

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2017.01.009

天山北坡经济带东段浅层地下水固有脆弱性评价

王涛¹, 徐明²

(1. 新疆地矿局第一水文工程地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830000 ;
2. 新疆维吾尔自治区地质环境监测院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 基于改进的 DRASTIC 方法, 选择地下水埋深、含水层净补给量、含水层岩性、土壤介质类型、地面坡度、浅层地下水水质、包气带介质类型、含水层渗透系数和潜水蒸发量 9 项评价指标, 分别确定其评分体系和权重体系, 并利用 ArcGis 10.2 中的图层空间叠加分析功能, 对天山北坡经济带东段地区的浅层地下水固有脆弱性进行评价。结果表明: 脆弱性较高区和中等区占研究区总面积的 80.17%, 地下水整体脆弱性偏高, 而导致研究区浅层地下水脆弱性偏高的主要因素为地下水埋深较小、含水层渗透性较强、浅层地下水水质差。

关键词: 浅层地下水; 脆弱性评价; 改进的 DRASTIC 方法; 评分体系; 天山北坡经济带东段地区
中图分类号: P641.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2017)01-0041-05

Vulnerability assessment of shallow groundwater in eastern section of Northern Tianshan Mountain Economic Belt

WANG Tao¹, XU Ming²

(1. No. 1 Hydrology and Engineering Geology Department, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830000, China;
2. Geological Environment Monitoring Institution of Xinjiang, Urumqi 830000, China)

Abstract: Based on the modified DRASTIC method, nine indices, including the depth of groundwater, net recharge of the aquifer, aquifer lithology, soil medium type, surface slope, quality of shallow groundwater, medium type of aeration zone, permeability coefficient of the aquifer, and evaporation discharge of phreatic water, were chosen as assessment indices to determine the scoring system and weighting system. The overlay analysis function of ArcGis 10.2 was used to evaluate the shallow groundwater vulnerability in the eastern section of the Northern Tianshan Mountain Economic Belt. The research results show that 80.17% of the research area can be classified as higher and medium zones of vulnerability. In those zones, groundwater was more vulnerable. Low depth of groundwater, high permeability of the aquifer, and poor quality of shallow groundwater were the main factors that caused high vulnerability of shallow groundwater in the study area.

Key words: shallow groundwater; vulnerability assessment; modified DRASTIC method; scoring system; eastern section of Northern Tianshan Mountain Economic Belt

新疆是丝绸之路经济带的重要核心区, 当前其经济体量、资源禀赋、地缘优势以及发展速度均位于西北五省区前列, 而天山北坡经济带在打造丝绸之路经济带核心区的进程中又处于不可替代的重要地位。在以往的研究成果中, 天山北坡经济带的区域性地下水脆弱性研究尚属空白, 因此笔者针对天山北坡经济带东段地区开展地下水脆弱性评价, 为该

区域经济和生态环境的和谐发展提供借鉴。

对地下水脆弱性迄今为止仍没有一个明确概念, 但目前多数研究者认为, 从广义概念的角度考虑, 地下水脆弱性是指在自然环境发生变化或受到人类活动影响的条件下, 地下水可能受到破坏的程度, 它同时也反映了地下水的自我防护能力^[1-2]。地下水环境的脆弱性在通常情况下也可代表地下水的

基金项目: 中国地质调查局国家重要能源基地水文地质环境地质调查项目 (1212011220970)

作者简介: 王涛 (1985—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水文地质、环境地质、地下水环境影响评价等研究。E-mail: 270158186@qq.com

易污染程度^[3],主要与地下水的赋存条件和含水层空间结构关系密切,也与地下水的运移特征和自我保护能力等因素有关^[4,6]。固有脆弱性和特殊脆弱性通常是地下水脆弱性研究的两个方面,而地下水固有脆弱性评价是本次研究的主要内容。

1 研究区概况

研究区位于天山北麓东部平原区,行政区隶属于新疆昌吉回族自治州阜康市、吉木萨尔县、奇台县和木垒哈萨克自治县,总面积为 24 776 km²,在天山北坡经济带东段地区(图 1)。

