

黄龙工业园水源地潜水水质评价与预报

卢文喜, 卞玉梅, 李海杰

(吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026)

摘要 采用模糊综合评判法对黄龙工业园水源地潜水水质现状进行了评价与分析, 得知区域潜水水质差, 属于Ⅴ类水。为了保证水源地的安全, 在应用 Visual MODFLOW 软件对区域地下水进行水流模拟的基础上, 采用地下水溶质运移模拟与加权平均法相结合的方法, 预测了区内地表河流对水源地开采区潜水水质的影响, 得知地表河流水质对潜水水质影响较大, 须加强治理。

关键词 潜水 水质评价 水质预报

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2006)03-0072-03

Assessment and prediction of phreatic water quality in the catchment of Huanglong Industrial Site

LU Wen-xi, BIAN Yu-mei, Li Hai-jie

(College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract The present situation of phreatic water quality in the catchment of Huanglong Industrial Site was assessed and analyzed using fuzzy evaluation method, and the results show that the phreatic water quality is bad and of class V of the water quality standard. In order to guarantee the safety of catchment, the influences of rivers on phreatic water quality were forecasted with groundwater solute transport simulation and weighted average method based on the groundwater flow simulation using Visual MODFLOW. Owing to the important impacts of rivers on phreatic water quality, we should strengthen the management.

Key words phreatic water ; water quality assessment ; water quality prediction

1 区域概况

1.1 自然环境特征

研究区位于公主岭西部, 总面积 72 km² (见图 1)。此区属北温带大陆性季风气候, 冬天寒冷干燥, 夏天炎热多雨, 春秋两季多风沙。地形东南高、西北低, 总体上向东辽河河床倾斜, 地面坡度较小。地貌上, 属于松辽平原的东部高平原, 可分为剥蚀堆积的冲积洪积平原和堆积的冲积平原。地质构造上, 位于松辽平原拗陷带的东南隆起区。区内地下水主要有松散岩类孔隙水(孔隙潜水)和碎屑岩类孔隙裂隙水(孔隙裂隙承压水)两大类型。

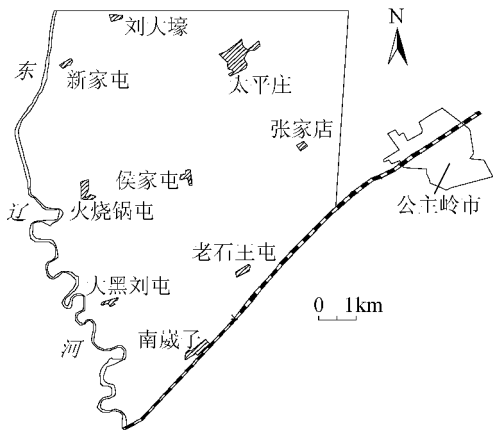


图 1 黄龙工业园区区域概况

基金项目 国家自然科学基金资助项目(30370825)

作者简介 卢文喜(1956—), 男, 吉林德惠人, 教授, 博士生导师, 主要从事地下水数值模拟及水分生态研究。E-mail: luwenxi@jlu.edu.cn

1.2 潜水赋存条件及补给和排泄条件

黄龙工业园孔隙潜水赋存于上更新统和全新统砂、砂砾石层中,由二级阶地后缘向河床方向,含水层厚度一般由薄变厚,潜水含水层底板南东高,北西低,中部平缓,其高程变化与地形变化较为一致。潜水水位埋深、富水性与地形地貌、地层岩性有关。一级阶地水位埋深小,含水层厚度较大,富水性较好;二级阶地水位埋深大,含水层厚度较小,富水性变差。

区内孔隙潜水水位埋藏浅,循环条件好,水交替强烈。其补给条件好,补给来源充沛,主要接受大气降水入渗补给、农田灌溉水入渗补给和地下水侧向径流补给,近河地带在洪水期还接受短期的河水补给。潜水径流条件也较好,潜水水流由南东向北西径流,水力坡度较平缓,天然情况下为 0.2% 左右。潜水主要排泄途径有蒸发、地下径流(排向河流)和人工开采。

