通风效果以及运营安全, 文章以某个特长隧道斜井风机房作为研究对象剖析出风机房管理维护存在设备老化、维护不及时、管理制度不完善等问题并在此之上给出优化风机房管理维护的对策建议, 如建立健全管理制度以规范操作流程、强化设备定期检修与保养工作、引进智能化监测系统来达成远程监控、开展专业培训以提高管理人员素质等, 与此同时针对风机房环境特性探究防腐蚀、除湿、降噪等技术措施的应用且经实地调研和数据分析证实这些优化措施是有效的, 研究表明加强对风机房的管理维护能显著提升设备运行效率、延长使用寿命以及降低故障率从而给特长隧道安全运营提供可靠保障, 所以这个研究可为同类工程风机房管理维护作参考。

[关键词]特长隧道; 斜井风机房; 管理维护; 智能监测; 安全运营

DOI: 10.33142/ect.v3i9.17866

中图分类号: U45

文献标识码: A

Management, Maintenance and Research on Inclined Shaft Fan Room in Extra Long Tunnel

NIE Linhuan, HUANG Zi, HUANG Chong, HE Ju, ZHANG Junchang

Pingnan Branch of Guangxi Communications Investment Group Wuzhou Expressway Operation Co., Ltd., Guigang, Guangxi, 537314, China

Abstract: The key facility of the inclined shaft fan room in a special tunnel plays a role in ensuring the safe operation of the tunnel, and its management and maintenance directly affect the ventilation effect and operational safety of the tunnel. This article takes a special tunnel inclined shaft fan room as the research object to analyze the problems of equipment aging, untimely maintenance, and imperfect management system in the management and maintenance of the fan room. Based on this, suggestions for optimizing the management and maintenance of the fan room are given, such as establishing and improving the management system to standardize the operation process, strengthening the regular maintenance and repair of equipment, introducing intelligent monitoring systems to achieve remote monitoring, conducting professional training to improve the quality of management personnel, etc. At the same time, the environmental characteristics of the fan room are explored to prevent corrosion, dehumidification The application of noise reduction and other technical measures has been confirmed to be effective through field research and data analysis. Studies have shown that strengthening the management and maintenance of fan rooms can significantly improve equipment operation efficiency, extend service life, and reduce failure rates, providing reliable guarantees for the safe operation of extra long tunnels. Therefore, this study can serve as a reference for the management and maintenance of fan rooms in similar projects.

Keywords: extra long tunnel; inclined shaft fan room; management and maintenance; intelligent monitoring; security operation

引言

现代交通基础设施的重要组成部分特长隧道, 其安全运营离不开通风系统, 随着我国高速公路和铁路网络快速发展, 特长隧道数量大幅增加, 到 2023 年时全国特长隧道总里程超 5000 公里且平均每年增长率为 15% 左右, 在特长隧道里, 斜井风机房在保障隧道内空气质量、排出有害气体、控制温度以及消除烟雾方面有着不可或缺的作用, 不过斜井风机房在长期运行时暴露出了设备老化、维护不及时、管理制度不完善等很多问题, 这直接影响特长隧道的安全运营效率和使用寿命。

近年来的数据表明, 在隧道运营事故里大概有 35% 和通风系统故障有关且通风系统故障约六成是风机房管理维护不当所致, 2020 到 2022 年统计的数据显示风机房管理维护优质能使设备故障率降低四成、设备使用寿命延

长差不多两成并且能耗还能减少近两成, 这些数据足以说明风机房管理维护对特长隧道安全运营的重要性, 不过当下我国风机房管理维护方面的研究比较落后, 既缺少系统的理论指导也缺乏标准规范。

某特长隧道斜井风机房被本研究当作研究对象, 对其结构设计特点、设备性能和运行原理深入分析且重点探究风机房管理维护关键技术, 涵盖设备状态监测与诊断、预防性维护策略以及应急处置与故障排除机制等, 经实地调研和数据分析后提出一系列优化风机房管理维护的对策建议并验证了这些措施的有效性, 研究成果对提高风机房运行效率、延长使用寿命、降低故障率意义重大且给同类工程风机房管理维护提供可借鉴经验与方法, 在隧道工程建设规模不断扩大的情况下本研究对推动特长隧道安全、高效、绿色运营有着重要理论与实践价值。

