

文章编号: 1004-8227(2009)09-0860-05

大型梯级水库对河流生态流量的影响 ——以金沙江下游梯级为例

王 波, 黄 薇, 尹正杰

(长江科学院水资源研究所, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 大型梯级水库通常具有较大的调节库容, 水库运行使坝下河道自然的流量过程受到较大扰动, 一些具有重要生态意义的流量组的特征被改变, 如洪水、高流量脉动、低流量和极端低流量。基于 BRAIN 等提出的河流生态流量影响研究理论, 结合金沙江屏山断面的水文与河流生态的关系, 选取水平年组对高流量脉动和极端低流量组的判别参数进行率定, 确定自然条件下屏山断面生态流量组指标值。模拟金沙江下游梯级建成后的逐日流量过程, 求得各生态流量组指标值并与自然条件下的指标值进行对比, 分析金沙江下游“乌东德—白鹤滩—溪洛渡—向家坝”梯级水库建成后可能对屏山断面生态流量过程的影响。研究结果表明: 建库后屏山断面将可能出现“极端低流量消失、低流量提高、高流量脉动散化、洪水基本保持”的变化特点。

关键词: 生态流量; 大型水库; 金沙江; 屏山; 自然河流

文献标识码: A

自然河流中, 随季节以某种规律变化的流量过程是河流健康的驱动力。生态流量就是天然河流及其河岸带生物能够正常完成其生命史所必须具备的流量过程。20 世纪 70、80 年代, 河流生态流量开始受到重视, 一些发达国家率先对河流生态流量进行研究^[1], 并提出了一些基于水文学、水力学的生态流量研究方法, 比如 Tennant^[2] 法、R2-Cross 法, 以及水力学与生境相结合的 IFIM 方法^[3]。90 年代以来, 随着对河流整体生态功能的重视, 以南非 BBM 和澳大利亚整体法为代表的生态流量制定方法被提出。对自然河流的扰动程度决定了是否制定河流生态流量。按照我国的水电能源规划, 未来将在主要的大江大河上建设一批大型水库, 多以梯级形式布置, 形成首尾相连的湖库化梯库。巨大的调节库容将使水库下游河道的水文过程发生较大变化, 打破了千百年来形成的与河流生态相适应的周期性流量过程, 从而对河流及滨水生物的生存繁衍及栖息地产生重要影响。本文以金沙江下游梯级出口屏山水文站断面为例, 探讨大型梯库对具有生态指向的自然流量过程的扰动, 为生态流量制定提供参考。

根据金沙江梯级规划, 金沙江下游将修建“乌东德—白鹤滩—溪洛渡—向家坝”梯级水电站(见图

1), 均为特大型水电工程, 其中溪洛渡和向家坝已开工建设。水库参数见表 1。

1 研究方法

河流流量的大小和随时间的变化是河流生命的基本特征, 对河流泥沙、水温、水质等环境因子均有重要影响。一般来说, 由于大型水电工程调节库容较大、水能利用系数较高, 相较中小型水电工程对河流流量的影响来说, 梯级水库出口流量均化现象将更为严重, 相关径流特性也将随之改变, 一些对河流生态系统具有重要生态意义的流量过程的改变将引起生态负效应。如何识别并分析水电工程对河流自然流量过程影响的生态负效应, 是近年研究的热点。

本文采用 Brian 等^[4,5] 提出的变化范围分析法(RVA)方法来研究金沙江下游梯级修建后对屏山断面生态流量的影响。Brian 等将自然河流的具有生态意义的流量过程分为 4 个生态流量组: 高流量脉动、洪水、低流量和极端低流量, 并以流量值、持续时间和涨落速率等指标来描述这些流量过程, 通过对比大坝建设前后这些流量过程指标的变化来分析大坝建设对河流生态流量的影响。该方法对基础资

收稿日期: 2008-08-19; 修回日期: 2008-12-05

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(200701010); 水利部江湖治理与防洪重点实验室开放研究(R2007-04)

