

兴平地区渭河南岸潜水防污性评价

陈泉萌^{a,b}, 徐嘉璐^a, 王玮^a, 郭倩^a, 牟海斌^a

(长安大学 a. 环境科学与工程学院; b. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安, 710054)

摘要: 在干旱半干旱地区,地下水是主要供水水源之一。目前水体污染、水资源短缺、水生态失衡,导致干旱半干旱地区经济发展与水安全保障的矛盾日益尖锐。以兴平地区渭河南岸为例,利用 DRASTIC 方法,选取潜水埋深、净补给量、含水层介质类别、土壤介质类别、地形坡度、包气带介质类别以及渗透系数为防污性 7 项评价因子,构建了潜水防污性评价指标体系,对该地区的潜水防污性进行了分区评价,将兴平地区渭河南岸的潜水防污性分为防污性差和防污性较差两个等级,并绘制了潜水防污性评价分区图,为该地区工农业生产的发展和城市规划提供了科学的依据。

关键词: 地下水; 潜水防污性; DRASTIC; 指标体系; 兴平地区渭河南岸

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)03-0121-04

Vulnerability assessment of phreatic water in Xingping region in south bank of Weihe River

CHEN Xiaomeng^{a,b}, XU Jialu^a, WANG Wei^a, GUO Qian^a, MOU Haibin^a

(a. School of Environmental Science and Engineering; b. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effect in Arid Region of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: In arid and semi-arid region, groundwater is one of the main water sources. The problems of water body pollution, shortage of water resources and unbalance of water ecology have made the paradox between the economy development and water safety more and more sharply. With the Xingping region as an example, by using DRASTIC method to select 7 assessment factors such as groundwater depth, net recharge, aquifer media, soil media types, terrain slope, media types of the vadose zone, and hydraulic conductivity, the paper set up the index system of vulnerability of phreatic water and evaluated the regions vulnerability of phreatic water. The vulnerability of phreatic water in Xingping region is divided into poor and poorer grades. Partition map of vulnerability of phreatic water has been made. The result can provide a scientific basis for the development of regional industrial and agricultural production and urban planning.

Key words: groundwater; vulnerability of phreatic water; DRASTIC; index system; Xingping region in south bank of Weihe river

0 引言

干旱半干旱的典型区域,所共有的一个特点是水资源短缺,水成为制约区域发展的瓶颈,因此,短缺的水资源,其自身的安全问题就显得十分重要,只有水自身的安全得到有力的保障,地区的生存、发展才会有保障。然而,区域的发展越快、规模越大,对水的需求也就越大,对水的开发利用力度也就越大,随之出现的对水安全的不利因素也就越多。本文围绕着地下水防污性评价理论与评价方法开展研究工

作,选取兴平地区渭河南岸作为干旱半干旱地区典型的代表,研究该地区潜水含水层内地下水的防污性问题。

近年来,地下水防污性评价被广泛应用于地下水污染问题^[1]。1985年,美国环保署出版了基于水文地质环境的地下水潜在污染的标准评价系统,在1987年提出了 DRASTIC 方法,并将该方法与 GIS 相结^[2]。目前,美国、加拿大、南非、欧共体各国等西方国家普遍运用美国 EPA 提出的地下水防污性 DRASTIC 评价方法,考虑地下水埋深、含水层净补给量、土壤介

收稿日期:2013-01-05; 修回日期:2013-04-18

基金项目:教育部、国家外专局高等学校学科创新引智计划(“111”)项目(B08039)

作者简介:陈泉萌(1988-),女,陕西汉中,硕士研究生,研究方向:水文学及水资源。

通讯作者:王玮(1970-),男,江西乐平人,副教授,硕士生导师,从事水资源与环境的教学与科研工作。

质、含水层导水系数等参数,应用 GIS 技术结合地下水运移模型相继开展了地下水防污性评价工作^[3]。国内在地下水防污性研究始于 20 世纪 90 年代中期,虽然起步较晚,但发展很快。目前,国内主要是针对局部城市或水域进行地下水防污性评价^[4]。DRASTIC 方法可用于评价非承压和承压含水层^[5]。由于潜水和承压水是差别很大的两类含水层,其对防污性的影响因子不同,用一个模型来评价两类含水层是不合适的^[6]。鉴于此,采用 DRASTIC 指标体系法对研究区的潜水进行防污性评价。

