

文章编号:1672-3031(2019)03-0178-10

基于地下水压采和水源置换的城市供水安全研究

李丽琴^{1,2}, 王志璋³, 贺华翔^{1,4}, 艾亚迪¹, 谢新民¹, 魏传江¹

(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 100044; 3. 中国水利水电科学研究院 信息中心, 北京 100038;

4. 清华大学 水利水电工程系 水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 随着国家对地下水压采和水源置换工程的实施, 城市供水安全研究就显得尤为必要。以沈阳市为例, 基于地下水数值模型对沈阳市压采后的地下水环境演变趋势进行了模拟预测, 根据预测结果分析地下水压采和水源置换后沈阳市供水安全面临的风险, 探讨规避城市供水风险的措施, 旨在为推进地下水封井压采、水源置换及构建城市安全供水保障体系和实行最严格水资源管理制度等提供科学依据。

关键词: 地下水压采; 水源置换; 风险分析; 风险规避措施; 沈阳市

中图分类号: TV213

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2019.03.003

1 研究背景

随着经济社会的快速发展, 水资源供需矛盾日益突出。为满足经济社会对水资源的需求, 部分地区加大地下水开采量, 导致地下水超采严重, 继而引发地面沉降、地裂缝形成、泉水枯竭、河流污染加重、两岸植被和生物多样性减少等一系列生态、地质、环境问题^[1-2]。为防止地下水问题进一步恶化, 国家对地下水管理工作高度重视^[3-9], 相关部门实施了关井压采工作和跨区域调水大水网工程建设, 不仅提供了可替代水源以支撑其社会经济发展, 还为地下水问题的修复提供了希望。但针对地下水封井压采后地下水环境的演变趋势及区域地表水替代区域内地下水对城市供水安全带来的潜在风险目前还未引起大家的高度重视。因此, 本文以沈阳市为例, 针对沈阳市大规模削减地下水开采量和加大外调水工程(大伙房输水和辽西北供水)的情况, 基于地下水数值模型对沈阳市压采后的地下水环境演变趋势进行模拟预测, 根据预测结果对地下水压采和水源置换后沈阳市供水安全存在的潜在风险进行了分析并探讨了规避风险的措施, 旨在顺利实现城市供水水源从区域内地下水向区域地表水转换、逐步实现地下水采补平衡的目标, 为推进地下水封井压采、水源置换及构建城市安全供水保障体系和实行最严格的水资源管理制度等提供科学依据。

2 研究区概况

沈阳市位于我国东北地区南部, 地处东经122°25'09"~123°48'24", 北纬41°11'51"~43°02'13", 包括市内五区(和平区、沈河区、大东区、皇姑区、铁西区)、市郊四区(沈北新区、苏家屯区、浑南区、于洪区)、1个县级市(新民市)、3个县(康平县、法库县和辽中县), 铁西区包含一个国家级开发区: 沈阳经济技术开发区, 全市总面积为12 956 km²。沈阳市多年平均年降水量为598.9 mm, 平均蒸发量为823.3 mm, 浑河是流经该区最大的河流, 多年平均流量45.6 m³/s, 现状年以地下水供水为主, 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

收稿日期: 2017-11-16

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题“西北内陆区水资源多维协同配置与安全保障体系(2017YFC0404306)

作者简介: 李丽琴(1988-), 博士, 主要从事水资源规划、配置和管理研究。E-mail: lilqin_cool@126.com

通讯作者: 王志璋(1974-), 高级工程师, 主要从事水资源配置、调度与水利信息化研究。E-mail: wangzz@iwhr.com

过 70 km²。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,从 2012 年至 2015 年沈阳市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 m³,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。本次研究选取沈阳市平原区作为地下水数值模拟区域,具体包括沈阳市内五区平原区(545 km²)、沈北新区平原区(710 km²)、浑南新区平原区(164 km²)、苏家屯区平原区(400 km²)和于洪区全部(499 km²),总面积 2318 km²,详细见图 1。

根据沈阳市地下水压采计划,模拟计算区需压采的市政地下水水源地主要有 34 处,设计供水能力为 130 万 m³/d,2013 年市政地下水水源供水量为 2.7 亿,随着封井方案的进一步实施,未来地下水供水量约为 6881 万 m³,具体见表 1。

