

矿井涌水量预测数值模拟研究

骆祖江¹ 李 兆¹ 任虎俊²

(1. 河海大学 地球科学与工程学院 江苏 南京 210098; 2. 中国煤炭地质总局 第三水文地质队 河北 邯郸 056001)

摘 要: 为了准确预测矿井涌水量,保障煤矿安全及保护地下水资源,在概化出大同矿区水文地质概念模型的基础上,建立了大同矿区地下水三维非稳定流数值模型,以塔山井田的回采工作面月回采进度为单位,分别模拟预测了8214工作面和8216工作面地下水水位降至5号煤层底板位置的正常涌水量和最大涌水量,其中8214工作面的正常涌水量为 $1\,224\text{ m}^3/\text{d}$,最大涌水量为 $1\,272\text{ m}^3/\text{d}$,8216工作面的正常涌水量为 $1\,392\text{ m}^3/\text{d}$,最大涌水量为 $1\,440\text{ m}^3/\text{d}$ 。结果表明:该方法将矿井涌水量预测与回采工作面回采进度有机结合起来,计算结果更加符合实际。

关键词: 矿井涌水量; 三维可视化模型; 水资源保护; 渗流理论

中图分类号: TD742; P641.4 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2015)01-0033-04

Numerical simulation research on prediction of mine inflow

LUO Zu-jiang¹, LI Zhao¹, REN Hu-jun²

(1. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. No. 3 Hydrogeological Team, China National Administration of Coal Geology Handan 560001, China)

Abstract: In order to predict mine inflow accurately, protect water resources and ensure the ground water safety of well mining, on the basis of generalizing the hydro-geologic structure model of the Datong Mining Area, the three-dimensional numerical simulation model of transient flow had been established. This paper took monthly production schedule of coal mining face in Tashan filed as unit, the normal and the max ground water inflow of No. 8214 and No. 8216 working face when ground water level in different periods was down to the bottom of coal seam No. 5 respectively were stimulated. The No. 8214 and No. 8216 coal mining face normal mine inflow of were $1\,224$ and $1\,392\text{ m}^3/\text{d}$ respectively and the maximum mine inflow were $1\,272$ and $1\,440\text{ m}^3/\text{d}$ respectively. The calculation results were more accurate when the method combined with the mine inflow and monthly production schedule of coal mining face was used.

Key words: mine inflow; three-dimensional visual model; water resources protecting; percolation theory

0 引 言

矿井涌水量是指在矿山建设和生产过程中单位时间内涌入矿井中的水量^[1]。由于煤层与顶底板含水层水力联系密切,开采煤炭过程中极易出现顶底板突水的危险,矿井水灾一直是煤矿安全生产过程中的主要灾害之一,因此,准确地预测矿井涌水量对于煤矿的安全生产有着重要的指导意义^[2-3]。目前生产工作中,大井法因其计算方法简单,而被广泛使用。但是大井法受自身方法所限,假设条件过于理想化,现实难以满足,而且大井法在预测矿井涌水

量时脱离实际生产进度,降水范围过大,计算结果常难以满足精度要求,有些矿区涌水量的计算误差高达数10倍甚至100倍^[4-6]。水均衡法和比拟法可估算矿井涌水量,但精度不高,不能用来计算单独的坑道涌水量^[7]。因此准确地预测矿井涌水量一直是业内工作者积极探索的问题。基于此,笔者以大同矿区为例,考虑矿区实际复杂的地质条件,并与矿井的实际生产相结合,采用数值模拟方法将矿井涌水量预测和回采工作面工作进度联系在一起。在概化出大同矿区地下水系统水文地质概念模型的基础上,建立三维非稳定流数值模型^[8]。以回采工作面

收稿日期: 2014-07-19; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.01.008

基金项目: 江苏省专项基金资助项目(12KJ0101)

作者简介: 骆祖江(1964—),男,江苏吴江人,教授,博士生导师。E-mail: luozujiang@sina.com

引用格式: 骆祖江,李 兆,任虎俊. 矿井涌水量预测数值模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(1): 33-36.

LUO Zu-jiang, LI Zhao, REN Hu-jun. Numerical simulation research on prediction of mine inflow[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(1): 33-36.

