

山区小型水利工程设计中的地形适应性研究

张方文

哈密托实水利水电勘测设计有限责任公司乌鲁木齐分公司

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6775

[摘要] 山区小型水利工程是区域水资源调节、农业灌溉和生态保护的主要载体,设计质量的好坏受地形条件复杂多样的影响。本文以地形适应性为研究重点,对山区地形的核心特征和分类进行系统的分析,建立地形与工程设计的适配逻辑,提出不同地形类型(山地、丘陵、河谷阶地等)下蓄水、引水、输水工程的设计策略,研究地形勘测、结构优化、生态协同等关键技术的应用途径。研究的目的在于给山区小型水利工程提供因地制宜的设计依据,促进工程效益最大化以及生态可持续发展。

[关键词] 山区小型水利工程; 地形适应性; 工程设计; 地形特征; 适配策略

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Topographic Adaptability Study in the Design of Small-scale Water Conservancy Projects in Mountainous Areas

Fangwen Zhang

Hamitoshi Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Co., Ltd. Urumqi Branch

[Abstract] Small-scale water conservancy projects in mountainous areas are the main carriers for regional water resource regulation, agricultural irrigation, and ecological protection. Their design quality is significantly influenced by the complex and diverse terrain conditions. This paper focuses on terrain adaptability, systematically analyzing the core characteristics and classifications of mountainous terrain, establishing an adaptation logic between terrain and engineering design, proposing design strategies for water storage, diversion, and conveyance projects under different terrain types (mountains, hills, river terraces, etc.), and exploring the application of key technologies such as terrain surveying, structural optimization, and ecological synergy. The aim of this research is to provide site-specific design guidelines for small-scale water conservancy projects in mountainous areas, promoting maximum engineering benefits and sustainable ecological development.

[Key words] Small-scale water conservancy projects in mountainous areas; terrain adaptability; engineering design; terrain features; adaptation strategies

引言

山区地形由于地质构造和外力作用而形成的高差起伏、沟壑纵横、坡度多变等特点,既给小型水利工程提供了天然的水资源调控空间,又给工程设计提出了精准适配的要求。从古代都江堰的因势利导,到七门堰的谷口筑堰、顺坡开渠,无不显示出地形适应性在山区水利工程中所具有的重要意义。

1 山区地形特征解析与水利工程设计适配基础

1.1 山区地形核心特征分类

山区地形受地质演化、流水侵蚀、风化作用等多种因素的影响,具有明显的多样性特点,其核心分类可以从地形形态、坡度高差、地貌单元这三个方面进行。从地形形态上来说,主要分为山地、丘陵、河谷阶地、山间盆地等几种典型的类型,山地以陡峭的坡面、较大的高差为主要特点,丘陵以缓坡和沟壑相间分

布为特征,河谷阶地以阶梯状地势和平缓滩地共存为特点,山间盆地以相对封闭的低洼地形为主要特征^[1]。不同的地形类型在坡度、高差、汇水条件、地质稳定性等方面存在差异,直接决定了水利工程的功能定位和设计方向,山地的高落差适合建造蓄水枢纽,河谷阶地的平缓地势利于布置输水系统,丘陵的沟壑分布对工程的汇水效率和水土保持有特殊要求。

1.2 地形适应性设计的核心逻辑

地形适应性设计的本质就是通过工程设计来契合地形特征,达到工程功能、建设成本、生态保护三者之间的动态平衡。其基本思路是以地形特征为设计基础,而不只是简单地套用标准化工程模式,要充分利用地形所具有的天然优势(例如山谷集水、坡地自流灌溉等),也要规避地形带来的不利影响(比如陡坡稳定性风险、沟壑水土流失等)。逻辑要求设计时要形成“地形

认识-功能对应-结构改善”的闭环,即先经由系统勘测掌握地形的特点及变化情况,再依照工程的蓄水、引水、灌溉等主要功能,挑选与地形状况最契合的工程种类和布局方案,最后经由结构形式、建设材料、施工工艺的改良,达成工程与地形的有机融合,保证工程在发挥最大效益的同时,对地形地貌的干扰降到最低。

