

沭水东调工程跨流域水库群联合供水研究

彭 慧, 李光吉, 李维硕, 王 华, 郑姝卉

(山东省水利勘测设计院, 济南 250013)

摘要: 在分析日照市沭水东调工程特点的基础上, 以城市供水量最大、水库弃水量最小为目标建立了多目标跨流域水库群联合供水调度模型。同时, 将遗传算法嵌套于长系列变动时历法中, 对工程涉及的沭河流域青峰岭、小仕阳、峽山水库以及傅疃河流域日照水库进行联合供水调算, 探讨沭河流域各水库的可调限制库容和日照水库需水动态限制库容等调水指标。结果表明, 水库群联合供水较各水库单独供水可增加利用沭河水量 939 万 m^3 , 反映了水库群联合调度有助于充分挖掘沭河流域各水库的供水潜力, 对解决日照市区供水缺口十分有利。

关键词: 跨流域水库群; 联合供水调度; 调出区水库可调限制库容; 调入区水库需水动态限制库容; 大系统分析协调原理; 遗传算法

中图分类号: TV 697.12 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2013)06-0025-05

Research on Joint Water Supply of Multi-Reservoirs of Water Diversion Project from Shuhe River Basin to Futuanhe River Basin

PENG Hui, LI Guang ji, LI Wei shuo, WANG Hua, ZHENG Shu hui

(Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy, Ji nan 250013, China)

Abstract: The joint water supply regulation model of multi reservoirs of the water diversion project from the Shuhe River Basin to Futuanhe River Basin was proposed according to the characteristics of the project. The model was based on two objectives including the maximum urban water supply and minimum surplus water. The model was solved using the Genetic Algorithm and the long series time series method, and it was then used to determine the joint water supply of the Qingfengling, Xiaoshiyang, and Qiaoshan reservoirs in the Shuhe River Basin and Rizhao reservoir in the Futuanhe River Basin, which can provide the allowable limit reservoir storage of each reservoir in the Shuhe River Basin and dynamic water requirement limit of Rizhao reservoir in the Futuanhe River Basin. The results showed that the joint water supply regulation of multi reservoirs can increase the water supply volume of 939 million cubic meters in the Shuhe River Basin compared with the water supply regulation of single reservoir, which suggested that the joint water supply regulation can improve the water supply potential of each reservoir in the Shuhe River Basin and therefore solve water shortage problem in the urban area of Rizhao.

Key words: multi reservoirs of water diversion project from Shuhe River Basin to Futuanhe River Basin; joint water supply regulation; allowable limit storage capacity of reservoir in the outer basin; dynamic limit storage capacity of reservoir in the inner basin; decomposition and coordination principle of a large system; genetic algorithm

日照市水资源与生产力要素的空间分布不协调问题越来越突出: 西北部沭河流域莒县水资源丰富、开发条件好而利用率相对不高, 东南部傅疃河流域市区企业密集, 经济发达, 城市供水能力却严重不足。这构成了市域范围内跨流域调水、丰歉互济的自然条件, 为此日照市提出了沭水东调工程。该工程涉及调出区及调入区 4 个水库, 由于不同流域来水的丰枯过程和各水库调节性能均有不同, 因此本文拟对沭

水东调工程相关的水库群联合供水优化进行研究, 以确定供给日照市区的最大城市供水能力, 增加有效供水量。

1 沭水东调工程概况

日照市沭水东调工程是连通境内沭河、傅疃河两大水系的水资源优化配置工程, 工程线路全长 88.02 km。工程基本任务是将沭河流域青峰岭水库、小仕阳水库、峽山水库和

收稿日期: 2013-03-29 修回日期: 2013-05-15 网络出版时间: 2013-10-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20131010.1029.032.html>

基金项目: 山东省重大水利科研与技术推广项目(201218); 山东省科技发展计划(2011GGH21606)

作者简介: 彭 慧(1981-), 女, 山东新泰人, 工程师, 博士, 从事水文水资源研究。E-mail: penghui05@163.com

沭河河道雨洪资源通过工程措施调至傅疃河流域的日照水库,经日照水库调蓄后向日照市区供水。本工程所涉及水库群构成方式示意图见图 1,由该图可看出该水库群为混联式水库群,水力关系十分复杂。

