

淮南张集煤矿灰岩含水层数值模拟及涌水量预测

许成成,许光泉,张海涛

(安徽理工大学地球与环境学院,安徽淮南 232001)

[摘要]为了正确评价淮南煤矿张集煤矿灰岩含水层对煤层开采的影响,探明详细的水文地质条件,本文利用-536 m水平放水成果资料,利用GMS建立了张集煤矿C₃I组灰岩含水层水文地质模型及其数值模型,经识别和验证后,获得了灰岩含水层水文地质参数,并结合“突水系数”,进行数值模拟分析,计算水文地质参数,预计灰岩疏水量,并利用数值模拟参数分别模拟计算了-536 m、-565 m水平、-566 m水平的安全开采下的疏放量。此次计算结果为张集煤矿采煤过程中灰岩水的防治提供了一定借鉴。

[关键词] 多阶段放水试验 灰岩含水层 数值模拟 涌水量预报 张集煤矿

[中图分类号] TD745.21 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2019)06-09

Xu Chengcheng, Xu Guangquan, Zhang Haitao. Numerical simulation of limestone aquifers and discharge prediction in the Zhangji coal mine of Huainan[J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(6): 1491-1499.

0 引言

随着经济的不断发展,能源利用问题日益受研究者关注(崔荣国等,2018)。资源利用可以分为水能、风能、矿产等方面(闫军印和齐阔,2018)。其中,煤矿资源利用是当今不可或缺的能源之一(吴基文和赵志根,2010;袁亮,2019),而由于灰岩含水层突水问题一直是煤矿开采安全的重要关注点(李忠建等,2010;田广和王晓波,2014)。相关学者、煤矿开采工作者就煤矿开采含水层问题也做了一些研究(Chen and Jiang, 2010; Wu and Zeng, 2013; Altus and Christian, 2016),总结了地下水数值模拟现有研究方法的不足,为地下水数值模拟的发展提供了指导方向(薛禹群,2010),对于煤层顶板突水的问题,“三图-双预测法”的提出对煤层顶板防治水工作具有十分重大意义(武强等,2000,2016);对于煤层底板突水,很多学者就各研究矿区实测数据进行了地下水数值模拟计算(李振华等,2009;邵太升等,2014;赵雨晴等,2014;Xue et al., 2018)。综合考虑矿井周边环境,地下水数值模拟的应用受到多方面因素限制(翟远征等,2010;吴雯倩和靳孟贵,2014),因此数值模拟的广泛应用仍需进一步推广

(顾文龙等,2015)。为了更加明确突水水源、各个含水层之间的水力联系,评判工作面安全回采的最低可行度,并预计算工作面涌水量与时间(李青元等,2016),本文利用以往放水试验数据(许光泉等,2002;许光泉和沈慧珍,2004),初期对水位、水压、水量分析,最后利用数值模拟软件进行模拟计算(李志有和赵大伟,2014),对模拟区域进行了初步的参数分区,为矿区开采水文地质条件提供基础资料。

1 研究区概况

1.1 地质概况

张集煤矿属于华北煤田南缘的淮南潘谢矿区,处于阜-凤推覆体下盘,矿区受一定程度的构造作用(张泓等,2003;桂和荣等,2005),新生界松散层几乎覆盖全区,下部发育灰岩煤系地层(韩堂惠等,2011),出露寒武系、奥陶系、石炭系及二叠系煤系地层等(彭苏萍等,2004)。主要煤层分布在二叠系煤系地层中,研究区可开采的煤层有12层,厚度总计约27m,其中主要的可采煤层平均总厚19.10m。依据现有勘探等资料,研究区共确定断层约778条,其中正断层752条,逆断层26条;9条较大断层落差大

[收稿日期] 2018-11-30; **[改回日期]** 2019-04-22; **[责任编辑]** 陈伟军。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(编号:41572147)资助。

[第一作者] 许成成(1994年-),女,在读硕士研究生,从事水文地质与水资源方面的研究。E-mail:1647203047@qq.com。

于 100m, 50m ~ 100m 的 1 条, 20m ~ 50m 的 12 条, 5m ~ 20m 的 210 条, 落差小于 5m 的 546 条(图 1)。

