

# 高速公路隧道机电维护模式探讨

杨宇轩

河北高速公路集团有限公司荣乌分公司 河北 保定 071000

**摘 要：**本文探讨高速公路隧道机电维护模式。阐述机电系统正常运行对交通安全、环境质量、应急处置的重要性，分析定期维护、故障维修模式优缺点及现存问题，探索状态监测维护等新兴模式。提出优化策略，涵盖技术层面（引入先进检测技术、建设智能化系统）、管理层面（明确职责、制定科学计划、建立档案）、协同机制、成本控制及应急维护等方面，旨在提升维护效率与质量，保障隧道安全运营。

**关键词：**高速公路隧道；机电维护模式；优化策略；维护效率

## 引言

高速公路隧道机电系统涵盖通风、照明、监控、消防等，其稳定运行关乎交通安全与效率。然而，传统机电维护模式在应对复杂隧道环境时暴露诸多问题，难以满足实际需求。随着技术发展，探索更高效、精准的维护模式成为行业迫切需求。在此背景下，深入研究高速公路隧道机电维护模式，提出优化策略，对提升隧道运营管理水平、保障公众出行安全具有重要意义。

### 1 高速公路隧道机电维护的重要性

高速公路隧道机电系统正常运行对保障交通安全、提升环境质量、增强应急处置能力意义重大。通风系统持续运转，能及时排出车辆尾气中的一氧化碳、氮氧化物等有害气体，驱散因车辆燃油不完全燃烧产生的烟雾，避免司乘人员因有害气体浓度过高而出现头晕、恶心甚至窒息等状况，同时良好的空气流通也有助于提升司乘人员在隧道内的视觉清晰度和驾驶舒适度。照明系统根据不同时段和天气状况，提供适宜的亮度，无论是白昼还是黑夜，晴天还是雨雾天，都能让驾驶员清晰观察路面状况、识别交通标志，有效避免因视线不佳引发的碰撞、追尾等事故。监控系统如同隧道的“眼睛”，24小时不间断地对隧道内交通流量、车辆行驶状态进行监测，一旦发现车辆故障、交通事故等异常情况，能够第一时间通知相关部门，及时采取疏导、救援等措施，最大限度减少拥堵和事故影响范围。消防系统更是守护隧道安全的最后一道防线，当火灾发生时，消防设施迅速启动，喷水灭火系统控制火势蔓延，疏散指示标志引导人员安全撤离，消防报警装置及时传递火情信息，为救援争取宝贵时间。一旦机电系统出现故障，隧道内交通秩序将陷入混乱，安全隐患急剧增加，不仅会导致交通堵塞，延误司乘人员行程，严重时还可能引发重大交通事故，造成人员伤亡和巨大的经济损失，同时也会对

社会稳定和公众出行信心产生负面影响，因此，做好高速公路隧道机电维护工作至关重要<sup>[1]</sup>。

## 2 常见高速公路隧道机电维护模式分析

### 2.1 定期维护模式

（1）定期维护模式通过设定固定周期对机电设备进行系统性检修，在长期实践中形成了标准化流程。某省际高速公路隧道群采用季度巡检制度，每三个月对通风系统的风机轴承加注润滑油、清理叶片积尘，每半年检查照明系统的线路绝缘性和灯具光衰情况。这种预防性维护确实能有效降低常规故障发生率，如风机因积尘导致的异常振动、灯具因线路老化引发的短路问题，在定期检查中得以提前解决。（2）但该模式的弊端也日益凸显。由于统一的时间周期无法匹配不同设备的实际工况，导致资源错配。例如，车流量低的隧道，通风设备实际运转时间远低于设计负荷，却仍需按周期进行全面拆解维护，造成人力和备件浪费。更棘手的是突发性故障，如暴雨导致的山体渗水引发监控设备短路，或是雷击造成的供电系统损毁，这类非周期性问题往往超出定期维护的预防范畴。

### 2.2 故障维修模式

故障维修模式采取“设备坏了再修”的被动策略，在处理具体故障时展现出明确的针对性。例如，某隧道冬季时，水消防箱内过滤器、三通、羊角、蝶阀等易因低温冻裂。以往采用故障维修模式，待设备冻裂损坏引发漏水、消防功能失效等问题后再行更换维修。这种模式虽减少了预防性维护开支，尤其适用于使用寿命长、故障概率低的设备，但代价极为高昂。如冻裂后需紧急抢修，不仅耗费大量人力、物力，还严重影响隧道消防安全。若采用预防性维修养护模式，在冬季来临前提前打开电伴热，并重点对洞口设备增加预防性保温养护，同时结合状态监测，实时掌握设备运行状况，可有效避

