

Influence of Reservoir Water Diversion on Four Major Chinese Carps in Middle and Lower Hanjiang River

Dong Wang^{1,2,3}, Zhengjie Yin^{1,2,3}, Juanjuan Fang¹, Yanlai Zhou^{1,2,3*}

¹Water Resources Department, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan Hubei

²Key Laboratory of River-Lake Governance and Water Resources, Ministry of Water Resources, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan Hubei

³Hubei Province Key Laboratory of River Basin Water Resources and Ecological Environment Science, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan Hubei

Email: whuwd@sina.com, *zyl23bulls@whu.edu.cn

Received: Nov. 30th, 2016; accepted: Dec. 20th, 2016; published: Dec. 23rd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

Water diversion project of Danjiangkou reservoir would change the hydrological condition and influence the habitat of four major Chinese carps in middle and lower Hanjiang River. This paper summarizes the existing research and analyzes the measured data, and then discusses the main hydrological elements that affect the four major Chinese carps laying eggs in downstream river. Based on the different operation rules of the reservoir, the hydrological regime changes in middle and lower Hanjiang River reach are simulated and the influence of water diversion on four major Chinese carps in downstream is analyzed. The research shows that times and days of flow rising process would increase from July to August in middle and lower reaches of Hanjiang River, but daily average of flow rising would decline significantly which is the primary cause of number of eggs-laying decrease of fish with pelagic eggs at downstream of reservoir. The number of eggs-laying and population of fish with pelagic eggs would further reduce in middle and lower Hanjiang River.

Keywords

Reservoir Operation, Four Major Chinese Carps, Hydrological Regime, Flow Condition

作者简介: 王冬(1986-), 男, 河南洛阳人, 博士, 工程师, 主要从事河流模拟及江湖关系演变研究。

*通讯作者。

文章引用: 王冬, 尹正杰, 方娟娟, 周研来. 丹江口水库调水对汉江中下游四大家鱼繁育的影响研究[J]. 水资源研究, 2016, 5(6): 553-563. <http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.56064>

丹江口水库调水对汉江中下游四大家鱼繁育的影响研究

王冬^{1,2,3}, 尹正杰^{1,2,3}, 方娟娟¹, 周研来^{1,2,3*}

¹长江科学院水资源综合利用研究所, 湖北 武汉

²长江科学院水利部江湖治理与水资源重点实验室, 湖北 武汉

³长江科学院流域水资源与生态环境科学湖北省重点实验室, 湖北 武汉

Email: whuwd@sina.com, *zyl23bulls@whu.edu.cn

收稿日期: 2016年11月30日; 录用日期: 2016年12月20日; 发布日期: 2016年12月23日

摘要

丹江口水库加坝扩容和调水工程的实施引起下游水文条件变化, 影响汉江中下游四大家鱼繁育生境。本文总结已有研究, 结合实测资料分析, 提出影响汉江四大家鱼产卵的主要水文要素, 依据丹江口水库加高调水的运行规则, 模拟分析了丹江口水库加高后两种调水规模下, 汉江中下游主要水文站点的水文情势变化, 并结合水文情势的变化特征, 分析了调水后可能对汉江中下游产漂流性卵鱼类的影响, 研究表明丹江口加高调水后, 汉江中下游7~8月涨水过程的涨水次数和总涨水天数有所增加, 但日平均涨水幅度显著下降; 而涨水幅度的降低是导致坝下游产漂流性卵鱼类产卵规模减少的诱因, 故调水工程实施后, 汉江中下游产漂流性卵鱼的种群及产卵量可能进一步减少。

关键词

水库调度, 四大家鱼, 水文情势, 涨水条件

1. 引言

随着汉江流域社会经济发展和水资源开发利用程度的提高, 汉江中下游的生态环境问题日益突出。丹江口水库作为汉江流域水资源开发利用的控制性水利枢纽工程, 在发挥防洪、发电、灌溉、航运等综合利用效益的同时改变了下游水文情势, 给汉江中下游地区的生态环境带来了一定影响。为给南水北调中线工程供水, 2005年丹江口水库大坝开始加高。随着丹江口水库加坝扩容和调水工程的实施, 这些生态环境影响可能进一步加剧。高永年[1]等通过构建综合评价指标体系分析了南水北调中线工程对汉江中下游生态环境的影响程度, 谢平[2]等建立了南水北调中线工程不同调水方案下的汉江水华发生概率计算模型, 徐新伟[3]等研究了南水北调工程对汉江中下游水生植物多样性的影响, 方芳[4]等分析了调水对汉江中下游水质和水环境容量的影响, 上述研究从多方面阐述了南水北调中线工程对汉江中下游生态环境的影响, 而结合汉江中下游产漂流性卵鱼产卵特性分析不同调水规模对亲鱼繁育的影响研究相对较少。本文总结已有研究, 结合实测资料分析, 提出影响汉江四大家鱼产卵的主要水文要素, 依据丹江口水库加高调水的运行规则, 模拟分析了丹江口水库加高后两种调水规模下, 汉江中下游主要水文站点的水文情势变化, 并结合水文情势的变化特征, 分析了调水后可能对汉江中下游产漂流性卵鱼类的影响。

