

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200067

# 考虑生态补水目标的丹江口水库供水调度研究

彭安帮<sup>1,2</sup>, 马涛<sup>1,2</sup>, 刘九夫<sup>1,2</sup>, 黄对<sup>1,2</sup>, 郑锦涛<sup>1,2</sup>, 蒋文航<sup>1,2</sup>

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;  
2. 南京水利科学研究院 水文水资源研究所, 江苏 南京 210029)

**摘要:**利用丹江口水库弃水向南水北调中线受水区进行生态补水是缓解受水区尤其是华北地区地下水超采问题的重要途径。在保障原供水任务的基础上,确定水源区的生态补水启动条件、明确补水时机与补水量、以及揭示生态补水与其他目标间的响应关系,是发挥工程效益的关键问题。以水源区丹江口水库为研究对象,提出考虑生态补水规则的供水调度模型,明确多目标供水调度目标和边界条件;采用带精英策略的非支配排序的遗传算法(NSGA-II)获得调度方案集和最优生态补水调度线;进一步分析丹江口水库的生态补水规模、补水时机、以及与其他供水目标间的竞争与协同关系。结果表明,丹江口水库年均生态补水量达 $7.617 \times 10^8 \text{m}^3$ ,生态补水时机集中在汛前3~6月,生态补水分别与弃水均值、缺水率呈竞争关系,相关研究成果可为丹江口水库向南水北调中线实施生态补水决策提供一定参考。

**关键词:**供水调度;生态补水;丹江口水库;调度方案;调度规则;多目标优化

中图分类号:TV697

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2021)03-0082-06

## 0 引言

丹江口水库位于湖北省丹江口市,汉江干流与丹江支流汇合处下游约800m,控制流域面积 $9.52 \times 10^4 \text{km}^2$ ,坝址处多年平均径流量 $388 \times 10^8 \text{m}^3$ ,具有防洪、供水、发电、航运等综合利用效益,是南水北调中线的供水水源工程<sup>[1]</sup>。丹江口水利枢纽大坝加高后,水库正常蓄水位为170m、死水位150m、极限消落水位145m,最大调节库容 $190.5 \times 10^8 \text{m}^3$ ,为多年调节水库。水库的供水目标主要向汉江中下游、清泉沟、陶岔(以下简称“三方向”)供水,多年平均供水量分别为 $162.22 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $6.28 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $94.93 \times 10^8 \text{m}^3$ ,然而多年平均弃水量可达 $50 \times 10^8 \text{m}^3$ 。在保证原有供水目标的基础上,如何利用丹江口水库弃水向受水区进行生态补水,是提升调水工程综合效益的关键。

丹江口水库向受水区的生态补水作为兼顾目标,没有保证率或者保证程度概念,体现为“相机”补水。丹江口水库生态补水需要在保证原“三方向”供水的基础上,明确补水条件(包括水源来水蓄水情况、受水区供

用水情况、工况等)情况、何时启动生态补水、补水量是多少、以及生态补水对其他供水任务影响关系等。在中线规划设计阶段没有专门开展生态补水问题研究,后来学者们在生态补水调度方面取得了一些研究成果,如殷峻暹等<sup>[2]</sup>提出了包含水源区生态补水调度启动机制、受水区生态补水对象识别技术、中线干线生态补水调度分水机制三方面内容的中线生态补水调度技术框架。张丽丽<sup>[3]</sup>等基于风险分析和风险决策的基本原理,分析了不同调度策略下收益(农业及生态补水量)与风险(受水区城市缺水风险),确定了丹江口水库的农业及生态可补水量规模。靖立玲<sup>[4]</sup>等在分析丹江口水库入库径流变化趋势的基础上,构建了水库多目标优化调度模型,研究了丹江口水库在满足汉江中下游及北调城市供水的同时,向调水受水区进行生态补水的潜力。

随着华北地下水超采治理的需求日益迫切,自2017年起,水利部组织开展了南水北调中线工程生态补水探索,尤其是2018年4~6月实施了南水北调中线一期工程向受水区进行第一次大规模生态补水,累

收稿日期:2020-02-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51709177);国家重点研发计划资助项目(2017YFC0403501);中央级公益性科研院所基本科研业务项目(Y520009)

作者简介:彭安帮(1985—),男,湖北十堰人,高级工程师,主要研究方向为跨流域条件下水库群联合优化调度。E-mail: pengfei110ab@126.com

