

水库下泄生态流量确定研究

李一鸣, 马彪

长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年5月20日; 录用日期: 2024年8月1日; 发布日期: 2024年8月28日

摘要

本文旨在研究某拟建大型水库可能引起的下游河道的生态流量问题。通过收集和分析相关数据, 结合生态流量理论, 对水库下游河道的生态流量进行计算。对比分析不同方法的计算结果, 结合该河流自身特性, 综合确定下泄生态流量值, 为水库建设后水资源调配与生态流量管理提供依据。

关键词

生态流量, 水库下游河道, Tennant法, 生态水力学法

Study on Determining Ecological Flow of Reservoir Drainage

Yiming Li, Biao Ma

Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan Hubei

Received: May 20th, 2024; accepted: Aug. 1st, 2024; published: Aug. 28th, 2024

Abstract

The purpose of this paper is to study the ecological flow of the downstream channel caused by a proposed large reservoir. By collecting and analyzing the relevant data and combining the ecological flow theory, the ecological flow of the downstream channel of the reservoir is calculated. By comparing and analyzing the calculation results of different methods, combined with the characteristics of the river itself, the ecological flow value is determined comprehensively, which provides a basis for water resource allocation and ecological flow management after the construction of the reservoir.

Keywords

Ecological Flow, Downstream Channel of Reservoir, Tennant Method, Eco-Hydraulic Method

作者简介: 李一鸣(1991-), 男, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水资源规划与管理、水库调度, Email: 279968361@qq.com

文章引用: 李一鸣, 马彪. 水库下泄生态流量确定研究[J]. 水资源研究, 2024, 13(4): 406-413.

DOI: 10.12677/jwrr.2024.134047

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在人类社会的迅猛发展中,水资源的需求呈现出日益增长的态势。水库作为关键的水利工程设施,对于调节水资源、防洪抗旱等方面发挥着重要作用。但水利工程建设在一定程度上改变了河流水文情势及水流形态[1]。为坚持“绿水青山就是金山银山”发展理念,防范水资源过度开发,在水资源配置中应保证河道具有一定要求的水量,因此在水资源管理上,水库必须采取下泄生态流量的保护措施。

关于生态流量确定,至今已有 200 多种计算方法,大致可分为水文学法、水力学法、生态水力学法、整体分析法。国外常用的生态流量计算方法主要为 Tennant 法、河道流量增量法、湿周法、R2-Cross 法、7Q₁₀ 法等,其中 Tennant 法是最为常用的一种方法,可仅通过使用历史流量资料评价或估算生态水量,在缺乏足够生态学资料的情况下大致估计河流生态状况,该方法应用最为广泛。7Q₁₀ 法主要应用于河流污染物排放量计算,通过 $P = 90\%$ 下连续 7 天最小平均水量作为河流设计最小流量,在河流环境影响评价中应用广泛[2] [3]。国内对生态流量相关研究可追溯至 20 世纪 70 年代,最常用的方法是 10 年最枯月平均流量法和 $P = 90\%$ 最枯月平均流量法。不同方法可满足不同的工况下计算要求,至今仍未出现统一的生态流量衡量标准,在实际计算过程中,不同方法相互结合或互为参考,直至得出满意的计算结果。

2. 研究区情况

本次研究的拟建大型水库位于重庆市,水库总库容 1.1 亿 m³,兴利库容 0.9 亿 m³,防洪库容 0.174 亿 m³,多年平均供水量 5938 万 m³。水库所在河流域面积 287 km²,主河道长 37.2 km,河道平均比降 19.8‰。坝址控制集雨面积约 242 km²,多年平均年径流量 2.07 亿 m³,多年平均流量 6.57 m³/s (1970 年 1 月~2015 年 12 月),年内分配径流成果如表 1 所示。研究河段为拟定坝址下距河口河段,全长约 12.3 km,河道平均比降为 2.16‰。研究河段含鱼类 11 种,隶属于 2 目 4 科 11 属,主要为冷水性鱼类,其中鲤形目有 3 科 10 种,占鱼类群落总数的 90.9%;鲃形目有 1 科 1 种,占鱼类群落总数的 9.1%。由于鲤形目在该河段数目占比最大,故而将其作为保护对象。

