

# 流量过程变异对汉江中下游河流健康影响分析

封光寅<sup>1</sup>, 李文杰<sup>2</sup>, 周丽华<sup>1</sup>, 陈冬<sup>1</sup>

(1.长江委水文局汉江水文水资源勘测局,湖北 襄阳 441021;

2.长江委水文局上游水文水资源勘测局,重庆 400014)

**摘要:**流量过程变异会对河流健康产生重要影响。对汉江中下游流量过程变异及其影响因素进行分析;通过实例计算,定量地分析了流量过程变异对汉江中下游河流健康影响程度,并提出了流量过程变异指标分析计算中所存在的问题。

**关键词:**流量过程变异程度;流量过程变异指标;计算方法;河流健康;影响

中图分类号:TV121+4

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)01-0046-05

## 1 引言

对重要河流进行健康评估,将为流域规划、管理和保护及流域综合治理提供决策依据<sup>[1]</sup>。目前,我国对河流健康评估工作还处于起步阶段,仅在少数河流开展了试行评估,汉江中下游则作为第一批试行评估河流,已经基本完成相关工作。流量是赋予河流生命的重要载体,也是河流健康与否的基本特征。流量过程是一个动态过程,其过程变异对河流健康会产生重要影响。但流量过程变异所受影响因素较多,指标计算比较繁杂,有些影响因素的量值确定也比较困难。通过流量过程变异对汉江中下游河流健康影响分析和流量过程变异指标实际计算过程,了解流量过程变异指标计算方法,并提出所存在的问题和建议。

## 2 汉江中下游径流特性

汉江发源于秦岭南麓,干流流经陕西、湖北两省,于武汉市汇入长江,全长约 1 577km。汉江干流分为三个典型河段,即上游、中游和下游。丹江口以上为上游,长约 925km,集水面积 95 217km<sup>2</sup>,占总流域面积的 55%。丹江口至钟祥(皇庄水文站)为汉江中游,全长约 270 km,其间集水面积 46 839km<sup>2</sup>,占总流域面积的 26.8%。钟祥(皇庄水文站)以下为下游,河段全长约 382 km,其间集水面积 31 565km<sup>2</sup>,占总流域面积的 18.2%。

汉江径流主要来自降雨,流域多年平均降水量 873mm,水量较丰沛,钟祥碾盘山站多年平均径流量 539×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,其中陕西来水 274×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,河南来水 58×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,过境客水占 62%之多。年均流量 1 710 m<sup>3</sup>/s。但年内分配不均,一般年份主汛期(7~10月)4个月径流量占年径流量的 65%;11月~翌年6月为枯水期,占年径流量的 35%,其中以 1、2月最少,不到年径流量的 2%。汉江径流年际变化较大,年径流变差系数为 0.39~0.54,最大最小年径流量约差 6 倍,是长江各大支流中变化最大的河流。

## 3 流量过程变异及其影响因素

### 3.1 流量过程变异

流量过程变异是指在现状开发条件下,评估河段评估年内实测月径流过程与天然月径流过程所存在的差异<sup>[2]</sup>。

### 3.2 影响汉江中下游流量过程变异因素分析

影响汉江中下游流量过程变异因素主要是人类活动所产生的直接影响。人类活动的直接影响使水循环要素的量或质、时空分布直接发生变化,特别使流量过程会发生较大的变异。人类活动主要为兴建水库、跨流域引水工程、农作物灌溉、工业和城市用水等<sup>[2]</sup>。在汉江中下游,影响流量过程变异的主要人类活动是丹江口水库的修建。在丹江口水库修建前,汉江中下游的流

收稿日期:2015-01-04

基金项目:水利部公益性行业科研专项项目(201001001)

作者简介:封光寅(1957-),男,河南西峡人,高级工程师,主要从事水文水资源方面的研究工作。E-mail:fguangyin@sina.com

表1 汉江中下游丹江口水库建库前后主要水文站多年月平均流量对比表  $m^3/s$   
Table1 The mean monthly discharge at the main stations before and after constructing the Danjiangkou reservoir

