

# 水利水电工程施工中导流施工的影响因素和关键技术

文 / 付济佳 江西省水利水电建设集团有限公司

**摘要：**导流施工作为水利水电工程建设初期的重要环节，直接影响主体结构施工的安全性、经济性与工期安排。本文结合当前水利水电工程导流施工的技术现状，从导流方式的基本类型出发，系统分析了水文地质、工程规模、施工组织、安全与环保等多种影响因素，归纳总结了导流施工的关键技术路径，包括施工准备、围堰施工、导流结构建设及结构封堵与转换等核心环节。通过条理清晰的技术解析，提出了适用于不同工况下的导流技术优化建议，以期水利水电工程的高效、绿色建筑提供理论支持与实践参考。

**关键词：**水利水电工程；导流施工；围堰工程；施工技术；影响因素

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.089

## 引言

水利水电工程作为典型的资源性基础设施，其建设需长周期、多阶段、多专业协同推进。在施工过程中，导流施工处于整个工程实施的前端，是确保主体结构能在干地条件下安全高效施工的关键措施。其技术难度大、环境适应性强，尤其在山区复杂地形、变幅水文条件和大型结构物布置背景下，导流施工成为工程成败的关键节点。近年来，随着施工设备、水力模拟及防渗材料的发展，导流技术逐渐趋于系统化和精细化，然而在实际工程中仍存在设计不合理、应急响应能力不足等问题，亟需开展深入的理论研究与工程实践总结。

### 一、导流施工的基本方式

#### （一）明渠道流方式

明渠道流就是在施工区域的一侧挖出导流渠，把水流引到主坝作业区之外，这种方法适合中小型工程，这里的水流量比较小，枯水期水位较稳，落差也不大，导流渠往往处于岸坡稳定的地方，渠底宽大概在10到30米之间，渠深是3到6米，流速设计要控制在每秒1.5到3.0米，纵坡常常被控制在0.002到0.005，边坡防护大多用浆砌片石或者喷混植生之类的方式，渠底经常设置冲刷板或者跌水消能的设施，明渠道流的结构较为简单，施工历时较短，适应能力较强，一般会用在I期围堰或者配合双向围堰体系一起使用，不过它应对来水量波动和突然暴雨的能力较差，所以在施工的时候务必随时关注上游水情的变化。

#### （二）隧洞导流方式

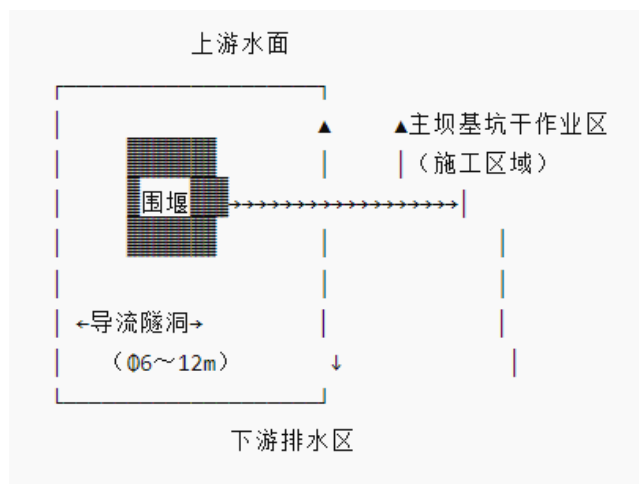
隧洞导流这种方法，要在坝体一侧的山体内修筑起闭合的导流隧洞，从而使施工区的水流在枯水期或者汛期中小洪水时有效地绕流而过，此方法适合于那些流量大，河床变化幅度大或者地质状况许可的中大型工程。隧洞的内径常常处于6到12米之间，其长度大多在300到1200米范围内，设计流量为500到1500立方米每秒，洞身更多呈现马蹄形或者圆形断面，衬砌结构往往会采用C30及前面等级的钢筋混凝土，厚度大致为0.4到0.6米，部分加厚之处能够达到1.0米，在进出口端设置消能工，导墙以及防冲槽，以保证导流期间水流的稳定，

保护出口区域河道结构的安全，这种方式施工历时比较久，不过却能够长久保住大面积的干作业区，特别适合于总工期超出24个月的高等级工程。

### 二、水利水电施工导流工作原理

在水利水电枢纽营造期间，导流施工是一项关键的技术举措，通过设置临时水流通道的，可使施工区形成干作业面，从而保障主坝，厂房以及泄洪结构等工程的安全施工，其基本工作原理如下：首先借助围堰阻断天然河道水流，然后利用明渠，隧洞或者管道等结构将水有序地引至下游，这样就能达成对河道天然水流的人工调度，在枯水期，导流结构的通流能力应不少于200-500立方米/秒，保证基坑区域一直处于设计干扰水位之下；到了洪水期，则要借助设置闸门，溢流堰或者洞体溢洪管等设施来削减并排泄洪峰流量。