研究区属典型的大陆性干旱半干旱气候,气温的季节变化幅度剧烈,降水稀少而蒸发强烈。多年平均气温约为 3℃,降水量为 46.1 ~ 335.4 mm,蒸发量为 1 241.7 ~ 2 046.7 mm,无霜期为 121 d。研究区内无大型水系分布。

研究区内地貌单元类型主要包括砾质平原、细土平原和沙漠。砾质平原分布在研究区南部山前一带,地层岩性主要为第四系上更新统冲洪积卵砾石,地形坡度较大,一般为 1.5% ~ 2.5%;细土平原分布在研究区中部,地层岩性主要为第四系上更新统冲洪积砂砾石、粉土、粉质黏土,地形坡度一般为 0.5% ~ 1.5%;沙漠分布在研究区北部,地层岩性主要为第四系全新统风积细砂,地形坡度一般小于 0.5%。

研究区地下水类型主要为第四系松散岩类孔隙水,含水层厚度由南向北逐渐减小,南部山前冲洪积砾质平原含水层厚度一般为 200 ~ 300 m,中部细土平原含水层厚度逐渐减小至 100 m,在北部沙漠边缘,受下部新近系整体抬升的影响,第四系厚度不断减小,含水层厚度一般为 20 ~ 60 m。研究区内地下水由东南向西北方向径流,主要接受南部山前的地

下水侧向径流补给、河流渗漏补给以及大气降水入渗补给,以向下侧向径流、人工开采为主要排泄方式,在埋深小于 5 m 的区域蒸发蒸腾也是主要的排泄方式之一。研究区南部平原区浅层地下水水质总体较好,溶解性总固体小于 1 g/L,水化学类型以重碳酸型、重碳酸硫酸型为主,而北部沙漠区水质总体较差,溶解性总固体一般为 1 ~ 3 g/L,局部地区大于 10 g/L,水化学类型以氯型、氯硫酸型为主。

2 评价方法及评价因子的确定

2.1 评价方法

目前国内外学者评价地下水脆弱性的方法主要有迭置指数法、过程数学模拟法、统计法和模糊数学法等^[7-8],其中迭置指数法又分为水文地质背景参数法和参数系统法^[9-14]。美国环境保护局于 1987 年首先提出了参数系统法^[14],是目前国内外地下水脆弱性评价中应用广泛的方法之一,而参数系统法中的 DRASTIC 方法,更是作为一种标准化方法被普遍采用,多次应用于国内外地下水脆弱性评价工作中,并取得了良好的效果。DRASTIC 方法采用的是一种经典的加权评分法,主要适用于区域性的浅层地下水脆弱性评价。本次研究中,结合研究区的实际情况,对 DRASTIC 方法进行改进,同时利用 ArcGis 10.2 中的图层空间叠加分析工具,对研究区的浅层地下水固有脆弱性进行评价。

2.2 评价因子

以 DRASTIC 方法的评价体系为基础,结合本次研究区水文地质条件、气象特征以及地下水水质天然背景值的分布情况,选择 9 项指标作为本次研究区浅层地下水脆弱性评价的评价因子,这些指标包括:地下水埋深 D 、含水层净补给量 R 、含水层岩性