避免因故障导致的高额维修成本，保障隧道机电系统稳定运行。

### 2.3 两种模式存在的问题

(1) 传统模式的固有缺陷在复杂的隧道环境中愈发明显。定期维护的“一刀切”策略，与机电设备个性化的运行需求形成尖锐矛盾，造成维护资源的低效利用。故障维修则完全依赖设备故障后的响应，在故障发生到修复的时间窗口内，隧道始终处于高风险运行状态。

(2) 更深层次的问题还包括管理体系的不完善。部分维护团队存在“重维修、轻记录”现象，设备历史故障数据缺失，导致同类问题反复出现。而维护人员技术水平参差不齐，面对智能化程度日益提高的新设备，常出现维修不及时、处置不当的情况。缺乏量化的维护效果评估机制，也使得维护工作难以持续优化<sup>[2]</sup>。

### 2.4 新兴维护模式的探索

随着物联网、大数据技术的成熟，状态监测维护模式逐渐成为行业新方向。某沿海高速公路隧道在通风设备上加装振动传感器和温度传感器，实时采集设备运行数据。当系统通过数据分析发现风机轴承温度持续上升、振动频率异常时，自动生成维护工单，并预测故障发生概率。值得一提的是，为保障数据安全与设备控制的高效性，该隧道机电设备接入集团内网，集团综合管理平台通过内网对设备进行集中管控，确保指令传输的稳定与安全。这种模式实现了从“时间驱动”到“状态驱动”的转变，将维护计划与设备实际健康状况精准匹配。实际应用中，该模式使设备故障率降低40%，维护成本减少25%。更重要的是，通过提前干预，避免了因设备故障导致的交通中断和安全事故，为行业发展提供新的解决思路。

## 3 高速公路隧道机电维护模式的优化策略

### 3.1 技术层面优化

(1) 先进检测技术的引入是提升维护精准度的关键。以红外热成像技术为例，其通过捕捉设备表面的热辐射差异，将温度分布转化为可视化图像。在隧道照明系统维护中，工作人员可利用红外热成像仪扫描线路接头与灯具，快速定位因接触不良、过载导致的异常发热点。某隧道在一次检测中，通过红外热成像发现照明配电箱内部一处接线端子温度高达85℃，远超正常工作温度，及时处理后避免了因线路过热引发的火灾事故。振动监测技术则适用于风机、水泵等旋转设备的维护。通过在设备轴承座、电机外壳等部位安装振动传感器，实时采集振动数据并分析频率、幅值等参数。若发现振动频率出现异常峰值，可判断设备存在不平衡、轴承磨

损等问题，如某隧道通风风机因叶片积灰导致动平衡失调，振动监测系统提前发出预警，使维护人员在故障扩大前完成清理与校准工作。(2) 智能化维护系统的建设是未来发展方向。基于物联网技术，在机电设备关键部位部署传感器，实现数据实时采集与传输。例如，在隧道通风系统中，温湿度传感器监测隧道内空气质量，压力传感器检测风机风压，这些数据通过无线网络汇聚到数据中心。结合大数据分析技术，建立设备运行状态模型，对设备健康状况进行评估与预测。人工智能算法可对海量数据进行深度挖掘，识别设备故障特征，提前预判故障发生概率。某智能化维护平台通过分析历史数据发现，当监控摄像头的图像清晰度下降、传输延迟增加时，70%的概率是由于镜头积灰或网络模块老化导致，据此平台可自动生成维护任务，通知维护人员进行针对性处理，使故障处理效率提升近一倍。

### 3.2 管理层面优化

(1) 需明确各岗位人员职责，例如设备管理员负责日常巡检与数据记录，技术主管审核维护方案并提供技术支持，质量监督员对维护工作进行验收检查。规范工作流程，从故障报修、任务分配、现场维护到验收归档，每个环节都制定详细标准。如某隧道运营单位制定的维护流程规定，故障报修后需在30分钟内响应，普通故障4小时内处理完毕，重大故障24小时内制定解决方案。(2) 科学的维护计划要依据设备实际运行状况动态调整。利用状态监测数据，对设备进行分类管理。对于关键设备如主通风风机、消防水泵，采用状态监测与定期维护相结合的方式，根据设备健康指数灵活调整维护周期；对于次要设备如隧道内的诱导灯，可适当延长维护间隔。定期组织维护人员培训，培训内容涵盖新技术应用、设备操作规范、故障诊断技巧等。邀请设备供应商技术专家进行现场指导，分享行业前沿知识与实践经验。同时建立考核机制，将培训成果与绩效挂钩，激励维护人员提升专业技能。(3) 维护档案管理系统的建立不可或缺。详细记录设备安装调试、维护维修、故障处理等全过程信息，包括维护时间、维护内容、更换备件型号等。这些数据不仅可用于追溯设备历史状况，还能通过数据分析总结设备故障规律<sup>[3]</sup>。

