

宁夏甜水河煤田地下水模拟及涌水量预测

张世杰, 宋海龙, 金兴, 申中华, 屈百茹

(山东正元建设工程有限责任公司, 山东 济南 250101)

摘要:地下水模拟技术是进行煤田地下水环境影响评价和矿区疏干排水设计的主要工具。该文以宁夏甜水河煤田为研究对象, 根据矿区地质条件和水文地质条件的分析, 确定模型边界条件并建立了水文地质概念模型, 应用基于有限差分法的 MODFLOW 程序, 建立地下水流三维模型, 进而对煤田各开采阶段的地下水流场和涌水量进行预测, 从而为煤田地下水有效防治和安全生产提供依据。

关键词:地下水; 甜水河煤田; MODFLOW; 涌水量预测; 宁夏

中图分类号: P641.2; P641.8

文献标识码: B

地下水是困扰矿山开采的主要隐患, 为了矿山安全生产, 防止突水涌水事故发生, 需要在矿区地质水文地质调查工作的基础上, 对矿区地下水进行数值模拟, 准确预测涌水量大小, 以便合理制定地下水疏干和排水方案^[1,2]。地下水数值模拟通常采用有限单元法和有限差分法。MODFLOW 是目前最为普及的地下水数值模拟的计算机程序, 自从问世以来, MODFLOW 已经在全世界多个行业内得到了广泛的应用^[3,4]。该文以宁夏甜水河煤田为研究对象, 采用 MODFLOW 程序对地下水进行数值模拟, 得到不同开采阶段的地下水流场分布及涌水量大小, 从而为煤田地下水有效防治和安全生产提供依据。

1 矿区水文地质条件

1.1 主要含水岩组

根据地质和水文地质条件分析, 主要含水岩组为第四系孔隙岩类含水岩组和碎屑岩类孔隙裂隙水含水岩组。由上而下依次为: 第四系松散岩类孔隙水含水岩组(Ⅰ), E_3q 碎屑岩类孔隙裂隙水(Ⅱ), K_1b 砾岩孔隙水(Ⅲ), P_2T_1s 与 $P_{1-2}sh$ 砂岩层间裂隙承压水含水岩组(Ⅳ), P_1s 砂岩层间裂隙承压水含水岩组(Ⅴ), C_2P_1t 砂岩层间裂隙承压水含水岩组(Ⅵ), C_2t 砂岩层间裂隙承压水(Ⅶ)。下覆的 O_1m 灰岩地层岩溶不发

育, 裂隙较少且为方解石充填, 富水性差。

各含水岩组富水性较差, 且含水岩组层间均存在隔水岩段。其中, 在Ⅳ~Ⅶ为层间裂隙承压水, 含水层为裂隙较发育的砂岩, 泥岩(或煤层)则作为层间的隔水岩段。矿区内较为完整的隔水层由上而下依次为: E_3q 上段隔水层、 P_1sh 下段中上部砂泥岩段隔水层和 C_2t 砂泥岩段隔水层。

根据充水因素分析, 碎屑岩类孔隙裂隙水在开采条件下, 在冒落带、导水裂隙带和断裂的导水作用下, 使其水力联系增强, 可能会构成未来矿井的直接充水来源。

1.2 地下水系统边界

根据地质资料对计算区域边界进行概化(图 1): 东部取断层 F_1 为弱透水边界(二类边界), 东北部取推测的等水头线为一类边界, 西北部取断层 F_5 和 F_9 的组合边界为隔水边界(二类边界), 西部取断层 F_3 为隔水边界(二类边界), 西南部取甜水河断层 F_1 为弱透水边界(二类边界), 南部取大河子沟为一类边界。根据充水因素的分析, 大气降水在评价区的大部分地区以地表径流的方式汇入大河子沟排出区外, 仅在井田西部有白垩纪保安群砾岩地层出露地表, 接受少量大气降水入渗补给。

地下水模型的模拟面积约 48.63 km^2 。水平方

收稿日期: 2013-08-19; 修订日期: 2013-09-12; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 张世杰(1965—), 男, 山东潍坊人, 高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质方面的工作, E-mail: chetj@163.com。

