

高等学校教学用书

地下水资源系统分析

陈江中 编著

中国矿业大学出版社

P641.8
C-323

高等学校教学用书

地下水资源系统分析

陈江中 编著

中国矿业大学出版社

(苏)新登字第 010 号

内 容 简 介

本书介绍了地下水资源系统分析的基本理论和方法。全书共分八章,以系统化、模型化、最优化为线索,对地下水资源系统分析的概念和内涵以及地下水资源系统的模拟和预测、最优化技术和方法、控制与管理等内容作了介绍。全书内容丰富,选材广泛,在理论和方法的叙述上力求深入浅出,并配有应用实例。

本书可作为高等院校有关专业的本科生和研究生的“地下水资源管理”和“地下水资源系统分析”课程的教材或教学参考书,也可供从事水文地质与工程地质、水资源开发与规划、环境保护、市政建设等工作的技术和管理人员参考。

责任编辑: 龔立平

技术设计: 周俊平

高等学校教学用书
地下水资源系统分析
陈江中 编著

中国矿业大学出版社出版发行
新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷
开本 787×1092毫米 1/16 印张 11.25 字数 270千字
1992 年12月第一版 1992 年12月第一次印刷
印数 1—4000册

ISBN 7-81021-617-1

P·19

定价: 4.95元



前 言

地下水资源系统分析是一门新兴的边缘学科。

地下水作为一种宝贵的自然资源，其数量是有限的。随着社会的发展，人类对地下水资源的依赖及影响程度都不断增大。由于地下水的需求量剧增以及盲目和不合理地开发利用地下水，使地下水在数量、质量、时间和空间的分布等方面与所要求的不相适应，供需矛盾日益突出，同时还导致和产生了一系列的环境、生态、社会等问题，如区域地下水水位下降、地面沉降和塌陷、海水入侵、水质恶化、环境污染等，给社会和人类自身带来了严重威胁。因此，研究地下水的目的，不仅是寻找、开发和利用地下水或防范其带来的危害，而且还要合理地地下水进行运筹调度和科学管理。要做到这一点是不容易的。地下水赋存于地下含水介质中，运动特征不仅随自然条件及时空位置在不断地变化，而且还受到社会、经济、生态、技术、环境、法律等人为因素的影响。这些因素是相互联系、相互制约的，有的还是相互矛盾的(如多目标决策)。它们之间的相互作用构成了地下水资源问题整体(系统)。若只是从局部和片面的观点出发，用传统的单一学科的知识去解决如此复杂的整体问题，是达不到目的的，甚至会适得其反。例如，应用传统的模拟模型(功能模型)，可以求出不同决策下的地下水系统的响应，但由于可供选择的决策方案有许多，甚至难以穷举，所以想通过利用模拟模型分别求出并比较地下水系统的响应，来达到选择和确定最佳决策的目的，通常是不可能的。系统工程和系统分析是本世纪 40 年代发展起来的一门新兴横断学科，它为现代科学提供了崭新的思想和方法。目前，系统工程和系统分析在社会、经济、航空、环境等领域内广为应用，取得了明显的社会效益和经济效益。同样，系统工程和系统分析也是研究和解决复杂的地下水资源问题的方法和手段。

本世纪 50 年代中期，系统分析的方法开始应用于地表水资源研究，经过 30 多年的发展，其理论体系逐渐完善。但是，系统分析应用于地下水资源的研究则起步较晚，发达国家 70 年代才开始这方面的研究。我国在这方面的起步就更晚了，80 年代这个问题才得到人们的重视。

本书以系统化、模型化和最优化为线索，分三篇八章介绍地下水资源系统分析的理论与方法。第一章系统与系统方法，介绍系统与系统方法的基本概念和内容。第二章地下水资源系统及其系统分析，介绍地下水资源系统的概念、内涵、特征和分类，以及地下水资源系统分析的概念、步骤和方法。第三章地下水资源系统模型化，介绍地下水资源系统模型化的基础知识，在说明建立数学模型的一般原则的基础上着重叙述参数估计的方法。第四章地下水资源系统集中参数数学模型，介绍地下水资源系统集中参数数学模型，考虑到输入项和输出项具有随机性较强的特点，故主要介绍地下水资源系统输入和输出随机过程的模拟和预测。第五章地下水资源系统分布参数数学模型，介绍地下水流数学模型及其求解方法，重点说明有限单元法，并对几个问题进行了讨论。第六章地下水资

