

哈尔滨市及周边地区地下水易污性评价

邓昌州¹, 姜吉生², 张玉敏¹, 杨湘奎¹, 赵焱¹

(1. 黑龙江省地质调查研究总院, 哈尔滨 150036; 2. 黑龙江省 904 水文地质工程地质勘察院, 双城 150100)

摘要: 在哈尔滨城市地质调查项目实测的地质、水文地质资料的基础上, 利用 DRASTIC 方法, 选择地下水埋深、净补给量、含水层介质、包气带影响等 7 个参数作为评价指标, 建立哈尔滨地区地下水易污性评价体系, 编制哈尔滨地区地下水易污性分区图。研究表明, 哈尔滨地区地下水易污性较高的区域占 17.1%, 主要分布在松花江两岸, 为地下水污染的高风险地区, 应列为地下水资源管理重点防护区域。

关键词: 地下水易污性; 哈尔滨; DRASTIC; 易污性分区

中图分类号: X143

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2011)04-0135-05

随着城市化的发展和土地利用的增强, 工业“三废”的排放及农药、化肥的滥用, 有害物质渗入地下, 威胁到地下水用水安全。哈尔滨市地下水污染成分主要为总硬度、“三氮”、 Cl^- 及 SO_4^{2-} , 污染区主要分布在松花江、阿什河漫滩及化学工业区^[1]。除人为因素造成的污染外, 该地区地下水还具有较高的 Fe、Mn 背景值, 二者含量由山区向平原增高。据 2008 年水质检测数据, 地下水 Fe 含量为 1.1 ~ 6.6 mg/L, 最高含量 13.6 mg/L; Mn 含量为 0.75 ~ 2.68 mg/L, 最高为 3.22 mg/L。

地下水污染风险的加剧和人们环保意识的提高, 使地下水安全和地下水资源管理问题成为人们关注和研究的焦点。地下水易污性评价为预防地下水污染提供了重要依据。国内外很多学者开展了区域地下水易污性评价^[2-7]。但到目前为止, 地下水易污性概念并没有统一, 一般分为固有易污性和特殊易污性^[8]。其固有易污性定义为天然条件下地下水受到污染的可能性, 地下水易污性越高, 越容易受到污染。本文以研究区的第四系地下水固有易污性为研究对象, 选用 DRASTIC 方法^[19]开展研究。

1 研究区水文地质条件概况

哈尔滨地处松嫩平原东南部, 属中温带大陆性季

风气候, 冬长夏短, 多年平均气温为 3.4℃。哈尔滨降水有明显的季节性特征, 多年平均降水量 523.3 mm, 且多集中在 6 ~ 8 月份, 约占全年总降水量的 60% 以上。松花江为本区一级河流, 支流有拉林河、阿什河、呼兰河等, 属区内二级河流。

据地貌成因, 研究区可划分为湖成地貌和流水地貌。湖成地貌在本区主要表现为粘土质垄状和泥砂质波状高原, 分布在研究区南部和东南部, 面积约占研究区总面积 65%。流水地貌为河流作用形成的沿河分布的一级阶地和河漫滩, 主要分布在研究区北部, 南部地区则呈条带状沿河系分布。

根据本次工作实测的 322 个钻孔信息, 工作区内分布有高平原承压水、一级阶地承压水和河漫滩潜水三种类型(图 1)。高平原承压水主要分布在工作区高平原地区, 由猗猗组和下荒山组砂、砾含水层构成, 累积厚度 15 ~ 25 m。底部以白垩系泥岩为隔水边界, 顶部由上荒山组和哈尔滨组粉质粘土组成弱透水边界。两含水层之间以东深井组粉土或粉质粘土弱隔水层分开。水化学类型以 HCO_3-Ca 和 HCO_3-Na 型为主, 水质还原性铁、锰含量较高, 适用于灌溉。一级阶地承压水主要分布在工作区西北部松花江两岸阶地地区, 阿什河和拉林河两岸有小面积分布。含水层由顾乡屯组和猗猗组细砂、中粗砂、砂砾石层构成。厚度一般 20 ~ 35 m。底部以白垩系泥岩为隔水边界, 顶部以顾乡屯组上段粉质粘土为弱透水边界。水化学类型以 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 型为主。河漫滩潜水区含水层由全新统和下荒山组细砂、砂砾石构成。底部大部分以白垩系泥岩为隔水边界, 部分地区以东深井组粉质粘土为弱透水边界。