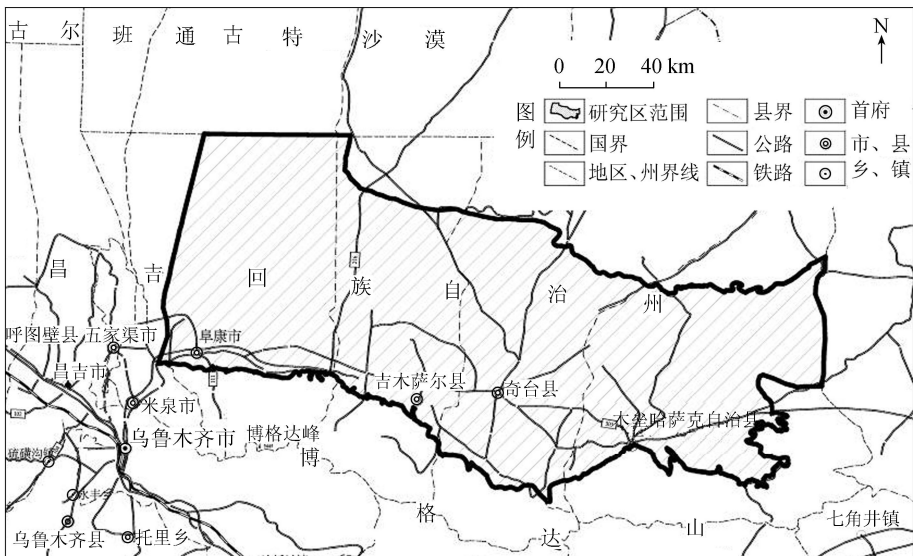


图 1 研究区示意图

A、土壤介质类型 *S*、地面坡度 *T*、浅层地下水水质 *Q*、包气带介质类型 *I*、含水层渗透系数 *C* 和潜水蒸发量 $E^{[15-16]}$,其中浅层地下水水质和潜水蒸发量是本次研究中新纳入 DRASTIC 方法的 2 个评价因子。

2.3 评价模型

DRASTIC 方法的计算公式为

$$I_E = \sum_{i=1}^9 V_i W_i \quad (1)$$

式中: I_E 为地下水脆弱性综合评价指数; V_i 为第 i 个评价因子的评分值; W_i 为第 i 个评价因子的权重。

3 地下水脆弱性评价

3.1 各评价因子评分体系

根据中国地质调查局编写的 GWI-D3《地下水脆弱性评价技术要求》中评价因子的评分标准,结合本次研究区的地质、水文地质条件及气象特征,对 DRASTIC 方法进行改进,建立各评价因子的评分体系。

a. 地下水埋深 D 。研究区地下水埋深由南向北逐渐减小,南部山前砾质平原地下水埋深一般大于 30 m,细土平原地下水埋深一般为 10 ~ 30 m,沙漠地下水埋深一般为 5 ~ 10 m,研究区北部的沙漠北缘一带,呈东西向分布有一条地下水浅埋带,埋深一般为 3 ~ 5 m,局部地势低洼处埋深为 1 ~ 3 m 或小于 1 m。地下水埋深在地下水脆弱性评价中是一个相对重要的评价因子,埋深越小,越不利于地下水的自我防护,含水层越易受到污染,则该评价因子在评分体系中的分值就越高;反之则越低。按照该原则对研究区的地下水埋深进行评分,结果见表 1。

b. 含水层净补给量 R 。在本次地下水固有脆弱性评价中,含水层净补给量主要考虑大气降水入渗补给量。结合研究区实际情况可知,地表水系在研究区内分布稀疏且不均匀,地表水对地下水的渗漏补给主要发生在研究区南部的山前冲洪积砾质平原,补给距离较短,随后即被引用消耗殆尽因此地表水渗漏补给对地下水固有脆弱性评价的贡献不大,不参与评价。净补给量越大,含水层越易受到污染,则该评价因子在评分体系中的分值就越高;反之则越小。按照该原则对研究区的含水层净补给量进行评分,结果见表 1。

c. 含水层岩性 A 。研究区内含水层岩性主要包括卵石、砂砾石和细砂 3 类,含水层岩性颗粒越粗,地下水运移条件相对越好,含水层越易受到污染,该评价因子在评分体系中的分值就越高;反之则越低。按照该原则对研究区的含水层岩性进行评分,结果见表 1。

d. 土壤介质类型 S 。研究区内土壤介质类型主要包括砂砾石、细砂、粉土和粉质黏土 4 类,在土

表 1 各评价因子评分及权重

评价因子	取值/分类	评分	权重
D/m	>30	1	0.17
	(10,30]	4	
	(5,10]	7	
	(3,5]	8	
	(1,3]	9	
R/mm	≤ 1	10	0.14
	≤ 22.3	2	
	(22.3,44.6]	3	
	(44.6,89.2]	6	
	(89.2,133.8]	8	
A	(133.8,178.4]	9	0.07
	>178.4	10	
	细砂	6	
	砂砾石	9	
	卵石	10	
S	粉质黏土	3	0.04
	粉土	4	
	细砂	9	
	砂砾石	10	
	>2.0	1	
(1.5,2.0]	2		
(1.0,1.5]	4		
(0.5,1.0]	7		
(0.2,0.5]	9		
Q	≤ 0.2	10	0.14
	优良	2	
	良好	4	
	较差	8	
	极差	10	
I	粉质黏土	2	0.10
	粉土	3	
	细砂	6	
	砂砾石	9	
	卵石	10	
$C/(m \cdot d^{-1})$	≤ 1	1	0.14
	(1,5]	2	
	(5,10]	3	
	(10,40]	5	
	>40	8	
E/mm	≤ 1200	2	0.14
	(1200,1600]	4	
	(1600,2000]	6	
	>2000	8	

