

# 峰峰五矿底板突水数值模拟及涌水量预测

邵太升<sup>1</sup>,邵爱军<sup>2</sup>,彭建平<sup>2</sup>

(1. 峰峰集团有限公司,邯郸 056001;2. 石家庄经济学院,石家庄 050031)

**摘要:** 利用峰峰五矿的突水资料进行了矿区地下水数值模拟和矿井涌水量预测。首先,根据水文地质条件,建立矿区地下水渗流的数学模型。然后,运用突水资料对模型进行检验,模型检验中各观测孔的实测水位与模拟水位拟合较好。最后,利用所建模型进行矿坑涌水量预测,结果表明,-100m水平以下煤层的开采,矿坑涌水量大,开采成本较高。

**关键词:** 峰峰煤田;底板突水;数值模拟;矿坑涌水量;突水系数

中图分类号: P641.2;P641.4<sup>+</sup>1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2009)04-0027-05

峰峰煤田位于河北省南部,煤田以东为华北平原,以西为太行山地,煤田中部的鼓山将整个煤田分为东西两部分。研究区峰峰煤田五矿位于鼓山东麓的中部,属于丘陵区。

井田内没有自然河流和较大的地表水体。据峰峰气象站资料,多年平均降水量为566mm,降水主要集中在7~9月。

## 1 井田水文地质特征

### 1.1 地质概况

五矿井田地层属华北型,有奥陶系(O)、石炭系(C)、二叠系(P)和第四系(Q)。井田内基岩出露很少,大多被第四系所覆盖。奥陶系出露于井田以西的鼓山,井田内埋藏于C-P地层之下,构成煤系基底。C-P地层含可采煤7层,中间夹有5~8层薄层灰岩。

井田整体上为一断陷构造,四周抬起,中间下陷。井田范围内断裂构造发育,多为高角度的正断层,井田主体构造为五矿背斜(图1)。

### 1.2 水文地质特征

根据井田地质构造和水文地质特征,将井田划分为三个区,分别为东翼区、西北区和中央区<sup>[1]</sup>。

**东翼区:**位于五矿东部,介于 $F_{11}$ 断层和 $F_{12}$ 断层之间,面积较小。属于相对独立的封闭地段。

**西北区:**位于井田的西北部,介于 $F_4$ 和 $F_5$ 断层之

间,为一地堑构造,与中央区联系较弱。

**中央区:**位于井田中部,面积约 $9\text{km}^2$ ,其东部以 $F_{11}$ 断层为界,南部为 $F_{10}$ 断层,西部以 $F_3$ 断层为界,北部为技术边界。

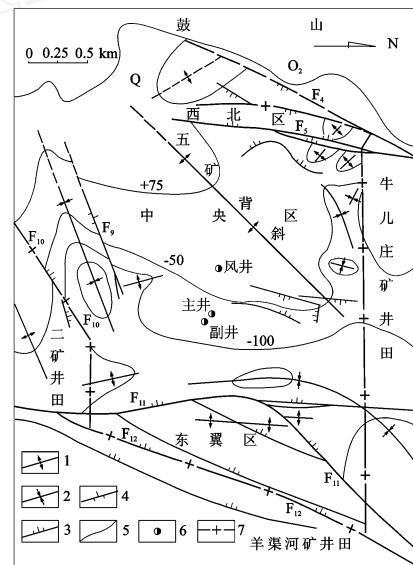


图1 研究区地质构造图

Fig.1 Geological map of the study area

1—背斜;2—向斜;3—正断层;4—逆断层;

5—煤层等高线;6—矿井;7—井田边界

目前,对矿山开采有威胁的含水层主要是大青灰岩含水层(石炭系薄层灰岩)和奥陶系灰岩含水层:

(1)大青灰岩含水层:为大青煤直接顶板,上距山青煤层45m,下距 $O_2$ 灰岩28m,厚度4~6m,分布比较稳定。裂隙发育,富水性强,并下单孔出水量一般 $2\sim 3\text{m}^3/\text{min}$ 。水化学类型为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 型,IDS为 $0.45\sim 1.1\text{g/L}$ ,pH值为 $6.4\sim 8.0$ 。大青灰岩主要接受奥灰水的侧向补给,为富水性强的裂隙岩溶承压水。

收稿日期: 2008-06-23; 修订日期: 2008-09-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40672163);河北省自然科学基金资助项目(D2004000480)