表 1. 坝址处年内分配径流成果

项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年平均
流量(m ³ /s)	0.892	0.853	1.59	5.19	10.3	15.1	13.8	8.33	11.0	6.79	3.51	1.26	6.57
径流量(亿 m ³)	0.024	0.021	0.041	0.139	0.266	0.392	0.368	0.223	0.285	0.182	0.091	0.034	2.07

3. 河段生态需水量研究

3.1. 研究方法

本次研究采用水文学法中的 Tennant 法、水力学法中的湿周法与 R2-Cross 法以及生态水力学法对研究河段进行生态流量计算。

3.2. 生态流量计算

1) Tennant 法

Tennant 法根据河道流量大小对应水生态有利程度,将生态流量分为 8 个级别,每个级别对应多年平均流量

不同百分比。该计算方法简单，广泛应用于生态流量计算中，其计算标准如表 2 所示[4]。计算方法为：生态流量 = 多年平均流量*每个级别对应百分比。

表 2. 河流生态流量计算标准

流量 叙述性描述	推荐的基流标准(多年平均流量百分数) (%)	
	枯水期	汛期
极限或最大	200	200
最佳范围	60~100	60~100
极好	40	60
很好	30	50
良好	20	40
一般或较差	10	30
差或最小	10	10
极差	0~10	0~10

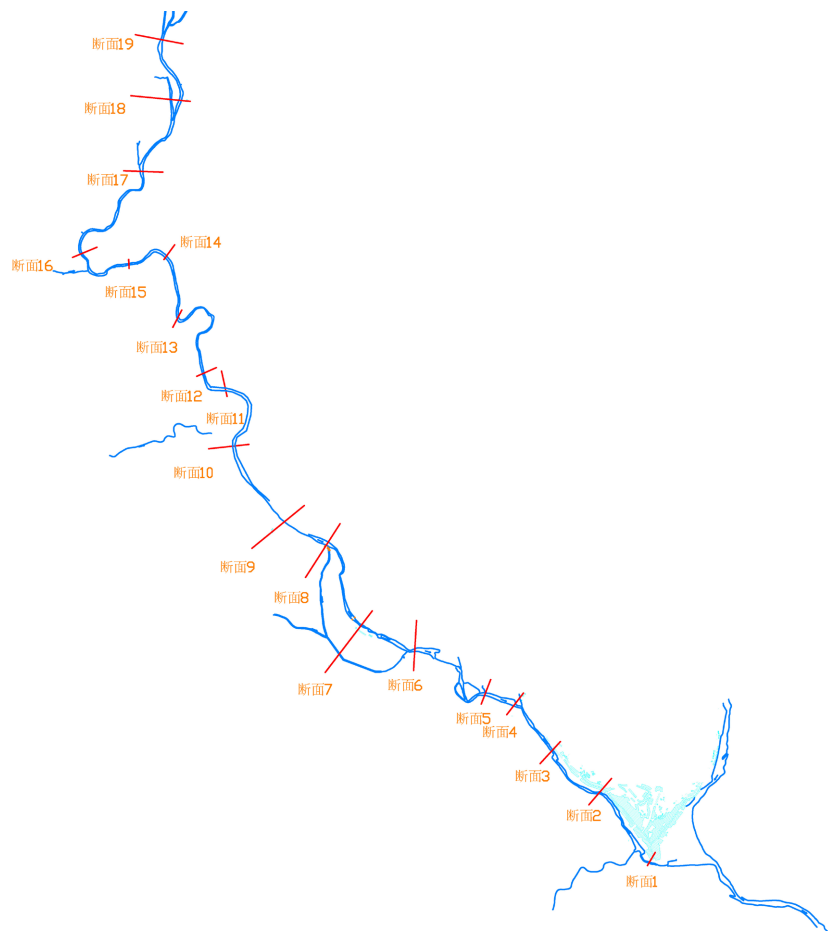


图 1. 坝下实测断面分布图

考虑到研究河段没有珍稀特有保护鱼类的重要生境，生境质量维持在“良好”等级即可，则本方法推荐下泄生态流量为：汛期 5~10 月 2.63 m³/s，非汛期 11 月~次年 4 月 1.31 m³/s，此标准可满足坝址处附近生境状况良好。

