

高等教育试用教材

地下水水质现状和 预测评价的理论与方法

潘乃礼 主编
朱学愚 审校

原子能出版社

高等教育试用教材

地下水水质现状和预测评价的 理论与方法

(初 版)

潘乃礼 主编 朱学愚 审校
冯绍元 编
周文斌

原子能出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面介绍了地下水水质现状和预测评价中溶质运移的基本理论和方法。在地下水水质现状评价方面,着重介绍了环境质量变异理论及其评价方法。在溶质运移的基本理论方面,除介绍对流-弥散理论外,还介绍了分子动力学和水文地球化学理论。本书在介绍溶质运移模型时,除综合了国内外已发表的各种确定性数学模型外,较突出地介绍了特征有限元法和数学-化学耦合模型的数值解法。本书用较大篇幅介绍随机水质模型,尤其是时间序列方法和灰色预测方法,还用一定篇幅介绍了水文地球化学预测方法。这些方法的适用条件不同,具有一定的互补性。本书在介绍各种方法时尽可能做到理论与实际结合,因此本书不仅可作为高等院校环境地质课程的试用教材,而且可供广大环境地质工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下水水质现状和预测评价的理论与方法/潘乃礼主编;冯绍元,周文斌编. —北京:原子能出版社,1995. 11

高等教育试用教材

ISBN 7-5022-1421-6

I. 地… II. ①潘…②冯…③周… III. ①地下水-水质分析-高等学校-教材②地下水-水质评价-高等学校-教材 IV. P641. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 17722 号

©

高等教育试用教材

地下水水质现状和预测评价的理论与方法

(初 版)

潘乃礼 主编

冯绍元 编

周文斌

朱学愚 审校

原子能出版社出版 发行

责任编辑:韩国光

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm 1/16 印张 18 字数 449 千字

1995 年 11 月北京第 1 版 1995 年 11 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000

定价:14.30 元

前言

本书是根据中国核工业铀矿地质与采矿教材委员会于1988年召开的第三轮教材选题会确定的选题,并经专家于1989年函审审定的大纲编写的。本书是《环境水文地质学》的后续教材。它既可作环境水文地质和水文地球化学专业的研究生教学用书,其部分章节亦可作水文地质专业本科高年级学生的选修课教材。本书内容不但适用于一般地下水水质现状和预测评价,而且适用于受到放射性物质污染时的地下水水质现状和预测评价。

全书除绪言外共分七章。第一章是地下水水质现状评价,介绍了地下水水质现状评价的理论基础和评价方法。其余各章均属地下水水质预测评价。其中第二章集中介绍溶质运移的基本理论,包括地下水动力学原理、水文地球化学原理、水动力弥散的基本微分方程和国内尚未介绍过的分子动力学理论。第三章介绍溶质运移模型的各种解析解法,其中包括分子动力学模型的解析解和初步应用。第四章介绍溶质运移模型的各种数值解法。在以上三章中还简要介绍了一种新的数学-化学动力学耦合模型的基本理论(包括基本微分方程)和各种解法。第五章介绍基于“活塞推挤”原理的近似计算方法。第六章介绍地下水水质预测评价中的随机模型。这一章用较大篇幅介绍了目前在地下水水质预测评价中尚不多见的时序分析——ARMA(n, m)模型方法,还用适当篇幅介绍了灰色预测方法。第七章介绍地下水水质预测评价中的水文地球化学方法。以上方法中有些是新的探索,有待于在实践中进一步完善。

地下水水质预测评价是一个大课题,它涉及的面很广,其基础理论不仅涉及自然科学,而且与社会科学也有关。本书二至七章仅着眼于地下水水质的预测,属于地下水水质预测评价中的一个重要方面,也可以说是狭义意义上的地下水水质预测评价。

本书由潘乃礼主编,并由他编写绪言、第一章、第二章第四节、第三章第二节第二小节“分子动力学模型”,还有第五章和第六章。冯绍元负责编写第二章第一、三节和第三、四章,周文斌负责编写第二章第二节和第七章。全书由潘乃礼负责统稿。

在编写本书的第二、三、四章时,引用了朱学愚、谢春红著的《地下水运移模型》的部分成果。本书在编写提纲函审时朱学愚、吴峙山、俞柯、赵英杰和曾昭华等同志曾提出过宝贵意见;在本书初审时华东地质学院水工系周玉富、吴敬炳、杨解、孙占学、李金轩等老师也曾提出不少宝贵意见;在本书复审时,李宽良、卫钟鼎、吴峙山、曾昭华和赵英杰同志提出了许多具体修改意见,并对本书的编写作了充分肯定;原子能出版社韩国光同志则对书稿的文字要求作了详细指导;朱学愚教授对书稿作了详细审阅,并以书面形式提出了具体修改意见。编者向以上同志致以衷心感谢。

