

7.74741

3563

1029

1) 弥散方程 $\text{div} [D\rho \cdot (\text{grad } \frac{c}{\rho})] - \text{div} (c v) = \frac{\partial c}{\partial t}$

地下水污染

2) 连续方程 $\text{div} (\rho v) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$

3) 运动方程 $V = -\frac{K}{\mu n} (\text{grad } p + \rho \text{grad } z)$

4) 状态方程 $\rho = f(p, c) \quad \mu = \varphi(p, c)$

地下水水质模拟方法

1) 弥散方程 $\text{div} [D\rho \cdot (\text{grad } \frac{c}{\rho})] - \text{div} (c v) = \frac{\partial c}{\partial t}$

2) 连续方程 $\text{div} (\rho v) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$

3) 运动方程 $V = -\frac{K}{\mu n} (\text{grad } p + \rho \text{grad } z)$

4) 状态方程 $\rho = f(p, c) \quad \mu = \varphi(p, c)$

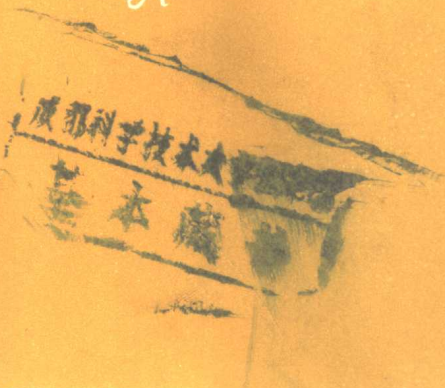
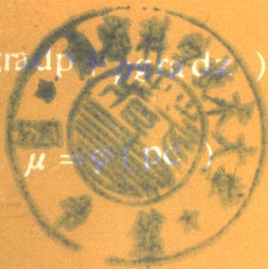
王秉忱 杨天行 王宝金 朱政嘉 侯印伟 许人冰 李生彩 编著

1) 弥散方程 $\text{div} [D\rho \cdot (\text{grad } \frac{c}{\rho})] - \text{div} (c v) = \frac{\partial c}{\partial t}$

2) 连续方程 $\text{div} (\rho v) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$

3) 运动方程 $V = -\frac{K}{\mu n} (\text{grad } p + \rho \text{grad } z)$

4) 状态方程 $\rho = f(p, c) \quad \mu = \varphi(p, c)$



北京师范学院出版社

地下水污染 地下水水质模拟方法

王秉忱 杨天行 王宝金 朱政嘉 编著
侯印伟 许人冰 李生彩

北京师范学院出版社

1985

〈内 容 简 介〉

本书全面论述了地下水污染与地下水水质模拟研究的主要问题,包括这些研究的现状与理论基础,地下水污染的调查研究方法及与其有关的水质评价标准,弥散理论,水动力弥散的基本方程,求解弥散问题的分析解与数值解(有限差分、有限元、边界积分方程、多单元均衡法等),以及逆问题的解法,弥散系数的野外与实验室测定方法,地下水水质模型的上机电算方法,地下水水质预测及地下水水质管理模型等内容。此书系我国第一部系统阐述上述问题的科学专著,既有基本理论,又有工作方法,可供从事环境地质、水文地质、水文地球化学等研究、生产与教学的科学技术人员阅读,也可作为有关专业教师、研究生及大学生的教学参考书。

地下水染污 地下水水质模拟方法

王秉忱 杨天行 王宝金 朱政嘉 编著
侯印伟 许人冰 李生彩
责任编辑 侯印伟 王宝金 安和春

北京师范学院出版社出版
长春新华印刷厂印刷

*

1985年5月长春第一版 1958年5月第一次印刷
开本: 787×1092 1/16 印张: 43.00
印数: 1—4,000册 字数: 935,000
统一书号: 13427·001 定价: 8.89元

序 言

——从国内外环境保护工作及环境科学研究谈起

根据国内外有关文献资料可见：在国外，环境保护工作和环境科学研究，作为一个独立体系开展工作是从五十年代开始的，当时环境污染已发展成为社会公害；到了六十年代中期，除个别地区污染状况有所减轻外，就整体说来污染情况更加严重，所以从六十年代到七十年代，不少国家建立了环境科学研究机构，进行水污染、大气污染、土壤污染等方面的专门研究，但此时只是着眼于具体控制措施的研究。七十年代以后，一些国家认识到：要从根本上解决污染问题必须加强基础理论研究，因而工作越做越细，由定性到定量；由短时急效应到长期慢效应；由一般污染物到新污染物；由点污染源到非点污染源；由事后治理到预先防治，从而使环境科学研究工作发展到一个新阶段。到了七十年代中期以后，在一些工业发达国家中，由于投入了庞大的治理资金，加强了行政管理措施和技术措施，而且治理技术已基本过关，遂使环境污染状况有了明显改善，环境质量得到很大恢复。这时，人们开始探索解决环境问题的根本途径，预测环境问题的发展趋势，开展对整个生物圈的基础性研究工作等。