壤介质颗粒相对较粗的区域,含水层防污性能越差,该评价因子在评分体系中的分值就越高;反之则越低。按照该原则对研究区的土壤介质类型进行评分,结果见表 1。

e. 地形坡度 T 。研究区内地形坡度由南向北逐渐减小,南部砾质平原地形坡度一般为 1.5% ~ 2.5%,中部细土平原一般为 0.5% ~ 1.5%,北部沙漠一般小 0.5%。地形坡度较小的区域,地下水径流条件相对较差,不利于地下水通过径流的方式自净,该评价因子在评分体系中的分值就越高;反之则越低。按照该原则对研究区的地形坡度进行评分,结果见表 1。

f. 浅层地下水水质 Q 。浅层地下水水质是地下水脆弱性的重要体现,在水质较好的区域,评分较低,地下水脆弱性也相对较低;反之则较高。按照该原则对研究区的浅层地下水水质进行评分,结果见表1。

g. 包气带介质类型 I 。研究区内包气带介质类型主要包括卵石、砂砾石、细砂、粉土和粉质黏土6类,包气带介质一般呈由南向北岩性颗粒由粗变细的分布特征。砾质平原包气带岩性一般为卵石和砂砾石,细土平原包气带岩性一般为粉土和粉质黏土,沙漠包气带岩性主要为细砂。包气带岩性颗粒越粗,污染物通过包气带进入含水层的时间越短,含水层防污性能越差,该评价因子在评分体系中的分值就越高;反之则越低。按照该原则对研究区的包气带介质类型进行评分,结果见表1。

h. 含水层渗透系数 C 。含水层渗透系数是体现含水层透水性能的一个重要指标,当含水层的渗透系数较大时,含水层防污性能越差,该评价因子在评分体系中的分值就越高;反之则越低。按照该原则对研究区的含水层渗透系数进行评分,结果见表1。

i. 潜水蒸发量 E 。研究区位于半干旱地区,降水稀少而蒸发强烈,地下水资源相对贫乏,因此潜水蒸发量在地下水脆弱性评价中应重点考虑。地下水埋深较小的区域,潜水蒸发量较大,水质较差,含水层也较易受到污染,因此评分较高;反之则较低。按照该原则对研究区的潜水蒸发量进行评分,结果见表1。

3.2 权重体系

在本次研究中,以各项评价因子在 DRASTIC 方法中的标准权重为基准值,结合研究区的实际情况,对研究区地下水脆弱性评价中各评价因子的重要程度与基准值的一致性进行分析,结果显示,基准值与研究区的实际情况基本吻合,因此对基准值进行归一化计算,建立本次地下水脆弱性评价中各因子的权重体系(表1)。

3.3 脆弱性综合评价指数

按照式(1)计算研究区的脆弱性综合评价指数 I_E ,并根据表2中的标准评价研究区浅层地下水的脆弱性程度和易污染程度。

表2 脆弱性综合评价指数及脆弱性、易污染程度对照关系

I_E	脆弱性程度	易污染程度
(3,4]	低	难
(4,5]	较低	较难
(5,6]	中等	中等
(6,7]	较高	较易
(7,8]	高	易

4 评价结果

按照上述方法和原则确定研究区浅层地下水脆

弱性评价的评分体系和权重体系,采用改进后的 DRASTIC 方法,同时利用 ArcGis 10.2 的图层空间分析平台,根据研究区的客观规律叠加并整合各评价因子的分区图(图2),最终获得研究区的地下水脆弱性分区图,并对浅层地下水脆弱性进行评价。由评价结果可知,研究区浅层地下水 I_E 值的分布区间为 3.45 ~ 7.68,按照表2中的分级标准可将研究区划分为浅层地下水脆弱性低区、脆弱性较低区、脆弱性中等区、脆弱性较高区和脆弱性高区。

