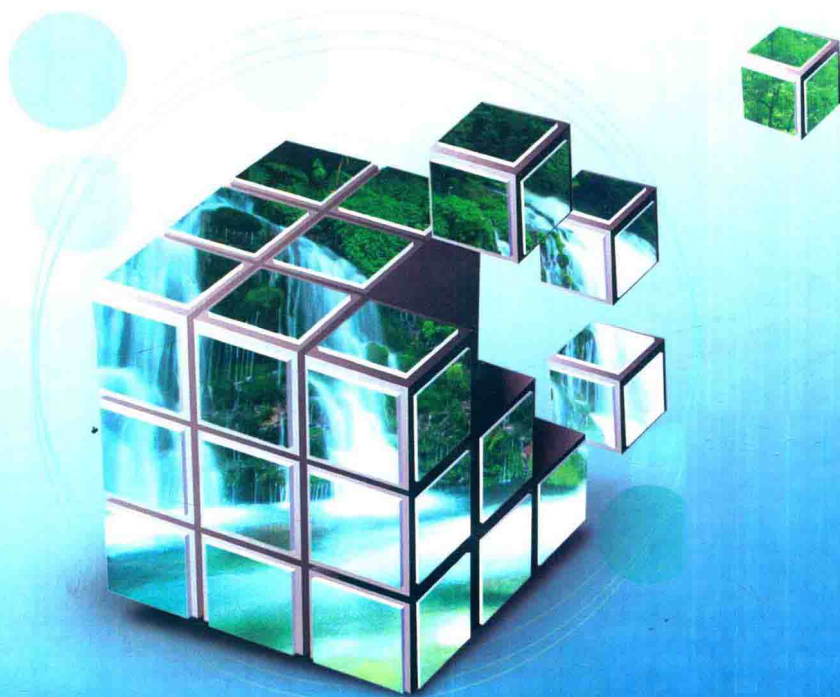


基于过程单元模型 参数替代防污性能评价方法研究 ——以北京市平原区为例

● 何江涛 马文洁 张昕 著



地质出版社

基于过程单元模型 参数替代防污性能评价方法研究

——以北京市平原区为例

何江涛 马文洁 张 昕 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书以探索研究基于过程单元模型参数替代防污性能评价方法(PMPS)为目的,在分析探讨防污性能评价概念模型的基础上,结合 Multi-cell 原理和推流理论,建立了过程单元模型及基于此模型的防污性能评价体系,并以北京市平原区为例,开展了北京市平原区浅层地下水防污性能评价。针对评价结果,分别进行了等级划分对地下水防污性能评价结果的影响分析、钻孔剖面验证分析、与传统防污性能评价方法对比分析,及与北京市地下水的污染现状对比分析,验证了基于过程单元模型的防污性能评价体系的可靠性。

本书可供从事水文与水资源工程、环境科学与工程、地下水科学与工程等领域的广大科技工作者、工程技术人员,以及相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于过程单元模型参数替代防污性能评价方法研究:

以北京市平原区为例/何江涛等著. — 北京:地质出版社,2012.1

ISBN 978-7-116-07617-4

I. ①基… II. ①何… III. ①地下水污染—污染防治—评价—研究 IV. ①X523

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第048354号

责任编辑:李惠娣

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324514(编辑部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:6.75

字 数:200千字

印 数:1—400册

版 次:2012年1月北京第1版

印 次:2012年1月北京第1次印刷

定 价:50.00元

书 号:ISBN 978-7-116-07617-4

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

“地下水防污性能”的概念自 1968 年法国水文地质学家 Margat J. 首次提出后便成为了国内外学者关注的热点。地下水防污性能评价研究不仅可以量化评价包气带结构、人类活动与地下水污染之间的关系，警示人们合理开采利用地下水资源，还能区分特定人类活动、不同污染条件下区域水文地质结构抵御污染能力的高低，最大限度地保护地下水资源。

