

基于生态水力学法的金沙电站最小下泄流量计算

樊皓, 闫峰陵

(长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051)

摘要:最小下泄流量的确定是环境影响评价工作的重点,以金沙水电站为例,采用生态水力学法,在综合评判河段水深、流速、水面宽、湿周率、过水断面面积等水力参数以及水力形态要素的基础上,确定金沙水电站最小下泄流量,以满足下游河道鱼类生产繁衍的必要条件。

关键词:生态水力学法;最小下泄流量;金沙水电站

中图分类号:TV7 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2016)03-0040-04

1 前言

目前,国内关于水电站最小下泄流量确定的方法种类繁多,主要包括水文学法、水力学法和生境模拟法^[1-2]。各方法均存在一定的局限性,如水文学法,仅从水文学的角度出发,借鉴国外关于鱼类栖息地环境质量与流量的相关关系定性描述,确定最小下泄流量;水力学法如湿周法,通过研究宽浅河道断面流量与湿周关系曲线,寻找曲线的拐点,确定最小下泄流量;水力学法中的R2-CROSS法根据研究河段水生生物的水力喜好度,确定最小下泄流量,但该方法仅适用于宽浅型河流。生境模拟法是通过计算指定水生物种的适宜生境面积,确定河流上游拦河建筑的最小下泄流量。上述各种方法是从国外引进的,其经验和部分成果仅供参考,方法的适用性缺乏考证^[3-6]。

本文采用生态水力学法,在充分考虑河段地形、地貌以及河流水生生物尤其是鱼类分布特征的基础上,对全河段进行数值模拟,计算河段水深、流速、水面宽、湿周率、过水断面面积等水力学因子以及急流、缓流的水力形态要素,结合水文水资源、水力学以及水生生态等环境影响评价中涉及的专业进行综合决策,确定金沙水电站最小下泄流量。

2 研究区域概况

金沙江金沙水电站位于金沙江干流中游末端的攀枝花河段上,该河段范围从观音岩水电站坝址至乌东德水电站库尾,天然河道长57km,落差38m,平均比降0.69‰。

据统计,金沙坝址处多年平均流量为 $1\ 873\text{m}^3/\text{s}$,径流量 $590\times 10^8\text{m}^3$,径流主要集中在6~11月,占全年的80.5%。研究河段多为“V”型河谷,坝下河段穿越攀枝花主城区,河段内浅滩较少。根据中科院水工程生态研究所实地调查成果,结合历史资料调查成果,金沙江攀枝花江段共分布有鱼类149种,体长最大的鲇,其体长在36.7~47.6cm之间,金沙江大部分河段水流湍急,长薄鳅、圆口铜鱼、圆筒吻鮡、长鳍吻鮡等产漂流性卵鱼类分布较多。鱼类的繁殖季节从3月开始,晚的延至6月。

根据江段分布的主要鱼类的生活习性,金沙水电站建成后,其最小下泄流量需保障的下游河段水力生境参数主要包括水深、流速、水面宽、湿周率、过水断面面积等因素。

3 研究方法及其计算条件

3.1 研究方法

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。该法假设水深、流速、湿周、水面宽、过水断面的面积、水面面积、水温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。在摸清研究河段水生生物对水力生境参数、水力形态的基本生存要求的前提下,采用水动力模型对研究河段分不同流量等级模拟计算水力生境参数,结合水文水资源、水力学以及水生生态等环境影响评价中涉及的专业进行综合决策,确定最小下泄流量^[7]。

本次研究收集了金沙水电站坝址至雅砻江河口长

收稿日期:2015-05-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41301285);水利部公益性行业科研专项(201001006)

作者简介:樊皓(1985-),男,江苏泰州人,硕士,主要从事环境影响评价与水资源保护。E-mail:fanhaohu@163.com

约 23km 江段 36 个大断面实测数据、该江段攀枝花水文站实测水位、流量数据以及金沙水电站设计调度过程(见图 1),采用 MIKE11 软件,模拟计算金沙水电站下泄不同流量时,坝下游段水深、流速、水面宽、湿周率、过水断面面积等水力参数以及急流、缓流等水力形态要素。

