

# 水利工程模块化预制装配施工技术体系构建与应用

吕建臣

西平县河湖水务中心 河南 驻马店 463900

**摘要:** 为推动水利工程建设向工业化、精细化转型,本文围绕模块化预制装配施工技术体系展开研究。明确该技术的核心概念与理论基础,构建涵盖设计标准化、生产制造、施工安装的三维体系框架,系统梳理预制构件设计、工厂化生产、运输装配等核心环节技术要点,分析其在中小型水闸、渡槽涵洞、堤防护坡等工程中的应用路径。研究表明,该技术体系可提升施工效率与质量,降低粗放式建设弊端。

**关键词:** 水利工程;模块化预制;装配施工技术;体系构建与应用

引言:传统水利工程现浇施工模式存在效率低下、质量管控难、绿色性不足等问题,难以适配现代水利建设高质量发展需求。模块化预制装配技术凭借标准化、工业化优势,成为破解传统施工痛点的关键路径。当前该技术在水利工程领域的应用尚缺乏系统的体系支撑,技术衔接与规范化应用存在短板。基于此,本文立足水利工程建设实际,开展模块化预制装配施工技术体系构建与应用研究,旨在完善技术体系架构,明确核心技术要点,为提升水利工程建设水平提供有益探索。

## 1 水利工程模块化预制装配施工概念与理论基础

### 1.1 水利工程模块化预制装配施工概念界定

水利工程模块化预制装配施工是将水利工程结构按照功能、受力等特征拆解为若干标准化模块单元,通过工厂预制生产完成模块构件加工,再运输至工程现场进行组装拼接形成完整工程结构的施工模式。其核心内涵涵盖模块单元的标准化设计、工厂化预制、集约化运输及装配化施工四大关键环节,核心特征体现为标准化、工业化、集成化与绿色化。其中,模块化强调结构拆分的系统性与单元的通用性,预制装配突出生产与施工的分离衔接,相较于传统现浇施工模式,该技术模式实现了施工流程的集约化重构,推动水利工程建设从粗放型向精细化、工业化转型。

### 1.2 水利工程模块化预制装配施工理论基础

水利工程模块化预制装配施工的理论基础主要涵盖模块化设计理论、工业化建造理论与系统工程理论。模块化设计理论为结构拆分与模块整合提供核心支撑,明确模块划分的逻辑性与兼容性原则;工业化建造理论奠定工厂化生产的核心逻辑,强调通过标准化生产流程、专业化生产设备提升构件质量与生产效率;系统工程理论则指导施工全流程的协同管控,实现预制生产、运输配送、现场装配等环节的系统优化与高效衔接,三者相

互融合,为模块化预制装配施工技术体系的构建与运行提供坚实的理论支撑<sup>[1]</sup>。

## 2 模块化预制装配技术体系构建框架

### 2.1 设计标准化体系

核心是通过标准化设计实现构件通用互换,遵循功能独立、接口清晰、可扩展原则,将水利工程分解为引水调蓄、溢洪泄洪等功能模块。明确各模块几何尺寸、连接方式等接口标准,保障构件无缝拼接;预留技术升级空间,如监测模块设标准化数据接口,便于后续接入新型设备,延长工程寿命。

### 2.2 生产制造体系

以模具优化和工艺创新保障质量,采用参数化建模与数控加工,将模具尺寸偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内;研发玄武岩纤维增强混凝土等水利专用高性能材料,提升构件性能。引入智能化管控系统,实时监测养护参数,确保构件性能稳定,为快速拼装奠定基础。

### 2.3 施工安装体系

遵循“先地基后模块、先地下后上部、先试运行后投运”顺序降低风险。运用BIM模拟优化拼装路径,RFID芯片追踪构件状态;开发专用工装,通过机械定位与激光校准将拼接误差控制在毫米级。施工后依托数字化平台归档全流程数据,为后期运维提供追溯依据<sup>[2]</sup>。

## 3 水利工程预制装配核心环节技术

### 3.1 水利工程预制构件模块化设计技术

水利工程预制构件模块化设计要以工程功能需求与结构受力特性为核心导向,重点把控以下技术要点:(1)模块拆分原则把控,遵循受力合理性、功能完整性、运输可行性及装配便捷性统一的原则,结合水利工程不同构筑物的结构特点,明确模块拆分的边界与尺寸参数,确保拆分后的模块既能满足独立受力要求,又能减少现场装配节点数量。(2)标准化与通用化设计,