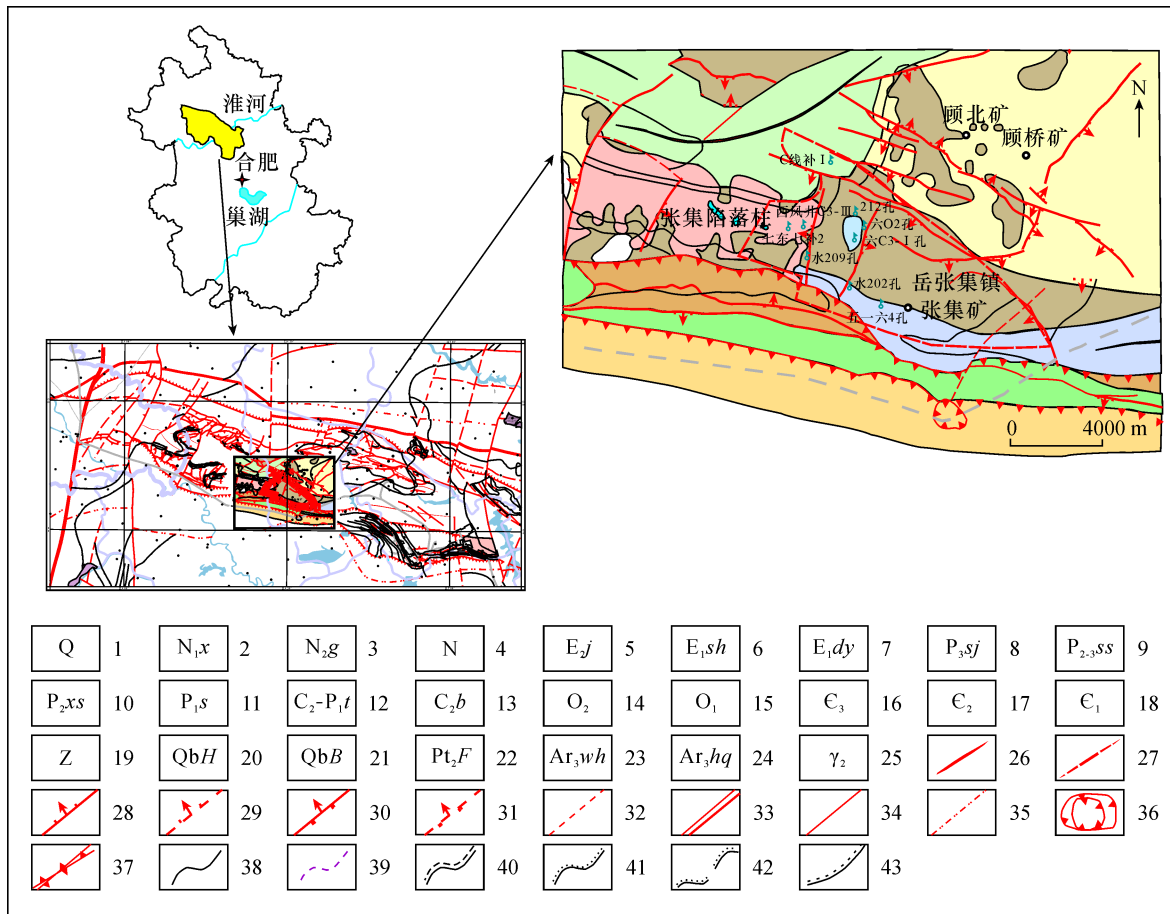


图 1 张集煤矿水文地质概况

Fig. 1 General hydrogeology situation of the Zhangji coal mine

1 - 第四系; 2 - 下草湾组; 3 - 桂五组; 4 - 新近系; 5 - 界首组; 6 - 双浮组; 7 - 定远组; 8 - 孙家沟组; 9 - 上石盒子组; 10 - 下石盒子组; 11 - 山西组; 12 太原组; 13 - 本溪组; 14 - 中奥陶统; 15 - 下奥陶统; 16 - 上寒武统; 17 - 中寒武统; 18 - 下寒武统; 19 - 震旦系; 20 - 淮南群; 21 - 八公山群; 22 - 凤阳群; 23 - 五河群; 24 - 霍邱群; 25 - 混合花岗岩; 26 - 背斜轴; 27 - 向斜轴; 28 - 实测正断层; 29 - 推断正断层; 30 - 实测逆断层; 31 - 推断逆断层; 32 - 性质不明断层; 33 - 壳断层; 34 - 区域性断层; 35 - 隐伏或物探推断断层; 36 - 飞来峰构造; 37 - 实测逆冲断层; 38 - 实测整合地层界线; 39 - 推断整合地层界线; 40 - 实测平行不整合地层界线; 41 - 实测不整合地层界线; 42 - 推断不整合地层界线; 43 - 推断平行不整合地层界线

1 - Quaternary; 2 - Xiaocaowan Group; 3 - Guiwu Group; 4 - Neogene; 5 - Jieshou Group; 6 - Shuangfu Group; 7 - Dingyuan Group; 8 - Sunjiagou Group; 9 - Shangshihezi Group; 10 - Xiashihezi Group; 11 - Shanxi Group; 12 - Taiyuan Group; 13 - Benxi Group; 14 - Middle Ordovician; 15 - Lower Ordovician; 16 - Upper Cambrian; 17 - Middle Cambrian; 18 - Lower Cambrian; 19 - Sinian; 20 - Huainan Group; 21 - Bagongshan Group; 22 - Fengyang Group; 23 - Wuhe Group; 24 - Huoqiu Group; 25 - granite; 26 - anticline; 27 - bevel axis; 28 - measured normal fault; 29 - inferred normal fault; 30 - measured reverse fault; 31 - inferred reverse fault; 32 - unknown fault; 33 - shell fault; 34 - regional fault; 35 - hidden or geophysical inferred fault; 36 - klippe structure; 37 - measured thrust fault; 38 - measured integration of strata boundaries; 39 - inferred integration of strata boundaries; 40 - measured parallel unintegrated strata boundary; 41 - measured unconformity stratigraphic boundaries; 42 - inferred unconformity stratigraphic boundaries; 43 - inferred parallel unconformity stratigraphic boundaries

1.2 水文地质条件

张集煤矿受沉积环境、构造等制约, 地下水运动形成了由浅层潜水过渡到深层承压水类型, 在垂向上, 水质分布存在一定规律(钱家忠等, 2004), 水平运动是地下水流动的主要方式, 垂向上部分水流运动为辅助, 水源补给在浅层部位较为丰富, 深层区域水

源补给不足, 存在少水、无水补给的现象, 具体如下:

二叠系煤层之间的砂岩裂隙含水层组: 煤层顶板、底板开采过程中砂岩裂隙水为主要水源, 但由于研究区砂岩含水层中间隔有泥岩, 起到隔水作用, 使得与上覆松散含水层及下伏太原组灰岩含水层之间水力联系减弱。开采后, 产生“二带”裂隙高度, 存在

水力联系,地下水补给条件差,以储存量形式赋存。

太原组灰岩含水层:平均距离1煤层厚约16.6m,由于灰岩水头压力较大,超过了1煤底部岩层允许承受的最大水压值,因此,1煤底板直接充水水源均来自太原组灰岩含水层。

奥陶系灰岩含水层:由于研究区构造发育,该层通过断层、裂隙以及陷落柱通道与上层太原组含水层存在一定的水力联系,此现象在灰岩露头区更为常见。

2 灰岩含水层数值模拟

2.1 水文地质概念模型

研究区内 C_3 I 组灰岩露头处覆盖有 10.2 ~ 32.1m 厚的新生界黏土隔水层,因此,该含水层不与上覆新生界松散含水层发生水力联系;灰岩露头区的侧向补给、导水断层以及和岩溶裂隙的越流补给是 C_3 I 组灰岩含水层主要补给来源。研究区内奥陶系灰岩东部边界与外部补给源存在一定的水力联系,将其视为一类补给边界;北部以张集矿界外延 100m 为界,可以接受大气降水、地表水和第四系潜水的补给,所以将其定为一类补给边界;西部以陈桥断层为界、由于陈桥断层为隔水断层,故定为二类流量(隔水)边界,南部以阜李断层为界,由于阜李断层为隔水断层,故定为二类流量(隔水)边界。

2.2 数学模型

按照上述的水文地质概念模型,建立了相应的

数学模型,具体为:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}(k_{xx}\frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_{yy}\frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_{zz}\frac{\partial H}{\partial z}) + W - P = S_s \frac{\partial H}{\partial t} \\ (x, y, z) \in \Omega \\ H(x, y, z, 0) = H_0(x, y, z) \quad (x, y, z) \in \Omega \\ H(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = H(x, y, z) \quad (x, y, z) \in \Gamma_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{zz} — x, y, z 轴上的渗透系数(m/d);