2 山区小型水利工程地形适应性设计的核心原则

2.1 因地制宜的功能适配原则

因地制宜是地形适应性设计的第一原则,核心就是使工程的功能与地形特征精准对应,防止功能与地形错位造成工程效益下降。蓄水工程设计时,要依照地形的汇水范围、坡度变化来挑选合适的工程种类,对于“口袋型”的山间盆地,可采取蓄水池或者小型水库的设计方案,借助地形的封闭特性来加大蓄水量,在坡度较大的山地坡面上,则可以采用水窖、涝池等分散式的蓄水设施,以适应有限的汇水面积和陡峭的地形状况。引水工程设计时要根据地形的高差和走向来规划渠道路线,沿等高线布置盘山渠道减少工程量,利用河谷阶地的地势落差实现自流引水,避免强行平整地形造成的资源浪费和生态破坏。

2.2 生态协同的地形保护原则

山区地形既是工程建设的载体,又是区域生态系统的重要组成部分,地形适应性设计要坚守生态协同原则,实现工程建设与地形保护的有机统一。设计时要充分考虑地形自然演化的规律,尽量减少大范围的开挖、填方等改变地形地貌的行为,坝体选址时尽量选在天然峡谷或崖坎等地,减少山体开挖;渠道布置时避开生态敏感区,利用现有的沟壑或者林地边缘规划路径,保护地表植被和土壤结构。

2.3 动态适配的全周期设计原则

山区地形的复杂性决定地形适应性设计不能是静态的一次性决策,而应该是贯穿工程全周期的动态适配过程^[2]。设计前期要通过精细化地形勘测来掌握地形的微观变化,即局部坡度、土层厚度、地下水位等细节特征,为设计方案提供准确的依据;在方案设计阶段要预留一定的调整空间,根据地形可能出现的局部变异(隐蔽沟壑、岩层露头)制定备选方案;施工阶段要根据现场地形实际情况动态优化设计,调整坝体边坡坡度以适应实际地质条件,优化渠道走向以避免意外发现的生态敏感点;运行阶段要监测地形与工程的相互作用,即坝体周边地形的稳定性、渠道沿线的地形变化,及时采取维护措施保证工程与地形的持续适配,实现工程全周期的安全稳定运行。

3 典型地形类型下山区小型水利工程设计策略

3.1 山地地形的小型蓄水工程设计

山地地形以大坡度、高落差、集中汇流为主要特点,其小型蓄水工程设计的重点是利用地形优势提高蓄水效率,避免滑坡、崩塌等安全问题。坝址选择地形狭窄、两岸山体稳固的峡谷地段,利用口小肚大的地形格局减小坝体长度和工程量,依托山体形成天然挡水结构,提高坝体稳定性。坝型设计要适应山地坡度和地质条件,在岩石地基上可以采用重力坝结构,利用地形高差

来提高坝体的抗滑稳定性;在土质地基上宜采用土石坝,通过优化坝体边坡和防渗结构来适应山地地形的不均匀沉降。

3.2 丘陵地形的小型引水工程设计

丘陵地形具有缓坡与沟壑相间、地势起伏和缓的特点,其小型引水工程设计的重点是改善渠道路线和取水结构,达到水资源高效输送和均匀分配的目的。取水枢纽应设在河流由山谷进入丘陵平原的谷口处,利用此处河床由窄变宽、坡度由陡变缓的地形特点,便于因势利导控制水流,同时利用弯道环流效应实现水沙分流,提高取水水质。渠道路线设计要沿等高线或者缓坡走向布置,用“顺势而为”的设计思路,减小渠道的升坡和降坡,减少输水能耗和渗漏损失;丘陵地区沟壑分布可采用渡槽或者倒虹吸等交叉建筑物跨越沟壑,避免大规模开挖沟壑影响地形稳定性。

3.3 河谷阶地的小型输水工程设计

河谷阶地地势平坦、土层深厚、靠近水源,小型输水工程设计的核心是适应阶地的地形层次和水文条件,实现输水系统与地形的有机融合^[3]。输水渠道宜布置在阶地的中部或者上部,利用阶地的地形高程优势控制灌溉范围,渠道断面设计要根据阶地的地形坡度确定比降,保证水流速度适中,防止冲刷或者淤积。在阶地地形存在高差变化的地方,可以采用梯级输水的方式,设置节制闸、跌水等设施来调节流速,以适应不同的阶地高程需求;对于阶地边缘的陡坡地段,可以采用暗管输水代替明渠,减少地形改造和水土流失。

