

# 水利水电施工导流及围堰技术分析

周贝贝

中科华水工程管理有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 水利水电施工中, 导流与围堰技术对工程顺利推进至关重要。导流技术通过合理规划明渠、隧洞等导流方式, 精准调控水流, 满足不同施工阶段需求, 确保主体工程在干地环境作业。围堰技术则以土石、混凝土等材料构建临时挡水结构, 着重解决防渗、抗冲刷及整体稳定性难题。实际应用中, 需结合工程地质、水文条件精细设计, 强化动态监测与风险管控, 确保施工安全高效, 为水利工程建设提供坚实技术支撑。

**关键词:** 水利水电施工; 导流技术; 围堰技术

引言: 水利水电工程作为国家基础设施建设的关键领域, 其施工过程面临复杂的水文与地质挑战。施工导流与围堰技术是保障工程干地施工条件、控制施工风险的核心环节。导流技术通过科学规划水流路径, 平衡施工期水流与主体工程建设的矛盾; 围堰技术则以临时挡水结构确保作业面安全稳定。二者协同应用需综合考虑地形条件、水文周期及工程特性, 其技术方案的合理性直接影响工期、成本及生态安全, 是水利工程建设中的关键技术课题。

## 1 水利水电施工导流技术理论

### 1.1 导流技术分类与适用条件

(1) 全段围堰法涵盖多种具体方式。明渠道流适用于河床较宽、河岸有较开阔滩地的平原或丘陵地区, 能适应大流量导流需求, 施工工艺相对成熟, 便于布置施工场地。隧洞导流常用于高山峡谷地区, 因地形限制无法开辟明渠时采用, 具有隐蔽性强、对周边环境影响较小的特点, 但隧洞开挖施工难度大、周期长。涵管导流适用于中小型水利工程, 流量较小且地质条件较好的场景, 构造简单、造价较低, 不过抗冲刷能力较弱, 需做好防护措施。(2) 分段围堰法同样有不同应用形式。束窄河床导流适用于河床宽度较大、流量季节变化明显的河流, 通过分期修建围堰将河床束窄, 为主体工程施工创造空间, 能充分利用天然河道的过流能力。底孔导流通常在混凝土重力坝等建筑物施工中采用, 利用坝体预留的底孔宣泄水流, 适用于中期导流阶段, 可与其他导流方式配合使用, 保障施工期间的水流安全。

### 1.2 导流标准与流量计算

(1) 频率分析法是确定导流设计流量的常用方法, 通过对历史洪水数据进行统计分析, 根据工程等级确定相应频率的设计洪水流量, 该方法数据易得、计算流程规范, 广泛应用于常规水利工程。可能最大洪水 (PMF)

法主要用于重要水利枢纽工程, 通过分析暴雨、洪水的成因机制, 推算可能出现的最大洪水流量, 能有效应对极端水文情况, 保障工程安全。(2) 导流时段划分需结合工程施工进度、河流水文特性等因素, 通常按枯水期、汛期等进行划分, 明确不同时段的导流任务和技术要求。风险评估则围绕导流系统的稳定性、洪水超标概率等展开, 采用定性与定量相结合的方法, 识别潜在风险点并制定应对措施, 降低施工导流过程中的安全隐患<sup>[1]</sup>。

### 1.3 导流方案优化方法

(1) 多目标决策模型以成本、工期、风险为核心优化目标, 通过建立数学模型量化各目标的权重, 对不同导流方案进行综合评价, 在满足工程安全的前提下, 实现资源合理配置和效益最大化, 解决各目标之间的相互制约问题。(2) 动态规划方法适用于多阶段导流方案的优化, 通过划分决策阶段、确定状态变量和决策变量, 逐步寻优得到最优方案。智能算法如遗传算法、粒子群优化算法等, 凭借其全局搜索能力, 能高效处理复杂的导流方案优化问题, 尤其适用于多约束条件下的方案筛选, 为导流决策提供科学依据。

## 2 水利水电施工围堰工程技术体系

### 2.1 围堰类型与结构特点

(1) 土石围堰由土料、石料等当地材料填筑而成, 取材便捷、造价较低, 适应地形能力强, 常用于中小型工程或临时导流, 但抗冲刷能力较弱, 需配套防渗措施。混凝土围堰强度高、抗渗性好, 结构稳定性强, 适用于深水、高水头及永久性工程周边防护, 不过施工周期长、成本较高, 对浇筑工艺要求严格。钢板桩围堰由钢板桩拼接而成, 施工速度快、可重复利用, 能在软土地基中快速成墙, 适合浅水区临时挡水, 但在坚硬岩层中施工难度大, 止水效果易受桩体连接精度影响。(2) 过水围堰需具备抗冲刷和消能能力, 设计时需设置护面 (如混

凝土板、浆砌石)及消能设施(如消力池、尾坎),确保洪水过流时结构安全;非过水围堰以挡水为核心,重点强化防渗和稳定性,无需复杂消能结构,设计更侧重基础处理和防渗体系构建,二者在荷载计算、结构选型及防护措施上存在显著差异。