月掘进进度为单位,预测大同煤田塔山井田开采3号、5号煤层过程中回采工作面的涌水量。

1 地质概况

大同煤田位于山西地台的北端,吕梁山北部的黄土高原,周围环山。走向北东-南西,长8.5 km,倾向北西-南东,宽30 km,面积1 827 km²。矿区自下而上沉积的地层有石炭系中统的本溪组(C_{2b})、上统的太原组(C_{3t})、二叠系下统的山西组(P_{1s})、下石盒子组(P_{1x})、上统的上石盒子组(P_{2s})、侏罗系(J)、第三系、第四系(N+Q),其中石炭系上统太原组的3号、5号、8号煤层为石炭系的可采煤层。

根据含水介质和空隙类型,将矿区内含水岩组划分为:第三系、第四系松散岩孔隙含水岩组;石炭系、二叠系、侏罗系碎屑岩夹碳酸盐岩裂隙含水岩组。由于石炭系和二叠系含水层较厚且垂向渗透系数较小,侏罗系含水层和第三、第四系含水层对煤层影响较小,因此模型选取石炭系和二叠系含水层作为本次计算的目的层。其中石炭系碎屑岩裂隙含水岩组全区分布稳定,厚度变化不大,平均厚度为113 m,含水层为太原组下部厚层中粗砂岩、细砂岩、砂砾岩;本溪组层间薄层灰岩,单位涌水量为0.002 4~0.017 L/(s·m);二叠系碎屑岩孔隙、裂隙含水岩组,平均厚度为202 m,主要含水层为山西组底部和中部的砾岩、粗砂岩,上、下石盒子组底部的中粗粒砂岩,该组出露位置较高,受切割后裂隙水多以泉水形式排泄,泉水流量0.071~2.104 L/s。

2 水文地质概念模型的建立

本次研究将整个大同煤田地下矿区作为一个统一的水文地质系统,研究区北部研究区北至石炭系煤系边界,东南至石炭系煤层露头线,西南至地表分水岭,总面积约为866 km²,研究区分布范围如图1所示。计算的目的层为二叠系上石盒子组下石盒子组砂岩含水层、山西组砂岩含水层、石炭系太原组砂岩含水层、本溪组粉砂岩弱含水层,其中太原组砂岩含水层中夹有3号、5号、8号煤层。各层均概化为非均质各向异性,各层之间均发生水力联系,整个地下水流动概化为三维非稳定流。根据研究区地质条件,研究区北部边界选取石炭系煤系边界,侏罗系含水层对石炭系二叠系含水层微量补给,按隔水边界处理,东南部边界选取石炭系煤层露头线,寒武系底部厚层泥岩与太古界基底片麻岩构成与大同盆地的

隔水边界,按隔水边界处理,西南部选取地表分水岭为边界,根据研究区地下水流动特征,西南部按照通用水头边界处理,研究区的底部按照隔水边界处理,研究区东部顶端二叠系石炭系出露面接受大气降雨补给,是一补给边界^[9-11]。

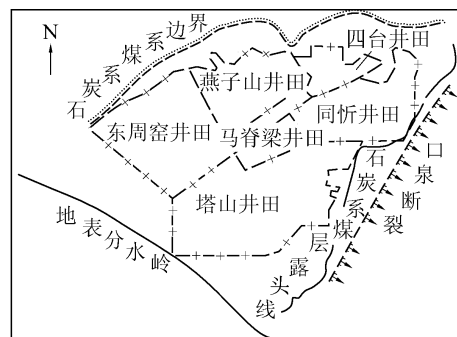


图1 研究区分布范围示意

3 数学模型建立

根据上述水文地质概念模型,取坐标轴方向与各向异性介质主方向一致,建立下列与之相适应的地下水运动三维非稳定流数学模型:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial H}{\partial t} \quad (x, y, z \in \Omega) \quad (1)$$

$$H(x, y, z, t) |_{t=0} = H_0(x, y, z, t_0) \quad (x, y, z \in \Omega) \quad (2)$$

$$K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \cos(n, x) + K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \cos(n, y) + K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \cos(n, z) |_{\Gamma_2} = q(x, y, z, t) \quad (x, y, z \in \Gamma_2) \quad (3)$$

$$K'_{xx} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + K'_{yy} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2 + K'_{zz} \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)^2 - \frac{\partial H}{\partial z} (K'_{zz} + q_w) |_{\Gamma_3} = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (x, y, z \in \Gamma_3) \quad (4)$$

