

实用地下水 管理模型

SHI YONG DI XIA SHUI GUAN LI MO XING

杨悦所 林学钰 编著

东北师范大学出版社

实用地下水管理模型

杨悦所 林学钰 编著

东北师范大学出版社

(吉) 新登字 12 号

实用地下水管理模型

SHIYONG DIXIASHUI GUANLI MOXING

杨悦所 林学钰 编著

责任编辑: 王忠山 封面设计: 裴 彤 责任校对: 方 军

东北师范大学出版社出版 吉林省新华书店发行
(长春斯大林大街 110 号) 长春地质学院印刷厂制版
(邮政编码 130024) 长春地质学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米: 1/32 1992 年 5 月第 1 版
印张: 7.125 1992 年 5 月第 1 次印刷
字数: 160 千 印数: 0 001 — 1 500 册

ISBN7-5602-0743-X / O · 68 (压膜) 定价: 4.50 元

前 言

地下水资源管理是当代水文地质学的一个重要组成部分，是多门学科交叉发展而兴起的一门边缘学科。近年来，随着国民经济建设的需要和学科的发展，地下水资源管理日益受到重视。地下水管理模型研究作为其核心内容，也愈来愈显示其重要性。

本书是在总结历年来的生产、科研和教学实践基础上，结合国内外学科的建设和发展进行编写的。它适合于从事水文、水利、环境、水文地质、城建、土建等方面的工程技术人员、科技管理人员以及有关院校的师生进行科研和教学使用。

书中介绍了地下水资源管理中常用的系统工程学的原理和方法，包括线性规划、目标规划、动态规划、多目标规划等内容。为了便于读者理解掌握，还就各种方法编写了具体的应用实例；并配以实例说明地下水管理模型的组成与建立方法、步骤，以及选编了一些实用电子计算机程序，供读者使用。这些程序已通过调试运行，可在 IBM-PC 系列及其兼容机上运行。

地下水资源科学管理要通过建立管理模型来实现，模型是进行水资源有效管理的重要工具。因此，作者应

用系统工程学中模型论的思想方法，力图使管理模型的建立方法与步骤规范化、实用化，并强调建模过程中水文地质条件的模型化。全书由杨悦所和林学钰编写，最后由林学钰审定。

本书在编写过程中，得到了廖资生教授、邹立芝副教授、曹剑锋老师、张伯军老师的热情支持与帮助，在此谨表示衷心的感谢。由于本学科内容广泛，发展迅速，加之作者水平有限，不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

1991年8月20日于长春地质学院

目 录

第一章 绪 论.....	(1)
§ 1.1 地下水资源管理的基本概念	(1)
§ 1.2 地下水资源管理发展概况及 研究现状	(3)
§ 1.3 地下水模型在地下水管理 中的应用	(5)

第二章 系统工程学在水资源管理中的应用.....	(7)
§ 2.1 线性规划基本原理	(7)
§ 2.2 线性规划应用实例	(29)
§ 2.3 多目标规划与目标规划	(38)
§ 2.4 动态规划原理及应用	(60)

第三章 地下水管理模型	(69)
§ 3.1 地下水管理模型概述	(69)
§ 3.2 集中参数系统地下水管理模型	(72)
§ 3.3 分布参数系统地下水管理模型的建立 ——响应矩阵法	(81)

§ 3.4 分布参数系统地下水管理模型的建立	
——嵌入法	(103)

第四章 地下水管理模型的建立步骤	(118)
§ 4.1 管理问题的研究确定	(118)
§ 4.2 基本资料的收集和分析	(119)
§ 4.3 数学模型的建立和求解	(121)
§ 4.4 管理规划的综合评价	(121)
§ 4.5 决策方案的实施运行	(122)
§ 4.6 反馈信息的监测调控	(122)
§ 4.7 建模步骤实例	(123)

第五章 实用计算程序	(137)
§ 5.1 确定地下水系统响应矩阵	(137)
§ 5.2 确定地下水系统附加降深场	(154)
§ 5.3 线性规划模型的单纯形解法	(173)
§ 5.4 目标规划模型的解法	(186)
§ 5.5 动态规划——分配问题	(197)
§ 5.6 动态规划——最佳管路问题	(202)
§ 5.7 动态规划——生产调度问题	(209)

