

# 机电工程精准检测技术及应用实践

杨 存

交科院检测技术(北京)有限公司 北京 100000

**摘要:** 本文聚焦机电工程精准检测技术,深入剖析其技术体系构成、关键技术突破及应用实践领域。通过阐述无损检测、在线监测与故障诊断、传感器与数据分析等核心技术,结合高速公路智能化的典型应用案例,揭示精准检测技术在保障设备安全、提升生产效率方面的重要作用。同时,针对数据安全、检测可靠性等挑战提出应对策略,并展望其智能化、网络化、个性化发展趋势,为机电工程领域的技术创新与产业升级提供理论支撑与实践参考。

**关键词:** 机电工程;精准检测技术;无损检测;在线监测;传感器技术

## 1 引言

在现代化工业生产体系中,机电工程作为核心支柱,其设备运行的稳定性与安全性直接关乎生产效率与产品质量。随着工业4.0时代的到来,传统检测技术因存在精度不足、时效性差等问题,已难以满足现代工业对设备全生命周期健康管理的需求。精准检测技术作为机电工程领域的关键支撑技术,通过融合传感器、计算机、图像处理等多学科技术,实现了对设备状态的实时感知、智能诊断与精准预测,为工业生产的高效运行提供了坚实保障。

## 2 机电工程精准检测技术体系

### 2.1 技术构成要素

机电工程精准检测技术体系由传感器、测量电路、数据处理与分析系统三大核心模块构成。传感器作为感知层,负责将温度、振动、压力等物理量转化为电信号;测量电路对传感器输出的微弱信号进行放大、滤波与转换,使其满足后续处理要求;数据处理与分析系统则基于计算机科学与统计理论,通过机器学习算法对海量数据进行挖掘与分析,实现故障的精准定位与趋势预测。各模块间通过标准化接口实现无缝协同,构建起完整的检测技术闭环。

### 2.2 机电工程精准检测关键技术突破

#### 2.2.1 无损检测技术

无损检测技术作为一种非破坏性的检测手段,在机电工程中发挥着不可替代的作用。它借助涡流、超声波、X射线等多种先进方法,能够在不损伤材料原有性能的基础上,精准地探测设备内部的潜在缺陷。涡流检测技术利用电磁感应原理,通过检测被检材料中涡流的变化来发现表面和近表面的缺陷,具有检测速度快、灵敏度高的特点,尤其适用于导电材料的检测<sup>[1]</sup>。超声波检测则基于超声波在材料中的传播特性,能够准确地检测

出材料内部的裂纹、气孔等缺陷,对缺陷的定位和定量分析具有较高的精度。X射线检测则凭借其强大的穿透能力,可以直观地显示材料内部的缺陷形态和位置,对于复杂结构的检测具有独特优势。这些无损检测技术的综合应用,使得机电设备在生产、安装和运行过程中的质量把控更加严格,有效避免了因内部缺陷引发的安全事故,延长了设备的使用寿命。

#### 2.2.2 在线监测与故障诊断技术

在线监测与故障诊断技术为机电设备的实时状态监控和故障预警提供了有力支持。通过在关键设备节点部署振动、温度、压力等多种类型的传感器,能够实时采集设备运行过程中的各项关键数据。这些传感器如同设备的“神经末梢”,时刻感知着设备的运行状态。采集到的数据随后被传输至智能分析系统,基于先进的模式识别算法,系统能够对故障特征进行精准提取与分类。通过与预设的正常状态模型进行对比分析,系统可以及时发现设备的异常情况,并准确判断故障的类型和位置。一旦发现潜在故障,系统能够迅速发出预警信号,为维修人员争取宝贵的处理时间,避免故障的进一步扩大,从而实现设备的预防性维护,降低维修成本,提高设备的可靠性和可用性。

#### 2.2.3 传感器与数据分析技术

随着MEMS传感器技术的重大突破,新型传感器在机电工程中的应用迎来了新的发展机遇。这些新型传感器在灵敏度、功耗、抗干扰能力等方面实现了显著提升。更高的灵敏度意味着能够捕捉到更微弱的信号变化,从而更精准地感知设备的运行状态;更低的功耗则延长了传感器的使用寿命,减少了更换和维护的频率;更强的抗干扰能力确保了传感器在复杂电磁环境下的稳定运行,提高了数据采集的准确性<sup>[2]</sup>。与此同时,数据分析技术也在不断发展。借助大数据、人工智能等先进技

术,能够对传感器采集到的海量数据进行深度挖掘和分析,从中提取有价值的信息,为设备的优化运行和智能决策提供有力依据。这些关键技术的突破共同推动了机电工程精准检测技术的发展,为行业的智能化升级奠定了坚实基础。