与工业发达的资本主义国家情况不同的是，当前，发展中国家的环境污染状况日益严重。就一般而言，这些国家的首要污染问题是水质污染。据报道，发展中国家每年约有1300万以上的儿童死亡，其中三分之一是由于饮用污染水引起腹泻所致。A·比斯瓦斯(Biswas)在其新著《水质管理模型》一书的编者序中也指出：当前，全球由于水质卫生状况不良每年导致胃肠疾病4亿例，血吸虫病2亿例，丝虫病2亿例，疟疾1亿6千万例，盘尾丝虫病2~4千万例，可见水质污染问题之严重，这里面当然包括地下水质的污染问题。国外的地下水污染实例是不胜枚举的，我们将在第一章与第三章内详细讨论地下水污染问题。

我国的环境保护工作开展已近十年，目前的基本形势是：取得了很大成绩，但全国的环境污染与破坏状况仍较严重，从环境科学研究方面看，也有了很大发展，但仍落后于形势的要求。环境科学事业之所以取得进展首先是由于党和国家各有关部门对环境保护和生态平衡保持越来越重视，广大干部和群众对此问题的认识逐步提高。党的十一届三中全会以来，党中央、国务院作出许多保护环境和资源的重要指示和决定。在五届人大四次会议批准的十条经济建设方针中，把保护环境列为重要内容。赵紫阳总理在《关于第六个五年计划的报告》中明确提出：要坚决制止环境污染的加剧，并使重点地区的环境有所改善。关于如何实现“坚决制止环境污染的加剧”问题，我国主管部门的有关

领导同志认为：在“六五”期间，主要是控制那些污染严重、危害很大的环境问题，还不可能全面地控制环境污染问题。重点是什么呢？主要是控制水污染和某些方面的大气污染。当前，水污染是我国环境保护工作中的一个突出问题。

其次，自三中全会以来，随着国家健全法制，也颁布了一些关于环境保护与生态平衡的法律、规定，如《中华人民共和国环境保护法（试行）》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、《水土保持工作条例》、《水资源法》等一系列环境保护法规。城乡建设环境保护部正在草拟或已报批的法规还有《水污染防治法》、《大气污染防治法》、《城市噪声控制法》、《自然保护区条例》等。地质矿产部正积极着手起草《地下水法》。尤应强调指出的是，在五届人大五次会议通过的我国新宪法中，进一步确立了环境保护的法律地位，无疑对今后环境保护工作的开展将会有很大的促进作用。同时在“六五”计划中专门列入环境保护的篇章，提出了环境保护的基本目标、任务和主要措施，也使环境科学（包括环境水文地质）工作者信心倍增。

据有关领导部门初步设想，我国环境建设的战略目标应当是：到2000年，全国的环境污染和生态平衡被破坏问题基本上能得到解决，力争使城乡人民的生产生活环境达到洁净、优美的程度，各种自然生态环境恢复到良好状态，基本适应国民经济发展对自然资源的需要和人民物质、文化生活所达到的小康水平。为了实现这一目标，则应把解决好工业污染问题和自然生态平衡，尤其是农、林、水系统的问题作为我国环境建设的战略重点。此外，也要搞好环境预测，制订并认真实施环境规划。预测未来环境发展变化的趋势，提出避免环境进一步恶化和改善环境质量的对策，不但可以在经济决策中同时考虑解决可能出现的环境问题，防患于未然，而且可以为编制环境规划提供依据。在城市环境建设上，则要遵循以防为主、防治结合、综合治理的原则，实现经济效益、社会效益与环境效益的统一。

关于自然资源的保护问题应包括1) 抓好农业生态环境的保护；2) 抓好水资源的保护；3) 认真作好环境影响的予评价；4) 保护海洋资源；5) 保护生产资源。其中，水资源的保护利用是一项重大国策，不仅要搞好水资源污染的防治，更要搞好水资源的合理开发利用。

我国有关领导部门及其负责同志还指出：要大力开展环境科学研究，要重点解决防治环境污染和生态破坏的应用技术，主要包括综合防治途径及其实用技术，环境管理科学，环境预测，环境监测与分析方法及仪器设备等。在环境科研问题中应提倡1) 大力研究耗资少、收效大的污染防治技术；2) 努力把环境评价和环境系统工程等方面的成果应用于城市规划、区域环境规划、国土规划中去；3) 努力提高环境质量的监测、分析和预报的技术水平，这是我国当前环境管理工作中急待解决的问题，应能达到准确、及时地掌握由点到面的环境质量状况与发展趋势。

基于上述，我国环境科学研究的重点应该是1) 环境质量的监测、评价、预测；2) 加强环境管理规划科学的研究；3) 广泛开展综合防治技术的研究。与此同时，当然也不能忽视环境科学基本理论研究。许多环境科学问题要从理论高度予以阐述，才能提出解决实际问题的正确意见。这样的基本理论问题有很多，如环境质量变化过程及其影响因素（包括环境背景值）的研究，有害有毒物质在环境中的积累、迁移和转化。

