

文章编号: 1673-3363-(2014)06-0838-07

# 覆岩结构对松散承压含水层下 采煤压架突水的影响研究

王晓振<sup>1</sup>, 许家林<sup>1,2</sup>, 朱卫兵<sup>1</sup>, 郝浩<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学矿业工程学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116)

**摘要** 针对松散承压含水层下采煤压架突水灾害问题, 采用数值模拟和相似材料模拟手段, 就松散承压含水层下采煤基岩厚度、硬岩层层位及硬岩层的不同组合特征等覆岩结构因素对压架突水灾害的影响进行了研究。结果表明: 在松散承压含水层载荷传递作用较大的情况下, 压架突水灾害的发生主要与覆岩结构有关, 当基岩越薄、距离煤层 10 倍采高以内的顶板中存在巨厚硬岩层且距离煤层最近的硬岩层厚度越大时, 覆岩越易发生整体破断, 引发工作面压架突水灾害。上述影响规律得到了祁东煤矿 7<sub>1</sub>14 和 7<sub>1</sub>12 工作面开采实践的验证。根据压架突水灾害发生的覆岩结构条件, 可以在采前对压架突水危险区域进行预测, 从而为采场压架突水灾害的防治提供依据。

**关键词** 松散承压含水层; 压架突水; 覆岩结构; 关键层; 复合破断

**中图分类号** TD 325

**文献标志码** A

## Overburden structure influence to support crushing and water inrush during mining under unconsolidated confined aquifer

WANG Xiaozhen<sup>1</sup>, XU Jialin<sup>1,2</sup>, ZHU Weibing<sup>1</sup>, HAO Hao<sup>1,2</sup>

(1. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China; 2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

**Abstract** In this paper, in view of the support crushing and water inrush disaster when mining under unconsolidated confined aquifer, numerical and physical simulations were used to study the influence of overburden thickness, key stratum location and structural combination characteristics, etc., on support crushing and water inrush disaster. The results show that under the remarkable load transfer faction of unconsolidated confined aquifer, support crushing and water inrush disaster is mainly related to the overburden structure. The thinner the thickness of bedrock is, and the thicker the first key stratum above coal seam is, the more easily the integral breakage of overburden occurs if the super-thick stratum exists within 10 times mining height distance above coal seam, which may easily induce support crushing and water inrush disaster in coal face. Above has been validated at No.7<sub>1</sub>14 and No.7<sub>1</sub>12 working faces in Qidong Coal Mine. Based on the overburden structure, the dangerous area of support crushing and water inrush

收稿日期: 2014-01-13

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAK04B06); 江苏省自然科学基金项目(BK20140205); 国家自然科学基金项目(51404246)

作者简介: 王晓振(1985—), 男, 河南省镇平县人, 博士、讲师, 从事岩层移动与绿色开采方面的研究。

E-mail: wxzcumt406@163.com

Tel: 13645216184

can be predicted before coal mining, which may provide a basis for such disaster prevention.

**Key words** unconsolidated confined aquifer; support crushing and water inrush; overburden structure; key stratum; compound breakage

我国华北、华东多数井田的煤系地层普遍被新生界厚松散层覆盖，该松散层底部存在一层以砾石、砂砾为骨架的含水层，直接赋存于基岩顶部，严重威胁工作面的安全开采，曾发生多起压架突水事故，造成了巨大的经济损失<sup>[1-3]</sup>。如皖北祁东煤矿自 2002 年投产以来，相继在 8 个工作面发生了 17 起压架突水事故，严重影响了矿井的采掘接替计划，如何防治压架突水灾害是目前祁东煤矿及其他类似条件矿井急需解决的难题。

针对松散承压含水层下采煤发生的压架突水问题，刘天泉<sup>[4]</sup>对近松散含水层的不同类型及其对安全煤岩柱留设的影响进行了研究；檀双英等<sup>[5-6]</sup>对此类灾害的成因进行了初步分析，并提出先“强排”后“截流拔架”再“堵源”的治理技术；许家林等<sup>[7-8]</sup>综合采用现场实测、实验模拟及理论分析的方法，对松散承压含水层下采煤覆岩的破坏规律进行了深入研究，认为由于松散承压含水层的载荷传递作用，造成一定覆岩条件的关键层发生了复合破断(即相邻 2 层或多层硬岩层同步破断)和砌体梁结构的滑落失稳，从而引发压架突水灾害的发生。文献[9]研究指出，若覆岩在含水层载荷传递作用下发生了整体破断，导水裂隙带高度也将异常增大而沟通含水层，引发突水灾害。文献[10-11]分别提出高阻力支架和水位降速预警的方法来防治压架突水灾害。

