



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.01.006

姚丽利, 高童, 胡立堂. 地下水源地污染预警应用研究——以浑河冲洪积扇为例[J]. 2016, 14(1): 37-41, 66.

YAO Li li, GAO Tong, HU Li tang. Application study of groundwater pollution early warning in source field: A case study in alluvial pluvial fan of Hun River[J]. 2016, 14(1): 37-41, 66. (in Chinese)

地下水水源地污染预警应用研究

——以浑河冲洪积扇为例

姚丽利^{1,2}, 高童^{1,2}, 胡立堂^{1,2}

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 北京师范大学地下水污染控制与修复教育部工程研究中心, 北京 100875)

摘要: 地下水水源地污染预警是集中城镇供水的地下水资源保护和管理的依据。为了控制地下水污染,使地下水保护更具预见性和主动性,提出了基于水质现状和污染风险的地下水水源地污染预警思路。水质现状是预警基础,决定预警的起始状态;污染风险考虑了污染源载荷风险和污染危害性,反映人类活动对地下水的影响,决定区域污染状况的发展变化。以浑河冲洪积扇饮用水水源地为例,通过各因子的评价和叠加分析得到地下水水源地污染预警值,结果显示浑河冲洪积扇地区大部分水源地存在不同程度的污染警情。研究结果可为当地地下水水源地保护提供依据。

关键词: 地下水水源地; 污染预警; 浑河冲洪积扇; 污染风险

中图分类号: P641.8 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2016)01-0037-05

Application study of groundwater pollution early warning in source field:

A case study in alluvial-pluvial fan of Hun River

YAO Li li^{1,2}, GAO Tong^{1,2}, HU Li tang^{1,2}

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Engineering Research Center of

Groundwater Pollution Control and Remediation of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Early warning of groundwater pollution in source field is an important base for water resource protection and management. In order to control groundwater pollution and improve the predictability and the initiative of groundwater protection, this paper proposed a new way for groundwater pollution early warning, based on current water quality status and pollution risk. Current water quality is a basement and it determines the initial state of pollution early warning. Pollution risk includes pollution sources load and pollution hazard, which reflects the influence of human activities on groundwater and determines the development of regional pollution. This paper took the drinking water sources in alluvial-pluvial fan of Hun River as an example and evaluated the early warning value through factor assessment and overlay analysis. The results indicated that most groundwater source fields in alluvial-pluvial fan of Hun River had suffered from pollution to some degrees. These results can provide certain theoretical foundation for local groundwater sources protection.

Key words: groundwater source field; early warning of pollution; alluvial-pluvial fan of Hun River; pollution risk

收稿日期: 2015-01-21 修回日期: 2015-11-29 网络出版时间: 2016-02-27

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160227.1626.007.html>

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2014ZX07201-010); 国家环保公益性行业科研专项(201009009)

Fund: National Science and Technology Major Project on Water Pollution Control and Treatment (2014ZX07201-010); Specific Project of National Public Welfare for Environmental Protection (201009009)

作者简介: 姚丽利(1992), 女, 浙江乐清人, 主要从事地下水数值模拟和渗流计算方面的研究。E-mail: 201421470034@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 胡立堂(1976), 男, 湖北潜江人, 副教授, 博士, 主要从事地下水数值模拟和渗流计算方面的研究。E-mail: litanghu@bnu.edu.cn

地下水污染具有长期性、复杂性、隐蔽性的特点,其污染治理难度大、费用高、时间长。控制地下水污染最有效的方法是防患于未然,在地下水环境恶化前及时地给出警报信息,特别是对于地下水饮用水源地,提前采取措施可确保水资源保护的预见性和主动性。因此,《全国地下水污染防治规划(2011-2020)》提出要进行地下水污染预警,并构建应急机制与体制。