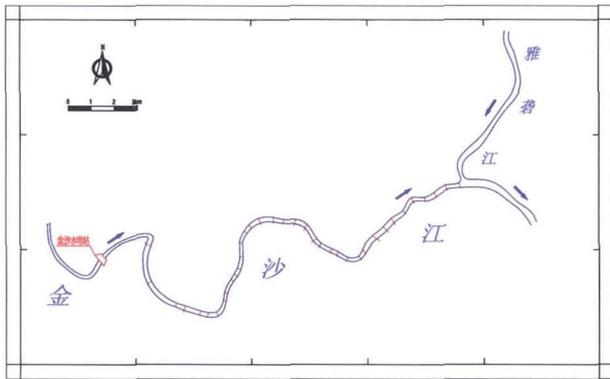


图 1 计算河段示意图
Fig.1 The schematic diagram of the reach

3.2 计算条件

电站上游观音岩水电站最小下泄流量为 $350\text{m}^3/\text{s}$, 约占坝址处多年平均流量的 19%, 即使无本工程, 坝址处下泄流量依然不小于 $350\text{m}^3/\text{s}$, 因此, 以 $350\text{m}^3/\text{s}$ 为计算下限。

金沙水电站坝址处多年平均流量为 $1873\text{m}^3/\text{s}$, 根据坝址处长系列资料统计, 坝址处最枯月平均流量为 $560\text{m}^3/\text{s}$, 约为电站坝址处多年平均流量的 30%; 根据田纳特(Tennant)等人研究经验, 当电站下泄流量不低于断面多年平均流量 30% 时, 下游河道作为生物栖息地的质量得到较好保障; 同时, 金沙电站作为观音岩水电站反调节电站, 其调节库容仅 $0.12 \times 10^8 \text{m}^3$, 反调节能力有限, 因此, 拟以 $560\text{m}^3/\text{s}$ 为计算上限。

本次模拟的流量下泄流量区间选择在 $350\sim 560\text{m}^3/\text{s}$ 之间, 为保证计算精度, 以 $30\text{m}^3/\text{s}$ 为增量, 共计算 8 个代表流量。

4 模拟结果分析

经计算, 上述 8 个代表流量中, $350\text{m}^3/\text{s}$ 、 $380\text{m}^3/\text{s}$ 计算结果基本接近, $410\text{m}^3/\text{s}$ 、 $440\text{m}^3/\text{s}$ 计算结果基本接近, $500\text{m}^3/\text{s}$ 、 $530\text{m}^3/\text{s}$ 计算结果基本接近。因此, 本文仅列出 350 、 410 、 470 、 500 、 $560\text{m}^3/\text{s}$ 作为下泄流量时, 坝下游河段生态水力要素的计算结果。

金沙坝下河段平均水深、水面宽、最大水深、过水断面面积、平均流速、湿周率等要素计算结果详见图 2~图 7。图 2~图 7 分别表示各水力因子在各分级范围内河段长度占总河长的百分比。

