

文章编号: 1007-4929(2004)06-0012-03

**试验研究**

# 用于地下水位预报的参数 模拟模型的研究

王国重, 齐学斌

(水利部农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

**摘要:**在对河南省商丘试区进行地下水位预报时, 首先必须确定水文地质参数, 但是区域水文地质参数的确定是个非常复杂的问题, 利用已有的实测水位和开采量资料, 运用单纯形法, 来反求地下水位预报模型的逆问题, 求得该区域的水文地质参数。

**关键词:** 商丘试区; 水文地质; 参数; 单纯形法

**中图分类号:** P641.8 **文献标识码:** A

## Study on Simulation Model of Hydrogeology Parameters for Prediction of Groundwater Level

WANG Guo-zhong, QI Xue-bin

(Farmland Irrigation Research Institute, Ministry of Water Resources, Xinxiang 453003, China)

**Abstract:** The hydrogeology parameters must be determined firstly when we predict the groundwater level. However, it is very difficult to determine the areal hydrogeology parameters. Based on the data of water level and exploitation quantity, the author used the simplex algorithm to solve the inverse problem of groundwater level prediction model and got the hydrogeology parameters of Shangqiu experimental district.

**Key words:** hydrogeology; parameters; simplex algorithm

### 1 商丘试区概况

商丘试区位于河南省商丘市中部, 淮河流域上游, 包括李庄、王楼、谢集等 10 个乡镇, 总人口 38.8 万人, 总面积 565 km<sup>2</sup>, 耕地面积 3.46 万 hm<sup>2</sup>, 有效灌溉面积 2.91 万 hm<sup>2</sup>。全市水资源可利用量: 人均 346 m<sup>3</sup>, 每公顷平均 3 705 m<sup>3</sup>, 分别为全国平均数的 1/6.17。试区属暖温带大陆性季风气候, 年平均气温 14℃, 多年平均降水量 726.7 mm, 年际差别很大, 丰雨年与贫雨年相差近 3 倍。降雨时空分布不均, 旱灾较为严重。试区工农业用水主要依赖降水和开采浅层地下水, 基本无地面水可用。随着试区经济发展, 水的需求量逐年增加, 导致对地下水的开采量愈来愈多, 引发地下水位持续下降。长此以往必将导致地面沉降、水质污染、咸水入侵、机井及抽水设备报废等

一系列严重后果。因此, 进行地下水位预报的研究, 合理开采地下水资源就显得尤为必要。

根据试区水文地质和行政区划等因素可划分为 8 个计算分区, 各个分区又包括引黄水、地下水 2 种水源; 试区主要种植的作物为小麦、玉米、棉花、大豆、油料、蔬菜等, 用水系统则是在此基础上, 根据作物组成情况将水量优化分配给各种作物。这样就把商丘试区引黄水、地下水联合调度系统分解成 3 个层次、8 个子系统的多层递阶结构, 如图 1 所示。

在用有限元法进行地下水位预报时, 首先必须确定导水系数、给水度、降雨入渗补给系数等水文地质参数, 其值准确与否, 直接影响到预报结果的精度。但是区域水文地质参数的确定是个非常复杂的问题, 由于参数在空间上变化较大, 各种室内外试验所确定的参数即便比较准确, 也只能代表局部地

收稿日期: 2004-06-07

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(编号: 2001BA508B02)。

作者简介: 王国重(1972-), 男, 学士, 工程师, 主要从事水资源的研究工作。

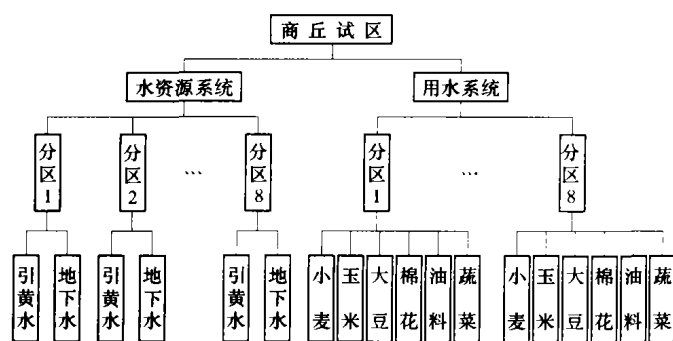


图1 试区递阶结构图

段的水文地质情况。再加之人力、物力等因素限制,不可能做大量试验,因此本文利用已有的实测水位和开采量资料,来反求地下水位预报模型的逆问题,从而求得区域水文地质参数。只有准确确定各区的水文地质参数,区域地下水位预报模型才是比较完善的。

试区水文地质参数见表1。

## 2 试区参数优化模型

### 2.1 系统概化模型

根据试区水源和工程设施情况及水量平衡原理,将试区加以概化,如图2所示。

表1 试区水文地质参数

分区号	导水系数			给水度			降雨入渗补给系数		
	初值	上限	下限	初值	上限	下限	初值	上限	下限
1区	140	160	100	0.041	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1
2区	140	160	100	0.041	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1
3区	110	150	100	0.047	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1
4区	110	150	100	0.047	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1
5区	110	150	100	0.047	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1
6区	110	150	100	0.047	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1
7区	160	180	120	0.061	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1
8区	160	180	120	0.061	0.1	0.02	0.12	0.5	0.1