式中: K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz} 为承压含水层各向异性主轴方向渗透系数; H 为点 (x, y, z) 在 t 时刻的水头值; t_0 为初始时刻; W 为源汇项; S_s 为贮水率; t 为时间; Ω 为计算区; $H_0(x, y, z, t_0)$ 为点 (x, y, z) 处的初始水位; $\cos(n, x)$ 、 $\cos(n, y)$ 、 $\cos(n, z)$ 分别为流量边界外法线方向与坐标轴方向夹角的余弦; $q(x, y, z, t)$ 为第二类边界上单位面积的补给量; Γ_2 、 Γ_3 分别为第二类边界和自由面边界; K'_{xx} 、 K'_{yy} 、 K'_{zz} 为潜水含水层各向异性主方向渗透系数; q_w 为自由面单位面积上的大气降雨入渗补给量; μ 为饱和差(自由面下降)或给水度(自由面下降),它表示在自由面改变单位

高度下,从含水层单位截面积上吸收或排出的水量。

该模型采用有限差分法进行求解,并应用预处理共轭梯度法迭代求解代数方程组。整个过程采用目前国际上流行的 Visual Modflow 程序计算^[12-15]。

4 模型校正和识别

将全区在平面上剖分成 250×146 的正方形等距网格单元,垂直向上自上至下剖分成 10 层,其中上石盒子组和下石盒子组为 1 层、山西组 1 层、太原组煤系地层剖分成 7 层(太原组中夹有的 3 号、5 号、8 号煤层各 1 层,将整个太原组分成 4 层)、本溪组 1 层。计算区东西长约 50 000 m,南北长约 36 489 m。每一层有效单元数为 13 850 个,无效单元数为 15 342 个,计算区网格剖面如图 2 所示。

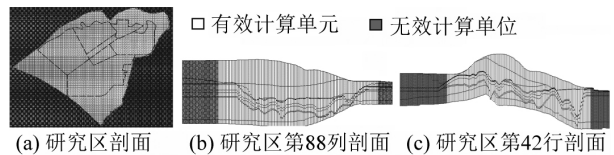


图 2 计算区网格剖分

将整个含水系统分为 145 个参数分区,各层初始流场均由实测给出,通用水头边界水头通过插值给出,边界上的水力传导系数以及各参数分区参数的初值均按抽水试验资料由解析法计算得出,以 2011 年 4 月—2012 年 11 月各抽水试验时段作为模型识别的时段,通过对抽水试验地下水水位曲线的拟合,反演求解各参数分区的参数值。5 号煤层水文地质参数分区如图 3 所示。5 号煤层含水层水文地质参数见表 1。计算水位和观测水位拟合曲线如图 4 所示。

5 矿井涌水量数值模拟预测

5.1 矿井涌水量预测方案

利用上述模型识别验证后的模型,结合矿井实际生产工况,以回采工作面月回采进度为 1 个进度期。根据 1978—2008 年 30 年的大气降雨资料,分

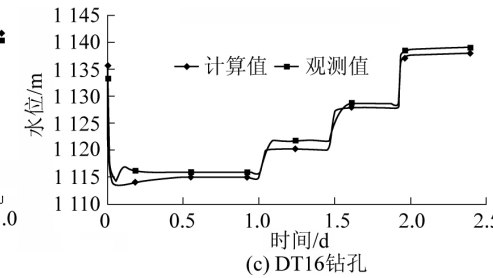
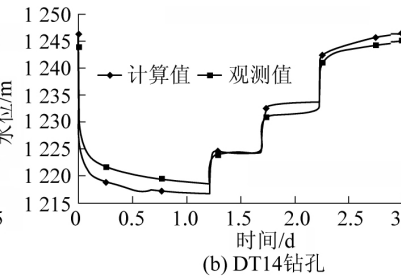
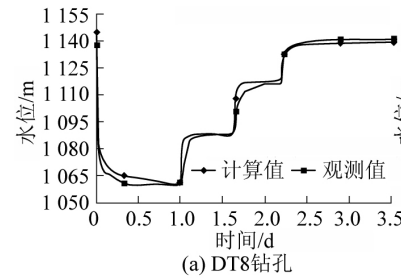