预警最早出现在军事领域,随后在经济、灾害、社会、环境等各领域得到应用^[3]。在 20 世纪 70 年代,国外开始开展水质预警系统的研究,如莱茵河和多瑙河流域事故预警系统,可及时提供水质参数的突变信息,反演污染事故并实现快速响应,在控制流域水体污染中发挥了重大作用^[4]。水质预警系统的核心是对水质动态进行实时监测,主要用于地表水,因为地表水水质变化快。国外对地下水水质的保护主要是通过地下水脆弱性和污染风险性评价,将评价结果运用于有效的管理中,并建立地下水保护区,对重要的供水井进行实时监测预警^[56],采用的设备包括荷兰的微型“Diver”地下水自动监测传感器和德国基尔 Sensatec 公司研制的一种置于土中的精密传感器等,但目前尚未形成比较公认的地下水污染预警系统。我国对环境预警研究开始比较晚,于 20 世纪 90 年代首先开展对生态环境的预警研究,随后诸位学者在生态环境、地表水环境及库区水质预警等方面提出预警方法和理论。在地下水方面,2002 年洪梅等^[7]开发了基于地理信息系统(GIS)的吉林省西部地下水预警信息系统;还有许多学者^[8-12]对地下水水质和水位预警的指标体系、评价标准和评价方法进行了探讨,基本思路是:分析影响污染预警的主要因素-对预警因素进行评价-基于数值模型或层次分析法构建地下水污染预警模型-根据警戒线进行预警。

浑河冲洪积扇位于下辽河平原东北部,属典型的傍河水源地,行政区域包括沈阳市属各区。地下水供水量占区内供水总量的 75.4%。浑河沈阳段水质长期属于超 V 类地表水,河流中的污染物伴随浑河渗透补给地下水的过程进入地下水中,使沿岸地下水受到潜在威胁。因此研究该地区水源地地下水的污染预警,对于该区和类似地区的地下水保护和居民安全饮用具有重要的意义。本文针对浑河冲洪积扇水源地的地下水水质状况和所面临的污染风险进行地下水污染预警研究,可为区域地下水管理提供参考。

1 水源地地下水污染预警思路

地下水污染预警是对地下水及其环境发生的影响变化进行监测、分析、评价并预测其变化趋势及速度的动态过程,适时给出相应级别的警戒信息^[13]。一个完整的地下水污染预警方法需要明确地下水水质起始状态和地下水系统的演变过程。污染源对地下水产生影响须具备污染物、释放路径和受体三个因素。污染物排放后能否进入地下水水源地,取决于含水层系统结构,而污染源特征如类型、位置、污染物迁移性等也是决定性因素之一。污染源的作用对象为污染受体,针对水源地可将其分为一级水源保护区、二级水源保护区和非保护区。本文拟基于水源地的现状水质条件和存在的污染风险,提出地下水水源地污染预警思路,重点考虑污染源载荷风险和污染危害性,并根据多因子的分别判定和叠加分析,确定各水源地的污染预警等级。

1.1 污染预警值计算

地下水水源地水质现状是预警基础,决定预警起始状态。污染风险反映人类活动对地下水的影响,决定区域污染状况的发展变化。可用式(1)表示水源地地下水污染预警值。

$$L = w_1 Q + w_2 R \quad (1)$$

式中: L 为污染预警值; Q 为现状水质评价价值; R 为污染风险评价价值; w_1 、 w_2 分别为现状水质和污染风险占的权重。

本文将现状水质条件和污染风险两个因素视为同等重要,因此两者的权重值均为 0.5。

1.2 水质现状评价

现状地下水水质条件评价包括地下水供水水源地及周边水质状况。水源地周边的地下水质量可根据地下水质量的评价标准,确定代表性指标,采用修正的内梅罗指数法对采样点水质进行综合评价,再根据水样综合评价值插值获得。地下水水源地的质量标准一般要高于其他区域的地下水质量标准,但为了将全区域地下水水质进行统一评价,地下水质量标准均以《地下水质量评价标准》(GB/T 14848-93 1994-10-01 实施)为基准。现状水质评价价值 Q 即取为地下水水质综合质量标准的级别,Ⅰ至Ⅴ级水质对应的 Q 值依次为 1~5。

