

基于 BIM 的市政桥梁预制拼装施工协同管理

刘锦棠

湖北交投建设集团有限公司道路分公司 湖北 武汉 430070

【摘要】：市政桥梁预制拼装把构件生产、运输、临时存放与现场架设组成一条紧耦合作业链，任一环节的信息滞后都会放大为停工或返工。针对模型、计划和现场状态分散的问题，建立以构件编码为主索引的 BIM 协同管理体系。通过统一信息粒度、联动时空计划、设置状态门禁与异常闭环，使预制场放行、车辆到场、起重窗口和桥位条件在同一版本下校核。该方法可为少占道、快周转条件下的市政桥梁装配施工提供可执行、可追溯的管理路径。

【关键词】：BIM；市政桥梁；预制拼装；协同管理；构件编码

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.033

引言

市政桥梁施工受交通导改、场地狭小和夜间窗口等条件约束，预制拼装虽把大量作业转移到场外，却增加了生产、物流与桥位现场之间的管理接口。传统周计划和表格传递难以表达构件姿态、空间冲突及实时状态。BIM 可将建设管理规则与可识别的工程对象数据相连接。以下分析预制端、运输端和装配端的信息接力，讨论 BIM 协同指标、诊断流程与闭环治理方法。实施边界与数据责任同样纳入分析。

1 BIM 协同管理概念及现有研究进展

BIM 协同管理不是把日报、进度表附在三维模型上，而是以可识别的工程对象承载责任、时间、质量和资源信息。对预制拼装桥梁而言，协同对象从整联或整跨细化到梁段、盖梁、立柱、套筒及临时支撑，每个对象都对应唯一编码与允许状态。

1.1 BIM 协同管理概念辨析

BIM 协同包含三层含义。数据层解决同一构件在设计、生产和施工系统中的身份一致；业务层规定什么状态可以触发下一道工序；组织层明确由谁发起、复核和关闭任务。三维可视化只是信息交互入口，不能代替工序放行。例如一片节段梁完成蒸汽养护，并不等于已具备运输条件；其尺寸偏差、吊点状态、张拉压浆记录与运输支架校核均须通过。平台将这些条件组合为“可发运”门禁，才形成可执行的协同。BIM 与 GIS 融合时，空间对象和建设周期任务需以统一身份关联，否则模型更新难以进入管理决策，这一原理同样适用于预制桥梁构件^[1]。实际应用时仍须检查编码映射和属性责任是否一致。

1.2 预制拼装研究热点与趋势

预制拼装研究正沿着“可建造性检查—施工模拟—状态感知—动态决策”向前推进。设计阶段关注预留孔、套筒、湿接缝和吊点的几何冲突；施工准备阶段关注车辆转弯包络、吊车作业半径与架设时序；实施阶段则关注扫码报工、点云复核和进度偏差重排。趋势并非将所有信息都收入模型，而是把高频状态留在业务数据库，模型仅保留对象索引和关键参数。这种分层承载可避免文件过大，也使现场移动端能在信号不稳定时

完成必要回传。参数化 BIM 依赖数据与规则同步驱动，预制拼装施工也应把构件属性、放行条件和计划动作绑定，以避免模型只有几何表达^[2]。功能配置应根据当前冲突类型及现场回传条件确定。

1.3 市政桥梁协同管理的工程意义

市政桥梁与新建公路桥不同，其工作面常与已有道路、管线、商业出入口和公交运行重叠。一次架设不能按时完成，损失不只是起重设备台班，还包括导改延期、车辆等待和后续工序窗口错失。BIM 协同管理能将“构件到场”改写为一组可验证条件：构件已放行、通行路线无障碍、桥位支座高程已复核、吊装区已封控、风速与照明符合作业要求。管理人员由此能在封道前暴露冲突，把现场等待转化为前置校核，这是其对市政快速建造的直接价值。工程风险管理由事后处置向源头智控转变时，必须在作业开始前核对对象状态与环境条件，这为桥梁吊装门禁的前置设置提供了管理依据^[3]。桥位放行还要结合本次封道窗口和起重作业条件复核。

2 市政桥梁既有协同体系的调查与分析

已有管理体系往往以合同包为边界：预制厂管成品，运输单位管车辆，施工现场管吊装。边界内部的任务可能顺畅，但跨边界的信息经由电话、即时消息和多份表格传递，一旦计划调整，很难确认哪一份为当前版本。

