

水利部技术情报所
K040029-20

粮农组织灌溉和排水丛书

31

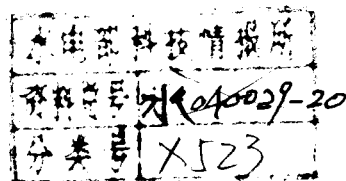
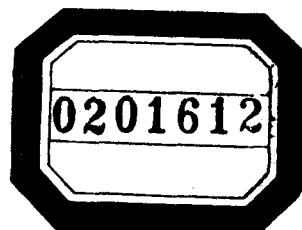
张

地下水污染



联合国粮食及农业组织 罗马





地下水污染

技术、经济和管理

在粮农组织、联合国开发计划署和西班牙政府有关西班牙地下水保护项目的范围内
在美国马萨诸塞州坎布里奇麻省理工学院的
合作下由西班牙地质矿业学院编写

联合国粮食及农业组织
1979年 罗马

本书中所用名称及材料的编写方式并不意味着联合国粮农组织对于任何国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位或对于其边界的划分表示任何意见。

M-56

ISBN 92-5-50069-1

本书版权属联合国粮农组织所有。未经版权所有者书面许可，不得以任何方法或程序全部或部分翻印本书。申请这种许可应写信给意大利罗马 Via delle Terme di Caracalla 00100 联合国粮农组织出版处长，并说明希望翻印的目的和份数。

© 粮农组织 1979 年

本书所述内容为对地下水污染的技术、经济、体制等方面的问题所进行的一次调查。调查表明，地下水污染的根源和潜在污染物的类型是多种多样的。污染来源的分布非常广泛，其后果有的是急性的和局部性的，也有的是慢性的和区域性的。污染的来源和类型常与土地的利用有关。

地下水流动缓慢，因此对质量变化的反应也很缓慢，这就使人难以对地下水污染进行预测、监测和控制。在大多数情况下污染的移动是由水的流动决定的，因此取决于相同的物质因素。由于自然稀释和扩散以及由于各种化学和生化作用的结合，污染在通过土壤和地下水系统时趋向于减弱。在这些因素中，沉淀液、离子交换和吸附，以及生物化学递降（氧化还原作用）对于地下水的质量是最为重要的。各种物理、化学或生物处理的重要性取决于污染的类型和来源，以及土壤和（或）蓄水层物质的性质、地下水文和水流层的情况。

对于地下水污染的探测和观察是以适当的监测网和（或）计划为基础的。大多数系统旨在从现有的水井中取样，但是一个设计良好的监测系统完成的工作不止于此，它要考虑到目前和以后的污染来源，还要考虑如何采取地下水的活动。应对地下水质量样品进行仔细的分析，提取样品的技术和观测井的设计应与观测计划的目标相符合。对于污染来源的监测是这类计划中的一个重要部分。

地下水的污染只是阐述水的质量和数量以及社会的成长和发展的复杂的相互影响的体系的一部分。在这一前提下，本书将就外部因素的经济概念以及就技术、体制和经济的各种因素之间的相互作用展开讨论。

从诸如废水处理，或通过例如抽出水来恢复和（或）控制蓄水层之类的来源控制的角度阐述了执行体制或经济政策的技术因素。对一系列的用于控制污染的体制、法律和经济措施进行了研究，其中包括河流和蓄水层标准，污水标准和污水收费。地下水资源流动慢和反应慢的性质在决定这些措施的效能方面起着一定的作用。本书还谈及为地下水污染控制计划筹借经费的各个方面及确定控制污染的费用和利益的方法。

