

成果

环境地质调查评价成果

城市地质环境评价理论方法

刘长礼 周爱国 等著



地质出版社

刊成果

全国主要城市环境地质调查评价成果

城市地质环境评价 理论方法

刘长礼 周爱国 侯宏冰 张 云 梁和成
王秀艳 叶 浩 姜建梅 裴丽欣 宋 超
涂 婧 董 华 王晶晶 杨 柳 吴 尚
吕敦玉 郑国明 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

经过几十年的发展,地质环境评价方法已有很多,但仍不能满足城市规划、管理与城市地质环境保护、资源安全与合理利用的需求,也不能完全满足“全国主要城市环境地质调查评价”项目的需要。为了解决供需矛盾问题,地质调查计划项目“全国主要城市环境地质调查评价”专门设置了城市地质环境评价方法创新研究的内容。本书为此项研究成果,从城市地质环境质量、适宜性评价,地质环境资源价值核算、地质环境风险评价与防控、地质灾害或环境问题危害与损失评估、城市垃圾场选址与适宜性评价、地质资源保障程度论证及调查成果图件编制方法等方面较全面系统地开展了研究,取得了许多突破性成果。这些方法解决了地质环境质量、地质环境风险、地质灾害与地质环境问题损失评估、城市垃圾处置场的选址与环境效应评价等方面的理论与评价指标等复杂问题,在全国城市(城市群或经济区)环境地质调查评价的实践中得到了广泛的推广应用。

本书可供从事城市(城市群或经济区)地质环境调查评价、城市地质学或环境地质学科研人员使用及大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市地质环境评价理论方法 / 刘长礼等著. —北京:
地质出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-116-07592-4

I. ①城… II. ①刘… III. ①城市地质环境—评价
IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 019487 号

CHENGSHI DIZHI HUANJING PINGJIA LILUN FANGFA

责任编辑: 赵俊磊 杨友爱 祁向雷

责任校对: 黄苏晔

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324538 (总编室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 18

字 数: 450 千字

印 数: 1—1000 册

版 次: 2012 年 7 月北京第 1 版

印 次: 2012 年 7 月北京第 1 次印刷

定 价: 80.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-07592-4

(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)

序

城市环境地质学是环境地质学的一个分支学科,是应用地质学原理、方法和地质资料对城市地区(可泛指城市密集区、城市群地区或重要经济区)进行规划、管理,以保障城市地质环境安全、地质资源科学利用与保护的一门学科。城市环境地质学并非城市水文地质学、工程地质学、灾害地质学等学科的简单加和,它与这些学科的主要区别不在调查技术、手段方面,而在地质环境评价理论方法层面。如何将调查取得的水文地质学、工程地质学、灾害地质学等复杂的专业资料信息,通过适当的评价方法进行深加工处理后,变成城市规划建设管理者、资源利用与环境保护者、城市防灾减灾管理决策者等易看懂、方便使用的产品(文字建议、图件或信息系统等),是城市环境地质学的核心,也是开展城市地质调查评价的关键。因此,城市地质环境评价理论方法是城市环境地质学的核心,是城市(城市群或经济区)环境地质调查评价的关键方法。

关于地质环境评价方法已有许多,一定程度上满足了一定时期不同的需求。但随着城市化的快速推进,城市人类工程活动不断加剧,城市区域人与地质环境矛盾日益激化,而城市居民对城市安全、生活环境质量等要求不断提高,对城市规划、建设、管理与城市发展提出了更高、更新的要求,从而对城市地质环境评价提出了更高、更新的要求。为满足要求,本书作者在开展“全国主要城市环境地质综合评价”项目过程中,进行了城市地质环境评价方法创新研究,取得了大量创新性成果,解决了许多过去没有解决理论方法的问题。

1) 基于 DRASTIC 指标地下水脆弱性评价方法,提出了地下水易污性的模糊综合评价方法,克服了 DRASTIC 指标在含水层水文地质条件的差异考虑不足、不能真实地反映不同水文地质单元指标之间的差异的缺点。

2) 针对过去地质环境综合质量评价方法实用性、针对性不够强的缺点,研究出了分别针对不同建设用地类型的地质环境质量评价方法,解决了居住用地、公共设施用地、工业用地、仓储用地、生态绿化用地适宜性评价理论方法问题。

