

# DRASTIC 评价模型在台州市浅层地下水脆弱性评价中的应用<sup>①</sup>

张泰丽<sup>1</sup>,冯小铭<sup>1</sup>,刘红樱<sup>1</sup>,赵建康<sup>2</sup>,黎伟<sup>2</sup>

(1 南京地质矿产研究所,江苏南京 210016)

(2 浙江省地质环境监测总站,浙江杭州 310007)

**摘要:**本文介绍了 DRASTIC 评价体系在台州市浅层地下水的脆弱性评价中的应用。根据台州市的地质背景、水文地质条件等,对 DRASTIC 评价指标进行改进,选择了地下水埋深等 4 个参数作为研究区地下水脆弱性评价因子,建立了台州市浅层地下水脆弱性评价模型。结合 GIS 技术对该地区的地下水脆弱性进行了评价,编制了地下水脆弱性评价图。综合评价的结果表明改进的 DScTI 评价模型能合理的反映台州市浅层地下水环境脆弱性的高低。

**关键词:**DRASTIC 指标体系;评价因子;评分;权重

**中图分类号:**P641

**文献标识码:**A

环境与发展是当今人类面临的最为紧迫的问题之一。在过去粗放的经济增长模式下,人类片面的夸大了发展的重要性,而忽视了对环境的保护。尤其是水资源的不合理开采,污染物的随意排放,导致水环境污染日趋严重,生态平衡遭到破坏。在 2004 年中国地质调查局组织开展的全国主要城市环境地质问题调查中,地下水脆弱性评价成为主要内容之一。

地下水环境脆弱性是指地下水环境由于自然条件变化和人类活动影响遭受破坏带来一系列问题的敏感程度,它反映了地下水环境的自我保护能力<sup>[1]</sup>。进行地下水环境脆弱性评价就是从有效的保护地下水资源免于遭受污染的角度出发,选择能表征地下水脆弱性的评价因子,并建立相应的评分体系和权重体系,划分地下水环境脆弱性等级。目前应用最为广泛的是美国 EPA 地下水脆弱性评价方法(DRASTIC)<sup>[7]</sup>。

## 1 研究区的范围及其水文地质条件

研究区的范围包括黄岩、路桥、椒江三个区,南部、北部及西部地区以平原与山区为界,东部以东海为界,总面积约 1 000 km<sup>2</sup>。

研究的对象主要包括了两个主要的水文地质单元:山麓沟谷区和平原区孔隙潜水。按

① 收稿日期:2006-09-04

基金项目:《丽水市城市环境地质问题调查与评价》项目资助。

第一作者简介:张泰丽(1980-),女,山西长治人,助理工程师,硕士,环境地质专业。

其成因可分为冲积砂砾石、冲洪积砂砾石含粘性土、海积、冲海积粉细砂、中细砂及海积淤泥质亚粘土等松散岩类孔隙岩组。冲积砂砾石和冲洪积砂砾石含粘性土的孔隙潜水含水岩组主要分布在山麓沟谷区,分布面积较小,地下水埋深 1~3 m 不等,含水层的厚度 1~10 m 不等,单井涌水量比较大 100~5 000 m<sup>3</sup>/d(按井径 1 m、降深 3 m 换算)。除直接接受大气降水补给外,还接受地表水和基岩裂隙水的补给,径流条件较好,绝大部分以下降泉的形式排泄于地表,少量补给平原深部。海积冲海积粉细砂、中细砂、和海积淤泥质亚粘土孔隙潜水含水层组广泛分布于平原区,含水层的厚度 3~5 m,地下水埋深 1~3 m,单井涌水量较小约 1~500 m<sup>3</sup>/d(按井径 1 m、降深 3 m 换算)。在淤泥质含水岩组中涌水量仅 1~6 m<sup>3</sup>/d(按井径 1 m、降深 3 m 换算),部分为 14~32 m<sup>3</sup>/d。含水层透水性差且分布不均匀,地下水以垂直运动为主,大气降水和地表水为其主要补给源。径流条件差,排泄方式以蒸发、蒸腾及民井开采为主。固形物的含量在 1.0 g/L 上下,沿江、沿海地段溶解性总固体大于 1.0 g/L<sup>[2]</sup>。

