

# 纳林河二号煤矿首采区煤矿涌水量 预测及其参数灵敏度分析

李秀娟<sup>1,2</sup>, 田国林<sup>3</sup>, 高小文<sup>1,2</sup>, 吕敬<sup>1,2</sup>, 郭逸<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室  
陕西 西安 710054; 3. 陕西地矿九〇八水文地质工程地质大队, 陕西 西安 710600)

**摘要:** [目的] 煤矿业开采规模与深度的不断增加导致煤矿水害事故发生, 故为确保煤矿安全高效开采, 必须对煤矿涌水量做充分预测研究。[方法] 依据研究区自然地理、地质条件, 并且结合富水性分布规律等, 充分认识煤矿水文地质条件。运用地下水流数值模拟方法, 针对纳林河二号煤矿首采区 3<sub>1</sub><sup>#</sup> 煤层, 建立起煤矿涌水量预测模型, 并选取各层渗透介质的水文地质参数进行灵敏度分析, 最终预测涌水量的大小。[结果] 首采区工作面采掘至第 5, 11 a 末时潜水位最大降深值分别为 32.30, 47.72 m, 3<sub>1</sub><sup>#</sup> 煤层顶板承压水位最大降深值分别为 530.37, 564.63 m; 煤矿涌水量分别可达 57 994, 86 240 m<sup>3</sup>/d。[结论] 首采区矿坑不断排水疏干, 降深越来越大; 模型参数对预测结果影响较大。

**关键词:** 矿坑涌水量; 水文地质条件; 地下水流数值模拟; 参数灵敏度分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)05-0309-06

中图分类号: P641

**文献参数:** 李秀娟, 田国林, 高小文, 等. 纳林河二号煤矿首采区煤矿涌水量预测及其参数灵敏度分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 309-314. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.052; Li Xiujuan, Tian Guolin, Gao Xiaowen, et al. Mining water yield forecast of initial minery and parameter sensitivity analysis in Nalinhe NO. 2 coalmine[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 309-314. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.052

## Mining Water Yield Forecast of Initial Minery and Parameter Sensitivity Analysis in Nalinhe NO. 2 Coalmine

LI Xiujuan<sup>1,2</sup>, TIAN Guolin<sup>3</sup>, GAO Xiaowen<sup>1,2</sup>, LÜ Jing<sup>1,2</sup>, GUO Yi<sup>1,2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region, Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 3. The 908 Brigade of Hydrogeology and Engineering Geology, Shaanxi Geology Mining Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710600, China)

**Abstract:** [Objective] The growing coal mining scale and depth easily lead to the occurrence of coalmine water disasters. Consequently, to assure coal mining in a safe and efficient way, mine water discharge is needed to be fully understood. [Methods] According to the physiographic, geological conditions of the researched area and water abundance distribution as well, this paper acquired a full knowledge of the hydrogeological condition of mines. By applying the groundwater flow numerical simulation to the 3<sub>1</sub><sup>#</sup> coal seam of the first mine area of the No. 2 coal mine of Nalinhe, this paper established a mine discharge forecast model and its sensitivity was analyzed by enumerating different hydrogeological parameters of the permeability media of all levels. Upon that, the amount of the mine discharge has been forecast. [Results] The groundwater table drop depths will be 32.30 m and 47.72 m respectively, the confined groundwater level drop depths will be 530.37 m and 564.63 m respectively, and the mine water yields will be 57 994 m<sup>3</sup>/d and 86 240 m<sup>3</sup>/d respectively at the ends of 5th and 11th year. [Conclusion] If the mine drainage in the first mining area is drained and the drop depth get more and more great, the selection of model parameters will have great influence on the prediction results.