图1. 水利水电施工导流展示图



### 三、水利水电工程施工中导流施工的影响因素

#### （一）水文条件与设计通流能力

导流施工受区域水文特征的直接制约，诸如多年平均流量，设计洪峰流量，枯水期最小流量，洪水持续时间及径流变幅等因素都会产生影响，在山地型河流中，设计流量的变化幅度较大，日流量的最大变幅可达到200-600m<sup>3</sup>/s，这会直接影响到导流断面的尺寸与围堰的防洪高程，如果没有充分考虑20-50年一遇的设计流量，

就有可能引发导流设施超负荷运行，围堰失稳等事故风险。施工单位在编制导流方案的时候，务必要依照实测的水文资料来做典型年的比选以及计算的复核工作，要保证导流结构的设计流量不比施工期间最高可能出现的来水量低，而且还要分阶段设置枯水导流通道，常水位导流洞以及超标准溢洪设施，从而做到系统的相互适应以及流量的调节与储蓄。

**(二) 地质地形与基础工程适应性**

工程场地的地质条件会影响导流通道布置的可行性以及围堰的稳定性，如果导流洞处于岩层完整的山体部位，而且围岩抗压强度不少于 30MPa，那么大体上就能符合无衬砌或者轻衬砌的开挖需求；但是在覆盖层厚度超 20m 或者存在断层破碎带的地方，则要采取全衬砌支护系统，并增设止水帷幕，当围堰施工区域碰到砂卵石透水层或者淤泥质土层，且它们的渗透系数大于  $10^{-3}$  cm/s 时，就一定要做帷幕灌浆或者铺防渗土工膜<sup>[1]</sup>。

**(三) 工程布置与导流结构组合方式**

坝址和主体结构的安排方式对于导流方案选型有着关键意义，就重力坝，拱坝这样的大坝种类而言，主坝轴线的长度往往处于 300 到 700 米之间，坝高可达 80 到 150 米，由于要求基坑干作业区持续处于封闭且不被淹没的状态，所以导流设施的安排务必避开主体基础的开

挖区域，而且要具备导通期和封堵期这两种工况相互转换的能力。如果枢纽安排当中泄洪建筑物和导流洞存在功能上的交集，那么导流结构就要具备功能转换衔接的特性，当导流洞兼任溢洪道的时候，其断面需要保留对应的过水能力和衬砌强度，工程的布设还会影响到围堰的选型方案，一般在单边布坝的时候会选用双向围堰，而当坝址全面封闭时就得设置环形围堰，并且依靠闸门或者穿堰管来调控导流排水的路径。

**四、水利水电导流施工关键技术应用路径**

**(一) 施工准备**

在水利水电导流施工当中，施工准备这个环节很重要，它影响着整体工期与导流效果，包含很多方面，比如审查施工图，调查地形地质，核对水文计算结果，比较不同的导流方案，安排施工组织以及储备物资设备等。在施工之前，要重新核对导流流量和施工期间洪水出现的频率，确定好围堰的高度，导流通道的大小以及通流能力设置标准，依此来制订动态的应急响应计划，施工场地要做到“三通一平”，还要布置交通便道，对于导流洞所在区域来说，应该优先挖掘便道并搭建洞口平台，而且要安装专门的供电与排水系统，表 1 显示的是某中型水电站导流工程施工准备阶段一些关键参数的设定情况，这可以作为现场执行技术方案时的依照以及核查标准。

表 1. 中型水电导流工程施工准备关键参数配置表

项目	参数范围	技术要求说明
枯水期设计流量	150 ~ 400m <sup>3</sup> /s	基于 30 年实测资料统计计算
围堰设计高程	+275.00 ~ +280.50m	高于历史同期最大水位 2.0m 以上
导流通道初期断面	6×6m ~ 10×10m	满足通流与施工机械同步通行
洞口平台开挖宽度	12 ~ 20m	满足钻爆施工与设备转运需求
临时供电负荷配置	300 ~ 500kW	独立变压器与双回路冗余供电系统

