

文章编号: 1004-8227(2008)05-0699-04

中线调水对汉江下游枯水期的水安全影响研究

窦明¹, 谢平², 姚堡垒¹, 李桂秋¹

(1. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 针对现状以及南水北调中线工程不同调水方案下的水文条件, 从可利用水资源量和水环境容量两个方面来研究中线调水对汉江下游枯水期水量和水质状况的影响。以人均月可利用水资源量和人均月水环境容量作为评价指标, 提出相应的水安全评价方法和评价标准, 来定量评价调水前后汉江下游枯水期水安全的变化程度。研究结论认为: 各调水方案对汉江下游水量安全的影响程度比水质安全大; 调水对枯水期水安全影响较大的月份是12月、1月和2月, 而11月、3月则要好一些; 现状条件下的水安全评价结果都在“较为安全”级别以上, 而各调水方案的实施对汉江下游水安全都有一定影响, 其中以方案II的影响最大, 方案III则由于引江济汉补偿工程的兴建, 其水安全保障程度要高于其他方案。

关键词: 南水北调工程; 水安全; 枯水期; 汉江

文献标识码: A

南水北调中线工程从长江支流汉江上的丹江口水库调水, 由于地理位置优越、水源地水质良好、水量可靠而成为3条引水线路中的首选。然而, 由于调水后丹江口水库下泄流量减少, 汉江下游水文情势将发生一定的变化, 特别是在枯水期, 流量的减少势必使得原本比较脆弱的水环境系统处于更加被动的地位。本文将针对中线不同调水方案, 研究调水对汉江下游水安全的影响, 从而为今后中线工程的合理调度和水环境保护工作提供参考。

1 调水方案简介

根据长江水利委员会规划处和长江勘测规划设计研究院设计的中线多年平均年调水量 $82 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $145 \times 10^8 \text{ m}^3$ 调水方案来进行研究(长江勘测规划设计研究院《南水北调中线工程规划主题报告之一——汉江丹江口水库可调水量研究》, 2001), 其中 $145 \times 10^8 \text{ m}^3$ 方案根据汉江下游的工程条件又分为无引江济汉和有引江济汉两种情况(见表1)。除了表1所列的特征值外, 上述方案的设计条件还有: 丹江口水库大坝加高至170 m; 汉江中下游兴建建隆枢纽; 部分闸站改扩建及局部航道整治。

表1 不同调水方案的特征值

Tab. 1 Eigenvalue of Different Water Transfer Schemes

方案编号	设计水平年	陶岔渠首可调水量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)					引江济汉*
		多年平均	最大年份	最小年份	75%年份	95%年份	
I	2010	82.04	122.27	34.81	64.95	45.28	无
II	2030	145.20	220.30	67.67	104.24	73.16	无
III	2030	145.20	220.30	67.67	104.24	73.16	有

* 引江济汉工程是汉江下游的水量补偿工程, 由枝江市七星台镇的大布街挖渠引出长江水, 渠首引水流量为 $500 \text{ m}^3/\text{s}$, 经沙洋县境内的长湖上游, 最后在潜江市高石碑镇入汉江。

2 调水对汉江下游的水安全影响

2.1 研究思路

由于水资源具有水量、水质双重属性, 因此水安全评价也应从水量安全和水质安全两方面来展开。本文选用人均月可利用水资源量作为表征水量安全的指标; 选用人均月水环境容量作为表征水质安全的指标。根据上面介绍的几种调水方案, 来研究现状以及中线调水后汉江下游的水安全状况。其研究步骤如图1所示:

收稿日期: 2007-07-12; 修回日期: 2007-08-17

基金项目: 水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金资助项目(2005B016)

作者简介: 窦明(1975~), 男, 山东省淄博人, 副教授, 博士, 主要从事水资源与水环境研究。

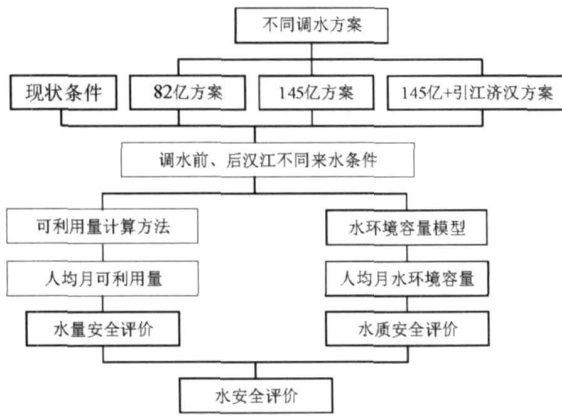


图 1 水安全评价步骤

Fig. 1 Steps of Water Security Assessment

(1) 由现状实测水文资料 and 不同调水方案下的流量还原计算结果构成汉江下游 1957~1998 年流量过程;

