

杨芬, 王萍, 黄大英, 等. 基于调配管理的北京市多水源水量联合调度研究[J]. 水利水电技术, 2020, 51(1): 70-76.

YANG Fen, WANG Ping, HUANG Daying, et al. Study on allocation management-based joint multi-water source dispatch and management in Beijing[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(1): 70-76.

基于调配管理的北京市多水源水量联合调度研究

杨芬¹, 王萍¹, 黄大英¹, 游进军², 马真臻²

(1. 北京市水利规划设计研究院, 北京 100048;

2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: 针对北京市复杂供水系统多水源联合调配与管理, 依据最严格水资源管理制度, 在规划用水总量控制红线和用水效率控制红线管控下, 充分考虑水行政主管部门调配管理目标与约束, 绘制了基于水源-工程-单位(水管系统)-用户的多维嵌套北京市供水网络拓扑结构, 建立了北京市多水源联合调度模拟模型, 实现了用水管控、水源配置、水量调度统筹的多水源联合调度。计算结果表明: 2019年全市用水管控39.6亿 m^3 , 考虑输水损失和干流补水后, 由本地新水供水20.3亿 m^3 , 利用再生水11.5亿 m^3 , 调用南水北调水9.7亿 m^3 ; 在现状工程条件下, 为满足城市生活与工业用水和城区重点区域河湖基本生态需求, 可充分调配南水北调水约9~10亿 m^3 ; 通过加大调水可进一步恢复本地水源储备和改善河湖生态环境。研究成果可为水行政主管部门开展日常水量调配工作提供技术支撑。

关键词: 多水源联合调度; 水量损失; 南水北调; 最严格水资源管理制度; 网络拓扑结构; 供水安全; 用水管控; 水资源

doi: 10.13928/j.cnki.wrahe.2020.01.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-0860(2020)08-0070-07



Study on allocation management-based joint multi-water source dispatch and management in Beijing

YANG Fen¹, WANG Ping¹, HUANG Daying¹, YOU Jinjun², MA Zhenzhen²

(1. Beijing Institute of Water, Beijing 100048, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Aiming at the joint multi-water source dispatch and management of the complicated water supply system in Beijing, the dispatch and management target and constraint of the water administrative department are fully considered under the control of both the control red-line of the planned total water consumption and the control red-line of water-use efficiency based on the most stringent water resources management system, and then the water source-project-unit (water management system)-user-based multi-dimensional nesting network topological structure for the water supply in Beijing is drawn and the model for simulating the joint multi-water source dispatch in Beijing is established, thus the joint multi-water source dispatch is realized through planning

收稿日期: 2018-09-25

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0407705, 2017YFC0404405); 国家自然科学基金项目(71774172, 71573274, 51609261)

作者简介: 杨芬(1982—), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事水文学水资源研究。E-mail: thuyangf@126.com

通信作者: 游进军(1977—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水文学及水资源方面研究。E-mail: youjj@iwhr.com

water-use control , water source allocation and water dispatch as a whole. The calculation result shows that the citywide water-use control is to be 3.96 billion m^3 in 2019 , while the supply from local new water is to be 2.03 billion m^3 , the reclaimed water is to be 1.15 billion m^3 and the water from the South-to-North Water Transfer Project is to be 970 million m^3 after considering water delivery loss and main stream water supplement. Under the status engineering condition , the water from the South-to-North Water Transfer Project can be fully allocated by 0.9 ~ 1.0 billion m^3 for satisfying the urban domestic and industrial water uses and meeting the basic ecological demands of rivers and lakes within the key urban areas. Through further enlarging the water transfer scale , the reserve of local water resource can be further restored , and then the eco-environment of river and lake can be improved as well. The study result can provide a technical support for the daily water dispatch made by the water administrative department concerned

Keywords: jointmulti-water source dispatch; water loss; South-To-North Water Transfer Project; most stringent water resources management system; network topological structure; water supply safety; water use control; water resources

0 引言

随着中国经济社会的快速发展和城市化进程的加快,以及国家南水北调工程、天津引滦入津工程、辽宁东水西调工程等跨流域调水工程的实施,城市多水源联合调度问题已成为国内研究热点。

