

# DRASTIC 地下水脆弱性评价方法及其应用 ——以泰国清迈盆地为例

张保祥<sup>1,2</sup>, 万 力<sup>2</sup>, JADE Julawong<sup>3</sup>

(1. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250013; 2. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083; 3. Geological Society of Thailand (Siam Tone), Bangkok, Thailand 10230)

**摘要** 针对泰国清迈盆地的特点和区域特色, 利用 DRASTIC 方法对该地区的地下水脆弱性进行了定量评价, 并绘制了地下水脆弱性分区图, 对清迈盆地今后制订地下水资源管理、土地利用、环境保护及城市规划等政策措施具有重要的指导作用。该方法同样适用于我国广大地区的地下水脆弱性评价。

**关键词** 地下水脆弱性; DRASTIC 方法; 泰国清迈盆地; ArcView GIS 工具

**中图分类号**: TV138 **文献标识码**: A **文章编号**: 1004-693X(2007)02-0038-05

## Groundwater vulnerability assessment with DRASTIC method and its application in Chiangmai Basin in Thailand

ZHANG Bao-xiang<sup>1,2</sup>, WAN Li<sup>2</sup>, JADE Julawong<sup>3</sup>

(1. Water Conservancy Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China; 2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Geological Society of Thailand (Siam Tone), Bangkok 10230, Thailand)

**Abstract**: Based on the characteristics of Chiangmai Basin in Thailand, the assessment for groundwater vulnerability is made by DRASTIC method quantitatively and the groundwater vulnerability map is developed in this paper. The results are particularly useful for the local government to make planning of groundwater management, land use, environmental protection, and city development. This method is also suitable for vulnerability assessment of groundwater in most places in China.

**Key words**: groundwater vulnerability; DRASTIC method; Chiangmai Basin in Thailand; ArcView GIS tool

“地下水污染脆弱性”的术语早在 20 世纪 60 年代后期由法国水文地质学家 J. Margat 提出, 但直到 80 年代, 才有了比较系统定义, Jaroslav V 等将其概括为: 脆弱性是地下水系统的固有属性, 它依赖于系统对人类和自然影响的敏感程度<sup>[1]</sup>。地下水脆弱性评价的主要方法有水文地质背景值法、参数系统法、相关分析与数值模型法等。参数系统法中的 DRASTIC 评价标准是目前地下水脆弱性评价中应用最广泛的方法, 它是由美国环境保护局于 1987 年提出的, 先后应用于美国各地的地下水脆弱性评价工作中, 取得了良好的效果, 并被加拿大、南非、欧共体

各国等相继采用<sup>[2-4]</sup>。我国从 20 世纪 90 年代开始引进该方法<sup>[5-9]</sup>, 近年来进行该方法研究的学者不断增多<sup>[10-16]</sup>, 并在全国多处地方得到应用<sup>[17-25]</sup>。

地理信息系统(GIS)是融测量、制图、数据库及空间数据分析与查询、计算机科学和应用对象为一体的综合空间信息管理系统。它可有效地收集、存储、处理、分析和显示空间信息, 具有地域综合、空间分析、动态预测与提供决策支持等功能。ArcView GIS 为用户提供了功能完善、使用便捷的 GIS 应用平台, 它具有图形管理、属性管理、数据管理、条件查询、专题地图制作、预测分析、相关分析、空间分析、

三维分析、网络分析、追踪分析、影像分析、模拟分析与图形输出及发布等功能,可以完成一系列复杂的制图及空间分析<sup>[26]</sup>。因此,在 DRASTIC 地下水脆弱性的评价和填图中,常用它来进行空间数据叠加计算和图形可视化显示。本文应用的是 ArcView GIS 3.2。

## 1 基本概况

清迈盆地位于泰国西北部,包括清迈与南奔两府,面积约 3 000 km<sup>2</sup>。东部为坤丹山脉,西部为英坦昂山脉,湄南河支流宾河从北到南流经盆地,冲积平原高程为海拔 280~300 m,河流两侧一、二级阶地高程分别为海拔 300~330 m 和 330~450 m。该地区平均气温冬季 7~14℃、夏季 36~42℃,多年平均降水量清迈府为 1 135 mm、南奔府为 905 mm。