**Keywords:** mine water inflow; hydrogeological condition; numerical simulation of groundwater flow; parameters sensitivity analysis

## 1 研究区概况

纳林河二号煤矿位于鄂尔多斯高原,属于半干旱温带大陆性季风气候,全年降水稀少,平均降水量为 396.0 mm<sup>[1-2]</sup>。2 号煤矿处无定河流域,区内共发育有无定河、纳林河以及臭沟河。研究区地貌总体属于高原沙漠地貌,南部小区域为丘陵地貌,最高点于纳林河与无定河交汇处。全区分布第四系风积沙,沙丘呈新月形或波状,基岩被全部覆盖,并未出露。区内植被稀疏,滩地面积较小,为半荒漠地区。纳林河 2 号煤矿煤层埋藏深度较大,属厚煤层开采矿区,且矿区自然条件恶劣,3<sup>#</sup> 煤层开采过程中受多层顶板水害威胁。根据历次地质勘探成果,煤矿煤层顶板承压含水层富水性弱至中等,局部较强,由于煤系地层为一典型曲流河沉积体系,隔水层存在不连续发育现象,为煤矿水害防治的不利因素<sup>[3]</sup>。

### 1.1 地下水类型及其特征

依据含水介质类型与赋存条件,研究区内地下水类型可分为第四系松散岩类空隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水。再根据其水力联系特征,区内有第四系松散岩类孔隙潜水和第四系松散岩类孔隙承压水,碎屑岩类孔隙裂隙潜水和碎屑岩类孔隙裂隙承压水。松散岩类孔隙水<sup>[4]</sup>主要赋存于第四系地层中,其渗透性较好,埋藏较浅,厚度一般,全区范围内均有分布;碎屑岩类孔隙裂隙水主要赋存于侏罗系—白垩系砂砾岩中,其渗透性小且各层差异性大,埋藏深,厚度大,全区范围内均有分布。

### 1.2 含水岩组水文地质特征

1.2.1 松散岩类孔隙水 第四系全新统冲洪积砂砾卵石层孔隙潜水含水岩组( $Q_4^{al+pl}$ )该含水岩组在区内河流的河床及河漫滩中均有分布,为河流相沉积,水位埋藏深度一般小于 3.0 m,单位涌水量一般为 3.7 L/(s·m),为较强富水。含水岩组水质良好,含水层与矿床间接充水关系。

1.2.2 第四系全新统风积砂层孔隙潜水含水岩组( $Q_4^{col}$ ) 该含水岩组在研究区广泛分布,为风积沉积,且结构松散,岩性为砂,颜色呈灰黄—黄褐色,粒度为粉细—中细粒,一般厚度不大于 30.0 m,水位埋藏深度一般不大于 3.0 m,单位涌水量介于 0.3~1.0 L/(s·m),为中等富水。含水岩组水质良好,含水层与矿床之间是间接充水关系。

1.2.3 第四系上更新统萨拉乌素组孔隙潜水含水岩组( $Q_3^{sal}$ ) 该含水岩组分布广泛,为冲湖积沉积,粒度较细,为粉砂—细砂,质地较为疏松,颜色呈黄色,

可见钙质结核,水平—斜状层理较为发育,含水层厚度平均可达 50.0 m,局部最厚可达 130.0 m。地下水位埋藏不大于 5.0 m,单位涌水量一般介于 1.0~5.0 L/(s·m),为较强富水。含水岩组水质良好,含水层与矿床间接充水关系。

1.2.4 碎屑岩类孔隙裂隙水 下白垩统志丹群( $K_1^z$ )孔隙潜水—承压水含水岩组该含水岩组埋藏较深,在研究范围内并无露头,其含水介质为砂岩,部分夹杂砂泥岩,粒度呈不同粒级。其厚度变化较大,一般厚度为 53.9~279.1 m,平均厚度可达 138.3 m,含水层厚度为巨厚层状。该含水层水位埋藏深度较深,一般为 25.0 m 左右,单位涌水仅为 0.009 4 L/(s·m),为弱富水。含水介质渗透性能也很差,渗透系数仅为 0.008 8 m/d,地下水水质较差,含水层与矿床间接充水关系。