(2) 根据可利用水资源量计算方法, 计算出调水前、后汉江下游枯水期的多年月平均可利用水资源量, 进而求出人均月水资源可利用量;

(3) 根据水环境容量模型, 计算出调水前、后汉江下游枯水期的多年月平均水环境容量, 进而求出人均月水环境容量;

(4) 选取相应的评价方法和评价标准, 定量评价调水前、后水安全量值的变化。

2.2 可利用水资源量的计算

地表水资源可利用量为地表水资源量减去河道内最小需水量和汛期下泄洪水量, 由下式算出^[1]:

$$W_u = W_q - W_{\min} - W_f \quad (1)$$

式中: W_u 为可利用水资源量, m^3 ; W_q 为地表水资源量, m^3 ; W_{\min} 为河道最小需水量, m^3 ; W_f 为汛期洪水弃水, m^3 。

由于研究的时间范围为枯水期, 因此不考虑汛期洪水弃水量, 即认为枯水期水量除河道最小需水量外, 都可作为可利用水资源量。河道最小需水量主要考虑河道基本生态需水量和汉江航运需水量。由于河道内用水具有多功能性, 即在满足一种用水要求时, 还可兼顾其他用水, 因此河道最小需水量可根据以上两方面需水在同一时期的最大值给定。

目前, 常用的河道基本生态需水量计算方法有蒙大拿法、7Q10 法、月(年)保证率设定法等。用蒙大拿法计算时, 可参照国外相关研究成果, 取河流多年平均流量的 20% 作为河道基本生态需水量。7Q10 法则采用最近 10 年最枯月平均流量作为河道基本生态需水量。根据仙桃水文站 1957~2005 年

实测资料, 由蒙大拿法计算出的基本生态需水量为 $261 \text{ m}^3/\text{s}$, 由 7Q10 法计算的结果为 $331 \text{ m}^3/\text{s}$ 。文献[2]曾计算出汉江下游基本生态需水量为 $140 \sim 280 \text{ m}^3/\text{s}$, 因此, 本文采用将蒙大拿法和 7Q10 法计算结果取平均值的方式来求取河道基本生态需水量的最终结果, 即该值为 $296 \text{ m}^3/\text{s}$ 。此外, 根据文献[2], 汉江下游襄樊—汉口江段为 IV 级航道, 设计保证率达 95%~98%, 其中泽口—汉口江段的航运需水量为 $200 \sim 340 \text{ m}^3/\text{s}$ 。汇总以上分析结果, 取河道最小需水量 W_{\min} 为 $340 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

结合现状以及各调水方案下的流量资料, 计算出多年平均情况下调水前、后汉江下游枯水期各月的可利用水资源量, 再除以研究区人口总数得出枯水期人均月可利用水资源量, 如表 2 所示。

2.3 水环境容量的计算

对汉江下游水污染特征和入江污染源的调查发现, 水污染类型主要是有机污染, 因此选取 COD_{Mn} 作为水环境容量计算的水质指标。对于某一河段单元来说, 其水环境容量计算公式如下^[3]:

$$W_a = C_{0i} (Q_{1i} + Q_{2i}) - C_{1i} Q_{1i} + C_{2i} Q_{2i} + C_{0i} (Q_{1i} + Q_{2i}) [1 - \exp(-K_i x_i / u_i)] \quad (2)$$

式中: W_a 为水环境容量, g/s ; Q_{1i} 为上游来水流量, m^3/s ; Q_{2i} 为河段内的污水总入流量, m^3/s ; C_{0i} 为河段所对应水功能区的水质目标值, mg/L ; C_{1i} 为上游来水的污染物背景浓度, mg/L ; C_{2i} 为流入污水的污染物浓度, mg/L ; K_i 为污染物降解系数, $1/\text{d}$; x_i 为河段长度, m ; u_i 为平均流速, m/s ; i 为河段单元号。

