

涉路场景下大悬臂预应力盖梁模块化施工技术研究

谢睦森

保利长大工程有限公司 广东 广州 511431

摘要:大悬臂预应力盖梁广泛应用于城市高架和高速公路互通立交,其施工质量与效率直接影响项目总体工期。在涉路施工条件下,传统现浇工艺面临交通干扰大、高空作业风险高、施工周期长等突出矛盾。本文以模块化建造理念为指导,系统研究了盖梁模块划分原则、预制场规划与胎架设计、运输与架设装备选型、节点连接构造及预应力体系一体化施工等关键技术,提出了“工厂预制—分段运输—现场组拼—整体张拉”的模块化施工工艺,并构建了包含交通组织、安全管控和质量验评的配套保障体系。工程实践表明,模块化施工可有效缩短涉路作业时间,降低高空作业风险,减少对既有交通的影响,是涉路场景下盖梁施工的优选方案。

关键词:大悬臂盖梁;预应力盖梁;模块化施工;涉路施工;预制拼装

引言:随着城市交通量持续增长,既有道路上方新建高架或互通立交的涉路工程日益增多。大悬臂预应力盖梁因能有效减少桥墩占地、优化桥下空间利用,在城市高架和高速公路改扩建中广泛应用。模块化施工将盖梁分解为若干预制模块,在预制场内完成钢筋绑扎、预应力管道安装和混凝土浇筑,现场仅需吊装拼接和张拉压浆,可大幅缩短现场作业时间。本文从模块划分、预制工艺、运输架设和节点连接等方面,系统研究涉路场景下大悬臂预应力盖梁模块化施工技术。

1 大悬臂预应力盖梁的结构特征与施工现状

1.1 大悬臂盖梁的结构特点与应用场景

大悬臂预应力盖梁是指墩顶盖梁向两侧伸出较长悬臂的预应力混凝土结构,其主要功能是支承上部梁体荷载并传递至桥墩。悬臂长度较大时,盖梁根部弯矩和剪力显著增大,需通过配置纵向预应力束来平衡恒载和活载产生的拉力,保证结构安全。大悬臂盖梁在城市高架桥中的典型应用场景包括:桥墩设置于中央分隔带内,两侧悬臂分别支承上下行主梁;匝道与主线交汇处,盖梁需同时支承多向梁体;以及高速公路改扩建中利用大悬臂盖梁减少新增占地。此类结构通常采用 C50 及以上高强度混凝土、大直径预应力钢绞线和大吨位群锚体系,预应力管道采用塑料波纹管形成真空辅助压浆系统。结构构造复杂,钢筋骨架密集,预应力管道定位精度要求高,传统现场浇筑方式质量控制难度较大。

1.2 传统现浇施工工艺及其局限性

传统大悬臂预应力盖梁施工采用支架现浇工艺,即在地面搭设满堂支架或钢管贝雷支架,在支架上完成

模板安装、钢筋绑扎、预应力管道定位、混凝土浇筑、养护和预应力张拉等全部工序。在非涉路工况下该工艺技术成熟,但在涉路施工中暴露出明显局限性。交通干扰方面,满堂支架需占用桥下道路空间,通常需封闭多个车道,对城市快速路或高速公路通行能力造成严重影响^[1]。安全风险方面,高空支架搭设危险性大,支架基础处理不当可导致不均匀沉降甚至垮塌。施工周期方面,从支架搭设到张拉压浆,单幅盖梁施工周期一般不少于 30 天,长期占用桥下空间。此外,现场作业受天气条件影响大,工期保障能力差。上述局限性使传统现浇工艺在涉路场景下的适用性受到严重制约。

1.3 模块化施工的概念与适用性

模块化施工是将大型结构物按结构受力特征和运输吊装条件拆分为若干标准模块,在预制场内完成钢筋绑扎和混凝土浇筑,然后运输至现场进行吊装拼接和后浇段连接,最终形成整体结构的一种先进建造模式。其核心理念是“现场问题后场解决、高空作业地面完成”。模块化施工在涉路盖梁工程中的适用性体现在:其一,缩短现场作业时间,大幅减少涉路占道周期;其二,降低高空作业风险,钢筋绑扎和模板安装在地面完成;其三,提升质量控制水平,工厂化条件下各项精度指标优于现场作业;其四,减少对交通的影响,吊装作业可选择交通低峰时段集中进行。模块化施工的成功实施依赖于合理的模块划分、可靠的节点连接构造、精密的预制精度控制和科学的施工组织设计。

