

The Prediction of Maximum Water-Inrush Quantity from Coal Floor Based on Rock Deformation Processes

Yuanjiang Ju, Fenghua Hu

College of Resource and Environmental Sciences, China University of Mining & Technology,
Xuzhou Jiangsu China 221008
juyuanjiang@cumt.edu.cn

Abstract: Water-inrush in coal floor affect the safety of coal mine seriously. There are few models evaluating the maximum water inrush quantity in coal floor, most of the models start from the standpoint of the characteristics of pipe flow, due to the difficulty of water inrush passage confirming, it's difficult to determine the maximum water inrush quantity accurately. This may result in the waste or failure of water control project. In this paper, basing on the rock deformation theory, considering the maximum permeability through the process of the rock deformation in the coal floor, analyse the comprehensive permeable ability within a certain range of the combination of rock in coal floor under the influence of water pressure in the aquifer. Under the consideration of the radius of the influence from the water inrush, have a simulation of the process of rock deformation by the rock mining, according to the different mining stage, the permeability of the water-resisting rock in different stress states and the permeability of the water-bearing rock in different stress states. And establish a model to predict the maximum water inrush quantity based on the process of rock deformation, to guide the construction of water control projects before mining, and avoid the waste caused by excessive investment evaluation at the same time.

KeyWords: floor water invasion, maximum water inrush quantity, rock deformation process

基于岩层变形过程的底板最大突水量预测研究

鞠远江, 胡峰华

中国矿业大学资源与地球科学学院 江苏 徐州 221116
juyuanjiang@cumt.edu.cn

摘要: 煤矿底板突水灾害对煤矿安全生产威胁很大, 目前对于底板最大突水量的预测模型不多, 多数模型是从管流特点出发来进行分析, 往往因为对突水通道判断不准确, 从而难以准确判断最大突水量, 可能造成防治水工程的浪费或失效。本文利用岩层变形理论, 从不同变形过程的底板岩层的最大渗透率出发, 分析底板一定范围内的组合岩层在含水层水压的作用下的综合透水能力, 依据不同采煤阶段、隔水岩层在不同应力状态的渗透特性、含水岩层在不同应力状态的渗透特性等, 在充分考虑底板突水对底板岩层的影响半径的前提下, 对底板岩层采动变形过程进行了数值模拟, 并建立了基于岩层变形过程的底板最大突水量预测模型, 用于指导工作面开采前的防治水工程建设, 最大限度地保证工作面的安全开采, 同时避免过大的投资造成的浪费。

关键词: 底板突水 最大突水量 岩层变形过程

1 底板最大突水量预测研究基础

基金项目: 973 计划项目: 煤矿突水机理与防治基础理论研究 (2007CB209400)
国家自然科学基金项目: 深部采煤底板岩层变形过程及其综合隔水能力研究 (40702054)
教育部博士学科点基金项目: 软硬相间岩层变形特征对煤矿底板抗突水能力的影响研究 (20070290528)

采煤工作面底板岩层中, 如存在富水程度较高的裂隙、孔隙、岩溶等含水岩层时, 在采煤活动导致的采动应力使含水层与煤层之间的隔水岩层产生破坏时, 就可能引起底板承压水沿采动裂隙或原生及复活裂隙和小断层突入工作面, 如此时突水水量超过设计排水能力则可能导致排水费用过高, 增加吨煤生产成

本，减少企业效益，给工作面人员、设备安全带来严重威胁，甚至导致淹井事故。因此，需对煤矿底板突水及其成灾机理进行详细研究。我国作为煤炭生产大国，在这方面的前人研究成果很多，如突水系数理论、板模型理论、下三带理论、关键层理论等，从前人研究基础可以看出：底板产生突水的关键在于两点，即含水岩层有足够的水量补给，同时隔水岩层允许通过较大的水量。

底板产生突水并不一定就是突水灾害，底板突水成灾的前提是底板突水水量超过了矿井的设计排水能力，从而影响工作面甚至整个矿井的正常生产活动，由此底板突水水量的预测成为底板突水领域的一大研究热点。由于工作面底板突水与供水井稳定供水的本质区别，研究者所关心的一般为底板的最大突水水量，而不是其稳定突水量，其目的是最大限度保障煤矿生产的安全。