站名	时期	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	统计年份
黄家港	建库前	297	321	569	986	1190	1259	3555	3142	1900	1287	657	435	1954~1959
	滞洪期	293	256	528	1264	1768	972	2442	1522	3097	2133	883	469	1960~1967
	蓄水期	754	724	730	830	1002	1076	1597	1621	1768	1338	824	750	1968~2013
襄阳(滞洪期停测)	建库前	348	364	554	983	1349	1116	3440	3269	2227	1540	835	512	1950~1959
	蓄水期	845	819	825	887	1010	1162	1787	1940	1966	1429	884	810	1974~2013
	建库前	461	474	625	1002	1623	1358	4121	4942	3192	1861	966	664	1951~1957
皇庄	滞洪期	384	323	574	1180	1912	1087	2981	2406	2622	1996	1141	665	1960~1967(缺1964)
	蓄水期	878	839	877	968	1211	1411	2327	2502	2297	1732	1068	886	1969~2013(缺1973)

量过程基本上处于天然状态。然而,丹江口水库蓄水运行后,汉江中下游的流量过程处于人工调控状态,实测月径流过程与天然月径流过程存在较大差异(见表1),即流量过程发生了变异。根据汉江综合规划,汉江中下游干流梯级开发推荐方案为:丹江口(170m,吴淞基面,下同)—王甫洲(88m)—新集(78m)—崔家营(64.5m)—雅口(航道整治)—碾盘山(52.5m)—华家湾(航道整治)—兴隆(38m)8级开发方案,现已建成丹江口、王甫洲(88m)、崔家营三座水电站,兴隆正在修建之中。如果上述工程完全建成运行后,其流量过程变异会进一步加剧。流量过程发生变异,会对河流健康产生重要影响。

#### 4 变异程度计算

##### 4.1 计算公式

通常用变异程度来衡量流量过程变异状况。流量过程变异程度是指评估河段监测断面以上流域开发利用对评估河段河流水文情势的影响程度,其指标由评估年逐月实测径流量与天然月径流量的平均偏离程度表达。计算公式如下:

$$FD = \left\{ \sum_{m=1}^{12} \left( \frac{q_m - Q_m}{\bar{Q}_m} \right)^2 \right\}^{1/2}, \quad \bar{Q}_m = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} Q_m$$

式中: $q_m$ 为评估年实测月径流量; $Q_m$ 为评估年天然月径流量; $\bar{Q}_m$ 为评估年天然月径流量年均值,天然径流量为按照水资源调查评估相关技术规定得到的还原量<sup>[3]</sup>。

##### 4.2 单元分区

计算某一河段的流量变异指标,首先要根据水文单元、生态单元和行政单元的完整性,将河段分成多个单元区,计算出每单元区的流量变异指标,然后再计算出总河段的流量变异指标。汉江中下游地区包括19个县市(区),其中干流沿岸有14个,分别是丹江口市、老河口市、谷城县、襄阳县、襄阳市、宜城市、钟祥市、荆门

市、潜江市、天门市、仙桃市、汉川市、蔡甸区。在实际计算中,主要考虑以行政单元为基础,结合水生态状况,把评估河段分为12个区(丹江口市和谷城县所在区域河段较短与老河口市合并为一个单元区),见表2。

表2 汉江中下游流量变异评估单元表

Table2 The evaluating units of the flow variation in the middle and lower reaches of Hanjiang river

单元序号	起始断面	终止断面	长度/km
1	丹江口水库坝前	襄阳县竹条镇	107
2	襄阳县竹条镇	襄樊市余家湖王营	32
3	襄樊市余家湖王营	钟祥市陈家台	125
4	钟祥市陈家台	钟祥市南湖农场	11
5	钟祥市南湖农场	潜江市王场镇	124
6	潜江市王场镇	天门市张港	16
7	天门市张港	天门市多祥镇	67
8	天门市多祥镇	汉川市万福闸	24
9	汉川市万福闸	汉川市马鞍镇	54
10	汉川市马鞍镇	武汉市新沟镇	25
11	武汉市新沟镇	蔡甸区张湾镇	8
12	蔡甸区张湾镇	武汉市龙王庙	41

##### 4.3 单元区天然月径流量( $W_m$ )计算

单元区天然月径流量( $W_m$ )的计算,由于考虑因素较多,牵扯面比较广,计算任务繁杂,因此是流量变异程度指标计算的重点,也是难点。

天然月径流量还原公式为:

$$W_{\text{天然}} = W_{\text{实测}} + W_{\text{还原}} \quad (1)$$

$$W_{\text{还原}} = W_{\text{农}} + W_{\text{工}} + W_{\text{生活}} \pm W_{\text{调蓄}} \pm W_{\text{水保}} + W_{\text{蒸发}} \pm W_{\text{引水}} \pm W_{\text{分洪}} + W_{\text{渗漏}} \pm W_{\text{其它}} \quad (2)$$

