

文章编号: 1004-8227(2009)10-0954-05

丹江口水库对汉江中下游影响的生态学分析

史方方, 黄 薇

(长江科学院水资源综合利用研究所, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 基于黄家港水文站 1954~2000 年的日径流量资料, 以 1967 年为节点, 将 47 年水文序列划分为节点前的“近自然状态河流”和节点后的“人工干扰状态河流”两种水文情势。采用 Richter 提出的变动范围法, 基于包含 32 个水文参数的水文改变指标体系, 定量评估了黄家港水文站 1967 年前后水文情势的变化。根据分析, 把 1967 年之前的各个水文参数的第 1 至第 3 四分位数间的数值范围设为管理目标。进一步分析了丹江口水库的修建对汉江中下游生态水文的影响。结果表明, 1967 年以后, 丹江口水库的修建对汉江中下游水文情势的影响较为显著: 极大地改变了径流的年内分配, 使流量过程均化, 使极值流量出现日期提前、历时缩短等等。在此基础上, 结合汉江中下游河道生态系统的特点, 以鱼类为指示生物, 初步探讨了上述水文情势的变化对汉江中下游鱼类的生长、繁殖和越冬等带来的影响, 并对如何降低不利影响提出了相应的改进措施。

关键词: 水文变动指标; 变动范围法; 汉江; 丹江口水库; 水文情势; 鱼类

文献标识码: A

丹江口水库于 1967 年 11 月下闸蓄水, 蓄水后, 在一定程度上改变了坝址上下游的水文情势, 影响了中下游河道原有的生态系统。因此, 研究建坝前后, 汉江生态水文特征变化, 可为丹江口水库的生态调度以及汉江中下游河道生态系统的修复提供依据。

1 建坝对汉江中下游河道水文情势的影响

1.1 生态水文目标计算

基于黄家港水文站 1954~2000 年径流量资料, 以丹江口水库下闸蓄水时间为分界点, 将黄家港站 47 年水文序列划分为“近自然状态河流”(1954~1967 年)和“人工干扰状态河流”(1968~2000 年), 采用 Richter 提出的生态水文变动指标体系 (Indicators of Hydrological Alteration IHA)^[1], 应用变动范围法 (Range of Variability Approach RVA)^[2], 计算 1967 年前 14 年径流序列的 33 个水文参数年均值、标准偏差, 并将 25%、75% 百分点值赋为 RVA 目标的下限和上限。将 1967 年后 33 年径流序列的 33 个水文参数进行统计, 比较两序列均值、标准偏差的差别, 然后, 统计后一序列对于生

态水文目标区间的水文变化度与变化等级, 见表 1。

RVA 法确定河流生态水文目标的核心^[3]: ①给出自然(或人工干扰较小)状态下 IHA 各指标特征值, 并以平均值(或标准差)的 25%~75%(建坝前的所有年份日流量由小到大排频)区间范围作为 IHA 指标的生态目标; ②计算受人工干扰后河流的 IHA 各指标特征值, 判断其是否落在生态目标区, 并计算其偏离程度; ③通过各种措施调节受影响河流的生态水文过程, 使其变化尽可能落在生态目标区间, 以维持生物多样性, 保护河流生态系统完整性。

1.2 生态水文特征变化分析

黄家港站生态水文情势变化如下(表 1)。

(1) 指标 I 中, 1、2 月份月平均流量水文改变度属于高度改变。1 月平均流量干扰后为 $761.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 该参数上限为 $358 \text{ m}^3/\text{s}$, 干扰后值超出该参数上限 $403.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 变化度高达 93.14%; 2 月平均流量干扰后为 $752.8 \text{ m}^3/\text{s}$, 该参数上限为 $319.4 \text{ m}^3/\text{s}$, 干扰后值超出该参数上限 $433.4 \text{ m}^3/\text{s}$, 变化度达 79.41%。6 月、12 月流量改变虽属于中度, 但两者干扰后的流量值分别高出各自参数上限值 258.1、 $153.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。12 个参数中, 只有 3、4、5、8、9 月的变

