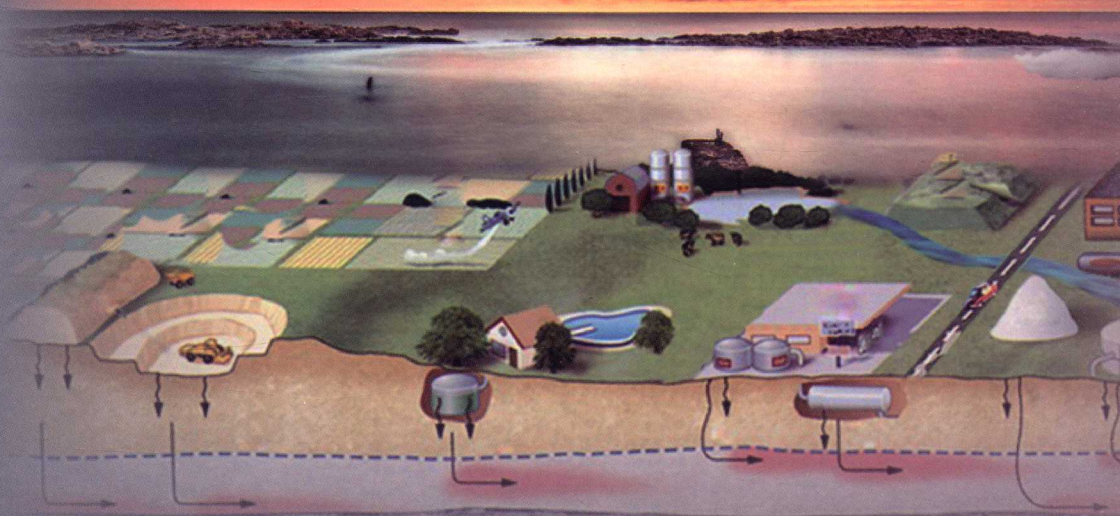




中国地质调查成果
CGS 2015-012

区域地下水污染 调查评价技术方法

张兆吉 费宇红 张凤娥 钱 永 李亚松 等 著



科学出版社



中国地质调查局“全国地下水污染调查评价综合研究
(编号 1212010634611)”项目资助

区域地下水污染调查评价技术方法

张兆吉 费宇红 张凤娥 钱 永 李亚松 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以华北平原地下水污染调查评价项目为依托,给出了区域地下水污染调查和评价方法,提出了地下水污染评价理念。书中对地下水污染调查、数据管理、地下水质量评价、地下水污染评价、地下水有机污染健康风险评价和地下水污染防治区划方法等内容进行了详细阐述,并辅以案例。

本书可供水文地质、水资源保护、环境保护等相关领域的科研人员、管理工作及大专院校的相关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域地下水污染调查评价技术方法/张兆吉等著. —北京:科学出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-03-044485-1

I. ①区… II. ①张… III. ①地下水污染-污染调查-技术方法-中国
IV. ①X523. 82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 116237 号

责任编辑:韦 沁/责任校对:韩 杨

责任印制:肖 兴/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 5 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:340 000

定价:148.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者名单

张兆吉	费宇红	张凤娥	钱 永	李亚松
孟素花	郭春艳	王春晓	崔向向	王 昭
齐继祥	陈京生	杨 梅		

前 言

当今世界,地下水已成为工业、农业和居民生活的重要水源,尤其在干旱、半干旱地区,地下水是主要的供水水源。然而,当人们开采利用地下水时,可能会发现某些地区地下水水质差,以至于不能饮用,甚至致癌。其实,地下水水质不单受漫长地质历史作用的影响,还受人类活动的影响。人类活动中使用和产生的有毒有害物质,经过地表渗漏、包气带迁移等途径运移至含水层的过程中,虽然经历了在包气带中的降解作用,但仍有部分污染质运移至含水层,导致地下水污染。研究地下水污染是一个以水文地质学为主体的跨学科问题,需要查明地下水污染源及其分布,确定污染物种类,掌握在含水层中的运移规律等。

地下水一旦被污染,将不可避免地影响人类和各种生物的生存环境,危及民众健康和生态安全,不利于生态文明建设。因此,迫切需要开展地下水污染调查评价及相关技术体系建设,及时了解和掌握我国地下水污染状况。根据区域发展需要,可分为区域地下水污染调查评价和场地地下水污染调查评价。

