

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221104

水电开发条件下减水河道景观需水量计算方法

吴紫涵¹, 鲁芸¹, 成必新², 严鑫², 卿杰², 孙干³

(1. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;
2. 上海勘测设计研究院, 上海 200093; 3. 中国三峡建工(集团)有限公司, 四川 成都 610041)

摘要:为探究水电开发条件下减水河道景观需水量的计算方法,结合区域内水文、社会经济等数据,类比同类工程减水后的景观特征变化,以丹巴水电站引起的减水河道为例,综合筛选景观评价因子,考虑人类视觉效果,建立减水河道景观需水评价体系,提出了针对水电站工程建设引起的减水河段景观需水量的计算方法。基于水力学模型,根据确定的指标体系对各河段景观学指标进行计算分析,得到满足减水河道景观需求的宽谷段、峡谷段及县城河段所需要的水量分别为70.4、64.8、50.7 m³/s,取70.4 m³/s作为减水河段全河段的景观需水量。

关键词: 减水河道; 景观需水量; 河流景观评价; 水力学模型

中图分类号: TV214; TV8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)03-0031-04

1 概况

丹巴水电站位于四川省丹巴县境内,采用混合式开发。规划坝址位于大渡河干流上,地下厂房位于丹巴县大渡河支流小金川河河口上游400 m处的右岸,由此形成的减水河段主要为坝址至小金川河汇入口区段。工程减水河段有丹巴县城分布,坝址和地下厂房距丹巴县城分别为17.0、0.7 km,工程区沿大渡河右岸有国道通过,小金川河亦有道路可达厂址,交通较方便。丹巴县拥有丰富的景观旅游资源,其中,减水河段两岸分布的主要景观资源包括甲居藏寨、墨尔多山。其中甲居藏寨为人文景观,位于大渡河右岸山坡上;墨尔多山是省级风景名胜区,同时也是省级自然保护区,是当地著名的自然景观资源,其位于大渡河左岸;沿河而建的右岸国道是区域交通干线,有较多外来旅游人士经过。丹巴减水河段中间部分河宽较窄,其景观特点主要是山势雄伟、豪迈、险峻,水流湍急,山体的静与水体的动浑然结合。要维持该河段这种景观特点,必须保持一定的水面宽、水深、流速及流态的多样性。河流景观是一个综合多方面因素的反映,确定合理的景观需水量

对于保持河流优美的生态景观有重要意义。目前,无统一的河流景观需水量计算方法。为此,本文综合考虑《水电工程生态流量计算规范》^[1]、《水利水电建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)》与河流景观评价方面的研究及减水河道天然状况,以大渡河丹巴水电站引起的减水河道为例,提出了减水河道景观需水量的计算方法,以为河流景观需水研究提供参考。

2 研究方法

2.1 景观需水评价体系

考虑丹巴减水河段地形、河岸植被状况及其既有近天然河段又有城内河段等特点,本文选择生动性、自然性与功能性三个景观属性特征^[2,3]来评价河流景观。其中,生动性主要指河流景观中突出的、鲜明的、容易给人留下记忆的美感特征,本文选取水面宽、水深、流态多样性三个指标来反映;自然性主要指河流保持其自然状态、各视觉要素保持和谐自然空间序列的程度,研究河段沿岸村庄分布稀疏,不存在明显的河道及河岸整治工程,因此认为该河段自然形态保持较好,上游

收稿日期: 2022-04-24, **修回日期:** 2022-06-11

基金项目: 中国三峡建工(集团)有限公司科研项目资助(JG/18056B, JG/18057B)

作者简介: 吴紫涵(1998-),男,硕士研究生,研究方向为水生态环境保护, E-mail:2637938106@qq.com

通讯作者: 成必新(1982-),男,高级工程师,研究方向为水生态环境保护, E-mail:cbx@sidri.com

坝址蓄水影响导致该河段常年处于减脱水状态,两岸漫滩裸露,较为影响视觉观感,因此本文选取河漫滩变化来反映其自然性;功能性主要指河流满足人们休憩娱乐需求的特征、自身蕴含的历史人文内涵与艺术文化感。由于研究河流岸边有一条沿河公路,靠近沿河公路一侧河岸修葺了护岸,亲水空间大大缩减。因此,本文亲水功能性主要体现在沿岸游客对河流景观的视觉感官上,如对水色的感知,水色状态良好可增加沿岸游客对自然河流的感知亲近度,故本文选取含沙量来反映其功能性。景观需水评价指标体系见表 1,各指标标准及相应景观学意义见表 2。

