

吉林省通榆县地下水脆弱性研究

卞建民¹, 李立军², 杨 坡¹

(1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026; 2. 吉林省地质环境监测总站, 吉林 长春 130021)

摘要 以吉林西部通榆县为例, 建立了浅层地下水脆弱性评价的 MEQU-DRASTIC 指标模型, 借助 GIS 技术提取评价指标参数, 应用模糊优选模型进行了地下水环境脆弱性评价, 根据脆弱度指数进行了地下水脆弱性分区。

关键词 通榆县; 地下水; MEQU-DRASTIC 指标模型; GIS 模糊优选模型

中图分类号 TV211.1+2 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2008)03-0004-04

Vulnerability of the groundwater environment in Tongyu County of Jilin Province

BIAN Jian-min¹, LI Li-jun², YANG Po¹

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Jilin Geological Environment Monitoring Station, Changchun 130021, China)

Abstract An index system for evaluating the vulnerability of shallow groundwater, MEQU-DRASTIC, was developed based on index data abstracted with GIS and a fuzzy optimum model and applied in Tongyu County in West Jilin. Groundwater vulnerability zoning was carried out according to the vulnerability results.

Key words Tongyu County; groundwater; MEQU-DRASTIC index model; GIS; fuzzy optimum model

地下水脆弱性是地下水系统固有特性, 反映了系统对自然和(或)人类活动影响的应付能力。随着工农业迅速发展, 人口不断增加, 不合理开发利用以及污染地下水的现象日益严重, 使地下水受到不同程度的破坏。地下水脆弱性研究是保护地下水环境工作的基础。通过地下水脆弱性的研究, 区别不同地区地下水的脆弱程度, 评价地下水潜在的易污染性, 圈定脆弱的地下水范围, 从而可以警示人们在开采利用地下水资源的同时, 采取有效的防治保护措施。

1 环境背景及脆弱性形成机理

通榆县位于松嫩平原西部, 幅员 8 468 km², 地处半干旱气候地带。年平均温度 4℃, 干燥度为 111 ~ 115, 多年平均降水量 408.2 mm, 多年平均蒸发量为 1 890 mm, 是多年平均降水量的 4.65 倍。区内地形平缓, 坡降为 1/5 000 ~ 1/8 000, 海拔多为 120 ~ 180 m, 地表覆盖着第四纪河湖相沉积物。发源于大兴安岭东部的霍林河, 散流于该区的北部沙地和沙丘之间, 形

成以芦苇沼泽为主的湿地——向海湿地。西南部为向乌沙地延伸分布地带, 多为沙丘漫岗和浅碟形凹平地交错分布的地表形态。主要土壤类型有黑钙土、草甸土、盐碱土和风沙土。该区地下水原生水质较差, 水中氟、砷含量高, 是吉林省重点的高氟、高砷区, 饮水型氟、砷中毒发病率较高, 对当地居民的饮水安全造成了极大的威胁。近年来, 由于受全球气候变化及人为因素的干扰, 植被覆盖度下降, 蒸发量增加, 降水入渗量减少, 水土中的盐碱成分不断聚集, 促使土壤和水体质量恶化, 抑制生物生长, 地氟病流行, 从而增加了该区生态环境和水环境的脆弱性。

地下水脆弱性的形成机制主要包括本质脆弱性和特殊脆弱性两方面。本质脆弱性是不考虑人类活动和污染源, 而只考虑水文地质内部因素的脆弱性。DRASTIC 模型就是典型的对地下水本质脆弱性评价的模型。研究区位于半干旱区, 与湿润区脆弱性的影响机理有很大的差异, 既受其本质脆弱性的制约,

