

# 水文地质数值模拟的立足点

杜绍敏 宋冰

(黑龙江水利高等专科学校, 哈尔滨, 150086)

**摘 要** 根据当前水文地质数值模拟理论研究和实践应用的巨大反差, 以五常市地下水资源数值模拟为例讨论了水文地质数学模型数值模拟的基础和立足点——必须查明地质条件及水文地质条件; 并以大量的野外试验数据为依据, 取得良好地质效果的数值模拟为例, 进一步说明了野外基础工作的重要性。

**关键词** 水文地质条件; 概念模型; 数学模型; 数值模拟

**分类号** P641

**Foothold of Hydrogeology Numerical Simulation/** Du Shaomin, Song Bing (Department of Water Resources Engineering, Heilongjiang Academy of Water Conservancy, Harbin 150086, P. R. China) // Journal of Northeast Forestry University. - 2003, 31(3). - 67~69

Base on the present great difference of principles studying and practice applying for hydrogeology numerical simulation, taking the water resources numerical simulation in Wuchang for example, we discussed the foundation and foothold of hydrogeology mathematics model and numerical simulation, which is that we must survey the hydrogeology condition. Furthermore, by means of abundance of reliable field data, test data and the numerical simulation of achieving good hydrogeology results, it is concluded that the basic field investigation is very important.

**Key words** Hydrogeology condition; Concept model; Mathematics model; Numerical simulation

## 1 水文地质数值模拟的现状与回顾

现代科学中, 模拟作为一种科学认识客观现实世界的方法在许多学科中得到应用。我国从 20 世纪 70 年代初进行水文地质数值模拟的研究, 随着计算机技术的飞速发展及对水文地质科学的渗透, 水文地质数值模拟已应用于地下水资源评价、地下水水位、水质的时间空间变化预报上。针对不同的水文地质条件、水文气象因素及人为影响, 从水文地质概念模型出发, 建立水文地质数学模型, 编制计算机程序解决各种水文地质问题, 是水文地质科学发展的必然与方向。近 10 a 来, 水文地质数学模型的研究、计算机软件的开发使模拟技术的应用范围不断扩大, 解决复杂条件下水文地质问题的能力有所提高。但我们回顾地下水数值模拟技术发展历程, 纵观已建立的水文地质数学模型和模拟结果, 发现其中存在的问题并不少。文献[1]概括为“众多模型只停留在理论探讨上, 用于解决实际问题的不多”。数值模拟其理论研究远远超过实际应用的能力, 国内外建立的水文地质数学模型和开发的计算机软件在数量上无法统计, 但模型在实际中的应用率不到建立模型的 20%, 实际应用中模拟结果和实测结果存在不同程度的差距, 预测结果有时和实际结论相反。在 20 世纪 90 年代初期, 我国水文地质工程地质界就数值模拟问题进行了深刻广泛的交流, 知名专家、教授就数学模型理论上的问题, 实际应用中的模拟问题发表了意见和见解, 肯定了水文地质数学模型是解决水文地质问题的方向, 数值模拟技术具有广阔的发展前景。讨论已过去 10 a 时间, 数学模型理论研究比实际应用先进了许多, 数值模拟技术上的问题有的还没有解决或部分解决, 这些值得我们继续研究和探讨, 找出问题原

因所在, 使数值模拟技术成为解决水文地质问题最先进最有效的方法。近年来, 有关水文地质数值模拟技术的文章不断在各类学术刊物上发表, 解决的问题有水流、水质和地下水管理等。就数学模型而言, 其实质是对水文地质条件的归纳认识过程, 是把复杂、庞大的地质实体及各种影响因素用数学关系式表达出来。数值模拟——计算机的反复运算过程, 包括调整参数、修正数学模型, 这是对水文地质条件及其影响因素的再认识过程, 模拟结果与实测结果不相吻合, 一定是数学模型或参数有误; 模拟结果与实测相吻合, 并不能表明数学模型完全正确, 还要经过长时间的地下水动态来验证。

