

Research on the Implementation Plan of the 30m Box Girder Moving Production Line

Yijun Fan

Yangquan Rongsheng Bridge Construction Co., Ltd., Yangquan, Shanxi, 045000, China

Abstract

During the construction of highway expansion and renovation projects, the 30-meter box girder, as the core load-bearing component of the bridge structure, its prefabrication quality and construction efficiency directly determine the overall progress of the project and operational safety. This paper, based on engineering practice in the South Asian subtropical maritime monsoon climate region, conducts a systematic study on the construction technology of the 30-meter box girder mobile production line. It constructs a complete implementation plan from aspects such as construction process optimization, key technology control, and quality and safety guarantee. By adopting technologies such as mobile platform assembly line operation, intelligent hydraulic formwork, automated curing, and intelligent tensioning and grouting, the prefabrication of 30-meter box girders is achieved in a standardized and intelligent manner, effectively solving problems such as supply of beam segments in multiple sections and adaptability to complex climates, and providing technical references for the prefabrication of box girders in similar bridge projects.

Keywords

30-meter box girder; mobile production line; prefabrication construction; intelligent construction; quality control

关于 30m 箱梁移动生产线实施方案的研究

范毅君

阳泉融盛路桥建设有限责任公司, 中国·山西 阳泉 045000

摘要

在高速公路改扩建工程建设中, 30m 箱梁作为桥梁结构的核心承载构件, 其预制质量与施工效率直接决定工程整体进度与运营安全。本文结合南亚热带海洋季风气候区域工程实践, 针对 30m 箱梁移动生产线施工技术展开系统研究, 从施工流程优化、关键技术控制、质量安全保障等方面构建完整实施方案。通过采用移动台座流水作业、智能液压模板、自动化蒸养及智能张拉压浆等技术, 实现 30m 箱梁预制的标准化、智能化生产, 有效解决多标段梁片供应、复杂气候适应性等难题, 为同类桥梁工程箱梁预制提供技术参考。

关键词

30m 箱梁; 移动生产线; 预制施工; 智能建造; 质量控制

1 引言

在高速公路改扩建工程中, 30m 箱梁作为桥梁核心承载构件, 其预制质量与施工效率直接决定工程整体进度与运营安全。南亚热带海洋季风气候具有湿热、降水集中、盐雾侵蚀明显等特点, 给箱梁预制施工带来诸多挑战。本文结合该区域工程实践, 针对 30m 箱梁移动生产线施工技术展开系统研究, 优化施工流程、强化关键技术控制、完善质量安全保障, 通过多种智能技术实现箱梁标准化、智能化预制, 解决多标段梁片供应及气候适配难题, 为同类工程提供技术参考。

【作者简介】范毅君 (1986-), 男, 中国山西晋中人, 中级, 从事公路、市政工程的建设、施工、项目管理等研究。

2 工程背景

随着交通基础设施建设向标准化、智能化转型, 传统固定台座预制箱梁工艺存在的效率低、工期长、质量波动大等弊端日益凸显。30m 箱梁因结构受力合理、跨度适应性强, 广泛应用于高速公路桥梁工程, 但该梁型预制需兼顾多标段差异化需求, 且面临复杂气候条件下的施工质量控制挑战^[1]。

3 移动生产线总体布置与设备选型

移动生产线的布置需结合工程场地条件、箱梁预制数量、施工工期及预制梁专项施工方案要求^[2], 遵循“布局合理、工序衔接顺畅、安全高效、节约用地”的原则, 合理划分功能区域, 选型适配的施工设备, 确保生产线高效运转。

3.1 总体布置

移动生产线采用纵列式布置, 总占地面积约 8000 m²,

同等规模下,相比传统固定台座模式节约用地30%以上^[3]。根据施工工序,依次划分为:钢筋加工区、钢筋绑扎区、模板安装区、混凝土浇筑区、蒸汽养护区、预应力张拉区、压浆封锚区及存梁区8个功能区域,各区域之间设置专用运输通道,采用移动台座串联各工序,实现箱梁从原材料加工到成品存放的全流程流水线作业。