统一模块的连接接口、尺寸规格及材料性能参数,提升模块的互换性与复用性,降低设计与生产成本;同时预留适度的调整空间,以适配不同工程场景的细微差异。

(3) 结构优化设计,采用有限元分析等技术对模块构件进行受力验算,优化构件截面形式与配筋方案,在保障结构强度与稳定性的前提下,减轻构件自重,便于后续运输与装配。(4) 装配协调性设计,提前规划模块间的连接方式与装配顺序,确保各模块在现场装配过程中能够精准对接,减少装配偏差;同时统筹考虑预制构件与现场基础、附属结构的衔接匹配,保障整体工程结构的连贯性。

### 3.2 水利工程预制构件工厂化生产与质量控制技术

预制构件工厂化生产需依托标准化生产线实现高效管控,质量控制贯穿生产全流程,核心技术要点包括:

(1) 生产工艺标准化管控,根据构件类型制定专属生产流程,明确模板安装、钢筋加工、混凝土浇筑、养护等关键工序的操作规范;模板选用高精度定型钢模,确保模板拼接严密、尺寸精准,安装后进行垂直度与平整度校验;钢筋加工采用自动化设备完成切断、弯曲、绑扎,保障钢筋间距、保护层厚度符合设计要求。(2) 混凝土施工质量控制,严格把控混凝土原材料进场检验,精准控制配合比,采用强制式搅拌机搅拌确保拌合物均匀性;浇筑过程中采用振捣棒分层振捣,避免出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷;养护阶段根据构件特性采用蒸汽养护或洒水养护,控制养护温度与湿度,保障混凝土强度稳步增长。(3) 构件生产过程监测,在钢筋加工、混凝土浇筑、养护等环节设置专人巡检,采用数字化监测设备实时采集混凝土温度、强度等数据,及时发现并整改生产过程中的质量隐患。(4) 成品检验与存放管理,构件出厂前进行外观质量、尺寸偏差、强度等指标的全面检验,检验合格后方可出具出厂合格证;成品存放采用分类分区方式,设置专用存放架,控制存放层数与间距,避免构件变形或损坏,同时做好防潮、防雨、防碰撞防护。

### 3.3 水利工程模块化构件运输与现场装配施工技术

模块化构件运输与现场装配是保障工程施工质量与效率的关键环节,核心技术要点如下:(1) 运输方案优化设计,根据构件尺寸、重量及运输距离,选择适配的运输车辆(如平板车、拖车)与吊装设备,合理规划运输路线,避开路况复杂路段;对超长、超宽、超重构件,制定专项运输方案,设置专用固定支架与缓冲装置,采用捆绑、加固等措施防止构件在运输过程中移位、变形。(2) 运输过程防护,构件运输前对其表面

进行防护处理,采用防水布、泡沫垫等材料包裹关键部位;运输过程中控制行车速度,避免急加速、急刹车,途经颠簸路段时减速慢行,确保构件运输安全。(3) 现场装配前期准备,施工前清理装配作业面,平整场地并压实处理,保障吊装设备作业稳定;对基础顶面标高、轴线位置等进行精准复核,设置定位基准线与控制点;检查构件连接部位的清洁度与平整度,提前做好连接节点的预处理工作。(4) 现场吊装与装配技术,采用精准吊装工艺,根据构件重量与吊装高度选择合适的吊具与吊装方式,设置专人指挥吊装作业,确保构件平稳吊装至指定位置;装配过程中采用激光定位、水准仪等设备进行精准对位,调整构件垂直度与水平度,符合要求后及时固定;严格按照设计要求完成模块间的连接施工,优先采用机械连接或焊接方式,确保连接节点牢固可靠,同步做好节点的密封、防腐处理,保障工程抗渗性能。(5) 装配后验收与调整,构件装配完成后,对装配质量、节点连接强度、整体结构稳定性等进行全面验收,发现偏差及时进行调整整改,验收合格后方可进入下一道施工工序<sup>[1]</sup>。

## 4 水利工程模块化预制装配施工技术的具体应用

### 4.1 中小型水闸工程中的模块化预制装配应用

中小型水闸工程作为水利防洪、灌溉系统的关键节点,其结构组成相对规整,适配模块化预制装配技术的规模化应用,具体应用要点包括:(1) 闸室结构模块化应用,将闸室拆解为闸底板、闸墩、胸墙、闸门槽等标准化模块,根据水闸设计尺寸预制生产,模块间预留标准化连接接口,现场通过螺栓连接或灌浆连接实现精准拼接,同步做好接口处的防渗密封处理,保障闸室整体水密性。(2) 启闭设备基础模块化应用,针对启闭机台座、支架等构件进行模块化设计,工厂预制时集成预埋螺栓、连接件等,现场直接吊装就位并与闸室结构精准对接,减少现场钻孔、焊接等作业,提升安装效率。(3) 上下游连接段模块化应用,将上下游翼墙、护坦、消力池等构件拆分为模块化单元,采用预制混凝土构件现场装配,构件底部与基础采用灌浆锚固方式固定,翼墙模块间采用榫卯结构配合密封胶密封,增强连接稳定性与抗冲刷能力。(4) 附属设施模块化集成应用,将管理用房、观测设施基座等附属结构设计为一体化预制模块,工厂完成内部管线预埋与装修基础施工,现场吊装后仅需完成外部管线连接,缩短整体施工周期。

