

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2019.05.002

# 基于地下水“双控”的水资源配置模型与实例应用

谢新民<sup>1</sup>, 李丽琴<sup>1,2</sup>, 周翔南<sup>3</sup>, 王金娥<sup>4</sup>, 刘俊秋<sup>5</sup>, 魏传江<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038; 2. 北京市水科学技术研究院水资源研究所, 北京 100038;  
3. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003; 4. 渭源县水务局, 甘肃 定西 748200;  
5. 天津农学院水利工程学院, 天津 300384)

**摘要:** 根据生态文明建设的需要与地下水资源保护的的特殊性, 构建由水资源优化配置模块、地下水可开采量动态计算模块和地下水“取水总量与水位”双控计算模块 3 部分组成的模型系统, 以水资源优化配置模块牵引地下水可开采量动态计算模块和地下水“双控”计算模块, 利用多重循环迭代算法, 通过长系列调节计算和对比分析, 给出基于地下水“双控”的水资源配置推荐方案。以沈阳市为例开展应用研究, 发现沈阳市局部区域到 2030 年需重启开采地下水市政水源 0.22 亿 m<sup>3</sup>, 才能形成人水和谐的水资源配置总体格局。

**关键词:** 水资源优化配置; 多重循环迭代算法; 地下水可开采量; 地下水位

**中图分类号:** TV213.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-6933(2019)05-0006-07

**Water resources allocation model based on “double control” of groundwater and its application** // XIE Xinmin<sup>1</sup>, LI Liqin<sup>1,2</sup>, ZHOU Xiangnan<sup>3</sup>, WANG Jin'e<sup>4</sup>, LIU Junqiu<sup>5</sup>, WEI Chuanjiang<sup>1</sup> (1. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Department of Water Resources, Beijing Water Science & Technology Institute, Beijing 100038, China; 3. Yellow River Survey Planning and Design Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China; 4. Weiyuan County Water Authority, Dingxi 748200, China; 5. College of Water Conservancy Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** According to the need of ecological civilization construction and the particularity of groundwater resources protection, a model system consisting of three parts: water resources optimal allocation module, groundwater exploitable quantity dynamic calculation module and groundwater “total water intake and water level” double-control calculation module is constructed. Groundwater dynamic calculation module and groundwater “double control” calculation module are tracted by the water resources optimal allocation module. A recommendation scheme of groundwater resources allocation based on “double control” of groundwater is got by using multiple cycle iteration algorithm, and a long series regulation computation and comparative analysis. Taking Shenyang as an example, it is found that an exploitation amount at 22 million m<sup>3</sup> of groundwater municipal water resource in some areas of Shenyang needs to be restarted by 2030 to form a harmonious overall pattern of water resources allocation between human and water.

**Key words:** optimal allocation of water resources; multiple loop iterative algorithm; exploitable quantity of groundwater; groundwater level

联合国发布的《2018 年世界水资源开发报告》显示, 全球水资源的需求正在以每年 1% 的速度增长, 而这一速度在未来 20 年还将大幅加快。由于全球人口、经济爆发式增长及水资源的不合理开发与利用(地下水无序开采、过度开发、管理粗放、保护滞后等), 导致大范围地下水严重超采, 继而引发地

下水位持续下降, 导致地面沉降、海(咸)水入侵、地下水工建筑物受损等一系列生态、地质、环境问题<sup>[1-4]</sup>, 给当地的经济社会发展和人民生活造成严重影响。为防止地下水问题进一步恶化, 国务院 2012 年开始对地下水采取“双控”(控制取水总量与水位)管理。随后, 水利部和各省市水行政主管部门

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2017YFC0404306)

作者简介: 谢新民(1963—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水资源规划、配置和管理研究。E-mail: xiexm@iwhr.com

通信作者: 李丽琴, 博士。E-mail: liliqin\_cool@126.com

组织开展了一系列地下水“双控”方面的专项研究工作,取得了重要进展<sup>[5-6]</sup>。众所周知,流域/区域水资源开发利用格局不同,地下水补排关系也随之发生变化,如水库的修建、河道及渠道防渗功能的提升将大幅影响水库、河湖、渠道对地下水的补给作用;新型节水灌区大面积提升以及农业与工业之间的水权转换,将影响地下水的田间入渗补给<sup>[7-9]</sup>。因此,未来不同水平年地下水可开采量也是变化的<sup>[10-11]</sup>。如何根据不同水平年地下水可开采量的变化和地下水“双控”管理的需要<sup>[6]</sup>,科学规划和调整水资源配置总体格局,显得十分重要<sup>[12]</sup>。而传统的水资源配置往往弱化或忽视了不同水平年不同水资源开发利用格局下地下水可开采量和地下水位的动态约束作用<sup>[13-14]</sup>,鉴于此,笔者结合目前国家对地下水“双控”管理的需求,提出了一种基于水资源“三次配置”的多重循环迭代算法,并以沈阳市地下水压采和境外地表水置换境内地下水为例开展应用研究,为地下水压采区进一步优化调整水资源配置总体格局、保障供水安全,形成面向“人与自然、人与水和谐”的水资源配置总体格局提供技术支撑<sup>[15]</sup>。