3.2 设备选型

设备选型严格遵循“适配性、可靠性、高效性”原则,结合30m箱梁的结构特点、施工工艺及预制梁专项施工方案的技术要求,重点选型以下核心设备:

一是移动台座,选用液压式可移动台座,台座长32m,宽4.8m,承载力 $\geq 150t$,满足单片30m箱梁的重量要求,台座底部设置行走机构,采用变频电机驱动,行走速度可调节(0.5-1.0m/min),能够平稳实现各工序间的移动,台座表面铺设防滑耐磨钢板,防止梁体浇筑过程中移位。

二是钢筋加工设备,配备智能数控钢筋调直切断机、数控钢筋弯曲机、钢筋焊接机器人等设备,其中数控钢筋调直切断机可实现钢筋调直、切断一体化作业,切断精度误差 $\leq \pm 5mm$,调直后的钢筋表面伤痕不超过截面面积的5%;HRB400型钢筋弯曲采用智能数控弯曲机,第一根钢筋成型后与配料表复核合格再批量加工,确保钢筋尺寸精准;钢筋焊接机器人用于钢筋骨架焊接,焊接效率较人工提升40%,焊缝宽度不小于主筋直径的0.7倍,厚度不小于主筋直径的0.3倍,无焊渣、空洞、咬边等缺陷,保障钢筋连接质量。

三是模板设备,采用钢模板,分为底模、侧模、内模及端模,模板面板采用6mm厚钢板,刚度满足施工要求,模板拼接缝隙 $\leq 2mm$,表面平整度 $\leq 3mm/m$,内模采用液压式可伸缩模板,便于安装与拆除,模板安装后采用拉杆固定,确保模板垂直度、轴线偏差符合规范要求(轴线偏差 $\leq 5mm$,垂直度偏差 $\leq 3mm/m$)。

四是混凝土施工设备,选用HZS120型混凝土搅拌站,搅拌能力 $120m^3/h$,配备混凝土输送泵、布料机,确保混凝土浇筑连续、均匀;混凝土振捣采用插入式振捣器与附着式振捣器结合的方式,插入式振捣器用于腹板、底板振捣,附着式振捣器用于顶板振捣,确保混凝土密实度,避免出现蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷。

五是养护与预应力设备,蒸汽养护采用智能蒸汽养护系统,配备蒸汽发生器、温度湿度传感器,可自动控制养护温度(20-30℃)与湿度($\geq 90%$),养护周期7天,确保梁体混凝土强度快速增长;预应力张拉设备选用智能张拉系统,张拉千斤顶额定吨位400t,精度 $\leq \pm 1%$,配套高压油泵、预应力钢绞线,严格按照预制梁专项施工方案的张拉工艺要求,实现张拉过程的自动化控制、数据实时采集与记录;压浆设备采用智能压浆机,压浆压力控制在0.5-0.7MPa,确保压浆饱满、密实。

4 30m 箱梁移动生产线施工工艺流程

30m箱梁移动生产线以底模移动小车为核心载体,通过工位分区实现各工序流水作业,整体流程闭环可控,该流程核心优势在于梁体始终在移动底模上完成各道工序,无需多次吊装转移,减少结构损伤风险;各工位配备专业设备与固定作业人员,实现“专业化分工、流水化生产”,单梁预制周期较传统工艺缩短30%以上。

5 30m 箱梁移动生产线关键技术控制

5.1 钢筋加工及安装技术

钢筋加工采用集中化、自动化模式,配备数控弯箍机、钢筋弯曲中心等设备,确保下料精度与弯曲成型质量,钢筋端面需平整且与轴线垂直,无马蹄形、扭曲等缺陷。

底腹板钢筋与预应力管道安装采用定制胎架,胎架设置定位卡槽、数字板及刻度标尺,横向钢筋通过卡槽精准定位,纵向水平筋采用镀锌钢管加圆钢抽拉杆每1m布置一道。预应力波纹管采用 $\phi 10$ 钢筋制作的“#”型定位架固定,直线段间距0.8m,曲线段间距0.4m,定位筋焊接时需做好波纹管防护,防止焊渣灼穿。

