

水库土石坝水利工程设计规划

孙少秋 童卫国

广东中灏勘察设计咨询有限公司云南分公司 云南 蒙自 661100

摘 要：土石坝作为水库工程中应用最广的坝型，设计与规划工作贯穿工程建设全生命周期，涉及地质勘察、结构设计、配套设施布置及施工组织等多个技术层面。本文围绕水库土石坝工程的设计基础与条件分析展开，系统梳理坝址选择、材料评估、水文气象约束等前置条件。在此基础上，剖析坝体断面分区、防渗结构选型、坝基处理等主体结构设计的技术要点，探讨溢洪道、输水建筑物、监测系统配套设施的设计逻辑，并从导流方案、料场规划、填筑施工及质量管控等维度搭建施工组织框架，为土石坝水利工程的系统化设计与规划提供技术参照。

关键词：土石坝；结构设计；防渗体系；施工组织；配套设施

引言：水库土石坝工程建设是一项多专业协同、多阶段衔接的系统性工程，设计与规划的科学性直接关系到工程运行安全与使用寿命。坝址地质条件的复杂程度、水文气象环境的变化特征以及筑坝材料的品质差异，均对坝体结构形式与施工组织方案产生深层约束。从设计基础条件的研判到主体结构的精细化设计，从配套设施的协同布置到施工全周期的组织安排，每一环节都需要在多重约束条件下寻求最优平衡。梳理各技术板块的内在关联与设计逻辑，对提升土石坝工程设计的系统完整性具有实际意义。

1 水库土石坝工程的设计基础与条件分析

1.1 水库工程总体功能需求与坝型选型依据

水库工程建设需结合区域水资源调配、防洪调控、农业灌溉及生态补水等多元建设目标确立整体功能定位，结合流域水资源时空分布特征统筹规划工程运行模式^[1]。土石坝坝型的筛选工作依托工程建设场地的整体建设环境开展，结合水利工程建设规范标准，适配场地整体建设条件与长期运行需求。工程建设的核心功能指标直接决定坝体结构规模、防渗体系配置及整体稳定性设计标准，不同功能侧重会对坝体断面形式、填筑标准及附属配套设施布局产生差异化影响。场地建设环境、施工技术条件、工程投资预算及后期运维难度，均为坝型确定的核心考量因素，可保障坝体结构适配工程长期安全稳定运行的核心需求。

1.2 坝址区域地质地形条件勘察与评价

坝址区域地形地貌格局直接把控坝体布设形态、工程占地范围及泄水建筑物的布置形式，地势起伏状态与河谷形态可决定坝体填筑跨度与整体受力格局。地质勘

察工作围绕坝基覆盖层特性、基岩风化程度、岩体结构完整性及地层渗透特性开展系统性探测，全面摸排区域内岩土体物理力学性能参数。针对区域地层稳定性、岩土承载能力及地基渗透变形风险开展专项分析，判别坝址区域是否存在影响工程建设的不良地质问题。通过全方位勘察数据完成场地建设适宜性综合评价，为坝基处理方案、坝体结构设计及地基防渗设计提供核心基础参数支撑。

1.3 水文气象条件对坝体设计的约束分析

区域长期水文序列数据可界定流域径流变化规律、汛期洪水量级及泥沙淤积特征，相关数据是坝体高程设计、泄洪能力配置及水库运行水位划定的核心基础。气象要素中的降水分布、气温变化及风力工况，会对坝体填筑施工质量、坝面防护结构设计及库区水体蒸发损耗调控形成直接约束。极端水文气象工况下的洪水冲击、低温冻融及强风侵蚀等环境作用，会对坝体结构耐久性、防渗系统完整性及整体抗灾性能提出硬性要求。设计工作需充分适配各类水文气象环境约束，优化坝体结构参数与防护体系，保障工程适配流域长期水文环境变化规律。

1.4 筑坝材料场分布与料源品质评估

筑坝材料的场地分布格局影响工程施工运输路线规划、施工进度排布及整体工程造价管控，合理的料场选址可有效提升工程施工建设效率。针对土料、石料等核心筑坝原材料，需开展系统性品质检测，重点核查材料颗粒级配、压实性能、渗透系数及抗剪强度等关键性能指标。全面排查料场材料的储量规模、开采条件及场地稳定性，判定原材料能否持续适配坝体大规模填筑施工

