

基于含水层调蓄的长春市应急供水

戴长雷¹, 迟宝明², 刘中培²

(1. 黑龙江大学水利电力学院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026)

摘要 根据长春市资源形势, 强调了周边地下水水源对长春市城市解决应急供水的重要作用, 提出了 4 种情形下的应急供水方案, 并结合饮马河中游地下水源地实例对方案进行了论证。论证的重点在于长春市城市遭遇供水危机时应急水源保障长春市城市供水的可持续时间, 论证结果表明: 在一定的开采模式下, 应急水源地可以向长春市提供相当可观的应急水量, 在一定程度上可以缓解用水危机。

关键词 应急供水; 地下水; 含水层; 长春市

中图分类号: P641.8 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2007)04-0037-03

Emergency water supply based on the regulation and storage capacity of aquifer in Changchun City

DAI Chang-lei¹, CHI Bao-ming², LIU Zhong-pei²

(1. College of Water Conservancy & Power, Heilongjiang University, Harbin 150086, China; 2. College of Environment & Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract Based on water situation in Changchun City, the contribution of groundwater around the city to the emergency water supply was emphasized. Emergency water supply projects under four different situations were proposed. A case of the groundwater source area in the middle Yinma River was studied in order to find out the duration of water supply by emergency sources when Changchun City suffered from water supply crisis. The result shows that the emergency water sources under certain exploitation pattern can offer considerable water quantity for Changchun City. So it can alleviate water crisis more or less.

Key words emergency water supply; groundwater; aquifer; Changchun City

长春市是一个水资源比较贫乏的城市, 水资源问题严重阻碍了该市社会经济的发展, 已成为影响该地区健康稳步发展的“瓶颈”。为实现社会稳定、城市经济安全和环境安全, 必须运用可持续发展观对水资源进行科学保护和开发^[1-2]。长春市为城市资源型缺水, 供水严重依赖调引外水, 由此决定了长春市城市供水系统存在着诸多的隐患。保障长春市水资源的安全供应, 应对水资源供应的突发问题, 是各级管理部门应当高度重视的课题。

1 应急供水水源选择

长春市的供水水源主要有地下水、新立城水库、石头口门水库和“引松入长”工程。其中, 地下水由

于多年连续超采, 水位大幅度下降, 日出水量较小, 开采潜力不大。新立城水库和石头口门水库自 20 世纪 90 年代后期以来, 蓄水量日趋减少, 远远小于正常蓄水量^[3], 若发生应急供水, 作用有限, 供水意义也不大。“引松入长”工程虽然具有很大的开发潜力, 但对第二松花江水的依赖性越强, 长春市的供水系统就越不稳定, 供水风险越大。因此, 对于应急供水, 基于已有水资源挖潜, 不能根本改变长春市的用水危机形势。

长春市周边, 西部属于干旱缺水, 无水可供; 北部随着哈达山水库的建成蓄水, 第二松花江丰满至哈达山段用水量增加; “引松入长”工程得到的源水量势必减少; 东部地表水资源已经通过“引松入

基金项目: 吉林省科技厅科技发展项目(20010432), 黑龙江大学青年科学基金(QT01), 黑龙江省水利厅科研项目(HSKY2005-16), 黑龙江省教育厅科技项目(11511298)

作者简介: 戴长雷(1978—), 男, 山东郓城人, 副教授, 博士, 主要从事水文地质方向的研究。E-mail: dlddecl@126.com

长”工程和石头口门水库向长春市供水,开发潜力不大,南部处于松辽分水岭地带,扣除当地需水外,水资源潜力也不大。由以上分析可知,长春市周边地表水资源开发利用程度已较高,对地下水源地的开发是目前研究工作的重点。

长春市东南饮马河中游冲积河谷平原地区,一级阶地发育,含水介质主要为冲积洪积中粗砂和砂砾石,含水介质透水性好,富水性强,调蓄空间大,是优选的战略后备水源地。在此建立战略后备水源地,具有输水管线易于布置、经济成本较低、水质好、无淹地风险等优点,可以为长春市应急供水实施提供出路。