作者简介: 王 波(1982~), 男, 贵州省桐梓人, 硕士, 主要从事水资源规划与水生态方面的研究。E-mail: wangbotongzi@163.com

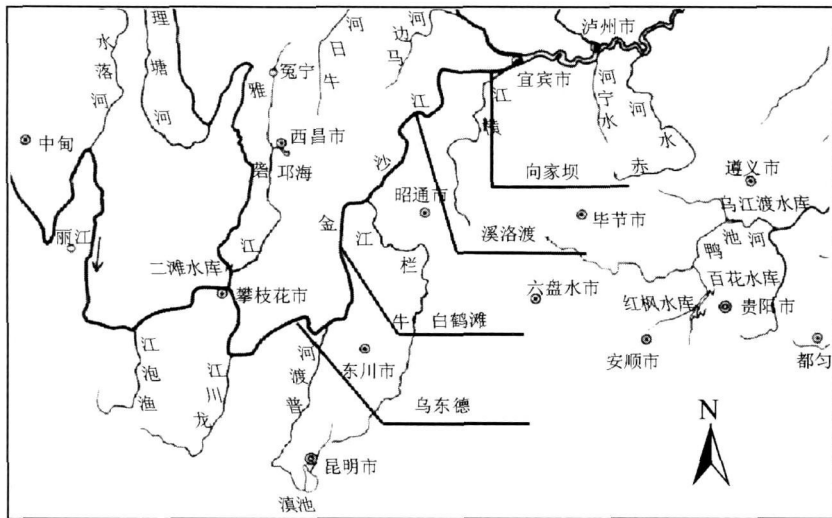


图 1 金沙江下游梯级位置图

Fig. 1 Position of Cascade Reservoirs on Lower Jinsha River

表 1 金沙江下游梯级水库参数^①

Tab. 1 Cascade Reservoirs Characteristics on Jinsha River

库名	库容 (亿 m ³)	年径 流量 (亿 m ³)	库容 系数	正常 蓄水位 (m)	主要功能	死水位 (m)
乌东德	39.4	1 167	0.019	950	发电、防洪	920
白鹤滩	179.2	1 296	0.077	820	发电、防洪、航运	760
溪洛渡	115.7	1 429	0.045	600	防洪、发电	540
向家坝	49.7	1 451	0.006	380	发电、防洪、航运	370

料要求较低, 并且各个生态流量组具有明确的生态意义, 集合了水文学方法和整体法的优点。

RVA 方法着重考虑对河流生态具有重要影响的水文特征值的变化, 以一套包含 34 个指标的指标体系来分别描述高流量脉动、洪水、低流量和极端低流量, 各流量组及其对河流生态的意义如下:

(1) 高流量脉动 自然河流在低流量情况下可能由于降雨或融雪来水的增加而产生流量较快增大的水流脉动现象。高流量脉动可以减缓河流长期处于低流量状况下低溶解氧的状况, 并可以随水流从上游带来较多营养物质, 对河流的营养水平进行调节; 高流量脉动期间, 水位上升, 为水生物在河流上下游间和江湖间的迁徙提供了条件; 高流量脉动提供了重要的生命指示信号, 增大的流速会刺激一些鱼类产卵, 同时随着浸润线的上升, 一些植物开始发芽。

(2) 洪水 可分为小洪水和 大洪水。小洪水与高流量脉动具有一些相似的生态作用。所不同的是小洪水期间河流含沙量、流量更大, 河道横向和纵向

的贯通性得到提高, 河流横向具有更大范围的流速分布, 洪水可以波及河汊、湿地及其它浅水区, 这些区域营养丰富, 水流缓慢, 是水生物觅食的优良场所; 自然河流的大洪水将使河流生物群落和河床结构被重塑。大洪水将冲走大量的生物, 同时也为某些生物的繁衍生存创造了有利条件。

(3) 低流量 河流低流量主要靠地下水补给, 对河流生态的地位举足轻重。自然河流中, 低流量状态通常持续较长时间, 几乎决定了水生物群落的结构和数量。

(4) 极端低流量 极端低流量情况下河流水位很低, 水温、水化学和溶解氧等水质因子将发生较大变化, 从而对水生物形成胁迫, 引起较高的死亡率, 同时一些耐受性较强的物种数量会增加。