## 2 研究区地下水脆弱性评价

### 2.1 DRASTIC 评价模型

DRASTIC 评价方法是美国环境保护局(USEPA)和美国水井协会(NWWA)综合了 40 多位水文地质学专家的经验<sup>[3]</sup>,于 1985 年合作开发的。该方法先后被用于美国哥伦比亚等 10 个县区的地下水环境脆弱性的评价工作,并被加拿大、南非、欧共体等国采用。1996 年欧盟与中国进行了合作,在大连和广州两个地区成功地应用 DRASTIC 指标体系进行了地下水的脆弱性评价工作<sup>[4]</sup>。

DRASTIC 评价方法在国内平原区应用比较成功的就是由清华大学雷静<sup>[5]</sup>等 2001 年对唐山市平原区的地下水环境脆弱性评价。雷静等在应用 DRASTIC 评价模型时依据唐山市平原区的水文地质条件做了相应的调整,选了地下水埋深、降雨灌溉入渗补给量、土壤有机质含量、含水层累计砂层厚度、地下水开采量和含水层渗透系数等 6 个因子。评价的结果与该地区实测及预测的硝酸盐浓度分布基本一致。

DRASTIC 系统采用 7 个影响和控制地下水运动的因素,包括地下水埋深(Depth to groundwater),净补给(net Recharge),含水层介质(Aquifer media),土壤介质(Soil media),地面坡度(Topography),包气带介质影响(Impact of the vadose zone media),含水层的水力传导系数(Conductivity),来定量分析各单元的脆弱性高低。这些参数的首字母缩写就为 DRASTIC。每个因素根据对地下水污染可能影响的大小,被赋予一个权重因子(1~5),权重 5 被认为对地下水污染可能影响最高级,1 被认为最低级。另外,每个因素又被细分为不同的数值范围(数值型参数,如净补给)或介质类型(非数值型参数,如土壤介质),并用指标值(1~10)来量化这些数值范围和介质类型对地下水污染的可能影响,1 对地下水脆弱性的影响最低,10 对地下水的脆弱性影响最高。DRASTIC 评价模型在应用时应根据研究区域的实际水文地质条件来确定,最后用加权方式计算综合指标值。

### 2.2 评价指标体系及评分体系

如果将 DRASTIC 评价模型原封不动的应用到台州市的地下水脆弱性评价中,评价成果对台州市来说无实际意义。首先,在美国等发达国家,有比较完善的基础数据库系统,比较容易获得该方法所考虑的有关参数的相关资料和数据。而在本研究区域内,并不具备这样的条件,例如土壤类型资料就不容易获得。其次,该方法中每个参数的评分范围也不完全适

用于研究区的具体状况。如在本研究区,含水岩层主要为淤泥质亚粘土,水力传导系数几乎近似为零,给出的分值都为 1,这对研究区来说无意义,所以可以不考虑此因素。再次,除 DRASTIC 方法考虑的这 7 个参数之外,根据研究区具体状况可以获得的某些数据对于该地区的地下水脆弱性评价也有很大的价值。例如,在对该研究区水质监测资料的研究中发现,路桥地区及其椒江两岸的固形物的含量普遍偏高,从前人的分析资料可以看出这与地表水对地下水的侧向补给有关。

因此,在本研究中参考 DRASTIC 评价模型,依据台州市的地质概况及可以获得资料的情况,选用了 4 个参数作为研究区地下水脆弱性评价指标:地下水埋深(D)、固形物的含量(Sc)、含水层厚度(T)、饱气带介质(I)。DRASTIC 与 DScTI 评价指标对比见表 1。