1.2.5 中侏罗统安定组—直罗组碎屑岩类孔隙裂隙承压含水层岩组( $J_3^{an}$ ) 该含水岩组分为上下两个地层,其上部为安定组,含水介质为砂岩,颜色呈紫红—灰绿色,粒度为中粗粒,局部地段含水介质为砂泥岩夹杂粉—细砂岩。下部为直罗组,直罗组上下端分别为在 2 个不同的沉积环境中形成的,主要为河流沉积环境,直罗组又根据岩性分为上下两段,含水介质总体为砂岩,颜色呈青灰—浅黄色,粒度为中粗粒。上下含水岩组均分布广泛,但埋藏深,地表尚无露头。该含水岩组厚度较厚,一般厚度为 156.1~180.3 m,地下水埋藏深度较深,一般为 36.4~40.3 m,含水介质渗透性弱,渗透系数仅为 0.002 9 m/d,单位涌水量也较小,仅为 0.006 2 L/(s·m),为弱富水。含水层与其相邻含水层均有水力联系,与矿床呈直接充水关系且为主要充水水源。

1.2.6 下侏罗统延安组碎屑岩类孔隙裂隙承压含水层岩组( $J_1$ ) 该含水岩组广泛分布,主要是在三角洲沉积体系中沉积,岩层中砂地比变化较大。含水介质主要为砂岩,颜色呈灰色,粒度不等,地表未见露头点,含水岩组厚度大,一般厚度为 53.9~70.65 m,水位埋藏深度亦深,平均为 67.1 m,单位用水量较小,平均仅为 0.006 4 L/(s·m),呈弱富水性,含水介质渗透性能弱,渗透系数小,平均仅为 0.009 03 m/d,含水层水质总体良好。含水层与其相邻含水层均有水力联系,与其上覆含水层水力联系小,但该含水层与矿床呈直接充水关系,且为矿床的主要充水水源。

1.2.7 上三叠统延长组碎屑岩类孔隙裂隙承压含水层岩组( $T_3$ ) 该含水岩组下伏于延安组,埋藏深度

深,钻探尚未完全揭穿该层,揭露深度尚小于80 m。主要沉积为砂岩,颜色单一,为灰绿色,粒度为中粗粒。该层水位标高约为1 370.0 m,含水介质渗透性弱,渗透系数较小,为0.005 9 m/d,单位涌水量亦较小,仅为0.004 8 m/d,为弱富水含水岩组。水质较好,该含水层的渗透能力弱,故与上覆含水层的水力联系微弱,其与矿床为间接充水关系。

### 1.3 矿区补、径、排条件

研究区范围内潜水含水岩组共有4层,展布范围大,接受降水补给量较大,其他补给来源诸如侧向径流和下伏含水层的越流补给均较小。研究区内的3条河流,且河流切割较深,常年有水,地下水较高,因此,均排泄地下水,潜水其他排泄方式诸如人工开采,泉排泄量均较小。潜水流向受地形地貌影响和控制,自西北向东南方向流动,在无定河与纳林河交汇处排泄。

研究区承压含水岩组共4层,含水岩组埋藏均较深,地表尚无地质露头,与大气降水及地表水的水力联系均较小,接受补给也较少。其主要接受侧向径流补给,由于承压水水头较高,其与潜水的补给排泄关系在不同地段可以相互转换。承压水排泄以侧向径流为主,与潜水排泄方向相似,承压水一般由研究区东南方向通过侧向径流方式向外部排泄。

### 1.4 矿区充水情况分析

大气降水是矿床的间接充水水源;矿区内主要发育3条河流,地表水可通过入渗方式进入地下含水层,间接地成为矿床的充水水源;研究区主要发育3组含煤地层,分别为延长组、延安组以及直罗组。含煤地层含水岩组渗透系数较小,涌水量亦较小,为弱富水含水层,但因其水头较高,煤层开采时所承受的水压力也相对较大,因此对煤层开采有一定的威胁。

煤矿在开采过程中矿坑涌水主要来源于3<sub>1</sub><sup>#</sup>煤层之上的砂岩含水层,煤层开采过后形成冒落带,煤层上覆砂岩含水层中的水沿冒落带进入矿坑,出水形态主要为面状渗水,产生冒落带的含水层主要为煤层以上的延安组、直罗组一段下部。