计补水超过  $20 \times 10^8 \text{m}^3$  [5-6], 沿线地下水位明显回升, 部分河流重现生机。因此, 如何科学制定水源区丹江口水库生态补水调度方案, 成为完善中线生态补水顶层设计、规划编制所亟需解决的关键问题。本文采用 1956 年 1 月~2017 年 12 月共 62a 设计来水、需水等长序列资料, 构建考虑生态补水目标的丹江口水库供水调度模型, 科学揭示水库生态补水条件、补水时机和补水量, 重点探讨生态补水与其他目标间的影响关系, 为制定丹江口水库向受水区生态补水决策提供依据。

## 1 丹江口水库供水调度模型

### 1.1 调度规则预设及调度方式

以 2016 年水利部批复的《丹江口水利枢纽调度规程(试行)》(水建管[2016]377 号)(以下简称“调度规程”)的供水调度规则和方式为基础(见图 1), 对原供水任务不产生明显影响的前提下, 考虑在加大供水区尽量多地向中线受水区进行生态补水, 设置相应的生态补水规则包括: ①在丹江口水库有弃水的情况下相机启动生态补水; ②以加大供水线 1 作为生态补水启动控制水位; ③在加大供水线 1 之上拟定生态补水控制线作为生态补水启动控制水位。规则①当丹江口水库有弃水时, 启动生态补水; 其他两类规则, 以当时段初水位处于或高于生态补水控制线时, 启动生态补水; 丹江口水库按加大流量 ( $420 \text{m}^3/\text{s}$ ) 的供水能力向受水区供水, 优先满足规划的受水区城市生活与工业需水后, 富余水量用于生态补水量。

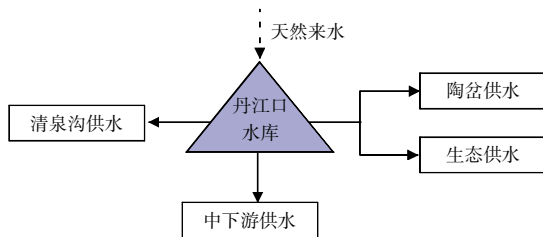


图 1 丹江口水库供水示意图

Fig.1 Water supply schematic diagram of Danjiangkou reservoir

### 1.2 供水调度模型

水库供水调度图是指导年或多年调节水库运行决策的重要工具, 根据水库历史径流统计资料和相应设计需水流量资料设计确定, 一般以时间为横坐标, 水库水位(或蓄水量)为纵坐标, 由控制供水方式的指导线划分出不同的供水调度区, 其数学描述可表示为:

$$Q_t = f(Z, T) \quad (1)$$

式中:  $Q_t$ 、 $Z$ 、 $T$  分别为供水流量、水位和相应时间。本文依据现有丹江口水库供水调度图形式、供水调度任务及原则, 尽可能满足“三方向”设计需水过程, 构建考虑生态补水的模拟优化调度模型。

#### 1.2.1 目标函数

丹江口水库调度实际上是一个多目标调度问题, 涉及发电、防洪、供水、生态等多个目标 [7-8]。其中, 供水调度中的防洪问题由防洪调度线进行控制, 汉江中下游供水包括了中下游的生产、生活、生态、航运用水需求。由于丹江口水库的调度原则是发电服从供水, 可结合向中下游下泄流量可作为发电流量, 因此目标设置中不再考虑水库供水调度对发电的影响。综上分析, 本文研究的丹江口水库供水调度旨在保证水库“三方向”设计需水的基础上, 尽量多地向汉江中下游、清泉沟、陶岔进行生态供水, 减少丹江口水库的弃水。同时, 综合考虑各供水目标关系, 设置生态补水量最大 ( $F_1$ )、“三方向”总缺水率最小 ( $F_2$ ) 和总弃水量最小 ( $F_3$ ) 三个目标函数:

$$F_1 = \max \sum_{t=1}^T Q_{st,t} \cdot \Delta t$$

$$F_2 = \min \left\{ \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^M \left( \frac{D_t^i - Q_t^i \cdot \Delta t}{D_{i,t}} \right)^k \right\} \quad (2)$$

$$F_3 = \min \sum_{t=1}^T Q_{su,t} \cdot \Delta t$$

式中:  $T$  为总调度时段数,  $t=1, 2, \dots, T$ ;  $M$  为“三方向”总供水目标数 ( $M=3$ );  $D_t^i$ 、 $Q_t^i$  分别为时段  $t$  供水目标  $i$  的设计需水量和实际供水流量;  $Q_{st,t}$  为时段  $t$  生态补水流量;  $Q_{su,t}$  为时段  $t$  水库弃水流量;  $k$  为反映缺水社会经济影响的指数, 取值为 2;  $\Delta t$  为供水时段的时间间隔。

