

文章编号: 1008—2786(2000)增—0048—03

# 地下水中污染物迁移数学模型模拟实验 研究方法及建模技术初探

蒋良文, 李宽良, 王士天

(地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059)

**摘 要:** 污染物迁移转化的数学模型应该是水动力学与水文地球化学相结合的数学模型。本文讨论了地下水中污染物迁移数学模型模拟实验的理论基础、研究方法和建模方法原则及技术。

**关键词:** 地下水; 污染物迁移; 数学模型; 模拟实验; 理论基础; 建模技术

**中图分类号:** P641. 8; X523; O242. 1 **文献标识码:** A

当今世界面临的人口、资源、环境三大问题已日益受到全球各国人民和政府的高度重视。地下水污染也已成为环境问题的重要组成部分。地下水污染的实质是可溶性污染物在地下水环境中迁移转化的结果。要进行地下水污染的预测、控制和治理, 就必须研究污染物在地下水环境中迁移转化的规律。模拟实验是一种非常有效的方法, 但由于实验人员所采用研究方法和建模技术不当, 而造成实验结果不能用于实际, 为此, 本文将探讨这方面的有关问题。

## 1 模拟实验的理论基础和研究方法

### 1.1 模拟实验的理论基础

地下水中污染物迁移室内模拟实验的目的是应用模拟实验方法研究某种污染物在地下水中迁移时, 其浓度在时间、空间上的变化规律。

许多学者研究认为地下水环境中污染物迁移转化问题, 实质上是一个水文地球化学问题, 也就是说在一般情况下地下水环境中污染物迁移转化主要受控于水文地球化学条件, 服从水文地球化学规律, 因此, 描述污染物迁移转化的数学模型应该是以反映水文地球化学规律为基础的水动力学与水文地球化学有机结合的数学模型<sup>[1]</sup>。然而, 目前水文地球化学关于溶质的形态化学、渗流化学动力学、水—岩土界面化学动力学等基础理论和研究方法还远未成熟的情况下, 要在解决实际问题中查明污染物迁移转化机理之上建立污染物迁移转化的水动力学—水文地球化学模型, 是十分困难的。那么, 能否抓住污染物迁移转化的水动力学和水文地球化学行为的总效应, 运用相似理论, 通过模拟实验寻找统计规律, 再应用于水文地质客体? 回答是肯定的。

就某一具体的污染物而言, 在已知水文地质环境条件的地区, 一定的水文地球化学条件范围内, 各种化学形态具有相对稳定性, 它(它们)的迁移转化应遵循一定的规律, 这个规律可以采用模拟实验来寻找的, 并且能够用数学模型来表达。

### 1.2 模拟实验的研究方法

众所周知, 只有“相似的基因、相似的条件和环境”, 才能“产生相似的结果”。污染物在地下水环境

收稿日期: 1999—11—15

作者简介: 蒋良文(1965—), 男(汉族), 四川仁寿人, 助研, 博士生, 现主要从事水文地质与工程地质、环境地质等。  
已发表论文十余篇。电话: (028)3445745

中迁移转化的相似基因应该是污染物在地下水环境中的化学形态或迁移转化相似,然而目前要确切查明这一问题是困难的,但本文推荐的模拟实验方法—黑相功能模拟法无需确切回答这一问题,这是黑相功能模拟原理所决定的。

黑相功能模拟法是黑相辩证法和功能模拟方法相结合的一种模拟方法,其特点是从信息的角度出发,以模型(模拟实验的物理模型)和原型(水文地质客体的概念模型)在同外界环境相互作用方面的功能表现和行为方式上的相似性为基础,把现实的研究对象看作是动态的开放系统,考查系统的输入—输出信息的动态变化过程,从而揭示系统的行为规律和功能特性。它着重考查的是信息输入—输出的统计规律。其原理示意图1。

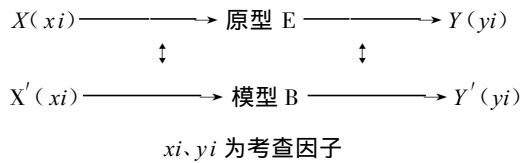


图1 黑箱功能模拟原理示意图  
Fig. 1 Theory of black box-function simulation

进行模拟实验时,把“水—岩土—污染物体系”视为黑相,同时,认为污染物及化学形态在模拟条件下与实验中采用的“水—岩土体系”所发生的各种物理化学作用,和污染物及化学形态在需要研究地区的自然条件下与天然的水—岩土体系所发生的各种物理化学作用相似,即认为在两种体系中它们的物理化学行为相似,因此,我们可以用相似论为研究指导原则和方法论基础,以黑相功能模拟方法为研究方法来进行地下水环境中污染物迁移转化的模拟实验研究。