1 潜水防污性评价指标体系

1.1 地下水防污性的概念

地下水防污性能并不是一个新概念,但其定义问题目前还没有一个明确的共识,不同学者众说纷纭,许多学者从不同的角度给“地下水防污性能”以不同的定义。本文给出地下水防污性能如下定义:地下水在自然和人类活动影响下能够使其自身水质免受污染的能力。“地下水防污性能”在叫法上常以“地下水脆弱性”,“地下水的易污染性”,“含水层对污染物的敏感性”等来代替^[7]。

1.2 地下水防污性评价分类

地下水的安全应当包括质量安全、数量安全两大方面,地下水只有两者均安全才是真正的安全。如果仅有质量安全而无数量安全(有质无量),那么地下水不是真正安全的;反之,如果仅有数量安全而无质量安全(有量无质),那么地下水同样也不是真正安全的。因此,“地下水安全”评价必须包括质量安全、数量安全两大方面的评价内容^[8]。地下水防污性作为地下水系统的固有特性,兼有水量和水质两个方面的因素。目前,国内外对地下水防污性的研究主要集中在水质方面,而对地下水系统在开发利用方面的防污性研究鲜有报道。由于过量开采地下水所产生的资源枯竭、地面沉降、植被退化、土壤沙化及盐渍化、湿地萎缩等一系列生态环境问题的地下水防污性评价,国内外的研究很少^[6]。

在目前的研究中,地下水防污性分为两类:一类是本质防污性(Intrinsic Vulnerability),另一类是特殊防污性(Specific Vulnerability)。本质防污性是指在天然状态下含水层对污染所表现出的内部固有的敏感性,它不考虑污染源或污染物的性质和类型,是静态、不可变和人为不可控制的。特殊防污性是对特定的污染物或人类活动所表现的敏感性,它与污染源和人类活动有关,是动态、可变和人为可控制的。也就

是说,对于某一给定含水层,其本质防污性是恒定的,特殊防污性随污染源或污染物的不同而变化^[9]。

1.3 地下水防污性评价方法的选择

目前国内外常用的地下水防污性评价方法有 GOD 指标法, DIVERSITY 法以及 DRASTIC 法,其中 DRASTIC 法应用最为广泛。它是美国环保署于 1987 年提出的,在美国、加拿大、南非及欧共体已被广泛地应用在地下水防污性研究中。DRASTIC 方法是地下水防污性评价中参数系统法的典型代表,目前,该方法已被许多国家采用,是地下水防污性评价中最常用的方法,但是该评价方法存在许多局限性:①指标权重分配不合理。方法中各指标的权重分配是一成不变的,实际上在不同的地区,地质和水文地质条件不同,各指标间的等级差异程度不同,权重分配也应发生变化,否则会影响评价结果的准确性没有充分考虑含水层类型的差异。②潜水和承压水是差别很大的两类含水层,其防污性能的影响因子也不同,把这两类含水层放在一起,用同一种方法来评价是不合适。③对于含水层比较复杂的地下水防污性评价,它不能较好地反映出特殊防污性。

本文尝试用 DRASTIC 评价方法对兴平地区渭河南岸潜水的防污性进行评价,旨在为该地区地下水资源管理与保护提供借鉴。

1.4 评价指标体系的构建

DRASTIC 法提出一种分级标准,主要考虑影响地下水防污性的 7 个参数。DRASTIC 法根据每个参数对地下水防污性影响的相对重要程度给予一个固定的权重构成权重体系,又根据每个参数的变化范围或其内在属性划分为若千的范围,每个范围给予一定的评分构成评分体系。