## 1 水资源配置模型系统及求解方法

### 1.1 模型系统

所构建的基于地下水“双控”的水资源配置模型,实际上是一个模型系统,由水资源优化配置模块、地下水可开采量动态计算模块和地下水“双控”计算模块三部分组成,以优化配置模块为核心,牵引地下水可开采量动态计算模块和地下水“双控”计算模块,采用基于水资源“三次配置”的多重循环迭代算法,实现水资源在不同时空尺度(流域/区域/计算单元,年/月)、不同水源、不同行业等多个维度、满足地下水可开采量动态变化约束和地下水“双控”要求的协同配置多重循环迭代计算功能。

#### 1.1.1 水资源优化配置模块

根据“自然-社会”二元水循环模式及其特点,在水利工程时空分布格局下,建立以“三生”用水需求与水资源供给之间平衡关系为基础的优化配置模块,以长系列水文资料及不同水平年的国民经济与生态需水数据为输入条件,以“自然-社会”二元水循环中各类水量平衡关系为约束条件,以供水净效益最大及水量损失最小为目标函数,利用世界银行和美国通用公司研制的 Windows GAMS2.5 软件进行求解计算。

#### 1.1.2 地下水可开采量动态计算模块

地下水开采量一般是由地下水可开采量(或地

下水取水总量控制指标)控制的,而地下水可开采量主要取决于地下水补给量和开采条件,当地下水补给量发生变化时,可开采量也会相应发生变化。在该模块设计中,将水资源优化配置模块计算结果输入地下水均衡模型,确定不同单元、不同水平年地下水渠系(管网)渗漏补给量、河湖水库渗漏补给量、田间渗漏补给量及井灌回归量等,计算出不同水平年地下水可开采量;并将所确定的地下水动态可开采量再反馈给水资源优化配置模块,作为地下水开采量上限约束参与计算;通过地下水均衡模块与水资源优化配置模块实现传输与反馈交互迭代计算,确定地下水可开采量和地下水供水量。

#### 1.1.3 地下水“双控”计算模块

在该模块设计中,将水资源优化配置模块计算结果输入地下水数值模型,按照降水丰、平、枯3种情景预测不同水平年不同水资源配置方案地下水位变化趋势,并根据所确定的地下水控制性红线水位(包括上限水位、下限水位)<sup>[6]</sup>,判定该水资源配置方案下地下水位是否满足地下水位阈值(上限水位、下限水位)要求;通过地下水数值模型与水资源优化配置模块实现传输与反馈交互迭代计算,确定地下水“双控”计算结果。

### 1.2 多重循环迭代算法

传统的水资源配置往往弱化或忽视了不同水平年地下水可开采量和水位的动态变化约束,本文提出的基于水资源“三次配置”的多重循环迭代算法,以水资源优化配置模块牵引地下水可开采量动态计算模块和地下水“双控”计算模块,通过水资源“三次配置”实现传输与反馈交互迭代计算,最终获得同时满足社会经济需水、河道内生态环境需水、地下水动态采补平衡及“双控”管理要求的水资源配置方案(图1)。其具体计算步骤如下:

**步骤1:**设置不同规划水平年不同发展模式/节水情景下的供需水方案。其中,地下水初始可开采量采用水资源评价结果设为  $W_j, j=0$ 。根据研究区水资源系统特点和现状、规划的水利工程情况以及水资源配置的要求等,将水资源系统中各类物理元素(重要水利工程、计算单元、河渠道交汇点等)作为节点,各节点间通过水资源传播系统的各类线段连接,形成研究区水资源配置系统网络图,构建水资源优化配置模块。

**步骤2:**基于构建的目标函数、约束条件、平衡方程和模型初始参数,通过长系列逐月调节计算,得到不同规划水平年水资源配置结果,即一次配置结果。

## 2 实例应用

### 2.1 研究区概况

沈阳市包括市内5区(和平区、沈河区、大东区、皇姑区、铁西区)、市郊4区(沈北新区、苏家屯区、浑南区和于洪区)、1个县级市(新民市)、3个县(康平县、法库县和辽中县),全市总面积为12956 km<sup>2</sup>。沈阳市多年平均年降水量为598.9 mm,平均水面蒸发量为823.3 mm。现状以地下水供水为主,地下水超采降落漏斗主要集中在石佛寺、新民汇津、辽中茨榆坨和于洪水源区,漏斗区面积超过70 km<sup>2</sup>。根据沈阳市人民政府办公厅下发的关于封闭地下水取水工程实施方案,2012—2015年沈阳市将封闭或关停地下水取水工程1071处,取水井1847眼,削减地下水开采量4.79亿m<sup>3</sup>,削减的地下水开采量和沈阳市新增用水需求,未来将主要通过大伙房输水和辽西北供水两大外调水工程实现。随着水资源开发利用条件改变,如何科学调整水资源配置总体布局,保障全市供水安全,是当前关注热点和研究重点之一。

