

基于运行风险评价的怀柔应急水源地水资源优化配置

孙 颖¹⁾, 刘久荣¹⁾, 张有全²⁾, 韩 征¹⁾, 王新娟¹⁾, 刘颖超¹⁾, 刘 凯¹⁾,
路 明¹⁾, 张 院¹⁾, 刘欢欢²⁾

1) 北京市水文地质工程地质大队, 北京, 100195; 2) 首都师范大学, 北京, 100048

应急供水, 是指在非常情况下, 常规供水不足或受阻中断时, 能够快速启用并在一定时间段内提供城镇居民低水平饮用水的需求, 以保障城市安全供水。

由于应急供水能够成为保证城市安全供水的后盾, 是以牺牲区域水资源、环境, 和高代价的技术、经济成本为前提的。当应急供水系统被按常规供水系统持续运行, 其产生的后果往往是严重的和难以预测的。针对应急备用水源地运行风险监控的研究在国内外还较少, 而应急水源地被迫连续 7 年持续开采的情况, 更无先例可鉴。因而对怀柔应急备用水源地的运行风险评价, 和水资源调控研究, 必将具有较强的典型性和借鉴意义, 特别是其已被迫进入持续开采状态, 更加剧了其开采风险, 更突出了对应急备用水源地运行风险监控研究的必要性和现实意义。

应急供水水源地作为特殊的城市供水系统, 影响其运行管理的各种因素较常规供水系统更为复杂。在应急供水领域的相关研究目前在国内外尚有待发展, 如应急开采条件下的地下水系统变化及其引发的区域生态环境地质安全风险, 应急开采后的地下水调控、恢复、保护等, 以及应急水源地运行生产带来的生态环境地质问题, 和如何确保应急地下水源地运行安全、维护供水能力等方面需要有更好的研究手段^[1]。

1 水源地概况

北京市怀柔应急备用地下水源地, 是我国最早的大型城市应急水源系统之一, 是北京市第一个建

设完成并利用的应急备用地下水源地, 位于怀柔区以两河村为中心, 沿怀河、雁栖河两岸一带, 地下水储存条件好、调节能力强。区内除区县水厂和农业开采井和自备井外, 南侧还有北京市水源八厂。怀柔应急备用地下水源地于 2003 年 8 月 30 日开始并网运行^[2], 至今在未进行涵养的条件下, 已持续开采 10 年。

怀柔应急水源地位于潮白河冲洪积扇的中上部, 开采含水层为第四系孔隙水, 该水源地的设计日供水能力为 $33.5 \times 10^4 \text{m}^3$, 开采井沿怀河、沙河和雁栖河两岸成倒人字分布, 共有 21 组 42 眼井, 为深浅结合开采井, 浅层水源井的取水深度 45-120m, 设计单井开采量为 $10000-11000 \text{m}^3/\text{d}$; 深层水源井的取水深度 120m-250m, 设计单井开采量为 $5000-5500 \text{m}^3/\text{d}$ 。截止 2010 年底, 共开采地下水 $5.87 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

水源地东北、西北和北部三面环山, 南部为平原区。区域地下水主要接受大气降水入渗补给、侧向径流补给、水库渗漏、河流入渗补给、京密引水渠渗漏以及灌溉回渗补给。地下水总流向是由北向南, 受近些年降水量减少和集中开采影响, 局部地区流向发生改变, 形成降落漏斗。地下水的排泄方式主要有两种: 一是自然排泄, 主要是指地下水的蒸发及流向下游的侧向流出, 二是人工开采, 包括应急水源地、区县水源地及工农业自备井开采。

受应急水源地开采影响, 区域地下水位下降幅度加剧, 怀柔应急和水源八厂区域地下水年均下降速率达到 3.1m, 并造成了新地下水降落漏斗的形成。至今该区潜水埋深达到 40m 以上, 若继续开采,