又较强烈地受人类活动的影响。本质脆弱性包括地下水埋深、净补给量、含水层介质、土壤类型、地形、渗流区介质影响及渗透系数。其中地下水埋深对外界物质进入含水层有很大的控制作用,净补给量是通过控制地下水量来影响脆弱性,同时也可以稀释作用影响地下水水质;含水层介质依靠其对外部作用的扩大或减弱来影响地下水的本质脆弱性;土壤的沙化和盐碱化显著,对地下水的涵养和外来影响的稀释作用明显减弱,对地下水脆弱性的影响很大;地形坡度是通过控制地表径流的入渗和地下径流的方向来影响地下水脆弱性,渗流区介质决定着土壤层和含水层物质的稀释特性,也通过控制渗流路径的长度和渗流路线来影响地下水的脆弱性;渗透系数是通过控制外部影响的扩散来影响地下水脆弱性;隔水层介质的厚度和颗粒大小、压密程度控制着外部环境通过隔水层的能力,从而进一步影响下部含水层的脆弱性。

特殊脆弱性是地下水对某一特定污染源或人类活动的脆弱性。地下水开采强度对地下水位的影响很大,是从地下水量上影响其脆弱性,开采强度越大,含水层的水量就将减少,含水层抵御外部影响的能力就会下降。地下水水质是从水的质量上影响地下水脆弱性,本区的原生水质较差,同时普遍存在着农业面源污染,水质好坏直接关系到地下水的功能和使用领域,对脆弱性的影响很大。总之,随着人类活动的影响不断加剧,特殊脆弱性在整体脆弱性的比重正在加大,同时,人类活动也通过改变水文地质内部因素影响着地下水环境的脆弱性。因此,关注特殊脆弱性有助于地下水环境脆弱性的深入研究。

2 地下水脆弱性研究进展

地下水脆弱性研究始于 20 世纪 60 年代。1968 年 Margat 首次提出地下水脆弱性一词,其后 Verhuff, Foster 和 Hirate 相继对其概念进行了探讨^[1-2],美国环保署和国际水文地质协会给出了地下水脆弱性下的定义,即地下水系统对人类和(或)自然的有效敏感性,也称为地下水易污染性。“地下水脆弱性”概念的发展经历了两个阶段。国内关于地下水脆弱性的研究开始于 90 年代中期,其定义多引用外文资料。

地下水脆弱性评价的主要方法有迭置和指数法、过程数学模拟法、统计方法与模糊数学法,其中以迭置和指数法为主。最典型的是美国环境保护局于 1987 年由 Aller 等^[3]提出的 DRASTIC 方法。过程数学模拟法适用于地下水脆弱性评价的高级阶段,需要具备足够且可靠的地质数据及长序列污染质运移资料,只有完全掌握地下水脆弱性与其评价要素

之间的内在关系后,才能选择该方法。统计方法和模糊数学方法,主要采用数理统计与模糊数学的基本理论和常用方法,进行地下水脆弱性评价,如 Tesoriero 等用逻辑回归方法和硝酸盐浓度观测资料对美国华盛顿州的 Puget Sound 流域地下水脆弱性进行了评价^[4](Barber、Alberti 等利用基于贝叶斯(Bayesian)条件概率定理的实证权重法分别对澳大利亚 Peel 流域和意大利北部一个地区的地下水脆弱性进行了评价^[5-6])。Keith 等对夏威夷农业区的农药地下水脆弱性进行了研究,对评价因子和评价结果的不确定性进行了深入探讨^[5]。其后,学者们在模型方面也进行了一些工作,Gogu 等^[6]在总结各种评价方法时,提出了改进地下水污染脆弱性评价模型,并将模糊数学、综合指数法、AHP-模糊迭代自组织评价及 GIS 技术等应用于研究中^[7-15]。

根据最新文献检索,近年来学术界非常重视对新技术和新方法的引进和应用,将遗传投影寻踪插值模型、模糊评价及 GIS 应用进行了地下水环境脆弱性评价,取得了较好的成果^[16-18]。上述研究表明,在水环境脆弱性评价方面,新技术新方法的应用将实现研究成果的模型化、可视化,提高其实用性。