根据水资源配置系统的概化方法<sup>[16]</sup>,结合沈阳市水资源系统特点和现状、规划的水利工程情况以及水资源配置的要求等,将沈阳市概化为7个流域分区,23个计算单元,13个水库节点,18个市政(县区)水厂,43个水源地,8个外调水配水节点,7个流域控制断面,16个引水、汇水节点,考虑篇幅所限,仅给出沈阳市市区所在的大伙房水库以下流域水资源配置系统网络图,见图2。

### 2.2 方案设置及优选

结合沈阳市水资源现状及规划情况,通过对水文过程、需水过程、工程和非工程措施设置不同方案组合,得到配置方案的初始集,采用人机交互的方式排除初始方案中代表性不够和明显较差的方案,最终选取3套组合方案(表1)。

表1 沈阳市水资源配置组合方案

水平年	方案	发展模式	节水方式	再生水利用率	削减地下水开采量/亿m <sup>3</sup>	设计供水量	
						①/(万m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	②/亿m <sup>3</sup>
2020年	I	高速	适度	多	4.79	120	2.36
	II	高速	强化	多	4.79	120	2.36
	III	适度	适度	少	4.79	120	2.36
2030年	I	高速	适度	多	4.79	120	3.43
	II	高速	强化	多	4.79	120	3.43
	III	适度	适度	少	4.79	120	3.43

注:①为大伙房输水工程;②为辽西北供水工程。

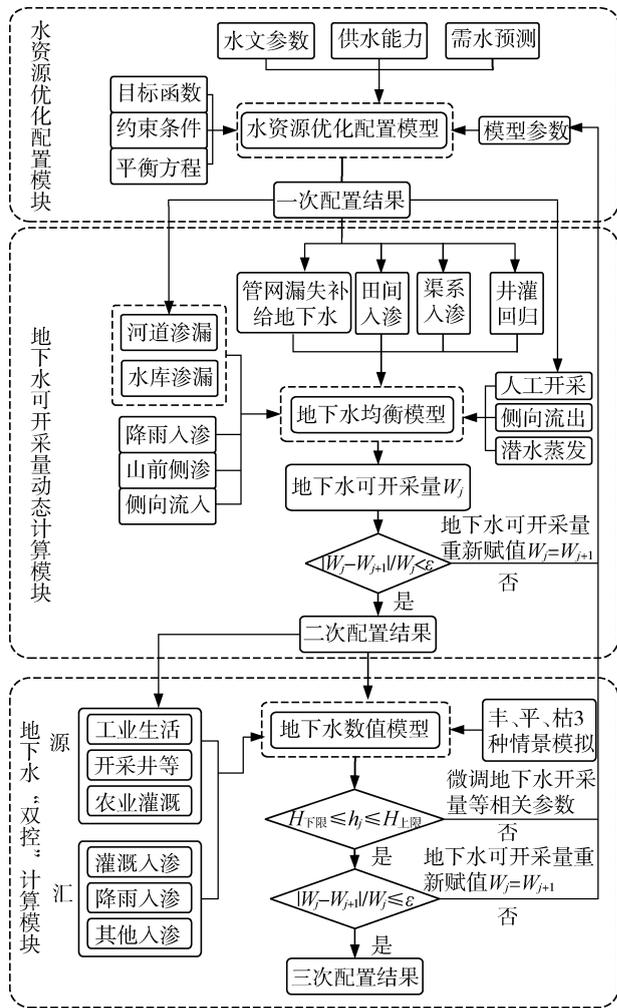


图1 基于水资源“三次配置”的多重循环迭代算法流程

**步骤3:**将水资源一次配置结果输入地下水可开采量动态计算模块,计算地下水可开采量 $W_j$ ( $j$ 为迭代次数, $j=0,1,2,\dots,n$ );如果 $|W_{j+1}-W_j|/W_j \leq \varepsilon$ ,则停止迭代计算,输出计算结果;否则,转向第二步对供水能力、需水量及相关参数进行适当调整,并设 $j=j+1$ ,重复前一次迭代过程,直至满足条件,输出二次配置结果。

**步骤4:**将水资源二次配置结果输入地下水“双控”计算模块,并按照丰、平、枯3种来水情景预测未来地下水位变化趋势,即地下水位 $h_j$ ( $j$ 为迭代次数, $j=1,2,\dots,n$ );如果 $H_{\text{下限}} \leq h_j \leq H_{\text{上限}}$ ,则转向第五步;否则,转向第二步,并设 $j=j+1$ ,合理调整地下水开采布局及开采量,直至满足 $H_{\text{下限}} \leq h_j \leq H_{\text{上限}}$ ;同时,如果 $|W_{j+1}-W_j|/W_j \leq \varepsilon$ ,则转向第五步;否则,转向第二步,并置 $j=j+1$ ,重复前一次运算过程,直至满足条件,输出三次配置结果。

