

高速公路混凝土预制梁智能制造技术研究

曾锋, 周东东, 孙一方

(广州公路工程集团有限公司, 广东 广州 510075)

摘要: 预制装配化已成为基础设施建设的必然发展趋势,为适应新形势、新环境下高速公路工程建设的发展,预制梁智能制造技术应运而生。目前高速公路混凝土预制梁施工各工序自动化程度低,有必要将新一代人工智能制造技术引入预制构件的生产过程中。文中通过对预制梁施工关键工序自动化、标准化、智能化水平的提升及对工装设备的全面升级改造、对管理方式的再创新,实现预制梁施工安全质量水平的全面提升,达到生产效率高、绿色环保的效果。

关键词: 桥梁;混凝土预制梁;智能制造;环形生产线

中图分类号:U448.21

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)02-0122-05

随着城镇化水平的提升和城市发展进程的演变,对城市内空间利用率的要求越来越高,桥梁装配化建造优势日益凸显,相比于传统现场施工,装配化建造具有安全可靠、进度快、人力成本小、环境影响小、占地少的优点。通过引入机械化和工厂化的生产方式,桥梁装配化建造引领城市基础设施建设走向工业化发展道路,并将自动化、智能化技术应用于建造过程,逐步向智能基建方向发展。此外,随着环保意识的不断加强,基础设施建设走向绿色发展之路。与传统粗放式建造相比,集中生产与智能建造在环境保护、节能减排等方面均有显著优势。智慧梁厂是交通运输生产建设企业向工业化、数字化转型的必经之路,研究智慧梁厂的智能制造技术及应用创新对加快建设交通强国具有重要意义^[1-5]。

1 预制梁环形生产线施工技术

随着桥梁工业化建造的推进,环形自动化预制件智能生产技术应运而生。其理念是尽可能地减少操作工人的参与,实现生产全过程的自动化。目前,该生产技术尚处于发展完善阶段,还有很多问题需要解决,如生产线中存在鱼雷罐输送效率低、生产线空间布置不合理等问题。如何实现自动化生产线的生产组织是目前中国桥梁工业化建造需解决的关键问题。下面依托南中(广州南沙—中山)高速公路 TJ07 标段智慧梁厂对该技术进行探讨。

为保证工程质量、加快生产进度、节约用地,该项目开创性使用环形生产线。预制构件环形生产线施工技术主要设备包括混凝土运输系统、自动液压

钢模系统、智能控温蒸养系统、自行式台车、专用回路、横移换轨摆渡车等(见图 1)。

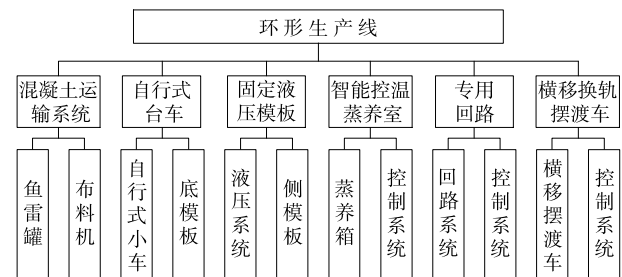


图 1 预制构件环形生产线施工工艺工装总成

1.1 环形生产线空间布局

环形生产线采用“工位固定、流水作业”的生产模式,依照预制梁的生产工序进行区域划分。如图 2 所示,车间最前方为原材料存放区,其后为钢筋半成品加工区,加工好的半成品钢筋在胎架上组装成钢筋骨架后吊装至自行式台车上,台车依次经过横移摆渡区、浇筑作业区、蒸养区、张拉压浆区、移动台车专用回路复位,每条生产线以自行式台车为核心,将各工序有机串联形成闭环环^[6-7]。