在 20 世纪 80 年代,我国曾在人类活动强的地区开展过以“三氮”(硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和铵氮)和几种重金属[砷、镉、铬(六价)、铅、汞]为主要对象的地下水污染调查,但鉴于当时的认识和检测技术限制,没有涉及有机污染问题。

中国地质调查局开展国土资源大调查以来,在我国北方主要平原(盆地)进行地下水资源及其环境问题调查期间,发现有些地方的地下水已被污染。为系统掌握我国地下水开发利用区和具有开发利用前景区的区域地下水水质和污染状况,部署了全国范围的地下水污染调查评价工作,目的是:查明区域地下水水质和污染状况,综合评价地下水水质和污染程度及变化趋势,编制地下水污染防治区划,建立地下水污染调查评价信息系统,为区域地下水污染防治、地下水资源保护以及保障饮水安全提供科学依据。至 2012 年,已完成我国东部主要平原的珠江三角洲、长江三角洲、淮河流域、华北平原的区域地下水污染调查评价;进行了一般化学指标、无机毒理指标、重金属指标、挥发性有机指标和半挥发性有机指标等 70 项必测指标的检测与评价。

本书作者承担了中国地质调查局计划项目“华北平原地下水污染调查评价”及其所属工作项目“全国地下水污染调查评价综合研究”。在我国进行大范围的区域地下水污染调查评价尚属首次,需要回答一系列科学问题才能完成好该项工作,例如,如何开展地下水污染调查评价、如何采集到地下水有机污染检测样品、如何检测地下水中的有机污染物质、如何评价地下水的污染程度以及如何构建地下水污染防治区划等。为更好地指导全国地下水污染调查评价工作,全面提升我国地下水污染调查评价的整体水平,需掌握和综合分析国内外地下水污染研究的动态,制定统一的技术要求,对各调查区地下水污染调查与评价工作进行指导和质量监控。为此,针对地下水污染调查中的关键和疑难问

题开展专门研究,并在此基础上编制了“区域地下水污染调查评价技术要求”,提出地下水污染调查和采样方法、地下水污染样品质量控制方法、地下水有机污染物评价检出限、能够客观反映地下水质量的单因子综合评价方法、剔除背景值的标准指数地下水污染评价方法、基于地下水防污性和资源利用性及污染源荷载为量化指标的地下水污染防治区划方法。这些方法已在长江三角洲、淮河流域、华北平原和东北地区地下水污染调查评价中得以成功应用,取得了很好的效果。

作者系统总结了上述成果,并按地下水污染调查和评价两大内容编写。调查部分详细阐述区域地下水污染调查的内容和方法;评价部分给出地下水质量评价、地下水污染评价、检出和超标评价、地下水污染风险和人体健康风险评价、地下水污染防治区划等方法。书中的各种调查和评价方法均来自国内外最新成果的总结和我们的工作实践,并辅以案例,体现理论与实践的结合,望能引领我国地下水污染调查评价工作。当然,由于地下水污染调查评价工作还在探索中,本书难免有不足之处,有待今后继续完善。

综上所述,本书是中国地质调查局开展地下水污染调查评价成果的结晶,它凝聚了项目组全体成员近五年的心血,全书的结构和编写思路由张兆吉设计,费宇红、张凤娥负责统稿。各章主要编写人:第1章由费宇红撰写;第2章由张兆吉、张凤娥、齐继祥撰写;第3章由钱永、费宇红、王春晓撰写;第4章由李亚松、王昭、陈京生撰写;第5章由郭春艳、张兆吉、陈京生撰写;第6章由费宇红、张凤娥、杨梅撰写;第7章由孟素花、费宇红撰写;第8章由费宇红、崔向向撰写。研究生蒋学敏、刘瑾和雷廷为本书的制图和校对做了许多工作。需要说明的是,本书之所以迟至今日才完成,正是作者对各自负责内容精益求精的结果。

本书的编写和出版得到了中国地质调查局项目(编号1212010634611)的资助。

有关专家孙继朝、姜月华、叶念军、雒国忠、杨丽芝、张连胜、陈忠荣、王兰化和马震等对地下水污染调查评价技术方法提出了宝贵意见;地调局文冬光、吴爱民、郝爱兵、林良俊、张二勇对地下水污染调查的技术方法高度关注,多次参与讨论,提出了许多好的建议;中国地质科学院水文地质环境地质研究所石建省、张永波对本书的编写给予了关心和指导。在此一并表示感谢。

当前,我国保护地下水的意识越来越强,地下水污染调查评价工作已经得到各有关部门的重视,地下水污染防治的春天已经到来。愿本书的浅薄见识能够给予未来地下水污染调查评价工作一些启迪,使我国的地下水污染防治为美丽的“中国梦”添加正能量。