(包括自然净化作用)的研究等等,不一一列举。

最近,中国环境科学编辑部在一篇综述文章中指出:建国三十多年来,我国国民经济发展速度很快,工农业总产值翻了几番,但也付出了高昂的代价,主要是能源消耗高,环境污染与破坏比较严重。目前,我国经济还不发达,但环境的污染与破坏已相当于西方国家经济大发展时期的程度。到2000年我国生产要翻两番,排入环境的污染物也必然相应增加,如不采取有效措施,环境质量将更趋恶化。对此,我们必须高度重视,及早采取强有力的控制措施,避免再走西方国家那种先污染后治理的弯路。

上面说到,水资源的保护与利用是一个重大国策,因为水是一种基本的环境因素,也是重要的资源。保护水资源,防止水质污染必然是国民经济建设方针的一项重要内容。无论在水资源污染的防治,还是在水资源的合理开发利用上,地下水资源都占有相当大的比重。我国地下水资源的污染状况是严重的,而且有日益蔓延发展的趋势,对国民经济与人民生活已产生越来越大的影响,对人体健康造成灾害性后果,威胁很大。因此必须大力加强监测与控制地下水的水质污染情况,并积极进行地下水污染理论与调查方法的研究,为确定合理有效的地下水污染防治措施提供可靠依据。

为能比较准确地预测地下水污染发展趋势,应努力进行地下水水质模拟工作,建立地下水污染的数学模型及地下水水质管理规划模型。作者近三年在山东省济宁市区进行了地下水水质模拟试验研究工作,是在国内首次开展此项工作的。

近些年来,我国在地下水污染的调查研究方面有不少单位做了大量工作,积累了一定的资料。地质部曾在1979年与1982年分别召开了北方地区与南方地区的环境水文地质工作经验交流会。在1979年的会议上就已讨论了城市地下水污染规律及其预测,地下水污染的机理,环境质量评价方法;环境水文地质图系的编制方法,地下水水质测试技术等问题,认识到地下水的污染规律受环境水文地质条件的影响,因此,环境水文地质调查不仅要查明污染源,也要查明区域环境水文地质条件。其次,为了查明污染物在环境中的迁移、聚集、转化和自净规律,需要加强野外和室内的模拟试验研究,以便建立能客观反映地下水污染机理的环境模式和地下水环境质量评价的数学模型。就是在这次会议上号召有条件的单位积极着手进行预测地下水污染发展趋势的地下水水质模拟研究工作,我们大胆地进行了这个尝试,积累了经验,取得了可贵的成果。可以认为,伴随着我国环境科学事业的飞速进展,由我国水文地质人员与环境科学人员联合进行的地下水污染调查与地下水水质模拟研究已在多方面体现了上述的我国环境保护与环境科学研究工作的指导思想与战略部署。

鉴于根据我国国民经济发展的总体规划,加强地下水污染调查与地下水水质模拟的理论与方法研究势在必行,而我国目前出版这方面的参考书籍很少,国外也仅有J·弗里德(Fried)的《地下水污染》(“Groundwater Pollution”)一书比较系统地阐述了地下水污染与地下水水质模拟问题的基本内容,我们在近几年对这两个问题进行理论研究与现场实践的基础上总结自己的规律性认识,并吸收国内外的理论著述与先进经验编写出此书,力求能反映地下水污染与地下水水质模拟研究的现代水平,以满足当前我国环境科学领域内有关地下水水质研究与实际工作的迫切需要。本书可供从事环境保护、环境水文地质、水文地球化学和应用数学等方面的科研、生产部门技术人员及高等学校有关专业

师生阅读，并可作为教学参考书或教材。

本书内容安排遵循国内外环境科学与水文地质学理论与实践现状及发展趋势，尽量体现上述指导思想，并适当考虑了部份作者在1982年6月由全国冶金系统举办的环境科学专题讲座上讲授地下水污染与地下水水质模拟研究理论与计算方法时的教学经验。鉴于某些内容的研究现状不宜过早肯定一些论点，故本书某些章节的编写具有综述与情报研究的性质，以利读者集思广益。

全书共由十七部份内容组成。其中，第一章与第二章重点阐明环境科学研究、地下水污染与地下水水质模拟的研究现状及其理论基础；第三、四两章重点阐述地下水污染的调查研究方法及与地下水污染有关的水质评价标准；第五章阐述地下水水质模拟的最基本理论——弥散理论；第六章阐明地下水运动与地下水污染的基本方程，重点阐述水动力弥散的基本方程；第七章是对典型弥散问题求解及其应用；第八、九、十章介绍解弥散问题的数值解法，包括有限差分、有限元与边界积分方程三种解法；第十一章试图阐明地下水水质模拟研究中的逆问题及其解法；第十二章重点阐述地下水水质模拟研究中的重要参数——弥散系数的野外与实验室测定方法及应注意的实际问题；第十三、十四章讲解地下水水质模型的具体上机电算方法，包括有限元与有限差分两种方法，附带介绍几种电算程序；第十五章涉及环境影响评价的基本内容，重点阐述地下水水质变化的预测理论与方法；第十六章概述了地下水资源管理工作中的地下水水质管理模型问题。全书既包括进行地下水污染与地下水水质模拟研究所必需的基本理论，又有具体工作方法——计算与调查研究方法，以满足实际工作需要。由于本书涉及计算内容较多，希望读者能具备或参阅有关的数学基础知识。