黄强等^[1]以西安市市区供水水源优化调度为实例,建立了多水源联合调度的多目标优化模型。张静等^[2]采用随机规划算法,建立多水源联合供水仿真模型,提供了多水源调度的决策技术支撑。张华侨等^[3]提出了城市“双线”配置模型,统筹考虑区域水源和自来水供水系统水源的优化配置。章燕喃等^[4]以北京市供水环路为研究区域,以充分保证供水和弃水量最小为调度目标,建立日尺度的多水源联合调度模型,可模拟环路流量、水压等动态变化和各水厂水源配置。于冰等^[5]以天津为例建立了基于供水网络拓扑结构的多水源联合供水优化调度模型,实现了“水源-水厂-分区用户”三层城市供水系统的水量优化分配。刘玘玘等^[6]基于西安市区用水户、供水系统、调度原则分析,构建了多水源联合调度仿真模型。结合相关研究^[7-10]成果,总体来看,目前城市大多数多水源联合调度研究主要基于对城市供水系统进行概化,采用模拟、优化或两者结合的方式,对城市水资源进行宏观配置和水厂细化调度研究,为城市水资源保障和供水安全提供技术支撑,但因对调配管理相关因素考虑较少,研究方案一般很难直接指导水行政主管部门开展实际水量调配工作。近年来,随着最严格水资源管理制度的颁布和实施,一些学者围绕“三条红线”拓展了区域(或城市)多水源调配研究^[11-13],但也主要针对规划水平年“三条红线”控制目标提出配置方案,对如何在“三条红线”管控下落实逐年用水管控与水源调配,用于指导水行政主

管部门开展日常实际水量调配工作的相关研究还比较少见。

本文以南水北调中线一期工程通水后的北京市供水系统为研究实例,统筹用水管控、水源配置、水量调度,建立基于调配管理的北京市多水源联合调度模拟模型,提出全市年度用水管控目标、水源配置方案、自来水集团水厂水源调度方案等,为水行政主管部门开展日常水量调配工作提供技术支撑。

1 基于调配管理的北京市多水源联合调度模拟模型建立

1.1 模型框架

本次建立的基于调配管理的多水源联合调度模拟模型旨在围绕最严格水资源管理制度的落实,考虑用水总量控制红线和用水效率控制红线,强化对水管单位的管理目标约束,提出可指导水行政主管部门开展日常水量调配工作的水量调配方案。调度模拟模型流程如图1所示,核心计算公式如下。

1.1.1 计划年度用水量预测

$$D_{f_i} = f(D_{c_i} - D_{c_i \mu c}, D_{p_i} - D_{p_i \mu c}) + D_{f_i \mu c} \quad (1)$$

式中, D_{f_i} 、 D_{p_i} 、 D_{c_i} 分别为计划年度、阶段目标年度、现状年度第*i*种行业用水管控总量; $D_{f_i \mu c}$ 、 $D_{p_i \mu c}$ 、 $D_{c_i \mu c}$ 分别为计划年度、阶段目标年度、现状年度受水源、工程、政策等条件可能变化引起第*i*种行业的用水突变需求。

1.1.2 计算年度水源配置

$$W_{f_{ji}} = W_{n_{ji}} + \Delta W_{ji} \quad D_{f_i} - D_{c_i} = \sum_{j=1}^J \Delta W_{ji} \quad (2)$$

式中, $W_{f_{ji}}$ 、 $W_{n_{ji}}$ 分别为计划年度、现状年度第*j*种水源向第*i*种行业的供水量; ΔW_{ji} 为依据配置思路 and 原则,确定计划年度较现状年度第*j*种水源向第*i*种行业的供水增量; J 为不同水源的数目。