表 1 沈阳市模拟计算区域市政地下水水源供水能力及供水量

行政分区	水厂	水源地	设计供水能力/(万 m ³ /d)	2013 实际供水量/(万 m ³)	封井后供水量/(万 m ³)
市内五区	一水厂	工人村水源	0.4	0	0
		铁西水源	0.4	0	0
		北陵水源	2.5	0	0
		百鸟水源	1	321	0
		中山水源	1.6	145	0
		中医水源	0.9	202	0
		淞江水源	0.24	91	0
	二水厂	太原水源	0.5	160	0
		实验水源	0.2	0	0
		地质水源	0.2	0	0
		空军 023 水源	0.2	0	0
		久和里水源	0.2	0	0
		龙江水源	0.2	0	0
		万泉水源	1.7	465	0
	三水厂	二 0—水源	1.8	562	0
		东工水源	0.6	25	0
		三好水源	0.6	26	0
	四水厂	长白水源	1.2	0	0
		砂山水源	8.5	1351	1351
	八水厂	李巴彦水源	5.4	1338	0
沈北新区	五水厂	尹家水源	6.4	1900	0
	六水厂	石佛寺水源	14.2	2422	256
	七水厂	黄家水源	5	1222	1222
于洪区	一水厂	李官水源	17.4	33	0
		于洪水源	2.5	254	0
		丁香水源	2.6	545	0
		河北水源	4	1614	0
	二水厂	河南水源	1.3	465.2	0
		方士水源	1.5	238	0
	四水厂	竞赛水源	9	1752	1752
浑南新区	三水厂	新南塔水源	15.5	5256	1570
苏家屯区	四水厂	苏西水源	4	1460	730
经济开发区	九水厂	翟家水源	9	1907	0
	西部净水厂	开发区水源	9.47	3457	0
合 计			130	27211	6881

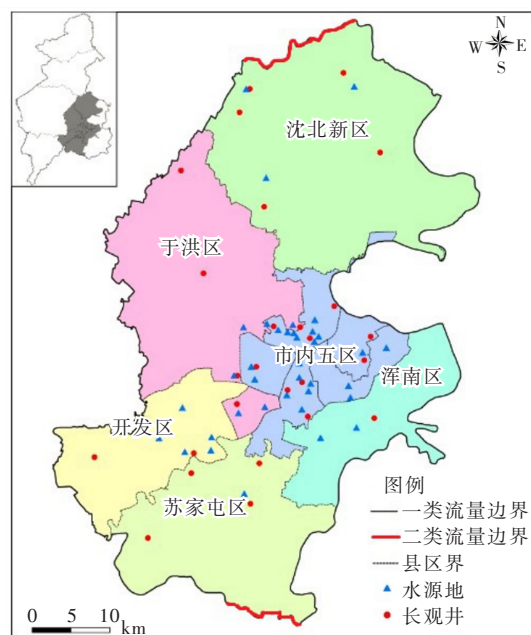


图1 沈阳市地下水模拟计算区域分布图

3 数值模型的建立与求解

沈阳市位于浑河冲洪积扇上,地势由东北向西南逐渐降低,区内以冲堆积地形为主,东北及东南部属风积岗状与波状台地,除东部丘陵区外,均被第四系松散堆积物所覆盖,具有较好的水文地质条件,山丘区裂隙水主要依靠大气降水补给;平原区及河谷平原区松散岩类孔隙水的补给来源除大气降水补给外,还有农田灌溉入渗补给及山前侧向补给等,特别是城区地下水源集中区,由于地下水集中开采,导致地下水位低于河水位,使地表水入渗补给地下水,人为的增大了河道入渗补给量。山丘区地下水主要以河川基流的形式排泄,成为地表径流的一部分,此外,尚有部分地下水开采及河谷平原的潜水蒸发、山区与平原交界地带的山前侧向流出等。平原区地下水的主要排泄方式为人工开采,占排泄量的大部分,其次为潜水蒸发,以及沿河地带的河道排泄。

水文地质条件概化:通过分析和研究沈阳市平原区水文地质条件,结合地下水位长期观测资料和水位统测资料以及地下水开采情况等,将沈阳市平原区地下水开采层概化为统一的地下水资源系统,并将该系统概化为非均质各向同性的、与外界环境有密切联系的开放性系统。计算区域内地下水由东部和东北部向西部或西南部流动,在市政水源地附近,地下水向水源地开采中心流动,在浑河近岸地区,由河流方向向两侧流动;将地下水的水动力特征概化为微承压准三维非稳定流,并且符合达西定律。

水文地质参数分区概化:根据沈阳市水文地质图件及各县区水文地质勘查资料,分析得出研究区第四系松散岩类潜水含水层的成因时代、岩性特征及岩石水理性质有一定的变化,主要为含水层岩性由砾卵石、砂砾石逐渐过渡为粗砂、中砂、细砂,故依据水均衡计算将研究区分为8个水文地质参数区。其中每个分区的渗透系数和给水度初值根据沈阳市钻孔岩性、区域水文地质地貌以及抽水试验资料并结合二者经验数值综合确定,各分区参数初值见表2。