地下水污染的原因、类别和程度多种多样，从由于农业上广泛使用氮肥到工业

化工厂的一次外溢事故都可能造成污染。工业方面造成污染的来源可分为，废物处理活动、工业设备渗漏以及事故性溢出。它们通常是局部性的，污染物的类型是多种多样的。尽管城市中的工业活动密集必然会造成地面蓄水层的普遍污染。农业污染的来源包括肥料和农药的使用以及作为不定源来源的灌溉回流水。畜舍的动物粪便是造成当地污染的一种威胁。农业活动中最主要的污染物是硝态氮，但是它的未溶解的固体粒子对于用于灌溉的水是重要的。家庭的主要污染来源是固体和液体的废物。化粪池如果使用不当会造成局部污染问题，如果密度过大，还会造成区域性的硝酸盐增多的问题。地面排放城市污水是潜在的硝酸盐来源，因为土地中充满了各种金属及各种有机和无机混合物。这些主要是局部污染的来源。放射性污染是发展核能造成的一种未来的威胁。矿石的开采、加工和运输，发电厂和再处理工厂的渗漏与事故会造成紧急地方性污染，但对地下水的影响不及对其它环境因素的影响大。燃料和废物的储存会对地下水的质量造成严重的长期威胁。人们还会使低质量的水份散出去，从而导致水井污染。在沿海地带和原生盐水与淡水蓄水层有接触的地方，由于地下水被取走而咸水渗入增多，水质可能下降。如果把受污染的表层水重新注入附近水压上有联系的蓄水层也会造成同样问题。人为地向蓄水层注水会造成未溶解的成份进入蓄水层，而这些东西在许多情况下会使水质下降。

可以采用一系列的分析方法来对污染来源和控制污染的方法和经济问题进行评估。进行这些分析应与综合性的长期水利资源规划联系起来。本书论述了对各种可能的政策进行选择的标准，并回顾了进行分析的系统分析技术。本书还论述了在地下水质量的分析中使用最佳模式来确定最佳选择的问题以及模拟模式的工艺水平。模拟模式已为较多的人们所使用，在评估现有的污染状况和预测未来的趋势方面它们的应用越来越有权威了。对于经济方面输入分析技术的评估是为了弄清在分析地下水污染控制的可选择的方法时使用这种方法的可能性。

本书提供了用于说明把规划技术用于现实世界问题的实例研究。该研究从对水的质量的影响的角度评价了西班牙巴伦西亚平原地区的各种不同的供水计划。然后根据上述系统分析技术讨论了实例研究中所使用的方法。

致 谢

联合国粮食及农业组织向为帮助完成本书编写工作提供资料、建议和方便条件的下列组织和个人表示深切的谢意：

国际技术合作总干事（西班牙外交部），西班牙地质、矿业学院院长和该学院地下水系主任，以及美国加利福尼亚南部地区水利资源部。

本书编写咨询小组的成员有：美国加利福尼亚水利资源部 R. Chun 先生；英国水利资源中心 K. Edworthy 先生；法国塞纳河·诺曼底河流域财政局 P. F. Teniere-Buchot 和 M. Dargent 先生；罗马粮农组织 R. G. Thomas 和 D. W. Westcott 先生。

联合国粮食及农业组织还认为，如果没有项目人员和支持者们的辛勤努力，就无法完成本报告的编写工作。鉴于这个情况，我们向麻省理工学院两位土木工程副教授 Roberto Lenton 和 John L. Wilson 博士深表谢意，他们主持了本报告的编写工作。此外还要向 Jorge Porras 博士和访问研究工程师 Javier Caloin, Pedro Nieto, Luis de Oteyza 和 Enrique Reyes；研究助理 Patricia Deese 女士和 Peter Kitaniadis 先生表示深深的感谢，他们在搜集资料和起草最后文本时，提供了良好的合作。

