

MATHEMATICAL MODELING OF
GROUNDWATER POLLUTION

地下水

污染

孙讷正 著

数学模型和数值方法

地质出版社

地下水污染

——数学模型和数值方法

孙纳正 著

地质出版社

内 容 提 要

本书主要介绍地下水污染的数学模型及其数值解法。内容包括：多孔介质中物质输运现象的基本理论，流体动力弥散方程的各种解析解法，解二维、三维和多层问题的有限差方法和有限元方法，水质模型的分类参数测定和模型校正，水质模型在地下水污染、海水入侵和污染源管理方面的应用等。

除上述基本内容外，本书还以相当篇幅介绍这一领域中目前的最新发展。其中包括：边界元方法，适用于对流为主情形的各种数值解法，地质统计方法的应用，模型的不肯定性估计及蒙特-卡洛方法，裂隙含水层的模拟，水资源管理模型与经济管理模型的耦合等。

本书可供水文地质，环境保护，石油开发，农田水利，水资源管理等方面的工程技术人员和科学研究人员进修使用；还可作为高等院校有关专业的研究生教材和教学参考书；也可供应用数学和计算数学工作者参考。

地 下 水 污 染

——数学模型和数值方法

孙 讷 正 著

责任编辑：王 肇 芬

地质出版社 出版发行
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092¹/₁₆印张：23.5字数：540,000
1989年1月北京第一版·1989年1月北京第一次印刷
印数：1—1,860册 国内定价：7.55元
ISBN 7-116-00357-6/P·308

序 言

当前,世界各国都非常重视地下水污染的问题。在我国,这个问题也十分突出。如果在工农业的发展过程中,缺少周密的规划和严格的措施,地下水将面临各种点状或面状污染源的危害。众所周知,地下水一经污染便很难清除,使本来已经短缺的水资源更趋紧张,不仅最终要阻碍经济的发展,而且还会破坏环境,影响人民的健康。

以多孔介质中物质输运理论为基础,以电子计算机为工具建立地下水水质数值模型,预测地下水污染发展的趋势,是国外近几年发展起来的一种新技术。当水源地有可能遭到污染时,它能提前发出预报,以便采取相应的防护措施,对于已被污染的水源,它可以帮助选择最佳的治理方案并推断出治理的效果。在水流模型研究和用得比较多的一些国家,目前已把建立水质模型作为主要研究课题,应用于控制地下水污染,防止海水入侵和土壤盐碱化、地下水盆地的经济发展规划和污染源管理等各个方面。

70年代末,地下水流的数学模型在我国得到了推广应用,解决了一批实际工程问题。在这一基础上,一些院校开展了地下水水质数学模型的理论和方法研究,并与科研部门和生产单位相结合,先后在常州市、济宁市、西安市、兰州市等地进行了实际建立水质模型的工作,引起了从事水文地质、环境保护工作的工程师、研究人员和高等院校有关专业师生的兴趣。但目前还没有一本专门介绍地下水污染数学模型基本理论和方法、发展现状和存在问题的专著。

关于水质模型有两本很有影响的著作,一本是J. Bear的《多孔介质流体动力学》(1972),该书对多孔介质中的物质和能量输运现象做了深入地分析,另一本是J. J. Fried的《地下水污染》(1975),在介绍水质模型的实际应用方面很有特色。但这两本书都很少涉及数值方法,同时由于出版较早,许多新的发展没有包括在内。事实上,正是在这两本书出版之后,水质数学模型的方法得到很大发展,一些重要的成果出现在有关杂志和会议论文集。

1982年春,山东省地质局和山东大学受地质矿产部水文司的委托举办了全国首次地下水污染数学模型短训班,作者为短训班编写的教材以讲座的形式连载入《水文地质工程地质》1982年第1至6期,形成了本书的雏型。此后,作者在美国加州大学洛杉矶分校系统工程系工作期间扩充了这一领域中的一些重要新进展,并结合自己的工作为该系部分研究生做了系统的报告,使本书的内容得到了扩充与完善。在定稿的时候,又根据作者应邀为美国EHP (Environmental Health perspectives) 杂志写的一篇综合评论补充了直到1988年初为止的一些新的文献和研究成果。