**(二) 围堰施工**

**1. 材料运输**

围堰施工期时，材料运送组织同施工速度，安全状况直接相关，其常用材料包含黏性土，砂砾石，混凝土块石，防渗膜以及钢筋网等。在运送期间，要按照每日最大填筑强度来安排运送能力，若土石围堰每天填筑量处于 8000-12000 立方米之间，那么就应当安排 40-60 辆运送车，4-6 台装载机，而且运送半径应维持在 3-5 千米以内，这样才能保证施工连贯性并提升设备周转效率，运送路线最好规划在稳固的基岩区域，采用双向错车道形式，宽度至少 6 米，还要设置排水边沟和临时护栏<sup>[2]</sup>。

**2. 围堰分层填筑与压实**

围堰填筑工艺要达到高强度，低渗透和抗冲刷的要求，土料填筑用分层法，每层厚度不能超出 0.3 米，压实 4 到 6 遍。压实设备最好用 10 吨前述的羊足碾和振动碾搭配操作，碾压速度要控制在 2.5 到 3.0 千米/小时，围堰迎水面和背水面填筑要一起推进，这样才能维持堰体稳定，填筑高程每上升 2.0 到 2.5 米就要设置水平平台来做观测和修整，围堰顶部宽度一般是 8 到 12 米，边

坡比最好控制在 1:2.0 到 1:2.5 之间，施工期间渗流控制须要结合填筑层间设置防渗帷幕或者膨润土隔水层。

**3. 防渗与加固处理**

施工过程中，若要提升围堰结构整体的抗渗能力，就要同步设置迎水面防渗层和堰基加固设施，迎水面常常会用到一些防渗型式，比如黏土心墙，其厚度在 1.0 至 2.0 米之间；也会铺设复合土工膜，厚度从 0.6 到 1.2 厘米，接缝以热焊或者胶结的方式来处理，倘若堰基存在砂卵石透水层，而且它的渗透系数比 10 的 -3 次方厘米/秒大，就须要设置水泥-粉煤灰-黏土浆液三重帷幕灌浆，深度要控制在 5 到 10 米之间，为了进一步加强整体的稳定性，还应该在堰体的两边设置条形反滤层和抗冲防浪护坡，护坡块石的厚度大体上是 40 到 60 厘米，其基础的掩埋深度不少于 0.5 米。

**4. 围堰监测布设**

围堰运行的时候，要形成完善的检测系统，以保证结构稳定，运行安全，常设置的检测项目涵盖堰体沉降，渗流压力，位移，应力，孔隙水压力。堰体纵向与横向布置沉降点时，间距应控制在 20 到 30 米，渗压管埋深

设在 0.5 米, 1.5 米, 2.5 米这三个典型层位, 自动采集设备需装备数据记录模块, 要有远程输送功能, 及时数据输送历时不能超出 30 分钟, 堰体迎水面要设置倾斜计和水位计, 从而达成与上游来水量的联合调节控制, 而且要预先规定高水位警戒阈值以及应急排险机制。

### (三) 导流结构施工

#### 1. 导流渠道或洞体开挖

导流通道的开挖形式依循地形并按照设计导流流量来确定, 包含明渠, 隧洞以及管道, 明渠开挖常常利用挖掘机分层实施, 并由人工清理底部, 渠道底面宽度维持在 10-30m 之间, 开挖深度为 3-6m, 纵向坡度把控在 0.002-0.005。导流隧洞主要采取钻爆法或者全断面掘进机展开作业, 单个班次的进尺把控在 2.5-4.5m, 要依照围岩等级安设初期支护和永久衬砌结构, 其断面形式大多为马蹄形与圆形, 净空宽度不少于 6m, 在施工进程中应当切实遵照爆破振速的控制标准, 保证岩体振速不超过 10cm/s<sup>[3]</sup>。

#### 2. 洞(渠)身支护与衬砌

导流结构的支护体系需遵照围岩等级及地下水状况来选定, 在围岩较为稳定的地方, 会采用锚杆-钢筋网-喷射混凝土这种初期支护系统, 喷射混凝土的厚度要保持在 10 到 15 厘米之间, 锚杆的长度处于 2.0 到 3.5 米范围内, 其间距则为 1.0 到 1.5 米。衬砌结构选用 C30 或者 C35 的钢筋混凝土, 衬砌厚度按照水头与内压情形而定, 一般来说是 0.4 到 0.6 米, 部分地段可能会设置加强筋带, 导流渠的侧壁和渠底应当一起建造, 底板处要设有抗冲层和伸缩缝, 缝距维持在 10 到 15 米, 为保证内部水流平顺流动, 衬砌面还要做二次抹面处理, 使其表面平整度控制在 ±3 毫米以内。

