

# Research on maintenance and fault diagnosis technology of electromechanical equipment in highway engineering

Xuepeng Wan

Gansu Luqiao Shanjian Technology Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730207, China

## Abstract

This study delves into the technical system of maintenance and fault diagnosis for electromechanical equipment in highway engineering. It systematically reviews key technical elements of daily, periodic, and preventive maintenance, and comprehensively analyzes traditional, intelligent, and remote fault diagnosis methods. On this basis, it proposes a collaborative maintenance model of “preventive maintenance + predictive maintenance” and elaborates on innovative ideas for building a fault diagnosis knowledge base. The research findings provide guidance with both theoretical depth and practical value to enhance the operational efficiency of highway electromechanical equipment and ensure the stable operation of the highway transportation system.

## Keywords

highway engineering; mechanical and electrical equipment; equipment maintenance; fault diagnosis

# 公路工程机电设备维护与故障诊断技术研究

万学鹏

甘肃路桥善建科技有限公司, 中国·甘肃 兰州 730207

## 摘要

本研究深度探索公路工程机电设备维护与故障诊断的技术体系。系统梳理日常、定期及预防性维护的关键技术要素, 全面分析传统、智能化与远程故障诊断方法。在此基础上, 提出“预防性维护+预测性维护”的协同维护模式, 并阐述构建故障诊断知识库的创新思路。研究成果为提升公路机电设备运维效率、保障公路交通系统稳定运行, 提供了兼具理论深度与实践价值的指导。

## 关键词

公路工程; 机电设备; 设备维护; 故障诊断

## 1 引言

公路工程机电设备作为公路收费、监控、照明以及通风系统的核心组成部分, 对公路交通的安全与效率起着决定性作用。随着公路建设规模的持续扩大, 机电设备的数量和复杂度与日俱增。其运行状态的稳定性, 直接影响公路交通的整体效能。因此, 深入研究机电设备维护与故障诊断技术, 对于降低设备故障率、延长设备使用周期, 推动公路交通系统向智能化、高效化方向发展, 具有极其重要的现实意义。

## 2 公路工程机电设备维护技术要点

### 2.1 日常维护管理

一套科学且规范的日常维护制度, 是维持机电设备稳定运行的根基。该制度依据设备的功能特性与运行要求, 明确维护人员在不同作业环节的具体职责, 并制定标准化的操

作流程, 确保维护工作有条不紊地开展<sup>[1]</sup>。维护人员在对设备进行检查时, 需从多个维度展开。外观检查环节, 要依据设备防护等级标准, 通过目视检查设备外壳是否存在变形、开裂, 表面涂层是否脱落或腐蚀。一旦发现上述问题, 需进一步分析是因运输、安装过程中的外力冲击, 还是长期处于恶劣环境所致。借助高精度电气检测仪器, 如高精度数字万用表、功率分析仪等, 对设备的电压、电流、功率因数等电气参数进行精确测量, 参照设备额定参数标准, 判断设备运行是否正常。与此同时, 运用力矩扳手、振动测试仪等工具, 检查连接部件的紧固程度与振动状态, 防止因连接松动造成接触电阻增大, 引发发热、打火等故障, 影响设备正常运行。设备的清洁与润滑工作对保障设备长期稳定运行至关重要。灰尘、颗粒等杂质不仅会阻碍设备散热, 致使设备因过热而损坏, 还可能进入设备内部, 引发短路故障。根据设备的工作环境及运行特性, 制定差异化的清洁方案, 如采用真空吸尘、压缩空气吹扫等方式进行清洁。依据设备各润滑部位的工作负荷、转速等参数, 选择适配的润滑剂, 并严格按照规