DRASTIC 指标通常用数字大小来表示,由 3 个部分组成:权重、范围(类别)和评分。其意义分别为:①权重:每一个 DRASTIC 评价参数根据其地下水防污性能的作用大小都被赋予一定的权重,权重值大小为 1~5,最重要的评价参数取 5,最不重要的评价参数取 1。各评价参数权重取值的大小结合具体的评价区域来选定。②范围(类别):对于每一个 DRASTIC 评价参数来说,由于其范围(类别)不同而对地下水防污性能的作用大小不同。③等级:每一个 DRASTIC 评价参数其等级取值范围为 1~10,分别对应于每个评价参数的变化范围(类别)^[10]。目前潜水防污性评价常用的 DRASTIC 公式为:

$$DR_y = 5D + 4R + 3A + 2S + T + 5I + 3C \quad (1)$$

式中: DR_y 为潜水防污性评价综合指数 DR 的原始

值; D 、 R 、 A 、 S 、 T 、 I 、 C 分别代表抗污性 7 项评价因子的“等级分量”: 潜水埋深 D (m)、净补给量 R (mm/a)、含水层介质类别 A 、土壤介质类别 S 、地形坡度 T ($x\%$)、包气带介质类别 I 、渗透系数 C (m/d)。

利用 DRASTIC 公式(1), 本文提出了潜水防污性评价指标体系的计算公式。潜水防污性指标的指数 DR 原始值 DR_y 介于 23 ~ 230 之间。

所以, 潜水防污性指数 DR 的计算公式为:

$$DR = (5D + 4R + 3A + 2S + T + 5I + 3C) / 2.3 \quad (2)$$

用(2)式计算出的 DR 最大值为 100, 最小值为 10。按照 DR 值的计算结果, 确定潜水防污性能属于一 ~ 五级的哪一级。

潜水防污性, 按照“潜水防污性评价综合指数(代号 DR)”的数值由小到大, 划分为由一级到五级、其防污性由好到差的五个级别:

第五级: 代号 DR_5 , $100 \geq DR_5 \geq 80$, 潜水防污染性能差;

第四级: 代号 DR_4 , $80 > DR_4 \geq 60$, 潜水防污染性能较差;

第三级: 代号 DR_3 , $60 > DR_3 \geq 40$, 潜水防污染性能中等;

第二级: 代号 DR_2 , $40 > DR_2 \geq 20$, 潜水防污染性能较好;

第一级: 代号 DR_1 , $DR_1 < 20$, 潜水防污染性能好。

综合指数较大的区域, 防污染性能差, 潜水易于被污染, 其“级别”较高; 指数较小的区域, 防污染性能好, 潜水不易被污染, “级别”较低。

2 兴平地区渭河南岸潜水防污性评价

2.1 研究区概况

陕西省兴平地区位于关中平原中部, 渭河南岸, 属黄河流域渭河水系, 境内有黑河流过, 渭河自西向东, 从研究区的北部流过。近南北向河流主要为黑河。区内水系发育。研究区东依户县, 南为周至县、户县相邻, 西邻武功县, 北部与兴平市相隔渭河, 距西安市 45 km, 是一个大部分地区包含于周至县、部分地区由武功县组成的区域(见图 1)。研究区为地势较为完整平坦的平原地区, 海拔大约为 410 m。研究区的含水层是与渭河、黑河有密切补排关系的潜水含水层, 该含水岩系分布于黑河(下段)漫滩及一级阶地、渭河漫滩及一、二级阶地, 含水层岩性主

要为中粗砂和砂砾卵石, 质地较纯, 透水性强, 厚 40 ~ 50 m。该地区水资源紧缺, 在农田灌溉、工业及乡镇企业、城镇生活以及农村人畜生活供水方面, 地下水占有相当大的比例, 是主要供水水源之一。