本书各章的编写人员分工为：序言 王秉忱；第一章 王秉忱；第二章 王秉忱；第三章 王秉忱、王宝金；第四章 王宝金、王秉忱；第五章 王秉忱、许人冰；第六章 杨天行；第七章 杨天行；第八章 杨天行、李生彩；第九章 杨天行；第十章 杨天行；第十一章 杨天行、王秉忱、朱政嘉；第十二章 许人冰、侯印伟；第十三章 侯印伟、李生彩；第十四章 朱政嘉；第十五章 王秉忱、杨天行、朱政嘉；第十六章 王秉忱、杨天行、王宝金。

鉴于我们的理论水平与实践经验有限，不当之处，敬请批评指正。本书在出版过程中，王新民、朱玉仙、王忠仁等同志给予很大帮助并参加一些修改工作，本书作者表示感谢。

目 录

序言

第一章 绪 论

- § 1. 地下水资源开发利用过程中出现的水质问题 3
- § 2. 国内外地下水污染概况及其调查研究现状 9
 - 国内外地下水污染概况
 - 国内外地下水污染调查研究现状
- § 3. 环境水文地质工作的重要意义与内容 15
- § 4. 地下水模拟研究的基本情况及其重要课题 17

第二章 地下水污染与地下水模拟研究的水文地球化学理论基础

- § 1. 水文地球化学及其研究任务、内容与方法概述 21
- § 2. 天然条件下地下水化学性质的基本特征 27
- § 3. 污染物质在含水层中运移时的物理化学作用综述 31
- § 4. 渗流过程中污染物的吸附(吸收)作用 32
- § 5. 岩石中所含盐类的溶解作用 35
- § 6. 放射性元素的衰变作用 36
- § 7. 微生物的吸附作用 37
- § 8. 废污水比重对含水层中污染物质运移的影响 39

第三章 地下水污染的研究与调查

- § 1. 地下水污染的定义 42
- § 2. 地下水中的污染物质与污染类型 43
 - 地下水的细菌污染
 - 地下水的化学污染
 - 地下水的热污染
- § 3. 地下水的污染源分析及污染条件分类 45
- § 4. 地下水污染的途径 49
- § 5. 地下水污染的调查方法 51
- § 6. 地下水污染的监测 54
- § 7. 地下水污染(保护)图件的编制 55
- § 8. 核技术在地下水污染调查研究中的应用 57
- § 9. 地下水环境背景值与污染起始值的确定方法 58
- § 10. 防治地下水污染的技术措施简介 59
- § 11. 地下水集水建筑物的卫生防护带 60

第四章 与地下水污染有关的水质评价标准

- § 1. 对水质评价标准的基本认识及制定研究概况63
- § 2. 生活饮用水水质评价标准及对污染致病问题的讨论65
 - 生活污水污染
 - 工业废水污染
- § 3. 污水灌溉的水质评价标准及其污染问题76

第五章 地下水模拟的基本理论——弥散理论

- § 1. 孔隙介质中的弥散现象及其机理80
 - 弥散现象
 - 水动力弥散的机理
- § 2. 对溶质对流运移弥散与分子扩散的详细讨论85
- § 3. 弥散理论的基本论点与方程组 (弥散系统)93
- § 4. 弥散理论研究中的主要参数 101
 - 概述
 - 水流的性质
 - 连续统的概念
 - 弥散理论研究中的主要参数
- § 5. 垂向弥散与逆弥散问题概述 109
- § 6. 弥散系数的解析成果与实验结果 110
 - 用概率统计方法取得的结果
 - 由连续体模型得出结果
 - 弥散系数的实验结果

第六章 地下水运动及地下水污染的基本方程

- § 1. 地下水运动方程概述 115
 - 地下水渗流的连续性方程
 - 承压水三维流的偏微分方程
 - 潜水含水层地下水流的偏微分方程
 - 地下水流运动的积分方程
 - 源汇项
- § 2. 水动力弥散方程 127
 - 浓液中单种成份的质量守恒方程与扩散方程
 - 水动力弥散方程的建立
 - 非饱和流场中水动力弥散方程的建立
 - 可以给出源汇项 I 的表达式的三种情形
 - 溶质在承压含水层中运移的二维水动力弥散方程的建立
 - 正交曲线坐标系中地下水运动方程与水动力弥散方程形式