目前对底板最大突水量的预测，主要有圆形光滑管道模型[1]、基于流固耦合理论的突水量预测模型[2]、广义三重空隙介质渗流模型[3]、基于统计学的预测方法[4]、稳定突水量倍数法[5]等。

2 研究区概况

新集煤矿 1#煤层为山西组最下一层可采煤层，煤层平均厚度 2.85m，属于较稳定分布，大部可采的优质煤层，其储量占矿区总储量的约 12%。

矿区对 1#煤开采形成直接威胁的底板突水水源是太灰水，太原组地层在矿区总厚度 130~140m，其中灰岩厚度占 40% 以上，含有 10~13 层灰岩，其中 C3L4 和 C3L12 全区稳定分布且厚度大。矿区历次勘探中共有 116 个钻孔揭露太灰岩，其中达到 C3L4 以下的共 41 个，共发现 4 个漏水孔，均位于 C3L4；0504 孔实测 C3L4 水压达到 5.9MPa，表明 C3L4 为高承压含水层；共进行了两次针对 C3L4 的地面抽水试验和一次简易抽水试验，钻孔单位涌水量最大值仅为 $4.64 \times 10^{-4} \text{L/s}\cdot\text{m}$ ，渗透系数 $2.7 \times 10^{-3} \text{m/d}$ ，水质类型为 Cl-Na 型，矿化度 1.858g/L[6]。

目前，新集煤矿尚未开采 1#煤层，主要考虑下伏太灰水的威胁，正在做进一步的勘探与评价，但其中新集二矿已经初步设计了开采工作面，并初步确定采用综采一次采全高方式开采该煤层，工作面长度定为 200m。

3 岩层变形过程数值模拟

影响该矿 1#煤层开采的顶底板岩层都应该在数值模拟过程中综合考虑，本次数值模拟突破了前人的“隔水层”的简单概念，将 1#煤层下伏的第一个含水带的所有岩层都纳入考虑范围，并根据其变形过程来综合分析其对工作面的影响。为了使数值模拟结果更能反映主要岩层的影响，对 1#煤顶底板岩层按其组合特征进行了一定简化。建立的 FLAC3D 模型如图 1。

对数值模型进行开挖以模拟实际采煤过程，用顶底板岩层的主应力差来反映其所处的变形阶段。几个主要开挖阶段的主应力差云图如图 2。

可见，在工作面推进 40m 时，在所有底板岩层中，水平应力仍大于垂向应力，表明底板岩层未产生破坏，

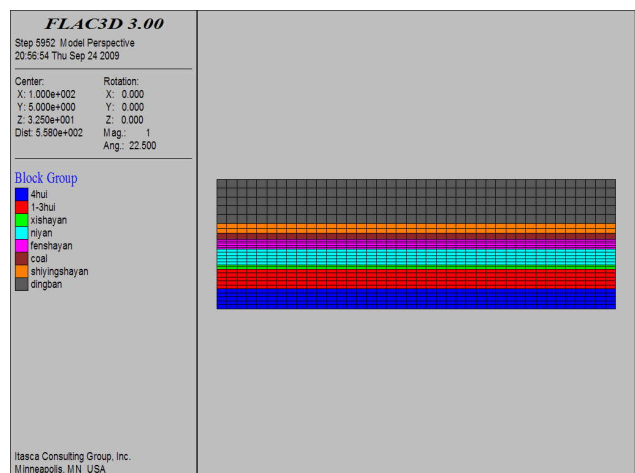


Fig.1 Numerical simulation model of the deformation of the roof and floor rock in the Xin Ji coal mine

图 1 新集煤矿顶底板岩层变形过程数值模拟模型

突水此时不会发生；当工作面推进到 80m 时，水平应力急剧下降，底板岩层出现水平应力“松弛”现象，开始产生底板破坏，随着工作面的进一步推进，破坏进一步发展，直至底板岩层破坏范围达到下伏太原组灰岩含水层。