2 应急供水方案设计

由供水潜力分析可知,周边地下水水源在长春市城市应急供水中的重要作用,决定了长春市在遭遇供水风险时应急供水可基于含水层进行人工调蓄的优势^[4-5]。

饮马河中游河谷平原第四系孔隙含水层位于长春市东南 50 km 处,为饮马河中游冲积河谷平原与伊舒地槽交叉复合部位。该地区地势开阔平坦,第四系砂砾石沉积发育,地表径流丰富,河汉泡塘众多,降水时变性强,地貌主要为剥蚀堆积地形和堆积地形。通过实地考察、模拟实验、计算论证等多方面的工作,饮马河中游河谷平原第四系孔隙含水层调蓄水源丰富、调蓄空间大、水更替条件好,是良好的应急水源地。

若以该含水层为地下水源地实现向长春市城市稳定供水,则需要政府部门在区域内饮马河、双阳河、岔路河河段沿线布置集中开采井以及在一级阶地布置回渗场等,以便集中开采地下水源水量和增加水源水量的补给,这也是长春市城市应急供水的前提和基础。

在应急情况下,城市供水方案主要有如下特点:
 ①要停止应急水源区的农业灌溉取水,因此水更替活动主要包括降水入渗、河流侧渗、侧流补给、人工补给和人工开采,即没有灌溉开采,同时也没有灌溉回渗项;
 ②将灌溉用分散分布的农用井征用为城市供水水源井,这需要政府供水部门平时有计划地在应急水源区分散地开凿一些取水井,并配套建设集水设施。常规状态下,可将这些水井用作监测或者移交当地农用,一旦出现应急供水状态,立即回收采水权,以弥补饮马河、双阳河、岔路河以及围回渗场等集中采水设施采水能力的不足,提高应急供水能力;
 ③将区内集中取水工程的取水能力假设为与区内的分散采水能力相等;
 ④为在较短时间内取得尽可能多的水,需采取不可持续的局部疏干式强采,取

出的水优先满足当地生活用水和以长春市为主要供水目标的城市供水^[6-9]。

因为引发城市应急供水的无论是水质污染、工程损坏,或是蓄水不足,都是非常规事件,不能依据常规序列外推预报的情形进行,只能预设。这里预设 4 种具有代表性和典型性的应急供水方案。第 1 种情形是从连续枯水年(年降水量 480 mm)的枯水季节 11 月份开始应急供水;第 2 种情形是从连续枯水年的丰水季节 5 月份开始应急供水;第 3 种情形是从连续平水年(年降水量 621 mm)的枯水季节 11 月份开始应急供水;第 4 种是从连续平水年丰水季节 5 月份开始应急供水。4 种情形下应急供水方案如果能够满足用水需求,则其他情形下就可以提供更充足的应急供水量^[10-12]。

4 种方案中,枯水季节和丰水季节的差别在于降水补给、地表水补给和对于稳定供水情况下减少的灌溉开采出现与否;枯水年和平水年的区别在于应急情况发生时水源区的实时蓄水量不同,应急情况发生后的含水层总体补给情况不一样,连续则是指应急供水情况发生后的下一个或几个时段仍然假设为枯水年或平水年。