本报告的最后文本在原稿的基础上作了某些删节，此外增加了一些粮农组织有关水利灌溉的作用的注释。除了这些小的改动外，本报告大部分仍为西班牙小组起草的原稿。

前 言

近年来，西班牙的工业、城市和乡村发展得很快。因此，西班牙政府对与迅速的社会发展有关的潜在的环境污染表示关切。特别是因为西班牙大量地依靠地下水源，而且预计今后由于水的需要量还将增加，情况更是如此。西班牙的地下水占水的总供应量的23%左右，预计到本世纪末这个比例将上升到占总量的40%。但该国对地下水的污染或可能的污染情况了解甚少。潜在的污染问题已经很严重，西班牙政府必须采取行动，不能等到污染的迹象很明显以后再采取行动。本报告所谈及的是地下水污染的技术、经济和管理方面的较为一般的问题，它过去是西班牙政府为采取适当行动所提出的初步计划的一部分，现在则是西班牙政府和西班牙地质矿业学院在联合国粮农组织和联合国开发计划署协助下执行的名为《地下水污染及其预防的研究》的一个两年综合性计划的一部分。在该计划的第一年里有四名西班牙技术人员和一名经济学家到麻省理工学院接受有关地下水污染方面的培训，本报告就是在这些研究过程中对技术水平进行的研究的结果，还提出了所使用的实例研究的概要。

第一年的研究成果已运用到第二年为地下水管理和保护建立国家和区域性系统的计划中去。第二年的具体目标是分析西班牙地下水污染控制的具体办法，以及至少分析西班牙两个地区的区域性地下水质量管理体系。

本报告并不试图谈所有的问题，只是想从整个环境系统来谈谈污染方面的问题：卫生、生态、经济及社会等方面的问题。解决发展对水源的影响的总方针是制定长期的水源规划，并至少要在本报告所谈及的内容的范围内对地下水的污染的管理给予特别强调，因为地下水的质的管理总的来看和地下水的数量及地面水的质和数量的管理是分不开的。

地下水污染的管理是多层的：小至对一个地方性的污染问题的控制或评价，大至对整个流域范围的地下水的质的管理。由于需要论及的情况的范围这么广泛，这就需要对地下水污染的技术、经济以及管理方面的问题有广泛的了解，并看到它与其它环境因素的相互作用。因此本报告的总的目标是为管理人员和技术人员提供一幅关于可能影响地下水质量的环境因素相互作用的图画。但是，要解决具体的问

题，还需要对环境因素相互作用作更加仔细的研究。鉴于这种情况，本报告的目标是：

- 1 提出适用于地下水污染问题的有关物理、化学和生物等基本方面的问题的背景材料；
- 2 使人们对不同类型的污染及造成污染的原因、程度及防治给予注意；
- 3 对用于监测地下水质量的系统和技术进行分析并分类编目；
- 4 审查和制定控制地下水污染的技术、经济和体制性方法；
- 5 审查用于地下水污染管理和水源规划的分析方法，其中包括最佳选择、模拟和输入—输出模式；
- 6 将上述这些方法，特别是分析方法应用于一个实例研究报告。

目 录

	页 次
概 要	I I I
致 谢	V
前 言	V I
图 目	X I I
表 目	X I I I
第一章 地下水污染的基本方面	1
1 · 1 确定问题	1
1 · 1 · 1 自然降解的来源	1
1 · 1 · 2 人为污染的来源	2
1 · 1 · 3 最后的评论	5
1 · 2 地下水污染的物理、化学和生物方面的问题	5
1 · 2 · 1 物理方面	6
1 · 2 · 2 化学方面	11
1 · 2 · 3 生物方面	21
1 · 2 · 4 综 述	25
1 · 3 地下水污染的探测和观察技术	26
1 · 3 · 1 地下水质量监测的定义和目的	27
1 · 3 · 2 设计地下水质量监测系统的原理	29
1 · 3 · 3 观察井和取样	30
1 · 3 · 4 建立一个观察网的活动	35
1 · 3 · 5 对污染来源的监测	36
第二章 地下水污染的原因、类型和程度及其控制	37
2 · 1 地下水的工业污染	37
2 · 1 · 1 工业污染的来源	38
2 · 1 · 2 工业污染的特点	40

