

文章编号: 2095-2716(2012)01-0104-05

液固互动作用下突水模拟分析

王金生, 杨通, 王鹏

(河北联合大学 河北地震工程研究中心 唐山 063009)

关键词: 液固互动; 突水; ADINA; 数值模拟

摘要: 以开采过程中的煤矿突水为例, 应用液固互动理论, 采用有限元分析软件 ADINA 针对二种突水模式分别建立几何模型, 进行数值模拟。在利用软件进行三维有限元建模时, 分为结构模型和流体模型两种。针对不同的突水模式, 探讨在流固耦合作用下的煤矿渗透突水过程中, 地层与场地的变形特征。结果表明: 对于断层突水模式中, 接近 45° 的断层倾角对地层和场地的影响较大, 因此在煤层开采中应该特别注意倾向于开采工作面的小倾角断层; 在裂隙突水模式中, 较大的渗透系数对突水速度和突水量影响显著, 可以通过选择合适的开采区域尽量避免突水事故的发生。

中图分类号: TU452 文献标志码: A

0 引言

流固耦合问题所能涉及的范围非常广泛^[1], 例如核废料地下存储的环境工程, 热流固、流固耦合渗流的石油开采工程; 由于渗流造成的基坑变形与基坝失稳、过度抽取地下水引起的地面沉降, 煤矿引发突水的采矿领域等。

单纯意义上的渗流通常认为通过流体的孔隙介质为绝对刚性, 不存在形状的改变问题。也就是说对于孔隙中流体压力的线性或非线性变化, 作为固体骨架没有任何影响, 这是传统意义中的非耦合现象。由于不考虑液固互动, 对于刚刚开始工程实践或前沿学科所起的作用是积极的, 通过这种方式可以使复杂的问题更加简单化。当然也有它的不利缺陷, 孔隙介质不论是天然生成还是人类加工, 基本上在流体压力改变的渗流中都会产生或大或小的变形。两相介质之间的相互作用是流固耦合力学的重要特征, 也就是在流体载荷作用下固体产生变形或运动, 而固体的这种行为又反过来影响到流场, 从而改变流体载荷的大小和分布^[2-3]。利用液固耦合理论, 结合多学科知识, 建立相应的多孔介质液固耦合模型。

模型利用有限元分析软件 ADINA 为平台, 借助其中 FSI 分析模块, 通过深入分析多孔介质固体和流体之间的耦合关系, 考虑多孔介质的特点及地层和场地等地质条件, 针对不同的工程问题, 分析地层与场地变形机理与工程灾害成灾机理, 并考虑多种因素的影响, 建立液固耦合问题的有限元分析方法。

1 影响因素分析

1.1 地质构造

地质薄弱带是引起煤矿突水的诱因, 断层、陷落柱等构造都是造成突水发生的敏感构造, 完整底板隔水层强度相比于水压和矿压要大的多, 所以仅仅依靠水压或者矿压突破隔水层形成突水, 发生几率并不大。

突水事件的发生必须具备两个条件:

- (1) 承压水体;
- (2) 突水通道。

断层等构造断裂带改变了底板的完整, 使其本身抗水能力下降; 断层带在形成过程中内部结构松散、破

收稿日期: 2011-04-20

碎,底板实际隔水强度降低,在承压水作用下,形成导水通道可能性较大;断层分为上下两盘,二者相互错动,减少含水层与煤层间的距离;导致隔水层有效厚度缩短,增加了突水几率;断层、陷落柱等地质构造可以充水或者导水,使突水机理分析更加复杂;断层的力学性质对于导水也起到关键作用。一般而言,正断层形成时环境压力较低,断裂面多孔隙且疏松,本身张裂程度也比较大,在这种情况下透水能力就强;逆断层形成环境处于高压条件,断裂面孔隙少且致密。因此,同等条件下,与逆断层相比,正断层更容易产生突水。然而,现实地质条件中,存在一种压性逆断层,在长期的地质构造运动中,就可能变为张性正断层,其性质就会有很大变化,造成突水。当采掘工作面遭遇断层时,是否突水取决于与断层的位置。巷道挖掘的前进方向与断层倾向背向时,断层面容易被采掘矿压分开,使断层活动。当巷道挖掘的前进方向与断层倾向一致时,断层两盘会在矿压作用下逐渐被挤压,导致断层无法重新活化。所以,在有断层存在的地质构造中,挖掘工作的方向应该考虑断层的倾向,有利于突水防治。