在开挖达到 120m 时，顶板岩层冒落，因此将此长度视为顶板的初次来压步距，而大多数底板突水都与顶板来压时高采动应力造成的底板破坏有关，因此，着重研究来压前后的底板岩层的主应力差云图。经反复试开挖后确定，105m 的开挖长度是能使顶板保持不冒落的最长推进长度，也是底板破坏最严重的长度，在此长度后由于顶板冒落，底板受到压实，实际长处于峰值后状态，因此取该推进长度计算底板最大突水水量。

4. 基于岩层变形过程的底板最大突水量预测

4.1 含水层的影响范围

太原组第四层灰岩为本矿的灰岩含水层位，根据勘探中钻孔漏水量及抽水实验计算，其渗透系数最大值为 $2.7 \times 10^{-3} \text{m/d}$ 。为计算底板采动破坏后的最大突水量，应首先确定四灰能够影响突水的范围，引入影响半径的概念，参照建筑工程中基坑降水承压含水层影响半径确定的方法，利用集哈尔特公式计算：

$$R = 10s\sqrt{k} \quad (1)$$

式中：R——含水层受突水影响的半径范围(m)；
s——水位降深，此处取煤层与含水层之间的岩层厚度 (m)；
k——含水层的渗透系数 (m/d)。

由于底板岩层在顶板来压瞬间的破坏程度最大，随后产生重新压实过程，因此，最大突水水量应发生在底板岩层最破碎时，也即顶板来压时，在本案例中，取工作面推进 105m 时为初次来压步距，则按公式计算的四灰含水层的影响半径约为 13m，按 15m 取值，则在可产生最大突水水量时，含水层最大可供水范围约为 135m。

4.2 底板岩层的渗透性分区

底板岩层由于采动应力而发生不同程度的变形，从而导致其渗透特性产生非常大的变化，目前只有通过室内全应变过程的渗透性实验能定量描述这种变

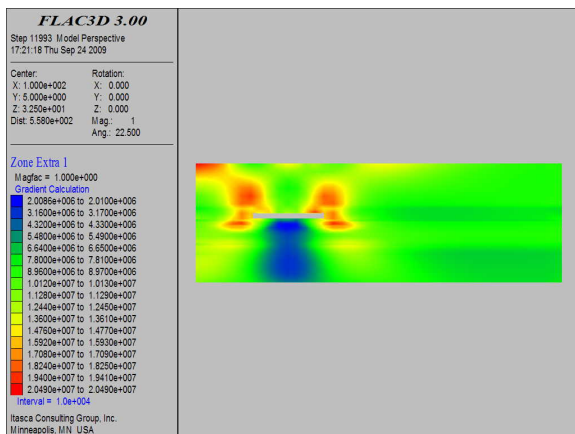


Fig.a The cloud of the principal stress difference when excavating 40m
a 开挖 40m 时的主应力差云图

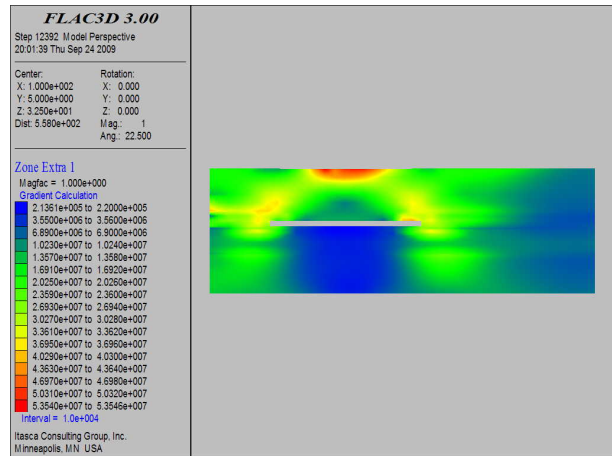


Fig.b The cloud of the principal stress difference when excavating 80m
b 开挖 80m 时的主应力差云图