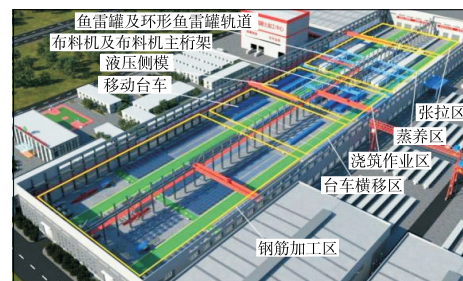


图 2 环形生产线整体布局

1.2 鱼雷罐混凝土环形运输及桁架布料系统

有别于传统的单通道鱼雷罐混凝土运输系统,预制构件环形生产线施工技术采用全新的混凝土运输系统,该系统主要由鱼雷罐运输系统、布料机桁架浇筑系统组成。通过加高定制混凝土搅拌站,避免传统鱼雷罐从搅拌站出料口至布料机处轨道坡度较大、鱼雷罐运输速度较慢等问题。将单通道运输轨道设计为环形闭合通道,相比于传统单通道鱼雷罐运输一次只能用一个鱼雷罐运输混凝土的情况有大幅度改善,鱼雷罐环形运输轨道可同时悬挂多个鱼雷罐进行接料和放料,多条生产线可同时进行预制梁浇筑,有效提高施工效率,实现大批量、工期短的预制梁快速制造。为解决布料机桁架与作业工人相互干扰的问题,在每台布料机上配备液压升降杆,避免因布料高度过大引发的混凝土离析问题,空载时能提升布料斗,解决运输过程需工人避让等安全问题(见图3)。



图3 鱼雷罐混凝土环形运输及桁架布料系统

1.3 自动液压钢模系统

为提升预制梁产品质量,使预制梁外观达到镜面效果,对传统预制模板进行升级改造。将传统可拆装的模板升级为自动液压钢模板,实现整体自动液压合模与拆模,减少模板的拆卸、吊装、组装过程,自动化程度高,有效提升施工效率(见图4)。混凝土与模板的接触面采用不锈钢光面并严格控制其光洁度,使生产的预制梁产生一个镜面效果,其外观质量远高于普通模板。在其侧面安装智能振捣系统,通过操控平台在混凝土浇筑过程中实现自动振捣,有效保证产品品质。



图4 自动液压钢模系统

1.4 智能控温蒸养系统

传统预制梁普遍采用自然喷淋养生,养护7 d

左右才能满足预应力张拉要求,养护时间占整体制梁时间的2/3,存在制梁周期长、底座使用率低、预制场占地面积大等问题,不利于大规模预制梁体快速施工。针对这一问题,该项目采用蒸汽对预制梁进行养生,梁片脱模后移动至蒸汽养生区。蒸汽养生区由两个相邻智能控温蒸养室组成,可同时满足两榀梁的蒸汽养生需求。智能控温蒸养室由蒸养箱、变温蒸养设备和智能控温系统组成,蒸养箱采用试验恒温养护室标准建设,外包隔热保温层。利用蒸汽养生可快速提升混凝土的前期强度,根据试验结果,蒸养36 h后强度、弹性模量可达到张拉要求,可大幅缩短预制梁生产周期(见图5)。



图5 智能控温蒸养系统

1.5 自行式台车及横移摆渡系统

为实现预制梁环形流水线生产,引入自行式台车和横移摆渡车,将预制梁生产的各工序紧密串联形成闭合环线。使用自行式台车代替传统固定台座,可有效提升台座周转效率,每条生产线配置4辆自行式台车,实现混凝土浇筑、蒸汽养生、张拉压浆、移运工序同步流水作业,确保每条生产线一天产能达到1榀预制梁。4条生产线中间设置一条专用回路,用于自行式台车的回转,让自行式台车在生产线循环运转,有效提升台座利用率和生产效率。横移换轨摆渡车用于实现生产线首尾端自行式台车换轨,摆渡车上配备的液压顶升系统把自行式台车顶升起来,完成横移换轨后放下台车,使自行式台车进行环形运转(见图6)。

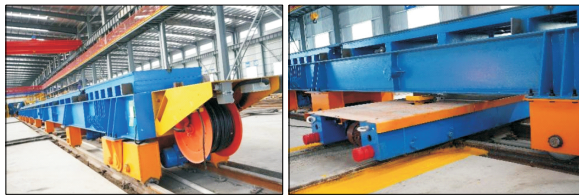


图6 自行式台车及横移摆渡车

2 智慧管理平台

智慧梁厂在信息整合的基础上实施智慧管理。在高速公路工程智慧梁厂规划前,应构建信息化、智

慧化管理平台。相对于传统的梁厂管理,信息化、智慧化管理平台可实现预制梁厂从设计落地到智能制造的一体化,充分应用信息化、自动化、数字化、智能化技术帮助高速公路预制构件制造企业实现数字化转型^[8-11]。从厂区实际情况出发,通过软件与硬件结合、数据与模型结合、系统与生产结合,研发智慧管理系统,应用 BIM(建筑信息模型)、GIS(地理信息系统)、物联网、数字孪生等技术,为生产管理提供