收稿日期: 2008-09-28; 修回日期: 2008-11-11

基金项目: 中央级公益性科研院所基金项目(项目编号: YWF0714/ZY06)

作者简介: 史方方(1983~), 女, 河南省济源人, 硕士研究生, 主要从事水资源与水生态研究, E-mail: shifangfang2002@yahoo.com.cn

表 1 生态水文指标变化

Tab. 1 Alteration of Eco-hydrological Indicators

IHA 指标	水文参数	1967 年前 均值	1967 年后 均值	生态水文 目标下限	生态水文 目标上限	水文变化度 (%)	变化等级
指标 1(m ³ /s)	1 月份平均流量	275	761.5	245.0	358	- 93.14	H
	2 月份平均流量	274.3	752.8	201.5	319.4	- 79.41	H
	3 月份平均流量	448.5	688.5	260	694.5	- 31.37	L
	4 月份平均流量	855.3	790.8	464.3	1 095	9.80	L
	5 月份平均流量	958.5	943	681	1 325	- 17.65	L
	6 月份平均流量	645	1 029	370.9	770.9	- 65.69	M
	7 月份平均流量	2 135	1 305	1 023	2 628	- 45.10	M
	8 月份平均流量	1 170	1325	769.5	2 508	92.16	H
	9 月份平均流量	1 205	1243	710.1	2 283	2.94	L
	10 月份平均流量	1 063	839.5	479.5	1 478	50.98	M
	11 月份平均流量	605.3	801.3	385.3	943.6	- 38.24	M
	12 月份平均流量	368.5	693	333.8	539.5	- 51.96	M
指标 2(m ³ /s)	年均 1 d 最小流量	208	355.5	167.5	246.3	- 88.24	H
	年均 3 d 最小流量	213.8	409.8	168.1	249.8	- 72.55	H
	年均 7 d 最小流量	215.4	437.2	170.9	255.5	- 65.69	M
	年均 30 d 最小流量	228.7	508.3	191.4	285.4	- 72.55	H
	年均 90 d 最小流量	285.7	572.2	253.1	366.9	- 86.27	H
	年均 1 d 最大流量	15 700	5 990	7 663	18 530	- 79.41	H
	年均 3 d 最大流量	12 720	5 538	6 918	16 410	- 65.69	M
	年均 7 d 最大流量	8 881	3 996	5 604	12 900	- 51.96	M
	年均 30 d 最大流量	4 594	2 175	3 771	6 008	- 86.27	H
	年均 90 d 最大流量	2 807	1 533	1 961	3 969	- 51.96	M
	零流量次数	0	0	0	0	0	L
	基流指数	0.16	0.388 6	0.122 1	0.242 7	- 93.14	H
指标 3(d)	年最小流量出现时间(罗马日)	62.5	40	38.5	82.25	- 58.82	M
	年最大流量出现时间(罗马日)	243.5	238	195	281.3	- 10.78	L
指标 4	低脉冲出现次数	3.5	0.5	1	5.5	- 55.08	M
	低脉冲历时(d)	9.75	3	4.875	42.5	- 72.55	H
	高脉冲出现次数	9	8	7.75	10.25	- 48.53	M
	高脉冲历时(d)	5.75	4.75	3.875	6.25	- 64.71	M
指标 5	涨水率	85.5	40	62.5	116.9	- 72.55	H
	落水率	- 41.5	- 39	- 63.88	- 33.63	- 17.65	L
	流量涨落逆转次数	73	177	70	77.25	- 100.00	H

注:生态水文目标按照默认参数 25%、75% 百分点位值赋为目标的下限和上限。

水文变化度定义为:(落在目标区观测数-期望数)/期望数* 100,本文中期望数为 50%,即生态水文目标(RVA)区间范围;落在目标区观测数指:后一序列参数年值落在 RVA 目标区占年份数比例;正值意味着 1967 年后各参数落在目标区间比期望高,负值意味着 1967 年后各参数落在目标区间比期望低。