1.2 含水层水量

突水量的大小取决于含水层本身水量,作为突水的物质基础,水量在含水层中的丰富程度是突水量大小的关键因素。突水量越大,对矿井危害性也就随之增加。不同的含水层在地质中发育程度并不一致,当底板裂隙发育程度大且富水性强,这些地区就是突水高发地带,应该对此做重点防护。

1.3 水压的影响

煤矿突水的动力是含水层水压,一般水压的高低决定突水几率的大小。封闭情况下的承压水不容易突破完整隔水层,其中水体持续溶蚀、冲刷隔水层裂隙,造成突水通道的形成。含水层中的承压水沿裂隙向上进入隔水层,降低其强度,破坏原来的结构构造。当开采过程中一旦被揭露,就可能瞬间爆发突水,如果离采掘面相对远,则会滞后缓冲突水。水压以两种形式对底板进行破坏:

- (1) 静水压力,但含有势能;
- (2) 动水压力,可以在孔隙通道中运动,突水时可将其势能转化为动能。

静水压具体表现为:引起底板剪切破坏、导致底板起鼓、致使水体沿裂缝导升、扩大裂缝宽度等。动水压主要起到冲刷搬运充填物的作用,相比静水压,动水压对突水更加具有威胁。

1.4 隔水层的影响

隔水层主要起阻水作用,隔水层厚度、强度以及裂隙发育程度是其阻水能力的影响因素。在特定的采场范围内,如果顶底板隔水层厚度较大时,地质条件正常,岩层就会因阻水效果好而不出水,否则就会出水。对于相同厚度的岩层,由于种类的不同强度就会有变化。综合这三方面的因素,只要隔水层厚度大、本身强度大以及裂缝缺陷少,阻水能力就大。

1.5 矿压的影响

大量突水资料显示,底板突水与矿压有一定的关系^[4]。突水的触发就是在矿压下完成的,矿压的作用以两种方式呈现:

- (1) 构造裂隙活化,特别是对于断层的活化,使之成为导水通道;
- (2) 底板隔水层并非仅有一层,不同的岩层厚度和性质都有差异,矿压会使各岩层的挠度不一致,以至于出现横向和纵向裂缝。

煤矿突水本身的复杂性,要求考虑此问题以多角度、多因素分析。除了裂隙断层、岩石强度等地质因素外,还有隔水层、水压、含水层的富水性等水文条件有关。此外,煤矿开采方法的选择也对突水有一定影响,针对以上煤矿突水的主要因素,应重点考虑主要矛盾,进行明确的预测预防,是煤矿开采在较为更加安全的环境下进行。为了更好的分析突水问题,可以按照突水模式将其进行分类,针对具体的突水模式分析突水机理。