边界条件概化:研究区东部为山丘区,对平原区有侧向补给,为侧向流入边界,西部与研究区外部有水量交换,为侧向流出边界,将东西部概化为二类流量边界;研究区北部和南部与河流交汇,为定水头边界,将南北部概化为一类水头边界;具体见图1。研究区潜水含水层上部为水量交换边界,接受降雨入渗补给、地表水灌溉入渗补给、井灌回归入渗补给等补给项及农业灌溉、人工开采、潜水蒸发等排泄项,含水层底部与基岩接触,将其概化为隔水边界。

基于上述水文地质概念模型,研究区地下水流数值模型为非均质各向同性的非稳定流模型,建

立孔隙潜水含水层的数学模型如下：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}\left(kx\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(ky\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(kz\frac{\partial h}{\partial z}\right) + P = \mu_s \frac{\partial h}{\partial t} & (x, y, z) \in \Omega, t > 0 \\ h(x, y, z)|_{t_0} = h_0(x, y, z) & (x, y, z) \in \Omega \\ h(x, y, z)|_{\Gamma_1} = h_1(x, y, z, t) & (x, y, z) \in \Gamma_1, t > 0 \\ -\left(kx\frac{\partial x}{\partial h}\cos\theta_x + ky\frac{\partial y}{\partial h}\cos\theta_y + kz\frac{\partial z}{\partial h}\cos\theta_z\right)\Gamma_2 = q & (x, y, z) \in \Gamma_1 \\ \frac{d}{dt}(h-z)|_{\Gamma_3} = 0 & (x, y, z) \in \Gamma_3, t > 0 \end{cases}$$

式中： $h_0(x, y, z)$ 表示初始水位的分布情况； P 表示单位体积源汇项； $h_1(x, y, z, t)$ 表示一类边界条件下的定水头； Γ_1 表示研究区概化的一类边界； q 表示二类边界单位面积流量，单位 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ； Γ_2 表示研究区概化的二类边界； Ω 表示渗流区域； $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 分别表示二类边界的法线方向与 x 轴、 y 轴及 z 轴的夹角； Γ_3 表示自由面； k_x, k_y, k_z 分别表示渗透系数沿 x 轴、 y 轴及 z 轴的分量。

应用三维地下水流数值模拟系统GMS的MODFLOW模块对研究区进行自动剖分，共剖分为18 180个网格(200行×200列)，每个网格长300 m，宽425 m，面积为 0.1275 km^2 。根据沈阳市地下水长期观测资料，考虑研究区地下水位的年内和年际变化规律，将每个水文年划分为两个计算时段，即每年4月26日至9月26日为丰水期，每年9月27日至翌年4月25日为枯水期。本次研究采用2007年4月26日—2013年4月26日的实测数据对模型进行长时间序列识别，采用2013年4月27日—2013年9月26日实测数据对模型进行验证，对模型的参数、边界性质和各项补、排量进行验证。

识别期典型观测井的水位拟合效果(图2)及验证期末地下水位等值线拟合图(图3)显示：模型计算水位与实测水位整体拟合效果较好，均在置信区间范围内。水位拟合误差小于0.5 m的结点占已知水位结点数的80%以上，计算水位与实测水位等值线的整体拟合程度良好。

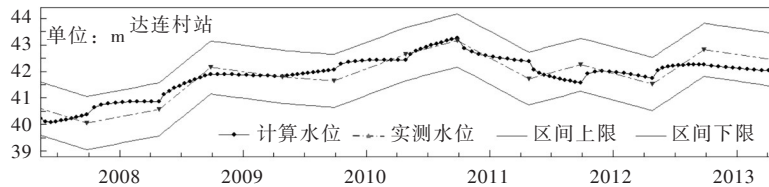


图2 识别期典型观测井地下水位拟合图

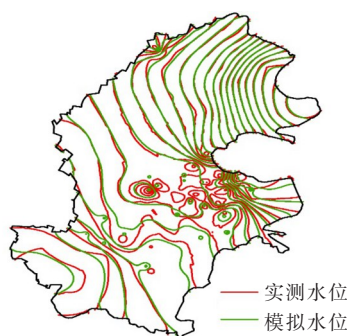


图3 验证期末(2013-9-26)地下水位等值线拟合图

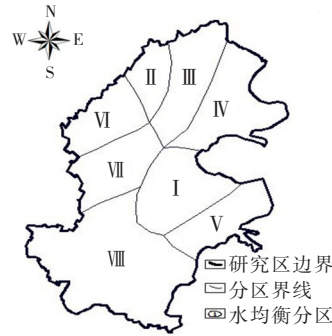


图4 模拟区域水文地质参数分区图

通过初始参数输入、模型识别及参数调整，最后反演得到的相关水文地质参数是合理、有效的。识别和验证后的水文地质参数，识别和验证后的水文地质分区及参数值结果见图4及表2。