然而，现场开采实践表明，在含水层赋存条件相同的情况下，同一采区或同一工作面仅在部分区域发生了压架突水事故，说明覆岩结构差异是决定工作面是否会发生压架突水事故的主要因素，但目前尚未开展相关研究。针对上述问题，本文重点就松散承压含水层下采煤时基岩厚度、硬岩层层位及硬岩层不同组合特征等因素对覆岩整体破断的影响进行研究，揭示松散承压含水层下采煤压架突水灾害发生的覆岩结构条件，从而为压架突水灾害的预测和防范提供依据。

1 关键层结构对覆岩破断影响的数值模拟

1.1 模型的建立

将祁东煤矿松散承压含水层区域内 2713 钻孔柱状(见图 1)进行一定的简化,作为基本模型(图 2),

其他模拟方案将在此基础上，通过改变基岩厚度、硬岩层层位及硬岩层的不同组合特征，来研究覆岩结构变化对覆岩整体破断的影响。

层号	厚度/m	埋深/m	岩性	备注
17	369.10	369.10	松散层	
16	4.91	374.01	泥岩	
15	4.83	378.84	细砂岩	
14	6.18	385.02	泥岩	
13	1.64	386.66	中砂岩	
12	4.26	390.92	泥岩	
11	2.31	393.23	6#煤层	
10	2.90	296.13	泥岩	
9	0.87	397.00	泥岩	
8	4.64	401.64	细粉砂岩	
7	0.58	402.22	铁砂岩	
6	9.09	411.31	细粉砂岩	硬岩层
5	0.43	411.74	细砂岩	
4	0.99	412.73	6#煤层	
3	10.30	423.03	泥岩	
2	10.19	433.22	细粉砂岩	硬岩层
1	3.03	435.25	7#煤层	

图 1 祁东煤矿 2713 钻孔柱状  
Fig.1 Histogram of 2713 drilling in Qidong coal mine

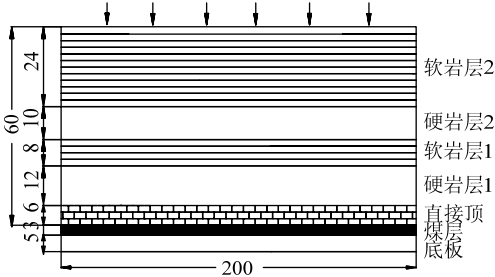


图 2 基岩厚度对覆岩破断特征影响的数值模型 (m)  
Fig.2 Numerical model of influence on overburden thickness to overburden breakage characteristics

研究主要运用 UDEC3.0 软件，采用摩尔-库伦破坏准则，并以拉破坏作为岩层破断的判别条件。模型长 200 m，左、右边界和底部均固定，顶部为自由边界。根据实际的含水层水压大小，在模型顶界面施加 6 MPa 的垂向载荷来模拟水压作用及含水层传递的载荷。模型中各岩层力学参数见表 1。

表 1 数值模型中各岩层力学参数  
Table 1 Mechanical parameters of rock strata in numerical model

岩层	容重/(kN·m <sup>-3</sup> )	弹性模量/GPa	泊松比	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)	抗拉强度/MPa
硬岩层层	24	36	0.22	8.0	40	5
软岩层	22	28	0.30	4.0	33	3.5
直接顶	18	24	0.33	4.0	28	2
煤层	13.5	12	0.35	1.5	23	1.5
底板	24	36	0.25	8.0	40	5

1.2 基岩厚度对覆岩整体破断的影响

由于地层倾角的存在,基岩厚度不同,将引起覆岩结构发生变化,尤其是硬岩层层数变化<sup>[12]</sup>。当基岩较薄时,硬岩层层数较少;当基岩厚度增加时,若不考虑硬岩层本身厚度的变化,覆岩结构的变化存在 3 种情况:① 载荷层厚度增加;② 硬岩层间距增大;③ 硬岩层层数增加。