#### 3. 进出口连接处理

导流结构进出口的衔接需兼顾水流引导的稳定性与结构强度, 其入口段要设置导墙和消能池, 引水墙的高度常常处于 2 到 4 米之间, 底部宽度不少于 2 米, 导墙和隧洞之间应有渐变段来过渡, 该渐变率需控制在 1:5 以内, 出口段则要按照下游流速以及河床被冲刷的程度设置消力池, 防冲平台和回填护底, 防冲平台的宽度至少是隧洞断面的 1.5 倍, 在进出口结合处的混凝土结构上还要设置施工缝与止水带, 止水带选用中埋式橡胶材质, 厚度不能小于 1.2 厘米, 并且增添止水铜片以提升密封性能。

#### 4. 管道导流结构安装

初期导流或者小型水工项目常常会采用钢管或者 HDPE 管导流系统, 钢管的直径处于 1.0 到 3.0 米之间, 其连接形式是用法兰螺栓加上橡胶垫来密封, 安装坡度被控制在 0.002 到 0.005 这个范围内, 支墩间距为 6 到 10 米。HDPE 管必要设置柔性接口, 外面包裹砂垫层, 而且还要保证管顶覆盖层的厚度不少于 1.0 米, 在管道进出口的地方, 要设置进水口闸门和出水消能池, 如果水

头比较大, 可以设置空气阀和减压井<sup>[4]</sup>, 在施工的时候, 应该做全长压水试验, 试压压力不能小于设计水头的 1.5 倍, 持续时间不能少于 60 分钟, 许可的压降不能超出 1.0 米。

### (四) 导流结构封堵与转换

#### 1. 导流结构封堵规划

导流结构封堵阶段表明主坝施工全面开始, 封堵过程要在可调节的水文条件下执行, 封堵规划需明确汛限水位, 施工期间最大可承受流量以及封堵所需材料设备的储备量, 常常会用快速填筑堆石围堰, 暂时阻断导流渠以及水下混凝土封堵等技术, 拿导流洞封堵来说, 封堵段设计长度处于 10 到 20 米之间, 封堵断面采用梯形或者矩形的混凝土闸墙结构, 其结构厚度为 1.5 到 3.0 米, 内部设置止水板和导流槽, 填筑速度控制在 2.0 到 3.0 立方米每分钟, 而且, 封堵总工期要控制在 10 到 15 天内完成。

#### 2. 围堰拆除或转化

封堵完工以后, 要依照结构功能来拆除原来的导流围堰或者做转化处理, 如果是临时堰体, 就用分层反铲的方式拆除, 每天的拆除量控制在 3000 到 5000 立方米之间, 拆除的顺序是从堰顶到堰基, 先迎水侧再背水侧逐步推进。要是围堰能转变成永久性的护岸或者土坝结构, 就要加上稳固的加固层和反滤层, 保证堰体的安全系数胜过 1.3, 围堰拆除之后, 场地上要做平整压实处理, 压实度不能小于 95 标准击实密度, 这样才可以符合后续施工机械通行以及坝基施工的需求<sup>[5]</sup>。

### 结语

导流施工在水利水电工程初期施工组织中属于关键性环节, 其所采用的技术及其开展效果同整个工程的安全与否以及进度能否得到把控存在直接关联, 通过对围堰施工, 导流结构创建以及封堵转换这些主要流程加以系统性剖析, 并把具体参数和施工数据融合进来, 可以有效地加强工程的导流能力并改善应急响应水平, 在持续发展的工程操作进程里, 要一直改良导流设计及其技术运用途径, 增进施工观测和信息化手段之间的协作配合, 保证导流系统在复杂水文状况下稳定运行, 进而给后续主坝和主体建筑物施工赋予稳固的保障。

### 参考文献

- [1] 池文涛, 缪驰. 浅析导流施工技术在水利水电工程施工中的运用[J]. 散装水泥, 2025, (02): 91-93+96.
- [2] 马振国. 水利工程施工导流及围堰技术的应用研究[J]. 水上安全, 2025, (07): 169-171.
- [3] 杨少康. 水利水电建筑工程施工技术研究[J]. 水上安全, 2025, (06): 73-75.
- [4] 雷明士. 水利工程施工中的导流施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (08): 211-213.
- [5] 孟羽昊, 刘斌. 水利工程施工中导流施工的影响因素和关键技术[J]. 数字农业与智能农机, 2024, (08): 61-63.