2 数值模拟

2.1 直通式突水模式数值模拟

构建合理的简化模型,设定断层各要素参数,模拟的主要内容是考虑断层倾角对于煤岩层的变形影响^[5]。

(1) 模型的建立。计算模型建立时,要分析主要因素,略去次要因素,保证计算模型实用、有效的基础上,尽量使模型简化。突水模型如图 1 所示。

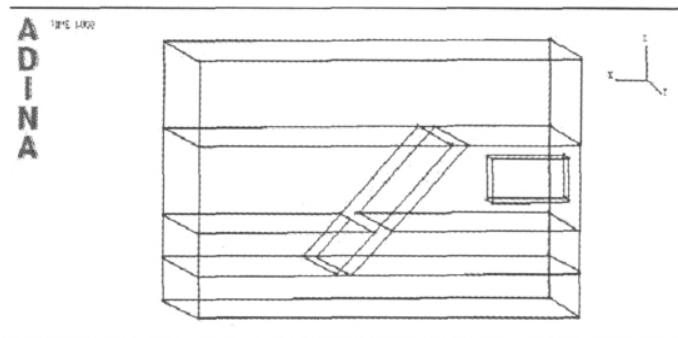


图 1 突水模型

其中几何参数为:模型长 10 m,高 5 m,煤层厚 2 m,工作面长 2 m,煤层下取做煤层底板隔水层,断层将含水层与煤层相连。在模型中各岩层具体为:最上部是覆盖层,依次往下,分别为煤、砂质泥岩、含水层。

(2) 设定材料参数。材料参数是数值模拟的关键,依据岩石性质,所用指标为弹性模量、泊松比、渗透系数等。而且,由于煤层所处的环境千差万别,导致各种力学参数也不尽相同。选择其中较为典型环境下的各地层特征参数说明此类突水形式。岩石力学参数见表 1。

表 1 材料参数

土体类型	弹性模量(MPa)	泊松比	密度(kg/m ³)	渗透系数(m/h)
上覆岩层	4000	0.25	3000	1.0×10^{-9}
煤层	1340	0.31	2100	1.0×10^{-4}
砂质泥岩	1640	0.28	2540	1.0×10^{-9}
断层	8800	0.2	2200	1.0×10^{-2}
含水层	9710	0.25	2500	1.2×10^{-2}

(3) 加载时间函数。考虑流体压力对变形的影响,由于在地下煤矿突水过程中,当细小颗粒移动的临界流速大于流体流速时,这时突水就会慢慢减弱,直至停止。所以在模拟流体加压过程中,采用以下加载方式:刚开始随着突水时间的增加,流体压力逐渐减小,当减小到一定程度后处于稳定状态。加载过程的荷载随时间的变化如图 2 所示。

