

# 水利水电工程导流系统设计与施工协调

袁 丽

云南能阳水利水电勘察设计有限公司 云南曲靖 655000

**摘 要：**水利水电工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，在防洪发电等方面发挥着不可替代的作用。随着生态文明建设深入推进，传统水利水电工程面临着规划设计转型与创新的挑战。本文阐述了水利水电工程导流系统设计要点，并对水利水电工程导流系统施工协调策略进行了探讨。以期促进我国水利水电工程可持续发展。

**关键词：**水利水电工程；导流系统设计；施工协调

水利水电工程施工导流系统是工程建设的重要步骤，其对工程的安全、工期和环保目标的实现具有重要影响。目前，行业在导流结构设计标准化、汛期动态管理、生态环保建造等方面还面临着技术瓶颈，亟需通过系统化研究，寻求更加符合现代工程需要的导流系统设计与施工协调方法，对于提高我国水利水电建设的安全水平，具有重要的现实意义。

## 一、水利水电工程导流系统设计要点

### 1. 导流方式选择

分段式围堰适合于河道宽、建设周期长的大型水利工程。采用分时段修建围堰、缩窄化或分段修建的方式，既能为主要结构物创造干地建设环境，又能确保河流的连续泄水。其主要优点是可有效发挥全断面的作用，采用分段式的方式减小了一次导流的难度，且适用于各类建筑的构造特征。在实际工程中，要对导流阶段进行科学分区，合理设置各阶段的围堰布局，认真组织好施工时序的变换。

以三峡大坝为实例，其实施“三期导流”方案，一期是对右岸进行围封，建设长堤，同时进行导流槽的施工；二期围在左岸主要河道，采用河道导流的方式，同时修建溢洪道、左岸电站；三期再将右岸明沟围，并通过大坝的导流底孔，实现右岸的施工。在工程中，要准确地进行引洪量的计算和构筑物的型式的选择，以及对截流工程的严密组织工作。溪洛渡水电站就是利用套方法，在金沙江河谷内设置多个大尺寸的引水隧道，一次性彻底，达到了泄洪的目的。其优点是施工集中、工期短，但对复杂的地形和地质情况有很大的需求，并对边坡的地貌特征提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。

### 2. 导流挡水结构设计

围堰是一种临时性的支挡结构，围堰形式主要有土

石围堰和混凝土围堰两种，在选用围堰时应充分考虑地形地质条件、施工难度和经济条件。在工程设计中，最重要的是坝体的抗滑稳定性和渗水稳定性。对围堰进行抗滑稳定性分析时，需要对不同工况下的抗滑稳定性进行计算，以保证其符合设计标准；通过对渗流场的分析，提出对渗流场进行合理的分析，并采取相应的防治措施的建议。以向家坝电站为例，对于深厚上覆土层，采取混凝土隔离墙和一道帷幕注浆复合控制系统，经过周密的设计，保证了其渗流稳定性。

导流隧洞/明渠设计应从水力特征及建设需求等方面进行考虑。在高程的设置上，要考虑进出口的衔接，防护的冲刷和方便的施工。在引水隧道的设计中，要注意进、出口的布局，确保水流顺畅，防止旋涡、空化现象的发生；应加强抗冲刷、合理的衬砌及消能工的建设。在明渠工程中，要注意纵向坡度的选取与截面的优选，以保证河道的流畅，并将流量的大小控制在允许的范围之内。以白鹤滩水利枢纽为例，通过水力模型实验，对入、出口处形状进行了优选，并采取了相应的支护措施，从而有效地克服了大流量条件下隧道的冲刷与稳定问题<sup>[2]</sup>。

### 3. 导流设计关键环节和考量因素

在水电站导流系统中，水力计算是最基本的工作之一，利用该地区的水文、气象数据，利用频率解析方法，对不同重现期的设计洪水进行估算，并结合建设周期的阶段性特征，对各时期的设计进行比较。在水利计算中，需要通过水力计算来决定导流结构的尺度大小，并对不同情况下的水流形态和流速的变化进行研究，从而为导流结构的优化设计奠定基础。通过对地下厂房进行精细的地貌调查，可以为地下厂房的合理布局和合理布

局奠定一定的理论依据。

在进行围堰施工时,地基的承载能力和渗透特性是进行地基加固的关键。如龙滩电站工程,经对工程实际情况进行细致的调查,查明其右岸岩体稳定不良,并对其进行了合理的处理,从而消除工程施工中存在的安全风险。工程地质调查是进行合理工程布置的基础。在制定施工计划时,应综合考虑施工进度和施工组织的需要,并与施工整体布置有机结合。在工程设计中,要对导流结构的工期进行适当的规划,以保证其能够满足穿越的要求;还应充分考虑工程机械的工作空间和运输路径等场地布局的需要。

