

# 南水北调中线工程对汉江中下游水华的影响及对策研究(II)

## ——汉江水华发生的概率分析与防治对策

谢平<sup>1</sup>, 夏军<sup>1,2</sup>, 窦明<sup>1</sup>, 张万顺<sup>1</sup>

(1.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;

2.中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 为了评估南水北调中线工程对汉江中下游水华的影响,根据汉江水华发生的成因和关键因子的分析结果,对汉江水华发生的概率进行了定性分析;应用水动力学模型和富营养化动力学模型以及随机模拟法对汉江水华发生的概率进行了定量计算,并提出了相应的防治对策。结果表明,南水北调中线工程 145×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup> 方案实施后将增加汉江水华发生的概率,而引江济汉工程的兴建将极大地减少汉江水华发生的概率。汉江自身的水污染治理是减少水华发生概率的最根本措施。丹江口水库增加枯水期下泄流量和三峡电站减少枯水期下泄流量的联合调度将减小汉江水华发生的概率。

**关键词:** 南水北调中线工程; 汉江; 水华; 对策; 概率

中图分类号: P333.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-3037(2004)05-0545-05

## 1 引言

由于南水北调中线工程本身不会产生污染源,对汉江中下游水温的影响也非常有限,因此,南水北调中线工程调水对汉江中下游水华的影响将主要体现在流量、流速等水文因子的变化上<sup>[1]</sup>。本文假设南水北调中线工程调水前后汉江中下游河段的水质、水温以及长江汉口水站的水文条件保持不变,采用随机模拟法组合生成仙桃至龙王庙河段的水质边界条件和初始条件系列、水温系列以及水流动力条件系列,并以此作为水动力学模型和富营养化动力学模型<sup>[1]</sup>的输入,然后计算各断面水质变化过程,并根据藻类总细胞密度这一量化指标计算调水前后汉江水华发生的概率。

## 2 水华发生概率的定性分析

“概率”是衡量事件发生可能性大小的一个统计数学概念,对于古典概型(指试验的所有结果具有等可能性,且试验结果的总数有限),通常用事件发生的可能结果次数与试验的结果总数之比来表示事件发生的可能性大小,概率值越大,说明事件发生的可能性越大。对于非古典概型(指试验的所有结果不具有等可能性或试验结果的总数无限),一般通过随机试验用“频率”来衡量事件发生的可能性大小,“频率”可用随机试验中事件发生的次数与试验总数之比来表示。由于水文事件绝大多数为非古典概型,通常并没有严格区分“概率”和“频

收稿日期:2003-11-13;修订日期:2004-02-25。

第一作者简介:谢平(1963~),男,湖北松滋人,教授,博士,主要研究变化环境下的水文水资源及水环境。

致谢:本项研究得到了水利部南水北调规划设计管理局、湖北省南水北调中线工程办公室、湖北省环境保护局的资助,在此表示衷心的感谢。

率”这两个概念,而是笼统地指事件发生的可能性。在本文研究中,水华发生的概率为年际概率,表示在随机试验的所有年份里,水华发生的年数与总年数之比,而不考虑水华在年内发生的次数和持续的天数。换句话说,不论水华在一年内发生多少次或持续多少天,在随机试验的总年数中,均只计算一次,这种近似处理方法与实际情况比较接近。

表 1 仙桃站调水前后 2~3 月份平均流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Table 1 Average discharge of Xiantao station from Feb. to Mar. before and after water transfer project ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

年 份	状 况	调水前	调水后	
			无引江济汉	有引江济汉
1968		497	548	659
1969		671	582	637
1970		529	501	552
1971		629	492	583
1972		949	566	637
1973		600	499	547
1974		1 049	500	554
1975		1 158	495	572
1976		1 134	591	676
1977		368	494	621
1978		318	492	509
1979		302	337	417
1980		558	503	574
1981		943	507	580
1982		881	519	621
1983		904	534	669
1984		1 201	562	649
1985		954	525	622
1986		808	499	569
1987		615	504	539
1988		964	583	664
1989		1 265	729	825
1990		1 507	504	687
1991		711	492	558
1992		484	376	595
1993		1 173	492	605
1994		849	492	566
1995		720	519	621
1996		643	441	569
1997		1 073	492	583
1998		361	358	581

