

文章编号:1673-9469(2013)02-0076-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2013.02.019

基于 RFPA^{2D} 的煤层开采冒裂带发育高度预测分析

段俭君

(中国煤炭地质总局 第三水文地质队,河北 邯郸 056001)

摘要:根据某矿开采技术条件和岩石力学性能等参数,建立力学模型,运用 RFPA^{2D}数值模拟软件进行覆岩导水裂隙带高度预测,用经验公式对覆岩导水裂隙带高度进行了估算。在采空工作面进行实测导水裂隙带高度。结果表明 RFPA^{2D}数值模拟所得到的导水裂隙带高度与现场测定结果基本接近,考虑预测偏差率后可以作为煤层冒裂带发育的高度进行矿井防治水的依据。

关键词:煤层开采;导水裂隙带;数值模拟

中图分类号:TD821

文献标识码:A

The predictive parsing of the development height of seam mining' crack zone based on RFPA^{2D}

DUAN Jian - jun¹

(The Third Hydrological Geological Team, China National Administration of Coal Geology, Hebei Handan 056001, China)

Abstract: We build mechanics models that are based on the parameter of mining technology conditions and rock mechanics property in a mine and use RFPA^{2D} numerical simulation software to forecast the height of overlying rock' water - flowing fractured zone and use empirical formula to estimate the height and measure actually the height of cavity' working face. We compare the numerical simulation's height using RFPA^{2D} software and the actual measurement's height, the result demonstrates that they are mostly equal. So the numerical simulation's result can be the basis to carry out the mine water prevention and control, but we must consider the forecast deviation ratio.

Key words: seam mining; water - flowing fractured zone; numerical simulation

近年来随着煤炭产量的大幅提高,开采中的灾害事故也频频发生,工作面顶板突水事故就是其中的一种。煤矿地下开采,必然引起采场周围岩层变形、破断和移动,若存在含水层,并在采动围岩中形成导水通道,就可能形成矿井水灾害^[1]对矿井水害治理除了对水文地质条件等进行调查分析外,须对开采后岩层移动、覆岩导水裂隙带高度等进行研究,为开采设计提供依据。我国已有12个省的煤矿采用多种方法,对各种不同地质采矿条件下的薄、中、厚煤层分层开采工作面的覆岩破坏状况进行了现场测定,由此得出了近水平至倾斜煤层开采后覆岩裂隙呈“马鞍形”的规律和“三下”规程中的计算裂隙带高度公式。然而对近期发展起来的综采放顶煤开采后的覆岩破坏形

态的观测与预计,国内外均处于探讨阶段^[4]。为了预测矿井采区煤层开采冒裂带发育高度,提高采区矿井涌水量预计的准确性,为矿井排水系统设计提供依据。基于煤层顶板岩石全过程进行模拟的 RFPA^{2D}分析软件,对采场覆岩随工作面推进时的变形、冒落情况进行了模拟,从而用数值模拟的方法确定导水裂隙带高度。

1 RFPA^{2D}的基本原理

RFPA^{2D}将细观力学方法与数值计算方法有机地结合起来,通过考虑岩石性质的非均匀性特点研究岩石的非线性行为,是一种运用连续介质力学方法解决非连续介质力学问题的新型数值分析方法,为岩石的非线性力学响应和破坏过程的分

析与模拟提供了非常有用和方便的工具^[2]。RFPA^{2D}采用岩体力学弹塑性模型有限元分析和低拉力分析原理相耦合的方法模拟、分析顶板裂隙带高度的基本思路为:(1)首先分析工作面开采条件和顶板工程地质条件,特别是煤及上覆岩层构成、物理力学性质、原岩应力特征、地质边界条件等,概化出地质模型。(2)通过合理的抽象与简化,建立采动条件下物理模型,分析模型受力机制。(3)提取控制性工程地质问题的主导因素,建立数学模型。(4)模拟采动条件下裂纹扩展、演化过程,分析裂隙带高度。

1.1 初始应力边界条件的确定

模型前后两侧、左右两侧和底部施加水平方向的约束,即其边界节点水平位移为零。模拟对原始应力场的描述,是根据金尼克修改的海姆静水压力假设进行的,即地层内各点的垂直应力等于上覆岩层的静压力,而侧向应力(水平应力)是泊松效应的结果。

$$\sigma_v = \gamma H \quad \sigma_h = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_v$$