H 、 H_0 —地下水水头标高和初始水头标高(m);

W —含水层补给量;

P —疏放水量;

S_s —多孔介质的弹性释水率(1/m);

t —时间(d); Γ_1 —一类边界; Ω —模拟区域。

2.3 模型识别与验证

模拟区域属于各向异性、三维、非稳定的承压含水层,从而建立数值模型,使用有限差分法,利用 GMS 软件中 MODFLOW 模块进行数值模拟计算。

(1) 空间及时间离散

根据研究区内 C_3 I 组灰岩含水层结构特征,将研究区剖分为 100 列、100 行,共 10000 个单元。模拟时间确定为 2016 年 2 月 5 日 14 时至 2016 年 3 月 31 日 9 时,共计 1330 小时。本次放水试验按照先后顺序共分为四个阶段,因此本次模拟时间主要依据阶段划分,共 24 个应力期(表 1)。

表 1 模拟区时间离散统计
Table 1 Time discrete statistics of simulated area

	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段
水压变化时间段	2月5日14时~ 3月4日9时13分	3月4日9时13分~ 3月12日9时	3月12日8时30分~ 3月19日11时11分	3月19日11时11分~ 3月31日9时
历时	667小时47分	191小时47分	170小时41分	455小时49分
应力期数目	7	4	5	8

(2) 水文地质模型识别与检验

识别阶段采用观测孔有:西风井 C_3 I 孔,六—六西 C_3 I 孔,六—七补 2 孔,六西西补 2 孔,补 Y1 孔,西风井 C_3 II 孔,识别时间段选择放水试验第一、第二、第三阶段,验证阶段选择的观测孔为西风井 C_3 I 孔,六—六西 C_3 I 孔,六—七补 2 孔,六西西补 2 孔,补 Y1 孔,验证时间段选择放水试验第四段。

通过对四个阶段选择的观测孔不断拟合,并结

合整个流场的水量均衡关系,通过对比分析,观测孔的模拟水位值与观测值二者之间误差小于 8%,其中六—七补 2 孔(C_3 I)存在一些偏差,但在允许范围内(图 2、图 3 和图 4)。

(3) 水文地质参数分区

由于北部、东部边界条件属于人为划定,模型在运行中存在一些不确定因素影响参数,给模型参数识别带来一定的困难(陈彦和吴吉春,2005)。正如前文所述数值模拟过程中影响参数识别因素很多,

本文为尽量减少不确定因素的影响,在模型的运行中,试估校正为主要使用方法,确保模拟所得的最终结果水位、水量、参数尽量符合实际生产情况(卢文喜,2013)。采用配线法、Jacob 直线法两种方法分别利用 C_3 I、六西 C_3 I、六-六西 C_3 I、西风井 C_3 I 等抽水试验数据, C_3 I 组稳定抽水量为 $0.0022 \sim 9.66 \text{ m}^3/\text{h}$,水位降深 $15.71 \sim 75.06 \text{ m}$,渗透系数 $K = 0.000138 \sim 0.03475 \text{ m/d}$,单位涌水量 $q = 0.000045 \sim 0.1022 \text{ L/(s} \cdot \text{m)}$,富水性弱-中等。本文利用初期

开采时的井下观测资料,初步对模拟层参数进行赋值,确定本次模型中参数初始值,选取 2016 年 3 月 19 日至 2016 年 3 月 31 日作为模拟时间,利用研究区井上、下 C_3 I 组灰岩水位(压)观测孔对模型进行检验和修正,最终得出研究区内各参数分区以及渗透系数大小(见表 2)。然后根据已有的抽(放)水试验单孔涌水量资料以及地质构造条件、水文地质条件、数值模拟结果(唐依民和肖江,2001),模拟区最终分为 8 个参数区(图 5)。

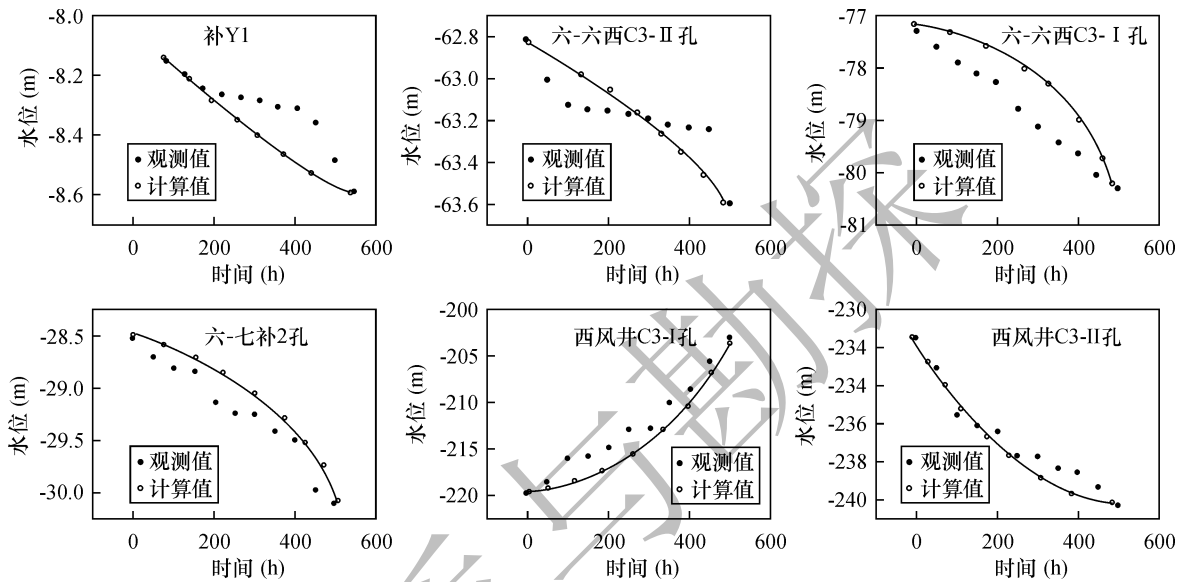


图2 模拟识别阶段观测孔水位拟合曲线

Fig.2 Water level fitting curves of the observation holes in simulation identification stage