目 录

前言

第 1 章 引言	1
1.1 地下水面临危机	1
1.1.1 地下水是宝贵的资源	1
1.1.2 地下水资源的利用价值	2
1.1.3 地下水超采导致水质变差	4
1.1.4 人类活动污染地下水	5
1.2 地下水污染源	6
1.2.1 污染源的分类	6
1.2.2 工业污染源	7
1.2.3 农业污染源	9
1.2.4 生活污染源	9
1.2.5 区域性污染源	9
1.3 地下水中的主要污染物	9
1.3.1 地下水天然化学成分	10
1.3.2 地下水无机污染物	10
1.3.3 地下水有机污染物	11
1.4 地下水污染特征	15
1.4.1 地下水污染途径	15
1.4.2 污染物迁移转化	18
1.4.3 地下水污染的危害	19
1.5 地下水污染调查评价	21
1.5.1 国外地下水污染调查评价	21
1.5.2 我国地下水污染调查评价	22
1.5.3 区域地下水污染调查评价思路	23
第 2 章 地下水污染调查方法	24
2.1 地下水污染调查阶段划分	24
2.1.1 前期资料准备	24
2.1.2 野外基础调查	25
2.1.3 地下水样品采集	27
2.1.4 地下水样品检测	29
2.2 基础调查方法	30

2.2.1 遥感技术	30
2.2.2 地面调查	31
2.2.3 地球物理勘探	33
2.2.4 水文地质钻探	34
2.2.5 示踪技术	34
2.3 地下水样品采集方法	36
2.3.1 采样要求	36
2.3.2 采样设备	37
2.3.3 采样容器	41
2.3.4 样品采集与保存方法	43
2.4 野外工作质量控制	46
2.4.1 野外基础调查质量控制	47
2.4.2 样品采集质量控制	48
2.5 实例——地球物理方法确定垃圾场淋滤液渗漏通道	49
2.5.1 测区地质概况及地球物理特征	49
2.5.2 地球物理方法	50
2.5.3 资料处理与解释	52
2.5.4 小结	57
第3章 数据管理	58
3.1 数据管理的发展与现状	58
3.1.1 数据管理的重要性	58
3.1.2 数据管理的发展	58
3.1.3 我国地质调查数据管理现状	60
3.2 数据内容	60
3.2.1 数据的分类	60
3.2.2 数据的层次关系	62
3.2.3 数据内容	63
3.3 数据的合理性分析	80
3.3.1 数据可利用性检查	80
3.3.2 区域地下水化学数据的校验与评估	81
3.3.3 采样精密度评估	85
3.4 地下水污染调查数据库	88
3.4.1 数据库的基本结构	88
3.4.2 数据库的管理功能	89
第4章 地下水质量评价方法	91
4.1 国内外研究现状	91
4.1.1 国外地下水质量评价方法	91
4.1.2 国内地下水质量评价现状	92

4.2 相关标准及规范	94
4.2.1 国外地下水质量相关标准	94
4.2.2 我国地下水质量相关标准	96
4.2.3 对完善地下水质量标准体系的建议	100
4.3 评价方法研究	103
4.3.1 内梅罗指数法及其改进	103
4.3.2 灰色聚类综合评价法及其改进	108
4.3.3 模糊数学综合评价法	111
4.3.4 基于分类指标的单指标综合评价法	115
4.3.5 评价结果对比分析	116
4.4 地下水质量影响因素识别方法	117
4.4.1 目的和意义	117
4.4.2 识别方法的构建	117
4.5 实例——滹沱河冲洪积平原地下水质量评价	118
4.5.1 研究区概况	118
4.5.2 区域地下水质量评价	119
4.5.3 区域地下水质量影响指标分析	120
第5章 地下水污染评价方法	124
5.1 地下水污染评价与背景值获取方法	124
5.1.1 国内外地下水污染评价方法	124
5.1.2 背景值获取方法	128
5.2 检出和超标限值	129
5.2.1 检出限	129
5.2.2 超标限	132
5.3 单因子污染标准指数评价法	134
5.3.1 评价指标设置	134
5.3.2 评价方法的构建	134
5.3.3 多指标综合评价方法	136
5.4 实例——滹沱河冲洪积平原地下水污染评价	137
5.4.1 检出和超标评价	137
5.4.2 地下水污染评价	139
第6章 地下水有机污染健康风险评价	141
6.1 国内外健康风险评价研究现状	141
6.1.1 国外健康风险评价研究现状	141
6.1.2 国内健康风险评价研究现状	143
6.1.3 存在问题	144
6.2 健康风险评价方法	145
6.2.1 数据收集和评估	145