#### 1.2.2 约束条件

##### (1) 水量平衡约束:

$$V_{t+1} = V_t + (I_t - \sum_{i=1}^{M+1} Q_{i,t} - Q_{su,t}) \cdot \Delta t \quad (3)$$

式中:  $V_t$ 、 $V_{t+1}$  分别为水库在  $t$  时段的初、末库容;  $I_t$ 、 $\sum Q_{i,t}$  表示水库在第  $t$  时段平均入、出库流量。

##### (2) 水库库容约束:

$$V_t^{\min} \leq V_t \leq V_t^{\max} \left( V_t^{\max} = \begin{cases} V_t^{\text{正常}} & \text{if } t \in \text{非汛期} \\ V_t^{\text{汛限}} & \text{if } t \in \text{汛期} \end{cases} \right) \quad (4)$$

式中:  $V_t^{\min}$  为水库在时段  $t$  的死水位对应库容;  $V_t^{\text{正常}}$  为

在非汛期正常蓄水位对应的水库库容;  $V_i^{\text{汛限}}$  为汛期防洪限制水位对应的水库库容。

(3) 下泄流量约束:

$$Q_i^{\min} \leq Q_{\text{Down},i} \leq Q_i^{\max} \quad (5)$$

式中:  $Q_{\text{Down},i}$  为向汉江中下游供水的下泄流量;  $Q_i^{\max}$ 、 $Q_i^{\min}$  分别为其流量最大、最小值, 由水库综合利用需求、下游河道行洪、航运、大坝泄流能力等确定。

(4) 陶盆渠首、清泉沟枢纽过流能力:

$$Q_{\text{QGC},i} \leq Q_{\text{QGC},i}^{\max}(z), Q_{\text{TC},i} + Q_{\text{ST},i} \leq Q_{\text{TC},i}^{\max}(z) \quad (6)$$

式中:  $Q_{\text{QGC},i}$  为清泉沟第  $t$  个时段的供水流量;  $Q_{\text{TC},i}$  为陶盆第  $t$  个时段的供水流量;  $Q_{\text{QGC},i}^{\max}(z)$ 、 $Q_{\text{TC},i}^{\max}(z)$  分别为清泉沟枢纽、陶盆渠首最大过流能力, 可通过清泉沟枢纽、陶盆渠首过流能力曲线查询。

(5) 用水户优先级约束。用水户的优先级约束表现在用水户供水限制线的位置上, 优先级越高的用水户供水限制线越低, 从而可以保证不同类型用水户的供水限制线不发生交叉。满足用水户优先级约束的过程实质是一个排序过程, 按照规则③生态补水预设规则, 若加大供水线 1 位置低于生态补水线时, 则交换位置, 以此类推, 直到所有用水户都满足优先级要求。

(6) 其他约束。包括汉江中下游、清泉沟、陶盆“三方向”设计需水满足度、非负约束等。

关于约束条件处理, 当水库蓄水量超过库容上限时产生弃水、“三方向”供水不满足保证要求或水库蓄水量小于死库容时通过罚函数的形式进行处理, 其他约束基本可以通过水量平衡模拟中进行直接处理。

### 1.3 调度求解

水库决策变量为水库供水量, 状态变量为水库蓄水量, 优化变量为调度参数。由于 1.1 节中规则①和②是以“调度规程”明确的供水调度图为基础, 仅采用模拟方法在满足约束条件下直接获取调度方案。而规则③则基于构建的目标函数和约束条件, 采用模拟-优化方法<sup>[9]</sup>求解最优生态调度线, 进而模拟获得调度方案。具体计算步骤: (1) 模拟模块, 根据时段初水库水位所处的调度区和调度规则, 进行调度模拟计算, 获得各目标函数值; (2) NSGA-II 优化模块, 依据模拟模块反馈的目标函数值, 优化调整生态补水调度线的位置, 将新生成的生态补水调度线反馈给模拟模块; (3) 重复步骤(1)~(2), 直到获得满意的生态补水调度线及调度方案。