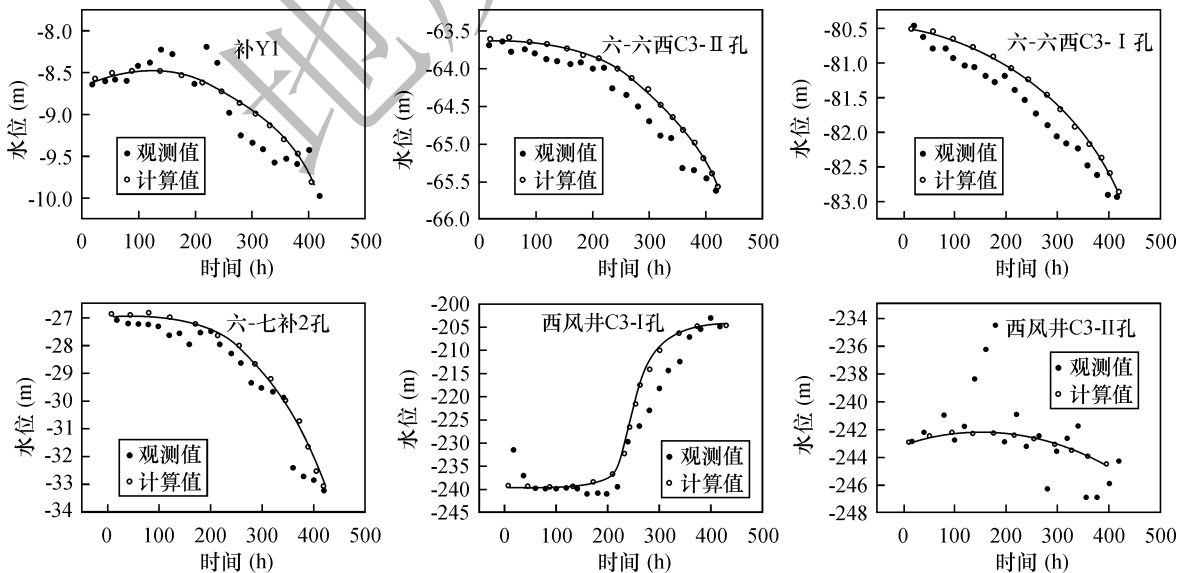


图3 验证阶段观测孔水位拟合曲线

Fig.3 Water level fitting curves of observation holes in the verification stage

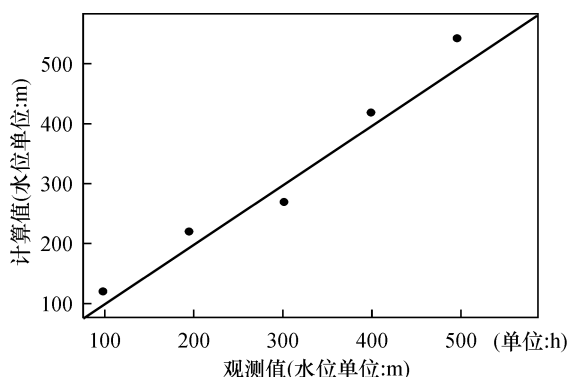


图4 计算值和观测值对比分析

Fig. 4 Comparative analysis between calculated and observed values

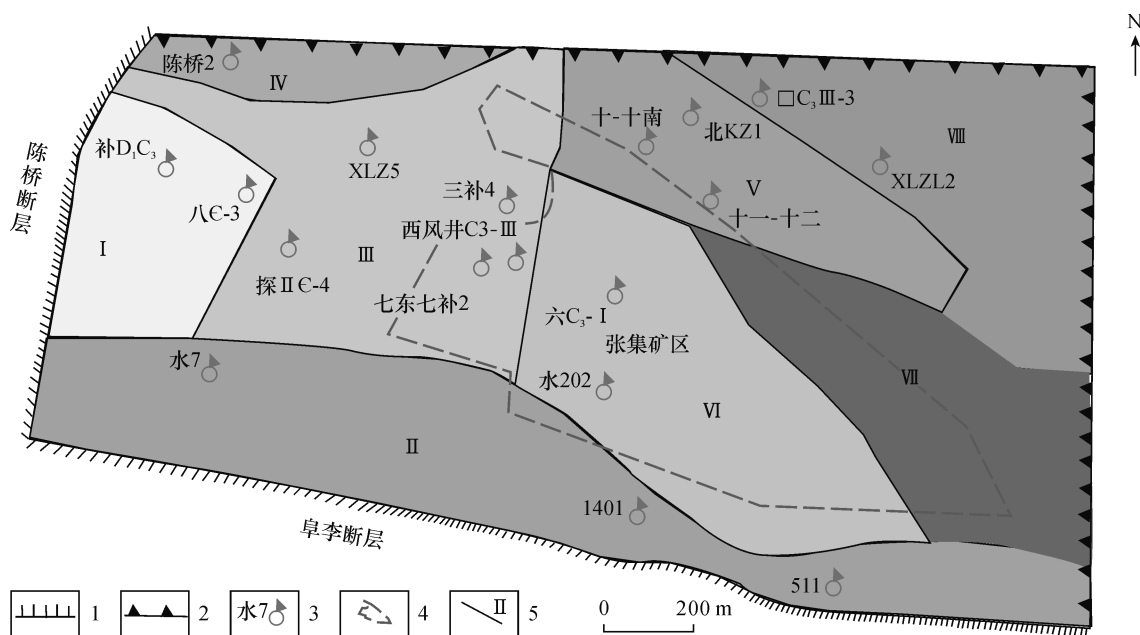


图5 模拟区水文地质参数分区

Fig. 5 Division of hydrogeological parameters of the simulated domain

1 - 隔水边界; 2 - 流量边界; 3 - 观测孔及编号; 4 - 矿区边界; 5 - 分区边界及编号

1 - water barrier boundary; 2 - traffic boundary; 3 - observation hole and number; 4 - mining boundary; 5 - partition boundary and number

表2 各分区渗透系数和单位涌水量
Table 2 Hydraulic conductivity and water inflow in different zones

分区编号	渗透系数 K (m/d)	单位涌水量 q (L/(s·m))
I	0.00056	0.14
II	15.82	1.276
III	0.000138	0.00001004
IV	0.015	0.124
V	0.017	0.0032
VI	0.0121	0.0055
VII	0.00109	0.00074
VIII	0.273	1.181