采用 ADINA 软件对模型进行求解,图 3 至图 5 分别给出了断层倾角为 45° 和 90° 时的有效应力、竖向应力和竖向应变的时程曲线。

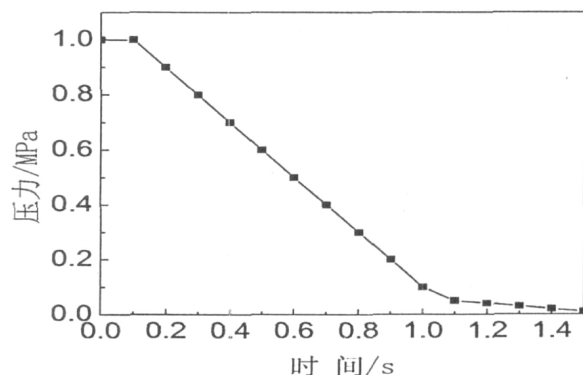


图 2 时间函数

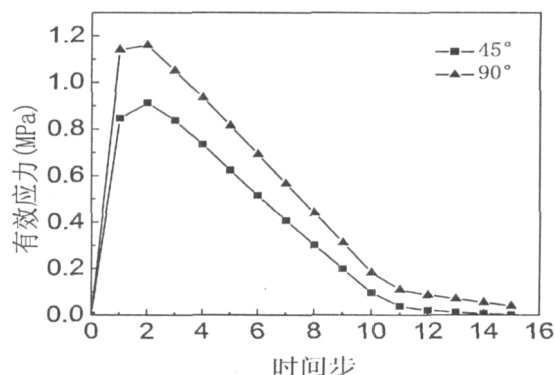


图 3 有效应力时程曲线

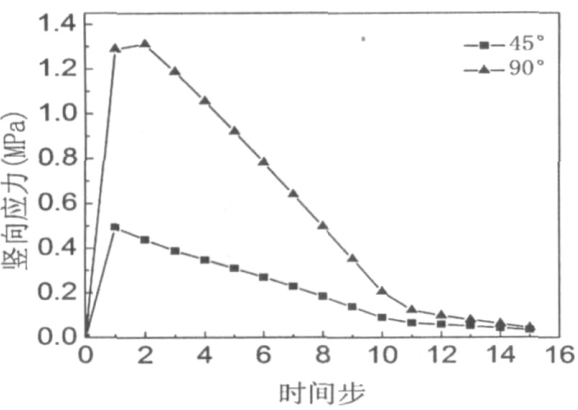


图4 竖向应力时程曲线

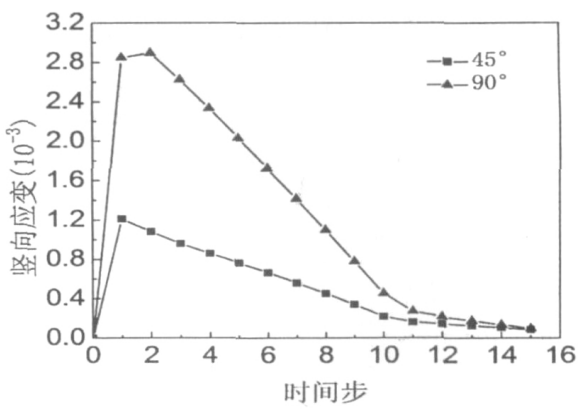


图5 竖向应变时程曲线

由图3、图4、图5可知,有效应力、竖向应力和竖向应变曲线呈现先增加后降低最终处于平衡的趋势。由图3可知,当断层倾角从45°向90°变化时,有效应力峰值有所增加但相差不大。说明断层倾角变化对其影响不明显,而对于竖向应力、应变来说,随着断层倾角的增加,二者峰值增加显著。

由此可见,断层倾角的改变,会使场地位移、有效应力、竖向应力、竖向应变随之改变。当断层倾角从45°转变为90°时,场地各量峰值均逐渐减小,而对于各时程曲线来说,曲线的变化趋势相同,都是先增加到最大再下降至近似于水平的定值。由于地层在液固互动作用下,变形、应力、应变均会发生改变,而地层的变化就会引起上层场地的伴随改变。由于选用的场地仅仅是地层上方接触的临近的地层,所以和地层的变化基本相同。场地的位移、应力、应变在45°倾角断层下明显比90°断层大,说明在实际工程中,较小倾角的断层影响明显。

2.2 裂隙突水数值模拟

(1) 模型的建立。计算模型建立时,尽量保证模型实用有效,而且模型简单。突水模型如图6所示。

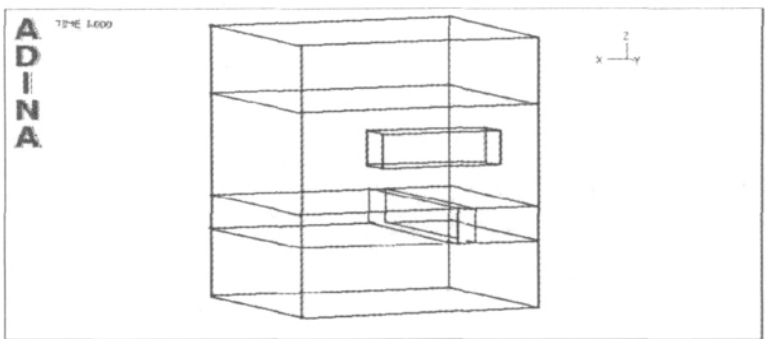


图6 突水模型

其中几何模型参数为:模型长6 m,高8 m,煤层厚3 m,工作面长3 m,煤层下取做煤层底板隔水层。隔水层存在裂隙,在水压作用下,地下水会沿着裂隙进入煤层,即裂隙将含水层与煤层连接。在模型中各岩层依次往下分别为覆盖层、煤层、页岩、含水层。

(2) 设定材料参数。参数是代表各岩层的性质,参数的合理性可以保证模拟的有效性。裂隙突水模型各地层参数设定见表2所示。

表2 材料参数

土体类型	弹性模量(MPa)	泊松比	密度(kg/m³)	渗透系数(m/h)
上覆盖层	5000	0.25	2500	1.0×10^{-9}
煤层	1500	0.3	2400	1.0×10^{-4}
页岩	1640	0.28	2540	1.0×10^{-9}
含水层	9710	0.25	2500	1.2×10^{-2}