表 1 DRASTIC 与 DScTI 评价指标对比  
Table 1 Contrast DRASTIC with DScTI on evaluated indicators

| DRASTIC -- 评价指标 | DScTI -- 评价指标 |
|-----------------|---------------|
| D:地下水埋深         | D:地下水埋深       |
| R:含水层净补给量       | Sc:固形物的含量     |
| A:含水层介质         | T:含水层厚度       |
| S:土壤介质          | -             |
| T:地形坡度          | -             |
| I:饱气带介质         | I:饱气带介质       |
| C:含水层水力传导系数     | -             |

2.2.1 各个因子描述

(1) 地下水埋深(D)

地下水埋深是指潜水位至地表的深度或地表至承压含水层顶部(即隔水层顶板底部)的深度。在 DRASTIC 模型的指标体系中,地下水埋深是一个重要的因子,决定污染物到达含水层之前所经过的距离及与周围介质接触的时间。总的来说,地下水埋深越大,污染物迁移的时间越长,污染物衰减的机会越多。同时,地下水埋深越大,污染物被氧化的机率越大。在台州区域内收集了 2004 年的 68 个水井的水位数据(部分数据见表 5),应用地理信息系统的 MAPGIS 软件绘制了地下水埋深等值线。依据提取数据的结果给出了地下水埋深的范围及其评分(如表 2)。地下水埋深越小,其指标的评分越高,反之评分越低。

表 2 地下水埋深评分表  
Table 2 Depth to groundwater scoring table

| 范围(m)   | 评分 |
|---------|----|
| 0~0.5   | 10 |
| 0.5~1.0 | 8  |
| 1.0~1.5 | 6  |
| 1.5~2.0 | 5  |
| 2.0~2.5 | 3  |
| >2.5    | 1  |

(2) 固形物的含量(Sc)

污染物随同地下水的补给入渗污染地下水,地下水的补给包括垂向的和侧向的。

台州市地下水脆弱性评价中选择地下水固形物的含量来表示地下水获得的补给程度。

(3) 含水层厚度(T)

由于研究区域内含水层的介质比较单一,所以选用含水层的厚度来表达含水层对污染物运移的影响程度。含水层的厚度决定了地下水资源量的大小,反映了地下水稀释能力的

强弱。所以含水的厚度越大,评分值越小。本次评价收集了台州市 2004 年的 68 个水井的数据(部分数据见表 5),应用地理信息系统的 MAPGIS 软件绘制了地下水含水层厚度的等值线。依据提前数据的结果给出了地下水埋深的范围及其评分(如表 4)。

表 3 固形物的含量评分表  
Table 3 Content of solid scoring table

| 固形物的含量(g/l) | 评分 |
|-------------|----|
| <0.5        | 1  |
| 0.5~1       | 2  |
| 1~1.5       | 4  |
| 1.5~2       | 5  |
| 2~3         | 6  |
| 3~4         | 8  |
| 4~5         | 9  |
| >5          | 10 |

表 4 含水层厚度评分表  
Table 4 Thickness to groundwater scoring table

| 含水层厚度(m) | 评分 |
|----------|----|
| <2       | 10 |
| 2~3      | 9  |
| 3~4.5    | 7  |
| 4.5~6    | 5  |
| 6~8      | 4  |
| >8       | 2  |

(4) 包气带介质(I)