## 二、水利水电工程导流系统施工协调方法

### 1. 施工前准备工作

工程前期的前期准备是引水工程从设计到实际施工的过渡时期,其核心问题在于如何将项目设计意向转变为可实施的工程图纸和资源规划。在对项目的特殊条件进行深入分析的基础上,先要进行详细的水文地质勘察资料收集,枢纽建筑总体布置,施工总进度计划和环保需求。在上述研究的基础上,通过对多个方案的技术和经济比较,对各类型引流模式的技术可行性、投资费用和安全性进行全面评价,优选出与项目整体目标最为匹配的优选方案。导流工程具体设计包括围堰、明渠或涵道等。设计中主要考虑施工方案的选择,断面尺寸和高程的确定、细部构造的设计与基坑支护的连接等。在进行设计时,必须按照有关的规范和规范,将施工的可操作性和今后的运营维修等方面都要加以考虑,要将其设计结果编制成完善的施工图纸和技术规范,为以后的招投标和建设工作提供准确的参考。

例如,白鹤滩电站在前期工作中,由于金沙江河谷地势较高,水流较大,其引水工程的设计难度较大。针对河谷狭窄,岸坡陡峻的地貌特点,采取“全年隧洞导流”方式,布设5个直径16 m、高13 m的马蹄型引水隧道,设计总流量为32000 m<sup>3</sup>/s。在工程设计中,根据隧道跨越玄武岩岩层的特性,提出了一种新型的组合支护体系,即:1 m厚的25 cm钢纤维混凝土喷射,1.2 m的网格拱支护;2 m的二次衬砌为C30,2 m厚1.2 m,并在F7断裂地段增设管棚预支护。为了保证工程的顺利进行,在15 m以上的会聚测点之间建立了一个监测网,并对其进行了稳定的监控。在原料和装备的筹备上,项目指挥部已在18个月内,完成了12500吨高强钢板桩,85000平方米防水卷材,280,000吨低热水泥42.5吨。为满足特大

截面隧道建设需要,特设计3套17.5 m的全截面盾构机,并组建大型机具286台。这些系统性的前期工作保障了第一个干季期间的引水工作,5个引水渠比预定时间提早45 d通过,为以后的坝体基础开挖创造了条件<sup>[3]</sup>。

### 2. 施工过程中的协调

为了保证引水工程按照设计要求安全高效地运行,对其进行了有效的控制。基于动态规划和超前规划的方法,将枢纽的启用等环节视为项目进度表的硬性约束,反过来对主要项目的工期进行制约。在施工过程中,需要制定详尽的导流工程施工方案,对截流前准备、导流建筑物过流等关键阶段的工期和形象要求进行细化。在施工期间,要构建施工进度预警体系,在主要施工延迟会对施工进度产生不利影响的情况下,要立即启动方案,通过调整施工强度或经过设计审核对其进行调整,以保证施工时间和施工总体进度之间保持良好的协调。通过对导流结构的整体质量和与周围环境的界面进行严密的控制,从而实现了工程的质量与导流体系的协调。从围堰基础处理到防渗体施工,再到隧道的支护,其关键是保证工程结构安全、防渗可靠和耐冲性。为此,采用现场实验和在线监控相结合的方法,通过对土、石组合物进行密实度的现场观测和非破坏性检验,实现对工程中存在的各种质量问题的有效预防,保证工程在设计条件下的安全运行<sup>[4]</sup>。

例如,乌东德电站在建设中,通过全程的组织和协调,保证整个项目的实施。针对工程建设中的工期协同问题,提出了基于4层的进度管理系统,对导流洞混凝土衬砌和围堰浇筑等关键过程进行了量化分析,并利用BIM 4 D动力学仿真方法对其进行了实时监控。2021年汛期围堰浇筑过程中,现场对大坝左侧的混凝土浇筑进行实时监控,结果发现大坝左侧的混凝土浇筑比预计的要晚15%,于是及时发出警报,7天之内将工程机械由32台增至45台,将日浇筑强度由12,000立方米提高到18,000立方米,从而保证了在汛期前的围堰浇筑高度892 m。在产品的品质管理上,以23项质控指标为依据,构建了检测系统。在本工程中,对某水电站引水隧道工程中的C30混凝土进行了全面的强度检测,并对其28 d抗压强度进行了统计分析(如表1)。在工程建设中,建成了以126个监控站点为主体的全自动监控体系;尤其是在截流过程中,设置45个边坡位移监测点,28个渗透压力计,对3起重大危险事件进行了预报。其中,在今年11月封闭期间,观测到龙口断面流量大于6.5m/s,及时

