

VISUAL MODFLOW 建模应用的探讨 ——水文地质与水资源评价标准化数值模拟软件交流

封丽华¹,向永²,潘孔钊³

(1.新疆大学资源与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830000;2.新疆水利勘测设计研究院,新疆 乌鲁木齐 830000;
3.新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第一水文地质工程地质大队,新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要: VISUAL MODFLOW 是国际机构和同行认可的地下水三维水流和溶质模拟评价的可视化专业软件,具有可视化、标准化及自动求参等特点,在世界范围内已广泛应用于地下水勘察与水资源评价中。根据软件使用的多年体会和认识,笔者对使用该软件建模计算的步骤和水文地质条件进行了总结,并对模型的主要计算成果图表进行了解释,最后指出了软件尚存的缺陷,有助于广大水文地质工作者对该软件的了解和正确使用。

关键词: Visual Modflow 地下水;数值模型

1 软件特点

Visual Modflow(简称 VM)是可视化三维有限差地下水流动模型软件^[1],是目前国际上最流行且被各国机构一致认可的三维地下水水流和溶质数值模拟评价的标准可视化专业软件系统之一,现有 90 个国家近 1 万个用户正在使用。至 2003 年 10 月,软件的最新版是 v3.10build86,软件使用的操作系统为 WIN98 或 WINXP,其语言界面为英语。软件的主要特点为:

(1) 面向用户的完全可视化菜单设计,符合一般操作习惯,容易上手;菜单功能区简单划分为输入、运行和输出 3 大部分,便于审查机关用软件的 DEMO 版进行审查。

(2) 软件可非常容易地在计算机上确定模型区域和完全自动剖分,可在原有剖分基础上任意扩大剖分范围或加密网格而不破坏原有的输入数据。

(3) 可视化的为边界条件赋值,智能化判别补排边界的性质,无须事先确定;允许模型设置根据地下水埋深变化调整潜水蒸发量及泉水流量。

(4) 在运行模块中能自动进行给定范围值内的含水层参数优化和垂向量调整^[2],大大减轻了计算人员的工作负担。

(5) 有丰富的边界类型供选择。如给定水头边界、一般流量边界、隔水墙边界、定水头河流边界、定流量河流边界、地表塘池悬河边界、排水沟边界、抽注水井源边界、垂直水量交换边界及潜水蒸发边界等。其中,一般流量边界采用了最新流行的“边界外

推”算法,避免了参数调整中对流量变化的突发影响。

(6) 在预报过程中,系统自动计算由于开采量变化产生的激发补给量,可动态地反映地下水的补排关系及储存量的变化情况。

(7) 对任意划定范围,能进行分区水量均衡计算,解决了水资源评价与规划中水资源量分区计算难题。

(8) 扩展模块能解决诸多的特殊水文地质问题,如地面沉降、湖泊萎缩、承压水顶托补给、泉水溢出减少等,适于复杂条件的应用,是我国目前开发的同类软件所不具备的。

(9) VM 支持 TXT、DAT、EXCEL、MAPINF 及 CAD 等数据格式^[3],采用的可视化数据处理手段能够克服以往国内各种数值计算产生的许多弊端,确保数据的安全性、通用性和标准化。

2 建模数据预处理技巧

2.1 地下水水流处理

模型仿真的对象是地下水水流。严格地讲,是地下水垂直方向的强径流带水流范围而非整个地下水储(蓄)水体(构造)。因此在模型计算前应认真分析水文地质物探、钻探及同位素资料,统计所有开采井的井流影响深度,从而确定模型计算区地下水水流的顶底板界限。如果水量均衡法计算中采用的顶底板与模型分析确定的顶底板不一致,应重建水文地质概念模型,保证水量均衡法计算结果与模型水量计算结果相一致。

收稿日期:2004-05-18;修订日期:2004-06-22

第一作者简介:封丽华(1962-),女,新疆伊犁人,副教授,1983 年毕业于西安地质学院,从事水资源与环境专业教学和科研工作

2.2 初始流场数据

由于受到自身抽水、旁井抽水及附近农灌等的影响,实际测量的抽水井孔地下水水位并非含水层真实水位值,同时,用偶测值代替一个时间间隔段的平均水位值,这本身就有误差.利用线性差值手绘的流场存在绘图误差,计算区边界点控制较差容易使靠近边界的等水位线绘制也出现随意性,同样利用软件绘制的等值线图中也普遍存在此类问题.