由于编者水平有限,本书错误不当之处,敬请批评指正。

编者

2017/11/28

目 录

绪 言	(1)
第一章 地下水水质现状评价	(3)
第一节 地下水水质现状评价的理论基础	(3)
一、环境与生态平衡	(3)
二、环境物质的人为释放和自然分异	(4)
三、环境质量变异指数系统	(4)
四、环境质量变异指数临界值的推断	(5)
第二节 地下水水质现状的定性评价	(5)
一、地下水污染源的类型	(5)
二、地下水污染的影响因素	(6)
三、污染地下水的分类方法	(7)
第三节 地下水水质现状的定量评价方法	(8)
一、地下水质量标准	(8)
二、背景值和污染起始值	(9)
三、水质单因子评价指数	(12)
四、水质综合评价指数(模式)	(12)
五、地下水水质现状变异因素与水质综合指数的定量关系	(16)
六、地下水水质现状变异指数及其临界值的确定	(17)
七、地下水水质现状评价实例简介	(17)
第四节 地下水水质现状图系与评价报告	(18)
一、地下水水质现状图系	(18)
二、地下水水质现状评价报告	(19)
第二章 地下水溶质运移的基本理论	(21)
第一节 溶质运移的地下水动力学原理	(21)
一、多孔介质的基本特性	(21)
二、多孔介质中地下水的渗透	(25)
三、水动力弥散	(33)
四、多孔介质中溶质运移的概念性模型	(35)
第二节 溶质运移的水文地球化学原理	(36)
一、溶解与沉淀作用	(36)
二、酸碱作用	(37)
三、离子交换与吸附作用	(37)
四、氧化-还原作用	(38)
五、盐效应	(38)
六、配位作用	(38)

七、放射性衰变作用	(40)
八、降解作用	(41)
九、挥发作用	(41)
第三节 溶质运移的基本微分方程及其定解条件	(41)
一、溶液中一种组分的质量守恒与对流-扩散方程	(41)
二、水动力弥散方程	(44)
三、水动力弥散系数	(45)
四、水动力弥散方程的扩充	(48)
五、水动力弥散方程的定解条件	(50)
第四节 溶质运移的分子动力学理论	(51)
一、关于溶液结构和溶质微粒的理论	(51)
二、关于岩石孔隙空间微分带性的理论	(54)
第三章 地下水溶质运移模型的解析解法	(57)
第一节 对流-扩散方程的基本解及其叠加	(57)
一、点源问题的基本解	(57)
二、瞬时线源与面源问题的解	(59)
三、一维均匀流场中点源问题的解	(60)
第二节 一维溶质运移模型的解析解	(61)
一、对流-弥散模型	(61)
二、分子动力学模型	(66)
第三节 二维溶质运移模型的解析解	(73)
一、示踪剂瞬时注入时的溶质运移	(73)
二、示踪剂连续注入时的溶质运移	(74)
三、二维流场中的溶质运移	(75)
四、层状多孔介质中的溶质运移	(75)
第四节 径向溶质运移模型的解析解	(78)
一、水动力弥散方程的建立	(78)
二、水动力弥散方程的求解	(79)
第五节 水动力弥散系数的确定	(82)
一、弥散系数的室内测定	(83)
二、弥散系数的野外测定	(90)
第四章 地下水溶质运移模型的数值解法	(93)
第一节 有限差分法	(93)
一、导数的差分近似	(93)
二、一维溶质运移模型的差分方程	(95)
三、二维溶质运移模型的差分方程	(100)
四、数值弥散和振荡	(102)
五、特征有限差分法	(104)
第二节 有限单元法	(107)

一、有限元的基本概念	(107)
二、有限元法中常用的基函数	(109)
三、一维溶质运移模型的有限元法	(115)
四、二维溶质运移模型的有限元法	(117)
五、三维溶质运移模型的有限元法	(128)
第三节 特征有限元法	(131)
一、定解问题的 Eulerian-Lagrangian 分解	(131)
二、对流问题的特征线解法	(133)
三、弥散问题的有限元解法	(135)
四、径向溶质运移问题的特征有限元法	(136)
第四节 边界元法简介	(139)
一、边界元的基本关系式	(140)
二、解二维溶质运移问题的边界元法	(142)
第五节 考虑化学反应时溶质运移模型的数值解法	(147)
一、概述	(147)
二、发生配合和离解反应时溶质运移模型的数值解法	(148)
三、发生离子交换反应时溶质运移模型的数值解法	(150)
四、三氮运移与转化耦合模型的数值解法	(151)
第五章 地下水水质预测评价中的近似计算方法	(164)
第一节 近似方法的基本原理	(164)
一、方法的假设条件和适用范围	(164)
二、方法的基本原理	(165)
第二节 水源地径流范围的确定	(166)
一、基本思路	(166)
二、中立流线位置的推导和计算公式	(167)
三、具体方法	(170)
第三节 污染物在地下水中推进时间、速度和距离的确定	(171)
一、基本思路	(171)
二、废水注入钻孔时污染地下水推进速度和推进距离的确定	(171)
三、污染物在潜水中推进距离的确定	(174)
第四节 开采水中污染物浓度的确定	(176)
一、开采水中污染物最大浓度的确定	(176)
二、开采水中污染物浓度的变化	(177)
第五节 污染地下水运移的图解分析方法	(179)
一、方法原理	(179)
二、计算实例	(180)
第六章 地下水水质预测评价中的随机模型、灰色模型及其预测方法	(183)
第一节 建立溶质运移随机模型的依据和数学基础	(183)
一、溶质时、空分布的随机性特点	(183)