2 潜水水质现状评价与分析

在黄龙工业园区内布设潜水监测井点 11 个。为了合理地评价地下水的水质优劣和污染程度,结合潜水水质状况,有针对性地选择了铁、锰、挥发酚、砷、亚硝酸盐(以氮计)、硝酸盐(以氮计)、总硬度和溶解性总固体共 8 项指标作为评价因子。评价标准选取 GB/T14848 - 1993《地下水质量标准》^[1]。

采用模糊综合评判法^[2,3]评价该区潜水水质,评价结果见表 1。由计算结果可知,黄龙工业园水源地潜水水质差,属于 V 类水,其中某些地段硝酸盐含量严重超标,不宜饮用。但该水源地主要用于提供黄龙工业园工业上的用水,经处理,可满足需求。

表 1 潜水水质评价结果

取样点	评价矩阵值					水质级别
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	
火烧锅	0.027	0.229	0.339	0.012	0.392	V
温家十二队	0.204	0.094	0.098	0.000	0.605	V
高家岗屯边	0.192	0.034	0.203	0.000	0.570	V
高家岗河边	0.089	0.010	0.186	0.241	0.435	V
太平庄	0.017	0.068	0.199	0.019	0.696	V
莲花泡	0.072	0.111	0.234	0.262	0.321	V
韩国屯	0.017	0.002	0.144	0.052	0.784	V
邵家屯中井	0.088	0.424	0.155	0.036	0.636	V
邵家屯河边	0.029	0.058	0.066	0.014	0.831	V
南崴子一队	0.007	0.060	0.223	0.034	0.677	V

区内潜水水质差,究其原因受该区的水文地质条件、地表水的水质状况以及区内人类活动(废水、废渣、农药、化肥等)的影响。潜水含水层埋藏浅,包气带粘性土层薄,透水性较强,防污与自净能

力相对较差。公主岭河、东辽河和兴隆河为区内主要的地表河流。其中,公主岭河已成为公主岭市城区的主要排污河,常年有污水流淌,城区的绝大多数废污水未经处理直接排入该河,河水已经严重污染,对地下水水质也已经产生了污染影响。另外,兴隆河也是一条排污河,也会污染地下水。东辽河水质虽然相对较好,但是黄龙工业园水源地紧临东辽河傍河取水,其水质势必也要受河水水质影响。人类活动对区内潜水水质的影响也越来越明显。据调查,部分村屯的地下水已经受到市区排污的影响,表现为在夏季井水产生不良气味(以前没有)以及部分地段井水中氯和硝酸盐含量较高。

3 地表河流对潜水水质的影响预测

潜水水质受多方面条件的影响,主要考虑地表河流的影响,预测水源地投产后地表受污染的河水对潜水水质的影响情况。

水质模拟必须以水量模拟为基础^[4],而进行水质模拟所需的资料较少,因此本文综合考虑了前人对该区域的一些研究成果^①,在对地下水流进行了数值模拟的基础上,将地下水溶质运移模拟与加权平均法相结合,对水源地投产后地表河水对地下水水质的影响进行了预测。

3.1 地下水流数值模拟

根据研究区的水文地质情况,将研究区概化为非均质各向同性三维非稳定地下水流系统。建立区域地下水流数学模拟模型^[5]：

$$\left\{\begin{aligned} &\frac{\partial}{\partial x}\left(K\frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K\frac{\partial H}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K\frac{\partial H}{\partial z}\right)+W=S\frac{\partial H}{\partial t} \quad (x,y,z)\in\Omega,t\geq 0 \\ &\mu\frac{\partial H}{\partial t}=K\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^2+K\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^2+K\left(\frac{\partial H}{\partial z}\right)^2-\frac{\partial H}{\partial z}(K+P)+P \quad (x,y,z)\in S_0,t\geq 0 \\ &H(x,y,z,t)\Big|_{S_1}=H_1(x,y,z,t) \quad (x,y,z)\in S_1,t\geq 0 \\ &K\frac{\partial h}{\partial n}\Big|_{S_2}=q(x,y,z,t) \quad (x,y,z)\in S_2,t\geq 0 \\ &H(x,y,z,t)\Big|_{t=0}=H_0(x,y,z) \quad (x,y,z)\in\Omega,t=0 \end{aligned}\right.$$

