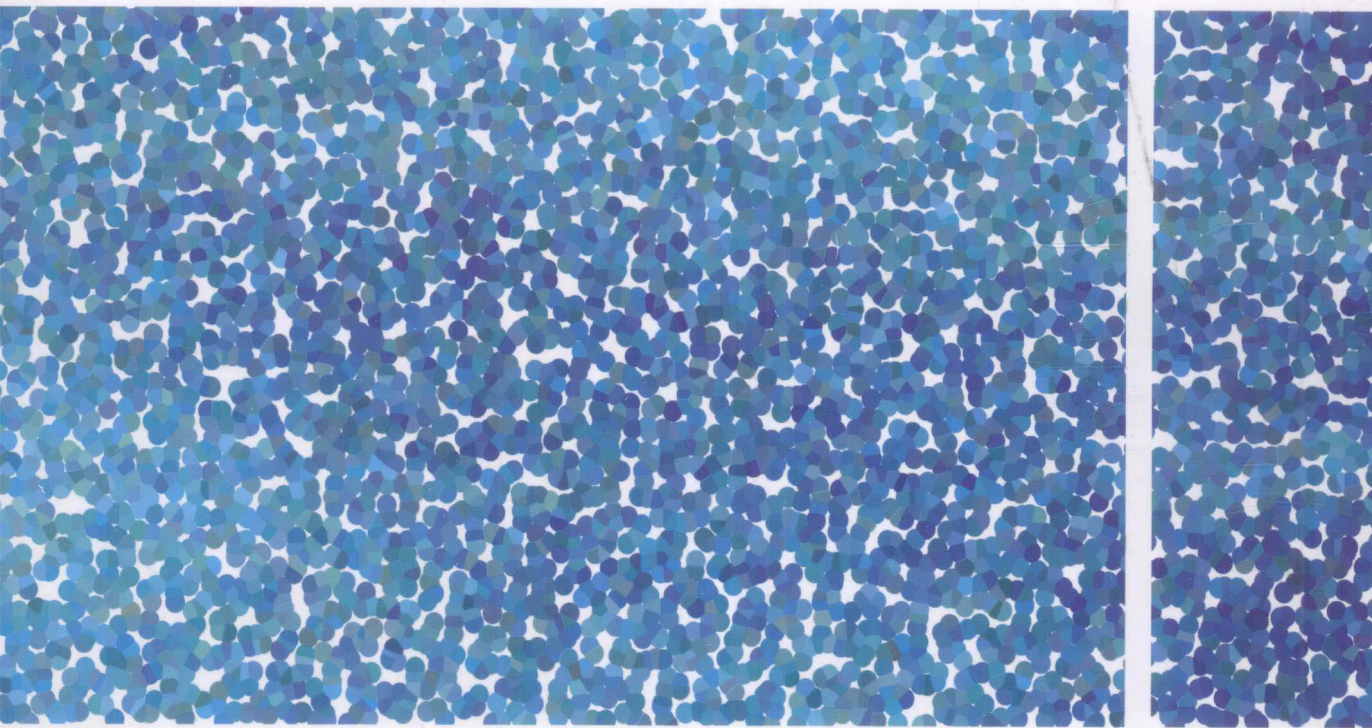


地下水源地保护区 划分方法与应用

■ 李国敏 徐海珍 等著



METHODS AND ITS APPLICATION FOR
WELL CAPTURE ZONE DELINEATION

中国环境科学出版社

环保公益性行业科研专项项目（200709055）资助成果

国家自然科学基金项目（40672170）资助成果

地下水源地保护区 划分方法与应用

李国敏 徐海珍 黎 明 乔小娟 董艳辉

张寿全 杨忠山 周 东 王宏义 孙忠惠

著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

地下水源地保护区划分方法与应用/李国敏等著. —北京:
中国环境科学出版社, 2011.1

ISBN 978-7-5111-0433-5

I. ①地… II. ①李… III. ①地下水—水源—环境
保护—区划 IV. ①X523

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 253148 号

责任编辑 黄晓燕
文字编辑 王天一
责任校对 扣志红
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112735
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2011 年 1 月第 1 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 11
字 数 250 千字
定 价 33.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

地下水是水资源的重要组成部分，是维系生态系统的重要要素，而且是我国城乡生活和工农业用水的重要供水水源。随着我国经济社会的高速发展、人口增长以及全球气候变化的影响加剧，地下水对人类生存的不可替代性日益凸显。尤其在是我国地表水资源短缺的北方地区和南方水质型缺水地区，地下水的资源功能更加突出，成为这些地区主要的生活和生产供水水源。