作者简介: 邵太升(1963-),男,博士,教授级高级工程师,从事煤田开采技术与管理工作。

E-mail: shaoajun@sohu.com

大青灰岩厚度较小,储存水量有限,在矿山常年排水的影响下,如果没有奥灰水的补给早已疏干,因此奥灰水是大青水的主要补给来源。大青水目前主要通过矿坑排水进行排泄。

(2) 奥陶系灰岩含水层:厚 545m,岩溶裂隙发育,富水性强,并下单孔涌水量为 1.5~4m<sup>3</sup>/min。水化学类型为 HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>-Ca·Mg 型, TDS 为 0.5g/L, pH 值为 7.4~9.3。本层为富水性极强的岩溶承压含水层,给矿山安全开采造成严重的威胁。

### 1.3 56603 工作面突水简介

56603 山青煤工作面位于五矿北部的牛儿矿井田内,与五矿中央区同属一个水文地质单元。突水时间为 1993 年 6 月 1 日,最大水量 39.8m<sup>3</sup>/min,稳定水量 25m<sup>3</sup>/min,突水点标高 -69.15m。突水后五矿中央区大青灰岩水位普遍大幅度下降,降深值北部最大为 40m、中部 20~30m、南部 4~5m,形成以 56603 工作面为中心的水位降落漏斗。突水点于 1995 年 3 月注浆封堵,封堵后涌水量约 6m<sup>3</sup>/min。

根据地质、水文地质条件分析,此次属构造突水。突

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial H}{\partial y} \right) + K_1 \frac{H_1 - H}{M_1} + Q = S \frac{\partial H}{\partial t} \\ H(x, y, t) |_{t=0} = H_0(x, y) \\ T \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_2 = q(x, y, t) \end{cases} \quad \begin{matrix} (x, y), t = 0 \\ (x, y), t > 0 \end{matrix} \quad (1)$$

- 式中:  $H$ ——大青灰岩含水层水位(m);
- $H_1$ ——奥灰含水层水位(m);
- $H_0$ ——大青灰岩含水层初始水位(m);
- $t$ ——时间(d);
- $T$ ——大青灰岩含水层导水系数(m<sup>2</sup>/d);
- $S$ ——大青灰岩含水层贮水系数;
- $K_1$ ——越流层渗透系数(m/d);
- $M_1$ ——越流层厚度(m);
- $Q$ ——源汇项(m<sup>3</sup>/d);
- $q$ ——边界单宽流量(m<sup>3</sup>/d),隔水边界为 0;
- 渗流区域;
- $\vec{n}_2$ ——渗流区域上的第二类边界;
- $\vec{n}$ ——边界  $\vec{n}_2$  上某点  $(x, y)$  的外法线方向。

根据水量均衡原理和达西定律可建立三角网格剖分的差分方程<sup>[3-6]</sup>。方程如下:

$$C_{ij} (H_j^{k+1} - H_i^{k+1}) + D_i (H_i^{k+1} - H_i^k) + Q(i) = F_i \frac{H_i^{k+1} - H_i^k}{t} \quad (2)$$

水后大青水位普遍下降,奥灰水位未发现任何变化,突水水质与大青水质一致,因此判断突水水源为大青水。

## 2 突水数值模拟

### 2.1 水文地质条件概化

模拟区域为中央区,南部边界为 F<sub>10</sub> 断层,东部边界为 F<sub>11</sub> 断层,北部边界为 F<sub>7</sub> 断层,西部边界为 F<sub>5</sub> 断层。计算面积为 9.5km<sup>2</sup>。

数值模拟的目的层为大青灰岩含水层,大青灰岩富水性强,但非均质明显,单孔出水量最大 7.4m<sup>3</sup>/min,最小不足 0.3m<sup>3</sup>/min。大青灰岩为裂隙岩溶承压含水层,上覆岩层为厚 40m 的砂质页岩隔水层;下伏岩层为厚 30m 的砂页岩夹煤层,再向下为奥灰强含水层。受构造的影响,下伏隔水层的隔水性能变弱,而下部又有高压奥灰水的顶托,因此具有形成奥灰水向上越流补给大青水的条件。因此,中央区大青灰岩含水层可概化为非均质二维承压水越流系统模型(图 2)。

### 2.2 数学模型

大青灰岩含水层水文地质模型描述如下:

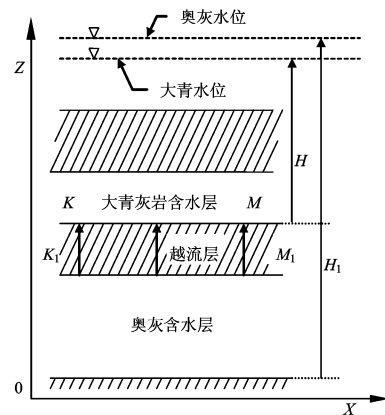


图 2 水文地质模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the hydrogeological model