### 4.2 渡槽与涵洞工程中的模块化预制装配应用

渡槽与涵洞工程多涉及长距离线性结构,模块化预制装配技术可有效解决传统现浇施工效率低、质量管

控难的问题,具体应用如下:(1)渡槽槽身模块化应用,根据渡槽跨度与输水流量,将槽身拆分为单跨预制模块,采用预应力混凝土预制工艺生产,模块两端设置法兰式连接接口,现场通过吊装设备逐跨拼接,接口处采用高性能灌浆材料填充,保障连接强度与水密性;同时在预制槽身时集成防渗层、保温层,提升渡槽输水效率与耐久性。(2)涵洞结构模块化应用,针对圆形、矩形等不同截面形式的涵洞,采用整体预制或分片预制模式,圆形涵洞可整体预制为管节模块,矩形涵洞拆分为侧壁、顶板、底板等模块;现场施工时先完成基础处理,再采用吊装设备将涵洞模块精准就位,模块间采用承插式连接配合橡胶密封圈密封,减少渗漏风险。(3)支撑结构模块化应用,渡槽支架、涵洞进出口八字墙等支撑构件采用标准化预制模块,工厂预制时严格控制构件尺寸与预埋件位置,现场吊装后通过螺栓与主体结构连接,同步做好支架基础的找平与固定,保障整体结构稳定性。(4)伸缩缝模块化处理,在渡槽、涵洞的分段拼接处设置预制伸缩缝模块,集成止水带、填充材料等,现场直接安装就位,替代传统现场浇筑伸缩缝的施工方式,提升伸缩缝的施工质量与使用寿命。

#### 4.3 堤防与护坡工程中的模块化预制装配应用

堤防与护坡工程作为水利防洪体系的重要组成部分,对施工效率与结构耐久性要求较高,模块化预制装配技术的具体应用包括:(1)护坡构件模块化铺设,采用预制混凝土联锁块、生态框格、六角形护坡砖等标准化模块,根据堤防坡度与土质条件制定铺设方案,模块间采用卡扣或砂浆连接,确保铺设平整、牢固;同时预留生态孔,适配生态修复需求。(2)堤防加固模块化应用,针对堤防薄弱段加固,采用预制混凝土防渗板、加固桩等模块,防渗板模块通过螺栓拼接形成连续防渗墙,加固桩模块采用静压植入方式固定,提升堤防

抗渗、抗滑能力;预制模块表面可设置防滑纹理与排水槽,优化结构受力与排水性能。(3)堤顶附属设施模块化应用,堤顶道路、护栏、排水沟等附属设施采用预制模块施工,道路模块采用高强混凝土预制,现场拼接后进行表面防滑处理;护栏模块采用标准化钢结构预制,现场螺栓连接固定;排水沟模块采用U型预制构件,拼接后做好接口密封,提升堤顶设施的施工质量与美观度。

(4)应急抢险模块化应用,针对堤防溃口、渗漏等应急场景,预制应急封堵模块、防渗膜模块等,模块采用轻质高强材料制作,可快速运输至现场拼接组装,实现应急抢险的快速响应,减少灾害损失<sup>[4]</sup>。

结束语:本文完成了水利工程模块化预制装配施工技术体系的构建,介绍了核心概念与理论支撑,明确了各环节技术要点及不同工程类型的应用路径。该技术体系的构建与应用,为突破传统施工模式局限、推动水利工程工业化转型提供了有效方案。未来可进一步深化智能技术与技术体系的融合应用,优化模块标准化程度与适配性,拓展在大型复杂水利工程中的应用场景,持续提升水利工程建设的智能化、绿色化水平。

#### 参考文献

- [1]丁涛,梁超,李青.小型水利工程施工中装配式技术的应用研究[J].水上安全,2025(16):160-162.
- [2]李雪梅.装配式结构在中小型水利工程施工中的创新与实践[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(9):010-013.
- [3]王国润.装配式预制箱涵在水利工程中的应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):013-016.
- [4]郭靖,时之光,高洪远,郑张玉,李南辉,闫飞.基于BIM技术的水闸工程装配式预制构件设计与实现[J].水利水电快报,2023,44(4):58-63.