我国地下水开采量一直呈明显的增长趋势，从 1980 年的 647 亿 m^3 增加到 2008 年的 1 084.8 亿 m^3 ，地下水开采量增加了近一倍。目前，我国有 2/3 的城市供水依赖地下水，在一些城市和大部分的农村，地下水几乎是唯一的供水水源。尤其在是我国干旱半干旱地区，地下水在居民生活用水、社会经济发展和维持生态环境方面有着不可替代的作用。

地下水的大规模开采也给地下水源带来了严重的污染威胁。据不完全统计，在开展地下水资源质量评价的 118 个城市中，64%的城市地下水受到污染，33%的城市地下水轻度污染。地下水水源地的污染现状令人担忧。地下水水源地的供水安全越来越受到国家、各级政府和社会各界的重视。因此，必须采取有效对策和措施保护地下水水源，以确保地下水资源的可持续利用，促进社会、经济和环境协调发展。

地下水水源保护区的划分对于有效保护地下水水源、防治地下水污染、保障用水安全具有重要的指导意义。早在 20 世纪初期，西方发达国家已经认识到开展地下水水源保护区划分工作是保护地下水资源的有力手段。经过近百年的长期实践，已探索出一系列地下水水源保护区划分的原则与方法。保护区划分方法经历了从简单到复杂、从粗略到精确的发展过程。国内在地下水水源保护区划定方面还缺少系统的研究，主要是零星地借鉴国外研究成果和方法。近 20 多年以来，我国地下水开发利用程度的大幅提高引起政府和学者们对地下水保护工作的重视。国家先后颁布了一系列的法规政策，用以规范地下水的开采，但对于地下水水源保护区划分问题，一直缺少相关的技术规范。直到 2007 年 1 月 9 日国家环境保护总局颁布《饮用水水源保护区划分技术规范》，成为我国地下水保护史上第一部指导保护区划分的技术规范。

本书是在由环境保护部科技标准司组织的环保公益性行业科研专项经费项目“大型地下水饮用水水源地保护区定量划分研究”（项目编号：200709055）和国家自然科学基金项目“用数值模拟技术与地下水测年数据定量划分地下水源地保护区”（项目编号：40672170）相关研究成果和长期科研工作积累的基础上，由中国科学院地质与地球物理研究所地下水资源与环境学科组撰写而成。作者在检索大量资料、掌握国内外相关研究成果和经验、分析其发展趋势的基础上，全面介绍了国内外开展地下水水源保护区划分工作的研究现状及发展历程，系统地总结归纳了目前国际上已有的保护区划分方法，包括简化图形法、分析法、水文地质描绘法、综合多种方法的组合法、解析解模型法和数值

解模型法，详细讲述了每种方法的实施步骤和技术要点，并深入分析和探讨了各类方法的优缺点及适用条件。最后选取我国北方地区有代表性的研究实例详细论述，以便读者进一步认识和掌握保护区划分的步骤和要点。

全书分两篇共十章，第一篇包括前八章，第一、二章主要内容为地下水源开采利用现状、保护划分工作的重要性和保护区相关概念，由李国敏、徐海珍撰写；第三章至第八章为保护区划分的多种方法，包括其理论基础、实施步骤和技术要点，由李国敏、徐海珍撰写；第二篇为第九章至第十章，为保护区划分的应用实例部分，其中，第九章以北京市平谷区应急水源地保护区划分为例，由徐海珍、李国敏、张寿全、董艳辉、黎明共同编写；第十章以山西太原兰村泉域水源地保护区划分为例，由乔小娟、李国敏完成。书中插图由博士生李雪和张元共同完成，最后由徐海珍统稿。

本书在编写和出版过程中，得到了环境保护部科技标准司，北京市水务局，北京市平谷区水务局及局长刘兆江、副局长付吉铖、科长许玉香和陈晓梅、北京市水文总站刘翠珠、太原市水务局副局长杜成元、太原市水资办孙忠惠等单位和个人的大力支持与帮助，在此深表感谢。书中部分内容参考了有关单位或个人研究成果，均在参考文献中列出，在此一并致谢。

本书对国内外地下水源地保护区划分方法进行了较为系统的收集整理与研究，但由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者提出宝贵意见和建议。