**步骤5:**停止迭代计算,输出最终结果。

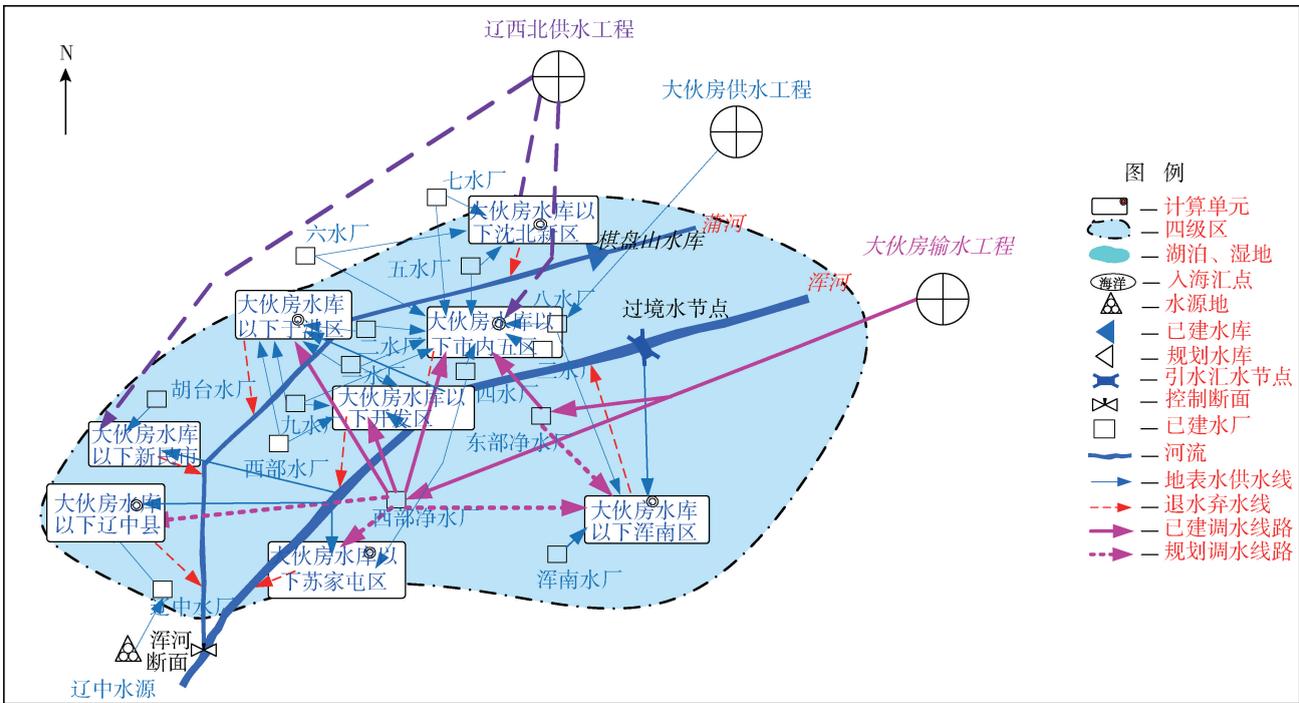


图2 沈阳市(局部)水资源配置系统网络

本次采用1956—2013年长系列逐月径流资料,利用所构建的基于地下水水量和水位动态“双控”的水资源优化配置模型,在考虑河道内生态环境和

农业灌溉引水等最小流量约束条件下,对选取的3套组合方案进行长系列逐月调节计算,得到不同水平年不同组合方案的水资源配置结果,见表2。

表2 沈阳市水资源供需平衡结果

水平年	方案	保证率/ %	需水量/ 亿 m <sup>3</sup>	按水源供水量/亿 m <sup>3</sup>				按用户用水量/亿 m <sup>3</sup>				缺水率/ %		
				地表水	地下水	再生水	外调水	城镇生活	工业	城镇生态	农村生活		农业	
基准年		50	29.29	5.72	18.99	0.22	3.58	3.28	7.33	0.82	0.46	16.61	0.79	2.69
		75	30.61	6.34	19.02	0.31	3.58	3.28	7.33	0.82	0.46	17.35	1.36	4.46
		90	30.61	6.18	19.02	0.31	3.58	3.28	7.33	0.82	0.46	17.20	1.51	4.95
		多年平均	29.81	6.03	19.01	0.26	3.58	3.28	7.33	0.82	0.46	16.98	0.94	3.16
I		50	39.43	6.86	18.38	2.45	11.49	4.70	16.31	1.26	0.53	16.39	0.25	0.63
		75	40.88	7.29	18.39	3.13	11.49	4.70	16.33	1.25	0.53	17.50	0.59	1.43
		90	40.88	6.98	18.40	3.20	11.49	4.70	16.28	1.22	0.52	17.35	0.81	1.98
		多年平均	40.01	7.04	18.39	2.73	11.49	4.70	16.33	1.25	0.53	16.83	0.36	0.91
2020年 II		50	37.22	5.87	18.24	1.57	11.49	4.61	15.17	1.25	0.49	15.65	0.06	0.15
		75	38.52	6.50	18.37	2.03	11.49	4.61	15.17	1.25	0.49	16.86	0.15	0.38
		90	38.52	6.05	18.37	2.36	11.49	4.61	15.17	1.24	0.49	16.77	0.25	0.66
		多年平均	37.74	6.18	18.29	1.70	11.49	4.61	15.17	1.25	0.49	16.13	0.09	0.24
III		50	35.69	5.40	18.03	0.76	11.49	4.70	13.48	1.23	0.51	15.74	0.02	0.07
		75	37.11	6.33	18.24	0.97	11.49	4.70	13.48	1.23	0.51	17.10	0.09	0.24
		90	37.11	5.87	18.25	1.32	11.49	4.70	13.48	1.23	0.51	17.00	0.19	0.51
		多年平均	36.26	5.77	18.11	0.84	11.49	4.70	13.48	1.23	0.51	16.28	0.05	0.15
I		50	43.39	6.76	18.30	3.42	12.57	6.45	17.08	1.52	0.43	15.57	2.34	5.39
		75	44.95	7.07	18.41	4.17	12.57	6.45	17.02	1.52	0.43	16.81	2.72	6.06
		90	44.95	6.87	18.42	4.12	12.57	6.45	16.89	1.52	0.42	16.72	2.96	6.58
