

预制混凝土渠道模块化装配式施工技术研究

张向会

乌鲁木齐交旅建设有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 水利工程渠道是灌溉、排水、输水的核心基础设施, 传统现浇施工存在周期长、质量稳定性差、受气候影响大等问题, 难以适配现代水利工程“提质增效、绿色环保”的建设需求。本文提出预制混凝土渠道模块化装配式施工技术, 整合梯形渠、矩形渠、U形渠等主体渠道结构及预制闸体、交通桥等附属构筑物, 构建“模块化设计-工厂标准化生产-现场精准装配-全过程质量控制”的完整技术体系。研究成果为水利工程渠道建设提供高效可行的技术方案, 对推动水利工程工业化、标准化发展具有重要意义。

关键词: 水利工程; 预制混凝土渠道; 模块化; 装配式施工

Research on Prefabricated Concrete Channel Modular Prefabricated Construction Technology

Zhang Xianghui

Urumqi Jiaotu Investment Construction Co., Ltd., China Xinjiang Urumqi 830000

Abstract: Water conservancy project channels are core infrastructure for irrigation, drainage, and water conveyance. Traditional cast-in-place construction has problems such as long construction periods, poor quality stability, and significant climate impact, making it difficult to meet the modern water conservancy project's construction demands of "improving quality and efficiency, and being environmentally friendly and green". This paper proposes a prefabricated concrete channel modular prefabricated construction technology, integrating main channel structures such as trapezoidal channels, rectangular channels, and U-shaped channels, as well as prefabricated gate bodies and traffic bridges and other ancillary structures, to construct a complete technical system of "modular design - factory standardized production - on-site precise assembly - full-process quality control". The research results provide an efficient and feasible technical solution for water conservancy project channel construction and are of great significance for promoting the industrialization and standardization of water conservancy projects.

Keywords: Water conservancy project; Prefabricated concrete channel; Modular; Prefabricated construction technology

0 引言

水利工程是保障粮食安全、水资源合理配置及生态环境保护的重要基础, 渠道作为水利工程的核心组成部分, 其施工质量与效率直接影响工程整体功能发挥。随着模块化、装配式技术在土木水利工程领域的推广应用, 预制混凝土构件凭借工厂标准化生产、现场快速装配的优势, 为解决传统渠道施工痛点提供了有效路径。因此, 开展预制混凝土渠道模块化装配式施工技术研究, 整合多类型预制构件的装配工艺, 具有重要的工程实践价值。

1 多类型预制构件模块化设计与生产技术

1.1 主体渠道模块设计与生产

1.1.1 预制梯形渠模块

(1) 结构设计: 根据渠道流量 ($1-5\text{m}^3/\text{s}$) 设计断面尺寸, 渠底宽度 $0.8-3\text{m}$, 渠深 $1.0-2.5\text{m}$, 边坡坡度 $1:1.0-$

$1:1.5$; 构件采用 C35-C40 钢筋混凝土, 内部设置双向钢筋网 (直径 $8-12\text{mm}$, 间距 $150-200\text{mm}$), 渠壁外侧增设加强肋, 提升抗冲击与抗冻胀能力。

(2) 模块化特征: 单块构件长度 $2-3\text{m}$, 两端设置榫卯连接结构, 预留止水条槽 (宽度 30mm , 深度 20mm); 渠底预留与预制闸体连接的螺栓孔, 间距 $300-500\text{mm}$, 确保衔接牢固。

(3) 模块化构件包括: 底板、边坡板、隔墙、压顶板等。

(4) 生产工艺: 采用钢模具振动成型, 蒸汽养护温度 $45-60^\circ\text{C}$, 养护时间 72h , 确保构件抗压强度 $\geq 35\text{MPa}$; 出厂前涂刷渗透型硅烷防水剂, 提升防渗性能。

1.1.2 预制矩形渠模块

(1) 结构设计: 适配流量 $0.5-3\text{m}^3/\text{s}$, 渠宽 $0.5-$

2m, 渠深 0.8-2.0m; 构件采用 C40 钢筋混凝土, 池壁厚度 100-200mm, 内置钢筋网 (直径 10-14mm, 间距 150mm), 转角处设置加强角筋, 防止应力集中。

(2) 模块化特征: 单块构件长度 2-4m, 采用企口连接方式, 接口处预留密封胶槽; 渠壁预留与灌溉管网、预制闸体的连接接口, 标准化设计确保适配性。

(3) 模块化构件包括: 直线段渠体、弯道段通用渠体、隔墙等。

(4) 生产工艺: 自动化生产线浇筑, 振动台振捣密实, 蒸汽养护后自然降温, 构件尺寸偏差 $\leq \pm 1.5\text{mm}$; 表面采用抛丸处理, 增强与密封材料的粘结力。