4 关井压采地下水和置换水源风险分析

4.1 关井压采地下水风险分析 基于模型识别与验证后得出的有关水文地质参数和反演确定的地下

表2 初始及识别验证后的水文地质参数值表

名称	编号	面积/km ²	渗透系数 $K/(m/d)$		给水度 μ	
			初始参数	验证识别后参数	初始参数	验证识别后参数
市内五区	I	259	70	100	0.11	0.11
	II		100	70	0.12	0.11
沈北新区	III	710	100	70	0.12	0.12
	IV		70	50	0.11	0.11
浑南新区	V	164	70	70	0.11	0.12
	VI		100	70	0.12	0.11
于洪区	VII	499	70	60	0.11	0.12
	VIII		100	70	0.12	0.15
苏家屯及经济技术开发区		686				

水开发利用均衡结果,以多年平均降水量条件下保持水资源现状开发利用模式,根据沈阳市地下水压采计划,利用所构建的地下水数值模拟模型,分析和预测未来2014年—2035年32年时间跨度的地下水位变化趋势。预报模型以验证期末时刻即2013年9月26日的地下水位作为预报期的初始流场,蒸发和河流水位均采用多年平均值。边界条件的预报综合考虑自然因素、人为因素及相邻系统扰动等的复合效应^[10]。实行压采方案后,全区地下水位不同程度的呈现出上升趋势,以市内五区淞江水源为例,由图5可以看出2014年—2035年淞江水源地下水位总体呈现大幅上升趋势,2031年地下水位达到最大值,之后受降雨系列影响地下水位存在小幅下降,但相比现状年仍是上升趋势。根据未来2014年—2035年地下水位预测结果,从2023年开始出现超限水位的局部区域,到2035年底大规模出现超限水位的众多区域,主要集中在市内五区,具体见图6(蓝色线圈中部分代表超限水位区域)。

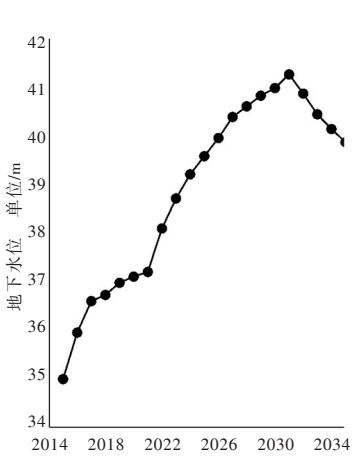


图5 市内五区淞江水源地下水位演变图

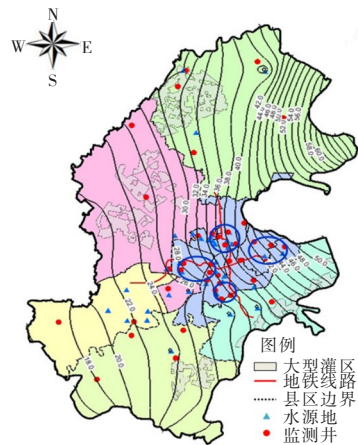


图6 地下水位等值线图(2035年12月31日)

由于地下水埋深更为直观、更能与地下水控制性红线上、下限水位相比较,因此转换成地下水埋深。选取封井前2007年、封井中2013年及封井后2023年、2035年地下水埋深绘制地下水埋深等值线图(蓝色线圈中部分代表超限水位区域),详细见图7。地下水埋深由封井前2007年的浅埋深到封井中2013年的深埋深,再到封井后2023年、2035年的浅埋深,这种地下水埋深由浅变深、再变浅的趋势是合理的,与当时降水量和水资源开发利用规模以及地下水压采等存在直接关系。下面分两类论述:

(1)市区所属大型灌区(石佛寺灌区、浑北灌区、浑南灌区和沈抚污水灌区)按水资源现状开发利用模式下封井压采后地下水位埋深均未超过造成土壤盐渍化和沼泽化等问题的上限埋深(2 m);市区重工业集聚的区域实施封井压采计划后局部区域地下水位回升较快,而地下水位抬升过高极易造成固体废弃物(垃圾填埋场)与地下水直接接触或被地下水淹没而使地下水遭受污染并使污染物快速扩散^[11-14]。例如铁西区属于重工业集聚区,地下水主要以铁和锰污染为主,作为一种重金属污染,在土壤和地下水系统中,这些污染物通过地下水回升形成的水动力场加剧污染物质运移和扩散,污染和