- 式中:  $C_{ij}$ ——侧向水位系数;
- $D_i$ ——越流水位系数;
- $Q(i)$ ——垂向水量;
- $F_i$ ——贮存量的水位系数;
- $i, j$ ——结点号 ( $i, j = 1, 2, \dots, n, n$  为结点数);

$H_i$  —— 结点  $i$  上的奥灰水位;

$H_i$  —— 结点  $i$  上的大青灰岩水位;

$t$  —— 时间步长;

$k$  —— 计算时段 ( $k=1, 2, \dots, m, m$  为时段数)。

若用  $X$  表示未知水位  $H$  的列向量  $X = (H_1^{k+1}, H_2^{k+1}, \dots, H_n^{k+1})^T$ , 用  $A$  表示方程组的系数矩阵,  $b$  表示常数项列阵, 则上述数值方程组可写为矩阵形式:

$$AX = b \quad (3)$$

系数矩阵  $A$  是一个具有对角线优势的高度稀疏的对称正定矩阵<sup>[7-8]</sup>, 对其利用迭代法求解是合适的<sup>[9]</sup>。本文采用逐次超松弛迭代方法 (SOR) 求解。

### 2.3 模型验证

在一定剖分原则基础上, 对中央计算区进行剖分。共剖分三角形单元数 160 个, 结点数 98 个 (图 3)。用 56603 工作面突水数据对模型进行识别, 所需资料有突水水量、大青水位、奥灰水位等。模拟时间为 13 个月, 1 个月 1 个时段, 共 13 个时段。初始水位为突水前的实测水位, 参数初值根据放水试验所计算的值并结合具体的水文地质条件给出。

用 VB6.0 编程计算, 根据观测孔实测水位, 对模型进行识别和调试。模型的识别过程主要是调整水文

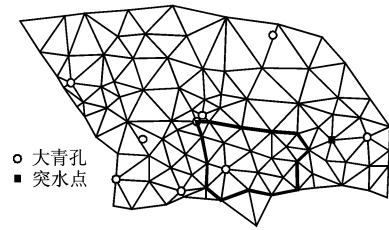


图 3 中央区剖分图

Fig. 3 Spatial discretization of the central area

地质参数, 经过反复调整与试算, 使计算的水位值与实测的水位值之差最小。拟合的大青灰岩观测孔 6 个。图 4 为模拟的观测孔水位与实测的水位动态曲线, 由图可见模拟值与实测值拟合较好。

经过模型识别, 中央区大青灰岩含水层参数分为 4 个区, 各区参数见表 1。

表 1 中央区大青灰岩含水层参数分区

Table 1 Subarea of aquifer parameters of the limestone in the central area

| 分区              | 1         | 2         | 3           | 4        |
|-----------------|-----------|-----------|-------------|----------|
| 导水系数 $T(m^2/d)$ | 300       | 220       | 200         | 300      |
| 贮水系数 $S$        | 0.000 2   | 0.000 3   | 0.000 3     | 0.000 3  |
| 越流系数 $K_1/M_1$  | 0.000 005 | 0.000 001 | 0.000 001 5 | 0.000 01 |

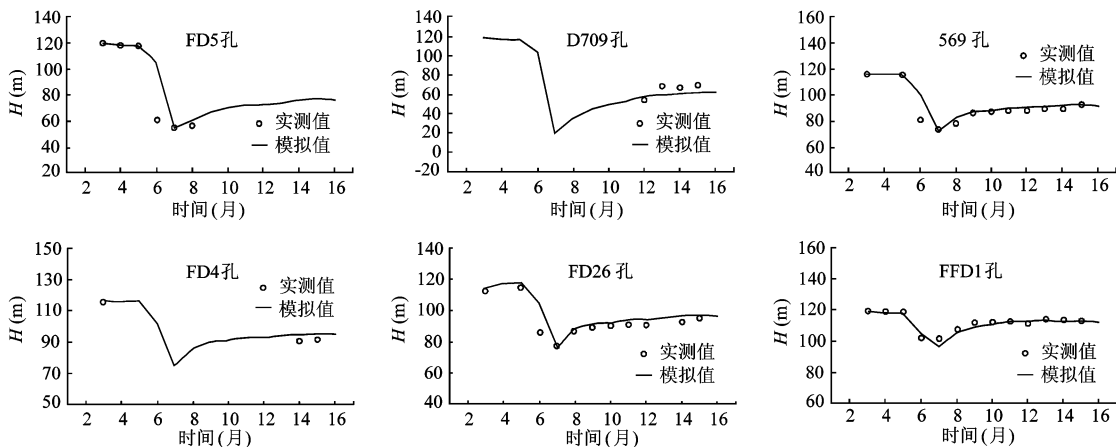


图 4 水位动态拟合曲线

Fig. 4 Fitting curves of water levels

通过模型识别, 模拟期间由四周边界进入中央区的流量为  $18.6 m^3/min$ , 主要补给断层有  $F_{11}$  断层中段,  $F_{10}$  断层东段,  $F_4$  断层。奥灰水以越流形式垂直补给大青灰岩的水量为  $6.4 m^3/min$ 。

