

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.03.034

# 三聚盛煤矿煤炭开采对地下水影响的数值模拟研究

李志有<sup>1,2</sup>, 赵大伟<sup>2</sup>

(1. 太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024; 2. 山西省煤炭地质 114 勘查院, 山西 长治 046011)

**摘要:** 为了预测三聚盛煤矿 9 号煤层开采对上覆含水层的影响, 通过研究区的水文地质情况, 应用 Visual MODFLOW 软件, 对计算域进行剖分, 确定二类流边界, 对本区地下水流进行了数值模拟。结果表明, 煤矿开采 12.6 a 后, 漏斗中心的水位降深约为 75 m, 影响面积约为 24.3 km<sup>2</sup>。通过预测 9 号煤层开采后地下水水位的变化趋势, 为煤矿的后续开采工作和环境管理工作提供相应的理论依据。

**关键词:** Visual MODFLOW; 地下水; 数值模拟; 煤矿开采

**中图分类号:** TV211.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1144(2014)03-0155-04

## Numerical Simulation Study on Effects of Coal Mining in Sanjusheng Mine to Groundwater

LI Zhi-you<sup>1,2</sup>, ZHAO Da-wei<sup>2</sup>

(1. College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China;

2. Shanxi No. 114 Exploration Institute of Coal Geology, Changzhi, Shanxi 046011, China)

**Abstract:** In order to predict the impact on the overlying aquifer after the coal mining of No.9 coal seam in Sanjusheng Mine, and through introducing the hydrogeological conditions in Sanjusheng mine district, the Visual MODFLOW was applied to simulate the groundwater flow in this area. Through the generation of computational domain, the secondary flow boundary was determined. The results show that after the coal mining for 10 years, the water level drawdown in funnel center is about 75 m, and the influence area is about 24.3 km<sup>2</sup>. By predicting the variation trend of the groundwater level after No.9 coal seam mining, the results will provide the corresponding theoretical basis for subsequent coal mining and environmental management.

**Keywords:** Visual MODFLOW; groundwater; numerical simulation; coal mining

我国现阶段煤矿多以地下井工开采为主, 地下开采会使煤系地层上覆含水层遭到破坏<sup>[1-9]</sup>。Visual MODFLOW 软件有较好的模拟仿真度, 能够直观、真实的反映出复杂的地下含水层系统, 模拟出的地下水流场与实际情况也较为相符, 因此在越来越多的领域, 它被用来分析、研究地下水运动特性及水位分布<sup>[10]</sup>。本文应用 Visual MODFLOW 软件对三聚盛煤矿 9 号煤层上覆含水层进行了地下水流的数值模拟研究, 得出三聚盛煤矿 9 号煤层开采 7.3 a、10 a 后上覆含水层的水位降深, 进而分析了煤层开采后对地下水的影响。

三聚盛煤矿井田位于娄烦县城北 10 km 处的新

庄村西, 行政区划隶属静游镇。井田面积为 3.4455 km<sup>2</sup>, 设计生产能力 90 万 t/a, 批准开采 9 号煤层, 设计服务年限 10 a。9 号煤层划分为 2 个采区, 分别为一采区、二采区, 首采区在一采区, 其中一采区服务年限 7.3 a, 二采区服务年限 2.7 a。

### 1 研究区地质与水文地质概况

研究区属黄河流域汾河水系。流域内多年平均降水量 426.2 mm, 多年平均蒸发量 1 734.5 mm。研究区位于吕梁山脉的东麓, 地表呈侵蚀低山地貌。在地层上, 按由下到上分别为: 奥陶系中统马家沟组 (O<sub>2m</sub>)、石炭系中统本溪组 (C<sub>2b</sub>)、上统太原组 (C<sub>3t</sub>)、

二叠系下统山西组( $P_{1s}$ )、下石盒子组( $P_{1x}$ )、上第三系上新统( $N_2$ )和第四系( $Q$ )。在构造上,井田构造形态大致为一走向北西,倾向北的单斜构造。