包气带介质类型决定着污染物的衰减特性,控制着渗流路径的长度和渗流途径,影响了污染物的迁移时间及与土体的反应程度。包气带内的任何裂隙对渗流路线都起控制作用。

表 5 台州市民井调查表  
Table 5 Dug well questionnaire of Taizhou city

| 编号   | 位置        | 地理坐标      |          | 静水位埋深<br>m | 含水层厚度<br>m |
|------|-----------|-----------|----------|------------|------------|
|      |           | E         | N        |            |            |
| W004 | 椒江区前所镇    | 1213129.6 | 284155.1 | 0.55       | 2.5        |
| W005 | 椒江区前所镇    | 1212641.9 | 284207.6 | 2.43       | 3.37       |
| W011 | 台州市黄岩区橙江镇 | 1211331.1 | 283823.9 | 2.4        | 9.14       |
| W012 | 台州市黄岩区沙埠镇 | 1211136.2 | 283356.1 | 2.78       | 3.45       |
| W018 | 台州市黄岩区新前镇 | 1211145.4 | 283925.7 | 1.45       | 2.68       |
| W015 | 台州市黄岩区城北  | 1211458.3 | 284005.8 | 0.81       | 5.59       |
| W022 | 台州市黄岩区东城  | 1211709.0 | 284001.7 | 1.74       | 5.86       |
| W023 | 台州市黄岩区江口  | 1211908.2 | 284021.5 | 3.87       | 4.04       |
| W032 | 台州市黄岩区东山  | 1212403.4 | 283728.9 | 0.47       | 4.94       |
| W034 | 台州市路桥区桐屿  | 1211954.9 | 283716.3 | 2.32       | 7.3        |
| W038 | 台州市黄岩区螺洋  | 1211927.6 | 283343.0 | 1.03       | 3.4        |
| W050 | 温岭市泽国镇    | 1212139.8 | 283014.1 | 2.69       | 7.69       |
| W054 | 温岭市泽国镇    | 1212310.8 | 282954.1 | 0.98       | 6.3        |
| W058 | 台州椒江区     | 1212922.1 | 283912.7 | 0.89       | 2.93       |
| W061 | 台州市椒江区三甲  | 1213008.8 | 283656.1 | 2.51       | 6.58       |
| W071 | 台州市椒江区海门  | 1212736.7 | 283941.4 | 2.83       | 4.23       |
| W078 | 台州市路桥区金清镇 | 1213045.6 | 283159.6 | 1.27       | 7.56       |
| W079 | 台州市路桥区金清镇 | 1213217.6 | 283201.0 | 2.79       | 6.04       |
| W081 | 台州市路桥区金清镇 | 1213148.8 | 283019.2 | 2.01       | 4.33       |
| W091 | 台州市路桥区蓬街镇 | 1212721.7 | 283307.9 | 3.25       | 3.05       |
| W092 | 台州市路桥区蓬街镇 | 1212826.5 | 283317.9 | 2.47       | 2.87       |
| W114 | 台州市路桥区金清镇 | 1213611.7 | 283029.5 | 2          | 5.54       |

包气介质的选择必须遵循以下原则:(1) 选择对脆弱性程度最显著的介质;(2) 对于有多层介质存在时,应考虑各层介质的相对厚度,选择厚度最大的一层作为包气带介质;(3) 须考虑各层介质脆弱性程度的大小,如当灰岩上层覆盖一层粘土和一层等厚度的较大的砂砾层时,从地下水污染的角度考虑,粘土是最显著的控制层,因为粘土层限制污染物向含水层迁移,此时选择粘土层作为包气带介质较恰当。区域内包气带介质的评分如下表 6:

表 6 包气带介质类型评分表  
Table 6 Vadose zone media scoring table

| 包气带介质   | 评分 |
|---------|----|
| 粉细砂或中细砂 | 3  |
| 砂砾石含粘性土 | 6  |
| 砂砾石     | 8  |
| 淤泥质亚粘土  | 1  |

2.2.2 评价指标权重体系

DRASTIC 评价模型中指标体系为:地下水埋深、含水层净补给量、含水层岩性、土壤介质、地形坡度、非饱和带岩性和水力传导系数,对应的权重值为 5、4、3、2、1、5、3,DS<sub>c</sub>TI 指标体系中各参数的权重与 DRASTIC 比较如表 7。

表 7 DRASTIC 与 DS<sub>c</sub>TI 指标体系中各参数的权重对比表  
Table 7 Contrasted DRASTIC with DS<sub>c</sub>TI on the weighting of the evaluated indicators

| DRASTIC 指标体系权重 |    | DS <sub>c</sub> TI 指标体系权重 |    |
|----------------|----|---------------------------|----|
| 评价指标           | 权重 | 评价指标                      | 权重 |
| D:地下水埋深        | 5  | D:地下水埋深                   | 5  |
| R:含水层净补给量      | 4  | Sc:固形物的含量                 | 1  |
| A:含水层介质        | 3  | T:含水层厚度                   | 2  |
| S:土壤介质         | 2  | -                         | -  |
| T:地形           | 1  | -                         | -  |
| I:包气带介质        | 5  | I:包气带介质                   | 5  |
| C:含水层水力传导系数    | 3  | -                         | -  |