		多年平均	44.01	6.90	18.35	3.76	12.57	6.45	17.09	1.52	0.43	16.08	2.44	5.54
2030年 II		50	39.30	5.35	18.21	3.16	12.57	6.29	16.21	1.48	0.38	14.94	0.01	0.03
		75	40.75	6.00	18.55	3.61	12.57	6.29	16.21	1.47	0.38	16.37	0.03	0.08
		90	40.75	5.99	18.55	3.60	12.57	6.29	16.21	1.47	0.38	16.37	0.04	0.09
		多年平均	39.88	5.65	18.35	3.29	12.57	6.29	16.21	1.48	0.38	15.51	0.02	0.05
III		50	36.74	4.65	17.97	1.54	12.57	5.27	14.29	1.38	0.42	15.38	0.01	0.02
		75	38.27	5.65	18.22	1.80	12.57	5.27	14.29	1.38	0.42	16.88	0.03	0.07
		90	38.27	5.80	18.23	1.65	12.57	5.27	14.29	1.38	0.42	16.89	0.02	0.06
		多年平均	37.35	5.14	18.07	1.56	12.57	5.27	14.29	1.38	0.42	15.98	0.01	0.03

方案 I 基于“以产定水、走外延式发展”,在适度节水模式下通过加大再生水回用规模和新增外调水规模来支撑经济社会的快速发展,不符合国家“节水优先”战略,考虑到大量新增外调水规模的艰巨性和复杂性,该方案暂不作为优先推荐方案。方案 III 基于“以水定产、走内涵式发展”,未来通过实施封井压减开采规模,最终实现地下水采补平衡。该方案在既定的外调水规模下,虽然有利于实现绿色低碳平稳发展与改善生态环境,但因过度抑制城市扩张和工业发展,与当地经济社会可持续跨越式发展要求和国家中心城市、区域经济发展引擎等定位不太吻合,亦不符合国家的“节水优先”战略,因此,基于绿色低碳角度考虑,该方案可作为次优推荐方案。方案 II 基于“供需协调、走稳健式发展”,在既定的大伙房输水工程与辽西北供水工程分水协议框架下,适度重启一部分封闭备用的地下水市政水源并利用已建供水管网给市区供水,既能满足新增用水需求,又节约成本使各种资源得到合理利用,并可保持地下水位处于合理的变幅内波动,亦符合国家“节水优先”战略,故该方案作为优先推荐方案。

### 2.3 推荐方案结果分析

#### 2.3.1 地下水可开采量动态计算结果

利用地下水可开采量动态计算模块,将 2002—2013 多年平均地下水补给量作为初始输入,经过多次迭代计算最终满足判断条件,确定不同水平年地下水可开采量,由于篇幅有限,仅列出 2030 年具体迭代计算结果(表 3)。

由表 3 可以看出,随着规划水平年水资源配置格局发生变化,地下水补给量也会有相应改变,随着渠系、灌区节水效率的提升,地表水入渗补给量逐渐减少,推荐方案水资源开发利用格局下,沈阳市 2030 年的地下水可开采量为 20.82 亿 m<sup>3</sup>,以各分区

地下水动态可开采量作为地下水开采量上限约束,调整 2030 年水资源配置方案。

#### 2.3.2 地下水“双控”计算结果

根据二次配置结果,采用地下水“双控”计算模块,考虑到地下水调蓄能力及降水的叠加累积效应,从沈阳市 58 年长系列降水资料中选取连续 6 年(分丰、平、枯 3 种情景)作为 2014—2019 年降水输入、连续 10 年(分丰、平、枯 3 种情景)作为 2020—2029 年降水输入、连续 6 年(分丰、平、枯 3 种情景)作为 2030—2035 年降水输入,将 2014 年 1 月 1 日地下水位作为初始水位,预测不同水平年(丰、平、枯 3 种情景)2014—2035 年地下水位变化趋势。具体计算结果见表 4。