本文研究丹江口水库建设和加高对汉江流域中下游以四大家鱼为代表的产漂流型卵鱼的影响, 对于合理配置

水资源、满足受水区和调水区的需水,尽量减少水利工程对中下游社会经济发展和生态环境的影响具有现实意义。

2. 汉江四大家鱼产卵所需水文条件分析

以四大家鱼为代表的产漂流性卵鱼适应了数百万年来流域生态演变,其繁殖习性与外界环境相互统一,形成了在一定外界因素的刺激下产卵繁殖的繁衍模式。一般认为,对于存在产卵场的江段,刺激家鱼产卵的环境因素主要包括:水温、涨水过程、透明度等。以往研究基本认为在水温及涨水过程是决定家鱼是否产卵两个重要因素[5][6],而对于江水透明度等其他因素是否影响家鱼产卵则存在一定争议,多数认为影响不大。

2.1. 产漂流性卵鱼产卵所需水温因素

天然情况下,四大家鱼在 $20^{\circ}\text{C}\sim 24^{\circ}\text{C}$ 产卵活动最频繁; $27^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 也有家鱼产卵;而水温低于 18°C 时,则基本没有家鱼产卵活动。长江、汉江等实测鱼类繁殖时水温亦高于 18°C 。对于多数经济鱼类来说,产卵活动的上限水温在 30°C 左右,室内试验显示,水温超过 31°C 胚胎容易出现畸形。长系列资料显示,在鱼类繁殖季节,汉江基本不会出现超 31°C 高水温。故对于汉江四大家鱼的繁殖过程,低温 18°C 是限制鱼类产卵起始日期的主要因素。不同河流家鱼繁殖的月份略有差别,长江一般在4月底至7月初,而汉江则基本集中在5月至8月,在汛期水温较高的时期产卵。

汉江丹江口蓄水运行后,坝下江段的水温周年变化幅度变小。夏季水温较建坝前下降 $4^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$,冬季水温则提高 $4^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。比较黄家港水文站在建坝前后10年的5~8月的水温资料,显示出在建坝后水温下降了 $4^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$,达到鱼类繁殖所要求的最低限度的温度条件 18°C 水温的日期,向后推迟了20~30天左右。从1976年和2004年及2007年早期资源监测情况来看,由于丹江口水库下泄低温水的影响,汉江四大家鱼产卵时间集中在7月和8月份,首次产卵日期是7月19日,最晚结束日期是8月18日。虽然6月份监测到鱼类产卵,但是没有四大家鱼,都是经济鱼类和小型鱼类。

所以,汉江中下游以四大家鱼为代表的产漂流型卵鱼类受水温变化影响,产卵时间主要集中于每年7~8月,该时期水温普遍高于 18°C ,满足鱼类产卵所需水温。

汉江中下游及控制断面示意图,如图1所示。

2.2. 产漂流性卵鱼产卵所需的涨水特征要素

与家鱼发江时间,提出相应的涨水特征要素。一般来说,江河涨水过程包括流量增加、水位升高、流速增大,且在天然河道中,三者基本为同一过程。

多数研究认为涨水造成的流速增加是刺激家鱼产卵的主要条件,易伯鲁[7]认为产卵场上江水流速陡然适当的增大,是促使亲鱼排卵的主要外界条件;周春生[8]根据产漂流性卵鱼类的繁殖活动是在水的上层,甚至表层进行的特点,以及家鱼人工繁殖时需要冲水以促进产卵的事实来分析,认为流速的增大在促进鱼类繁殖的诸水文因素中,是起着主要作用的;曾胜祥[9]据以往资料,分析认为长江干流家鱼繁殖期为4~7月,在此期间,水位上涨,流量增大,流速加快是刺激家鱼产卵必需的外界条件;陈永柏[10]根据秭归站和宜昌站家鱼产卵与长江水位之间的关系分析,提出水位急剧升高,随之而导致流速迅速加大,是刺激家鱼产卵的一个必要条件,江水上涨后,经过一定的时间家鱼才开始产卵,其相隔的时间与流速的大小相关。流速大,刺激产卵所需要的时间短;流速小,刺激产卵所需要的时间长。

可见,以往研究成果对于涨水流速增加是刺激家鱼产卵的主要因素,基本达成共识。在河槽较稳定的情况下,江水流速的加大是流量增加的结果,流量的增加也同时造成水位的提高。即是说,流速大小与流量多寡成正比。在工作中,经常观测水位的变动,既较容易,又较准确,所以在研究分析流速变化与家鱼产卵排精之间的关系时,利用了水位的变化来说明[3]。



Figure 1. Schematic diagram of middle and lower Hanjiang River and its control section

图 1. 汉江中下游及控制断面示意图

余志堂[5] [6]提出长江宜昌以下各河段涨水幅度 1.5~3.5 m，起涨 0.5~2 d，家鱼即可产卵。邱顺林[11]据 1997~1999 年长江家鱼早期资源监测资料，四大家鱼发江的适宜条件是 5、6 月江水水温 18℃~24℃，江水水位涨幅 0.73~6.92 m，平均涨幅 3.77 m，流量变化范围 5300~16,900 m³/s，平均增加 9833 m³/s。而在汉江，当日平均涨幅在 0.4 m 以上时，产卵活动较为强烈[4]。张晓敏等[12]据 2004 年及 2007 年不同洪峰四大家鱼的自然繁殖情况，提出汉江中下游四大家鱼自然繁殖的水文过程初步范围是，沙洋断面洪峰初始水位达到 33.82~36.71 m 之间，洪峰最高水位 36.86~39.80 m，上涨时间持续 3~8 d，水位日上涨率达到 0.44~1.50 m/d，水位上涨幅度 1.55~3.14 m。