## 2 矿区涌水量数值模拟

### 2.1 水文地质概念模型

采用地下水流数值模拟方法<sup>[5-6]</sup>,针对研究区建立煤矿涌水量预测模型<sup>[7-8]</sup>。研究区模拟预测建模范围为 $X'=10\ 400\sim 46\ 400\text{ m}$ , $Y'=1\ 300\sim 25\ 300\text{ m}$ ,平面面积864 km<sup>2</sup>,底部边界取在3<sub>1</sub><sup>#</sup>煤层底板高程之下约50 m处,顶部边界取在地表。研究区2个含水岩组概化为非均质各向异性多孔介质<sup>[9]</sup>,在研究区范围内,根据分水岭确定出模拟区的范围及边界。模拟区的上边界、下边界以及右边界为自然分水岭,可概化为零流量边界;左边界为人工边界,根据区域水文地质资料,将左边界左上段下部及左下段下部概化为定流量边界;模拟区3条河流均设为河流边界,边界处河流则设为定水头边界;模型底部设为隔水边界;采掘工作面作为煤矿排水的主要部位,设为排水沟边界;模型顶部则有降水入渗和蒸散发。模拟区补、径、排条件概化如上述所述,根据条件概化,构建水文地质概念模型。

### 2.2 概念模型数学描述

模拟区地下水流服从达西定律(Darcy's law),呈三维流态,根据承压水非稳定运动基本微分方程和潜水非稳定运动基本微分方程(布辛尼斯克 Boussinesq)方程,赋以相应的定解条件(初始条件、边界条件),根据水文地质概念模型,建立如下数学模型:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial H}{\partial t} \quad [t \geq 0, (x, y, z) \in \Omega] \\ H(x, y, z, 0) = H_0(x, y, z) \quad [(x, y, z) \in \Omega] \\ H(x, y, t) = H_{CD}, H_{GH}, H_{IJ}, H_{KL} \quad [t \geq 0, (x, y) \in CD, GH, IJ, KL] \\ -K \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{BC, DE, FG, HI, JA} = 0 \quad (t \geq 0) \\ -K \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{AB, EF} = q_{AB}, q_{EF} \quad (t \geq 0) \\ \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = 0 \quad (t \geq 0) \\ \left\{ \begin{array}{l} H \Big|_{\Gamma_1} = z \\ -(K+W) \frac{\partial H}{\partial z} + W \Big|_{\Gamma_1} = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \end{array} \right. \quad (t \geq 0, \text{潜水面}) \\ Q_D \Big|_S = C_D(H - H_D) \quad (t \geq 0, \text{首采区边界}) \\ Q_R \Big|_{R_1, R_2, R_3} = C_R(H_R - H_{RB}) \quad (t \geq 0, \text{河流边界}) \end{array} \right.$$

式中： $H$ ——水头(m)； $K$ ——渗透系数(m/d)； $S_s$ ——弹性释水率(1/d)； $x, y, z$ ——空间坐标变量(m)； $t$ ——时间变量(d)； $\Omega$ ——模拟区； $H_0$ ——模拟区初始流场(m)； $CD, GH, IJ, KL$ ——定水头边界； $BC, DE, FG, HI, JA$ ——零流量边界； $AB, EF$ ——定流量边界； $n$ ——各边界面的外法线方向； $q$ ——定流量边界流量( $m^3/d$ )； $\Gamma_1$ ——潜水面边界； $\Gamma_2$ ——隔水底板边界； $W$ ——降水入渗补给强度( $m^2/d$ )； $\mu$ ——给水度； $Q_D$ ——采空区涌水量( $m^3/d$ )； $Q_R$ ——河流渗漏量( $m^3/d$ )； $C_D$ ——采空区渗透性能参数( $m^2/d$ )； $C_R$ ——河床渗透性能参数( $m^2/d$ )； $H_D$ ——采空区排水标高(m)； $H_R$ ——河流水头(m)； $H_{RB}$ ——河床底面水头(m)。