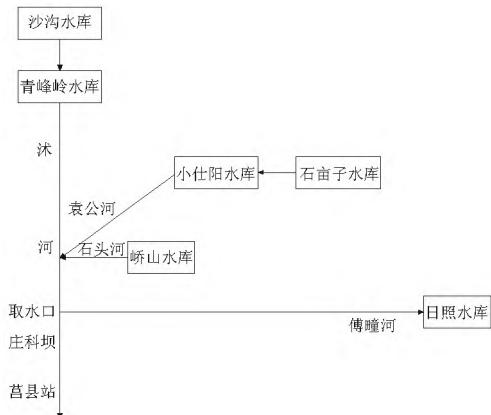


图 1 跨流域水库群联合供水调度示意图

Fig. 1 Schematic diagram of joint water supply regulation in multiple reservoirs

2 水资源供需平衡分析

沭水东调工程取水水源位于沭河流域莒县境内,用水户位于傅疃河流域的日照市区。为分析取水的可行性,以及调水的紧迫性,首先对调出区莒县以及受水区日照市区进行现状年及规划 2015 年、2020 年水资源供需平衡分析。

2.1 调出区水资源供需平衡分析

莒县现状年供需水量基本达平衡。50% 保证率时,规划 2015 年、2020 年余水量分别为 4 223 万 m^3 、4 791 万 m^3 ,75% 保证率时,规划 2015 年、2020 年余水量分别为 41 万 m^3 、442 万 m^3 ,但 95% 保证率时,规划 2015 年、2020 年缺水水量分别为 594 万 m^3 、193 万 m^3 ,存在小部分缺水,主要是农田灌溉缺水。

2.2 调入区水资源供需平衡分析

沭水东调工程供水范围为市区的东港区、岚山区、日照开发区以及山海天旅游度假区。2011 年日照市区生活与工业用水量 15 761 万 m^3 ,现有水利工程可供水总量 13 657 万 m^3 ,年缺水 2 104 万 m^3 。市区 2015 年总需水量为 20 087 万 m^3 ,可供水量为 14 491 万 m^3 ,日缺水为 15 3 万 m^3/d ;市区 2020 年总需水量为 32 953 万 m^3 ,可供水量为 27 448 万 m^3 ,日缺水为 15 1 万 m^3/d 。

综上,莒县水资源比较丰富,而日照市区缺水相当严重,实施沭水东调工程合理可行且十分迫切。

3 跨流域水库群联合供水调度方式

根据大系统分解协调原理^[1-2],将沭水东调工程水资源系统分解为调出区沭河流域以及调入区傅疃河流域,并确定沭水东调工程水库群联合供水调度方式为:调入区日照水库在调蓄本流域来水后无弃水,调出区沭河流域在满足自身用户用水要求后仍有余水,二者同时满足的情况下实施跨流域调水,具体如下。

3.1 沭河流域

为保证沭河流域下游河道基本生态用水及农灌用水量的要求,对青峰岭、小仕阳、峽山水库分别设定调出区水库可凋限制库容 V_{out} (即本流域供水防破坏库容)^[3];当水库库容大于可调水量限制库容 V_{out} 时,则 $(V_{\text{兴利}} - V_{\text{out}})$ 水量可以调出,否则不调水。若某调算时段有水可调出,但是日照水库不需要或不能完全调蓄该水量时,则该水量仍留蓄在原库中。

3.2 傅疃河流域

日照水库在调蓄本流域来水后无弃水,且沭河流域有水可调出时,则实施跨流域调水。同时,为防止调水量过大而在未来时段内弃掉,对调入区水库全年 12 个月份设定调入区水库需调水动态限制库容, $V_{m, \text{in}}, m=1, 2, \dots, 12$, 即当库容低于该限制库容时可实施调水,否则不调水。日照水库可调蓄的调水量为 $(V_{m, \text{in}} - V_{\text{上时段末}})$ 。