源系统最优化研究概述,介绍地下水资源系统控制与管理研究的必要性,以及地下水资源系统最优化模型的目标函数、约束条件、决策变量、状态变量等。第七章地下水资源系统最优化方法,介绍地下水资源系统的线性规划、非线性规划、动态规划、多目标规划等内容。第八章地下水资源系统的控制与管理,除叙述地下水资源系统线性化、功能模型与优化模型耦合的方法外,还介绍了常用的决策方法,即层次分析法。总的来讲,第四章、第五章属于功能模型(模拟模型)的内容,第七章、第八章属于优化模型的内容。它们各自有各自的特点和性能,又有密切联系,是地下水资源系统分析的核心。

地下水资源系统分析是多学科高度综合的产物。它涉及到系统工程、系统分析、运筹学、最优化方法、数值分析、水文地质、社会科学、环境科学等学科的理论和方法。全书力求深入浅出,并配有实例。

本书可作为高等院校本科生和研究生“地下水资源管理”和“地下水资源系统分析”课程的教材或教学参考书,对拓宽学生的知识面、提高综合分析和解决问题的能力是很有帮助的。也可供从事水文地质与工程地质、水资源开发与规划、环境保护、市政建设等专业的教学、科研和管理人员参考。

南京大学薛禹群教授和陈葆仁教授、中国矿业大学沈文教授,仔细审阅了本书的初稿,提出了宝贵的意见和建议。郑世书副教授、李义昌教授、李宾亭副教授对本书的完成也给予了很大的帮助和支持。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中可能有欠缺,乃至谬误,欢迎广大读者批评指正。

陈江中

1991年12月

目 录

前 言

第一篇 地下水资源系统分析的基本概念

第一章 系统与系统方法	(1)
第一节 系统	(1)
一、系统的定义	(1)
二、系统的分类	(1)
三、系统的特征	(2)
第二节 系统方法	(3)
一、系统方法的原则	(4)
二、系统方法的分类	(4)
第二章 地下水资源系统及其系统分析	(6)
第一节 地下水资源系统	(6)
一、地下水资源系统的概念	(6)
二、地下水资源系统的基本特征	(10)
三、地下水资源系统的分类	(11)
第二节 地下水资源系统分析	(12)
一、地下水资源系统分析的概念和步骤	(13)
二、地下水资源系统分析的方法	(14)

第二篇 地下水资源系统模型化

第三章 地下水资源系统模型化基础	(16)
第一节 地下水资源系统数学模型及其建立	(16)
一、数学模型的定义和分类	(16)
二、建立数学模型的一般要求和步骤	(18)
第二节 参数估计的一般方法	(20)
一、试验法	(21)
二、直接解法	(21)
三、最小二乘估计法	(25)
第三节 模型检验和灵敏度分析	(31)
第四章 地下水资源系统集中参数数学模型	(32)
第一节 输入输出项的特点及研究方法	(32)

第二节 地下水资源系统输入输出项随机过程的基本概念	(33)
一、随机过程	(33)
二、随机过程的数字特征	(33)
三、平稳随机过程	(34)
四、平稳随机过程的各态历经性	(35)
第三节 平稳随机过程的数学模型	(36)
一、AR(p) 模型(自回归模型)	(36)
二、MA(q) 模型(滑动平均模型)	(37)
三、ARMA(p, q) 模型(自回归滑动平均模型)	(37)
四、自相关系数 ρ_k 和偏自相关系数 φ_{kk}	(37)
第四节 平稳随机过程的模型识别与参数估计	(40)
一、模型识别	(40)
二、参数估计	(41)
第五节 输入、输出项的平稳性检验	(43)
一、自相关分析检验法	(43)
二、非参数检验法	(44)
第六节 输入、输出项非平稳随机过程模型的建立	(46)
一、参数方法	(47)
二、差分方法	(47)
第七节 地下水资源系统输入输出过程的模拟和预测	(48)
一、模拟和预测的步骤	(48)
二、应用举例	(48)
第五章 地下水资源系统分布参数数学模型	(54)
第一节 地下水流数学模型及其求解方法	(54)
一、地下水流数学模型的研究现状	(54)
二、地下水流数学模型的内容及其求解方法	(56)
第二节 地下水流数学模型求解的有限单元法	(57)
一、基本知识	(58)
二、稳定流问题的解法	(63)
三、非稳定流问题的解法	(66)
第三节 几点讨论	(76)
一、 W 项的处理	(76)
二、第二类边界节点	(76)
三、无压水流	(77)