2 模块划分与预制关键技术

2.1 模块划分原则与方案设计

模块划分是模块化施工的首要环节,直接决定预制、运输和架设的可行性与经济性。模块划分应遵循以下核心原则。结构受力合理性原则——模块拼缝位置应避开最大弯矩和最大剪力截面,通常设在悬臂根部弯矩较小区域或反弯点附近,避免在应力集中区设置施工缝;模块自身的刚度应满足运输和吊装过程中的受力要求,不发生开裂或过大变形。运输可行性原则——模块的最大尺寸不得超过道路运输限界,单件重量受运输车辆承载能力和起重设备起吊能力双重制约,通常控制在 80~150t 范围内,超出时需进行专项运输方案设计。吊装可行性原则——模块重量和外形尺寸应匹配现场起重设备的起吊能力,吊点布置应使模块在起吊过程中保持平衡,避免偏心荷载导致模块倾斜或失稳。经济性原则——在满足上述约束前提下,模块数量宜少不宜多,以减少拼缝数量和现场连接工作量。基于上述原则,大悬臂预应力盖梁通常划分为三种典型方案:方案 A 为“中间段+两侧悬臂段”三分块,适用于单侧悬臂不超过 8m、总长不超过 25m 的盖梁;方案 B 为“等分两段”对称划分,适用于交通组织要求极高、需快速吊装合龙的工况;方案 C 为整体预制、整孔架设,适用于运输和吊装条件较好的项目。

2.2 预制场规划与胎架设计

预制场是模块化施工的“制造基地”,其规划合理性和胎架精度直接影响模块质量。预制场选址应靠近施工现场,以缩短运输距离、降低运输成本和风险;场地面积需满足模块预制、养护、存放和装车的功能需求,单个盖梁模块预制区不少于 200m²。预制场应具备硬化地坪、龙门吊、混凝土拌合站、预应力张拉设备及养护设施。胎架设计是模块预制精度控制的核心环节。胎架采用型钢焊接而成的钢结构支撑体系,其顶面标高按模块底面设计标高精确放样,侧向设置限位装置确保模块平面位置准确^[2]。胎架设计应充分考虑模块脱模和吊运的操作空间,侧模和底模采用可调式构造以适应不同模块尺寸变化。胎架上设置专门的预应力管道定位支架,按设计坐标精确定位波纹管位置,确保管道线性符合设计要求。混凝土浇筑前应对胎架进行全面验收,重点检查模板拼缝严密性、预应力管道定位准确性、锚垫板垂直度和预埋件位置,验收合格后方可进入下道工序。

2.3 模块预制工艺与质量控制要点

模块预制工艺流程涵盖钢筋骨架绑扎与定位、预应力管道安装、模板安装、混凝土浇筑与养护以及模块标识与存放等主要环节。钢筋骨架绑扎在专用胎架上完成,通过定位支架保证钢筋间距准确并控制保护层厚

度,骨架外侧设置高强砂浆垫块或塑料垫块,使保护层厚度偏差控制在-5mm 至 +5mm 范围之内。预应力管道选用塑料波纹管,安装时逐节连接且接头密封严密,管道内穿入衬管以保持管道设计线形并防止浇筑过程中发生变形。锚垫板安装后应垂直于预应力束轴线,其垂直度偏差不得超过 1°,锚垫板与波纹管连接处需进行密封包裹。模板采用定型钢模板或高强复合材料模板,板面平整度通过 2m 靠尺检测,偏差不大于 2mm,拼缝严密性直接影响模块外观质量和结构尺寸精度,脱模剂应涂刷均匀。混凝土选用强度等级不低于 C50 的高性能混凝土,浇筑作业采用分层连续浇筑工艺,每层厚度不超过 30cm,并辅以插入式振捣器进行振捣密实,振捣过程中需避免碰撞预应力管道和各类预埋件。模块养护采用蒸汽养护与自然养护相结合的方式,待混凝土强度达到设计强度 85% 以上时,方可进行预应力初张拉作业以及模板拆除。拆模后对模块表面进行质量检查,确认合格后喷涂模块编号、安装方向标记和重量标识,最后将模块存放于专用存放区内等待运输。

3 运输、架设与节点连接技术

3.1 模块运输方案与交通组织

模块运输采用液压轴线车或专用模块运输车,车辆承载能力需满足最重模块运输要求并留有安全裕量。模块在运输车上采用多支点均衡支承,支承点设置缓冲垫层,绑扎采用多点固定防止滑动倾覆。运输路线应提前踏勘,确认沿途桥梁承载力、弯道半径和净空高度满足要求。涉路交通组织以“保畅通、保安全”为原则,利用夜间或交通低峰时段进行运输和吊装,施工区域实施车道封闭或导改,设置安全设施引导车辆绕行,配备专职交通疏导员配合现场指挥,建立交通拥堵应急预案。同时提前发布施工公告,通过媒体和导航软件向公众推送绕行信息,最大限度降低对公众出行的影响^[3]。