3 GIS 在地下水脆弱性评价中的应用

开展地下水环境脆弱性评价的关键是选择评价指标,地下水脆弱性评价的目的是对地下水环境进行保护和治理。因此,应针对研究区地下水环境所面临的各种环境问题建立评价体系。同时,地下水环境脆弱性应包括水质(污染)和水量(水枯竭)两方面内容。只有这样,评价结果才符合客观实际。

评价单元生成过程中主要用到的数据来自通榆县 2000 年地下潜水埋深图、年降水量图、开采含水层下伏地层时代及岩性图、土壤类型分布图、高程图、弱透水层岩性厚度分区图、水均衡分区及参数分区图。选取 1:50 万的通榆幅为标准,将上述图件与标准图进行校正、矢量化分区。本次评价中采用参数系统法,根据通榆县的具体情况,充分考虑到通榆县的水文地质条件及其半干旱的气候特点,参考 DRASTIC 评价指标体系,提出了更为合理的适合通榆县的地下水脆弱性评价指标体系(MEQU-DRASTIC)。在评价指标中考虑到蒸发影响,增加了潜水蒸发强度作为评价指标;同时地下水开采对研究区的地下水影响显著,加入地下水开采强度作为评价因子;由于研究区的原生地下水水质较差,并且受农业生产影响明显,所以地下水水质作为评价指标。本研究建立的潜水脆弱性评价指标体系,在传统的 DRASTIC 指标模型基础上,根据该区的特点,

增加了地下水开采强度、地下水水质、潜水蒸发强度及土地利用 4 个因子,构成了 MEQU-DRASTIC 指标模型,评价指标体系及权重见表 1。

表 1 潜水脆弱性评价指标权重

评价指标	归一化权重 ω_j	评价指标	归一化权重 ω_j
潜水埋深 D	0.13	渗透系数 C	0.08
净补给 R	0.05	潜水开采强度 M	0.11
含水层介质 A	0.05	潜水蒸发强度 E	0.13
土壤介质类别 S	0.11	潜水水质 Q	0.13
地形坡度 T	0.03	土地利用 U	0.13
渗流区介质 I	0.05		

利用 MAPGIS 的空间分析功能,进行区对区的合并分析,将参数分区图按各个评价因子的相对权重值进行图层间的叠加。根据各评价因子的等级划分及评分标准,结合 DRASTIC 地下水易污性指标模型,将叠加后的评价单元提取属性,建立评价属性数据库和应用多目标模糊优选模型^[19]。该方法只要确定研究对象的最优和最劣状态,即可进行评价,无需对评价的级别进行分级,适合对没有已知标准的系统进行评价。有关地下水环境脆弱性评价指标模型中,指标的评价标准因地域、水文地质条件及自然条件的差异而不同,很难界定统一的标准,但界限范围比较一致,因此,本文采用该模型确定脆弱性程度指数。具体计算过程 ①资料的收集和处理。需要收集的资料包括地下水测井的抽水观测资料和水文地质报告、水资源报告(降水、径流和蒸发等)、土壤调查报告和地形图等。②参数分布图的准备。将收

集到的资料进行分析,对没有直接给出值的参数进行推算或换算。然后将其分别标在不同的底图上。若是数字型参数,可用等值线或分区图表示,若为介质型参数,只能用分区图表示,并用不同的颜色来表示参数的不同值。用数字化仪或其它方法将其输入计算机,即得到评价指标对应的参数分布图。③指标值的确定。对数值型参数,其指标值的确定十分方便,但对于介质参数,其指标必须根据各处的水文地质条件对照评分表仔细地分析确定。④指标值分布图的生成。借助于 GIS 将参数分布图转换为指标值分布图。⑤评价模型应用。将指标属性库中的数据和权重值代入模型,运行后获得基准的隶属优度向量,就可确定所属的级别。