基于上述分析,结合钻孔柱状,建立图 2 所示的数值模型(方案 a)。在方案 a 的基础上,方案 b 将硬岩层 2 上部的软岩层(相当于施加的载荷层)厚度增加为 64 m,方案 c 将 2 层硬岩层的间距增加为 48 m,方案 d 增加硬岩层 3。方案 e 在方案 c 的基础上,将靠近煤层的硬岩层 1 厚度减小为 5 m。方案 f 在方案 d 的基础上,将硬岩层 1 的厚度减小为 5 m。方案 b~f 的基岩厚度均增加为 100 m。

各方案的模拟结果见表 2。当基岩厚度为 60 m

时,推进至 45 m,2 层硬岩层同步破断,硬岩层 1 为主关键层,覆岩表现为复合单一关键层结构,主关键层破断时易导致覆岩发生整体破断引发采场压架突水灾害。当载荷层厚度增加导致基岩总厚度增加后 2 层硬岩层依然表现为同步破断,如方案 b 的模拟结果所示。而硬岩层间距增加或硬岩层层数增加后,硬岩层同步破断时对应的推进距增大,如方案 c, d 的运算结果所示,说明基岩厚度增加后,覆岩越不容易发生整体破断。模拟结果还表明,硬岩层的破断顺序受到距离煤层最近的硬岩层厚度的影响,如表 2 中方案 e, f,当距离煤层最近的硬岩层 1 厚度减小时,硬岩层 1, 2 由方案 c, d 所示的同步破断变为分步破断,说明基岩厚度增大后,硬岩层厚度的不同组合形式也会对覆岩的破断特征产生影响,这将在后文做进一步说明。

表 2 基岩厚度对覆岩破断特征影响的模拟结果  
Table 2 Simulation results of influence on overburden thickness to overburden breakage characteristics

岩层	各方案岩层厚度/m						各方案硬岩层破断时推进距/m					
	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f
软岩层 3	—	—	—	34	—	34	—	—	—	—	—	—
硬岩层 3	—	—	—	10	—	10	—	—	—	75	—	60
软岩层 2	24	64	24	20	31	20	—	—	—	—	—	—
硬岩层 2	10	10	10	10	10	10	45	45	55	50	50	40
软岩层 1	8	8	48	8	48	15	—	—	—	—	—	—
硬岩层 1	12	12	12	12	5	5	45	45	55	50	40	40
直接顶	6	6	6	6	6	6	—	—	—	—	—	—
煤层	3	3	3	3	3	3	—	—	—	—	—	—
底板	5	5	5	5	5	5	—	—	—	—	—	—
基岩厚度	60	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—
硬岩层破断形式	—	—	—	—	—	—	同步	同步	同步	分步	分步	分步
关键层结构特征	—	—	—	—	—	—	复合单一	复合单一	复合单一	多层	多层	多层

注:表中硬岩层破断形式分为同步破断和分步破断,分别简写为同步和分步,3 层硬岩层破断步距不同时,即表示为分步破断,反之表示为覆岩同步破断;关键层结构特征分为复合单一关键层结构和多层关键层结构,分别简写为复合单一和多层,下同。

1.3 硬岩层层位对覆岩整体破断的影响

研究表明,当覆岩中存在相对厚硬的岩层时,其层位的变化会对相邻硬岩层甚至所有覆岩的破断特征产生影响<sup>[13]</sup>。

以基岩厚度 60 m,覆岩中存在 2 层硬岩层为例,建立模拟方案 a,如图 3 所示。方案中硬岩层 1 的厚度为 4 m,硬岩层 2 的厚度为 10 m,硬岩层 2 为覆岩中的厚硬岩层,与煤层间距为 6 倍采高,通过改变 2 层硬岩层的间距,实现厚硬岩层层位的变化,具体方案见表 3,各方案中厚硬岩层与煤层间距分别为 8 倍采高、10 倍采高、12 倍采高和 14 倍采高。

模拟结果表明,当厚硬岩层与煤层间距为 6, 8, 10 倍采高时,随工作面开采,2 层硬岩层均发生了同步破断,且厚硬岩层距离煤层越近,同步破断时对应的推进距越小,即覆岩越容易发生同步破断。