6.2.2	毒性评估	146
6.2.3	暴露评估	149
6.2.4	风险表征	152
6.2.5	不确定性分析	154
6.3	评价指标体系与评价标准	154
6.3.1	主要化学物质的健康风险评价指标	155
6.3.2	生理学指标	156
6.3.3	与化学物质性质相关的指标	160
6.4	实例——某市工业区有机污染健康风险评价	161
6.4.1	背景	161
6.4.2	毒性评估	162
6.4.3	暴露评估	163
6.4.4	健康风险评价	165
6.4.5	影响因素分析	168
第7章	地下水污染风险评价与防治区划	170
7.1	研究综述	170
7.2	地下水污染风险评价	172
7.2.1	基本概念	172
7.2.2	评价方法	172
7.3	地下水防污性能评价	173
7.3.1	评价模型	173
7.3.2	评价方法	174
7.4	地下水污染荷载评价	179
7.4.1	评价方法	179
7.4.2	指标体系	180
7.4.3	指标等级划分和赋值	180
7.4.4	指标权重	181
7.5	地下水功能价值评价	181
7.5.1	层次分析法	181
7.5.2	矩阵系统法	184
7.6	地下水污染防治区划	185
7.6.1	分区原则	186
7.6.2	分区方法	186
7.4	实例——华北平原地下水污染风险评价与防治区划	187
7.4.1	华北平原地下水污染风险评价	187
7.4.2	华北平原地下水污染防治区划	193
第8章	成果图的编制	196
8.1	编制原则	196

8.2 成果图及内容	197
8.3 编图要求	198
8.4 图元参数	200
参考文献.....	206

第1章 引言

水是人类赖以生存、不可缺少的资源。地下水作为水资源的重要组成部分具有分布广泛、变化稳定、水质良好、便于应用等优点，是理想的饮用水源，也是生活、工业和农业用水的重要供水水源。然而，人们在开发利用地下水资源的同时也改变着地下水环境，其中，地下水污染是一个比较严重的问题。地下水一旦遭受污染，便难以控制和恢复，且有可能对生态环境造成严重影响，并威胁人类健康和生存环境。

开展区域性地下水污染调查和评价，查明区域地下水质量和污染状况，提出地下水污染防治策略，是我国经济发展的需求，也是地下水系统保护的需求。

本章在分析地下水面临资源短缺和利用价值危机的基础上，阐述了人类活动加剧地下水水质恶化和污染的严重问题，对地下水污染源和污染物进行了分类，并剖析了地下水污染特征，针对国内外地下水污染调查评价现状，提出了我国区域地下水污染调查评价的总体思路。

1.1 地下水面临危机

1.1.1 地下水是宝贵的资源

地球浅表赋存着大气水、地表水和地下水，以自由态 H_2O 分子的形式存在，液态为主、部分为固态和气态，总水量约为 $13.86 \times 10^{17} m^3$ ，其中咸水占 97% 以上，淡水不到 3%。淡水中，固态水(冰盖、冰川等)约占 70%，其余 30% 是液态水(图 1.1)。液态淡水中，地下水约占 99%。

大气水、地表水和地下水的“三水”之间在太阳辐射和重力的驱动下相互转换，进行水文循环。太阳辐射使液态水转化为气态，上升进入大气圈并随气流运移，在一定条件下，气态水凝结，在重力作用下降落到地面，沿地表径流渗入地下，以地表径流和地下径流的方式运移。

形成地下径流的水完全充盈于地下含水介质中，称饱水带，在饱水带之上岩土空隙中由水和空气共同充填，称为包气带。地下水按埋藏条件可划分为潜水和承压水；按含水介质又可划分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。



图 1.1 地球浅表淡水分布

潜水是含水层中第一个具有自由表面且有一定规模的含水层中的重力水,与大气水及地表水联系紧密,水位、水量和水质季节性变化明显;承压水充满于上下隔水层之间的含水层中,具有一定的承压性,与大气水和地表水联系较差,水质和水量受地质构造控制,水交替缓慢,补给资源贫乏,再生能力较差。