上述分析可见，各江河不同江段，以四大家鱼为代表的产漂流性卵鱼的发江产卵所需条件略有差异，主要由于采用不同年限资料，且不同产卵场对应的流量过程代表站点也不统一，所以四大家鱼产卵所需涨水条件出现多种定量结果。但可以确定的是，满足一定的水位、流量、流速涨幅(三者为同一过程)且保持一定时间是家鱼产卵所需的主要涨水条件，且在天然河道，流速增幅可用水位或流量增幅代替。

总的来说，当水温达到要求后，在涨水起始时间、起涨水位、水位涨幅、洪水历时、洪峰流量等涨水特征要素中，一定的流量涨幅与涨水持续时间是决定四大家鱼是否产卵的主要条件。

据长江中游宜昌 - 监利江段四大家鱼 1997~1999 年产卵资料，家鱼繁殖盛期，产卵规模与涨水幅度成正比：洪峰大，产卵规模大；洪峰小，产卵规模小，平均来看也就是水位(流速)增幅越大，则相应产卵规模就越大，如表 1。据 1976 年汉江支流白河产卵场流速变化与产卵量关系可得，流速增加的幅度越大，产卵量增加的幅度就越大，如表 2，而近期 2009 年汉江沙洋站监测情况亦有流量增幅与日产卵量正相关的结果，如图 2。可见，对

Table 1. Relationship between flow rising and eggs and fries amounts of four major Chinese carps
表 1. 监测江段涨水与四大家鱼鱼苗发江的响应关系

年份	涨水日期	水位(m)	水位增幅(m)	苗汛日期	卵苗径流量(万尾)
1997	5月9~4日	27.34~30.51	3.17	5月20~24日	156674
	6月6~15日	28.13~31.60	3.47	6月11~14日	11819
1998	5月1~15日	25.58~30.86	5.28	5月14~31日	72176
	6月6~30日	28.69~35.61	6.92	6月11~27日	191527
1999	5月16~26日	27.67~30.78	3.11	5月18~31日	73131
	6月6~11日	29.99~30.72	0.73	6月10~20日	34798
	6月17~30日	30.38~34.43	4.05	6月23~30日	85077

Table 2. Relationship between number of eggs-laying and flow velocity in Baihe River
表 2. 白河产卵场流速变化与产卵量关系

日期	水位(m)	流速(m/s)	流速日增幅(m/s)	产卵量(万粒)
7月7日	172.99	0.70	—	44020
7月8日	173.17	0.89	0.19	117301
7月9日	173.26	0.91	0.02	543432
7月10日	173.84	1.36	0.45	601908
7月11日	181.29	2.87	0.51	5561922

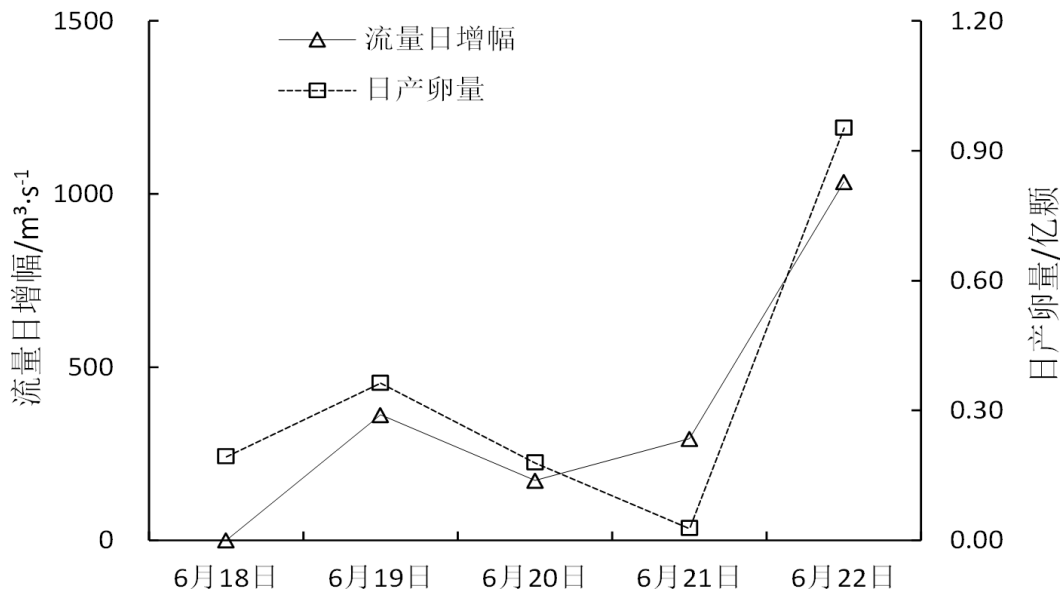


Figure 2. Relationship between flow rising of Shayang station and number of eggs-laying in 2009
图 2. 2009 年汉江沙洋站流量增幅与日产卵量关系

于单个涨水过程来讲，在流速涨幅满足产卵要求以后，其涨幅越大，该洪水过程家鱼产卵量就越大。另外，从年内家鱼产卵期总产卵量上来看，在满足家鱼产卵涨水条件的前提下，年内涨水次数、总天数越多，则代表家鱼的产卵机会越多，同时产卵的时间越长，相应年内家鱼产卵量就越大，即产卵江段在产卵期总涨水日数越多，则对应家鱼年内产卵量越大。