本次放水试验四个阶段的资料显示,由 C_3^3 上 - 1 孔出水后,张集矿与谢桥矿各灰岩含水层观测孔

水位下降显著,地下水位呈现出明显的降落漏斗,表明张集矿井范围内各含水层之间水力联系较为密切,且程度不一。 C_3^3 上 - 1 孔出水水源主要来自奥陶系灰岩水,其次为寒武系灰岩水,而石炭系太原组灰岩水不是其主要水源。太原组灰岩受到底部灰岩水垂向补给,但补给条件差。在模拟区内,太原组 C_3^1 与 C_3^2 、 C_3^3 之间水力联系较为密切,但与奥陶系、寒武系含水层之间联系较差;在 C_3^1 组灰岩含水层内部,由于岩溶裂隙发育非均匀性特征,内部存在不同程度的水力联系;抽水试验过程中,不同含水层的地面观测孔水位变化较为敏感,反映了在灰岩露头、构造转折端,断层、溶隙、裂隙及岩溶通道等构造较为发育。

3 安全开采涌水量预测

3.1 突水系数

为准确评价煤层底板突水危险性程度的大小,本文采用突水系数方法,预报煤层底部灰岩含水层突水的可能性,其计算公式为:

$$P = T_s \cdot M \quad (2)$$

其中 M 为灰岩顶板至开采煤层底板距离, m ; P 为煤层开采时安全水压, MPa ; T_s 为临界突水系数, MPa/m 。本次 T_s 值选取为 $0.05 MPa/m$ 。

3.2 疏水降压

经过对现有资料数据计算,实际突水系数均达不到临界开采条件值,为使得张集矿井范围内在承

压水上开采安全得以保证,故需要对底板灰岩承压含水层进行疏水放水工作,降低水压,使得最终计算得出的结果, $T \leq 0.05 MPa/m$ 。依(2)公式计算得出:在 $-536 m$ 水平,当 $C_3 I$ 组灰岩水位降低至疏 $-470 m$ 时, T 满足要求, $-650 m$ 水平 $C_3 I$ 组水位降低至 $-580 m$ 时, T 满足要求。

3.3 疏放水量预报

(1) $-536 m$ 水平 $C_3 I$ 组灰岩疏放水量

利用本文建立的三维模型进行识别,井下疏放水量由 2016 年 3 月 31 日的 $29.75 \sim 58.37 m^3/h$,增至 $74.71 m^3/h$ 。模拟放水至 20 天时,在 $-536 m$ 处,安全水压绝大区域已经避免(图 6)。

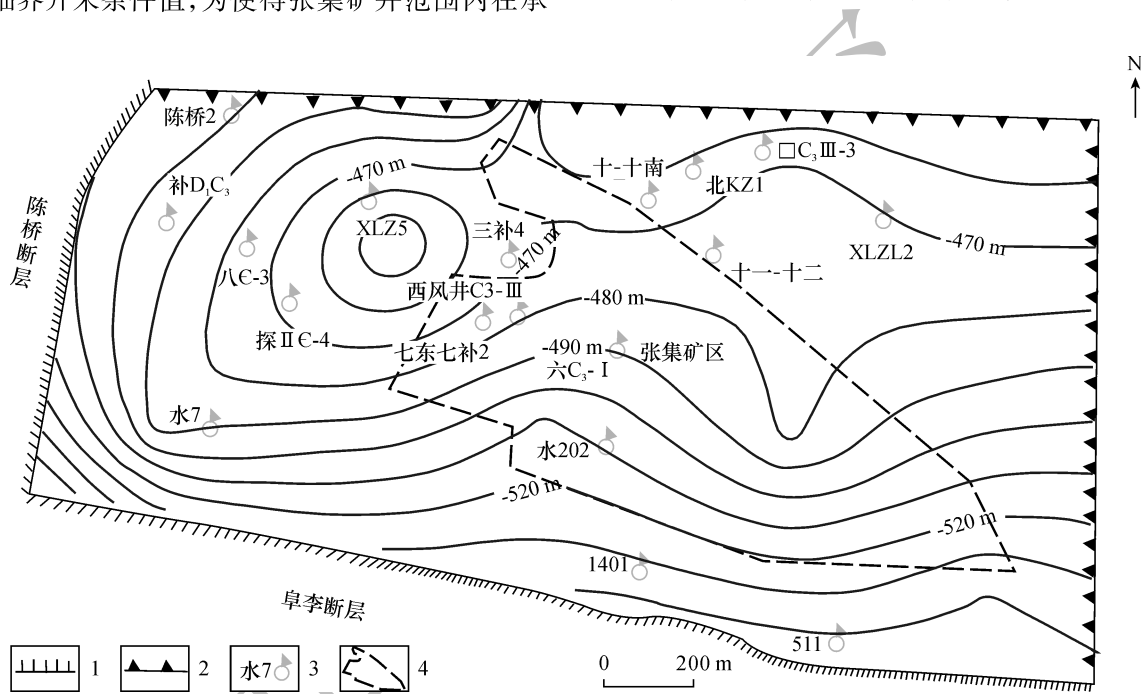


图 6 $-536 m$ 水平模拟放水 20 天等水位线

Fig. 6 Contour of water level at depth of $-536m$ by horizontal simulation 20 days after water release

1 - 隔水边界; 2 - 流量边界; 3 - 观测孔及编号; 4 - 矿区边界

1 - water barrier boundary; 2 - traffic boundary; 3 - observation hole and number; 4 - mining boundary

(2) $-565 m$ 水平 $C_3 I$ 组灰岩疏放水量

$-565m$ 水平放水量是在 $-536m$ 基础上进行继续考虑,初始水位即选择了 $-536m$ 水平结束后的水位,除去 $-536 m$ 水平上的疏水量, $-565m$ 水平巷道新增疏放量为 $40.758 m^3/h$ 。通过最后模拟发现,当研究区放水至第 45 天时,除局部特殊地段外, $-565 m$ 多数处于安全水压之下(图 7),其突水系数数值均小于临界值 $0.05 MPa/m$ 。

(3) $-566 m$ 水平 $C_3 I$ 组灰岩疏放水量

$-566m$ 水平放水量是在 $-565m$ 基础上进行继续考虑,同理,该水平初始水位值即为模拟初始水位为 $-565m$ 水平结束后的水位,最终得出,除去 $-565 m$ 水平上的疏水量,在 $-566 m$ 水平巷道新增疏放量为 $88.14 m^3/h$ 。利用识别模型模拟发现,当放至第 63 天时,除局部特殊地段外, $-566 m$ 多数处于安全水压之下(图 8),其突水系数数值均小于临界值 $0.05 MPa/m$ 。