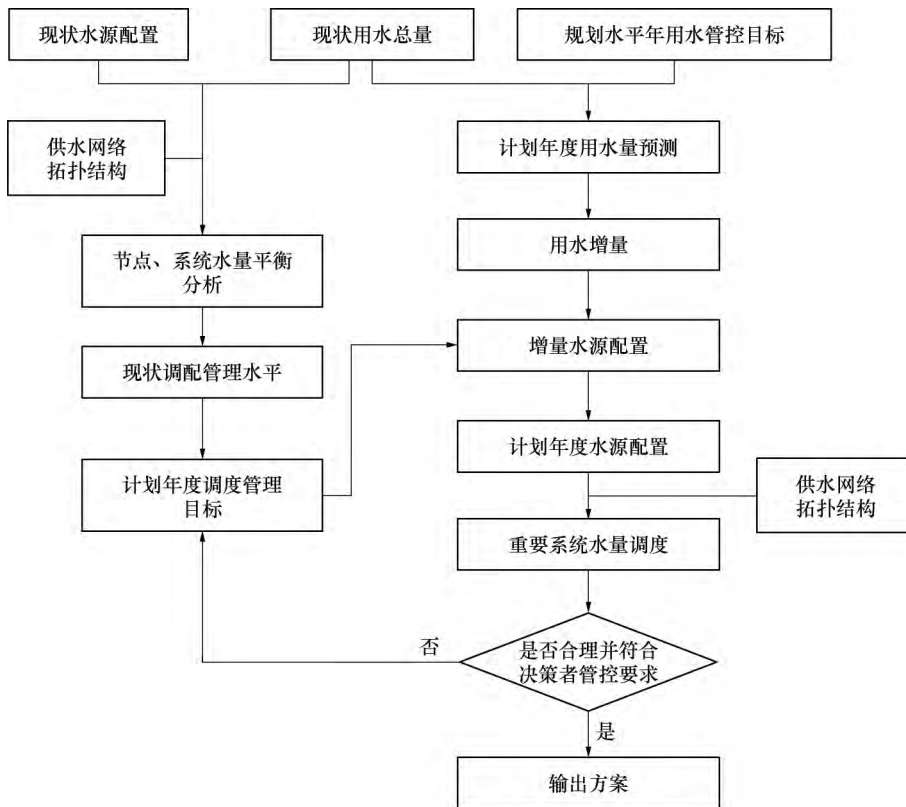


图1 北京市多水源联合调度模拟模型流程

1.1.3 重要系统水量调度

根据水资源配置方案，基于供水网络拓扑结构，针对重要水源、用户、水量调度单位等细化年内水量调度方案，如提出市自来水集团水厂水源调配方案、南水北调水量调配方案等，协助水行政主管部门及水量调度单位开展调配工作。

$$\sum_{i=k} \sum_{j=m} W_{fji} = \sum_{t=1}^{12} Q_{frit} \quad (3)$$

式中， Q_{frit} 为分时段调配水量，如第 j 种水源向第 r 水厂逐月供水量； k 、 l 分别为水厂供水的行业用户，如生活、工业等； m 、 n 为向水厂供水的水源，如南水北调、本地地表水等。