二、溶质运移随机模型的数学基础	(184)
第二节 时间序列分析	(191)
一、自回归滑动平均 (ARMA) 模型	(192)
二、ARMA 模型的特性	(197)
三、建模	(207)
四、预报	(215)
第三节 预测地下水溶质运移的其它概率统计方法	(219)
一、母体演变趋势的概率统计方法	(219)
二、类比方法	(222)
第四节 灰色预测	(226)
一、灰色模型的原理和基本概念	(226)
二、GM(1, 1) 模型	(228)
三、残差 GM(1, 1) 模型	(234)
第七章 地下水水质预测评价中的水文地球化学方法	(237)
第一节 理论基础	(237)
一、化学平衡	(237)
二、能斯特方程与氧化还原临界电位值	(241)
三、自由能	(242)
四、化学反应速率与化学动力学	(244)
第二节 污染组分存在形式的预测	(248)
一、概述	(248)
二、原理与方法	(249)
三、实例研究——铀的存在形式计算	(251)
第三节 污染组分沉淀-溶解的预测	(254)
一、概述	(254)
二、简单污染组分沉淀-溶解的预测方法	(254)
三、配合物沉淀-溶解预测	(261)
第四节 污染组分被土壤、岩石吸附的预测	(267)
一、吸附作用概述	(267)
二、污染组分被岩石、土壤吸附的预测	(274)
主要参考文献	(280)

绪 言

环境质量,一般是指在一个具体的环境内,环境的总体或环境的某些要素对人群的生存和繁衍以及社会经济发展的适宜程度,是反映人类的具体要求而形成的对环境评定的一种概念。简言之,环境质量是环境状态品质优劣的表示。环境质量包括环境综合质量和各种环境要素的质量,如大气环境质量、水环境质量、土壤环境质量、生物环境质量等等。各种环境要素的优劣,都是根据人类的各种要求进行评价的,这就是环境质量评价。环境质量评价是确定环境质量的手段、方法,环境质量则是环境质量评价的结果。地下水水质现状和预测评价,是环境质量评价的组成部分。环境质量评价是环境规划、环境管理的必要前提,也是为了比较各地区受污染的程度。我国环境保护法明文规定:“建设项目的环境影响报告书,必须对建设项目产生的污染和对环境的影响作出评价,规定防治措施,经项目主管部门预审并依照规定的程序报环境保护行政主管部门批准。环境影响报告书经批准后,计划部门方可批准建设项目设计任务书”。可见,环境质量和环境影响评价是经济建设中的一法定任务。

地下水水质现状评价是研究地下水质的现状(其时、空变化规律)及其与人为释放的环境物质、人类活动和自然分异(环境水文地质条件)相互关系及其基本规律的一门实用地质科学。地下水水质预测评价则是研究未来条件下地下水质量的。地下水水质和水量变化都会对环境产生影响。地下水受污染后,水质变劣不仅影响人体健康,而且可能影响生产和生态系统;地下水如果开采不当,不仅可使其受到诱发污染,而且可引起地面沉降、岩溶塌陷、水源枯竭、海水入侵等;大面积地下水水位下降,甚至可造成草原退化、土壤沙化等严重生态问题。本书限于篇幅,将只涉及地下水水质时空变化规律的研究。作为环境质量评价组成部分的地下水水质现状和预测评价,可为改造地下水,防止水质恶化和制定水资源管理决策方案提供科学依据。随着地下水开发、利用的规模日益增大,与地下水有关的环境问题也就日益突出。特别是在城市和某些工矿地区,由于人口剧增,城市建设蓬勃发展,工业“三废”对地下水的污染以及超量开采地下水等所引起的地下水水质恶化,已经严重影响城市的供水质量,危及人体健康,并给经济建设带来巨大损失。研究这些问题并提出防治措施,已成为城市和工矿环境中亟待解决的问题。

地下水水质现状和预测评价在整个环境质量和环境影响评价中的地位,取决于地下水在当地国民经济中所占的地位。所以,它们在我国各地所受到的重视程度有很大的差异。总的说,北方地下水在国民经济中的重要性远大于南方,所以这两项工作的研究水平和深入程度,南北方有很大不同。尽管如此,我国开展这两项工作的总体水平仍然不高。这是因为,环境评价的深入程度,不但受到技术水平的制约,而且受到财力的限制和历史条件的影响。在我国南方,地下水虽然不是大部分地区的主要供水水源,但是由于降水量不均匀,在有的地方地下水是干旱季节唯一可以应急的水源。由于对地下水资源重视不够,地下水污染和可能受到污染的例子并不鲜见,而地下水一旦受到污染,治理是很难的,有时甚至是不可能的。所以决策人员应当力避这种情况的出现。

地下水水质现状评价是预测评价的前提,它是对现实地下水环境所作的评价,有实实在在的资料作为基础,可以详尽地研究地下水水质水量变化与所有影响因素的关系。地下水水质预

测评价固然与现实环境有关,但更主要的是依据实验、长期观测、类比资料和建设的规划,其手段主要是建立水质模型,而预测内容主要是单项污染物的时、空变化趋势。由于地下水水质现状评价与地下水水质预测评价在目的、手段和内容上有如此大的区别,所以它们是两项性质不同的任务。