### 2.3 三维几何模型

模型层应根据模拟区的实际地层来划分,其地层主要为中生界和新生界地层,中生界地层由下到上为下侏罗统延安组( $T_3^x$ )、中侏罗统直罗组( $J_2^z$ )、中侏罗统安定组( $J_2^a$ )、下白垩统志丹群( $K_1^h$ )；新生界地层由下到上为新近系上新统保德组( $N_2^b$ )、第四系上更新统萨拉乌苏组( $Q_3^s$ )、第四系全新统冲湖积物( $Q_4^{all}$ )、第四系风积沙( $Q_4^{sol}$ )。同时,为了模拟首采区 $3_1^{\#}$ 煤层连续开采时所形成的冒落带和导水裂隙带,将煤层

顶板以上延安组平分为 2 个模型层,再在直罗组一段底板以上 20 m 处将直罗组一段划分为 2 各模型层。分层标高主要根据以往地质勘探所获得的钻孔资料,将各钻孔地层划分数据进行分层整理。因此,模型共划分为 11 个模型层,分层标高数据,运用地学制图软件 Surfer 将各分层数据整合,即得到模拟区的三维几何模型。

根据首采区 $3_1^{\#}$ 煤层开采接续计划,将模型模拟期设为 132 个自然月(11 a),划分成 132 个应力期。根据以往地质勘探所获得的钻孔资料,将各钻孔地层划分数据进行分层整理最终获得各分层标高。

### 2.4 三维水文地质模型

模拟区边界条件如上所述,根据模拟区地貌特点以及地质勘探资料,将模拟区划分为滩地区、沙漠区和河谷区 3 个分区,在模型中加入大气降水入渗补给量、凝结水补给量、蒸发排泄量。根据历次地质勘探所获得的水文地质资料,将抽水试验钻孔资料分层  $Q_{3+4}$  整理,结合地形地貌以及岩相古地理特征,并充分考虑工作面采掘开始后冒落带(导水裂隙带)的形成范围,经过参数分区,将模型中 11 个模型层共划分成 21 个参数区,其中,弹性释水率  $S_s$  全部为  $1.00 \times 10^{-6}$  (L/m) 外,其余各参数区的参数取值见表 1<sup>[10]</sup>。

表 1 各参数分区参数取值一览表

含水岩组	分区编号	渗透系数 $K/(m \cdot d^{-1})$		给水度 $\mu$	位置
		$K_x = K_y$	$K_z$		
$Q_{3+4}$	1	0.02	0.002	0.2	沙漠区
	2	0.9	0.09	0.2	滩地区
	3	0.313 3	0.031 33	0.2	沙漠区
	4	0.663	0.066 3	0.2	沙漠区
$N_2^b$	5	0.01	0.001	0.2	—
$K_1^h$	6	0.098 29	0.009 829	0.005	—
	7	0.367 07	0.036 707	0.005	—
$J_2^a$	8	0.008 272	0.000 827 2	0.005	—
$J_2^z$	9	0.056 79	0.005 679	0.005	古河道
	10	0.08	0.008	0.005	古河漫滩
$J_2^z$	11	0.056 79	0.005 679	0.005	古河道
	12	0.08	0.008	0.005	古河漫滩
	19	0.05	0.005	0.005	冒落带①
$J_1^x$ (煤上)	13	0.029 73	0.002 973	0.01	古河道
	14	0.008 135	0.000 813 5	0.01	古河漫滩
	20	0.10	0.01	0.01	冒落带②
	21	0.15	0.015	0.01	冒落带③
$3_1^{\#}$ 煤	15	0.003	0.000 3	0.005	—
$J_1^x$ (煤下)	16	0.009 05	0.000 905	0.01	古河道
	17	0.001 445 5	0.000 144 55	0.01	古河漫滩
	18	0.006 337	0.000 633 7	0.01	—

