

水利渠首结构型式比选与适应性设计研究

王旺旺

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 石河子 832000

摘要: 文章聚焦水利渠首结构型式比选与适应性设计研究。解析无坝引水、有坝引水、泵站引水等典型结构型式特点,构建涵盖技术、经济、生态、社会四大维度的比选指标体系,介绍常用比选方法与流程。深入探讨基于水文工况、地质条件、功能需求及生态保护的适应性设计关键技术,旨在为水利渠首工程选型与设计提供科学依据,实现工程安全、高效运行与生态保护的协同发展。

关键词: 水利渠首; 结构型式; 比选指标; 适应性设计

引言:水利渠首作为水利工程的关键起始部分,其结构型式选择与设计合理性直接影响工程效益与生态影响。不同区域水文地质条件复杂多样,功能需求也各有差异,如何科学比选并开展适应性设计成为关键。本文通过解析典型结构型式,构建比选指标体系,研究比选方法与应用,并深入探究适应性设计关键技术,为水利渠首工程全生命周期的科学规划与建设提供理论支撑与实践指导。

1 水利渠首典型结构型式解析

1.1 无坝引水渠首

无坝引水渠首是依托天然地形地势,无需修建挡水坝即可从河流、湖泊等水源取水的渠首型式,广泛应用于水源充沛、地势平缓且引水口高程适宜的区域。其核心结构包括引水口、进水闸、冲沙闸及连接段,引水口需选在河流弯道凹岸或主流稳定区域,确保水流顺畅、含沙量较低。进水闸用于调节引水量,冲沙闸则通过泄水冲刷引水口附近淤积泥沙,保障取水通道畅通^[1]。该型式具有施工简单、投资成本低、工期短及对生态环境影响较小的优势,但受水文条件影响大,枯水期易出现取水不足问题,且对水源水质和水流稳定性要求较高,需做好前期水文勘察与选址优化。

1.2 有坝引水渠首

有坝引水渠首是通过修建挡水坝抬高水源水位,满足引水高程需求的渠首结构,适用于河流水位较低、引水口与水源水位差较大,或枯水期流量不足的区域。挡水坝作为核心构件,可分为溢流坝和非溢流坝,溢流坝兼具挡水和泄洪功能,能在汛期排出多余水量,保障工程安全;非溢流坝则主要承担抬高水位的作用。配套结构还包括进水闸、冲沙闸、消能防冲设施及防渗结构,进水闸需布置在坝体一侧,避开主流含沙区,冲沙闸设于引水口下方,利用水流势能冲排淤积。该型式可有效

控制引水量,不受枯水期水位波动影响,取水稳定性强,但施工难度大、投资高、工期长,且坝体建设可能改变河流生态廊道,需做好坝体防渗、消能及生态修复设计。

1.3 泵站引水渠首

泵站引水渠首是借助水泵机组提升水流高程,实现跨地势取水的特殊型式,多用于水源水位低于引水目的地高程,且无法通过挡水坝抬高水位的场景,如丘陵、山地及跨流域调水工程。其核心组成包括取水构筑物、泵房、水泵机组、进出水管道、闸阀及供电控制系统,取水构筑物通常为取水头部和进水管渠,需深入水源底层或主流区域,保障取水可靠性。泵房需布置在地势较高且地质稳定区域,避免洪水浸泡,水泵机组根据取水量和扬程需求选型,配套变频控制系统可实现引水量精准调节。该型式不受地形和水位限制,取水灵活性强,能应对复杂水文地质条件,但运行能耗高、后期维护成本高,对设备可靠性和供电稳定性要求极高。

1.4 其他特殊型式渠首

除上述三种常规型式外,水利工程中还存在多种特殊型式渠首,适配复杂水文、地质及功能需求。常见类型包括沉沙池式渠首、涵洞式渠首、潮汐式渠首及地下式渠首等。沉沙池式渠首增设大型沉沙池,适用于含沙量极高的河流,通过延长水流路径实现泥沙沉降,保障后续输水工程安全;涵洞式渠首借助地下涵洞取水,多用于河谷狭窄、地表施工受限区域,具有隐蔽性强、受气候影响小的特点。潮汐式渠首适用于沿海地区,利用潮汐涨落规律,通过闸阀控制实现双向取水,适配咸淡水交替的水源条件;地下式渠首则将核心结构建于地下,适用于高寒、大风沙区域,可避免冻融和风沙侵蚀。此类渠首针对性强,需结合具体工程场景定制设计,施工工艺复杂,但能有效解决特殊工况下的取水难题。