而当厚硬岩层与煤层距离增大为 12 和 14 倍采高时,随工作面开采,硬岩层 1 先破断,硬岩层 2 滞后破断,且随着 2 层硬岩层间距的增加,2 层硬岩层破断时所对应推进距的差值有增大的趋势,即覆岩中硬岩层越不容易发生同步破断。表明在距离煤层 10 倍采高的顶板范围内存在厚硬岩层时,易导致覆岩发生整体破断,引发压架突水灾害。

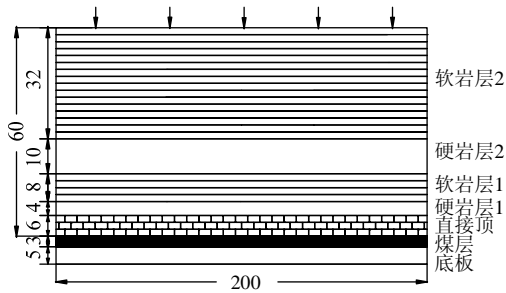


图 3 厚硬岩层层位变化的数值模型 (m)  
Fig.3 Numerical model of key stratum location changing

表 3 厚硬岩层层位对覆岩破断特征影响的模拟结果  
Table 3 Simulation results of influence on hard-thick stratum's location to overburden breakage characteristics

岩层	各方案岩层厚度/m					硬岩层破断时推进距/m				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
软岩层 2	32	26	20	14	8	—	—	—	—	—
硬岩层 2	10	10	10	10	10	35	40	45	45	50
软岩层 1	8	14	20	26	32	—	—	—	—	—
硬岩层 1	4	4	4	4	4	35	40	45	40	40
直接顶	6	6	6	6	6	—	—	—	—	—
煤层	3	3	3	3	3	—	—	—	—	—
底板	5	5	5	5	5	—	—	—	—	—
n 倍采高	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14

1.4 硬岩层不同组合对覆岩整体破断的影响

硬岩层厚度及组合特征的改变会导致覆岩结构及其破断特征发生变化，本节分别研究基岩厚度为 60 和 100 m 时，不同层位硬岩层的厚度及其组合特征对覆岩破断的影响。

图 4 为基岩厚度为 60 m 时的数值模型，通过改变硬岩层 1 的厚度，来研究基岩较薄时煤层上方第 1 层硬岩层厚度变化对覆岩破断特征的影响，模拟结果见表 4。

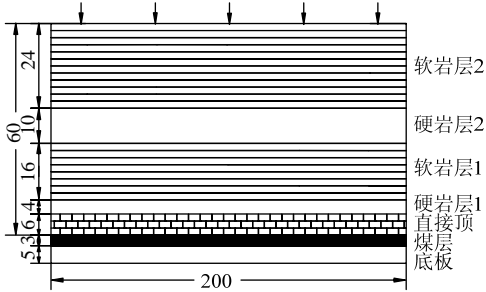


图 4 基岩较薄时硬岩层不同组合的数值模型 (m)  
Fig.4 Numerical model of different stratum assemblage with thin overburden

表 4 所示的模拟结果表明，当基岩较薄，距离煤层顶板 10 倍采高以内存在厚硬岩层(如硬岩层 2)时，煤层上方第 1 层硬岩层厚度改变并不影响覆岩的破断特征，2 层硬岩层均发生同步破断，覆岩表现为复合单一关键层结构，模拟结果与表 3 所得结论一致。若厚硬岩层与煤层间距大于 10 倍采高时，如表 4 所示的方案 d~f，煤层上方的第 1 层硬岩层厚度越大，越容易导致覆岩发生整体破断。当煤层上方第 1 层硬岩层厚度满足覆岩整体破断的条件后，随着该硬岩层厚度的增大，同步破断时推进距越大，覆岩发生整体破断时在工作面产生的矿压显现会越剧烈。

表 4 基岩较薄时(60 m)硬岩层不同组合对覆岩破断特征影响的模拟结果  
Table 4 Results of influence on different stratum assemblage to overburden breakage with thin overburden(60 meters)