汉江水体富营养化产生的主要原因<sup>[1]</sup>是汉江中游进入水体的排污量日趋增大,浮游植物藻类等生物所需的氮、磷等营养物质严重过量;水流情势变化,汉江水枯同时长江水位增高使汉江流速变缓;春季气温偏高。从模型的角度进行灵敏度分析<sup>[1]</sup>,发现汉江水质条件(总磷总氮浓度)已基本满足藻类生长的需求;考虑到水温受气温的影响,年际间周期性变化比较稳定,可以认为,水温不是造成水华发生的关键因素;流量、流速是制约水华发生的关键性因子。因此,本文将主要从调水前后仙桃站枯水期(2、3月份)平均流量(表1)的变化上对汉江水华发生的概率作定性分析,需要说明的是,调水后的水库调度考虑了多年调节。主要结论:如果以有利于水华发生的仙桃站枯水期(2、3月份)平均流量低于  $500\text{m}^3/\text{s}$  作为判别标准<sup>[1]</sup>,则调水后(不考虑引江济汉)汉江水华发生的次数比调水前有较大的增加(6:15),引江济汉工程能极大地减少水华发生的次数(调水前后的比例为 6:1)。

### 3 水华发生概率的定量计算

考虑到汉江河道资料的具体情况和水文断面的分布,选取上边界断面仙桃站的流量作为上边界条件,下边界断面龙王庙站的水位作为下边

界条件并建立一维水动力学模型,共设计 25 个计算断面,划分为 24 个河段。由于龙王庙断面没有实测水文资料,但是龙王庙断面与汉口水文站距离很近,水面比降很小,因此,龙王庙的水位可由汉口水文站的水位给出。在具体分析南水北调中线工程对汉江中下游水华的影响时,调水前和调水后龙王庙断面的水位可以根据长江干流已知流量与汉江龙王庙断面未知流量的组合相加即为汉口站相应的总流量,然后通过汉口站的水位—流量关系,以耦合试算的方式计算得出。考虑到汉江水质资料的具体情况,选取新港断面作为上边界断面,龙王庙断面作为下边界断面建立富营养化模型,共设计 7 个计算断面,划分为 6 个河段,并与水动力学模型划分的断面重叠。

考虑到未来可能发生的情况,南水北调中线工程对汉江武汉段水华影响的模拟分

析按如下资料系列进行组合:①引、调水规模:丹江口水库调水  $145 \times 10^8 \text{m}^3$ ;②调水前水文边界条件:取 1968~2000 年仙桃站实测流量变化过程,取 1956~2000 年汉口站实测水位变化过程;③调水后设计流量(无引江济汉和有引江济汉):直接采用长江水利委员会规划处  $145 \times 10^8 \text{m}^3$  方案下仙桃站 1956~1998 年的多年调节计算系列,调算中考虑了区间来水,中下游河道内外用水回归,自下游至上游推算水库补偿下泄流量和流量过程;④水质边界浓度:取 1992~1998 年各水质指标的实测污染负荷值;⑤水温资料:取 1992~1998 年实测水温变化过程。

假定上述水质边界条件和初始条件系列、水温系列以及水流动力条件系列服从均匀分布,则通过模拟[0, 1]区间上均匀分布的纯随机序列(简称随机数),即可随机组合研究河段未来可能发生的水质边界条件和初始条件系列、水温系列以及水流动力条件系列。

到目前为止,尚未有确切定义水华发生的藻类总细胞密度数量标准,本文依据相关参考文献中的富营养化判别标准<sup>[2-4]</sup>,并结合汉江历次发生水华的实际情况取藻类总细胞密度  $0.1 \times 10^8$  个/L 作为判断水华发生的标准。汉江水华发生概率的定量计算框图如图 1 所示。采用混洗线性同余数法<sup>[5]</sup>生成[0, 1]区间上均匀分布的随机数,通过随机数对各水质、水文、水温条件进行随机组合,并以此作为水动力学模型和富营养化动力学模型<sup>[1]</sup>的输入,然后计算各断面水质变化过程,并根据水华判别标准计算南水北调中线工程调水前后汉江水华发生的概率,其主要结论如下:

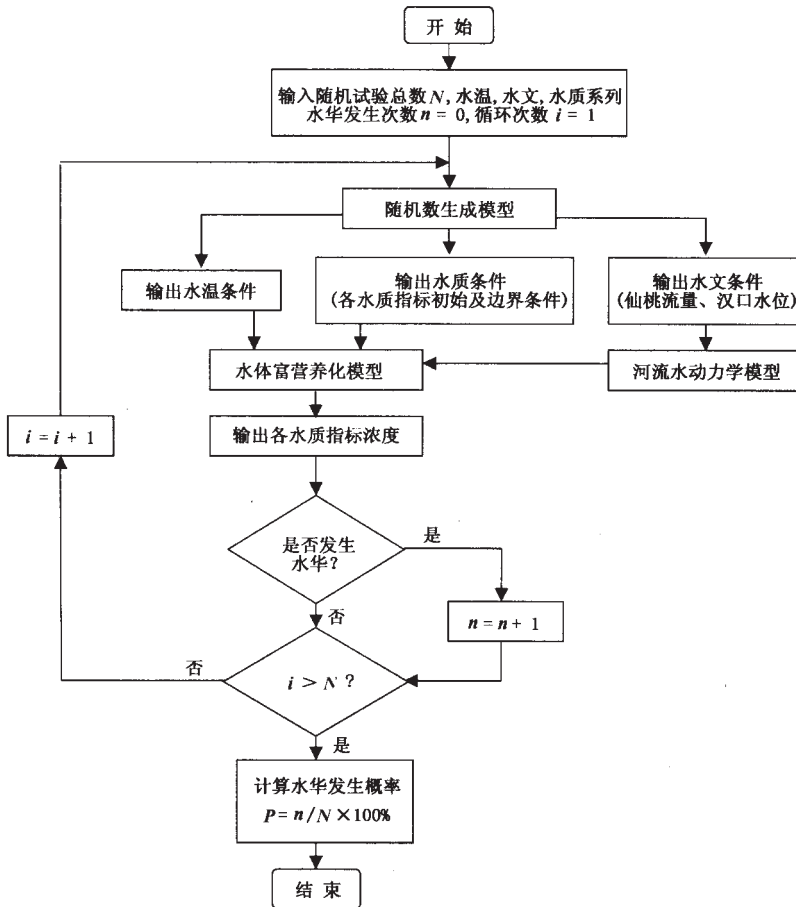


图 1 汉江水华概率计算框图

Fig. 1 The calculating flowchart of probability of water bloom in the Hanjiang River

(1)调水前汉江水华发生的概率为 9.2%,调水后(不考虑引江济汉工程)汉江水华发生的概率为 13.6%,因此,调水后比调水前水华发生的概率有所增加,这预示着中线调水工程  $145 \times 10^8 \text{m}^3$  方案的实施对汉江中下游的水环境有较大的影响。

(2)由于 20 世纪 90 年代汉江中下游水质污染状况比较严重,故在假定调水前后汉江水质条件不变的情况下,汉江水华的发生概率是比较大的。从计算结果可见,无论调水前还是调水后,汉江发生水华的概率均在 9%以上,这说明汉江的水环境问题已相当严重。因此,汉江自身的水污染治理是减少水华发生概率的最根本措施。

(3)引江济汉工程的兴建将能有效补偿汉江脆弱的水环境容量,使调水后水华发生的概率减少到 1.3%,从而极大地缓解南水北调中线工程对汉江中下游带来的不利影响,对湖北省社会经济可持续发展具有重要的战略意义和现实意义。

(4)考虑到三峡大坝建成发电后,在枯水期的下泄流量将有所增加,则长江武汉关较高的水位会对汉江河口形成较强的顶托作用,这必将导致汉江武汉段水流变缓,水体运动性能变差,同时再考虑南水北调中线工程调水后的不利影响,则该江段发生水华的概率会增加。因此,丹江口水库增加枯水期下泄流量和三峡电站减少枯水期下泄流量的联合调度将减小汉江水华发生的概率。

(5)考虑中线工程在丹江口水库调水  $80 \times 10^8 \sim 90 \times 10^8 \text{m}^3$ ,则丹江口下泄流量会增加(与  $145 \times 10^8 \text{m}^3$  相比),长江对汉江的顶托作用减弱,藻类生长变缓,则在该江段发生水华的概率与调水  $145 \times 10^8 \text{m}^3$  相比会减小。

#### 4 汉江水华的防治对策

(1)鉴于汉江中下游水质呈恶化趋势,建议加强自潜江以下河段的水质监测和水体富营养化预测预警系统的建设,监测系统的范围与布点应根据水污染的分布规律来设定,以保证宗关水厂等城市供水品质和河流水环境质量。目前,汉江流域水质监测采样点的密度还不够,尤其在水质监测手段的快速、准确等硬件方面,要加强投资建设。