2) 湿周法与 R2-Cross 法

湿周法适用于宽浅型河流，以浅滩断面湿周~流量曲线上的拐点对应的流量作为生态需水量建议值，其结果受断面性状影响大。R2-Cross 法计算断面也为河道浅滩断面，以平均水深、平均流速及湿周长百分数作为反映冷水鱼栖息地质量的水流指示因子，从而确定河流目标流量[5]。

根据水库坝下地形测量资料，采用最为常用的基于水流特征的弗劳德数法和基于河床地形学特征的深泓线性回归法来分析 19 个实测断面(见图 1)的类型。

表 3. 水库坝址下游河道断面分类

断面编号	距坝址距离(m)	深泓线性回归法		分类	弗劳德数法		确定分类
		深泓线高程	拟合二次曲线高程		Fr	分类	
19	28	330.1	338.35	P	0.35	R	P*
18	646	324.5	323.43	P	0.33	R	P*
17	1423	316.13	305.28	R	0.54	P	P*
16	2543	290.24	280.48	R	0.64	P	R*
15	3133	264.85	268.14	P	1.01	P	P
14	3528	255.04	260.19	P	0.44	R	P
13	4118	243.38	248.79	P	0.77	P	P
12	5142	229.74	230.50	P	0.31	R	P*
11	5438	225.5	225.58	R	0.78	P	P*
10	6149	211.27	214.50	P	0.39	R	R*
9	7005	200.49	202.61	P	0.45	R	P*
8	7452	197.61	197.06	R	0.22	R	R
7	8412	189.25	186.78	R	1	P	P*
6	9058	183.5	181.18	R	0.18	R	R
5	9996	178.32	175.06	R	1.01	P	P*
4	10,286	175.74	173.67	R	0.1	R	R
3	10,847	175.88	171.68	R	0.74	P	P*
2	11,481	173.37	170.58	R	0.15	R	R
1	12,329	170.81	171.08	P	0.66	P	P

注：P 为深潭，R 为浅滩；带*号的表示两种方法不一致时，经综合分析后确定的类别。

根据断面分析结果，判定为浅滩断面的有断面 2、4、6、8、10、16 (见表 3)，占有断面比例仅 32%，考虑到本河流为山区性河流，作者认为湿周法与 R2-Cross 法不适用于此河流生态流量计算。

3) 生态水力学法

生态水力学法是通过水生生物适应的水力生境确定合适的流量。该法假设水温、水深、流速、湿周、水面面积、水面宽、过水断面的面积是流量变化对物种数量和分布造成影响的主要水力生境参数，急流、缓流、浅滩及深潭是流量变化对物种变化造成影响的主要水力形态[6]。水温、流速、水深和水面宽度是鱼类生存的敏感

因子[7]。

本次研究以 R2-Cross 法相关水力参数标准为参照，从而确定研究河段鱼类水力生境参数标准，见表 4。

表 4. 研究河段鱼类水力生境参数标准

水力参数	最低标准	确定依据
流速	0.3 m/s	1) 保护对象与 R2-Cross 法研究对象生活习性大致类似，参照 R2-Cross 法 0.3 m/s 标准； 2) 《水电水利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)》推荐取值。
最大水深	0.3 m	由于研究河段流量较小，根据取样结果，研究河段内较大鱼的体长集中在 50 mm~117 mm 范围内。野外调查表明：当最大水深是体长的 3~4 倍，即最大水深达 0.3 m，平均水深达 0.2 m，可以满足研究河段鱼类在水体内的自由游动。
平均水深	0.2 m	
水面宽	8 m	由于研究河段为小型河流，水面宽度集中在 8~16 m，沿程断面形状变化和水面宽波动较大。水面宽对研究河段鱼类的生存影响不大，考虑河段所在地形为山区峡谷地形，水面宽标准取集中度较高的低值 8 m。
湿周率	>50%	1) 研究河段河流深切，河谷呈 V 字形，植被稀少，湿周率标准可以降低； 2) 研究河段对 R2-Cross 法制定的湿周率判定标准在天然状况下枯水期都难以达到，该标准需要降低，因此湿周率定为 50%较合适； 3) 研究河段为时段性减水，为避免下游水位的频繁涨落，该湿周率定义为某流量对应湿周占满湿周的百分比。
水温	满足产卵要求	适宜鱼类生存、繁殖。
水流流态	无较大变化	据研究河段现有水力学条件，规定平均流速大于等于 1.0 m/s 时水流流态为波状流；断面平均流速在 0.5 m/s 至 1.0 m/s 时水流流态为弱波状流；断面平均流速在 0.3 m/s 至 1.0 m/s 时水流流态为微波状流；断面平均流速小于 0.3 m/s 时水流流态为平缓流。