式中： Ω 为模拟渗流区域； S_0 为潜水面； S_1 为第一类边界； S_2 为二类边界； $H(x,y,z,t)$ 为模拟渗流区内的水头分布，m； $H_0(x,y,z)$ 为初始时刻($t=0$ 时)渗流区内及边界上的水头分布，m； $H_1(x,y,z,t)$ 为渗流区第一类边界上的水头，m； $q(x,y,z,t)$ 是渗流区二类边界上的单位面积流量，m/d； n 为边界的外法线方向； K 为渗透系数，m/d； S 为贮水率， m^{-1} ； μ 为给水度； P 为潜水面上单位时间单位面积补入或排泄的水体积； $W=W(x,y,z,t)$ 为源汇项。

采用 Visual Modflow 软件进行模型的求解计算。经过识别和检验,得到了能够真实反映地下水流状

况的模型,并用其分别对 2005 年、2009 年和 2014 年区域地下水水位和流场进行了模拟预测,潜水水位预测见图 2。

3.2 地下水溶质运移模拟

由于孔隙潜水开采区距离兴隆河和公主岭河较远,由地下水流数值模拟中的潜水含水层水位预测结果可看出,开采潜水对兴隆河和公主岭河的影响很小,故只分析东辽河水对潜水水质的影响。

3.2.1 水文地质条件概化

模拟的目的层为第四系孔隙潜水含水层。根据黄龙工业园区水文地质条件和水源地抽水井布排方式,可将含水层概化为以东辽河为边界的半无限含水层。其中,水平方向上,西侧的东辽河为一类已知浓度边界,可利用前期观测资料得到其污染质浓度值 垂向上,忽略大气降水入渗,蒸发排泄以及与承压含水层越流交换对潜水水质的影响。

根据实际情况,不考虑污染质在迁移过程中的化学变化、污染质与固体颗粒间的离子吸附和交换作用、污染质的放射性衰变及温度和水密度变化的影响。

区内孔隙潜水水力坡度不大,渗流运动基本符合达西定律 河水向地下潜水水源地的运动可概化为一维稳定流动 溶质的运移可概化为一维对流-弥散运动。

3.2.2 数学模型及其求解

根据概化的水文地质概念模型,描述黄龙工业园区一维对流-弥散溶质运移数学模型^[6]为

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - u \frac{\partial c}{\partial x} \\ c(x, 0) = 0 & 0 \leq x < \infty \\ c(0, t) = c_0 & t > 0 \\ c(\infty, t) = 0 & t > 0 \end{cases}$$

利用 Laplace 变换,求得此模型的解析解^[6]：

$$c(x, t) = \frac{c_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x - ut}{2\sqrt{D_L t}}\right) + \frac{c_0}{2} \exp\left[\frac{ux}{D_L}\right] \operatorname{erfc}\left(\frac{x + ut}{2\sqrt{D_L t}}\right)$$

式中： $c(x, t)$ 为 t 时刻距污染河流 x 处污染质的浓度， g/m^3 ； c_0 为污染河流中污染质的浓度， g/m^3 ； u 为地下水实际水流速度， m/d ； D_L 为水动力弥散系数， m^2/d ； x 为水源地与污染河流之间的距离， m 。