1.1.3 预制 U 形渠模块

(1) 结构设计: 适用于小型农田灌溉渠道, 流量 0.1-1m³/s, 内径 0.3-1.2m, 壁厚 80-150mm; 采用 C30-C35 钢筋混凝土, 添加聚丙烯纤维 (体积率 0.05%-0.1%), 提升抗裂性能。

(2) 模块化特征: 单块构件长度 1-2m, 两端设置承插式连接结构, 外侧预留加固箍槽; 底部预留排水孔, 孔径 50mm, 间距 1-1.5m, 防止渠底积水冻胀。

(3) 模块化构件包括: 直线段渠体、弯道段通用渠体、隔墙等。

(4) 生产工艺: 采用弧形钢模具浇筑, 离心成型工艺确保构件壁厚均匀; 养护后进行防渗涂层施工 (聚脲涂层厚度 2mm), 渗漏损失率 $\leq 0.02\text{L}/(\text{m} \cdot \text{d})$ 。

1.2 附属构筑物模块设计与生产

1.2.1 预制闸体模块

(1) 结构设计: 涵盖节制闸、分水闸, 适配渠道流量 0.5-5m³/s, 闸孔尺寸 0.5-2m (宽) \times 0.8-2.0m (高); 采用 C40-C45 钢筋混凝土, 闸槽内置不锈钢预埋件, 适配铸铁闸板或玻璃钢闸板。

(2) 模块化特征: 闸体模块与主体渠道模块采用搭接, 预留螺栓孔与止水槽, 通过卡固配件固定主体渠道模块; 闸体顶部设置预制操作平台, 集成启闭设备安装接口, 实现一体化装配。

(3) 生产工艺: 工厂整体预制, 闸槽采用精密模具成型, 尺寸偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$; 出厂前进行启闭试验与防渗检测, 确保闸体密封性能达标 (渗漏量 $\leq 0.03\text{L}/(\text{m} \cdot \text{d})$)。

1.2.2 预制交通桥模块

(1) 结构设计: 包括人行桥 (跨度 2-4m)、机耕桥 (跨度 4-6m), 桥面宽度 1.5-3m; 桥面板采用预制空心

板 (厚度 120-180mm), 桥墩 / 桥台采用预制钢筋混凝土构件, 承载力满足人行或农机通行要求 ($\geq 5\text{t}/\text{m}^3$)。

(2) 模块化特征: 桥面板与桥墩 / 桥台预留榫卯连接接口, 桥墩底部设置与渠道堤岸的固定装置; 桥面预留栏杆安装孔, 与渠道整体设计协调。

(3) 生产工艺: 桥面板采用蒸汽养护, 确保混凝土强度 $\geq 35\text{MPa}$; 桥墩采用离心成型工艺, 表面涂刷防腐涂层, 适配水利工程潮湿环境。

1.3 构件生产质量控制

(1) 材料控制: 水泥选用 P.O42.5 级普通硅酸盐水泥, 砂石骨料采用非冻胀性材料 (花岗岩、玄武岩), 外加剂选用引气剂、早强剂复合配方, 确保构件抗冻等级 $\geq \text{F200}$ 、抗渗等级 $\geq \text{P8}$ 。

(2) 生产过程控制: 采用自动化搅拌设备, 严格控制混凝土配合比 (水灰比 ≤ 0.5); 振动成型时间控制在 30-60s, 确保构件密实度; 蒸汽养护温度梯度控制在 5°C/h 以内, 避免温差裂缝。

(3) 出厂检测: 构件出厂前进行尺寸偏差、强度、防渗性能检测, 尺寸偏差超标 ($> \pm 3\text{mm}$)、强度未达设计值 ($< 35\text{MPa}$) 或防渗性能不合格的构件严禁出厂; 检测合格后张贴标识, 注明构件类型、规格、生产日期及合格编号。

2 预制混凝土渠道模块化装配式施工工艺

2.1 施工前期准备

2.1.1 技术准备

结合工程地形、水文、流量等参数, 完成模块化构件选型及施工图纸设计; 运用 BIM、GIS 技术开展施工模拟, 优化构件装配顺序与现场布置; 对施工人员技术交底, 明确各类构件装配要点、连接密封要求及质量控制标准。