影响周边地下水体质量状况。地下水临界埋深暂按产生土壤次生盐渍化和沼泽化的临界埋深考虑，目前未超过上限值。

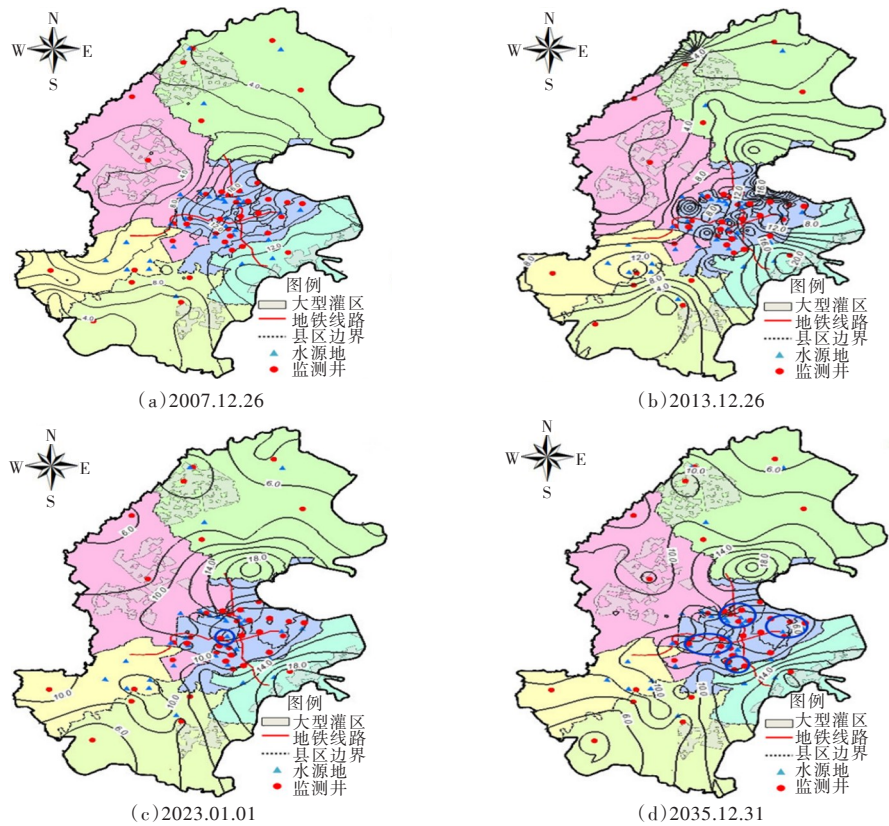


图7 沈阳市地下水位埋深演变趋势图

(2)市区人防工程和地下建筑区，由于集中开采量大，封井方案实施后在地下水市政水源地附近监测井水位回升较明显，见表3。2020年于洪区的轻工研究所及市内五区内西站灯具城、远洋天地、127中学、沈阳故宫等多处地下水位埋深回升较快，开始超过人防工程和地下建筑临界埋深上限水位，导致道路翻浆、建筑物地基和地下空间工程(如地铁工程)易出现抗浮安全及渗水风险，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^[15]。目前城区地铁线附近抗浮设计水位埋深为3 m，沈阳市道路冻胀及翻浆临界水位埋深应不小于2 m，已建与新建建筑物基坑防水工程等上限水位埋深为6 m。

表3 超限观测井水位与超限年份预测结果 (单位：m)

行政区	超限观测井名称	超限年份	计算水位埋深	上限水位埋深
于洪区	轻工研究所	2026年	5.71	6
	西站灯具城	2027年	5.99	6
	远洋天地	2027年	5.98	6
	127中学	2023年	5.78	6
	北一路肇工街	2033年	5.98	6
	辽宁大厦	2035年	5.96	6
	水园宾馆	2032年	5.84	6
市内五区	派斯菲克会馆	2029年	5.9	6
	富民桥北	2032年	5.9	6
	204运河公园内	2032年	5.82	6
	东方俪城	2028年	5.89	6
	沈阳故宫	2031年	5.98	6
	省体彩中心	2029年	5.84	6

存在潜在风险的水源地未来要加强水位监测频次,密切监视局部区域地下水位变化态势,尽量做到及时发现并尽早采取诸如重启部分市政水源井或修建街景喷泉水源井、环境取水水源井等有效措施,未雨绸缪。

4.2 水源置换风险分析 沈阳市现状年(2013年)城市供水组成以地下水为主,到2020年、2030年随着大伙房输水工程和辽西北供水工程相继建成通水,全市封井压采工作也将随之全部结束,沈阳市城市供水组成也随之发生巨大变化。如到2030年市内五区地下水供水比例由2013年的48%降低到仅为6%,地表水供水比例由2013年的1%增加到2%,外调水供水比例由2013年的50%增加到84%以上,再生水供水比例由2013年的1%增加到8%。即到2030年外调水源将成为沈阳市城市供水的主力水源,一旦外调水水源地发生水体污染或工程事故等突发事件将对沈阳市城市供水安全造成不可低估的影响和冲击^[16-18]。