金沙江下游梯级近年才陆续开工建设, 在此之前流量基本保持自然状态, 可看作自然流量过程。本文首先选取屏山水文站 1965~ 1987 年的逐日实测流量, 结合各水平年屏山断面的水文特点确定各生态流量组划分参数, 提取各生态流量组的指标值来描述自然状态下流量过程, 称之为“建坝前”流量过程, 然后对金沙江屏山水文站 1965~ 1987 年的逐日流量过程进行调度, 生成金沙江下游四库建成后出口断面的流量过程(1988~ 2010 年), 称为“建坝后”流量过程, 以既定的生态流量组划分参数为限制, 提取 1988~ 2010 年生态流量组的指标值, 将之与 1965~ 1987 年屏山断面各生态流量组的指标值

① 长江水利委员会. 金沙江干流梯级规划报告. 2003.

作对比来分析金沙江下游梯级水库修建后对自然流量过程中的生态流量组所造成的影响。

2 生态流量组参数的确定

屏山河道属于山区河流,河床横断面阶地不明显,而是呈峡谷状(图 2),不具备利用“流量-水位”关系分析来对各个流量组分进行参数率定的条件。

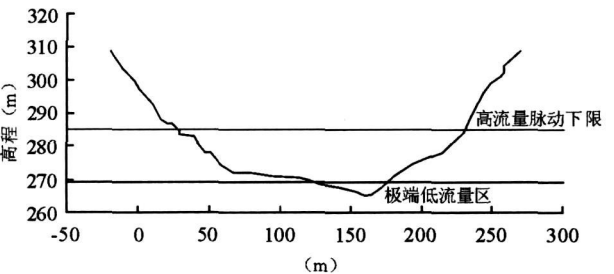


图 2 屏山河道断面图

Fig. 2 Section of Pingshan on Jinsha River

屏山断面天然来水在年内分配呈现明显的丰枯季,高流量脉动和极端低流量参数主要结合各水平年年内流量分配特点来进行确定,表征这两组流量在特定时间可以正常发生。洪水和低流量参数主要根据国内外已开展生态流量研究和试验的情况,结合金沙江水文特点来确定。根据 1965~ 1987 年屏山站的来流资料,可从中选择 3 个水平年组进行分析,丰水年组为 1965、1966、1974,平水年组为 1971、1979、1986,枯水年组为 1967、1972、1976。各参数率定如下:

(1) 高流量脉动 宜宾江段枯季和丰季的交替明显,往往是随着一两次较为明显的涨水过程而完成,也代表河流由低流量转入高流量阶段。提取丰、平、枯 3 个水平年组首次出现连续 3 d 起涨量超过 10%或连续 7 d 内 4 d 起涨超过 10% 的流量过程,取中值作为高流量发生的最低限值。经统计,各水平年组发生起涨过程的首日如下:

丰水年组: 第 153、161、147 d; 平水年组: 第 171、188、209d; 第枯水年组 165、166、180 d,即处于 5 月初至 6 月底之间,和金沙江入汛的日期比较一致,因此,选择以上日期的流量中值作为高流量的下限值是比较合理的,中值为 4 430 m³/s(图 2)。将“建坝前”(1965~ 1987 年)的逐日流量由低到高排序,4 430 m³/s 以下天数比例为 67%。因此,定义当流量不低于 4 430 m³/s(67%),但没有形成洪水,且当日流量增幅达 15%(相应日起涨水位约 1 m),高流量脉

动开始。当日流量减幅达 10%,高流量脉动结束。

(2) 洪水 小洪水: 2 年一遇的高流量脉动; 大洪水: 5 年一遇的高流量脉动。

(3) 极端低流量 根据丰、平、枯 3 个来水年组的流量年内分配来看,各年极端低流量非常接近,介于 1 100~ 1 410 m³/s,说明虽然丰枯年间年径流量差别较大(丰水年组与枯水年组年径流比为 1.57),但极端低流量却是比较稳定的。以保证在各水平年组均有极端低流量为原则,可选取丰水年组极端低流量中值 1 270 m³/s 作为极端低流量的上限,即最低的 9% 的流量为极端低流量。