地下水防污性能评价作为一种环境规划和决策的工具，在国内外的研究与利用从未间断。时至今日，国内外专家学者根据研究已提出了近 30 种防污性能评价方法，主要包括：叠置指数法、过程数学模拟法、统计方法和模糊数学法等几大类。近年来，与计算机技术相结合进一步促进形成了基于 GIS 技术的防污性能评价方法。在所有地下水防污性能评价方法中，美国 EPA 于 1987 年提出的 DRASTIC 评价方法应用最为广泛，但是在多年的实际研究中，DRASTIC 评价方法表现出了较为明显的随机性和模糊性。因而对传统方法指标体系的完善或是对新的评价方法进行尝试性探索已经成为了研究的趋势和重点。

国内外有相当一部分学者认为，在地下水防污性能评价过程中，应当按照实际的水文地质条件灵活地增加或减少评价指标，或者考虑污染物在土壤中的变化，模拟污染物在土壤中发生吸附、降解等阻滞作用。DRASTIC 作为一种常用评价方法在引入我国使用时，由中国地质调查局颁布的《地下水脆弱性评价技术要求》(GW1-D3) 中给出的调整后的 DRASTIC 方法，更加强调了介质的的重要性。但是这些方法仍然存在着或多或少的不足，其中增加或缩减评价指标会在一定程度上加大工作量或是降低评价结果的可靠性，且增加或缩减的指标由于不具有统一性而使结果缺乏可比性，采取运移模拟的评价方法则存在计算参数过多及计算过程复杂的缺点。

为解决这一问题，作者所在研究小组依托环保部公益性行业科研专项

(200909038-1)、中国地质调查局国土资源大调查项目(1212010634505)、水利部公益性行业科研专项(201101051-2)及国家自然科学基金项目(40702060),以平原区松散孔隙介质地下水防污性能评价为主要对象开展了多年研究。最终在分析探讨防污性能评价概念模型的基础上,确定了以突出包气带特征属性对防污性能评价的影响为原则,根据污染物在包气带中的垂向迁移基本原理和主要受控因素,结合 Multi-cell 原理和推流理论,构建出一个简单可行的污染物垂向运移衰减理论模型,并基于此模型采用参数替代方法构建了一套新的防污性能评价体系和方法,命名为基于过程单元模型参数替代防污性能评价方法(PMPS)。本书即在上述研究成果的基础上编写而成。

全书共分5章,分别从国内外相关研究的现状、过程单元概念模型的构建及参数设置、基于过程单元模型的地下水防污性能评价体系在北京市平原区的应用与讨论、过程单元模型评价体系与传统评价体系在结果上的对比与讨论等几个方面进行研究和总结。其中第一章绪论由何江涛和张昕编写,第二章地下水防污性能评价方法改进由何江涛、马文洁和张昕编写,第三章北京市平原区地下水固有防污性能评价由何江涛和马文洁编写,第四章地下水防污性能评价方法结果验证及分析由何江涛和马文洁编写,第五章结论与建议由何江涛和马文洁编写。全书由何江涛统稿,马文洁和张小亮负责了本书图件的清绘。除上述编写人员外,研究生金爱芳、王俊杰、李玮、石钰婷、陆燕、刘丽雅等也协助完成了大量工作。本书出版还得到了中国地质大学(北京)水资源与环境学院的资助,另外本书还参考了其他单位及同志的研究成果,均已在参考文献中列出,在此一并感谢。

由于时间仓促、作者水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请读者批评指正。

联系地址:北京市海淀区学院路29号中国地质大学(北京)水资源与环境学院(100083)

Email: jthe@cugb.edu.cn.

作者

目 录

前 言

第一章 绪 论	1
第一节 研究背景与意义	1
第二节 国内外研究现状	2
一、地下水防污性能的评价方法	5
二、国内外地下水防污性能研究进展	10
第三节 研究内容	15
第二章 地下水防污性能评价方法改进	17
第一节 防污性能评价的概念性模型	17
第二节 改进方案基本思路	20
第三节 过程单元模型构建及参数设置	23
第三章 北京市平原区地下水固有防污性能评价	31
第一节 研究区概况	31
第二节 北京市平原区固有防污性能评价	37
一、地下水防污性能评价试算	37
二、地下水防污性能分层评价	39
三、综合地下水防污性能评价	48
第三节 北京市平原区固有防污性能评价结果分区讨论	51
一、潜水固有防污性能评价结果分区讨论	52
二、承压水固有防污性能评价结果分区讨论	54
第四节 承压水评价概化问题的讨论	57