## 2 调度方案及分析

### 2.1 调度方案

以 2016 年水利部批复的“调度规程”的供水调度规则和方式为基础, 采用 1956 年 1 月~2017 年 12 月共 62a 来水、“三方向”设计需水资料序列 (其中, 1999~2017 年需水序列由 1956~1998 年具有相似水文年的设计需水过程进行同倍比放大获得)、以及丹江口水库特征曲线等资料, 根据 3 种生态补水预设规则与调度方式进行模拟或优化计算, 调度计算时段为旬。由于本文供水调度重点关注生态补水目标, 因此, 尽量在满足原“三方向”供水任务的基础上, 重点探讨水库生态补水的影响及规律性。

从获得的多目标前沿解中选取各目标函数较为均衡的前沿最优解, 根据选取的最优解再进行调度模拟计算, 并进行特征值统计 (见表 1)。规则①完全按照原规划进行模拟计算, 利用水库弃水进行生态补水, 年均补水  $2.618 \times 10^8 \text{m}^3$ , 以此作为基准方案, 即生态补水对原“三方向”供水无影响的调度方案。规则②, 由于“三方向”供水按同一优先级设定, 所以生态补水与原“三方向”供水有一定竞争关系: 虽然生态补水量增大, 但明显降低了供水保证率, 并增加了水库供水低于死水位情况。规则③, 相比其他规则方案, 稍微牺牲“三方向”供水, 但可显著增加总供水和减少总弃水。

表1 不同规则下的丹江口水库供水调度方案 ( $10^8 \text{m}^3/\text{a}$ )

Table1 The water supply operation scheme of Danjiangkou Reservoir under different rules

| 调度规则 | 受水区供水  | 清泉沟供水 | 中下游供水   | 生态补水  | 总弃水    | 总供水     |
|------|--------|-------|---------|-------|--------|---------|
| 规则①  | 94.907 | 6.299 | 167.378 | 2.618 | 85.567 | 271.200 |
| 规则②  | 94.395 | 6.255 | 166.360 | 9.907 | 79.939 | 276.915 |
| 规则③  | 94.582 | 6.275 | 166.764 | 7.617 | 81.618 | 275.236 |

综上所述, 选用规则③进行进一步分析。依据现有丹江口水库供水调度图, 补充考虑生态补水目标的供水调度图如图 2 所示。可以看出, 生态补水调度线主要位于原加大供水线 2 和加大供水线 1 之间, 印证在保证规划的“三方向”供水的基础上, 利用水库富余水进行生态补水的合理性。

### 2.2 生态补水与其他供水目标关系

#### 2.2.1 与目标函数间关系

根据多目标前沿最优解分布情况, 分析弃水均

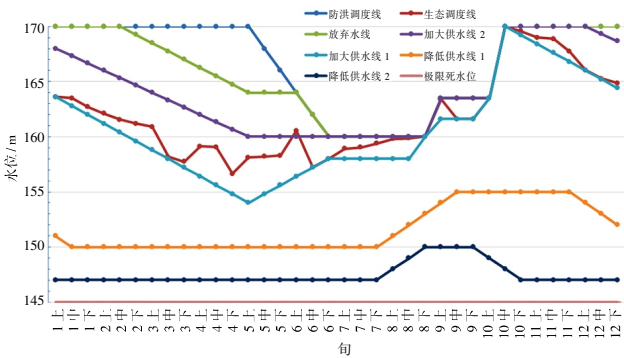


图2 考虑生态补水的丹江口水库供水调度图

Fig.2 The water supply operation graph with ecological water replenishment of Danjiangkou reservoir

值、总缺水率和生态补水目标函数间的协同竞争关系(见图3)。总体上,生态补水量越大,总缺水率越大(“三方向”供水减少),弃水量也减少。由于生态补水与陶岔引水共同受到管道引水能力限制,“三方向”供水与生态补水会存在一定的竞争关系,减少的弃水量与“三方向”供水量之和为生态补水增加量;生态补水量与总弃水量之间近乎线性关系,说明增加的生态补水量主要来源于水库弃水。

### 2.2.2 与“三方向”供水关系

生态补水与“三方向”总供水关系见图4。陶岔、清

泉沟、汉江中下游的三方向供水优先级一致,都表现为与生态补水间具有竞争关系,生态补水量挤占“三方向”供水。但在“三方向”供水减少相对较小的情况下,可以大幅度提高生态补水量。