## 2 数值模拟的立足点

水文地质学是一门应用性很强的学科, 其理论的形成和地下水的开发利用紧密相连。人类在地下水的开发利用过程中, 对地下水贮存、动态变化、运动规律有了逐步的认识和总结, 形成了水文地质学的基本理论, 并不断地对其修正和完善。水文地质学研究和解决的地质问题是对水文地质条件的研究、认识, 以水文气象因素及人为影响的综合分析、判断为前提。只有查明地质条件、水文地质条件, 在建立水文地质概念模型的基础上, 才能建立一个相对完善的数学模型。对任一个区域, 地质、水文地质条件都是十分复杂的, 影响地下水的动态因素是多变的, 必须经过水文地质测绘、钻探、物探、试验等野外工作, 达到综合、立体勘探的效果, 才能掌握建立数学模型的基础资料和必需的数据。投入勘探工作量多少决定对水文地质条件的了解程度, 也完全制约数值模拟结果的精度。纵观已建立的水文地质数学模型, 基础资料齐全, 试验数据完整可靠, 模拟的结果较好, 其精度可被人们接受, 预测结果经地下水动态验证较吻合或与实际接近。20 世纪 90 年代数值模拟的讨论中等都强调了野外基础工作对建立数学模型的重要性<sup>[2,3]</sup>, 数值模拟的着眼点是以全面正确了解地质、水文地质条件为前提, 并以系统分析的观点, 寻求系统的最优化, 建立数学模型, 数值模拟过程应遵循框图(如图 1)。

第一作者简介: 杜绍敏, 男, 1957 年 6 月生, 黑龙江水利高等专科学校水资源工程系, 高级工程师。

收稿日期: 2003 年 1 月 16 日。

责任编辑: 戴芳天。

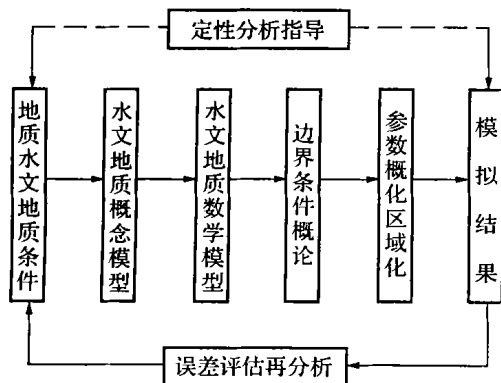


图1 水文地质数值模拟框

水文地质数学模型是把庞大、复杂、客观的水文地质体用数学关系式表示出来,寻求建立水文地质条件与各种参数的函数关系,这种函数关系并不是一个简单的数学表达式。各种影响因素是随机的、不确定的,水文地质参数随空间坐标变化,边界条件也随影响因素的改变而变化,把所有影响因素用数学关系式表示出来是不可能的,也是根本办不到的。数学模型的多解性及逆问题反演的非唯一性,一些数值模拟结果出现偏差或与实际相反的结论不足为怪。数值模拟应抓住主要问题,分析次要因素对模拟结果的影响,充分考虑到水文地质条件对地下水运动和动态变化规律的影响。水均衡原理和动态分析的思想是水文地质数学模型坚实的物理基础和科学依据。忽略对水文地质条件的研究,仅依靠计算机对地下水问题的模拟是与水文地质学的发展方向背道而驰的。

### 3 数值模拟的实例

五常市位于黑龙江省的南部,地下水为拉林河漫滩孔隙潜水和一级阶地微承压水。计算模拟区面积 44.47 km<sup>2</sup>。在查明模拟区含水层结构、边界条件的前提下,进行了大量的抽水试验,对含水层水文地质参数进行了概化和区域化;以地下水动态观测资料、蒸发试验、降水入渗试验确定了灌溉水的入渗、潜水蒸发等因素对地下水的影响。以丰富可靠的野外资料、试验数据为依据,从水文地质概念模型出发,建立了水文地质数学模型,并进行数值模拟,取得了良好的地质效果。

#### 3.1 水文地质概念模型

五常市位于松嫩平原南端,地势呈东高西低,由东向西发育有风积平原、堆积阶地和高低漫滩。第四系地层发育普遍,为中、上更新统和全新统,砂、砾石含水层为数值模拟计算目的层。

拉林河由南向北在模拟区西侧流过,为定水头边界。东部平原区岩性为粉质粘土,其透水性极小,视为隔水边界。在阶地南缘存在面积约 1 km<sup>2</sup> 的剥蚀残丘,为二迭系砂岩、板岩,构成了隔水边界。南侧及北侧边界由地下水位长观孔控制,定为第一类边界。白垩泥岩、砂质泥岩构成第四系基底,为隔水层。

#### 3.2 水文地质数学模型

建立模拟区水文地质数学模型为

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} [K(H-B) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K(H-B) \frac{\partial H}{\partial y}] + \\ P(t) - \sum_{i=1}^n Q_i \cdot (X-X_i, Y-Y_i) = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \\ (x, y), t > 0 \\ H(x, y)|_{t=0} = H_0(x, y) \\ K(H-B) \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_2 = q(x, y, t) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $H(x, y)$  ——地下水水位(m);