第四章 地下水防污性能评价方法结果验证及分析 59

 第一节 北京市平原区固有防污性能评价结果验证 59

 第二节 DRASTIC 与 PMPS 评价结果对比分析 65

 一、DRASTIC 方法评价结果 65

 二、两种方法的评价结果对比 70

 第三节 DRASILE 与 PMPS 评价结果对比分析 84

 第四节 与北京市平原区地下水污染状况对比分析 86

 一、北京市平原区氨氮水质分区 86

 二、北京市平原区硝酸盐水质分区 90

第五章 结论与建议 94

 第一节 结 论 94

 第二节 建 议 95

参考文献 96

第一章 绪 论

第一节 研究背景与意义

中国的地下水天然资源占全国水资源总量的 $1/3$ ，地下水开采量占全国总供水量的 20% ，全国 70% 的人口饮用地下水（吴登定等，2005），而用于农业灌溉的地下水占地下水开采总量的 80% 以上。2008 年，全国总供水量 $5910 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，全国新开发利用的地下水总量就达到了 $1081.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全国总供水量的 18.3% 。北方各省级行政区地下水源供水占有较大比例，其中河北、北京、山西和河南 4 个省（直辖市）占总供水量的 50% 以上（中华人民共和国水利部，2010）。但是，随着我国社会经济的发展，城市水资源供需矛盾日益尖锐。20 世纪 60 年代以来，为了促进社会经济、工业化和城市化的高速发展，中国北方大规模开采地下水，长期过度开采地下水造成了地下水水位持续下降，同时，城市化和工业化发展产生的污水和固体垃圾也造成了地下水的污染等一系列问题。这些问题不仅会影响供水安全，还可能诱发环境问题，给社会经济带来巨大的损失（李闽，2003）。因此，对地下水水环境的合理评价及优化，合理地开发利用地下水，是实现地下水资源可持续发展战略的重要措施之一（李云先等，2005）。

地下水的流动十分缓慢，交替程度较弱，自净能力低，一旦受到污染难以有效恢复（崔学慧等，2008；毛媛媛，2006；赵勇胜，2007；申利娜等，2010）。要有效控制地下水的污染，就需要对地下水的污染来源、污染途

径、污染防治及修复进行全面系统的研究。

地下水防污性能评价作为一种预防地下水污染的重要手段已经被广泛运用到地下水资源的综合管理之中。地下水防污性能 (Groundwater - Vulnerability) 是指“地下水受进入地下水系统的污染物污染的可能性” (Hamza et al., 2007)。地下水防污性能评价研究可以量化评价包气带结构、人类活动与地下水污染之间的关系, 区分特定人类活动和污染物条件下区域水文地质结构抵御污染能力的高低。开展地下水防污性能研究, 评价地下水潜在的易污染性, 圈定脆弱的地下水范围, 既可以警示人们合理开采利用地下水资源, 也可帮助决策者和管理者合理制定地下水的管理战略方针, 将有限的资金和人力直接投入到容易受到污染的地区, 最大限度地保护地下水资源 (杨庆等, 1999; 卞玉梅等, 2008; 杨国民等, 2010)。

第二节 国内外研究现状

1968 年, 法国人 Margat 首次提出地下水防污性能概念, 这一概念是由 “groundwater (aquifer) vulnerability to pollution” 一词翻译演变而来。英文中用 “groundwater (aquifer) vulnerability to pollution” 一词来表述含水层受污染的可能性。简略的表述为 “groundwater (aquifer) vulnerability” 或 “vulnerability”, 有时也用 “groundwater pollution potential” (地下水污染可能性) 一词代替。其基本含义是指地表污染物进入地下水 (含水层) 的难易程度 (孙才志等, 2000; 张丽君, 2006; 吴登定, 2006)。由于地下水防污性能评价构成因素的复杂性和研究水平的局限性, 各国的水文地质学家们从不同角度根据各国的实际情况, 对其概念进行了不同的释义。1987 年, 在荷兰召开的土壤和地下水对污染物的防污性能国际会议给出如下定义: 地下水水质对外加污染负荷的敏感性, 取决于含水层的本质特性 (Duijvenbooden et al., 1987; National Research Council, 1993)。Daly et al. (2002) 认为地下水防污性能是 “定义地下水对人类活动造成的污染物的防污性能的术语”。1993 年美国国家研究理事会 (National Research Council, 1993)、美国国家研究委员会 (Vrba, 1994) 给出的定义