3) 从地学角度研究出了城市建设用地规划后评价方法,解决了对城市规划合理性地学评判的方法论问题。

4) 水、土资源为支撑城市发展的关键资源,但如何评价其对城市发展所起的作用一直是多年来未解决的问题。本书提出的城市水土资源保障程度论证方法,解决了这一问题。

5) 在总结国内外大量风险定义、事故概率计算方法的基础上,根据不同的地质环境及其事故发生的机理、规律和特点,首次提出了地下水污染、崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷等事故危险度或概率的评估或计算方法,解决了多年来一直困扰地质环境风险评价的量化与控制方法问题。

6) 首次提出了地质环境具有价值的观点,并提出了地质环境价值核算方法,奠定了地质灾害或地质环境问题所造成的损失评估的理论基础。

7) 提出了地质灾害或地质环境问题所造成的损失评估的理论方法与指标体系, 解决了地质环境功能价值或地质环境经济损失评估理论方法问题。

8) 根据黄土高原地区、岩溶山区、一般丘陵山区地质环境与条件在城市垃圾填埋场选址与适宜性评价方面的特殊性, 有针对性地研究出了分别适用于黄土高原地区、岩溶山区、一般丘陵山区的城市垃圾填埋场选址与适宜性评价的理论方法, 解决了这几类地区城市垃圾填埋场选址与适宜性评价理论方法问题。

本书提出的城市地质环境评价方法已在刚刚完成的地质大调查计划项目“全国主要城市环境地质调查评价”实施过程中, 对全国 316 个主要城市的地质环境进行了评价, 编制了全国 316 个主要城市地质环境图件, 并在 2008 年汶川地震后震区灾后重建地质安全论证中发挥了重要作用。

诚然, 地质环境评价理论方法研究是一项艰巨复杂的工作, 本书阐述的理论方法尚需不断完善, 诸如地质环境容量、承载力等评价方法尚未解决, 并且随着需求的不断提高或更新, 新的评价理论方法期待着我们与广大同行一起去探索。

作者

2012 年 2 月 28 日

前言

我国城市化进程十分迅速,在1978年到2010年30多年里,城市化率从17.9%增加到47.50%,城市人口从1.72亿增加到6.31亿,城市已从193个增加到657个。我国已将走城市化道路作为一项基本国策。城市化加速发展,已成为国内经济增长的推进器。城市区域不断扩张,在经济发达地区形成了诸如长三角、珠三角、环渤海、海峡西岸、中原、关中、北部湾、山东半岛、辽中南、长江中游、长株潭等城市群或重要经济区,……。伴随着城市化发展,城市成为人类活动最剧烈、人地矛盾最尖锐、环境最脆弱、居民对环境要求最高的“四最”地方。城市地质环境是城市环境的关键组成部分,直接从根本上影响着城市环境质量。城市地质环境质量的优劣需要适当的评价方法,但这样的方法一直没有得到很好的解决。

我国正在开展全国城市环境地质调查评价、全国重要城市群与经济区地质环境综合调查评价等工作,需要对城市的地质环境条件、地质灾害与环境地质问题、地质资源等进行评价,涉及环境地质的方方面面,需要的评价方法很多。虽然原有的“地质灾害危险性与易发性评价、地下水质量评价、地下水脆弱性评价、地下水污染评价、平原区城市垃圾填埋场选址与适宜性评价、地下水资源评价、土壤污染评价”等方法相对成熟,但仍然远远不能满足不断增长的需求,需要解决诸如“地质环境价值核算、地质环境价值风险评价、地质灾害经济损失评估、地下水污染经济损失评估、土壤污染经济损失评估、城市水土资源保障程度论证、城市建设用地地质环境质量评价、城市不同功能用地地质环境质量评价、城市建设用地规划后评价、土壤环境容量评价”等方法问题,需要解决“岩溶山区、一般山区、黄土地区等地区城市垃圾填埋场选址与适宜性评价”等方法问题。

为此,中国地质调查局组织、水文地质环境地质研究所实施的地质大调查“全国主要城市环境地质调查评价”计划项目设计了城市地质环境评价方法创新研究任务,本书为此研究结果的总结。全书共由城市地质环境质量评价、城市地质环境资源价值核算、城市地质环境经济损失评价方法、城市垃圾处置场选址与适宜性评价方法、城市地质环境风险评价方法等五章组成。

第一章阐述了城市地质环境评价原理之后,介绍了基于DRASTIC指标的地下水防污性模糊综合评价、城市建设用地地质环境质量评价、城市建设用地规划后评价、城市土壤环境质量评价、土壤环境容量评价及城市水土资源保障程度论证等方法。