谈到地下水水质预测,应该说目前还处于低水平阶段,而且国内外皆如此。学者们已经提出和应用的水质模型不外乎两类,一类是确定性水质模型,另一类是随机水质模型。确定性水质模型中应用较广的是建立在弥散理论基础上的对流-扩散(弥散)模型。这种模型在理论上比较严谨,在解法上比较完善。但不足之处甚多,主要是水动力弥散系数等参数本身具有不确定性,而且源汇项难于捉摸,所以预测误差很大。不过当缺乏长期观测资料时,这种方法几乎是地下水水质预测中唯一可用的方法,所以有它的不可替代性。由前苏联学者提出的另一种确定性水质模型,是建立在地下水动力学基础上的“活塞推挤式”加混合带和变形带修正的近似水质模型。这种模型比较简单、实用,但预测结果,尤其是污染物浓度的计算相当粗糙。前苏联和保加利亚学者还曾提出了一种分子动力学水质模型,这种模型以水和溶液结构以及孔隙空间微分带的理论为基础,视溶质运移为多相介质中溶质微粒能量不断转换的过程,并在此基础上推导出适于—维似稳定流场的溶质运移公式。从文献介绍的实例看,这种模型不但简便、实用,而且精度相当高。随机水质模型的理论基础是概率统计,主要方法是回归分析和时间序列。这类方法以大量观测资料为依据,外推时间取决于观测时间的长短,具有很大的实用性,预测结果在允许外推范围内比较准确,而且一般不需作专门试验,计算简便。但是在无观测资料的地区,这种方法对水质预测是无能为力的。近年来,国内推广了邓聚龙教授创立的灰色系统理论,其中灰色预测在许多领域已显示出巨大的优越性。鉴于地下水中许多重金属组分的运移服从化学热力学规律,前苏联学者在此基础上发展了水文地球化学预测理论和方法,本书将对此作系统介绍并提出自己的见解。

水质预测是一项难度很大的工作,在当前总的预测水平还不高的情况下,应当因地制宜地充分利用各种预测方法的互补性,尽量多用几种方法互相验证,取长补短,以求得到较高的预测精度。

如果说水质预测的理论和方法目前还处在起步阶段,那末,它的发展前景如何?从国内外学者已发表的研究成果看,未来的发展方向是研究耦合水质模型。这种耦合既可能是确定性和随机性数学模型的耦合,也可能是数学-化学热力学模型的耦合。不管是哪一种耦合,研究者都必须有深厚的数学和化学基础。但是,在可以预见的将来,即使出现了某种耦合水质模型,它也不可能做到尽善尽美,对于这项研究的艰巨性,应当有充分的估计。即使未来的耦合模型比较完美,它也不可能适合所有情况。预测天地中也有一个百花齐放的问题。从这一观点出发,本书中介绍的许多方法是有长期生命力的。

环境质量现状评价与预测评价相比,后者更具有指导意义,从解决问题的难度来看,后者也远大于前者,所以本书将重点放在地下水水质预测评价上。希望通过本书的抛砖引玉,使地下水水质预测评价的理论、技术和方法得到进一步的发展。

第一章 地下水水质现状评价

地下水水质现状评价是地下水环境管理(属水资源管理)的一项基础性工作。如果将地下水看作一个环境因子,那末地下水水质现状评价就不能局限于评价人类活动和自然分异作用对地下水水质的影响。作为一个环境因子,地下水不但被动地受其它因子影响,而且也能动地影响其它因子,这是一个问题的两个方面。限于篇幅,本章仅涉及前一个问题。

地下水水质现状评价应建立在环境质量变异理论基础上。这一理论的实质是透过现象看本质。水质是现象,引起水质变化的内因和外因才是本质。建立在环境质量变异理论基础上的地下水水质现状评价,先要求得表征地下水水质的指数,然后求得各变异因素对水质的影响分量(分指数),构成一个变异指数系统,再通过某种组合将该指数系统综合为环境质量变异(总)指数,最后通过分块标注各影响分量和变异指数,对地下水环境作出区划。

第一节 地下水水质现状评价的理论基础

一、环境与生态平衡

环境是相对于中心事物而言的。与某一中心事物有关的周围事物就是这个中心事物的环境。在环境科学中,一般认为环境是指围绕着人群的空间及其中可以直接、间接影响人类生活和发展的各种自然因素总体。

生态系统是由生物群落及其生存环境共同组成的动态平衡系统。显然,生态系统是以生物群落为主体的,因而除生物群落外的一切非生物部分便构成了其生存环境。

环境科学与生态科学关系密切,因为环境质量归根结蒂取决于生态平衡。环境现状评价主要包括环境污染评价和生态评价。环境污染评价是说明人类活动所排放的污染物对生态系统,特别是对人群健康已经造成的或即将造成的危害。生态评价是为了保护生态平衡,合理利用和开发自然资源而进行的区域范围的自然环境质量评价。其具体做法是选取大气、水、土壤、野生生物等环境要素,分别确定其质量指数,再按其重要性进行加权,叠加成为总指数值,以进行评价。无论是环境污染评价,还是生态评价,其着眼点都是生态平衡。

地下水环境质量在整个环境质量中的地位,也许没有大气、土壤等环境要素的质量那么重要,但是地下水尤其是浅层地下水环境的质量,却往往反映了其它环境要素的质量,而且对我国北方的许多城市来说,地下水环境与人民生活关系的密切程度是尽人皆知的。