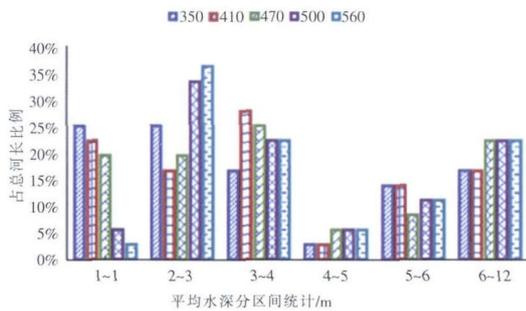


图 2 平均水深分区间统计
Fig.2 Classification of the mean depth

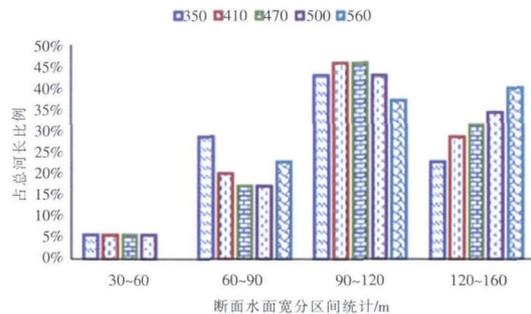


图 3 水面宽分区间统计
Fig.3 Classification of the flow width

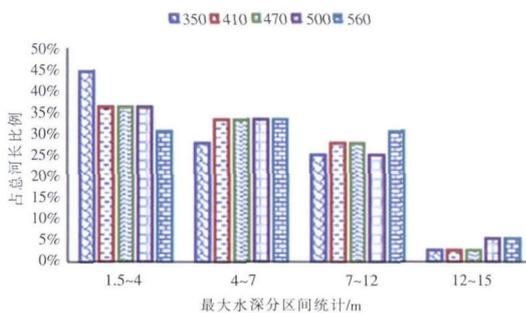


图 4 最大水深分区间统计
Fig.4 Classification of the maximum depth

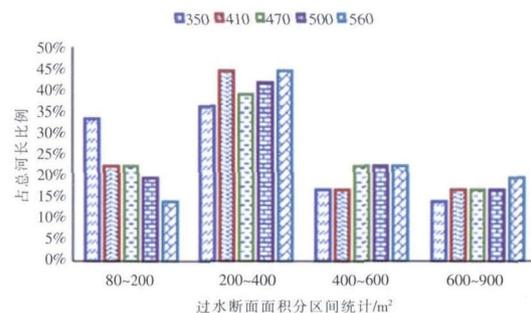


图 5 过水断面面积分区间统计
Fig.5 Classification of the flow area

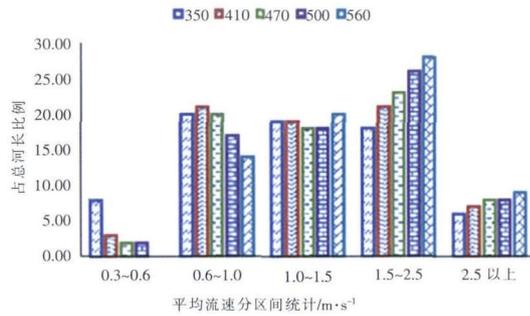


图6 平均流速分区间统计
Fig.6 Classification of the flow velocity

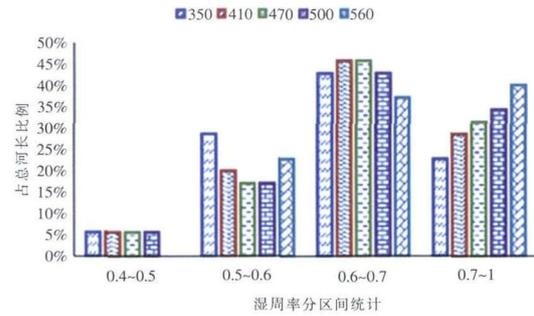


图7 湿周率分区间统计
Fig.7 Classification of the wetted perimeter frequency

参照王玉蓉、李嘉等关于河段鱼类生境需求的水力参数研究成果^[8],并结合研究河段鱼类身长以及水力学法 R2-CORSS 法中关于湿周率的相关要求,确定生境适宜的水力参数限值,详见表 1。

表1 河流鱼类生境适宜的水力参数低限值
Table1 The hydraulic parameters of habitat requirement for fish

水力指标	平均流速/m·s ⁻¹	平均水深/m	最大水深/m	水面宽/m	湿周率/%	过水断面面积/m ²
最低标准	0.3	0.5	1.43	30	50	>30

4.1 水力参数模拟结果分析

(1)平均水深。根据计算,当金沙水电站下泄不高于 470m³/s 流量时,河段平均水深基本在 1.3~4.0m 之间,同时河段也存在部分深水区。当下泄流量不低于 500m³/s 时,河段平均水深基本在 2.0~4.0m 之间,河段深水区范围明显增加。

(2)水面宽。由图 3 可知,各方案河道平均水面宽均大于 30m。当下泄流量大于 500m³/s 时,研究河段水面宽基本在 90.0~160.0m 之间。

(3)最大水深。由图 4 可知,各方案对应的河道最大水深基本都集中在 1.5~12.0m 之间,根据研究江段鱼类身长特征,河段最大水深应为鱼类身长的 2~3 倍,因此,从最大水深的角度,各下泄流量方案基本都满足这一要求。

(4)过水断面面积。由图 5 可知,各方案对应的河道过水断面面积基本都大于 30m²。

(5)平均流速。金沙江攀枝花河段天然河段流速均相对较大,在研究河段不受下游规划水电梯级回水影

响的情况下,拟定的最小下泄流量计算方案对应的河段平均流速均大于 0.3m/s。

(6)湿周率。由图 7 可知,当最小下泄流量为 560m³/s 时,全河段湿周率均在 50% 以上,而其他方案对应的河段湿周率,均有部分断面湿周率不满足 50% 的要求。

(7)水面面积。根据计算,以 560m³/s 对应的河道水面面积为基数,当下泄流量为 350m³/s 时,水面面积相对 560m³/s 减少 10.11%,随着下泄流量的增加,水面面积减小幅度逐渐减小,当下泄流量为 500m³/s 时,水面面积相对 560m³/s 减少 3.73%,计算结果详见表 2。

表2 各最小下泄流量方案水面面积统计表
Table2 The water surface area in different discharge

最小下泄流量方案/m ³ ·s ⁻¹	水面面积/m ²	减少量/m ²	减少程度
350	1955382	-219817	-10.11%
410	2025647	-149551	-6.88%
470	2068443	-106755	-4.91%
500	2093985	-81214	-3.73%
560	2175199	-	-

