

傍河水源地水位降落漏斗的扩展分析

束龙仓¹, 刘 波¹, 刘 猛¹, 张旭臣²

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 河北省承德市水文水资源勘测局, 河北 承德 067000)

摘要:以河北省承德市滦河某水源地为例, 采用地下水模拟软件 Visual MODFLOW 对水源地内各开采井的不同开采量、不同井位布置方案下的水位下降、降落漏斗扩展及水均衡等进行了预测和分析。结果表明, 采用设计方案下的开采量和井位布置, 可使水位降落漏斗最小, 同时又最大限度地利用了河流侧渗补给。

关键词: 傍河水源地; 水位降落漏斗; 潜水含水层; 滦河

中图分类号: P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2006)01-0006-04

傍河水源地是指水井靠近河岸布置, 并主要依靠河水侧渗补给的水源地^[1]。由于包气带地层和含水层的净化作用, 傍河地下水水质一般要优于河水水质, 因此, 傍河水源地在世界各国都很普遍, 我国约有 300 个傍河地下水水源地^[2]。一些学者^[3-8]对傍河水源地地下水开采对河流流量衰减的影响、地下水开采后河流与含水层的水量交换等问题进行了研究。而水源地投产后的水位降落漏斗扩展情况是水行政主管部门进行地下水资源科学管理决策的重要依据。为此, 本文以滦河某水源地为例, 对水源地不同开采条件下的降落漏斗扩展情况等进行分析。

1 研究区概况

研究区属于大陆性季风型燕山山地气候, 多年平均降水量为 851 mm, 降水的年际、年内变化大, 降水量的 70% ~ 80% 集中在 7 ~ 9 月间, 多年平均水面蒸发量为 1 434 mm。

按含水层空隙类型分, 可将含水层组分为基岩裂隙含水岩组和松散岩类孔隙含水岩组 2 种。基岩风化裂隙含水岩组, 分布在山区基岩风化裂隙内, 以潜水为主, 埋深 10 m 左右, 地下水的补给主要是接受大气降水入渗; 松散岩类孔隙含水岩组, 分布于河谷阶地, 主要为沙层和沙砾石层, 厚度为 10 ~ 20 m, 赋存潜水, 水位埋深 2 ~ 5 m, 渗透系数 200 ~ 500 m/d, 主要接受河流侧渗补给及大气降水入渗补给。松散岩类孔隙含水岩组是该地区的主要含水岩组, 也是本文的研究对象。

2 地下水水流模型的建立

模拟区东北及西南侧为基岩与滦河松散沉积物的分界线, 西北及东南边界根据开采后降落漏斗影响范围来确定。据此确定的模拟区范围如图 1 所示, 面积约为 2.2 km²。水源地模拟区的含水层系统是潜水含水层, 在垂直方向上, 上层粉质根植黏土以下是颗粒粗大的卵石, 地表以下 6 ~ 16 m 为风化程度不同的花岗岩, 构成潜水含水层的底板。含水层渗透系数约为 320 m/d, 给水度为 0.25 ~ 0.3。模拟区含水层补给以滦河侧渗补给、上游地下水侧向流入和降水入渗补给为主, 现状条件下排泄以地下水侧向流出和潜水蒸发为主, 水源地投产后, 排泄主要为地下水开采和侧向流出。