整条河流的水环境容量为所有河段水环境容量计算结果的累加。在计算某一河段水环境容量时, 首先要确定该河段所对应水功能区的水质目标值, 本文直接引用湖北省政府确认的汉江中下游水环境功能区划成果。计算时水质资料取 2000 年实测汉江 COD_{Mn} 资料和当年污水入流量作为背景值; 上游来水量为现状和各调水方案下的流量资料。计算时间范围为枯水期各月份(即每年 11 月~次年 3 月), 空间范围为汉江下游仙桃断面至龙王庙断面(汉江入江口)。由此, 计算出多年平均情况下的调水前、后汉江下游枯水期各月的水环境容量, 再除以研究区人口总数得出枯水期人均月水环境容量(见表 2)。

2.4 水安全评价方法介绍

为了能对水安全的程度进行量化, 本文采用一个综合指标“水安全度”(SD)来表达, 在水安全度下

表 2 水安全评价结果

Tab. 2 Result of Water Security Assessment

指 标	月 份	枯水期				
		11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
人均月可利用水资源量 (m ³ /人·月)	现状	379.2	289.1	227.0	181.3	233.3
	方案 I	187.3	111.9	89.9	112.2	222.8
	方案 II	142.3	107.2	95.8	78.6	108.6
	方案 III	320.4	233.2	152.8	118.9	176.4
人均月水环境容量 (kg/人·月)	现状	3.16	2.74	2.42	2.07	2.45
	方案 I	2.19	1.82	1.71	1.70	2.41
	方案 II	1.94	1.80	1.74	1.54	1.80
	方案 III	2.85	2.45	2.04	1.74	2.17
水量安全度 SD _L	现状	1.00	0.97	0.82	0.70	0.83
	方案 I	0.72	0.45	0.33	0.45	0.81
	方案 II	0.61	0.42	0.36	0.26	0.43
	方案 III	1.00	0.83	0.63	0.49	0.69
水质安全度 SD _Z	现状	0.82	0.77	0.74	0.71	0.75
	方案 I	0.72	0.68	0.67	0.67	0.74
	方案 II	0.69	0.68	0.67	0.65	0.68
	方案 III	0.79	0.75	0.70	0.67	0.72
水安全度 SD	现状	0.90	0.87	0.78	0.71	0.79
	方案 I	0.72	0.55	0.47	0.55	0.77
	方案 II	0.65	0.53	0.49	0.42	0.54
	方案 III	0.89	0.79	0.67	0.57	0.70

又由水量安全度和水质安全度两个二级指标来反映水量、水质的安全保障程度。

水量安全度和水质安全度可由前面各指标的计算结果来度量,其评价方法如下:假定某指标 x_i 存在表征安全程度的 3 个代表性数值,最差值 a_i (对应的子安全度为 0)、及格值 b_i (对应的子安全度为 0.6) 和最优值 c_i (对应的子安全度为 1)。根据上面的假定,可以得到反映该指标子安全度 SD_i 的表达式^[4]:

$$SD_i = \begin{cases} 0 & x_i \leq a_i \\ 0.6 \left(\frac{x_i - a_i}{b_i - a_i} \right) & a_i < x_i \leq b_i \\ 1 - 0.4 \left(\frac{c_i - x_i}{c_i - b_i} \right) & b_i < x_i \leq c_i \\ 1 & c_i < x_i \end{cases} \quad (3)$$

参考文献[4],并结合汉江流实际情况,给出了各指标的特征值,如表 3。再通过式 3 可计算出所选各指标的子安全度 SD_i 。本文采用人均月可利用水资源量指标的子安全度作为水量安全度,采用人均月水环境容量指标的子安全度作为水质安全度。由此,进一步求出汉江下游水域整体的水安全度:

$$SD(j) = SD_L(j)^{\beta_1} \cdot SD_Z(j)^{\beta_2} \quad (4)$$

式中: SD 为水安全度; SD_L 为水量安全度; SD_Z 为水质安全度; β_1 、 β_2 为反映水量安全和水质安全重要性的指数权重, $\beta_1 + \beta_2 = 1$; j 代表有 j 种方

案。在权重取值问题上,本文认为尽管水量大小在一定程度上会影响到水环境容量的大小,但水环境容量更多的是考虑水体的水质目标、背景浓度以及污染物降解速度等因素,由表 2 的计算结果也可看出,各方案下的人均月可利用水资源量变化幅度要大于人均月水环境容量变化幅度,因此,水质安全不能由水量安全来替代,它们对水资源是同等重要的两个基本属性,故而将 β_1 和 β_2 都赋值为 0.5。