4.2 水力形态模拟结果分析

根据计算,金沙水电站建成运行后,各方案并未改变下游河道水力形态的多样性,即河道依然为急、缓流交替的水力形态。由表 3 可知,坝下河段在不受下游梯级电站回水影响的情况下,基本不存在缓流型水体,随着下泄流量的增加,急流、较急流水体长度亦随之增加,较缓流水体长度则相应减小。

表3 各最小下泄流量方案水力形态统计表
Table3 The statistics of the hydraulic forms in diferent discharges

计算方案	急流		较急流		较缓流		缓流	
	段数	长度/m	段数	长度/m	段数	长度/m	段数	长度/m
350m ³ ·s ⁻¹	6	3 420.5	8	6 801.0	4	11 898.5	0	0
410m ³ ·s ⁻¹	7	5 366.5	7	7 037.0	4	9 716.5	0	0
470m ³ ·s ⁻¹	8	5 743.5	9	7 126.5	3	9 250.0	0	0
500m ³ ·s ⁻¹	8	6 075.0	9	7 358.0	3	8 687.0	0	0
560m ³ ·s ⁻¹	7	7 575.0	4	9 879.0	2	4 666.0	0	0

5 最小下泄流量的确定

根据上文关于水力参数以及水力形态等要素的分析,随着下泄流量的增加,相应的平均水深、流速、最大水深、过水断面面积、水面宽以及湿周率等指标亦随着增加。根据拟定的计算方案,当流量不小于350m³/s时,除湿周率外,其余各水力要素均满足表2中所列的最低限值要求,当且仅当下泄流量达到

560m³/s时方可满足研究河段湿周率不低于50%的要求,生境达标参数分析详见表4。研究河段分布有长薄鳅、圆口铜鱼、圆筒吻鮡、长鳍吻鮡等产漂流性卵鱼类,上述鱼类均为喜急流型鱼类,当金沙水电站按最小下泄流量为560m³/s运行时,坝下游河段79%以上的河段均为较急流型河段,满足产漂流性卵鱼类繁殖要求。综上,确定金沙水电站最小下泄流量为560m³/s。

表4 生境参数达标情况分析表
Table4 Analysis of the habitat parameters standard situation

流量/m ³ ·s ⁻¹	最大水深	平均水深	平均流速	水面宽	湿周率	过水断面面积
	鱼类体长的2~3倍	≥0.3m	≥0.3m/s	≥30m	≥50%	≥30m ²
350m ³ /s	100%	100%	100%	100%	92%	100%
410m ³ /s	100%	100%	100%	100%	94%	100%
470m ³ /s	100%	100%	100%	100%	94%	100%
500m ³ /s	100%	100%	100%	100%	97%	100%
560m ³ /s	100%	100%	100%	100%	100%	100%

6 结语

本文以金沙水电站坝址至雅砻江河口以上河段为研究河段,采用生态水力学法研究水电站最小下泄流量,对环境评价中,关于电站最小下泄流量的确定做了一点技术性探讨。受研究河段所在地理位置以及特殊的地形、地貌限制,未能对河段浅滩、深潭等生境因子进行详细研究,在今后的工作中,还需针对河段生境因子进行进一步的研究。

参考文献:

[1] 郭新春,罗麟,姜跃良,等. 计算山区小型河流最小生态需水的水力学法[J]. 水力发电学报, 2009,28(4):159-165. (GUO Xinchun, LUO Lin, JIANG Yueliang, et al. A revised hydraulics method of calculating the ecological flow demand for small mountain rivers[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009,28(4):159-165. (in Chinese))
 [2] 李嘉,王玉蓉,李克锋,等. 计算河段最小生态需水的生态水力学法[J]. 水利学报, 2006,37(10):1169-1174. (LI Jia, WANG Yurong, LI Kefeng, et al. Eco-hydraulics method of calculating the lowest ecological water demand in fiver channels [J]. Journal of Hydraulic