3.4 山间盆地的综合水利工程设计

山间盆地具有封闭或者半封闭的低洼地形,汇水条件好但是排水不畅,小型水利工程设计要兼顾蓄水、灌溉和排水的功能,构建综合适配的工程体系。蓄水设施可以布置在盆地中心或者边缘的低洼地段,采用连塘成库的布局方式,根据盆地的地形范围规划水库或蓄水池的规模,利用盆地的天然汇水能力提高蓄水总量;在盆地周边山坡地带设置截水沟,引导坡面径流汇入蓄水设施,既增加蓄水量,又减少水土流失对盆地地形的影响。灌溉系统设计要依据盆地的地形坡度,采用放射状渠道布局,从蓄水设施向四周延伸,实现灌溉范围的全覆盖;排水系统则要利用盆地的地形高差,在最低点设置排水闸或泵站,把多余水量排到外部的河道,防止盆地内积水内涝^[4]。

4 山区小型水利工程地形适应性设计的关键技术应用

4.1 地形精细化勘测与数字化适配技术

地形精细化勘测是适应性设计的前提,现代测绘技术的应用给准确把握山区地形特征提供了有力支持。利用无人机航测加上三维激光扫描技术,可以迅速得到山区地形的高精度数字高程模型(DEM),清楚地显示地形的坡度、高差、沟壑分布等细节情况,给工程选址、布局赋予准确的数据支撑;借助地理信息系统(GIS)技术,可以对地形数据实施叠加分析,创建地形适应性评价体系,量化评判不同区域的地形适配等级,给工程类型挑选和方案改善赋予科学依据。数字化适配技术就是用BIM(建

筑信息模型)技术构建工程与地形一体化的模型,模拟工程在地形应力作用下运行的状态,坝体在地形应力作用下稳定性的模拟,渠道在地形坡度变化中输水效率的模拟,提前预判设计方案的适配性问题,通过模型优化实现工程设计和地形特征的精准匹配。

4.2 地形适配型工程结构优化技术

工程结构的优化设计是提高地形适应性的主要方法,应该根据不同地形特征进行有针对性的结构形式及参数的优化。在陡坡地形下设计加筋土坝,用土工格栅增强坝体抗滑稳定性,适应陡坡地形;沟壑发育区输水渠道采用拱形断面或者U型断面,提高结构的抗冲刷能力、适应性,减少沟壑地形的改造量^[5]。地形起伏较大的区域蓄水工程采用分体式坝体结构,根据地形高差分段设置坝体,用连廊连接成整体,适应地形的起伏变化,降低施工难度;岩溶发育的山区地形,蓄水工程采用复合防渗结构,根据地形的岩性分布优化防渗层布置,防止地下水渗漏对工程造成影响。

4.3 生态友好型地形协同技术

生态友好型技术的应用使工程设计同地形生态协调发展,在保护地形地貌的同时提高工程生态效益。工程施工中采用生态型施工技术,定向开挖代替大面积开挖,利用地形天然凹陷处设置施工场地,减少对原有地形的破坏,在坝体护坡设计中采用植被混凝土护坡或者格宾石笼护坡技术,既可以提高坝体稳定性,又可以恢复坡面植被,实现工程与地形生态的有机融合。在渠道设计中采用生态型渠道断面,梯形断面加植被护岸,利用植被根系固土保水,适应地形水土流失特点;山间盆地水利工程中构建塘、渠、湿地复合生态系统,利用地形低洼处设置生态湿地,

净化水质、涵养水源,实现水资源利用和地形生态保护双赢。

5 结束语

山区小型水利工程设计中地形适应性研究属于地形学、水利工程学和生态学相互交叉融合的一套综合性工作,主要目的在于使工程设计与地形特征之间达到有机契合的效果,通过精准解析地形特征、坚持科学适配原则、优化设计策略和应用关键技术,使工程在发挥水资源调控功能的同时,最大程度上尊重地形自然规律、保护生态环境。本文从地形特征解析、适配原则、设计策略、关键技术四个方面构建了地形适应性设计体系,结合典型地形类型和工程案例阐述了具体的设计思路,给山区小型水利工程的因地制宜设计提供理论和实践的参考。

[参考文献]

- [1]陶善明.山区小型水利工程质量监督管理研究[J].工程技术研究,2025,10(10):139-141.
- [2]王海荣.山区小型水利工程建设质量管理分析[J].低碳世界,2023,13(03):127-129.
- [3]覃文虎.山区小型水利工程建设质量控制分析[J].住宅与房地产,2021,(16):166-167.
- [4]王红梅.宁夏南部山区小型农田水利工程管理措施研究[J].农业灾害研究,2020,10(08):94-95+100.
- [5]马杰.小型农田水利工程管理与维护存在的问题及对策——以宁南山区为例[J].乡村科技,2018,(36):124-125.

作者简介:

张方文(1984--),男,汉族,重庆市垫江县人,大学本科,中级工程师,研究方向:水利水电工程。