

基于数字孪生的智慧梁场综合管理平台构建与应用研究

田道洪

(中交二公局铁路建设有限公司, 陕西 西安 710100)

摘要 数字孪生技术创建虚拟与现实之间的映射关系, 对梁场进行数据采集、处理并提供准确的决策依据, 改善梁场的各项操作流程, 提高施工效率及安全性。本文介绍了智慧梁场的项目概况, 并对基于数字孪生的智慧梁场综合管理平台进行详细的描述, 通过智能监控管理、智能喷淋养护、制梁流程智慧化管理等多方面应用来体现该平台在实际操作中的效果, 总结该平台对于推进梁场智能化管理的作用及局限性, 从而提出未来的改进方向, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 数字孪生技术; 智慧梁场; 梁场管理平台

中图分类号: TP3; U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.09.025

0 引言

传统的梁场管理方式存在信息化程度低、资源配置不均衡、生产过程不能实时监控等问题, 需要依靠现代信息技术来改善。数字孪生技术依靠虚拟和物理世界之间实时的数据同步, 创建高效智能的梁场管理平台, 可以对梁场的生产全过程进行全方位的监控, 从而提高生产效率, 保证施工质量, 减少工程风险。该平台将智能监控管理、智能喷淋养护、制梁流程智慧化管理等集成为一个系统, 从而改善梁场的资源配置, 提高施工过程中的安全性。

1 项目概况

雄商高铁十三标中交二公局定陶制梁场位于山东省菏泽市定陶区马集镇陈庄村, 正线里程在 DK596+400 线路右侧, 占地 203 亩, 整个区位条件较好, 梁场负责 DK578+698.290 ~ DK609+190.960 范围内 863 榀后张法预应力混凝土简支箱梁的预制、运输和架设工作, 双线 32 m 箱梁 803 榀、双线 24 m 箱梁 60 榀, 同时配合完成 18.055 km 桥面系施工、17 561 m² 声屏障安装和 33.489 km 铺轨公里轨道工程, 生产任务量大、工序协调要求高, 给智慧梁场综合管理平台在计划调度、资源配置、过程控制和质量追溯等各方面提出系统性的要求。梁场总体上采取“六区两站一中心”的功能分区布置方式, 将办公生活区、制梁区、搬梁区、存梁区、提梁上线区、试验检测区分并串联, 配套有混凝土拌和站、污水处理站、钢筋集中加工配送中心, 为数字

孪生模型的创建提供清楚的空间拓扑。

2 基于数字孪生的智慧梁场综合管理平台构建

2.1 智慧梁场系统架构

智慧梁场系统架构采用分层结构, 如图 1 所示, 整个系统由管理层、业务层、工业互联网层和监控层组成, 其中管理层负责系统的总体规划, 业务层承担生产调度、数据分析、任务执行等主要功能, 工业互联网层用数据采集与传输模块将梁场实际生产的动态信息同物理设备真实地映射到虚拟环境中, 从而达到对数字孪生进行实时监控的目的。

在生产管理模块中, 系统借助智慧梁场 APP 同生产 MES 系统之间的无缝连接来完成 32 m 和 24 m 双线箱梁生产的全流程管理, 而物料控制模块则是依靠物资管理平台及 RFID 技术实现生产所需物料的精确调配和实时监控, 保证资源得到合理的配置与调度, 设备监控模块由 PLC、DCS 等控制系统组成, 再加装智能设备和传感器, 对设备的状态实行实时监控, 可以及时发现设备出现的异常并采取相应的应急措施, 使生产设备处于良好的工作状态。

2.2 核心功能模块设计

生产管理模块是智慧梁场平台的主要部分, 和 MES 系统进行对接之后, 可以实现制梁过程中数据采集、生产调度以及质量控制的自动化。此模块会实时记录钢筋加工、混凝土拌合、制梁、存梁、搬梁等生产环节的数据, 并根据分析结果生成生产任务报告, 保证

作者简介: 田道洪 (1985-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 智慧梁场平台搭建与应用。