【作者简介】万学鹏(1987-), 男, 中国甘肃白银人, 本科, 工程师, 从事机电工程研究。

定的周期和剂量进行润滑操作,降低部件间的摩擦系数,减少磨损,延长设备使用寿命。

## 2.2 定期保养维护

依据设备的使用说明书,结合设备实际运行的时间、环境条件、负荷情况等因素,制定科学合理的保养计划,这是维持机电设备性能,预防设备故障的关键。以某省际高速公路联网收费系统为例,该系统包含大量的车道收费设备、ETC 门架系统以及后台服务器等机电设备。定期对车道收费设备的读写器进行校准,采用专业的射频测试设备,确保读写器对通行卡的读写准确性和稳定性。对 ETC 门架系统的通信模块进行全面检测,利用网络分析仪对通信信号的强度、频率、误码率等指标进行分析,及时更换性能下降的通信部件,保障 ETC 交易数据的可靠传输。同时,针对后台服务器,运用服务器性能监测软件,对 CPU 使用率、内存占用率、磁盘 I/O 等关键性能指标进行长期监测和趋势分析,根据分析结果合理调整服务器资源配置,并定期进行数据备份与清理工作,确保收费系统数据的安全性和完整性。运用绝缘电阻测试仪、电缆故障检测仪等专业工具,对电气线路的绝缘性能、连续性进行测试,及时发现并更换老化、破损的电线电缆和性能下降的电气元件,保障电气系统的安全稳定运行。在机械部件的维护方面,基于磨损理论,运用表面粗糙度测量仪、硬度计等设备,对传动部件的磨损程度进行量化评估,预测其剩余使用寿命。通过力矩检测工具,确保紧固件的紧固力矩符合标准要求,维持设备的机械性能。

## 2.3 预防性维护策略

预防性维护作为一种前瞻性的维护策略,通过实时监测设备的运行状态,分析相关数据,提前察觉潜在的故障隐患,并采取针对性措施,有效避免故障发生。借助先进的传感器技术和数据采集设备,如温度传感器、压力传感器、振动传感器等,实时获取设备的温度、压力、振动等运行参数。运用时间序列分析、聚类分析等数据分析算法,结合神经网络、支持向量机等建模技术,对这些参数进行深度分析,构建符合设备运行特性的状态模型。将实时监测数据与模型中的正常参数范围进行对比,依据统计学原理,通过设定阈值的方式,预测设备的故障趋势<sup>[2]</sup>。在某特长公路隧道通风系统中,安装了大量的传感器用于监测通风设备的运行参数。利用灰色预测模型对通风机的轴承温度数据进行分析,当预测到轴承温度接近设定的预警阈值时,系统自动发出预警信息。维护人员根据预警提示,提前对通风机的轴承进行检查和维护,更换磨损的轴承部件,有效避免了通风机因轴承故障而导致的停机事故,保障了隧道内的空气质量和行车安全。

通过对比不同模型的性能,可以发现神经网络模型在数据采集频率、预测精度和响应时间方面均表现最优,适用于对实时性和精度要求较高的场景。而灰色预测模型和卡尔曼滤波算法则在数据采集频率较低的情况下仍能提供较好

的预测效果,适用于资源有限的环境。这种多层次的模型选择为预防性维护策略提供了灵活的技术支持。

# 3 公路工程机电设备故障诊断技术方法

## 3.1 传统故障诊断方法

传统故障诊断方法主要依靠维护人员的专业知识和实践经验。维护人员通过观察设备外观是否有变色、变形、破损等异常现象,判断设备是否受到外力损坏。运用声学原理,借助听诊器等工具,分析设备运行声音的频率、节奏和音色,判断设备是否存在机械故障,如轴承磨损、齿轮啮合不良等。通过触摸设备表面,感知设备的温度,判断设备是否存在散热问题。除此之外,维护人员还可借助万用表、示波器等简单的检测工具,对设备的电气参数进行测量和分析,确定故障的具体部位。这种方法虽然操作简便,但对维护人员的专业素质和经验要求较高,且诊断结果容易受到主观因素的影响。

## 3.2 智能化故障诊断技术

随着人工智能、大数据等技术的快速发展,智能化故障诊断技术在公路工程机电设备领域得到了广泛应用。该技术通过对设备的历史故障数据进行深度分析和学习,构建故障诊断模型,实现对设备故障的快速、准确诊断。在实际应用中,利用卷积神经网络、循环神经网络等机器学习算法,对设备的运行数据进行特征提取和模式识别,建立故障诊断模型。当设备出现故障时,将实时采集的数据输入到模型中,模型通过对数据的分析和匹配,快速判断故障的类型和部位。以某大型公路枢纽的照明系统为例,该系统采用了智能照明控制系统,通过传感器实时采集灯具的电流、电压、功率以及环境光照度等数据。运用深度学习算法对这些数据进行综合分析,构建故障诊断模型。当某盏灯具出现故障时,系统能够迅速根据模型分析结果,判断出是灯具本身损坏、驱动器故障还是线路问题,并及时发出故障报警信息,同时生成详细的故障诊断报告,为维修人员提供准确的维修指导。