第三篇 地下水资源系统最优化——控制与管理

第六章 地下水资源系统最优化研究概述	(78)
第一节 地下水资源系统控制与管理研究的必要性	(78)

一、水资源的现状与需求	(78)
二、不合理开采、利用地下水资源造成的公害	(80)
三、煤矿区的排、供矛盾日益突出	(81)
第二节 目标函数、约束条件、决策变量、状态变量	(81)
一、目标函数	(81)
二、约束条件	(82)
三、决策变量	(83)
四、状态变量	(83)
第三节 地下水资源系统优化模型的种类	(83)
第七章 地下水资源系统最优化方法	(85)
第一节 线性规划	(85)
一、线性规划问题及数学模型	(85)
二、线性规划模型的标准型及有关解的基本概念	(88)
三、单纯形法	(92)
四、灵敏度分析	(102)
五、线性规划的对偶问题	(104)
第二节 非线性规划	(108)
一、非线性规划的数学模型及求解方法	(108)
二、有约束极值的最优化条件	(109)
三、二次规划	(111)
第三节 动态规划	(114)
一、动态规划的基本概念	(115)
二、最优性原理和递推方程	(118)
三、动态规划数学模型的建立与求解方法	(120)
四、需要用动态规划求解的几个问题	(121)
第四节 多目标规划	(126)
一、多目标规划的基本概念及其优点	(126)
二、多目标规划的数学模型	(127)
三、多目标规划的求解方法	(129)
第八章 地下水资源系统的控制与管理	(138)
第一节 地下水资源系统的线性化	(138)
一、控制与管理模型的一般形式	(138)
二、线性系统	(139)
三、地下水资源系统的线性化系统	(143)
第二节 功能模型与优化模型耦合的方法	(146)
一、集中参数系统管理模型的耦合方法	(146)
二、分布参数系统管理模型的耦合方法	(147)
三、建立模型过程中应注意的问题	(158)
四、分解与多级最优化	(159)

第三节 层次分析法.....	(160)
一、基本原理 和 计算步骤.....	(160)
二、实例 分析.....	(164)
主要参考文献.....	(168)

第一篇 地下水资源系统分析的基本概念

第一章 系统与系统方法

第一节 系 统

一、系统的定义

所谓系统，指的是由相互联系、相互作用、相互依赖、相互制约的若干部分（要素）构成的具有特定功能和综合行为的有机整体。为了实现系统自身的稳定和功能，系统需要以一定方式取得、使用、保持和传递能量、物质和信息，也需要对系统的各个组成部分进行组织。

系统的概念所涉及的范围非常广泛。自然界和人类社会的事物，如太阳系、植物群、动物群、飞机、导弹、工矿企业与事业单位，以及一种制度、一个思想体系、一个工程计划、一个研究项目等，分别都是由相互依存、相互作用的若干部分结合而成的，各自都是具有特定的功能或目的并作为一个整体或总体而存在的。所以，它们都可分别称为系统。

二、系统的分类

世界上的系统千差万别，按照不同的标准可以将它们分为不同的类型。下面是几种常见的系统分类方法。

1. 按照自然属性

按照自然属性可将系统分为自然系统和人工系统两大类。

自然系统指的是客观世界（自然界）发展过程中已经存在的、固有的系统（自然物的集合体），宇宙系统、水循环系统、生物系统、山川、海湖等都属于这一类。

人工系统指的是人为制造（参与）的、由人工要素组成的、具有一定目的与功能的系统，各种工程系统（如水利工程）、管理系统（如组织机构）、社会系统（如城镇）以及日用器具（如钟表、自行车）等都属于这类系统。显然，这里所说的人工系统也包括由人工系统（狭义上的）和自然系统组合而成的复合系统。