作 者

2010年8月于北京

目 录

第一篇 理论方法

1 绪论	3
1.1 概述	3
1.2 地下水资源开发利用状况	5
1.3 地下水水源地保护区划分的必要性	8
1.4 地下水水源地保护区划分现状	9
2 地下水水源地保护区	20
2.1 地下水水源地保护区相关概念	20
2.2 地下水水源地保护区划分的基本要求	23
3 保护区划分的图形与分析方法	30
3.1 划分方法分类	30
3.2 简化图形法	31
3.3 分析法	40
3.4 水文地质描绘法	44
3.5 综合多种方法的组合法	47
4 保护区划分的解析模型方法	50
4.1 数学模型	51
4.2 解析模型法原理	54
4.3 技术步骤	56
4.4 适用范围	56
5 保护区划分的数值模型方法	58
5.1 数值方法	58
5.2 数值模型法的原理与软件	65
5.3 技术步骤及要点	67
5.4 适用范围	70

6 保护区划分的随机模拟方法	72
6.1 保护区划分中的不确定性分析	72
6.2 随机模拟方法	75
6.3 水源地保护区划分	80
7 保护区划分方法的选择与成果表达	87
7.1 不同类型地下水水源地保护区划分	87
7.2 保护区划分的成果表达	94
8 地下水水源地保护区管理	99
8.1 保护区内超采预防及补救	99
8.2 一级保护区污染控制措施	102
8.3 二级保护区污染控制措施	104
8.4 准保护区污染控制措施	106
8.5 保护区地下水监管措施	108

第二篇 应用实例

9 平谷应急水源地保护区划分	113
9.1 区域自然地理概况	113
9.2 区域地质背景	116
9.3 研究区水文地质条件	118
9.4 水源地概况	120
9.5 地下水流动三维数值模拟	123
9.6 应急水源地保护区划分	133
10 太原兰村泉域水源地保护区划分	135
10.1 地理位置与社会经济概况	135
10.2 区域地质概况	136
10.3 岩溶发育	142
10.4 研究区水文地质条件	145
10.5 地下水三维流动数值模拟	148
10.6 地下水水源地保护区划分	157
参考文献	160

第一篇

理论方法

1 绪论

1.1 概述

水是人类赖以生存的重要资源，是构成自然环境的基本要素，在经济建设、社会发展和人民生活中占有极其重要的位置。随着气候变化、经济发展、人口增长和现代化工业发展，水资源供需矛盾日益突出，水资源与能源、人口、生态环境等已成为世界各国普遍关注的重大问题。

迄今为止，关于水资源的定义国内外有多种提法，例如，《大不列颠百科全书》中，对水资源下的定义是“自然界一切形态（气态、液态、固态）的水”；1988年，联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）定义水资源为“可供利用或可能被利用，具有足够数量和可用质量，并且可适合对某地的水资源需求而能长期供应的水源。”在《中国大百科全书》大气科学·海洋科学·水文科学卷中指出：“水资源为地球表层可供人类利用的水，包括水量（质量）、水域和水能资源。一般指每年可更新的水量。水资源具有可更新性、可利用性、质与量并重、地域性和时限性等明显的特征。”

基于对水资源的以上认识，人们对水资源的概念有广义和狭义之分。广义的水资源是指地球上的一切具有直接利用或潜在利用价值的天然水，包括雨雪、河湖地面水、地下水、土壤水、海水、深层地下水等。这是随着科技水平的提高和社会经济发展而对人类具有使用价值的水资源的概念。狭义的水资源是从广义水资源中剥离出来的一部分，有更强的约束条件。狭义的水资源是指维持人类社会生存和发展不可替代的自然资源，在一定技术条件下可以被人类社会直接利用，具有一定数量和质量的保证，并能在短时期内得到恢复的天然水。当然，随着经济社会的发展和技术水平的不断提高以及对需水量的增加，狭义水资源的外延可以扩大，并逐步接近广义的水资源。这也是传统意义的水资源概念。而人类可以直接利用的水体，即以江河湖泊中的地表水和地下水为主的淡水资源，在这个水资源系统中，地下水是极其重要的一部分。

地下水是赋存于地面以下岩石空隙中的水。其功能主要包括：资源、生态环境因子、灾害因子、地质营力与信息载体。大气降水是地下水的主要补给来源。根据埋藏条件的不同，地下水可分为包气带水、潜水和承压水三大基本类型。每一类型按含水空隙的特征，又可分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。

