

公路与桥梁工程模块化施工的协同调度技术研究

钟佐华

兴国润泽建筑工程有限公司 江西省赣州 342408

摘要:在公路与桥梁工程工业化转型进程中,模块化施工凭借高效、优质、绿色的优势成为主流发展方向。协同调度作为模块化施工的核心环节,直接决定模块生产、运输、安装全链条的衔接效率,其技术水平对工程进度、成本与质量控制至关重要。当前模块化施工普遍面临时序衔接不畅、多专业协调受阻、资源配置失衡等问题,制约施工效能提升。本文系统梳理模块化施工协同调度的核心要素,构建以信息共享平台、一体化进度计划、动态监控机制为支撑的技术体系,结合实践提出组织架构、标准流程、应急响应等保障措施,形成“要素分析—技术支撑—实施保障”的完整研究框架。研究成果可为公路与桥梁工程模块化施工提供科学的协同调度方案,助力工程工业化水平提升。

关键词:公路与桥梁工程;模块化施工;协同调度;信息共享

引言

随着我国交通基础设施建设向高质量发展转型,传统现场浇筑施工模式面临效率低下、资源浪费、质量管控难度大等瓶颈,模块化施工模式应运而生。该模式通过在工厂完成桥梁墩柱、箱梁、路基构件等模块的标准化生产,再运输至现场进行拼装,大幅缩短现场作业周期,减少施工对周边环境的影响。而协同调度技术作为串联模块化施工各环节的关键纽带,负责统筹模块生产节奏、运输路径规划、现场安装顺序及资源配置方案,其科学性直接影响工程整体效能。当前,部分公路与桥梁工程模块化施工中,因协同调度缺失系统性技术支撑,出现模块生产与现场安装脱节、多专业作业冲突、设备与人力闲置等问题。例如某桥梁工程曾因预制箱梁生产滞后,导致现场吊装设备长时间闲置,不仅增加租赁成本,还延误整体工期。因此,深入研究模块化施工的协同调度技术,明确核心要素与支撑体系,完善实施保障措施,对于推动公路与桥梁工程工业化发展、提升施工管理水平具有重要现实意义。

1 模块化施工协同调度的核心要素

1.1 模块的生产、运输与现场安装的时序衔接

时序衔接是模块化施工协同调度的首要任务,贯穿模块从生产到安装的全生命周期,其核心是确保“生产一批、运输一批、安装一批”的有序衔接,避免出现模块积压或现场待料情况。模块生产需依据现场安装进度制定精准计划,结合模块类型、尺寸及施工工序合理安排生产线排班,同时

考虑混凝土养护、钢结构焊接等工艺的时间要求,确保模块出厂时间与现场需求高度匹配。运输环节需兼顾道路通行条件、运输车辆调度及天气因素,制定动态运输方案,避免模块在运输途中延误。现场安装则需根据模块到场情况、吊装设备状态及作业面条件,优化安装顺序,实现模块吊装、定位、连接等工序的高效衔接。时序衔接的关键在于建立各环节的时间节点联动机制,确保生产周期、运输时长与安装窗口形成闭环管理,避免因单一环节延误引发连锁反应^[1]。

1.2 多专业、多工序的并行作业协调

公路与桥梁工程模块化施工涉及混凝土预制、钢结构加工、设备吊装、电气安装等多个专业,各专业工序交叉重叠,并行作业协调难度较大。协同调度需打破专业壁垒,建立统一的协调机制,明确各专业的作业范围、时间节点及衔接要求。例如桥梁模块化施工中,钢结构模块安装与混凝土浇筑工序需同步规划,避免钢结构安装占用混凝土作业面;路基模块铺设与排水系统施工需协同推进,确保路基压实度与排水管道安装精度。多专业协调的核心是识别各工序间的逻辑关系,区分紧前工序与平行工序,对存在冲突的作业面进行合理划分,采用空间分离或时间错峰的方式避免干扰。同时,需建立专业间的实时沟通渠道,及时解决施工中出现的技术分歧,确保各专业按照统一的进度目标推进作业。