为：污染物从含水层上部某一位置进入地下环境后到达地下水系统某一特定位置的趋势和可能性，把防污性能理解成污染潜在可能性（Contamination Potential）。与此同时，还将地下水防污性能分为固有或天然防污性能（Intrinsic Vulnerability）和特殊防污性能（Specific Vulnerability）两类（钟佐燊，2005；李志萍等，2008）。固有防污性能是指在天然状态下，地下水系统对污染和人类开发利用所表现的内部固有的敏感属性，固有防污性能是静态、不可变和人为不可控制的。特殊防污性能是指地下水对某一特定污染源或人类活动的敏感性，包括气候环境变化、人类土地利用活动和农业化学品（如除草剂和硝酸盐源）施用等，是动态、可变和人为可控制的。一类是本质脆弱性，即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；另一类是特殊脆弱性，即地下水对某一特定污染源或污染群体或人类活动的脆弱性。

国内引进“groundwater vulnerability”一词之初，不同的学者根据其英文原文翻译为“地下水脆弱性”、“地下水易污性”或“地下水敏感性”等。随着认识的不断深入，为使这一外来名词术语具有既简单又确切的中文含义，将其译为“地下水（含水层）防污性能”。所谓“地下水（含水层）防污性能”是指地下水（含水层）防止污染的能力，简称“地下水防污性能”，但防污性能分级正好与英文的“vulnerability”的分级相反，即地表污染物很易进入地下水的地区是地下水防污性能差的地区，反之是属于防污性能好的地区（吴登定，2006）。目前，这一术语逐渐被广泛接受。

虽然从地下水防污性概念的提出到现在已经有 40 多年了，但人们尚未形成统一的认识。尽管如此，国内外大部分学者倾向于美国国家科学研究委员会关于将地下水防污性分为两类的主张。目前关于防污性能一致认识主要包括：①地下水含水层防污性应分为天然防污性和特殊防污性。②天然防污性与地表和地下的天然条件有关，而与污染物的性质无关，是含水层天然的固有特性。③特殊防污性不但与地表和地下的天然条件有关，而且还与污染物的性质有关。不一致的认识主要表现在：①天然防污性的研究范围不一样：一部分观点认为地下水含水层防污性的研究范围为“地表至地下水面”（Albinet et al., 1970）；另一部分观点认为地下含水

层防污性研究范围为整个含水层系统 (Villumsen et al., 1982)。②对应上述研究范围,防污性能的内涵不一样。前者是影响污染物渗透和扩散的能力,后者则是系统输出的响应,是含水层系统对污染物敏感性和容量的综合反应。除此之外,关于地下水污染风险评价与防污性能评价之间的关系,也存在一些争议。早期有些研究将考虑人类土地利用活动影响因素(造成不同程度的污染强度)的防污性能评价称为地下水污染的风险评价,并将评价成果直接应用于水源保护和土地利用规划之中,指导人类的土地利用活动。典型案例研究包括以色列 Martin et al. (2001) 和英国 Secunda et al. (1998) 的地下水污染风险评价与编图的理论研究和实践探讨。后来人们逐渐认识到,地下水污染风险是指含水层中地下水由于人类活动而遭受污染的可能性。地下水污染风险是含水层污染脆弱性与人类活动造成的污染负荷之间相互作用的结果。因此,在地下水污染风险评价中主要考虑两方面:一是表征自然特征的含水层防污性评价,即含水层的固有防污性评价,以反映地下水系统消纳污染物的自净能力;二是表征不同土地利用活动产生不同污染负荷的影响。将二者结合起来便可得到地下水污染的风险评价结果。也就是说,地下水污染风险评价,不仅要考虑人类活动产生的污染负荷的影响以及含水层系统抵御污染的能力,还要考虑污染受体(地下水系统)的预期损害性(即地下水价值功能的变化)以及污染物的类型和污染的辐射能力(污染的传递速度)(张丽君,2006)。地下水污染风险不仅取决于防污性,也与大量可能存在的污染物进入地下环境有关。如果没有充分的污染源,即使含水层的防污性能再差,也不具污染的危险性。另一方面,如果存在充分的污染源,即使含水层的防污性能较好,受到污染的风险也是很高的。然而,这种区别是针对固有防污性能和地下水污染风险评价的,关于特殊防污性能评价与地下水污染风险评价之间的关系,目前尚没有明显的界定和区分。