变化等级指水文变化度的等级,定义为 H= 高(绝对值 ≥70%),M= 中等(35% ≤绝对值 < 70%),L= 低(绝对值 < 35%)^[1,4]。

化落在 RVA 生态水文目标区间内,属于低度改变。可见建坝对月平均流量影响很大。

(2) 指标 2 中,除了零流量次数外,其它 11 个参数改变程度均达 50% 以上,属于中高度变化。可见建坝对年均极值变化影响很大;

(3) 指标 3 中,年最小流量出现日期改变程度较大,为 58.82%,属于中度改变,而年最大流量出现日期改变程度较低,为 10.78%,属于低度改变。不过干扰后两者均落在目标区间,且与干扰前相比,

最小流量、最大流量出现日期均提前;

(4) 指标 4 中,除低脉冲历时改变度高达 72.55%,其余 3 个参数均属于中度改变。其中干扰后的低脉冲历时和出现次数均比期望值低,高脉冲历时和出现次数均落在 RVA 目标区间。总体看来,水库修建对高低流量及持续时间的影响很大;

(5) 指标5中,只有落水率改变程度为17.65%,属于低度改变,其余两个参数均为高度改变,其中干扰后的流量涨落逆转次数为 177,该参数上限为

77.25, 高出值为 99.75, 改变程度达到 100%; 干扰后的涨水率比期望值要低, 改变程度为中度改变。可见建坝对水流条件变化速率与频率的影响较大。

综上所述, 1967 年后, 黄家港水文站水文过程中改变较大的是 1、2 月平均流量, 年均 1、3、30、90 日最小流量, 年均 1、30 日最大流量, 基流指数, 低脉冲历时, 涨水率以及流量涨落逆转次数。IHA 指标体系中 5 组指标参数值均发生了显著变化, 33 个参数中, 发生中高度变化的达 25 个, 占总参数的 76%。可见丹江口水库对径流的调节能力很强, 极大的改变了径流的年内分配, 使洪水期流量减小, 枯水期流量增大, 流量过程变得比较均匀平缓。从图 1 中可以更直观的看出, 丹江口水库蓄水以后, 7~9 月径流量及其所占比例较建坝前减小, 10 月~次年 3 月径流量及其所占比例较建坝前增大; 这与丹江口水库在 4、5 月蓄水, 6 月泄水以预留防洪库容, 7~9 月滞洪运用的水库调度规程相对应, 可见是受到了水库调度的影响。

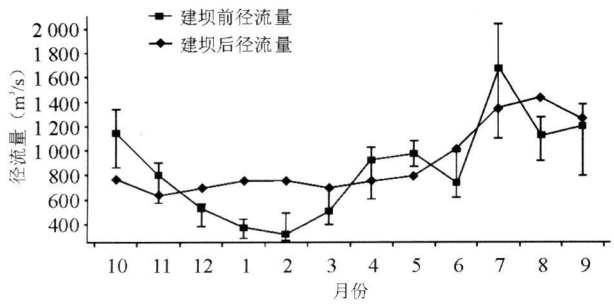


图 1 建坝前后黄家港站水文情势变化图

Fig. 1 Impact of the Danjiangkou Reservoir on Flow Regime in Huangjiagang Gauge

2 建坝对汉江中下游鱼类生境的影响及改进措施

河道生态系统由生物和非生物环境两部分组成。非生物环境概括为气候、河道径流与河床; 生物包括生产者、消费者、分解者。一般情况下, 鱼类是水生态系统中的顶级群落, 其存在的稳定和丰度对其它类群有着重要影响, 因此, 可把鱼类作为水生态系统的指示物种。

从第 1 节可以看出, 丹江口水库建成以后, 水库对径流的调节能力很强, 极大的改变了径流的年内分配(图 1), 使洪水期流量减小, 枯水期流量增大, 流量过程变得比较均匀平缓(表 1 指标 1 和指标 2)。汉江中下游河道的自然水文过程发生显著改变。

这种水文过程的改变必定会影响生存在其中的水生生物, 而鱼类作为水生态系统的顶级群落, 其受影响的力度在一定程度上可以反映河道水文情势的变化对水生态系统的影响, 所以下面主要探讨水文情势的变化对汉江鱼类生境的影响。