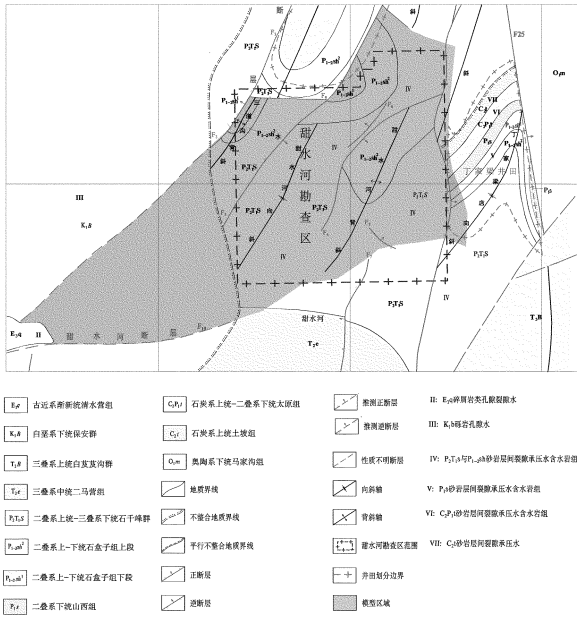


图 1 地下水模拟范围示意图

向上,含水层 x 和 y 方向的渗透性能大体相当,视为水平方向各向同性;垂向上,由于层间隔水岩段的隔水作用,含水层垂向渗透系数远小于水平方向,视为各向异性。结合钻孔资料数据,在模型中充分考虑完整的隔水层,由于模拟的是裂隙承压含水层,以上部的 E_3q 上段隔水层和下部的 C_2t 砂泥岩段隔水层为整体模型的上边界和下边界。由此将模型由上而下分为 4 段:II~IV 段, P_1sh 弱透水段, V~VI 段(煤系含水层)和 VII 段。

2 矿区地下水数值模拟

2.1 地下水数学模型

矿区地下水可简化为非均质各向异性裂隙介质承压含水层。地下水流模型采用三维非稳定流。

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} [K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z}] + W = S_s \frac{\partial H}{\partial t}, (x, y, z) \in \Omega, t \geq 0 \\ H(x, y, z, 0) = H_0(x, y, z), (x, y, z) \in \Omega \\ H | \Gamma_1 = H_1(x, y, z), (x, y, z) \in \Gamma_1 \\ (K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} + K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} + K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z}) | \Gamma_2 = q, (x, y) \in \Gamma_2 \end{cases}$$

式中: K 为含水层渗透系数(m/d); H 为水头(m); W 为源汇项(m/d); S_s 为贮水系数; H_0 为初始水位(m); H_1 为一类边界水位值(m); Ω 为研究区范围; Γ_1 为一

类边界; Γ_2 为二类边界。

2.2 模型离散化

建立地下水数学模型后,对渗流区域进行离散化。根据模拟区域的地质及水文地质条件,把渗透系数张量的一个主轴方向设定与主要构造线走向一致,另 2 个方向与其大致垂直。因此该次数学模型的坐标将标准直角坐标系沿逆时针方向旋转 44° ,使坐标系 x, y 方向分别与 K_{xx}, K_{yy} 方向一致,这样达到简化模型的目的。

该研究选用 MODFLOW 对研究区进行剖分离散以建立起数值模型(图 2)。其中: x 方向结点数目为 200; y 方向结点数目为 100; z 方向结点数目为 8,有效计算单元(active)为 85,946 个,无效计算单元(inactive)为 74,054 个。该次研究采用三维实体建模方法生成 3 维有限差分网格(图 3)^[5]。

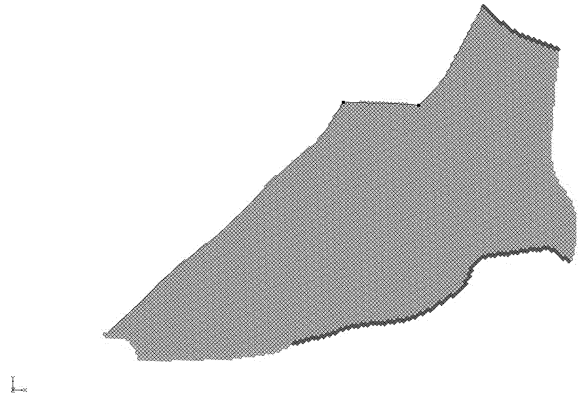


图 2 有限差分剖分图(2 维)

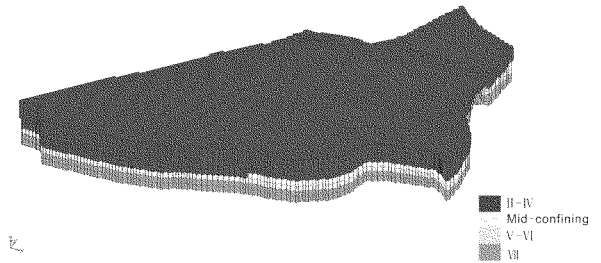


图 3 有限差分剖分图(3 维)