## 2.2 围堰设计与施工关键技术

(1) 稳定性分析需重点验算抗滑、抗倾覆及渗流性能:抗滑分析通过计算滑动面剪切强度,确保围堰在水压力、土压力作用下不发生滑动;抗倾覆分析结合围堰自重与外力矩平衡,避免结构倾覆;渗流控制通过设置防渗墙、铺盖等,降低渗流压力,防止管涌、流土等病害。(2) 防渗体系构建需根据地质条件选择技术:高压喷射灌浆适用于砂层、黏土层,通过高压喷射水泥浆形成连续防渗帷幕;土工膜防渗适用于浅水区或临时围堰,施工便捷且成本低,需做好膜体拼接和锚固处理;此外,还可采用帷幕灌浆、黏土铺盖等技术,形成全方位防渗系统。(3) 施工期需实时监测围堰位移、沉降、渗流量等指标,采用自动化监测设备与人工巡查相结合的方式,及时掌握结构状态;同时制定应急方案,针对洪水、管涌、结构失稳等风险,储备抢险材料(如沙袋、防渗布),明确抢险流程,保障施工安全<sup>[2]</sup>。

## 2.3 围堰拆除与环境影响控制

(1) 爆破拆除需严格遵循技术规范:根据围堰结构、周边环境确定爆破参数(如装药量、起爆顺序),采用毫秒延时爆破减少振动影响;对附近建筑物、设备进行防护,设置减振沟、防护网;爆破后及时清理残渣,避免堵塞河道。(2) 生态修复需结合工程区域生态特点,拆除后平整河道岸坡,种植本土水生、陆生植物,恢复植被覆盖;水土保持措施包括设置排水沟、沉淀池,防止泥沙流失;同时监测水质、土壤状况,采取水质净化、土壤改良等措施,降低工程对周边生态环境的影响<sup>[3]</sup>。

## 3 水利水电施工导流与围堰工程案例

### 3.1 案例选择依据

选取白鹤滩水电站、锦屏一级水电站作为代表性工程,核心依据在于其工程规模与技术难度的典型性。白鹤滩水电站作为世界在建规模最大的水利枢纽之一,地处金沙江峡谷,水文条件复杂(年径流量大、汛期洪水峰值高),涉及大流量导流与高水头围堰技术,对同类大型工程具有标杆意义;锦屏一级水电站位于高山峡谷区域,存在高地应力、深水作业等特殊工况,其导流与围堰技术突破可为复杂地质条件下的工程提供参考,二者覆盖不同地形、水文及地质场景,能全面反映导流与围堰技术的实际应用情况。

### 3.2 导流方案实施效果

(1) 导流建筑物布置方面,白鹤滩水电站采用“隧洞+明渠”联合导流模式,布置4条导流隧洞(单洞直径13米)与1条明渠,通过合理规划建筑物轴线与断面尺寸,实现了施工期水流的有序分流,导流能力达5000立方米/秒,有效避免了水流对主体工程施工区域的干扰;锦屏一级水电站则以隧洞导流为主,结合坝体底孔导流,通过精准计算隧洞过流能力,确保了施工期河道通航与水流宣泄的双重需求。(2) 施工期洪水应对策略上,白鹤滩水电站建立“预报-预警-响应”三级机制,利用水文监测系统实时跟踪洪水过程,提前调整导流建筑物泄量,并储备沙袋、防渗布等抢险物资,成功应对2020年汛期超设计频率洪水;锦屏一级水电站则通过优化导流时段,将主体工程关键施工环节安排在枯水期,同时加固导流隧洞进出口防护,降低汛期洪水对施工的影响。

### 3.3 围堰技术难点与解决方案

(1) 深水围堰施工方面,白鹤滩水电站下游围堰采用钢板桩格型围堰,针对水深超30米的作业条件,创新采用“浮式导向架+振动沉桩”工艺,通过浮船搭载设备实现钢板桩精准下沉,同时采用高压喷射灌浆形成防渗帷幕,解决了深水环境下围堰成墙与防渗难题,围堰防渗效果达设计要求,渗流量控制在5立方米/天以内。(2) 高地应力条件下的围堰变形控制是锦屏一级水电站的核心难点,该区域最大地应力达30MPa,易导致围堰结构开裂。工程通过采用“柔性支护+刚性防渗”复合体系,在围堰基础设置预应力锚杆,同时选用变形适应性强的土工膜作为防渗层,结合实时位移监测系统(监测精度达0.1毫米),将围堰最大变形量控制在5厘米以内,满足结构安全要求。