参考文献	(218)
------------	-------

第一章 绪 论

地下水资源科学管理是现代水文地质学的一个重要内容。随着人口的增加和国民经济建设的发展,用水量迅速增加,因而出现了由于大量开发利用地下水而发生的许多环境地质问题。如区域地下水位持续下降、地下水水质恶化、海水入侵、地面沉降等公害,给人民生活和工农业建设带来了严重影响和巨大损失。因此,科学、合理地利用地下水资源,防止环境公害的发生与发展,就成为地下水资源管理工作的重要任务。

§ 1.1 地下水资源管理的基本概念

地下水资源科学管理是多学科交叉发展而兴起的一门新兴学科。它综合运用社会科学、自然科学以及技术科学的原理和方法,研究人们开采利用及管理地下水资源的规律性问题。

地下水资源管理是指为了一定的目的,在一定的时间和空间范围内,利用某些行政法律、工程措施或技术手段,统筹规划和科学管理区域内的地下水、地表水、和其他水资源,并通过对各种管理要素的操纵控制,使既定管理目标达到最优。简言之,即:在一定约束条件下,通过对地下水系

统中各种决策变量的操纵，使既定的管理目标达到最优。

实际上，地下水资源管理的目的是将危害地下水系统的因素降到最低，使用水单位或用水个人在经济上、环境上和社会上获得最大收益。

地下水资源管理的任务包括：优选水源地或人工回灌区；制定地下水开采和回灌的水利布局和设施方案；确定地下水最佳开采量，控制地下水水位；在管辖区内合理调配水资源量，实现分质供水；对含水层储量、地下水库容积、未来需水要求、环境保护措施、水源联合开发等进行长远的考虑和设计；在统一、优化调用管辖区内各种水源情况下，满足各方面对供水的要求，并尽可能减小或消除由于开采地下水而引起的危害。

地下水资源管理的内容，包括行政立法和技术经济两个方面。

水资源的立法和行政管理，就是制定有关水资源（包括地下水资源）的法律，依法管理水资源和处理有关开采地下水的纠纷，以保证人民和国民经济各部门的合理用水，保护地下水资源。世界上许多国家都制定了水资源法，我国也颁布了水法，这将有助于改变目前我国水资源开发利用的混乱状态。在行政上，要有健全的水资源管理机构，以具体实施对所管辖地区的水资源进行统一和科学的管理。目前，我国许多省市均建立了水资源管理委员会，负责这方面的工作。建立和健全既有行政权力，又有专业职能的水资源管理机构，是水资源管理工作不可缺少的组织保证。

§ 1.2 地下水资源管理发展概况 及研究现状

地下水是地球水圈中的一个重要组成部分，要合理开发利用和保护地下水资源，需要综合大气降水、地表水和地下水水体，同时考虑地质、水文地质、环境、生态、工程、水力、社会、经济等诸多要素。

国外 50 年代便开始这方面的研究，美国哈佛大学由工程、社会、自然科学等多学科专家们组成了“哈佛水资源规划组”，于 1955 年提出了把水资源及其环境系统统一考虑的设想，后来发表了“水资源系统分析”一书。最早的地下水资源管理模型是 60 年代初由美国的 Burt D.R. 以农田灌溉为目的，用随机动态规划法建立的地下水和地表水联合管理的集中参数模型。70 年代中期，联合国组织召开了有关地下水管理的国际会议，虽然当时会上还没有人提出较为成熟或普遍可行的重要成果或经验，但地下水管理在各国地下水合理开发利用与保护中的重要作用，已为人们所一致肯定。而且，人们越来越迫切地期望综合运用多学科知识，以解决如何最大效益地利用地下水资源的问题。

从那时起，近 30 年来，各种类型的水资源管理模型已在世界各国普遍发展起来，特别是系统工程理论的引入和电子计算机技术的突破性进展，将地下水资源管理模型研究大大地向前推进了一步。

