

# 铁路桥路设备智慧化运维探究

李万敏

中国铁路成都局集团有限公司达州工务段 四川 达州 635000

**摘要:** 在科技日新月异的时代背景下,各行业纷纷采用信息化、智能化设备以提升生产效率。与之相比,铁路在桥路设备管理的智能化运用上存在一定的滞后。通过实地调研新建成渝中线青白江管片厂自主研发的Smart-MES管片预制生产管理系统、安岳东制梁场的BIM+GIS数字孪生技术、重黔铁路重庆长江隧道的施工一体化管理、新建渝万高铁长岭岗隧道“一板一档”桥梁“一孔一档”及路基“一段一档”数字档案存储信息化系统、渝万高铁石沱长江大桥的信息化与智能建造创新应用,我们了解到智能化在铁路工程施工中已具备较为成熟的技术实力,能够智能、高效地指导现场建设施工。

本文通过总结各项目采用的智能化建造创新优势,同时结合当前铁路桥路设备管理模式,提出将施工智能化管理引入运维实践的建议,旨在全面提升铁路桥路设备管理的效率和智能化水平。

**关键词:** BIM+GIS; 非接触位移测量技术; 数据共享; 技术整合

## 1 当前桥路设备管理面对的难点

1.1 人的因素。目前,在铁路运维中的桥路设备管理上,物防、人防、技防是保障运维安全的三个重要手段。然而,由于设备维护人员的作业水平及业务能力不同,以及人为操作的失误等情况,在人防上存在一定的短板。

1.2 物的因素。具体表现为设备建造时间久,运维时间长,设备老化,病害突出,例如:桥墩开裂、边坡溜坍、隧道渗漏水等<sup>[1]</sup>。

1.3 技术的因素。由于智能化程度低,当前设备的运行状态、病害发现与贯彻等仍然依靠人工记录和管理,缺乏实时的数据监控和分析系统。难以实现设备之间的互联互通,无法形成完整的设备管理体系,从而影响了设备管理的整体效能。

## 2 铁路桥路设备管理智慧化建设目标及建设思路

### 2.1 铁路桥路设备管理智慧化建设目标

2.1.1 打破设备与设备、设备与管理者、作业人员与管理人员之间的信息壁垒,采用BIM+GIS及数据孪生技术,构建一个集“建设”、“运营”、“维护”于一体的设备管理一体化体系。这一体系将实时提供设备的状态信息,使各方能够及时掌握设备情况,进而提升管理效率。同时,通过信息共享系统,将实现设备管理中心的日常办公作业管理、检查养护计划的智能化安排。

2.1.2 利用物联网技术,对桥路设备进行实时监测和数据采集,及时发现设备的异常情况,避免设备故障对运营造成影响。

2.1.3 利用大数据分析技术,对桥路设备的历史数据

进行分析,预测设备的寿命和维修周期,制定合理的维修计划,降低维修成本。

2.1.4 利用人工智能技术,建立智能诊断系统,对桥路设备的故障进行快速定位和诊断,提高维修效率<sup>[2]</sup>。

2.1.5 通过智能化的管理手段,改进作业流程,减少人为的风险,提高作业效率和保障安全作业。

### 2.2 桥路设备智慧化建设思路

2.2.1 在智能化生产系统应用于铁路桥路设备管理上,主要解决了几个问题。首先,施工期间使用的BIM+GIS智慧管理系统需根据施工标段的生产任务定制开发,不能简单套用,否则效果不佳。为解决此问题,需从设备运营管理角度出发,广泛征求意见,统计各岗位需求,针对性搭建智能化框架,确保系统能有效指导生产,提升效率<sup>[3]</sup>。

2.2.2 以“大胆假设、小心求证”、“先立后破”的思维。在搭设好智能化框架后,选择生产车间、班组等小范围先行试用反馈,如果效果良好,则大范围推广到各站段使用。这样使成熟度、运行平稳的智能化设备与系统以最佳的状态投入的铁路运维中,减小故障频率,提高铁路生产效率。

2.2.3 在怎样利用智能化系统进行设备监测方面。需采用了先进设备,如传感器、GNSS等接触式设备,以及雷达、红外、智能摄像头、无人机等非接触式设备进行智能化技术整合,共同打造智能化管理系统。经了解,武汉地铁土建设施智慧管理系统是当前相对成熟度较高的智能化管理系统,基本做到监测设备与管理系统融为一体,具有一定的参考意义。

