

文章编号: 1673-9469(2015)01-0062-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-9469.2015.01.017

覆岩导水裂隙发育的影响因素分析

何建东¹, 孙瑞², 曾文¹

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队, 安徽 六安 237010)

摘要: 为了揭示覆岩导水裂隙发育规律, 在分析导水裂隙影响因素的基础上, 利用正交试验确定各因素变化组合, 用 UDEC 软件进行数值模拟试验, 分析各因素变化下导水裂隙的发育情况。试验结果表明, 关键层距承压含水层距离和关键层位置这两种因素最能影响导水裂隙的发育。各因素对裂隙发育影响重要性: 关键层距四含距离 > 关键层位置 > 关键层破断步距 > 关键层间距。

关键词: 煤层开采; 导水裂隙; 裂隙发育; 正交试验; UDEC; 影响因素

中图分类号: P641.135

文献标识码: A

Analysis of factors for the water flowing fractured zone

HE Jian-dong¹, SUN Rui², ZENG Wen¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Anhui Hefei 230009, China; 2. No. 313 Geological Party of Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Anhui Lu'an 237010, China)

Abstract: The disturbance of overlaying strata, causing the water flowing fractured zone run through the aquifer, makes the accident between water-inrushing and rock-crushing happen from time to time. In order to reveal the development law of water flowing fractured zone, the combination of influencing factors which have been analyzed for the water flowing fractured zone is established, and then the different situation for the development of the water flowing fractured zone with different factors is discussed with the UDEC. The results showed that both the distance from the key stratum to the confined aquifer and the position of the key stratum influence the development of the water flowing fractured zone best. The arrangement of the factors for the water flowing fractured zone are the distance from the key stratum to the forth aquifer, the position of the key stratum, the breaking span of the key stratum and the interval of the key stratum which is orderly from the best to the worst.

Key words: coal mining; water flowing fractured zone; development of the water flowing fractured zone; orthogonal test; UDEC; influencing factors

关键层理论提出后,许多学者对其进行了研究,许家林、王晓振等人针对关键层位置、厚度以及是否存在主亚关键层等情况进行考虑,分析其对导水裂隙发育的影响^[1-4]; 缪协兴等人提出的隔水关键层原理应用于采煤保水^[5-7]; 研究覆岩导水裂隙发育的方法主要包括现场实测统计分析、数值模拟试验和物理模拟试验^[8-9]。由于祁东煤矿在采煤过程中发生过多次的压架突水事故^[10],故本文基于关键层理论,采用数值模拟方

法,选取关键层位置、关键层距四含距离、关键层破断步距和关键层间距这四种典型因素,研究它们对导水裂隙发育的影响,并采用正交试验设计方法确定各因素及其变化(或称为水平)的最优组合,确定模拟步骤^[11],讨论影响导水裂隙发育的主要因素及其重要性排序。

1 正交试验方案设计

本文研究松散承压含水层下采煤引起的突水

收稿日期: 2014-10-21

基金项目: 国家自然科学基金(41372244); 安徽省自然科学基金(13008085ME61)

作者简介: 何建东(1988-),男,陕西榆林人,硕士,研究方向为地质工程数值模拟。

表 1 正交表 $L_9(3^4)$

Tab.1 Orthogonal table $L_9(3^4)$

试验	关键层距 4 含距离/m	关键层间距/m	关键层位置	主(亚)关键层来压步距/m
1	100	25	单一主关键层	40(无亚关键层)
2	100	20	主关键层在上	50(25)
3	100	15	主关键层在下	60(20)
4	80	25	主关键层在上	60(20)
5	80	20	主关键层在下	40(20)
6	80	15	单一主关键层	50(无亚关键层)
7	60	25	主关键层在下	50(25)
8	60	20	单一主关键层	60(无亚关键层)
9	60	15	主关键层在上	40(20)

表 2 UDEC 数值模拟参数

Tab.2 UDEC parameters of numerical model

参 数 岩 层	密度	体积模量	剪切模量	粘聚力	摩擦角/ $^\circ$	节理法	节理剪	节理粘	节理摩 擦角/ $^\circ$
	/kg · m ⁻³	/Pa	/Pa	/Pa		向刚度 /N · m ⁻¹	切刚度 /Nm ⁻¹	聚力 /Pa	
松散层	1 600	4.77e9	3.28e9	3e6	25	4e9	4e9	0.02e6	15
四含承压含水层	2 000	8.33e9	2.85e9	4e6	25	4e9	3e9	0.02e6	10
风化带	1 800	5.56e9	3.17e9	4e6	28	3e9	3e9	0.01e6	5
基岩	2 200	8.33e9	4.77e9	5e6	33	6e9	6e9	0.05e6	20
主关键层	2 600	32.4e9	14.4e9	12e6	40	15e9	15e9	0.3e6	30
基岩	2 200	8.33e9	4.77e9	4e6	33	6e9	6e9	0.05e6	20
亚关键层	2 600	32.4e9	14.4e9	12e6	40	10e9	10e9	0.1e6	25
直接顶	2 200	8.33e9	4.77e9	4e6	33	3e9	2e9	0.01e6	3
煤层	1 350	1.67e9	1.25e9	1.25e6	40	1.5e9	2e9	0.01e6	5
底板	2 300	25e9	11.51e9	12e6	40	12e9	12e9	0.1e6	15