盆地内岩性主要分为固结与非固结两类,固结类岩石主要包括前寒武纪变质岩、奥陶纪层状灰岩、志留-泥盆纪沉积岩、志留-石炭纪沉积岩(包括页岩、燧石、灰岩及砂岩)、石炭纪的砾岩、砂岩、页岩、粉砂岩、泥岩及灰岩、二叠纪巨厚灰岩(有砂岩与泥岩夹层),局部分布有火成岩体(花岗岩及火山岩)。非固结沉积物主要分布在河流两侧由冲积形成的黏土、砂及砾石,其下伏地层为第三纪半固结的泥岩、粉砂岩及砂岩。

清迈盆地主要含水层为新近沉积的非固结含水层,其埋深为 20~40 m,出水量大于 20 m<sup>3</sup>/h;二级阶地含水层埋深 30~100 m 不等,出水量约 20 m<sup>3</sup>/h;一级阶地含水层埋深最深达 250 m,出水量约 2~10 m<sup>3</sup>/h。固结含水岩层埋深 20~80 m,出水量小于 2 m<sup>3</sup>/h。清迈盆地的水文地质特征决定了该地区可以应用 DRASTIC 方法来进行地下水脆弱性评价。

清迈及南奔两府的生活用水都取自地下水,目前该地区地下水水质普遍较好,局部地区铁、锰和氟含量超标。目前该地区水井数量已经超过 5 000 眼,大部分是用于农业灌溉。地下水总抽取量为 1.0 亿~1.5 亿 m<sup>3</sup>/a。大部分村庄都有自己独立的供水系统,由于地质条件,主要以抽取浅层地下水为主。当地生活污水直接排入地表水体中,因此浅层地下水很容易受到污染。

清迈和南奔两府是近年来泰国人口和工农业增长最快的地区之一,但迄今为止该地区对工业项目和其他能对地下水造成危害的项目的选址还没有法律条文规定,两府只制订了各自的“区域发展规划”。下一步应该依据 DRASTIC 评价方法给出地下水脆弱性分区结果,对地下水的开发利用做出规划,在该区域内某些项目如污染工业、垃圾处理场、污水处理厂以

及其他对地下水水质有影响的活动应该被禁止。

## 2 DRASTIC 评价方法

DRASTIC 方法是目前地下水脆弱性评价中常用方法,它的假设条件如下:污染物由地表进入地下;污染物随降雨入渗到地下水中;污染物随水流动;评价区面积不小于 40.5 hm<sup>2</sup>。DRASTIC 方法由 7 个与地下水防止污染性能有关的水文地质评价参数组成(见表 1)。DRASTIC 指标通常用数字大小来表示,它由 3 部分组成:权重、范围(类别)和评分,其意义如下:①权重:每一个 DRASTIC 评价参数根据其其对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要结合具体的评价区域来选定,清迈盆地 DRASTIC 各评价参数的权重值见表 1。②范围(类别):对于每一 DRASTIC 评价参数来说,根据其其对地下水防污性能的作用大小可以分为不同的范围(类别)。③评分:每个 DRASTIC 评价参数其评分取值范围为 1~10,分别对应于每一评价参数的变化范围(类别)。

表 1 DRASTIC 各评价参数的权重值

评价参数	权重	评价参数	权重
地下水位埋深 $D$	5	地形坡度 $T$	1
净补给量 $R$	4	渗流区岩性 $I$	5
含水层介质 $A$	3	含水层水力传导系数 $C$	3
土壤岩性 $S$	2		

DRASTIC 指标(地下水易污染的可能性)等于  $D_r D_w$ 、 $R_r R_w$ 、 $A_r A_w$ 、 $S_r S_w$ 、 $T_r T_w$ 、 $I_r I_w$ 、 $C_r C_w$  之和。其中  $r$  为评分, $w$  为权重。