式中: $W_{\text{天然}}$ 为还原后的天然径流量; $W_{\text{实测}}$ 为实测径流量; $W_{\text{还原}}$ 为还原总水量; $W_{\text{农}}$ 为农业灌溉净耗水量; $W_{\text{工}}$ 为工业净耗水量; $W_{\text{生活}}$ 为生活净耗水量; $W_{\text{调蓄}}$ 为蓄水工程的蓄水变量(增加为正,减少为负); $W_{\text{水保}}$ 为水土保持措施对径流的影响水量; $W_{\text{蒸发}}$ 为水面面积扩大增加

的耗水量;  $W_{引水}$  为跨流域引水量 (引出为正, 引入为负);  $W_{分洪}$  为河道分洪水量 (分出为正, 分入为负);  $W_{渗漏}$  为水库渗漏量;  $W_{其它}$  为包括城市化、地下水开发等对径流的影响水量<sup>[3]</sup>。

由于上述公式考虑的项目较为齐全, 实际工作中资料收集较为困难。根据资料收集的实际情况和计算过程的可操作性, 我们只考虑其中的区间耗水总量、水库调蓄等对天然径流量的计算影响比较大的项, 其他项目或包含其中 (如: 农业灌溉净耗水量、工业净耗水量、生活净耗水量等包含在区间耗水总量), 或忽略不计 (汉江中下游在评估阶段无跨流域调水, 水库渗漏量基本回归河流, 城市化、地下水开发量较小)。即:

$$W_{还原} = W_{总耗水量} \pm W_{调蓄} \quad (3)$$

#### 4.4 计算实例

流量变异评估所选择的水文资料应包含一个完整的水文年, 本次开展的汉江中下游现状健康评价, 所依据的水文资料为 2009 年 5 月 1 日~2010 年 4 月 31 日, 评估基准年为 2009 年水文年。单元区天然月径流量 ( $W_m$ ) 计算方法, 以第一单元 (丹江口水库坝前至襄阳县竹条镇河段) 为例说明。

在丹江口水库坝前至襄阳县竹条镇河段生态分区内, 水文控制监测断面有汉江干流的黄家港水文站监测断面, 支流有北河的北河站和南河的谷城 (二) 站水文站监测断面。其水文站监测控制断面以上的行政区域主要有: 陕西的陕南地区, 河南南阳的西峡县和淅川县, 湖北的十堰地区、神农架林区、襄阳地区的老河口市和谷城县。

#### 4.4.1 实测径流量

实测月径流量统计见表 3。

表3 丹江口水库坝前至襄阳县竹条镇河段实测月径流量统计计算  $m^3$

Table3 The observed monthly runoff in the reach from the Danjiangkou reservoir dam to Xiangyang county

年月	黄家港站	北河站	谷城(二)站	合计
2009年5月	321408	17892	20892	360192
6月	414720	11353	8476	434549
7月	417830	8464	2866	429160
8月	516931	25579	10044	552554
9月	419904	15137	9927	444968
10月	348192	5892	1612	355696
11月	206323	4458	1133	211914
12月	212129	6642	2893	221664
2010年1月	210522	1864	313	212699
2月	171763	2855	682	175300
3月	208915	3857	1045	213817
4月	242352	8554	5003	255909

#### 4.4.2 水库调蓄量统计

在计算河段的水库调蓄量和耗水量时, 都要考虑其上游的影响因素。区域内的大型水库有: 丹江口水库, 白河站上游的石门、石泉、安康和独岭子水库, 黄龙滩站上游的鄂坪、霍河和黄龙滩水库, 西峡站上游的重阳和石门两座中型水库, 老河口市的 2 座大型水库和 7 座中型水库, 谷城县的 1 座大型水库和 7 座中型水库, 其中丹江口水库、白河站上游、黄龙滩上游和西峡站上游水库调蓄量根据当月实测资料计算而得,

表4 丹江口水库坝前至襄阳县竹条镇河段站天然径流量计算表  $m^3$

Table4 The natural monthly runoff in the reach from the Danjiangkou reservoir dam to Xiangyang county