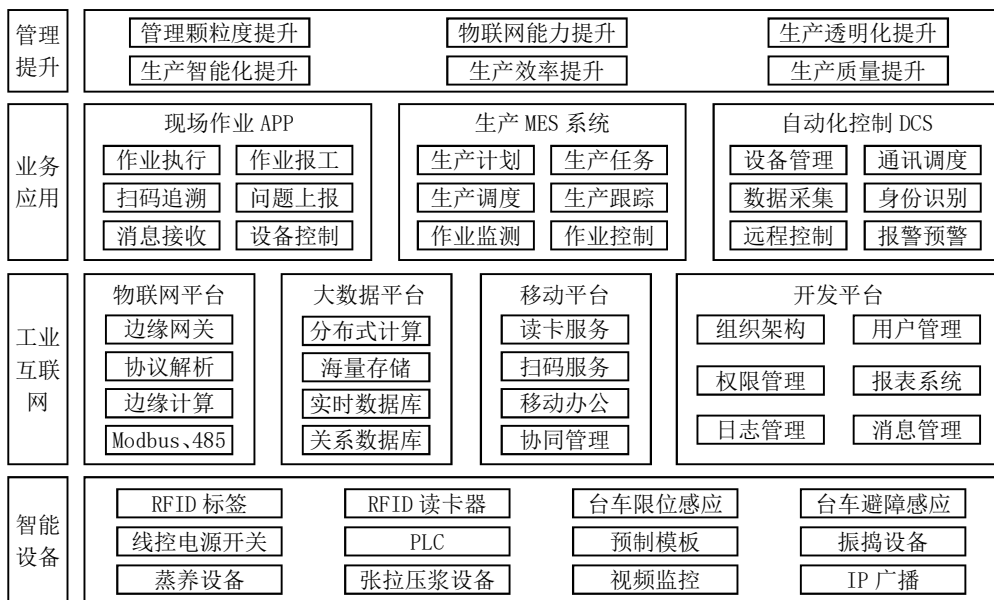


图 1 智慧梁场系统架构

生产计划的顺利完成。用 RFID 技术加物资管理平台的方式对物料进行控制，可以实现生产所需原材料的准确调配、实时跟踪，防止资源浪费和错配，提高物料管理水平。设备监控模块使用 PLC、DCS 等控制系统对现场的设备实行实时监控及状态诊断，保证设备正常工作，在第一时间内发现并采取相应的措施来防止由于设备故障导致生产停止。数据处理模块属于平台基础架构的一部分，负责将各个传感器、设备以及生产数据采集、储存，并对这些数据进行有效的整理和分析，保证数据顺利传输到相应的系统中。同时，平台利用数据库和云计算服务将生产数据传到云端，对大数据进行分析，给决策者提供数据支持。智能调度模块可以对生产线、设备状况、物料库存等各方面信息实行实时的监视和剖析，平台根据实际情况来主动调节生产计划，改善资源调配方案，减少生产过程中的等待时间以及不必要的运输费用^[1]。

3 智慧梁场综合管理平台的应用

3.1 智能监控管理

梁场摄像头区域布设包括网头区、预制区、蒸养区、张拉区等。各个区域的摄像头用无线网络同控制中心连接起来，监控画面由硬盘录像机（DVR）保存并传输给控制中心，便于工作人员对实时情况实行查看和历史数据回放。传感器设备对生产线上的温度、湿度、压力等环境参数进行采集，然后传送到数据处理系统中，保证生产环境可控、安全。

智能监控管理系统根据梁场的实际情况进行设计，在制梁区用实时视频监控的方式，可以随时看到生产

过程中每一个环节的情况，及时发现并解决问题。在搬梁区，摄像头可以对箱梁移运、存放全过程进行监视，保证箱梁在运输及储存的过程中不被损坏。在张拉区，用高清摄像机实时监控钢筋张拉的精度，保证每一根钢筋的张拉力符合设计要求^[2]。

3.2 智能喷淋养护

养护系统主机由 PLC 控制器、调试变频器、节能水泵、压力测试计、温湿度测试仪、电磁阀门等组成，对水养过程进行精确地控制。借助 PLC 控制器可以对每一个台座的喷淋时间、喷淋力度、水流量实行精确控制。恒压供水系统装有压力泵、变频器以及恒压罐，保证整个梁场能提供稳定的供水压力，使水养过程更稳定、高效。地喷管路系统由两大部分组成，一部分为预埋在台座两侧的 PPR 喷淋管，用以浇筑预制梁腹板的养护用水；另一部分为橡胶喷淋管，用于浇筑预制梁顶面或者内箱的养护用水。这些喷淋管可以均匀地喷洒水分，使梁体各个部位都能得到足够的水养。

根据水养控制柜的改造，系统可以采集每一个台座的喷淋开关状态，并经过 PLC 和控制柜相连，保存水养开始时间及水养时长。所有的水养台座的水养状态、时长以及喷淋头的开闭状态都会在制梁区的某个位置用产线大屏显示，保证生产过程中各个台座的水养情况可以被实时监控。

3.3 制梁流程智慧化管理

在智慧化管理下，制梁过程中每一个环节都被智能控制，工序前开工检查记录、技术交底、质检信息、作业环境参数等重要信息都得到高效的数字化管理。

工程部管理人员每天下发作业计划，在APP上通知现场工班长，用对接系统的方式上报第二天具体的施工内容。所有的安排都被细分为每一个工序，保证生产过程中每一个环节都能得到精确的指导和控制。作业通知单中包含每一道工序的技术交底内容。通过技术交底可以给现场的作业人员交代清楚工作的具体要求、质量标准，保证每一项工作都有明确的操作规范以及质量标准。作业过程中所用到的信息记录也被进行数字化的处理，作业人员采用拍照、录音、录像、文字等方式对工作过程进行记录，并实时上传到系统中，反映作业进程及质量。及时地采集并存储相关信息，使生产管理層可以随时了解现场情况，并对工作进行控制、调节^[3]。