2.2.4 在铁路运营期间设备的维修保养上,推行使用预制设施的思路。原因一是预制设施的质量容易控制,更换效率高,对行车影响小。二是在设计阶段对易损耗件进行易更换接口设计,在施工期间做好监测设施的预埋处理。

2.2.5 在建设预设期间标准要统一,避免差异化过多带来应用落地困难。在铁路决策层确定要推进智慧化建设初期应结合设备的特征与需求,确定统一的数据标准,以促进施工和运维的紧密结合。

### 2.3 设备建造时期与运维设备智慧化建设的联系

2.3.1 做好施工期间的数据承接是核心任务。承接工作包括三个方面:①确保BIM+GIS模型数据的准确性和完整性,介入人员需掌握相关专业知识与施工单位沟通。②承接施工方使用的开发系统基础数据资料。③承接铁路建设全寿命周期数字档案管理,应当包括隧道、桥梁、路基等其他设备建造的电子档案以及勘察设计、变更设计、验收评定的相关记录。

2.3.2 施工期间做好检测仪器的预埋或预留。运营期使用智慧化系统进行设备管理,需要大量检测仪器。为确保精确性,部分仪器需提前埋设或预留安装空位,特别是隐蔽工程中的检测仪器,需提前规划并制定详细施工方案,有助于提高施工效率和质量,减少运维期间重新按挂检测仪器的麻烦和仪器安装不稳的掉落风险。

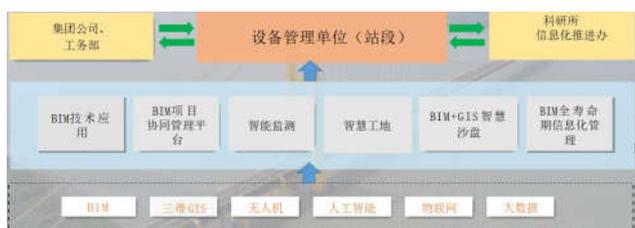
2.3.3 建立横向和纵向的缺陷问题库共享机制。运维单位在运维期间发现的设备病害问题库,通过建立共享平台与施工、设计、建设等单位共享,有助于了解病害形成原因,并在设计或施工阶段采取措施规避,以此提高工程施工质量,促进各单位之间为运维目标“双向奔赴”。

## 3 铁路桥路设备管理智慧化框架搭建及功能配置

### 3.1 设备管理智慧系统框架搭建

在经过各施工单位智慧化生产平台的应用情况调研,基于各施工单位现有的BIM模型,以下是数字化系统架构的优化建议:

#### 3.1.1 设备管理智慧系统整体框架



3.1.2 智慧管理系统的BIM与虚拟建造BIM模型应用框架。内容上要求:①参数化建模,②结构力学模型与BIM模型互转,③构件编码模型与数据挂接,④轻量化

处理。



3.1.3 智慧管理系统架构安全监测流程。①实时监控设备运行状况,并对危险操作行为进行及时预警,提前发现问题,降低安全风险。②根据设备状态进行施工维修、保养,提高管理水平和施工效率。



### 3.2 设备管理智慧系统协同办公生产功能

基于统一的智能化系统体系,以设备管理为主线,强化设备检查和保养维护工作,实现设备管理全过程的信息化、自动化排程以及4D模拟与可视化,以促进无纸化办公。另外,使用开发移动终端APP应用,进一步便捷各项管理工作。

3.2.1 无纸化办公的应用。通过技术方案的半自动化编制,工程师可直接在信息化系统中调用各类专项方案模板进行修改,既提高了工作效率,又确保了方案的规范性。此外,构建设备的BIM模型,建立与实际桥梁完全一致的虚拟桥梁。以BIM模型为载体,整合设计、材料、检验批、隐蔽工程、施工日志、检查记录、病害观测等全过程数据,形成桥梁电子档案馆,实现信息追溯管理和交付的数字化。

3.2.2 数据统计自动化。借助智能化系统的智能统计功能,能够准确统计设备检查、维修、施工等作业的完成情况,并实时生成日报、月报等技术资料,确保工作量的准确统计和资料的规范管理的同时辅助无纸化办公的落地。

3.2.3 协同作业安全卡控。针对特殊岗位的管理,我们引入人脸门禁和酒精测试功能,双重验证确保员工安

全进入岗位工作,同时自动记录识别和检测结果,进一步强化工作的安全性和合规性。在预警信息推送方面,我们将证书到期、设备保养、专项检查等各类预警信息实时推送到相关班组或个人APP端口,促进信息的及时传递和问题的快速整改。