根据实际情况,此水源地将长期开采,解析解第二项远小于第一项,可略去不计,解析解简化为

$$c(x, t) \approx \frac{c_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x - ut}{2\sqrt{D_L t}}\right)$$

3.2.3 东辽河水对潜水水质的影响预测

首先考虑开采后水源地潜水仅受东辽河单独补给时的水质状况。根据地下水流数值模拟的预测结果,计算出水源地潜水的渗流速度和实际流速。

$$v = KI \quad u = v/n$$

式中： v 为潜水渗流速度， m/d ； K 为潜水含水层渗透系数， m/d ； I 为水力梯度； u 为潜水水流实际流速， m/d ； n 为潜水含水层有效孔隙度。

黄龙工业园区为河谷冲积平原,主要由砂、砂砾石组成,取潜水含水层渗透系数 $K = 85 \text{ m}/\text{d}$,有效孔隙度为 0.3。 I 值可根据潜水水位预测图(图 2)来计算。最终分别得出 2005 年、2009 年和 2014 年的潜水实际流速,见表 2。

表 2 潜水实际流速计算结果

年份	$K/(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$	I	$v/(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$	$u/(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$
2005	85	0.001 56	0.132 9	0.443 1
2009	85	0.001 34	0.163 9	0.379 7
2014	85	0.001 30	0.110 5	0.368 3

由水动力弥散试验^[7]测得黄龙工业园区内水动力弥散系数 D_L 为 $1.351 4 \text{ m}^2/\text{d}$ 。经监测取样分析,选取 5 项指标作为预测因子,监测结果见表 3。

表 3 东辽河水水质监测结果 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

时间	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$
2004-11-10			26.73	0.087	0.31
2004-11-11			28.65	0.165	0.56
2004-11-12	8.79	9.86	38.13	0.182	0.82
平均值	8.79	9.86	31.17	0.1447	0.563

根据简化后的解析解公式即可求出水源地投产 后,仅在东辽河水补给影响下潜水抽水并处各污染质的浓度。事实上,拟建水源地投产后,开采区东侧地下潜水对其也有补给,因此必须考虑二者的综合影响,采用加权平均的方法进行计算。首先根据流入开采区的东辽河水量和潜水补给量的比例来确定权重。由图 2 可知,在开采区东边 6 000 m 处,潜水水位开采前后基本不变,因此可将其概化为一条已知水位边界。根据达西定律,可分别计算东辽河水与开采区东侧潜水进入开采区的单宽流量,分别记为 q_1 和 q_2 。

$$q_1 = K_1 M_1 I_1 \quad q_2 = K_2 M_2 I_2$$

式中： K 为平均渗透系数， m/d ； I 为平均水力梯度； M 为含水层的平均厚度， m 。

根据勘察报告,取 $K_1 = 85 \text{ m}/\text{d}$, $K_2 = 60 \text{ m}/\text{d}$, $M_1 = 5 \text{ m}$, $M_2 = 5 \text{ m}$ 。

由此可分别求得东辽河河水与开采区东侧潜 水对开采区潜水水质影响的权重 w_1 和 w_2 。

$$w_1 = q_1/(q_1 + q_2) \quad w_2 = q_2/(q_1 + q_2)$$

利用加权平均法求开采区潜水污染质预测 浓度,其计算公式为

$$c = w_1 c_1 + w_2 c_2 \tag{1}$$

式中： c_1 为仅受东辽河补给时开采区(下转第 83 页)

个河网水体纳污能力的 50% 左右。

7 结 语

嘉兴市作为一个平原河网地区,接受大量的过境水,这部分过境水既丰富了该市的水资源,但也带来了大量的污染物。入境边界 14 个监测断面中,其中Ⅲ类水体占 21.4%,Ⅳ类水体占 35.8%,Ⅴ类水体占 21.4%,劣于Ⅴ类水体占 21.4%。外来污染物严重影

响着该市整个水环境。在积极控制自身的排污和增加自身的纳污能力的同时,及时协调和呼吁周边地区改善水环境也是改善该市水环境的重要一方面。

参考文献：

[1] 方子云.水资源保护工作手册[M].南京:河海大学出版社,1988.