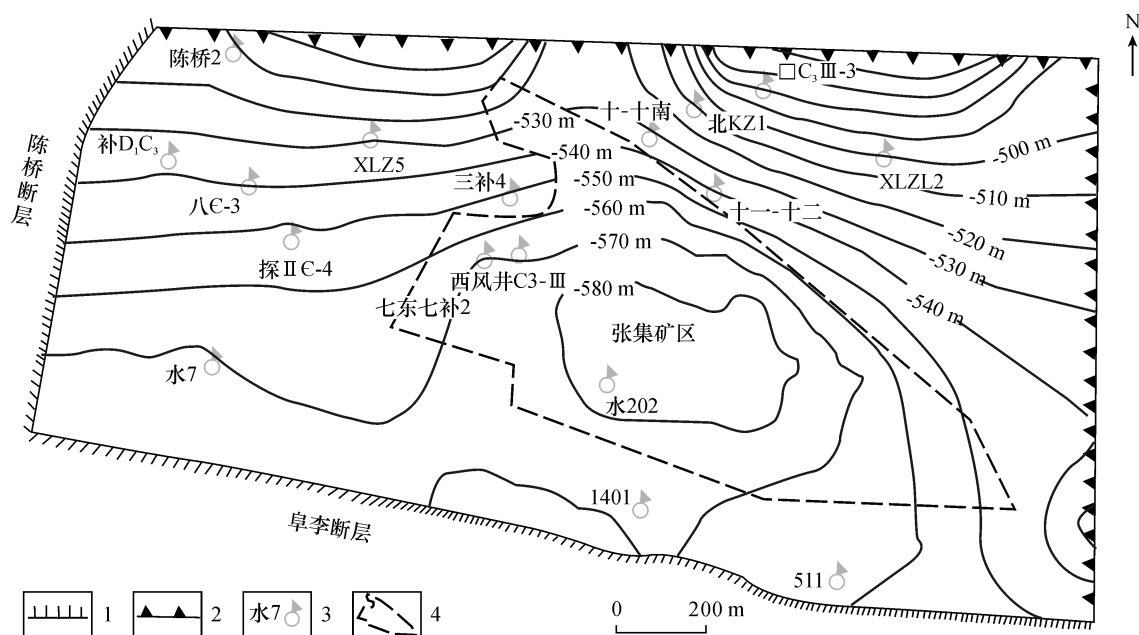


图7 -565m 水平模拟放水 45 天等水位线

Fig. 7 Contour of water level at depth of -565m by horizontal simulation 45 days after water release

1 - 隔水边界; 2 - 流量边界; 3 - 观测孔及编号; 4 - 矿区边界

1 - water barrier boundary; 2 - traffic boundary; 3 - observation hole and number; 4 - mining boundary

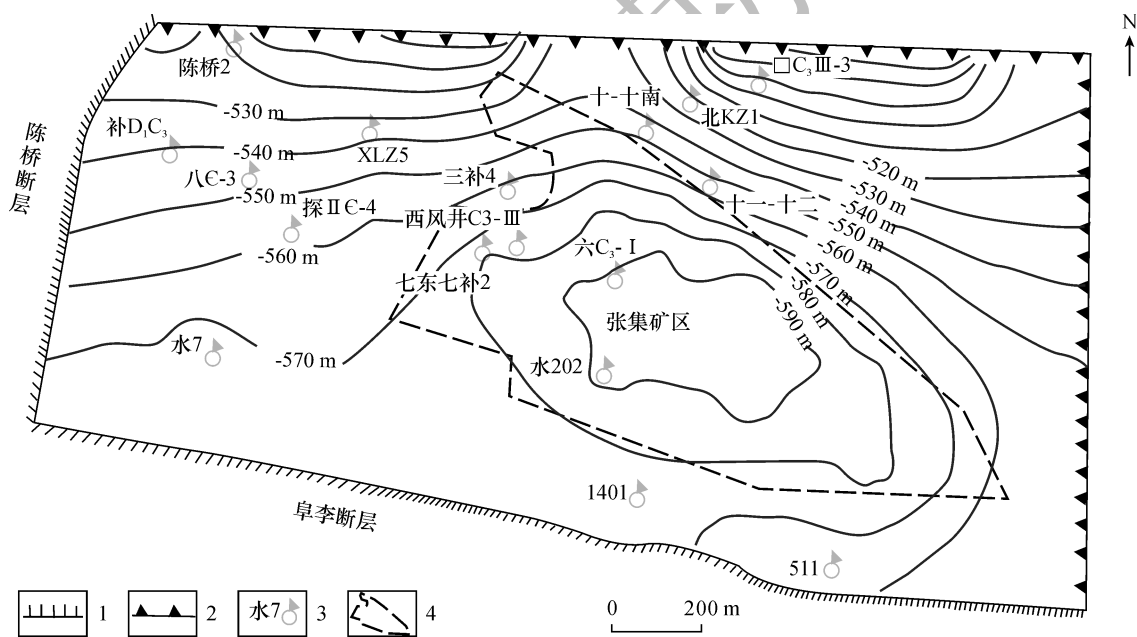


图8 -566m 水平模拟放水 63 天等水位线

Fig. 8 Contour of water level at depth of -566m by horizontal simulation 63 days after water release

1 - 隔水边界; 2 - 流量边界; 3 - 观测孔及编号; 4 - 矿区边界

1 - water barrier boundary; 2 - traffic boundary; 3 - observation hole and number; 4 - mining boundary

4 结论

通过对模拟区水文地质条件分析,结合数值模拟得出以下结果:

(1)通过对矿区的数值模拟,对陈桥断层东侧、阜李断层北侧区域做了基础水文参数分区,为进一

步了解矿区水文地质条件提供一定借鉴。

(2)数值模拟结果表明,经历近 60 天模拟放水后,局部区域水压仍然高于安全水压值,分析原因可能为矿区岩溶裂隙发育非均匀性特征,研究区内灰岩露头处、构造转折端处,发育较多的岩溶裂隙等。

(3)综合研究区水文地质环境特点,局部布设

钻孔疏水降压,是保障矿井安全开采十分有效的措施之一。此外,研究区石灰岩发育,表现为非均质各向异性的特征,应当重视物探等手段探查的地质异常区域。

[References]