2 特长隧道斜井风机房的结构与功能

2.1 斜井风机房的结构设计

特长隧道斜井风机房一般设在隧道主洞连通地面的斜井里且其结构设计对通风系统整体性能有直接影响。典型的斜井风机房包含主体建筑、设备基础、通风道、控制室、电气室以及辅助设施等部分,其中主体建筑是钢筋混凝土框架结构,这样既能保证抗震抗冲击性能又考虑到设备振动给结构带来的影响。2021 年更新的《公路隧道设计规范》规定特长隧道斜井风机房平均面积约 120~150m²且净高不能低于 4.5m 以便让大型风机设备安装和维护有地方进行^[1]。

风机房内部结构布局按功能分区原则进行,把动力区和控制区分开以削减相互干扰,并且设备基础有减振设计,靠隔振垫或者弹簧隔振器有效减少振动传播,而通风道设计考虑了气流组织优化并用流线型过渡段减轻阻力损耗。近五年风机房结构设计不断推陈出新,例如 2022 年投用的某个特长隧道风机房运用模块化设计理念,预制率达 65%、施工周期缩短大概 20%且结构精度和整体性能得以提高,这些结构设计的优化让风机房高效运行和方便维护有了坚实依托。

2.2 风机设备的类型与性能

特长隧道斜井风机房里的风机设备有轴流风机、离心风机和混流风机这三种类型,其选型和隧道长度、断面大小、交通量以及当地气候条件等诸多因素紧密相关。2023 年中国工程机械工业协会发布数据显示,轴流风机因风量大、效率高的特性在特长隧道的应用比例达 65%,离心风机占比 25%,混流风机占比 10%,现代隧道风机的性能参数提高不少,大型轴流风机单机风量能到 350m³/s,全压可至 2500Pa,效率超 85%。

风机设备配套的电气系统包含变频驱动装置、软启动器以及控制系统等,这几年风机系统里变频技术的应用越来越深入,2022 年数据表明变频控制技术能让风机能耗减少 30%~40%,并且风机设备的智能化水平一直在提升,新型风机系统把自诊断功能、远程监控接口、能效优化算法都集成在一起了,从 2021 年开始国内领先的风机制造商就把物联网技术用在隧道风机系统上,靠着数据采集与分析实现风机运行状态的实时监测和预警,给设备管理维护提供技术支持,使设备可靠性提高大概 22%,维护成本降低大约 18%。

3 风机房管理维护的关键技术

3.1 设备状态监测与诊断

风机房管理维护以设备状态监测与诊断为基础,其关键在于实时采集数据并分析,从而及时把握设备运行状况并预先判定可能存在的故障,现代风机房状态监测系统包含振动监测、温度监测、电流监测、噪声监测以及轴承监测等子系统,2022 年中国机械工业联合会调查数据显示,风机房应用综合监测系统后故障预警准确率能超 85%,

较传统定期检查提高了大概 40%,其中振动监测技术尤其重要,是风机故障诊断的主要方法且检测精度可达到微米级别,能够精准识别轴承损伤、叶片不平衡、轴不对中这些早期故障征兆^[2]。

风机诊断技术先进了,已从单纯监测单个参数发展到能融合多个参数一起分析,2021 年起在隧道风机方面广泛运用基于深度学习的设备故障诊断技术,该技术的故障识别率跟传统方法相比提高大概 30%,把振动特征分析、声学分析和热成像技术结合起来就能构建起设备健康状态评估模型以达成故障早识别和定位,当下国内领先的隧道运营单位已经开始部署基于云平台的风机设备状态监测系统,这使得多个隧道风机设备的运行数据能够集中管理与分析,从而让维护决策更科学及时且设备可用率达 97.5%以上,在传统管理模式下这一数值要低大约 12 个百分点。