岩层	各方案岩层厚度/m						各方案硬岩层破断时推进距/m					
	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f
软岩层 2	24	24	24	14	14	14	—	—	—	—	—	—
硬岩层 2	10	10	10	10	10	10	40	45	45	45	45	50
软岩层 1	16	12	8	26	22	18	—	—	—	—	—	—
硬岩层 1	4	8	12	4	8	12	40	45	45	40	45	50
直接顶	6	6	6	6	6	6	—	—	—	—	—	—
煤层	3	3	3	3	3	3	—	—	—	—	—	—
底板	5	5	5	5	5	5	—	—	—	—	—	—
n 倍采高	8.6	8.6	8.6	12	12	12	8.6	8.6	8.6	12	12	12
硬岩层破断形式	—	—	—	—	—	—	同步	同步	同步	分步	同步	同步
关键层结构特征	—	—	—	—	—	—	复合单一	复合单一	复合单一	多层	复合单一	复合单一

当基岩厚度为 100 m 时，建立表 5 所示的模拟方案，在方案 a 的基础上，方案 b, c 分别改变距离

煤层最近的硬岩层 1 的厚度。方案 d, e 改变硬岩层 1、硬岩层 2 的厚度组合。方案 f, g 在方案 e 的

基础上,改变硬岩层 3 的厚度。通过上述方案,来研究基岩较厚时硬岩层不同组合的对覆岩破断特征的影响。

模拟结果表明,当硬岩层 1 厚度依次由 5 m 增加为 13 m 时,硬岩层破断顺序由方案 a 的分步破断改变为方案 c 的同步破断。而当进一步改变硬岩层 1 和硬岩层 2 的组合关系时,发现距离煤层最近的硬岩层 1 的厚度变化对硬岩层破断特征的影响较为明显,使得方案 d 中硬岩层 1 和硬岩层 2 由分步

破断,改变为方案 e 中硬岩层的同步破断。方案 f, g 在改变距离煤层最远的硬岩层厚度时,并未改变硬岩层的破断特征,硬岩层 3 依然滞后硬岩层 1, 2 破断,覆岩表现为多层关键层结构,但随硬岩层 3 厚度的增加,其破断时对应的推进距增大。与基岩较薄时多数方案中硬岩层均发生同步破断的现象相比,基岩厚度增加之后,硬岩层出现同步破断的现象减少。这也证实了前文基岩厚度增加后覆岩不易发生整体破断的结论。

表 5 基岩较厚时(100 m)硬岩层不同组合对覆岩破断特征影响的模拟结果  
Table 5 Results of influence on different stratum assemblage to overburden breakage with thick overburden (100 meters)

岩层	各方案岩层厚度/m							各方案硬岩层破断时推进距/m						
	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g
软岩层 3	30	30	30	30	30	30	30	—	—	—	—	—	—	—
硬岩层 3	10	10	10	10	10	12	15	55	55	45	55	55	55	60
软岩层 2	20	20	20	20	20	18	15	—	—	—	—	—	—	—
硬岩层 2	10	10	10	15	12	12	12	45	50	45	50	40	40	40
软岩层 1	15	10	7	10	10	10	10	—	—	—	—	—	—	—
硬岩层 1	5	10	13	5	8	8	8	40	50	45	45	40	40	40
直接顶	10	10	10	10	10	10	10	—	—	—	—	—	—	—
煤层	3	3	3	3	3	3	3	—	—	—	—	—	—	—
底板	5	5	5	5	5	5	5	—	—	—	—	—	—	—
硬岩层破断形式	—	—	—	—	—	—	—	分步	分步	同步	分步	分步	分步	分步
关键层结构特征	—	—	—	—	—	—	—	多层	多层	复合单一	多层	多层	多层	多层

以上数值模拟研究得出,在松散承压含水层载荷传递作用下,基岩越薄、距离煤层 10 倍采高的顶板内存在厚硬岩层且距离煤层最近的硬岩层厚度越大时,覆岩易表现为复合单一关键层结构,距离煤层最近的厚硬岩层成为覆岩中唯一的关键层,覆岩易整体破断,引发工作面压架突水灾害。

2 覆岩结构对关键层破断影响的物理模拟

2.1 模拟方案

为进一步研究硬岩层层位对覆岩破断特征的影响,设计了图 5 所示的实验方案,模拟中硬岩层 2 为厚硬岩层。模型铺设总长度为 250 cm,总高度为 136 cm,其中煤层厚度为 3 cm,基岩总厚度为 58 cm,含水层上部松散层厚度为 50 cm,剩余载荷通过加载模拟,施加载荷为 48 kPa,相当于铺设 300 cm 厚的松散层。模型尺寸相似比 1:100,采用精选细砂为骨料,以石膏、碳酸钙、云母、水等为辅料,实验中用水砂袋填充石子模拟含水层。模型各岩层的力学参数见表 6。实验过程中,煤层从右向左开挖,每次开挖 5 cm,间隔 15 min。