地下水与地表水比较,具有一系列优点:第一,分布广泛且无储存风险。地表水依靠河湖储存,分布范围有限,而地下水随处可有,不占用土地面积,没有工程故障的风险。第二,变化小且水量稳定。我国河川径流量在季风作用下季节及年际变化明显,而地下水的变化相对较小,水资源量较稳定。第三,具有天然调节性。地表水需要修建水库进行丰枯调节,赋存地下水的含水岩系本身就是天然的地下水库,以丰补欠,便于季节性和年际调节。第四,水质良好不易污染。很多时候,地表的污染物会很快流入湖泊和河流中,但是进入含水层必须经过包气带过滤,过滤的过程减少了进入地下水的污染负荷。第五,易于开发利用。地表水开发利用需要比较复杂的工程措施,花费大,而以凿井的方式开发地下水简便易行、成本低廉。因此,地下水已成为当今重要的生活、工业和农业的供水水源。

有些地下水还是矿水,富集某些盐类元素的地下水,称为工业矿水,是提炼有工业价值矿产品的液体矿床;含有某些特殊组分、具有一定医疗保健作用的地下水,称为矿(质)水,如饮用矿水,用矿水沐浴,对治疗关节炎等具有显著效果。

地球内部蕴藏着丰富的地下热能,现如今,开发地下热能用于供暖、发电和洗浴方面的技术已趋于成熟;利用含水介质储能,也是水源利用的一种途径,即冬季向井中注冷水,夏季抽取用于降温(冬储夏用),夏季注入温水,冬季用于供暖(夏储冬用)。近年来,一种新的地热利用方法——地源热泵,即利用浅部地下水的能量调节空气温度,已作为清洁能源大力推广。

由此可见,地下水与人类生活息息相关,是社会发展中必不可少的重要资源。

虽然地下水作为供水水源有一系列优点,但也有缺点:地下水储存在含水层中,只有查明分布规律才能利用;虽然不易污染,而一旦污染,不像地表水那样容易治理,而需要花费相当长时间和耗费昂贵成本才能修复。

1.1.2 地下水资源的利用价值

地下水资源具有极其重要的利用价值,特别是在供人类饮用方面,据统计,全球超过 15 亿人以地下水为饮用水源(Sampat, 2000),欧洲和亚太地区地下水饮用率已超过 30%,见表 1.1;美国有 51.7%的人口饮用水依靠地下水源(Solley *et al.*, 1993),1980~1984 年平均每年挖 37 万口水井(Hindall and Eberle, 1989)。

在中国,越来越多的城市及乡村使用地下水(图 1.2),特别是遇到干旱年份,打井抗旱解决了众多人的饮水困难。据统计,2007 年,全国总用水量为 $5819 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中,地下水供水为 $1069 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 18.4%^①。

① 中国环境监测总站. 2009. 2008 年全国环境质量状况. <http://www.cnemc.cn>

表 1.1 世界各洲地下水作为饮用水源的比率(据 Sampat, 2000)