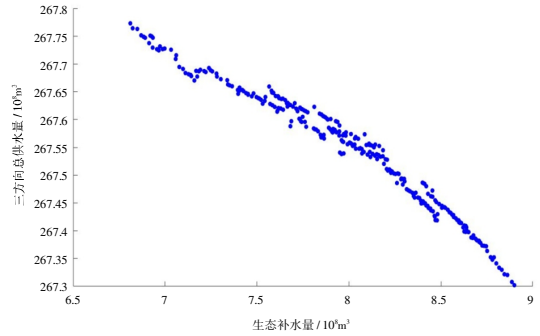


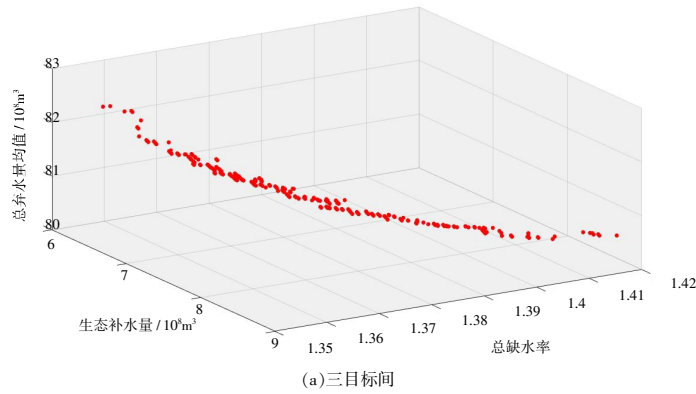
图4 生态补水与“三方向”总供水关系

Fig.4 Relations between ecological water replenishment and three-dimensional total water supply

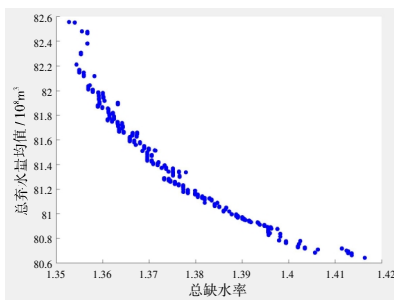
## 2.3 生态补水结果分析

### 2.3.1 年内生态补水分布

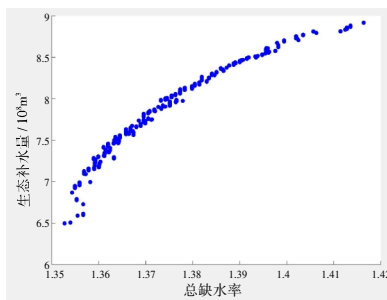
年内时段生态补水量的分布规律,见图5。生态供水主要集中在供水期,其中:①汛前3~6月,生态补水量较大,该时段增加生态供水,可以减少汛期弃水;②汛后10~12月,生态补水较少,该时段生态补水调度



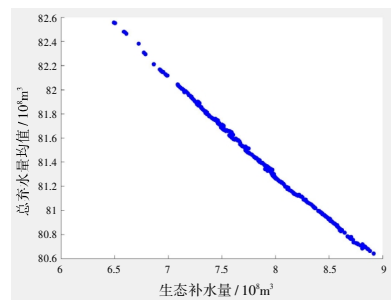
(a)三目标间



(b)总弃水量与总缺水率



(c)生态补水量与总缺水率



(d)总弃水量与生态补水量

图3 目标函数间的竞争协同关系

Fig.3 Competitive and collaborative relations in objective functions

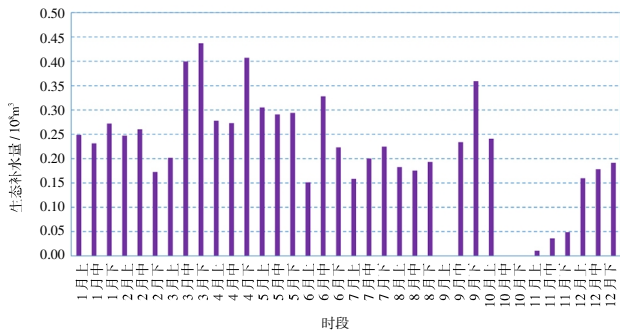


图5 年内时段生态补水量分布

Fig.5 Distribution of ecological water replenishment in a year

线较高,来水主要用于水库蓄水,减少除三方向供水外的其他供水;③其他时段中1~2月,生态补水量也相对较大,但是由于该时期输水区处于冰期且生态需水小,为降低北调供水风险,该时期可不进行生态补水。