地下水质量恶化对环境的影响往往要经过较长时间才显示出来,而且由于各种净化效应,地下水环境改变对生态平衡的影响比较迟钝也比较隐蔽,所以单纯从地下水环境来评价生态环境是不可取的。这就是说,从生态系统平衡的观点来评价环境时,地下水环境仅仅作为环境要素中的一员,但不是孤立的一员,而是与其它环境要素密切相关的一员。

为了在地下水环境质量评价中避免就事论事,应当将其建立在环境质量变异理论的基础上。

二、环境物质的人为释放和自然分异

环境质量变异理论是研究人为释放的环境物质的地球化学行为,结合环境条件特点,探索其造成环境质量变异的方向和程度,进而建立起环境质量变异指数系统,定量评价环境质量及其与各影响因素的关系,预测环境变化对人类和生物体活动可能造成的影响的一种环境质量评价理论。这种理论的主要特点是摒弃了就事论事的孤立的方法论,从事物内部的联系中寻找变化的根据,分清主次,为环境管理和区划提供依据。

在环境质量变异分析中,除了要研究环境物质的人为释放,还应当研究环境物质的自然分异,这在区域环境质量评价中尤其重要。环境物质的人为释放与环境物质的自然分异相叠加,构成了物质的环境地球化学旋回,导致了环境条件的变化(环境变异),影响了生态系统的平衡。

环境物质的人为释放,取决于人类活动的深度和广度。在天然条件下,环境物质的分布虽然也不是均一的,但总有某种规律可循。人为释放造成了环境物质分布的新的不均一性。以杭州湾为例,由于第四纪海进活动频繁,地层中埋藏了许多海生生物残骸,这些残骸分解不彻底,地下水中氨氮含量普遍增高。这条氨氮高含量带沿第四纪海进的路线呈舌状分布。由于人类活动的影响,该带中出现了一些新的污染点和污染片,使杭州市某些地区的三氮污染呈现出复杂的情况。再如,在某些金属矿床的开采中,随着矿体采掘殆尽,原有的水文地球化学异常会逐渐淡化以至消失,但选矿、冶炼等活动又造成了新的污染。这种污染源的转移和变化,完全取决于人类活动的规律和强度。

人为释放的环境物质种类很多。为了在环境变异分析中作出比较,在获得某种环境物质释放量之后,常常要进行数值的调整或换算。比较通用的换算方法是等标(效)换算。例如,某工厂排放的废水中有两种污染物,其含量分别为 C_1, C_2 ,废水排放量为 Q ,该两种污染物的国家排放标准为 C_{01}, C_{02} ,则该废水的等标排放可计算为 $(C_1/C_{01} + C_2/C_{02})Q$ 。

环境物质的自然分异主要是指人为释放的环境物质在具体环境条件下所发生的一系列物理、化学和生物变化。这些变化有可能对环境造成危害或潜在的危害,从而降低环境质量。为了定量评价环境质量,需建立环境质量变异指数系统。

三、环境质量变异指数系统

环境质量变异指数系统是用于表征环境质量变异程度的,或者说,该指数系统是从环境物质的人为释放出发,根据研究单元环境条件的特性和该物质的地球化学行为,所筛选出来的、能有效表征环境质量的那些数值。因此,环境质量变异指数系统应由两部分组成:一部分是表征环境物质人为释放强度和特点的,如污染源类型、等标排放量等;另一部分是表征环境条件自然分异作用的,如地下水受到保护的条件(土壤、包气带的结构、成分、厚度;地形、地貌条件)、地下水的开采强度等。

同一种物质的不同存在形式,往往对环境变异有着不同的效应。所以,严格地说,在环境质量变异分析中,应当在不同物态、价态、化合态类型中筛选出对人类和生物机体有危害的,特别是其中毒性最大的那部分物质。此外,环境物质释放后,会受到各种物理、化学、生物作用的影响,因而在迁移、扩散过程中对单元环境造成不同程度的变异。上述控制环境变异的诸因子均可以修正系数的形式表示出来,如有效释放系数、扩散能力系数、降解系数等,都可能是环境

质量变异指数系统的组成部分。

环境质量变异(总)指数是由各分指数(或影响分量)组合而成的,用以表征总的环境质量变异程度。由各分指数(分量)组成的系统即环境质量变异指数系统。

四、环境质量变异指数临界值的推断

环境质量变异指数临界值是与环境容量极限状态有关的环境质量变异指数值。环境容量可理解为环境单元中某环境有害物质的最大允许负荷,即不造成环境危害的临界物质量。处于这种状态下的环境质量变异指数即其临界值。它取决于环境物质的地球化学特性、环境单元的各种环境条件和人(包括其他生物)对环境物质的耐受能力。环境质量变异指数临界值并不是针对生物个体的,而是针对生物群体的,是一种统计均值。具体确定该临界值涉及各种卫生标准和生产标准的制定,是一项相当复杂、艰巨的任务。在一般的环境调查中,可采取较为简单的做法,如根据某环境单元的历史变迁,在一个较少受到人为活动影响的地区,选择若干代表性地点,确定其环境质量变异指数,取其背景值上限(即均值加1~2倍标准差)作为临界值。这样做的根据是人和其他生物对该环境单元各种自然条件的适应性,其假设条件是人为释放的环境物质尚未超出环境单元的负荷能力。