表 1 景观需水评价指标体系

Tab. 1 Landscape water demand evaluation index system

目标层	系统层	状态层	指标层
河流景观质量	生动性	水动力条件	水深
			水面宽
	自然性	河流形貌	流态多样性
			河漫滩变化
功能性	水色	含沙量	

表 2 指标景观学意义及标准

Tab. 2 Significance and standard of indicator landscape

指标层	景观学意义	最低标准(范围)
水深	自然河流断面均为不规则的,水流越深,不同深浅的水面区域类型越多,越易形成更多的水体色彩和水流流态的对比和变化。	平均水深取枯水期河道天然情况下的 50% ^[4]
水面宽	水面宽是反映河流连通性的重要指标,反映视野的开阔程度,河流的水面越宽,人们的视野也越开阔,且水面越宽,可开展水上运动的潜力也就越大。	宽谷段不小于 30 m;峡谷及县城段不小于 20 m ^[4]
流态多样性	体现出河流流态的丰富性,能凸显出河流景观的生动性,满足视觉美观性。	波状流:断面平均流速 ≥3 m/s;弱波状流:断面平均流速在 2~3 m/s 之间;微波状流:断面平均流速在 1~2 m/s 之间;平缓流:断面平均流速 <1 m/s
河漫滩变化	河流常水位线与已被人为彻底改变其自然性质的地块之间的由于水量变化导致的区域面积变化部分,通常呈光裸的形态,易影响视觉观感	建坝后对河道流量调控力度增大,河水水位波动不明显,河漫滩面积减小,河漫滩视觉景观质量总体变好
含沙量	人们倾向于欣赏清澈、无漂浮物的水体,能体现视觉美观性	建坝后对河道流量调控力度增大,河水对河道冲刷效果减小,含沙量较建坝前减少,含沙量景观质量总体变好

2.2 计算方法

基于构建的河流景观需水评价指标体系,根据研究河段的具体情况,建模计算不同工况下平均水深、水面宽、流速多样性等景观指标值,统计水力学生境参数在不同区间段对应的河段累计长度,同时统计每个区间河段累计长度占研究河段

长度的百分比,以达标河长超过一定百分比(本文取 95%)为评价标准,分河段研究确定最低可接受河流景观质量水平,并设置一系列不同下泄流量工况,分别计算相应河流景观指标达标情况,以最低达标流量作为景观流量的推荐下限值,即景观需水量。

纵向一维水动力学模型基于质量、能量守恒定律,并考虑水体内部、外界环境等因素的影响,适用于水力特性在横向与垂向无明显差异,主要是沿纵向变化的河道及低坝径流式水库的水力模拟。基本方程为:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{1}{B} L_q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (2)$$

式中,Z 为水位, m; B 为水面宽, m; Q 为流量, m³/s; x 为沿河距离, m; L_q 为单位河长的旁侧入流量, m²/s; A 为过水断面面积, m²; g 为重力加速度, m/s²; S_f 为水力比降。

2.3 计算工况

参照一般引水式水电站的下泄流量,本文设置 10 个流量工况对减水河段景观质量进行分析评价,分别为丹巴水电站坝址处多年平均流量 Q_{年均} 的 8%、9%、10%、11.5%、12.5%、13.5%、15%、20% 及最枯月多年平均流量、多年平均流量 Q_{年均} (编号分别为工况 1~10),模拟工况见表 3。

表 3 计算工况及流量

Tab. 3 Calculate working conditions and flow

计算工况	流量	计算工况	流量
	/(m ³ ·s ⁻¹)		/(m ³ ·s ⁻¹)
1	45.0	6	76.0
2	50.7	7	84.5
3	56.3	8	112.6
4	64.8	9	138.0
5	70.4	10	563.0

3 计算结果与分析

3.1 河流景观生动性

因各河段景观特点及敏感性有所不同,故按河段天然形态的不同将减水河段划分为三部分,分别为宽谷段(坝址后约 7.5 km 河段)、峡谷段(峡谷开端至丹巴县城河段)、丹巴县城段。采用一维水动力学模型模拟分析不同工况下断面平均流速、水深、水面宽,并统计计算宽谷段、峡谷段、县城段生动性各指标达标情况。各区段不同工况下水面宽、水深达标情况见表 4。