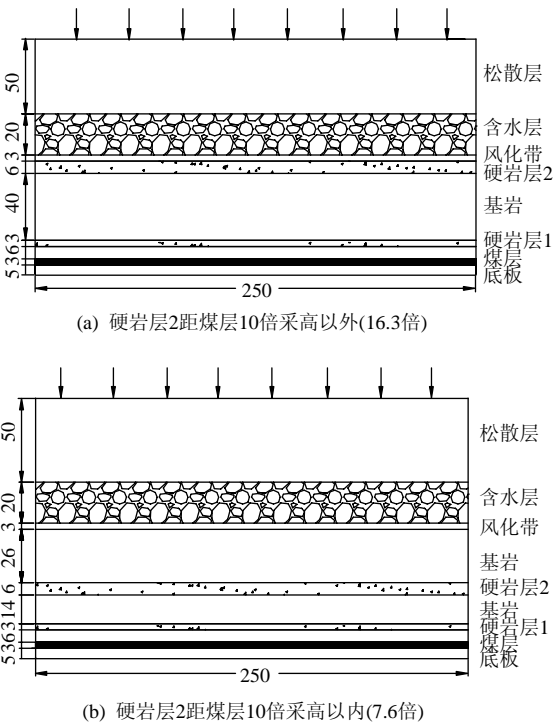


图 5 物理模拟方案 (m)  
Fig.5 Physics simulation scheme

表 6 模拟中各岩层力学参数  
Table 6 Mechanics parameter of each stratum

序号	岩层	容重/ ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	弹性模 量/GPa	内聚力/ MPa	内摩擦 角/( $^{\circ}$ )	泊松比
1	松散层	16.0	0.064	0.016	25	0.4
2	含水层	—	—	—	—	—
3	风化带	16.0	0.064	0.032	25	0.35
4	硬岩层 2	16.0	0.240	0.064	40	0.22
5	基岩	16.0	0.120	0.032	33	0.33
6	硬岩层 1	16.0	0.240	0.064	40	0.22
7	直接顶	16.0	0.080	0.032	28	0.33
8	煤层	16.0	0.032	0.012	23	0.33
9	底板	16.0	0.240	0.064	40	0.25

2.2 模拟结果及分析

当覆岩中厚硬岩层与煤层间距大于 10 倍煤层采高时，随煤层开挖，硬岩层 1 先破断，如图 6a，随着工作面继续向前推进，上位的硬岩层 2 滞后破断，2 层硬岩层自下而上分步破断，覆岩形成多层关键层结构，硬岩层 1 为亚关键层，硬岩层 2 为主关键层。覆岩的这种破断特征不会导致工作面压架突水灾害的发生。

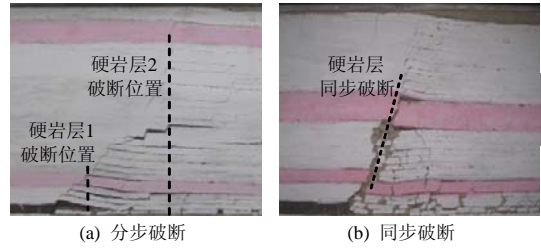


图 6 硬岩层不同破断形态对比

Fig.6 Comparison of hard stratum' different overburden breakage

当厚硬岩层位于 10 倍煤层采高以内时，随工作面推进，由于上位硬岩层 2 的破断影响，导致硬岩层 1、2 发生同步破断，硬岩层 1 为主关键层，覆岩表现为复合单一关键层结构，如图 6b 所示，主关键层破断时将导致覆岩发生整体破断。这正是松散承压含水层下采煤压架突水灾害发生的根本原因。物理模拟结果验证了前文数值模拟的结论。