的质量与用量标准^[2]。结合材料品质检测结果与场地开采条件,筛选适配坝体填筑、防渗及护坡施工的优质料源,为坝体结构填筑设计与施工工艺确定提供可靠物料依据。

2 水库土石坝主体结构与关键技术

2.1 坝体断面分区设计与填筑标准确定

坝体断面分区设计依托土石坝结构受力特征与填筑材料物理特性开展精细化划分,结合上下游水位升降产生的动态荷载差异,规划功能各异的坝体结构区域。不同结构区域承担的水利荷载与外部环境作用存在区别,填筑工艺参数与质量管控标准适配各区域的结构运行需求。坝体中部核心区域承接主要竖向荷载与蓄水压力,填筑施工需严格把控密实程度,保障坝体主体结构的承载稳定性,减少内部孔隙发育问题。坝体上下游区域直面风浪冲刷、温度交变与水流侵蚀等外界作用,填筑结构侧重优化透气排水性能,增强结构对外部复杂环境的适应能力。填筑标准结合水利工程建设规范制定,结合坝体建设高度、长期蓄口水头与地基承载条件细化压实度、最优含水率及孔隙率等核心控制指标,有效控制坝体压缩变形,实现整体结构应力均匀分布。

2.2 防渗体结构形式选择与布置设计

防渗结构是土石坝工程的核心构造,直接决定水库蓄水效率与坝体长期运行的安全稳定性。防渗结构形式的选取综合考量工程建设规模、库区蓄水工况、填筑材料性能与现场施工条件多项要素。常用防渗构造分为坝体内部防渗结构与坝面表层防渗结构两类,可适配不同建设等级的土石坝工程。内部防渗结构利用细颗粒优质填料构筑连续完整的阻水层,切断水体顺着坝体孔隙渗透的通道。表层防渗结构借助专用防渗材料覆盖坝体表面,阻隔水体与坝体填筑土体的接触,减少水分向内渗透侵蚀。结构布置贴合坝体断面整体形态,维持防渗构造的完整性与连续性,规避结构断裂、形变引发的渗漏隐患,全面提升坝体阻水防渗性能。

2.3 坝基与坝肩处理技术方案设计

坝基与坝肩的岩土整体状态,直接影响坝体结构的整体稳定与防渗成效。天然建设场地的岩土体普遍存在松散堆积、表层风化、内部裂隙等不良地质特征,需要针对性施工技术完成加固处理。工程施工中会彻底清理坝基表层松散土体与强风化岩层,提升基础整体承载性能,弱化坝体不均匀沉降问题。渗透性能较高的基底岩层会配套专项防渗处理工艺,封堵岩层内部渗流通道,遏制基底渗漏问题的发展。坝肩施工重点处理松动岩土

与张开裂隙,通过固结加固技术提升岩体完整度,控制侧向渗流扩散与边坡滑移风险。各类处理技术结合现场勘察获取的岩土力学参数优化调整,彻底消除基础部位潜藏的工程安全隐患。

2.4 排水系统与反滤层结构设计

科学布设排水结构能够及时排出坝体与地基内部的渗透水体,降低渗透压力堆积对坝体结构造成的破坏,维系工程长期运行的结构稳定。完整的排水体系涵盖坝体内部排水通道、基底排水设施以及下游排水廊道等构造,构建全方位的水体导排体系。反滤层铺设于排水设施与填筑土体的衔接位置,依靠梯度化颗粒物料排布方式,阻拦土体细颗粒随渗流水体流失,杜绝渗透变形引发的结构损伤。设计工作严格把控分层物料的粒径级配与铺设厚度,保障渗流水体顺畅排出的同时稳固周边土体结构。标准化的结构设计可有效保护坝体与地基土体的完整性,延长土石坝工程的实际服役时长。

3 水库土石坝配套设施与安全系统设计

3.1 溢洪道结构型式与泄流能力设计

溢洪道是水库防洪调度的核心配套设施,承担汛期多余水体疏导的核心职能,可有效控制库水位保持在安全运行范围之内^[3]。结构型式的选取结合库区洪水特性、地形走势与枢纽整体布局统筹推进,适配不同量级的洪水宣泄需求。结构主体尺寸、泄水断面形态及进出口高程的设计工作围绕流域洪水参数展开,精准核算不同工况下的下泄水流速度与流量指标。通过水力计算优化泄流断面布局与消能构造形式,削弱高速水流产生的冲刷作用,降低水流对坝体及周边岸坡的冲击影响,保障汛期泄洪作业平稳开展。

3.2 输水建筑物布置与结构设计

输水建筑物承担水库水资源输送调配的核心功能,服务区域灌溉、供水及生态补水等各类用水场景。建筑物整体布局结合库区水流条件、地形走势及用水输送路径规划,贴合枢纽工程整体布设格局。结构设计充分考虑常年输水与间歇性输水的运行差异,适配不同水位工况下的输水运行状态。构件强度、结构刚度与防渗性能按照水利建设标准严格把控,抵御水体压力与水流冲刷带来的结构损耗。合理的结构布局可以稳定输水效率,减少输水过程中的水量损耗与结构故障,保障水资源输送作业持续平稳推进。