3.4 张拉与压浆智能化

整个张拉过程系统自动计算并调节张拉力，保证每一个工序都按照预设标准执行，防止人工操作中出現误差及不均匀张拉，提高施工精度和安全性。该系统也可以实现多点同步张拉，同时对多个张拉点进行控制，提高工作效率。智能压浆系统中的操作流程被简化成全自动化管理模式。施工人员将系统管道和梁体预应力管道连接，形成一个浆液循环回路。通过在系统控制台上输入预定的压浆要求及浆液比例，系统自动调节浆液的混合比例并进行压浆施工。压浆系统可以自动采集压浆过程中各项数据，用无线远程数据传输的方式对这些数据进行实时的监控。该系统还可以随时调出历史的搅拌数据，保证每一批次浆液的配方和质量，从而避免传统的人工操作中出现的误差。

3.5 智能蒸养系统

智能蒸养系统的设计要对移动蒸养台座进行技术改造，在台座四周安装可以自由伸缩的温湿度传感器单元，实时监测蒸养环境变化。这些传感器和系统相连接，将实时的数据传送给中央控制单元，给蒸养过程中温湿度的调节提供准确的信息。每8个蒸养台座为一组，用一台自动控制系统来统一调节，达到对整个蒸养区域的集中控制的目的。系统按照设定的温度、蒸养曲线自动调节，保证蒸养过程中各个台座的温度都按照预先设定的曲线变化。在蒸汽管线后面装有电磁阀来精确地控制蒸汽的流量和温度。系统自动运行之后，电磁阀的开启和关闭就会根据实时温度的变化来动态调节，使棚内的温度始终维持在设定的范围内^[4]。

3.6 智能钢筋加工

智能钢筋加工系统将图纸上钢筋的信息转换成计算机的语言，输入智能加工系统中，系统自动完成所有的加工任务。智能化的数控设备可以根据输入的参

数来准确控制各个工序的执行，保证加工出的钢筋符合设计要求，减少由于人工操作造成的误差，大大提高生产精度。梁场钢筋加工车间智能化设备，包括数控钢筋剪切机、数控弯箍机。采用程式控制技术，根据工程技术人员所设置的参数来自动完成钢筋的调直、剪切、弯曲等工作，可以实时对各种数据进行统计和监控，保证每根钢筋的规格都合格。系统控制程序可以按照实际情况进行更改，满足不同的项目对于钢筋各种规格的要求。

3.7 外围智能子系统

引进台座沉降监测系统、浇筑混凝土坍落度现场监控系统、二维码标识系统、BIM建模等智能子系统，梁场的生产管理实现了全面的自动化。台座沉降监测系统可以实时地监测台座沉降状况，及时发现和处理沉降问题，保证梁场设备的稳定。在浇筑混凝土时，坍落度控制系统在施工现场安装坍落度检测设备，对混凝土进行实时监测，将数据传到后台，保证各个工序的质量都符合要求。二维码标识系统给每根梁赋予唯一的二维码，通过扫描可以得到梁体所有的制造信息及质检数据，提高管理的透明度和效率，未张贴二维码的梁在移至存梁区时会被限制，保证梁体信息的完整性和可追溯性。BIM建模和三维孪生技术可以对梁场进行数字化建模、实时监控，保证梁场各个环节同现场实际状况相符合^[5]。

4 结束语

随着建筑行业对生产效率要求的不断提高，智慧梁场建设成为推动行业发展的重要方向。基于数字孪生技术的智慧梁场综合管理平台，引入智能化管理手段实现梁场生产过程的全自动化，提升生产效率，降低人工干预，确保梁体质量的稳定性。该平台将智能设备和系统结合起来，对生产过程中的每一个环节进行改进，对材料管理、生产调度、质量控制等各个方面实施数字化，使梁场管理更加精细、高效。

参考文献:

- [1] 叶龙.基于工业化生产的智慧梁场建设技术应用[J].中国高科技,2024(02):82-84.
- [2] 刘佩斯.深中通道智慧梁场建设及运营研究[J].世界桥梁,2023,51(S1):26-33.
- [3] 李泽晖.高速铁路梁场智能化建设实践与研究[J].江西建材,2023(02):241-242,249.
- [4] 杨永成,姚辉宁,张正鹏,等.纵列式梁场综合管控系统建设及应用[J].中国公路,2023(03):108-109.
- [5] 韩晓强,刘文荐,江忠贵,等.铁路智能化预制梁场实践[J].中国铁路,2021(09):73-78.