第二章讨论了地质环境的价值评价的理论与方法。回答了地质环境资源的价值观问题。引入环境资源经济学的原理或理论,对地质环境价值的定义与内涵、构成、特点及地质环境质量与价值的关系、地质环境价值分类、评价理论和核算方法等方面做了一些探讨。

第三章在总结大量国内外环境经济影响、环境功能价值损失和地质灾害危害损失评价理论方法的基础上,讨论了地下水污染经济损失的“浓度—价值损失率”、“工程费用法或恢复费用法”评价方法,以及滑坡、泥石流、地面塌陷等损失评估方法,并用实例对评

价过程进行了演示。

第四章在对城市垃圾处置场选址与适宜性评价一般原理方法进行总结的基础上,完善了“平原地区的垃圾场选址适宜性评价方法”,并针对不同地质环境背景下城市垃圾处置场选址与适宜性评价的个性特征,提出了分别适合于岩溶山区、黄土地区及一般山区的垃圾处置场选址与适宜性评价的理论方法。

第五章讨论了进行城市地质环境风险评价研究的意义,解决了地质环境风险经济学评估的核心问题——地质环境事故发生概率计算或危险性评价方法。在总结国内外大量风险定义、事故概率计算方法的基础上,根据不同的地质环境及其事故发生的机理、规律和特点,分别提出了地下水污染、崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷等事故概率评估及其计算方法,奠定了地质环境风险的经济学评价理论基础。

本书以石家庄、北京地下水污染风险,天水滑坡、泥石流的发生风险评价为例,从地质环境风险评价程序、风险与危害识别、地质环境事故概率或危险性评估计算、风险判断和控制等方面,对地下水污染、滑坡、泥石流等风险的经济学评价理论与方法进行了较详细的阐述。

本书各章编写具体分工:第一章城市地质环境质量评价,由周爱国、梁和成、涂婧、吴尚和郑国明编写。第二章城市地质环境资源价值核算,由刘长礼和王秀艳编写。第三章城市地质环境经济损失评价方法,由刘长礼、裴丽欣、王秀艳、姜建梅和吕敦玉编写。第四章城市垃圾处置场选址与适宜性评价方法,由张云、刘长礼和王晶晶编写。第五章城市地质环境风险评价方法,由刘长礼、王秀艳、叶浩、姜建梅、裴丽欣、宋超和杨柳编写。全书由刘长礼统稿。

目 录

序	
前言	
第一章 城市地质环境质量评价	(1)
第一节 城市地质环境评价原理	(1)
第二节 地下水防污性评价方法	(3)
第三节 城市建设用地地质环境质量评价方法	(18)
第四节 城市建设用地规划后评价方法	(65)
第五节 城市土壤环境质量评价方法	(66)
第六节 土壤环境容量评价方法	(70)
第七节 城市水土资源保障程度论证方法	(83)
第八节 评价方法应用实例	(95)
参考文献及资料	(135)
第二章 城市地质环境资源价值核算	(139)
第一节 城市地质环境的价值论	(139)
第二节 地质环境价值的核算	(150)
第三节 地质景观资源价值及其评估	(160)
第四节 地热资源的价值评价	(163)
第五节 天然建材资源与价值评价	(165)
参考文献及资料	(166)
第三章 城市地质环境经济损失评价方法	(168)
第一节 地质灾害造成的价值损失评估	(168)
第二节 地质环境功能价值损失评估	(172)
第三节 地下水污染的浓度-价值损失率法	(179)
第四节 实例	(182)
参考文献及资料	(194)
第四章 城市垃圾处置场选址与适宜性评价方法	(195)
第一节 垃圾场选址与适宜性的一般影响因素分析	(195)
第二节 垃圾场选址与适宜性评价的一般原则	(197)
第三节 平原地区的垃圾场选址适宜性评价方法	(199)
第四节 岩溶山区的垃圾场选址适宜性评价方法	(208)

第五节 一般山区的垃圾场选址适宜性评价方法..... (221)

第六节 黄土地区的城市垃圾填埋场选址适宜性评价..... (225)

第七节 结论..... (231)

参考文献及资料..... (235)

第五章 城市地质环境风险评价方法..... (237)

第一节 地质环境风险经济学评价理论基础..... (237)

第二节 地质环境风险评价实例..... (247)

参考文献及资料..... (274)

后记..... (277)