根据研究区的水文地质条件, 将含水层系统概化为非均质、各向同性的平面二维潜水模型。据此水文地

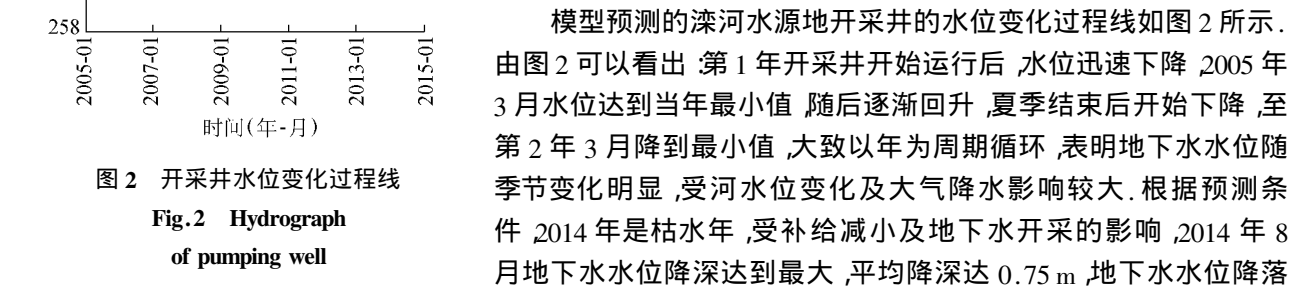


图 1 数值模型边界及模拟区位置
Fig.1 Location and boundary of studied area

质概念模型 将研究区剖分为 100 行、100 列的网格 ,并将含水层参数、初始条件及边界条件输入 ,在 Visual MODFLOW 中建立相应数值模型 .

3 设计开采条件下的水位预测

利用已校正的模型对地下水动态进行模拟预测 .预测时段为 2005 年 1 月 ~ 2014 年 12 月底 .假设 2005 ~ 2014 年的水文气象条件是 1991 ~ 2000 年水文气象条件的重现 .滦河水源地总设计开采量 $19\,091\text{ m}^3/\text{d}$,平均分配到 4 个开采井 ,开采井均设在滦河左岸 ,离河约 80 m ,井间距为 120 m .



漏斗已扩展到整个模拟区 ,漏斗中心位于水源地的开采井分布区 .

4 不同开采条件下的漏斗扩展预测

为进一步分析不同开采量对地下水水位降落漏斗扩展的影响 ,将现状设计开采量分别增加和减小 10% ,20% ,在初始条件、边界条件及所有源汇项保持不变的情况下 ,仅将不同开采量输入模型 ,即可得到含水层对不同开采量的响应情况 .

模型运行结果表明 ,开采量的变化对地下水水位的影响非常明显 .开采量变化比例与开采井处平均水位基本呈线性关系 ,说明在该地区 ,限制开采量对控制地下水水位下降有重要作用 .由图 3 可以看出 ,当开采量增加 20% 时 ,1 m 等降深线在水源地北侧已经扩展到研究区边界以外 ,而开采量减小 20% 时 ,1 m 降深线仅存在于抽水井周围 .上述分析表明 ,不同的开采量 ,对降落漏斗的纵向及垂向扩展的影响是十分明显的 .

5 不同开采条件下的水均衡分析

在不同的开采条件下 ,地下水的水均衡情况将发生明显变化 .表 1 为不同开采量条件下 ,规划期间 2005 ~ 2014 年的滦河水源地的多年平均水均衡分析结果 .从表 1 可以发现 ,滦河水源地设计条件下的主要补给项是河流入渗 ,占总补给的 76% ,而地下水开采是主要的排泄项 ,占总排泄的 86% .比较天然状态与设计开采条件可以看出 ,新增的开采井截留了大量本来排泄到滦河中的地下水 ,同时开采导致的诱发入渗量也显著增大 ,而每年的总补给量与总排泄量依然基本相等 ,研究区的地下水处于动态平衡中 .当开采量增加 20% 时 ,河流诱发入渗量显著增加 ,与设计条件相比 ,增大了近 $100\text{ 万 m}^3/\text{a}$,侧向补给量也由于水力梯度的增大而有所增加 ,增大的开采量进一步截流了地下水向河流的排泄 ,而当开采量减小 20% 时 ,情况相反 .