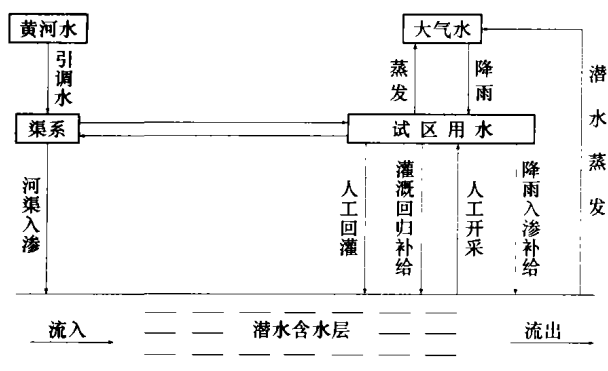


图2 系统概化网络图

### 2.2 试区参数优化模型的目标函数

首先假设一组参数,将其输入数学模型进行地下水位预报;比较预报值与实测值,如果相差较大,则修改参数,重新进行水位预报;如此反复进行,直到预报值与实测值相差很小为止,这样就可以选出比较符合实际的参数。

本文采用预报值与实测值之间的拟合程度来衡量假设参数与实际情况的符合程度,目标函数可表示为:

$$f = \sum_{i=1}^t \left( \sum_{k=1}^m (h_{i,k} - hh_{i,k})^2 \cdot m \right)^{1/2} \cdot t$$

式中  $f$ ——评价函数,表示预报值与实测值之间的拟合程度;

$t$ ——时段个数;

$m$ ——有限元法中结点的个数;

$h_{i,k}$ 、 $hh_{i,k}$ ——分别为时段末结点的预报值与实测值, $m$ 。

### 2.3 求解步骤

①确定各区各个水文地质参数的初值、上下限。导水系

数、给水度、降雨入渗补给系数等,分别以  $K_j$ 、 $KM_j$ 、 $KV_j$  表示,  $j=1,2,\dots,n$  为参数的序号。

②根据参数的初值,生成  $n+1$  组参数,形成初始单纯形的  $n+1$  个顶点,其值分别为:

$$K_{i,j} = K_j \quad (j \neq i-1)$$

$$K_{i,j} = (1 + K_d) K_j \quad (j = i-1)$$

$i=1,2,\dots,n+1$  为顶点的序号,  $K_d=0.1$ ,为步长因子。

③预测水位,计算出  $n+1$  个顶点的评价函数  $F_i$  ( $i=1,2,\dots,n+1$ )。

④比较  $n+1$  个顶点的  $F$  值大小,确定出最大值  $FH$ 、次大值  $FG$ 、最小值  $FL$ ,其对应参数分别以  $K_{h,j}$ 、 $K_{g,j}$ 、 $K_{l,j}$  表示(简写成  $KH$ 、 $KG$ 、 $KL$ )。

如果  $FL=0$ ,则转向第⑯步。

$E = (FH - FL) / FL$ ,若  $E \leq E_0$  (给定的判断标准),则转向第⑯步。

⑤进行反射,反射点参数为:  $KR = 2K_c - KH$ ,其中  $K_c = \left( \sum_{i=1}^{n-1} K_i - KH \right) / n$ ,为除顶点  $KH$  外其余  $n$  个顶点的形心。

若反射出界,则转向第⑬步。

⑥预测水位,计算反射点的  $F$  值,以  $FR$  表示。

若  $FR > FL$ ,则转向第⑪步。

⑦反射成功,进行扩张,扩张点参数为:  $KE = C_2 KR + (1 - C_2) K_c$ ,其中  $C_2=1.3$ ,为扩张因子。

若扩张出界,则转向第⑩步。

⑧预测水位,计算扩张点的  $F$  值,以  $FE$  表示。

若  $FR \geq FL$ ,则转向第⑩步。

⑨扩张成功,令  $KH = KE$ ,  $FH = FE$ ,去掉顶点  $KH$ ,以

KE 代替之作为一个新的顶点,转向第④步。

⑩令  $KH = KR$ ,  $FH = FR$ , 去掉顶点  $KH$ , 以  $KR$  代替之作为一个新的顶点,转向第④步。

⑪若  $FR < FG$ , 则反射略有进展,转向第⑩步。

若  $FR > FH$ , 则反射失败,转向第⑬步。

⑫令  $KH = KR$ ,  $FH = FR$ , 去掉顶点  $KH$ , 以  $KR$  代替之作为一个新的顶点。

⑬进行压缩,压缩点参数为:  $KM = (1 - C_3) K_L + C_3 KH$ , 其中  $C_3 = 0.75$ , 为压缩因子预测水位,计算压缩点  $KM$  的  $F$  值,以  $FM$  表示。