$k$  ——含水层渗透系数(m/d);

$B$  ——隔水底板标高(m);

——大气降水入渗系数,无量纲;

$P(t)$  —— $t$  时段大气降水量(m);

——潜水蒸发强度;

$\mu$  ——含水层给水度,无量纲;

$Q_i$  ——第  $i$  口井抽水量(m<sup>3</sup>/d);

$(X-X_i, Y-Y_i)$  ——二维狄拉克函数;

$H_0(x, y)$  —— $t=0$  时刻,  $(x, y)$  点地下水水位(m);

$2$  ——模拟区四边界;

$q(x, y, t)$  ——边界处单宽流量(m<sup>2</sup>/d);

$\frac{\partial H}{\partial n}$  ——边界上法向水力坡度,无量纲。

#### 3.3 数学模型的识别

模型识别是以所得的地下水信息为依据,求解数学模型(1)来反求模型参数的过程,反求参数包括渗透系数  $K$ , 含水层给水度及大气降水入渗系数。地下水长期观测的动态资料为反求参数的依据。数学模型为

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} [K(H-B) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K(H-B) \frac{\partial H}{\partial y}] + \\ P(t) - \mu \frac{\partial H}{\partial t} \\ H(x, y)|_{t=0} = H_0(x, y) \\ H(x, y, t) = H_1(x, y) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中各符号物理意义同式(1)。

根据数值计算原理及计算区边界的几何形状,对计算区域进行了三角网格剖分,以彼此相连互不重叠的三角面元组成的折面逼近代替承压水面。以面元的线元构成的折线逼近计算区域的几何边界,对计算网格进行剖分。网络剖分曲线见图2。

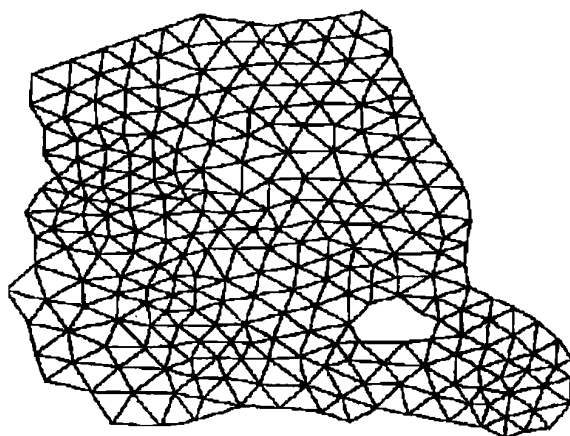


图2 地下水数值模拟网络剖分曲线

以 1998 年 4 月 20 日各长观孔及统测水位点水位为依据,采用具有较高仿真程度和较强唯一性外推能力的“趋势面加残差”模拟模型,通过计算机模拟各点的水位值。其原理是假定计算区域内有  $M$  个实测得到的地下水水位值,  $N$  个计算点,各点的水位值由下式计算

$$\begin{cases} H_i = H + \sum_{j=1}^M \frac{R_j^K}{R_j^K} \\ i = 1, 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (3)$$

$$H = a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 x_i^2 + a_6 y_i^2$$

式中:  $H$  ——为点元  $i$  的趋势值;

$i$  ——趋势值的修正值;

$j$  ——第  $j$  号已知点元的趋势值与实测值之差;

$R_j$  ——第  $j$  号计算点到第  $j$  号已知水位点之间的距离;

$K$  —— $R_j$  的幂,取  $K=5$ 。

根据上述原理,区内 1998 年 4 月 20 日实测 56 个水位点,拟合本模型的初始水位,确定了  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$  的值。

### 3.4 模型参数的识别结果

假定一组参数,将其代入式(2)的方程组中,计算观测结点上各时段的水位值,再将计算水位与实测水位的误差“最小化”。当计算流场与实测流场最为接近时,认为所得参数就是要求得的参数。

将计算的动态曲线与实测曲线作为拟合对象,经反复调试,当漫滩区渗透系数  $K=62 \text{ m/d}$ ,给水度  $\mu=0.25$ ,降水入渗系数  $=0.22$ ;阶地区渗透系数  $K=50 \text{ m/d}$ ,给水度  $\mu=0.12$ ,降水入渗系数  $=0.08$  时,计算曲线与实测曲线、计算流场与实测流场拟合最好(见图 3,4)。