2.1 建坝对鱼类生境的影响

汉江中下游河段尤其是中游河段(丹江口至钟祥), 鱼类资源丰富, 是多种鱼类的盛产地和栖息地, 也是中国“四大家鱼”天然产卵场的自然分布区之一^[5]。根据李修峰^[6]等人 2004 年 5 月初至 8 月中旬在该江段不同断面进行鱼卵采集实验的分析结果可知, 该江段共有 5 个“四大家鱼”产卵场, 7 个其它经济鱼类产卵场, 15 个小型鱼类产卵场。汉江中下游的经济鱼类, 绝大多数为产漂流性卵的鱼类。

鱼类生长、繁殖、越冬需要相应的水深、流速、流量、水温、水面宽等生境要素。5 月下旬~8 月上旬, 是四大家鱼产卵期(表 2)^[5], 需水温 $\geq 18^{\circ}\text{C}$, 最小流速 $1\sim 1.5\text{ m/s}$ ^[7], 以及一定历时的涨水过程等。

表 2 长江干流和汉江中游四大家鱼及铜鱼、鳊产卵期的比较

Tab.2 Comparison of Spawning Period of Four Fish, Copper Fish and Elopichthys Bambusa Between the Yangtze River and the Middle Reaches of Han River		月份											
鱼名		4月		5月		6月		7月		8月			
		下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬
草、青、鲢、鳙		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鳊		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
铜鱼		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

注: + 表示长江干流; 0 表示汉江中游。

建坝前, 河道维持原有的水文变化过程, 长期生活在其中的鱼类已经适应了这种生存环境, 鱼类产卵所需水温、流速、流量以及涨水过程等均能得到满足。

建坝后, 在鱼类产卵繁殖季节, 由于丹江口水库对径流的调节作用, 洪峰明显削弱(图 1), 高低脉冲历时缩短、出现次数减少、涨落水率降低(表 1 指标 4 和指标 5), 流水中产卵的鱼类所需要的涨水过程基本上消失, 水文条件很难满足产卵要求。因此, 建坝前存在的三官殿、王富洲、格叠嘴、茨河等产卵场有的已经消失, 有的规模变小。现在鱼类产卵场已经有明显下移的趋势, 主要分布在襄樊至钟祥一带, 那里的鱼类产卵条件主要是唐河、白河等支流发水和局部地区降雨所引起的, 一般来说, 产卵的江汛都比较短促, 规模也比较零散。

水库建成以后, 对汉江鱼类产卵繁殖的另一个

影响是江水水温的下降, 使得鱼类繁殖季节依次推迟。根据黄家港水文站资料, 显示出建坝后 5~ 8 月水温下降了 4~ 6℃^①, 达到鱼类繁殖所要求的最低温度条件(18℃) 的日期, 推迟了 20 d 左右。

建坝以后, 坝下江段冬季(12 月~ 次年 3 月) 流量普遍提高(图 1), 一般比建坝前平均增加 1~ 2 倍。同时, 水温也提高了 4~ 6℃(表 3)。水文因素的这种变化, 给汉江鱼类越冬提供了有利的条件。建坝以前, 冬季坝下江段流量很小, 河床大部分裸露, 鱼类越冬范围局限于河床深槽和岩洞深潭。现在鱼类越冬场明显扩大, 所以, 在冬季有很多鱼类在丹江口至襄樊江段越冬, 形成一个捕捞的旺季。

表 3 黄家港站建坝前后水温变化(℃)

Tab. 3 Water Temperature of Pre- and Post-impact in Huangjiagang Gauge (℃)

月份	建坝前 (1956~ 1967 年)	建坝后 (1969~ 1977 年)	差值
1	4. 7	8. 2	+ 3. 5
2	6. 5	6. 5	0
3	10. 9	7. 3	- 3. 6
4	16. 1	11. 3	- 4. 8
5	20. 0	16. 4	- 3. 6
6	25. 9	19. 7	- 6. 2
7	26. 6	23. 2	- 3. 4
8	27. 5	25. 4	- 2. 1
9	22. 7	23. 5	+ 0. 8
10	17. 9	19. 6	+ 1. 7
11	12. 7	16. 3	+ 3. 6
12	7. 2	11. 9	+ 4. 7
平均	16. 5	15. 8	- 0. 7