2.3 水文地质参数选取

该次研究中,天然状况下的地下水模型(未考虑煤矿开采布置)的含水层参数选取主要根据已有资料,并结合水文地质试验成果对具体参数进行适当调整。模型的主要水文地质参数包括含水层的渗透系

数 K 、各向异性因子、贮水系数 S_s 。水文地质参数分区原则上综合以下几点：含水层的富水性规律、断裂构造的特点以及观测孔的分布和数目。

水文地质参数可以根据抽水试验值以及水文地质特征确定。水文地质参数(渗透系数、贮水系数等)分区如图 4 所示。第 1 层的水平渗透系数取值根据 II、III 和 IV 的算术平均值($K_{xx}=K_{yy}$)，垂向渗透系数取值取($K_{zz}=0.1K_{xx}$)。第 2 层为 P_1sh^1 弱透水区。第 3 层为 V 和 VI 层的渗透系数值。第 4 层为 VII 的渗透系数值。贮水系数采用经验取值，该次模拟计算取 $1e-4$ 。渗透系数参数取值见表 1。

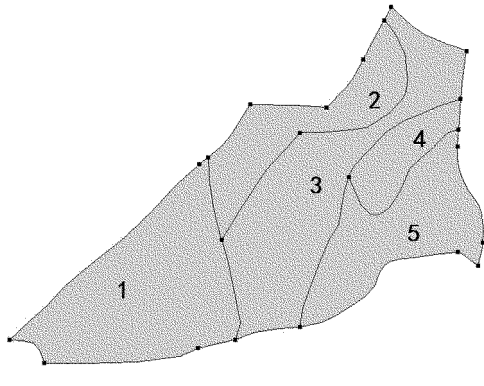


图 4 水文地质参数分区图

表 1 各层渗透系数分区取值(m/d)

分区号	1 层			2 层		
	K_{xx}	K_{xx}/K_{yy}	K_{xx}/K_{zz}	K_{xx}	K_{xx}/K_{yy}	K_{xx}/K_{zz}
1	0.0195	1	10	$5e-6$	1	10
2	0.0117	1	10	$5e-6$	1	10
3	0.0143	1	10	$5e-6$	1	10
4	0.0104	1	10	$5e-6$	1	10
5	0.0156	1	10	$5e-6$	1	10
3 层			4 层			
1	0.048	1	10	0.0255	1	10
2	0.0288	1	10	0.0153	1	10
3	0.0352	1	10	0.0187	1	10
4	0.0256	1	10	0.0136	1	10
5	0.0384	1	10	0.0204	1	10

3 涌水量预测

3.1 预测阶段划分

甜水河井田主要开采块段有 2 个，一块段位于 F_5, F_4 断层之间(煤层埋深 400~800 m)；二块段位于 F_4 断层以东(煤层埋深 400~1 000 m)。井田内可采和局部可采煤层划分为上、下 2 个组。其中 1, 3, 5, 6 煤划分为上组煤；9 煤划分为下组煤。

结合可采煤层分组情况，全矿井共划分为 7 个采区，其中一块段 1~5 煤划分为一采区和二采区，9 煤划分为三采区和四采区；二块段 1~5 煤划分为五采区，9 煤划分为六采区，急倾斜部分单独划分为七采区。采区划分见图 5。

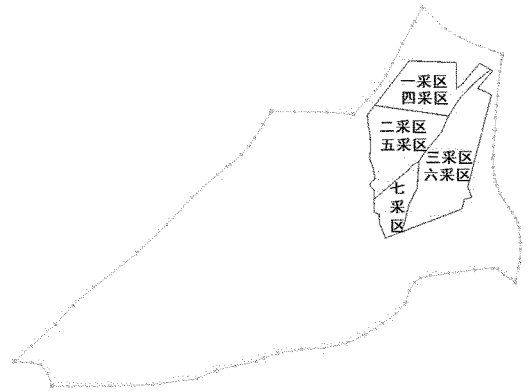


图 5 井田采区示意图

地下水流场变化同采区划分及采煤顺序相关，该矿田划分为 7 个采区，采区接替顺序为：一采区+二采区→三采区+四采区→五采区→六采区→七采区。根据目前已有的开采设计，该次模拟主要针对一采区+二采区进行，划分为 2 个阶段：①一采区+二采区达产；②一采区+二采区采完。

3.2 涌水量预测结果

图 6 和图 7 分别为阶段①和阶段②对应的 V~VI 含水层(煤系含水层)地下水位等值线图。由图 6 可知，至采完阶段，1 采区和 2 采区煤系含水层已基本疏干。阶段①和阶段②的正常涌水量见表 2，阶段②相比①略有增加，变幅不大。