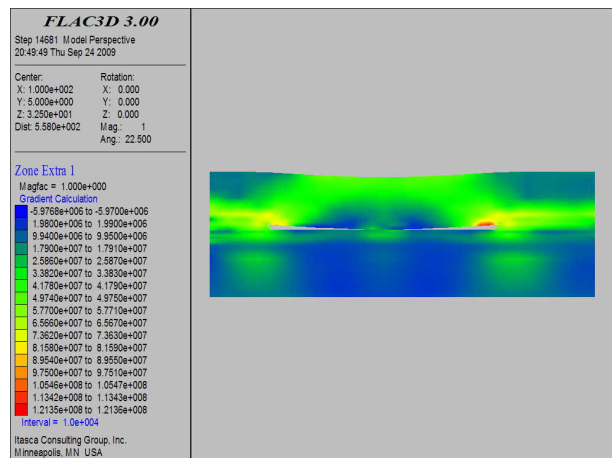


Fig.c The cloud of the principal stress difference when excavating 120m
c 开挖 120m 时的主应力差云图

Fig.2 Some main cloud of the principal stress difference in roof and floor rock during the mining process
图 2 采煤过程中几个主要开挖阶段的顶底板主应力差云图

化，本文的目的即是根据室内全应变过程渗透性实验的结果，参考数值模拟分析，讨论底板不同岩层在不同部位的渗透特性，从而判断其综合渗透能力，并计算突水水量。

底板岩层渗透性的变化是其变形发展的结果，变形的发展是由主应力差造成的。因此，可根据底板岩层主应力差云图对其渗透特性进行分区，如图 3。

图中的中间 B 部分主应力差为负值，实际上是水平应力释放后的状态，即底板的破坏位置，此处的渗

透性是最强的，在计算中渗透率应取各岩层实验数值的最大值。

图中的 A 和 C 部分，在中间的泥岩层处，主应力差最小，其上、下岩层的主应力差均变大，总体来讲，其渗透性受下伏岩层的控制，由于下伏岩层并未产生明显破坏，在突水量计算时，应取其对应岩层的峰前渗透率。

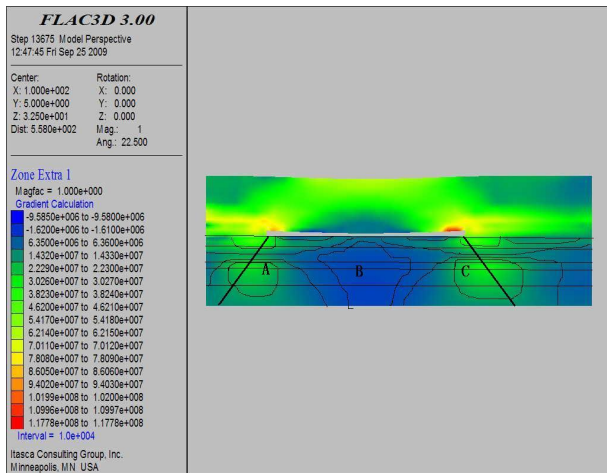


Fig.3 Regional feature of the principal stress difference of each layer in the floor rock when the face carrying forward 105m
图 3 工作面推进 105m 时底板各岩层主应力差分区特征

4.3 底板最大突水量预测模型

为确保计算结果不冒进，将含水层看做有无限补给能力的水体，则计算最大突水量，实际上需要考虑的是上覆各岩层综合渗透能力。

计算的范围如图 4 的粗线所示，根据渗透性分区，在横向上至少按三个区来进行计算，深度上按不同岩层计算，其计算模型为：

$$q_j = \sum_{i=1}^n K_i l_i \quad (2)$$

$$q_{\min} = \min(q_j) \quad (3)$$

式中： q_j ——在整个开挖长度上单位宽度的分层允许最大透水量；

n ——每层岩层按渗透能力分区数；

K_i 、 l_i ——分别为各分区的渗透系数及分区长度；

q_{\min} ——确定的关键层的允许最大单位透水量。

即，按照影响半径的范围，先分层计算各岩层允许的最大单位透水量，然后根据关键层理论，选择最大单位透水量最小的岩层作为关键层，并据此计算工作面的最大突水量。

各岩层的分区主应力差 $\Delta\sigma$ 、渗透率 K_0 、渗透系数 K 计算值、分区长度 l 及单宽透水量 q 如表 1 所示。

Table1.Calculator of the maximum allowable permeable capacity through the floor rock