1.2 供水网络拓扑结构

为满足调配管理、水源配置和水量调度多需求，对北京市供水系统按水源、工程、单位(水管系统)、用户进行概化，构造

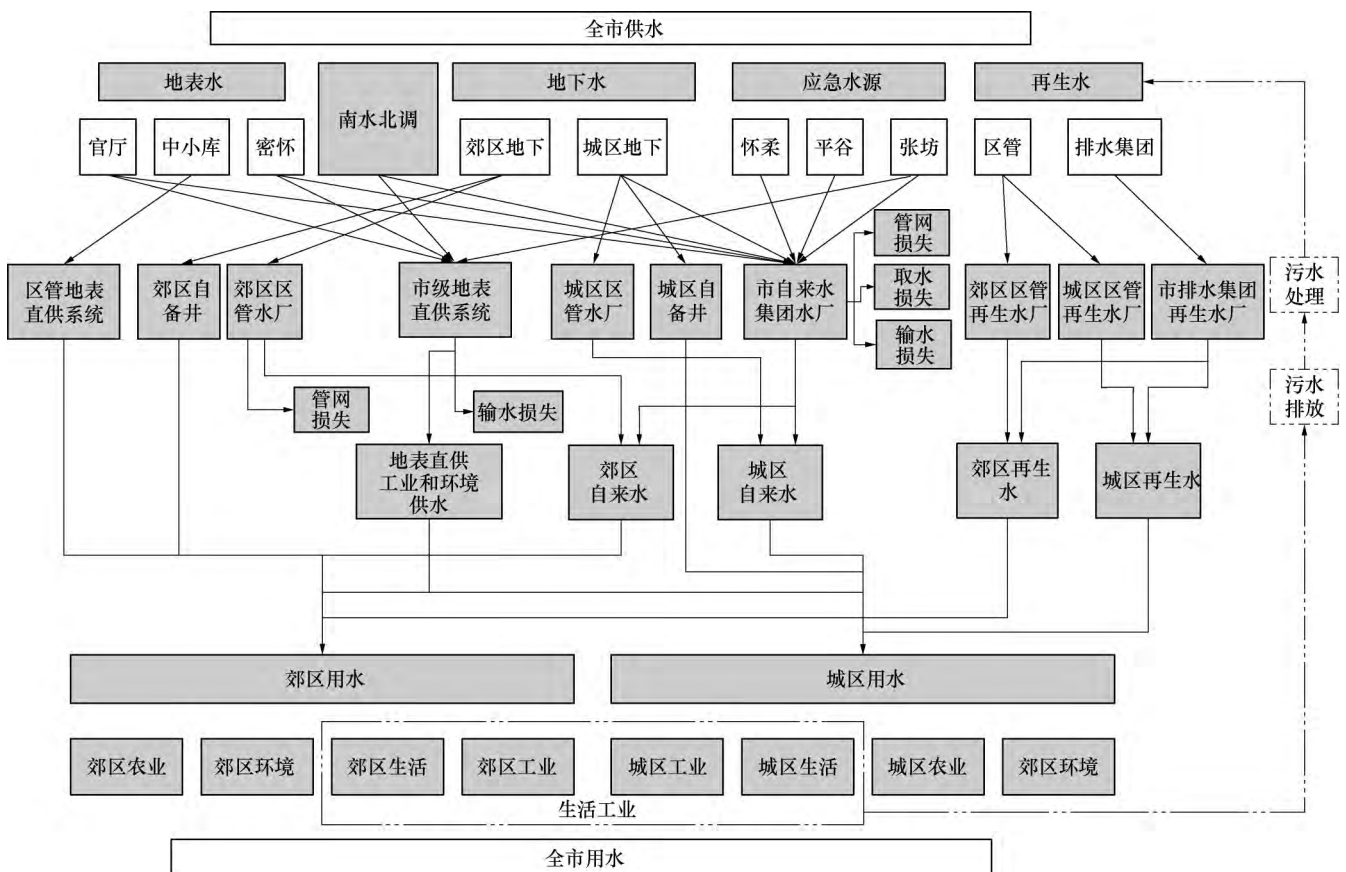


图2 计划2019年北京市供水网络拓扑结构(配置层面)

多维嵌套的北京市供水网络拓扑结构,进行细化水量平衡计算。

1.3 调配管理目标

在基于供水网络拓扑结构的节点水量平衡现状分析基础上,依据北京市“十三五”水源配置方案及近期水务局有关文件精神,制定计划年度调配管理目标,主要包括:

(1) 地表系统供水管理目标。结合现状地表水资源状况、南水北调配套工程建设进展等工程条件,制定密云水库、官厅水库、白河堡水库等年度供水目标。

(2) 自备井及水源井置换目标。依据现状自备井置换情况及城区、郊区自备井置换方案,制定城区自备井、城区自来水集团水源井、郊区自备井地下水压采目标。

(3) 应急水源地供水管理目标。逐步减少怀柔、平谷应急地下水源向城区供水,制定应急水源地地下水压采目标。

1.4 模拟原则

结合目前实际调度管理状况,按“优先利用外调水、加快涵养本地新水,加大利用再生水”的思路,确定如下调配原则:

(1) 南水北调水优先保障城市生活、工业用水,兼顾重点区域河湖,其次利用调蓄工程增加水库储备、回补地下水源地。水库储备增量和地下水回补量不计入全市供水计划。

(2) 密云水库作为南水北调水补充,重点保障城区生活、工业用水。官厅水库作为永定河主要补水水源。

(3) 南水北调覆盖范围内自来水厂供水,结合用水需求及地表水厂建设情况,优先充分利用外调水及本地地表水。

(4) 结合工程现状及水源条件合理配置环境新水用水。城区河湖新水增量主要由城区地表直供系统解决,延庆河湖新水增量考虑主要由白河堡水库解决,其他生态涵养区河湖新水增量根据中小库水源情况适度补水。