式中 γ 和 H —上覆岩层的平均重度和厚度; μ —泊松比。

1.2 模拟技术

为消除边界效应,所建评价模型的尺寸应在模拟时采面周围应力变化范围之外。为更好体现岩层力学参数力学特性的差异,更明显地发挥各组参数的作用,并考虑简化计算剖分的工作量,在模拟时,对研究区内力学参数相近的自然岩层进行了合并,归为一组,并突出了所要考虑的主要岩层。为了满足计算精度的要求,并考虑其与计算时间的均衡,在模型单元划分方面,煤层顶板直接含水层单元等划分进行了加密。岩石不等于岩体,由于岩体内软弱结构面的存在,造成了岩体力学参数的降低,因此在模拟时,所选择的部分岩石力学参数都给予了一个适当的折减系数。在模拟过程中,是将开挖空间的实单元变成空单元,随着工作面不断推进,采空区不断扩大,采空区冒落岩块由松散逐渐被压实,因此在模拟过程中,采空区的冒落岩块的力学参数按松散堆积物赋予。

采空区冒落的矸石是一种松散介质。宏观上,它对顶板支撑和向底板传递荷载的力学作用可近似地用弹性支撑体表达,垮落带的高度一般是采高的4~5倍。需要考虑的是,随着工作面的

推进,矸石在覆岩作用下逐步被压实,材料的密度 ρ 、弹性模量 E 和泊松比 ν 随时间而增加。 ρ 、 E 和 ν 的变化规律可由以下经验公式表达:

$$\rho = 1600 + 800(1 - e^{-1.25t}) \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$E = 15 + 175(1 - e^{-1.25t}) \quad (\text{MPa})$$

$$\nu = 0.05 + 0.2(1 - e^{-1.25t})$$

上式中时间 t 的单位为 a 。公式反映出 ρ 、 E 和 ν 随时间呈指数变化关系,最终达到恒值。

开挖过程对巷道的稳定性影响是一个动态的过程,时间是影响岩体应力变化的一个因素,在模拟过程中忽略了时间因素的影响;本次模拟注重研究一次采矿后对巷道稳定性的影响结果,采矿过程进行了一次开挖简化处理。

2 应用实例

2.1 煤层开采情况

任家庄煤矿现开采煤层为11采区的三、五煤层,其中五煤只开采了南翼的110502(已采完)和110504(正在开采);三煤南翼工作面除110308工作面正在开采外,其余均以回采结束,北翼的110303、110305工作面已回采结束,目前正在准备110301工作面。三层煤位于山西组上部均可采,是井田内主要煤层之一。三煤顶板岩层由灰白、深灰色砂岩、粗砂岩、深灰色深黑色粉砂岩、泥岩、煤及少量粘土岩所组成。砂岩成份以石英为主,少量长石,层面有大量云母片,植物茎部及叶部化石。粘土质胶结。矿井采用走向长壁全部跨落综合机械化一次采全高采煤方法,采区走向长约3300m左右,倾斜宽约1000m,为双翼采区^[3]。

2.2 力学性质及初始条件

根据宁夏任家庄煤矿21采区ZK02孔岩石物理力学性质试验结果,三层煤及顶、底板地层物理、力学性质参数取值见表1。三煤层开采厚度3.0m,直接顶、底为泥岩,顶板主要由砂质泥岩、细砂岩等组成,地质模型由14层组成。物理力学模型见图1,工作面左右为水平位移约束,底部为垂直方向位移约束,第四系向下为均布荷载作用;模型在工作面推进方向取400m长,垂直方向取200m,模型被划分为 $1 \times 1 \text{ m}$ 的正方形网格共 $400 \times 200 = 80\,000$ 个。模拟煤层从左到右开挖,每个开挖步距为10m,开挖长度为120m。