以实测控制点水位及初步编绘的等值线图作为参考,进行流场平面的趋势性分析是非常重要的,调整的结果应该是流场内部等值线平滑,边界水位插值点能控制边界流场形态.

2.3 非完整井的水流影响处理

非完整井影响的是井底标高以上的地下水水流,而完整井影响的是模型含水层柱体.因此,非完整井产生的井流影响深度与模型地下水水流不一致.非完整井引起的水位降深要大于完整井,这将影响到模型参数拟合效果.目前,对此问题尚没有妥善的解决办法,作为模型计算者应在实际工作中重视这个问题.

2.4 多变量求解的化解

国内水文地质勘察中,受稳定流理论及经济投入等方面限制,模型计算区边界一般很少有勘探孔控制,或控制数量不能满足要求.在此基础上进行的水量均衡计算,其结果是比较粗糙的.

无论是抽水试验孔、地下水动态监测孔还是水位统测孔测得的地下水水位经常受到抽水影响,建立地下水监测孔进行水位连续自动监测并精确控制模型计算区地下水水流,目前国内尚不能做到.如果地下水水位测量不精确,地下水均衡水量也不准确,模型识别中的变量显然是多组的.

但是,对开采影响范围较小的排泄区,采用给定水头边界,模型参数值采用区间值而非平均值,采用综合垂直水量交换代替田渗、水库入渗、降雨入渗及潜水蒸发,引入拟合水位误差统计分析机制等的巧妙做法可合理地解决上述问题,并避免单纯追求水位拟合效果,使模型具有较高的仿真度.

3 模型计算成果分析

3.1 水文地质参数对比

模型的底板处理方式有3种,即“ T 值概化法”^[4]、统一排泄基准面及实际底板法.采用不同的底板处理方法会造成含水层平均 K 值不同,一般在参数对比时应采用 T 值及 S 值.当抽水试验井的井流作用深度与

模型地下水水流底板差别较大时,非完整井的井流场与模型水流场不一致,模型的水文地质参数与抽水试验值没有可比性,如果需要勉强对比,则须用抽水试验参数计算的解析公式对抽水试验参数值进行校正.

3.2 地下水水流均衡表达式

软件中采用地下水水流均衡表达式代表地下水水量均衡.地下水开采过程是长期的非稳定流过程,这个开采过程伴随着储存量的动用,动用储存量和回补储存量的加入,使水流总流入量和流出量始终保持平衡,更能体现水量和能量平衡,这比国内地下水补排均衡更能说明水流状态,同时又防止了因地下水水位下降,产生的对地下水负均衡和超采的曲解.模型中采用的方程(1)可代替地下水补排水量均衡,表征模型特定时段的地下水水流均衡.

$$Q_{\text{侧向流入}} + Q_{\text{河谷潜流}} + Q_{\text{田渠渗}} + W_{\text{动用储存量}} = Q_{\text{侧向排泄}} + Q_{\text{垂直排泄}} + Q_{\text{人工开采}} + W_{\text{回补储存量}} \quad (1)$$

在以往的许多模型计算中,笔者发现采用方程式(1)更容易解释开采运行期出现的水文地质现象.

3.3 模型水位拟合误差分析

模型计算是在一定模型计算区范围内进行的.如果计算区范围很大,地下水总的水头差就比较大,对局部水头变化的刻画就很粗糙,模型水位及参数拟合的精度也就比较差;而较小的计算区范围能精细地刻画局部地带的水头变化,因此模型水位及参数拟合精度就比较高.根据模型计算目的,合理选择计算区范围和进行计算精度估测是保证计算成功的前提.