从表 4 可以看出,该水资源开发利用模式下,2020 年以后沈阳市城区内部分观测井地下水位超出了控制性红线上限水位,对区域水文地质、环境地质和地下建筑工程等造成一定威胁或影响,尤其是靠近地铁线附近,会对地铁建设和安全运行造成一定威胁。因此,在 2020 年以后适时重启部分地下水市政水源是十分必要的。

#### 2.3.3 基于地下水“双控”的配置结果

通过丰、平、枯 3 种情景下地下水位变化趋势风险分析,最终确定 2030 年市内五区重新开启地下水市政水源供水量为 0.22 亿 m<sup>3</sup>。其中李官水源和河北水源需要重新开启,供水量分别为 0.1 亿 m<sup>3</sup>、0.02 亿 m<sup>3</sup>;新南塔水源需增加供水量 0.1 亿 m<sup>3</sup>。由于篇幅有限,仅列出沈阳市 2030 年多年平均配置结果。从推荐方案三次配置结果可知,到 2030 年全市基本实现水资源供需平衡。具体结果见表 5。

## 3 结论与展望

a. 地下水位偏高或偏低都有可能引发土壤次生盐渍化、道路翻浆和地面沉降、地裂缝等环境地质

表 3 2030 年推荐方案地下水可开采量迭代计算结果

行政区	初始输入		进行多次迭代计算									最后结果/亿 m <sup>3</sup>
			初次配置一次迭代			二次迭代		三次迭代		四次迭代		
	补给量/亿 m <sup>3</sup>	地下水可开采系数	W <sub>0</sub> /亿 m <sup>3</sup>	W <sub>1</sub> /亿 m <sup>3</sup>	$\frac{W_0 - W_1}{W_0}$ /亿 m <sup>3</sup>	W <sub>1</sub> /亿 m <sup>3</sup>	$\frac{W_2 - W_1}{W_1}$ /亿 m <sup>3</sup>	W <sub>3</sub> /亿 m <sup>3</sup>	$\frac{W_3 - W_2}{W_2}$ /亿 m <sup>3</sup>	W <sub>4</sub> /亿 m <sup>3</sup>	$\frac{W_4 - W_3}{W_3}$ /亿 m <sup>3</sup>	
市内五区	0.85	0.98	0.83	0.81	3.00	0.77	4.3	0.76	1.5	—	—	0.77
开发区	0.65	0.96	0.62	0.60	2.60	0.56	7.0	0.59	4.7	0.58	1.9	0.59
沈北新区	2.00	0.88	1.76	1.68	4.30	1.62	4.1	1.56	3.3	1.54	1.4	1.56
于洪区	1.93	0.96	1.85	1.80	2.80	1.79	0.7	1.77	1.2	—	—	1.79
浑南新区	2.60	0.89	2.31	2.26	2.50	2.20	2.3	2.13	3.4	2.12	0.7	2.13
苏家屯区	1.89	0.86	1.63	1.58	2.80	1.53	3.1	1.51	1.4	—	—	1.53
新民市	6.91	0.89	6.15	5.99	2.50	5.85	2.4	5.74	2.0	—	—	5.74
康平县	2.15	0.73	1.57	1.50	4.40	1.44	4.0	1.40	3.0	1.39	1.0	1.40
法库县	2.21	0.63	1.39	1.33	4.20	1.29	3.5	1.26	2.2	1.24	1.2	1.26
辽中县	5.07	0.91	4.61	4.40	4.60	4.22	4.2	4.06	3.8	4.02	0.9	4.06
全市	26.26	0.87	22.73	21.97	3.40	21.27	3.2	20.77	2.4	—	—	20.82

表4 推荐方案超限监测井地下水水位预测结果

m

行政区	代表性监测井名称	丰水年		平水年		枯水年		上限水位	下限水位
		超限年份	计算水位	超限年份	计算水位	超限年份	计算水位		
于洪区	轻工研究所	2024	37.50	2025	37.02	—	37.04	37.07	25.58
苏家屯区	新台子	2023	21.00	—	20.91	—	20.89	20.96	17.75
	西站灯具城	2024	31.80	2027	31.51	2031	31.55	31.50	24.50
	远洋天地	2023	33.63	2027	33.62	—	32.98	33.60	27.56
	127 中学	2022	34.38	2023	34.01	2025	33.96	33.79	29.04
	北一西路肇工街	2027	35.11	2033	35.03	—	33.68	35.01	27.76
	辽宁大厦	2029	41.54	2035	41.54	—	39.28	41.50	34.00
	水园宾馆	2028	41.74	2032	41.65	—	39.75	41.49	34.04
市内五区	派斯菲克会馆	2026	39.19	2029	39.10	—	37.90	39.00	27.70
	富民桥北	2027	39.09	2032	39.09	—	37.19	38.99	27.72
	204 运河公园内	2027	43.88	2032	44.05	—	42.02	43.87	36.50
	东方俪城	2026	43.81	2028	43.59	—	42.44	43.48	37.00
	砂山水源地	2030	34.23	—	34.01	—	32.09	34.15	26.00
	沈阳故宫	2028	41.69	2031	41.42	—	39.66	41.40	36.79
	省体彩中心	2026	38.82	2029	38.72	—	37.51	38.56	32.53