2.1 预制端信息协同体系的调查与分析

预制端的常见断点是生产批次与现场安装单元不一致。厂内按模具和浇筑日期组批，桥位则按墩号、跨号与架设次序需求构件，若编码不能互相映射，计划员只能人工拼接。调查应对模具占用、钢筋检验、混凝土强度、几何复测、缺陷修复与成品放行的时间戳做串联检查。管理上要区分“生产完成”和“可运输”，前者是工艺状态，后者还受外观、尺寸、强度、吊点及资料完整性约束。建筑施工管理中的影响因素常跨越材料、人员和工序接口，预制端只有把质检、缺陷修复和成品放行串成状态链，才能减少后续交接失真^[4]。该判断最终应回到对应构件的放行记录和质检签认时点。

2.2 运输端资源协同体系的调查与分析

运输端并非单纯的发车任务。构件长度、重量、重心和支承位置决定车型与装载姿态，城市道路的限高、限宽、转弯半径和时段限行同时决定通行路线。调查应把行车路线模型与构件包络体结合，检查路口转向、地下管线上方承载及桥下净空。运输计划还要与架设顺序反向编排，避免先到构件挡住后到构件。当封道窗口缩短时，平台不应简单催车，而要重算发车间隔、临时停靠位和吊车节拍，确保到场流量不超过现场消化能力。运输资源还应绑定司机、押运人、许可证件和应急联络方式，但个人信息只对授权角色开放。路线临时管制或车辆故障时，调度员可基于车辆当前位置和构件优先级重排，同时将新的预计到场时间推送给现场。

2.3 桥位现场装配协同体系的调查与分析

桥位现场的协同难点是动态条件多，而传统交底图只表达理想状态。支座垫石高程、临时支撑位置、吊车支腿基础、已架构件姿态和作业区封闭范围都会变化。调查应以每次吊装为单位，比对计划模型与现场实际的差异，并记录差异是在何时被发现的。若冲突在起吊后才暴露，说明前置门禁缺失；若已经发现却未传递给运输端，则属于任务关联缺失。将问题归到具体接口，比笼统归因于“沟通不畅”更有修复价值。现场状态的更新也要设置时效。例如支座高程复核记录在后续垫石处理后应自动失效，气象信息只能支撑相应时段的吊装决策。

2.4 BIM 时空信息协同体系的综合分析

BIM 时空协同的核心是让空间对象与时间任务保持可双向查询。从模型选中一片梁，应能查看它的生产放行、车辆绑定、计划到场和架设窗口；从一项吊装任务进入，也应能定位相关构件、支座、起重设备和交通封控区。综合分析可采用“正向演练+反向追溯”。正向演练检查计划是否存在空间和资源冲突；反向追溯从延误或不合格状态出发，定位最早未满足的前置条件。数字化转型中的 BIM 建设管理价值来自业务信息可关联、可更新和可追溯，故时空协同不应停留在一次性施工模拟，而要支持偏差后的动态重排^[5]。重排结果须与车辆、设备和封控资源的可用状态同步校验。

3 市政桥梁预制拼装施工协同管理指标体系

指标体系的作用是将“协同好不好”转换为可监测的工程现象。指标应分为前置门禁、过程流动和结果偏差三类。门禁类回答任务能否开始，如构件放行完整率；

3.1 预制拼装施工协同管理指标体系

可将一级指标设为信息一致性、任务可执行性、资源匹配度和异常闭环性。信息一致性下设编码唯一率、属性完整率和版本同步率；任务可执行性下设前置条件通过率、计划锁定率与按时放行率；资源匹配度下设车辆等待时长、吊车窗口冲突数和临时存放占用率；异常闭环性下设首次响应时长、超期任

务数与重复问题率。其中任务前置通过率可表示为 $P_c = N_p / N_t \times 100\%$ ， N_p 为开始前全部条件已核销的任务数， N_t 为同期计划任务总数。该指标用于判断管理是否仍在依赖带病开工。各指标还应登记对象集合、采集周期和责任角色。同一项指标若已按构件计算同时按任务计算，数值无法直接比较。任务前置通过率按式（1）计算。

$$P_c = \frac{N_p}{N_t} \times 100\% \quad (1)$$

式（1）中： P_c 为任务前置通过率； N_p 为开始前全部前置条件已核销的任务数； N_t 为同期计划任务总数。式（1）中 P_c 受 N_p 与 N_t 的比值关系控制，任一门禁条件未核销都不计入 N_p 。当 P_c 下降时，应下钻到具体构件和失效条件，而不是仅追求比率回升。式（1）用于判断前置条件的整体通过水平，随后再将各协同环节的计划时长、允许偏差和复核时限转换为可执行的处置依据。关键协同任务的时长、偏差与处置关系见表 1。