1.3 污染风险评价

1.3.1 污染风险值计算

地下水污染风险是各种污染源对地下水产生污染的可能性及危害性。污染风险评价综合考虑污染

源荷载风险和污染危害性两个关键因素。一个地区有污染源荷载风险,地下水才有可能面临污染,其污染的严重程度由污染源的危害性控制。因此,本文中污染风险评价由污染源荷载风险评价和污染危害性评价两部分组成。污染风险评价的计算公式如下:

$$R = I \cdot D \quad (2)$$

式中: R 为污染风险值; I 为污染源荷载风险评价值; D 为污染危害性评价值。

1.3.2 污染源荷载风险

污染源荷载风险是各种污染源对地下水产生污染的可能性。污染源的属性(包括污染源的类别、毒性等)、污染源的排放量、污染物的影响范围是评价污染源荷载风险考虑的三个因素。污染源荷载风险由公式(3)确定。

$$I = C \cdot M \cdot A \quad (3)$$

式中: I 为污染源荷载风险值; C 为污染源特性评价值,依据专家评分结果,取值范围为1~10,不同污染类型的 C 值见表1; M 为各污染源排放量评价值,排放量按大、中、小分别赋值3、2、1; A 为污染影响范围评价值,依据与污染源距离300 m(水流迁移60天的距离)、300~1 200 m、1 200 m外分别取值2、1、0。

表1 污染源特性专家评分

Tab. 1 Rating scale of pollutants' characteristics

污染源分布类型	污染源种类	污染评分	
面源	农田	5	
线源	排污河	10	
点源	养殖业	3	
	大型集中养殖	3	
	中小型集中养殖	1	
	石油化工	10	
	工业污染源	制革、电镀、冶金	7
	造纸、纺织、制药	5	
	食品	3	
	垃圾堆放场	7	

1.3.3 污染危害性评价

污染危害性评价根据不同的受体类型来确定污染造成的危害程度。受体敏感性越高,则污染造成的危害就越严重。污染危害性评价是根据地下水不同的保护级别来确定污染发生后造成的危害程度。为便于研究,将地下水水源地按饮用水保护区进行三级划分,对不同级别分别赋予不同的危害性分值。

饮用水水源地保护区是指国家为防治饮用水水源地污染、保证水源地环境质量而划定,并要求加以

保护的一定面积的区域^[4]。因此水源地保护区是地下水预警研究需要重点关注的区域。经验法和数值模拟法是目前国内外运用最广泛的划分水源地保护区的方法,其中数值模拟法得到的数值解可较好地逼近真实解且满足计算精度的需求,因此是保护区划分的主要方法^[15-18]。

国外的地下水水源地保护区划分软件有美国EPA的CZAEM和WhAEM软件,基本是以稳定流的数值模型和粒子追踪法为基础。本文选用自主开发的地下水型饮用水源地保护区划分软件GWSPZS^[19],该软件是基于有限单元法的地下水稳定流模型和粒子反追踪法来划分保护区,可处理非均质和多源汇等问题。该软件通过数值模型获得流速,然后在开采井周围设置粒子追踪点,进行反向追踪。按照质点流入水源井的时间,不同时间的迹线点连线即可画出各级保护区范围。其中保护区划分的时间标准可由使用者确定。本研究中将水源井作为质子运移起点,反向追踪水质点运移100 d、1 000 d的位置,将其连线,即为一级、二级保护区的范围。在本研究中,将研究区污染受体分为三类:一级水源保护区、二级水源保护区、非保护区,三者对污染的敏感性依次降低;根据专家评判结果,三者的污染危害性取值分别为3、2、1。

2 应用

2.1 研究区概况

浑河冲洪积扇地位于辽宁省中部沈阳市及周边,属温带季风型大陆性气候,多年平均降水量622.5 mm,多年平均蒸发量1 444.9 mm,地下水是当地主要的供水水源。研究区位于下辽河平原东部山前倾侧平原,包括沈阳中心城区、于洪区、苏家屯区以及东陵区的部分,总面积1 455 km²,主要河流包括浑河和细河(图1)。浑河冲洪积扇地区第四系松散岩类孔隙水广泛分布,单井涌水量在1 000 t/d以上,而且孔隙水矿化度小于1 g/L,以重碳酸型水为主。主要地下水类型为潜水、微承压水、孔隙承压水,由东向西含水层结构由单层逐渐变为多层,厚度逐渐加大。主要含水组之上覆盖有厚度不等的亚砂土和亚黏土,地下水水位埋深由山前的8~9 m逐渐向平原中部递变为1~2 m。研究区内共建有31个地下水水源地,分布在浑河两岸。浑河水质较差,目前呈现不同程度的污染状态,河流中的污染物伴随浑河渗透补给地下水而威胁研究区地下水水源的水质安全。