本书的第一章是绪论,概述了地下水污染数学模型的发展、作用和地位。第二章介绍多孔介质中的流体动力弥散理论,用空间平均方法导出了流体动力弥散方程,并对方程中的系数和定解条件做了分析。第三章讨论了流体动力弥散方程的解析解法,给出了一些典型问题的解析解。第四章是对流-弥散方程的有限差解法,重点讨论了特征线-有限差方法和它的一种改进型式——随机游动方法。第五章是对流-弥散方程的有限元解法,除通常

的加辽金有限元方法外，还包括多单元均衡方法的二维和三维形式，对大型稀疏非对称有限元方程组的解法也进行了研究和比较，此外还介绍了解地下水流动和水质问题的边界元方法。第六章专论对流为主问题的数值解法，包括各种上游加权方法、动坐标系和动点方法、以及新发展起来的一些欧拉-拉格朗日型的算法。第七章是本书最核心的一章，在前几章的基础上，给出了水质数学模型的选择原则，讨论了通过室内和野外试验对水质模型参数进行估计的方法。在这一章中还专门介绍了地质统计方法的应用，提出了估计水质模型不确定性的方法，这是目前水质模型研究中最受瞩目的方向之一。此外，在这一章中还介绍了污染源识别、计算机辅助试验设计等新思想和新方法。第八章是水质模型的应用，结合国内外已有实例讨论了水质模型在地下水污染预测、海水入侵问题和水资源管理等方面的应用。在附录中给出了作者编写的以上游加权多单元均衡方法为基础的水质模拟 Fortran 源程序，可用于二维问题的计算。

作者愿借本书出版的机会向美国加州大学洛杉矶分校土木工程系系主任叶文工教授致谢，他支持了作者在美国的合作研究，审阅了本书的大纲并提出了许多宝贵的意见，本书的部分章节也是在这个期间完成的。

本书是作者前一本书《地下水流的数学模型和数值方法》（地质出版社1981年出版，以后简称为《水流模型》）的姐妹篇。这两本书有一定联系但又相互独立，任何具备地下水动力学和高等数学基础知识的读者均可直接阅读本书。

作者

一九八八年五月

于济南山东大学

目 录

第一章 绪论	1
§ 1 地下水的水质	1
1.1 地下水的物理性质和化学成分	1
1.2 地下水污染	1
1.3 地下水水质分析与监测	3
§ 2 地下水管理	4
2.1 含水层系统	5
2.2 地下水管理	6
2.3 管理问题与预测问题	7
§ 3 地下水模型	7
3.1 物理模型与数学模型	7
3.2 地下水水质的数学模型	8
第二章 多孔介质中流体动力弥散	10
§ 1 物理参数	10
1.1 流体的质点、密度和速度	10
1.2 空间平均方法	11
1.3 流体参数、介质参数和状态参数	13
§ 2 流体动力弥散现象和机理	18
2.1 流体动力弥散现象	18
2.2 流体动力弥散机理	19
2.3 影响浓度分布的各种因素	21
§ 3 溶液中一种组分的质量守恒与对流-扩散方程	21
3.1 扩散速度与扩散通量	21
3.2 溶液中一种组分的质量守恒方程	22
3.3 溶液中的对流-扩散方程	23
§ 4 流体动力弥散方程	24
4.1 时间导数的平均	24
4.2 空间导数的平均	25
4.3 多孔介质中的对流-弥散方程	26
4.4 流体动力弥散方程的积分形式	28
§ 5 多孔介质中物质运输的理想模型	29
5.1 理想模型法	29
5.2 几何模型	29
5.3 统计模型	30
5.4 统计几何模型	31
§ 6 流体动力弥散系数	33

