

# 浅析一种水下混凝土围堰施工技术

刘鲜辉 马海波

河南省水利第一工程局集团有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 水下混凝土围堰是水利、桥梁等水下基础工程的核心临时性挡水结构,其施工质量直接决定工程安全与效率。本文结合实际施工场景,阐述水下混凝土围堰的定义、功能及材料要求,详细分析施工前期准备、测量定位、核心工艺及关键技术要点,重点探讨抗离析、防渗、接口处理及复杂水文调整技术,明确施工安全与质量管控措施。研究表明,规范落实各环节施工技术及管控要求,可有效提升围堰稳定性和防渗性,为同类水下围堰施工提供实践参考与技术借鉴。

**关键词:** 水下;混凝土;围堰施工技术;流程;质量管控

引言:随着水利工程、跨江桥梁建设的快速发展,水下基础施工需求日益增多,水下混凝土围堰因挡水、防渗效果好、施工灵活等优势,被广泛应用于各类水域工程。当前,水下施工受水文、地质条件影响较大,围堰施工易出现离析、渗漏、结构失稳等问题,严重影响工程进度与安全。基于此,本文结合实际施工经验,浅析一种水下混凝土围堰施工技术,梳理施工全流程要点,优化关键技术及管控措施,为解决水下围堰施工难题、提升施工质量提供支撑,具有重要的工程实践意义。

## 1 水下混凝土围堰施工技术概述

### 1.1 水下混凝土围堰的定义与分类

水下混凝土围堰是工程建设中,在水下环境浇筑混凝土形成的挡水围护结构,核心用于隔绝水域、围护施工区域,为桥梁桩基、水利基坑等水下基础工程创造干燥、安全的作业条件,属于临时性结构,部分可作为永久性挡水设施的一部分。结合实际施工需求,其分类简洁明确:按结构形式可分为矩形、圆形围堰,矩形适用于岸边浅水区、施工空间充足的场景,圆形抗水流冲击性强,多用于深水、流速较大的河道;按浇筑工艺可分为导管浇筑式和沉箱预制式,导管浇筑式施工灵活、成本可控,是目前工程中应用最广泛的类型。

### 1.2 水下混凝土围堰的核心功能与适用场景

其核心功能围绕施工安全与效率展开,实际应用中需满足以下三点核心需求:(1)挡水隔流,阻断施工区域外水流,避免水流干扰基坑开挖和基础施工;(2)防渗防漏,防止地下水、河水渗透至作业面,杜绝基坑积水隐患;(3)抗冲抗损,抵御水流、波浪冲刷,保障围堰结构稳定。适用场景主要为江河、湖泊、沿海等水域的基础施工,尤其适用于水深3-15米、水流速度 $\leq 1.5\text{m/s}$ 、地质为粉质黏土或砂卵石的区域,常见于桥梁水下桩

基、港口码头扩建、小型水利闸室等工程,不适用于强岩溶、高流速的极端水域。

### 1.3 水下混凝土的材料特性与性能要求

水下混凝土的材料性能直接决定围堰质量,需适配水下浇筑环境,与普通混凝土差异明显:(1)流动性好、抗离析能力强,水下浇筑需通过导管输送,流动性不足易堵管,离析会导致结构强度不均;(2)凝结时间合理,初凝时间控制在4-6小时,适配水下浇筑施工周期,避免浇筑过程中提前凝结;(3)强度与抗渗达标,实际施工中抗压强度不低于C25,抗渗等级不低于P6,抵御水流压力和渗透作用。施工中通常掺入缓凝剂、粉煤灰等外加剂,优化配合比,确保材料适配水下施工环境<sup>[1]</sup>。