区内地下水可分为六个含水层,分别是第四系全新统砂砾石含水层、第三系砂砾孔隙含水层、二叠系下石盒子组砂岩裂隙含水层、二叠系下统山西组砂岩裂隙含水层、石炭系上统太原组石灰岩裂隙岩溶含水层、奥陶系中统石灰岩岩溶裂隙含水层<sup>[11]</sup>。煤矿开采形成的导水裂隙带破坏的主要含水层为二叠系下统山西组砂岩裂隙含水层和石炭系太原组石灰岩岩溶裂隙含水层。

## 2 模型的建立

### 2.1 概念模型

本次模拟计算的目标含水层为二叠系下统山西组砂岩裂隙含水层和石炭系太原组石灰岩岩溶裂隙含水层。由于导水裂隙带的存在,两含水层被导通,模拟过程中,把两含水层概化为一个整体,统称为基岩裂隙含水层,为承压含水层。依据三聚盛钻孔资料揭露,本区基岩裂隙含水层平均总厚度约 26.61 m,岩性由细粒砂岩、粉砂岩、石灰岩组成,岩层往东北埋深越来越大。含水层地下水由西南流向东北。

根据本地区基岩裂隙含水层流场分布,模拟区域由 AB、BC、CD、AD 四段组成,见图 1。取流场上游 1 250 m 等水位线作为 AB 边界,距三聚盛煤矿井田边界最小距离约 5.5 km;取流场下游 1 190 m 等水位线作为 CD 边界,距井田边界最小距离约 4.5 km。这两个边界均处理为二类流量边界<sup>[12-13]</sup>。研究区均取垂直于等水位线的流线作为 BC、AD。其中 BC 边界距井田边界最小距离约 5.2 km,AD 边界距井田边界最小距离约 4.3 km,均处理为流量零通量的隔水边界。

目标含水层以上为二叠系下石盒子组、山西组地层,为一套泥岩和砂岩交互沉积地层,平均厚度为 52 m,其间多层共泥岩,且连续稳定,阻断了目标含水层与其上部含水层的联系,将这部分顶板概化为上部隔水层;目标含水层底部有石炭系太原组 10.7 m 厚的砂质泥岩,具有良好的隔水能力,属于隔水层,阻断了其与下部含水层的水力联系,故将底板往下概化为下部隔水层。

根据模型概化情况可知,目标含水层上、下均概化为隔水层,因此不考虑降雨补给和上、下含水层的越流补给;排泄项主要是人工开采量,经现场调查模拟区内无目标含水层水井,即人工开采量为零。

研究区目标含水层地下水流从空间上看是以水平运动为主,地下水系统符合质量守恒定律和能量守恒定律。一般情况下,地下水流速矢量在  $x, y$  方向有分量,故概化为二维流;参数随空间变化,体现了系统的非均质性;地下水系统的输入输出随时间、空间变化,地下水流为非稳定流。综上所述,研究区目标含水层可概化为非均质各向同性二维非稳定地下水渗流系统。

### 2.2 数学模型

系统的水均衡要素的补给项主要是西南部流量边界的流入量;排泄项主要东北部流量边界的排泄量。在不考虑水密度变化条件下,研究区目标含水层地下水的流动可用偏微分方程来表示<sup>[14]</sup>。

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left( KM \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( KM \frac{\partial h}{\partial y} \right) - W = \mu^* \frac{\partial h}{\partial t} & (x, y) \in D, t \geq 0 \\ h(x, y, t) |_{t=0} = h_0(x, y) & (x, y) \in D, t = 0 \\ KM \frac{\partial H}{\partial n} |_{\Gamma_2} = q(x, y, t) & (x, y) \in \Gamma_2, t \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $D$  为计算区范围; $K$  为沿  $x, y$  坐标轴方向的渗透系数(m/d); $h$  为点  $(x, y)$  在  $t$  时刻水头值(m); $h_0$  为含水层的初始水头(m); $M$  为含水层厚度(m); $\mu^*$  为含水层贮水系数; $W$  为源汇项(m/d); $n$  为边界的外法线方向; $q$  为渗流区二类边界上的单位宽度流量( $m^3/d$ ),流入为正,流出为负; $\Gamma_2$  为第二类边界。