地下水防污性能评价是为保护地下水资源免受污染或尽可能少受污染所进行的基础性评价工作,其评价过程就是根据已有的资料将研究区的污染潜在可能性进行量化的过程。与其概念相对应,地下水防污性能评价包括固有防污性评价与特殊防污性评价两类。影响地下水防污性能的因素很多,归纳

起来可分为自然因素和人为因素两类, 各类因素又包括若干主要参数和次要参数, 自然因素是指地形、地貌、地质及水文地质条件, 以及与污染物运移有关的自然因子; 人为因素主要指可能引起地下水污染的各种行为因子。需要指出的是, 建立包含上述因素的庞大指标体系, 在实际应用中是不可能和不现实的。因为指标越多, 意味着需投入的工作量越大, 而且有些指标(如土壤的成分、粘土矿物含量等)在区域性评价中取值比较困难; 另外, 指标越多, 指标之间的关系也就越复杂, 容易造成指标之间相互关联或包容, 同时也会降低主要指标的影响。因此, 在评价一个地区含水层防污性能时, 应根据研究的目的、范围, 研究区的地质, 水文地质条件以及污染源等选取评价指标, 优先考虑影响防污性能好坏的主要因素, 并结合次要因素进行综合评价。

一、地下水防污性能的评价方法

地下水防污性能评价方法种类很多, 大体可以归纳为统计学方法 (Statistical Methods)、叠置指数法 (Overlay and Index Methods)、过程数值模拟法 (Methods Employing Process-based Simulation Models)、模糊数学综合评价法 (Fuzzy Comprehensive Evaluation Methods)。近年来, 将防污性能评价与计算机技术结合, 还形成了一些基于 GIS 技术的防污性能评价方法 (表 1-1)。

表 1-1 所列方法中, 统计学方法依赖于大量监测数据, 通过对地下水污染数据进行数理统计分析, 确定地下水脆弱性评价因子并赋值, 用分析方程计算得到定量的分析结果。叠置指数法通过选取评价参数的分指数, 进行叠加得到反映脆弱性程度的综合指数, 能够得到定性半定量或定量的结果。该法具有低成本、数据易获取的特点, 可以很好地表现出评价区域的防污性能分区趋势, 适用于区域性的防污性能评价。但是粗线条描述在一定程度上影响了评价结果的准确性。它又分为水文地质背景参数法 (Hydrogeologic Complex and Setting Methods) 和参数系统法 (Parametric System Methods)。过程数值模拟法是在污染物运移模型基础上建立防污性能评价公式, 将各评

表 1-1 评价方法汇总表

方法类型名称		方法理论	评价精度	假设条件	方法特点
统计学方法		用统计学的方法查明地下水中污染物的空间变化与实际分布的联系			水质观测的正确性、数据的准确性和空间变化的谨慎选择
叠置指数法	水文地质背景法	通过将研究对象与一个同其条件相类似的且已知脆弱性的地区相比较，进而得出研究对象的脆弱性	精度低	污染物随水迁移。污染物随降雨入渗进入地下水系统。污染物在地表分布均一	结果定性或半定量，依赖于实施者的主观因素较多
	参数分级系统	根据因子的变化范围，为每一个考虑的因子建立一个主观的防污性能评价分级。每个因子分级的对应得分之和为防污性能评价得分	精度中等		方法简便易用，评价基本数据易获取，用定量或半定量数据描述，精度有所保证；因子刻画较粗
	计点评分系统	是一类分级系统法的特例，在分级系统法的基础上加入权重，用来体现因子之间的重要程度	精度较高		方法简便，基本数据易获取，体现因子间的重要程度。精度较好
过程数值模拟法		在水分和污染质运移模型基础上，建立一个防污性能评价数学公式，将各评价因子量化后放在公式中求解得出一个可评价防污性能的综合指数	精度高	根据模型选择	结果精度高。评价所需数据量大，过程繁琐，很难区域性应用
模糊数学综合评判		在传统评价方法的基础上利用模糊数学的手段来确定因子评分体系和因子权值	精度高	与选择的传统评价方法相同	对传统评价方法进行模糊数学手段优化，提高了精度；过分依赖于数学模型
基于 GIS 技术评价		传统的防污性能评价方法与 GIS 技术结合的产物。应用角度很多	精度较高		与 GIS 技术结合，提高效率的同时避免了人为因素干扰，提高了精度
多方法综合评价		对同一地区进行多方法的评价，然后将各种方法的评价分级重新划分，得到最终的评价结果	精度较高	与采用的各种方法假设条件相同	避免了单一方法的缺点，获得的结果较为可信