年月	丹江水库	白河站上游	黄龙滩站上游	西峡站上游	谷城站上游	老河口	水库调蓄合计	月总耗水量	天然径流量
2009年5月	229800	13219.2	15495	1753	-320	-248	259699	18385	638276
6月	-117500	-50442.7	-25906	-2542	-320	-248	-196959	18385	255975
7月	-13100	6791.5	-774	2358	-320	-248	-5292	18385	442252
8月	195200	84180	8929	551	-320	-248	288292	18385	859231
9月	88200	-26380.9	1186	-1003	-320	-248	61434	18385	524787
10月	-178800	26153.6	931	-1297	-320	-248	-153580	18385	220500
11月	-32700	27049.8	5446	1762	-320	-248	990	18385	231288
12月	-36600	-6700.1	-3360	-967	-320	-248	-48195	18385	191854
2010年1月	-79400	-29340.4	-5746	399	418	190	-113479	18520	117740
2月	-113900	-16246	-9912	300	418	190	-139150	18520	54670
3月	-99200	-24573.8	1490	85	418	190	-121591	18520	110746
4月	39000	14544.4	5236	571	418	190	59959	18520	334388

谷城站上游和老河口水库调蓄量是根据当年年总量算术平均而得,计算结果见表4中的“水库调蓄”栏。

#### 4.4.3 总耗水量统计

由于资料的原因,区域内各行政区域耗水量不能分项计算,只能根据年总耗水量按算术平均计算出月平均总耗水量,例如,坝前至襄阳县竹条镇河段内2009年的总耗水量为220620m<sup>3</sup>,则当年的月平均总耗水量即为18385m<sup>3</sup>,计算结果见表4中的“月总耗水量”栏。

#### 4.4.4 天然月径流量计算

天然月径流量计算,按照公式(1)和(3),计算结果见表4最后一列。

### 5 流量过程变异程度指标(FD)赋分计算

#### 5.1 单元变异程度指标(FD)的赋分计算

流量过程变异程度指标(FD)值越大,说明相对天然水文情势的河流水文情势变化越大(当FD>0.3即为流量过程变异较大),对河流生态的影响也越大;赋分值(FDr)则与之相反(当FDr<50即为流量过程变异较大)。流量过程变异程度指标(FD)的赋分标准<sup>[3]</sup>,可根据全国重点水文站1956~2000年实测径流与天然径流计算获得,见表5。

表5 流量过程变异程度指标(FD)赋分表  
Table5 Flow process variation index (FD)

FD	赋分(FDr)
0.05	100
0.1	75
0.3	50
1.5	30
3.5	10
5	0

单元流量变异程度指标(FD)的赋分计算,以第一单元为例,根据表4最后一列,可得天然径流量的平均值为331809m<sup>3</sup>,根据FD计算公式,可得丹江口水库坝前至襄阳县竹条镇评估河段各月流量变异程度指标(FD)。

#### 5.2 各单元流量变异程度指标(FD)的赋分统计

汉江中下游各生态分各单元流量变异程度指标(FD)的赋分,见表6。

#### 5.3 整个河段变异程度指标(FD)的赋分

整个河段流量变异程度指标(FD)的赋分,可以有两种方法,一是采用算术平均法,二是采用河段长度加权法。

表6 汉江中下游各生态分各单元流量变异程度指标(FD)的赋分统计表

Table6 The discharge variation index (FD) of the ecological units in the middle and lower reaches of the Hanjiang river

单元序号	河流指标(FD)	分值(FDr)	河段长度/km
1	1.57	29.35	107
2	1.43	31.19	32
3	1.31	33.22	125
4	1.31	33.22	11
5	1.27	33.81	124
6	1.26	33.97	16
7	1.42	31.35	67
8	1.42	31.35	24
9	1.41	31.55	54
10	1.40	31.73	25
11	1.33	32.83	8
12	1.32	32.95	41

(1) 算术平均法赋分(FDr)为:32.22

(2) 河段长度加权法赋分(FDr)为:32.12

两种方法差值较小,无论采用哪种方法都可以。

由上述结果可以看出,汉江中下游河段流量变异程度指标赋分仅为32.22,由此可知,汉江中下游河段流量过程变异程度较大,同时表明,汉江中下游的健康状况受到严重影响。

### 6 问题和建议

#### 6.1 问题

(1) 观测资料不足,天然径流量的还原很困难。计算时,只考虑其中的水库调蓄、区间耗水总量等对天然径流量的计算影响比较大的项,会对计算结果产生一定的影响。

(2) 蓄水工程月调蓄量计算的资料来源于水文水资源公报,而水文水资源公报中给出的蓄水工程月调蓄量是年末与年初的差值。因此无法真实地计算每个月的调蓄量,在采取年算术平均之后,会出现与实际根本相反的情况,如会出现全年都是在蓄水,或者全年都是在泄水,这与实际情况是不相符合的。