计算出的 DRASTIC 指标值大小是相对的,其值越大,说明该区域的地下水越易受到污染。DRASTIC 各评价参数定义如下:地下水位埋深是指地表到地下水位的距离,对承压水来说是指含水层顶板到地表的深度;净补给量是指全年从地表通过入渗补给地下水的总量,以 mm 表示,包括各种形式的补给量(如灌溉入渗、人工回灌及污废水补给等);含水层介质是指具体构成含水层的不同岩性;土壤岩性是指渗流区最上部具有明显生物活动的部分,土壤成分与结构对地下水的补给影响较大;地形坡度是指地表的坡度变化,通常由地形等高线数据来计算;渗流区岩性是指地下水位以上非饱和带部分的岩性,对于承压含水层来说是指含水层顶板以上的部分;水力传导系数是指含水层介质的水力传输性能,它影响污染物在地下水中的运移速率。清迈盆地 DRASTIC 各评价参数的范围(类别)和评分见表 2。

表 2 DRASTIC 指标的范围(类别)和评分

D		R		A		S		T		I		C	
范围/m	评分	范围/mm	评分	类别	评分	类别	评分	范围/%	评分	类别	评分	范围/(m·d <sup>-1</sup> )	评分
0~1.5	10	0~50	1	块状页岩	2	薄层或无/砾石	10	<2	10	承压层	1	<4.1	1
1.5~4.5	9	50~100	3	变质岩/火成岩	3	砂层	9	2~6	9	粉土/黏土/页岩	3	4.1~12.2	2
4.5~9.0	7	100~175	6	风化变质岩/火成岩	4	泥炭层	8	6~12	5	变质岩/火成岩	4	12.2~28.5	4
9.0~15.0	5	175~250	8	冰碛层	5	胀缩性黏土	7	12~18	3	砂岩/灰岩/层状砂岩、灰岩及页岩/砂、砾石、粉土黏土互层	6	28.5~40.7	6
15.0~22.5	3	>250	9	层状砂岩、灰岩及页岩、巨厚层砂岩、巨厚层灰岩	6	砂质壤土	6	>18	1	砂及砾石	8	40.7~81.5	8
22.5~30.0	2			砂和砾石	8	壤土	5			玄武岩	9	>81.5	10
>30	1			玄武岩	9	粉砂壤土	4			岩溶发育的灰岩	10		
				岩溶发育的灰岩	10	黏壤土	3						
						腐质土	2						
						非胀缩性黏土	1						

### 3 地下水脆弱性分区

根据上述 DRASTIC 评价方法,利用 ArcView GIS 作为计算工具,对清迈盆地中清迈府地下水的脆弱性进行了分区,共分为高、中、低 3 个档次,见图 1。