### 3.3 协同机制优化

(1) 运营管理部门、维护单位、设备供应商之间的协同合作是提高维护效率的重要保障。运营管理部门作为设备运行的直接监管方，需及时收集并反馈设备运行异常信息。例如，当监控员在日常工作中发现隧道内照明亮度不足时，可通过专用通讯系统上报给运营调度中

心；若为机电维护人员发现问题，则需上报至机电管理中心。收到上报信息后，运营调度中心或机电管理中心将对问题进行核实，在同意维修后，将问题反馈给维护单位进行处理。维护单位根据反馈信息与设备状态监测数据，制定维护方案。在处理复杂故障时，邀请设备供应商技术人员参与会诊，共同确定维修方案。如某隧道消防报警系统频繁误报，维护单位联合供应商技术人员对系统进行全面检测，最终发现是由于环境湿度较大导致传感器灵敏度下降，通过调整传感器参数解决了问题。（2）设备供应商应提供及时的技术支持与备件供应。建立备件应急储备库，在关键区域设立备件分仓，确保紧急情况下能快速调配备件。与维护单位建立定期沟通机制，及时推送设备升级信息与维护要点。例如，某通风设备供应商每季度组织技术交流会，分享设备运行优化经验，并针对用户反馈对设备进行改进，提升设备稳定性与可靠性。通过建立信息共享平台，三方实时共享设备运行状态、维护计划、备件库存等信息，实现资源整合与高效协同。

### 3.4 成本控制优化

（1）成本控制需在保证维护质量的前提下进行。合理选择维护方式，对于故障率低、可靠性高的设备，可适当延长维护周期；对于关键且易损设备，采用预防性维护与状态监测相结合的方式，避免因故障导致的高额维修成本。例如，隧道内的交通标志灯使用寿命长、故障概率低，可将维护周期从每季度一次调整为每半年一次；而主通风机则需实时监测运行状态，及时处理潜在问题。（2）通过集中采购与建立长期合作关系降低备件成本。多个隧道运营单位联合成立采购联盟，统一采购常用备件，利用规模优势获取价格优惠。与优质供应商签订长期合作协议，约定备件价格与供应周期，确保备件质量稳定且价格合理。引入成本效益分析方法，对每项维护工作的投入与产出进行评估。例如，在考虑是否对某老旧监控系统进行升级时，分析升级所需成本与升级后故障减少、维护成本降低带来的效益，若效益大于成本则实施升级，反之则采取其他维护措施，确保维护成本的投入获得最大收益<sup>[4]</sup>。

### 3.5 应急维护优化

（1）完善的应急维护预案是应对突发故障的关键。预案需明确应急处置流程，包括故障报警、应急响应、现场处置、恢复运行等环节。确定各部门职责，如保通畅分中心负责信息发布，配合交警路政开展交通疏导，维护单位负责故障抢修，医疗部门负责人员救治。定期对应急预案进行演练，模拟火灾、停电、设备突发故障等场景，检验预案的可行性与各部门协同能力。某隧道每年组织两次应急演练，在一次模拟通风设备故障演练中，发现应急通风启动流程存在延迟问题，随后对预案进行修订，优化了操作步骤，缩短了响应时间。

（2）配备必要的应急维护设备和物资，建立应急物资储备库。储备库中存放发电机、应急照明设备、消防器材、常用备件等物资，并定期检查物资状态，确保随时可用。组建专业的应急维护队伍，成员需具备丰富的设备维修经验与应急处置能力，实行24小时值班制度。例如，某隧道应急维护队伍在一次夜间突发停电事故中，30分钟内到达现场，利用备用发电机恢复关键设备供电，保障了隧道内车辆安全通行，最大限度减少了故障对隧道运营的影响。

### 结语

高速公路隧道机电维护工作复杂且关键，优化维护模式势在必行。通过技术、管理、协同、成本及应急等多维度优化策略的实施，可有效提升维护效率与质量，降低故障发生率与维护成本，增强隧道应对突发故障的能力。未来，应持续关注新技术发展，不断完善维护模式，为高速公路隧道的安全、高效运营提供坚实保障，推动行业持续健康发展。

### 参考文献

- [1]陈德实.高速公路隧道机电系统养护创新管理与技术应用[J].中国交通信息化,2020(04):132-133.
- [2]周翔,李文潇.高速公路智能机电设备维护与管理思路分析[J].运输经理世界,2022,(14):155-157.
- [3]周广斌,胡磊.隧道通风设备维护管理的探讨[J].工程建设与设计,2020,40(02):123-125.
- [4]秦鹏.山区高速公路机电设备维护与管理措施探究[J].中国交通信息化,2022,(S1):159+169.