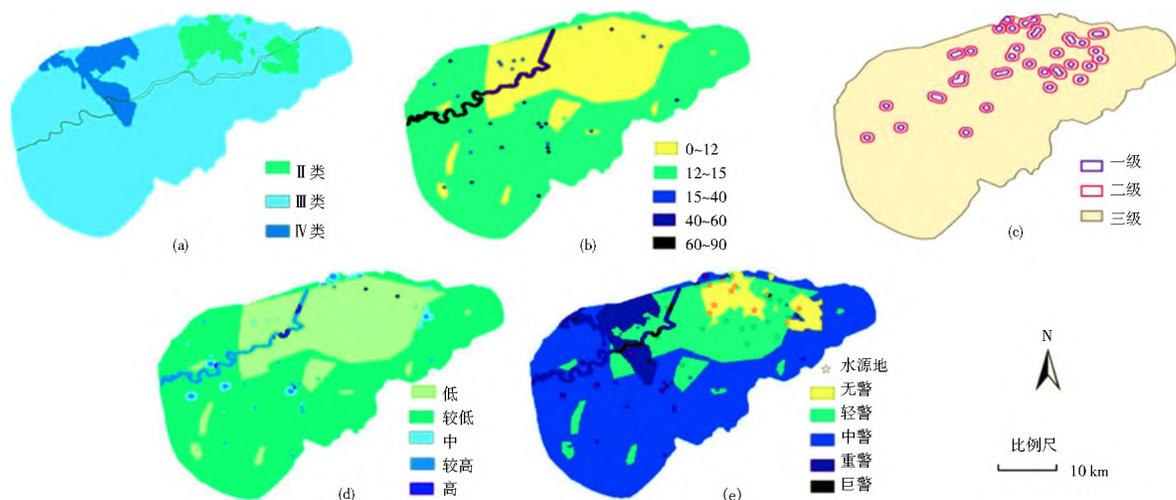


图2 地下水水源地污染预警评价结果

(a: 现状地下水水质评价; b: 污染源污染载荷评价; c: 污染危害性评价; d: 污染风险评价; e: 污染预警评价)

Fig. 2 Assessment results of early warning of groundwater source field pollution, a: current groundwater quality status; b: pollution source load; c: pollution hazard; d: groundwater pollution risk; e: grade of pollution early warning assessment.

3 结论

本文以地下水水源地污染预警为目标,提出了综合考虑地下水水质现状和污染风险的地下水水源地污染预警思路,认为地下水污染预警等级可通过现状地下水质量、污染源载荷风险和污染危害性的分别评价和综合分析得到。在实际污染风险评价和污染预警评价中,难以给出统一的等级划分标准,本文根据评价值的相对大小划定了污染风险等级和污染预警等级。以浑河冲洪积扇饮用水水源地为例进行应用,结果显示浑河冲洪积扇地区大部分水源地都出现了不同程度的污染警情,预警等级高的地方主要集中于细河沿岸、浑河下游及农业种植区,说明本文预警思路具有可行性。根据预警结果,为防止浑河冲洪积扇地下水水源地水质进一步恶化,应尽快对保护区内污染源进行移除或监控,整治清理污染河段,尽可能减少地表水体污染渗入地下造成的地下水污染。

由于实际采样困难,现状地下水水质评价中仅考虑了丰水和枯水季水质状况,尚待补充完整水文年的采样测试资料从而进行深入研究。

参考文献(References):