4

第一章 城市地质环境质量评价

第一节 城市地质环境评价原理

城市地质环境评价与区划涉及的是一个与自然科学和社会科学相交叉的研究内容，因而主要的研究方法也会是多学科的理论与方法。主要运用了在评价过程中对地质安全性研究中体现地壳稳定性和建筑物安全过程的协同论原理，体现在安全保障前提下评价建设用地适宜性时运用层次性原理来体现问题研究的协同论；在风险评价过程中对灾害发生运用突变性原理来体现风险发生时的协同论。同时，在相关评价研究中也会运用到可持续发展的理论与方法、经济学中数量经济的理论与方法等。

一、人地协同理论

人地协同理论是研究人类与自然之间和谐共存、反馈与制约、利用与合作、发展与协调等系列关系及规律的科学。对人地协同理论的研究，首先应从人地关系入手，人地之间的客观关系是人地对地有依赖性；地是人赖以生存的物质基础和空间场所，地理环境影响人类社会的地域特性，制约着人类社会活动深度、广度和速度。在人地关系中人居于主导地位，人具有主观能动性，地理环境为可被人类认识、利用、改变和保护的对象。人地关系是否协调或矛盾，决定于人、地两个方面。人地协同理论涉及众多的原理，最为主要的是层次等级性原理和突变性原理等^[1,2]。

（一）层次等级性原理

层次等级性原理是把整个客观世界看做一个结构有序的、多层次等级结构的统一体。客观世界的多样性、统一性正是通过层次性表现出来的。在一个系统中，无论结构还是功能都具有等级性，处于不同层次的等级系统，具有不同的结构，亦具有不同的功能^[3]。

地质环境是城市环境系统的载体，城市建设用地评价是对城市地质环境系统的资源配置过程。因此，层次系统论在地质环境、建设用地评价利用规划及它们的相互关系中有着重要的指导作用。层次系统论对建设用地利用规划中的地质环境分析的指导作用主要体现在以下几个方面：

- 1) 建设用地评价利用规划要从整体性角度研究和把握建设用地评价中考虑的问题。
- 2) “地质环境系统”和“社会经济系统”是建设用地评价与规划的子系统，有必要把二者进行整合作为一个“复合系统”加以研究。
- 3) 城市建设用地评价利用与规划的地质环境分析是将地质环境条件对城市建筑用地利用影响的内在机理，城市空间发展布局、土地利用模式及地质环境适宜性等作为城市土地功能规划的重要基础研究内容，是强调地质环境和规划功能的整合与统一。这正是系统论的基本思想和内涵，也是城市土地可持续利用和建设用地功能规划研究的根本点和出

发点。

4) 建设用地的功能规划的地质环境条件分析将“城市建设用地功能—地质环境系统”的结构性、开放性和动态性作为建设用地功能规划的重要内容。从整体上研究系统结构与功能、系统与环境的相互关系。

(二) 突变性原理

“突变”是强调变化过程的间断或突然转换的意思^[4,5]。突变论的主要特点是用形象而精确的数学模型来描述和预测事物的连续性中断的质变过程。地质环境系统的演化是系统由一宏观的稳定态变为非稳定态,再向另一新的宏观稳定态转化的过程^[6]。

地质环境系统由稳定态向另一新的稳定态转变的过程必然经历了一个失稳的阶段,在这个阶段各种过程可以渐变的方式完成系统质的变化,也可以突变的方式发生质变。例如,地震是地球内部能量释放的突发现象,对城市的破坏可能是毁灭性的,如唐山大地震、汶川大地震。同样,构造蠕变也是地球内部能量释放的一种方式,不过它是以渐变的形式进行的。又如岩土的侵蚀、泥石流、崩塌这些突发事件也可以渐进的水土流失方式进行。至于滑坡就有突变性和蠕动滑移的两种形式^[7]。

地质环境系统的渐变和突变并不是完全独立的,一种因素或状态的变化仍会对另一种因素或状态产生影响。例如,地面塌陷可以沟通地表水与地下水的联系,还可使水质发生改变。地表水的渗入可以减缓地下水的下降速度,并因地表水的掺和而使水质发生变化^[8]。大量的研究表明,突变的发生都有一定的前兆,这个累进性的酝酿阶段是非常敏感的,突变之前存在一个增长、加速渐变的进程,这一点对于灾害预报有着特别重要的意义。如地震、滑坡、地面塌陷等地质灾害即有产生、发展和破坏过程。