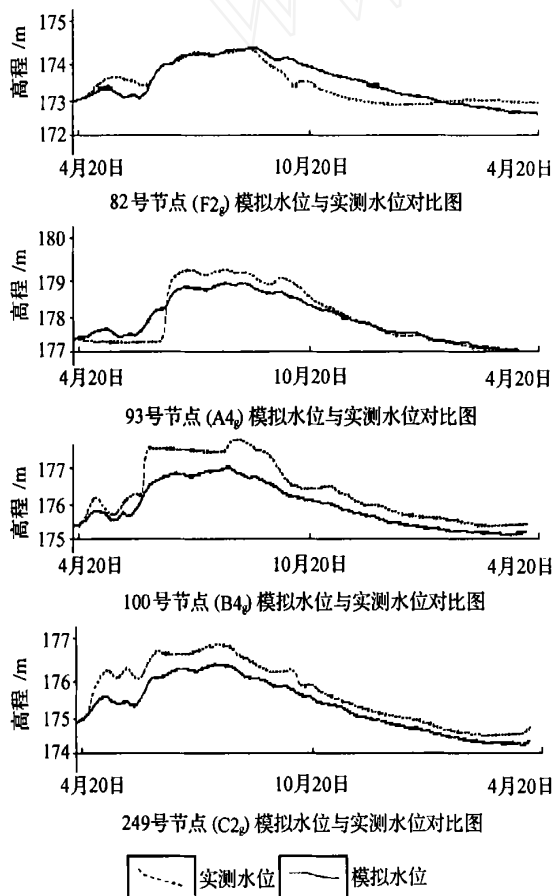
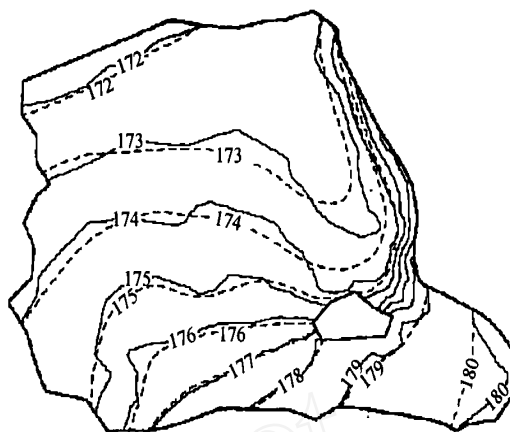
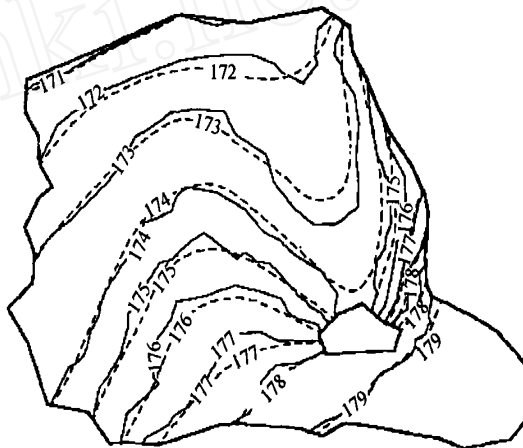


图3 模拟水位与实测水位对比



1998年4月中旬初始流场模拟图



1998年9月上旬地下水流场模拟图

—— 实测水位      —— 模拟水位

图4 枯丰期地下水流场模拟

## 4 结束语

水文地质数学模型是把复杂、庞大的水文地质实体用数学关系式表达出来,数学模型的简单性是可以进行数学处理,数学模型的复杂性包含了各种随机信息。对任一渗流区,人们建立模型是相对容易的,但不存在唯一的模型,也无法找寻最完善或最精确的模型。水文地质数学模型的完善性,数值模拟结果的精确性是以人们掌握地下水的补给、径流、排泄、动态特征、边界条件及水文气象因素等为约束条件。野外对水文地质条件的了解程度、各种试验结果的精度、水文气象数据准确性等,是决定水文地质数值模拟精度结果的关键所在。水文地质数值模拟必须永远立足于基础的野外勘察工作,仅依靠先进的计算机技术而忽略对水文地质条件的研究将与水文地质学的发展方向偏离。

## 参考文献

- 1 薛禹群,吴吉春. 地下水数值模拟在我国——回顾与展望. 水文地质工程地质, 1997(4): 20~21
- 2 林学钰,廖资生. 水文地质基础在地下水模型研究中的重要性. 水文地质工程地质, 1992(1): 6
- 3 陈明佑. 我对使用数值法的一些看法. 水文地质工程地质, 1992(3): 1