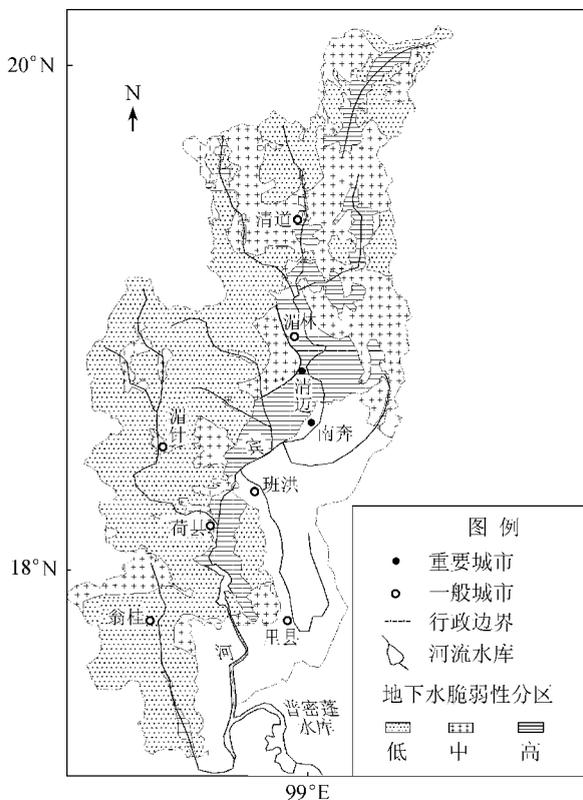


图 1 清迈盆地地下水脆弱性分区

该图显示的土壤介质类型、地下水埋深、地形坡度及水力传导系数与地下水脆弱性之间的关系如表 3 所示。

表 3 地下水脆弱性分区与各评价参数之间的关系

脆弱性分区	土壤介质	地下水位埋深	地形坡度	水力传导系数
高	砂、砾石	浅	较缓	较高
中	沉积岩类	中等	中等	中等
低	变质岩、火成岩	深	较陡	较低

从图 1 中可以看出,清迈府的地下水高脆弱性分区主要分布在清迈盆地腹地,占总面积的 17.65%,一般都是在地下水位埋深较浅、岩层渗透性较强、地下水补给量较大的地区。低脆弱性分区主要分布在清迈盆地的西部地势较高且地形坡度较大的地方,占总面积的 52.50%,该区地下水位埋深非常大。中脆弱性分区占总面积的 29.85%,主要分布在宾河支流区域及部分山间盆地,主要包括大部分的侏罗纪地层分布区,本区地下水位相对较深,是主要的农业耕作区。

将地下水位叠加在地下水脆弱性图上可以发现,地下水位埋深比较浅的地方全部位于地下水高脆弱性分区。在清迈盆地已经有 3 个污染项目建设在地下水高脆弱性区中,它们是 Mae Hai 垃圾填埋场、一些养猪场及部分墓地。供 San Sai 村吃水的水源井就坐落在距离垃圾填埋场仅 250 m 远的地方。

浅层含水层的脆弱性主要取决于表层覆盖层的岩性及其厚度,在富水地段覆盖层往往不连续,因此

不能把覆盖层作为地下水的良好保护层来看待,该处地下水的脆弱性较高。在浅层含水层不发育的地区,其覆盖层的连续性较好,主要含水层的埋深一般在30 m以下,地下水一般不易受到污染,其脆弱性较低,因此,可以建设垃圾处理场、污水处理厂等有可能对地下水造成影响的项目。

图1标出了地下水高脆弱性分区的分布范围,在该区内易对地下水造成污染的活动都应被禁止,因为污染物可以很快渗入水中。在地下水脆弱性较低的地区可以进行诸如工业场地、污水处理厂及垃圾处理场等项目建设。然而,需要说明的是,图1不能代替其他工作,如果进行工程项目建设,更详尽的地质与水文地质勘探是必不可少的。目前,该地区富水地段的地下水还未受到污染,应该制订规划和采取建立地下水监测网络等措施保证它在未来年份亦不会受到污染威胁。

对于地下水高脆弱性分区来说,必须采取一切措施来阻止倾倒垃圾、减少地下水开采量、尽量不用化肥和农药、制止砍伐森林行为,采取这些措施后就会使该区的地下水不再受到污染。对于地下水低脆弱性分区来说,可以进行开发项目建设,经适当处理后可以建设垃圾填埋场,多数的工业项目也可以建设在该区域。地下水中脆弱性分区中要禁止再建新的污染性项目。

#### 4 结 语

a. 地下水脆弱性 DRASTIC 评价方法是一种相对的评价方法,它不会给出绝对的结论。它可以为区域土地利用计划的制订者和开发者提供有关该区域地下水资源保护的指导。

b. 地下水脆弱性评价中并没有考虑污染物质的化学特性,它只考虑了与地下水防污性能有关的水文地质特征。当一个开发建设项目实施前,必须首先弄清楚该区域的地下水质状况和开发建设项目会对地表及地下水造成什么影响。会对地下水造成污染的建设项目尽量不要安排在高脆弱性分区中,在该区中一旦有项目必须实施,则需采取其他工程措施进行弥补,以尽量减少地下水污染发生的可能性。

c. 在利用 DRASTIC 方法进行地下水脆弱性填图的同时,还可以利用其他的方法同时对地下水的脆弱性做出评价,以便能将结果相互比较。

d. 地下水脆弱性 DRASTIC 评价方法的缺点是需要收集大量资料,包括降雨量及补给量、地层岩性、渗流区特性、水力传导系数等参数,地下水的脆弱性是一个动态过程,它需要资料不断更新,并且也需要做出不同比例尺的图件供不同的使用目的。地下水脆弱性图件有助于更好地进行地下水管理,可以帮助政府部门更好地制定部门发展规划。