2·1·3	工业污染的管理	41
2·1·4	深井废物处理	42
2·1·5	采矿活动	44
2·2	地下水的农业污染	45
2·2·1	成为水污染物的植物营养物	45
2·2·2	农 药	50
2·2·3	牲畜粪便	52
2·2·4	灌 溉	53
2·3	城市和家庭污染	59
2·3·1	城市废水的处理	60
2·3·2	固体废物的处理	62
2·3·3	公路防冻盐和其它来源	62
2·4	对地下水的放射性污染	63
2·4·1	放射性污染的定义	63
2·4·2	放射性污染的来源	63
2·4·3	进入蓄水层的放射性核素	65
2·4·4	保护地下水的标准	65
2·5	天然和(或)人为的地下水污染	66
2·5·1	咸水的侵入	66
2·5·2	用污染的地表水对蓄水层的再补给	70
2·5·3	受空气污染的水的补给	70
2·5·4	地下水的热污染	71
2·5·5	蓄水层的人工补给	71
第三章	控制地下水污染的方法和效果	73
3·1	污染的概念及其与“外界”经济概念的关系	73
3·2	技术性、体制性和经济性问题的相互关系	74
3·3	地下水质量控制的技术性方法	78
3·3·1	控制水源	79
3·3·2	对受污染的地下水的控制	80

3 · 4	管理地下水质量的机构	81
3 · 5	进行污染控制的体制、法律和经济措施	82
3 · 5 · 1	法律补救方法	83
3 · 5 · 2	河流或蓄水层标准	83
3 · 5 · 3	排放标准	84
3 · 5 · 4	排放费	86
3 · 5 · 5	支 付	88
3 · 5 · 6	可转让的污染经济权利市场	89
3 · 5 · 7	土地利用	90
3 · 6	经济问题	90
3 · 6 · 1	财政问题	92
3 · 6 · 2	对土地水污染控制的成本和效益的估计	93
第四章	分析方法	97
4 · 1	地下水质量管理	97
4 · 2	选择不同政策的标准	98
4 · 3	系统分析方法	100
4 · 3 · 1	重要定义	100
4 · 3 · 2	地下水质量的可能的目标函数	102
4 · 3 · 3	判定变数	104
4 · 3 · 4	限制条件	104
4 · 3 · 5	对数学规划问题的说明	105
4 · 4	优选法	106
4 · 5	模拟方法	108
4 · 5 · 1	地下水质量的数值模式	108
4 · 5 · 2	投入—产出分析	112
4 · 5 · 3	优选和模拟方法的联合使用	115
第五章	地下水管理—实例研究	117
5 · 1	对实例研究的简要说明	117

5·1·1	对实例研究地区的说明	117
5·1·2	可供选择的各种计划	118
5·1·3	最佳方法的选定	112
5·2	讨 论	122
5·2·1	设计目标的选定	124
5·2·2	把目标变为设计标准	124
5·2·3	从设计标准到系统设计	125
5·2·4	对计划结果的评价	126
参考材料		127
附件一	词汇表	143
附件二	保护水的质量不受牲畜粪便污染的指导方针	147
附件三	社会和私人费用	149
附件四	关于收取排放费的一些实例	151
附件五	对是否愿意支付的调查	
附件六	线性规划的应用：可允许的地下水污染的“最佳”水平	
附件七	评价污染控制措施的经济影响的投入—产出模式的应用	