归纳起来，地下水资源管理主要涉及以下几个方面的问题：大区域或流域范围内为满足工农业生活用水的多目标规划管理；跨流域或盆地之间水源调配；地下水及地表水水质

控制改良和管理；农田灌溉用水的规划和运营；生态环境和旅游环境的保护与改善；城市供水和工矿企业供排结合的水资源调度等等。

目前，地下水资源管理模型研究所涉及的目标比较广泛而且不是单一的，它既包含像水量、水质等易于量化的目标，又包含像环境质量、经济分析等难以量化的目标。管理模型的建立方法技术也多种多样，如采用模拟方法、优化技术、决策分析、投入产出等等。但是，从现有模型的类型看，涉及水资源、环境和工程的规划设计的模型较多，而研究社会分析、政策制定的模型较少。成功的经验表明，管理模型建成后需要在相当长的一段时间内，不断地运行、修改和维护，通过反复验证才能取得较好的效果。

回顾我国水文地质学的发展，50年代主要进行水文地质普查和找水，选择水源地与设计开采方案（如确定井数、井径、井距、成井费用等）；60年代，随着用水量的增大，地下水开采规模与数量不断扩大，人们逐渐对地下水资源评价引起重视；70年代，对如何获得区域内最大可开采地下水资源进行了探讨，曾对“地下水储量”与“地下水资源”的概念和分类进行了讨论，目的是确定如何开采出有保证的极限开采量。80年代以来，地下水资源开发利用的“最佳”问题成为人们日益关注的一个重要问题。由于用水量日益增加，各种“环境公害”与“水荒”的出现，使地下水资源管理成为当务之急。

综上所述，水文地质学从定性叙述发展到量化的研究，是人们对地下水系统认识深化的结果。近几十年来，描述地下水系统和合理开发利用地下水资源的各种数学模型的涌现，从一个重要的侧面反映了水文地质科学的迅速发展。

我国地下水资源管理工作起步虽然较晚，但发展十分迅速。自从我国执行六·五和七·五科技发展规划以来，通过立项研究，使我国一些大中型缺水城市和地区的水资源管理模型研究工作得以迅速普及和发展，并使这一学科的许多成果取得了比较显著的效果。

§ 1.3 地下水模型在地下水管理中的应用

地下水模型研究是地下水资源管理研究的核心内容。随着科学技术的发展，特别是计算机科学的发展，电模拟模型、数学模型等已广泛应用于地下水资源管理规划中。

一、电模拟模型、数学模型与数字模型

电模拟模型是指由导电溶液或导电纸等组成连续介质电模型来模拟地下水流的稳定运动（称为水电比拟法）；或者是指由电阻电容网络组成离散的电模型来模拟稳定与非稳定地下水流运动（称为电网络模型）。数学模型是指用严密的数学语言描述地下水流运动。而地下水数字模型则是利用计算机进行水文地质参数计算和资源评价、地下水动态预报等的计算机模型（不同于数值模型）。

这些模型主要成功地用来模拟含水层内部性质、边界条件；计算水质水量变化、补给井的效益、地下水开采、以及海水入侵、污染质扩散、地面沉降、地热开发等有关整个地下水盆地开发问题；评价由于开发地下水所引起的各种水文地质条件变化；预测人类活动对水资源开发利用的影响等等。

二、地下水模型

地下水模型可分三大类，即预测模型、管理模型和资料模型。

1. 预测模型：主要用于区域地下水资源评价，预测地下水水位、水量或水质变化、预测污染物或热能等在含水层中运移、传输规律。

在地下水管理中，可以通过建立电模拟模型，总结各种水文地质参数和边界条件，再建立数学模型，然后利用数字模型在计算机上进行模型识别与模型验证，形成水量或水质的预测模型。

2. 管理模型：在预测模型基础上，根据水资源管理或规划的目标、管理问题的各种约束条件，利用有关系统工程学技术建立优化模型，提出几种可行的水资源规划与管理方案，进而优选在不同经济、技术、自然和社会条件下的最佳水资源规划管理方案。

3. 资料模型（资料数据库）：借助一些数字模型，利用计算机进行水文地质资料的贮存、处理、检索等。不仅可以贮存地下水水位、水量、水质等大量动态观测资料，还可以按一定方法对其进行统计分析、加工处理和整编存档。