3.2 架设装备选型与吊装工艺

起重设备选型以最重模块重量为基准,结合吊装半径和起吊高度选用履带式或汽车式起重机,双机抬吊时,构件重量不得超过两台起重机额定起重量总和的 75%,单台起重机分配荷载不得超过其额定起重量的 80%。吊具根据模块形式专门配置,采用吊梁分散荷载,吊点布置使模块重心位于吊点连线中心。吊装工艺按“试吊—正式起吊—就位—微调”流程执行:先起吊至一定高度悬停检查,确认安全后正式起吊;模块接近就位时采用导向装置辅助精确定位,利用定位标记控制安装误差;就位后立即安装临时连接件固定模块,确保后续作业安全。

3.3 节点连接构造与预应力一体化施工

节点连接分为湿接缝连接和预应力连接两种方式。湿接缝连接是在模块拼缝处设置后浇带,通过预留钢筋搭接或套筒连接,浇筑微膨胀混凝土形成整体,湿接缝宽度一般为60~100cm,混凝土强度不低于母体。预应力一体化施工是模块化盖梁的技术核心——各模块预制时已贯通安装预应力管道,模块就位和湿接缝达到强度后进行通长预应力束穿束和张拉,通过预应力将各模块串联为整体受力结构,保证与现浇盖梁同等的整体性能。预应力张拉采用两端同步、对称分级原则,张拉完成后及时进行真空辅助压浆,确保孔道饱满密实。

4 施工保障体系与效益分析

4.1 施工安全管控体系

模块化施工的安全风险虽较传统现浇工艺有所降低,但大型模块吊装、高空临边作业、大型起重设备使用等环节仍存在较高安全风险,需建立系统化的安全管控体系。安全管控体系涵盖组织保障、制度保障和技术保障三个层面。组织保障层面,建立“项目经理—安全总监—专职安全员”三级安全管理网络,明确各岗位安全职责。制度保障层面,编制专项安全施工方案并组织专家论证,建立安全技术交底制度、班前安全会制度和安全检查制度^[4]。技术保障层面,对大型模块吊装制定专项吊装方案并进行承载力和稳定性验算,起重设备进场前进行安全检测和试吊验证,操作人员持证上岗;高空临边作业设置安全护栏和安全网,作业人员佩戴安全带并设置安全绳;预制场和施工现场实行封闭管理,设置醒目安全标志和警示灯光;制定高处坠落、起重伤害和交通事故等专项应急预案,每季度组织应急演练并持续改进,提高突发事件处置能力。

4.2 质量验评标准

质量验评分预制模块和现场安装两个阶段。预制阶段检验内容包括模块结构尺寸偏差、外观质量、混凝土强度、钢筋保护层厚度及预应力管道位置偏差。现场安装阶段检验内容包括模块安装位置偏差、垂直度偏差、湿接缝混凝土强度、预应力张拉应力与伸长值双控偏差及管道压浆饱满度。各项指标均需以实测数据为依据形

成质量验评报告,作为工程验收资料存档。

4.3 综合效益分析

模块化施工在涉路盖梁工程中的综合效益显著。工期效益方面,现场作业时间较传统工艺大幅压缩,涉路占道周期显著缩短。安全效益方面,将主要工序从高空转移至预制场地面完成,高空作业量显著降低,安全风险可控。社会效益方面,夜间集中吊装、白天恢复交通的模式减少对城市交通和公众出行的影响。经济效益方面,模块化预制增加预制场建设和运输费用,但减少了支架搭设、现场模板和交通管制费用,综合造价具有竞争力。对于交通流量大、社会影响敏感的项目,模块化施工的综合效益更为突出^[5]。

结束语

大悬臂预应力盖梁模块化施工技术是应对涉路施工复杂条件、突破传统现浇工艺局限性的有效技术路径。本文从模块划分、预制工艺、运输架设和节点连接等方面系统研究了模块化施工的关键技术,构建了涵盖交通组织、安全管控和质量验评的施工保障体系,形成了“工厂预制—分段运输—现场组拼—整体张拉”的完整工艺链条。模块化施工可有效缩短涉路占道时间、降低高空作业风险、提升构件质量水平,在城市高架和高速公路改扩建涉路工程中具有显著的技术经济优势。随着预制装配式桥梁技术的持续发展,模块化施工将在大悬臂盖梁工程中获得更广泛的应用。

参考文献

- [1] 郭智博,马兴锦,陈文昌.涉路场景下大悬臂预应力盖梁模块化施工技术研究[J].住宅产业,2026(2):78-80.
- [2] 郭祥林.大悬臂预应力混凝土盖梁力学特性研究[J].工程建设与设计,2025(11):138-140.
- [3] 李国谱.大悬臂预应力盖梁支架构造与稳定性分析[J].建筑机械化,2025,46(2):108-111.
- [4] 王霄川,王罗罗,黄睿.大悬臂预应力盖梁施工控制及监测分析[J].居业,2024(2):76-77.
- [5] 林荃冰.横坡对超大悬臂预应力盖梁的受力影响[J].城市道桥与防洪,2024(10):95-98.