区域	比率/%	区域	比率/%
亚太地区	32	美国	42
欧洲	75	澳大利亚	15
拉丁美洲	29	非洲	*

* 无数据。

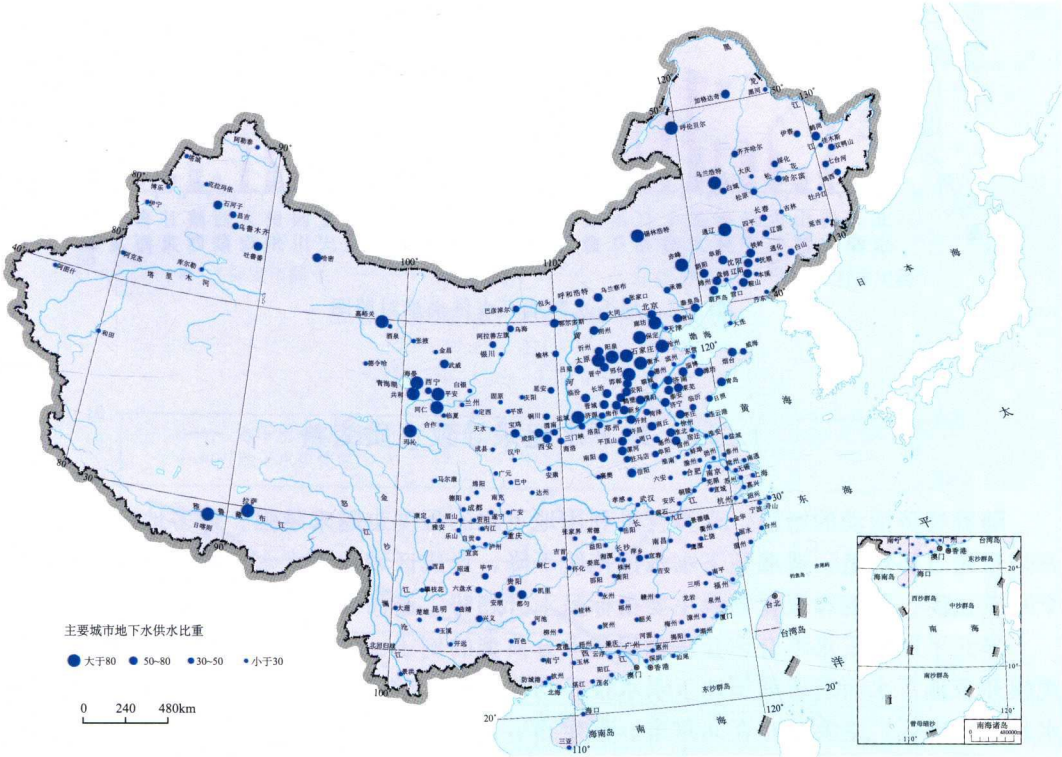


图 1.2 中国城市地下水供水比重分布图(据张宗祜、李烈荣, 2004a)

我国地下水可采资源量为 $3527.78 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。以秦岭-淮河为南北分界线，地下水资源的分布特点是北方少、南方多，南方六省(区)地下水可采资源量占全国的 36.59%；按含水层介质性质和赋存状态，裂隙水的天然资源量最大，为 $4308.44 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，占全国可采资源量的 27.5%，孔隙水在开发利用上占主要地位，可采资源量为 $1686.09 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，占 47.8%(图 1.3)(张宗祜、李烈荣, 2004a)；北方大部分省份地下水占总供水量的比重高于地表水，据 1999 年统计，北京市、河北省、山西省、辽宁省、山东省

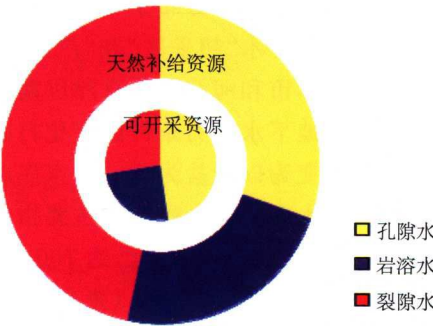


图 1.3 我国地下水资源分配比重图
(据张宗祜、李烈荣, 2004b)

和陕西省的地下水供水率占 40% 以上(图 1.4)(张宗祜、李烈荣, 2004b)。

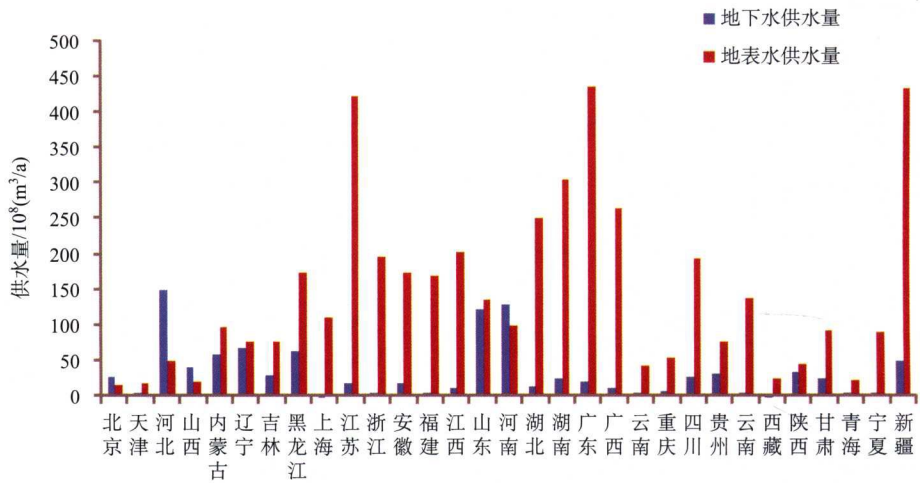


图 1.4 地下水和地表水供水量对照图

1.1.3 地下水超采导致水质变差

随着经济活动的增强, 人类开采利用地下水的程度也越来越强。许多地区的地下水开采量超过补给量, 造成地下水水位持续下降, 形成区域地下水水位降落漏斗, 并使地下水矿化度、硬度和氯化物等主要指标呈上升趋势, 进而导致地下水质量变差。