准确的数据支撑^[12-13]。在工装设备和生产工位上安装 RFID 芯片和传感器,实时采集生产管理的相关数据并传输到数字孪生大屏,实时掌握生产情况、产能、工程进度、材料消耗及基地最新动态,实现对厂区的智能化管理。系统总体框架见图 7。

2.1 计划管理模块

计划管理模块分为模型管理、生产计划、任务单等子平台,在模型管理平台导入将要生产的预制梁

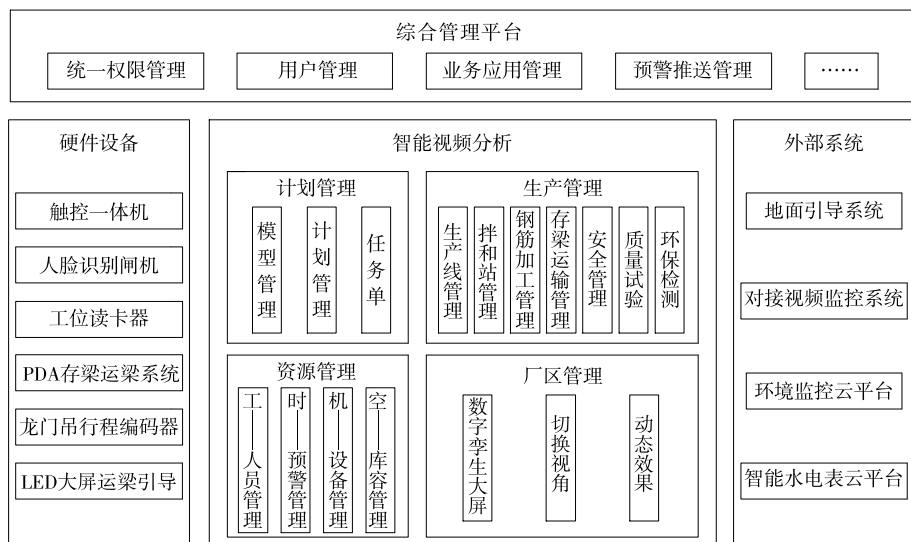


图 7 智慧管理系统的总体框架

BIM 模型,可检测每片预制梁中的钢筋碰撞情况,并通过智能算法生成钢筋剪切及弯曲任务单,从而优化钢筋下料,节省材料。生产计划平台可根据梁体型号与生产线匹配自动生成制梁计划,以周计划为主、日计划和月度计划为辅,避免烦琐的人工排产问题,简化工作人员的工作量。遇到特殊或紧急情况时,系统可调整某片预制梁生产任务时间,直接排队生产任务单平台可自动换算并生成预制场材料需求计划清单发送至现场终端机,为现场工人提供准确的材料需求计划^[14-15]。

2.2 生产管理模块

生产管理模块集成生产线、拌和站、存梁运输、质量试验、安全管理、视频监控等子平台,通过各项子功能实现预制梁整个生产周期的全方位管理。生产线管理云平台与现场工位读卡器实时联动,可查看预制梁生产过程中各工序的动态并将其记录在 RFID 卡中,实现预制梁全生命周期的跟踪记录。拌和站管理云平台可实现混凝土的及时发送,并对其数据进行保存分析,为后续材料储备提供依据。

在存梁运输云平台中,为解决重复翻梁的行业

痛点,根据构件架设计划通过人工智能算法计算并推荐最优存储方案,将运输时间靠前的构件放在离出口较近的位置,将运输时间相近的构件存放在相近区域。存梁时分别扫描梁体和台座上的二维码,即可完成预制梁的存放并将存梁信息实时反映到存梁管理大屏,通过存梁管理大屏可查看现场预制梁的存放情况,避免烦琐的存梁台账编写。通过快速寻梁系统,只需在大屏上输入需要寻找的梁号,即可快速定位所需梁片位置。在提取梁片时,结合车牌自动识别和智能电子指引系统,可快速将运输车辆引导至所需构件存放位置,有效节省构件寻找时间,避免烦琐的人工引导。

质量试验云平台通过信息接口集成预制梁生产过程中的相关数据,如原材料检验、试块抗压强度、智能张拉、孔道压浆等试验数据,实时把控预制梁生产质量情况,并将收集到的资料形成档案,实现智能归档,做到预制梁生产过程中每道工序可溯源。