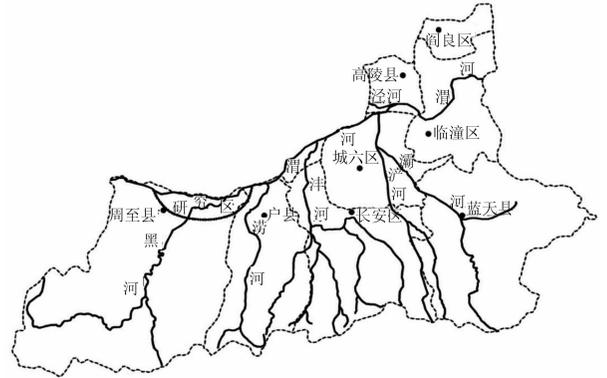


图 1 兴平地区渭河南岸地理概况

2.2 评价域单元

根据(2)式的需要, 首先对评价域进行平面二维剖分, 为此把东西长 23 500 m, 南北长 6 000 m 的研究区剖分成共计 52 个节点、74 个三角形评价单元的兴平地区渭河南岸单元剖分图(图 2)。评价域以渭河为边界, 主要以兴平地区渭河南岸进行单元剖分。在进行单元剖分时, 要注意尽量将剖分单元的节点放在地貌分界线上, 因为不同的地貌单元其潜水防污性能的评价因子的取值大不相同, 因此一个剖分单元里不能同时包括两种地貌类型。

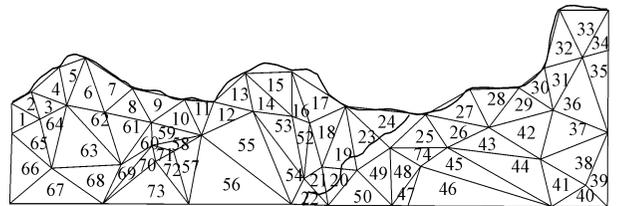


图 2 兴平地区渭河南岸单元剖分图

2.3 兴平地区渭河南岸潜水防污性分区评价

根据 DRASTIC 指标体系方法的等级标准, 结合研究区的实际情况, 选取防污性评价的 7 项因子: 潜水埋深 D (m)、净补给量 R (mm/a)、含水层介质类别 A 、土壤介质类别 S 、地形坡度 T ($x\%$)、包气带介质类别 I 、渗透系数 C (m/d)。兴平地区各 DRASTIC 评价参数权重值的大小见表 1。兴平地区 DRASTIC 指标的范围(类别)和等级见表 2。

表 1 兴平地区 DRASTIC 指标体系法各评价参数权重

评价参数	D	R	A	S	T	I	C
权重 ω	5	4	3	2	1	5	3

表 2 兴平地区潜水防污性 DRASTIC 指标的范围(类别)和等级

潜水埋深		净补给量		土壤介质类别		地形坡度		包气带介质类别		含水层介质类别		含水层渗透系数	
范围	等级	范围	等级	类型	等级	范围	等级	范围	等级	范围	等级	范围	等级
0~1.5	10	>200	10	薄或缺失	10	≤2	10	岩溶发育的灰岩	10	岩溶发育的灰岩	10	>81.5	10
1.5~3	9	150~200	9	砂砾层	10	2~6	9	玄武岩	9	玄武岩	9	40.7~81.5	8
3~5	8	100~150	8	砂	9	6~12	5	砂和砂砾层	8	砂和砂砾岩	8	28.5~40.7	6
5~10	7	50~100	7	收缩的粘土	7	12~18	3	变质岩、火成岩	4	块状灰岩	6	12.2~28.5	4
10~15	5	25~50	6	砂质壤土	6	>18	1	层状灰岩、砂岩、页岩	6	块状砂岩	6	4.1~12.2	2
15~22.5	3	20~25	5	壤土	5			砂岩	6	页岩	6	0~4.1	1
22.5~30	2	15~20	4	粉砂质壤土	4			灰岩	6	薄层状砂岩、灰岩	6		
>30	1	10~15	3	粘土质壤土	3			页岩	3	风化变质岩、火成岩	4		
		5~10	2	未收缩和未聚集的粘土	1			砂土、粘土	1	变质岩、火成岩	3		
		≤5	1							块状页岩	2		