- [1] Moseley W G, Logan B I. Conceptualizing hunger dynamics: a critical examination of two famine early warning methodologies in Zimbabwe[J]. *Applied Geography*, 2001, 21: 223-248.
- [2] Lollino G, Arattano M, Cuccureddu M. The use of the automatic inclinometric system for landslide early warning: the case of Cabella Ligure (North Western Italy) [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2002, 27: 1545-1550.
- [3] Wenzel F, Baur M, Fiedrich F. Potential of earthquake early warning systems[J]. *Natural Hazards*, 2001, 23: 407-416.
- [4] Diehl P, Adjeuken T G. Early warning strategies and practices along the river Rhine[J]. *Water Resource and Protection*, 2006, 5: 99-124.
- [5] Nieto P, Custodio E. Baseline groundwater quality: a European approach[J]. *Environmental Science & Policy* 2005, 8: 399-409.
- [6] 魏加华, 王光谦, 李慈君, 等. GIS 在地下水研究中的应用进展[J]. *水文地质工程地质*, 2003 (2): 92-98. (WEI Jiarhua, WANG Guangqian, LI Cijun, et al. Recent advances associated with GIS in groundwater resources research[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2003(2): 92-98. (in Chinese))
- [7] 洪梅, 赵勇胜, 张博. 地下水水质预警信息系统研究[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2002, 32(4): 364-368. (HONG Mei, ZHAO Yongsheng, ZHANG Bo. The research on groundwater quality early warning system[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2002, 32(4): 364-368. (in Chinese))
- [8] 董志颖, 李兵, 孙晶. GIS 支持下的吉林西部水质预警研究[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2003, 33(1): 56-58. (DONG Zhiying, LI Bing, SUN Jing. The research of forecast of water quality in the western part of Jilin province by means of GIS [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2003, 33(1): 56-58. (in Chinese))
- [9] 汤洁, 卞建民, 林年丰, 等. GIS PM odflow 联合系统在松嫩平原西部潜水环境预警中的应用[J]. *水科学进展*, 2006, 17(40): 483-488. (TANG Jie, BIAN Jianmin, LIN Nianfeng, et al. Application of integrated system of GIS PM odflow to water environment early warning in west of Songne plain[J]. *Advance in Water Science*. 2006, 17(40): 483-488. (in Chinese))
- [10] 王凯军, 曹剑峰, 徐蕾, 等. 地下水资源管理预警系统的建立及应用研究以长春城区为例[J]. *水科学进展*, 2005, 16(2): 238-243. (WANG Kaijun, CAO Jianfeng, XU Lei, et al. Establishment and application of early warning system in groundwater resource management in the urban area of Changchun[J]. *Advance in Water Science*. 2005, 16(2): 238-243. (in Chinese))

(下转第 66 页)

- 设计[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(9): 1457-1461. (YOU Jir jun, WANG Zhong jing, GAN Hong. Conceptualization and object-oriented based design of water resources simulation[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2007, 47(9): 1457-1461. (in Chinese))
- [11] 游进军, 甘泓, 王忠静. 分层水资源网络及其应用[J]. 水利学报, 2007(6): 724-731. (YOU Jir jun, GAN Hong, WANG Zhong-jing. Hierarchical network of water resources system and its application[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007(6): 724-731. (in Chinese))
- [12] 谷秀英, 曲兴辉, 王立强. 平原水库供水水源系统可靠性及风险分析方法[J]. 水文, 2007(1): 26-29. (GU Xiuying, QU Xinghui, WANG Li-qiang. Risk analysis of water supply source system and simulation method in plain reservoir[J]. Journal of China Hydrology, 2007(1): 26-29. (in Chinese))
- [13] 马俊德. 平原水库提高蓄水深度的研究[J]. 河海大学学报, 2002(4): 82-84. (MA Jun de, Study on feasibility of increase of water storage depth for plain reservoirs[J]. Journal of Hohai University, 2002(4): 82-84. (in Chinese))
- [14] 杨俊杰, 周建中, 方仍存, 等. MOPSO 算法及其在水库优化调度中的应用[J]. 计算机工程, 2007(18): 249-250. (YANG Junjie, ZHOU Jianzhong, FANG Rengcun, et al. Multi-objective Particle Swarm Optimization and Its Application in Optimal Regulation of Reservoir[J]. Computer Engineering, 2007(18): 249-250. (in Chinese))
- [15] 巩敦卫, 胡滢, 张勇. 基于多目标微粒群优化的异质数据特征选择[J]. 电子学报, 2014(7): 1320-1326. (GONG Dunwei, HU Ying, ZHANG Yong. Feature selection of heterogeneous data based on multi-objective particle swarm optimization[J]. Journal of Hohai University, 2014(7): 1320-1326. (in Chinese))
- [16] 胡旺, Gary G. YEN, 张鑫. 基于 Pareto 熵的多目标粒子群优化算法[J]. 软件学报, 2014(5): 1025-1050. (HU Wang, Gary G. YEN, ZHANG Xin. Multi-objective particle swarm optimization based on Pareto entropy[J]. Journal of Software, 2014(5): 1025-1050. (in Chinese))
- [17] 王丽萍, 江波, 邱飞岳. 基于决策偏好的多目标粒子群算法及其应用[J]. 计算机集成制造系统, 2010(1): 140-148. (WANG Liping, JIANG Bo, QIU Feiyue. Multi-objective particle swarm optimization based on decision preferences and its application[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010(1): 140-148. (in Chinese))
- [18] 肖晓伟, 肖迪, 林锦国, 等. 多目标优化问题的研究概述[J]. 计算机应用研究, 2011(3): 805-808. (XIAO Xiaowei, XIAO Di, LIN Jinguo, et al. Overview on multi-objective optimization problem research[J]. Application Research of Computers, 2011(3): 805-808. (in Chinese))
- [19] 丁胜祥, 董增川, 王德智, 等. 基于 Pareto 强度进化算法的供水水库群多目标优化调度[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 679-684. (DING Shengxiang, DONG Zengchuan, WANG Dezhi, et al. MOP of feeding reservoir group optimal operation based on SPEA[J]. Advances in Water Science, 2008, 19(5): 679-684. (in Chinese))
- [20] 朱浩鹏, 李为吉. 结构多目标优化非劣解集的遗传算法[J]. 西北工业大学学报, 2001(1): 152-155. (ZHU Haopeng, LI Weiji. Multiobjective structural optimization with pareto genetic algorithm[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2001(1): 152-155. (in Chinese))
- [21] 张玲, 徐宗学, 张志果. 基于粒子群算法的水资源优化配置[J]. 水文, 2009, 29(3): 41-45, 23. (ZHANG Ling, XU Zongxue, ZHANG Zhiguo. Rational allocation of water resources based on particle swarm optimization[J]. Journal of China Hydrology, 2009, 29(3): 41-45, 23. (in Chinese))