2.1.2 现场准备

清理并平整压实施工场地 (压实度 $\geq 95\%$); 测量放线确定渠道中心线、高程及构件安装位置, 布设控制桩与水准点; 搭建构件堆放场、吊装设备作业区等临时设施, 确保构件平稳堆放 (垫木间距 $\leq 1.5\text{m}$), 避免碰撞损坏。

2.1.3 构件运输与验收

采用平板车运输预制构件, 构件间用柔性材料隔离防磨损; 进场后二次验收, 核查构件尺寸、强度检测报告及外观质量 (无裂缝、缺棱掉角), 合格后方可投入使用。

2.2 主体渠道模块化装配工艺

2.2.1 基础处理

按设计开挖渠道基坑, 修整边坡 (梯形渠边坡坡度误

差 $\leq \pm 5^\circ$), 铺设100-150mm厚C15混凝土基础垫层, 平整度偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$; 高寒地区垫层下铺200-300mm级配砂石隔冻层, 基础周边设排水盲沟, 控制地下水位于冻层以下; 基础强度 \geq 设计值70%后, 涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料, 增强基础与构件粘结力。

2.2.2 构件吊装与连接

梯形渠装配: 采用8-12t起重机, 按“下游到上游、中间到两侧”顺序安装, 构件定位偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$; 榫卯接口填充30mm \times 40mm遇水膨胀止水条, 外侧涂聚氨酯密封胶; 相邻构件用不锈钢螺栓加固(间距300-500mm), 紧固力矩 $\geq 40\text{N}\cdot\text{m}$ 。

矩形渠装配: 企口连接, 吊装就位后撬棍调平接口, 间隙 $\leq 3\text{mm}$; 接口填弹性密封胶, 外侧包三元乙丙橡胶防水卷材(搭接宽度 $\geq 100\text{mm}$); 渠壁外侧浇筑C25细石混凝土加固带, 增强整体性。

U形渠装配: 承插式连接, 插口端涂密封膏后插入承口, 深度 $\geq 100\text{mm}$; 接口外侧不锈钢箍加固(间距500mm); 渠底与基础间铺土工膜提升防渗性。

2.2.3 接缝处理与防渗

所有接口连接后做防渗处理: 梯形渠、矩形渠接缝外侧抹20-30mm厚聚合物水泥砂浆, U形渠接缝外侧缠200mm宽防水胶带; 整体装配完成后做24h满水试验, 渗流量需 $\leq 0.03\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$, 不合格接缝重新处理。

2.3 附属构筑物协同装配工艺

2.3.1 预制闸体装配

闸体安装位置基础采用C30混凝土浇筑, 预留闸体固定螺栓孔(位置偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$); 采用12-16t起重机吊装预制闸体, 精准就位后与基础螺栓固定, 闸体高程偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$; 闸体与主体渠道接口处采用搭接连接, 加装橡胶密封圈, 螺栓对称紧固, 确保密封无渗漏; 安装启闭设备, 进行启闭调试, 确保闸板升降灵活, 关闭后渗流量 $\leq 0.02\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ 。

2.3.2 预制交通桥装配

先安装预制桥墩/桥台, 与渠道堤岸基础采用现浇混凝土固定, 桥墩垂直度偏差 $\leq \pm 3\%$; 采用起重机吊装桥面板, 按顺序铺设, 桥面板之间预留10-15mm伸缩缝, 填充沥青麻絮; 桥面板与桥墩/桥台连接处采用水泥砂浆灌缝, 外侧设置伸缩装置; 安装桥面栏杆, 确保牢固可靠(抗水平推力 $\geq 0.5\text{kN}/\text{m}$)。

2.4 施工后期处理

渠道装配完成后, 及时进行堤岸回填, 回填土选用

非冻胀性土, 分层回填(每层厚度 $\leq 200\text{mm}$)、轻型压实(压实度93%-95%), 避免回填土挤压渠道构件; 对渠道表面进行清理, 修补局部破损部位(采用抗冻修补砂浆); 进行通水试验, 监测渠道输水能力、水流顺畅性及闸体调控效果, 各项指标达标后移交使用。

2.5 关键质量控制要点

(1) 连接密封质量控制: 止水条、密封胶等材料进场前检测性能(遇水膨胀率 $\geq 300\%$, 拉伸粘结强度 $\geq 1.5\text{MPa}$); 接口密封施工需清理缝隙杂物, 密封材料填充均匀饱满, 外侧防护层(防水卷材、抹面砂浆)压实无气泡、空鼓。