### 3.3 智慧系统与检测、监测仪器的应用融合

铁路桥路设备常规检测,如堑坡、危石、水文等,目前依赖人工操作和数据分析,存在准确性低、资源消耗大、非实时监测等问题。结合铁路防洪和日常设备检养工作内容,可以引进的监测设备有以下几类

#### 3.3.1 桥路设备监测仪器

(1) 环境与作用监测方面:①风速风向:超声风速仪,机械风速仪;②湿度:氯化锂湿度计、电阻电容湿度计、电解湿度计;③地震/船撞:三向加速度计、强振动记录仪;④温度:热电偶温度计、热电阻温度计、光纤光栅温度计;⑤列车速度/过桥:红外车检器、测速雷达。

(2) 结构整体响应监测方面:①主梁挠度:差压变送器、光电挠度仪、GNSS;②梁端/支座位移:磁致伸缩位移计、拉绳位移计、LVDT位移计;③结构振幅/加速度:电容式加速度传感器、压电式加速度传感器。

(3) 结构局部响应监测方面:①应力:电阻应变计、振弦应变计、光纤光栅应变计;②特殊结构桥路索力:加速度传感器、压力传感器、磁通量传感器;③裂缝:LVDT位移计、振弦式裂缝计、光纤光栅裂缝计。④疲劳:三向应变计。

(4) 结构变化:①基础冲刷:声学测冲刷深度、雷达测水流速度;②锚碇位移:定期观测、GNSS;③螺栓紧固力:压力环、超声波、应变电测法;④索夹滑移:位移监测法、视频监控法。

#### 3.3.2 轨道设备监测仪器

(1) 荷载作用监测方面:道床结构温度、钢轨温度可以采用数字温度传感器、红外温度传感器设备进行设备监测应用。

(2) 轨道结构局部响应监测方面:轨道板凸形挡台纵向相对位移、宽接缝宽度变化、轨道板底座板垂直相对位移、基本轨伸缩位移、尖轨伸缩位移、轨枕间距、梁端伸缩装置伸缩量可以采用非接触位移测量技术(图像、雷达)进行设备监测应用。

3.3.3 防洪监测设备。对于高风险的坡面、危石等

安装北斗位移、深部位移监测站、测斜和含水率监测站等,实时监测滑坡体的状态,对滑坡风险进行预警,或采用GNSS边坡在线安全监测系统,主要应用现代化的传感技术、GNSS、计算机技术、现代网络通讯通信技术对在不同的天气或环境下准实时反映边坡区域变形情况,根据对实时位移数据的实时分析,对分析后适当的数据存储、分类、提取、统计等处理,为日常管理提供各类报表、图形,为边坡预警分析提供决策依据和参考以达到在最短的时间预警、报警的功效。

3.3.4 AI-病害自动识别技术。AI-病害自动识别技术是根据对设备运行情况的综合分析,快速检测和发现设备的异常状态。在应用过程中,针对不同设备的运行特性和数据特点,需要进行个性化的定制开发与优化工作。以列车轨道的病害识别为例,通过运用图像识别技术和机器学习算法,可以对轨道表面缺陷进行高精度的自动检测与分类,从而实现精准的病害定位和评估,能减少人为判断病害的误差。

3.3.5 可视化监管技术。监管可视化在实时监控作业人员违章行为和监测生产设施运行状态中有着重要作用。视频AI技术能及时纠正不安全行为,减少事故发生。大数据和可视化技术帮助分析生产数据,发现安全隐患,支持安全管理。同时,可视化安全知识和案例普及在帮助作业人员提高安全意识上,具有直观性。

### 结论

在中国,铁路运输企业是一个肩负着重要社会责任的企业,在实现“交通强国,铁路先行”的目标上,通过引入先进的技术和设备并进行技术融合,实现铁路桥路设备管理自动化、智能化监测与检修,从而保障铁路在日常运维中能及时发现和高效处理运维故障,是保障行车安全和减少资源浪费是推动铁路科技的进步的必由之路。

### 参考文献

- [1]王向宏,马学涛,林耀,等.基于FLC的铁路货车检修工厂智慧检修管控体系优化[J].粘接,2025,52(2):193-196.
- [2]余祖俊,唐涛,李开成,等.智慧高速铁路运行控制系统发展趋势综述[J].铁道学报,2024,46(1):1-12.
- [3]王磊.面向智慧铁路的信号系统集成与创新技术研究[J].时代汽车,2025(4):178-180.