研究河段枯水期平均流速、平均水深、最大水深占全计算河段的比例均没有超过 90%，不适宜用此法计算枯水期生态流量，因此本次仅进行汛期生态流量计算。研究河段汛期平均流速、水面宽、平均水深、最大水深等要素计算结果见图 2~5。

根据研究河段内水生生物(重点为鱼类)的现场调查情况，对鱼类主要生境参数进行研究。综合分析在不同时段、不同生态流量的情况下，河道水力参数变化情况。采用 MIKE11 软件对研究河段进行水力模拟，最终确定较为合理的生态需水量，见表 5。

1) 水深

当下泄流量为 0.329 m³/s、0.657 m³/s、0.986 m³/s 时，河段内最大水深集中在 0.15~0.3 m 之间，流量为 1.314 m³/s、1.643 m³/s、1.971 m³/s、2.300 m³/s 时，河段内最大水深集中在 0.3~0.45 m 之间。从鱼类调查结果显示，研究河段内保留适生生境的鱼类体形较小，一般较长的鱼仅有 100 mm 左右，因此，流量大于 2.300 m³/s 时，最大水深大于研究河段鱼类体长 3 倍的河段占比达到 97.7%，该水深可满足研究河段的鱼类在水体中自由游动、藏身、觅食等生境要求。

当下泄流量为 0.329 m³/s 时，河段内平均水深集中在 0.0~0.1 m 之间，流量为 0.657 m³/s、0.986 m³/s、1.314 m³/s、1.643 m³/s 时，河段内平均水深集中在 0.1~0.2 m 之间，流量为 1.971 m³/s、2.300 m³/s 时，河段内平均水深集中在 0.2~0.3 m 之间，流量大于 2.300 m³/s 时，平均水深大于 0.2 m 的河段占比达到 98.3%，该水深即可满足鱼类对平均水深的要求。

2) 水面宽度

下泄流量为 0.329 m³/s、0.657 m³/s、0.986 m³/s、1.314 m³/s、1.643 m³/s、1.971 m³/s、2.300 m³/s 时，河段内水面宽度集中在 8~16 m 之间，已有较好的连通性，因为研究河段受峡谷地形所限，此处标准适当降低，假定水面宽度大于 8 m 为满足要求，当下泄流量大于 1.971 m³/s 时，即满足要求。

3) 流速

下泄流量为 0.329 m³/s、0.657 m³/s、0.986 m³/s、1.643 m³/s、1.971 m³/s、2.300 m³/s 时，河段内平均流速集中在 0.3~0.6 m/s 之间；流量为 1.314 m³/s 时，河段内平均流速集中在 0.6~0.9 m/s 之间；当流量为 1.643 m³/s 时，有 96.8%的河段流速大于 0.3 m/s。