二、可持续发展理论

“可持续发展”是1987年以挪威前首相布伦特兰夫人为首的世界环境与发展委员会提出的理念。可持续发展理论作为一种新的发展观和发展战略,得到国际社会的广泛认同,成为许多国家选择发展目标和制定发展规划的基本理念。

城市建设用地利用评价与规划的实质就是协调人的社会经济活动和自然地质环境发展过程中的土地资源的合理配置,使之达到城市土地合理利用、地质环境受到保护、经济稳步增长的效果。城市建设用地评价与规划利用是一个以社会属性、经济属性及自然过程为相互关系构成的社会经济自然复合系统,在这样的系统中虽然人的活动占着主导地位,但不能摆脱自然生态过程的制约。可持续发展理论对城市建设用地利用规划的指导作用,主要体现在以下方面^[9,10]:

1) 可持续发展强调社会、经济、环境的和谐发展。破坏地质环境的经济发展或者不能促进当地社会经济进步的环境发展并非是可持续的。因此,从科学合理利用城市土地资源,保护地质环境的角度出发,以地质环境条件对城市土地利用的制约与影响进行土地利用规划的地质环境评价研究是必需的。

2) 可持续性原则的核心是可持续的,其主导思想是科学合理利用自然地质资源为人类经济社会发展服务。一方面地质资源与环境是人类生存与发展的基础条件,离开了地质资源与环境就无从谈起人类的生存与发展,所以可持续发展要求人们根据可持续性的原则开发利用自然地质资源。超越了地质环境所能承载的极限将会阻碍城市经济增长和地质环

境的破坏。另一方面,人类对城市土地资源的利用与保护也不是完全被动的,而应该遵循自然规律,充分发挥主观能动性,对城市土地资源加以保护和利用,以提高城市土地资源的利用效率。

三、数量经济和模糊优化理论

数量经济学是在经济理论的分析基础上,利用数学方法和计算技术,研究经济数量关系及其变化规律的经济学科。通过经济数学模型来研究经济数量关系,是数量经济学的特征。数量经济学在经济科学体系中的地位,相当于数学在所有科学中的地位。由于它以特有的经济数学模型方法专门研究经济数量关系,从而为其他经济学科的深化提供了一般的分析方法和方法论。在这个意义上,数量经济学是一门方法论学科。另外有人认为,数量经济学是研究经济数量关系的计量学科,或是研究组织管理的方法和技术的学科^[11]。

数量经济学的方法主要是经济数学模型方法,包括经济系统分析、经济计量分析、投入产出分析、费用效益分析、最优规划分析、电子计算机模拟,等等。在研究和使用时,应遵守一系列原理和原则,如量的分析要以质的分析为前提,生产技术联系要与社会经济联系相统一,对数学和电子计算机的作用要有正确的评价等。

数量经济学与技术经济学等学科既有密切联系又有所区别。数量经济学与技术经济学在内容上有相互交叉、重叠的部分。例如,费用效益分析、最优规划分析等既是数量经济学的重要方法,又在技术经济计算中广泛采用。数量经济学与技术经济学的区别在于,两者研究的范围和侧重面不同,后者只研究生产力方面的数量关系问题,前者还研究生产关系方面的数量关系问题;后者是从宏观角度来研究微观问题,前者是在微观研究的基础上侧重于宏观问题的研究^[12]。

模糊理论是以模糊集合为基础,其基本精神是接受模糊性现象存在的事实,而以处理概念模糊不确定的事物为其研究目标,并积极地将其实地量化成计算机可以处理的信息,不主张用繁杂的数学分析,即用模型来解决。最优化理论是指自然选择总是倾向于使动物最有效地传递其基因,因而也是最有效地从事各种活动,包括使它们活动时的时间分配和能量利用达到最佳^[13~15]。其理论应用详见后面评价方法论述的相关章节。

第二节 地下水防污性评价方法

一、评价指标的选取

(一) 地下水易污性影响因素

影响地下水易污性的因素很多,概括起来可分为自然因素和人为因素两类。自然因素指标包括含水层的地形地貌、地质及水文地质条件。人为因素指标主要指可能引起地下水环境污染的各种行为因子^[16,17]。表1-2-1列出了影响地下水易污性的自然因素和人为因素。