1.1.1 不同埋藏条件下的地下水

（1）包气带水。地表以下一定深度上，岩石中的空隙被重力水所充填，形成地下水面。地下水面以上部分称为包气带或非饱和带，水面以下称为饱水带。包气带水即指存在于包气带中的地下水，自上而下依次包括土壤层中的结合水和毛细水，又称土壤水；

以及包气带底部由地下水面支持的毛细水带。

(2) 潜水。潜水是指饱水带中第一个具有自由表面的含水层中的地下水。潜水的表面为自由水面，称作潜水面；潜水面到地面的距离为潜水埋藏深度；潜水面到隔水底板的距离为潜水含水层厚度。潜水层上表面不承受除大气压强以外的任何附加压强。地下水与地表水圈通过潜水面产生联系，包括地下水接受大气降水、地表水补给、蒸发排泄等。潜水通常埋藏较浅、分布广泛、便于开采，但同时容易受到污染，因此应注意卫生防护。

(3) 承压水。通常是指充满于两个相对弱透水层之间、具有承压性质的地下水。承压水主要来源也是现代大气降水与地表水入渗。承压水参与水循环不如潜水积极，因此，气象、水文因素的变化对承压水影响相对较小，其动态稳定，不易补充和恢复，不易受污染，但是一旦污染后则很难使其净化恢复。

在自然与人为条件下，潜水与承压水经常处于相互转化之中。天然条件下，平原区潜水同时接受来自上部的降水入渗补给和来自下部的承压水越流补给，随着深度增加，降水补给量减少，越流补给比例增大，含水层的承压下自上而下逐渐增强。不过，自然界中的情况并不是固定统一的，实际条件下往往存在各种过渡与转化状态。

1.1.2 不同含水介质中的地下水

根据地下水赋存介质的不同，可分为孔隙水、裂隙水和岩溶水三大基本类型。除了单一类型的地下水赋存介质外，还常见两种介质共存的现象。

(1) 孔隙水。主要指赋存在松散沉积物颗粒孔隙中的地下水。在冲积平原和山间盆地内的第四纪地层中分布广泛，是工农业和生活用水的重要供水水源。孔隙水的分布、补给、径流和排泄取决于沉积物的类型、地质构造和地貌等。不同成因的沉积物中，存在着不同的孔隙水。

(2) 裂隙水。赋存于岩石裂隙中的地下水的总称。与孔隙水相比较，它分布不均匀，往往无统一的水力联系。裂隙水的这些特点与裂隙介质的特征有关。介质的渗透性具有不均一性与各向异性。裂隙水是丘陵、山区供水的重要水源。按含水介质裂隙的成因，可分为风化裂隙水、成岩裂隙水与构造裂隙水。根据裂隙水赋存介质的不同，将裂隙水划分为脉状裂隙水和层状裂隙水两种类型。坚硬基岩中的裂隙分布不均匀且具方向性，通常只在岩层中某些局部范围内连通，构成若干互不联系或联系很差的脉状含水系统，赋存脉状裂隙水。松散岩层中，空隙分布连续均匀，构成具有统一水力联系、水量分布均匀的层状孔隙含水系统，赋存层状裂隙水。

(3) 岩溶水。赋存于可溶性岩层的溶蚀裂隙和洞穴中的地下水，又称喀斯特水。其最明显特点是空间分布极不均匀，时间上变化强烈，流动迅速，排泄集中。岩溶发育需要特定的地质条件，在我国南方地区发育较为充分。

有些介质如未充分胶结的砂岩、经过溶蚀的灰岩等，存在两种导水能力相差悬殊的空隙空间。其中大空隙如裂隙、溶蚀裂隙等，导水能力比较强；小空隙如原生孔隙等，导水能力比较弱，但数量巨大，贮存能力不可忽略。这类含有两种不同赋存介质的空间即为双重介质。贮存于双重介质中的地下水也是自然界普遍存在的一种类型。

1.2 地下水资源开发利用状况

地下水的形成和分布,受地质、气候、水文等自然因素的控制。但总体来讲,地下水通常具有水质优良、水温变化小、开发利用简单方便等特点。地下水开发不需要大量投资,也不需要建设大型供水工程。与地表水相比,其补给变化与水位响应、井的出水量之间存在一定时间的滞后,故供水相对稳定。地下水的上述特点,使得地下水资源在世界各国都被广泛应用于生活、工业、农业等各种用途,特别是作为居民生活用水的重要水源,得到大规模地开发利用。