综上所述, 据长江、汉江实测以四大家鱼为代表的产漂流性卵鱼早期资源情况, 在河流涨水过程可以满足刺激其产卵的基本要求后, 其产卵的规模主要由涨水过程的涨水幅度以及产卵期涨水持续时间共同决定。即涨水幅度越大、涨水持续时间越长, 亲鱼的产卵量就越大。

3. 丹江口水库加高调水运行模拟

3.1. 两种调水规模下丹江口调度运行方式

(1) 设计调水规模(调水 95 亿 m³)

设计调水规模下丹江口水库调度运行采用《汉江丹江口水库可调水量研究》的研究成果, 丹江口水库大坝加高的调度图如图 3。

防洪: 预留防洪库容, 由初期规模的 77.2~55 亿 m³ 提高至 110~81.02 亿 m³, 增加 32.8(夏)~26.29(秋)亿 m³。因此, 汉江中下游防洪状况得到较大改善。防洪调度仍采用预报预泄, 分级补偿方式。防洪限制水位为 6 月 21 日至 8 月 21 日为 160 m, 8 月 21 日至 9 月 30 日为 163.05 m, 10 月 1 日开始蓄水。

供水: 同初期规模供水调度线拟定原则, 即优先满足水源区用水, 在此基础上按拟定的输水工程规模尽可能向北方调水。并按库水位高低, 分区进行调度, 尽可能使供水均匀, 提高枯水年调水量。

发电: 服从调水, 利用汉江中下游需水丹江口水库补偿下泄的流量发电, 不专门为发电下泄水量, 仅当水库汛期面临弃水时, 才加大下泄, 电站按预想出力发电。根据河道外取汉江水过程、各段航道要求的航运流量, 考虑区间来水过程、自下游而上游推算出要求丹江口水库补偿下泄的流量过程。

设计调水规模下丹江口调度图见图 3。

(2) 初期调水规模(调水 40 亿 m³)

经调查, 南水北调中线一期工程初期调水量未达到 95 亿 m³, 初期调水规模约 40 亿 m³, 故现状年下考虑南水北调中线工程调水量按 40 亿 m³ 左右实施。调度规则上, 丹江口水库在南水北调中线工程调水 40 亿 m³ 时调度原则与设计调水 95 亿 m³ 时保持一致, 仅将各供水区的供水量按比例削减。初期调水规模下丹江口调度图见图 4。

3.2. 不同方案下丹江口水库调度计算

(1) 丹江口水库调度模型

按照丹江口水库调度运行方式, 在保障防洪安全、南水北调中线调水及下游基本用水需求的前提下, 建立了以发电量最大为目标的丹江口水库调度模型, 如下所示:

1) 目标函数

$$\max \sum_{t=1}^T CL_t \cdot dt \quad (1)$$

2) 水量平衡约束

$$V_{t+1} = V_t + (QR_t - Q_{out_t} - Q_{g_t}) \cdot dt \quad (2)$$

3) 下泄流量约束

$$Q \min_t \leq Q_{out} \leq Q \max_t \quad (3)$$

$$Q \max_t = f(Z_t) \quad (4)$$

$$Q \min_t = 490, Z_t \geq 150; \text{ or } Z_t < 150, QR \geq 350 \quad (5)$$

$$Q \min_t = 490, Z_t \geq 150; \text{ or } Z_t < 150, QR \geq 350 \quad (6)$$

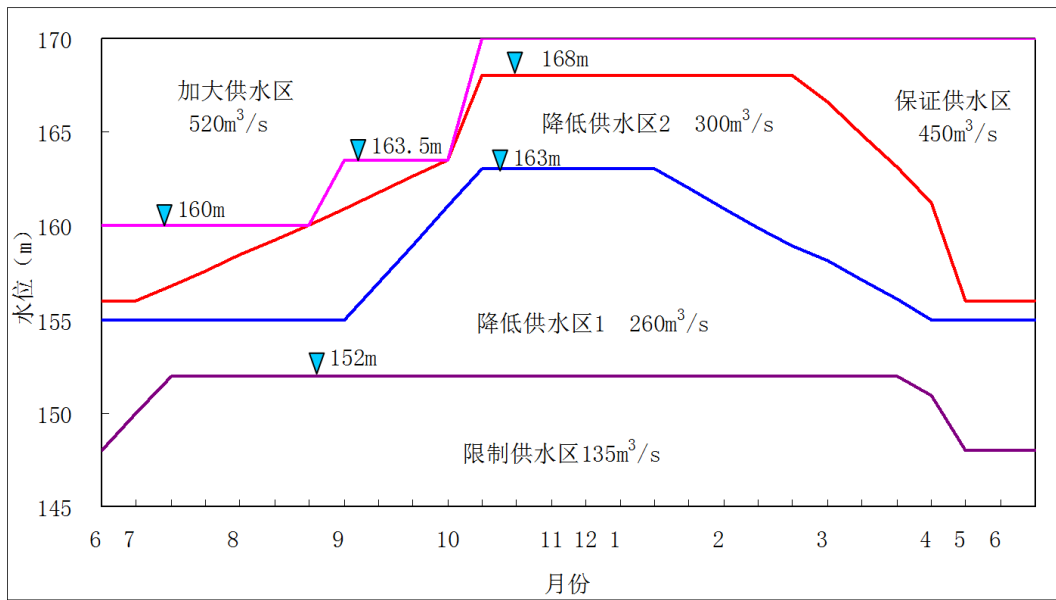


Figure 3. Danjiangkou reservoir regulation chart in designing water diversion scale
图 3. 设计调水规模下丹江口水库调度图