(5) 根据再生水设施实际建设情况及产业布局结构调整,合理分配再生水,加大城市河湖再生水利用量。

2 北京市多水源调配方案结果分析

2.1 主要水管单位供水工程系统现状取供水分析

2.1.1 密怀系统

密怀系统由密云水库、怀柔水库、京密引水渠和

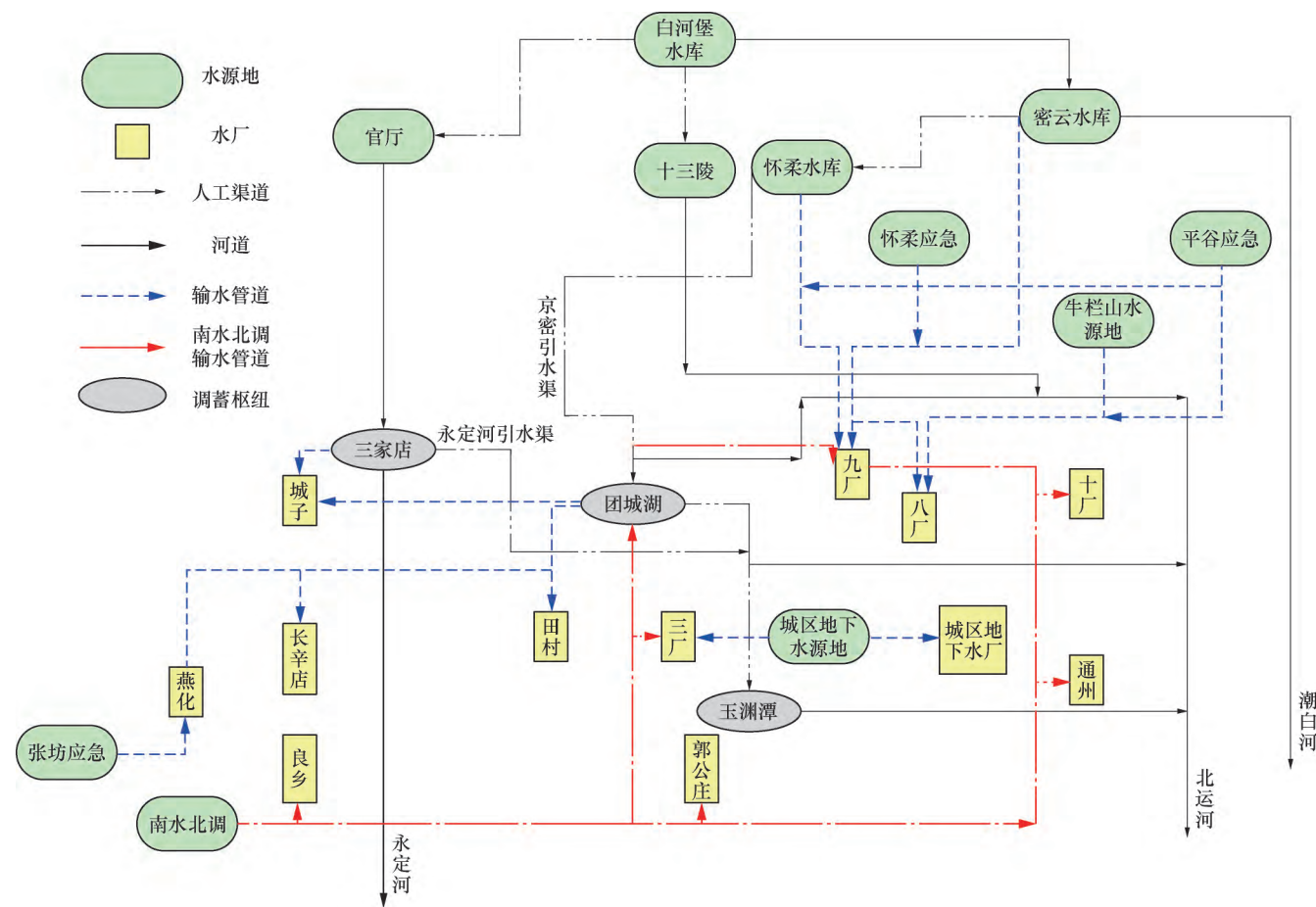


图3 计划2019年市级新水供水网络拓扑结构(调度层面)

团城湖组成,可调配水源包括密云水库、怀柔水库、怀柔应急水源地和外调水。对近几年密怀系统取供水分析发现,当系统调用密云水库水为主时,系统输水损失超过 20%;调用南水北调水为主时,输水损失基本稳定在 10% 左右。

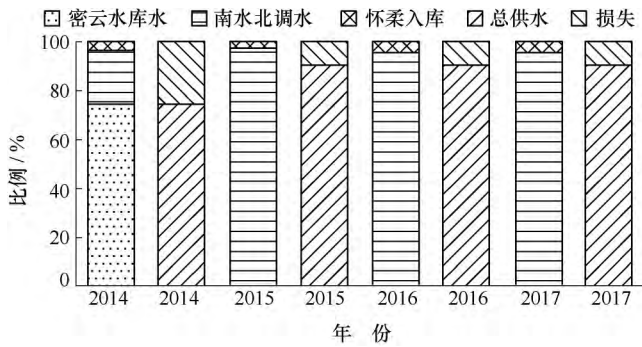


图4 密怀系统近几年取供水情况

2.1.2 南水北调系统

南水北调通水初期,北京市按照“喝、存、补”的优先顺序利用南水北调水。截止 2017 年底,南水北调中线一期工程累计向北京调水超过 30 亿 m^3 。其中,每年约 67% 南水由自来水厂(含燕化)调配,约 5%~10% 南水向清水河湖补水(受密云、官厅系统联调影响,各年不同),约 25%~20% 南水通过地下水回补和水库蓄增加本地水源储备,系统输水损失不足 5%。