溶质在潜水含水层中的二维径向对称状态的偏微分方程的补充	
地下水溶质运移的积分方程	
§ 3. 地下水运动方程与水动力弥散方程的定解条件	145
地下水运动方程的定解条件	
水动力弥散方程的定解条件	
定解问题适定性概念	
§ 4. 水动力弥散方程的四种常用的定解问题	147
地下水质的水动力弥散型的数学模型	
承压含水层三维流中的三维弥散问题	
承压水水平二维流场中的二维弥散问题	
饱和—非饱和带三维流中的三维弥散问题	
§ 5. 地下水溶质迁移的随机模型	150
§ 6. 黑箱模型的建立	153
§ 7. 河流的天然净化方程式	156

第七章 水动力弥散方程几种典型定解问题的解析解及其应用

§ 1. 一维水动力弥散方程定解问题的解析解	15
§ 2. 可化为一维水动力弥散方程定解问题的解析解	177
§ 3. 二维水动力弥散方程定解问题的解析解	180
§ 4. 利用迭加原理求解析解	202
§ 5. 具有直线边界时弥散问题的解法	212
§ 6. 其它污染问题的解法	215

第八章 水动力弥散方程的有限差分法

§ 1. 有限差分法的基本思想	227
差商的定义	
差分法的基本思想与解题步骤	
§ 2. 差分格式的收敛性和稳定性	232
差分格式的收敛性	
差分格式的稳定性	
§ 3. 一维水动力弥散方程的三种差分格式	233
显式差分格式	
隐式差分格式	
Crank-Nicolson (柯朗科——尼可逊) 差分格式	
§ 4. 追赶法	235
§ 5. 二维水动力弥散方程的差分格式	238
矩形网的差分格式	

三角网的差分格式	
极坐标形式的差分格式	
边值条件的处理	
步长的合理选择	
§ 6. 变分—差分法	255
§ 7. 数值弥散问题	253
§ 8. 特征法	257
§ 9. 计算实例	260

第九章 水动力弥散方程的有限单元法

§ 1. 勒贝格积分	264
有界函数的积分	
无界非负函数的积分	
一般无界函数的积分	
积分的性质	
平方为 (L) 可积的函数	
平均收敛的概念	
§ 2. 泛函分析和索伯列夫空间的预备知识	272
线性空间	
希尔伯特 (Hilbert) 空间	
线性算子与线性泛函	
投影定理与 Riesz 表现定理	
弱收敛与紧致性	
广义导数	
索伯列夫空间、嵌入定理	
§ 3. 变分原理	288
二次泛函的极值	
极小位能原理	
解变分问题的利兹 (Ritz) 方法	
虚功原理	
迦辽金方法	
§ 4. 有限元法的基本思想及步骤	306
解一维稳定扩散问题的线性元法	
解一维稳定扩散问题的二次有限元法	
解二维稳定扩散问题的有限元法	
§ 5. 一维不稳定水动力弥散问题的有限元解法	326
§ 6. 二维不稳定水动力弥散问题的有限元解法	333
§ 7. 三维不稳定水动力弥散问题的有限元解法	382

第十章 解地下水溶质运移的边界积分方程法

- § 1. 积分方程的定义与分类..... 388
 - 基本概念
 - 积分方程的分类
- § 2. 可化为积分方程的两个问题 390
 - 预备知识
 - 可化为积分方程的两个问题
- § 3. 边界积分方程法 399
 - 直接格林函数解法
 - 拉普拉斯 (Laplace) 变换法

第十一章 水动力弥散方程逆问题的解法

- § 1. 抛物方程逆问题提法及其求解的基本概念 426
- § 2. 逆问题的间接解法 427
- § 3. 计算承压水水质运移逆问题的惩罚函数法 442
- § 4. 求解不适定问题的数学规划方法..... 445

第十二章 弥散系数的室内与野外的测定方法

- § 1. 对弥散系数的详细讨论 457
 - 概述
 - 弥散系数与流速的关系
- § 2. 弥散系数的实验室测定方法 461
 - 概述
 - 要求与条件
 - 装置与操作 (一)
 - 装置与操作 (二)
 - 对结果的简单讨论
- § 3. 弥散系数的野外测定方法 466
 - 拟用示踪剂的选择和配制
 - 试验场地的确定和井孔布置及计算模型选定
 - 野外测定方法
- § 4. 弥散系数测定中应注意的主要问题..... 482
 - 弥散系数测定对水文地质条件的要求
 - 弥散系数测定对投放、取样工具和分析检验工作的要求
- § 5. 含水层中弥散系数测定的某些解释..... 483
 - 连续输入和脉冲输入
 - 关于大范围荧光试验的解释
 - 多层含水层中的纵向弥散
 - 关于弥散度的讨论

第十三章 地下水水质模型的有限差分法计算机求解

§ 1. 特征法求解水流方程和运移方程的基本公式	488
关于水流方程的求解	
关于地下水水流速度和水动力弥散系数的计算	
应用特征法求解溶质运移方程	
§ 2. 计算机求解的准备工作	495
§ 3. 计算程序和程序的应用范围	515
§ 4. 计算中的物质平衡问题	516
§ 5. 关于稳定标准和初始点数、 r 值的选择	521
§ 6. 边界条件、初始条件和源汇点的处理原则	521
关于边界条件	
关于初始条件	
关于源和汇	
§ 7. 特征法计算程序的模型校正	546
与分析解比较	
利用实测数据校正	
§ 8. 特征法计算模型的实际运用	543
模型运用的概念	
管理决策方案	
一个预报实例	
特征法与有限元计算结果的比较	