图 4 计算水位与观测水位拟合曲线

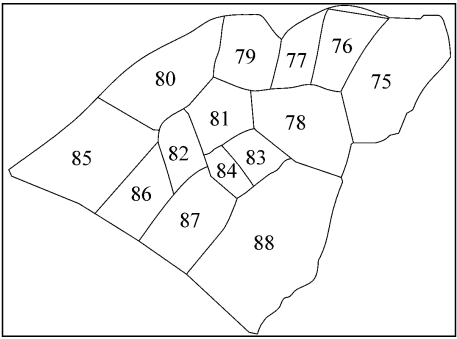


图 3 5 号煤层水文地质参数分区

别预测了回采工作面的正常矿井涌水量和最大矿井涌水量。

表 1 5 号煤层含水层水文地质参数

分区号	主轴方向渗透系数/($10^{-4} \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$)			储水率/ ($\times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$)
	K_{xx}	K_{yy}	K_{zz}	
75	20.00	20.00	2.00	8.00
76	40.00	40.00	4.00	60.00
77	20.00	20.00	2.00	10.00
78	2.00	2.00	0.20	30.00
79	6.00	6.00	0.60	1.00
80	0.60	0.60	0.60	3.00
81	8.00	8.00	0.80	1.00
82	10.00	10.00	1.00	1.00
83	0.50	0.50	0.05	0.10
84	1.20	1.20	0.12	5.00
85	40.00	40.00	4.00	2.00
86	9.00	9.00	0.90	1.00
87	1.00	1.00	0.10	3.00
88	1.00	1.00	0.10	1.00

塔山井田二盘区开采 3—5 号合并煤层,8214 回采工作面月回采 150 m,8216 工作面月回采 144.83 m。其中 8214 工作面计划开采 18 个月,8216 工作面计划开采 19 个月。8214 和 8216 工作面进度编号分别为 1—18 和 19—37。

5.2 矿井涌水量预测结果

1) 正常涌水量。根据 1978—2008 年多年气象

资料,取 1978—2008 年多年月平均降水量作为预测正常涌水量的大气降雨量,综合考虑降水入渗补给和蒸发 2 个方面的因素取经验入渗系数 0.2。经过模型计算,得塔山井田 8214、8216 工作面的矿井正常涌水量,8214 工作面 1—6 个月矿井正常涌水量分别为 1 224、1 164、1 152、1 180、1 008、984 m^3/d ; 8216 工作面 19—24 个月矿井正常涌水量分别为 1 296、1 392、1 392、1 356、1 272、1 248 m^3/d 。

2) 最大涌水量。根据 1978—2008 年多年气象资料,取 7 月份和 8 月份月平均降水量作为预测最大涌水量的大气降雨量,综合考虑降水入渗补给和蒸发 2 个方面的因素取经验入渗系数 0.2,经过模型计算,得到塔山井田 8214、8216 工作面的最大涌水量,8214 工作面 1—6 个月矿井最大涌水量分别为 1 272、1 188、1 164、1 128、1 044、996 m^3/d ; 8216 工作面 19—24 个月矿井正常涌水量分别为 1 320、1 428、1 440、1 380、1 308、1 284 m^3/d 。

6 结 论

1) 笔者将地下水渗流理论与矿井的实际生产结合起来,选用数值模拟的方法预测矿井涌水量,克服了以往使用“大井法”忽略复杂地质条件、脱离实际生产进度等的缺点,使得预测的矿井涌水量更加符合实际。