1.3 资源(人力、设备、场地)的动态配置

资源动态配置是保障模块化施工高效推进的物质基础,需根据施工进度变化实时调整人力、设备、场地等资源的投

入比例。人力资源配置需结合各工序的技术要求，合理调配预制工厂的技术工人与现场作业人员，确保关键工序有足够的专业人员支撑，避免出现人力过剩或短缺。设备资源调度需统筹预制工厂的生产设备与现场的吊装、运输设备，根据生产进度与安装需求优化设备使用计划，提高塔吊、运输车、混凝土搅拌站等大型设备的利用率。场地资源管理需科学规划预制工厂内的生产区与存储区，以及施工现场的吊装区与拼装区，确保各功能区既相互独立又紧密衔接。模块存储应分区明确、标识清晰、堆放有序，避免交叉干扰，同时吊装作业区域需预留充足的操作空间，保证设备运行顺畅与施工安全。此外，还需合理设置应急通道与临时材料堆放区域，以应对突发状况并提高物料周转效率。资源配置的关键在于构建一套动态的资源监测与调度机制，通过信息化手段实时追踪各类资源的使用情况与需求变动，并基于数据分析做出精准的资源调配决策，从而最大限度地提升资源利用效率，减少闲置与浪费^[2]。

2 协同调度技术的关键支撑体系

2.1 基于信息共享的协同工作平台

信息共享是实现高效协同调度的重要基础和前提条件。通过结合 BIM 技术与物联网技术所构建的协同工作平台，能够有效打通各参与方之间的信息隔阂，消除数据孤岛，实现从设计、生产、运输到安装等各环节的全生命周期数据实时传递与共享。该平台需要全面整合模块设计参数、生产制造进度、质量检测报告、运输实时轨迹、现场安装状态等多维度、多类型的数据资源，为包括建设单位、施工单位、预制构件工厂、物流运输企业等在内的各方提供统一、便捷、高效的数据交互界面与协同工作环境。例如通过 BIM 模型集成模块的三维设计信息，预制工厂可直接获取生产参数，避免图纸传递过程中的信息偏差；物联网技术可实时采集模块生产设备的运行数据与现场吊装设备的工作状态，为资源调度提供数据支撑。平台还需具备数据分析与预警功能，当模块生产滞后、运输延误或质量不合格时，自动发出预警信息，提醒相关方及时采取措施，确保各环节信息畅通、响应迅速。

2.2 面向全过程的一体化进度计划

一体化进度计划是协同调度的核心依据，需覆盖模块生产、运输、安装全过程，实现各环节进度的无缝衔接与统一管控。计划编制需采用分级管理模式，总进度计划明确工

程整体工期目标与关键节点，分解为生产进度计划、运输进度计划与安装进度计划。生产进度计划需结合模块类型与工艺要求，细化各生产线的作业时间与产量目标；运输进度计划需根据模块出厂时间与现场安装需求，优化运输路线与车辆调度；安装进度计划需明确各模块的吊装顺序、作业时间与衔接工序。计划执行过程中需建立动态调整机制，通过对比实际进度与计划进度的偏差，分析原因并及时调整相关环节的计划安排。例如当现场安装进度提前时，及时通知预制工厂加快模块生产与运输节奏，确保模块供应及时；当生产环节出现延误时，优化现场作业流程，减少对整体工期的影响^[3]。

2.3 实时动态的现场监控与反馈机制

实时动态的现场监控与反馈机制是保障协同调度措施落地的关键，通过融合视频监控、传感器监测、移动终端采集等技术，实现对施工全过程的实时管控。现场监控需重点关注模块吊装精度、连接质量、设备运行状态及作业人员安全等关键要素，通过传感器实时采集模块的安装偏差、结构应力等数据，确保施工质量符合规范要求。同时，通过部署移动终端 APP 实现现场数据的实时采集与上报，作业人员能够在施工过程中随时上传详细的施工进度信息、各类质量问题记录以及资源需求申请等，调度中心基于这些数据进行快速汇总与多维度分析，及时优化和调整调度方案，从而提升整体工程管理的效率与响应速度。例如在桥梁模块吊装过程中，通过视频监控系统实时掌握吊装作业情况，结合传感器数据调整吊装姿态，确保模块精准就位；当现场发现模块存在质量缺陷时，通过 APP 及时反馈至预制工厂，追溯问题原因并制定整改措施，形成“监控—反馈—调整”的闭环管理。

3 协同调度技术的实施保障措施

3.1 明确的协同组织架构与责任分工

建立层级清晰、责任明确的协同组织架构是实施高效调度的组织保障，需成立以项目经理为核心的协同调度领导小组，统筹协调各参与方的工作。小组下设生产调度组、运输调度组、现场调度组与技术保障组，生产调度组负责预制工厂的生产计划制定与进度管控；运输调度组负责运输路线规划、车辆调度及模块交接；现场调度组负责现场安装进度、资源配置及作业协调；技术保障组负责解决施工中的技术难题，提供技术支持。同时，应通过正式流程明确各参与