由表 4 可知,当下泄流量为多年均流量的

表 4 各区段水面宽、水深达标情况
Tab. 4 Water surface width and water depth compliance in each section m

工况	宽谷段		峡谷段		县城段	
	水面宽	水深	水面宽	水深	水面宽	水深
1	93.22	81.78	100	33.46	98.21	94.95
2	96.16	84.82	100	56.40	99.10	96.28
3	97.16	89.23	100	72.54	99.10	97.52
4	97.68	93.28	100	95.76	99.10	100.00
5	99.20	97.53	100	99.07	99.10	100.00
6	100.00	98.76	100	99.07	99.10	100.00
7	100.00	100.00	100	100.00	99.10	100.00
8	100.00	100.00	100	100.00	100.00	100.00
9	100.00	100.00	100	100.00	100.00	100.00
10	100.00	100.00	100	100.00	100.00	100.00

9%即 50.7 m³/s 时,宽谷河段内水面宽度达标百分比达到 96.16%,大于 95%,有较好的连通性,满足景观需求;峡谷段、县城段的水面宽度自多年均流量的 8%,即 45 m³/s 起即已满足景观需求,因此峡谷段、县城段水面宽度较易满足河流景观

表 5 不同工况下宽谷段水流流态统计

Tab. 5 Statistical of water flow in the wide valley section under different working conditions

水流流态	45.0 m ³ /s		50.7 m ³ /s		56.3 m ³ /s		64.7 m ³ /s		70.4 m ³ /s		76.0 m ³ /s		84.5 m ³ /s		112.6 m ³ /s		138 m ³ /s		563 m ³ /s	
	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%	长度 /m	百分比 /%
波状流	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.78	0.80	149.18	2.26	153.74	2.33	522.02	7.93	
弱波状流	499.32	7.58	499.32	7.58	499.32	7.58	499.32	7.58	499.32	7.58	499.32	7.58	446.54	6.78	550.14	8.35	645.58	9.80	1776.23	26.97
微波状流	1572.84	23.88	1655.14	25.13	1837.44	27.90	2208.08	33.52	2208.08	33.52	2208.08	33.52	2293.48	34.82	2719.56	41.29	3756.68	57.03		
平缓流	4514.58	68.54	4432.28	67.29	4249.98	64.52	3879.34	58.90	3879.34	58.90	3879.34	58.90	3593.94	54.56	3067.85	46.58	531.81	8.07		
合计	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00	6586.73	100.00

3.2 河流自然性及景观功能性

对于景观功能性指标水色及地形地貌指标河漫滩变化情况,本文从建坝对水量的调节及蓄水后库区拦沙效果来考虑。河漫滩通常是指河流常水位线与已被人为彻底改变其自然性质的地块之间的由于水量变化导致的区域面积变化部分,当河流水量波动明显时,河岸两边水陆交界地带变化比较显著,因此由流量变化而带来的河岸滩水陆交界区域面积变化较大,引水式电站修建后,坝址以下减水河段内因受引水式开发影响,河道内流量季节性波动较之天然情况下变小,控制水陆交界部分面积的变化,可在一定程度上减小河漫滩面积,总体来看建坝后河漫滩部分景观质量相较于建坝前有所提高。水色部分主要是根据水中含沙量确定,含沙量越多,水体越浑浊,所呈现出来的视觉观感更差。库区坝址的建成,能拦截河道中的砂砾,减少下游含沙量。总体看来,含沙量在建坝后要比建坝前少,河流水体的视觉观感较建坝前好,水色部分的景观质量较建坝前有所提高,故认为丹巴水电站减水河段水色和河漫滩指标能够满足景观需求,景观需水量取生动性指标

满足最低限值时的流量。

综合生动性、自然性及功能性评价结果可知,对于宽谷段,下泄流量 50.7 m³/s 时可满足景观上对水面宽的需求,下泄流量 70.4 m³/s 时可满足景观上对水深的需求,故取 70.4 m³/s 为宽谷段景观需水量;对于峡谷段,下泄流量 45 m³/s 时可满足景观上对水面宽的需求,下泄流量 64.7 m³/s 时可满足景观上对水深的需求,故取 64.7 m³/s 为峡谷段景观需水量;对于县城段,下泄流量 45 m³/s 时可满足景观上对水面宽的需求,下泄流量 50.7 m³/s 时可满足景观上对水深的需求,故取 50.7 m³/s 为峡谷段景观需水量。