56603 工作面突水具有水量大、水位降深大、时间长等特点, 是放水试验所不能比拟的。模型识别中各观测孔的模拟值与实测值拟合较好, 可以利用所建模

型进行有关预测。

### 3 疏降水量、水位预测

预测范围见图 3 中粗线框圈定的范围, 预测煤层为山青煤。

隔水层厚度的确定: 由钻孔资料, 山青煤底板至大青灰岩顶面间距最大  $50.45m$ , 最小  $45.63m$ 。断层落差

最大 2.2m。因此山青煤底板至大青灰岩顶面的最小间距为 43.43m。

为保证安全, - 100m 水平以下山青煤开采时,水压必须降到安全水头以下。安全水头的计算公式如下<sup>[10-12]</sup>:

$$c = \frac{P}{M} \tag{3}$$

式中:  $P$  ——底板承受的水压力 (Pa);

$M$  ——隔水层厚度 (m);

$c$  ——每米隔水层允许承受的水压力 (Pa/m)。

按下式计算安全水头压力:

$$P_1 = M_s \cdot c \tag{4}$$

式中:  $P_1$  ——理论安全水头压力 (Pa);

$M_s$  ——实际隔水层厚度 (m)。

通过安全水头压力即可换算出不同开采水平的安全水位。根据《峰峰矿务局防探水规程》,回采工作面  $c$  为 0.05 ~ 0.06MPa/m,本文取  $c = 0.06$  进行回采工作面安全水压的计算。通过计算, - 120m 水平安全水位为 97.15m, - 150m 水平安全水位为 67.15m, - 200m 水平安全水位为 17.15m。

分三个水平对开采范围内水位降到安全水位以下的疏降水量进行预测,结果见表 2。表中不同水平预测水量是指在现有矿井排水量基础之上,还需要增加的排水量。其中 - 150m 水平、- 200m 水平预测的流场图见图 5、图 6。

表 2 不同水平疏降水量预测

Table 2 Hydraulic discharge forecast of different mining levels

|        |                          |    |    |    |    |    |    |
|--------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|
| - 120m | 流量 (m <sup>3</sup> /min) | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
|        | 疏降时间 (d)                 | 18 | 10 | 8  | 6  | 4  | 3  |
| - 150m | 流量 (m <sup>3</sup> /min) | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|        | 疏降时间 (d)                 | 20 | 14 | 10 | 8  | 6  | 5  |
| - 200m | 流量 (m <sup>3</sup> /min) | 20 | 22 | 24 | 26 | 30 | 35 |
|        | 疏降时间 (d)                 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8  | 7  |

从预测结果来看,中央区大青灰岩含水层具有补给条件好、水量大、不易疏降的特点。为保证矿山的安全开采,通过对大青灰岩含水层采取疏水降压措施来开采 - 100m 水平以下山青煤,水位降深大,矿坑涌水量大。如开采 - 150m 水平山青煤,大青灰岩水位降深约 60m,开采 - 200m 水平山青煤,大青灰岩水位降深约 100m,矿坑涌水量将增加 14 ~ 35m<sup>3</sup>/min,若再加上目前的矿坑涌水量,矿坑总涌水量将达 50 ~ 70m<sup>3</sup>/min。因此 - 100m 水平以下山青煤开采难度较大,开采成本较高。