3.3 供水源调度次序

考虑到沭河取水口下游 2 3 km 处为庄科拦河坝蓄水工程,庄科拦河坝下游亦有多多个用水户,河道内取水的不确定性因素较多。因此,本次确定首先调用青峰岭、小仕阳、峽山水库的富余兴利水,不足时再由河道内雨洪水资源适时补给。

对于 3 处水库水源供水次序的确定,考虑到青峰岭水库的兴利库容最大,其可调出的水量最大;峽山水库的兴利库容最小,其可调出水量最小;由此拟定首先调用青峰岭水库的水量、其次调用小仕阳水库的水量,最后调用峽山水库的水量。

综上,沭水东调工程供水源调度次序依次为:青峰岭、小仕阳、峽山水库、区间洪水。

4 跨流域水库群联合供水优化调算方法

水库群联合供水调算总思路是:确定调出区流域青峰岭、小仕阳、峽山水库的生态供水限制库容、农灌限制库容、可调限制库容,以及日照水库的城市供水限制库容、生态供水限制库容、农灌限制库容、需调水限制库容以后,采用长系列变动时历法进行调算,最终确定供给日照市区的最大供水能力。

4.1 调出区水库可调限制库容的确定

为满足供水保证率要求,在进行水库调节计算时,一般分别设定农业供水、生态供水以及城市供水限制库容。通常,若水库库容高于农业限制库容则可满足所有 3 个用水户的供水要求。因此,对调出区水库而言,若水库库容高于农业限制库容则可实施跨流域调水,农业限制库容即为调出区水库可调限制库容 V_{out} 。

4.2 调入区水库需调水动态限制库容的确定

对调入区水库来说,调入水量多,则城市供水能力大,但是水库弃水量也多;调入水量少,水库弃水量少,但是城市供水能力也小。本文以全年 12 个月份的调入区水库需调水动态限制库容 $V_{m, \text{in}}, m=1, 2, \dots, 12$ 为决策变量,以城市供水能力最大、水库弃水量最小为目标,建立多目标跨流域水库群联合供水调度模型^[4-10],模型构建如下。

(1) 目标函数。目标 1, 城市日供水能力最大:

$$f_1 = \max D U_t \quad (1)$$

目标 2, 水库多年平均弃水量最小:

$$f_2 = \min \sum_{t=1}^T \frac{q_{s,t}}{T} \quad (2)$$

(2) 约束条件。水量平衡约束 1:

$$V_{t+1} = V_t + Q_{in,t} + Q_t - SA_t - SE_t - SU_t - q_{s,t} \quad (3)$$

调水量约束 2:

$$Q_t \leq Q_{max} \quad (4)$$

水库库容约束 3:

$$V_{min} \leq V_t \leq V_{max} \quad (5)$$

式中: Q_t 为第 t 时段调水量; V_t 为第 t 时刻水库库容; V_{t+1} 为第 $t+1$ 时刻水库库容; $Q_{in,t}$ 为第 t 时段入库水量; SA_t 为第 t 时段农业供水量; SE_t 为第 t 时段生态供水量; SU_t 为第 t 时段城市供水量; $q_{s,t}$ 为第 t 时段弃水量; Q_{max} 为调水工程的最大调水规模; V_{min} 为水库死库容; V_{max} 为水库兴利库容。

(3) 求解方法。首先利用线性加权和方法将其转化为单目标优化问题, 然后采用遗传算法求解全年 12 个月份的调入区水库需调水动态限制库容。 $V_{m,i}$, $m = 1, 2, \dots, 12$ 。

4.3 跨流域水库群联合供水调算算法

采用将遗传算法嵌套于长系列变动时历法中的算法进行联合供水调算步骤如下。

(1) 输入初值: 各水库的来水量、用户需水量、沭水东调

工程的最大日供水量以及各限制库容初值, 包括日照水库需调水、生态补水、城市供水、农灌供水限制库容; 青峰岭水库可调限制库容、生态补水、农灌供水限制库容; 小仕阳水库可调限制库容、生态补水、农灌供水限制库容; 峽山水库可调限制库容、生态补水、农灌供水限制库容。