致谢:本文是作者参加瑞典国际发展合作署(Sida)资助培训计划的部分内容,瑞典 Chalmers 科技大学的 Per Sander 博士、Lars Rosen 博士、Yvonne Young 女士及南非 GEOSS 公司的 Julian Conrad 教授进行了技术指导,泰国清迈大学地质系提供了清迈盆地的基础资料,参加本次培训的还有斯里兰卡、越南、菲律宾、孟加拉等国的学员,对上述组织和个人在此一并表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] JAROSLAV V, ALEXANDER Z. International association of hydrogeologists: guidebook on mapping groundwater vulnerability[R]. International Contributions to Hydrogeology, Hannover:Heise,1994,16.
- [2] LARS R. A study of the DRASTIC methodology with emphasis on swedish conditions[J]. Ground Water,1994,32(2):278-285.
- [3] GENNARO P. Groundwater vulnerability map explanatory notes-castlereagh catchment[M]. Sydney:Centre for Natural Resources, NSW Department of Land and Water Conservation, 2001.
- [4] Water Science and Technology Board, National Research Council. Ground water vulnerability assessment-contamination potential under conditions of uncertainty[M]. Washington, D C:National Academy Press,1993.
- [5] 徐月珍. 法国地下水易污性图[J]. 水文地质工程地质,1990(1):62.
- [6] 蒋益平. 一种新的水文地质图件——地下水易污染性图简介[J]. 世界地质,1996,15(3):71-73.
- [7] 张丽君. 地下水脆弱性评价与编图[J]. 国外地质科技,1998(1):35-42.
- [8] 杨庆, 栾茂田. 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(2):4-9.
- [9] 孙才志, 潘俊. 地下水脆弱性的概念、评价方法与研究前景[J]. 水科学进展,1999,10(4):444-449.
- [10] 林山杉, 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):6-8.
- [11] 孙才志, 林山杉. 地下水脆弱性概念的发展过程与评价现状及研究前景[J]. 吉林地质,2000,19(1):30-36.
- [12] 王国利, 周惠成, 杨庆. 基于 DRASTIC 的地下水易污染性多目标模糊模式识别模型[J]. 水科学进展,2000,11(2):174-179.
- [13] 王国利, 周惠成, 张文国. 含水层易污染性评价的模糊优选方法[J]. 水利学报,2000(12):72-76.
- [14] 张立杰, 巩中友, 孙香太. 地下水环境脆弱性的模糊综合评价[J]. 哈尔滨师范大学学报:自然科学版,2001,17(2):109-112.
- [15] 姜桂华. 地下水脆弱性研究进展[J]. 世界地质,2002,21(1):33-38.
- [16] 陈守煜, 伏广涛, 周惠成, 等. 含水层脆弱性分析评价模型与方法[J]. 水利学报,2000(7):23-30.
- [17] 郑西来, 吴新利, 荆静. 西安市潜水污染的潜在性分析

与评价[J]. 工程勘察, 1997(4): 22-25.

- [18] 郭永海, 沈照理, 钟佐良, 等. 河北平原地下水有机氯污染及其与防污性能的关系[J]. 水文地质工程地质, 1996(1): 40-42.
- [19] 刘淑芬, 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, 19(1): 41-45.
- [20] 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): 684-688.
- [21] 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: 自然科学版, 2001, 29(2): 100-103.