(上接第 41 页)

- [11] 张蕾. 城市地下水水质水位预警的研究[D]. 天津: 天津大学, 2008. (ZHANG Lei. Study on early-warning of water quality and water levels in urban groundwater[D]. Tianjin: Tianjin University, 2008. (in Chinese))
- [12] 白利平. 地下水污染预警方法与应用研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2009. (BAI Liping. Research on the early-warning method of groundwater pollution and its application[D]. Beijing: Beijing Normal University, 2009. (in Chinese))
- [13] 张伟红. 地下水污染预警研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007. (ZHANG Weihong. Study on the early warning of groundwater pollution[D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese))
- [14] HJ/T338—2007, 饮用水水源保护区划分技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007. (HJ/T338—2007. Technical guideline for delineating source water protection areas[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007. (in Chinese))
- [15] Yunes M, Gorge T. Comparative identification of wellhead protection areas for municipal supply wells in Gaza[J]. Water Resource and Protection, 2010, 2: 105-114.
- [16] Rock G, Kupfersberger H. Numerical delineation of transient capture zones[J]. Journal of Hydrology, 2002, 269: 134-149.
- [17] 王金生, 王澎, 刘文臣, 等. 划分地下水源地保护区的数值模拟方法[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(4): 83-86. (WANG Jisheng, WANG Peng, LIU Weichen, et al. Numerical simulation method for delineating protection zones of groundwater wellfields[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004, 31(4): 83-86. (in Chinese))
- [18] 李国敏, 徐海珍, 黎明, 等. 地下水源地保护区划分方法与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011. (LI Guoming, XU Haizhen, LI Ming, et al. Methods of drinking groundwater protection area delineation and the application[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2010. (in Chinese))
- [19] 北京师范大学. 地下水型饮用水水源地保护区划分软件(GWSPZS) V1.0, 2012SR007564, 2012 (Beijing Normal University. Software for delineation of groundwater wellhead protection areas(GWSPZS). V1.0, 2012SR007564, 2012. (in Chinese))
- [20] 李志, 于孟文, 张丽玲, 等. 西辽河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. (LI Zhi, YU Mengwen, ZHANG Liling, et al. Investigation and assessment of groundwater resources and their environmental issues in the west Liaohe plain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009. (in Chinese))