根据上述研究成果，运用关键层位置判别方法，可以对松散承压含水层下采煤压架突水的危险区域进行预测。如果覆岩结构满足了上述条件，就容易引发工作面压架突水灾害。

3 现场工程验证

祁东煤矿 7<sub>1</sub> 煤层 7<sub>14</sub> 工作面和 7<sub>12</sub> 工作面的开采实践证实了覆岩结构对工作面压架突水灾害的影响，图 7 为工作面平面图。

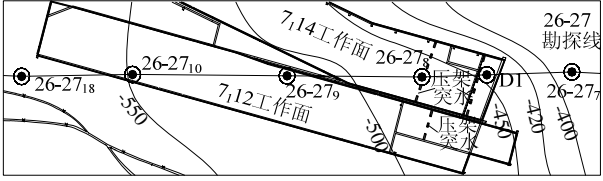


图 7 7<sub>14</sub> 和 7<sub>12</sub> 工作面平面图

Fig.7 Planar graph of No.7<sub>14</sub> and 7<sub>12</sub> working face

首先运用关键层判别方法<sup>[14]</sup>，对 26<sup>#</sup>-27<sup>#</sup>勘探线上钻孔柱状中的硬岩层位置进行了判别，绘制了图 8 的剖面图；其次根据各钻孔位置处覆岩结构特征，判断是否满足压架突水灾害的发生条件。由图 8 可见，在基岩较薄时，如 26-27<sub>7</sub> 钻孔，覆岩中仅有一层硬岩层，即为主关键层，若不采取采前防范措施，必然会引起压架突水灾害。在工作面切眼附近，如 D1 钻孔，覆岩中仅有 2 层硬岩层，且距离煤层最近的硬岩层厚度达 21.5 m，为覆岩中的主关键层，覆岩易发生整体破断，工作面开采至该钻孔附近时也存在压架突水危险。在 26-27<sub>8</sub> 钻孔附近，虽然基岩厚度有所增加，硬岩层层数增加为 3 层，但是厚硬岩层位于 10 倍煤层采高之内，在含水层载荷传递作用下，3 层硬岩层会同步破断，最下位的硬岩层为主关键层，覆岩将整体破断，同样易引发压架突水灾害。当开采深度继续增加后，覆岩中硬岩层层数增加为 4 层，且厚硬岩层 4 位于 10 倍煤层采高之外，在同样的含水层载荷作用下，覆岩不易发生整体破断，工作面不会发生压架突水事故。

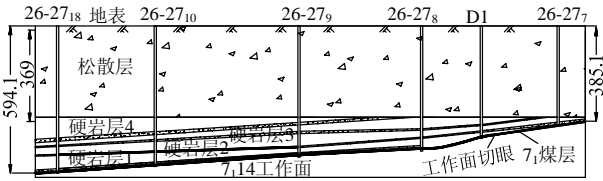


图 8 26<sup>#</sup>-27<sup>#</sup>勘探线剖面图

Fig.8 Profile map of No.26-27 prospecting line

实际开采过程中，7<sub>14</sub> 工作面自切眼推进至 44 m 时(图 7 中 D1 钻孔附近)，发生了严重的压架突水灾害，工作面 50 多个支架被压死，立柱圆环炸裂，顶梁被压穿，涌水量达 71 m<sup>3</sup>/h；复面开采后，推进至 184 m 时(图 7 中 26-27<sub>8</sub> 钻孔处)，再次发生压架突水事故，造成 22 架被压死，工作面涌水量达 169 m<sup>3</sup>/h。同样，相邻的 7<sub>12</sub> 工作面自切眼推进至 244 m 时(26-27<sub>8</sub> 钻孔附近)，也发生了严重的压架突水灾害。随着工作面向深部推进，基岩厚度与硬岩层层数增加，2 个工作面均未再发生压架突水事故。研究结论得到了现场开采实践的验证。在祁东煤矿

的地质条件下,当基岩厚度大于 125 m 时,覆岩中硬岩层层数一般多于 3 层,主关键层与煤层间距大于 10 倍采高,不易发生压架突水事故。

#### 4 结 论

1) 松散承压含水层下采煤时,基岩厚度是决定覆岩是否容易发生整体破断的关键因素。基岩越薄,覆岩中硬岩层层数较少,主关键层与煤层间距通常小于 10 倍采高,易导致覆岩发生整体破断。在祁东煤矿的地质条件下,基岩厚度大于 125 m 后,覆岩发生整体破断引发压架突水的可能性较小。