3 方案论证

根据水文地质条件,将水源地概化为非均质、各向同性潜水含水层,并由地下水流场变化,将水源地地下水渗流概化为平面二维非稳定流。

对饮马河中游应急水源地进行如下模拟:模拟地下水源地的周边界为补给或隔水边界,并根据需要对边界进行人工预处理,模拟地下水源地的蓄水实体为边界所圈闭的第四系全新统和上更新统冲积洪积砂砾石含水层;模拟水更替活动主要包括降水入渗、河流侧渗、侧流补给、人工补给和人工开采等。基于以上分析和模拟条件,建立数学模型。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left[K(H-B) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(H-B) \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \\ \quad \left(E + R - \bar{Q} - \sum_{m_2=1}^{M_2} Q_{m_2} \right) = u \frac{\partial H}{\partial t} \\ \quad \quad \quad (x, y) \in \Omega; t > 0 \\ \sum_{m_2=1}^{M_2} Q_{m_2} \leq Q_{DT} \\ H(x, y, 0) = H^0(x, y) \quad (x, y) \in \Omega \\ K(H-B) \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x, y, t) \Big|_{\Gamma_2} \\ \quad \quad \quad (x, y) \in \Gamma_2; t > 0 \\ V_i = uF(H^{top} - H) \quad t > 0 \end{array} \right.$$

式中: t 为时间坐标; x, y 为空间坐标; Ω, Γ_2 为水源

表1 供水方案论证结果

方案	应急供水起始时间	集中采水强度/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	总采水强度/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	应急供水强度/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	持续时间/月
1	枯水年枯水季节	25	50	42.6	5
	枯水年枯水季节	35	70	60.6	4
	枯水年枯水季节	45	90	78.6	3
2	枯水年丰水季节	25	50	42.6	7
	枯水年丰水季节	35	70	60.6	5
	枯水年丰水季节	45	90	78.6	3
3	平水年枯水季节	25	50	42.6	8
	平水年枯水季节	35	70	60.6	5
	平水年枯水季节	45	90	78.6	4
4	平水年丰水季节	25	50	42.6	10
	平水年丰水季节	35	70	60.6	7
	平水年丰水季节	45	90	78.6	5

4种方案下预测的长春市城市应急供水可持续时间均是在优先满足当地生活用水 $3 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的基础上,在集中供水井网和农灌井网同时开启的条件下,采用局部疏干式开采原则下的预测结果。方案预测结果虽然考虑了当地生活用水,但局部疏干式开采是一种不可持续的开采方法,不仅会对下游用水量产生影响,而且扰乱了当地地下水的赋存和运动规律,对当地的地质环境和生态环境将造成不同程度的影响。因此,应急供水时,要根据需水量,合理安排取水量和取水时间,以达到供水和环境的最佳效益。

5 结论

长春市城市供水系统风险性大,应急供水方案论证的目标就是确定饮马河中游地下水源地的重要性和可行性,降低对区外调水过分依赖的风险,重点是论证在应急情况下地下水源地向长春市提供的可用水量及保障长春市城市供水的可持续时间。

方案论证结果表明,应急供水若发生在连续枯水年份,饮马河中游地下水源地以 $78.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 为长春市供水至少可以维持3个月。即对地下水源地加大人工调蓄力度,通过征用农灌井和集中式供水方式的联合实施,在疏干式开采条件下,可以实现向长春市应急供水的目的。研究成果为河谷型地下水源地的可行性研究和城市应急供水水源地论证提供了研究思路和论证方法。

参考文献:

- [1] 阮本清,魏传江.首都圈水资源安全保障体系建设[M].北京:科学出版社,2004:70-73.
- [2] 钱易,刘昌明,邵益生.中国城市水资源可持续开发利用[M].北京:中国水利水电出版社,2002:32-67.
- [3] 廖资生.21世纪长春市城市供水水源问题[J].水文地质工程地质,2005,33(2):42-44.