### 2.3 计算域剖分

将比例尺为 1:50000 的研究区地形图进行扫描,导入计算机作为计算模拟区的剖分底图。采用等间距有限差分的离散方法进行自动剖分<sup>[15]</sup>,计算模拟区水平面积为 148  $km^2$ ,共剖分出 14 825 个矩形单元体。

### 2.4 二类流量边界处理

一个连续水文年的枯、平、丰时期,地下水水位各不相同,因此在计算边界流量时,应分别计算。一年中枯水期为 3 月—6 月,丰水期为 7 月—10 月,平水期为 11 月—2 月。2012 年 8 月份实测的初始水位等值线见图 1,下面以丰水期为例进行计算。

根据边界条件概化结果,模拟区模拟区 BC、AD 边界垂直于基岩裂隙水水位等值线,处理为隔水边界,流量通量为零;AB、CD 边界均概化为二类流量边界,其对流量边界的影响最终表现在通过边界的流量上,考虑到在边界处缺乏流量观测资料,采用迭代逼近方法预测通过边界的流量,初始流量用达西公式得出。

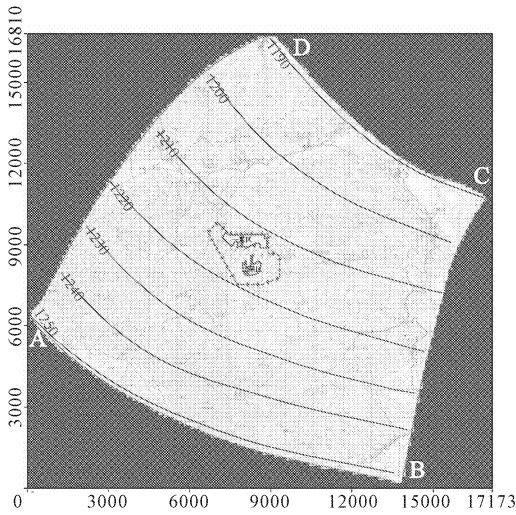


图 1 丰水期水位等值线图

$$Q = KD'MI \quad (2)$$

式中:  $Q$  为侧向补给 / 排泄量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $K$  为渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ );  $D'$  为剖面宽度 ( $\text{m}$ );  $M$  为含水层厚度 ( $\text{m}$ );  $I$  为垂直于剖面的水力坡度 (%)。

模拟区 AB 边界长约 16.2 km, CD 边界长约 11.5 km; 根据模拟区的水文地质参数, 渗透系数 AB 边界为 0.126 m/d, 西部边界为 0.152 m/d。含水层厚度  $M$  取 26.61 m; 依据初始流场推算出垂直于剖面的水力坡度, AB 边界处水力坡度约为 0.59%, CD 边界处水力坡度约为 0.48%。

将以上数据代入公式(2)得, 通过 AB 边界的流量约为  $320.47 \text{ m}^3/\text{d}$ , CD 边界的流量约为  $223.27 \text{ m}^3/\text{d}$ 。通过侧向补给边界的流量等效看成往注水井中注水, 排泄边界的流量等效看成从抽水井中抽水; 分别在东西部边界布设 10 个注水井和 10 个抽水井, 将通过补给边界的流量平分到注水井, 通过排泄边界的流量平分到抽水井。丰水期边界初始流量分配情况见表 1。