### 2.3.2 年际生态补水分布

年际生态补水量的分布规律见图6。“三方向”供水年际间变化相对较为稳定;而来水与生态补水变化相对较大。其中,最大生态补水出现在1964年水文情景下,可进行生态补水 $24.653 \times 10^8 \text{m}^3$ ,2013~2016年枯水系列或枯水年的水文情景下无多余水供生态补水。这与水库在尽量满足“三方向”供水基础上才进行生态补水、以及生态补水主要来源于水库弃水有关。当来水较丰时,在汛期前充分利用水库蓄水开展生态补水,有利于水库提前腾空库容以减少水库在汛期发生弃水。

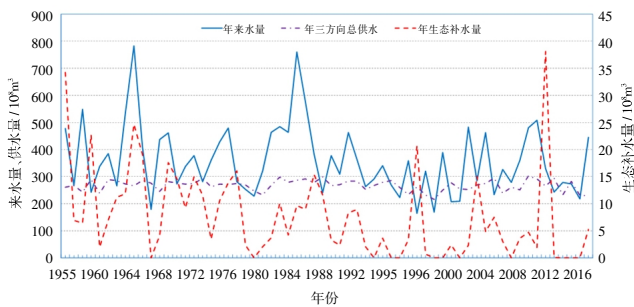


图6 年际生态补水量分布

Fig.6 Inter-annual ecological water replenishment distribution chart

## 3 结论与展望

(1)以2016年水利部批复的“调度规程”规定的供水调度规则和方式为基础,在明确生态补水规则和补水方式基础上,提出了考虑生态补水目标的供水调度

模型。

(2)丹江口水库年均生态补水可达 $7.617 \times 10^8 \text{m}^3$ ,生态补水分别与弃水均值和“三方向”总缺水率目标呈竞争关系,生态补水主要来自于减少的水库弃水。

(3)生态补水最佳时机主要集中在汛前3~6月,有利于减少汛期水库弃水;供水期1~2月,生态补水量也相对较大,但由于实际生态用水需求较小同时为了降低冰期北调供水风险,可不进行生态补水。

(4)结合丹江口水库调度实际和国家战略需求,有待进一步研究耦合供调水的丹江口水库调度规则,提升向受水区的生态补水空间,以及揭示不同来水、需水、水位等不确定性条件下的生态补水调度规律。

### 参考文献:

- [1] 左其亭,王妍,陶洁,等.南水北调中线水源区水文特征分析及其水资源适应性利用的思考[J].南水北调与水利科技,2018,16(4):42-49. (ZUO Qiting, WANG Yan, TAO Jie, et al. Hydrological characteristics and adaptive utilization of water resources in water source area of the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project [J]. South-to-North Water Transfer Project and Water Science & Technology, 2018,16(4):42-49. (in Chinese))
- [2] 殷峻暹,张丽丽,蒋云钟.南水北调中线生态补水技术框架[J].河海大学学报(自然科学版),2010,38(增刊2):67-69. (YIN Junxing, ZHANG Lili, JIANG Yunzhong. Technology framework of ecological water supplement in the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project [J]. Journal of University (Natural Sciences), 2010,38 (Supplement 2):67-69. (in Chinese))
- [3] 张丽丽,殷峻暹,蒋云钟.丹江口水库农业及生态可补水规模研究[J].水电能源科学,2012,30(2):24-27. (ZHANG Lili, YIN Junxing, JIANG Yunzhong. Scale of agricultural and ecological water supply of Danjiangkou reservoir [J]. Water Resources and Power, 2012,30(2):24-27. (in Chinese))
- [4] 靖立玲,张丽丽,殷峻暹,等.南水北调中线一期工程生态补水潜力研究[J].人民黄河,2012,34(8):59-61. (JING Liling, ZHANG Lili, YIN Junxing, et al. Study of latent capacity of ecological water supplement in the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project [J]. Yellow River, 2012,34(8):59-61. (in Chinese))
- [5] 刘远书,冯晓波,杨柠.对南水北调中线干线工程生态补水的初步思考[J].水利发展研究,2019(11):5-7. (LIU Yuanshu, FENG Xiaobo, YANG Ning. Preliminary thoughts on ecological water replenishment in the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project [J]. Water Resources Development Research, 2019(11):5-7. (in Chinese))
- [6] 范乃贤,闫俊.南水北调中线干线工程生态补水实践及供用水条件分析[J].西北水电,2019(3):1-7. (FAN Naixian, YAN Jun. The practice of ecological water replenishment and analysis of water supply condition in the Middle Route of South-to-North Water Diversion