沈阳市城市外调水源工程主要有大伙房水库水源工程、大伙房输水工程和辽西北输水工程。

(1)大伙房水库水源工程可能面临的风险。

①水体污染类风险。浑河是沈阳市的母亲河,属于沈阳市第二大过境河流,其发源于抚顺市清原县长白山支脉的滚马岭,从东陵区小仁镜村流入沈阳境内,大伙房水库位于浑河上游,由于接纳上游抚顺市所辖乡镇、村庄的大量生活污水和垃圾、农业面源污染物(包括农药、化肥等)和一些乡镇企业排放的工业废水和固体垃圾等,极易造成有毒有机物、油污或放射性物质、重金属、有毒化工产品,或藻类大规模繁殖等污染,未来势必会严重威胁沈阳市城市供水安全。

②工程事故类风险。大伙房水库位于浑河上游,对河流中下游防洪起到决定性作用。但大伙房水库以上的上游,缺乏水库拦蓄洪水,夏季暴雨时洪灾严峻。历史上曾发生过3次特大降雨,1995年7月浑河流域发生特大洪水,大伙房水库超设计标准运行,沈阳市境内浑河左岸堤防出现重大滑坡险情、右岸堤防多处溃决;2010年8月辽宁、吉林两省普降大雨发生严重汛情,大伙房水库非常溢洪道下游堤防右岸混凝土护坡出现险情;2013年8月16日浑河上游降下大暴雨,大伙房水库超警戒水位2.69 m。因此,如果浑河上游出现特大洪水,易导致大伙房水库大坝、拦河堤坝、取水管涵等发生垮塌、断裂致使城市水源枯竭等风险。

(2)大伙房输水工程和辽西北供水工程可能面临的风险。

大伙房输水工程和辽西北供水工程可能面临的风险主要包括:接纳上游吉林省通化市和白山市所辖区域的大量生活污水和垃圾、农业面源污染物(包括农药、化肥等)和一些工业企业排放的工业废水和固体垃圾等有毒有机物、油污或放射性物质、重金属、有毒化工产品等,将会造成沈阳市城市供水系统无水可供的风险。

5 规避风险措施

基于地下水压采和水源置换风险分析,依据地下水压采计划和水资源配置总体格局的调整,通过合理布局常规水源、应急水源与战略储备水源,提高城市供水的抗风险能力,为保障沈阳市经济社会的快速发展提供强有力的供水安全保障,具体见图8。

5.1 城市地下水源地分类 通过分析市区及近郊区市政水源的供水能力及压采后供水量变化情况等,将城市供水水源划分为三类水源。

(1)第一类是依据规划完全封闭的市政地下水水源。主要包括工人村水源、铁西水源、于洪水源、丁香水源、北陵水源、地质水源、久和里水源、龙江水源。这些水源主要集中在城市的西北部,由于水文地质条件不佳目前已不适合继续开采,按照压采计划予以封井。

(2)第二类是减采地下水水源,为排除第一类市政地下水水源后,其余市区及近郊区的市政地下水水源。主要包括市政一水厂、二水厂、三水厂、四水厂及八水厂的大部分水源,主要集中在市区的东部、中部及西南部,部分水源属于傍河水源供水能力较大(如新南塔水源、河北水源、长白水源等)。由于市区及近郊区的市政地下水水源大量开采,造成地下水位大幅度下降,若继续大规模开采将