(下转第43页)

区范围及二类边界; u 为重力给水度; H^0, H, H^{top} 分别为初始水位、实时蓄水位和极限高水位, m ; B 为含水层底板标高, m ; K 为含水层渗透系数, m/d ; E, R, \bar{Q} 分别为降雨入渗强度、河流侧渗强度和面开采强度, m/d ; m_2 为集中采水点编号; M_2 为集中采水点总数; Q_{m_2} 为 m_2 采水点开采强度, m/d ; Q_{Dr} 为集中采水工程的最大采水能力, m/d ; q 为二类边界单宽流量, m^2/d ; \mathbf{n} 为 Γ_2 的外法线方向; V_t 为 t 时刻的实时调蓄库容, m^3 ; F 为水源区蓄水体平面面积, m^2 。

求解时,根据长春市城市需水要求、当地生活需水要求和研究区取水工程的取水能力确定集中取水强度和面开采强度;其次根据枯水年或平水年的假设,结合降水分析成果类比确定各月降水量;然后,计算确定降雨入渗强度和河流侧渗强度。

对于集中采水工程和分散井网的采水强度,调试方法如下:①集中开采强度和分散开采强度相等;②分散开采首先提供当地居民生活用水 $3 \text{ 万 m}^3/\text{d}$;③分散采水的集水效率为80%;④集中采水量分别取 $25 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $35 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $45 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,相应的总取水量为 $50 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $70 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $90 \text{ 万 m}^3/\text{d}$;⑤向长春市应急供水量分别为 $42.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $60.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $78.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。

含水层疏干约束为整体不超过55%,单点不超过70%,即

$$\sum_{i=1}^n (H_i^k - B_i) \leq 0.55 \sum_{i=1}^n (H_i^{\text{top}} - B_i)$$

且

$$(H_i^k - B_i) \leq 0.70 (H_i^{\text{top}} - B_i)$$

其中, H_i^{top}, H_i^k 分别为 i 结点极高水位和 t 时刻实际地下水位, m ; B_i 为 i 结点含水层底板标高, m ; n 为结点总数。

4 论证结果

针对应急供水从枯水年枯水季开始、枯水年丰水季开始、平水年枯水季开始、平水年丰水季开始4种方案,调试预测结果见表1。从表1可见,方案1中,以 $42.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $60.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $78.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的强度向长春市供水,分别可维持5个月、4个月和3个月时间;方案2可分别维持长春市应急供水7个月、5个月和3个月;方案3分别维持8个月、5个月和4个月;方案4可分别为长春市提供10个月、7个月、5个月的应急供水。这就意味着若应急供水事件发生在连续枯水年份,基于研究区地下水源地以 $78.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 为长春市供水至少可以维持3个月,其他情况下可以维持更长的时间,从而为长春市城市供水问题的解决提供宝贵的回旋时间。

苯胺除了以 NO_3^- 为电子受体外,还利用输入液中的少量的溶解氧以及沉积物中的金属离子为电子受体发生生物降解等,可从测得系统中的溶解氧浓度得到证实。

4.2 实验结果定量分析

在以硝酸根为电子受体时苯胺在渗滤系统中发生了生物降解作用,在实验中输入液苯胺质量浓度是不断增加的,但输出液中苯胺质量浓度低于检测范围,数学模型求解时缺少数据,只能用均衡法来定量评价苯胺在渭河渗滤系统中生物降解作用强度,同时可以从输入液和渗出液中总氮损失量来定量说明渗滤系统中的反硝化作用的强烈程度。即

总苯胺损失量 = 输入液中的总苯胺量 - 渗出液中的总苯胺量

总硝态氮损失量 = 输入液中的总硝态氮量 - 渗出液中的总硝态氮量

根据渗滤实验结果,输入液中共加入苯胺总量为 2048.15 mg,而渗出液中共检测到的苯胺总量为 8.74 mg,远远小于输入液中的苯胺总量,定量证明了苯胺在渗滤系统中有 2039.41 mg 的苯胺损失了,占输入液苯胺总量的 99.6%,这 99.6% 的苯胺被生物降解成 CO_2 和 H_2O ,说明渗滤系统中生物降解作用非常强烈。同时从输入液中加入的硝态氮总量为 317.9 mg,而输出液中硝态氮总量为 94.31 mg,说明有 223.59 mg 的硝态氮在渗滤系统中损失了,占输入液硝态氮总量的 70.3%,这 70.3% 的硝态氮被苯胺作为电子受体还原为氮气逃逸了。渗滤系统中生物作用同时去除了苯胺和硝态氮两种污染物。

