

中小跨径桥梁预制拼装施工关键技术研究

乔 牧

内蒙古新鑫工程建设有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘 要：本文聚焦中小跨径桥梁预制拼装施工关键技术。先构建以“标准化设计、工厂化制造等”为核心的技术体系，明确适用范围与选型原则。接着阐述预制构件深化设计、制造，高效连接节点设计与施工工艺优化，以及施工精度控制与质量验收标准等内容。旨在为该类桥梁预制拼装施工提供系统性技术支持，推动桥梁建设向工业化、集约化转型，保障工程质量与施工效率。

关键词：中小跨径桥梁；预制拼装；连接节点；施工精度；快速建造

引言：在桥梁建设领域，中小跨径桥梁数量众多。传统现浇施工模式存在效率低、质量难保证等问题。预制拼装技术凭借高效、优质、绿色等优势，成为桥梁建设发展方向。然而，该技术在中小跨径桥梁应用中，涉及设计、制造、连接、精度控制等多方面关键技术难题。深入研究这些关键技术，对提升中小跨径桥梁建设水平，推动行业技术进步具有重要意义。

1 中小跨径桥梁预制拼装技术体系构建

1.1 技术体系框架

中小跨径桥梁预制拼装技术体系以“标准化设计、工厂化制造、装配化施工、信息化管控”为核心，构建涵盖设计、制造、拼装、验收全流程的一体化技术框架，打破传统现浇施工的碎片化模式，实现桥梁建设的高效、优质、绿色、安全目标。体系框架主要分为四大核心模块：设计模块聚焦标准化构件设计与体系优化，明确构件接口、连接方式及受力特性；制造模块重点规范预制构件生产流程，建立高精度制造管控体系；拼装模块优化施工工艺，提升现场拼装效率与精度；管控模块整合信息化技术，实现全流程质量、进度、安全的动态监测与追溯^[1]。各模块相互衔接、协同联动，形成“设计引领、制造保障、拼装高效、管控到位”的完整技术体系，为中小跨径桥梁预制拼装施工提供系统性技术支持，推动桥梁建设向工业化、集约化方向转型。

1.2 适用范围与选型原则

中小跨径桥梁预制拼装技术主要适用于跨径20m~50m的公路、市政桥梁，尤其适合城市道路改扩建、乡村公路升级、工业园区道路等场景，也可用于地质条件稳定、施工场地受限、对施工进度要求较高的桥梁工程，不适用于高烈度地震区、地质条件复杂（如软土地基未处理）及跨径过大的桥梁。选型原则需遵循“因地制宜、经济合理、安全可靠、便于施工”的核心

要求：结合工程地质、水文条件及交通需求，选择适配的预制构件类型与连接方式；优先采用标准化、模块化构件，降低设计与制造成本，提升施工效率；兼顾结构安全性与耐久性，确保预制构件及连接节点满足使用年限要求；考虑施工场地条件，优先选择便于运输、拼装的构件形式，减少现场作业量；结合环保要求，优先采用绿色建材与节能工艺，减少施工扬尘、噪音及建筑垃圾，实现绿色施工。

2 预制构件深化设计与制造技术

2.1 预制构件深化设计

预制构件深化设计是预制拼装技术的核心前提，需在原设计基础上，结合工厂制造、现场拼装及运输要求，对构件尺寸、构造细节、连接接口等进行精细化优化，确保构件的通用性、可制造性与可拼装性。深化设计重点关注三个方面：一是构件标准化优化，统一构件截面尺寸、钢筋布置及预埋件位置，减少构件类型，提升生产效率与互换性；二是接口深化设计，明确预制构件之间的连接方式、预留孔洞尺寸及定位精度，确保拼接紧密、受力传递顺畅，避免出现拼接缝隙过大、定位偏差等问题；三是构造细节优化，对构件棱角、预留槽口、预埋件锚固等细节进行设计，方便模具制作、钢筋安装及混凝土浇筑，同时增强构件耐久性，减少后期维护成本。另外，深化设计需结合BIM技术，建立构件三维模型，模拟构件制造、运输及拼装全过程，提前排查设计隐患，优化设计方案，确保深化设计成果满足工程实际需求。

2.2 高精度模具设计与制作

高精度模具是保障预制构件尺寸精度、外观质量的关键，其设计与制作需严格遵循“精度达标、结构牢固、操作便捷、重复利用”的原则。模具设计需结合预制构件的形状、尺寸及精度要求，采用模块化、标准化

设计, 优先选用钢模, 确保模具的刚度、强度及稳定性, 避免浇筑过程中出现变形、漏浆等问题。模具精度需严格控制, 构件尺寸偏差、平整度、垂直度等指标需符合规范要求, 接口处需设置密封装置, 防止混凝土漏浆^[2]。模具制作过程中, 需加强对模板切割、焊接、打磨等工序的质量控制, 确保模板表面光滑、尺寸精准, 拼接处贴合紧密。同时, 模具需设置便于拆卸、安装的支撑结构与定位装置, 提升模具周转效率, 降低制造成本。制作完成后, 需对模具进行全面检测, 不合格模具严禁投入使用, 确保模具质量满足预制构件生产要求。