4 结论

a. 计算得出满足宽谷段、峡谷段及县城段景观需求的最低需水量分别为 70.4、64.8、50.7 m³/s,因此以 70.4 m³/s 作为减水河段全河段的景观需水量。

b. 当下泄流量满足推荐的最小景观流量时,河道内各处水深与水面宽能够满足河道的基本景

观需求。但由于推荐的景观下泄生态流量小于多年平均流量,因此在该流量下泄时,河道两岸有一定宽度的河漫滩出露,因此可考虑在出露的河漫滩部分采取植被种植等景观措施来进一步提升减水河道景观质量。

c. 随着旅游业的不断开发,该河段景观需求将逐渐增大,后续研究中将考虑年内旅游淡季及旺季对河流景观的需求,有针对性地进行景观需水量研究,为景观下泄流量调度提供研究支撑。

参考文献:

[1] 国家能源局. 水电工程生态流量计算规范: NB/T 35091-2016[S]. 北京:中国电力出版社,2016.

[2] 吴文佑,彭金涛,刘湘春. 水力开发河流景观质量评价初探[J]. 水电站设计,2011,27(4):72-76.

[3] 陆菲. 苏州古城区河流景观质量分析与评价——以干将河为例[D]. 苏州:苏州大学,2016.

[4] 栾丽,杨玖贤,谭平,等. 基于模糊层次分析法的河流景观需水量评价指标体系的建立[J]. 水电站设计,2012,28(4):80-83.

Calculation Method of Water Demand for Water-reduced River Landscape Under Condition of Hydropower Development

WU Zi-han¹, LU Yun¹, CHENG Bi-xin², YAN Xin², QING Jie², SUN Gan³

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Development and Protection of Mountain Rivers, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Shanghai Survey and Design Institute, Shanghai 200093, China; 3. Three Gorges Construction (Group) Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to explore the calculation method of water demand of water-reduced river landscape under hydropower development, combined with the data of hydrology and social economy in the region, this paper compared the changes of landscape characteristics after water reduction in similar projects. Taking the water reduction channel caused by Danba Hydropower Station as an example, the landscape evaluation factors were chosen comprehensively. Considering human visual effects, the landscape water demand evaluation system was established. A calculation method for the landscape water demand of the water-reduced reaches caused by the construction of hydropower stations was proposed. Based on the hydraulic model, the landscape indicators of each river section were calculated according to the determined index system, and the water volume required for the wide valley section, canyon section and county river section to meet the landscape requirements of water-reduced river channels is 70.4 m³/s, 64.8 m³/s, 50.7 m³/s. The 70.4 m³/s is taken as the landscape water demand of the whole reach of the reduced water.

Key words: water-reduced river course; landscape water demand; river landscape evaluation; hydraulic model

(上接第 4 页)

[8] HOSKING J R. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics[J]. Journal of the royal statistical society, series B(methodological), 1990,52(1):105-124.

[9] LIN B, BONNIN G M, MARTIN D L, et al. Re-

gional frequency studies of annual extreme precipitation in the United States based on regional L-moments analysis[C]//World Environmental and Water Resource Congress 2006; Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns. 2006; 1-11.

Frequency Analysis of Extreme Rainfall in Dawen River Basin Based on Regional L-Moments Method

XIE Jiu-yue¹, GUO Cheng², WANG Qin², HU Yi-ming¹, WANG Jun¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Shandong Hydrology Center, Jinan 250014, China)

Abstract: Taking Dawen River Basin in Shandong Province as an example, Mann-Kendall method was used to analyze the consistency of the 6 h, 12 h, 24 h and 3 d annual extreme rainfall data. The regional linear moment method was used to infer the design value of the site rainstorm, and the regional design value was compared with the single-station linear moment method. The spatial distribution map of the design value of the 50-year rainstorm in Dawen River Basin was drawn. The results show that the Dawen River Basin can be divided into 3 hydrometeorological homogeneous regions, and the optimal distribution frequency linetype is dominated by the generalized extreme-value distribution (GEV). The difference (mean absolute relative error) between the results of single-station L-moment frequency analysis method and regional L-moments frequency analysis method decreases with the increase of the length of the sample series, and the larger the return period is, the greater the gap is; The spatial distribution of the designed rainstorm values in Dawen River Basin is not uniform, but the distribution trend of each period is basically similar.

Key words: regional L-moments method; hydrometeorological homogeneous region; temporal and spatial distribution of extreme rainfall design value; Dawen River Basin