2. 按照物质属性

按照物质属性可将系统分为实体系统和概念系统两大类。

由物质实体构成的系统称为实体系统，如建筑物、计算机等。显然，实体系统可以是自然系统，也可以是人工系统。

由人的大脑思维构造出来的系统称为概念系统，如规章制度、思想体系等。显然，概念系统一定是人工系统。

3. 按照运动属性

按照运动属性可将系统分为静态系统和动态系统两大类。

静态系统指的是系统内部结构参数不随时间变化的系统。严格地说，静态系统是难

以找到的。

动态系统指的是内部结构参数随时间变化的系统。

4. 按照系统与环境的关系

按照系统与环境的关系可将系统分为开放系统和封闭系统两大类。

当系统与外界环境之间存在着物质、信息、能量等的交换时，称为开放系统。在开放系统中，环境与系统之间的物质、能量等的交换方式有两类。一类是由环境向系统内的流动，称为系统的“输入”；另一类是由系统向环境的流动，称为系统的“输出”。一般的开放系统用图 1-1 表示，这里的方块表示系统，指向系统的箭头线表示输入，背向系统的箭头线表示输出。

当系统与外界环境之间不存在着物质、信息、能量等的交换时，称为封闭系统。实际上，严格的封闭系统是难找到的。

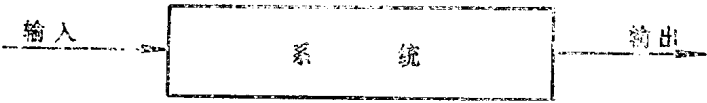


图 1-1 开放系统一般形式示意图

5. 按照反馈的属性

按照反馈的属性可以将开放系统分为开环系统和闭环系统。

系统的输出反过来影响系统的输入时，称该系统具有“反馈”。增强原输入作用的反馈称为“正反馈”，削弱原输入作用的反馈称为“负反馈”。没有反馈的系统称为开环系统，具有反馈的系统称为闭环系统。闭环系统可用图 1-2 表示。

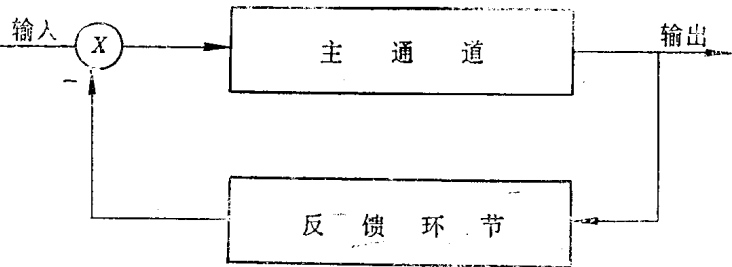


图 1-2 闭环系统负反馈一般形式示意图

6. 按照规模大小和复杂程度

按照规模大小和复杂程度可将系统分为大系统和小系统两类。

限于人们的认识水平，在大系统和小系统之间难以确定一条明确的界线。一般地说，大系统具有结构复杂、规模庞大、参量众多、功能综合多样等特征。用传统的技术和方法难以解决大系统的问题，必须寻找新的方法。大系统理论等是解决这类问题的技术和方法。

根据工程控制理论的分类法，系统还有许多类型，如确定性系统与随机性系统、单输入单输出系统与多输入多输出系统、时变系统与时不变系统、线性系统与非线性系统、连续系统与离散系统、低阶系统与高阶系统等，这里就不一一枚举。

三、系统的特征

系统具有以下普遍特征：

1. 集合性

系统的集合性，即系统是由许多要素(系统的组成部分)按一定的方式组合而成的。这些组成部分可能是一些元件、个体，也可能是一些子系统。

2. 关联性

系统的关联性，即系统的组成部分是按一定的方式相互联系、相互制约的，关系复杂。

3. 目的性

系统的目的性，即系统总是具有特定功能的，系统的整体能实现某种目的，而系统的组成部分正是按这种目的组织起来的。

对人工系统来说，系统的目的性就是指人们明确赋予的、期望达到的目标。对自然系统而言，虽然它的运动也合乎某种目的，但这种目的是由客观条件所决定的，是不以人们的意志和愿望为转移的。所以，从这个意义上来说，自然系统是无目的系统。