第二节 地下水水质现状的定性评价

地下水水质现状评价包括定性和定量两部分。地下水环境的定性描述还应当包括对基本地质条件和水文地质条件的描述。水文地质工作者对这类描述都很熟悉,故本节不再作这方面的介绍,而仅仅介绍对地下水环境质量有明显影响的各种人为因素、各种天然分异条件以及污染地下水的分类方法。

一、地下水污染源的类型

地下水污染源的划分方法很多,在地下水环境质量评价中较常用的方法是按产生污染物活动类型来划分,如工业污染源、生活污染源、农业污染源等。在工业污染源中又可按企业的规模或污染性质(特点)等来进一步划分。这样划分的好处是容易与环境单元相联系,因为不论是城镇还是大的工矿企业,其工业区、生活区和农业区都是分开的。在一些较为古老的大城市,中小型企业可能与居民生活区混杂在一起,在这种情况下可增加工业-生活混合污染源。总之,污染源划分要结合各地具体特点,划分时要考虑不同类型污染源对地下水环境(污染)的影响。

工矿企业产生的“三废”是环境污染物,也是地下水污染的主要原因,其中大气污染对地下水的影响是间接的,而且不一定是原地的。对地下水污染影响最大的是废水和废渣,这些废物是在生产工艺过程中产生的,原料中的杂质是产生废渣的主要原因。此外副产品、中间性产品在贮存、运输过程中以及工艺流程不完善所造成的“跑”、“冒”、“滴”、“漏”等均可直接或间接地污染地下水。毒性大的化学物质,如多氯联苯、苯并(a)芘、有毒重金属(Hg, Cd, Pb)和放射性核素(如 ^{60}Co)等,即使少量进入地下水,也会对人体造成很大危害。

采矿和选冶活动虽然一般在远离城市的地区,但这些活动对地下水资源的破坏很大,常需单独作出评价。其中,矿坑废水的排放、矸石堆和尾矿坝的设置是造成地表水和地下水污染的主要原因。

居民生活污染源主要产生有机污染,包括垃圾和生活污水。垃圾成分复杂,除腐败食品、菜屑、骨头等外,还有纸张、木材、碎布、橡胶、灰渣、塑料、金属制品、玻璃、化学制品等。垃圾场的包气带地层结构对地下水污染有决定性的影响。生活污水对地下水的影响取决于排水系统是否完善,主要表现为三氮污染。

农业污染的特点是面广,主要是施用化肥、农药造成的。在大城市郊区,农业污染是造成地下水污染的主要原因之一。农业区地下水污染主要表现在矿化度(包括三氮、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量)的增高,在污染地下水中也可能出现与所施用农药和污灌有关的特定有毒物质。

二、地下水污染的影响因素

1. 含水层天然防护条件

在地下水环境质量评价中,对含水层天然防护条件评价的意义不亚于对污染源的评价。因为污染源是使地下水可能受到污染的外部条件,而地下水的天然防护条件则是地下水会不会受到污染的内部条件。地下水,不论是潜水还是承压水,总有或多或少的盖层。潜水因无隔水顶板,其防护条件一般逊于承压水。对于潜水,包气带地层的结构、岩性成分、粒度、厚度等决定了其受保护的程度。粘土、亚粘土具有良好的吸附性,在粘土中以蒙脱石的吸附能力最强,伊利石次之,高岭石最差。松散岩石中若含有粘粒,一般都具有良好的防护性能。结晶岩和石灰岩的自净能力与之相比是微不足道的。例如,美国某海军基地建立在结晶岩基底上,1957年由于一个大的喷气燃料容器泄漏破坏了原地下水供水系统,经15年之久尚不能恢复该供水系统。在岩溶地区,地下水与地表水差不多一样容易受到污染,在评价时最好要搞清岩溶水的运动路线,否则,很难确切评价其是否会受到污染。

承压水只要不存在“天窗”和能使废、污水直接进入含水层的钻孔、坑道,一般是不易受到污染的。当存在厚的区域隔水层,而且含水层的水头超出污染源高程时,承压含水层是不会受到污染的。

在区域地下水环境质量评价时,最好用“防护要素”来反映地下水的天然防护条件。为此,可作地下水的天然防护条件图(包括平面图、剖面图和柱状图),其中要反映七项指标:①包气带地层的结构、岩性、成分和厚度;②地表以下第一个隔水层的分布;③主要含水层的水动力隔离条件;④植被;⑤能使污染质发生水-岩相互作用的地下水成分;⑥岩石渗透性能;⑦局部强烈渗透区或“天窗”。

前苏联学者 H. B. 罗戈夫斯卡娅(Роговская)于1976年提出了一个根据隔水层厚度划分的含水层天然防护条件分类(表1.1),可供参考。在地下水环境质量评价中,为了便于对不同结构包气带的防护能力作出比较,可采用等效厚度的办法,如1米粘土的防护性能相当于若干米亚粘土的防护性能,又相当于多少米亚砂土或砂质粘土的防护性能,等等。等效厚度可以通过具体试验(不同成分废、污水通过土柱的淋溶试验)来确定。