5 结论

- a. NO_3^- -N 在渗滤系统中迁移转化主要是反硝化作用, NO_3^- -N 的去除率达到 100%。
- b. 苯胺在渗滤系统发生了生物降解作用,苯胺的去除率达到 100%。加大输入液苯胺质量浓度后,渗滤系统中苯胺生物降解作用和反硝化作用依然很彻底。
- c. 硝态氮的渗滤实验由于缺少数据,无法用建立的数学模型进行计算及预测,但可以从输入液和输出液总量的变化来分析,用均衡法来定量评价,硝态氮在渭河渗滤系统中反硝化作用强烈程度。
- d. 以硝酸根为电子受体的苯胺渗滤实验中由于缺少数据,无法用数学模型模拟其结果,同样可以用均衡法定量评价苯胺在渗滤系统中生物降解作用

和反硝化作用的彻底程度,评价结果说明两种作用都很强烈。

通过上述研究成果,得到河流有机污染严重的情况下,通过投加电子受体硝酸盐可以去除有机污染,同时电子受体硝酸盐也可被完全去除掉。这为治理有机污染的地表水体提供了重要的理论根据,对保护地下水资源具有重要的实践意义。

参考文献:

- [1] KUEHN W, MUELLER U. Riverbank filtration-an overview[J]. Journal Awwa, 2000(1):61-69.
- [2] 王超,李勇,包振琪. 河道污染物饱和入渗对沿岸地下水环境影响规律的试验研究[J]. A 辑. 水动力学研究与进展, 2002, 17(1):15-18.
- [3] 李金荣,杨振放. 河流渗滤系统对地表污水的净化作用综述[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(3):41-44.
- [4] 李金荣,杨振放,李云峰. 氨氮污水在河流渗滤系统中的环境效应研究[J]. 工程勘察, 2000(3):19-23.
- [5] 李金荣,杨振放,吴耀国. 硝态氮在河流渗滤系统中的环境效应[J]. 郑州大学学报:工学版, 2006, 27(1):117-120.
- [6] 李金荣,杨振放. 苯胺在河流渗滤系统中环境行为的数学模拟[J]. 水资源保护, 2006, 22(5):36-40.

(收稿日期 2006-11-03 编辑:傅伟群)

(上接第 39 页)

- [4] He Keqiang, Xu Guangming. Environmental impact of drainage of Dianzi Iron Mine on the groundwater system of the Dawu Water Supply Bas[J]. Environmental Geology, 2004, 45(8):1131-1136.
- [5] CLEOPHAS L. Socio-economic factors influencing sustainable water supply in Botswana[J]. GeoJournal, 1997, 41(1):43-53.
- [6] 邵新民,王蓓. 建立浙江省地下水应急供水水源地的初步研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(5):54-56.
- [7] 冯创业,崔秋苹. 石家庄市应急水源地开采方案设计与优选[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(5):51-53.
- [8] ABDULRAHMAN I A. Fluoride content in drinking water supplies of Riyadh, Saudi Arabia[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1997, 48(3):261-272.
- [9] 刘玉涛,村兆国. 哈尔滨市丰枯分析及供水应急预案对策[J]. 东北水利水电, 2004, 22(5):20-21.
- [10] 王艳艳,颜振元,李文华,等. 北方中小城市供水水源优化选择[J]. 山东农业大学学报, 2004, 35(3):418-424.
- [11] 阎官法,贾涛. 郑州市城市应急供水与应急生活供水定额研究[J]. 河南工业大学学报, 2005, 1(3):21-23.
- [12] 李荣升,叶青,宁宪武,等. 大连市城市应急供水预案探讨[J]. 东北水利水电, 2002, 20(12):15-17.

(收稿日期 2006-10-17 编辑:傅伟群)