表1 数值模拟计算参数

Tab.1 The parameter of numerical simulation and calculation

层数	名称	弹性模量 E/MPa	泊松比/ μ	内聚力 C/MPa	内摩擦角 φ	抗压强度/MPa
1	第四系	1 500	0.22	0.5	30	5.0
2	细砂岩	2 000	0.39	2.9	35°29'	24.9
3	粗砂岩	20 000	0.24	7.1	39°29'	46.1
4	中砂岩	13 000	0.26	4.2	30	32.3
5	砂质泥岩	11 000	0.26	2.9	32°41'	25.1
	砂质泥岩	5 000	0.3	2.9	33°22'	16.8
6	细砂岩	9 000	0.30	4.2	37°24'	30.9
7	泥岩	7 000	0.27	3.2	32°47'	15.7
8	3 煤	1 000	0.25	0.8	30	8.0
9	泥岩	5 000	0.28	2.8	30°20'	17.1
10	细砂岩	10 000	0.23	4.1	34°27'	26.8
11	5 煤	1 000	0.3	0.8	30	8.5
12	泥岩	5 000	0.18	3.1	31°37'	18.1
13	细砂岩	13 000	0.28	6.8	37°32'	36.8
14	中砂岩	20 000	0.18	7.2	39°41'	44.6

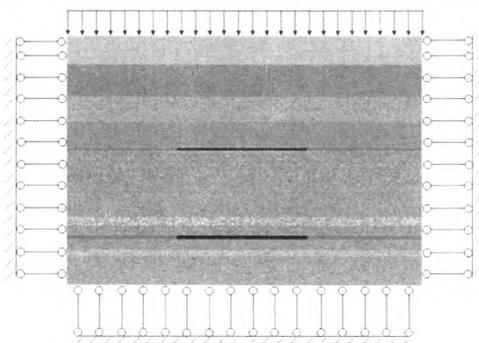


图1 三煤层开采上覆岩层层破断规律数值模拟力学模型

Fig.1 The numerical simulation mechanical model of the overlying rock fracture regulation about the three seams mining

三层煤顶间接含水层石盒子组砂岩裂隙含水层水压,视为应力边界。煤层顶板间接充水含水层的水压也是在建模过程中需要重点考虑的初始条件之一。假设煤层开采后所引发的导水裂隙高度未发育至煤层顶板间接充水含水层,但是导水裂隙之上至间接充水含水层底板之间的隔水岩段厚度相对于含水层水压其隔水效果作用不大的情况下,在上覆水压的作用下也极易发生矿井突水事故。因此,在建模过程中应对3煤层顶板间接含水层白垩系砂岩裂隙含水层水压的分布规律进行研究。

2.3 顶底板裂隙演化规律

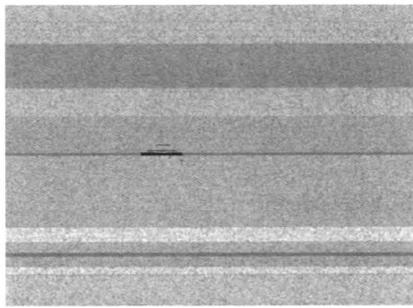
当三煤层开采时,顶板冒落,裂隙发展过程如

图2所示。当三煤层自开切眼推进20~30m左右时,直接顶板泥岩和砂质泥岩垮落,同时底板形成轻微裂隙,见图2(1)。当三煤层推进到离开切眼40~50m时,顶板裂隙继续向上发育,顶板出现离层,发生老顶初次来压,同时底板裂隙已经充分发育,见图2(2)。当三煤层推进至离开切眼顶60~80m时,顶板发生周期垮落和来压,垂向裂隙发育,老顶发生离层及整体弯曲下沉,裂隙带高度稳定在35m左右,底板破坏带约15m左右,见图2(3)。

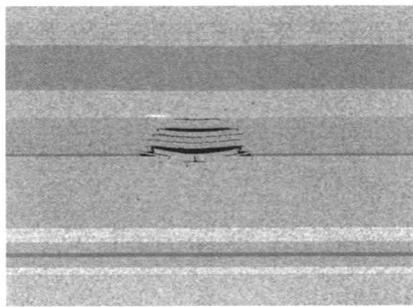
由图3三煤层顶板垂压应力演化曲线可知:(1)工作面采空区侧约30~40m处存在在压应力峰值,该峰值主要是由于老顶短臂梁作用于煤臂引起的。(2)同时工作面前方支承压力峰值点位置不断前移。(3)支承压力峰值应力集中系数一般为3~4倍左右。