(4) 低流量 极端低流量比例至高流量脉动起涨流量之间的部分,即流量由低到高排列,不低于 9%,但还没有形成高流量脉动的流量均为低流量。

3 生态流量影响分析

经对比分析,金沙江下游梯级建成后,屏山断面各月生态流量将主要可能出现如下变化(图 3): 经梯级水库调节后各年 1~ 5 月份梯级出口流量大幅增加; 水库调节对各年 6 月份水量调节作用较弱; 7 月份,一些年份经调节后的梯级出口高流量减小,中流量增加,而低流量年份没有变化; 进入 8、9 月份,中高流量均向低流量区域靠近; 10~ 12 月份,较高流量基本得以保持,部分中流量(10 月)向低流量靠近,再由低流量(11 月)回到中流量。

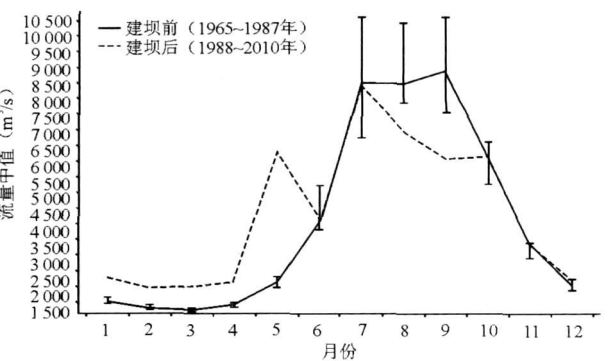


图 3 各月中值流量图

Fig. 3 Median Flow Monthly

如表 2、图 4 所示,建坝后各月下泄低流量将由由于水库调蓄而调整,与建坝前相比,建坝后低流量中值在 12 月至次年 5 月将增大,增加幅度由最小的 10%(12 月)至最大的 54%(3 月); 6 月低流量中值将基本保持不变,成为低流量中值增减的转折点; 7 月至 11 月,低流量中值将减小,减幅最小为 2%(11

月),最大达 72%(9 月)。明显的特征是梯级水库集中蓄滞 8、9 月份水量,于 1~ 5 月均匀下泄,低流量被整体提高。

表 2 各月低流量中值变化表(m³/ s)

Tab. 2 Change of Median Low Flow Monthly(m³/ s)

月份	建坝前 (1965~ 1987)	建坝后 (1988~ 2010)	月份	建坝前 (1965~ 1987)	建坝后 (1988~ 2010)
1	1 550	2 290	7	7 820	7 155
2	1 325	1 955	8	7 945	2 425
3	1 300	2 000	9	9 150	2 590
4	1 460	2 160	10	5 120	4 408
5	2 150	3 075	11	3 370	3 305
6	3 790	3 800	12	2 030	2 230

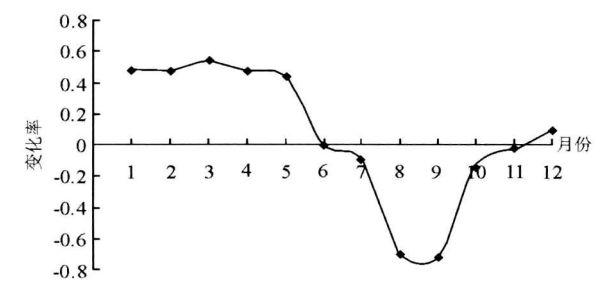


图 4 各月低流量中值变化情况

Fig.4 Change of Median Low Flow Monthly

梯级对极端低流量的影响是比较明显的(表 3),建坝后极端低流量将不再发生,流量对河流生态系统的胁迫程度将降低,由此可能带来生物量的增加,同时生物多样性可能降低。

表 3 极端低流量参数中值变化表

Tab.3 Change of Median Extreme Low Flow Parameters

参数	建坝前(1965~ 1987)	建坝后(1988~ 2010)
极端低流量(m ³ / s)	1 210	-
持续时间(d)	10. 25	-
发生时间(第 n 日)	78	-
发生频率(次/ 年)	2	-