## 2 水下混凝土围堰施工前期准备工作

水下混凝土围堰施工前期准备是规避隐患、保障施工顺利的关键,需结合水下施工特殊性全面落实。(1)现场勘察与条件梳理:重点探测施工水域地质、水文情况,核查水下地形、土层承载力及河床冲刷强度,清理水下障碍物;监测水位、水流速度及汛期时段,记录极端天气信息,为施工方案提供精准数据,防范勘察疏漏导致的围堰失稳风险。(2)施工方案编制与论证:结合勘察结果编制针对性方案,明确围堰尺寸、浇筑工艺等核心内容,优化导管布置、模板固定等关键环节,核算抗水流、防渗能力,经专家论证调整后,确保方案贴合现场、具备可操作性。(3)材料、设备与人员筹备:筹备达标水下混凝土原材料及外加剂并提前检测;调试施工设备并配备备用设备;组建专业团队,开展水下作业及安全培训,考核合格后方可上岗。(4)安全与应急准备:划定警戒区域、设置警示标识,制定安全规程及应急预案,筹备应急物资并开展演练,保障施工安全。

## 3 水下混凝土围堰施工关键技术及流程

### 3.1 水下混凝土围堰施工测量与定位技术

水下混凝土围堰测量与定位的核心是克服水下视线遮挡、水流扰动等干扰,实现平面与高程控制双达标。

(1) 施工前建立完善测量控制体系,布设岸上GPS平面控制网和水准测量高程控制网,确保平面偏差 $\leq 5\text{cm}$ 、高程偏差 $\leq 3\text{cm}$ ;同时校验测深仪、水下定位仪等设备,确保测量误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内,规避仪器精度不足引发的定位偏差。(2) 采用“岸上基准+水下实时监测”模式,通过岸上GPS控制点标定围堰中心及轮廓线,水下定位仪固定于作业平台实时传输数据。圆形围堰重点控制圆心偏差,三点定位法反复校验确保偏移量 $\leq 3\text{cm}$ ;矩形围堰控制四边垂直度及边长偏差,边长偏差 $\pm 4\text{cm}$ 内、垂直度偏差 $\leq 1\%$ 。施工中每2小时复核高程、每4小时复核平面位置,水流速度超 $1.2\text{m/s}$ 时暂停作业,同步测量水下地形,确保围堰底部与河床贴合紧密。

### 3.2 水下混凝土围堰核心施工工艺与流程

#### 3.2.1 围堰基坑开挖与清理工艺

基坑开挖遵循“分层开挖、循序渐进、及时防护”的原则,结合水下地质特性,选用水下挖掘机配合吸泥船作业,避免一次性开挖过深导致河床坍塌。开挖前根据围堰设计尺寸,确定开挖范围,宽度比围堰设计宽度宽 $50\text{--}80\text{cm}$ ,预留模板安装及调整空间;开挖深度按设计高程控制,预留 $10\text{--}15\text{cm}$ 基底清理厚度,防止超挖或欠挖。开挖过程中实时监测河床沉降及边坡稳定性,砂卵石区域开挖边坡坡度控制在 $1:1.5$ ,粉质黏土层控制在 $1:1.2$ ,必要时铺设土工布防护,减少水土流失。开挖完成后,采用吸泥船清理基底浮泥、杂物,确保基底平整度偏差 $\leq 8\text{cm}$ ,承载力满足设计要求,清理完成后及时进行后续工序,避免基底长时间浸泡导致强度下降。

#### 3.2.2 水下模板安装与固定技术

水下模板选用拼装式钢模板,具有强度高、防水性好、可重复利用的优势,模板厚度选用 $6\text{mm}$ ,拼装缝隙控制在 $2\text{mm}$ 以内,避免浇筑时出现漏浆现象。模板拼装前需进行除锈、打磨处理,涂刷专用脱模剂,脱模剂涂刷均匀,厚度控制在 $0.3\text{--}0.5\text{mm}$ ,防止混凝土与模板粘连。模板安装采用“岸上拼装、水下吊装”的方式,利用起重将拼装好的模板单元吊装至指定位置,水下作业人员配合调整模板位置及垂直度。模板固定采用“锚碇+支撑”双重固定体系,锚碇选用钢筋混凝土锚块,每块重量不低于 $5\text{t}$ ,间距 $2.5\text{m}$ ,通过钢丝绳与模板连接;支撑采用型钢支架,支架间距 $1.8\text{m}$ ,与模板、河床紧密连接,确保模板稳定性,抵御水流冲击。安装完成后,复核模板平面位置、垂直度及高程,偏差均控制在规范允许范围