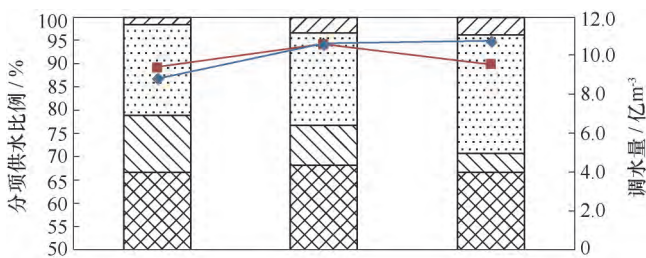


图5 南水北调系统近几年取供水情况

2.1.3 市自来水集团

北京市自来水集团主要负责北京城区供水,同时城区市政管网可兼顾向周边昌平、大兴、通州部分区域供水。集团所辖城区水厂总供水能力为 372 万 m^3/d ,其中五大主力水厂(第九水厂、田村山水厂、第八水厂、第三水厂、郭公庄水厂)总供水能力为 346 万 m^3/d 。

近些年集团城区水厂供水量与售水量持续增长,产销差率逐步下降,目前基本维持在 16% 左右。集团五大主力水厂取水损失比例在南水北调通水后略有

增长,但仍不足 4% (以交界断面计量水量核算)。

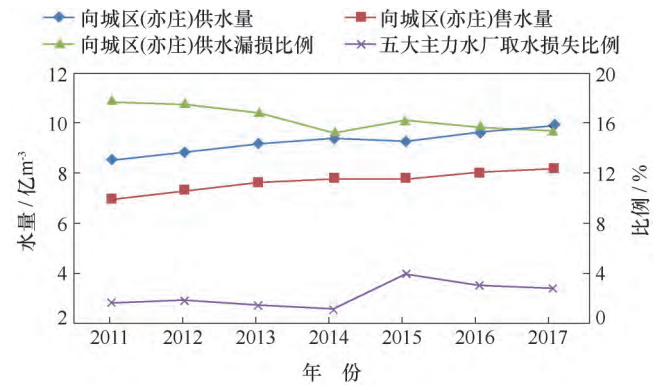


图6 市自来水集团历年供售水量情况

2.2 2019 年调配方案结果分析

2.2.1 用水管控

《北京市“十三五”水务发展规划》提出 2020 年北京市用水总量控制 43 亿 m^3 。从调度管理角度出发,将扣除用水突变需求(水利工程输水损失、永定河生态廊道用水)后约 40 亿 m^3 作为用水总量管控目标,结合现状预测 2019 年全市用水 39.6 亿 m^3 (不含用水突变需求)。

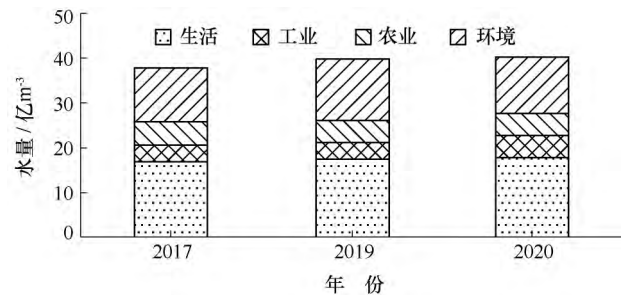


图7 2019 年全市用水管控及对比

2.2.2 水源配置

在用水需求 39.6 亿 m^3 基础上,考虑水利工程输水损失和干流补水,全市按供水 41.5 亿 m^3 保障。其中,本地新水供水 20.3 亿 m^3 ,利用再生水 11.5 亿 m^3 ,调用南水北调水 9.7 亿 m^3 。

2.2.3 调度方案

2019 年市自来水集团供水管网范围内(含城子水厂、通州水厂、良乡水厂)供水 11.1 亿 m^3 ,其中南水北调水供 8.3 亿 m^3 ,密怀系统供 0.8 亿 m^3 ,集团自来水水源井供 0.9 亿 m^3 ,应急水源地供 1.1 亿 m^3 。