第十四章 地下水水质模型的有限单元法计算机求解

§ 1. 地下水水质模拟所需要的资料与数据的准备	564
§ 2. 计算程序、框图及其使用说明	572
§ 3. 计算程序的验证	588
§ 4. 模型校正	590
§ 5. 计算实例	592

第十五章 地下水水质预测

§ 1. 预测地下水水质变化的基础理论	596
§ 2. 预测含水层中污染物质扩散的方法	599
§ 3. 利用地下水水质模型预测地下水水质的方法	631
§ 4. 测实例	633

第十六章 地下水水质管理模型概述

§ 1. 地下水资源管理规划问题	659
§ 2. 地下水水质管理模型	660
§ 3. 地下水系统管理模型的解法及其应用	668

第一章 绪 论

现代水文地质学的一个基本问题就是地下水资源的保护问题，它包括防止地下水枯竭与防治地下水污染两方面的内容。水文地质人员已熟知，当长时期内地下水流出量与开采量超过补充量时，就会出现含水层超负荷开采或地下水资源涸竭现象，导致集水建筑物分布地段降落漏斗的形成与扩展，或由于深层的矿化度较高的地下水被引入集水建筑物而使地下水水质变坏。在国外，受强烈开采影响造成区域性地下水位下降、地下水资源涸竭、海水入侵、地面沉降、地下建筑工地中缺氧、地下水水质污染等公害的实例很多。例如，美国西部灌溉地区一些钻孔的流量早在1958年时即已大大超过天然补给量而使含水层水位不断下降。美国圣华金河谷有3万5千眼井开采地下水，抽水强度达到地下水天然补给量的2.5倍，使地下水位在18年内从18米降到60米深，平均每年下降2.3米。有的地区下降更剧烈，达到每年4~9米。据美国加利福尼亚州调查，因地下水位下降，海水侵入沿海13个含水层，使54万亩良田变成碱地。苏联的莫斯科等大城市地下水位已下降了40~60米。在苏联，不仅出现地下淡水涸竭现象，就连著名的高加索矿产地的纳尔赞矿泉与耶先图基矿泉水也已涸竭。日本东京的最低地下水位已下降到-70米。据日本环境厅调查，截止于1978年底，发生地面沉降的地区已有35个都道府县中的35个地区，另有23个地区也确认有地面沉降迹象，其中起因于大量抽取地下水者占一半以上，沉降量有时一年超过200毫米。由于空气中缺氧造成人身事故的情况，在日本地铁工程现场常有发生。我们也应看到，地下水涸竭会直接或间接地影响其它天然资源，造成危害，如河水量减少，农耕地被疏干，森林枯萎等。

我国的水资源堪称丰富，年平均地表径流量为2.63万亿方，仅次于巴西和苏联，居世界第三位，地下水资源估算为0.7~0.8万亿方；但90%的地表径流和70%以上的地下径流与分布在面积不到全国50%的南方，而且现有耕地的2/3是在北方，这就造成我国北方十七省市干旱半干旱地区地下水资源短缺的天然条件，北方几乎所有的大城市供水都突出存在供需矛盾。据统计，全国有154个城市存在着供水不足问题，估计全国每天缺水880万吨。由于地下水资源短缺及开采利用不合理，我国不少地方也出现了上述地下水公害。例如，河北平原主要开采含水层的水位每年下降3~4米，已形成22个区域降落漏斗，总面积达2万多平方公里，漏斗中心水位一般下降20~30米，沧州地区竟达70米，漏斗区已更换了四次水泵，报废了许多水井。沈阳市地下水开采区的降落漏斗范围在1980年已扩展为175平方公里，目前在继续扩大，在开采中心区的140平方公里范围内如仍以每天超量开采18.6万方地下水的开采强度继续下去，则七年内就将会疏干上部主要含水层。近

年来,北京市地下水位平均每年下降1.5米,长辛店地区水井出水量衰减80%,含水层基本疏干。山东省淄博市临淄区大量超采地下水造成2040眼浅井水量涸竭。地面沉降不仅出现在京津沪地区,也出现于其它某些城市和地区,如太原市累积最大沉降量已达1.23米,西安市1978年地面沉降量已达20毫米。苏州市的地面沉降情况可见图1-1。沿海