(2) 计算日照水库可调蓄的调水量 X_5 , 青峰岭、小仕阳、峽山水库坝下的可调出水量, 以及区间雨洪水可调出的水量。

(3) 考虑损失后, 计算青峰岭、小仕阳、峽山水库、区间雨洪水资源入日照水库的可调出水量 X_1, X_2, X_3, X_4 。

(4) 若青峰岭水库调出水量 $X_1 > X_5$, 则该时段调算结束, 余水量 $(X_1 - X_5)$ 考虑损失后返回青峰岭水库继续参与下时段调节计算; 否则, 继续调用小仕阳水库水量, 若 $X_1 + X_2 > X_5$, 则该时段调算结束, 余水量 $(X_1 + X_2 - X_5)$ 考虑损失后返回小仕阳水库继续参与下时段调节计算; 否则, 继续调用峽山水库水量, 若 $X_1 + X_2 + X_3 > X_5$, 则该时段调算结束, 余水量 $(X_1 + X_2 + X_3 - X_5)$ 考虑损失后返回峽山水库继续参与下时段调节计算; 否则, 继续调用区间洪水量, 若 $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 > X_5$, 则该时段调算结束。

(5) 所有月份的调算结束后, 统计各水库用户的保证率, 若不满足要求, 则修改各限制库容初值, 继续迭代计算直至满足保证率要求。统计多年平均出沭河水量、沭水东调工程的日供水量、日照水库用水户缺水量等指标。沭水东调工程水库群联合供水调算算法流程见图 2。

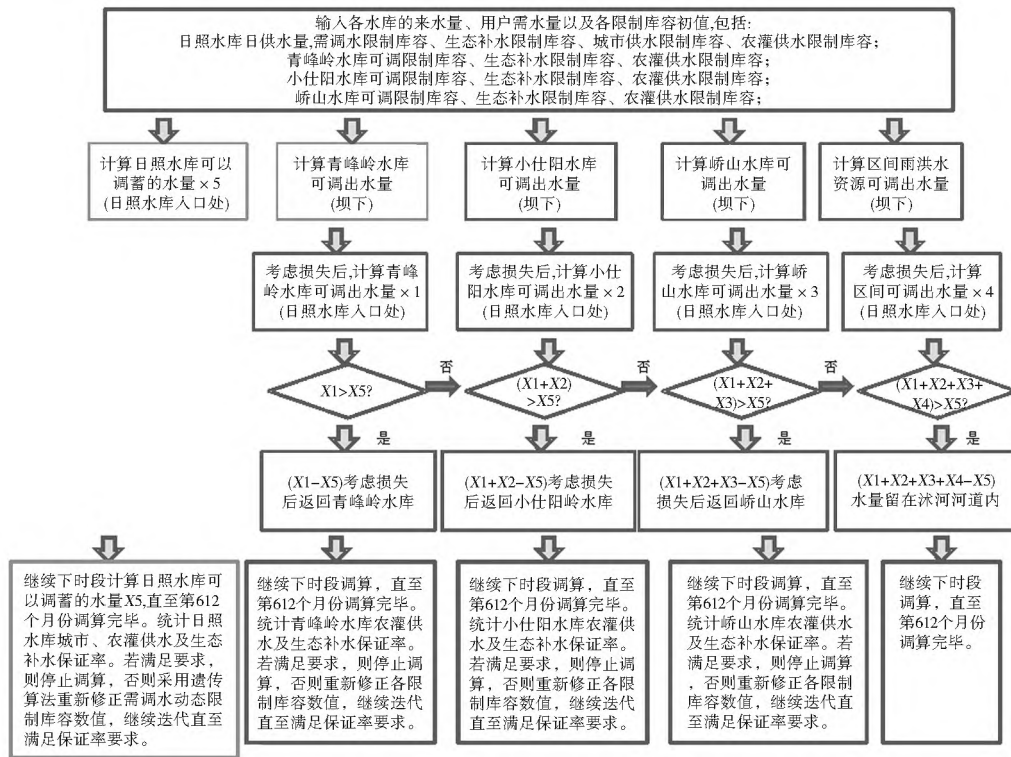


图 2 沭水东调水库群联合供水调算算法流程

Fig. 2 Algorithm flowchart of joint water supply regulation in the multiple reservoirs of the water diversion project from the Shuhe River Basin to Futuanhe River Basin