- Project [J]. Northwest Hydropower, 2019(3):1-7. (in Chinese))
- [7] 杨光, 郭生练, 刘攀, 等. PA-DDS 算法在水库多目标优化调度中的应用[J]. 水利学报, 2016,47(6):789-797. (YANG Guang, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. PA-DDS algorithm for multi-objective reservoir operation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016,47(6):789-797. (in Chinese))
- [8] 张睿, 张利升, 饶光辉. 丹江口水利枢纽综合调度研究[J]. 人民长江, 2019,50(9):241-220. (ZHANG Rui, ZHANG Lisheng, Rao Guanghui. Integrated dispatching of Danjiangkou Hydro-complex [J]. Yangtze River, 2019,50(9):241-220. (in Chinese))
- [9] Peng A, Peng Y, Zhou H, et al. Multi-reservoir joint operating rule in inter-basin water transfer-supply project [J]. Science China Technological Sciences, 2015,58(1):123-137.

## Study on Water Supply Scheduling of Danjiangkou Reservoir Considering Ecological Replenishment Objective

PENG Anbang<sup>1,2</sup>, MA Tao<sup>1,2</sup>, LIU Jiufu<sup>1,2</sup>, HUANG Dui<sup>1,2</sup>, ZHENG Jintao<sup>1,2</sup>, JIANG Wenhong<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** With the construction of ecological civilization and the effective implementation of underground water pressure and mining strategy in north China, ecological water supplement from Danjiangkou reservoir to the north intake area is the fundamental way to alleviate the problem of groundwater over-exploitation in North China. On the basis of ensuring the original water-supply objectives, how to establish the starting conditions of ecological water supplement, clarify the timing of ecological water supplement and the amount of ecological water supplement, and clarify the relationship between ecological water supplement and other water use targets are important research topics with promoting the engineering benefits. This paper took Danjiangkou reservoir in the water source area as a case study, developed the ecological water supplement scheduling model based on the ecological water supplement regulation, and clarified the multi-objective ecological operation objectives and boundary conditions. The NSGA-II optimization algorithm was used to obtain the ecological water supplement scheduling schemes and the optimal dispatching line of the ecological water supplement. The results show that the mean ecological water supplement in Danjiangkou reservoir is  $7.617 \times 10^8 \text{ m}^3$ , the timing of ecological water supplement is mainly distributed from March to June before flood season, and the ecological water supplement is in competitive relationship with the targets of the mean abandoned water and water shortage rate. This study could provide references for the operation decision-makings and planning managements of ecological water supplement in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project.

**Key words:** water supply scheduling; ecological water supplement; Danjiangkou reservoir; scheduling scheme; scheduling rule; multi-objective optimization

(上接第 43 页)

**Abstracts:** Fog precipitation is of great ecological significance to the mountain forest ecosystem and agroecosystem, and the stable isotope method is efficient in tracing the eco-hydrological process of fog water. Due to the difficulties in collecting and measuring fog water, there are few studies on the influence of environmental factors on the stable isotopes in fog water. In order to strengthen the understanding of the stable isotope changes in fog water and its influencing factors, this paper analyzed the stable isotope composition and environmental factors of 40 samples collected in Hani rice terrace during January-April in 2016. The results show that: (1) The temporal and spatial variation of stable isotope values of fog water are mainly affected by the water vapor sources and local environmental conditions. (2) There are two different sources of water vapor, including external and local ones. (3) The three environmental factors of temperature, dew point temperature and relative humidity have significant correlations with the stable isotope values of fog water, and also are the key factors affecting the stable isotope variation of fog water. (4) Globally, it is still lack of systematic research on the moisture sources of fog water and its effects on the stable isotope values of fog water. However, the existing fog water studies could be summarized in two characteristics: the range of stable isotope values of fog water from the same moisture source is relatively close; and the stable isotope values of fog water in inland areas are more positive than that in coastal areas.

**Key words:** fog precipitation; hydrogen and oxygen stable isotopes; environmental factors; water vapor source