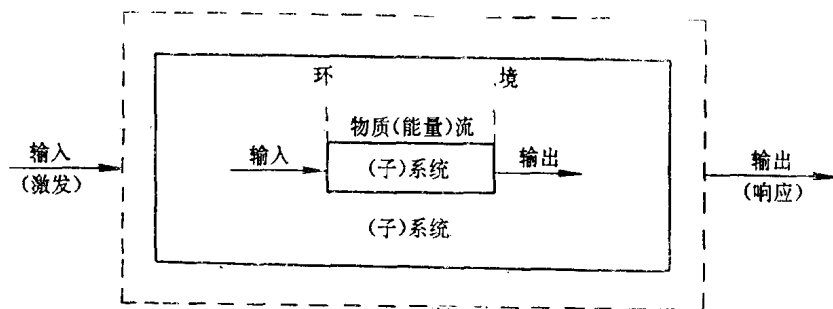
4. 环境适应性

系统的环境适应性，即系统必须适应于环境，系统的不断变化就是为了适应外界环境的变化。系统总是存在于一定环境之中的，它与环境不断地进行物质、能量和信息的交换。从这个意义上来说，一切现实的物质系统都是开放系统，与外界环境无任何联系的绝对封闭的系统是根本不存在的。

5. 层次性

系统的层次性，即一个系统是由许多子系统(要素)组成的，同时它又要作为一个子系统去作为更高一级系统的组成部分。自然界的物质系统是由无限个层次组成的，这是系统纵向联系的体现，说明自然界物质是无限可分的。但就人工系统而言，由于研究的内容是已知的，所以它的上界是可以确定的。

上述系统特征可由图 1-3 表示。



第二节 系统方法

这里所说的系统方法指的是研究人工系统的方法。

所谓系统方法就是从系统整体的观点出发，从系统与要素之间、要素与要素之间以及系统与外界环境之间的相互联系、相互作用中考察对象，以达到最佳地处理问题的目的的科学方法。

一、系统方法的原则

1. 整体性原则

系统方法的整体性原则,即把要研究的对象作为由各组成部分构成的整体,从这个角度来研究整体(系统)的构成及其发展规律。整体性原则所要解决的是所谓“整体性悖论”,即系统的整体功能不等于它的组成部分功能之和,它具有各个组成部分所没有的新功能。系统的整体功能是由系统的结构即系统内部诸要素相互联系、相互作用的方式决定的。系统方法的整体性原则,正是着眼于系统的整体功能,并根据系统结构决定系统整体功能的原理,具体分析系统结构怎样决定系统的整体功能,以及为了实现特定的系统功能应选择怎样的结构等问题。

例如,在地下水研究中,若仅对单个水源地或开采井的水量 and 水质进行分析和评价是达不到合理开采和改善水质的目的的。这是因为,地下水的补给、径流和排泄是一个不可分割的过程,地下水渗流场中的各点是相互联系、相互制约的,任意一点所处条件的改变都将对渗流场中其它各点产生影响。因此,在这种情况下,应该将所研究的对象视为一个整体,为了使这个整体达到特定的目的和功能(如合理开采和改善水质),就必须综合考虑各方面的因素,并给出达到特定目的的准则和限制条件,然后采用有关的理论和方法确定出合理的抽(注)水井的数目、位置、水量时空分配关系等,即确定和选择使整体达到特定功能的系统结构。这样实施以后,这个整体才具有人们所希望的功能。

2. 综合性原则

系统方法的综合性原则,即在研究系统的过程中,不仅要考虑技术问题,而且还要考虑与其有关的社会、经济、生态、政治等因素;不仅要系统内部各个要素进行研究,而且还要从相互联系和发展的角度对系统的整体及系统的环境进行综合考察。

综合性原则有两方面的含义。一方面,要把研究对象的各个方面和各种影响因素联系起来综合分析,以把握研究对象的运动形式和发展规律;另一方面,由于系统的组成及影响因素都比较多且关系复杂,采用单一学科的知识往往是难以解决问题的,必须综合各学科(自然科学及社会科学的各学科)的知识才能解决这样复杂的系统问题。

3. 模型化原则

系统方法的模型化原则,就是在运用系统方法时,由于系统比较复杂,难以直接进行分析和实验,需要设计出系统模型(数学模型或物理模型等)用来代替真实系统,通过对系统模型的研究,掌握真实系统的本质和规律。模型化是实现系统方法定量化和进行系统实验的必经途径,只有建立了系统模型,才能进行模拟实验和运用电子计算机进行系统仿真,从而不断检验和修正系统方案,逐步使系统处于最佳状态。