6.1	纵向弥散系数与横向弥散系数	33
6.2	机械弥散系数和分子扩散系数	36
§ 7	流体动力弥散方程的扩充及定解条件	38
7.1	流体动力弥散方程在正交曲线坐标系中的形式	38
7.2	流体动力弥散方程的扩充	40
7.3	初始条件和边界条件	42
7.4	弥散系数的灵敏度分析	45
第三章	流体动力弥散方程的解析解法	50
§ 1	叠加基本解	50
1.1	点源问题的基本解	50
1.2	叠加原理和映射方法	52
1.3	均匀流场中的连续注入	54
§ 2	已求得解析解的一些典型问题	55
2.1	一维弥散问题	55
2.2	二维弥散问题	60
2.3	柱状径向弥散问题	64
2.4	裂隙岩石中的弥散问题	70
第四章	解流体动力弥散方程的有限差方法和特征线方法	72
§ 1	有限差方法	72
1.1	导数的差分近似	72
1.2	一维弥散问题差分解法	73
1.3	二维问题交替方向隐式解法	77
1.4	各种迭代解法	79
1.5	非规则网格有限差方法	80
1.6	数值弥散和过量	81
§ 2	特征线方法	83
2.1	特征线方法的基本思想	84
2.2	对流部分的计算	84
2.3	弥散部分的计算	86
2.4	对时间步长的限制	87
2.5	边界条件和源汇项的处理	87
2.6	随机游动模型	88
第五章	解流体动力弥散方程的有限元方法	92
§ 1	二维问题有限元解法	92
1.1	变分有限元方法	92
1.2	加权剩余法	94
1.3	有限元离散和基函数	99
1.4	高阶有限元和爱尔米特有限元	102
1.5	等参数有限元	107
1.6	边界条件的处理	110
§ 2	多单元均衡方法	113
2.1	基本方程	113

2.2	基于多单元均衡的一种算法	114
2.3	和有限元方法的比较	118
2.4	数值解的检验	119
§ 3	三维问题的有限元解法	123
3.1	加辽金有限元方法	124
3.2	一种特殊的三棱柱单元及其基函数	129
3.3	有限差与有限元混合算法	132
3.4	多单元均衡方法	135
§ 4	有限元方程组的解法	139
4.1	有限元方程组的特点	140
4.2	直接解法	140
4.3	各种逐点迭代方法	142
4.4	逐块和逐层迭代方法	144
4.5	方法的比较	145
§ 5	边界元方法	146
5.1	格林恒等式和拉普拉斯方程的基本解	146
5.2	均质含水层中稳定流问题的边界元解法	148
5.3	对源汇项的处理	154
5.4	均质含水层中非稳定流问题的边界元解法	155
5.5	对非均质和各向异性的处理	159
5.6	对流-弥散方程的边界元解法	161
第六章	对流为主问题的数值解法	164
§ 1	问题的提出	164
1.1	数值误差的富里埃分析	164
1.2	欧拉观点和拉格朗日观点	168
1.3	典型问题	168
§ 2	上游加权方法	173
2.1	上游加权有限差方法	173
2.2	上游加权有限元方法	175
2.3	上游加权多单元均衡方法	182
2.4	推广到多层和三维的情形	189
§ 3	动坐标系方法和动点方法	197
3.1	动坐标系方法	197
3.2	网格变形方法	198
3.3	动点方法	201
§ 4	修正的特征线方法	201
4.1	单步后退方法	201
4.2	单步后退与动点混合方法	204
4.3	混合动点特征线有限元方法	205
第七章	地下水水质的数学模型	208
§ 1	模型的分类	208
1.1	流体动力弥散型水质模型	208