价因子定量化,得出区域防污性能综合指数。该方法的评价精度较高,能比较准确地反映地下水系统本身的防污性能,但是由于评价所需数据量很大,限制了其应用空间,通常只适用于小范围评价。模糊数学综合评价法避免了叠置指数法的主观人为因素,使评价结果更符合客观实际,是一类比较好的评价方法。但其评价结果的准确性依赖于各种数学模型的建立。基于 GIS 技术的评价方法结合了当今比较先进的计算机技术,取得了一些成果。

尽管防污性能评价方法很多,但是绝大多数研究和报告中,固有防污性能评价多采用计点评分指数模型。其基本原则是,第一,选择对地下水污染影响最明显的地质与水文地质条件作为评价因子;第二,对各因子的评分范围进行划分,各评分范围给予不同的分值,防污性能好的分值低,反之则高;第三,根据各种因子对地下水防污性能影响的大小赋予不同的权重值,影响大的权重值大,反之则小;最后把各单因子的评分值通过某种数学方式变为量纲为一的防污性能指数,以防污性能指数的大小,评价该地区地下水防污性能的好与差。到底要考虑哪些因子,各种因子的区间(或类别)如何划分,评分值和权值给多少,用哪种数学方式计算防污性能指数,各家都有不同的选择,人为因素影响很大(钟佐荣,2005)。目前最为经典且应用最为广泛的是 DRASTIC 模型,它是由美国环保局(U. S. EPA)1985 年提出的。该方法曾在美国许多地区用于地下水防污性能编图。此外,在世界一些国家也曾应用此模型,例如欧盟、南非、葡萄牙、尼日利亚、韩国和以色列等。DRASTIC 的命名是根据选择的 7 个因子的首字母组成。这 7 个因子分别为:地下水埋深 D (Depth to Water Table)、净补给量 R (Net Recharge)、含水层介质 A (Aquifer Media)、土壤介质 S (Soil Media)、地形坡度 T (Topography)、包气带影响 I (Impact of the Vadose) 和水力传导系数 C (Hydraulic Conductivity of the Aquifer),按其防污性能影响的大小分别赋予权重值,影响最大的权重值为 5,最小的为 1。权重值是不变的常数,分所有特征权重值和农业权重值两类,具体权重取值见表 1-2。设计因子评分的分值范围是 1~10,防污性能最好的评分为 1,最差的评分为 10,详见表 1-3。

表 1-2 DRASIC 指标体系中各评价参数

评价指标	权 重	
	<i>a</i>	<i>b</i>
地下水埋深 <i>D</i>	5	5
净补给量 <i>R</i>	4	4
含水层介质 <i>A</i>	3	3
土壤介质 <i>S</i>	2	5
地形坡度 <i>T</i>	1	3
包气带影响 <i>I</i>	5	4
含水层水力传导系数 <i>C</i>	3	2

注：*a* 为通常情况的权值；*b* 为针对农药污染的权值。

表 1-3 DRASTIC 因子评分、分级表

地下水埋深 <i>D</i>			
范围/ft ^①	分级值	范围/ft	分级值
0 ~ 5	10	50 ~ 75	3
5 ~ 15	9	75 ~ 100	2
15 ~ 30	7	> 100	1
30 ~ 50	5		
净补给量 <i>R</i>			
范围/ft	分级值	范围/ft	分级值
0 ~ 2	1	7 ~ 10	8
2 ~ 4	3	> 10	9
4 ~ 7	6		
地形坡度 <i>T</i>			
范围/ft	分级值	范围/ft	分级值
0 ~ 2	10	12 ~ 18	3
2 ~ 6	9	> 18	1
6 ~ 12	5		