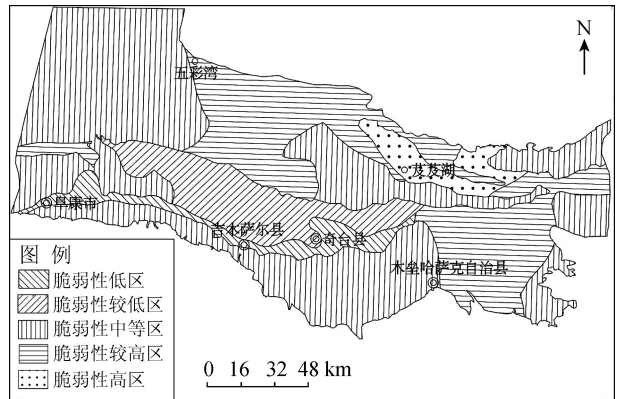


图2 研究区浅层地下水脆弱性分区

a. 脆弱性低区。低区分布在研究区南部砾质平原与细土平原交界一带,面积为 1 174. 068 km²。该区地下水埋深一般为 10 ~ 30 m,含水层岩性以砂砾石为主,包气带介质类型为粉质黏土,含水层渗透系数为 5 ~ 10 m/d,水质良好。

b. 脆弱性较低区。较低区主要分布在研究区中部的细土平原,分布面积为 2 760. 433 km²。该区域地下水埋深为 10 ~ 30 m,含水层岩性主要为砂砾石、细砂,土壤和包气带介质类型均为粉质黏土及细砂,含水层渗透系数为 5 ~ 10 m/d,水质良好,降水量 100 ~ 200 mm,潜水蒸发量 1 200 ~ 1 600 mm。

c. 脆弱性中等区。中等区主要分布在研究区南部的阜康市、吉木萨尔县、奇台县和木垒哈萨克自治县山前砾质平原区,以及阜康市北部沙漠区,分布面积为 12 830. 646 km²。其中,南部山前砾质平原区地下水埋深一般大于 30 m,含水层岩性以卵石为主,渗透系数大于 40 m/d,水质良好;西北部沙漠区地下水埋深一般为 10 ~ 30 m,含水层岩性以细砂为主,渗透系数为 1 ~ 5 m/d,水质较差。

d. 脆弱性较高区。较高区主要分布在研究区北部的五彩湾地区以及木垒哈萨克自治县山前平原区,分布面积为 7 033. 312 km²。该区域地下水埋深一般小于 10 m,含水层及包气带岩性均为砂砾石,土壤介质类型主要为粉质黏土,含水层渗透系数为 1 ~ 5 m/d,其中五彩湾地区降水量小于 50 mm,潜水蒸发量大于 2 000 mm,水质极差。

e. 脆弱性高区。高区主要分布在研究区东北部的茈茈湖、老君庙一带,分布面积为 978.059 km²。该区域地下水埋深一般小于 5 m,含水层岩性以砂砾石为主,土壤和包气带介质类型均为砂砾石,含水层渗透系数为 10~20 m/d,降水量小于 50 mm,潜水蒸发量为 1 600~2 000 mm,水质较差。

5 结 语

a. 根据研究区的地质及水文地质条件,分别确定浅层地下水脆弱性评价的评分体系和权重体系,采用改进的 DRASTIC 方法,同时利用 ArcGis 10.2 的图层空间分析平台,叠加并整合各评价因子的分区图,最终获得研究区地下水脆弱性的分区图及评价结果:研究区浅层地下水 I_E 值的分布区间为 3.45~7.68,可划分为脆弱性低区、脆弱性较低区、脆弱性中等区、脆弱性较高区和脆弱性高区 5 个分区。

b. 通过脆弱性分区可以看出,浅层地下水脆弱性较高区和中等区占研究区总面积的 80.17%,说明研究区浅层地下水整体脆弱性偏高,主要是由于地下水埋深较小、含水层渗透性较强、潜水蒸发强烈、浅层地下水水质差等因素造成的。

c. 从脆弱性分区图中不难发现,在五彩湾和茈茈湖地区,由于地下水埋深极小,且上部包气带透水性较强,没有连续分布的有效隔水层,因此属脆弱性略高-较高区,地下水较易污染。但该区域为准东经济技术开发区的重点核心区,目前不仅煤矿分布众多,各类大型的煤电、煤化工及煤电冶企业也不断建成,这给相对脆弱的地下水环境带来了严重的威胁。因此,笔者仅从本次研究成果的角度考虑,建议各企业在建设和运行过程中,严格开展地下水环境影响评价工作,对可能造成地下水污染的区域按照最高防渗标准进行防渗,对污水切实做到不乱排乱放,在大力发展经济的同时,也为地下水环境保护工作贡献一份力量。