表 3 水安全指标特征值

Tab. 3 Eigenvalue of Water Security

评价指标	最差值	及格值	最优值
人均月可利用水资源量(m ³ /人·月)	30	140	300
人均月水环境容量(kg/人·月)	0	1	5

根据求出的 SD 数值,将安全状况划分为 5 个等级^[5],如表 4。

表 4 水安全等级划分标准

Tab. 4 Standard to Different Water Security Grades

安全等级	安全	较为安全	较不安全	不安全	极不安全
SD 取值范围	$0.8 \leq SD \leq 1$	$0.6 \leq SD < 0.8$	$0.4 \leq SD < 0.6$	$0.2 \leq SD < 0.4$	$0 \leq SD < 0.2$

2.5 水安全评价结果及分析

应用以上评价方法,来评价现状和各调水方案下汉江下游枯水期的水安全程度,评价结果见表 2。

针对表 2 的评价结果,分析如下:①就水量安全和水质安全比较发现,各调水方案对水量安全

的影响程度要比水质安全大, 方案 I 和 II 实施后在 12 月、1 月、2 月会出现水量安全处于“较不安全”和“不安全”级别的情况, 方案 III 在个别月份也会达到“较不安全”级别, 而水质安全的评价结果则大都在“较为安全”级别内, 且变化幅度不大; ②从时间序列上进行比较, 调水对汉江下游水安全影响较大的月份是 12 月、1 月和 2 月, 这是由于这些月份的来水量较少导致水安全级别低, 再受到调水作用后水安全级别又进一步降低, 而 11 月、3 月由于来水量较大则要好一些; ③从调水方案上进行比较, 现状情况下汉江的水安全级别比较高, 各月份评价结果都在“较为安全”级别以上, 各调水方案的实施对汉江下游水安全都有一定影响, 其中以方案 II 的影响最大, 方案 III 的调水量虽然与方案 II 相同, 但由于引江济汉补偿工程的修建, 使得下游水量和水质都得到一定程度的恢复, 水安全级别有所提高, 但在 2 月还会出现水安全程度达到“较不安全”级别的情况。

3 结语

长期以来, 南水北调工程实施后对调水区的生

态环境影响一直是学术界讨论的热点问题^[9]。本文针对现状以及不同调水方案, 从可利用水资源量和水环境容量角度来研究调水对汉江下游枯水期的水量和水质影响, 并提出水安全评价方法和评价标准, 来具体量化汉江下游的水安全状况。通过研究发现, 南水北调中线工程的实施将给汉江下游枯水期的水安全状况带来一定影响, 部分月份的水安全级别由“较为安全”下降到“较不安全”, 其下降趋势值得引起有关部门的重视。

参考文献:

- [1] 王建生, 钟华平, 耿雷华等. 水资源可利用量计算[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 549~553.
- [2] 刘丙军, 邵东国, 许明祥等. 南水北调中线与汉江中下游地区的水资源利用关系研究[J]. 南水北调与水利科技, 2003, 1(6): 6~9.
- [3] 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.
- [4] 李琳. 社会经济安全条件下的城市需水量预测研究[D]. 郑州: 郑州大学硕士论文, 2006.
- [5] 俞澄生. 南水北调的资源、环境和社会效应[J]. 长江流域资源与环境, 1994, 3(3): 265~270.

INFLUENCE OF WATER TRANSFER ON WATER SECURITY IN LOWER REACHES OF HANJIANG RIVER IN LOW WATER PERIOD

DOU Ming¹, XIE Ping², YAO Bao-lei¹, LI Gui-qiu¹

(1. College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Wuhan University, State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan 430072, China)

Abstract: Aim at the hydrology conditions under present situation and different schemes of the middle route of China's south-to-north water transfer project, the effect of the project on water quantity and water quality status in lower reaches of Hanjiang River in low water period is researched from two aspects that are available water resources quantity and water environmental capacity. The assessment method and standard of water security, which are used to evaluate the changes of water security degree before and after transferring water, are put forward. The conclusions are that the effect of water transfer on water quantity security is bigger than that on water quality security after the implement of each scheme; December, January and February in each year are the months when there are more effect of water transfer on water security in low water period; the degree of water security in each month of low water period under present situation is above comparative safety level, and the degree of water security will descend after the implement of water transfer schemes, in which the effect of the scheme II is the biggest, but water security degree of the scheme III is higher than that of other schemes because of the building of water diversion project from the Yangtze River to Hanjiang River.

Key words: south-to-north water transfer project; water security; low water period; Hanjiang River