

岩溶地下水研究的回顾与展望^①

11-13

黄书汉 钱孝星

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

10641.134

摘要 简要总结了以往岩溶地下水研究的结论与方法,认为传统理论从定性上肯定了岩溶介质的极不均匀性,示踪试验和钻孔监测等探测技术细化了传统定性理论,传统理论从思维方式和哲学本质上讲是属于还原论,实际应用中最有效的方法及其结果是唯象性的,指出现有理论和模型存在极大的缺陷,针对存在的缺陷提出了进一步研究的方法和设想。

关键词 岩溶地下水 含水介质 渗流 数学模型 混沌 分形 地下水,

1 传统理论从定性上肯定了岩溶介质的极不均质性^[1]

从 1975 年第一次成为国际性水文地质大会的主题开始,岩溶水的研究逐渐形成一个独立的学科。岩溶含水介质的研究从单一论到潜水说即连续水流说,从孤立水流论到岩溶水循环论,直到目前普遍接受了三重介质模型,即岩溶水系统同时存在着孔隙、微裂隙、岩层面等扩散流介质及溶蚀大裂隙和溶管流介质。尤其是结合我国实际提出的汇流理论,从岩性、地质构造和溶管连通性等许多方面丰富了岩溶含水介质的内涵。

2 示踪试验和钻孔监测等探测技术细化了传统定性理论^[2]

岩溶水资源的评价多数依赖于均衡理论。岩溶水空间分布特征和渗流特征的描述随局部探测工作的深入和完善更加清楚,均衡域的划分可以更加确定。但是大多数探测结果更加明确地证明了岩溶地下水系统以介质分布的极不均匀性和流态多变的流场的极其复杂性为显著特点;而且,岩溶地下水系统在不断

地演化发展使得系统描述参数也在不断变化,传统定性评价结果不能作为长期预报结果。

3 传统理论从思维方式和哲学本质上讲是属于还原论的

传统理论的各种方法多是让实际对象来符合某种理论框架,归纳的模型要得到它的认可才行。各种方法的数学本质都是线性化处理,即简化研究对象。从每一个侧面出去线性细化或还原都可以得出一种模型。这里只说明几种主要的理论及其数学模型。

3.1 确定性系统模型

确定性系统模型一般都是用常微分方程、偏微分方程及其差分方程来描述的,方程中的各个变量都是确定的,对于给定的初值,应给出一个确定解。

最新出现的几种方法简述如下。

3.1.1 岩溶含水层系统参数识别模型^[3]

岩溶含水层系统参数识别模型(简称 NOPRI 模型)是利用不规则有限网格差分形式,处理岩溶含水层系统所具有的多层结构特性及其水力联系。根据研究区域的水文地质条件特点,将整个岩溶含水层系统划分为

第一作者简介:黄书汉,男,硕士、工程师,从事地下水运动研究,曾发表《边坡稳定性分析》等论文。

①水利水电科学基金资助项目(编号:92090595)。

N 个面元,概化为 M 个参数区,将时间域分为 T 个时段;以能量守恒原理为基础,分时段在子节点均衡域求其差分形式;为使不平衡水量误差平方和各时段在各个子域的和最小,采用非线性有约束条件的可变误差多面体求解方法。这种方法从侧面反映了传统岩溶地下水研究也在向非线性优化技术等现代科学方法靠近。

3.1.2 单元网络数学模拟方法^[4]

单元网络数学模拟方法即用大单元块及管道网络分别代表岩溶区相对均匀的裂隙化区域及非均匀分布的岩溶管道区域,地下水流特征按渗流运动规律及管流运动规律分别表达,耦合求解,对难以用常规数学方法解决的复杂岩溶区含水介质及其裂隙流与管道流并存、快速流与慢速流并存、线性流与非线性流并存以及非连续流等特殊水流规律的水文地质特性的水量进行评价。这种方法先将岩溶地下水系统分解为裂隙水亚系统和管道流亚系统两大部分,然后,根据裂隙水亚系统在平面和剖面上水文地质特性的变化,划分出大单元;对管道流亚系统,根据其发育分布的趋势,得出分布网络。将裂隙水亚系统的剖分单元与管道流亚系统的分布网络叠加,并考虑系统的边界条件,即可得出系统的单元网络概念模型。

3.1.3 多层网格法^[5]

用有限元法或有限差分法等传统解法将地下水运动的基本方程离散成线性代数方程组后的迭代矩阵中,其大的特征值对应低频率的特征向量,而小的特征值对应高频率的特征向量;在迭代过程中特征值大时收敛慢,特征值小时收敛快。基于此特性,将迭代网格分为粗、细两层,将收敛快的高频率向量置于细网格层进行,将收敛慢的低频率向量放在粗网格层来计算。

3.1.4 汇流理论

汇流理论以比流速 U 与水力坡度 I 的相关关系式为理论核心,不使用渗透系数为主要特点,依赖现场示踪实验结果或对流态及其运动空间的清晰分析。

3.2 非确定性研究方法

岩溶地下水系统中存在着许多种不确定性,如确定结果的出现具有随机性、需求评价的模糊性、所需条件部分未知而产生的灰色性、认识上的未确知或估算性等。相应地有许多种研究方法或数学模型可以用来描述它们,侧重于一个方面就得出一种岩溶地下水系统数学模型。