对于上述三维水文地质模型,采用 MODFLOW 软件进行计算,计算过程中运用迭代(Iteration)计算程序 MODFLOW 2005 进行求解,水位收敛标准(Head Change)为 0.1 mm,计算精度满足模拟标准<sup>[12-13]</sup>。

### 3 计算结果

#### 3.1 对地下水位的影响

模拟计算,由于工作面开采接续,矿坑不断排水疏干,模拟区出现了以工作面为中心的降落漏斗,且

随着时间的推移向四周逐渐扩大,降深也越来越大。经过统计,首采区工作面采掘至第 5,11 a 末潜水最大降深分别可达 32.30,47.72 m。潜水不同水位下降范围的影响面积随时间变化情况如表 2 所示,潜水水位最大降深的发展趋势如图 1 示。

根据实际需要,本节仅对 3# 煤层顶板(模型层第 9 层)水位的采动影响进行分析(表 3)。经过统计计算得出,首采区工作面采掘至第 5,11 a 末 3# 煤层顶板承压水水位最大降深值分别为 530.37,564.63 m。

表 2 采动作用下潜水不同水位下降范围的影响

时间/a	不同水位下降影响面积/km <sup>2</sup>							最大降深/m
	>0.1 m	>3 m	>6 m	>10 m	>15 m	>20 m	>25 m	
1	186.607 8	25.974 5	11.104 8	3.466 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	12.440 8
2	249.140 6	38.003 3	21.004 9	10.270 7	3.827 8	0.000 0	0.000 0	19.242 9
3	276.644 8	46.359 2	28.166 9	16.221 2	7.828 2	3.317 5	0.000 0	24.770 3
4	294.911 1	53.406 1	33.901 2	21.573 4	12.165 6	6.399 5	2.504 5	29.028 3
5	320.604 3	59.671 0	38.657 8	25.933 6	16.229 8	9.656 0	5.098 4	32.300 4
6	336.930 9	65.570 6	43.488 6	29.936 6	19.931 2	13.109 4	7.893 0	35.216 7
7	347.661 8	71.352 5	47.686 4	34.014 8	23.765 8	16.459 0	11.065 3	38.036 3
8	356.800 4	77.035 5	51.766 4	37.585 9	27.167 1	19.606 0	14.219 2	40.664 1
9	370.689 8	81.923 7	56.207 1	40.523 6	30.049 5	22.515 3	16.836 5	43.113 1
10	377.313 2	86.079 4	59.692 0	43.250 9	32.591 2	24.985 0	19.246 2	45.473 7
11	383.759 4	89.105 3	62.373 8	45.121 6	34.571 7	26.814 4	21.170 2	47.716 2

表 3 采动作用下 3# 煤层顶板承压水不同水位下降范围的影响

时间/a	不同水位下降范围影响面积/km <sup>2</sup>							最大降深/m
	>0.1 m	>10 m	>50 m	>100 m	>150 m	>300 m	>500 m	
1	394.376 6	61.365 2	15.735 4	8.293 8	4.511 3	0.946 8	0.000 0	403.559 4
2	434.664 6	77.239 8	24.701 7	14.160 8	8.474 4	2.541 0	0.000 0	472.355 8
3	459.661 8	89.123 5	30.300 2	18.996 7	11.820 8	4.259 8	0.147 0	501.252 4
4	475.596 6	98.217 8	34.434 9	23.344 4	14.818 0	6.089 4	0.677 1	520.571 8
5	491.264 2	106.122 5	38.381 7	26.199 8	18.225 9	7.812 7	0.955 9	530.368 1
6	510.280 7	113.573 5	42.087 3	28.965 1	21.065 4	9.703 6	1.260 2	537.118 3
7	522.356 4	120.700 5	45.863 5	31.723 0	23.132 2	11.800 2	2.724 6	540.162 7
8	541.808 6	126.669 3	49.148 5	34.614 8	25.387 8	14.400 9	4.266 4	543.445 5
9	551.632 9	132.536 4	52.405 0	36.631 8	27.319 6	16.061 4	6.108 8	558.107 2
10	558.611 3	136.901 1	55.056 5	38.870 2	28.831 7	17.013 8	7.402 0	563.159 8
11	564.094 9	140.305 7	56.493 5	40.058 8	29.673 5	17.433 9	8.279 5	564.633 8