潜水防污性评价所涉及到的 7 个因子,潜水埋深因子、地形坡度因子、降水补给量因子、土壤介质因子、包气带介质因子、含水层介质因子、渗透系数因子均可依据勘察计算后得到的数据,对照评价体系表中的指标直接确定出因子的级别,并由公式(2)计算出所剖分的 74 个单元各自的潜水防污性属于哪个级别。根据潜水防污性评价等级的划分,由计算结果可得:

1~34 号单元的潜水防污性能差;35~74 号单元的潜水防污性能较差。

计算出防污性评价结果后,得出图 3:兴平地区渭河南岸潜水防污性评价分区图。由图可知,最差的是 1~34 号单元的五级水——防污性能差。其次是 35~74 号单元的四级水——防污性能较差。

研究区的 1~34 单元防污性能差,这些防污性能很差的地区分布在渭河漫滩和黑河漫滩,这个区域的潜水最容易受到污染,所以应该严格限制建立新的厂矿和集中的居民区,以减小污染负荷。同时,从长远的观点,要逐步减少污灌面积,以致最终消灭污水灌溉。研究区的 35~74 号单元防污性能较差,这些防污性能较差的区域分布在渭河及黑河的一级阶地上,占据面积较大,这个区域适宜作为居民区及食品工业、机制加工等工业区。

综上所述,潜水防污潜力的评价综合考虑了土壤、包气带、含水层、渗透系数、潜水埋深、大气降水净补给量和地形坡度的综合效应,全面地反映了

一个地区潜水遭受污染的可能性,从而为工农业生产的发展和城市规划提供了科学的依据。但是,评价工作的精度很大程度上取决于当地水文地质条件和环境效应认识研究的程度。

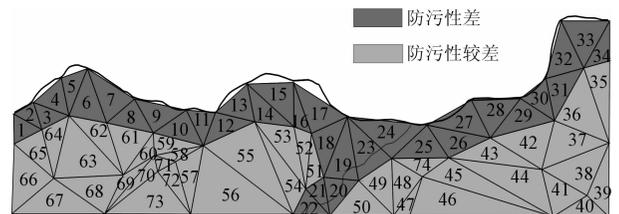


图 3 兴平地区渭河南岸潜水防污性评价分区图

3 结 语

地下水防污性 DRASTIC 评价方法是一种相对的评价方法,它不能够给出绝对的结论,但它可以为区域的土地利用和开发提供有关该区域地下水资源保护的指导。本文采用的 DRASTIC 指标体系法对研究区的潜水防污性进行分区评价,将研究区的潜水防污性能分为五级——防污性差、四级——防污性较差、三级——防污性中等、二级——防污性较好、一级——防污性好。评价结果表明:这些防污性能差的地区分布在渭河漫滩和黑河漫滩上,防污性能较差的区域分布在渭河及黑河的一级阶地上。由于研究区域范围有限,不能较完整的体现潜水防污性评价等级,又潜水和承压水是差别很大的两类

(下转第 129 页)