1.2.1 地下水的开发利用

1.2.1.1 地下水开发利用历史

水是生命的源泉,因为有水的存在,人类社会才得以诞生并延续。远古时期,人类逐水而居,初期只是利用地表水和泉水作为供水水源,后来开始打井取水。由逐水而居到凿井取水是人类文明史的一大转折。距今约 5 700 年的浙江余姚河姆渡古文化遗址水井是我国已知的最古老水井,虽然深度只有 1.35 m,却是人类活动范围减少过度依赖地表水源的开始。古波斯时期,德黑兰附近修建的坎儿井是较为原始的地下水开采井,出现在公元前 550~公元前 330 年。坎儿井最深达 150 m,长度约 26 km,当时主要是为城市供水和农业灌溉服务的。我国新疆吐鲁番一带的坎儿井至少出现在公元前 300~公元前 200 年。坎儿井是与万里长城、京杭大运河齐名的中国古代三大工程之一,是伟大的地下水利灌溉工程。据统计,目前吐鲁番盆地有坎儿井 1 237 条,实际使用的 853 条,总长度超过 5 000 km,总出水量约 10 m³/s。另有司马迁《史记·五帝本纪》曾记载:“瞽叟又使舜穿井,舜穿井为匿空旁出。舜既入深,瞽叟与象共下土实井。舜从匿空出去。”舜凿井时,就挖了一条从旁出的“匿空”(即地道),这与坎儿井的挖掘方法极其相似。如果“匿空”为水平地道,就是坎儿井,这是公元前 21 世纪的史迹,比传说德黑兰有坎儿井的时间还要早 1 000 多年。不论这些记述中有没有指明坎儿井的准确形成时间,都充分显示出坎儿井的文化背景源远流长,表明人类利用地下水的历史悠久。

目前,全球有 15 亿以上人口饮用水源为地下水,整个亚洲有近 1/3 的饮用水来自地下水水源。在自来水系统不能延伸到的地区,地下水往往是唯一的水源,供给生活和农业灌溉使用。20 世纪 60 年代以来,随着农业用水需求的增加,加剧了地下水的开发利用。尤其是 80 年代以来,全球地下水开采量剧增,达到 5 500 亿 m³/a,到 20 世纪末,全球地下水开采量超过 7 500 亿 m³/a,其中以中国和印度的增长量最大,印度全国一半以上农业灌溉用水由地下水供应。美国农村 95%的人口饮用地下水。全球饮用地下水的区域分布见表 1-1。

表 1-1 全球饮用地下水的区域分布

地区	地下水占饮用水比例/%	饮用地下水的人口/百万
亚洲—太平洋	32	1 000~1 200
欧洲	75	200~500
拉丁美洲	29	150
美国	51	135
非洲	—	—
全球	—	1 500~2 000

注：资料来自《地下水动态预测方法及其应用》。

1.2.1.2 我国地下水的开发利用

地下水资源在我国水资源中占有举足轻重的地位，它的资源总量约占全国水资源总量的三分之一，是重要的战略性资源。我国地下水的开发以孔隙水开发利用最多，因为孔隙水分布最广，资源量最大；其次为岩溶水，裂隙水最小。

我国农村地下水供水比例高，以生活和农业灌溉为主，城市开采地下水是从 20 世纪 50 年代初期开始的，当时在北京、西安、包头等大城市，开始进行系统的供水水文地质勘察工作，但对地下水的利用还处于低水平阶段。50~60 年代中期，水文地质工作者为城市和工矿企业寻找水源地，并做了大量的勘探工作和资源评价工作。50 年代主要寻找砂、砾层中的地下水，60 年代以后开始大量寻找灰岩中的地下水，此时，属于地下水开发利用的初级阶段。60~70 年代，城市地下水得到大量的开发利用，在城市及近郊地区的水源地大多已经开始利用，为地下水大规模开发阶段。80~90 年代末，地下水开采量剧增，为迅速扩张阶段，并出现因地下水超采导致的多种地质灾害。进入 21 世纪以后，地下水过度开发导致的问题引起管理者和水文地质工作者的广泛关注，地下水的治理保护进入到日常管理和研究中，科学管理加强。

地下水开采量一直呈明显增长趋势，我国地下水年开采量从 1980 年的 647 亿 m^3 增加到 2008 年的 1 084.8 亿 m^3 ，增加了近一倍。我国多年平均地下水量为 8 186 亿 m^3 ，包括山区地下水资源量 6 634 亿 m^3 ，平原区地下水资源量为 1 934 亿 m^3 ，其中 382 亿 m^3 来自山区地下水的侧向补给。