(3) 耗水量计算的资料是年总量,有些还没有进行分类。因此,只能采取算术平均法计算,但同类的耗水量不同季节是不相同的,有些差别还很大。另外,耗水量是按照行政区域计算的,在遇到同一行政区域存在不同生态区域时,就会遇到难以分割的问题。

(4) 一些耗水因子无法确定,有一些耗水因子没

有统计,如水土保持措施对径流的影响水量、水面面积扩大增加的耗水量、水库渗漏量等。

## 6.2 建议

(1)建立适应河流健康评估的资料收集模式。

(2)评估单元的划分应以水文控制断面为主,这样会给计算带来一定的合理性和便利性。

(3)整个河段流量变异程度指标( $FD$ )的赋分,采用河段长度加权法赋分较为合理。

## 7 结语

汉江中下游河段,在评估基准年2009年(水文年)的流量变异程度指标赋分仅为32.22,表明流量过程变异程度较大,即表明流量过程变异已对汉江中下游河流健康产生重要影响。影响汉江中下游流量过程变异主要因素是人类活动所致,其主要方面是水利工程的修建。但随着社会经济的发展,汉江流域水资源开发利用程度会逐步加大,尤其是南水北调中线工程和中

下游梯级电站修建运行,汉江中下游流量过程变异程度会进一步加剧,这一状况应引起有关部门重视。

在流量过程变异指标计算中,有些项目因子的计算比较困难,计算方法还需要做进一步的探索与完善,特别是在资料的收集方面,还需要做大量的工作。

## 参考文献:

- [1] 龙笛. 浅谈流域生态环境健康评价 [J]. 北京水利, 2005,(5). (LONG Di. Introduction to river basin ecological environment health evaluation [J]. Beijing Water Conservancy, 2005,(5). (in Chinese))
- [2] 杜后奇. 采用流量变异程度评定人类活动的影响程度[J]. 城市建设理论研究,2013,16. (DU Houqi. The flow variation degree to assess the influence degree of human activity [J]. Urban Construction Theory Research 2013,16. (in Chinese))
- [3] 长江水利委员会水文局. 长江流域重要河湖健康评估——水文水资源与物理结构指标评估技术细则 [R]. 2011. (Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission. Changjiang river health assessment: technical rules of hydrology and water resources and physical structure evaluation [R]. 2011. (in Chinese))

## Influence of Flow Process Variation on River Health in Middle and Lower Reaches of Hanjiang River

FENG Guangyin<sup>1</sup>, LI Wenjie<sup>2</sup>, ZHOU Lihua<sup>1</sup>, CHEN Dong<sup>1</sup>

(1. Hanjiang Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Xiangyang 441021, China; 2. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Upper Changjiang River, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Chongqing 400014, China)

**Abstract:** Flow process variation have an important impact on river health. This paper analyzed the flow process variation and its affecting factors in the middle and lower reaches of the Hanjiang River. By case calculation, this paper quantitatively analyzed the influence of the flow process variation river health in the middle and lower reaches of the Hanjiang River, and put forward the existing problems and improvement method for the index analysis and calculation.

**Key words:** degree of flow process variation; index of flow process variation; calculation method; river health; influence

(上接第79页)

## Simplified Solution of Hydrogeological Parameters in Condition of Non-stationary Recharge Flow

TENG Kai

(Qiqihar Water Affairs Bureau, Qiqihar 161006, China)

**Abstract:** The solution of the hydrogeological parameters in the condition of the non-stationary recharge flow is concerned with 3 unknown transcendental equations, which can not be obtained by the normal analytic method. This paper used the optimal fitting method to realize alternative of the function relationship of the chart-given non-stationary recharge flow with the simpler functions in the range of the parameters suitable with the engineering, and used the groundwater level decrease ratio relationship to obtain the expressions with only 1 unknown quantity. After simple calculation, the parameters can be obtained.

**Key words:** recharge; groundwater level decrease ratio; hydrogeological parameter; optimization; simplified calculation