表 2 涌水量预测值 (m^3/d)

采区	阶段①	阶段②
一采区	1484	1986
二采区	2047	2652
总涌水量	3531	4638

4 结语

(1)应用基于有限差分法的 MODFLOW 程序，根据矿区地质条件和水文地质条件的分析，确定模型边界条件并建立了水文地质概念模型，应用基于有限差分法的 MODFLOW 程序，建立地下水流三维模型。

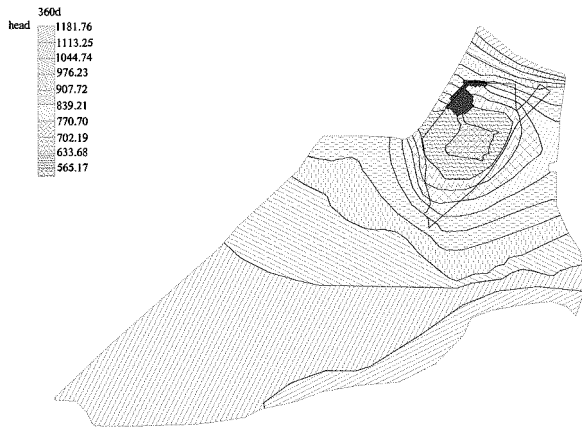


图 6 ①时 V~VI 含水层地下水位等值线图

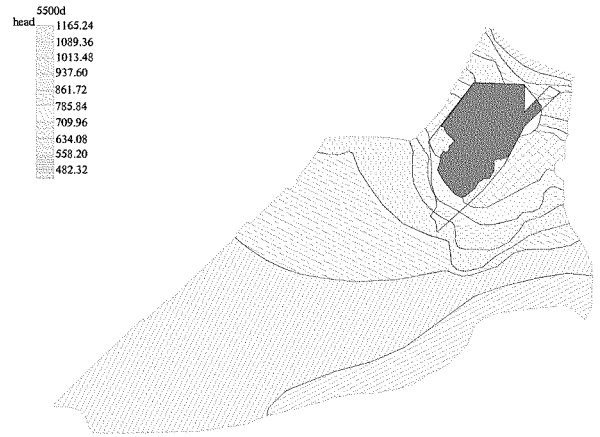


图 7 ②时 V~VI 含水层地下水位等值线图

(2) 然后对煤矿开采过程中的地下水水流场变化进行分析并进行涌水量预测。由水文地质条件分析及数值模拟结果可知,矿坑排水造成含水层补给、径流和排泄条件的改变,到了后期,矿坑涌水将以静储量为主,矿坑涌水量会随着开采的进行而趋于减少。

参考文献:

- [1] 周念清,徐小鹏,江思珉,等. 武山铜矿地下水数值模拟与矿坑涌水量预测[J]. 勘察科学与技术, 2012,(2):34—38.
- [2] 吴健飞,刘银,陈基龙,等. 大冶铁矿铁门坎采区深部开采地下水涌水量预测[J]. 西部探矿工程, 2011,(10): 99—102.
- [3] 杨青春,卢文喜,马洪云. Visual Modflow 在吉林省西部地下水数值模拟中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005,(3):67—69.
- [4] 肖华,郭加朋,朱宁,等. 基于 Visual ModFlow 的苑庄水源地下水水位预测[J]. 山东国土资源, 2012,28(12): 37—40.
- [5] 覃荣高,高建国,臧小豹,等. 基于 GMS 基岩矿区地下水三维实体模型的构建[J]. 地下水, 2009,(6): 15—17.

Simulation of Groundwater and Prediction of Water Inflow in Tianshuihe Coalfield in Ningxia Hui Autonomous Region

ZHANG Shijie, SONG Hailong, JIN Xing, SHEN Zhonghua, QU Bairu

(Shandong Zhengyuan Construction Engineering Limited Corporation, Shandong Jinan 250101, China)

Abstract: Simulation technology of groundwater is the main method for evaluating the effect of coalfield groundwater and designing the drainage in mining areas. According to analyzing geological conditions and hydrogeology characteristics in mining areas, the conceptual model of hydrogeology is set up and the boundary conditions are determined. By taking Tianshuihe coalfield in Ningxia as the research object, using finite difference MODFLOW program, a 3D numerical simulation model for the groundwater is established. It can provide more precise information for effective control of groundwater and safety exploration based on predicting the groundwater flow field during the coalfield exploitation and water inflow.

Key words: Groundwater; Tianshuihe coalfield; MODFLOW; predication of water inflow; Ningxia Hui Autonomous Region