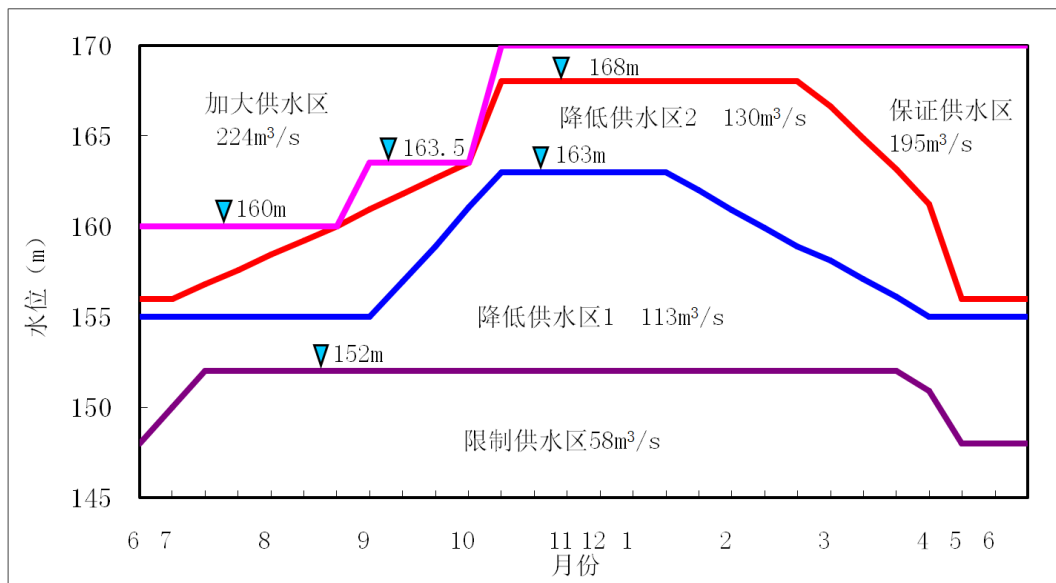


Figure 4. Danjiangkou reservoir regulation chart in initial water diversion scale
图 4. 初期调水规模下丹江口水库调度图

4) 发电目标约束

$$Z_t = f(V_t) \tag{7}$$

$$Qg_t = f(V_t) \tag{8}$$

$$ZX_t = f(Qout_t) \tag{9}$$

$$CL_t = \min \{ Z_j \max_t, K \cdot Qout_t \cdot [(Z_t + Z_{t+1})/2 - ZX_t] \} \tag{10}$$

式中： CL_t 为机组出力，kw； V_t 为第 t 时段初库容， m^3 ； QR_t 为第 t 时段入库流量， m^3/s ； $Qout_t$ 为第 t 时段出库

流量, m^3/s ; Q_{g_t} 为第 t 时段丹江口水库供水流量, m^3/s , 可根据丹江口水库供水调度图确定; Q_{\min_t} 为第 t 时段最小下泄水量, m^3/s , 其与库水位及入库流量有关; Q_{\max_t} 为第 t 时段最大下泄流量, m^3/s , 其由库水位与最大泄流能力关系曲线确定; Z_t 为水库第 t 时段初库水位, m , 其有水库水位与库容关系曲线确定; ZX_t 为水库坝下水位, m , 其由下泄水量与下游水位关系曲线确定; K 为出力系数, 取值 8.5; Zj_{\max_t} 为第 t 时段最大出力, 其与水头有关; dt 为时段步长。

(2) 调度计算方案

按照前面介绍的丹江口水库调度模型, 丹江口水库分别按 40 亿 m^3 (初期调水规模) 和 95 亿 m^3 (设计调水规模) 两种调水规模进行调度计算, 计算时段为 1955 年 6 月 21 日至 2012 年 6 月 20 日, 计算结果如表 2。其中丹江口水库入库流量在 1968 年 10 月之前直接采用黄家港水文站径流资料, 之后依据黄家港水文站、龙王庙水文站水位径流数据及灌溉用水量等资料采用水量平衡方程推求得到。

4. 丹江口水库加高调水对产漂流性卵鱼类的影响分析

4.1. 涨水条件变化

丹江口水库运行后, 由于水库的径流调节作用, 下游产漂流性卵鱼繁殖所需的涨水过程发生变化, 影响坝下游以四大家鱼为代表的产漂流型卵鱼产卵繁殖。由于丹江口水库下泄低温水的影响, 汉江四大家鱼繁殖的时间往后推迟了 20 天左右, 从 1976 年和 2004 年早期资源监测情况来看, 目前汉江四大家鱼产卵时间主要集中在 7 月和 8 月份。所以, 本节重点分析丹江口加高及不同调水规模下汉江中下游河段 7~8 月份的涨水过程特征变化, 以反映丹江口加高调水对产漂流型卵鱼类产卵繁殖的影响。

经上文长系列计算分析可知, 丹江口水库加高和南水北调工程调水后, 丹江口下游各站点的月均径流量均减少, 其中汛期 7~8 月及汛后蓄水期 9~10 月减少幅度较大; 对典型年的分析可知, 汛期洪峰基本被拦于水库, 原本有利于产漂流性卵鱼产卵的大洪水涨水过程消失。