2.4 模拟结果

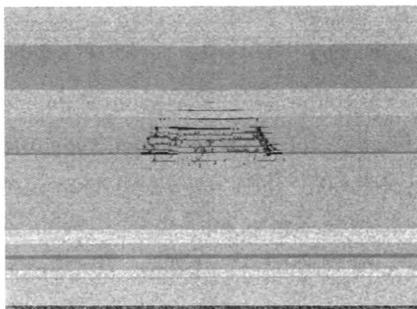
以任家矿21采区三煤层(采厚3.0m)顶板裂隙带高度模拟为目的进行RFPA^{2D}数值模拟,模拟结果表明:(1)首采区三煤开采时,顶板裂隙带高度随工作面向前推进而增大,老顶来压后,顶板裂隙带高度稳定于39.95m左右。(2)工作面开切眼和工作面前方10~20m为主要应力集中区,采空区为主要卸压区;采空区后方煤臂及工作面前方煤臂存在支承压力峰值,应力集中系数为3~4倍左右。



(1) 工作面推进距离开切眼 30m 时



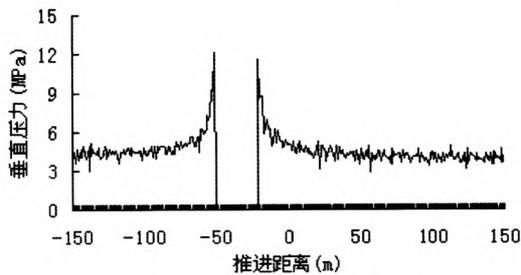
(2) 工作面推进距离开切眼 50m 时



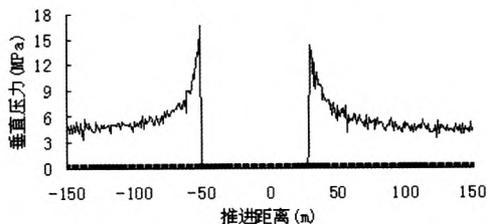
(3) 工作面推进距离开切眼 80m 时

图2 三煤层开采时顶板覆岩冒落及裂隙发育过程

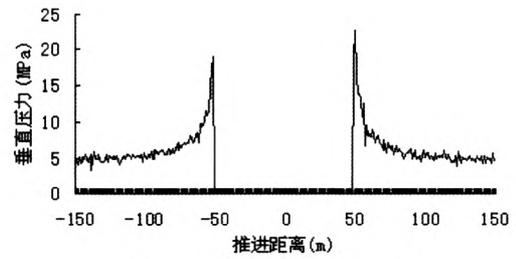
Fig.2 The development process of roof overlying rock's caving and fracture about the three seams mining



(1) 工作面推进距开切眼 30m 时



(2) 工作面推进距开切眼 50m 时



(3) 工作面推进距开切眼 80m 时

图3 三煤层顶板垂直压应力演化曲线

Fig.3 The vertical compressive stress's evolution curve of the three seams roof

3 预测结果评述

3.1 工作面采区实测

根据任家庄井田与 21 采区相邻的工作面中部施工 ZK01 孔对煤层顶板两带发育高度进行观测^[5]取得数据,该孔地面标高 1 325 m,煤层底板标高 957 m,埋深 368.0 m,顶板 365.0 m,求得煤层厚度为 3.0 m。根据钻探观测成果可知三煤导水裂隙带高度为 45.82 m^[3]。

3.2 经验公式估算

根据《煤矿防治水规定》导水裂隙高度采用行标《煤矿防治水规定释义》中的公式进行计算^[6]。3 号煤层顶板岩石抗压强度为 20 MPa ~ 40 MPa,采用如下公式

$$H_{li} = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6 \quad (1)$$

$$H_{li} = 20 \sqrt{\sum M} + 10 \quad (2)$$

式中 H_{li} - 导水裂隙带(包括冒落带最大高度) m;
 M - 煤层厚度 m。

21 采区 3 号煤层最大厚度分别为 3.0 m。带入公式(1)及公式(2)经计算取大值,3 号煤导水裂隙带为 44.77 m。

3.3 预测结果评述

数值模拟结果以任家矿 21 首采区三煤层(采厚 3.0 m)顶板裂隙带高度模拟为目的进行 RFPA^{2D}数值模拟,顶板裂隙带高度随工作面向前推进而增大,老顶期来压后,顶板裂隙带高度稳定于 39.95 m 左右。经验公式估算导水裂隙带为 44.77 m,钻探观测成果三煤导水裂隙带高度为 45.82 m。现场实测值最大,数值模拟预测值最小。