### 3 机电工程精准检测技术的应用实践

#### 3.1 高速公路收费系统精准检测

##### 3.1.1 收费车道设备故障诊断

高速公路收费车道设备,如收费亭内的计算机、票据打印机、车道控制器以及外部的栏杆机、车辆检测器等,在长期运行过程中可能出现故障,影响收费效率。采用振动传感器、电流传感器、温度传感器等对收费车道设备的运行状态进行实时监测。例如,通过在栏杆机电机上安装振动传感器,结合基于机器学习的故障诊断模型,可实时分析电机的振动数据,精准诊断出电机轴承磨损、齿轮故障等常见问题。当传感器检测到振动异常时,系统能及时发出警报,提示维修人员提前准备维修配件,快速到达现场进行维修,减少车道因设备故障导致的拥堵时间。

##### 3.1.2 ETC系统信号检测与优化

电子不停车收费(ETC)系统在高速公路应用广泛,其信号传输的稳定性至关重要。采用频谱分析仪、信号强度测试仪等设备对ETC车道的天线信号、OBU(车载单元)与RSU(路侧单元)之间的通信信号进行实时检测。例如,在某高速公路收费站,通过频谱分析仪对ETC车道的天线信号进行频谱扫描,发现信号在特定频段存在干扰。经过分析,确定是周边无线通信设备发出的干扰信号,技术人员及时调整了ETC天线的发射频率,并增加了信号滤波装置,有效提高了ETC系统的信号稳定性和交易成功率,减少了因信号问题导致的ETC交易失败情况。

#### 3.2 高速公路监控系统精准检测

##### 3.2.1 摄像机图像质量检测

高速公路监控系统中的摄像机是获取道路信息的重要设备,其图像质量直接影响监控效果。采用图像质量评估算法、亮度传感器、色彩分析仪等对摄像机的图像质量进行实时检测。例如,在某高速公路的监控中心,通过图像质量评估算法对沿线摄像机的图像进行自动分析,检测图像的清晰度、对比度、噪声水平等参数。当发现某一路段摄像机的图像出现模糊、色彩失真等问题时,系统能自动定位故障摄像机,并通知维修人员。维修人员通过检查摄像机的镜头清洁度、焦距调整、电源供应等情况,及时恢复摄像机的正常工作,确保监控系统能够提供清晰、准确的道路图像。

##### 3.2.2 视频传输网络故障检测

高速公路监控系统的视频传输网络需要保证数据的高效、稳定传输。采用网络性能测试仪、误码率测试仪等设备对视频传输网络进行实时监测。例如,在某高速公路监控网络中,通过网络性能测试仪对网络带宽、延迟、丢包率等参数进行定期检测。当检测到某一路段监控视频出现卡顿、花屏等现象时,技术人员利用误码率测试仪对传输线路进行检测,发现是某段光纤连接处存在松动,导致信号传输误码率升高。经过重新熔接光纤、加固连接处等操作,恢复了视频传输网络的正常性能,保障了监控视频的实时性和完整性。

#### 3.3 高速公路通信系统精准检测

##### 3.3.1 光缆传输性能检测

高速公路通信系统中的光缆是信息传输的主要载体,其传输性能直接影响通信质量。采用光时域反射仪(OTDR)、光功率计等设备对光缆进行定期检测。例如,在某高速公路通信光缆维护中,通过OTDR对光缆进行衰减测试和故障定位。当检测到某段光缆的衰减超过正常范围时,OTDR能精确显示故障点的位置,维修人员根据定位信息快速到达现场,发现是光缆被施工车辆意外挖断。经过及时的光缆熔接和修复,恢复了通信系统的正常传输,避免了因通信中断导致的收费、监控等系统故障。

##### 3.3.2 通信设备运行状态监测

高速公路通信系统中的路由器、交换机、光端机等设备需要稳定运行,以保证通信的可靠性。采用网络管理软件、温度传感器、风扇转速传感器等对通信设备的运行状态进行实时监测。例如,在某高速公路通信机房,通过网络管理软件对路由器的端口状态、流量负载、CPU利用率等参数进行实时监控。当发现某台路由器的CPU利用率持续过高时,技术人员进一步检查发现是网络中存在异常流量。通过调整路由器的配置策略、优化网络拓扑结构,降低了路由器的负载,恢复了通信设备的正常运行,保障了高速公路通信系统的稳定性和高效性。

#### 3.4 高速公路供配电系统精准检测

##### 3.4.1 变压器故障诊断

高速公路供配电系统中的变压器是电力转换和分配的关键设备,其运行状态直接影响供电的可靠性。采用局部放电检测仪、油色谱分析仪、红外热成像仪等设备对变压器进行实时监测。例如,在某高速公路变电站,通过红外热成像仪对变压器的套管、接头等部位进行温度检测,发现某变压器套管温度异常升高。经过进一步

使用油色谱分析仪对变压器油进行分析,检测到油中存在乙炔等特征气体,判断是变压器内部存在局部放电故障。技术人员及时对变压器进行停电检修,更换了故障的套管,消除了安全隐患,保障了高速公路供配电系统的正常运行。