2.3 钢筋骨架成型与预埋件安装

钢筋骨架成型与预埋件安装是预制构件制造的核心工序, 直接影响构件的承载能力与连接可靠性, 需严格按照深化设计图纸及规范要求施工。钢筋骨架成型采用工厂机械化加工, 优先选用数控钢筋加工设备, 对钢筋进行切断、弯曲、焊接, 确保钢筋尺寸、间距、弯折角度精准达标。钢筋焊接需采用合格的焊接工艺, 确保焊缝饱满、无夹渣、无裂纹, 焊接质量符合规范要求; 对于受力主筋, 需采用机械连接方式, 提升连接强度。预埋件安装需提前定位, 根据深化设计图纸, 在模具内准确设置预埋件的位置、标高及角度, 采用定位架固定牢固, 防止浇筑过程中出现移位。安装完成后, 需对钢筋骨架尺寸、预埋件位置进行全面检测, 重点检查预埋件的定位精度、锚固长度, 确保符合设计要求, 避免因钢筋骨架或预埋件偏差影响构件拼装及结构安全。

2.4 混凝土浇筑与养护

混凝土浇筑与养护直接决定预制构件的强度、耐久性 & 外观质量, 需严格把控施工流程与质量标准。混凝土浇筑前, 需对模具、钢筋骨架、预埋件进行全面检查, 清理模具内杂物, 涂刷脱模剂, 确保模具表面光滑。混凝土选用符合设计要求的强度等级, 采用商品混凝土, 浇筑过程中采用分层浇筑、分层振捣的方式, 振捣采用插入式振捣器, 确保混凝土密实, 无蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷。振捣过程中, 避免振捣器碰撞钢筋骨架及预埋件, 防止其移位。浇筑完成后, 及时进行表面抹平、压光, 确保构件外观平整、光滑。养护工作需遵循“及时覆盖、保湿养护”的原则, 浇筑完成后24小时内覆盖保湿材料, 根据环境温度调整养护方式, 高温天气加强洒水降温, 低温天气采取保温措施, 养护时间不少于规范要求, 确保混凝土强度稳步增长, 达到设计强度标准后, 方可进行脱模处理。

2.5 构件存储与运输

预制构件存储与运输需严格遵循“防潮、防损、防

变形”的原则, 确保构件在存储、运输过程中完好无损。构件存储场地需平整、坚实, 做好排水措施, 防止场地积水导致构件受潮、腐蚀。存储时, 根据构件类型、尺寸采用合理的堆放方式, 设置专用支架, 确保构件堆放平稳, 避免受压变形, 构件之间预留足够的间距, 便于吊装与检查。对于预应力构件, 需在达到设计强度及预应力张拉完成后, 方可进行存储。构件运输选用适配的运输车辆, 根据构件尺寸、重量合理选择运输方式, 采用专用吊具与固定装置, 将构件牢固固定在运输车上, 防止运输过程中出现晃动、碰撞, 导致构件损坏。运输过程中, 控制行驶速度, 避开颠簸路段, 做好防风、防雨措施, 运输到现场后, 及时吊装就位, 减少构件现场堆放时间, 确保构件质量不受影响。

3 高效连接节点设计与施工工艺

3.1 连接节点类型与选型

中小跨径桥梁预制拼装连接节点是构件之间的受力传递核心, 其类型与选型需结合构件形式、受力特点、施工条件及使用要求, 确保连接可靠、施工高效。常用的连接节点类型主要分为湿连接、干连接及半湿连接三类: 湿连接包括现浇混凝土接头、浆锚搭接接头等, 具有连接可靠、受力性能好的特点, 适用于对连接强度要求较高的部位; 干连接包括螺栓连接、预应力连接等, 施工便捷、速度快, 无需养护, 适用于施工进度要求较高的场景; 半湿连接结合湿连接与干连接的优点, 兼具连接可靠性与施工高效性, 应用较为广泛^[3]。节点选型需遵循以下原则: 一是根据构件受力特性, 选择能够有效传递轴力、剪力及弯矩的节点类型; 二是结合施工条件, 选择施工便捷、可操作性强的节点形式; 三是兼顾经济性与耐久性, 优先选用标准化、模块化节点, 降低施工成本, 提升节点耐久性; 四是结合工程实际, 避免选用施工难度大、质量控制困难的节点类型, 确保节点施工质量。