丹江口水库加高调水, 按照调水量的不同分为 2013 现状水平年调水 40 亿 m^3 方式, 以及 2020 规划水平年调水 95 亿 m^3 方式。分析丹江口水库下游主要站点 7~8 月份 3 日以上流量日均涨幅的年平均值长系列变化如图 5 和图 6 可见, 丹江口水库加高调水后, 丹江口下游涨水过程相比加高前发生显著变化, 7~8 月份 3 日以上流量日均涨幅受到加高调水影响, 显著减小; 特别是 7~8 月有较大涨幅的年份, 当水库调水运行后, 涨幅的下降十分显著。

分析涨水过程特征变化, 如表 3。可见汉江中下游涨水特征在丹江口水库运行前后、加高调水不同运行方式, 下的变化情况各异:

(1) 对于流量及水位日均涨幅, 丹江口水库蓄水运行后相比运行前显著下降, 其中襄阳站由 $1138 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $0.424 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$, 下降至 $311 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $0.270 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$, 沙洋站由 $1136 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $0.722 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$, 下降至 $418 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $0.301 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$; 而加高调水两种方式相比加高前亦呈下降态势, 流量及水位日均涨幅继续下降至(调水 40 亿 m^3) $164 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $0.170 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$, 及(调水 95 亿 m^3) $163 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $0.168 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

(2) 对于发生涨水次数, 丹江水库运行后相比运行前增加, 襄阳站由 6.4 次增加至 7.4 次, 沙洋站由 6.3 次增加至 6.6 次; 而加高调水两种方式下, 涨水次数继续增加, 襄阳站增加至(调水 40 亿 m^3) 8.9 次、(调水 95 亿 m^3) 9.0 次, 沙洋站增加至(调水 40 亿 m^3) 7.3 次、(调水 95 亿 m^3) 7.5 次。

(3) 而单次涨水持续时间则在各运行方式下均变化不大, 襄阳站在 4 天左右, 沙洋站则平均 4.5 天左右。

(4) 7~8 月 3 日以上涨水的涨水总天数增加, 襄阳站由丹江口水库运行前的 27.1 天增加至 29.5 天, 沙洋站由 27.3 天增加至 29.8 天; 加高调水两种方式运行后, 涨水总天数继续增加, 其中襄阳站增加至(调水 40 亿 m^3) 34.3 天、(调水 95 亿 m^3) 34.5 天。

基于上述分析可知, 丹江口水库蓄水运行后, 下游涨水幅度显著下降, 而涨水次数增加, 单次涨水天数不

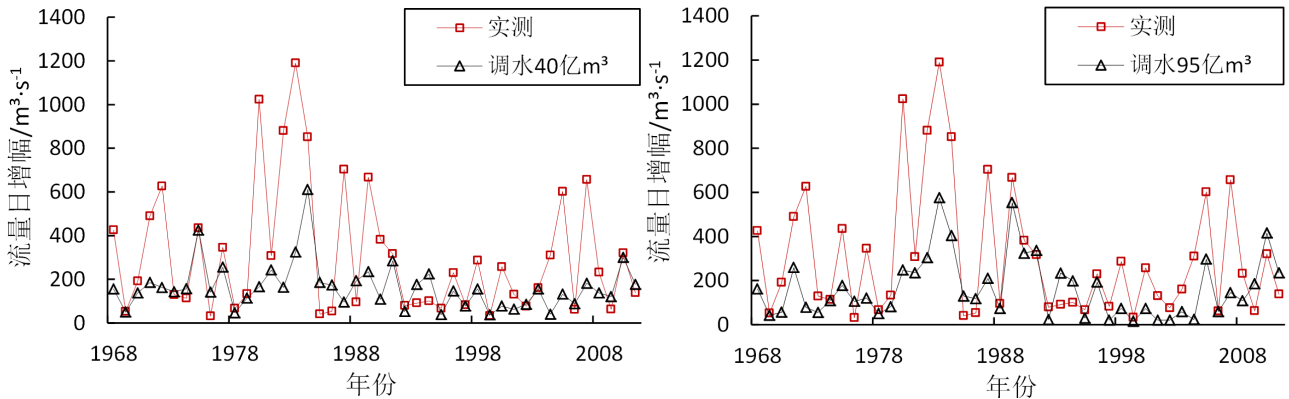


Figure 5. Comparing measured average flow increases above three days in August and July from 1956 to 2011 with calculated value in different transferring water rules of 4 billion m³ and 9.5 billion m³ in Xiangyang station