华北平原地下水不合理开采利用是十分典型的例子。20 世纪 60 年代以来, 由于大规模开采地下水而造成浅层地下水水位不均匀下降, 形成了地下水水位降落漏斗和地下水超量开采区, 主要分布在北京市、保定市、石家庄市、邯郸市和新乡市等。据统计, 1964~1972 年是地下水水位降落漏斗的形成期, 1972~1984 年是地下水水位快速下降期。例如, 石家庄漏斗水位下降速率由 0.4m/a 增至 0.9m/a, 漏斗中心水位由 1965 年的 7.57m 降为 1975 年的 15.29m、1985 年的 31.3m, 2003 年达 52.4m。目前, 浅层地下水水位降落漏斗分布于华北平原山前城市, 地下水水位最大埋深 65m(图 1.5); 华北平原浅层地下水“超采区”和“严重超采区”的超采量达 $26.37 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 主要分布在北京市、天津市和河北省的京津以南平原区(张兆吉等, 2009)。

由于地下水动力条件的变化打破原来的水盐平衡, 地下水水位的下降使土壤积盐与脱盐交替变为以脱盐为主。石家庄浅层地下水水质长期监测资料显示(图 1.6), 漏斗区浅层地下水矿化度、硬度等主要指标呈上升趋势, 20 世纪 60 年代, 地下水矿化度一般小于 500mg/L, 2008 年已达 700~800mg/L, 硬度和氯化物在这 30 多年中也分别增长至 11.5mg/L 和 48mg/L (张兆吉等, 2009; 王翠华等, 2009)。