2. 地下水开采

地下水开采不是造成其污染的直接因素,而是诱发因素。潜水开采时,降落漏斗范围内的饱水带变为包气带,随着地球化学环境的改变(由弱氧化-还原环境转变成氧化环境),有些原来呈还原状态的物质(如碳、硫等)可氧化而转入溶液,污染地下水。地下水开采时形成的降落漏斗可能诱发越流补给并加强入渗补给,由于混合作用、溶滤作用和离子交换作用等,也可能使地下水受到诱发污染。我国北方许多地方地下水硬度升高与地下水开采造成的诱发污染有

密切关系。有的大城市(如北京、沈阳等)由于地下水开采得不到控制,不但水的硬度、矿化度不断升高,而且水型也逐渐改变,水质恶化十分明显。在地下水环境质量评价中,不但要注意地下水开采总量、开采强度、开采规模等与某些水质指标的关系,而且要注意污染机理的研究。在供需矛盾日益尖锐的情况下,如何最大限度地合理利用地下水资源,是一项刻不容缓的课题。

表 1.1 防止地下水受到垂向化学污染的防护条件分类

(据 Роговская Н. В. 1976)

防护条件分类	潜 水			承 压 水
	包气带隔水层厚度(m)			地下第一隔 水层粘土厚度(m)
	粘土	亚粘土	粘土-亚粘土互层	
好的	>10	>100	>(5+50)*	>10
一般的	3~10	30~100	<(15+50)*	3~10
			>(1.5+15)*	
差的	<3	<30	<(1.5+15)*	>3

* 前一个数字表示粘土厚度,后一数字 表示亚粘土厚度。

3. 其它因素

能造成地下水污染的其它因素很多,如酸雨有可能使地下水硬度升高,某些重金属重新转入水中,造成二次污染;岩溶地区因地下水开采不当造成塌陷使污染物直接进入含水层;石油及盐卤水开采中因封孔不严等事故,有可能使石油或卤水进入淡水含水层;堆积区因水流排泄不畅,地下水较剥蚀区更易受到污染,等等。这些因素有可能是造成地下水污染的主因,需因地制宜,实事求是地分析评价。

三、污染地下水的分类方法

污染地下水是受人类活动影响的地下水,其化学特征有别于天然地下水,故而不能套用天然地下水的分类方法。对污染地下水的合理分类在环境评价中有重要意义,因为这种分类是以污染地下水的化学成分为基础的一种成因分类,合理分类使人们对各类污染地下水的成因一目了然,便于针对性地采取防止地下水继续污染的措施。

与分类有关的多元统计方法有聚类(点群)分析、因子分析和判别分析。目前最常用的是聚类分析。

聚类分析有 R 型和 Q 型两种。前者是对变量进行分类,后者是对样品进行分类。在污染地下水分类中,两者是相辅相成的。此外,因子分析有助于进一步对聚类分析的结果作出解释,也是常用的一种污染地下水的研究方法。由于电子计算机的普及,目前大多数单位用这些方法已没有什么困难,故应当将其作为地下水环境质量评价中的一项例行工作来做。

关于聚类分析和因子分析的具体方法,读者可参阅有关的多元统计分析文献。下面仅简要介绍计算过程和应用实例。

当水质分析的项目较多时,首先可通过 R 型聚类分析对变量(分析项目)进行筛选,如确定各变量之间的相关系数,作出谱系图,按一定的相似水平确定出若干组独立的变量,这若干组便构成了 Q 型聚类分析的空间维数。在 Q 型聚类分析时常用的统计量有距离系数和夹角余

弦,根据样品的相似程度(距离系数或夹角余弦)也可以得到一个谱系图,选取一定的相似性水平,即可将样品分成若干组,每一组样品在水化学成分上必定有其共性,这时就应结合环境水文地质条件和人为污染因素对它们作出解释和成因分类。必要时,还可以借助因子分析对不同化学组分的组合方式作出解释。

第三节 地下水水质现状的定量评价方法

在环境质量评价中,常用的做法是将标志环境质量的某些指标实测值与某种标准(地方标准、国家标准、国际标准)作比较,判定其是否超标,以确定环境是否“污染”。这样做的优点是简便易行,缺点是不能判定污染过程。但地下水污染是一个过程,从“未污染”到“污染”的判别标准应当是地下水的背景值。但是,在地下水环境质量评价中,只判定地下水是否受到污染是不够的,因为即使地下水受到污染,也不一定到了不能利用的程度。所以,合理的做法是:既要根据地下水背景值判定地下水是否受到了污染,又要根据某种标准判定地下水水质是否变坏到了不能利用或在某些方面的利用受到限制的程度。此外,为了避免就事论事,还应当将地下水环境质量定量评价与环境质量变异理论结合起来,找出造成地下水环境变异的根源。这就要求将水质单因素和综合评价指数与各环境质量变异因素定量地联系起来,构成环境质量变异指数系统,以确定环境单元环境质量变异的程度。