### 3.4 技术经济对比分析

(1) 不同导流方式的成本构成差异显著:白鹤滩水电站“隧洞+明渠”联合导流总造价约12亿元,其中隧洞开挖与衬砌占比65%(主要为围岩支护与混凝土浇筑费用),明渠施工占比25%,其余为设备租赁与管理费用;锦屏一级水电站隧洞导流总造价约8亿元,隧洞开挖成本占比70%(因高地应力区域需加强支护,成本高于常规隧洞)。相较而言,明渠道流单位长度成本低于隧洞,但受地形限制较大,仅适用于开阔区域。(2) 工期延误风险与效益损失评估显示:白鹤滩水电站若因导流建筑物故障导致工期延误1个月,将造成发电效益损失约2亿元(按设计装机容量与上网电价测算),同时增加施工设备租赁与人工成本约3000万元;锦屏一级水电站因高地应力导致围堰变形修复,曾出现15天工期延误,直接经济损失

约8000万元(含材料更换与工期补偿费用)。可见,技术方案的合理性直接影响工程经济效益,前期充分的风险评估与技术优化可显著降低损失。

#### 4 水利水电施工导流与围堰技术发展趋势与建议

##### 4.1 技术创新方向

(1) 数字化导流模拟正朝着“BIM+CFD联合应用”深度融合方向发展。BIM技术可构建导流系统三维可视化模型,精准呈现建筑物空间布局与施工进度;CFD(计算流体动力学)能模拟不同水文条件下的水流运动状态,分析流速、压强分布等关键参数。二者结合可实现导流方案的动态优化,例如在白鹤滩水电站后续扩建工程模拟中,通过BIM+CFD联合仿真,提前发现原导流隧洞局部流速过高问题,及时调整断面形态,降低水流冲刷风险,相比传统试算方法,效率提升40%以上,为复杂导流系统设计提供科学依据。(2) 绿色围堰材料研发聚焦可降解与循环利用特性。针对传统土石围堰拆除后材料难以回收的问题,新型可降解土工合成材料(如聚乳酸基土工膜)逐步应用,在工程结束后可自然降解,减少环境残留;钢板桩、钢围堰等金属结构则通过模块化设计提升重复利用率,某中型水电站采用可拆卸式钢板桩围堰,工程结束后90%以上构件可转运至其他项目复用,相比一次性围堰降低材料成本35%,同时减少建筑垃圾产生量<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 政策与管理建议

(1) 建立导流标准动态调整机制至关重要。结合区域水文变化规律(如近年来极端洪水频发趋势),定期修订导流设计标准,例如针对长江上游流域,可将百年一遇洪水标准纳入重要水利枢纽导流设计考量,同时根据工程等级、生态保护要求差异化制定标准,避免“一刀切”;建立标准更新数据库,整合历史水文数据、工程事故案例,为标准调整提供数据支撑。(2) 完善围堰施工安全监管体系需从多维度发力。推行“智慧监管”模式,在围堰关键部位安装物联网监测设备(如应力传感器、渗压计),实时传输数据至监管平台,实现风险预警;明确监管责任主体,细化施工单位、监理单位、政府监管部门职责,建立“日常巡查+专项检查+应急演练”监管流程,

针对深水、高陡边坡等高危围堰施工,强制要求开展第三方安全评估,防范安全事故。

##### 4.3 研究展望

(1) 气候变化对导流设计的影响需重点关注。全球气候变暖导致暴雨、干旱等极端天气频发,改变传统水文周期,需加强气候变化与流域水文响应关系研究,建立动态水文预测模型,例如通过分析近30年金沙江流域降水数据,预测未来50年汛期洪水频率变化,为导流时段划分、设计流量确定提供前瞻性依据,避免因气候异常导致导流系统失效。(2) 智能化施工装备推广前景广阔。针对围堰施工中深水作业、高空吊装等高危环节,研发无人沉桩机、智能防渗墙施工机器人等装备,结合5G、北斗定位技术实现远程操控;在导流隧洞开挖中应用智能盾构机,通过AI算法优化开挖参数,提高施工精度与效率,某试点工程采用智能盾构机后,隧洞开挖工期缩短20%,人员投入减少30%,为大规模推广奠定基础。

##### 结束语

水利水电施工中,导流与围堰技术是攻克复杂水力条件、保障工程顺利实施的核心手段。通过科学选择导流方式、优化围堰结构设计,并融合数字化模拟、绿色材料等创新技术,可显著提升施工效率与生态适应性。未来,随着气候变化加剧及智能化装备普及,需进一步强化动态水文预测、风险预警及智能施工管理,推动技术向精细化、低碳化方向发展,为水利工程建设的高质量发展提供坚实支撑,实现工程效益与环境保护的协同共赢。

##### 参考文献

- [1]赵鉴.关于施工导流和围堰技术在水利水电施工中的应用初探[J].工程与建设,2022,36(01):124-125.
- [2]曹文旭.水利水电施工对于施工导流和围堰技术的运用策略[J].陕西水利,2021,(09):189-190
- [3]王景礼.探究施工导流及围堰技术在水利水电工程施工中的应用[J].珠江水运,2021,(11):79-80.
- [4]王雪蓉.水利水电工程中施工导流和围堰技术的运用[J].工程技术研究,2022,7(10):84-86.