1.2	水流方程与水质方程的耦合	210
1.3	对流型水质模型	212
1.4	集中参数型水质模型	216
1.5	模型的选择	217
§ 2	模型校正与参数估计	219
2.1	水质模型逆问题的一般提法和解法	219
2.2	确定多孔介质弥散度的现场试验	221
2.3	弥散度大小与试验规模的关系	229
2.4	平均流速的确定	230
2.5	阻滞因子与化学反应	231
2.6	污染源识别	232
2.7	计算机辅助试验设计	234
§ 3	一种地质统计方法	236
3.1	预备知识	237
3.2	区域变数的估计问题	240
3.3	广义平稳条件下的 Kriging 方法	242
3.4	内在平稳条件下的 Kriging 方法	243
3.5	非平稳条件下的 Kriging 方法	247
3.6	地质统计方法的应用	250
§ 4	水质模型的不确定性	256
4.1	随机偏微分方程	256
4.2	参数的不确定性	256
4.3	解的不确定性	258
4.4	蒙特-卡洛方法	259
第八章	地下水水质模型的应用	262
§ 1	地下水污染的模拟和预测	262
1.1	研究的一般过程	262
1.2	饱和松散岩层的情形	264
1.3	饱和-非饱和的情形	267
1.4	裂隙含水层的情形	271
§ 2	海水入侵问题	276
2.1	问题的提出	276
2.2	海水与淡水之间的分界面	277
2.3	界面问题的数值解法	281
2.4	过渡带的确定	283
§ 3	水质管理	286
3.1	地下水水力管理模型	286
3.2	污染源管理模型	290
3.3	地下水水质规划模型	293
3.4	地下水经济与政策模型	296
小结		298
附录A:	与多孔介质中物质输运有关的参数	299

附录B: 地下水流与水质联合模拟通用程序	300
附录C: 大型、稀疏、非对称方程组直接解法的程序.....	334
符号与量纲	339
参考文献	346
名词索引	355

Mathematical Modeling of Groundwater Pollution

Ne-Zheng Sun

Department of Mathematics, Shandong University
Jinan, Shandong Province, P R C

(Contents)

Chapter I. INTRODUCTION	1
1 Groundwater Quality.....	1
1.1 Physical properties and chemical compositions of groundwater	1
1.2 Groundwater pollution.....	1
1.3 Analysis and monition of groundwater quality.....	3
2 Groundwater Management.....	4
2.1 Aquifer systems	5
2.2 Aquifer management	6
2.3 Management problems and prediction problems.....	7
3 Groundwater Models.....	7
3.1 Physical models and mathematical models.....	7
3.2 Mathematical models of groundwater quality	8
Chapter II. HYDRODYNAMIC DISPERSION IN POROUS MEDIA	10
1 Physical Parameters.....	10
1.1 Fluid particles, density and velocities.....	10
1.2 Spatial averaging method	11
1.3 Fluid, matrix and state parameters	13
2 Phenomena and Mechanism of Hydrodynamic Dispersion.....	18
2.1 Hydrodynamic dispersion phenomena	18
2.2 Mechanism of hydrodynamic dispersion	19
2.3 Occurrence of dispersion phenomena.....	21
3 Mass Conservation and Convection-Diffusion Equations in a Fluid Continuum.....	21
3.1 Diffusive velocities and fluxes	21
3.2 Mass conservation of a species	22
3.3 Convection-diffusion equations in a fluid continuum	23
4 Hydrodynamic Dispersion Equations	24

4.1	Average of a time derivative	24
4.2	Average of a spatial derivative	25
4.3	Convection-dispersion equation in a porous medium	26
4.4	The integral form of convection-dispersion equation	28
5	Conceptual Models of Mass Transport in Porous Media	29
5.1	The conceptual model approach	29
5.2	Geometrical models	29
5.3	Statistical models	30
5.4	Statistical-geometrical models	31
6	Coefficients of Hydrodynamic Dispersion	33
6.1	Longitudinal dispersivity and transversal dispersivity.....	33
6.2	Coefficients of mechanical dispersion and molecular diffusion	36
7	The Governing Equations and Additional Conditions	38
7.1	Extensions of governing equations	38
7.2	Governing equations in curvilinear coordinates	40
7.3	Initial and boundary conditions	42
7.4	Sensitivity analysis of dispersion coefficients	45

Chapter III. ANALYTIC SOLUTIONS OF HYDRODYNAMIC DISPERSION EQUATIONS.....50

1	The Method of Superposition	50
1.1	The basis solution of a point source	50
1.2	Superposition and images	52
1.3	Continuous injection in the uniform flow field.....	54
2	Analytic Solutions of Some Canonical Problems.....	55
2.1	One-dimensional dispersion problems	55
2.2	Two-dimensional dispersion problems	60
2.3	Plane radial dispersion problems	64
2.4	Dispersion problems in fractured media	70