收稿日期: 2010-07-19; 修订日期: 2011-03-20

基金项目: 哈尔滨城市地质调查项目(SDK2006-001); 中国地质调查局项目(1212010881210)

作者简介: 邓昌州(1985-), 男, 助理工程师, 主要从事基础地质、水文地质研究。

E-mail: changzhouhn@126.com

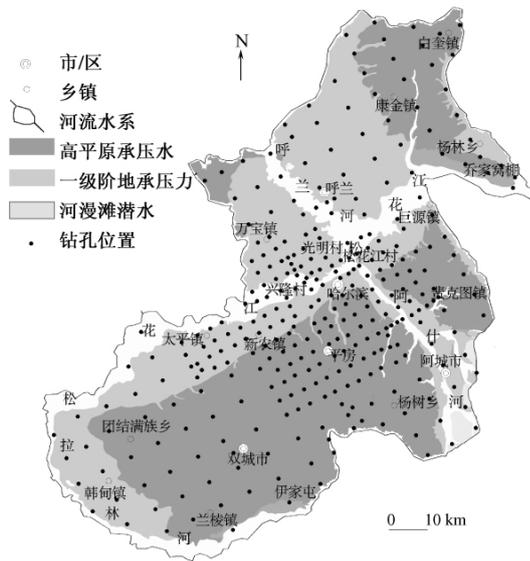


图 1 哈尔滨市及周边地区水文地质分区图
Fig. 1 Map showing hydrogeological zoning of Harbin and the vicinity

2 指标体系的确定与分析

2.1 地下水埋深(D)

根据 322 个钻孔测试数据,在湖成高平原地区,地下水埋深 16.1~61.5m,平均 28.9m;一级阶地地下水埋深 7.6~16m,平均埋深 11.2m;河漫滩地区埋深 0.3~7.5m,平均埋深 4.05m。

2.2 净补给量(R)

本文采用降雨量与补给系数的乘积作为净补给量。研究区全年平均降水量 523.3mm,高平原地区补给系数较低,为 0.06~0.1,而漫滩和阶地地区补给系数较高,为 0.13~0.22^[12]。高平原地区净补给量 31.4~52.3mm/a,漫滩和阶地地区净补给量 68.03~115.13mm/a。

2.3 含水层介质(A)

研究区含水层从下至上依次为下更新统狍岭组、中更新统下荒山组、上更新统哈尔滨组和顾乡屯组底部地层和全新统沉积地层。含水介质主要为细砂、中粗砂、砂砾石和圆砾。含水层介质多互层,高平原地区多为细砂和中粗砂互层,漫滩和阶地地区更为复杂,为各种砂、砾砂及圆砾互层(图 2)。

2.4 土壤介质(S)

在高平原地区和河流阶地地区土壤介质多为非胀缩性粘土,而在漫滩地区大部分为粉砂。由于非胀缩性粘土颗粒尺寸小,对地表水具有滞碍下渗和滤净作

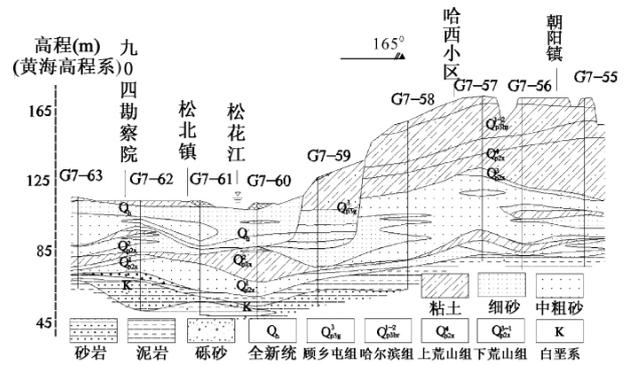


图 2 松北—朝阳一线水文地质剖面图
Fig. 2 Hydrogeological profile along the line of Songbei-Chaoyang