内,方可进入下一道工序<sup>[2]</sup>。

#### 3.2.3 水下混凝土浇筑施工工艺

水下混凝土浇筑采用导管法施工,这是保障水下混凝土浇筑质量的核心工艺,重点把控导管布设、混凝土浇筑顺序及浇筑速度,避免出现离析、漏浆、断桩等质量隐患。(1) 导管选用直径 $300\text{mm}$ 的无缝钢管,每节长度 $2\text{--}3\text{m}$ ,导管连接采用法兰盘连接,连接处加装橡胶密封圈,确保密封性良好,浇筑前进行水密性试验,试验压力为 $0.8\text{MPa}$ ,无渗漏后方可使用。导管布设按“梅花形”布置,导管中心间距控制在 $2.0\text{--}2.5\text{m}$ ,导管底部距基底高度控制在 $30\text{--}50\text{cm}$ ,便于混凝土扩散。(2) 混凝土选用C25水下商品混凝土,坍落度控制在 $180\text{--}220\text{mm}$ ,初凝时间 $4\text{--}6$ 小时,终凝时间不超过 $12$ 小时,浇筑前检测混凝土坍落度及和易性,不合格混凝土严禁使用。(3) 浇筑作业连续进行,不得中断,首批混凝土浇筑量确保导管埋入混凝土深度不小于 $1.2\text{m}$ ,后续浇筑过程中,导管埋入深度控制在 $2\text{--}6\text{m}$ ,每浇筑 $1.5\text{m}$ 复核一次埋入深度,及时调整导管高度。浇筑速度控制在 $2.5\text{--}3.0\text{m}^3/\text{h}$ ,水下作业人员实时观察混凝土浇筑情况,发现漏浆、离析等问题及时处理。浇筑至设计高程时,超浇 $5\text{--}10\text{cm}$ ,后续凿除浮浆,确保围堰顶部混凝土强度达标,整个浇筑过程做好施工记录,留存混凝土试块,便于后续强度检测。

#### 3.2.4 混凝土养护与强度增长控制

水下混凝土养护具有特殊性,核心是保持混凝土湿润、控制温度变化,防止出现裂缝,确保混凝土强度稳步增长。混凝土浇筑完成后,立即采用防水土工布覆盖围堰表面,减少水流对混凝土表面的冲刷,同时减缓混凝土表面水分蒸发速度。养护过程中实时监测混凝土内部及表面温度,控制温差不超过 $25^\circ\text{C}$ ,避免温差过大产生温度裂缝。对于水下部分混凝土,利用水域自然养护,确保混凝土始终处于水下湿润环境;对于露出水面的围堰顶部及侧面,采用洒水养护,每天洒水 $3\text{--}4$ 次,保持表面湿润,养护时间不少于 $14$ 天。养护期间定期检测混凝土强度,浇筑 $7$ 天后强度达到设计强度的 $50\%$ 以上, $28$ 天后达到设计强度的 $95\%$ 以上,方可拆除模板及支撑,避免过早拆除导致围堰结构变形。

### 3.3 水下混凝土围堰施工关键技术要点

#### 3.3.1 水下混凝土抗离析施工技术

水下混凝土浇筑中,离析是主要质量隐患,会导致强度不均、防渗下降,需通过材料优化与工艺控制双重保障。材料上,优化配合比,选用级配良好的骨料,粗骨料粒径控制在 $5\text{--}25\text{mm}$ ,细骨料采用含泥量 $\leq 3\%$ 的中砂,掺入胶凝材料总量 $15\%\text{--}20\%$ 的粉煤灰及高效缓凝抗

离析剂,改善和易性。工艺上,严控导管浇筑高度,底部距混凝土表面不超过2m,避免下落过快引发离析;匀速下料,定期搅拌导管内混凝土防止骨料沉淀。同时采用专用搅拌运输车运输,时长控制在1.5小时内,全程低速搅拌,浇筑前再次拌匀,杜绝离析混凝土投入使用。