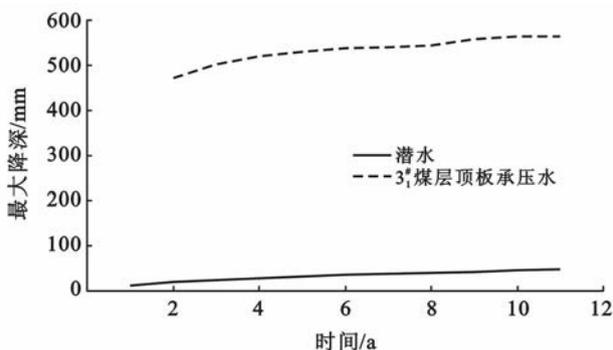


图 1 采动作用下最大降深发展趋势

#### 3.2 煤矿涌水量预测

首采区工作面采掘过程中,矿坑涌水的直接来源为导水裂隙带(冒落带),对模型第 7,8,9 层的导水裂隙带进行涌水量分析与预测。经过模型模拟计算及数据统计分析,导水裂隙带在整个采掘期内的涌水量随着工作面的采掘推进逐渐增大,首采区工作面采掘至第 5,11 a 末时煤矿涌水量分别可达 57 994 m<sup>3</sup>/d (2 416.42 m<sup>3</sup>/h),86 240 m<sup>3</sup>/d (3 593.33 m<sup>3</sup>/h)。整个采掘期采动作用下矿坑涌水量随时间变化情况如表 4。

表 4 采动作用下矿坑涌水量随时间变化

年份	0	1	2	3	4	5
涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	0	23 259	34 461	42 891	50 896	57 994
涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	0	969.125	1 435.875	1 787.125	2 120.667	2 416.417
年份	6	7	8	9	10	11
涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	64 911	72 101	78 861	83 163	85 784	86 240
涌水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	2 704.625	3 004.208	3 285.875	3 465.125	3 574.333	3 593.333

## 4 灵敏度分析

为使模型更加准确模拟研究区,需要研究主要影响模型模拟结果的参数,使模拟过程减少不必要的误差,故需进行模型的参数灵敏度分析<sup>[14-15]</sup>。

采用参数灵敏度分析的方法,确定出涌水量大小的可能范围时,所考虑的参数为 10 大类,分别为: $Q_{3+4}$ (第一层)渗透系数、给水度、弹性释水率; $N_2^b$  渗透系数、给水度、弹性释水率; $K_1^l$  渗透系数、给水度、弹性释水率; $J_2^l$  渗透系数、给水度、弹性释水率; $J_2^u$  和  $J_2^d$  渗透系数、给水度、弹性释水率; $J_1^u$  上和  $J_1^d$  下渗透系数、给水度、弹性释水率;冒落带 1,冒落带 2,冒落带 3 渗透系数、给水度、弹性释水率。对每组所选参数分别单独乘以 5 与 0.2(即该组参数放大 5 倍和缩小 5 倍),而其他参数保持不变,计算参数变化后引水隧洞涌水量的大小及其随施工进度变化。

根据各组参数的灵敏度分析结果,当计算参数发生变化时,矿坑涌水量也发生相应的变化,涌水量或增大或减小。各岩性段的渗透系数对矿坑涌水量均有影响,其中直罗组渗透系数对矿坑涌水量影响最大。当各渗透系数均取大值时,矿坑总涌水量可增大 1 倍以上。第一层( $Q_{3+4}$ ), $N_2^b$  以及冒落带 1 的渗透系数变化对矿坑涌水量影响较小,其中  $N_2^b$  的影响最不明显;直罗组、延安组的渗透系数变化对矿坑涌水量影响较大,其中直罗组的影响最明显,其影响如图 2 所示。