Chapter IV. FINITE DIFFERENCE METHODS AND THE METHOD OF CHARACTERISTICS FOR SOLVING THE CONVECTIONDISPERSION EQUATIONS.....72

1	Finite Difference Methods	72
1.1	Finite difference approximations of derivatives	72
1.2	Finite difference solutions of one-dimensional problems.....	73
1.3	The ADI method for two-dimensional problems	77
1.4	Iteration methods.....	79
1.5	FDM with irregular grids	80
1.6	Numerical dispersion and overshoot.....	81
2	The Method of Characteristics	83
2.1	Basis idea of the method of characteristics	84
2.2	The computation of convection part	84

2.3	The computation of dispersion part.....	86
2.4	The limitations of time step size.....	87
2.5	The treatments of boundary conditions and source terms	87
2.6	A Random-Walk solute transport model.....	88
Chapter V. FINITE ELEMENT METHODS (FEM) FOR SOLVING		
THE CONVECTION-DISPERSION EQUATIONS.....		
1	FEM for Two-Dimensional Problems.....	92
1.1	Variational FEM	92
1.2	Method of Weighted Residuals.....	94
1.3	Finite element discretization and basis functions	99
1.4	Higher-order elements and Hermite elements.....	102
1.5	Isoparametric finite elements.....	107
1.6	Boundary conditions.....	110
2	Multiple Cell Balance Method.....	113
2.1	Governing equations.....	113
2.2	An algorithm based on multiple cell balance.....	114
2.3	The comparison with FEM.....	118
2.4	The test of numerical solutions.....	119
3	FEM for Three-Dimensional Problems	123
3.1	The Galerkin FEM	124
3.2	A kind of triangular prism elements and associated basis functions	129
3.3	A mixed method of FEM and FDM	132
3.4	Multiple cell balance method(MCBM).....	135
4	The Solutions of Finite Element Systems	139
4.1	Properties of Finite Element Systems.....	140
4.2	Direct solutions.....	140
4.3	Point iteration methods	142
4.4	Block iteration methods	144
4.5	Comparisons	145
5	Boundary Element Method	146
5.1	Green's identities and fundamental solutions of Laplace's equation	146
5.2	Boundary element solution of a steady flow in a homogeneous aquifer	148
5.3	The treatment of sinks and/or sources	154
5.4	Boundary element solution of a unsteady flow in a homogeneous aquifer	155
5.5	The treatment of inhomogeneous and/or nonisotropic aquifers.....	159
5.6	Boundary element method for convection-dispersion equations.....	161
Chapter VI. NUMERICAL SOLUTIONS OF CONVECTION DOMI-		
NATED PROBLEMS.....		
1	Presentation of Problems	164
1.1	Fourier analysis of numerical errors	164
1.2	The Eulerian and Lagrangian points of view	168
1.3	A number of reference problems	168

2	Upstream Weighted Methods	173
2.1	Upstream Weighted FDM	173
2.2	Upstream Weighted FEM	175
2.3	Upstream Weighted MCBM	182
2.4	Extended to three-dimensional cases	189
3	Moving Coordinate System and Moving Point Methods	197
3.1	Moving coordinate system methods	197
3.2	Deforming grids methods	198
3.3	Moving point methods.....	201
4	The Modified Methods of Characteristics.....	201
4.1	The single step reverse method.....	201
4.2	Single step reverse-Moving point methods.....	204
4.3	The hybrid moving point method.....	205