### 3.3.2 围堰防渗施工技术要点

防渗是水下围堰核心功能,需全程把控,重点做好三个环节。模板安装时,确保拼装缝隙严密,缝隙处加装橡胶密封条,超过2mm的缝隙用水泥砂浆封堵,防止漏浆形成渗水通道。混凝土浇筑时,保证浇筑密实,及时用环氧砂浆修补蜂窝、麻面等缺陷。围堰底部与河床衔接处为防渗薄弱点,需铺设30cm厚C15混凝土垫层,与围堰混凝土紧密衔接;围堰外侧涂刷1.0~1.2mm厚专用防渗涂料,确保均匀无漏涂。浇筑完成后进行注水试验,试验水位为设计水位的1.2倍,保持24小时,渗流量 $\leq 0.05\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 方可投入使用。

### 3.3.3 水下施工接口处理技术

接口处理质量直接影响围堰整体性与稳定性,需规范各类接口工艺。模板接口采用螺栓紧固,缝隙填充密封材料,确保平整严密,避免错台、漏浆。混凝土分层浇筑接口采用“阶梯式”衔接,宽度 $\geq 1.0\text{m}$ ,下层初凝前完成上层浇筑,浇筑前清理下层浮浆并涂刷水泥浆,增强粘结力。围堰与基础结构接口处,提前预留钢筋,搭接长度 $\geq 35d$ ( $d$ 为钢筋直径),搭接处双面焊接达标;接口浇筑时用小型振捣器确保密实,实现与基础、围堰混凝土紧密结合,规避防渗及受力薄弱点。

### 3.3.4 复杂水文条件下的施工调整技术

水下施工受水文影响大,遇暴雨、汛期、高流速( $> 1.5\text{m/s}$ )、水位骤升骤降时需及时调整方案。暴雨及汛期暂停水下浇筑,加固临时防护,清理积水杂物,监测水位做好排水准备,复工前复核围堰及基底稳定性。高流速时,将导管间距缩小至1.8~2.0m,加快浇筑速度,加固

模板固定体系并增设临时锚碇,抵御水流冲击。水位骤升骤降时,调整作业平台高度保障人员安全,监测围堰受力,必要时回填加固,防止不均匀沉降或变形<sup>[1]</sup>。

## 4 水下混凝土围堰施工安全与质量管控

水下混凝土围堰施工环境特殊,安全与质量管控要结合水下作业风险点,落实各项管控措施:(1)施工安全管控要点。重点管控水下作业、设备及人员安全,划定专属警戒区域并设置明显警示标识;水下作业人员必须持证上岗,配备齐全救生装备,作业时全程专人监护,严禁单独下水。定期检查施工设备运行状态,及时排查故障,备用设备随时待命;严格执行水下作业安全规程,规避水流、缺氧等安全隐患。(2)施工质量检测与隐患处理。明确质量检测指标,重点检测混凝土强度、防渗性能及围堰尺寸偏差,留存混凝土试块并定期送检。采用专业设备排查围堰蜂窝、麻面等缺陷,发现后及时用环氧砂浆修补<sup>[4]</sup>。

## 结束语

本文围绕水下混凝土围堰施工技术展开全面分析,从技术概述、前期准备、核心工艺、关键技术到安全质量管控,系统梳理了施工全流程的重点与难点。实践证明,科学的前期勘察、规范的工艺操作、精准的技术把控及严格的管控措施,是保障水下混凝土围堰施工质量、规避施工隐患的关键。

## 参考文献:

- [1]宁晓冬,杨晨光.水下无现浇封底混凝土钢-混组合吊箱围堰施工技术[J].桥梁建设,2022,52(1):132-138.
- [2]陈琳,李金洲,任博,等.深水环境下抗渗锁口钢管桩围堰施工技术[J].桥梁建设,2025,55(4):165-172.
- [3]王永辉,孟金强,汪海涛.深水围堰局部涌砂病害的水下封堵处理技术[J].国防交通工程与技术,2023,21(6):61-64.
- [4]郭张锋.跨海大桥水下封底混凝土关键技术与施工质量控制[J].交通世界,2023(36):145-147.