- phorus - discharge hysteresis during storm events along a river catchment: the River Swale, UK [J]. *Water Research*, 2005, 39: 751 - 762.
- [2] Satoh Y, Katano T, Satoh T, et al. Nutrient limitation of the primary production of phytoplankton in Lake Baikal [J]. *Limnology*, 2006, 7(3): 225 - 229.
- [3] Jiang X, Jin X C, Yao Y, et al. Effects of biological activity, light, temperature and oxygen on phosphorus release processes at the sediment and water interface of Taihu Lake, China [J]. *Water Research*, 2008, 42: 2251 - 2259.
- [4] 黄廷林, 延霜, 柴蓓蓓, 等. 水源水库沉积物磷形态分布及其释放特征 [J]. *天津大学学报*, 2011, 44(7): 607 - 612.
- [5] 张仕军, 齐庆杰, 王圣瑞, 等. 洱海沉积物有机质、铁、锰对磷的赋存特征和释放影响 [J]. *环境科学研究*, 2011, 24(4): 371 - 377.
- [6] 金丹越, 王圣瑞, 步青云. 长江中下游浅水湖泊沉积物磷释放动力学 [J]. *生态环境*, 2007, 16(3): 725 - 729.
- [7] 张晨光, 徐德星, 张乃明, 等. 大宁河回水区消落带土壤磷释放动力学研究 [J]. *土壤通报*, 2011, 42(5): 1159 - 1164.
- [8] 刘光崧. *土壤理化分析与剖面描述* [M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [9] 国家环境保护总局. *水和废水监测分析方法* (第四版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] 王庭健. 城市富营养化湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响 [J]. *环境科学研究*, 1994, 7(4): 12 - 20.
- [11] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 浅水湖泊沉积物磷释放的重要因子——铁和水动力 [J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(6): 762 - 764.
- [12] Herman G N, Berman T. A long - term prediction model for total phosphorus concentrations in Lake Kinneret [J]. *Water Research*, 1989, 23(1): 61 - 66.
- [13] Kastelan M M, Petrovic M. The role of fulvic acids in phosphorus sorption and release from mineral particles [J]. *Water Science and Technology*, 1996, 34(7/8): 259 - 265.
- [14] 金相灿, 屠清璞. *湖泊富营养化调查规范* (第二版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [15] 李法虎. *土壤物理化学* [M]. 北京, 化学工业出版社, 2006.
- [16] 薛飞, 刘文, 夏品华, 等. 贵州草海湿地农田沟渠沉积物氮磷的吸附动力学及影响因素 [J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(10): 1999 - 2005.
- [17] Zhang J Z, Huang X L. Effect of temperature and salinity on phosphate sorption on marine sediments [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(16): 6831 - 6837.

(上接第124页)

含水层,其对防污性的影响因子不同,用同一个模型来评价两类含水层是不合适的,所以只对研究区的潜水含水层进行了防污性分区评价。望在以后的不断深入研究中,能够将某一区域的潜水、承压水含水层分别进行防污性分区,然后进行对比研究。

近几年来,随着GIS技术的日益普及与完善,使多变量多数据的复杂系统研究跨上一个新台阶。虽然GIS技术已经在地下水防污性评价中得到应用,但GIS技术与地下水防污性评价的结合程度远远不够,主要矛盾是目前所获得的信息量无法满足GIS的要求,尽管目前应用GIS评价地下水防污性仍处于起步与探索阶段,但从地下水防污性评价的技术措施角度来看,GIS技术与各种数学模型的结合将是地下水防污性评价的一个主要的发展趋势。

参考文献:

- [1] 贺帅军, 李云峰, 张茂省, 等. 陕北能源化工基地潜水易污性评价 [J]. *地质通报*, 2008, 27(8): 1186 - 1191.
- [2] 严明疆, 徐卫东. 地下水脆弱性评价的必要性 [J]. *新疆地质*, 2005, 23(3): 268 - 271.
- [3] 姜志群, 朱元胜. 地下水污染敏感性评价中 DRASTIC 法的应用 [J]. *河海大学学报*, 2002, 29(2): 100 - 103.
- [4] 吕华, 王燕秋. 泰安市地下水易污性评价 [J]. *有色金属*, 2009, 61(4): 180 - 184.
- [5] 杨庆, 栾茂. 地下水易污性评价方法——DRASTIC 指标体系 [J]. *水文地质工程地质*, 1999, 26(2): 4 - 9.
- [6] 郭晓静, 周金龙, 靳孟贵, 等. 地下水脆弱性研究综述 [J]. *地下水*, 2010, 32(3): 1 - 5.
- [7] 于向前. 地下水安全性评价研究——以关中平原中部为例 [D]. 西安: 长安大学, 2011: 13 - 14.
- [8] 李云峰, 于向前, 周亚楠, 等. 潜水安全评价指标的研建 [C]. 西安: 第二届干旱半干旱地区水文生态与水安全国际学术论坛, 2010.
- [9] 许可. 地下水脆弱性评价方法概述 [J]. *水科学与工程*, 2007(6): 15 - 17.
- [10] 夏学军, 张保建, 白福英, 等. 基于 DRASTIC 指标体系法的泰安市地下水脆弱性研究 [J]. *山东国土资源*, 2011, 27(2): 25 - 28.