3.2 关键连接节点设计

关键连接节点设计需聚焦受力安全性、施工便捷性及耐久性, 针对预制梁、预制板、盖梁等核心构件的连接部位, 进行精细化设计, 确保节点能够有效传递内力, 满足结构使用要求。对于预制梁与盖梁的连接节点, 采用预应力连接或螺栓连接, 设计时需明确连接螺栓的规格、数量及锚固长度, 确保连接强度, 同时设置定位装置, 保证梁体定位精准; 对于预制板之间的连接节点, 采用湿接缝连接, 优化接缝宽度与钢筋布置, 确保接缝混凝土与预制板结合紧密, 避免出现裂缝; 对于预制柱与基础的连接节点, 采用浆锚搭接或预埋钢板连

接,加强节点锚固,提升结构抗侧移能力。另外,节点设计需考虑防水、防腐要求,在节点接缝处设置密封胶、防水卷材等防水措施,防止雨水渗入导致钢筋锈蚀,同时对预埋件进行防腐处理,延长节点使用寿命,确保连接节点长期稳定可靠。

3.3 拼装施工工艺优化

拼装施工工艺优化是提升中小跨径桥梁预制拼装效率、确保施工质量的关键,需结合构件类型、连接节点形式及现场施工条件,对拼装流程、吊装工艺、定位校准等环节进行优化。拼装施工前,需做好现场准备工作,平整施工场地,搭建拼装支架,检查预制构件质量及连接接口,确保符合拼装要求。吊装工艺优化方面,根据构件重量、尺寸选择适配的吊装设备与吊具,采用对称吊装、平稳起落的方式,避免构件碰撞、变形,同时优化吊装路线,减少吊装时间。定位校准优化方面,采用BIM技术结合高精度测量设备,对构件位置、标高、垂直度进行实时监测与校准,确保构件定位精准,拼接缝隙符合规范要求。优化拼装顺序,按照“从下到上、从中间到两侧”的顺序进行拼装,确保拼装过程平稳有序;针对连接节点施工,优化接缝处理、混凝土浇筑等工序,缩短施工周期,提升施工质量,确保拼装完成后的桥梁结构整体稳定性与安全性。

4 施工精度控制与质量验收标准

4.1 精度控制体系

中小跨径桥梁预制拼装施工精度控制体系以“全流程、全方位、高精度”为核心,覆盖预制构件制造、运输、拼装及验收全过程,建立“事前预防、事中控制、事后检测”的三级精度控制机制。事前预防阶段,明确各工序精度控制指标,优化设计方案与施工工艺,对模具、钢筋加工设备、测量仪器进行校准,确保设备精度达标;事中控制阶段,加强对预制构件制造、钢筋安装、混凝土浇筑、构件运输、现场拼装等各工序的精度监测,及时发现偏差并整改,重点控制构件尺寸偏差、连接接口定位偏差、拼装垂直度等关键指标;事后检测阶段,对预制构件质量、拼装精度进行全面检测,采用高精度测量仪器、无损检测技术等,对构件强度、外观质量、连接节点质量进行检测,确保符合精度要求。同

时建立精度控制责任制,明确各岗位人员职责,加强技术交底与培训,提升施工人员的精度控制意识,确保精度控制体系有效运行,保障施工质量^[4]。

4.2 质量验收标准

中小跨径桥梁预制拼装工程质量验收标准严格遵循国家及行业相关规范,结合工程实际情况,明确各分项、分部工程的验收指标,确保工程质量符合设计要求与使用标准。验收分为预制构件验收、现场拼装验收及单位工程验收三个阶段:预制构件验收重点检查构件尺寸、外观质量、混凝土强度、钢筋布置、预埋件位置等指标,构件尺寸偏差、外观缺陷、强度等级等需符合规范要求,不合格构件严禁出厂;现场拼装验收重点检查构件拼装精度、连接节点质量、接缝处理质量等,拼装垂直度、轴线偏差、接缝宽度等需达标,连接节点需牢固可靠,无松动、裂缝等问题;单位工程验收需对全工程的质量、安全、进度等进行全面核查,包括工程资料完整性、构件质量、拼装精度、结构性能等,确保工程整体质量符合验收标准。

结束语

中小跨径桥梁预制拼装施工关键技术研究意义重大。通过构建完整技术体系,从预制构件制造到高效连接节点设计施工,再到严格精度控制与质量验收,形成了一套系统性解决方案。这不仅提高了施工效率与质量,还推动了桥梁建设工业化转型。未来,随着技术不断完善,该技术将在更多桥梁工程中广泛应用,为我国交通基础设施建设发挥更大作用。

参考文献

- [1]韩晓东,孙义斐.中小跨径桥梁上部结构方案技术经济性研究[J].中国设备工程,2023(2):103-105.
- [2]刘梦琦,冯林军,林光毅,等.中小跨径预制装配式梁桥长联刚构体系总体研究[J].工程建设与设计,2022(15):87-90.
- [3]李立峰,黄立炜,苗建宝,等.中小跨径应急钢混组合梁抗弯及疲劳性能[J].浙江大学学报(工学版),2025,59(12):2604-2615.
- [4]韩晓磊,李凌霄,李伟东,等.市政中小跨径钢混组合梁标准图设计及经济性分析[J].工程与建设,2024,38(1):63-67.