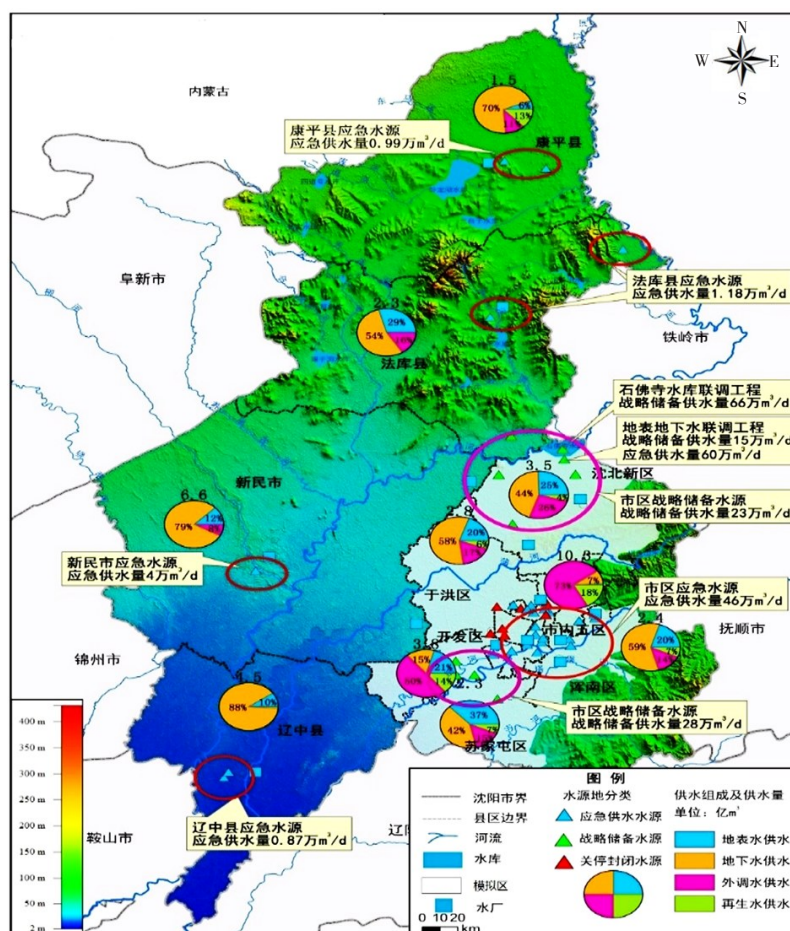


图8 沈阳市应急及战略储备水源分布图

会引起不可逆的环境地质问题。

(3)第三类是间歇性开采地下水水源，为市区外围的市政地下水水源。主要包括沈北新区的石佛寺水源、尹家水源、黄家水源，法库县的依牛堡水源，开发区的胜科水源、开发区水源以及苏家屯的苏西水源。这些水源的特点是开采较为集中，开采量较大，当满负荷运行时会同大幅挤占或影响当地的农业灌溉用水。

通过上述分析，可为提出或谋划沈阳市应急水源和战略储备水源布局提供参考依据。

5.2 建立应急水源 基于事件的突发性和措施的及时性原则，即当事故发生后能够尽快恢复供水，满足基本生活及重点行业用水需求。从水源类型上选取地下水应急水源和地表水应急水源两类。

(1)地下水应急水源：把现有第二类水源(减采地下水水源)划分为应急水源，市区内应急水源供水能力为 59 万 m³/d，康平县应急水源供水能力为 0.99 万 m³/d，法库县应急水源供水能力为 1.18 万 m³/d，新民市应急水源供水能力为 4 万 m³/d，辽中县应急水源供水能力为 0.87 万 m³/d。地下水应急水源供水能力总计可达 66.04 万 m³/d。

(2)地表水应急水源：地表地下水联调工程位于沈北新区石佛寺水库以下辽河干流及其一级支流之间，具体包括新西小河、万泉河、羊肠河、长河和左小河所组成的流域范围，通过增大河网拦蓄，增加地下水入渗补给。该工程可提供短期应急供水能力为 60 万 m³/d(含规划的常规水源 10 万 m³/d)。

因此，沈阳市总的应急水源供水能力为 126 万 m³/d。考虑到城区地下水水位过高会对建筑物地基及地铁安全产生影响，同时地下水受污染的风险也会大大提高，故建议水行政主管部门合理布局 and 综合运用常规水源和应急水源，并借助于地下水实时监测网，通过实施地下水“双控”管理，将有效控制城区地下水取水总量与水位变化态势^[19]。

5.3 谋划战略储备水源 基于供水量的稳定性及长期性，从水源类型上选取地下水战略储备水源和

地表水战略储备水源两类。

(1)地下水战略储备水源:选取现有第三类水源(间歇性开采地下水源)作为战略储备水源,一方面是由于沈北新区、苏家屯区、法库县地下水量较丰富;另一方面是利用市内五区外围的市政水源及现有的配套管网既可省去大量工程投资,又可实现对市区长期稳定供水。

沈北新区和法库县战略储备水源供水能力为23万 m^3/d ,经济开发区和苏家屯区战略储备水源供水能力为28万 m^3/d ,地下水战略储备水源总供水能力可达51万 m^3/d 。

(2)地表水战略储备水源:①石佛寺水库联调工程位于石佛寺水库库区,由石佛寺水库与库区内地下水构成联调工程。该工程为规划工程,规划供水总规模为66万 m^3/d 。②地表地下水联调工程位于沈北新区石佛寺水库以下辽河干流及其一级支流之间,具体包括新西小河、万泉河、羊肠河、长河和左小河所组成的流域范围,通过增大河网拦蓄,增加地下水入渗补给。该工程可提供长期战略储备供水量为15万 m^3/d 。

因此,沈阳市总的战略储备水源供水能力可达132万 m^3/d 。

6 结论

(1)基于地下水数值模型对沈阳市关井压采后地下水环境演变趋势进行模拟预测,地下水流数值模拟模型的识别与验证结果表明,所建立的模型能够较准确反映区域地下水流变化特征,在此基础上进行地下水位演变预报具有一定的可信度。

(2)预测结果显示:依据沈阳市政府封井方案实施后2020年以后于洪区的轻工研究所及市内五区内西站灯具城、远洋天地、127中学、沈阳故宫等多处地下水市政水源地附近监测井水位回升较明显,水位埋深开始超过人防工程和地下建筑临界埋深上限水位,导致道路翻浆、建筑物地基和地下空间工程(如地铁工程)易出现抗浮安全及渗水风险;同时2030年后随着外调水源工程(大伙房水库水源工程、大伙房输水工程和辽西北输水工程)成为沈阳市城市供水的主力水源,受国内水体污染、工程事故及国际战争等恐怖事件的影响,从水质和水量上对外调水源易造成不可低估的影响和冲击。