2. 2 改进措施

丹江口水库的修建, 一方面产生了一些有利于鱼类越冬的生境条件, 如坝下江段冬季流量、水温的提高; 但另一方面, 水库对径流极强的调节作用, 使鱼类产卵期所需的水温、流量、流速等生境要素得不到满足, 给鱼类的生长、发育、繁殖产生了不利的影响。对这些不利影响, 可采取以下措施减少。

(1) 确定合理的生态流量

生态基流要根据坝下游河道的生态需水确定。生态需水是指维系一定环境功能状况或目标(现状、恢复或发展) 下客观需求的水资源量。确定河流生态需水量, 是保护河流生态系统功能的有效措施。河流生态需水量的确定, 应根据河流所在区域的生态功能要求, 即生物体自身的需水量和生物体赖以生存的环境需水量来确定。

水资源开发利用程度的不断提高, 使得水资源利用与生态用水的矛盾在全球范围都很突出, 但生

态流量大小的选取论证, 目前尚缺乏比较完善、成熟的方法。美国、法国、澳大利亚等国家都先后开展了许多关于鱼类生长繁殖与河流流量关系的研究, 提出了河流最小生态(或适宜) 流量的概念和计算方法, 如 Tennant 法、湿周法、河道内流量增加法(IF-IM)、整体法(BBM) 等^[8]。对于最小河流生态用水, 有些国家干脆做出强制性规定, 例如, 法国规定最小河流生态用水流量不应小于多年平均流量的 1/ 10, 对多年平均流量大于 80 m³ / s 的河流, 最低流量的下限也不得低于多年平均流量的 1/ 20。我国根据河流所处的地区, 也提出了确定河流生态流量的不同方法。根据《汉江干流综合规划报告》, 汉江流域河道内生态基流根据控制节点对应的水文站点多年径流资料, 采用 Tennant 法、Q95 法以及最小月平均流量法计算各控制节点生态基流。

生态基流控制水库下泄流量的措施很多, 最经济的方法是设定在一定的发电水头下的电站最低出力值。通过电站引水闸调节, 使发电最低下泄流量不小于所需河道生态基流, 以维持坝下游生态用水。

(2) 采取人造洪峰

汉江中下游的经济鱼类, 绝大多数产漂流性卵, 对水位涨落过程、节律要求较高, 而水库的径流调节使坝下河流自然涨落过程弱化。因此, 应在鱼类产卵繁殖期, 通过合理控制水库下泄流量和时间, 人为制造洪峰过程, 为这些鱼类创造产卵繁殖的适宜生态条件。黑龙江龙凤山水库在调度上采取春汛多蓄, 提前加大供水量的方式, 然后在鱼类产卵期内按供水下限供水, 取得了较好的效果。鉴于丹江口水库对汉江中游江段“四大家鱼”产卵场的不利影响, 应进行“人造洪峰”诱导鱼类繁殖技术的研究。

(3) 控制低温水下泄

水库低温水的下泄使得鱼类繁殖季节推迟。根据水库水温垂直分布结构, 利用分层取水设施, 通过下泄方式的调整, 如增加表孔泄流等, 以提高下泄水的水温, 满足坝下游鱼类产卵、繁殖的需求。

另外, 高坝水库泄水, 尤其是表孔和中孔泄洪, 需考虑消能易导致气体过饱和对鱼类等水生生物产生不利影响, 特别是鱼类繁殖期, 对仔幼鱼危害较大, 仔幼鱼死亡率高。水库调度可考虑在保证防洪安全的前提下, 适当延长溢流时间, 降低下泄的最大流量; 如有多层泄洪设备, 可研究各种泄流量所应采用的合理的泄洪设备组合, 做到消能与防止气体过

① 汉江丹江口水利枢纽水库调度工作手册, 长江流域规划办公室丹江口水利枢纽管理局, 1983.