在以前的许多模型计算中,发现可以以方程式(2)表示拟合误差要求与模型计算区范围选择之间的关系,其中, H 表示模型计算区范围的统测水位值.模型拟合相对均方根差:

$$\% (H_{\text{最高水位值}} - H_{\text{最低水位值}}) \times 100\% \quad (2)$$

3.4 模型计算误差

模型计算误差与模型计算精度是两个不同的概念,模型计算成果中应阐述模型概化误差、剖分对流量作用域的刻划误差、迭代计算误差、水量均衡误差、水位拟合误差及参数灵敏性检验等误差分析内容,并就误差对模型计算结论的影响进行定性评价.其中,模型识别阶段水位拟合效果统计表达式为:

$$(1) \text{ 算术平均差: } ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ob} - X_{ca})$$

$$(2) \text{ 绝对平均差: } MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_{ob} - X_{ca}|$$

(3)标准差:

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{ca} - X_{ob})^2 - \left(\sum_{i=1}^N (X_{ca} - X_{ob}) \right)^2}{N-1}}$$

(4)均方根差:

$$RMS = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{ca} - X_{ob})^2}$$

(5)相对均方根差:

$$NRMS = \frac{RMS}{(X_{ob})_{\max} - (X_{ca})_{\max}}$$

式中: X_{ob} ——观测点实际观测值;

X_{ca} ——观测点模型计算值;

N ——参加统计的观测点总数;

X_{\max} ——指定观测序列中的最大值;

X_{\min} ——指定观测序列中的最小值。

在进行以上统计后,还须对水位观测值与水位计算值的误差进行区间正态分析,确定误差分布的偏度和峰度是否合理。

4 软件存在的问题

4.1 语言障碍

该软件目前只有英语版,这给中国的使用者带来诸多不便。如软件用户手册及使用说明书也完全是英文的,这对软件的深入研究和理解也是不便的。软件支持计算成果图形直接打印,但不支持打印过程中的中文图名及其它有关内容中文化。这显然不符合中国用户的习惯。

4.2 程序缺陷

虽然该软件的应用有十多年的历史,而且软件也在不断地升级完善,但用在中文 WINDOWS 操作系统环境中,软件偶尔会出现错误运行提示。经交涉认定该软件在英文 WINDOWS 操作系统下运行无误,说明该软件对中文支持还存在问题。

在非完整井及混合抽水井的流量处理、抽水井水位降深压平的处理方面,模型的指导思想仍欠妥。

此外,软件的授权及加密形式与一般的商业软件有所不同,在磁盘碎片整理、计算机遭受病毒破坏、操作系统崩溃等情况下,软件注册将会失败,需说明理由并申请新的授权。

4.3 技术培训及服务

目前,该软件的经销商尚未在中国指定代销和培训机构,如果要很好地掌握该软件就必须到国外指定地点进行培训。软件指定售后技术服务方式是网上 E-MAIL 交流和电话联系,由于语言上的障碍和通话费用的考虑,这两种交流方式都具有局限性。

参 考 文 献

- [1] Nilson Guiguer. Waterloo hydrogeologic Visual Modflow User's Manual[M]. Ontario, Canada: Waterloo Hydrogeologic, Inc., 2004.
- [2] Nilson Guiguer. Waterloo hydrogeologic Modflow Packages Reference Manual[M]. Ontario, Canada: Waterloo Hydrogeologic, Inc., 2004.
- [3] Nilson Guiguer. Waterloo hydrogeologic WinPEST User's Manual[M]. Ontario, Canada: Waterloo Hydrogeologic, Inc., 1999.
- [4] 林学钰, 侯印伟, 邹立芝, 等. 地下水水量水质模拟及管理程序集[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1988.

THE REALIZATION OF PRACTICAL APPLICATIONS FOR VISUAL MODFLOW IN GROUNDWATER FLOW SIMULATIONS

FENG Li-hua¹, XIANG Yong², PAN Kong-zhao³

(1. School of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830000, China;

2. Survey and Research Institute of Water Conservancy, Xinjiang, Urumqi 830000, China;

3. Hydrogeological Party, Xinjiang, Urumqi 830091, China)

Abstract: Visual MODFLOW is the most complete and easy-to-use modeling environment for practical applications in three-dimensional groundwater flow and contaminant transport simulations. This software has gotten the approbation of international law and the professional experts. The software is characterized by standardization, visualization and automatic parameters estimation and has been extensively applied to groundwater investigation and water resources evaluation all over the world. This paper concerned our experience in application of the software including the steps of modeling and parameter evaluation under general hydrogeologic condition. The authors explained the main output result and pointed out the blemish of this software. The experience given by us will be beneficial to the most of hydrogeologist for understanding and using the software well.

Key word: visual modflow; groundwater; digital model