根据以上方法,可得到各评价单元脆弱性指数,根据脆弱性指数划分脆弱性程度分区,其中高脆弱性区(脆弱性指数 185-224),较高脆弱性区(脆弱性指数 145-184),较低脆弱性区(脆弱性指数 105-144)和低脆弱性区(脆弱性指数 65-104)。按各分区等级对相同分区的评价单元进行合并,最后得到研究区的地下水脆弱性分布(图 1)。

从图 1 中可以看出,脆弱性较高的地区主要集中在通榆县的西部,占研究区总面积的 25% 左右,主要以砂、砂砾为主,第四系的黏土、亚黏土广泛分布。向海、新兴一带地下水埋藏较浅,分布大片沼泽和盐碱地,沼泽中黏土的涨缩性大,土壤的易污染性大。在这些区域内,地形坡度较小,渗流区厚度较小,渗透路径较短,区内含水层的水力传导系数也较大。

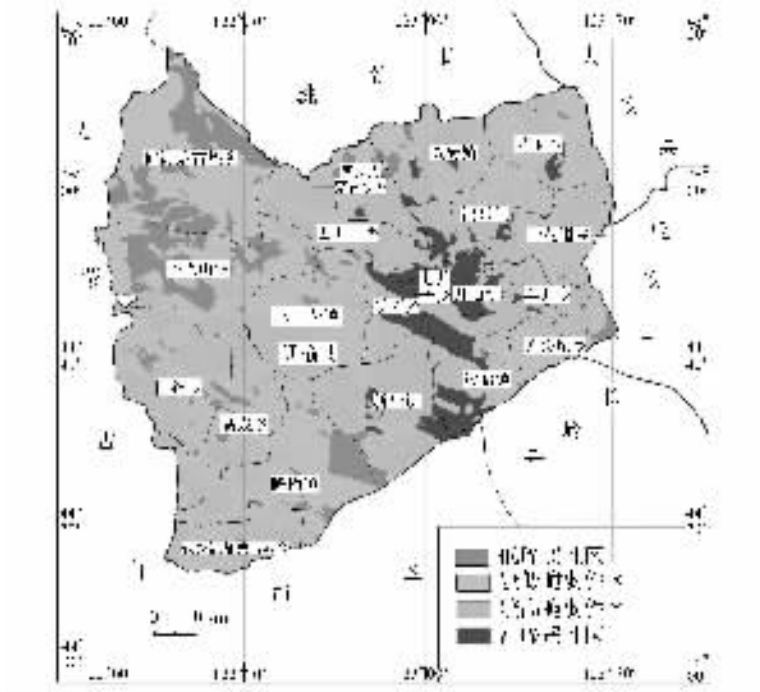


图 1 地下水脆弱性评价结果

脆弱性高和较高的地区,主要分布在研究区的东部地区,主要受潜水蒸发强度较大和潜水开采强度较大有关。其中,开通镇和七井子乡大部分地区,由于潜水蒸发强度最大,开采强度也很大,其他因子与全区差别较小,最后的评价分值为 255。在兴隆山、乌兰花和团结的结合地段,脆弱性低和较低的地区主要分布在区内的西部,东部地区有零星分布。东部零星分布地区脆弱性较低,主要由于埋深较大、开采强度较小。潜水中脆弱性度高和较高的地区约占研究区总面积的 37%。

4 结论及研究展望

应用 GIS 的空间叠加技术,将 MEQU-DRASTIC 指标体系中的 11 项指标进行矢量化处理,通过对最后图层属性的提取,采用多目标模糊优选模型进行评价,获得了研究区地下水脆弱性的定量评价等级。研究结果表明,吉林通榆县地下水环境比较脆弱,从西至东,脆弱性程度逐渐增加,与降水量和蒸发量的整体分布规律相一致。但在传统的评价指标中,未将以上两个因子作为评价指标。这主要是缘于以往的地下水环境脆弱性评价侧重在地下水对污染的承受能力的评估。在干旱半干旱地区,环境脆弱,受全球变暖及人类活动的影响,土地开发利用和植被覆盖都发生了较大的变化,改变了地表水、地下水的结构和功能。不断发展的荒漠化、盐碱化也对水环境质量产生重要的影响,从而加剧了水环境脆弱性的程度和影响范围。