现预测开采井位置的另 2 种方案 :将井与河流之间距离增加 1 倍 ,至 160 m ;将 4 口井移至河流对岸 ,离河岸的距离与设计方案相同 ,为 80 m .2 种方案均保持 4 口开采井 ,且井的相对位置、开采量与设计条件相同 .预测结果表明 ,井位置的变化对含水层系统的水均衡的影响比较明显 .以模拟期间的最枯年 2014 年为例 ,3 种开采井布置方案的水均衡比较如表 2 所示 .开采井远离河岸后 ,年河流入渗量由 600.4 万 m^3 减小到 553.4 万 m^3 ,侧向径流补给却增加了 13% .这表明开采井与河流之间水力联系减弱 ,降落漏斗影响半径由设计状态下的 310 m 增加到 380 m ,漏斗已扩展到研究区边界以外 .开采井设在右岸 ,接受河流入渗量增加了 10.5% ,而侧向径流补给减少了 13% ,系统总补给量减少 ,漏斗影响半径增大到 460 m .

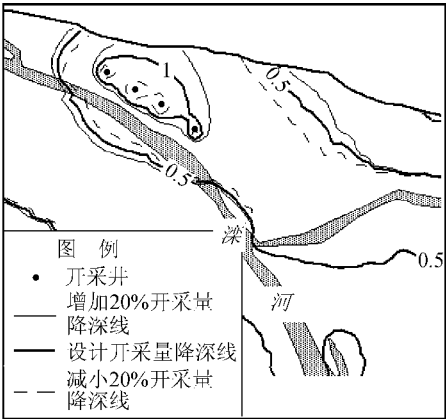


图 3 不同开采量下降落漏斗扩展情况

Fig.3 Range of depression cones under different pumping rates

表 1 滦河水源地年水均衡分析结果

Table 1 Annual water balance of Luanhe well field													
均衡项	开采量增加 20%		开采量增加 10%		设计开采量		现状开采量		开采量减小 10%		开采量减小 20%		
	水量/万 m ³	比例/%	水量/万 m ³	比例/%	水量/万 m ³	比例/%	水量/万 m ³	比例/%	水量/万 m ³	比例/%	水量/万 m ³	比例/%	
补给项	降水	30.5	3.3	30.5	3.6	30.5	3.9	30.5	6.2	30.5	4.2	30.5	4.6
	河流	694.7	75.2	637.0	74.3	600.4	76.0	316.0	63.9	521.5	72.0	463.8	70.5
	侧向	198.0	21.5	189.5	22.1	158.7	20.1	147.7	29.9	172.5	23.8	164.1	24.9
	总补给	923.2	100.0	857.1	100.0	789.6	100.0	494.2	100.0	724.5	100.0	658.4	100.0
排泄项	开采	836.2	88.8	766.5	87.6	696.8	86.3			627.1	84.6	557.5	82.6
	蒸散发	26.0	2.8	26.2	3.0	26.4	3.3	28.2	5.5	26.5	3.6	26.6	4.0
	河流	49.3	5.2	51.9	5.9	52.2	6.4	443.5	86.7	55.6	7.5	58.2	8.6
	侧向	30.5	3.2	31.0	3.5	32.5	4.0	39.6	7.8	32.0	4.3	32.6	4.8
	总排泄	942.0	100.0	875.6	100.0	807.8	100.0	511.3	100.0	741.2	100.0	674.9	100.0

表 2 3 种开采井布置方案水均衡结果比较

Table 2 Water balance comparison of three well distribution schemes										
开采井 布置方案	补 给 项						排 泄 项			
	河流入渗		侧向径流		蒸散发		河流排泄		侧向流出	
	水量/万 m ³	变幅/%	水量/万 m ³	变幅/%	水量/万 m ³	变幅/%	水量/万 m ³	变幅/%	水量/万 m ³	变幅/%
设计位置	600.36		158.68		26.36		52.20		32.46	
远离河岸	553.41	− 7.8	179.24	13.0	26.14	− 0.8	56.26	7.8	31.16	− 4.0
右 岸	663.46	10.5	137.73	− 12.9	27.46	4.2	57.69	10.5	23.66	− 27.1