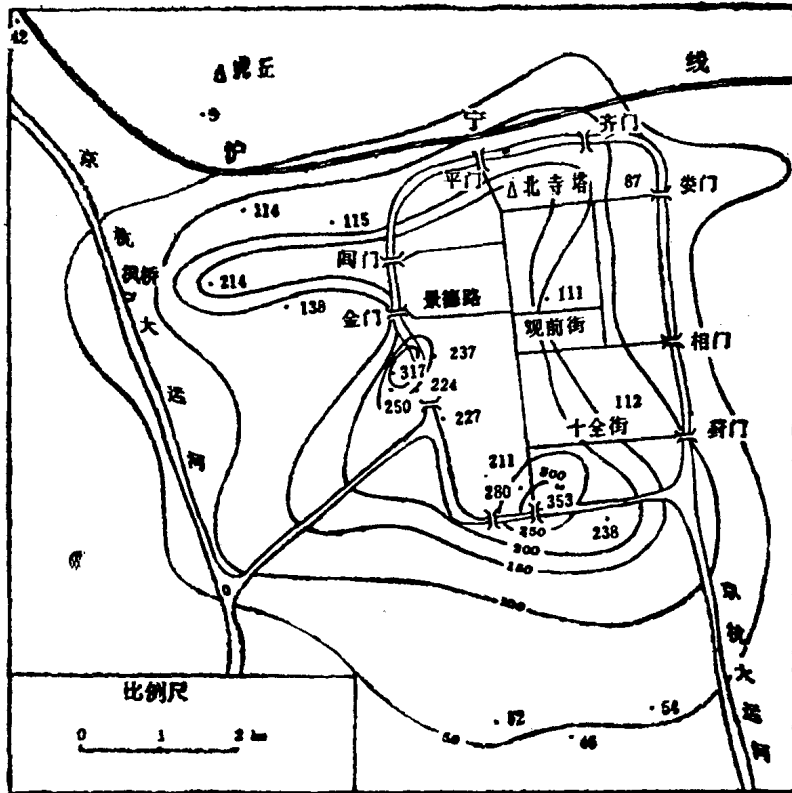


图1-1

地区的海水入侵问题也早已发生,如旅大市自1968年以来,海水入侵范围不断扩大,10年后即已接近50平方公里,造成大片菜地盐碱化,水井的水质急剧恶化。在这些地下水公害问题当中,仅海水入侵涉及水质恶化。关于地下水开发利用过程中的水质问题我们将在本章内做专题论述。在本章开头阐述其他各种地下水公害问题是由于讨论地下水水质问题时不能与地下水量、地下水位方面的问题截然分开,孤立地研讨水质成份变化,而且地下水资源的管理是地下水污染防治的根本措施,这种管理也必然涉及水量与水质两方面的问题,综合考虑到地下水公害的多种现象。关于恢复地下水储量以防治地下水资源涸竭的内容不予赘述,详可参见有关参考文献,如日本柴崎达雄编著的《地下水盆地管理》等书。我们在此仅指明一点,即补充与恢复集水建筑物地段所消耗的地下水储量,除采用向含水层注入地表淡水的方法外,也可依靠改变取水动态,通过限制取水等搞好地下水资源管理的方法加以实现。例如,日本为使地面沉降不再扩大而采取的限制抽水措施已取得显著效果,使东京都板桥区的地下水位,从1970年底到1978年底回升38.19米。

§1. 地下水资源开发利用过程中出现的水质问题

地下淡水在许多国家的供水中占重要地位。在干旱地区几乎是全部利用地下水，在湿润及半湿润地区也占20~40%。例如对非洲北部的一些国家来说，地下水是当地唯一可靠的供水水源，利比亚和沙特阿拉伯的地下水即占总供水量的100%，以色列占75%，荷兰占66%，法国占33%，美国占22~25%，苏联占24%，日本占20%，这还是几年前的统计资料，至今当会占更大比重。根据苏联的有关资料，利用地下水作为饮用水源的工作正不断加强，所探明的地下水储量在苏联的第九个五年计划期间增长了45%。苏联截止1978年有62%的城市只是用地下水一种水源作为饮用水，17%的城市利用地表水，21%的城市二者兼用。对我国近50个大、中城市供水水源的统计结果表明，以地下水作为供水水源的城市约占1/3，另有1/3的城市利用地下水和地表水联合供水。即使在采用地表水作为主要供水水源的城市中也有大量的战备井和自备水源利用地下水。目前我国一些主要城市地下水供水量已经超过城市供水能力的一半。

近年来，一些国家的研究表明，地下水化学成份具有许多时空特征，随时间、空间变化，这些变化特征使地下水作为饮用水源的难度越来越大，迫使人们进一步研究开采过程中地下水水质变化的预测与改善方法等问题。但是目前对饮用地下水的水文地球化学研究程度尚未达到应有水平，其原因在于缺少主要含水层的水文地球化学图件，对Fe、Se、Mn等微量组份在地下水中运移的水文地球化学规律、天然水的水化学变化动态，特别是利用集水建筑物开采过程中地下水化学成份的动态变化研究得不够，普查与勘探地下水时的水质评价方法也欠完善，而且在现有的地下水水质预测方法中未能考虑到人为开采因素所造成的各种水文地球化学现象。