(3) 数值模拟。采用ADINA软件对模型进行求解,图7和图8分别为渗透系数为0.01、0.001、0.000 2

时流速和流量时程曲线。

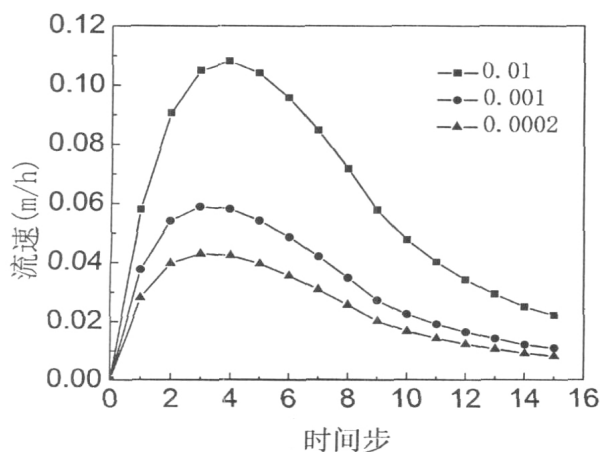


图7 流速时程曲线

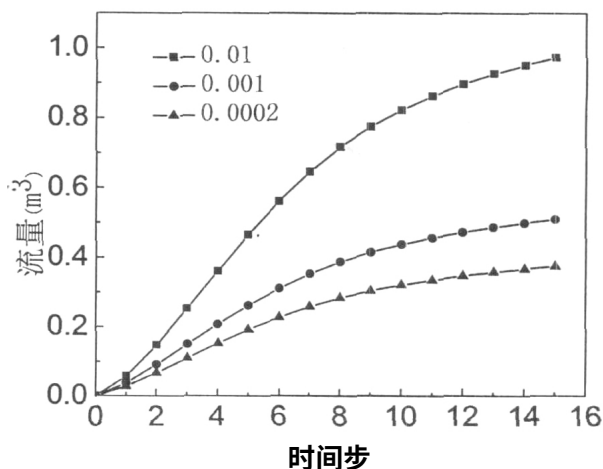


图8 流量时程曲线

由图7可知,渗透系数为0.01时,数据峰值最大,渗透系数为0.0002时,数据峰值最小。表明渗透系数对流速有明显影响,在其他条件不变的情况下,随着渗透系数的增加,流速也随之增加。渗透系数为0.001的流速峰值与0.0002时相差不大,而且渗透系数大的流速到达峰值的时间要比渗透系数小的要晚。

由图8可知,不同渗透系数下,流量时程曲线走势都是逐渐增加,对于同一时刻,渗透系数0.01的流量明显比其它渗透系数的流量要大。曲线曲率均为先增加后减少,最终到达一定稳定状态。渗透系数较大,流体通过固体时相对容易,单位时间内的流量也会增加。对于流量时程曲线而言,可以将曲线曲率变化的拐点作为渗流流量监测点,利用相应的技术措施,对防止突水事故会起到一定的监测作用。

3 结论

以煤矿开采中突水事件为例对液固互动耦合作用下的地层和场地进行数值模拟,将煤矿突水分为两种不同的突水模式,针对每种模式建立相应的有限元几何模型,分析两种模式在各自影响因素下地层的应力、应变、流速和流量时程曲线,得出以下几点结论:

(1) 在断层突水模式中,45°断层倾角相比90°断层倾角对地层和场地的影响大,因此在煤层开采实际中应该特别注意倾向于开采工作面的小倾角断层。

(2) 在裂隙突水模式中,选取的三种渗透系数对地层和场地影响程度不同,渗透系数为0.01时影响最大,但渗透系数为0.001与0.0002时对流速和流量的影响几乎接近,因此当渗透系数在0.0002以下时,渗透系数产生的影响就会减弱。

(3) 通过对突水流速和流量的影响分析,表明液固互动影响在分析地层和场地变形过程中作用非常显著,因此在实际工程应特别注意。

参考文献:

- [1] 徐曾和. 渗流的流固耦合问题及应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 45(5): 45-49.
- [2] 邢景棠, 周盛, 崔尔杰. 流固耦合力学概述 [J]. 力学进展, 1997, 21(7): 19-38.
- [3] 曾娜, 郭小刚. 重庆三峡学院学报 [J]. 力学进展, 2008, 3(24): 126-130.
- [4] Hatzor Y H, Talesnick M, Tsesarsky M. Continuous and discontinuous stability analysis of the bell-shaped caverns at Bet Guvrin, Israel [J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2002, 39(7): 867-886.
- [5] 朱庆杰, 苏幼坡, 陈艳华. 城市防灾技术—ADINA-M建模与IDRISI 防灾决策 [M]. 中国科学技术出版社. 2007.

(下转第112页)

5 结 论

本文通过试验测试方法,对不同浓度的水玻璃浇注砂土的抗压强度进行了测试,在一定的温度和湿度、一定龄期内测得其抗压强度,分析了龄期、水玻璃浓度对抗压强度的影响规律,实验结果表明,水玻璃可用来加固地基,为今后对水玻璃与砂土固结的研究提供参考,在工程应用中也具有非常重要的现实意义。本研究只对同一模数下不同浓度的水玻璃与砂土固结情况进行了分析,如何根据工程需要确定适宜的水玻璃浓度,还需进一步试验研究。

参考文献:

- [1] 林学贵. 水玻璃在建筑方面的应用 [J]. 硅铝化合物, 2004, 5(3): 6-8.
- [2] 孙城祥. 水玻璃应用技术. 硅酸盐学报 [J], 1986, 6(11): 38-40.
- [3] 康永, 侯晓辉, 柴秀娟. 水玻璃复合材料应用研究的进展 [J]. 中国粉体工业, 2010, (6): 18-22.
- [4] 胡国兵. 水泥、水玻璃浆液在锦屏工程涌水封堵中的应用 [J]. 人民长江, 2009, 40(21): 32-34.
- [5] 陈永, 洪玉珍, 等. 水玻璃黏结剂的固化和粉化机理研究 [J]. 科学技术与工程, 2010, 10(1): 1671-1815.

Relationship between Strength of Pouring Sand the Concentration of Sodium Silicate

TIAN Xue-jing, LIU Ting-quan, GAO Xiao-yan, WANG Shuo

(Earthquake Engineering Research Center of Hebei Province, Hebei United University, Tangshan Hebei 063009, China)

Key words: strength of pouring sand; concentration of Sodium silicate; casting; consolidation

Abstract: In my country, the amount of sodium silicate application is far less than some foreign countries. To enhance understanding of the use of sodium silicate, the purpose of this project is the consolidation of water glass with the sand to do some research applications. Modeling group obtaining the compressive strength of block in the laboratory conditions, the strength of the relationship obtained between the concentration of sodium silicate and sand using Origin software, which in practical engineering applications can be done for reference.

(上接第 108 页)

Analysis of Water-inrush Simulation in Fluid-Solid Coupling Effect

WANG Jin-sheng, YANG Tong, WANG Peng

(Research Center of Earthquake Engineering, Hebei United University, Tangshan Hebei 063009, China)

Keywords: fluid-solid interaction; water inrush; ADINA; numerical simulation

Abstract: Taken bursting water in the process of mining as an example, Based on the fluid-solid interaction theory are established, a numerical simulation model for bursting water by ADINA. Which are structure model and the fluid model. For each different water-inrush mode, characteristics of stratum and site are discussed under the fluid-solid interaction in the processing of coal mine water-inrushing. Two conclusions are obtained. Firstly, it has an effect under 45° fault-dip on strata and venues faultage water-inrush mode. Particular attention should be played as inclined to small mining working face angle fault in the processing of coal mining. Secondly, a larger permeability coefficient affects water-inrush speed and water percolating capacity, water-inrush accidents can be avoided by selecting the proper mining area.