4. 最优化原则

系统方法的最优化原则,就是从多种可能的途径中选择出最优的系统方案,使系统处于最优状态,达到最优效果。实现系统整体功能最优化的关键,在于选择最佳的系统结构。随着人们对系统结构研究的日益深入,已逐步发展和建立了各种最优化理论,如线性规划、非线性规划、动态规划、最优控制论和决策论等数学理论。

二、系统方法的分类

系统方法主要有二类,即系统工程和系统分析。

1. 系统工程

“系统工程”这个词是英文“*System Engineering*”的汉译名。前面对系统工程中的“系统”已作了论述。至于这里的“工程”，不是一般意义上的工程（所谓“造物”的工作），而是泛指为完成某项任务而提供决策、计划、方案、方法、工作顺序等。

系统工程作为办事和解决问题的一种思想，自古有之，人皆有之。例如，我国早在公元前 250 年的战国时期，李冰父子带领民众修筑都江堰，把分洪、灌溉、排沙在一个工程中巧妙地结合起来，至今仍在发挥巨大的效益，这便是系统工程思想的体现。

但是系统工程作为一门独立的学科，还是从本世纪 40 年代才发展、建立起来的。由于系统工程是一门新兴的跨学科的边缘科学，到目前为止在理论上还不成熟和完善，还没有一个公认的明确定义。一般认为，系统工程是一门跨越许多学科的科学，它是对系统进行合理开发、设计、规划、研究和运用所采用的思想、方法、步骤、技术和理论的总称。

2. 系统分析

系统分析与系统工程一样，也是没有一个公认的明确定义。在韦伯斯特大字典中它被定义为：“应用数学方法（典型的情况）来研究系统的行为、步骤和任务，以达到系统的既定目标，并找出更有效地完成系统目标的计划和程序。”另外，有人定义为：“由科学方法、系统哲学和涉及选择情况的各种学术分支导出的一种方法集合（定性的、定量的等）。”

从广义角度来理解，系统分析与系统工程是同义词，是一门以思想、步骤、方法等为主的哲学性科学。它们的主要作用是为决策者辨识有效的待选方案，高效地利用有限的资源，制定合理的政策，使系统的目标达到最优。

从狭义的角度来理解，可以把系统分析视为系统工程的一个重要程序和核心内容。它是指对问题的研究确定目标、建立方案，并进行模拟、仿真、优化和决策的科学。有人认为这是狭义的系统工程学，若此观点成立，那么，无论是从广义或狭义上都可认为系统分析和系统工程是完全等同的概念。

作者认为：系统分析是系统工程的核心内容，系统工程学中定量化研究的技术和方法就是系统分析。

当然，对系统分析和系统工程可能还有不同理解。有兴趣的读者可查阅其它著作。

第二章 地下水资源系统及其系统分析

第一节 地下水资源系统

以往在许多文献上曾提出含水系统、地下水系统、水文地质系统、含水岩组系统,以及岩溶水系统、裂隙水系统等概念。所有这些都是在自然界中早已存在的实体,即它们都是自然系统。

水循环系统(或称水文系统)是由许多不同成分组成的,如大气圈、地表、土壤层、河流水系、地下含水层、海洋等,它们之间的相互作用(降水、蒸发、入渗、地表径流、地下径流等)就形成了水循环系统。水循环系统是一个大而复杂的系统,可以分解成许多子系统,如降水-径流系统、地表水系统、地下水系统等。每个子系统都具有开放性,即每个子系统的水量和能量都与水文系统中的其它组成部分(子系统)的水量和能量之间存在着交换关系。

地下水系统可作为水循环系统的一个子系统,它本身又是由更次一级的子系统组成的,如含水介质系统、地下径流系统、岩溶水系统、裂隙水系统等。随着研究区域的不同,子系统的数目可以是不同的。

但是当把地下水作为一种资源来利用(或管理)时,除了要涉及自然系统(地下水系统)外,还必然要涉及到人工系统(如工程系统、概念系统,有的还没有一定的形状,而是一些社会、经济、环境、法律因素等)。因此,在应用系统科学(系统分析、系统工程)研究地下水资源问题时,应该将研究对象视为一个自然要素和人工要素、实体和概念相互复合的一种新的人工系统——地下水资源系统。