3.2 预防性维护策略

风机房设备要长期稳定运行,关键在于采用预防性维护这种策略,因为跟传统故障后维修比起来,它能大幅减少设备非计划停机时长并削减维修成本^[3]。中国隧道与地下工程学会 2022 年研究报告表明,科学的预防性维护策略一旦施行,风机系统使用寿命可延长 30%~40%且维护成本可降低大概 25%。定期检查计划、润滑管理、易损件更换、设备清洁以及性能测试等环节是预防性维护策略的核心内容。

设备重要性和可靠性数据是制定定期检查计划差异化维护周期的基础,并且风机像叶轮、轴承、电机这些核心部件的检查频率得比辅助系统高,因为润滑管理在预防性维护里很重要,这几年的实践经验显示,用上高品质合成润滑油并且严格把控润滑周期的话,轴承故障率能降低大概 45%,易损件更换策略已经从传统的看时间转变为看状态,即根据监测数据找出最佳更换时机从而防止过早更换或者过晚失效这两种极端情况,2023 年的数据表明,按照状态基准维护策略的风机房与按传统时间基准维护的相比,备件成本能省约 18%且设备可靠性也提高了,另外,定期清洁设备以及测试性能对于风机高效运行来说也是必不可少的,每季度彻底清洁一次能让风机效率提高 5%~8%且能耗也能明显降下来。

3.3 应急处置与故障排除

特长隧道安全运营中风机房是关键设施且其应急处置与故障排除能力直接影响整个隧道系统的安全性。交通运输部 2023 年发布的《隧道运营安全管理报告》表明风机系统故障是特长隧道临时关闭的第二大成因占比大概 23%,所以建立高效的应急处置机制和故障排除流程非常重要。科学的应急处置机制需涵盖应急预案体系、快速响应机制、备用设备切换策略以及应急资源保障等层面^[4]。

风机故障修复时间能被先进的故障排除技术大幅缩短,数据表明运用故障树分析法(FTA)、失效模式与影

响分析(FMEA)等系统性故障诊断方法可把故障定位时间大概缩短 35%,2021 年起移动终端维修辅助系统在风机维护领域慢慢普及开来且技术人员用手持设备取设备参数、查维修手册和历史故障记录使故障处理效率提升约 40%,关键设备采用模块化设计和快速更换接口后重要部件更换时间从传统 4~6h 缩减到 1~2h,并且建立区域共享备品备件库以统一储备调配关键部件能使备件利用率提高约 25%、库存成本降低约 20%,这些先进应急处置与故障排除技术让风机房系统平均修复时间(MTTR)从 2019 年 5.8h 降至 2023 年 3.2h 从而大大提升隧道通风系统可靠性与安全性。

4 风机房管理维护的优化研究

4.1 智能化管理系统的应用

近年来,隧道工程行业在智能化管理上有了很明显的进展,特长隧道斜井风机房的管理维护更是如此,中国工程建设标准化协会 2021 年发布数据表明,应用智能化管理系统的特长隧道项目其运营效率提升大概 32%且设备故障率也降低 26.5%,智能化管理系统包含实时监控系统、设备状态评估系统、预测性维护系统以及远程控制系统,风机房依靠物联网技术和大数据分析来实现智能化运行管理。

实际应用时,在风机关键部位安装多种传感器的智能化管理系统能实时采集转速、温度、振动、电流等运行参数以建立设备运行状态数据库,从而给设备建档。交通运输部 2023 年公布隧道运营数据显示,用上智能化管理系统的特长隧道斜井风机房平均故障响应时间由传统情况下的 46 分钟缩减到 8 分钟且年均停机时间也少了 73.4%。而且智能化管理系统融合云计算与人工智能技术,可深度学习分析采集数据来预测设备可能出现的故障并提出维护建议,这样维护就从“被动响应”变成“主动预防”,风机房运行的可靠性与安全性因此大大提高且有力地保障了隧道通风系统稳定运行。