5 沭水东调水库群联合供水量计算

5.1 联合供水调算方案

4 座水库来水系列分别采用 1956 年- 2007 年现状工程

条件下的来水系列。非汛期以月作为调算时段, 汛期的 7 月- 9 月由以旬为计算时段。4 座水库的来水系列及用水户需水量见表 1。输水隧洞最大输水规模为 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据调入区水资源供需平衡分析成果知, 2015 年、2020 年城区缺水量分

别达 15 3 万 m³/d、15 1 万 m³/d, 因此沭水东调工程供水目标即为 15 3 万 m³/d。

表 1 沭水东调工程所涉及 4 座水库来水系列及用水户需水量

Table 1 The runoff and water demand in four reservoirs of the water diversion project from the Shuhe River Basin to Futuanhe River Basin

水库名称	多年平均 来水量 /万 m ³	下游河道 生态补水 量/万 m ³	农灌需 水量 /万 m ³	城市 缺水量 /(万 m ³ ·d ⁻¹)
青峰岭水库	11 200	1 640	3404	0
小仕阳水库	6 732	825	1 083	0
峽山水库	1 830	252	747	0
日照水库	15 896	1 751	607	2015 年 15.3 万 m ³ /d 2020 年 15.1 万 m ³ /d

根据水库群联合供水调算原则及调算方法, 采用 MATLAB 7.1 软件编程计算, 调算方案见表 2。由表 2 知, 在充分考虑调出区沭河流域水源下游河道生态用水及用户的情况下, 规划年多年平均从各水库及区间调水量 6 597 万 m³, 多年平均自沭河引水闸调水量 5 614 万 m³; 通过日照水库调蓄后, 可向日照市区生活及工业日供水 14.84 万 m³ (P=95%), 多年平均弃水量 3 845 万 m³。其中, 青峰岭水库多年平均调出水量 4 272 万 m³; 多年平均向下游河道生态补水量 1 532 万 m³; 多年平均向灌区供水量 1 979 万 m³ (供水保证率 50%)。小仕阳水库多年平均调出水量 1 340 万 m³; 多年平均向下游河道生态补水量 788 万 m³; 多年平均向灌区供水量 706 万 m³ (供水保证率 50%)。峽山水库多年平均调出水量 370 万 m³; 多年平均向下游河道生态补水量 248 万 m³; 多年平均向灌区供水量 571 万 m³ (供水保证率 50%)。沭河区间在预留下游生态与拦河闸坝用水的基础上, 取水口处多年平均调出雨洪水资源量 474 万 m³。

表 2 沭水东调水库群联合供水调算成果

Table 2 The results of joint water supply regulation in the multiple reservoirs of the water diversion project from the Shuhe River Basin to Futuanhe River Basin

节点	水库可调 限制库容 /万 m ³	多年平均调出水量/万 m ³		
		出库 (坝下)	出沭河 引水闸	入日照 水库
调出区				
沭河	青峰岭水库	2 400	4 272	3 684
流域	小仕阳水库	2 000	1 340	1 106
	峽山水库	1 500	370	351
	区间雨洪水	-	615	474
	合计	-	6 597	5 053

5.2 结果分析

为作对比分析, 本次又进行了青峰岭、小仕阳、峽山水库单独供水时的可调出水量调算。经调算, 青峰岭、小仕阳、峽山水库坝下多年平均可调出水量分别为 4 069 万 m³、1 287 万 m³、302 万 m³, 总计 5 658 万 m³。水库群联合供水与其相比, 多年平均可增加利用沭河水量(水库坝下节点) 939 万 m³。这说明进行水库群联合供水能进一步挖掘沭河流域各水库的供水潜力, 对解决日照市区供水缺口十分有利。水库群联合供水与水库单独供水比较成果见表 3。

表 3 沭水东调水库群联合供水调算与单独调算成果对比

Table 3 Comparison of joint water supply regulation and single water supply regulation of the water diversion project from the Shuhe River Basin to Futuanhe River Basin