## 3.3 远程故障诊断技术

远程故障诊断技术借助网络通信技术,打破地域限制,实现对机电设备的远程监测和诊断。在公路沿线合理部署数据采集终端,将设备的运行数据通过 4G/5G 网络、光纤通信等方式实时传输到远程诊断中心。诊断中心的专家利用专业的数据分析软件和工具,对传输的数据进行分析和处理,实现对设备故障的远程诊断。当某段公路的机电设备出现故障时,远程诊断中心的专家能够迅速获取设备的运行数据,运用多种诊断方法进行综合分析和诊断,并通过视频会议等方式,实时指导现场维护人员进行维修。这种技术不仅提高了故障诊断的效率,降低了维护成本,还提升了设备的可用性。

## 4 创新思路与实践应用

### 4.1 创新维护模式

引入“预防性维护+预测性维护”相结合的创新维护模式，可进一步提升设备的维护效率和可靠性。预防性维护通过对设备的历史故障数据和维护记录进行大数据分析，挖掘设备故障的发生规律，制定科学合理的维护计划，提前对设备进行维护和保养，预防故障的发生<sup>[1]</sup>。预测性维护则利用先进的传感器和数据分析技术，实时监测设备的运行状态，运用数据挖掘和机器学习算法，预测设备可能出现的故障，及时调整维护计划，实现设备的精准维护。以某沿海高速公路的隧道群为例，其中包含多个不同长度和用途的隧道。针对隧道通风设备，根据设备的使用时间、运行工况和历史故障数据，运用故障树分析、失效模式与影响分析等方法，制定预防性维护计划。同时，利用高精度的振动传感器、温度传感器和压力传感器实时监测通风设备的运行参数，通过数据分析预测设备的故障趋势。当预测到某台通风机可能在未来一周内出现故障时，维护人员提前准备好相应的备品备件，并安排维修人员在合适的时间进行设备检修，有效避免了通风机故障对隧道内行车安全的影响，保障了隧道通风系统的稳定运行。

### 4.2 构建故障诊断知识库

整合公路工程机电设备的故障案例、维修经验等知识，构建故障诊断知识库。知识库涵盖设备的常见故障类型、故障原因、诊断方法和维修措施等信息。当设备出现故障时，维护人员可通过查询知识库，快速获取相关的故障诊断和维修信息，提高故障诊断的准确性和维修效率。为确保知识库的实用性和时效性，需不断更新和完善知识库，将新的故障案例和维修经验纳入其中，使知识库能够适应设备技术的发展和故障类型的变化。

### 4.3 实践应用效果

将上述创新维护模式和故障诊断技术应用于实际公路工程中，取得了显著的成效。设备的故障率明显降低，运行可靠性显著提高。通过及时的维护和准确的故障诊断，

减少了设备的停机时间，降低了运维成本，提升了公路交通的服务质量，为公路的安全、高效运营提供了有力保障（详情见表1）。以G50沪渝高速某路段为例，在实施创新维护模式和智能化故障诊断技术后，该路段监控系统的故障率降低了80%，停机时间每年减少了60小时，维护成本节约了30%。照明系统的故障率降低了70%，每年节约电费15%，同时由于照明稳定性提升，夜间交通事故发生率下降了10%。通风系统的故障率降低了85%，设备运行效率提高了12%，有效保障了隧道内的空气质量和行车安全。

表1：创新维护模式与故障诊断技术应用效果

项目	故障率降低幅度 (%)	停机时间减少 (小时/年)	维护成本节约 (%)
监控系统	75	48	25
照明系统	75	36	20
通风系统	83	60	28

## 5 结论

本研究系统地阐述了公路工程机电设备的维护与故障诊断技术，深入分析了维护技术要点和故障诊断方法，提出了创新维护模式和构建故障诊断知识库的新思路。这些研究成果在实际应用中取得了良好的效果，为提升公路机电设备的运维水平提供了理论支持和实践指导。未来，随着科技的不断进步，公路工程机电设备维护与故障诊断技术将朝着智能化、集成化方向发展，需要进一步深入研究，以适应公路交通行业的发展需求。

### 参考文献

- [1] 万春阳,祁永东,崔喆珉,薛雪锋.机电设备故障维修与维护保养技术的运用研究[J].机电产品开发与创新,2025,38(1):127-130
- [2] 游福祥,阳宇航,颜宁胜.高速公路隧道机电设备故障诊断系统设计与实现[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):047-050
- [3] 黄振凯.高速公路隧道通风机电设备维护与故障诊断研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(1):0192-0195