续表

水力传导系数 C

范围/(GPF · ft ⁻²)	分级值	范围/(GPF · ft ⁻²)	分级值
1 ~ 100	1	700 ~ 1000	6
100 ~ 300	2	1000 ~ 2000	8
300 ~ 700	4	> 2000	10

含水层介质 A

含水层介质	分级值	典型分级值	含水层介质	分级值	典型分级值
块状页岩	1 ~ 3	2	块状砂岩	4 ~ 9	6
变质岩/火成岩	2 ~ 5	3	块状石灰岩	4 ~ 9	6
风化变质岩/火成岩	3 ~ 5	4	砂和砾石	6 ~ 9	8
薄的砂岩岩床、 石灰岩、页岩	5 ~ 9	6	玄武岩	2 ~ 10	9
			喀斯特石灰岩	9 ~ 10	10

土壤介质 S

含水层介质	分级值	典型分级值	含水层介质	分级值	典型分级值
薄层或没有	10		肥 土	5	
砂砾层	10		粉砂质壤土	4	
砂 层	9		粘壤土	3	
收缩和/或聚集的粘土	7		未收缩的和 未入侵的壤土	1	
砂质壤土	6				

包气带影响 I

含水层介质	分级值	典型分级值	含水层介质	分级值	典型分级值
淤泥/粘土	1 ~ 2	1	夹带淤泥和粘土 的砂和砾石	4 ~ 8	6
页 岩	2 ~ 5	3			
石灰岩	2 ~ 7	6	变质岩/火成岩	2 ~ 8	4
砂 岩	4 ~ 8	6	砂和砾石	6 ~ 9	8
石灰岩岩床、 砂岩、页岩	4 ~ 8	6	玄武岩	2 ~ 10	9
			喀斯特石灰岩	8 ~ 10	10

注：此表根据《DRASTIC：评价水文地质单元的地下水污染潜势标准系统》（水文地质工程地质技术方法研究所译）整理而成。①1ft（英尺）=0.3048m。②1GPF=3.78543L/min。

DRASTIC 指数用“ DI ”表示，由下列公式计算：

$$DI = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

式中： D_R 为 D 指标的评分值； D_W 为 D 指标的权重值； R_R 为 R 指标的评分值； R_W 为 R 指标的权重值； A_R 为 A 指标的评分值； A_W 为 A 指标的权重； S_R 为 S 指标的评分值； S_W 为 S 指标的权重值； T_R 为 T 指标的评分值； T_W 为 T 指标的权重值； I_R 为 I 指标的评分值； I_W 为 I 指标的权重值； C_R 为 C 指标的评分值； C_W 为 C 指标的权重值。

DI 值越大，相应区域的地下水防污性能就越低，该区域的地下水越容易遭受污染。

DRASTIC 方法也有其特殊的应用方面，用该方法评价承压水时，净补给量的影响较小，此时直接取值为最小值 1；由于含水层上具有稳定的隔水层，包气带影响也取最小值 1。而在评价一些特殊地区（例如岩溶含水层）时，由于含水层本身的水文地质条件决定了评价中的某一个因子在该地区的评分值往往比其他因子高出很多，此时则要适当采用单因子补偿的方式，对地下水系统的防污性能评价结果进行修正。

二、国内外地下水防污性能研究进展

1. 国外地下水防污性能研究进展

(1) 研究地域逐渐增加。美国使用 DRASTIC 方法在得克萨斯州、怀俄明州、罗得岛、马萨诸塞州、威斯康星州、内布拉斯加、特拉华州和南达科他州等地区进行了大区域含水层防污性能评价；对俄克拉荷马州的 12 个主要含水层，也采用了类似的方法进行了含水层防污性能填图（Martin et al., 2001; Yosuke, 1997）；英国的 Secunda et al. (1998) 对地下水污染风险评价与编图的理论研究和实践进行了探讨；以色列 Martinl (Martin et al., 2001) 对地下水污染风险评价进行理论研究和实践探讨，并将评价成果直接应用于水源保护和土地利用规划之中；Jamrah (2008) 运用 DRASTIC 方法，结合 GIS 平台在阿曼进行了防污性能评价。

(2) 研究领域逐渐加深，不仅针对固有防污性能，一些针对农业污染