表 1 丰水期边界初始流量表

边界	井编号	流量 / ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	边界	井编号	流量 / ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )
AB 边界	1	-32.0	CD 边界	11	22.3
	2	-32.0		12	22.3
	3	-32.0		13	22.3
	4	-32.0		14	22.3
	5	-32.0		15	22.3
	6	-32.0		16	22.3
	7	-32.0		17	22.3
	8	-32.0		18	22.3
	9	-32.0		19	22.3
	10	-32.0		20	22.3

### 2.5 参数分区

本次计算所选的参数有渗透系数  $K$ 、贮水系数  $\mu^*$ 。根据已有水文地质调查资料及研究阶段进行的抽水试验确定其初值。根据渗流场的特征, 将计算区划分为 8 个参数分区。

### 3 模型识别

选择丰水期 2012 年 7 月 1 日至 2012 年 10 月 1 日作为模型的识别阶段, 以 1 个月为一个时间段, 将注水井、抽水井参数输入模型, 作为模型的初始值, 运行预报模型, 对注水井和抽水井的流量进行迭代运算, 直到前后相邻两次迭代中的流量差值的绝对值小于预先给定的允许误差为止。

### 4 模型检验

本次选择平水期 2012 年 11 月 1 日至 2012 年 2 月 1 日作为模型检验时段, 分 4 个计算时段, 各时段步长为一个月, 对同样 10 个注水井和 10 个抽水井的流量进行迭代运算。经检验, 各时段注水井、抽水井流量差值的绝对值小于预先给定的允许误差, 符合检验要求。

### 5 预测分析

矿井开采 9 号煤层一、二采区, 首采区在一采区。总服务年限为 10 a, 其中一采区服务年限 7.3 a, 二采区服务年限 2.7 a。矿井正常涌水量为  $430 \text{ m}^3/\text{d}$ 。将矿井正常涌水量平摊到一、二采区面积上, 通过 RECHARGE 的形式排泄出去<sup>[16]</sup>。确定模拟预测时间后, 分枯、平、丰水期输入 AB、CD 边界处注水井、抽水井迭代后的流量。

三聚盛煤矿开采 7.3 a 后, 评价区目标含水层水位等值线图见图 2。由图 2 可知, 一采区开采后, 以一采区为中心形成降水漏斗, 漏斗中心的水位降深约为 60 m, 往上、下游水位降深逐渐变小。模拟区下游的最大影响距离距降水漏斗中心约 1.9 km, 上游的最大影响距离距降水漏斗中心约 1.8 km, 漏斗左侧的最大影响距离距降水漏斗中心约 1.6 km, 右侧的最大影响距离距降水漏斗中心约 2.1 km, 影响面积约为  $12.7 \text{ km}^2$ 。

服务年限 10 a 后, 评价区目标含水层水位等值线图见图 3。以一、二采区为中心形成降水漏斗, 漏斗中心的水位降深约为 75 m, 往上、下游水位降深逐渐变小。模拟区下游的最大影响距离距降水漏斗中心约 2.4 km, 上游的最大影响距离距降水漏斗中

心约 2.2 km,漏斗左侧的最大影响距离距降水漏斗中心约 2.0 km,右侧的最大影响距离距降水漏斗中心约 2.1 km。影响面积约为 24.3 km<sup>2</sup>。