5.2 移动台座与模板系统控制

5.2.1 移动台座调节

移动台座基础采用钢筋混凝土浇筑,铺设两道50型钢轨,底模安装在移动小车上,台座反拱度设定为3cm。楔形块通过4根调节螺杆和螺帽调节,结合施工图纸计算横坡、纵坡尺寸,采用20cm钢尺精准复核;梁端设计为可活动式结构,张拉前降低台座高度,缓解梁端集中受力,避免开裂崩边。

移动台座配备PLC控制系统,支持遥控操作实现慢进、快进、柔性启停等功能,速度可调且定位精准,有效降低对梁体的扰动。

5.2.2 液压模板安装

外模采用6mm不锈钢板制作的固定式液压模板,支架为槽钢和角钢,标准节按4.5m加工,梁端设调整节。模板进场前需验收几何尺寸与焊缝质量,面板变形控制在1.5mm内。外模配备智能控制系统,含主控柜、分控站及位移检测系统,实现脱模行程控制与左右幅模板速度同步。

模板拼缝处设置止浆条,侧模与台座拼接处采用橡胶条防漏浆,安装完成后均匀涂刷脱模剂。模板安装允许偏差需满足:高程 $\pm 10mm$ 、尺寸 $+5 \sim 0mm$ 、轴线偏位10mm、相邻板高低差 $\leq 2mm$ 。

内模采用抽拔折叠钢内模,通过直径25mm精轧螺纹钢与台座小车连接固定,防止浇筑时上浮。模板试组装合格后编号使用,接口处用海绵胶条填充密封,确保不漏浆。

5.3 混凝土浇筑与蒸养技术

混凝土采用集中搅拌,塌落度控制在160-200mm,入模温度不低于5℃且不高于28℃。浇筑采用“底板→腹板→顶板”顺序,从梁一端向另一端推进,腹板采用纵向分段斜

向分层浇筑，每层厚度 30cm。振捣以附着式振捣器为主，插入式振捣器为辅。附着式振捣器沿外模斜面布置两排，呈梅花型交替排列，专人操作控制开关时间 20-30S，频率 120Hz，避免超时间振动导致混凝土离析。浇筑完成后，梁面经木抹子收面，初凝前二次收浆并拉毛，拉毛深度 2-3mm，覆盖土工布洒水养护。

梁体蒸养采用智能恒温恒湿系统，养护房配备保温隔热材料，布设直径 50mm 蒸汽管道，每隔 40cm 设置 5mm 通气孔。通过温度湿度感应器实时监测，自动控制升温、恒温、降温过程，蒸养时间约 10 小时，确保混凝土强度快速增长且均匀稳定。

5.4 预应力施工技术

5.4.1 预应力张拉

张拉采用自动智能张拉控制系统，张拉前需对孔道进行摩阻测试，确定摩擦系数 μ 和管道局部偏差影响系数 k 值。钢绞线下料采用砂轮切割，每束选取一根较下料长度多出 10-20cm 的中间钢绞线，两端编号并与锚板锥孔编号对应，穿束后确保钢绞线顺直无扭结。

张拉采用两端同步对称方式，张拉力与伸长量双控，初应力为张拉控制力的 10%，从初应力开始测量伸长量。

5.4.2 管道压浆

压浆采用智能压浆设备，张拉完成后 48h 内进行。压浆前清理孔道杂物与积水，浆液水胶比控制在 0.26-0.28，流动度初始值 10-17s，30min 内 10-20s。压浆从曲线孔道最低点压入，保持 0.5-0.7MPa 压力，稳压 3-5min，浆液用量不低于孔道体积的 1.5 倍，确保压浆饱满。