安全管理平台结合视频监控平台,实时对现场生产安全进行把控,视频 AI 可自动识别工人是否穿戴安全帽及夜间反光衣等,自动抓拍,保留截图,

自动下发问题进行整改,并向相关责任人推送信息。在现场发现的安全隐患,可通过安全管理平台下发整改通知书,落实相关责任人进行整改并及时回复,做到问题闭环,消除安全隐患。同时根据已有数据分析生产过程中存在较大安全隐患的工序及区域,为管理人员进行隐患排查提供数据支撑。

2.3 资源管理模块

资源管理模块分为工、时、机、空 4 个子模块,实现对人员、材料、机器设备的全方位管理。“工”子模块录入人员信息,实现对人员的考勤管理。“时”子模块主要把控预制梁生产过程中各工序的时间,若某一工序超过该工序的合理时间,即发出警报,并将信息推送至相关责任人,催促其尽快完成该工序,有效缩短预制梁生产时间。“机”子模块录入现场工装设备信息,检测设备运行情况,记录设备检修维修资料,并对所有材料进行入库登记,生成相关材料库存信息。“空”子模块把控整个预制梁厂材料的消耗情况,某种材料消耗到相应阈值时,即推送信息提醒相关人员购买该材料,及时补充,保证材料供应充足。

2.4 厂区管理模块

厂区管理模块主要通过 UE4 数字孪生大屏,配合在工装设备和生产工位上安装的 RFID 芯片和传感器,实现智慧梁厂生产、调度、安全等管理。首先通过数字孪生技术生成预制梁厂三维实景,管理人员通过动画漫游对厂区的三维实景进行巡查,直观且形象地了解各区域的生产安全状况。数字孪生大屏可收集现场传感器传入的数据并显示在两侧悬浮窗中,如当前产量、材料消耗分析、工作预警及工位作业等数据,包含钢筋加工、构件浇筑、养生、张拉压浆等工序的施工时间及相关数据。通过现场数据分析,管理人员可实时掌握生产情况、产能、工程进度等,进而发出更准确的调控指令(见图 8)。



图 8 UE4 数字孪生大屏

3 节能减排技术

智慧梁厂建设过程中以碳达峰和碳中和目标为指引,发展行业新业态、新模式、新技术。通过对环形生产线生产设备空间布局的设计优化,生产区面积比传统梁场减少约 40%,实现了土地资源节约。预制梁厂采用永久设施和临时设施相结合的方式进行建设,设置全封闭作业厂房,改善作业工人工作环境,为工人提供人文关怀。在厂区内设置环境监控设备,实时掌握现场扬尘、噪声、PM_{2.5}等相关情况,并通过采取全封闭绿色智能混凝土拌和中心、砂石压滤分离设备、污水集中处理循环利用中心、天然气锅炉加热蒸汽养生、厂区太阳能智慧照明系统等绿色环保措施,达到减少污染排放、大幅度降低资源消耗的目的,使预制梁厂实现低碳环保发展,推动绿色公路典范工程建设。

4 结语

本文以南中高速公路 TJ07 标段预制梁厂为依托,以智能化、高效率、降成本、绿色环保为目标,以新技术、新工艺、新设备为手段,探索高速公路预制梁智能制造生产技术,提升高速公路预制梁智能化预制水平,为打造现代化智慧梁厂提供技术及实践支撑。智慧梁厂的核心在于结合先进的生产工艺和工装设备,把传统的建筑业向工厂制造业转变,充分发挥“互联网+”的优势,将 BIM、GIS、物联网、大数据、数字孪生等技术应用到预制梁生产全过程,实现梁厂信息化、智慧化建设,提升数字化管理水平。各种新型智能制造技术在预制梁厂高度融合,可实现信息资源的高效整合和共享利用,便于预制梁标准化生产与管理,有效解决传统施工效率低、劳动强度高及相关质量问题,实现智慧梁厂高效、降本、绿色环保的目标。

参考文献:

- [1] 陈玉龙.萍莲高速:“四化”打造平安百年品质工程[J].中国公路,2021(8):62-64.
- [2] 王勇,郭星亮,杨玉华,等.高速铁路混凝土箱梁智能化预制技术研究[J].科技与创新,2022(4):85-88.
- [3] 李拥政.智能建造技术在铁路工程建设管理中的应用[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.2020 年智慧工程建造设计座谈会(一)论文集.北京:中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会,2020:376-382.