(2)实施南水北调中线工程,必须高度重视对水源区的生态环境保护。通过治理点源污染,减少进入丹江口库区的污染负荷;加强库区上游水土综合治理,控制面源污染。严格执行污染物总量控制和排污许可制度,加强支流污染治理。

(3)明确汉江中下游水环境容量补偿标准,研究中下游水质综合改善措施,结合其水资源保护规划落实环境补偿措施。由于调水将对汉江下游河道冲淤和水环境容量有较大影响,从而会诱发汉江水华现象的进一步加剧,因此,要重视丹江口水库和汉江中下游的环境变化,并采取相应的补救措施,如采取在枯水期增加丹江口水库下泄流量或者减小三峡水库同期下泄流量、引江济汉补水等,避免或减轻其不利影响。

(4)考虑到长远的汉江水环境保护,需要继续加强水污染控制与依法管理工作。同时,要与流域规划和治理部门密切配合,尽早积极开展和参与汉江流域水量水质统一管理的研究工作,真正做到汉江污染源的有效控制。只有做到这一点,才能从根本上解决汉江武汉段的水华问题。

#### 参考文献(References):

- [1] 谢平,夏军,等.南水北调中线工程对汉江中下游水华的影响及对策研究(I)——汉江水华的关键因子分析[J].自然资源学报,2004,19(4):418~423. [XIE Ping,XIA Jun,et al.Research into the effects of the middle route of China's south-to-north water transfer project on water bloom in the middle-down stream of Hanjiang River and the countermeasures Part I: An an-lysis of the key factors generating water bloom in Hanjiang River. *Journal of Natural Resources*, 2004,19(4):418~423.]
- [2] 杨红,任志远.中国湖泊的富营养化评价研究[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2000,28(4):104~107.[YANG hong,

- REN Zhi-yuan.Study on nutrition evaluation of Chinese lakes.*Journal of Shaanxi Normal University(Natural Science)*,2000, 28(4):104~107.]
- [3] 吴琪.以浮游植物评价太湖春季水质污染及富营养化[J].环境导报,2000,(2):32~35.[WU Qi.An evaluation of water pollution and eutrophication of the Taihu lake in spring by means of phytoplankton.*Environment Herald*,2000,(2):32~35.]
- [4] 姚维志.以浮游植物评价金堂水库富营养化[J].重庆环境科学,1996,18(1):55~57.[YAO Wei-zhi.Evaluation of eutrophication of the Jintan reservoir by means of phytoplankton.*Chongqing Environmental Science*,1996,18(1):55~57.]
- [5] 徐士良.FORTRAN 常用算法程序集[M].北京:清华大学出版社,1995.[XU Shi-liang.The Book of FORTRAN Frequent Algorithm Program.Beijing:Tsinghua University Press,1995.]

## Research into the effects of the middle route of China's south-to-north water transfer project on water bloom in the middle-down stream of Hanjiang River and the countermeasures II : A probability analysis of the water bloom in Hanjiang River and prevention countermeasures

XIE Ping<sup>1</sup>, XIA Jun<sup>1,2</sup>, DOU Ming<sup>1</sup>, ZHANG Wan-shun<sup>1</sup>

(1.State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University ,Wuhan 430072, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101,China)

**Abstract:** In order to evaluate the effects of the middle route of China's south-to-north water transfer project (MR-SNWTP) on water bloom in the middle-down stream of Hanjiang River, according to the analytical results about the reasons and key factors for Hanjiang's water bloom, the probability of Hanjiang's water bloom are analyzed qualitatively.The probability of Hanjiang's water bloom are calculated quantitatively by applying hydrodynamic model and dynamic model of eutrophication as well as stochastic analogy method,and the corresponding prevention countermeasures are provided.The results indicate that the probability of water bloom in Hanjiang River will increase when the  $145 \times 10^8 \text{m}^3$  scheme of MR-SNWTP is implemented,but building the diversion work from Yangtze River to Hanjiang River will markedly decrease the probability of water bloom in Hanjiang River.The water pollution control of Hanjiang River itself is the most fundamental measure to reduce the probability of Hanjiang's water bloom.The joint regulation of increasing discharge from Danjiangkou Reservoir and decreasing discharge from Sanxia Power Station during drought period will reduce the probability of Hanjiang's water bloom.

**Key words:** the middle route of China's south-to-north water transfer project; Hanjiang River; water bloom; effect; countermeasure; probability