表 1-2-1 地下水易污性影响因素

指标 参数	自然因素							人为因素
	主要因素				次要因素			
	土壤	包气带	含水层	气候	地形	下伏地层	与地表水、海水联系	
主要参数	成分、结构、厚度、含水量、渗透性、有机质含量、黏土矿物含量、吸附及解吸能力	厚度、岩性、垂向渗透系数、水运移时间	岩性、渗透系数、补给（强度）、开采量（强度）、有效孔隙度、地下水年龄与驻留时间	年降水量 净补给量	地面坡度变化	透水性、结构与构造、补给/排泄潜力	入/出河流、岸边补给潜力、滨海地区咸淡水界面	土地利用状态、人口密度、污染源排放方式及强度
次要参数	阴离子交换容量、硫酸盐含量、体积密度、容水量、植物根系持水量	分化程度、透水性	容水性、不透水性	蒸发 蒸腾 空气湿度	植物覆盖程度			

（二）评价指标的选取

施加在地表的污染物在到达含水层某位置之前，要受到地面以上、土壤、包气带及地下水面以下的物理、化学和生物化学等诸多过程的影响（图1-2-1），一个合理科学的易污性评价指标体系应该尽可能地反映这些主要的影响过程。

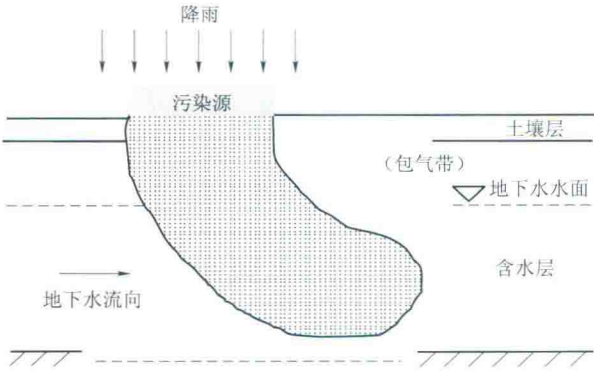


图 1-2-1 污染物运移至含水层过程示意图

二、评价单元划分

由于各种地质因素在各个局部区域的差异性和复杂性，要做到较为精确的评价，需将整个研究区域分成若干个小图元，即评价单元。根据各个小区域的不同情况，分别赋予不同的属性，然后才能根据这些属性进行区域评价。常用的划分方法有三种，即三角单元剖分法、正方形网格单元划分法和不规则多边形网格单元划分法^[18]。

（一）三角单元剖分法

三角单元剖分法是以三角形为基本的评价单元进行评价区域划分。总的来说，该方法

进行评价区域单元划分是任意的，但应该遵循以下三个原则：

- 1) 三角形的任意一角不得大于 90°，三条边的长度尽可能接近。
- 2) 三角形顶点不能落在另外某个三角形边上。
- 3) 每个评价单元的性状因子尽可能均一。

该方法对小范围评价区域划分比较合理。

(二) 正方形网格单元划分法

正方形网格单元划分法是以地理坐标来控制，采用正方形网格划分；根据具体情况，确定网格大小，可由 0.01 km² 至数 km²。这种划分方法对大区域的评价是比较合理的。

(三) 不规则多边形网格单元划分法

不规则多边形网格单元划分方法适用于小范围评价。因为对小范围城市区域进行评价时，由于地形、地质条件变化大，因素离散性大，若仍采用正方形网格单元划分法，就会把评价因子性状相对很不均一的区段划分在同一评价单元内，而把均一性较好的区段可能人为地割离开了，这点与小范围的城市区域评价的要求和目的是相违背的。因此，对小范围的城市区域进行评价适宜采用不规则多边形网格单元划分法，这种方法往往规定评价单元以 0.5 km × 0.5 km 为上限。

三、地下水防污性评价模型

(一) 概述

目前国内外常用的评价地下水防污性的方法概括起来主要有迭置指数法、过程数学模拟法和模糊数学法等。在应用上，这些方法相对来说有各自的特点、侧重和适用范围（表 1-2-2）。

表 1-2-2 地下水易污性研究方法对比

方 法	对 象	范 围	结 果
指标叠加法	潜水、浅层承压水	大范围	定性、定量或半定量
模型模拟法	土壤、包气带	小范围	定量
统计方法	潜水	大范围	定量
模糊数学法	潜水	大范围	定量