多年平均调出水量 (水库坝下节点)	联合供水	单独供水	增加利用 沭河水量
青峰岭水库 / 万 m ³	4 272	4 069	203
小仕阳水库 / 万 m ³	1 340	1 287	53
峽山水库 / 万 m ³	370	302	68
合计	6 597	5 658	939

6 结论

(1) 沭水东调工程是解决日照市水资源空间分布不均匀问题的重要工程措施, 同时对调出流域及调入区流域水库群进行联合供水调度, 可充分挖掘利用沭河流域的丰富雨洪水资源, 增加傅疃河流域的可供水量。

(2) 通过对沭河流域水库设定可调限制库容, 傅疃河流域水库设定需调水动态限制库容, 即可充分保障沭河流域各用水户的用水需求, 又可避免沭河水资源被调入日照水库后弃掉, 不会造成水资源浪费。

(3) 青峰岭水库、小仕阳水库、峽山水库及日照水库 4 座水库联合供水较青峰岭、小仕阳及峽山水库单独供水可增加利用沭河水量 939 万 m³。这表明水库群联合调度较单库调度更能进一步挖掘沭河流域各水库的供水潜力, 对解决日照市区供水缺口十分有利。经论证分析, 沭水东调供水源中利用雨洪水资源量比例为 69%, 利用水库富余兴利水量比例为 31%。

值得说明的是, 跨流域调水工程调度系统是一个复杂的系统工程, 本文主要针对规划设计阶段中跨流域库群联合供水调度有关问题进行系统研究, 下一步需重点研究实时调度阶段考虑降雨预报信息的跨流域水库群联合调度及其风险分析问题。

参考文献(References):

- [1] 冯尚友. 水资源持续利用与管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000. (FENG Shang you. Water Resources Management[M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)).
- [2] 杨侃, 刘云波. 基于多目标分析的库群系统分解协调宏观决策方法研究[J]. 水科学进展, 2001, 12(2): 232-236. (YANG Kan, LIU Yun bo. System Decomposition Coordination Macro Decision Method for Reservoirs Based on Multi-Objective Analysis[J]. Advances in Water Science, 2001, 12(2): 232-236. (in Chinese)).
- [3] 周芬. 台州市跨流域调水工程联合供水调度研究[J]. 浙江水利水电专科学校院报, 2008, 20(2): 44-48. (ZHOU Fen. Joint Water Supply Dispatching of Inter-basin Diversion Project in Taizhou[J]. Journal of Zhejiang Water Conservation & Hydraulics College, 2008, 20(2): 44-48. (in Chinese)).
- [4] 唐焕文, 秦学志. 实用最优化方法[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2004. (TANG Huan wen, QIN Xue zhi. Practical Methods of Optimization[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2004. (in Chinese)).

- [5] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002. (WANG Xiaoping, CAO Liming. Theory, Application and Software of Genetic Algorithm [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002. (in Chinese)).
- [6] 刘卫林, 董增川, 王德智. 混合智能算法及其在供水水库群优化调度中的应用[J]. 水利学报, 2007, 38, (12): 1437-1443. (LIU Weilin, DONG Zengchuan, WANG Dezhi. Hybrid Intelligent Algorithm and its Application in Dispatch Optimization for Water Supply Reservoir Group[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(12): 1437-1443. (in Chinese))
- [7] 戴力, 钟平安, 万新宇, 等. 流域防洪体系联合调度整体模拟系统开发及应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 54-57. (DAI Li, ZHONG Ping'an, WAN Xin'yu, et al. Developing and Application of Simulation System of Joint Operation of River Basin Flood Control System[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 54-57. (in Chinese))
- [8] Maja Schluter, Andre G. Savitsky, Daene C. McKinney, Helmut Lieth. Optimizing Long term Water Allocation in the Amudarya River Delta: A Water Management Model for Ecological Impact Assessment [J]. Environmental Modelling & Software, 2005, (20): 529-545.
- [9] 冯尚友. 水资源持续利用与管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000. (FENG Shangyou. Water Resources Management [M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)).
- [10] Singh V P. The use of Entropy in Hydrology and Water Resources [J]. Hydrological Processes, 1997, (11): 587-626.
- [11] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. (CHEN Shouyu. Fuzzy Sets Theory and Application [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1998. (in Chinese))
- [12] 游进军, 王忠静, 甘泓, 等. 国内跨流域调水配置方法研究现状与展望[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(3): F4. (YOU Jijun, WANG Zhongjing, GAN Hong, et al. Current Status and Prospect of Study in China on Water Allocation of Inter Basin Diversion Projects [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(3): F4. (in Chinese))
- [14] 刘攀, 郭生练, 李玮, 等. 遗传算法在水库调度中的应用综述[J]. 水利水电科技进展, 2006, (4): 931-948. (LIU Pan, GUO Shenglian, LI Wei. Application of Genetic Algorithm to Reservoir Operation [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, (4): 931-948. (in Chinese))
- [15] 金菊良, 丁晶. 水资源系统工程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2002. (JIN Jiliang, DING Jing. Water Resources System [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2002. (in Chinese))