全国各地地下水开采利用程度不一，平均开采利用率接近 30%。北方 15 个省、市、自治区地下水平均开采利用率接近 50%，其中华北地区最高，接近当地总用水量的三分之一，且分布不均衡，以京、冀地下水供水比例最高，并已处于多年超采状态。西北的新疆、宁夏、青海及东北的吉林等地，地下水供水所占比例在 20%左右。另外，在地下水供水量中，农业用水占 71%，工业占 18%，居民生活用水占 11%。总体来说，北方地下水开采高于南方地区，也反映出南方潜力较大。但由于各地区地下水开采不平衡，有许多地区在同一区域内存在着整体有潜力而部分地区无潜力或处于超采的矛盾中。同时，随着南方水质型缺水问题日益严重，在南方一些地区，地下水也逐渐成为重要的供水水源。

1.2.2 开发中存在的问题

地下水不仅在过去是我国北方地区广大农村的饮用水和农田灌溉水源,随着城市和工业的发展,在地表水供不应求的情况下,地下水也日益成为我国城市特别是北方城市的重要供水水源。然而,由于对地下水资源的开发利用缺乏统一的规划和管理,长期采大于补,使地下水常年处于超采状态,破坏了地下水及其赋存介质天然状态下固有的生成—赋存—运动之间的平衡关系,尤其在北方地区,大范围的地下水位持续下降,使地下水的补、径、排条件发生了变化,同时也影响到降雨—径流关系的变化,进而使得整个水循环规律发生变化,引发了一系列的生态环境问题,主要表现在以下几个方面:

(1) 地下水位持续下降

长期开采大于补给,使得含水层接近疏干状态,地下水位大幅下降,并使泉水流量衰减甚至枯竭,许多赖以生存的动植物面临死亡的威胁,大片土地资源被遗弃。同时,水位持续下降导致单井出水量减少或水井报废,特别是浅层的农业灌溉用水井。

(2) 地下水超采造成资源枯竭外还诱发了地面沉降

目前,大范围地面沉降情况较为严重的有华北地区和长江三角洲地区。而随着地下水开发强度的加大,地面沉降速度有不同程度的加快趋势。地面沉降使铁路地基下沉,公路、桥梁开裂,地下管道破裂,机井报废,建筑物基础下沉,河道排洪能力降低,给人民的生命和财产造成严重威胁。

(3) 海水入侵

海水入侵主要发生在我国沿海城市地区,是由于大量开采地下水以后,地下水位下降,导致海水倒灌发生。2003年,我国环渤海地区海水入侵面积达到 $2\,457\text{ km}^2$,在环渤海、长江三角洲的部分沿海城市和南方沿海地区,由于过量开采地下水引起不同程度的海水入侵,已呈现由点状入侵向面状入侵的扩展趋势。

(4) 地下水污染

过量开采地下水,加速地表水的下渗,地表水体中的污染物也随之入渗到地下,引起污染。据统计,全国有130多个大中城市地下水受到不同程度的污染,主要为工业和生活污染,局部农业区地下水也受到污水灌溉和化肥农药等的污染。

此外,部分地区地下水受人为污染影响严重,出现高砷水、高氟水等,引发因饮用地下水而导致的地方病。

国内外研究与实践经验表明,地下水是人类极为宝贵的水资源,对社会经济发展具有重要意义。与地表水体相比,地下水一旦被污染,水质恢复技术难度大,恢复周期漫长且费用昂贵。因此,世界各国在地下水保护方面都是以防为主、重在保护。我国水资源并不丰富,更应该立足于我国实际水情,有的放矢。首先要做的就是要建立“节水型”的经济社会作为我国建设的战略方针,认真执行开源与节流相结合、以节水为主的政策,只有这样才能从根本上摆脱水资源缺乏的困境。其次,还要实行资源开发和环境保护相结合的原则,这样才能使地下水资源持续使用,同时又能达到保护地质环境的目的。

1.3 地下水水源地保护区划分的必要性

1.3.1 饮用水安全危机

水是生命之源。但随着社会发展,工业的迅速膨胀给资源环境带来了空前的压力,饮用水安全问题也成为政府和民众日益关注的焦点。没有安全的饮水,就没有健康的生命。

根据世界卫生组织发布的报告,目前全球约有 8.84 亿人无法获得安全的饮用水。国家发改委和水利部、卫生部组织的全国农村饮水安全现状调查评估结果显示,全国农村饮水不安全人口达到 3.23 亿,占农村人口的 34%。其中,各类饮水水质不安全的有 2.27 亿人,水量不足、取水不便以及供水保证率低的近 9 600 万人。