90年代以来,地质统计学等不断深入发展使经典理论在解决岩溶地下水系统问题上有所突破。岩溶水研究中的许多变量可看成区域化变量,即随空间点坐标分量变化的向量随机场。任给一个区域化变量,其观测点样本值即是该点的一次具体实现。区域化变量以随机性与结构性的双重性质显著地区别于一般空间变量。地质统计学中的变异函数(又称为变差函数)能够较好地描述区域化变量的上述双重特性。变异函数是区域化变量的结构函数,也是刻划岩溶地下水含水介质渗透性空间变异规律的数学模型,它通过距离函数的形式反映具有随机性与结构性特征的区域化变量空间的自相关特性。运用地质统计学的理论与方法去定量研究隐伏岩溶含水介质渗透性的空间变异规律,探讨地质统计学分析岩溶含水介质渗透性的具体方法、原理和步骤,可以解决确定性模型的许多缺陷。

4 实际应用中最有效的方法及其结果都是唯象性的

唯象论观点强调由对象的行为或功能数据去描述它们,注重从整体上把握对象的演化机制。它不研究对象的子系统的行为参数的变化机理和模型,只考虑对对象行为有控制作用的协变量或序参量。

通过原形观测和示踪实验等技术得到的水位、流量以及水文气象资料等构成的时间序列值反映了相关水资源系统的行为,由此直接分析而得的模型可以引入动态适应性,真实描述水资源演化规律。

5 现有理论和模型存在极大的缺陷

a. 理论及模型的依据,即建立在多孔介

质均质化物理模型及连续性线性化描述的渗流理论和地下水基本微分方程本身存在先天不足,忽略了岩溶地下水系统这一客观对象的非均质特点和流态的非线性本质。用表征体元等简化了微观上的不规则和随机性不能在岩溶地下水运动中忽视。

b. 理论及模型的解法受所用数学手段的限制,无法精确求解。较新的地质统计学方法只是对其在宏观上的不规则性和随机性的适应要求做了一点改进。

c. 理论及模型只从水位、流量及以层次去理解地下水动态演化是不够的,必须引进可反映地下水动态演化的层次结构和变化幅度的概括性的参数。

6 现代综合理论方法及其应用探讨^[6,7]

最近几年趋于成熟的现代综合理论极大地促进了数学模型的发展,非线性数学模型(混沌动力学模型、分形几何模型以及相空间的 Lyapunov 指数等)的应用越来越广泛。描述混沌系统的复杂程度或自由度的分形维数与耗散结构是最近一个时期非线性科学研究中取得的重要成果。作为混沌理论中的一个重要科学方法——分形,它揭示了一大类自然界中不规则形体的内在规律性——标度律。

混沌现象是一种无周期性的有序态。其特征是具有四种性质^[8]:①随机性:内部动力学的随机性产生;②分维性:系统运动轨迹在相空间无穷缠绕、折叠和扭结,构成具有无穷层次的自相似结构,即奇异吸引子;③普适性:表征参数是费根包姆倍周期普适性常数;④标度律:存在无标度区,只要数值计算的精度或实验的分辨率足够高,则可从中发现更小尺度的混沌的有序运动花样。表征参数是费根包姆标度律普适性常数。

由物质不灭定律和能量守恒原理的微积分方法描述和非均质的线性化连续性处理为基础的确定性系统中不可避免地存在着非线性项,因而也具有内部随机性。许多结构不同的系统的非线性迭代系统在变化中往往通过一连串倍周期的转变走向混沌。费根包姆

普适性常数深刻揭示了决定性系统走向混沌的规律,利用它可以预测混沌的发生。混沌为决定性系统和随机性系统的联系桥梁。

地质现象中分形结构的存在已经得到证实。岩溶系统属于非线性力学所描述的自然汇集体,也必然存在分形结构。

从地质统计学出发求解分形维数的方法,立足于原型观测时间序列数据。侧重于在分形维数和 Lyapunov 指数的计算结果基础上,对比已知数据对应的地质结构,探讨岩溶水文地质及地下水运动原观数据所构成的时间序列的分维结构所反映出的岩溶地下水动力学意义上的空间结构和演变机制,最后,借助于分形结构存在以及整体演变的奇异吸引子、不动点和极限环的岩溶水文地质意义清晰化结果,利用费根包姆常数预测岩溶地下水的演变,是作者进行研究的目標。

在初步研究中,作者比较成功地将一种分维方法引入了岩溶地下水运动研究中,其结果将在另文提出。

参考文献

- 1 朱学愚,钱孝星,刘新仁.地下水资源评价.南京:南京大学出版社,1987
- 2 韩宝平.国外岩溶水文地质学进展.中国岩溶,1993(2):97~102
- 3 秦四清,张倬元,王士天等.地下水动态预测的非线性动力学方法.工程勘察,1995(2):38~41
- 4 夏日元,郭纯青.岩溶地下水系统单元网络数学模拟方法研究.中国岩溶,1992(4):267~278.
- 5 李铎,万力.多层网格法在地下水水流计算中的应用.水文地质工程地质,1995(2):1~3
- 6 林鸿溢,李映雪.分形论——奇异性探索.北京:北京理工大学出版社,1992
- 7 李后强,程光铤.分形与分维——探索复杂性的新方法.成都:四川出版社,1990
- 8 程极泰.混沌的理论与应用.上海:上海科学技术出版社,1992
- 9 张征,邹正盛,刘淑春.岩溶含水介质渗透性空间变异规律的地质统计学分析.水文地质工程地质,1995(6):27~29
- 10 严启坤.概念性岩溶水文模型中的几个疑难问题的探讨.中国岩溶,1993(4):295~306

(收稿日期:1996-11-18 编辑:熊水斌)