图 目

页 次

1	导致污染稀释的有效化学方法	19
2	某一灌溉压的水和咸水流向图	55
3	对灌溉水和土壤中含盐度有不同耐力的各种作物	55
4	供水、农场和排水支系	57
5	物质流程图	76
6	决定环境质量最佳水平和排放速度	78
7	不同污染者的边际成本的差别	85
8	排放费的确定	88
9	低水平废物处理的排放费	88
10	水质量和土地利用之间的相互作用	91
11	转换曲线	99
12	系统投入—产出	101
13	巴伦西亚平原—该地区的地理和边界	116
14	计划1的地面和地下水年使用量	120
15	计划2的地面和地下水年使用量	121
16	与质量有关的消费者费用	123
C1	社会和私人费用	149
E·1	减少总溶解固体需求量曲线—愿意支付的程度	155
F·1	系统的相互作用	157
F·2	确定最佳的蓄水层质量水平	163

表 目

	页 次
1 地下水中的溶解物	14
2 与土壤化学处理有关的化学化合物	20
3 水的综合性分析中的各种成份	34
4 水文地质学中有关的放射性核素	64
5 对于地下处理各种因素的评价	67
6 用于规划和预测的经济与环境模式的要点	114
D·1 工业污染系数	153
D·2 废水系数	154
F·1 系统的判定变数	158
F·2 系统参数	159
F·3 系统效益和成本系数	160
G·1 假设的投入—产出系数	164
G·2 最后的投入—产出值	164
G·3 包括污染在内的投入—产出系数	165
G·4 包括污染控制在内的最后投入—产出价值	166
G·5 以美元价值表示的国民经济投入—产出表	167

第一章

地下水污染的基本方面

本章的目的是为本报告以后各章打下一个基础。为此目的本章分为三部分。第一部分简要地介绍一下地下水污染的类型和种类，它们在地下的移动和变化情况以及它们对人类和环境的影响。从中可以看到地下水污染的一些普遍的特点。本章第二部分谈到影响污染物运动、分布和变化的各种物理、化学和生物过程。最后，第三部分论及监测地下水质量的技术，包括观测网的设计及取样观测井的使用。

1·1 确定问题

地下水的质量发生变化的原因有：人类把外来的化学和生物物质带入了地下环境，自然流动格局受到了数量的干扰，完全是自然的进程的演变或上述几种兼而有之。垃圾填坑、菜牛饲养场和石油化工储存容器的渗漏是第一类物质的明显的来源。供水井是说明第二类的数量干扰的主要例子，这种干扰可能以一种其它方法所不能做到的方式使人造的和天然的化学物重新扩散。第三类即自然进程包括地下水的矿物质化和天然咸水的浸入过程。以下各段简要谈到了可能改变地下水质量的各种类型的人类的活动，自然界如何对这些活动作出反应的方式及其对人类和环境的影响。

1·1·1 自然降解的来源

大多数地下和地表水中都含有某些天然溶解盐。这些盐最常见的来源是水在水力流动循环中与各种岩石和土壤矿物质的接触。同时，水还可以从树叶、草及处于各种生物降解阶段的其它植物中吸收天然有机物，以及大气中溶解的气体。这些接触的结果是，由于溶解或化学反应后发生溶解，水中各种数量的天然杂质越来越多（Hem，1961年）。这些天然的矿物质化的过程在干旱地区特别显著，但是它所形成的质量是自然界的作用，不是人类引起的，因此通常被称作本底水准质量。

还有其它天然因素使水的质量降低。在沿海地带向海洋移动的地下淡水和地下咸水的天然交汇处。在向海洋移动的过程中淡水慢慢上升到咸水上部，然后和较浓的海水汇合再流向海洋。在一个较长的时期内淡水和咸水的“分界面”可能移向内地或回到海洋，这要看该地区的水文和气候的自然变化如何。

我们脚下有咸水。在古成层沉积中埋藏着原生卤水；卤水在沉积起来时或海水退下去后被封闭在成层沉积中。这些卤水常与主要的天然气或石油矿床混合在一起，但又是分别出现的。如果有足够浓度，它们是构成某些矿物质的潜在的有价值的来源，而且在许多地方，如果对它们加以淡化，它们是农业、工业或民用水供应的潜在来源。