分析一些元素在弱矿化地下水中的分布情况表明，许多地区供水水源的水质问题复杂化是因为1) 某些元素在弱矿化水中的含量高于天然背景值(达到极限允许浓度或更高)，而且经常出现高浓度元素的水文地球化学异常区；2) 由于人类生产活动使地下水中某些元素的浓度增高；3) 在集水建筑物开采过程中元素含量发生变化(也可把此原因归纳入上一项)。我们先讨论前两项内容，然后集中论述集水建筑物开采过程中的水质变化情况。

弱矿化地下水中F, Fe, Se, Sr, Be这样一些元素的区域含量相对于极限允许浓度较高的水与地球化学区分布比较广泛。这些元素浓度之所以高于极限允许浓度，与其说是由于它们在岩石中的含量就比较高，像含镭水那样，倒不如说是由于这些元素在岩石中的赋存形态和水文地球化学环境(pH值，EH值及某些组份的浓度)造成的。

由于地壳中不同化学成份的地下水分布情况取决于水文地球化学分带的总规律性，所以水文地球化学区也呈带状分布，因而是可以预测的，这种水文地球化学区不仅可凭经验资料确定，也可根据个别构造、地层的水文地球化学分带及对地下水中各种元素的现代地球化学性状的了解加以预测。在这种情况下编制主要开采含水层的水文地球化学图是非常必要的，可利用这种图件预测饮用地下水水质，并可作为制定改善地下水质的技术措施的依据。

人类生产活动对周围环境的影响表现在很多方面。由于开采矿床，特别是开发石油和天然气，进行广泛的土方工程和疏干工程施工（包括矿山排水），建造水工建筑物，进行跨区域调水使地表水重新分布，为不同目的利用矿藏，采取水利土壤改良措施等生产经济活动而使地质和水文地质条件发生大规模的变化。人类生产活动对水文地质条件的影响表现在两个方面：1）改变了水文地球化学条件并污染了地下水2）降低地下水位并消耗其储量。其中尤为突出的是污染地下水，特别是污染作为生活饮用水源的淡水和弱矿化地下水。

人们注意到，由于人类的生产活动使地下水中一些元素的浓度不断增高。近十年来，美国某些地区地下水的矿化度由0.25克/升增高到1.5克/升，而在苏联欧洲部份南部的一些地区则由1克/升增高到2~4克/升。这是由于在人类活动影响下，大部份工农业地区的天然水文地球化学动态已遭到严重破坏。在一些强烈抽水地区，地下水水质成份已与水文地质勘探及开采储量评价时所确定的成份不一致。

开采含水层的地下水水质恶化可归因于各种工农业污染、集水建筑物开采动态不佳、水从一些含水层向另外一些含水层越流等原因。农业施肥对上部开采含水层地下水化学成份的影响极大。由于大量使用化肥等肥料，潜水的矿化度以及磷酸离子、 NH_4 ，特别是硝酸盐的浓度明显增高。高浓度的硝酸盐可在地下水中保存相当久，英国利用氡同位素所作的调查表明，含硝酸盐的现代潜水的年龄为10~20年。

在人类以现有速度从事生产活动的情况下，已不可能重新恢复含水层的天然水文地球化学动态。但是查明在确定的抽水强度下由于人类活动而使地下水化学成份发生变化的进程和速度是很重要的。以便为确定在各种条件下从含水层取水的最佳动态与允许动态，也为提出在水文地质构造中保存化学成份合乎标准的地下水而采取的技术工程措施（如人工补给等）进行水文地质论证。

关于利用集水建筑物开采利用地下水时地下水水质变化的实例是很多的。例如北京市某水源地早在1965年即因开采利用过程中地下水水质恶化而报废了36眼生产井，这是相当严重的水质变化情况。我们可想而知，集水建筑物的运输总会引起地下水水质随时间的变化，如果其组份浓度变化不超过极限允许浓度，则这种水质变化是在允许的范围内，而当水质变化到不合乎水质评价标准时则是不允许的。通常，地下水化学成份随时间剧烈变化到超过极限允许浓度是由于地下水开采储量计算得不精确，取水量大大超过实际开采储量或违背水源地卫生防护标准所致。

在水文地球化学天然动态遭到破坏条件下进行开采抽水时，地下水化学成份随时间的变化有两种情况：一种是多年长期定向变化和数年内短期不定向变化。当在多年取水量超过地下水天然补给量，水位不断下降的水文地质构造中开采抽水时，地下水化学成份的多年变化特别具有代表性。例如，苏联欧洲部份南部含氟区的某些集水建筑物就有这种情况，这里地下水化学成份的变化表现在水中某些组份，特别是氟的浓度及总矿化度均增高，在1965~1977年间个别集水建筑物中氟的含量从接近评价标准或在标准以下增至5~8毫克/升。

在地下水开采利用过程中，其化学成份在数年内的变化也可能很大。例如，在苏联的俄罗斯地台西南部与前喀尔巴阡拗陷毗邻部位的含氟区内许多集水建筑物地下水中氟