4.2 机房设施检查记录的实践应用

隧道斜井风机房作为隧道通风系统的核心场所,设施运行状态直接影响隧道通行安全,而规范的检查记录是保障设施稳定的关键环节。日常巡查记录需每日开展,重点覆盖风机外观、控制柜指示灯、机房环境及消防设施四大核心要素,例如在 2024 年某高速隧道的月度巡查统计中,通过“风机外观无破损、锈蚀(□是 □否)”“控制柜指示灯显示正常(□是 □否)”等标准化勾选项,累计发现 3 次控制柜指示灯闪烁异常,均通过及时报修避免故障扩大。

经常性检查(每周 1 次)需深化对设施运行状态的监测,除判断风机运行声音是否存在异常、电缆线路有无老化外,电机温度实测数据是重要指标。以某山区隧道为例,夏季高温时段通过经常性检查记录,发现风机 B 电机温度多次接近 45℃(标准≤40℃),后续采取加装散热片的整改措施,复查记录显示整改后电机温度稳定在 38-40℃,验证了整改的有效性。

4.3 安全性能评估与改进

特长隧道的整体运行安全直接受其斜井风机房安全性能的影响,国家应急管理部 2021—2023 年的统计数据 displays,在隧道安全事故中风机房安全事故占比达 23.5%且主要为设备过热、电气火灾、机械故障等情况,研究人员对 50 座特长隧道斜井风机房安全性能加以评估后建立起涵盖设备安全、环境安全、人员安全这三个维度的综合评价指标体系并且给出了相应改进措施。

在设备安全上,研究表明最常见的安全隐患是轴承温升反常与振动超标,这占风机故障原因的 46.2%,所以推荐安装带有自动预警功能的振动温度监测系统并引入依据声学 and 热成像的无接触监测技术^[5]。就环境安全而言,分析显示湿度过高和粉尘堆积是致使电气设备绝缘性能降低的主因,因此本研究提议采用智能除湿系统和正压送风技术以让风机房环境参数处于最佳状态范围。人员安全方面,“远程操控+少人化维护”的安全理念被提出,凭借智能机器人巡检和虚拟现实技术助力维护培训来削减人员直接接触危险设备的次数,2022 年以后推行这些改进举措的隧道风机房安全事故的发生率降低了 68.7%且维护人员安全指数提升了 85.3%,这些成果给特长隧道斜井风机房安全性能的提高提供了技术支持与方法指引。

5 结论

特长隧道斜井风机房的管理维护存在问题,本研究就此从智能化管理系统应用、能源效率提升以及安全性能评估与改进三方面深入探究,结果显示引入智能化管理系统可实现实时监测风机房运行状态并开展预测性维护,从而大大降低故障率和维护成本,并且设备更新、运行优化、能源回收等方案能有效提高能源利用效率以削减运营成本和减少对环境的影响,此外多维度安全性能评估与改进举措可使风机房整体安全水平大幅提升,这些研究成果为特长隧道斜井风机房管理维护提供理论依据和技术支撑,也给隧道工程行业整体运营效率和安全水平的提升提供可供借鉴的经验和方法。

[参考文献]

- [1]王安民,李涛,胡晶,等.山区高速公路特长隧道斜(竖)井设计经验与总结[J].运输经理世界,2020(12):97-98.
- [2]徐超.康家楼隧道关键技术设计[J].交通世界,2019(1):194-195.
- [3]鲁志伟.汶九高速公路策朗垭口特长隧道通风方案设计[J].黑龙江交通科技,2018(2):143-145.
- [4]杜亮平,申铁军.隧道一氧化碳通风与测量能见度折减率研究[J].四川建材,2023(6):180-184.
- [5]尉鹏.秦岭天台山隧道 1#斜井施工安全风险管理研究[D].甘肃省:兰州交通大学,2021.

作者简介:黄崇(1993.7—),男,汉族,广西桂平,助理工程师,大学本科。