- [4] 刘占省,刘诗楠,赵玉红,等.智能建造技术发展现状与未来趋势[J].建筑技术,2019,50(7):772-779.
- [5] 王海蛟.装配式 T 梁工厂化生产基于传统梁场比对的可行性探讨[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2020,19(3):63-66.
- [6] 孙铎.预制梁场建设规模优化与内部布局问题研究[J].居业,2022(3):18-20.
- [7] 董玉胜,陈青荣.高速公路工程智慧梁厂的规划及应用创新[J].运输经理世界,2021(32):25-27.
- [8] 李法雄,郭毅霖,张鑫敏.用 BIM“智”造特大型桥梁[J].中国公路,2018(11):78-79.
- [9] 席泉泉.城市路桥预制梁生产信息管理平台研究与开发[D].郑州:郑州大学,2020.
- [10] 俞园飞.建筑 BIM 在建筑工程管理中的应用研究分析[J].装饰装修天地,2021(13):121.
- [11] 马晓飞.基于云 BIM 的装配式建筑预制构件集成管理研究[D].武汉:武汉理工大学,2017.
- [12] 黄园.建设项目 BIM 应用成熟度评价研究[D].深圳:深圳大学,2017.
- [13] 张富泉,罗云.公路工程预制梁场生产信息化平台的设计与实现[J].科学技术创新,2021(28):130-133.
- [14] 陈嘉伦,韩晓峰,梁雨微.中国桥迎来“智造时代”[J].交通建设与管理,2021(4):50-55.
- [15] 赵金枝.高速公路桥梁建设中预应力混凝土连续 T 梁预制技术研究[J].黑龙江交通科技,2014(7):120-121.

收稿日期:2022-07-21

(上接第 118 页)

- [2] 招商局重庆交通科研设计院有限公司.江西泉南高速石吉段陈屋高架桥处治工程一阶段施工图[Z].重庆:招商局重庆交通科研设计院有限公司,2019.
- [3] 江西省天驰高速科技发展有限公司.泉南国家高速公路石城至吉安段陈屋高架桥现场检测报告[R].南昌:江西省天驰高速科技发展有限公司,2017.
- [4] 江西嘉特信信息技术有限公司.江西泉南高速石吉段陈屋高架桥处治工程专项施工方案[Z].南昌:江西嘉特信信息技术有限公司,2020.
- [5] 李悦,李冲,李茜,等.桥梁板式橡胶支座剪切破坏及摩擦滑移性能试验研究[J].铁道学报,2020,42(8):130-137.
- [6] 杨杰,张俊,哨关路花庄河大桥主桥顶推滑移施工技术研究[J].价值工程,2018,37(36):148-150.
- [7] 黄胜,王朝阳,胡小勇,等.钢桁梁斜拉桥液压顶推滑移关键技术[J].施工技术,2012,41(11):6-10.
- [8] 崔晓磊.高速公路桥梁承载力不足的检测方法及加固措施[J].交通世界(上旬刊),2021(4):92-93.
- [9] 王丙堤.桥梁震害加固技术研究[J].铁道工程学报,2013(1):35-38.
- [10] 钟正强,陈敬智,刘卓泽.碳纤维加固二次受力混凝土梁理论计算方法[J].交通科学与工程,2022,38(1):21-26+69.

收稿日期:2022-02-11

(上接第 121 页)

(2) 两种规范中疲劳车作用下,主压应力均在轮载作用在钢桥面板与纵肋双面焊焊接细节正上方时达到最大。

参考文献:

- [1] 张清华,李俊,袁道云,等.深圳至中山跨江通道钢桥面板结构疲劳试验研究[J].土木工程学报,2020,53(11):102-115.
- [2] 罗鹏军,张清华,龚代勋,等.钢桥面板 U 肋与顶板双面焊连接疲劳性能研究[J].桥梁建设,2018,48(2):19-24.
- [3] 周维,于浩楠.顶板厚度参数对钢桥面板一肋接头疲劳应力影响分析[J].城市道桥与防洪,2021(10):193-195+221.
- [4] 郭亚文.钢桥面板横隔板处纵肋与顶板焊接细节疲劳性能研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [5] 吴波.钢桥面板一肋双面焊构造细节疲劳失效模式研究[J].城市道桥与防洪,2021(6):250-252+277.
- [6] International Institute of Welding. Recommendations for fatigue design of welded joints and components: IIW Document XIII - 21514r4 - 07/XV - 1254r4 - 07[S].International Institute of Welding,2015.
- [7] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢结构桥梁设计规范:JTG D64—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [8] European Committee for Standardisation. Eurocode 3: Design of steel structures—Part 2: Steel bridges: EN1993-2:2006[S].European Committee for Standardisation,2006.

收稿日期:2022-03-07