2 水利渠首结构型式比选指标体系构建

2.1 比选指标选取原则

水利渠首结构型式比选指标选取需遵循科学性、系统性、实用性及动态性四大核心原则,确保指标体系能全面、客观反映各型式的适配性与优劣。科学性原则要求指标基于水利工程理论和实际工程经验,内涵明确、计算方法规范,避免主观臆断,如水文适配性、地质兼容性等指标需结合勘察数据设定。系统性原则强调指标覆盖技术、经济、生态、社会四大维度,形成完整体系,既包含施工难度、运行稳定性等技术指标,也涵盖投资成本、能耗等经济指标^[2]。实用性原则要求指标简洁可量化,数据易获取,避免选用过于抽象或难以测算的指标,适配工程决策需求。动态性原则需考虑工程全生命周期,兼顾建设期、运行期及退役期的影响,同时适配水文、地质条件的长期变化,确保比选结果具有长效性。

2.2 比选指标体系构成

水利渠首结构型式比选指标体系由技术指标、经济指标、生态指标及社会指标四大维度构成,各维度下设具体二级指标,形成层级清晰、逻辑严谨的评价框架。技术指标核心反映渠首运行可靠性与施工可行性,包括水文适配性、地质兼容性、施工难度、运行稳定性、维护便捷性及防渗性能等,其中水文适配性衡量对枯丰水期水流的适应能力,地质兼容性适配地基承载力、防渗要求等地质条件。经济指标聚焦全生命周期成本,涵盖初始投资、运行能耗、维护费用、使用寿命及残值回收等,初始投资包括主体结构、设备购置及施工费用。生态指标关注对生态环境的影响,包括水流扰动程度、生物栖息地影响、泥沙输移改变及水质变化等。

2.3 指标权重确定方法

指标权重确定是渠首结构型式比选的关键环节,需结合工程特点选用科学合理的方法,确保权重分配贴合实际决策需求,常用方法包括层次分析法、熵权法、德尔菲法及组合赋权法。层次分析法通过将复杂问题分层,构建判断矩阵,计算各指标相对权重,适用于定性与定量指标结合的场景,能充分体现专家经验,但需避免主观因素影响。熵权法基于指标数据离散程度确定权重,离散程度越高,权重越大,客观性强,适用于定量指标丰富的情况,但忽略专家经验和工程实际需求。德尔菲法通过多轮专家咨询,汇总意见确定权重,能融合多方专业见解,适配缺乏足够数据的工程,但周期较长。组合赋权法结合主观与客观方法,如层次分析法与熵权法结合,兼顾专家经验与数据客观性,是目前水利工程中应用较广泛的权重确定方式。

3 水利渠首结构型式比选方法与应用

3.1 常用比选方法解析

水利渠首结构型式常用比选方法包括综合评价法、费用效益分析法、模糊综合评判法及多属性决策法,各类方法适配不同工程场景,各具优劣。综合评价法结合指标体系,通过加权求和计算各型式综合得分,得分最高者为最优方案,操作简便、逻辑清晰,能全面兼顾多维度指标,适用于多数常规水利工程,但对指标量化精度要求较高。费用效益分析法通过计算工程全生命周期的费用与效益比值,优先选择效益高于费用且比值最大的方案,聚焦经济合理性,适用于投资导向型工程,但难以量化生态、社会等无形效益^[3]。模糊综合评判法针对指标模糊性,通过建立模糊矩阵确定评价等级,适配指标难以精准量化的场景,如生态影响评价,但计算过程较复杂。多属性决策法结合定量与定性指标,通过排序模型确定最优方案,能处理多目标冲突问题,适用于复杂工况下的渠首比选。

3.2 比选流程构建

水利渠首结构型式比选需构建标准化流程,确保各环节有序推进,结果科学可靠,核心流程包括前期准备、指标梳理、权重确定、方案评价及结果验证五大步骤。前期准备阶段需开展详细勘察,收集水文、地质、气象、生态及区域规划等基础数据,明确工程取水需求、供水规模、高程要求及约束条件,筛选潜在可行的渠首型式。指标梳理阶段基于前期数据,结合选取原则构建指标体系,对指标进行量化处理,统一评价标准,排除无效或重复指标。权重确定阶段选用适配方法计算各指标权重,确保权重分配合理。方案评价阶段采用选定的比选方法,对各候选型式逐一评分或计算效益,形成初步排序。结果验证阶段结合专家评审、模拟试验及类似工程经验,验证比选结果的合理性,若存在偏差则调整指标或权重,优化方案后确定最终选型。

4 水利渠首适应性设计关键技术研究

4.1 适应性设计核心目标

水利渠首适应性设计核心目标是实现渠首结构与水文、地质、生态及功能需求的动态适配,保障工程全生命周期内运行安全、高效稳定,同时最大化降低对周边环境的影响,兼顾经济效益与生态效益。具体目标包括三方面:一是适配水文地质动态变化,应对枯丰水期水流波动、地基沉降、泥沙淤积等问题,提升渠首抗干扰能力,确保取水可靠性不受自然条件变化影响。二是适配功能需求升级,满足供水、灌溉、发电等核心功能的动态调整,预留后期改造空间,适配区域经济社会发展