若  $FM > FH$ , 则压缩失败,转向第⑮步。

⑭压缩成功,令  $KH = KM$ ,  $FH = FM$ , 去掉顶点  $KH$ , 以  $KM$  代替之作为一个新的顶点,转向第④步。

⑮进行缩边,缩边后新的单纯形顶点为:

$$K_{i,j} = (K_{i,j} + K_{i,j}) / 2 \quad i = 1, 2, \dots, n+1; j = 1, 2, \dots, n$$

转向第③步。

⑯求解工作结束,  $K_{i,j}$  便是所求的水文地质参数,其评价函数值  $F_i$  为最小。

## 2.4 程序流程图

参数优选模型的程序流程见图 3。

## 2.5 模型的模拟结果输出

根据上述数学模型及其程序,可求得试区最优水文地质参数,见表 2。

表 2 试区最优水文地质参数

分区号	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区	7 区	8 区
导水系数	140.95	140.95	109.24	109.24	109.24	109.24	160.63	160.63
给水度	0.040 92	0.040 92	0.047 06	0.047 06	0.047 06	0.047 06	0.061 12	0.061 12
降雨入渗补给系数	0.117 8	0.117 8	0.117 8	0.117 8	0.117 8	0.117 8	0.117 8	0.117 8

表 3 各区在时段初、末的地下水位

分区号	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区	7 区	8 区	平均值
年初水位	56.934	47.819	41.541	48.262	50.492	46.364	42.226	38.985	46.578
年末水位	57.552	47.736	41.474	48.289	50.373	46.386	42.141	38.992	46.618
误差值	0.618	-0.083	-0.067	0.027	-0.119	0.022	-0.085	0.007	0.0401
评价函数	0.325	0.259	0.237	0.213	0.274	0.212	0.261	0.196	0.247

测值很接近。总之,所求水文地质参数与实际情况符合程度良好。

## 3 结 语

采用单纯形法,是求解线性规划的常用方法之一,在凸多面体上搜索凸集上诸极点上的最优点。本法的实质是一个迭代过程,就是从一个极点转到相邻的极点,直到判定某个极点是最优解为止。该法自问世以来,线性规划在理论上也日趋成熟,特别是计算机的运用,它的适用领域更为广泛。该模型还具有下述特点。

①由于逆问题解的不唯一性,为防止求出的参数出现物理上的不合理现象,除尽可能准确地给出参数的初始值外,还应根据计算区域的水文地质条件,合理的给出各参数的约束条

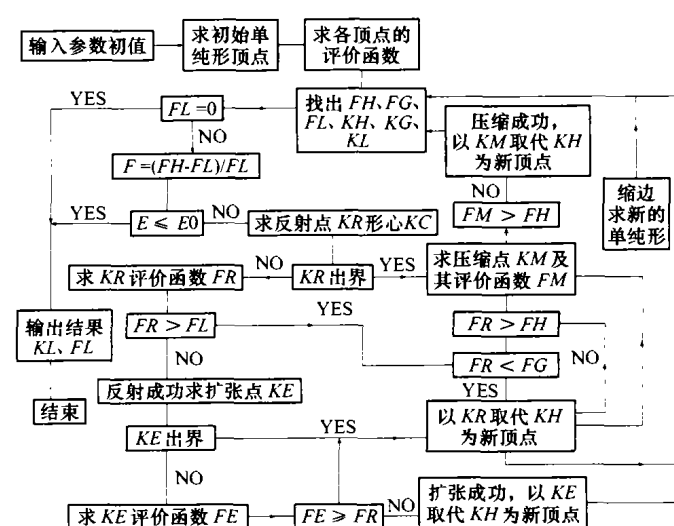


图 3 参数优选模型的程序流程图

## 2.6 结果分析

若按上述水文地质参数,采用 2001 年初水位,应用地下水位预报模拟模型,经计算可得各区在年末的地下水位,见表 3。

从计算结果可以看出,除去少数点由于观测值不准,造成较大的误差外,基本上所有误差的绝对值都小于 0.7 m。误差的绝对值小于 0.2 m 的点占误差总数的 87.5%,小于 0.1 m 的点占误差总数的 75%,小于 0.05 m 的点占误差总数的 50%,误差情况符合要求;各区的评价函数值相差不大,说明预报值与实

件,即各参数的上下限,以便模型的解能与实际情况相符合。

②本方法实际上运用的是高斯-赛德尔迭代法,直到预报值与实测值相差很小为止,这样就可以选出比较符合实际的参数。

## 参 考 文 献

- [1] 郑维民. 系统工程 FORTRAN 程序集[M]. 北京:清华大学出版社,1986.
- [2] 贾大林,庞鸿宾. 商丘试验区节水农业技术体系[M]. 北京:中国水利水电出版社,1992.
- [3] 席少霖,赵凤治. 最优化计算方法[M]. 上海:上海科学技术出版社,1983.
- [4] 刘肇祯,郭元裕. 灌排工程系统分析[M]. 北京:水利电力出版社,1984.
- [5] 华士乾. 水资源系统分析指南[M]. 北京:水利电力出版社,1988.