Engineering, 2006,37(10):1169-1174. (in Chinese))
 [3] 王玉蓉,李嘉,李克锋,等. 生态水力学法在河段最小生态需水量计算中的应用[J]. 四川大学学报, 2007,39(5):1-6. (WANG Yurong, LI Jia, LI Kefeng, et al. Application of the eco-hydraulics method in calculation of ecological flow of river [J]. Journal of Sichuan University, 2007,39(5):1-6. (in Chinese))
 [4] 严登华,何岩,邓伟. 东辽河流域河流系统生态需水研究[J]. 地理学报, 2001,15(1):46-49. (YAN Denghua, HE Yan, DENG Wei. Ecological water demand by the slope system in the east Liaohe River basin[J]. Journal of Geographical Sciences, 2001,15(1):46-49. (in Chinese))
 [5] 丰华丽,王超,李建超. 河流生态与环境用水研究进展[J]. 河海大学学报, 2002,30(3):19-23. (FENG Huali, WANG Chao, LI Jianchao. Research progress of eco-environment water requirements of rivers[J]. Journal of Hohai University, 2002,30(3):19-23. (in Chinese))
 [6] 王西琴,刘昌明,杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻[J]. 水科学进展, 2002,13(4):507-514.(WANG Xiqin, LIU Changming, YANG Zhifeng. Research progress and prospects of eco-environment water requirements[J]. Advances in Water Science, 2002,13(4):507-514. (in Chinese))

(上接第 43 页)

- [7] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性[J]. 水利学报, 2003,(11): 1-7.(DONG Zheren. Diversity of river morphology and diversity of bio-communities[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003,(11):1-7. (in Chinese))
- [8] 王玉蓉,李嘉,李克锋,等. 水电站减水河段鱼类生境需求的水力参

- 数 [J]. 水利学报,2007,(1):107-112.(WANG Yurong, LI Jia, LI Kefeng, et al. Hydraulic parameters of habitat requirement for fish in water reduced river reach due to diversion of hydropower [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007,(1):107-112. (in Chinese))

Calculation of Minimum Discharge Based on Eco-hydraulics Method

FAN Hao, YAN Fengling

(Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, China)

Abstract: Determination of minimum discharge is the focus of the environmental impact assessment. In the case of Jinsha Hydroelectric Power Station, based on the comprehensive evaluation of the hydraulic shape elements and Hydraulics factors such as water depth, flow velocity, flow width, wetted perimeter frequency and flow area, this paper determined the minimum discharge at the Jinsha Hydroelectric Power Station by using eco-hydraulics method to meet the necessary conditions of fish breeding production in downstream river.

Key words: eco-hydraulics method; minimum discharge; Jinsha Hydroelectric Power Station

(上接第 64 页)

- [2] 黄国勤. 保护鄱阳湖“一湖清水”的重大意义及战略对策[A]. 中国可持续发展研究会. 2011 中国可持续发展论坛 2011 年专刊 [C]. 2011. (HUANG Guoqin. The significance and strategies of protection of Poyanghu Lake [A]. Chinese Society for Study on Sustainable Development. Special Issue of 2011 Forum on Sustainable Development in China [C]. 2011. (in Chinese))

- [3] Kendall M G. Rank Correlation Methods [M]. London: Charles Griff, 1975.
- [4] Kendall M G, Stuart A. The Dvanced Theory of Statistics [M]. London: Charles Griff, 1973.
- [5] Hirsch R M, Slack J R, Smith R A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data [J]. Water Resources Research, 1982,18(1):107-121.

Trend Analysis of Water Quality and Main Pollutants in Poyanghu Lake

LIU Lian, WANG Guoying

(Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330002, China)

Abstract: The water quality of the Poyanghu Lake during 1985-2013 was investigated and assessed. The results show that the water quality presented a decreasing trend, the current eutrophication status was moderate, and the main pollutants were the total phosphorus (TP) and ammonia nitrogen (NH₃-N). By using the seasonal Kendall test for the main pollutants of TP and NH₃-N, it was found that TP and NH₃-N appeared a significantly rising trend for most of monitoring cross-sections into or in the lake and the controlling-sections in the lake outlet.

Key words: Poyanghu Lake; water quality; main pollutants; change trend

(上接第 60 页)

Application of AHP Based Fuzzy Comprehensive Evaluation Model in Assessment of River Basin Ecological Environment Health

SUN Chao¹, CHEN Wen¹, LIU Yifan²

(1.Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province,Lanzhou730000,China;

2.Water Resources Department of Gansu Province,Lanzhou730000,China)

Abstract: The river basin ecological environment health assessment is the important basis for reasonable water exploitation,sustainable development in economic,social and ecological environment protection,there are also the system diagnostic methods for river area ecological health status.On the basis of ecological environment health assessment for the Shulehe River Basin, this paper used the analytic hierarchy process to research each assessment index,and usedfuzzy comprehensive evaluation method to assess the level of river basin ecological environment health.The subjection degree is 0.4219 forhealth level ofthe Shulehe River Basin.It belongs to sub-health (0.4 ~0.6)status.According to the evaluation results, this paper made an analysis of the main problems in the ecological health of the river basin,and put forward some suggestions.

Keywords: Shulehe River Basin; health?level; analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation model; maximum degree of membership