一、地下水质量标准

我国环境质量标准分为国家级和地区级两种。国家环境质量标准是国家确定的各类环境好坏程度的标准尺度,是我国环境政策的目标。它明确规定了各类环境在一定时间和空间内应达到的环境分级限值。地区环境质量标准是根据国家环境质量标准的要求,结合地区的环境地理特点、气象条件、经济技术水平、工业布局、人口密度、政治文化要求诸因素,按照当地经济技术可能所划定的环境质量等级,以补充或修订国家质量标准中不包含或不符合本地区情况的某些项目的允许水平。我国地域辽阔,各地情况千差万别,“一刀切”的标准是不可取的。目前国家已制订了饮用水和多种工、农业用水质量标准,对地面水也作了水域功能分类。但地下水的质量标准还没有正式制订出来,因为制订这样的标准是一项复杂的系统工程,它需要通过详细的调查研究、专门性的实验并考虑地下水不同功能的用水要求等才能完成。制订地下水水质标准时要遵循以下几项原则:①以保护人体健康为宗旨,结合人群对地下水各组分的长期适应性,参照国家生活饮用水标准,考虑对人体健康影响的允许浓度;②体现国家和地方环保政策和要求,最大限度地合理开发利用地下水资源,防止和控制地下水污染;③充分反映当地地下水水质现状,在我国目前技术经济水平下提出各个项目的合理限值;④突出“标准”的综合性和实用性,以满足多种不同功能的用水要求。下面根据《长江中下游重点地区地下水环境背景值调查研究》一书的推荐,介绍一种由该书编者提出的地下水质量分级标准。该标准将该区地下水质量分为五级。一级水以全区地下水环境背景的低值为依据,水质优于国家饮用水标准,适用于各类不同目的用水要求,该级水分布区是地下水的重点保护区。二级水以全区地下水背景值的平均水平或元素(组分)含量的常见值为依据,水质等于或略高于国家饮用水标准,基本上能满足各类不同功能的用水要求,二级水分布区也是地下水的重点保护区。三级水主要考虑影响人体健康的基准值,反映地下水部分元素(组分)的背景值较高,表明地下水存在恶化的可

能性,但其水质仍能满足生活饮用水的卫生要求,故应严格控制外界不良因素的影响,防止地下水污染。四级水反映地下水局部地球化学异常或水质恶化,长期饮用该级水有损人体健康,应对其进行适当的卫生处理方能使用。五级水反映地下水局部地球化学异常或水质已明显恶化,地下水质量差,不宜作生活饮用水水源;对于某些要求较低的工业用水,也应根据超标项目的不同进行有选择性地处理方能使用。现将这种水质分级指标列于表 1.2。

二、背景值和污染起始值

地下水环境背景值是天然状态下地下水各组分含量的整体代表性参数,一般用均值(算术平均值、几何平均值)来代表。由于地下水任一组分的含量实质上都是随机变量(ζ),故应将其背景值理解为具有一定概率的一个区间值,该区间的上限可定义为污染起始值。假如某组分含量 x 服从正态分布,其均值为 $\bar{x}$,标准差为 s ,则从概率统计理论可知, $P\{\zeta > \bar{x} + s\} = 0.159$, $P\{\zeta > \bar{x} + 2s\} = 0.023$,即在正常情况下, ζ 超出 $\bar{x} + s$ 或 $\bar{x} + 2s$ 的概率分别只有 0.159 或 0.023。

污染起始值 x_0 究竟取 $\bar{x} + 1s$,还是取 $\bar{x} + 2s$ 需视具体情况而定。在大面积区域调查中,在排除了水文地球化学异常后,可取 $x_0 = \bar{x} + 2s$;在城市条件下,为了严格控制环境质量,不妨将 x_0 取为 $\bar{x} + s$ 。为了确定污染起始值,首先要确定污染组分含量的均值 $\bar{x}$ 。这是一个颇为复杂的问题。

众所周知,当前地球上除了南极大陆基本上保持原始状态外,其余所有地方都已受到了人类活动的严重影响,尤其在城镇工矿企业地区,未受人类活动影响的“净土”已经不存在了。从这个意义上讲,确定环境背景值是不可能的。但环境质量评价并不要求得到绝对意义上的背景值。所以,通常的做法是在附近找一个自然条件(地质、地貌、气候等)相近的无明显污染的地区来确定其环境背景值。

背景值确定得正确与否,直接关系到环境质量评价的质量,但正确确定背景值是一项难度颇大的工作,它涉及到环境单元的划分、取样分析、数据处理等多个环节,其中每个环节都有专门的技术要求。本节对此仅作简要介绍。

(1)环境单元*的划分 环境单元的正确划分,对于正确确定背景值是十分重要的。理论上是每个环境单元都有自己的统计母体*,而每一个母体都有其固有的概率分布型式。所以,从一个母体中抽取出来的子样只能有一个峰值。在实测样本整理中,常常出现一个以上的峰值,其原因不外乎:①对数据的分组不够仔细;②存在着两个以上的母体。如果分析质量是可靠的,经过反复分组仍然出现两个或更多个峰值,那末可以肯定,存在着两个以上代表不同环境单元的母体。

环境单元应当根据自然因素来划分,主要考虑地质构造、气候、水文、地形地貌等条件,因为这些条件决定了环境单元的水文地球化学总体特征。全国性和省地性环境单元划分侧重点不同,全国性的要考虑岩性、气候、介质 pH, Eh 值,省地性的主要考虑岩性、地形、地貌等。环境单元应将地球化学异常排除在外。

(2)取样 不同项目的取样要求(体积、工具、要不要特殊处理等)可参阅有关规程规范。样

* 环境单元是一个环境实体;统计母体是在一次统计分析中该环境单元某些环境物质含量的集合,这是两个不同的概念。