3.3 坝体渗流监测与变形观测系统设计

监测系统是把控土石坝运行状态、规避安全风险的重要智能化设施,可实现坝体运行状态的动态把控。

渗流监测围绕坝体内部、坝基及坝肩渗流状态布设监测点位,捕捉渗流压力与渗流量的动态变化数据。变形观测重点针对坝体竖向沉降与水平位移开展常态化监测,记录结构形变的动态变化规律。监测点位布设遵循均匀全面、重点加密的原则,覆盖坝体关键受力与易变形区域。系统采集的实时数据可以反馈坝体内部运行状态,为工程运维调控与隐患排查提供可靠的数据支撑。

3.4 应急抢险通道与管理设施规划

应急抢险通道保障汛期险情处置、日常检修维护及应急物资输送作业顺利开展,是水库安全运维的基础保障设施。通道规划结合坝区地形条件、枢纽建筑布局及应急作业需求开展设计,保障通行路径畅通无阻,适配大型设备与抢险物资的通行需求。管理设施涵盖日常值守、监测管控、设备存放等功能场地,适配水库常态化运维管理工作。设施整体规划贴合工程运行周期需求,兼顾建设经济性与使用实用性,全面提升水库工程运维管理与应急处置的综合能力^[4]。

4 水库土石坝工程规划与施工组织安排

4.1 导流方案设计与施工期度汛规划

施工导流是水利工程建设的核心前置设计内容,能够隔绝河道水流对坝体施工区域的干扰,为主体结构施工创造干燥稳定的作业环境。导流方案结合河道天然水文特征、施工场地空间条件与主体施工时序统筹设计,选取适配工程建设规模的导流模式,合理规划导流建筑物布设位置与结构尺寸。施工期度汛工作依托流域汛期水文规律开展编制,结合不同施工阶段的工程建设面貌,划分阶段性度汛防护标准。针对性布设度汛防护设施,完善汛期施工管控举措,规避汛期洪水漫溢与冲刷对在建工程造成损毁,保障各阶段施工工序平稳推进。

4.2 料场开采规划与料物平衡计算

料场开采规划围绕坝体填筑、护坡施工及防渗结构建设的物料需求展开系统布局,结合料场储量分布与开采施工条件划定开采范围与作业分区。科学规划开采作业顺序与物料运输路线,提升开采作业效率,缩减物料转运产生的工程损耗。料物平衡计算结合工程整体施工工程量、各分项工程施工时序开展精细化核算,统筹规划各类筑坝物料的开采量、使用量与储备量。精准梳理物料供需关系,弥补施工周期内物料供应的缺口问题,保障全程施工物料供给充足,实现工程物料资源的合理高效利用。

4.3 填筑施工进度安排与机械配置方案

填筑施工进度依据工程总工期要求、施工工艺流程与现场作业条件开展统筹排布,合理拆分坝体分层填筑作业工序,协调各分项施工内容的推进节奏。结合不同施工阶段的作业强度分配施工任务,规避工序冲突与工期滞后问题,保障填筑作业连续有序推进。施工机械配置贴合填筑施工工艺要求与作业工程量开展选配,适配开挖、运输、摊铺、压实等各环节施工需求。合理搭配各类施工设备的数量与机型,优化设备组合运行模式,提升整体施工效率,适配高强度填筑施工的作业需求。

4.4 工程建设全周期质量控制与安全管理规划

工程质量管控贯穿项目建设的全部施工流程,针对原材料检测、工序施工、成品验收等关键环节建立标准化管控体系。细化各分项工程的施工质量管控标准,规范施工操作流程,及时排查并整改施工质量隐患^[5]。安全管理规划结合土石坝施工高危作业特点制定专项管控举措,搭建全流程安全管控体系。落实施工现场安全巡查、设备运维检测、人员安全培训等基础工作,规范现场施工操作行为,规避坍塌、机械作业等各类施工风险,保障工程建设全程平稳有序开展。

结束语

水库土石坝工程的设计与规划是一项系统性技术工作,各环节之间存在紧密的逻辑关联与技术耦合。从坝址勘察到结构设计,从配套设施到施工组织,每一项技术决策均对工程整体安全性能与运行效率产生深远影响。科学合理的规划方案能够有效降低工程建设风险,提升土石坝在复杂水文地质条件下的适应能力。工程技术人员应在实践中持续积累经验,不断优化设计方法与施工工艺,推动土石坝工程技术的稳步提升。

参考文献

- [1] 丁成. 现代水利工程设计规划的创新策略 [J]. 水上安全, 2025(2): 37-39.
- [2] 唐大友. 水利工程规划设计中环境影响评价研究 [J]. 水上安全, 2024(18): 47-49.
- [3] 柏茂桂, 朱雨辉, 何启飞, 等. 生态水利工程的河道规划设计 [J]. 水上安全, 2024(5): 22-24.
- [4] 江式栋, 孔祥龙. 水利工程规划设计工作工程测绘要点分析 [J]. 水上安全, 2024(3): 34-36.
- [5] 田野. 基于生态理念的水利工程规划与设计优化策略 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(11): 136-138.