(2) 防渗性能控制: 分阶段开展防渗检测: 单段渠道装配后做12h局部蓄水试验, 整体完工后做24h全段满水试验, 渗流量 $\leq 0.03\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ 方可进入后续工序; 高寒地区额外增加冻融循环试验, 保障冬季无渗漏。

(3) 结构稳定性控制: 基础压实度、混凝土强度需经第三方检测达标; 构件吊装避免碰撞, 防止裂缝、缺棱掉角; 堤岸回填严控分层厚度与压实度, 避免压力不均造成渠道变形。

(4) 协同装配质量控制: 预制闸体与主体渠道接口中心偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$, 闸板启闭灵活无卡阻; 预制交通桥桥面平整度偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$, 桥墩垂直度达标, 确保荷载传递均匀, 无局部应力集中。

3 技术推广应用前景与优化方向

3.1 推广应用前景

预制混凝土渠道模块化装配式施工技术整合了多类型渠道与附属构筑物的协同装配, 具有质量稳定、施工高效、成本节约、绿色环保等显著优势, 适配场景广泛:

(1) 高标准农田建设: 适用于小型农田灌溉渠道(U形渠、矩形渠)与配套闸体、人行桥建设, 满足快速施工与节水灌溉需求。

(2) 灌区现代化改造: 适配大型灌区输水渠道(梯形渠、矩形渠)升级, 解决传统渠道渗漏、运维成本高的问题。

(3) 高寒、干旱地区水利工程: 通过抗冻胀、防渗优化设计, 适配恶劣气候与地质条件, 提升工程耐久性。

(4) 城乡供水、排水工程: 模块化设计可灵活组合, 适配不同流量需求, 实现高效输水与排水。

(5) 老旧破项目改造: 10多年前采用预制混凝土六棱块、矩形块铺贴的水利渠道工程, 经过10-20年的使用后, 已大量的损坏, 防渗效果不佳, 在未来面临维修改造

升级,在原来渠道基础上,采用本文所述的技术方案,可低成本、高效的完成改造提升。

3.2 优化方向

(1) 构件轻量化与高强度化。研发超高性能混凝土(UHPC)预制构件,结合碳纤维、玻璃纤维等增强材料,降低自重20%~30%,提升抗冲击、抗腐蚀性能,适配复杂地质与吊装受限场景。

(2) 智能化与数字化升级。整合BIM、物联网技术,开发预制构件全生命周期管理系统,实现生产、运输、安装、运维可视化追踪;预制闸体增设智能传感器与自动控制模块,实现水流精准调控与远程运维。

(3) 极端环境适配优化。高寒冻土区优化混凝土配合比,添加复合抗冻剂与纤维材料,提升抗冻等级至F300;盐碱地区研发防腐混凝土构件与专用密封材料,增强抗腐蚀性能。

(4) 标准化体系完善。制定多类型预制构件的模块化设计标准、装配施工规范与质量验收规程,统一模数与接口形式,促进技术规模化推广。

(5) 生态化改进。开发生态型预制渠道构件(预留植被种植槽、采用生态混凝土),结合预制交通桥景观化设计,实现水利工程与生态环境协调发展。

4 结语

本文针对水利工程渠道传统现浇施工存在的周期长、

质量差、污染大等问题,提出了预制混凝土渠道模块化装配式施工技术,整合梯形渠、矩形渠、U形渠等主体渠道与预制闸体、预制交通桥等附属构筑物,构建了“模块化设计-工厂标准化生产-现场精准装配-全过程质量控制”的完整技术体系。本文的研究成果丰富了水利工程装配式施工技术理论体系,为多类型预制构件协同装配提供了技术支撑,对推动水利工程工业化、标准化、绿色化发展具有重要意义。未来通过构件轻量化、智能化升级与标准化体系完善,该技术将在更广泛的水利工程领域发挥更大作用。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. SL176-2007 水利水电工程施工质量检验与评定规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,2007.

[2] 农业农村部. 高标准农田建设通则(GB/T30600-2014)[S]. 北京:中国标准出版社,2014.

[3] 李明,王强. 预制混凝土U形渠模块化装配施工技术研究[J]. 水利水电技术,2022,53(S2):201-206.

[4] 张华,刘敏. 装配式渠道与预制闸体协同施工技术在灌区改造中的应用[J]. 农业工程学报,2021,37(8):113-120.

[5] 王建国,陈晓. 高寒地区预制混凝土渠道抗冻胀施工技术优化[J]. 人民黄河,2023,45(3):135-139.