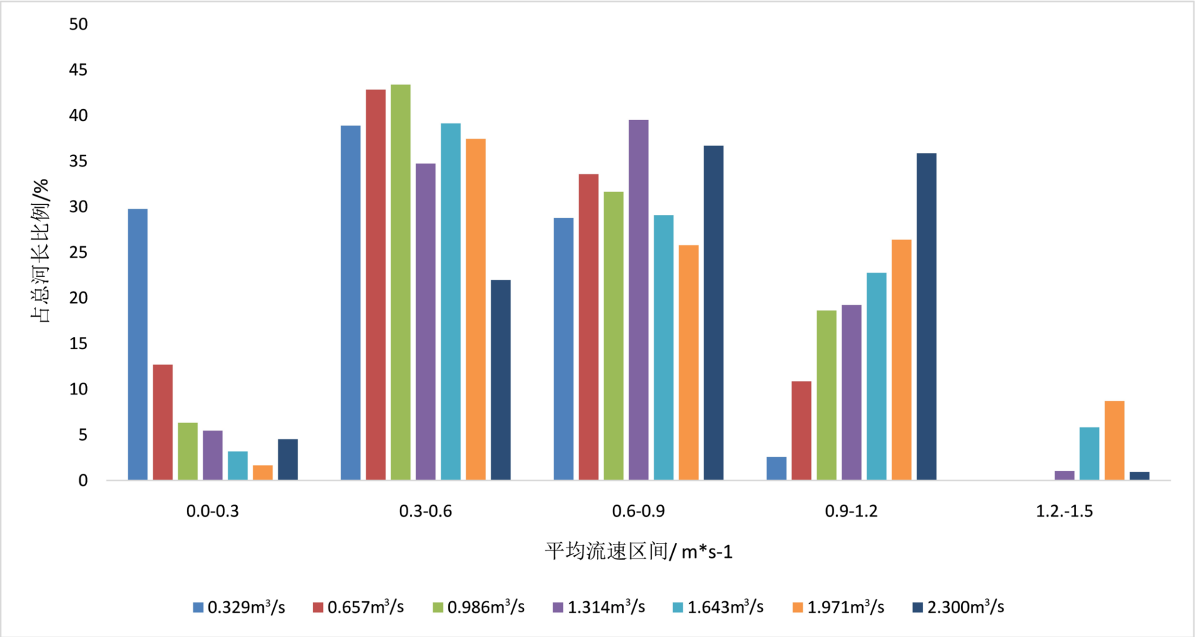


图 2. 平均流速分区间统计表

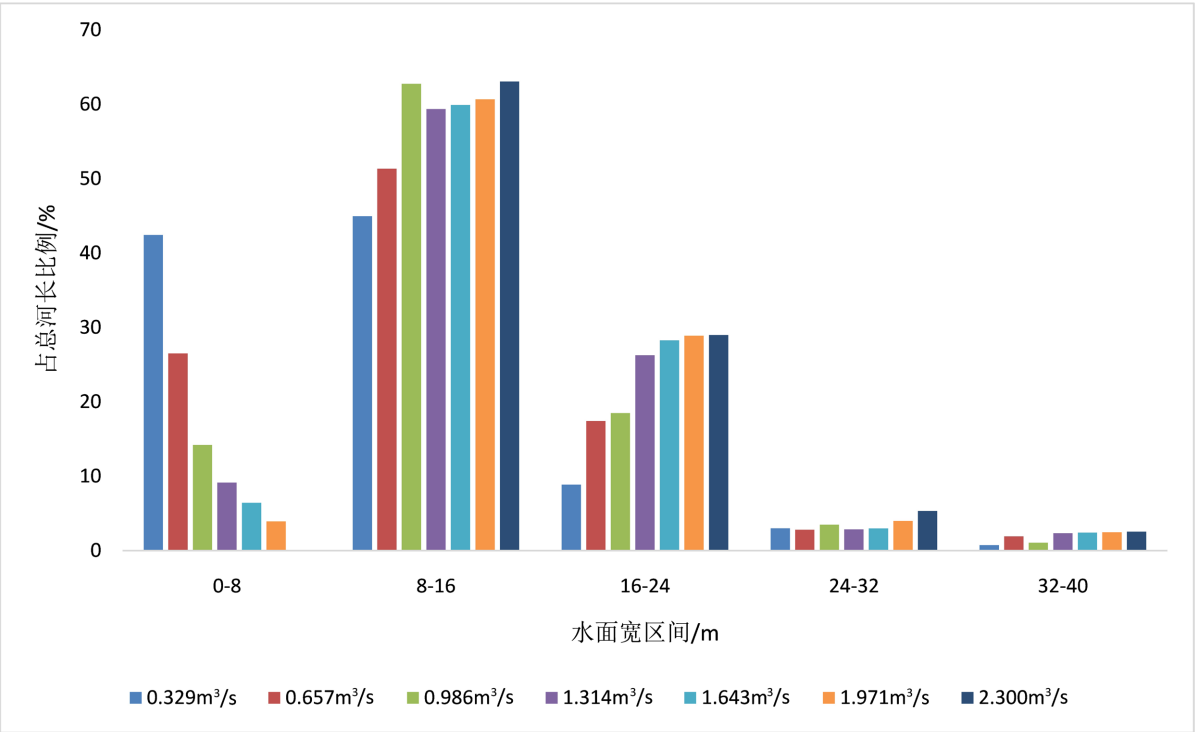


图 3. 水面宽分区间统计表

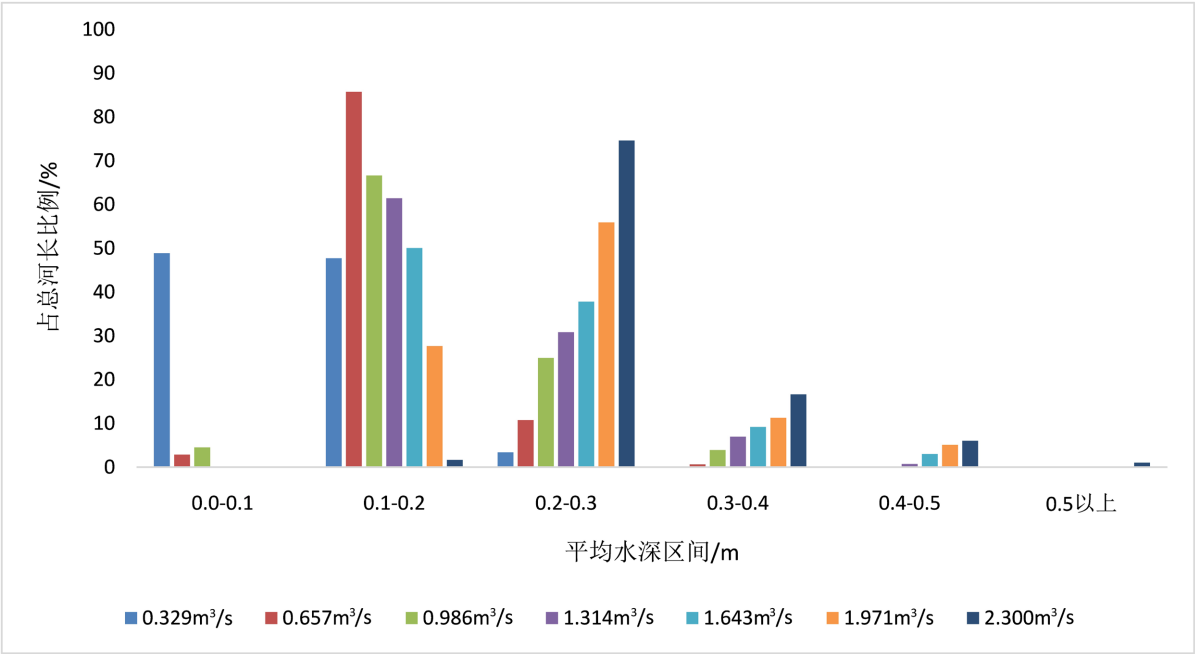


图 4. 平均水深分区间统计表

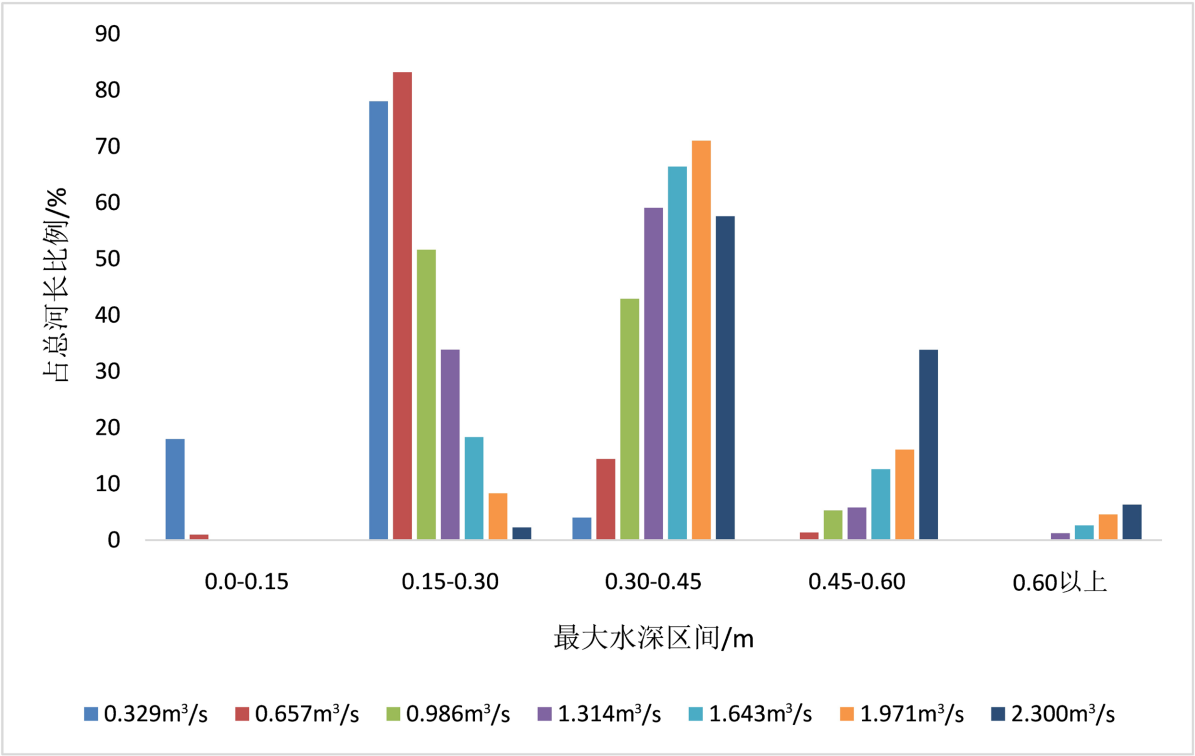


图 5. 最大水深分区间统计表

经生态水力学法分析研究河段汛期下泄流量 $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ，占多年平均流量的 35%。

4) 生态流量综合确定

为了更好地保障水生生态稳定,减缓不利环境影响,综合上述 2 种方法对某大型水库生态流量下泄的要求(见

表 6), 为最大程度保证鱼类生活环境, 生态流量取大值, 因此本次拟定生态流量为: 汛期 5~10 月按 2.63 m³/s、非汛期 11 月~次年 4 月按 1.31 m³/s 下泄生态流量。

表 5. 汛期水库坝址下泄不同流量时研究河段水力指标达标百分比统计表

指标	最低标准	达标流量(m ³ /s)
最大水深	≥0.3 m	2.300
平均水深	≥0.2 m	2.300
平均速度	≥0.3 m/s	1.643
水面宽度	≥8 m	1.971

表 6. 不同方法下生态流量计算值对比表

生态流量计算方法	汛期流量(m ³ /s)	枯期流量(m ³ /s)