这些浅卤水沉积存在于主要淡水蓄水层的下面，而且在水压方面与之连接在一起，这是常有的事情。因此，在这些蓄水层中和在沿海一带，人们抽取地下水的活动可能会使低质量的自然水改变布局。其结局可能是由于咸水的侵入而最终放弃抽水井。本书第2·5节将讨论这些问题。

1·1·2 人为污染的来源

有大量的活动都与人类把外来的化学和生物物质带入地下环境中有关。这些活动中首先是农业，有五种主要物质的来源与它有关。从长远来看，潜在危害性最大的是化学农药的应用。但是大量地使用化肥作为植物营养物，可能是更重要的问题，它会使某些地面水和地下水中的营养物积聚得越来越多。当前世界干旱和半干旱地区最为紧迫的地下水的质量问题不容忽视：即由于自然渗漏和水利灌溉而使地下水中的矿物质越来越多。这些污染来源大多是人类在从事农业活动的过程中附带产生的，农民当然并不希望这些物质会进入地下或地面水中。这些来源大多可称为衍生的、地区性的或不定原的来源。

与这些不同的是农业方面其它的与农业废物处理活动有关的来源。这些来源中首先是牲畜粪便，其中大约一半是集体的生产体系中的牲畜的粪便。作物废料及农药和肥料储存设施，是其它的物质来源。这些来源看起来常常是某一点的或地方性的来源，造成地方性的污染问题。有关农业污染的进一步的论述，可见本书第2·2

节。

工业是使地下水受到化学物污染的另一个来源。这些来源的大部分是地方性的或某一点的。某些废物被有意地通过注入井和渗透、补充或渗入坑注入地下水系统。造成污染的更为经常的原因是挥发池、蓄存或氧化池、埋入地下的废物、填坑物或深井处理废物等活动。地面上工业废水的流动是咸水常常进入地下水的原因。地下矿井的渗漏和矿渣淋洗液构成另外的威胁。最后，与生产、储存和运输设备有关的故事性的溢出或泄漏也会导致地下水质量的下降。

由于这些活动，有上千种的化学物质可以进入地下环境。部分清单包括：废油、石油化工产品、油田卤水、工业残渣、无机盐以及包括多种多样有机物在内的各种外来物质。第2·1节将详细讨论工业污染问题。

农村和城市家庭中产生的废物都进入了地下水系统。越来越多的土地通过喷灌或某些其它技术的应用，被用来处理城市的废水。多年来初级和二级污水处理工厂生产的残渣被用于土地。家庭处理系统构成农村废水处理的主要系统，在其它情况下，这种系统为世界许多城市和乡村提供唯一的处理系统。所有这些系统都是硝酸盐氮的来源，而且很容易渗入地下水中。在地面处理废物系统很广泛的地方，或当家庭废物处理系统（即化粪池系统）密度很高时，它们就会形成硝酸盐的分散的或不定源的来源。某些这类系统还可能是当地生物污染的来源。

家庭还会产生固体废物、垃圾堆和填坑物的渗出物是地方性地下水污染的典型来源。还有一些其它的家庭污染来源，其中有公路防冻盐和草地肥料等。有关家庭污染的各种问题将在第2·3节中进一步加以讨论。

放射性物质的生产、储存、运输、使用或处置过程中的事故或泄漏造成的放射性污染是对整个地下水供应的重大威胁。这些物质有些是剧毒的，必须对受污染的地下水的使用加以严格限制。第2·4节将详细论述这个题目。

农业、工业和家庭的活动以及放射性物质都会构成使地下水质量降低的化学或生物物质的来源。除了有限的少数地方外，还有一些还未造成严重问题的其它的威胁。其中之一是受污染的地表水，它象天然盐卤水一样，可受人们抽取地下水的活动的影响而使地下水污染；人为地注入低质量的水会在某些程度上使质量降低，空气污染会使水中可溶气体的数量发生变化，或使水中产生可由地下水系统输送的可溶