#### 3.4.2 电缆线路绝缘检测

高速公路供配电系统中的电缆线路数量众多,其绝缘性能直接影响供电安全。采用绝缘电阻测试仪、电缆故障定位仪等设备对电缆线路进行定期检测。例如,在某高速公路隧道供配电系统中,通过绝缘电阻测试仪对电缆的绝缘电阻进行测量,发现某段电缆的绝缘电阻低于正常值。利用电缆故障定位仪对故障电缆进行定位,确定是电缆在敷设过程中受到机械损伤导致绝缘层破损。维修人员及时对破损的电缆进行修复和绝缘处理,恢复了电缆线路的正常绝缘性能,避免了因电缆绝缘故障引发的供电事故。

### 4 机电工程精准检测技术面临的挑战与应对策略

#### 4.1 数据安全挑战

随着检测系统网络化程度的提升,数据泄露风险显著增加。为保障数据安全,需构建多层次防护体系<sup>[3]</sup>:在物理层,采用光纤加密传输技术,对检测数据进行实时加密;在网络层,部署入侵检测系统(IDS)与防火墙,对异常流量进行实时阻断;在应用层,采用区块链技术对检测数据进行分布式存储与验证,确保数据不可篡改。

#### 4.2 检测可靠性挑战

在高温、高压、强辐射等极端工况下,传感器性能易发生退化。为提升检测可靠性,需从三方面进行优化:在材料层面,研发耐高温( $\geq 800^{\circ}\text{C}$ )、抗辐射( $\geq 10^6\text{rad}$ )的传感器封装材料;在算法层面,采用自适应滤波算法对传感器输出信号进行实时校准;在系统层面,构建多传感器冗余检测系统,通过数据融合算法提升检测置信度。

#### 4.3 标准化建设挑战

当前,检测技术标准体系存在行业间不兼容、更新滞后等问题。为推动标准化建设,需从三方面发力:在国家标准层面,加快制定《无损检测术语与定义》《在线监测系统通用技术要求》等基础标准;在行业标准层面,由行业协会牵头制定《风电叶片检测技术规范》《核电管道检测作业指南》等专项标准;在企业标准层面,推动龙头企业制定高于国标的检测技术企业标准,形成“国家标准-行业标准-企业标准”三级标准体系。

### 5 机电工程精准检测技术的发展趋势

#### 5.1 智能化与网络化

随着5G通信技术的普及,检测系统将实现设备端、边缘端、云端的三级协同。在设备端,部署AI芯片实现本地化故障诊断;在边缘端,构建边缘计算节点对检测数据进行实时处理;在云端,搭建大数据分析平台实现设备群健康管理。通过数字孪生技术,可构建设备的虚拟镜像,对设备运行状态进行实时仿真与预测。

#### 5.2 微型化与集成化

随着MEMS传感器技术的突破,检测系统将向微型化、集成化方向发展<sup>[4]</sup>。在航空发动机领域,采用微机电系统(MEMS)技术可开发出尺寸仅 $1\text{mm}^3$ 的微型振动传感器,实现对叶片振动状态的实时监测;在医疗器械领域,采用柔性电子技术可开发出可穿戴的生理参数检测贴片,实现对患者心电、血压等参数的连续监测。

#### 5.3 个性化与定制化

针对不同行业、不同设备的检测需求,检测系统将向个性化、定制化方向发展。在风电领域,针对海上风电机组与陆上风电机组的工况差异,可开发出具有抗盐雾腐蚀、抗台风振动等特性的定制化检测系统;在石油开采领域,针对超深井(井深 $\geq 8000\text{m}$ )与水平井(井斜角 $\geq 90^{\circ}$ )的检测需求,可开发出具有耐高压( $\geq 140\text{MPa}$ )、耐高温( $\geq 200^{\circ}\text{C}$ )特性的检测工具。

#### 结语

机电工程精准检测技术作为工业生产的核心支撑技术,其发展水平直接关乎国家制造业竞争力。通过持续的技术创新与应用实践,我国已在无损检测、在线监测、传感器技术等领域取得显著突破,部分技术指标已达到国际领先水平。未来,随着智能化、网络化、微型化技术的深度融合,精准检测技术将在保障设备安全、提升生产效率、推动产业升级等方面发挥更加重要的作用。

#### 参考文献

- [1]白宇.交通机电工程质量检测的试验检测技术研究[J].运输经理世界,2024,(34):148-150.
- [2]樊霄镔.建筑工程机电设备在施工中的检测与检验研究[J].中国设备工程,2024,(03):195-197.
- [3]杨晶.高速公路机电工程检测与评价方法[J].交通世界,2018,(26):163-164.
- [4]门铖铖.交通运输中机电工程的应用及问题检测和预防[J].交通世界,2018,(12):8-9.