用,因此对地下水具有一定的防护作用。

2.5 地形坡度(T)

本区属松嫩平原的一部分,地形坡度较小,除研究区东南部临近低山丘陵地区地形坡度较大外(介于 2%与 6%之间),其余区域坡度小于 2%。

2.6 包气带影响(I)

包气带岩性特别是粘土对地下水的防护有重要影响^[13],区内包气带介质具有两种结构单元,高平原地区以粉质粘土为主,而河漫滩和阶地地区则多为细砂和粉质粘土互层,极少数地区为单一层细砂。

2.7 含水层渗透系数(C)

研究区含水层渗透系数受地表水系影响较大。一级河流松花江两岸为 60m/d;而经阶地过渡到高平原地区渗透系数逐渐减小至 35 m/d。二级河流的含水层介质为细砂,含水层渗透系数 10~35 m/d,呼兰河、拉林河两岸渗透系数(30~35 m/d)大于阿什河地区(10 m/d)^[12]。

参考 DRASTIC 方法各指标分级及打分^[11]结果见表 1。由于圆砾透水性一般好于砂砾,本文对含水层介质和包气带岩性打分时,将圆砾分值设为 9。

3 基于 DRASTIC 的数据处理与模型验证

3.1 研究区易污性分区

3.1.1 权重确定

在 DRASTIC 方法中,根据各项指标的重要性来赋予相应的权重值。对于地下水易污性影响越大,赋予的权重值越大。由于地下水埋深和包气带岩性对地下水易污性影响较大,权重值均为 5;地下水补给量的影响次之,权重值为 4;含水层介质和含水层渗透系数对地下水易污性影响中等,权重值均为 3。土壤类别和

表 1 地下水易污性评价指标权重及打分

Table 1 Weights and ratings for groundwater vulnerability index

D (5)		R (4)		A (3)		S (2)		T (1)		I (5)		C (3)	
埋深 (m)	分值	补给量 (mm)	分值	介质	分值	土壤类别	分值	坡度 (%)	分值	岩性	分值	渗透系数 (m/d)	分值
0~1.5	10	0~50	1	细砂	4	极薄/砾	10	0~2	10	粉质粘土	2	<4.1	1
1.5~4.5	9	50~100	3	中粗砂	6	砂	9	2~6	9	细砂	5	4.1~12.2	2
4.5~9	7	100~175	6	砂砾	8	砂质肥土	6	6~12	5	中粗砂	7	12.2~28.5	4
9~15.0	5	175~250	8	圆砾	9	肥土	5	12~18	3	砂砾	8	28.5~40.7	6
15~22.5	3	>250	9			淤泥质土	4	>18	1	圆砾	9	40.7~81.5	8
22.5~30	2					粘土质土	3					>81.5	10
>30	1					非缩胀粘土	1						

地形坡度对地下水易污性影响较小,权重值分别为 2 和 1。

3.1.2 评价单元划分

DRASTIC 模型应用过程中,在处理数据之前最重要的是对工作区进行分区。为便于充分利用本次工作 322 个钻孔资料,本研究在分区时根据钻孔进行分区(图 3)。图中每个小区有一个钻孔控制,在哈尔滨市和郊区,为本次重点研究地区,钻孔比较密集(图 1),每个小区面积约 10.5km²。周边地区钻孔密度相对较稀,每个分区面积约 55km²。研究区共分成 322 个小区。