(3)为规避沈阳市地下水压采和水源置换造成供水安全威胁,基于事件的突发性和措施的及时性原则,为能够尽快恢复供水,满足基本生活及重点行业用水需求,建议相关部门应合理布局应急水源,其中沈阳市总的应急水源供水能力为126万 m^3/d ;基于供水量的稳定性及长期性,建议相关部门应合理布局战略储备水源,总的战略储备水源供水能力为132万 m^3/d ,形成“长短结合、远近互补”的供水安全保障格局,以满足沈阳市相应的应急和战略发展需求。

参 考 文 献:

- [1] 曲炜.节水型社会建设要推进地下水双控管理[J].中国水利,2018(6):27-29,20.
- [2] 王震,杨军耀.超采区关井压采地下水环境修复评价体系初探[J].人民黄河,2013(9):82-85.
- [3] 王晓玮.我国西北超采区地下水水量—水位双控指标确定研究[D].北京:中国地质大学,2017.
- [4] 刘江,付强.地下水开采量和水位双控管理模式探讨[J].地下水,2017,39(3):62-63.
- [5] 童彤.地下水双控应与地下水污染防治协同并进[N].中国经济时报,2014-12-19(2).
- [6] 于丽丽,凌敏华,刘昀竺,等.跨省超采区地下水压采协调机制研究[J].人民黄河,2018,40(2):53-56.
- [7] 李五金,于福荣,付丽,等.东光县地下水压采效果及环境影响预测[J].水资源保护,2017,33(5):123-129.
- [8] 刘孝铭,程海英.锦州城区地下水压采措施及效益分析[J].水土保持应用技术,2015(5):21-22.
- [9] 夏朋,姜斌.南水北调工程受水区地下水压采与保护监督机制研究[J].水利发展研究,2012,12(5):10-14,27.
- [10] 卢文喜.地下水运动数值模拟过程中边界条件问题探讨[J].水利学报,2003(3):33-36.
- [11] 朱帆济,刘亚洲,权锋,等.武汉市金口垃圾填埋场对浅层地下水水质的影响[J].土工基础,2018,32

- (2): 198-201.
- [12] 肖满, 马志强. 存量垃圾填埋场对地下水的污染评价——以某地区存量垃圾填埋场为例[J]. 南方能源建设, 2017, 4(3): 115-118.
- [13] 洪梅, 张博, 李卉, 等. 生活垃圾填埋场对地下水污染的风险评价——以北京北天堂垃圾填埋场为例[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(3): 88-91, 95.
- [14] 周立冬, 潘俊, 钟英鹏, 等. 沈阳市生活垃圾处理现状与对策[J]. 环境科学与管理, 2007, (6): 15-17.
- [15] 孙冬爽. 石家庄轨道交通地下结构抗浮技术研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2015.
- [16] 王茹雪, 赖万安. 珠江流域片省际水事纠纷特点及处理意见[J]. 人民珠江, 2011(5): 4-5.
- [17] 苏明胜. 跨省河流污染对亳州市地表水的影响[J]. 环境监测管理与技术, 2002(5): 23-25.
- [18] 万波, 赵晓辉, 侯建军. 1765年沈阳5 1/2级地震发震构造判定[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010(4): 620-628.
- [19] 高峰. 辽阳县地下水水位控制与取水总量控制研究[J]. 水土保持应用技术, 2016(2): 29-31.

The study of urban water supply safety based on groundwater compressive exploitation and water source replacement

LI Liqin^{1, 2}, WANG Zhizhang^{1, 3}, HE Huaxiang^{1, 4}, AI Yadi¹, XIE Xinmin¹, WEI Chuanjiang¹

(1. Water Resources Department, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, P.R. China 100038, China;

2. Water Resources Department, Beijing Water Science & Technology Institute, Beijing, P.R. China 100044, China;

3. information technology department, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, P.R. China 100038, China;

4. State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Department of Hydraulic Engineering,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: With the implementation of groundwater compressive exploitation and water source replacement, the research of urban water supply safety is particularly necessary. Taking Shenyang City as an example, based on groundwater numerical model, the groundwater environment evolution trend after groundwater compressive exploitation was simulated and predicted. According to the prediction results, the risk of water supply safety in Shenyang after groundwater compressive exploitation and water source replacement was analyzed, and the measures avoiding risk of urban water supply were discussed, which aim to provide a scientific basis for promoting groundwater compressive exploitation, water source replacement and construction of urban water supply security system and implementation of the most stringent water resources management system.

Keywords: groundwater compressive exploitation; water source replacement; risk analysis; countermeasure; Shenyang

(责任编辑: 祁 伟)