- Chen Ping. 2010. Characteristics and geological genesis of pyrites in coal of Huainan[J]. International Journal of Coal Science and Technology, 16(3): 311–315.
- Chen Yan, Wu Jichun. 2005. Effect of the spatial variability of hydraulic conductivity in aquifer on the numerical simulation of groundwater[J]. Advance in Water Science, 16(4): 482–487 (in Chinese with English abstract).
- Cui Rongguo, Chen Qishen, Guo Juan, Guo Zhenhua, Xiao Yuping. 2018. Current situation of consumption of renewable energy across the world[J]. Geology and Exploration, 54(6): 48–53 (in Chinese with English abstract).
- Gui Herong, Song Xiaomei, Peng Zicheng. 2005. The Transmissivity of Fufeng Nappe Structural Belt in Huainan Coalfield[J]. Acta Geoscientia Sinica, 26(2): 169–172 (in Chinese with English abstract).
- Gu Wenlong, Lu Wenxi, Ma Hongyun, Wang Guanglei, Xiao Chuanning, Hou Zeyu. 2015. Uncertainty evaluation of precipitation infiltration rate and hydraulic conductivity in groundwater numerical simulation analysis[J]. Water Resources and Power, 33(11): 45–48 (in Chinese with English abstract).
- Han Tanghui, Dai Shixin, Li Xiaohua, Zou Guangui. 2011. Seismic physical modeling research on coal measure strata in Huainan[J]. Journal of China Coal Society, 36(4): 588–592 (in Chinese with English abstract).
- Huisamen Altus, Wolkersdorfer Christian. 2016. Modelling the hydrogeochemical evolution of mine water in a decommissioned opencast coal mine[J]. International Journal of Coal Geology, 164: 3–12.
- Li Zhenhua, Li Jianbo, Xu Gaoming. 2009. Evaluation and prevention proposals of water inrush from seam floor in Wuyang coal mine[J]. Coal Science and Technology, (3): 100–103 (in Chinese with English abstract).
- Li Qingyuan, Zhang Luoyi, Cao Daiyong, Dong Qianlin, Cui Yang, Chen Chunmei. 2016. Usage, status, problems, trends and suggestions of 3D geological modeling[J]. Geology and Exploration, 52(4): 759–767 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhiyou, Zhao Dawei. 2014. Numerical simulation study on effects of coal mining in Sanjusheng mine to groundwater[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 12(3): 155–158 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhongjian, Wei Jiuchuan, Xu Jianguo, Wang Min, Guo Jianbin, Zhang Bin. 2010. Dewatering test of group holes of the Ordovician limestone and numerical simulation of the Nantun coal mine[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 37(2): 16–20 (in Chinese with English abstract).
- Lu Wenxi. 2003. Approach on boundary condition in numerical simulation of groundwater flows[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 34(3): 33–36 (in Chinese with English abstract).
- Peng Suping, Gao Yunfeng, Peng Xiaobo, Zhang Shenhe, Zhao Guoping. 2004. Study on the rock physic parameters of coal bearing strata in Huainan coalfield[J]. Journal of China Coal Society, 29(2): 177–181 (in Chinese with English abstract).
- Qian Jiazhong, Ge Xiaoguang, Li Ruzhong, Huang Hongxin. 2004. The chemical characteristics of pore water and its environmental impact in Zhangji well field[J]. Coal Geology & Exploration, 32(1): 37–39 (in Chinese with English abstract).
- Shao Taisheng, Shao Aijun, Peng Jianping. 2009. Numerical simulation of water invasion of No. 5 mine in the Fengfeng coalfield[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 36(4): 27–31 (in Chinese with English abstract).
- Tian Guang, Wang Xiaobo. 2014. Numerical simulation of dewatering test of Ordovician limestone in Dongtan mine[J]. Coal Geology & Exploration, 42(3): 61–64 (in Chinese with English abstract).
- Tang Yimin, Xiao Jiang. 2001. Hydrological characteristics and functions of groundwater system characteristics in mining area—system value[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 28(6): 26–29 (in Chinese with English abstract).
- Wu Jichun, Zeng Xiankui. 2013. Review of the uncertainty analysis of groundwater numerical simulation[J]. Science Bulletin, 58(25): 3044–3052.
- Wu Jiwen, Zhao Zhigen. 2010. Development Stages of Coalmine Mining Geological Works in China[J]. Coal Geology of China, 22(11): 26–28 (in Chinese with English abstract).
- Wu Qiang, Huang Xiaoling, Dong Donglin, Yin Zuoru, Li Jianmin, Hong Yiqing. 2000. “Three maps—two predictions” method to evaluate water bursting conditions on roof coal[J]. Journal of China Coal Society, 25(1): 60–65 (in Chinese with English abstract).
- Wu Qiang, Xu Hua, Zhao Yingwang, Cui Jiaquan. 2016. Dynamic visualization and prediction for water bursting on coal roof based on “three maps method”[J]. Journal of China Coal Society, 41(12): 2968–2974 (in Chinese with English abstract).
- Wu Wenqian, Yan Menggui. 2014. Numerical simulation of groundwater flow near Huaibei and uncertainty analysis of the hydrogeological parameters[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 41(3): 21–28 (in Chinese with English abstract).
- Xu Guangquan, Gui Herong, Zhang Lianfu, Li Xuefu. 2002. A large scale water release test in mines and its significance[J]. Journal of Groundwater, 24(4): 200–201 (in Chinese with English abstract).
- Xu Guangquan, Shen Huizhen. 2004. Analysis on the land collapse induced by pumping groundwater—Huainan coal mine as an example[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 15(4): 64–68 (in Chinese with English abstract).
- Xue Sen, Liu Yu, Liu Siliang. 2018. Numerical simulation for groundwater distribution after mining in Zhuanlongwan mining area based on visual MODFLOW[J]. Environmental Earth Sciences, 77(11): 400.
- Xue Yuqun. 2010. Present Situation and Prospect of Groundwater Numerical Simulation in China[J]. Geological Journal of China Universities, 16(1): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Yan Junyin, Qi Kuo. 2018. Availability and risk analysis of regional mineral resources: A case study of iron ore resources in Hebei Province[J].