图 5. 1956~2011 年襄阳站 7~8 月 3 日以上流量年平均日均涨幅的实测值与调水 40 亿 m³ 和 95 亿 m³ 对比

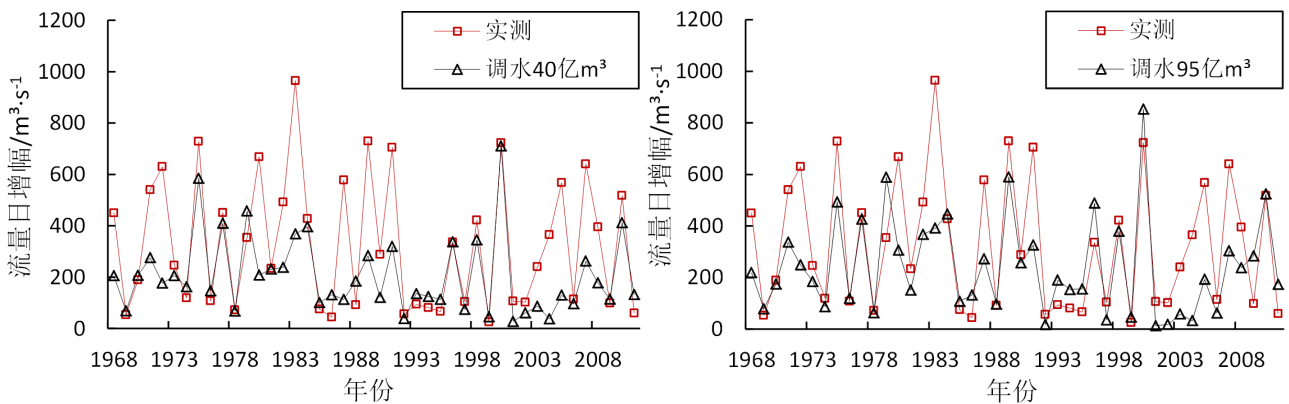


Figure 6. Comparing measured average flow increases above three days in August and July from 1956 to 2011 with calculated value in different transferring water rules of 4 billion m³ and 9.5 billion m³ at Shayang station

图 6. 1958~2011 年沙洋站 7~8 月 3 日以上流量日均涨幅的年平均实测值与调水 40 亿 m³ 和 95 亿 m³ 对比

Table 3. Change of flow increases in different operation rules of Dangjiangkou reservoir

表 3. 不同运行方式下丹江口水库下游涨水特征值变化

站点	系列	平均流量日上涨率(m ³ /s·d ⁻¹)	平均水位日上涨率(m)	涨水次数(n)	涨水总天数(d)	单次涨水平均天数(d)
襄阳	运行前	1138	0.424	6.4	27.1	4.01
	运行后	311	0.270	7.4	29.5	4.0
	调水 40 亿	164	0.170	8.9	33.9	3.9
	调水 95 亿	163	0.168	9.0	34.2	3.8
沙洋	运行前	1136	0.722	6.3	27.3	4.33
	运行后	418	0.301	6.6	29.8	4.5
	调水 40 亿	222	0.181	7.3	34.3	4.7
	调水 95 亿	231	0.180	7.5	34.5	4.6

变，涨水总天数增加；加高调水后，下游涨水幅度进一步下降，而涨水次数进一步增加，单次涨水天数仍变化不大，而涨水总天数亦进一步增加；调水 40 亿 m³ 与调水 95 亿 m³ 两种调水方式相比，各项涨水特征值均没有显著变化。

4.2. 汉江鱼类资源变化诱因

汉江中下游由于丹江口水库的调节作用,部分鱼类产卵场受损,甚至消失,产卵规模明显减小,汉江鱼类资源的呈现衰退趋势。在1977年~1978年、2004年、2006年~2007年对汉江中下游鱼类资源进行了较为系统的调查监测,其调查的结果表明,汉江中下游干流原王甫洲产卵场因王甫洲水电枢纽的修建已消失;四大家鱼产卵数量减少了1处,产卵场位置有所变化,襄樊产卵场消失;四大家鱼卵苗径流量下降明显,从20世纪70年代末的近 5×10^8 粒(尾)下降到2004年以后的不足 1×10^8 粒(尾),下降幅度明显。同时,四大家鱼卵苗径流量占鱼类卵苗总径流量的比例也从19.0%下降到了1%以下。丹江口水库运行后,以四大家鱼为代表的产漂流性卵鱼产卵场整体变化不大、位置略有移动,水库运行后的主要涨水条件仍可满足基本产卵要求,但产卵规模却受其影响显著下降。总体上,丹江口水库运行以来,汉江中下游影响产漂流性卵鱼产卵繁殖的涨水过程,发生两方面显著变化:① 建库后年内持续3天以上涨水过程的发生次数、持续时间相比建库前有所增加;② 建库后年内持续3天以上涨水过程的日涨水率相比建库前显著减小。一方面,涨水过程发生次数及总持续时间的增加,有利于亲鱼产卵繁殖、维持产卵规模;另一方面,日涨水率的显著下降不利于亲鱼的产卵及产卵量。汉江早期鱼类监测资料显示丹江口水库运行后汉江中下游产卵量萎缩。可见,日涨水幅度下降的不利影响要大于涨水发生次数及总持续时间增加的有利影响。即丹江口下游影响产漂流性卵鱼产卵繁殖的两个主要涨水特征要素中,涨水幅度比涨水持续时间的影响更大。

综上所述,丹江口运行导致下游涨水幅度下降,涨水持续时间增加,共同导致汉江中下游产漂流型卵鱼产卵量下降。而加高调水工程实施后,进一步加剧了上述涨水特征变化。7~8月涨水过程中日涨水幅度的降低是导致坝下游产漂流性卵鱼类产卵规模减少的主要诱因,故调水工程实施后,坝下游产漂流性卵鱼的产卵量可能进一步减少。