(上接第4页)

- [6] 邹连文, 陈干琴, 王娟, 等. 山东省年降水量系列代表性及多年变化的初步分析[J]. 水文, 2005, (6): 58-61. (ZOU Lianwen, CHEN Ganqin, WANG Jun, et al. Representative and Annual Precipitation Series in Shandong Province for Years to Change a Preliminary Analysis [J]. Hydrology, 2005, (6): 58-61. (in Chinese))
- [7] 丁爱中, 赵银军, 郝弟, 等. 永定河流域径流变化特征及影响因素分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(2): 17-22. (DING Aizhong, ZHAO Yijun, HAO Di, et al. Analysis of Variation Characteristics of Runoff and Their Influencing Factors in the Yongding River Basin [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(2): 17-22. (in Chinese))
- [8] 梁文章, 孙玉华, 孙宝杰. 辽西北地区水资源量趋势分析[J]. 东北水利水电, 2011, (2): 37-38. (LIANG Weizhang, SUN Yuhua, SUN Baojie. Trend Analysis of Water Resource in Liaoning Northwest [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2011, (2): 37-38. (in Chinese))
- [9] 郭志辉. 松辽流域水资源综合评价及水资源演变规律研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2011. (GUO Zhihui. Comprehensive Evaluation and Evolution Trend of Water Resource in Songliao Basin [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2011. (in Chinese))
- [10] 徐凤琴. 沈阳地区水资源总量及用水情况分析[J]. 东北水利水电, 2002, (7): 36. (XU Fengqin. Analysis of Water Resources and Water Use in Shenyang [J]. Water Resource & Hydropower of Northeast China, 2002, (7): 36. (in Chinese))
- [11] 罗新正, 郭献军. 人类干扰与海河流域水环境衰退[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, (5): 14-18. (LUO Xinzheng, GUO Xianjun. Man's Disturbance and Contabescence of Water Environment in Haihe Valley [J]. China Population, Resources and Environment, 2004, (5): 14-18. (in Chinese))
- [12] 贾德序. 海河流域山区的地貌土壤和植被[J]. 海河水利, 1992, (4): 58-62. (JIA Dexu. Mountainous Topography and Vegetation Soil in Haihe Basin [J]. Haihe Water Resources, 1992, (4): 58-62. (in Chinese))
- [13] 郑永路, 钟平安, 万新宇, 等. 淮河流域主汛期极端降水时空特征变异分析[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(5): 14-18. (ZHENG Yonglu, ZHONG Ping'an, WANG Xin'yu, et al. Analysis of Spatial and Temporal Variations of Extreme Precipitation in Huaihe River Basin during the Main Flood Season [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004, 2(5): 14-18. (in Chinese))
- [14] 仕玉治. 气候变化及人类活动对流域水资源的影响及实例研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011. (SHI Yuzhi. The Influence of Climate Change and Human Activites on Basin Water Resources and Cass Study [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011. (in Chinese))
- [15] 刘昌明, 刘小莽, 郑红星. 气候变化对水文水资源影响问题的探讨[J]. 科学对社会的影响, 2008, (2): 21-27. (LIU Changming, LIU Xiaomang, ZHENG Hongxing. The Discuss of the Impact Issues in Climate Change on Hydrology and Water Resources [J]. Impact of Science on Society, 2008, (5): 21-27. (in Chinese))