2 模拟实验模型建立的方法原则和技术

模拟实验能否取得预期的成果,关键在于能否建立既能充分反映自然界水文地质客体,又能使得实验易于进行和易于控制的实验物理模型,这就需要有一定的方法原则作指导和较合理的模型转化处理技术。

2.1 实验模型建立的方法原则

开发以相似论为方法论基础的实验数学模型,必须使实验模型具备对环境水文地质客体有足够的相似性,并且在充分的模拟条件下进行实验,这是进行污染物迁移转化模拟实验研究所必须遵循的一条最基本原则。为满足这一条原则,在实验物理模型建立时,必须做到以下几点<sup>[2]</sup>:

- 1. 明确模拟实验的研究对象(及其基本特点)、目的任务和精度要求。
- 2. 查明需要模拟的水文地质客体的水文地质—地球化学条件。
- 3. 抓准污染物的迁移途径及其迁移转化的影响因素,并确定主要因素,从而为实验模型提出反映污染物行为特征的模拟参数如 pH、Eh、流速、渗透空间尺度、介质物理化学特征等,提出与水文地质客体相似的概念模型(客体的基本结构模型),在此基础上建立起实验模型结构。
- 4. 对模型与客体的相似性及差异(或变通性)作出评估。

2.2 实验模型建模技术

自然界中绝对的均质体、稳定流和稳态释放源是不存在的,在模拟实验中也不可能做到完全相似模拟。为了使实验模型满足相似的要求,可以采取以下处理技术(具体处理技巧可见参考文献 1、2):

- 1. 结构相似技术
- 实验模型设计是一种技术开发,具有很大的灵活性和创造性,设计的基础是要求实验物理模型与原型(水文地质客体)在结构上必须相似。

## 2. 客体(原型)的均质化处理

众所周知,水文地质客体的非均质性是广泛存在的、绝对的。当它的水文地质特征及物理化学性质变化范围不超过一定的精度要求,或者说其变化不足以引起污染物在其中迁移转化规律的宏观改变时,就可以将它视为均质体。当客体的非均质性不可忽视时,应当进行块段划分。每一个块段就是一个模拟单元,分块段进行模拟实验,将不同块段的模拟实验结果及其数学模型进行适当串联,构成整个客体的模型。值得注意的是在进行块段划分时,其边界应视具体情况和要求而定<sup>[3]</sup>。

## 3. 岩性模拟问题

一般来说,应当采取原状岩土试样,但是,当原状岩土的透水性很差时,实验时间延续很长,以致于失去简便性。可以人工增大试样的透水性,如可以尽量采用大截面的试样柱,以便采取水样。若原状岩土为粘性土,透水性很差,这可以分别投掺入 1/2, 1/3, 1/4 等的石英砂,得出不同掺砂量的实验结果(其它条件相同),然后将实验结果外推,求得粘性土的模式参数。

## 参考文献:

- [1] 蒋良文,李宽良,王士天. 地下水环境中污染物迁移预测实验数学模型基本方程探讨[J], 矿物岩石, 1998, 18(增刊): 178~181
- [2] 吴勇, 蒋良文主编. 地质环境研究(论文集)[C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1997~03, 136~144
- [3] Li Kuanliang, Jiang Liangwen, Ye Yanmei, et al. A Statistical Numerical Model of Solute Transport in Groundwater By Experiment. Groundwater and Environment[M]. Beijing: Seismological press, August, 1992; 16~18

# THE STUDYING WAY OF SIMULATION EXPERIMENT AND THE TECHNIQUE OF MAKING MODEL OF THE EXPERIMENT MATHEMATICAL MODEL ON POLLUTANT TRANSPORT IN GROUNDWATER

JIANG Liang-wen LI Kuan-liang WANG Shi-tian

(National Laboratory of Geological Hazard Prevention, Chengdu 610059)

**Abstract:** The mathematical model on pollutant transport must be a kind of model combining hydrodynamics with hydrogeochemistry. So, the present paper discusses the theory basic and the studying way of simulation experiment, the technique of making experiment model of the mathematical model on pollutant transport in groundwater by simulation experiment.

**Key words:** Groundwater; pollutant transport; simulation experiment; theory basic technique of making experiment model