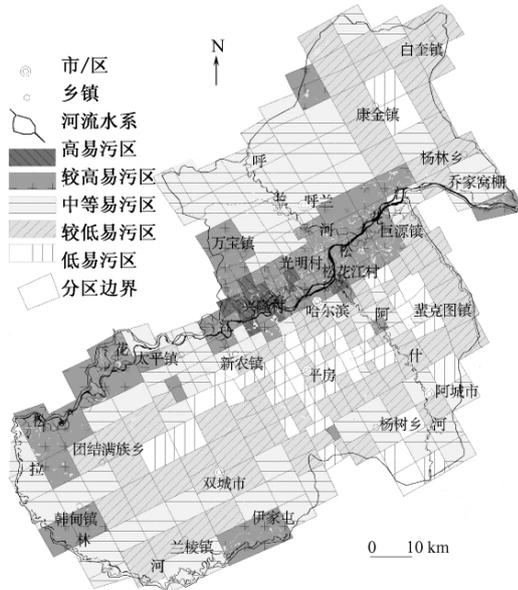


图 3 分区及易污性评价结果

Fig. 3 Results of subarea and assessment of groundwater vulnerability

3.1.3 易污性分区

根据 DRASTIC 方法,综合评价指数由下式确定:

$$P_M = \sum_{i=1}^7 X_i X_j$$

式中: P_M ——第 M 个样点的地下水易污性指数;

X_i ——指标 i 的权重;

Y_j ——在 j 因子影响下对指标 i 的打分。

在对各指标的影响因子打分时, D、R、S、T、C 等五种指标直接采用 DRASTIC 打分方法,而对于 A 和 I 两个指标,由于研究区第四系地层较为复杂,含水层和包气带层并非单一的介质单元。含水层岩性多为细砂、中粗砂、砂砾或圆砾互层;而包气带则常见粉质粘土、细砂、中粗砂、砂砾和圆砾互层。因此,为了减少多因子介质对评价的影响,本文根据介质厚度进行加权平均取得该影响因子的打分值 A^1 和 I^1 ,计算公式如下:

$$A^1 \text{ 或 } I^1 = \sum \sum Y_j D_j / D_j$$

式中: Y_j —— j 因子影响下对指标 i 的打分;

D_j ——钻孔实测 j 因子厚度。

通过该公式,计算得到 A^1 介于细砂分值 4 和圆砾分值 9 之间的打分值,以及 I^1 位于粉质粘土分值 2 和圆砾分值 9 间的打分值。

通过计算,取得每个区的易污性指数,结果显示,哈尔滨地区地下水易污性指数数值区间为 59~155。根据易污性指数将研究区地下水易污性分为五个等级(表 2),最终取得哈尔滨地区地下水易污性分区(图 3)。

通过图 3 可以看出,在分区评价中存在易污性等级过度突变的情况,例如在杨树乡一带存在从低脆弱区直接变化到中等脆弱区的情况。客观上地下水易污性是渐变的,通过连等值线对图 3 进行修改,并将分区边界曲线化得到图 4。

3.2 模型可靠性检验

考虑到本区污染指标中 Fe、Mn 的高浓度值与含水介质中所含化学离子有关,非人为因素影响,而污染

物硝酸盐中的 N 容易来自于农田化肥、工业“三废”，与人类活动关系密切。因此，选用硝酸盐来检验模型的可靠型。通过综合 2008 年枯水期和丰水期研究区 35 个水文观测孔水质化验数据和地下水污染情况，并参考地下水质量分类标准^[12]，判定硝酸盐（以 N 计）浓度小于 20 mg/L 的为无污染，20 ~ 30 mg/L 的为轻度污染，大于 30 mg/L 为重度污染，得到哈尔滨及周边地区硝酸盐（以 N 计）污染情况分区图（图 5）。

表 2 哈尔滨市及周边地区地下水易污性分区

Table 2 Results of subarea of groundwater vulnerability in Harbin city and the vicinity

易污性分区	指数范围	面积 (km ²)	面积百分比 (%)
低脆弱区	59 ~ 80	708.11	8.5
较低脆弱区	80 ~ 100	3227.58	39
中等脆弱区	100 ~ 120	2931.91	35.4
较高脆弱区	120 ~ 140	1324.41	16
高脆弱区	140 ~ 155	91.99	1.1