压浆过程中制作 40mm × 40mm × 160mm 试件，标养 28 天进行抗压、抗折强度试验，强度需满足设计要求。

5.5 封锚及封端技术

封端施工前检查梁端凿毛质量，凿毛深度 5-10mm，露出石子面。在距离梁端 80cm 位置上下左右各植 1 根 $\phi 16$ 钢筋固定堵头板，缝隙填塞砂浆。绑扎封端钢筋时确保数量与间距符合设计，封端模板贴止浆胶条防漏浆，模板垂直度需严格校验，浇筑混凝土时确保振捣密实，避免出现蜂窝麻面。

6 质量与安全保障措施

6.1 质量保障措施

严格遵循预制梁专项施工方案的质量与安全管理要求，建立“全员参与、全过程管控、全方位覆盖”的质量安全管理体系，明确各岗位人员职责，制定针对性的管控措施，确保移动生产线施工安全、质量可控。

6.1.1 质量管控措施

一是建立原材料质量管控体系，所有进场原材料必须具备出厂合格证及检验报告，进场后进行抽样检测，不合格材料严禁进场使用；原材料存放按品种、规格分类存放，做好防潮、防锈、防污染措施，定期检查原材料质量。二是加

强工序质量管控，每道工序完成后，由施工班组自检、技术人员复检、监理工程师验收，验收合格后方可进入下一道工序，重点检查钢筋加工精度、绑扎质量、模板安装偏差、混凝土浇筑密实度、预应力张拉参数、压浆饱满度等关键指标，做好工序验收记录。三是建立质量追溯体系，对每片箱梁进行编号，记录原材料进场检测数据、各工序施工参数、质量验收结果等信息，实现箱梁质量全程可追溯。四是加强成品保护，梁体脱模后，及时进行标识，存梁期间采用垫木支撑，避免梁体碰撞、受压变形；运输过程中，采用专用运梁车，做好梁体固定与防护，防止梁体损伤。

6.1.2 安全管控措施

一是建立安全管理制度，明确各岗位安全职责，制定安全生产操作规程，对作业人员进行安全培训与技术交底，特种作业人员必须持证上岗，培训合格后方可参与施工。二是加强设备安全管理，定期对移动台座、张拉设备、起重设备等进行检查、维护与保养，及时排查设备故障，确保设备正常运转；设备操作人员严格按照操作规程作业，严禁违规操作。三是加强现场安全防护，在生产线危险作业区域设置防护围栏、警示标识，配备专人值守；作业人员佩戴安全帽、安全带等个人防护用品，高空作业设置安全防护网，防止高空坠落、物体打击等安全事故。四是加强临时用电安全，施工现场临时用电采用“三相五线制”，设置漏电保护装置，电线架空敷设，严禁私拉乱接；蒸汽养护区、压浆区等区域严禁明火，配备消防器材，防止火灾事故。五是制定应急预案，针对混凝土浇筑过程中模板坍塌、预应力张拉异常、设备故障、火灾等突发事件，制定专项应急预案，配备应急物资，定期组织应急演练，确保突发事件能够及时、有效处置。

7 结论

30m 箱梁移动生产线通过流程优化与智能技术应用，实现了箱梁预制的标准化、高效化、高品质生产，有效解决了多标段供应、复杂气候施工等工程重难点，该研究已在实际工程中验证，单梁预制周期缩短至 7 天以内，梁体外观质量与内在性能均满足规范要求，可为同类桥梁工程 30m 箱梁预制提供可靠的技术参考，具有广泛的推广应用价值，随着桥梁工业化、智能化建造技术的不断发展，未来可进一步优化 30m 箱梁移动生产线的智能化水平，引入 BIM 技术、物联网技术，实现生产线施工过程的数字化监控与智能化调度，实时采集施工数据，进行数据分析与优化，进一步提升生产效率与质量管控水平。

参考文献

- [1] 市政道桥箱梁桥施工技术分析[J]. 林启智. 中国住宅设施, 2025(07)
- [2] 新型预应力技术在桥梁工程中的应用[J]. 吴腾飞. 内江科技, 2024(11)
- [3] 预制梁架设施工技术的研究与应用——以济宁市内环高架项目为例[J]. 张彩华; 刘利; 张亚东. 建设科技, 2023(15)