

呼斯坦乌苏水库坝址设计年径流量分析

巴·巴依尔

博尔塔拉水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v10i8.7087

[摘要] 呼斯坦乌苏水库是精河县托里镇重点水利调控工程,针对库斯泰河流域无长期实测径流资料、水资源时空分布不均、灌区地下水超采等问题,精准推求坝址设计年径流量是工程设计与水资源配置的核心基础。本文以流域自然地理、气象水文、地质水系条件为依托,选取水文特性高度相似的精河山口水文站为核心参证站,完成水文资料可靠性、一致性、代表性“三性”检验。分别采用径流模数法、径流深等值线法、长短系列比值法三种规范方法,系统推求水库坝址多年平均及20%、50%、75%、90%频率设计年径流量。结合2022—2023年坝址短期实测径流数据,对比分析各计算方法精度与适用性,择优确定设计径流成果,并通过典型年同倍比放大法完成径流年内分配计算,剖析流域径流时空分布规律。

[关键词] 设计年径流量; 水文比拟法; 长短系列比值法; 年内分配

中图分类号: TV122 **文献标识码:** A

Analysis of Design Annual Runoff at the Dam Site of the Hustanwusu Reservoir

Bayir Ba

Bortala Hydrological Survey Center

[Abstract] The Hustanwusu Reservoir is a key water regulation project in Tuoli Town, Jinghe County. In response to challenges such as the absence of long-term measured runoff data in the Kustai River Basin, uneven spatial and temporal distribution of water resources, and groundwater over-extraction in the irrigation district, accurately deriving the design annual runoff at the dam site serves as the core basis for engineering design and water resource allocation. Based on the basin's physical geography, meteorological and hydrological conditions, and geological and drainage network characteristics, this study selects the Jinghe Shankou Hydrological Station, which exhibits highly similar hydrological properties, as the core reference station, and conducts reliability, consistency, and representativeness ("three characteristics") tests on the hydrological data. Three standardized methods—the runoff modulus method, the runoff depth isoline method, and the long-short series ratio method—are employed to systematically derive the multi-year average and design annual runoff at the dam site for frequencies of 20%, 50%, 75%, and 90%. In conjunction with short-term measured runoff data at the dam site from 2022 to 2023, the accuracy and applicability of each calculation method are compared and analyzed to determine the optimal design runoff results. The intra-annual runoff distribution is further calculated using the typical year homogeneous ratio amplification method, and the spatial and temporal distribution patterns of runoff in the basin are explored.

[Key words] design annual runoff; hydrological analogy method; long-short series ratio method; intra-annual distribution

引言

呼斯坦乌苏水库作为新疆维吾尔自治区、博州两级“十四五”水安全保障规划重点工程,同时纳入博尔塔拉河—精河流域综合规划,是解决区域水资源调控能力不足、置换地下水、稳固农牧业生产的核心水利工程。水库为小 I 型山区混凝土重力坝水库,设计兴利库容 $220 \times 10^4 \text{ m}^3$,防洪标准采用50年一遇设计、500

年一遇校核。工程建成后可实现年引水 700 m^3 ,全面保障灌区饲草料地与天然草场灌溉用水,修复区域地下水生态,提升流域水资源可持续利用能力。库斯泰河流域为典型缺资料山区小流域,无长期固定水文监测断面,仅2022—2023年开展短期流量实测,无法直接开展径流频率计算。因此,科学推求坝址设计年径流量、明确径流时空分布规律,是水库工程规模确定、兴利调度

设计、水资源供需平衡分析的核心前提,对工程安全建设、区域乡村振兴与生态治理具有重要现实意义。

1 流域概况

库斯泰河发源于天山博罗霍洛山西坡,自南向北径流,由三条支流汇流形成,流域整体为典型山溪性水系。拟建呼斯坦乌苏水库坝址坐落于精河县托里镇出山口上游0.6km处,坝址控制集水面积258.1km²,主河道长25.25km,河道平均纵坡降9.6‰。流域地形垂直分异特征突出,高海拔区域常年积雪,是融水径流核心来源,中低山丘陵带风化剥蚀强烈、降水充沛,为夏季暴雨主要产流区,低山区植被覆盖率较高,是季节性融雪产流核心区域。流域土壤肥力偏低,植被以草本、灌木为主,坝址以上河床多为漂石、砂砾石覆盖,下游山前冲积扇戈壁滩河床开阔,河水入渗量较大,仅夏季洪水期水量可输送至下游。

该流域地处欧亚大陆腹地,属大陆性干旱气候,具有冬寒漫长、降水稀少、蒸发强烈、多大风降温天气的特点,水汽主要依托西风气流输送。流域多年平均气温7.8℃,气温极值差异显著,冻土期为11月至次年4月,最大冻土深度137cm。降水空间分布不均,山区降水量远高于平原区域,且集中于6-8月,年降水极值差距悬殊。区域蒸发能力极强,夏半年蒸发量占全年八成以上,径流蒸发损耗突出。在径流补给方面,库斯泰河形成高山冰雪融水、山区降雨、地下水三元混合补给模式,径流年内呈单峰分布,夏季融雪与暴雨叠加形成主汛期,春秋季水量平稳,冬季仅依靠地下水基流补给,水量微弱。该流域属于典型缺资料水文流域,仅拥有2022-2023年短期实测流量数据,无长期完整径流观测序列。