方的具体职责与权限范围，在此基础上签订详细的协同合作协议，明确规定各方应承担的违约责任以及具体可操作的考核标准。例如某公路桥梁工程中，通过成立协同调度小组，明确预制工厂需在每月 25 日前上报下月生产计划，运输企业需在模块出厂前 24 小时确认运输方案，现场施工队需每日上报安装进度，通过责任倒逼各环节高效协同，有效避免了推诿扯皮问题^[4]。

3.2 标准化的接口与作业流程

标准化的接口与作业流程是减少协同冲突、提升调度效率的关键，需从模块设计、生产、运输到安装全流程制定统一的标准体系。接口标准化包括模块连接接口、信息交互接口与设备对接接口，模块连接接口需明确尺寸偏差、连接方式及强度要求，确保不同工厂生产的模块可互换对接；信息交互接口需统一数据格式与传输标准，实现协同工作平台与各参与方系统的数据互通；设备对接接口需规范吊装设备、运输车辆与模块的连接方式，提高作业安全性与效率。作业流程标准化需要进一步细化各个环节的具体操作规范，明确模块化生产过程中的工艺技术标准、运输过程中的固定与保护要求、安装作业的详细流程步骤以及质量检测的具体标准方法。在某桥梁模块化施工项目中，通过制定并实施《模块接口技术标准》与《协同作业流程规范》，全面提升了施工流程的精确性与协同性。相关标准明确了模块对接的技术参数与误差范围，成功将模块间的连接精度误差严格控制在 2 毫米以内；同时，流程优化显著提高了吊装作业的效率，整体提升幅度达到 30%。此外，规范的执行还有效保障了各部门、各环节之间的协同调度，实现了施工过程的高效顺畅与安全可控。

3.3 灵活的应急响应与调整机制

公路与桥梁工程施工受天气、地质、设备故障等不确定因素影响较大，建立灵活的应急响应与调整机制是保障协同调度稳定性的重要措施。需针对可能出现的突发情况制定专项应急预案，包括极端天气应急方案、设备故障应急方案、模块质量问题应急方案等。极端天气来临时，及时暂停现场吊装作业，将模块转移至安全存储区域，调整生产与运输计划；设备故障时，启动备用设备或协调周边设备支援，同时优化作业流程，减少对进度的影响；模块质量出现问题时，及时调配备用模块进场，组织技术人员分析问题原因，指导预制工厂整改。例如某高速公路模块化施工中，台风来临前，

协同调度小组根据应急预案，提前 2 天暂停模块运输，将现场已到场的 12 个箱梁模块固定在临时支架上，安排吊装设备转移至避风区域，台风过后仅用 1 天时间便恢复施工，未对整体进度造成影响。同时，建立应急演练制度，定期组织各参与方开展应急演练，提升应急处置能力，确保突发情况发生时能够快速响应、高效处置^[5]。

4 结语

公路与桥梁工程模块化施工的协同调度技术，是推动工程工业化转型、提升施工管理水平的核心支撑。协同调度的高效实施需以时序衔接、专业协调、资源配置为核心要素，构建信息共享平台、一体化进度计划、动态监控机制三位一体的技术支撑体系，并通过明确组织架构、规范作业流程、完善应急机制提供保障。各要素与技术体系相互协同，形成覆盖模块全生命周期的调度管理模式，可有效破解传统施工中各环节脱节、资源浪费、进度失控等问题。公路与桥梁工程具有地域差异性大、施工环境复杂等特点，不同工程的协同调度需求存在差异，在实际应用中需结合工程规模、地质条件、技术要求等因素优化调度方案，实现技术与实践的精准匹配。协同调度技术的发展需紧跟数字化、智能化趋势，进一步融合大数据、人工智能等技术，提升调度决策的科学性与前瞻性。工程技术人员应持续加强实践总结与技术研发，不断完善协同调度体系，推动公路与桥梁工程模块化施工向更高质量、更高效率的方向发展，为我国交通基础设施建设提供有力支撑。

参考文献：

- [1] 胡阿祥,周乐木,邓海毅 .550t 缆载吊机采用模块化设计匹配两座跨长江悬索桥施工的关键技术 [J]. 武汉理工大学学报 ,2020(012):000.
- [2] 严朝成,何文静 . 构建高职道路桥梁工程技术专业模块化课程体系的研究 [J]. 交通科技与管理 ,2020(8):0162-0162.
- [3] 张俊良 . 桥梁工程施工安全模块化管理研究及应用分析 [J]. 2020.DOI:10.12159/j.issn.2095-6630.2020.02.1791.
- [4] 王锋 . 桥梁工程施工安全模块化管理的实践 [J]. 交通科技与管理 ,2020,000(014):P.1-2.
- [5] 张恩广,张勇 . 桥梁工程模块化施工的安全监测方法探讨与应用 [J]. 福建交通科技 ,2021(11):63-66.