2) 开采 8214 工作面时,正常涌水量为 1 224 m^3/d ,最大涌水量为 1 272 m^3/d 。开采 8216 工作面时,正常涌水量为 1 392 m^3/d ,最大涌水量为 1 440 m^3/d 。前期煤层开采过程中实测矿井正常涌水量约为 1 091 m^3/d ,最大涌水量为 1 420 m^3/d 。预测结果与实测矿井涌水量吻合较好。

参考文献:

- [1] 李才华,滕伟福,高 超,等.某矿井水文地质特征分析及涌水量预测[J].安全与环境工程,2009(6):100-104.
- [2] 左 伟,王金安,贾亚会,等.富含水层下煤矿开采涌水量预测方法对比研究[J].煤炭工程,2009(11):78-81.
- [3] 宋宝德.甘肃刘园子矿区矿井涌水量预测研究[D].西安:长安大学,2012.
- [4] 华解明.“大井法”预测矿井涌水量问题探讨[J].中国煤炭地质,2009,21(6):45-47.
- [5] 陈韶知,刘树才,杨国勇.矿井涌水量预测方法的发展[J].工程地球物理学报,2009,1(6):68-72.
- [6] 武 强,赵苏启,孙文洁,等.中国煤矿水文地质类型划分与特征分析[J].煤炭学报,2013,38(6):901-905.
- [7] 段俭君,徐会军,王子河.相关分析法在矿井涌水量预测中的

应用[J].煤炭科学技术,2013,41(6):114-116.

- [8] 骆祖江,曾 峰,郭 华,等.地下饮用水水源保护区划分三维渗流与溶质运移耦合数值模型[J].吉林大学学报:地球科学版,2010,40(6):1353-1358.
- [9] 邵太升,邵爱军,彭建平.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,2009(4):27-31.
- [10] 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,2003,34(3):33-36.
- [11] 武 强,陈 红,刘守强.基于环套原理的 ANN 型矿井小构造预测方法与应用:以淄博岭子煤矿为例[J].煤炭学报,2010,35(3):449-453.
- [12] 冯更辰,郝俊杰,谭 俊,等. Visual Modflow 模型在白洞铁矿矿区矿井涌水量预测中的应用[J].中国岩溶,2011(3):271-277.
- [13] 吴剑锋,朱学愚.由 MODFLOW 浅谈地下水数值模拟软件的发展趋势[J].工程勘察,2000(2):12-15.
- [14] 黄存捍,冯 涛,王卫军,等.基于分形和支持向量机矿井涌水量的预测[J].煤炭学报,2010,35(5):806-810.
- [15] 骆祖江,王 琰,陆 顺,等.基于矿井生产过程的涌水量预测三维数值模拟模型[J].煤炭学报,2010,35(S1):145-149.

(上接第 144 页)

参考文献:

- [1] 王忠海.空气压缩机的余热利用[J].液动与气动,2009(3):66-68.
- [2] 姚晶宏.空压机节能的新方式[J].节能与环保,2010(5):54-55.
- [3] 韩元伟.空压机余热回收节能系统在煤矿的应用分析[J].中州煤炭,2012(12):41-42.
- [4] 杨 磊.城郊煤矿西风井空压机余热回收利用研究[J].电子世界,2014(12):349.
- [5] 刘德海.空压机余热回收系统在车集煤矿的应用[J].河南科技,2014(13):126-127.
- [6] 王少波.螺杆式空压机余热回收技术的应用及节能效益分析[J].能源与节能,2011(9):15-16.
- [7] 李 勇.螺杆空压机余热回收技术在夏店矿的应用[J].中州煤炭,2011(5):85-86.
- [8] 郭坤闯,刘新重.煤矿空压机余热利用节能技术的研究与应用[J].科技视界,2013(1):148-149.
- [9] 吴启芳.螺杆式空压机余热回收在煤矿的应用[J].能源与环境,2013(3):58-59.
- [10] 赵新红.浅谈几种典型空压机的余热回收[J].上海节能,2013(8):31-36.
- [11] 要长维,王建兵.空压机余热回收的研究与应用[J].中国水运,2013,13(11):198-199.
- [12] 景小学.某公司空压机余热回收项目的可行性分析[J].绿色科技,2013(10):150-151.
- [13] 岑 曦.空气压缩机热能回收系统的开发[D].上海:上海交通大学,2010.