根据《南水北调中线一期工程 2018—2019 年度水量调度计划的通知》,2018—2019 年度南水北调中线一期工程向北京(惠南庄断面)可调水量 11.19 亿 m^3 。2019 年南水北调水总调水量按 11.2 亿 m^3

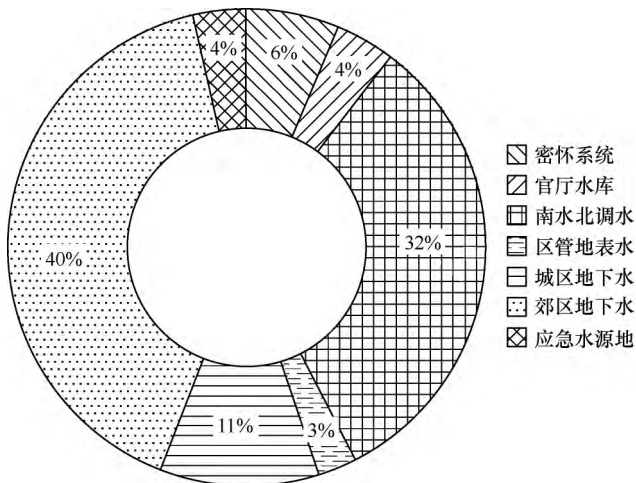


图8 2019年全市水源配置(供水比例)

考虑,其中供水厂8.3亿 m^3 ,补充城区重点区域清水河系1.0亿 m^3 ,利用密云水库调蓄工程增加水源储备1.9亿 m^3 。

2.2.4 实施效果及其他工况分析

根据上述调配方案,预测2019年全市地下水开采较2017年压采0.6亿 m^3 ,其中应急水源地压采0.4亿 m^3 。2019年底密云水库蓄水量达到27亿 m^3 ,官厅水库蓄水量约5亿 m^3 。通过不同工况分析,在南水北调中线一期工程批复向北京调水11.19亿 m^3 基础上加大调水0.8~3.0亿 m^3 ,则水厂因冬季加大调水可增加调配南水北调水0.1~0.3亿 m^3 ,利用密云调蓄工程加大调蓄与回补0.4~0.9亿 m^3 ,通过大宁水库及南干渠加大回补永定河及东南部河湖0.3~1.8亿 m^3 。

在加大调水条件下,12月一次年2月南水北调惠南庄泵站进京流量为23 m^3/s ,3月—11月为43 m^3/s ;在按设计规模调水条件下,12月一次年2月南水北调惠南庄泵站进京流量为30 m^3/s ,3—11月为50 m^3/s 。

3 结论

(1)以北京市复杂供水系统为研究对象,构建了基于水源—工程—单位(水管系统)—用户的多维嵌套北京市供水网络拓扑结构,以此为基础建立了基于调配管理的北京市多水源联合调度

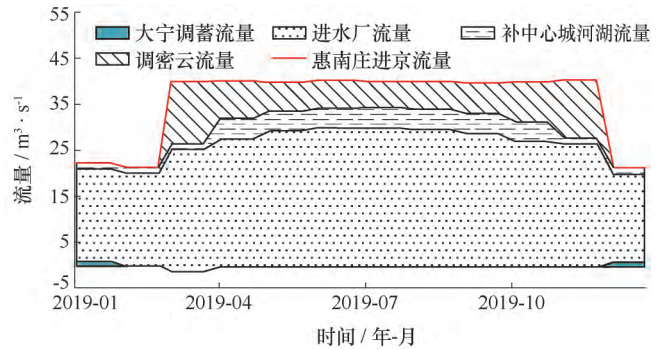


图9 2019年南水北调来水调度成果

模拟模型,能够在规划用水总量控制红线和用水效率控制红线管控下,充分考虑水行政主管部门调配管理目标与约束,实现用水管控、水源配置、水量调度统筹的多水源联合调度。

(2)模型模拟研究了2019年北京市多水源调度,提出2019年全市用水管控目标为39.6亿 m^3 (水利工程输水损失、永定河生态廊道用水),供水按41.5亿 m^3 保障,由本地新水供水20.3亿 m^3 ,利用再生水11.5亿 m^3 ,调用南水北调水9.7亿 m^3 。