综上所述,设计开采井的开采量为 696.82 万 m³/a 既能满足用水需求,又不会产生较大的降落漏斗而对含水层造成破坏,开采井位于河流左岸距离河岸 80 m 左右处,可充分利用地表水体的侧向径流补给,产生的降落漏斗范围相对最小。

6 结 论

- a. 本文采用 Visual MODFLOW 建立了滦河水源地的地下水流数值模型,率定期计算水位和观测水位的对比结果验证了模型的正确性.设计条件下,开采后引起的最大降深分布覆盖了水源地的整个范围,但降深值大于 0.5 m 的范围仅分布在开采区附近,面积有限.远离开采区的大部分范围内的降深值均小于 0.5 m,不会对已有用水户产生明显的影响.
- b. 不同开采量对降落漏斗纵向及垂向扩展的影响十分明显,开采井的位置会对地下水流系统的水均衡和流场形态产生一定的影响.
- c. 地下水流数值模拟软件 Visual MODFLOW 结果输出直观,可用来直接分析对比不同条件下含水层系统的响应情况.与传统计算方法相比,数值方法可以模拟地下水的流场、直接显示水位等值线及漏斗扩展范围,便于详细分析及预测地下水动态.

参考文献:

[1] 国家技术监督局.GB/T14157—93 水文地质术语[S].北京:中国标准出版社,1993.

[2] 韩再生.傍河地下水水源地的几个问题[C]//卢耀如,唐宏才.第30届国际地质大会论文集(第22卷).北京:地质出版社,1998:13-16.

[3] HUNT B.Unsteady stream depletion from ground water pumping[J].Ground Water,1999,37(1):98-104.

[4] GLOVER R E,BALMER G G.River depletion resulting from pumping a well near a river[J].American Geophysical Union Transaction,1954,35(3):468-470.

[5] WALLACE R B,DARAMA Y,ANNABLE M D.Stream depletion by cyclic pumping of wells[J].Water Resources Research,1990,26(6):1263-1270.

[6] 束龙仓,CHEN Xun-hong.地下水开采对河流流量衰减的影响分析[J].水利学报,2003(2):119-123.

[7] 刘国栋,丁晶.傍河水源地地下水资源评价方法述评[J].水科学进展,1998,19(3):289-294.

[8] SHU Long-cang ,CHEN Xun-hong. Simulation of water quantity exchange between groundwater and the Platte River water ,Central Nebraska [J]. Journal of Central South University 2002 33 (3) 212-215.

Expansion of groundwater depression cones in riverside well field

SHU Long-cang¹ , LIU Bo¹ , LIU Meng¹ , ZHANG Xu-chen²

(1. College of Water Resources and Environment ,Hohai University , Nanjing 210098 ,China ;

2. Chengde Bureau of Hydrology and Water Resources Survey of Hebei Province , Chengde 067000 ,China)

Abstract :A well field at the side of the Luanhe River of Chengde City was taken for case study. A groundwater simulation software Visual MODFLOW was adopted to predict and analyze water level decline , expansion of depression cones , and water balance under different pumping rates and different schemes for well distribution. The result shows that , under the design scheme for pumping rate and well distribution , the depression cone is the smallest , and the side leakage from the river is fully utilized.

Key words :riverside well field ; cone of depression ; unconfined aquifer ; Luanhe River

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊 ,主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章 ,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

本刊创办于 1957 年 ,是我国中文核心期刊 ,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中 ,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果 ,部分达到了国内领先和国际先进水平 ,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议 ,发挥了较大的社会效益和经济效益 ,深受工程界和科技界赞许 ,并获得全国高校科技期刊优秀编辑出版质量奖以及中国期刊方阵“ 双效期刊 ”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

本刊每逢单月出版 ,国内外公开发行。邮发代号 :28-63 ,每期定价 12.00 元 ,全年 6 期共 72 元。欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系。联系地址 :南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部 ,邮政编码 :210098。联系电话 :025-83786343。