降深约为 60 m,影响面积约为 12.7 km<sup>2</sup>;服务年限 10 a 后,影响面积约为 24.3 km<sup>2</sup>。该成果可以为煤矿的后续开采工作和环境管理工作提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] 武 强,傅耀军.煤矿开采诱发的水环境问题研究[J].中国矿业大学学报,2002,31(1):19-22.
- [2] 王启亮,程 东.山西省煤炭开采对水资源的影响[J].人民黄河,2009,31(12):56-57.
- [3] 李新旺,关天强.望田煤矿开采对地下水影响的研究[J].中国煤炭,2012,(1):41-44.
- [4] 邵改群.山西煤矿开采对地下水资源影响评价[J].中国煤田地质,2001,13(1):41-43.
- [5] 董东林,武 强,钱增江,等.榆神府矿区水环境评价模型[J].煤炭学报,2006,31(6):776-780.
- [6] 王亚飞.论煤矿开采对地下水的影响[J].科技情报开发与经济,2008,18(30):222-223.
- [7] 张凤娥,刘文生.煤矿开采对地下水流场影响的数值模拟——以神府矿区大柳塔井田为例[J].安全与环境学报,2002,(4):30-33.
- [8] 吴玉生,赵亚平,杨亚静.煤矿开采对地下水资源的影响[J].能源环境保护,2005,18(6):1-3.
- [9] 孟凡生.煤矿开采环境影响评价中地下水问题探析[J].地下水,2007,29(1):81-84.
- [10] 郝治福,康绍忠.地下水系统数值模拟的研究现状和发展趋势[J].水利水电科技进展,2006,26(1):77-81.
- [11] 王大纯,张人权,史毅红.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,1980.
- [12] 沈媛媛,蒋云钟,雷晓辉,等.地下水数值模拟中人为边界的处理方法研究[J].水文地质工程地质,2008,35(6):12-15.
- [13] 卢文喜.地下水运动数值模拟过程中边界条件问题探讨[J].水利学报,2003,(3):33-36.
- [14] 陈崇希,林 敏.地下水动力学[M].北京:中国地质大学出版社,2006.
- [15] 薛禹群,叶淑君,谢春红,等.多尺度有限元法在地下水模拟中的应用[J].水利学报,2004,(7):7-13.
- [16] 宋颖霞,张耀文,曾一凡.基于 Visual Modflow 的矿坑涌水量模拟预测评价[J].矿业安全与环保,2012,39(2):25-27.

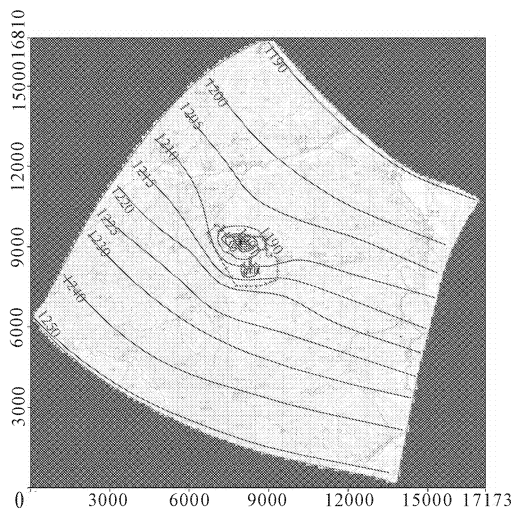


图 2 7.3 a 后地下水位等值线图

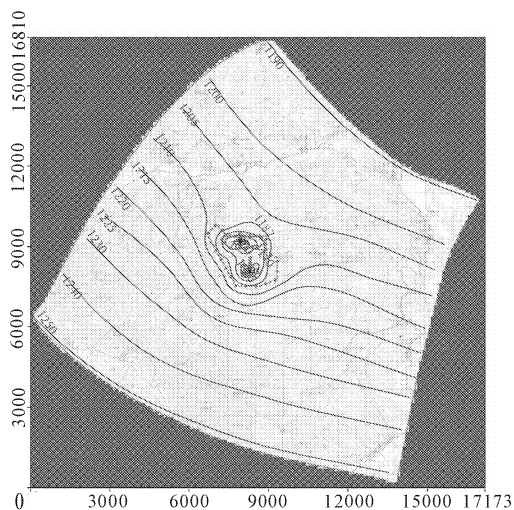


图 3 10 a 后地下水位等值线图

## 6 结 语

(1) 利用 Visual MODFLOW 对三聚盛煤矿 9 号煤层上覆含水层进行地下水数值模拟是可行的和成功的,所建模型正确,水位拟合结果符合要求。

(2) 三聚盛煤矿开采 7.3 a 后,漏斗中心的水位