2 参证站选取及资料三性检验

2.1 参证站遴选

结合流域水文相似性原则,本次选取精河山水文站为核心参证站,辅助温泉水文站、沙尔托海水文站开展对比较核。该站1956年建站,拥有1956—2023年共68年长序列连续观测资料,涵盖逐日流量、降水、蒸发等完整数据,流域地理位置、气候条件、径流补给类型与库斯泰河流域高度一致,可精准反映区域水文周期变化规律。

2.2 资料可靠性检验

精河山水文站采用LS25-1型流速仪规范测流,定期率定水位流量关系曲线,测验、整编、刊印流程均符合国家水文行业规范。建站以来仅两次小幅断面迁移,迁移距离均小于900m,测验河段稳定,上下游无引水、蓄水工程干扰,无大规模人类活动扰动,径流观测数据真实可靠,精度满足工程水文计算要求。

2.3 资料一致性检验

研究时段内流域下垫面条件稳定,无大规模水土保持、水库建设、河道整治等人类活动,仅存在少量季节性放牧,对径流影响可忽略。将径流序列划分为1956—1979年、1980—2016年两个时段对比,年均径流相对误差仅0.27%,无系统性增减趋势,径流序列一致性良好,无需进行还原修正。

2.4 资料代表性检验

采用分时段参数对比、模比系数差积曲线、均值收敛性三种方法综合检验:一是多时段统计参数对比,1956—2016年、1971—2016年等多组短序列均值相对误差均小于±5%,统计参数稳定;二是差积曲线分析,68年长序列完整覆盖多轮丰枯周期,包含1956—1965丰水期、1966—1979枯水期、1980—1988丰水期等完整干湿循环;三是均值收敛性分析,2002年以来序列均值变幅稳定在±2%以内,收敛性良好。综合判定,参证站径流序列代表性优良。

3 设计年径流量计算

针对流域缺资料特征,严格依据《水利水电工程水文计算规范》,分别采用径流模数法、径流深等值线法、长短序列比值法推求坝址多年平均及20%(丰水)、50%(平水)、75%(枯水)、90%(特枯)四种频率设计年径流量,通过多方法对比较验,择优确定最终设计成果。

3.1 径流模数法计算

径流模数法基于水文相似性原理,假设相似流域单位面积产流量一致,通过参证站径流模数移用至设计流域,计算公式为: $W_{\text{设}} = (W_{\text{参}} / F_{\text{参}}) \times F_{\text{设}}$ 。式中: $W_{\text{设}}$ 为坝址年径流量, $F_{\text{设}}$ 为坝址控制面积258.1km², $W_{\text{参}}$ 、 $F_{\text{参}}$ 分别为参证站年径流量与集水面积。本次分别采用温泉、沙尔托海、精河山口三站数据计算,成果如表1所示。由表1可知,三种参证站计算成果差异较大。精河山口站计算成果显著偏大,核心原因是精河流域面积更广、高海拔冰雪覆盖范围更大,产流能力远优于小型库斯泰流域;温泉站流域海拔偏高,融水产流占比过大,成果偏丰;沙尔托海站成果相对贴合,但未充分考虑局地暴雨产流,存在小幅偏差,整体仅可作为区间参考,不适合作为最终设计依据。

表1 径流模数法坝址设计年径流量成果(单位: 10⁸ m³)

参证站点	多年平均	20%丰水	50%平水	75%枯水	90%特枯
温泉水文站	0.368	0.404	0.362	0.335	0.314
沙尔托海水文站	0.202	0.236	0.195	0.170	0.154
精河山水文站	0.854	0.939	0.849	0.782	0.724

3.2 径流深等值线法计算

依托《博尔塔拉自治州地表水资源调查评价》1956—2007年径流深等值线成果,定位库斯泰流域形心查取平均径流深,结合流域面积计算总径流量,年径流统计参数 C_v 、 C_s 移用精河山水文站参数 ($C_v=0.12$, $C_s=2C_v$),频率计算成果如表2所示。等值线法基于区域大尺度水文数据绘制,分辨率较低,无法精准刻画库斯泰小流域局地地形、积雪分布、下垫面差异,高估了流域实际产流能力,计算成果显著偏大,与灌区多年实际引水情况不符,仅可作为宏观对照参考。

表2 径流深等值线法坝址设计年径流量成果(单位: 10⁸ m³)

项目	多年平均	20%丰水	50%平水	75%枯水	90%特枯
年径流量	0.336	0.369	0.334	0.308	0.286

3.3 长短系列比值法计算

长短系列比值法适配缺资料流域径流推算,利用设计站短期实测资料与参证站长系列同步资料建立比值关系,缩放得到设计站长系列径流,进而开展频率计算。本次分别采用1982年调查资料、2010年调查资料、2022—2023年实测资料三组短系列数据计算,成果如表3所示。1982年、2010年成果依托人工走访调查估算,无仪器实测数据支撑,人为误差较大;2022—2023年数据由博尔塔拉水文水资源勘测局在坝址设立专用监测断面实测获取,测验河段顺直、无岔流回水、河床稳定,逐日流量观测数据连续规范,可真实反映流域天然来水状况,数据精度远优于传统调查数据。