(3)通过不同模拟工况结果分析发现,在现状工程条件下,为满足城市生活工业用水和城区重点区域河湖基本生态需求,可充分调配南水北调水约9~10亿 m^3 ,在此基础上加大调水,有利于进一步恢复本地水源储备和改善河湖生态环境。

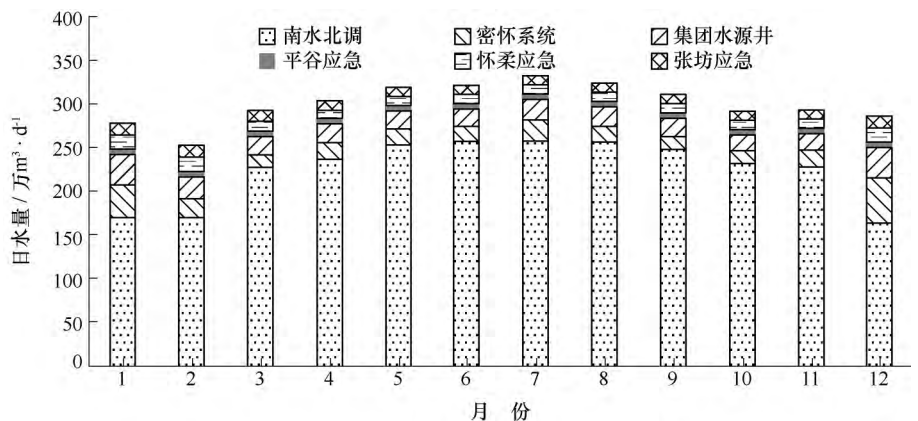


图10 2019年集团供水管网调度成果

表1 不同工况南水北调来水调配方案

亿 m^3

南水北调来水工况	南水北调调水量	向水厂供水	补城区重点区域清水河系	密云调蓄工程可调水量	大宁及南干渠可调富水量
按批复调水	11.2	8.3	1.0	1.9	0
加大调水	12.0	8.4	1.0	2.3	0.3
按设计规模调水	14.2	8.6	1.0	2.8	1.8

注:满足水厂供水和城区清水河系要求后富余水量优先通过密云调蓄工程调蓄

通过北京市多水源联合调度模拟模型研究提出的调配方案能够为水行政主管部门开展日常水量调配工作提供技术支撑,但下一步还需在水量水质联合调度方面强化研究。

参考文献:

- [1] 黄强,王增发,畅建霞,等.城市供水水源联合优化调度研究[J].水利学报,1999,30(5):57-62.
- [2] 张静,黄国和,刘焯,等.不确定条件下的多水源联合供水调度模型[J].水利学报,2009,40(3):160-165.
- [3] 张华侨,窦明,张海林,等.城市水资源“双线”配置模型研究[J].水电能源科学,2011,29(3):20-23.
- [4] 章燕喃,田富强,胡宏昌,等.南水北调来水条件下北京市多水源联合调度模型研究[J].水利学报,2014,45(7):844-849.
- [5] 于冰,梁国华,何斌,等.城市供水系统多水源联合调度模型及应用[J].水科学进展,2015,26(6):874-883.
- [6] 刘珺珺,尚宇梅,张宇,等.引汉济渭来水条件下西安市多水源联合调度[J].武汉大学学报(工学版),2017,50(1):25-30.
- [7] MOLINOS-SENANTE M,HERNÁNDEZ-SANCHO F,MOCHOLÍ-ARCE M,et al. A management and optimisation model for water supply planning in water deficit areas [J]. Journal of Hydrology, 2014, 515: 139-146.
- [8] 罗伟伟,邵东国,张建国,等.多态不确定条件下的城市供水调度模型研究[J].人民长江,2015,46(3):60-64.
- [9] 潘莉,曹楠,李玉仙,等.北京多水源水量调度模型研究[J].资源与产业,2015,17(6):62-66.
- [10] 武鹏飞.邯郸东部地区多水源优化配置研究[J].水利科技与经济,2017,23(2):58-63.
- [11] 王偲,窦明,张润庆,等.基于“三条红线”约束的滨海区多水源联合调度模型[J].水利水电科技进展,2012,32(6):6-10.
- [12] 王义民,孙佳宁,畅建霞,等.考虑“三条红线”的渭河流域(陕西段)水量水质联合调控研究[J].应用基础与工程科学学报,2015,23(5):861-870.
- [13] 姜志娇,杨军耀,任兴华.基于“三条红线”及SE-DEA模型的水资源优化配置[J].节水灌溉,2016(11):81-84.

(责任编辑 王海锋)