©1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

饱和的平衡, 尽量减轻气体过饱和现象的发生。此外, 气体过饱和在河道内自然消减较为缓慢, 需要水流汇入以快速缓解, 可以通过流域干支流的联合调度, 降低下泄气体中过饱和水体流量的比重, 减轻气体过饱和对下游河段水生生物的影响^[9]。

3 结语

丹江口水库巨大的调蓄作用改变了大坝上下游水文情势, 水文情势的变化又影响到汉江中下游河道的生态系统。如何在发挥水库防洪、发电、灌溉、航运等巨大经济效益的同时, 把水库调度对河道生态系统的不良影响降到最低点, 更好的维护河流健康, 尤其是在丹江口水库大坝加高工程、南水北调中线调水工程实施后, 会对河道生态系统带来哪些新的影响, 应该成为以后研究的重点。

参考文献:

[1] RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, POWELL J, et al. A

method for assessing hydrologic alteration within ecosystem [J]. Conservation Biology, 1996, 10: 1 163~ 1 174.
[2] RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, WIGHTON R, et. al. How much water does a river need? [J]. Freshwater Biology, 1997, 37: 230~ 249.
[3] 李 翀, 廖文根, 彭 静, 等. 宜昌站 1900~ 2004 年生态水文特征变化[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 76~ 80.
[4] RICHTER B D, MATHEWS R, HARRISON D L, et al. Ecologically sustainable water management: Managing river flows for ecological integrity[J]. Ecological Applications, 2003, 13 (1): 206~ 224.
[5] 余志堂, 邓中舜, 许蕴轩, 等. 丹江口水利枢纽兴建后的汉江鱼类资源[C]//中国鱼类学会. 鱼类学论文集(第一辑). 北京: 科学出版社, 1981: 77~ 96.
[6] 李修峰, 黄道明, 谢文星, 等. 汉江中游产漂流性卵鱼类产卵场的现状[J]. 大连水产学院院报, 2006, 21(2): 105~ 111.
[7] 刘建康, 何碧梧. 中国淡水鱼类养殖学[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
[8] 史方方, 黄 薇. 河道内基本生态环境需水量计算方法研究[J]. 水利科学与经济, 2008, 14(10): 779 ~ 781.
[9] 蔡其华. 充分考虑 河流生态系统保护因素完善水库调度方式[N]. 人民长江报, 2006-02-11(5) .

ECOLOGICAL IMPACTS OF THE DANJIANGKOU RESERVOIR ON THE MIDDLE AND LOWER REACHES OF THE HAN RIVER

SHI Fangfang, HUANG Wei

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

Abstract: Based on the daily flows from 1954 to 2000 in the Huangjiagang Gauge, the 47-year hydrologic regimes were divided into two sequences: one as “near natural state river” before 1967 and another as “man-interfered river” after 1967. According to the Range of Variability Approach (RVA) proposed by Richter, a method using Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) containing thirty-two eco-hydrologic parameters, the difference between the flows before and after 1967 was quantitatively evaluated. The value ranging from 25th to 75th for each parameter before 1967 was set as the management target. The impacts of the Danjiangkou Reservoir on ecosystems of the middle and lower reaches of the Han River were further analyzed. The results indicate that, after 1967, most hydrologic parameters have experienced significant alterations. The intra-year allocation of runoff has been greatly changed and the intra-year variations in discharges have been smoothed. Extreme flows are found to occur earlier and the duration has been shortened. Based on these analyses, in combination with the ecosystem characteristics of the middle and lower reaches of the Han River, fish is chosen as the representative biological indicator. The impacts of the above-mentioned changes in flow regimes on the growth, reproduction and wintering of fish in the middle and lower reaches of the Han River were then preliminarily discussed. In the end, suggestions on how to reduce the negative impacts were proposed in details.

Key words: Indicators of Hydrologic Alteration; Range of Variability Approach; the Han River; the Danjiangkou Reservoir; flow regime; fish