5. 结论

本章依据丹江口水库加高调水的运行规则,模拟分析了丹江口水库加高后两种调水规模下,汉江中下游主要水文站点的水文情势变化,并结合水文情势的变化特征,分析了调水后可能对汉江中下游水华及产漂流性卵鱼类的影响。丹江口水库蓄水运行后,下游涨水幅度显著下降,而涨水次数增加,单次涨水天数不变,涨水总天数增加;加高调水后,下游涨水幅度进一步下降,而涨水次数进一步增加,单次涨水天数仍变化不大,而涨水总天数亦进一步增加;调水40亿 m^3 与调水95亿 m^3 两种调水方式相比,各项涨水特征值均没有显著变化。总体来看,丹江口水库加高调水不同规模下,汉江中下游7~8月涨水过程的涨水次数和总涨水天数有所增加,但日平均涨水幅度显著下降;经丹江口运行前后实际情况分析,涨水幅度的降低是导致坝下游产漂流性卵鱼类产卵规模减少的诱因,故调水工程实施后,涨水特征的变化情况会导致汉江中下游产漂流性卵鱼的种群及产卵量萎缩。

基金项目

国家自然科学基金项目(51509012; 51509008; 41601043); 中国长江三峡集团公司经费项目(0799553)。

参考文献 (References)

- [1] 高永年,高俊峰.南水北调中线工程对汉江中下游流域生态环境影响的综合评价[J].地理科学进展,2010,29(1):59-64.
GAO Yongnian, GAO Junfeng. Comprehensive assessment of eco-environment impact of the South-to-North Water Transfer Middle Route Project on the middle-lower Hanjiang River Basin. Progress in Geography, 2010, 29(1): 59-64. (in Chinese)
- [2] 谢平, 襄明, 夏军, 等. 南水北调中线工程不同调水方案下的汉江水华发生概率计算模型[J]. 水利学报, 2005, 36(6): 727-732.
XIE Ping, DOU Ming, XIA Jun, et al. Water bloom occurrence probability calculation model in Hanjiang River under different water transfer schemes of the middle route of South to North Water Transfer Project. Journal of Hydraulic Engineering, 2005,

36(6):727-732. (in Chinese)

- [3] 徐新伟, 吴中华, 于丹, 等. 汉江中下游水生植物多样性及南水北调工程对其影响[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1933-1938.
XU Xinwei, WU Zhonghua, YU Dan, et al. Diversity of aquatic plants in Hanjiang River Basin and possible effects of the engineering of transferring water from south China to north China on it. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1933-1938. (in Chinese)
- [4] 方芳, 陈国湖. 调水对汉江中下游水质和水环境容量影响研究[J]. 环境科学与技术, 2003, 26(1): 10-11.
FANG Fang, CHEN Guohu. Environmental impact of South-to-North Water Transfer on the mid-lower reach of Han River: Modelling prediction of water quality and aquatic environmental capacity. *Environmental Science & Technology*, 2003, 26(1): 10-11. (in Chinese)
- [5] 余志堂. 大型水利枢纽对长江鱼类资源影响的初步评价(一) [J]. 水生态学杂志, 1988, (2): 38-41.
YU Zhitang. Analyzing on effect of water control project on stock of fish in Yangtze River (1). *Journal of Hydroecology*, 1988, (2): 38-41. (in Chinese)
- [6] 余志堂. 大型水利枢纽对长江鱼类资源影响的初步评价(二) [J]. 水生态学杂志, 1988, (3): 24-27.
YU Zhitang. Analyzing on effect of water control project on stock of fish in Yangtze River (2). *Journal of Hydroecology*, 1988, (3): 24-27. (in Chinese)
- [7] 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼[J]. 鱼类学, 1988.
YI Bolu, YU Zhitang and LIANG Yisheng. Gezhou Dam and four major Chinese carps in Yangtze River. *Ichthyology*, 1988. (in Chinese)
- [8] 周春生, 梁秩燊, 黄鹤年. 兴修水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态[J]. 水生生物学报, 1980, (2): 175-188.
ZHOU Chunsheng, LIANG Yisheng and HUANG Henian. Fish with pelagic eggs propagating after building of water control project in Hanjiang River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1980, (2): 175-188. (in Chinese)
- [9] 曾祥琼, 等. 长江水系渔业资源: 全国渔业资源调查和区划专集[M]. 北京: 海洋出版社, 1990.
ZENG Xiangzong, et al. Fishery resources in Changjiang River system: Investigation and divisions of fishery resources in China. Beijing: Ocean Publishing Company, 1990. (in Chinese)
- [10] 陈永柏, 廖文根, 彭期冬, 等. 四大家鱼产卵水文水动力特性研究综述[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(2): 130-133.
CHEN Yongbai, LIAO Wengen, PENG Qidong, et al. A summary of hydrology and hydrodynamics conditions of four major Chinese carps. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 2(2): 130-133. (in Chinese)
- [11] 邱顺林, 刘绍平, 黄木桂, 等. 长江中游江段四大家鱼资源调查[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 716-718.
QIU Shunlin, LIU Shaoping, HUANG Mugui, et al. Monitoring of spawning sites of four major Chinese carps in the middle section of Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 716-718. (in Chinese)
- [12] 张晓敏, 黄道明, 谢文星, 等. 汉江中下游“四大家鱼”自然繁殖的生态水文特征[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(2): 126-129.
ZHANG Xiaomin, HUANG Daoming, XIE Wenxing, et al. Eco-hydrological characteristics of four major Chinese carps on nature spawning conditions in the mid-lower Hanjiang River. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(2): 126-129. (in Chinese)