Chapter VII. MATHEMATICS MODELS OF GROUNDWATER

	QUALITY	208
1	The Kinds of Models	208
1.1	Hydrodynamic dispersion models	208
1.2	Coupling flow and mass transport models	210
1.3	Pure convection models	212
1.4	Lumped parameter models	216
1.5	How to select a model	217
2	Model Correction and Parameter Estimation	219
2.1	The general statement and solutions of inverse problems	219
2.2	Field experiments for determining dispersivities.....	221
2.3	The relationship between the size of dispersivities and the scale of experiments.....	229
2.4	The determination of average velocities	230
2.5	Retardation factor and chemical reaction	231
2.6	The identification of groundwater pollutant sources	232
2.7	Computer aided design (CAD) of field experiments	234
3	A Kind of geostatistics approach.....	236
3.1	Preliminaries	237
3.2	Estimation problem of a regionalized variable	240
3.3	Kriging in the hypothesis of weak stationarity	242
3.4	Kriging in the hypothesis of intrinsic stationarity	243
3.5	Kriging in non-stationary cases	247
3.6	The applications of geostatistics approach.....	250
4	The Uncertainty of Groundwater Quality Models	256
4.1	Stochastic partial differential equations	256
4.2	The uncertainty of parameters	256
4.3	The uncertainty of solutions	258
4.4	Monte-Cario simulations	259

Chapter VIII. THE APPLICATIONS OF GROUNDWATER QUALITY MODELS.....	262
1 Simulation and Prediction of Groundwater Pollution	262
1.1 The general procedure of studying groundwater pollution problems	262
1.2 In the case of saturated aquifers.....	264
1.3 In the case of unsaturated aquifers.....	267
1.4 Mass transport in fractured aquifers	271
2 Salt-Water Intrusion in Coastal Aquifer	276
2.1 The problem of salt-water intrusion	276
2.2 Fresh water-salt water interface	277
2.3 Numerical methods of determining interface.....	281
2.4 The determination of transition zone	283
3 The Management of Groundwater Quality	286
3.1 Groundwater hydraulic management models.....	286
3.2 Management models of groundwater pollution sources	290
3.3 Project models of groundwater quality	293
3.4 Economic and politic models in groundwater management	296
CONCLUSIONS	298
APPENDIX A: THE RELATED PARAMETERS IN THE MODELING OF MASS TRANSPORT IN POROUS MEDIA.....	299
APPENDIX B: A FORTRAN IV PROGRAM FOR TWO-DIMENSIONAL MASS TRANSPORT MODELS(UPSTREAM WEIGHTED MCBM)	300
APPENDIX C: A FORTRAN IV PROGRAM FOR SOLUTION OF LARGE, SPARSE, UNSYMMETRIC SYSTEMS OF LINEAR EQUATIONS	334
NOMENCLATURE SYMBOL AND DIMENSION.....	339
BIBLIOGRAPHY	346
INDEX	355

第一章 绪 论

§ 1 地下水的水质

本节将根据以后建立模型的需要, 向读者介绍有关地下水水质的一些基本知识。

1.1 地下水的物理性质和化学成分

地下水的物理性质主要指它的温度, 颜色, 透明度, 味, 嗅, 比重, 导电性等。这些性质与地下水所处的环境以及它所含的化学成分有关。目前在地下水中已经发现有60多种元素存在, 多数以离子的形式出现, 个别以分子和微粒的形式出现, 此外还包括溶解于水中的各种气体。在天然条件下, 地下水中所含的化学成分主要有: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 等, 溶解于水中的气体以 O_2 , N_2 , CO_2 , H_2S 和 CH_4 等比较常见。

为了表示地下水中总含盐量的多少, 常用矿化度这一术语, 单位是g/L。矿化度小于1的为淡水, 大于3的则为咸水。在实用上, 表示地下水化学成分的其他指标还有酸度, 碱度, 硬度等。

地下水中所含的化学成分取决于两个因素, 即地下水贮存和运动的天然环境以及人类的活动。地下水的天然补给来源主要是降水入渗和地表水体的下渗。降水的矿化度一般很低, 但在通过土壤层时, 由于溶解、氧化, 还原、离子交换等作用而使水的化学成分发生变化。这部分水进入含水层以后, 参与地下水的垂直及侧向运动。在运动过程中将继续溶解与它相接触的岩石或矿物, 使地下水的矿化度不断增加。人类的活动可能改变这一天然的进程, 并可能使地下水含有诸如细菌、有机物和重金属等有害成分。人们按照不同的用途对水质提出了不同的要求, 并制定了相应的水质标准。在《供水水文地质手册》第二册上^[1]列举了若干标准, 本书引用表1.1是饮用水水质标准。