1. 迭置指数法

迭置指数法是将选取的各评价指标的分指数进行叠加形成一个反映防污性程度的综合指数，再由综合指标进行地下水防污性评价。它又分为水文地质背景参数法（hydrogeologic complex and setting methods, HCS）和参数系统法（parametric system methods, PSM）^[19-22]。前者是通过一个与研究区有类似条件的已知防污性标准地区来比较确定研究区的防污性。这种方法需要建立多组地下水防污性标准模式，且多为定性或者半定量评价，一般适用于水文地质条件比较复杂的大区域。后者是通过选择评价防污性的代表性指标来建立一个指标系统，每个指标均有一定的取值范围。这个范围又可分为几个区间，每一区间给出相应的评分值，把各指标的实际资料与此标准进行比较而评分，最后根据各个指标所得到的评分值叠加即得到综合指数。

参数系统法是地下水防污性评价中最常用的一种方法,其又可以进一步细分为基质系统法(matrix systems, MS)、率定系统法(rating systems, RS)和加权率定系统法(point count system models, PCSM)三种方法。在这三种方法中,PCSM 法又是最通用的方法。MS 方法是以定性方式对研究区各单元的防污性进行评价的,后两种方法则是以定量(数值化)方式进行评价。这二者区别在于综合指数的计算方法不同。RS 方法的综合指数是由各指标的评分值直接相加而成,而 PCSM 法的综合指数值则是各指标评分值和各自赋权的乘积叠加得出的,因此又叫权重-评分法。目前,国外的大部分有关地下水防污性的研究多以 DRASTIC 标准或农药 DRASTIC 标准为基础,运用综合指数或加权指数模型来进行地下水防污性评价。

2. 过程数学模拟法

过程数学模拟法是在水分和污染物质运移模型基础上,使用确定性的物理化学方程来模拟污染质的运移转化过程,将各评价因子定量化后放在同一个数学模型中求解,最终得到一个可评价防污性的综合指数^[23]。该方法的最大优点是可以描述影响地下水防污性的物理、化学和生物等过程,并可以估计污染质的时空分布情况。尽管描述污染质运移转化的二维、三维等各种模型很多,但目前还没有更多地用在区域地下水防污性的评价中,防污性研究多数集中在土壤和包气带的一维过程模型,多为农药淋滤模型和氮循环模型。

从理论上讲,该方法适用于地下水防污性评价的高级阶段,因为它需要具备足够并且可靠的地质数据及长序列污染质运移资料,只有当人们完全掌握了地下水防污性与其评价要素之间的内在关系之后,才能运用该方法。而地下水防污性评价还处于起步阶段,并且地下水防污性与其评价要素之间的内在关系仍处于探索阶段,所以该方法不常用。

3. 统计方法

统计方法是通过对已有的地下水污染信息和资料进行数理统计分析,确定地下水防污性评价因子并用分析方程表示出来,把已赋值的各评价因子放入方程里计算,然后根据其结果进行防污性分析。常用的统计方法包括地理统计(geostatistical)方法、克立格(kriging)方法、线性回归分析法、逻辑回归(logistic regression)分析法、实证权重法(weight of evidence)等统计方法。

目前这种方法在地下水防污性评价中的应用不如迭置指数法及过程数学模型方法那样得到重视。

4. 模糊综合评判法

地下水当具有某种程度的防污时,其影响因素具有多样性和复杂性。地下水防污性是相对的,属典型的模糊问题。人为地给定一个分级界限,使本来模糊的问题人为地加以清晰化,评价结果就难以准确反映出各评价指标所提供的信息,因此,对这类模糊问题应采取的最佳方法就是模糊数学法。

模糊综合评判法是在确定评价因子、各因子的分级标准以及因子指标赋权的基础上,经过模糊综合评判来划分地下水的易污程度。该方法充分考虑了地下水易污性的本质因素(反映水文地质内部本质属性)和特殊因素(反映人类活动及外部环境对地下水易污性的影响),不需要进行人为的等级划分,可考虑各个指标的连续变化,能真实地反映不同样本指标之间的差异。同时考虑了不同评价指标之间的相互作用关系,使评价结果更符合实际情况^[24-27]。

在以上四种防污性评价方法中,相对而言,迭置指数法的指标数据比较容易获得,方法简单,易于掌握,是国外最常用的一种评价方法。它的缺陷是,由于评价指标的分级标准和评分以及防污性分级没有统一的规定标准,具有很大的主观随意性,所以防污性评价结果难以在不同的地区进行比较,缺乏可比性。过程数学模拟法虽然具有很多优点,但只有充分认识污染质在地下水环境中的行为特性,有足够的地质数据和长序列污染质运移数据,才能充分发挥它的潜力。近年来,随着 GIS 技术的普及以及评价区域的扩大,国外于 20 世纪 90 年代末期便陆续出现了应用 GIS 技术结合地下水运移模型来评价地下水的防污性的研究成果。此方面的研究也将是今后地下水防污性评价的方向和发展趋势。统计方法则依赖于监测的足够长的已污染信息资料。同时,在使用时要考虑可比性问题。地下水防污性评价包含了一些定性与非确定性指标,通过隶属函数来描述非确定性参数及其指标分级界限的基于 DRASTIC 的模糊数学综合评价方法应运而生,因为它应具有很大的优势。