2.2.3 评价结果分析

(1) 指标计算

DS<sub>c</sub>TI 地下水系统脆弱性指标由下式确定:

$$DS_{c}TI = 5 \times D + 1 \times Sc + 2 \times T + 5 \times I$$

具有较高脆弱性指标的区域,则该区域的地下水就易于被污染,反之亦然。DRASTIC 指标提供的仅仅是相对概念,而不是绝对的。脆弱性最小指标为 23,最大指标为 120,一般 DS<sub>c</sub>TI 指标值在 30 ~ 110 之间,为计算方便,最大值 120 折算为 100,最小值约为 10。

(2) 地下水脆弱性分区

根据台州市每个单元上的评分,得到各个指标因子的评分图,借助 GIS 软件对各指标的评分图按各个指标因子的相对权重值进行图层间的叠加分析<sup>[5]</sup>,得到各个单元的地下水脆弱性指数在 30 ~ 100 之间。现将评价区地下水脆弱性划分为 5 个等级,见表 8。评价单元的指数越大,表明其地下水的脆弱性越高。

从图 1 可以看出台州市大部分区域属于 40 ~ 60 的脆弱性中等的区域,只在山麓沟谷区的冲洪积岩层中出现脆弱性较高和脆弱性高的区域,分布面积较小。脆弱性较低和脆弱性较高的区域在平原区有零星分布。从以上的分析可以看出,所得的地下水脆弱性评价分布

图能较好的反映台州市平原区的实际情况。

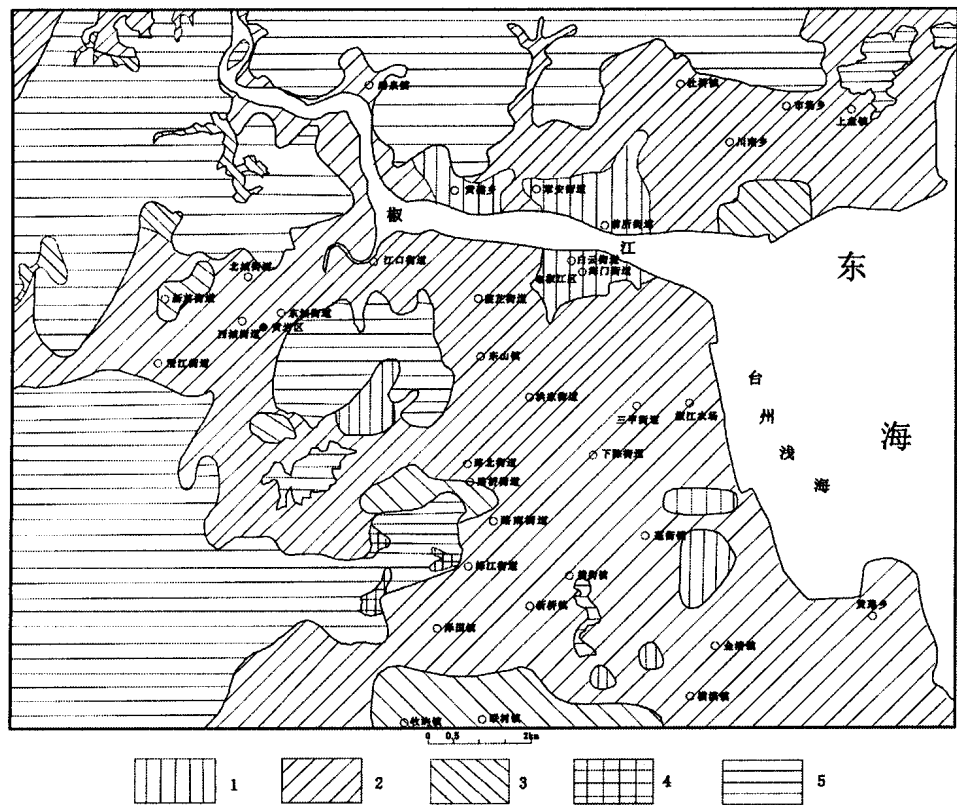


图 1 台州市地下水脆弱性评价图

Fig. 1 The map of assessment of groundwater vulnerability to pollution of Taizhou plain area  
1-地下水脆弱性较低;2-地下水脆弱性中等;3-地下水脆弱性较高;4-地下水脆弱性高;5-基岩区(未评价区)