压架事故原因,在影响导水裂隙发育的各种原因中选取 4 种典型因素,每种因素在 3 个水平上进行正交试验,选取正交试验表 $L_9(3^4)$ 进行试验安排,见表 1。

2 数值模型确定

在正交试验中,统一以祁东煤矿典型工作面四含承压含水层埋深 350 m,四含厚度 20 m,采煤高度 2 m,主关键层厚度 5 m,亚关键层厚度 3 m 进行计算,当试验中仅有一层主关键层时,关键层间距为主关键层至直接顶的距离。每次计算中推进 10 m,模型左右各留 40 m 长度的保护边界。主亚关键层按照实际工作面来压步距划分。主关键层每隔 50 m,划分一个结构面,亚关键层每隔 20 m 划分一个结构面。

模型边界条件的确定:模型在左右边界设置水平方向约束,固定 x 方向位移,在底部界面固定 y 方向位移,在顶部设置上部缺省松散土层的自重应力。模型块体单元采用摩尔库伦塑性本构,节

理单元采用摩尔库伦滑移本构,主要计算参数见表 2,模型见图 1。

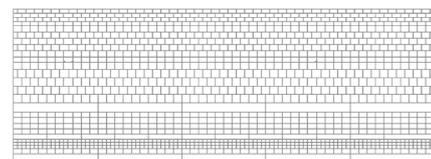


图1 数值模型

Fig.1 Numerical model

3 计算结果及分析

3.1 模拟结果处理

利用 UDEC 软件对 9 个试验进行数值模拟,结果利用直观分析法分析(见表 3)。

直观分析法是通过每一因素的极差来分析问题,某种因素极差越大表明此种因素对整个试验结果影响越大,各因素按照极差大小排列,可以得出影响整个试验结果的主次顺序,从而得出影响试验结果的优水平和优组合。

本次正交试验结果的直观分析步骤如下:

(1) 列出正交试验表,并在表尾增加一列,用于填写每次正交试验结果。

(2) 计算某种因素在某种水平下的试验结果之和,例如在本次正交试验中,关键层距离四含距离这种因素在9次试验中第1种水平作用下,进行了3次试验,分别是试验1、试验2和试验3。统计3次试验中,导水裂隙发育高度之和 $K1 = 140\text{ m} + 118\text{ m} + 160\text{ m}$,并计算 $K1$ 平均值 $k1$ 。

(3) 计算极差 R 值, R 为最大和最小均质之差。

(4) 统计各因素极差 R 值大小,从大到小排列。由于本次计算得到的是导水裂隙发育最大高度,在考虑到突水性时,应把某种能使导水裂隙发育高度最小的因素作为主要因素。

(5) 按照极差大小,分出优水平和优组合。

(6) 画出各因素的效应曲线图。

3.2 因素分析

(1) 根据表3可知,各因素对裂隙发育的影响重要性排序:关键层距四含距离 > 关键层位置 > 关键层破断步距 > 关键层间距。

(2) 由图2可更直观的看出关键层与承压含水层距离越大,导水裂隙高度越大。其根本原因在于:关键层破断时,其控制的上覆岩层中有一部

分岩层要随之破断垮落,另一部分岩层要弯曲下沉。弯曲下沉带整体弯曲下沉的范围也要随着破断岩层范围的增加而增加,最终导致大范围的破断岩层中产生大高度的导水裂隙,并与大范围的弯曲下沉带中的导水裂隙相互贯通,形成导水通道,最终发生突水事故。

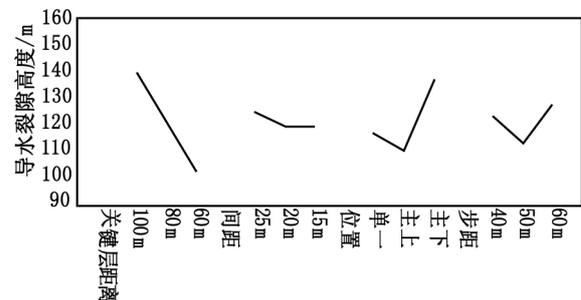


图2 正交试验各因素—导水裂隙高度关系图

Fig.2 The relationship with factors and the height of water flowing fractured zone