在干旱半干旱地区,地下水脆弱性更多反映在地下水对干旱化及开采程度的承受阈值,如将该模型用于干旱半干旱区地下水脆弱性研究,应在参数的选择方面关注反映区域环境特征的因子,如增加干旱指数、水资源利用率等指标。本次评价仅对潜水进行了脆弱性评价,尚未涉及承压水。本地区潜水由于水质较差等原因,目前主要开发利用第四系白土山组,未来规划利用含水层为第三系,如何开展承压水脆弱性评价,目前研究较少,有关其评价指标和方法都有待进一步深入研究。

参考文献：

[1] VRBAJ, ZAPOROZEC A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability [M]. Hannover: International contributions to hydrogeology, 1994.

[2] GOGU R C, DASSARGUES A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods[J]. Environmental Geology, 2000, 39 (6) 549-559.

[3] ALLER L, BENNET T, LEHR J H, et al. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological setting [M]. Oklahoma: U S Environmental Protection Agency, 1987.

[4] ANTHONY J T, FRANK D V. Predicting the probability of elevated nitrate concentrations in the Puget Sound Basin: implication for aquifer susceptibility and vulnerability [J]. Ground Water, 1997, 36(5) :1029-1039.

[5] LOAGUE K, BERNKNOPF R L, GREEN R E. Uncertainty of groundwater vulnerability assessment for agricultural regions in Hawaii[J]. Environ Qual, 1996, 25 475-490.

[6] GOGU R C, DASSARGUES A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods II [J]. Environmental Geology, 2003, 39(6) 549-561.

[7] SECUNDA S, COLLIN M L, MELLOUL A J. Ground water vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israelp Saron region[J]. Environment Management, 1998, 54 39-57.

[8] 陈守煜, 王国利. 含水层脆弱性的模糊优选迭代评价模型及应用[J]. 大连理工大学学报, 1999, 39(6) 811-815.

[9] 贺新春, 邵东国, 陈南祥, 等. 几种评价地下水环境脆弱性方法之比较[J]. 长江科学院院报, 2005(3) :17-20.

[10] 刘淑芳, 郭永海. 区域地下水防污性能评价方法及其在河北平原的应用[J]. 河北地质学院学报, 1996(1) 41-45.

[11] 郑西来, 吴新利, 荆静, 等. 西安市潜水污染的潜在性分析与评价[J]. 工程勘察, 1997(4) 22-24.

[12] 王焰新, 李义连, 付素蓉, 等. 武汉市第四系含水层地下水有机污染敏感性研究[J]. 地球科学 中国地质大学学报, 2002, 27(5) 616-620.

[13] 雷静, 张思聪. 唐山市平原区地下水脆弱性评价研究[J]. 环境科学学报, 2003(1) 94-99.

[14] 姜志群, 朱元牲. 地下水污染敏感性评价中 DRASTIC 法的应用[J]. 河海大学学报, 2001, 29(2) :100-103.

[15] 郑西来, 李涛, 贾丽华. 基于 MapInfo 的大沽河地下水库脆弱性评价[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2004, 34(6) :1023-1028.

[16] 孙伟, 马国栋, 金松培, 等. 基于 GIS 的地下水脆弱性评价[J]. 信息技术, 2006(3) :18-20.

[17] 武强, 王志强, 赵增敏, 等. 油气田区承压含水层地下水污染机理及其脆弱性评价[J]. 水利学报, 2006, 37(7) :851-857.

[18] 刘卫林, 董增川, 童芳. 地下水环境脆弱性评价的遗传投影寻踪插值模型[J]. 水电能源科学, 2006, 24(3) :21-25.

[19] 杨建强, 林年丰. 多目标模糊优选模型在环境质量评价中的应用[J]. 长春科技大学学报, 2000(4) :381-383, 403.