(收稿日期 2004-12-10 编辑 徐 娟)

(上接第 74 页)

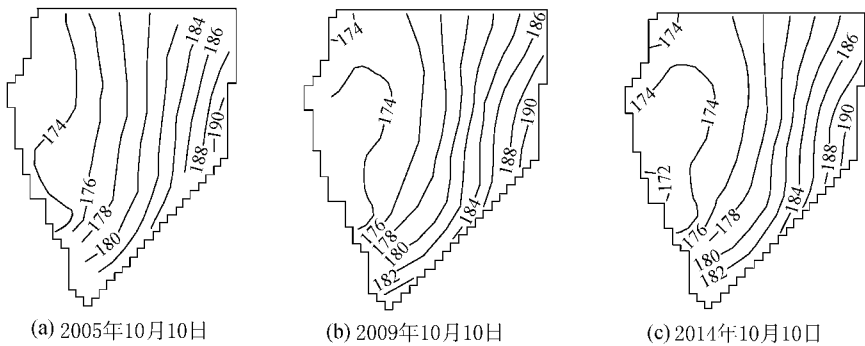


图 2 潜水等水位线

潜水的预测质量浓度,mg/L; c_2 为仅受开采区东侧潜水补给时开采区潜水的质

量浓度,mg/L。
根据式(1),预测水源地投产后开采区潜水水质状况见表 4。由此可知,水源地投产后,东辽河水质对水源地潜水水质影响较大。虽然目前东辽河水质属中度污染,对水源地潜水不会造成危害性影响,但也必须对其加强治理。

表 4 水源地潜水水质预测结果 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

年份	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$
2005	0.481	0.462	1.405	0.020	0.001
2009	5.035	5.647	17.853	0.083	0.322
2014	5.110	5.734	18.130	0.084	0.327

4 结论和建议

在地下水流数值模拟的基础上,应用溶质运移模拟与加权平均算法相结合的方法,对水源地运转后区内地表河水对潜水水质的影响做了预测,弥补了水质资料不足的缺陷,方便快捷,且能得到较满意的结果。由结果得知,水源地开采后,地表河水对水源地开采井所在处的潜水水质影响较大。

为保证水源地地下水水质长期符合使用要求,必须加强对地下水的管理：

- a. 建立水源地监测井网,对地下水水位、水量

和水质进行监测,为水源地的科学管理和地下水的合理利用提供依据。

- b. 加强工业污染源和城市生活污水的处理。

- c. 加强对地表水的治理^[8]。鉴于在水源地开采后,地表水的水质对地下水水质的影响愈来愈严重,应对地表水水质进行密切观测,针对区域严重超标的污染项目,重点查找污染来源,从源头上根治污染。

参考文献：

[1] GB/T14848—1993,地下水质量标准[S].
[2] 王栋,朱元牲.基于最大熵原理的水环境模糊优化评价模型[J].河海大学学报:自然科学版,2002,30(6):56-60.
[3] 胥冰,韩小勇.淮河干流水环境评价及其趋势分析[J].水资源保护,1998(2):10-17.
[4] 陶庆法,沈朝海,祁敏,等.佳木斯市地下水资源及其污染防治研究[J].水文地质工程地质,1996(3):6-13.
[5] 孙纳正.地下水流的数学模型和数值方法[M].北京:地质出版社,1981:42-56.
[6] 薛禹群.地下水动力学原理[M].北京:地质出版社,1986:262-274.
[7] 宋树林,林泉,孙向阳.地下水弥散系数的确定[J].海岸工程,1998,17(3):61-65.
[8] 陆尚旭.河池地区江河水水质污染现状评价及防治对策[J].水资源保护,2004(2):41-43.

(收稿日期 2005-05-19 编辑 舒 建)