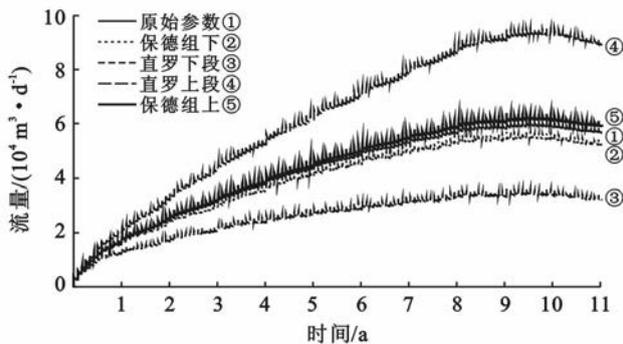


图 2 渗透系数变化对矿坑涌水量的影响

## 5 结论

首采区工作面采掘过程中,由于工作面开采接续,矿坑不断排水疏干,模拟区出现了以工作面为中

心的降落漏斗,且随着时间的推移向四周逐渐扩大,降深也越来越大。经过模拟预测,计算数据统计与分析,首采区工作面采掘至第 5,11 a 末时潜水位最大降深值分别为 32.30,47.72 m,第 5,11 a 末时 3<sup>#</sup> 煤层顶板承压水位最大降深值分别为 530.37,564.63 m。导水裂隙带在整个采掘期内的涌水量随着工作面的采掘推进逐渐增大,首采区工作面采掘至第 5,11 a 末时煤矿涌水量分别可达 57 994  $\text{m}^3/\text{d}$  (2 416.42  $\text{m}^3/\text{h}$ ),86 240  $\text{m}^3/\text{d}$ (3 593.33  $\text{m}^3/\text{h}$ )。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 黄文辉,敖卫华,翁成敏,等.鄂尔多斯盆地侏罗纪煤的煤岩特征及成因分析[J].现代地质,2010,24(6):1186-1197.
- [2] 张泓,白清昭.鄂尔多斯聚煤盆地的形成及构造环境[J].煤田地质与勘探,1995,23(3):1-9.
- [3] 樊振丽.纳林河复合水体下厚煤层安全可采性研究[D].北京:中国矿业大学,2013.
- [4] 赵春虎.蒙陕矿区采煤对松散含水层地下水资源影响的定量评价[J].中国煤炭,2014,40(3):30-34.
- [5] 薛禹群.地下水数值模拟[M].北京:地质出版社,2007.
- [6] 李俊亭.地下水数值模拟[M].北京:地质出版社,1989.
- [7] 徐高强.山西省煤矿区煤矿涌水量预测模型研究[D].太原:太原理工大学,2008.
- [8] 潘志.煤矿涌水量的数学模型与预测[J].宁夏大学学报:自然科学版,1998,19(3):229-232.
- [9] 喻永祥.应用地球物理方法刻画含水层非均质特性及推求水文地质参数[D].南京:南京大学,2006.
- [10] 叶淑君,吴吉春,薛禹群.多尺度有限单元法求解非均质多孔介质中的三维地下水流问题[J].地球科学进展,2004,19(3):437-442.
- [11] 金菊良,朱春龙.水文地质模型参数估计的一种数值方法[J].长春科技大学学报,1998,28(2):176-179.
- [12] Harbaugh A W. MODFLOW-2005, the US Geological Survey Modular Ground-Water Model: The Ground-Water Flow Process[M]. Reston: US Department of the Interior, US Geological Survey, 2005.
- [13] Trefry M G, Muffels C. FEFLOW: A finite-element ground water flow and transport modeling tool[J]. Ground Water, 2007,45(5):525-528.
- [14] 吴雯倩,靳孟贵.淮北市地下水流数值模拟及水文地质参数不确定性分析[J].水文地质工程地质,2014,41(3):21-28.
- [15] 王纲胜,夏军,陈军锋.模型多参数灵敏度与不确定性分析[J].地理研究,2010,29(2):263-270.