与地表饮用水源相比,地下水中杂质和细菌含量少,并含多种矿物成分,且地下水具有分布广泛、开采便利等优点,这促使各国把优质地下水优先作为饮用水的供水水源。据统计,全球现在有超过 15 亿人口的饮用水来自地下。例如,法国饮用水的 65%都来自地下水,德国为 72%,瑞士为 84%,而澳大利亚甚至超过了 90%。在我国,地下水资源供给全国近 70%人口的饮用,全国 95%以上的农村人口饮用地下水,在一些城市和大部分的农村,地下水几乎是唯一的供水水源。尤其在在我国北方干旱半干旱地区,地下水在居民生活用水、社会经济发展和维持生态环境方面有着不可替代的作用。华北地区地下水的开发利用率非常高,河北、天津、山西、北京等地下水为主要供水水源。

在我国,受经济发展速度过快引发用水量激增、对地下水保护意识不够、污染治理措施不到位等多方面因素影响,目前我国部分地下水水源正遭受到污染的危害及威胁。据不完全统计,在开展地下水资源质量评价的 118 个城市中,64%的城市地下水受到污染,33%的城市地下水轻度污染。在调查的全国 115 个地下水源地中,有 35%未达到饮用水水质标准,除常规水质项目超标外,在一些饮用水水源地中还检出了有毒有机污染。目前地下水水源地的污染现状令人担忧。饮用地下水水源地的供水安全越来越受到国家、各级政府和社会各界的重视。因此,必须采取有效对策和措施保护地下水水源,以确保地下水资源的可持续利用,促进社会、经济和环境协调发展。

地下水水源地供水用途多样,但对供给饮用的水质要求最高,尤其是饮用水的供水安全问题,越来越受到国家、各级政府和社会各界的广泛重视。本书的目的是为所有地下水水源地的保护区的划分提供系统的理论方法和技术实施依据,从源头上为供水安全提供保障,当然,这其中最值得引起重视的便是饮用水水源地保护区问题。由于“地下水饮用水水源”包含在“地下水水源地”范围内,从而“地下水饮用水水源保护区”的划分方法也与“地下水水源地保护区”的划分一致,故本书后面章节不再对“饮用水”作特殊强调,统称为“地下水水源地”。

1.3.2 保护区划分的必要性

在可利用的地表水量逐渐减少且水体污染严重化,而工农业发展和城市建设的迅猛发展对水资源的需求日益增长的形势下,人类生活对地下水的依赖性越来越强。但在实

际长期的开发利用中,由于对环境保护的预见性、环境保护措施、污染物处理技术、人们的环保意识等方面的提高与经济发展速度不协调,使地下水环境遭受了严重破坏。地下水的污染已成为普遍现象,地下水有关的环境问题日益严重。据不完全统计,目前我国 90%以上的城市水域受到不同程度的污染,城市水环境普遍恶化,50%的城区地下水污染严重。

地下水污染不同于地表水污染,由于地下水含水介质的隐蔽性、埋藏分布的复杂性以及具有流速慢、稀释能力差等特点,其污染特征表现为:① 污染进程缓慢隐蔽,难以被发现;② 污染一旦形成,难处理、难恢复且成本高;③ 由于地层的阻留,地下水中的微量污染物会在人体内慢慢积累,造成多系统的损伤,甚至影响几代人的健康,后果严重。正是鉴于上述特征,地下水水源地的保护通常以“预防为主”,根据水文地质条件和工农业生产布局,科学划分地下水保护区的范围,并采取科学严格的防护措施。因此,建立地下水水源地保护区是控制地下水资源免遭继续污染,保护地下水安全的有力手段。

水源保护区的划分为水源保护提供战略方案,对于有效保护地下水水源、防治地下水污染、保障用水安全具有重要的指导意义,也将为城市发展、工农业生产布局、水利规划等方面提供可靠、可行的科学依据。

1.4 地下水水源地保护区划分现状

饮用水水源与人类生活紧密相关,而地下水水源是人类现今及将来的饮水根本依靠。为保护地下水水源的水质、水量安全,建立饮用水水源地保护区是保护饮水水源的关键措施,也是保护水源地的最强有力手段。而正确划分地下水水源地保护区是水源保护成功的前提,保护方案的实施落实是水源保护成功的关键。