表 1.底板岩层最大允许单宽透水量计算表

项目	$\Delta\sigma$ (10^6Pa)	K_0 (md)	K (m/d)	L (m)	q (m^3/d)
1#灰岩~3#灰岩	-9.6~-1.6	5.8	0.50112	80	905.5
	6.4~14	1.2	0.10368	20	
细砂岩	-9.6~-1.6	25	2.16	90	3893.2
	6.4~14	0.1	0.00864	10	
泥岩	-9.6~-1.6	0.8	0.06912	115	164.2
	6.4~14	0.5	0.0432	90	198.7

5. 结论与建议

根据模型计算结果，底板岩层中的泥岩是关键隔水层，其透水能力最差，因此整个工作面的最大突水量按泥岩的最大允许透水能力计算，为保证安全，认为在整个工作面长度上的渗透性都是最大的，因此，该矿 200m 长综采工作面的底板突水最大突水量预测值为 $164.2 \times 200 = 32.89 \times 10^3 \text{m}^3/\text{d}$ 。

本模型针对的是完整底板岩层的状况计算的，当底板岩层存在小断层、大裂隙等构造通道时，建议按光滑管道模型计算。

References (参考文献)

- [1] Zhou Xiaolv, Yang Guoyong, A Approximate Calculation of the Forecast of Water Irruption Quantity in Mine[J], *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2005, 25(3): 341~344.
周笑绿, 杨国勇, 一种矿井突水量预测的近似方法[J], *西安科技大学学报*, 2005, 25 (3) : 341~344.
- [2] Zhang Yujun, Numerical Simulation on Forecasting Water Inflow and Characteristic of Overburden Failure Based on Fluid Coupling Theory[J], *Journal of China Coal Society*, 2009, 34 (5) : 610~613.
张玉军, 基于固流耦合理论的覆岩破坏特征及涌水量预计的数值模拟[J], *煤炭学报*, 2009, 34 (5) : 610~613.
- [3] Pang Guoying, Deng Qinghai, Yan Furong, Generalized Triple Porosity Mmedia Flow for Calculating Mine Karst-fracture Water Bursting Discharge[J], *Journal of China Coal Society*, 2003, 28 (5) : 509~512.
潘国营, 邓清海, 闫芙蓉, 预测矿坑突水量的广义三重空隙介质渗流模型[J], *煤炭学报*, 2003, 28 (5) : 509~512.

- [4] Chen Hongjiang, Li Xibing, Liu Aihua, Forecast Method of Water Inrush Quantity from Coal Floor Based on Distance Discriminant Analysis Theory[J], Journal of China Coal Society, 2009, 34 (4) : 487~491.
陈红江, 李夕兵, 刘爱华等, 煤层底板突水量的距离判别分析预测方法[J], 煤炭学报, 2009, 34 (4) : 487~491.
- [5] Qu Yougang, Shi Longqing, Xu Wangguo, Prediction of Maximal Quantity of Water-inrush from Floor[J], Journal of Jiaozuo Institute of Technology(Natural Science), 2000, 19 (6) : 411~413.
曲友刚, 施龙青, 徐望国, 底板最大突水量预测[J], 焦作工学院学报 (自然科学版), 2000, 19 (6) : 411~413.
- [6] Ju Yuanjiang, Dou Yanbing, Chen Xinhong, Principium Analyzing on Water Bursting Bossibility from Carbonic Limestone During 1# Coal Seam Mining in Xinji Coal Mine[J], Journal of Hydrogeology & Engineering Geology, 2008, 35 (4) : 39~41.
鞠远江, 窦艳兵, 陈新宏, 新集煤矿 1#煤开采太灰突水危险性的初步分析[J], 水文地质工程地质, 2008, 35 (4) : 39~41.