启动应急反应，并通过调节龙口水流速度，保证了截流施工的安全性<sup>[5]</sup>。

表1 28天抗压强度统计

检测批次	设计强度 (MPa)	实测均值 (MPa)	标准差 (MPa)	合格率 (%)
1-50	30	34.2	2.1	100
51-100	30	32.8	1.9	100
101-150	30	31.5	1.7	98.5

### 3. 施工监测和调整

输水管道的工程监控是检验设计意图和引导工程建设的重要方法，其监控内容必须涵盖整个工程的安全性和水力学参数。通过对坝体的变形、应力-应变、渗流场参数及周围边坡的稳定进行分析。水工参数的监控主要包括上下游水位变化、流量分布等。利用高精度测量机器人和GNSS自主监测技术开展地表形变监测，通过埋设渗透压力计、斜管和应变片等装置获得建筑物的反应信息，利用ADCP多普勒测径仪和雷达流速仪等进行水文要素的测量。各种监控资料需要通过自动收集设备传送至各数据中心做进一步的处理和分析。以监控成果为基础的建设项目规划调控是项目实施过程中的关键步骤，其运行机理取决于预先设定的预警阈值和多阶段反应流程。若坝体变形速度持续3天大于5 mm/d，或渗漏量增加30%，则应及时进行评价。

例如，溪洛渡水电站引水隧道工程利用该监测系统有效的预警，并进行重要的工程施工调整。在3号隧道施工期间，布设的GNSS自动观测系统，观测到隧道顶部的沉降速度不断增加，且在KK0+350~KK430段处出现了明显的形变现象（见表2）。另外，在洞室周围布置12台应变仪，测得的最大主压力达到8.7 MPa，与设计要求的10 MPa相近。当形变速度2日内大于5mm/d时，监控中心按预先设定的警报系统发布黄色警报，并马上进行紧急反应。通过对该区的地质雷达勘探，确定该区有一条15 m左右的尚未勘探断裂带，这与原工程的设计情况有很大的出入。施工过程中，施工单位及时组织专家评审会，根据监测资料，对施工方案进行了如下的优化：将原有锚杆间距由1.5 m提高到0.8 m，喷射混凝土由15 cm提高到25 cm，同时沿断裂带设置3道超前管棚支护。

采用该调节措施后，实测资料表明，该工程48 h以内的变形率为1.2 mm/d。通过对隧道开挖过程中的观测资料进行实时修正，有效防止了隧道坍塌，保证了隧道的按时完工，为以后的建设争取到了宝贵的时间，对同类隧道的建设具有一定的借鉴意义<sup>[6]</sup>。

表2 桩号K0+350 ~ K0+430区段监测数据

监测日期	洞顶沉降 (mm)	收敛变形 (mm)	变形速率 (mm/d)
第1天	12.5	8.2	2.1
第2天	18.3	13.6	5.8
第3天	26.8	21.4	8.5
第4天	38.2	32.7	11.4

### 结论

总之，在水利水电工程中，对导流系统进行设计与施工的协调具有重要意义。要结合工程的具体条件，不断地对其进行动态的、有效的调节。通过对该项目实施全过程协作，可以有效地控制风险，保证施工进度。随着BIM技术和智能监控等技术在隧道施工中的大量运用，使水利水电工程施工管理越来越趋向于精细化和智能化。今后，要加强设计与建造的结合，通过科技与管理的创新，建立起更为科学的协作工作体系，提高我国的水利水电工程项目管理水平。

### 参考文献

- [1] 晁玉芹. 水利水电工程施工中导流及围堰技术研究[J]. 工程建设与设计, 2025, (19): 213-215.
- [2] 蔡岸. 水利工程施工中导流施工技术研究[J]. 水上安全, 2025, (18): 154-156.
- [3] 张功印. 水利工程中跨河桥梁施工导流和围堰技术应用分析[J]. 安徽建筑, 2025, 32(08): 150-153.
- [4] 张兴祖. 水利水电施工中施工导流和围堰技术的运用[J]. 产品可靠性报告, 2025, (07): 197-198.
- [5] 李梦阳. 水利水电工程施工导流度汛问题与相关技术[J]. 大众标准化, 2025, (13): 72-74.
- [6] 胡绍磊. 水利工程施工中导流施工技术应用研究[J]. 水上安全, 2025, (13): 187-189.