- Geology and Exploration, 54(2):404–414 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Liang. 2019. Scientific problems and countermeasures for precise mining of coal and associated resources[J]. Journal of China Coal Society, 44(1):1–9 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuqing, Xu Guangquan, Shi Ancai, Liu Lihong, Yi Weigong. 2014. Numerical simulation of high pressure confined water in the floor of seams group A and prediction of dewatering volume in Panbei coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 42(3):55–60 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yuanzheng, Wang Jinsheng, Su Xiaosu, Zuo Rui. 2010. Parameter sensitivity analysis of groundwater numerical simulation[J]. Yellow River, 32(12):99–101 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong, Zheng Yuzhu, Zheng Gaosheng, Wang Shengzu. 2003. Extensional structure under the Fufeng – nappe in Huainan coalfield, Anhui Province and its formative mechanism[J]. Coal Geology & Exploration, 31(3):1–4 (in Chinese with English abstract).
- [附中文参考文献]
- 陈彦, 吴吉春. 2005. 含水层渗透系数空间变异性对地下水数值模拟的影响[J]. 水科学进展, 16(4):482–487.
- 崔荣国, 陈其慎, 郭娟, 郭振华, 肖宇评. 2018. 全球可再生能源消费现状分析[J]. 地质与勘探, 54(6):48–53.
- 桂和荣, 宋晓梅, 彭子成. 2005. 淮南煤田阜凤推覆构造带水文地质特征研究[J]. 地球学报, 26(2):169–172.
- 顾文龙, 卢文喜, 马洪云, 王光磊, 肖传宁, 侯泽宇. 2015. 地下水数值模拟分析中降水入渗补给强度及渗透系数不确定性评价[J]. 水电能源科学, 33(11):45–48.
- 韩堂惠, 戴世鑫, 李小华, 邹冠贵. 2011. 淮南煤系地层地震物理模型研究[J]. 煤炭学报, 36(4):588–592.
- 李振华, 李见波, 徐高明. 2009. 五阳煤矿煤层底板突水评价及防治技术[J]. 煤炭科学技术, (3):100–103.
- 李青元, 张洛宜, 曹代勇, 董前林, 崔扬, 陈春梅. 2016. 三维地质建模的用途、现状、问题、趋势与建议[J]. 地质与勘探, 52(4):759–767.
- 李志有, 赵大伟. 2014. 三聚盛煤矿煤炭开采对地下水影响的数值模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报, 12(3):155–158.
- 李忠建, 魏久传, 徐建国, 王敏, 郭建斌, 张彬. 2010. 南屯煤矿群孔奥陶系石灰岩放水试验及数值模拟分析[J]. 水文地质工程地质, 37(2):16–20.
- 卢文喜. 2013. 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, 34(3):33–36.
- 彭苏萍, 高云峰, 彭晓波, 张慎河, 赵国平. 2004. 淮南煤田含煤地层岩石物性参数研究[J]. 煤炭学报, 29(2):177–181.
- 钱家忠, 葛晓光, 李如忠, 黄洪信. 2004. 张集水源地孔隙水化学特征及其环境效应[J]. 煤田地质与勘探, 32(1):37–39.
- 邵太升, 邵爱军, 彭建平. 2009. 峰峰五矿底板突水数值模拟及涌水量预测[J]. 水文地质工程地质, 36(4):27–31.
- 田广, 王晓波. 2014. 东滩煤矿奥灰放水试验数值模拟[J]. 煤田地质与勘探, (3):61–64.
- 唐依民, 肖江. 2001. 矿区地下水系统特征参数 – 系统域值的水文地质意义及作用[J]. 水文地质工程地质, 28(6):26–29.
- 吴基文, 赵志根. 2010. 我国煤矿矿井地质工作发展阶段概述[J]. 中国煤炭地质, 22(11):26–28.
- 武强, 黄晓玲, 董东林, 殷作如, 李健民, 洪溢清. 2000. 评价煤层顶板涌(突)水条件的“三图 – 双预测法”[J]. 煤炭学报, 25(1):60–65.
- 武强, 徐华, 赵颖旺, 崔家全. 2016. 基于“三图法”煤层顶板突水动态可视化预测[J]. 煤炭学报, 41(12):2968–2974.
- 吴雯倩, 靳孟贵. 2014. 淮北市地下水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, 41(3):21–28.
- 许光泉, 桂和荣, 张连福, 李学富. 2002. 矿井大型放水试验及其意义[J]. 地下水, 24(4):200–201.
- 许光泉, 沈慧珍. 2004. 疏降地下水引起地面塌陷浅析 – 以淮南煤矿区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 15(4):64–68.
- 薛禹群. 2010. 中国地下水数值模拟的现状与展望[J]. 高校地质学报, 16(1):1–6.
- 闫军印, 齐阔. 2018. 区域矿产资源可供性评价及风险分析 – 以河北省铁矿资源为例[J]. 地质与勘探, 54(2):426–434.
- 袁亮. 2019. 煤及共生资源精准开采科学问题与对策[J]. 煤炭学报, 44(1):1–9.
- 赵雨晴, 许光泉, 施安才, 刘丽红, 张海涛, 易伟功. 2014. 潘北矿A组煤层底板高承压水数值模拟及疏水量预报[J]. 煤田地质与勘探, 42(3):55–60.
- 翟远征, 王金生, 苏小四, 左锐. 2010. 地下水数值模拟中的参数敏感性分析[J]. 人民黄河, 32(12):99–101.
- 张泓, 郑玉柱, 郑高升, 王绳祖. 2003. 安徽淮南煤田阜凤推覆体之下的伸展构造及其形成机制[J]. 煤田地质与勘探, 31(3):1–4.

Numerical Simulation of Limestone Aquifers and Discharge Prediction in the Zhangji Coal Mine of Huainan

XU Chengcheng, XU Guangquan, ZHANG Haitao

(School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001)

Abstract: The purpose of this work is to correctly evaluate the influence of limestone aquifers on coal – seam mining in the Zhangji coal mine of Huainan coal mine and clarify detailed hydrogeological conditions. Based on data of –536 m horizontal discharge, GMS is used to establish hydrogeologic and numerical models for limestone aquifers in the C₃ I Formation of the mine. Identification and verification to these models allow us to obtain hydrogeological parameters of the aquifers. Combining with the “water inrush coefficient”, numerical simulation is carried out, hydrogeological parameters are calculated, and the amount of limestone is predicted. Then the numerical simulation parameters are used to calculate the amount of drainage under safe mining at levels –536 m, –565 m and –566 m, respectively. These calculation results would help implement prevention and control of limestone water during the coal mining process in the Zhangji coal mine.

Key words: multi – stage drainage test, limestone aquifer, numerical simulation, discharge prediction, Zhangji coal mine