注:控制性红线上下限水位主要结合沈阳市地下水可能产生的各类风险或灾害来综合确定。

表5 2030 年沈阳市多年平均水资源供需平衡结果

行政分区	需水量/ 亿 m <sup>3</sup>	按水源供水/亿 m <sup>3</sup>					按用户用水量/亿 m <sup>3</sup>				缺水率/%	
		地表水	地下水	再生水	外调水	城镇生活	工业	城镇生态	农村生活	农业		
市内五区	10.27	0.11	0.77	1.86	7.53	3.63	6.05	0.58	0.00	0.00	0.005	0.05
苏家屯区	2.30	0.85	0.96	0.15	0.34	0.32	0.79	0.06	0.04	1.09	0.002	0.09
开发区	3.82	0.79	0.59	0.53	1.91	0.18	2.91	0.03	0.02	0.68	0.000	0.01
浑南区	2.37	0.48	1.40	0.16	0.33	0.33	1.27	0.20	0.03	0.54	0.000	0.02
沈北新区	3.50	0.89	1.56	0.15	0.91	0.37	1.68	0.07	0.04	1.33	0.006	0.19
于洪区	2.80	0.55	1.61	0.16	0.48	0.48	1.08	0.30	0.02	0.91	0.005	0.17
新民市	6.63	0.81	5.25	0.04	0.52	0.38	0.87	0.08	0.07	5.21	0.000	0.00
辽中县	4.46	0.43	3.94	0.05	0.04	0.24	0.60	0.06	0.05	3.51	0.000	0.00
法库县	1.47	0.09	1.03	0.19	0.16	0.14	0.36	0.04	0.05	0.89	0.001	0.04
康平县	2.27	0.66	1.23	0.01	0.36	0.21	0.60	0.05	0.05	1.35	0.000	0.00
合计	39.88	5.65	18.35	3.29	12.57	6.29	16.21	1.48	0.38	15.51	0.020	0.05

问题,成为社会经济可持续发展所面临的最突出、最尖锐、最难解决的复合型问题。针对生态文明建设的需要与地下水资源保护的的特殊性,提出的基于地下水“双控”的水资源配置模型,改进和突破了传统配置中地下水可开采量作为非变化量处理的缺陷,通过地下水可开采量动态计算模块与水资源优化配置模块的信息传输与反馈,给出不同水平年地下水可开采量动态变化下的水资源配置方案,同时新增了地下水水位在水资源配置中的调控作用,通过地下水双控计算模块与水资源优化配置模块的交互迭代计算,给出同时满足地下水位阈值(上限水位、下限水位)要求下的水资源配置方案,为面向人水和谐的水资源配置和地下水“双控”管理提供了一种全新的模型工具。

b. 以沈阳市封井压采和水源置换为例,获得基于地下水“双控”的配置结果:到2030年,沈阳市多年平均供水总量为39.88亿m<sup>3</sup>,其中地表水、地下水、再生水、外调水供水量分别为5.65亿m<sup>3</sup>、18.35亿m<sup>3</sup>、3.29亿m<sup>3</sup>、12.57亿m<sup>3</sup>,缺水率为0.02亿m<sup>3</sup>,缺水率为0.05%。其中,市内五区局部区域到2023年

就需重新开启部分地下水市政水源,到2030年地下水市政水源重启开采总量为0.22亿m<sup>3</sup>,包括李官水源重启开采量为0.1亿m<sup>3</sup>,河北水源重启开采量为0.02亿m<sup>3</sup>,新南塔水源重启开采量为0.1亿m<sup>3</sup>,最终形成基于地下水“双控”的水资源配置总体格局。

c. 本次研究主要侧重基于地下水“双控”的水资源配置,对水功能区地表水水质和地下水水质未予足够重视,下一步研究要对水量水质问题给予足够重视和综合考虑。

#### 参考文献:

- [1] 黄晓燕,叶丽华,李朗,等.江苏省宿迁市地下水超采区综合治理对策研究[J].地下水,2018,40(02):5-7. (HUANG Xiaoyan, YE Lihua, LI Lang, et al. Study on the comprehensive management of groundwater overexploitation zone in Suqian city of Jiangsu province[J]. Ground Water, 2018,40(02):5-7. (in Chinese))
- [2] 马立辉.衡水市治理地下水超采措施探讨[J].水利规划与设计,2017(3):9-10. (Discussion on measures to control groundwater overexploitation in Hengshui City[J].