(下转第 83 页)

更好的优化网格任务调度。

4 结论

基于生物免疫机理的改进遗传算法,能够保证获得解的全局最优性,有效地解决网格任务调度问题。

参考文献:

- [1] 王浩,李飞. 基于 QoS 约束的网格任务调度算法[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2013,26(1): 25-28.
- [2] 刘瑶,陈志刚,曾志文. 可信禁忌粒子群优化网格任务调度算法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(12): 86-89.
- [3] 王刚,钟志水,黄永青. 基于蚁群遗传算法的网格资源调度研究[J]. 计算机仿真,2009,26(4): 240-243.

- [4] 刘海迪,杨裔,马生峰. 基于分层遗传算法的网格任务调度策略[J]. 计算机研究与发展,2008,45(1): 35-39.
- [5] 何丽丽,张京军. 改进遗传算法在桁架拓扑优化中的应用[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2009,26(3): 19-21.
- [6] CASTROL L N, TIMMIS J. Artificial immune systems as a novel soft computing paradigm [J]. Soft Computing 2003,7(8): 536-544.
- [7] 胡广青,姜波,吴胡. 基于灰色关联-遗传神经网络的煤与瓦斯突出预测模型[J]. 中国煤炭地质,2011,23(9): 27-31.
- [8] 窦贤明,杨永国,徐伟伟,等. 基于遗传算法和 BP 神经网络的矿井涌水量预测[J]. 中国煤炭地质,2009,21(10): 69-71.

(责任编辑 马立)

(上接第 79 页)

根据以上数据分析,数值模拟结果稍微低于现场观测值,说明预测区煤层顶板抗压能力较实验室测试值偏小,现场实测钻孔不足以控制工作面,基于此模拟预测值与现场实测值存在一定偏差,偏差率约 14%。RFPA^{2D}数值模拟上覆岩层冒落和裂隙带总高度结果基本接近实际观测结果,勘查区煤层顶板冒裂带在没有现场实测条件下,采用理论计算基础上加 14% 可以作为煤层冒裂带高度值。

4 结论

1) RFPA^{2D}数值模在处理综放矿造成的覆岩破坏这类问题时快速、简捷,对不同煤岩层赋存状态均可灵活加以运用。另外,通过与采空工作面实测和经验公式估算对比、检验,考虑与实测值的偏差率,可以作为其他采区冒裂带高度值,说明这种方法的预测结果是可靠的,因此,此法为综放开采条件下两带高度预测提供了一种有效的工具。

2) 煤层开采冒裂带发育高度与上覆松散层的

岩性力学性质和煤层开采厚度相关,顶板强塑性岩层分布越厚,煤层开采厚度越薄,将会对导水裂隙带高度起到限制作用,对安全高效开采有利。

参考文献:

- [1] 缪协兴,刘卫群,陈占清. 采动岩体渗流理论[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 朱万成,唐春安,杨天鸿,等. 岩石破裂过程分析 RFPA^{2D}系统的细观单元本构关系及验证[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(1):24-24.
- [3] 中国煤炭地质总局水文地质工程地质环境地质勘察院. 任家庄煤矿 21 采区水文地质补充勘探报告[R]. 2012,6.
- [4] 桂和荣,廖多荪. 综放开采最大导水裂隙带高度的应力法预测[J]. 煤炭学报,1997,22(4):375-379.
- [5] MTT_865-2000,导水裂缝带高度的钻孔冲洗液漏失量观测方法[S].
- [6] 武强. 煤矿防治水规定释义[M]. 北京:中国矿业大学出版社,2009.

(责任编辑 刘存英)