国外许多国家和地区在水源地保护区建立方面经过长期实践,探索出一系列保护饮用地下水水源地的规范、模型、政策与法规,建立了保护区的划定原则与方法,以及分区分级保护的实用理论。我国的地下水水源地保护区划分工作尚在经验积累过程中,因此,在今后的发展中,可以借鉴国际先进经验,对可行的方法、理论在国内进行实践、检验,逐步发展出系统、合理、适合我国国情的保护区划分方法。

1.4.1 国外保护区划分进展及现状

大多数发达国家是以地下水作为公众的饮用水源。合理解决未来不断出现的含水层污染问题的有效办法是治理和预防相结合,在含水层脆弱性评价基础上开展水源保护区划分,这是发达国家政府和规划机构为确保公共供水安全所采取的保护地下水资源的重要手段。发达国家开展地下水水源地保护工作的时间较早,迄今为止已经有 100 多年的历史了。美国、德国、英国、加拿大、荷兰等北美和西欧一些国家已经广泛开展了划分水源保护区的工作。从国外研究现状来看,目前世界各国对地下水水源保护区的划分方法有所差异,但绝大多数国家为三分法,见表 1-2。

表 1-2 世界部分国家地下水水源保护区划分统计表

国家	一级保护区 (只允许给水)	二级保护区 (限制建筑、农业)	三级保护区 (限制某些工业、化学、油的储运)		
德国	I 带(井场): 10~50 m	II 带: 50 d	IIIA 带: 2 000 m	IIIB 带	
澳大利亚	直接保护区: 10~20 m	保护区: 50 d	局部保护带		
比利时	直接保护区: 20 m	内保护区: 300~1 000 m 或 50 d	远保护区		
芬兰	取水区	内保护区: 60 d	远保护区		
荷兰	井场	集水区: ≥30 m 或 50~60 d	滞留 10 a 保护区	滞留 25 a 保护区	远离 补给区
法国	直接保护区: 10~20 m	内保护区	远保护区		
瑞士	I 带: 10~20 m	II 带: ≥100 m 或 10 d	IIIA 带: ≥200 m	IIIB 带	
匈牙利	保护带	50 d	水文地质保护区	区域保护区	
瑞典	井区	内保护区: ≥100 m 或 60 d	外保护区		
英国	内区: ≥50 m 或 50 d	外区: 400 d 或面积不小于 流域区的 25%	流域区: ≥5 000 m 或井口所在 流域区界		

尽管各国对地下水水源保护区的分区名称和标准不一致,但为确保地下水保护系统的有效性和可行性,都根据本国的社会、经济、技术条件来划分保护区,以取得较好的效果。其中,比较有代表性的国家是德国、英国和美国,分别在地下水水源地保护区划分方面做过系统的研究工作。德国在建立水源保护区方面历史较长、方法较为成熟,已建立水源保护区 2 万余个。英国井源保护区的圈定由国家河流管理局(NRA)负责,目前已圈定了几千个井源保护区。美国在 1986 年通过了对 1974 年的清洁水法修正案以后,开展了全国性的井源保护计划 WHPP(Well Head Protection Program)。该项计划由美国环保局(EPA)组织,各州编制或“圈定”现有井和新井的补给区,以保证区内或附近的人类活动不会污染水井。

1.4.1.1 德国地下水水源地保护区划分

德国地下水资源非常丰富,全国 70%以上的饮用水由地下水供给。德国是最早开展地下水保护研究工作的国家,其水源保护区的建设已有 100 多年的历史,具有国际领先水平,其经验规范也被欧美工业国吸收采用。目前德国已划定 20 000 多个饮用水水源保护区,保护区面积占其国土面积的 30%。

(1) 保护区管理制度建设

德国地下水水源保护区的划分工作始于 18 世纪末期,第一个水源保护区出现于科隆地区(Koeln)。自此,各地政府开始立法划定水源保护区,并颁布保护措施,标准不一。50 年代,西德联邦《水法》颁布,西德意志水与气专业协会(DVGW, Deutscher Verein des Gas—und Wasserfaches)整理出《地下水水源保护区条例》供各地方政府参考使用,此外,还颁布了其他一些法律、法规来辅助指导保护区地下水管理工作的实施。随后又相继推出地表水的相关管理条例,包括《水库水水源保护区条例》和《湖水水源保护区条例》。经过多年的试用与反复修改,西德各州政府采用了综合上述三种水源保护区条例的划分