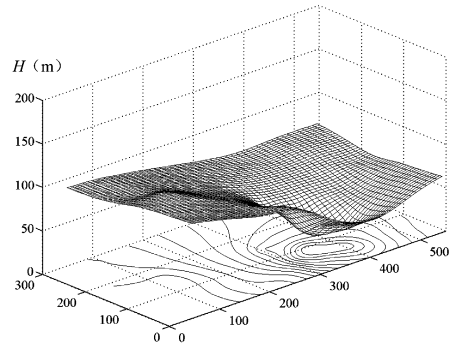


图 5 - 150m 水平预测流场图

Fig. 5 The forecasting flow field of - 150m level

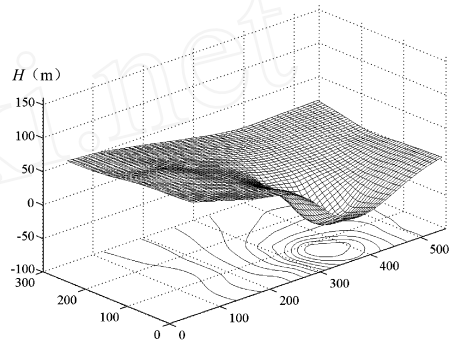


图 6 - 200m 水平预测流场图

Fig. 6 The forecasting flow field of - 200m level

### 4 结论

突水造成的经济损失是巨大的,但另一方面突水也提供了极其珍贵的水文地质资料。突水具有水流量大、水位降深大等特点。利用突水资料进行矿区地下水数值模拟,可以达到更好的数值仿真效果。

通过对 56603 工作面突水的数值模拟,对井田水文地质条件有了进一步的认识,五矿中央区以侧向补给为主,垂向越流补给为辅,主要补给断层有  $F_{11}$ 、 $F_{10}$ 、 $F_4$  断层,补给水源主要为奥灰岩溶水。

应用所建模型对疏降水量、水位进行预测,结果表明对大青灰岩含水层采取疏水降压措施来开采 - 100m 水平以下山青煤,水位降深较大,矿坑涌水量较大。- 100m 水平以下山青煤开采难度较大,开采成本较高。

### 参考文献:

[1] 刘唐生,邵爱军. 峰局五矿下组煤带压开采的可行性与建议[J]. 北京地质, 2001(1): 16 - 20.

- [ 2 ] 杨新安,程军,杨喜增. 峰峰矿区矿井突水分类及发生机理研究[J]. 地质灾害与环境保护,1999,10(2):24-29.
- [ 3 ] 邵爱军,陈玉霞,杨建勋,等. 内蒙古乌海热电厂水源地下水资源评价[J]. 自然资源学报,2008,23(1):127-135.
- [ 4 ] 邵爱军,彭建萍,陈华辰,等. 河北省栾城县地下水数值模拟[J]. 中国农村水利水电,2004,12:51-56.
- [ 5 ] 张蔚榛. 地下水与土壤水动力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996.
- [ 6 ] 薛禹群,谢春红. 地下水数值模拟[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [ 7 ] 邵爱军,张发旺,邵太升,等. 煤矿地下水[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [ 8 ] 李俊亭. 地下水流数值模拟[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [ 9 ] 李庆扬,王能超,易大义. 数值分析[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1991.
- [ 10 ] 房佩贤. 专门水文地质学[M]. 北京:地质出版社,1996.
- [ 11 ] 邵爱军,刘唐生,邵太升,等. 煤矿地下水与底板突水[M]. 北京:地震出版社,2001.
- [ 12 ] 马培智. 华北型煤田下组煤带压开采突水判别模型与防治水对策[J]. 煤炭学报,2005,30(5):608-612.

## Numerical simulation of water invasion of No. 5 Mine in the Fengfeng Coalfield

SHAO Tai-sheng<sup>1</sup>, SHAO Ai-jun<sup>2</sup>, PENG Jian-ping<sup>2</sup>

(1. *Fengfeng Group Ltd. Co., Handan 056001, China;*

2. *Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China*)

**Abstract:** Numerical simulation of groundwater flow and prediction of drainage in the No. 5 mine of the Fengfeng coal mine area are presented in this paper, using the data from a water invasion. A mathematical model of groundwater flow is built on the basis of the analyses of the hydrogeological conditions. The model is verified with the water invasion data. The measured and simulated water levels fit well during the model verification. The mine drainage is predicted using the established model. The results indicate that the coal mining below - 100 m will result in a large amount of drainage and relative high cost.

**Key words:** Fengfeng coal basin; water invasion of floor; numerical simulation; mine drainage; coefficient of water invasion

责任编辑:汪美华

信息·

### 地灾防灾避险科普宣传材料发放

中国地质环境监测院按照国土资源部的总体部署,在地质环境司的指导下,编制完成了100万张《地质灾害防灾避险宣传画》和50万份《地质灾害防灾避险宣传折页》,并已于近日发放到地质灾害易发、多发区的基层干部和广大群众手中。

这些宣传材料内容包括滑坡、崩塌、泥石流发生及其危害知识,地质灾害发生前兆,如何进行应急自救,防范和避让措施,简易监测方法和预警撤离途径等。宣传材料主题突出,画面图文并茂,文字通俗易懂,对增强基层干部和广大群众的防灾减灾和自救互救意识,具有极强的实用性和指导性。

范宏喜 供稿