对水资源的需求变化。三是适配生态保护要求,减少对河流生态系统的破坏,维持水流自然节律、生物栖息地完整性及泥沙输移平衡,实现工程与生态环境的协同发展,达成可持续利用水资源的目标。

4.2 基于水文工况的适应性设计

基于水文工况的适应性设计核心是应对水流流量、水位、含沙量等水文参数的动态变化,优化渠首结构布局与构件选型。针对枯丰水期流量差异,采用可调式进水闸设计,配备变频控制或分级启闭装置,实现引水量精准调节,枯水期保障最小取水需求,汛期避免过量取水引发安全隐患。针对水位波动,优化挡水构件高度,溢流坝采用折线型或弧形设计,提升泄洪能力,同时设置消能防冲设施,减轻水流对坝体及河床的冲刷。针对含沙量变化,合理布置冲沙闸与沉沙设施,冲沙闸采用底孔式设计,利用高流速冲排淤积,沉沙池根据含沙量动态调整水流停留时间,必要时增设机械清淤装置,确保取水水质与通道畅通,适配不同水文工况下的运行需求。

4.3 基于地质条件的适应性设计

基于地质条件的适应性设计聚焦地基承载力、防渗性能、地质灾害风险等核心地质因素,优化渠首结构选型与施工工艺。针对软土地基、沙土地基等薄弱地基,采用换填垫层、CFG桩复合地基等处理技术,提升地基承载力,减少不均匀沉降对渠首结构的破坏,同时优化坝体、闸室结构形式,采用轻型结构降低地基荷载。针对透水地基,加强防渗设计,选用高压喷射灌浆、防渗墙、土工膜等防渗材料,构建复合防渗体系,减少渗流量,避免渗透变形引发工程事故。针对滑坡、崩塌等地质灾害风险区域,优化渠首选址,避开危险地段,同时设置抗滑桩、挡土墙等防护设施,强化边坡稳定。施工中采用动态勘察技术,实时监测地质条件变化,及时调整设计方案,提升渠首对复杂地质的适配性。

4.4 基于功能需求的适应性设计

基于功能需求的适应性设计需结合渠首核心功能及后期拓展需求,优化结构布局与构件配置,实现功能多元化与可扩展性。针对单一供水功能渠首,简化结构设计,聚焦取水可靠性与水质保障,优化进水闸与过滤设施,提升供水效率。针对灌溉、供水、发电多功能复合渠首,采用模块化设计,合理划分各功能区域,确保各功能互不干扰,同时设置联动控制装置,实现功能切换

与协同运行。预留后期功能拓展空间,如预留新增取水口、发电机组安装位置,优化管道、线路布局,降低后期改造难度与成本^[4]。针对应急供水需求,增设应急取水通道与备用设备,提升突发情况下的供水保障能力,同时优化运行控制系统,实现远程监控与自动化操作,适配功能需求的动态调整。

4.5 基于生态保护的适应性设计

基于生态保护的适应性设计以“生态优先、协同发展”为原则,通过优化结构设计减少对生态系统的干扰,实现工程与生态的和谐共生。在水流调节方面,采用生态型溢流坝、鱼道等设施,维持河流自然水流节律,为水生生物提供洄游通道,避免坝体阻断生物迁徙。在泥沙处理方面,优化冲沙设施运行方式,控制冲沙时段与流量,减少对下游泥沙补给的影响,维持河床形态与湿地生态系统稳定。在水质保护方面,避免取水口布置在污染源附近,增设生态过滤设施,减少工程施工对水体的扰动,防止水质恶化。在植被恢复方面,对渠首周边区域进行生态复绿,选用本土植被,构建生态缓冲带,减轻工程对周边生态环境的破坏,同时监测生态指标变化,动态优化设计方案,实现生态效益与工程效益双赢。

结束语

水利渠首结构型式比选与适应性设计研究意义重大。通过构建科学的比选指标体系与合理运用比选方法,能选出适配工程的渠首型式。而适应性设计关键技术的研究,可保障工程在不同水文、地质条件下稳定运行,满足功能需求,减少对生态的破坏。未来需持续优化相关理论与技术,提升水利渠首工程的建设水平,实现水资源的高效利用与生态环境的可持续发展。

参考文献

- [1]崔凯.水利工程中的河道生态护坡施工关键技术研究[J].水上安全,2025,(06):106-108.
- [2]银丽彩.河道生态护坡施工技术要点及其在水利工程中的应用研究[J].水上安全,2024,(24):25-27.
- [3]安雨波.新疆喀什地区渠首枢纽防洪加固工程研究[J].江西建材,2024(4):184-187.
- [4]董博强,韩雷,王玉壮,等.底栏栅渠首的研究现状与发展趋势[J].黑龙江水利科技,2025,53(10):107-111.