- [22] 马金珠. 塔里木盆地南缘地下水脆弱性评价[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 170-174.
- [23] 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.
- [24] 董亮, 朱荫涓, 胡勤海, 等. 应用 DRASTIC 模型评价西湖流域地下水污染风险[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 217-220.
- [25] 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, 23(1): 94-99.
- [26] 秦其明, 曹五丰, 陈杉. ArcView 地理信息系统实用教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.

(收稿日期 2005-06-27 编辑: 高渭文)

(上接第 3 页)

### 4 水资源安全研究的综合集成方法

水资源安全是水资源复杂巨系统的核心问题, 它可以为水资源可持续利用、水资源承载能力、可持续水资源管理、水资源复杂巨系统和谐等相关研究提供基础和依据。以复杂巨系统理论及其方法论为指导开展水资源安全研究, 建立一套水资源安全评价、调控与保障的完整体系, 有利于实现水资源复杂巨系统的协调与可持续发展。本文探索建立了一种基于规则的水资源安全研究模式, 其中, 水资源安全评价的规则为指标体系, 水资源安全调控的规则是结构化水资源管理整体模型, 水资源安全保障的规则为水资源管理制度(包括体制和机制)。基于规则的水资源安全研究逻辑关系如图 3 所示。

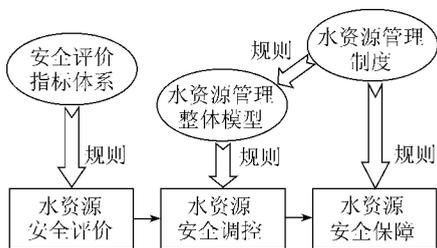


图 3 基于规则的水资源安全研究逻辑关系示意图

从水资源安全研究的内容以及规则体系可以看出, 水资源安全研究涉及水资源安全评价、水资源安全调控、水资源安全保障等环节, 其内容涵盖了自然科学和社会科学的各个领域。作为水资源复杂巨系统研究的一个核心问题, 水资源安全研究需要综合运用水利工程、经济学、社会学、生态学、系统科学、计算机网络技术等多学科知识, 采用定性与定量相结合的综合集成方法。水资源安全研究的综合集成方法可用图 4 来描述。

### 5 结 语

在水资源承载能力范围内, 通过实施可持续水

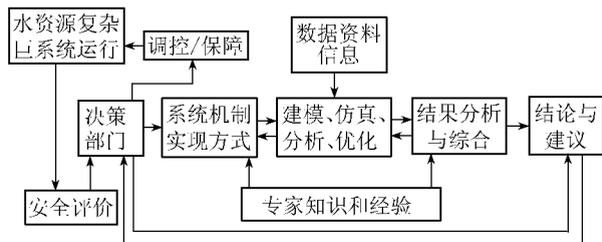


图 4 水资源安全研究的综合集成方法示意图

资源管理, 以水资源安全保障饮水安全、粮食安全、经济安全、生态安全、环境安全, 以水资源可持续利用支撑经济社会的可持续发展, 已成为水问题专家学者的共识。本文以复杂巨系统理论及其方法论为指导, 探讨了水资源复杂巨系统的内涵、组成、和谐层次等问题, 提出了基于规则的水资源安全研究模式以及水资源安全研究的综合集成方法, 为下一步水资源安全评价指标体系、水资源管理整体模型以及水资源安全保障体系的建立奠定了基础。全球变化与人类活动影响下的水循环机理以及水资源安全定量研究模型与方法, 是水资源安全研究进一步努力的方向。

### 参考文献:

- [1] PETER H G. Water and conflict: fresh water resources and international security[J]. International Security, 1993, 18(1): 79-112.
- [2] 钱学森, 于景元, 戴汝为, 等. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990(1): 1-9.
- [3] 卢明森. 开放的复杂巨系统概念的形成[J]. 中国工程科学, 2004, 6(5): 17-23.
- [4] 刘宁. 水基系统的概念内涵与演进研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 475-481.
- [5] 陈家琦. 水资源安全保障问题浅议[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 276-279.

(收稿日期 2006-06-26 编辑: 徐 娟)