第二章 系统工程学在水资源管理中的应用

系统工程学是近 30 年来迅猛发展的学科之一，它是以系统论、信息论和控制论为基本科学体系，在处理问题时具有两个重要特点：一是从问题全局出发来考察每一个环节；二是通过建立模型，如数学模型或模拟模型，对于所求解的问题进行优化运行，得到最合理（最佳）的决策结果。系统工程学是运筹学在科学技术上的突出体现。系统工程学在水资源工程中广泛应用，就形成了一门新学科——水资源系统工程学。

水资源系统工程学的发展仅 20 余年，由于本学科合理地解决了水资源的开发、控制、分配、利用、处理和重复使用等多方面问题，因此日益受到重视，而且在目前兴起的水资源科学管理中得到广泛应用。本章就简要介绍一些水资源系统工程学的主要内容。

§ 2.1 线性规划基本原理

线性规划（Linear programming，简记为 LP）是系统工程学的一个重要内容，自从 1974 年丹齐格（George Dantzig）提出了求解一般性线规划问题的单纯形法之后，

线性规划在理论上趋于成熟，在实际中的应用日益深入与广泛。近年来，随着电子计算机的普及，线性规划逐渐在水资源工程和管理中得到应用。

一、线性规划问题及其数学模型

在水资源开发、利用和管理过程中，常常存在这样的问题：各抽水井的水位允许降深一定，如何合理地确定各井的地下水开采量，才能获得最大的总开采量？

【例 2-1】某冲洪积平原有三个地下水抽水井，抽取砂砾石承压含水层中地下水作为供水水源。由于各井条件不同，各供水井允许降深不同，1-3 号井分别为 10.5、12、14 米，问各井抽水量为多少时才能使水源地总开采量达到最大？

【解】假设各井抽水量分别 x_1 、 x_2 、 x_3 ，三个井同时工作时单位流量的水位干扰值为 a_{ij} ，表示井 j 对井 i 的水位干扰值，则任一井 i 的总降深为 $\sum_{j=1}^3 a_{ij}$ ($i=1, 2, 3$)，根据例子中的要求存在有下列方程式：

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 &\leq 10.5 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 &\leq 12 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 &\leq 14 \end{aligned} \quad (2.1)$$

式(2.1)表示各井允许降深要求，各井开采量还不能为负值，即

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0 \quad (2.2)$$

上述各线性不等式（或等式）就称为 LP 问题的约束条件。其中式 (2.2) 又称非负性约束，各变量 x_j 为待定量，称为决策变量。

本问题要求在上述约束条件下总开采量最大, 可表示为

$$\max Z = x_1 + x_2 + x_3 \quad (2.3)$$

线性式 (2.3) 称为 LP 问题的目标函数。综上所述, 本水源地开采量问题就归纳为由 (2.1、2.2、2.3) 各式组成的规划问题。由于上述目标函数和约束表达式都是线性的, 故所列出的数学模型称为线性规划模型。

一般地讲, 这类问题可用数学语言描述如下:

目标函数为

$$\max (\min) Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (2.4)$$

满足约束条件

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq (=, \geq) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq (=, \geq) b_2 \\ \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq (=, \geq) b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

式 (2.4)、(2.5) 就构成 LP 问题的数学模型。LP 问题可能有不同形式，目标函数 (2.4) 式可为最大化 (max) 或为最小化 (min)；约束条件可以是“ $<$ ”、“ $>$ ”或为等式“ $=$ ”。这种多样性给讨论带来不便，为方便，规定 LP 问题的标准

10

目标函数 $\max Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$

$$\text{满足于约束} \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n = b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geqslant 0 \end{cases}$$

或者缩写为

$$\begin{cases} \max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (2.6)$$

式中 m 与 n 为正整数, 一般 $m < n$, 并假设 $b_i > 0$ 。式 (2.6) 亦可用矩阵或向量符号表示如下:

用向量描述: $\max Z = CX$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n P_j X_j = b \\ X_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

用矩阵描述: $\max Z = CX$

$$\begin{cases} AX = b \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (2.7)$$