注:“-”表示不发生。

梯级修建后高流量脉动次数将增加一倍(表 4),但持续时间缩短、峰值降低,表现为高流量脉动的“快起快落”,自然河流较长时间的持续涨水

表 4 高流量脉动参数中值变化表

Tab. 4 Change of Median High Flow Pulses Parameters

高流量脉动	建坝前(1965~ 1987)	建坝后(1988~ 2010)
峰值(m ³ / s)	10 930	7 880
持续时间(d)	14	9. 5
发生时间(第 n 日)	215. 5	206
发生频率(次/ 年)	3	6
上升率(m ³ / d)	764. 9	796. 8
下降率(m ³ / d)	- 666. 5	- 990. 8

过程转变为零散的多次小幅起涨过程。

由于梯级水库对洪水过程的消减作用(表 5),大、小洪水持续时间中值均缩短了约 1/ 3,出口流量上升率增大,而对其它参数影响较小。

表 5 洪水参数中值变化表

Tab. 5 Change of Median Flood Parameters

参 数	建坝前 (1965~ 1987)	建坝后 (1988~ 2010)
小洪水	峰值(m ³ / s)	18 100
	持续时间(d)	22. 00
	发生时间(第 n 日)	216
	发生频率(次/ 年)	0. 39
	上升率(m ³ / d)	1 183
	下降率(m ³ / d)	- 1 175
大洪水	峰值(m ³ / s)	21 880
	持续时间(d)	12. 75
	发生时间(第 n 日)	241. 8
	发生频率(次/ 年)	0. 17
	上升率(m ³ / d)	2 113
	下降率(m ³ / d)	- 1 304

4 结 语

本文采用 Brain 提出的分析河流水库对河流生态流量组扰动的方法,结合金沙江下游屏山断面各水平年的流量特征,对各生态流量组分的参数进行率定,以此来分析金沙江下游“乌东德- 白鹤滩- 溪洛渡- 向家坝”梯级的建成运行可能对屏山断面生态流量的影响。分析结果表明:建库后屏山断面流量将可能出现“极端低流量消失、低流量提高、高流量脉动散化、洪水基本保持”的特点。同时,笔者认为生态流量应当充分重视对流量过程的研究,为开展水库生态调度提供具有明确生态指向的调度目标。

参考文献:

[1] 杨志峰,张 远. 河道生态环境需水研究方法比较[J]. 水动力学研究与进展(A 辑),2003,18(3): 294~ 301.

[2] TENNANT D L. Instream flow regiments for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6~ 10.

[3] STALNAKER C B, LAMB B L, HENRIKSEN J, et al. The in-stream flow incremental methodology: A primer for IFIM[R]. Washington D C: U. S. Geological Survey. Biological Report 29, 1995: 45.

[4] BRIAN DR, JEFFREY V B, JENNIFER P, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems[J]. Conser-

vation Biology, 1996, 10(4): 1 163~ 1 174.

gime[J]. BioScience, 1997, 47(11): 699~ 784.

[5] POFF N L, DAVID A, MARK B B, et al. The natural flow re-

ON ECOLOGICAL FLOW IMPACT OF LARGE CASCADE RESERVIORS ——A CASE STUDY ON LOWER JINSHA RIVER

WANG Bo, HUANG Wei, YIN Zheng-jie

(Water Resource Department of Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Large cascaded reservoirs generally hold very large regulating storage. The running of the reservoirs exerts great effects on the natural discharge process along the river course below the dam. The runoff group's characteristics are changed which have important ecological meaning, such as flood, high flow pulse, low flow and extreme low flow. Pingshan section's ecological flow group's characteristic value under natural condition was given, based on the river's ecological flow discharge effect theory, suggested by BRAIN, after considering the relation between the Pingshan section's hydrology and river's ecology of Jinsha River and choosing target year group to make calibration to the parameters of high flow pulse and extremely low flow. The day-by-day flow discharge processes were modeled after the construction of cascaded reservoirs along Jinsha River course, the characteristic value of every ecological flow group was given and the modeled result was compared with that under natural condition, the effect on the Pingshan section's ecological flow process caused by the Wudongde-Baihetan-Xiluodu-Xiangjiaba cascaded reservoir constructed along Jinsha River course was analyzed. The results show that some changes of "extreme low flow never appeared, low flow increased, high flow pulse fragmented and flood kept" may take place at the Pingshan section after the dams' construction.

Key words: ecological flow; large reservoirs; Jinsha River; Pingshan section; natural river