表3 长短系列比值法坝址设计年径流量成果(单位: 10^8m^3)

短系列数据源	多年平均	20%丰水	50%平水	75%枯水	90%特枯
1982年调查值	0.274	0.301	0.272	0.251	0.232
2010年调查值	0.216	0.237	0.215	0.198	0.184
2022—2023年实测值	0.132	0.147	0.131	0.119	0.109

3.4 成果对比与优选

综合对比三类计算方法成果:径流模数法、等值线法受流域尺度、下垫面差异、数据精度限制,成果显著偏大,高估流域产流能力,若采用该类数据将导致工程设计偏危险,无法保障供水安全与生态稳定;历史调查长短系列数据主观性强、精度不足;2022—2023年实测长短系列成果贴合灌区多年引水实际,多年平均来水 $0.132\times 10^8\text{m}^3$,可满足年引水 $700\text{万}\text{m}^3$ 的规划需求,水量供需匹配合理,符合流域水资源禀赋特征。因此,本次研究最终推荐该组成果作为工程设计径流依据。

表4 呼斯坦乌苏水库坝址设计年径流量推荐成果表

位置	均值(10^8m^3)	不同频率设计年径流量(10^8m^3)			
		20	50	75	90
坝址	0.132	0.147	0.131	0.119	0.109

4 设计径流年内分配分析

4.1 典型年选取原则

库斯泰河流域无长期逐月径流资料,参照规范要求,选取参证站精河山水文站典型年,遵循两大原则:一是水量相近原则,典型年年径流总量与对应频率设计值基本匹配;二是工程不利原则,优先选择年内分配不均、枯季水量偏小的年份,保障工程调蓄设计安全。最终选取1993年(多年平均)、1962年(20%丰水)、1957年(50%平水)、1991年(75%枯水)、1976年(90%特枯)作为典型年,采用同倍比放大法推求逐月设计径流量。

4.2 年内分配成果与规律分析

通过同倍比放大法计算得到各频率设计年逐月径流。流域径流年内分配极不均衡,呈现典型的“夏丰冬枯”特征:6—9月汛期径流占全年总量73.1%,其中7—8月为径流峰值,单月占比超20%,主要由夏季高温融雪与局地暴雨叠加形成;12月一次年4月为枯水期,总水量仅占全年11.1%,2月水量最小,仅占1.6%,河道依靠地下水基流维持不断流;5月融雪启动,径流小幅抬升,但水量有限,无法满足春灌用水需求,这也是修建水库调蓄水资源的核心动因。年际变化方面,流域径流年际变异性中等, $C_v=0.12$,丰枯差异平稳,丰水年与特枯年径流比值为1.35,流域水资源核心矛盾为年内分配失衡,而非年际水量波动,水库季节性调蓄可有效解决区域供水矛盾。

5 结论

(1)库斯泰河流域属天山北坡典型干旱区缺资料小流域,径流为冰雪融水、降雨、地下水三元混合补给,年内分配极不均衡,6—9月汛期径流占全年73.1%,冬春枯水期水量匮乏,年际变异性中等,水资源时空分布失衡是制约区域发展的核心问题。

(2)精河山水文站1956—2023年长序列资料可靠性、一致性、代表性优良,可作为本次径流计算的核心参证数据。模数法、等值线法成果受流域尺度与下垫面差异影响偏大,历史调查数据精度不足,基于2022—2023年实测数据的长短系列比值法成果最贴合流域实际。

(3)优选确定坝址多年平均年径流量 $0.132\times 10^8\text{m}^3$,20%、50%、75%、90%保证率设计年径流量分别为 $0.147\times 10^8\text{m}^3$ 、 $0.131\times 10^8\text{m}^3$ 、 $0.119\times 10^8\text{m}^3$ 、 $0.109\times 10^8\text{m}^3$ 。径流年内集中于夏季,春灌缺水问题突出,水库调蓄可有效平衡年内水量分配。

(4)本次设计径流成果可完全支撑水库兴利调节、防洪调度、灌区供水、地下水超采治理等工程应用,对优化流域水资源配置、保障农牧业生产、修复区域水生态、稳固边疆乡村发展具有重要支撑作用。后续通过长期水文监测,可进一步提升径流计算精度,完善工程调度方案。

[参考文献]

- [1]冯仁银.尼日河干支流水文特征及年径流量丰枯分析[D].四川师范大学,2021.
- [2]朱亚峰.缺资料地区水库径流调节计算方法及在取水影响分析中的应用[D].西藏农牧学院,2022.
- [3]王刚,张琪,何益平.缺资料综合利用水库兴利调节计算研究[J].中国防汛抗旱,2024,34(7):23—28.

作者简介:

巴·巴依尔(1991—),男,蒙古族,新疆博乐人,大学本科,中级工程师,研究方向为水文。