表 1 预制拼装关键协同任务判读参数

协同环节	计划时长/min	允许偏差/min	复核时限/min	触发动作
预制放行	60.00	12.00	22.00	暂停发运
运输调度	120.00	25.00	18.00	重排发车
交通导改	45.00	5.00	8.00	切换时段
桥位装配	90.00	10.00	14.00	禁止起吊
资源配置	75.00	16.00	20.00	调整作业面
问题闭环	30.00	7.00	6.00	升级复核

表 1 的计划时长/min 在 30 至 120 之间变化，交通导改的允许偏差/min 仅为 5，其复核应优先于一般资源调整。复核时限/min 与触发动作联用，可避免数值报警没有实际响应。

3.2 市政桥梁关键协同指标选取

关键指标的选取要服从当期作业瓶颈，不宜追求数量。若项目采用夜间短时封道，应优先监测到场偏差、单件吊装节拍与窗口有效利用率；若预制场距离远且路况复杂，应增加发车间隔稳定性和路线异常响应时长；若节段拼装对姿态精度敏感，则应关注实测点云与设计模型的偏差闭环。指标阈值不应脱离项目计划随意设定，可先根据封道窗口和工序持续时间倒推可允许偏差，再用连续数个工作面的记录校准预警级别。这样得到的指标能触发具体动作，而不只是月末展示。指标上线后应设置试运行期，检查数据来源是否稳定、预警是否过密以及责任人是否能采取实际行动。

4 基于 BIM 的预制拼装施工协同管理方法

协同管理方法按“建立对象—绑定任务—校验门禁—执行回传—偏差重排”展开。第一步确定构件、车辆、作业区和机

具的编码规则,保证模型与业务数据可关联;再以规则清单自动识别空间、资源和质量条件。

4.1 预制拼装施工协同管理的诊断流程

诊断从一个具体偏差事件开始。例如构件未在计划时间到场,第一步核对车辆轨迹与发车时间,判断延误发生在厂内放行、装车、通行还是现场入口;继而检查该偏差是否已通过构件编码关联到吊装任务;再向前追溯最早一个未按时确认的门禁条件。诊断输出应包含问题对象、原定时间、实际状态、受影响任务、责任角色与最迟回复时点。若只记录“运输延误”,同类问题下次仍会重复。流程关注最早失效点,能把责任从末端接手者还原到真实接口。诊断完成后还要区分单次偏差和整体性缺陷。单次偏差可通过替代资源或调整窗口恢复;同一接口在多个桥跨反复失效,则应修改数据规则、合同接口或审批权限。

4.2 基于 BIM 的市政桥梁协同闭环治理方法

闭环治理不以“问题已转发”为终点,而以受影响的模型、

计划和现场状态重新一致为关闭条件。异常任务创建后,责任人提交处置方案,计划员评估对后续构件、车辆和封道窗口的影响,技术人员在模型中复核新的空间关系,现场再确认执行条件。只有上述记录齐全,任务才能关闭。对重复出现的异常,不应继续增加提醒,而要修改门禁规则或编码映射。数字孪生分析强调现实状态与模型计算持续对应,桥梁协同闭环同样需在方案复核和现场确认后更新模型版本,才能作为下一轮决策基线^[6]。新版本生效前还要保留旧版决策依据与异常处置记录。

5 结语

市政桥梁预制拼装的管理难点集中在跨场所、跨组织的状态接力。BIM 应以构件编码和工序状态为纽带,将预制放行、运输路线、吊装资源和桥位条件纳入同一可追溯链条。实施时先统一对象和版本,再建立前置门禁、偏差诊断与任务闭环,能够把起吊后暴露的冲突前移到封道和发车之前。指标选择应与当期瓶颈联动,并用状态记录校准阈值。如此,BIM 才从展示工具转化为支撑快节拍装配式施工的管理基础。

参考文献:

- [1] 唐可.基于 BIM 与 GIS 融合的房地产测绘数据在工程建设全周期管理中的应用研究[J/OL].中国建筑知识仓库,1-4[2026-07-17].
- [2] 田林钢,盛瑞,王彩青,等.数据与规则驱动的灌区渠系 BIM 参数化研究[J/OL].中国农村水利水电,1-13[2026-07-17].
- [3] 何平,张鑫,朱崇午.从“事后处置”到“源头智控”——山地城市高边坡工程安全管理的重庆探索[J/OL].重庆建筑,1-9[2026-07-17].
- [4] 郑涛.建筑工程施工管理影响因素与解决措施研究[J/OL].中国建筑知识仓库,1-5[2026-07-17].
- [5] 张晓春.数字化转型背景下 BIM 技术在建设管理中的应用[J/OL].中国建筑知识仓库,1-5[2026-07-17].
- [6] 朱泽安,傅于成.基于数字孪生技术的曲线盾构隧道开挖面稳定性分析[J].中国水运,2026,(14):130-132.