Tennant 法	2.63	1.31
生态水力学法	2.3	/

4. 结论

本文以某水库坝下至河口为研究河段, 为山区性河流, 浅滩断面较少, 因此采用 Tennant 法和生态水力学法 2 种方法计算水库生态流量, 并根据实际工程情况最终确定了生态流量。水库生态流量确定方式多样, 不可一概而论, 在实际工程设计或研究中, 可采取多种方式进行生态流量计算后, 根据实际情况比选最终确定生态流量。

基金项目

长江勘测规划设计研究有限责任公司自主创新项目(CX2023S034)。

参考文献

[1] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(2): 219-224.

[2] STANLNAKER, C. B. The instream flow incremental methodology: A primer for IFIM. National Ecology Research Center, International Publication, 1994.

[3] KING, J. M., LOUW, D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology. Aquatic Ecosystem Health Restoration, 1998, 1: 109-124. <https://doi.org/10.1080/14634989808656909>

[4] TENNAT, D. L. Instreamflow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. In J. F. Orshorn, & C. H. Allman (Eds.), Proceedings of Symposium and Specialty Conference on Instream Flow Needs II, Bethesda, American Fisheries Society, 1976: 359-373.

[5] BAIN, M. B., HUGHES, T. C. and AREND, K. K. Trends in methods for assessing freshwater habitats. Fisheries, 1999, 24(4): 16-21. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1999\)024<0016:TIMFAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1999)024<0016:TIMFAF>2.0.CO;2)

[6] 郭新春, 罗麟, 姜跃良, 等. 西南山区小型河流生态需水量研究[J]. 人民长江, 2008, 39(18): 14-16.

[7] 樊皓, 闫峰陵. 基于生态水力学法的金沙电站最小下泄流量计算[J]. 水文, 2016, 36(3): 40-43, 96.