(3) 主亚关键层距离对导水裂隙发育高度影响特点如下:当主亚关键层之间距离在25~20 m范围时,导水裂隙高度随着两者之间距离的减少而减少;但是当主亚关键层距离小于20 m之后,导水裂隙高度基本不发生变化;当基岩厚度小于某临界值时(正交试验中,临界值为20 m),主亚关键层复合破断造成的影响不明显,亚关键层的破断可以看做是一层基岩的破断。

表3 正交试验直观分析表

Tab.3 Intuitive analysis of Orthogonal table

所在列	1	2	3	4	结果
因素	关键层距四含距离	关键层间距	关键层位置	关键层破断步距	导水裂隙高度/m
试验1	1	1	1	1	140
试验2	1	2	2	2	118
试验3	1	3	3	3	160
试验4	2	1	2	3	120
试验5	2	2	3	1	137
试验6	2	3	1	2	106.6
试验7	3	1	3	2	112.8
试验8	3	2	1	3	101.2
试验9	3	3	2	1	90
K1	418	372.8	347.8	367	
K2	363.6	256.2	328	337.4	
K3	304	256.6	409.8	381.2	
均值 k1	139.33	124.26	115.93	122.33	
均值 k2	121.20	118.73	109.33	112.46	
均值 k3	101.33	118.86	136.60	127.06	
极差 R	38.00	5.53	27.26	14.60	
主次水平	关键层距四含距离 > 关键层位置 > 关键层破断步距 > 关键层间距				

(4) 当主关键层在上部时,下部亚关键层破断时,导水裂隙一直被限制在主关键层之下,并且由于主关键层在上部,减小了主关键层离承压含水层之间的距离,导水裂隙高度不会很高。

当主关键层在下部时,主关键层的破断造成上部亚关键层的破断,而亚关键层是不能很好抑制主关键层破断造成的影响,导水裂隙最少也要发育至亚关键层之上。

主关键层在下部时,变相增加了主关键层离承压含水层之间的距离,造成主关键层控制的基岩厚度变大。一旦主关键层破断时,大范围的破断岩层中将产生高度明显发育的导水裂隙。

(5) 主关键层破断步距对导水裂隙发育高度影响大小依次为:破断步距 60 m,破断步距 40 m,破断步距 50 m。主关键层破断步距 50 m 是一个临界值,在此种破断步距影响下,导水裂隙高度最小。

4 结论

1) 关键层距承压含水层距离和关键层位置这两种因素最能影响导水裂隙的发育。因素对结果影响主次是:关键层距四含距离 > 关键层位置 > 关键层破断步距 > 关键层间距。

2) 最优组合是关键层距四含距离 60 m,关键层间距 20 m,主关键层位置在上部,主关键层破断步距 50 m,在这种组合中,导水裂隙发育高度最小,在工作面大周期来压期间最不易发生突水事故。

参考文献:

[1] 钱鸣高, 缪协兴. 岩层控制中的关键层的理论研究[J].

煤炭学报, 1996, 21(3): 225 - 230.

[2] 许家林, 朱卫兵, 王晓振. 基于关键层位置的导水裂隙带高度预计方法[J]. 煤炭学报, 2012, 37(5): 762 - 769.

[3] 王晓振, 许家林, 朱卫兵. 主关键层结构稳定性对导水裂隙演化的影响研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(4): 606 - 612.

[4] 许家林, 王晓振, 刘文涛, 等. 覆岩主关键层位置对导水裂隙带高度的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 380 - 385.

[5] 缪协兴, 王安, 孙亚军, 等. 干旱半干旱矿区水资源保护性采煤基础与应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 217 - 227.

[6] 缪协兴, 浦海, 白海波. 隔水关键层原理及其在保水采煤中的应用研究[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(1): 1 - 4.

[7] 缪协兴, 陈荣华, 浦海, 等. 采场覆岩厚关键层破断与冒落规律分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(8): 1289 - 1295.

[8] 马立强, 张东升, 乔京利, 等. 浅埋煤层采动覆岩导水通道分布特征试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2008, 27(5): 649 - 652.

[9] 王晓振. 松散承压含水层下采煤压架突水灾害发生条件及防治研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2012.

[10] 刘洋, 何建东. 祁东矿松散层下第四含水层地下水流场三维数值模拟[J]. 皖西学院学报, 2013, 29(5): 97 - 99.

[11] 夏伯忠. 正交试验法[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1985.

(责任编辑 王利君)