(二) DRASTIC 模型

1. 基本假设

DRASTIC 方法是地下水防污性评价中参数系统法的典型代表^[28]。目前,该方法已被许多国家采用,是地下水易污性评价中最常用的方法。DRASTIC 方法有四个主要的假定:① 污染物存在于地表;② 污染物通过降雨渗入地下;③ 污染物随水迁移;④ 研究区面积大于等于 100 英亩(约 0.4 km^2)^[29~30]。

2. 评价指标体系

DRASTIC 方法采用 7 个影响和控制地下水流和污染质运移的参数构成该方法的易污性评价的因子体系,它们分别是:地下水埋深(depth to water)、含水层净补给(net recharge)、含水层岩性(aquifer media)、土壤类型(soil media)、地形坡度(topography)、包气带影响(impact of the vadose zone)及含水层水力传导系数(aquifer hydraulic conductivity)。DRASTIC 即来自这 7 个因子的英文中心词的首字母缩写^[31~33]。

(1) 地下水埋深(D)

地下水埋深决定着地表污染物到达含水层之前所经历的各种水文地球化学过程,并且提供了污染物与大气中的氧接触致使其氧化的最大机会。通常,地下水位埋深越大,地表污染物到达含水层所需的时间越长,污染物在途中被稀释的机会越大,污染物进入地下水的可能性就越小,含水层被污染的程度也就越小,具体评分情况见表 1-2-3。

表 1-2-3 地下水埋深评分表

范围/m	评 分
0 ~ 1	10
1 ~ 2	9
2 ~ 5	8
5 ~ 10	6
10 ~ 15	4
15 ~ 20	2
> 20	1

(2) 含水层净补给量 (R)

污染物可通过补给水垂直传输至含水层并在含水层内水平运移，因此补给水是固体和液体污染物浸析和运移至含水层的主要工具。补给量越大，地下水易污性程度就越高。当补给量增大至可以使污染物被稀释时，地下水受污染的可能性不再增加而是减小。表 1-2-4 给出了含水层净补给量的评分情况。

表 1-2-4 含水层净补给量评分表

补给量/mm	评 分
0 ~ 50	1
50 ~ 100	3
100 ~ 175	6
175 ~ 250	8
> 250	9

一般情况下，获取地下水净补给量资料有一定难度，故在实际评价中常用降雨入渗补给量 (P-precipitation recharge) 代替净补给量，其具体评分情况见表 1-2-5。

表 1-2-5 降雨入渗补给量评分表

范围/(mm · a ⁻¹)	评 分
0 ~ 100	1
100 ~ 150	4
150 ~ 200	8
> 200	10

(3) 含水层岩性 (A)

含水层中的地下水受含水层介质的影响，而污染物的运移路线及运移路径的长度决定着污染物消亡和迁移的过程。通常情况下，含水层介质的颗粒越大或者裂隙、溶洞越多，则介质的稀释能力越小。

如果缺乏详细资料时，可选择典型评分值。典型评分值是用来描述由相关含水层介质组成的典型含水层。对于基岩含水层，可根据含水层介质中裂隙和层面的发育程度进行评分。如裂隙中等发育的变质岩或火成岩含水介质的评分为 3；当裂隙非常发育时，含水层具有较大污染可能性，评分应定为 5；当变质岩或火成岩中裂隙不发育时，单位给水度较低，含水层具有较大的易污性，评分值可定为 2。对于非固结岩石，可根据含水层介质颗粒大小和分选程度情况进行评分，例如，典型砂砾岩的评分值为 8，但当沉积层颗粒粗大并较易冲刷，则可赋值为 9，相反，当颗粒含量增加并且分选性不好时，评分值可降至 6 或 7。

评价区域地下水易污性时，每次只能评价一个含水层，在多层含水系统中，应该选择一个典型的具有代表性的含水层进行评价。确定含水层之后，把该含水层中最主要的含水介质作为评价因子。含水层介质评分情况见表 1-2-6。