2) 硬岩层存在不同组合是导致相同基岩厚度条件下覆岩破断特征出现差异的主要原因。结合祁东矿的开采条件,当煤层顶板 10 倍采高范围内存在主关键层,尤其当煤层上方第 1 层硬岩层厚度较大时,覆岩越容易发生整体破断引发压架突水。研究结果得到了祁东矿 7<sub>1</sub>14 工作面开采实践的验证。

3) 利用覆岩结构对工作面压架突水影响的研究结果,可以对松散承压含水层下采煤压架突水危险区域进行预测。

#### 参考文献:

- [1] 熊晓英,李俊斌. 1402(3)综采工作面压架原因分析[J]. 中国煤炭地质, 2004, 16(3): 34-37.  
XIONG Xiaoying, LI Junbin. A case study of support break-off at 1402(3) fully mechanized mining face[J]. Coal Geology of China, 2004, 16(3): 34-37.
- [2] 李俊斌. 17110(3)上提工作面回采实践与认识[J]. 煤矿开采, 2005, 10(1): 28-40.  
LI Junbin. Practice and understanding of mining in Face No. 17110 (3) with a raise of mining upper limit[J]. Coal Mining Technology, 2005, 10(1): 28-40.
- [3] 杨本水,王从书,阎昌银. 祁东煤矿突水灾害成因分析[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(1): 41-43.  
YANG Benshui, WANG Congshu, YAN Changyin. Cause of water inrush in Qidong coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(1): 41-43.
- [4] 刘天泉. 露头煤柱优化设计理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998: 42-48.
- [5] 檀双英,吴劲松. 祁东煤矿 7<sub>1</sub>煤层 7<sub>1</sub>14 工作面出水原因分析[J]. 煤矿开采, 2006, 11(3): 64-67.  
TAN Shuangying, WU Jinsong. Cause analysis of water bursting in 7<sub>1</sub>14 mining face of 7<sub>1</sub> coal seam in Qidong colliery[J]. Coal Mining Technology, 2006, 11(3): 64-67.
- [6] 欧阳连勤,阎昌银. 祁东煤矿突水灾害成因与治理技术[J]. 矿业安全与环保, 2003, 30(3): 63-65.  
OUYANG Lianqin, YAN Changyin. Reason of water inrush accident and prevention technology[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2003, 30(3): 63-65.
- [7] 许家林,陈稼轩,蒋坤. 松散承压含水层的载荷传递作用对关键层复合破断的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(4): 699-704.  
XU Jialin, CHEN Jiaxuan, JIANG Kun. Effect of load transfer of unconsolidated confined aquifer on compound breakage of key strata[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(4): 699-704.
- [8] 许家林,蔡东,傅昆岚. 邻近松散承压含水层开采工作面压架机理与防治[J]. 煤炭学报, 2007, 32(12): 1239-1243.  
XU Jialin, CAI Dong, FU Kunlan. Mechanism of supports crushing accident and its preventive measures during coal mining near unconsolidated confined aquifer[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(12): 1239-1243.
- [9] 许家林,朱卫兵,王晓振. 松散承压含水层下采煤突水机理与防治研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(3): 333-339.  
XU Jialin, ZHU Weibing, WANG Xiaozhen. Study on water-inrush mechanism and prevention during coal mining under unconsolidated confined aquifer[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(3): 333-339.
- [10] 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.  
WANG Xiaozhen, XU Jialin, ZHU Weibing. Influence of primary key stratum structure stability on evolution of water flowing fracture[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(4): 606-612.
- [11] 王晓振,许家林,朱卫兵,等. 松散承压含水层水位变化与顶板来压的联动效应及其应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(9): 1872-1881.  
WANG Xiaozhen, XU Jialin, ZHU Weibing, et al. Research on connected effect between water level variation of unconsolidated confined aquifer and roof weighting and its application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(9): 1872-1881.
- [12] 许家林,连国明,朱卫兵,等. 深部开采覆岩关键层对地表沉陷的影响[J]. 煤炭学报, 2007, 32(7): 686-690.  
XU Jialin, LIAN Guoming, ZHU Weibing, et al. Influence of the key strata in deep mining to mining subsidence[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(12): 686-690.
- [13] 钱鸣高,石平五,许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010: 177-180.
- [14] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 16-18.