区内地下水位将达到或超过潜水含水层底板 50m 的极限深度, 潜水含水层将会出现疏干现象。

另外, 由于应急开采加上区县开采, 加大了地下水循环深度, 使补给浅层地下水的水直接补给深层承压水。

2 应急水源地运行风险评价

2.1 应急水源地运行风险指标体系

地下水系统是一个错综复杂, 包括各种天然因素、人为因素所控制的, 具有不同等级的互相联系又互相影响的统一体^[3], 城市应急供水涉及到水资源、人类社会和环境三大要素^[4]。评价应急供水水源地的运行风险, 应从水资源系统、人类社会需求和环境系统各自的特征及其相互作用关系等方面综合考虑。其中: 水资源条件是启动城市应急供水的基础保障, 也是制约应急供水能力的主要因素; 人类社会需求是应急供水的目标, 随着时间的推移需水目标产生动态变化; 环境系统是在应急供水水源地初期相对受到关注较少的一个因素, 但随着水源地的投入、运行, 其重要性逐渐受到关注, 并最终成为制约水源地可持续利用的重要一环^[5]。

综合分析影响应急水源地运行风险的各相关要素特征及其相互作用关系, 考虑到运行风险评价目标的确定性和专门性, 对各影响因素进行归类和综合, 可按应急水源地运行管理目标将其划分为水源地功能条件, 水源地应急供水能力, 水源地环境影响情况, 和经济、技术、管理要求等四个大类。其中水资源条件是决定水源地功能的主要因素, 而人类的用水需求, 也是设定水源地供水目标、建设方案及规模的重要影响因素。水源地的供水保障能力, 则主要受由水资源条件决定的水量条件和水质条件共同制约。而在满足应急供水要求的同时, 水源地开采造成的环境质量变化, 同样也是水源地运行管理的重要研究课题。除此之外, 应急水源地的运行维护成本、技术支撑条件和水资源规划要求等, 都是水源地生产的重要依据。

2.2 应急水源地的运行风险评价区划

据怀柔应急水源地实际运行情况和存在问题, 在影响应急水源地运行的众多影响因素中, 选取能够体现应急水源地特征的因素, 利用 AHP 层次决策分析法^[6] (analytic hierarchy process, AHP), 建立层次结构模型如下:

①总目标层 (A): 应急水源地运行风险评价。

②子目标层 (C): C1 水源地建设容量及能力; C2 应急供水能力保障; C3 环境、生态影响。

③影响因素 (P): P1 富水性、P2 开采程度、P3 地下水水质、P4、地下水水位、P5 含水层厚度、P6 地下水防护能力、P7 地面沉降、P8 生态环境用水率、P9 植被覆盖率、P10 干旱指数。

据上述各个决策因素, 建立决策层次模型, 并计算各指标权重。

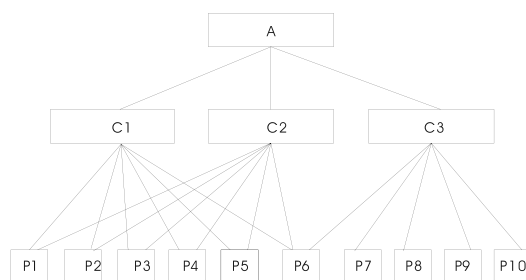


图1 怀柔应急水源地运行风险评价层次分析模型

对各评价指标进行量化后建立评价图层, 采用专家评价法 (Expert Evaluation Method) 给各图层按实际情况进行评分, 但给出相应的运行风险度值。计算综合风险系数, 建立风险评价等级, 并据管理需要, 确定评价单元, 绘制应急水源地运行风险评价区划图, 作为应急水源地的运行、管理依据。如图2 为以乡级行政区划为评价单元的应急水源地运行风险评价图。

3 区域水资源优化配置

3.1 水资源调控模型

由于区域地下水已经处于严重超采状态, 从资源保护、环境防护和灾害预防的角度出发, 应急水源地不应持续开采, 在条件允许的情况下, 应尽进行涵养。至 2014 年南水北调水进京, 应立刻停止应急水源地开采, 并实施区域地下水资源减采规划, 以逐步恢复地下水储量。据此原则, 据现实条件分析, 在地下水流模型基础上, 建立能够满足最优开采、最小水位降深、最低地面沉降量三者之间动态平衡条件的区域水资源调控模型。模型由一个水资源目的计划和一组计划约束组成, 技术路线如下:

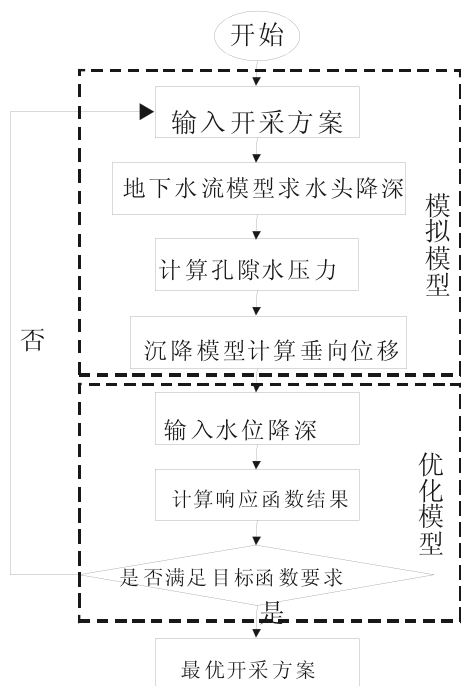


图2 调控模型流程图

采用该调控模型分析, 当把调控目标设定为主城区潜水水位最大降深不超过 10cm/a, 承压水位最大降深不超过 20cm/a; 牛栏山以北水源地地区潜水、承压水位最大降深不超过 2 米; 北京顺义地区沉降量控制在小于 4cm/a 的要求时, 本区域最优地下水开采量可维持在 $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

3.2 水资源优化配置方案建议

通过优化模型计算, 建立在调水后维持地方地下水现状开采量、应急水源地全停、水源八厂按一定比例停采的区域水资源开采方案。并考虑南水北调客水进京后, 将每年向研究区调水约 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 可以用来实施区域地表水、地下水联合养蓄工程。经过反复分析与模拟, 通过调控模型优化比选, 初步认为, 在南水北调实施后, 可通过停止应急水源地开采, 而水源八厂减采 50%, 并利用南水北调客水进行回灌等方法, 涵养区域水资源。

分析结果表明, 将南水北调客水按如下方案进行分配: 直接补给地表水源九厂 $2.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 余下水和密云水库、怀柔水库联合调配, 在两河河道及

砂石坑开展 $3.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 地下水回灌工程, 同时停止应急水源地开采, 并满足其它约束要求, 可以最大程度恢复研究区水位, 尤其是牛栏山以北地区, 潜水和承压水水位均有不同程度的上升, 其中潜水水位上升 2m 左右; 浅层承压水埋深 42~64m 的含水层水位上升 1.47m, 埋深 82~98m 的含水层水位上升 1.42m; 中深层承压水埋深 119~132m 的含水层水位上升 0.16m, 埋深 183~199m 的含水层水位下降趋势变缓。

4 结 论

目前国内外在应急水源地运行管理方面的研究还较少。北京怀柔应急水源地具有开展应急水源风险评价及水资源调控等相关研究的优厚条件和典型意义。本次研究在综合分析影响应急水源地各相关因素基础上, 建立应急水源地运行风险评价指标体系, 在已有资料支持下, 开展了怀柔应急水源地运行风险评价; 同时在区域水文地质条件分析基础上, 建立地下水源调控模型, 提出了 2014 年南水北调水进京后的区域地下水资源调控建议, 受资料及本人能力所限, 文中诸多谬误之处, 还望相关领域专家指正。

参 考 文 献 / References

1. 李宇. 对北京市应急备用地下水源地建设的几点认识[J]. 北京水利, 2004, (2): 10~12.
2. 北京市怀柔应急备用地下水源地工程项目建设办公室. 北京市怀柔应急备用地下水源地工程大事记. 北京水利, 2004, (2): 32~34.
3. 陈梦熊, 马凤山. 中国地下水资源与环境. 北京: 地震出版社, 2002. 385~417.
4. 王文中. 我国北方城市应急地下水源地评价指标体系的研究-以石家庄市为例. 北京: 中国地质科学院, 2006.
5. 刘用清. 城市可持续发展的环境因素研究. 海峡科学, 2008, 6(18): 5~7.
6. 刘新宪, 朱道立. 选择与判断: AHP(层次分析法)决策. 上海: 上海科学普及出版社, 1990.