由于地下水中总是含有多种化学和生物成分, 因此应当把地下水看成是一种多组分的流体。它所含某种成分的多少可以用该种成分的浓度来衡量, 即单位体积的水中所含该种成分的质量(量纲是 M/L^3)。若把成分 α 的浓度记为 C_α , 则任何用途的水质标准都可以写成下列共同的数学形式:

$$C_{\alpha, \min} < C_\alpha < C_{\alpha, \max} \quad (1.1)$$
$$(\alpha = 1, 2, \dots, n)$$

式中, $C_{\alpha, \min}$ 和 $C_{\alpha, \max}$ 分别是针对成分 α 规定的不允许超出的浓度下限和上限; n 是所考虑的成分的总数。按照具体情况, 这里所说的成分既可以指单种离子, 也可以指多种离子的组合。

1.2 地下水污染

假若由于某种原因改变了符合一定标准的地下水水质(包括它的物理、化学和生物性质), 使它不再适合原来的用途, 我们就说地下水遭到了污染。

地下水埋藏于地表以下, 不像地表水那样易受污染, 而且地下水的流速很小, 污染物质

表 1.1 生活饮用水水质标准

编号	项 目	标 准
	感官性状指标:	
1	色	色度不超过15度, 并不得呈现其它异色
2	浑浊度	不超过5度
3	臭和味	不得有异臭, 异味
4	肉眼可见物	不得含有
	化学指标:	
5	pH值	6.5~8.5
6	总硬度 (以CaO计)	不超过250mg/L
7	铁	不超过0.3mg/L
8	锰	不超过0.1mg/L
9	铜	不超过1.0mg/L
10	锌	不超过1.0mg/L
11	挥发酚类	不超过0.002mg/L
12	阴离子合成洗涤剂	不超过0.3mg/L
	毒理学指标:	
13	氟化物	不超过1.0mg/L, 适用浓度0.5~1.0mg/L
14	氰化物	不超过0.05mg/L
15	砷	不超过0.04mg/L
16	硒	不超过0.01mg/L
17	汞	不超过0.001mg/L
18	镉	不超过0.01mg/L
19	铬 (六价)	不超过0.05mg/L
20	铅	不超过0.1mg/L
	细菌学指标:	
21	细菌总数	1毫升水中不超过100个
22	大肠菌群	1升水中不超过3个
23	游离性余氯	在接触30分钟后应不低于0.3mg/L。集中式给水除出厂水应符合上述要求外, 管网末梢不低于0.05mg/L

在地下水中扩展的速度很慢, 可能在长时间内不被察觉, 因此地下水污染这一潜在的危险问题往往被人们忽视。实际上, 由于人类的活动, 在某些城市和地区大面积的地下水正在遭到污染。地下水一经污染便很难清除, 对某些含水层所做的预测计算表明, 即使现在去掉了污染源, 也还需要等几十年甚至几百年才能得到自然静化清除。对于细颗粒介质, 要清除污染更是困难。和地表水相比, 治理地下水污染要付出更高的代价和更长的时间。因此对地下水污染的问题必须立足于预测和预防。

在天然状态下, 地下水具有一定的自净能力。含水层本身起一个过滤器的作用, 吸附和离子交换过程有助于降低水中的污染物浓度。淋滤的污染质进入含水层, 而含水层的水排泄时又把一些污染质带走, 从而达到某种动态平衡。人为的活动可能使这种平衡遭到破坏, 使地下水中的污染物浓度超过规定的指标。地下水污染的主要来源和途径包括以下几个方面:

1) 工业方面 各类工厂排放含有毒物质的污水直接渗入地下, 或者污染地表水后又通过地表水与地下的联系而污染地下水体。堆放在地面和埋藏地下的工业废物中各种有害物质会随着降水入渗和地下水的运动进入含水层中。对地下水威胁最大的是汞、镉、铅、