一、地下水资源系统的概念

地下水资源系统是由自然要素系统和人为要素系统复合而成的人工系统。其中,自然要素系统(简称自然系统)是由不同类型的地下水体和地质体组成的、具有密切联系的有机整体,它又可分解为若干更次一级的子系统,如水动力系统、水化学系统、补给系统、排泄系统等;人为要素系统(简称人工系统)是由开采和利用地下水时所涉及的工程系统以及社会、经济、环境、法规、政治等要素构成的。地下水资源系统的组成见图 2-1。

1. 地下水资源系统的环境及边界

一个系统的以外部分叫作该系统的环境,系统与系统环境间的界线(限)称为系统的边界。

地下水资源系统的环境是多种多样的,但总体上可分为自然环境和社会环境两大类。地下水资源系统的自然环境包括地质因素、地理因素、气象条件以及其它各种自然因素;社会环境包括各种人类活动、社会条件和经济技术等因素。从另一个角度来理解,地下水资源系统及其环境都是更高一级系统的组成部分,它们有机地结合起来就是一个更高一级的地下水资源系统。因此,这个高一级的地下水资源系统中的其它子系统,就是原来

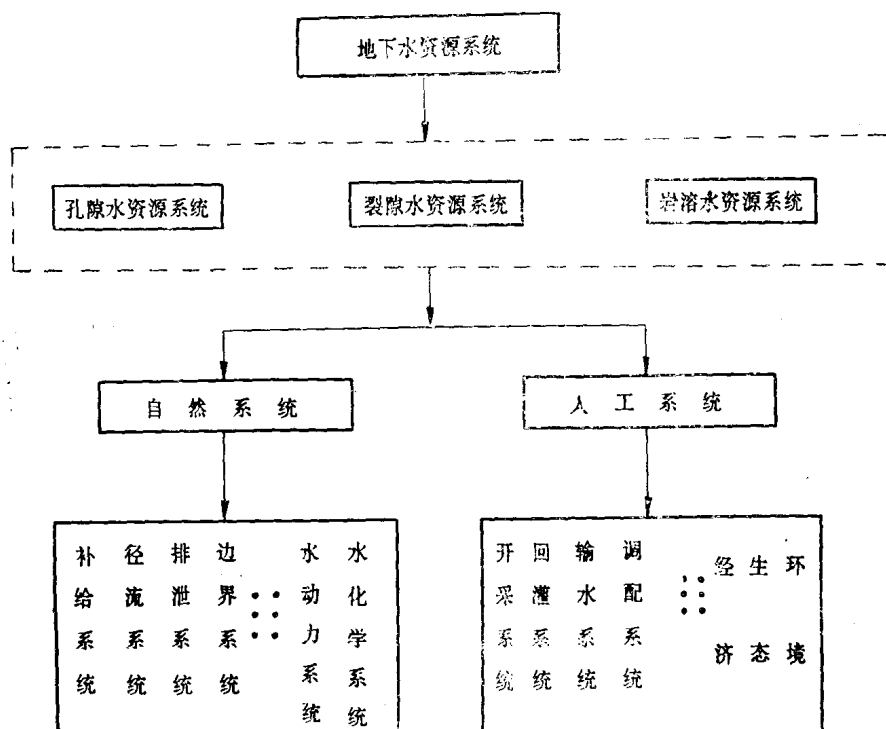


图 2-1 地下水资源系统组成示意图

地下水资源系统的环境。由于地下水资源系统的环境要素很多，若在分析研究问题时将它们都加以考虑，那么问题会变得相当复杂，甚至无法求解。所以，在实际工作时，常常只考虑系统外部因素(环境因素)中对地下水资源系统影响最大的那些因素。需要说明的是，这些环境因素(自然的和人为的)的影响再大，也无法与系统内部因素(自然的和人为的)对系统的影响程度相比，否则，这个系统就应该重新设计。例如，大气降水对地下水的渗流有一定的影响，但当所研究的含水层被厚层渗透性极差的第四系覆盖时，就可以忽略大气降水垂直入渗所产生的影响了。