参考文献:

[1] 范琦,王贵玲,蔺文静,等. 地下水脆弱性评价方法的探讨及实例[J]. 水利学报,2007,38(5):601-605. (FAN Qi, WANG Guiling, LIN Wenjing, et al. New method for evaluating the vulnerability of groundwater[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(5): 601-605. (in Chinese))

[2] 王万金,陈登齐. 西南岩溶区典型地下河流域地下水脆弱性评价[J]. 水资源保护,2012,28(4):45-49. (WANG Wanjin, CHEN Dengqi. Evaluation of fragility of groundwater in a typical subterranean river basin in karst area of Southwest China [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(4): 45-49. (in Chinese))

[3] 贺新春,邵东国,陈南祥,等. 地下水环境脆弱性分区研

究[J]. 武汉大学学报(工学版),2005,38(1):73-78. (HE Xinchun, SHAO Dongguo, CHEN Nanxiang, et al. Research on partitioning of groundwater environmental vulnerability [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005, 38(1): 73-78. (in Chinese))

[4] 张立杰,巩中友,孙香太. 地下水环境脆弱性的模糊综合评判[J]. 哈尔滨师范大学自然学报,2001,18(2):109-112. (ZHANG Lijie, GONG Zhongyou, SUN Xiangtai. Fuzzy comprehensive judgement of groundwater environmental vulnerability [J]. Natural Sciences Journal of Harbin Normal University, 2001, 18(2): 109-112. (in Chinese))

[5] ZABET T A. Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method [J]. Environmental Geology, 2002, 43: 203-208.

[6] 龙文华,陈鸿汉,李志,等. 西辽河平原(内蒙古部分)地下水固有脆弱性评价[J]. 地质通报,2010,29(4):598-602. (LONG Wenhua, CHEN Honghan, LI Zhi, et al. Evaluation of the groundwater intrinsic vulnerability in West Liaohe plain, Inner Mongolia, China [J]. Geological bulletin of China, 2010, 29(4): 598-602. (in Chinese))

[7] DIXON B,李大秋,EARLS J,等. 地下水脆弱性评价方法研究[J]. 环境保护科学,2007,33(5):64-67. (DIXON B, LI Daqiu, EARLS J, et al. Study on groundwater vulnerability assessment method [J]. Environmental Protection Science, 2007, 33(5): 64-67. (in Chinese))

[8] 姜桂华. 关中盆地地下水脆弱性研究[D]. 西安:长安大学,2002.

[9] 刘仁涛,付强,李伟业,等. 地下水脆弱性研究与探讨[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(6):1-5. (LIU Rentao, FU Qiang, LI Weiye, et al. Study on the groundwater vulnerability [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2006, 17(6): 1-5. (in Chinese))

[10] 雷静. 地下水环境脆弱性的研究[D]. 北京:清华大学,2002.

[11] 李涛. 基于 MapInfo 的大沽河地下水脆弱性研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2004.

[12] ALER L, BENNET T, LEHR J H, et al. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings [M]. Oklahoma: Environmental Protection Agency, 1987.

[13] 孟宪萌,束龙仓,卢耀如. 基于熵权的改进 DRASTIC 模型在地下水脆弱性评价中的应用[J]. 水利学报,2007,38(1):94-99. (MENG Xianmeng, SHU Longcang, LU Yaoru. Modified DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment based on entropy weight [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(1): 94-99 (in Chinese))

[14] 张翼龙,陈宗宇,曹文庚,等. DRASTIC 与同位素方法在内蒙古呼和浩特市地下水防污性评价中的应用[J]. 地球学报,2012,33(5):819-825. (ZHANG Yilong, CHEN Zongyu, CAO Wengeng, et al. The application of DRASTIC and isotope method to the evaluation of groundwater vulnerability in Hohhot, Inner Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, 33(5): 819-825. (in Chinese))