表 8 台州市地下水脆弱性评价指数划分表

Table 8 Division of groundwater vulnerability assessment index in Taizhou City

| 脆弱性评价指数  | 脆弱性程度 | 脆弱性级别 |
|----------|-------|-------|
| < 20     | 脆弱性低  | I     |
| 20 - 40  | 脆弱性较低 | II    |
| 40 - 60  | 脆弱性中等 | III   |
| 60 - 80  | 脆弱性较高 | IV    |
| 80 - 100 | 脆弱性高  | V     |

3 结语

DRASTIC 评价方法是目前应用比较成熟的一种地下水脆弱性评价的方法,特别是在国外积累了丰富的研究经验,国内在应用该方法时既要借鉴国外的研究思路也要探索适合国内水文地质条件的研究方法。通过对台州评价方法及其评价结果的研究分析,可知制定的地下水脆弱性评价的方法比较好的符合了当地的具体情况,选定的 4 个评价因子能较好的反映当地的水文地质条件。结合 GIS 技术得到的地下水脆弱性评价图可以为台州市地下水资源的保护及其开发利用提供参考,建议有关部门能加强对地下水脆弱性高和脆弱性较高的区域的管理,合理开发利用地下水资源。

## 参考文献

- [1] 林山衫,武健强,张勃夫.地下水环境脆弱程度图编图方法研究[J].水文地质工程地质,2000(3).
- [2] 陈远发,蒋金柱.浙江省温黄平原环境地质调查评价报告[R].浙江省地质环境监测总站,2004.
- [3] 姜志群.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).
- [4] 杨庆,栾茂田,崇金著,等. DRASTIC 指标体系法在大连市地下水易污性评价中的应用[J].大连理工大学学报,1999,39(5).
- [5] 雷静.唐山市平原区地下水脆弱性评价研究[J].环境科学学报,2003,29(1).
- [6] James W M. GIS-based groundwater pollution hazard assessment: a critical review of the DRASTIC model [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,1994,60(9):618-627.
- [7] Ray I A, Odell P W. Diversity: a new method for evaluating sensitivity of groundwater to contamination [J]. Environmental Geology, 1993(22):344-352.

## Application of DRASTIC model to groundwater vulnerability assessment in Taizhou plain area

ZHANG Tai-li<sup>1</sup>, FENG Xiao-ming<sup>1</sup>, LIU Hong-ying<sup>1</sup>, ZHAO Jian-kang<sup>2</sup>, LI-Wei<sup>2</sup>

(1 Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Jiangsu, Nanjing 210016, China)

(2 Zhejiang Terminus of Geological Environmental Monitoring, Zhejiang, Hangzhou 310007, China)

### Abstract

This paper presents the concepts of the DRASTIC index in brief and applies it in assessing the groundwater vulnerability to pollution in Taizhou plain area. Depth to groundwater and other three parameters are selected to assess groundwater vulnerability in Taizhou plain area according to the specific geological conditions of this area. Numeric modeling and the weighting system are obtained by the analysis of the outcome of the data from the area and the DRASTIC index. Thus the assessing model of the groundwater vulnerability in Taizhou plain area is established. Based on the established assessment system and GIS technique, groundwater vulnerability assessment is conducted in this area and a groundwater vulnerability distribution map is drawn which is a useful tool for groundwater protection. The assessment results express the improved DScTI appraisal model can reflect the highness and lowliness the groundwater vulnerability to pollution in Taizhou plain area.

**Key words:** DRASTIC index system; assessment parameters; Numeric modeling; weighting system