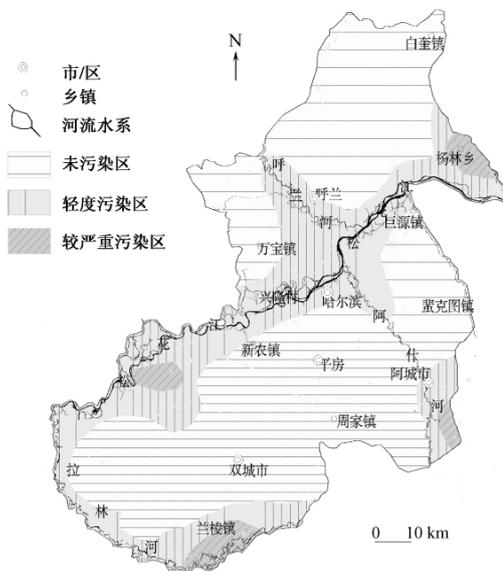


图 5 哈尔滨市及周边地区硝酸盐污染分区图

Fig. 5 Map showing nitrate pollution distribution in Harbin city and the vicinity

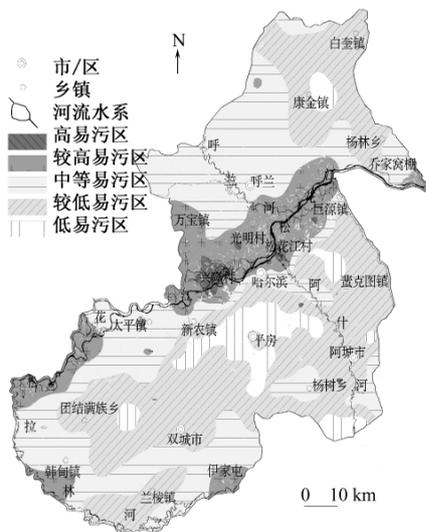


图 4 哈尔滨市和周边地区地下水易污性分区

Fig. 4 subarea of groundwater vulnerability in Harbin city and the vicinity

通过图 5 可以看出，研究区内硝酸盐污染主要分布在松花江两岸，哈尔滨市周围为轻度污染，阿城市东南 8 公里处的阿什河漫滩区和兰陵镇东南拉林河漫滩区硝酸盐为重度污染区。通过与图 3 和图 4 比较，地下水易污性中等、较高和高的区域所对应的硝酸盐浓度也较大，而易污性低的地方硝酸盐浓度一般不超标。这说明在人为因素的影响下，地下水易污性较高的地区容易遭受污染，文中评价方法具有一定的可靠性。

4 结论与建议

(1) 地下水较高脆弱区和高脆弱区主要成条带状分布在松花江两岸 7.5km 范围内，拉林河沿岸有小面积分布，主要在韩甸镇西南和伊家屯一带。高脆弱区和较高脆弱区占研究区面积的 17.1%。以上区域渗流区介质对地下水防护能力弱，大部分地区地下水硝酸盐轻度污染区，乔家窝棚附近、太平镇南部硝酸污染较严重。

(2) 研究区中部和东北部广大高平原地区地下水易污性较低，特别是平房区市区周围，哈钢丝绳厂一带以及交界镇西南部分区域为低脆弱区，低脆弱区和较低脆弱区占研究区面积 47.5%，此区域地下水天然防污性能较强，不易遭受污染，受硝酸盐污染影响较小。

(3) 呼兰河和拉林河阶地、松花江阶地与高平原过度地区以及高平原与低山丘陵过度地区地下水易污性中等。该区域地下水有一定的天然防护能力，占研究区面积 35.4%。从硝酸盐污染分区图上可以看出，地下水易污性中等地区除阿城东南部和兰陵镇南部有部分硝酸盐污染区外，其余地区均为未污染区。

鉴于哈尔滨地区地下水易污性分区特征，建议应加强松花江两岸 7.5km 内地下水监测与防护工作。在土地利用，工程施工，工厂选址规划时，要首先考虑本区地下水的低易污性，将人为污染对该区的影响控制在最低限度。

参考文献:

- [1] 杨湘奎,陈佳音,祁福利,等. 黑龙江省地下水若干问题研究[J]. 黑龙江省水专学报, 2008, 35(4): 102-106. [YANG X K, CHEN J Y, QI F L, *et al.* Research of several problems of groundwater in Heilongjiang province [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering, 2008, 35(4): 102-106. (in Chinese)]
- [2] 张保祥,张心彬,黄乾,等. 基于GIS的地下水易污性评价系统[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(6): 26-31. [ZHANG B X, ZHANG X B, HUANG Q, *et al.* Ground water vulnerability assessment system based on GIS [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2009, 36(6): 26-31. (in Chinese)]
- [3] M Kralik, T Keimel. Time-input, an innovative groundwater-vulnerability assessment scheme: application to an alpine test site [J]. Environmental Geology, 2003(44): 679-686.
- [4] Vu Thi Minh Nguyet, Nico Goldscheider. A simplified methodology for mapping groundwater vulnerability and contamination risk, and its first application in a tropical karst area, Vietnam [J]. Hydrogeology Journal, 2006(14): 1666-1675.
- [5] 张雪刚,毛媛媛,李致家,等. 张集地区地下水污染性及风险评价[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(1): 51-55. [ZHANG X G, MAO Y Y, LI Z J, *et al.* Assessment of groundwater vulnerability and risk to pollution in Zhangji [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2009, 36(1): 51-55. (in Chinese)]
- [6] LIU Rentao, FU Qiang, GAI Zhaomei. Entropy weight coefficient model and its application in evaluation of groundwater vulnerability of the Sanjiang Plain [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007: 368-373.
- [7] Changming WANG, Jianping CHEN, Pulin LI, *et al.* DRASTIC-based vulnerability evaluation for groundwater environment in Kunming City [J]. Global Geology, 2006, 9(2): 189-193.
- [8] 孙才志,潘俊. 地下水易污性的概念、评价方法与研究前景[J]. 水科学进展, 1999, 10(4): 444-449. [SUN C Z, PAN J. Concept and Assessment of Groundwater Vulnerability and Its Future Prospect [J]. ADVANCES IN WATER SCIENCE, 1999, 10(4): 444-449. (in Chinese)]
- [9] Aller L, Lehr J H, Bennett T, *et al.* DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydro geological settings [M]. Oklahoma: U. S. Environmental Protection Agency, 1987.
- [10] 赵海卿,赵勇胜,杨湘奎,等. 松嫩平原地下水资源及其环境问题调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 2009. [ZHAO H Q, ZHAO Y S, YANG X K, *et al.* Investigation and evaluation of groundwater resources and environmental problem in Songnen plain [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 2009. (in Chinese)]
- [11] 刘长礼,张云,叶浩,等. 包气带粘性土层的防污性能试验研究及其对地下水易污性评价的影响[J]. 地球学报, 2006, 27(4): 349-354. [LIU C L, ZHANG Y, YE H, *et al.* Experimental Studies of the Filtration Capability of Clayey Soils in the Vadose Zone and Its Influence on the Evaluation of groundwater Vulnerability to Pollution [J]. ACTA GEOSCIENTICA SINICA, 2006, 27(4): 349-354. (in Chinese)]
- [12] GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. [GB 5749-2006 Standards for Drinking Water Quality [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006. (in Chinese)]

Assessment of the groundwater vulnerability in Harbin and the vicinity

DENG Chang-zhou¹, JIANG Ji-sheng², ZHANG Yu-min¹, YANG Xiang-kui¹, ZHAO Yan¹

(1. General Institute of Geosciences Investigation of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China;

2. Exploration Institute of 904 Engineering Geology and Hydrogeology, Shuangcheng 150100, China)

Abstract: Using the DRASTIC method, which is widely used around the world, we choose 7 parameters, such as depth to water table, net recharge, aquifer media, vadose zone and other factors, as evaluated index and set up the groundwater vulnerability evaluation system of Harbin area based on geological and hydrological data of the study area. We compile the subarea map of groundwater vulnerability of Harbin. The results indicate that 17.1 percent of the city region are of high vulnerability, which mainly occur along the Songhua River. This area has the highest risk for water pollution, and can be considered as the key protection region.

Key words: Groundwater vulnerability; Harbin; DRASTIC; Zoning of groundwater vulnerability

责任编辑: 张若琳