地下水资源系统的边界是指其内部自然系统(或称地下水系统)的边界。这里的自然系统既可以是一个水文地质单元，也可以是某一特定的研究区域，这要视具体问题而定。

地下水资源系统与环境间的划分，通常不是很容易能完成的。尽管可以根据实际问题灵活地进行处理，但是总的来说应该有一个标准。一般地，将那些对地下水资源系统来说是外在的、并间接地通过系统的个别要素或整个系统来参预构成系统整体质的客体视为环境，只有那些直接参预建立系统质的客体、现象和过程才可以归入系统。例如，在研究地下水问题时，可以把地表水和大气降水视为环境(当然还要考虑其它的自然环境和社会环境因素)；如果所研究的是地下水和地表水联合调度问题，这时，地表水就成了整个水资源系统的一个重要组成部分，而大气降水和其它因素就构成了该系统的环境。

地下水资源系统与环境之间存在着密切的关系，这在后面的内容中还要介绍。

地下水资源系统与水文地质单元是两类完全不同的概念。其根本区别在于：前者是一个人工系统，具有一定的功能与目的；后者是一个自然系统。地下水资源系统中的人为要素系统(狭义上的人工系统)，是由与开发利用地下水发生直接或间接作用的人为因

素组成的，如人工开采系统、人工回灌系统、矿山排水系统、引水渠系统，以及社会、经济、技术、生态、法律等这些无一定形状的因素。地下水资源系统的内部关系见图2-2。

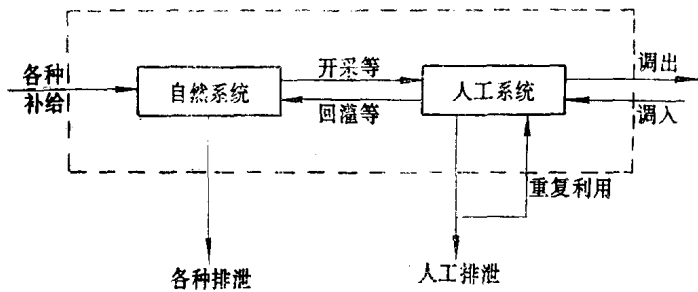


图 2-2 地下水资源系统内部关系示意图

2. 地下水资源系统的结构

地下水资源系统的结构指的是系统中各组成部分的构成形式，以及它们之间相互联系和相互作用的方式。它是自然系统的要素之间、人工系统的要素之间以及自然系统和人工系统之间有机联系的具体表现形式。例如，不同含水层之间的水力联系形式、人工开采系统的布置方式等，就属于地下水资源系统结构的范畴。

不同的地下水资源系统的具体结构常常是不相同的。一般地说，地下水资源系统的结构可以用下式表示：

$$S = \{ \Omega, R \} \tag{2-1}$$

式中 S ——系统；
Ω ——系统元素的集合；
R ——系统元素之间的各种关系集合

由式(2-1)可知，地下水资源系统必须包括其元素的集合及元素之间关系的集合，两者缺一不可。只有把两者结合起来，才能确定一个地下水资源系统的具体结构和特定功能。

当地下水资源系统的结构不相同，即使在同样的外界环境作用下，该系统的行为方式和功能特征也是不相同的。例如，在同一研究区，由于抽水井的数目、位置和抽水量的分配不相同，地下水渗流场的形态以及开发和利用地下水所产生的效益也就存在着明显的差异。正因为如此，研究地下水资源系统的目的之一，就是要寻找和确定合适的系统结构，使这个地下水资源系统具有人们所期望的特定功能。

与其它系统一样，地下水资源系统的结构也具有相对的独立性和稳定性。也就是说，当地下水资源系统的外部环境和内部要素发生变化时，其结构不会直接地立即自动发生变化，而是在一定限度内固定不变的。地下水资源系统结构的相对稳定性是系统内部量变积累的条件，当这个量变积累到一定程度后该系统就会产生质变，即系统内部各组成部分之间相互联系的形式将会发生变化，从而形成一个新的系统。从这个意义上来说，虽然地下水资源系统的结构具有相对的稳定性或自发的趋稳性，但总是处于变化之中的。即稳定是相对的，变化是绝对的。例如，在图 2-3 所示的地下水资源系统中，由弱透水层隔开的甲、乙两个含水层之间水力联系方式与人工开采和大气降水等因素有关。在一定的条件下，甲含水层越流补给乙含水层；随着条件发生变化，最后可以使乙含水层越