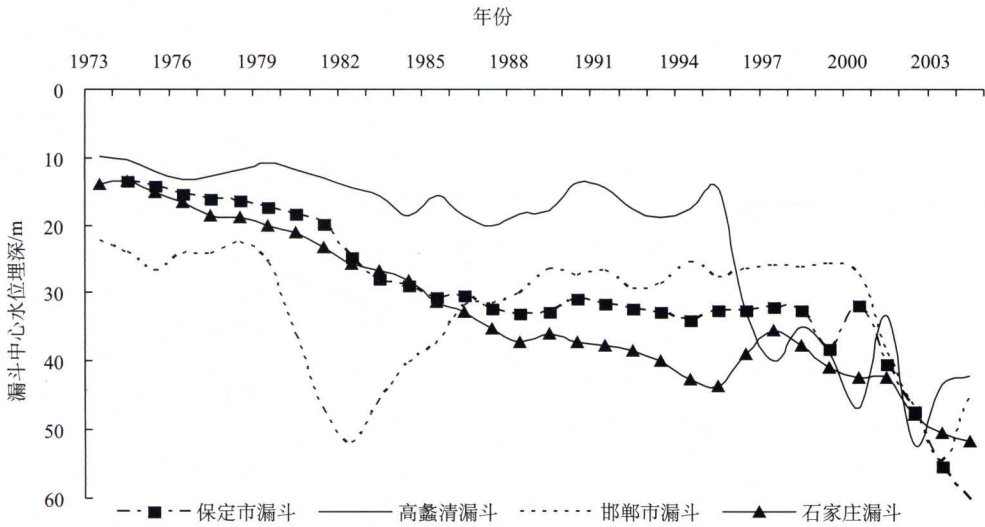


图 1.5 浅层地下水水位漏斗变化过程

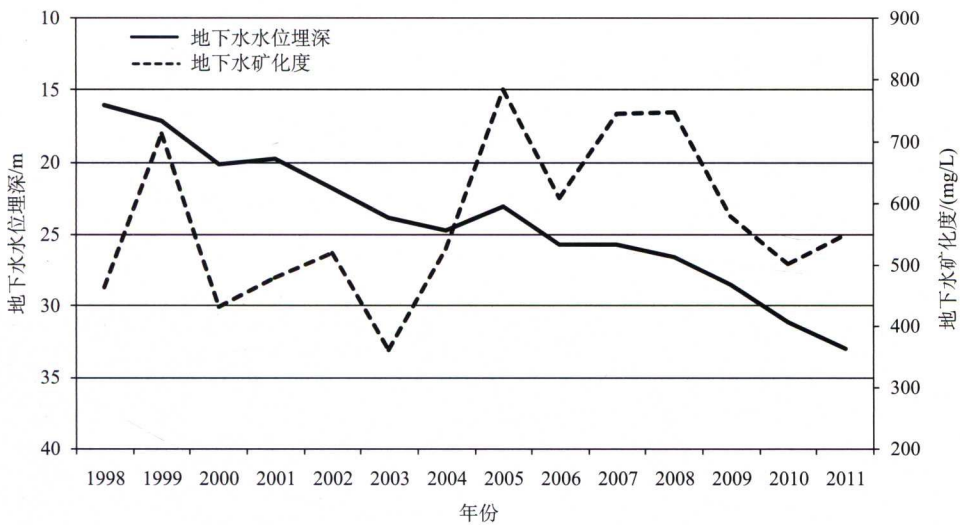


图 1.6 滹沱河冲洪积扇地下水动态监测点埋深与矿化度变化过程

1.1.4 人类活动污染地下水

地下水除被人类过量开采导致资源枯竭和水质变差之外，还常受人类排放的有毒物质威胁，从而使地下水又面临污染危机。

地下水污染指在人类活动的影响下，地下水水质变化朝着水质恶化方向发展的现象。也就是说，不管这种现象是否使水质恶化到影响其使用的程度，只要这种现象一发

生, 就应称为污染。至于在天然地质环境中所产生的地下水中某些组分相对富集或贫化而使水质不合格的现象, 不视为地下水污染。因此, 判别地下水是否污染必须同时具备两个条件: 第一, 水质朝着恶化的方向发展; 第二, 这种变化是人类活动引起的(王焰新, 2008)。

地下水污染程度与污染源和污染物类型是分不开的。进行地下水污染调查需查明污染源, 确定污染物的种类, 研究其与水、土、气的相互作用, 这是一门跨学科的问题, 其主体是水文地质学。鉴于此, 近年来, 悄然而生了“污染水文地质学”(Contamination hydrogeology), 美国学者 C. W. Fetter 于 1993 年出版了 *Contamination Hydrogeology* 一书, 之后于 2008 年再版(Fetter, 2008), 该书对当今热点和难点课题——有机和无机污染物在土壤和地下水中的迁移规律进行了研究和探讨, 详细介绍了地下水中污染物的转化、阻滞和衰减。

1.2 地下水污染源

1.2.1 污染源的分类

地下水污染源导致地下水污染。人类的工业生产、农业种植、生活废弃物排放等活动都有可能成为地下水污染的来源(图 1.7)。故地下水污染源定义为: 在人类活动影响下, 能够引起地下水污染的污染物来源或活动场所(王焰新, 2008)。它可能存在于地表经包气带进入含水层污染地下水, 也可能存在于地下直接或间接进入含水层污染地下水。

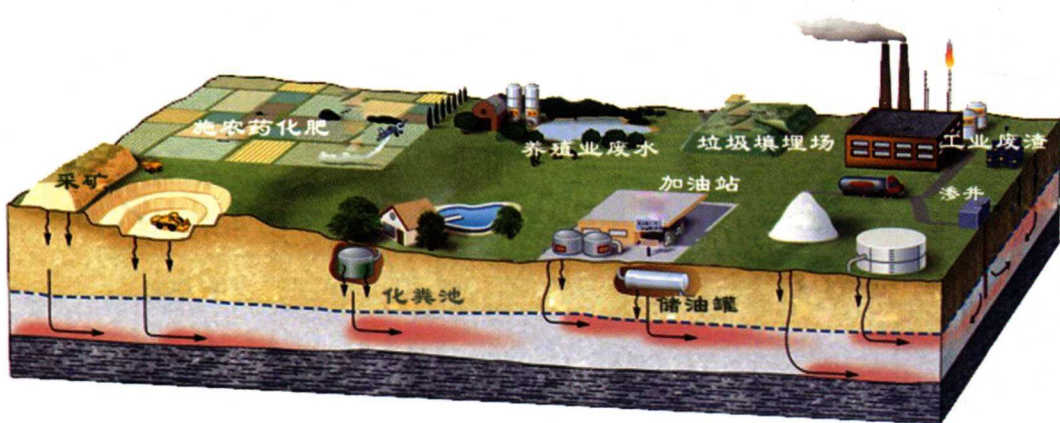


图 1.7 人类活动引起的地下水污染场景图

地下水污染源种类繁多, 分类方法也很多, 按释放途径可分为释放源和搬运源, 按化学类型可分为无机物和有机物, 按污染位置可分为地上和地下, 按污染源的空间分布特征可分为点状源、线状源和面状源(Zaporozec and Miller, 2000; Zaporozec and Conrad, 2002)。为掌握污染物的特征, 按产生污染物的行业(部门)或活动划分为工业污染源、农业污染源、生活污染源和区域性水体污染源; 为评价和预测地下水污染的范