- Water Resources Planning and Design, 2017 (3) : 9-10. (in Chinese))
- [ 3 ] 赵悦,蒋金荷,李富强. 中国水资源使用效率影响因素分析[J]. 水利经济, 2018, 36(1) : 52-55. ( ZHAO Yue, JIANG Jinhe, LI Fuqiang. Factors for water use efficiency in China[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(1) : 52-55. (in Chinese))
- [ 4 ] 王喜峰,张景增. 水资源管理的供给侧结构性改革研究[J]. 水利经济, 2018, 36(1) : 42-45. ( WANG Xifeng, ZHANG Jingzeng. Supply-side structural reform of water resource management[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(1) : 42-45. (in Chinese))
- [ 5 ] 李迎龙,李海明,谢新民,等. 基于 GMS 的沧县地区浅层地下水控制性管理水位研究[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(6) : 108-114. ( LI Yinglong, LI Haiming, XIE Xinmin, et al. Study on the controlled management water level of shallow groundwater in Cangxian area based on GMS[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(6) : 108-114. (in Chinese))
- [ 6 ] 方樟,谢新民,马喆,等. 河南省安阳市平原区地下水控制性管理水位研究[J]. 水利学报, 2014, 45(10) : 1205-1213. ( FANG Zhang, XIE Xinmin, MA Zhe, et al. Confirmation of controlled groundwater management level and demonstration study in Anyang City, Henan Province [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(10) : 1205-1213. (in Chinese))
- [ 7 ] 连煜阳,刘静,张天才. 农业种植结构等因素对河北省地下水超采的影响[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(5) : 20-24. ( LIAN Yuyang, LIU Jing, ZHANG Tiancai. Effects of agriculture planting structure and other factors on groundwater overdraft in Hebei Province [J]. Food & Nutrition in China, 2017, 23(5) : 20-24. (in Chinese))
- [ 8 ] 王学,李秀彬,辛良杰,等. 华北地下水超采区冬小麦退耕的生态补偿问题探讨[J]. 地理学报, 2016, 71(5) : 829-839. ( WANG Xue, LI Xiubin, XIN Liangjie, et al. Ecological compensation for winter wheat abandonment in groundwater over-exploited areas in the North China Plain [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5) : 829-839. (in Chinese))
- [ 9 ] 许有兵. 精准治水:找准制约水权转换的主要障碍[J]. 水资源保护, 2017, 33(增刊1) : 73-75. ( XU Youbing. Accurate water management-targeting the major barriers to water rights transfer [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(Sup1) : 73-75. (in Chinese))
- [ 10 ] 鹿海员,谢新民,郭克贞,等. 基于水资源优化配置的地下水可开采量研究[J]. 水利学报, 2013, 44(10) : 1182-1188. ( LU Haiyuan, XIE Xinmin, GUO Kezhen, et al. Study on groundwater allowable withdrawal of groundwater based on water resources optimal allocation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(10) : 1182-1188. (in Chinese))
- [ 11 ] LIU Junqiu, XIE Xinmin, MA Zhenzhen, et al. A multiple-iterated dual control model for groundwater exploitation and water level based on the optimal allocation model of water resources[J]. Water, 2018(10) : 26-28.
- [ 12 ] 孙胜祥,王力坚. 大型煤炭基地地下水“双控”研究:以侏罗纪煤田陕西部分为例[J]. 中国水利, 2018(3) : 34-36. ( SUN Shengxiang, WANG Lijian. Studies on double control of groundwater in large coal base: case studies of Shaanxi part in Zhuluoji Coalfield [J]. China Water Resources, 2018(3) : 34-36. (In Chinese))
- [ 13 ] 向龙,范云柱,刘蔚,等. 基于节水优先的水资源配置模式[J]. 水资源保护, 2016, 32(2) : 9-13. ( XIANG Long, FAN Yunzhu, LIU Wei, et al. Model of water resources allocation based on idea of giving priority to water-saving [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(2) : 9-13. (in Chinese))
- [ 14 ] 熊雪珍,何新玥,陈星,等. 基于改进 TOPSIS 法的水资源配置方案评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(2) : 14-20. ( XIONG Xuezheng, HE Xinyue, CHEN Xing, et al. Evaluation on water resources allocation schemes based on improved TOPSIS [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(2) : 14-20. (in Chinese))
- [ 15 ] 胡林凯,崔东文. 基于 SBO-PP 模型的水资源可持续发展能力评价模型及应用[J]. 水利经济, 2017, 35(5) : 7-11. ( HU Linkai, CUI Dongwen. Evaluation model for sustainable development capacity of water resources based on SBO-PP model and its application [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2017, 35(5) : 7-11. (in Chinese))
- [ 16 ] 魏传江,王浩. 区域水资源配置系统网络图[J]. 水利学报, 2007, 38(9) : 1103-1108. ( WEI Chuanjiang, WANG Hao. Generalization of regional water resources deployment network chart [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(9) : 1103-1108. (in Chinese))

(收稿日期:2019-02-19 编辑:彭桃英)

## · 信息播报 ·

### 2018 年 CSCD-JCR 数据发布 《水资源保护》取得显著进步

2019 年 8 月 27 日, 2018 年 CSCD-JCR 数据发布 (<http://sciencechina.cn>)。

《水资源保护》取得显著进步:影响因子从 0.5850 上升到 1.1127,从环境科学类 Q4 区升到 Q1 区。在水利工程类,《水资源保护》影响因子比《水利学报》(影响因子 1.2478)仅差 0.1351,位列第 3。这是所有专家、编委、读者、作者大力支持的结果,让我们继续努力,携手前行,再创辉煌!

(本刊编辑部 供稿)