

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

煤层底板断裂突水时间弱化效应机理的仿真模拟研究

——以开滦赵各庄煤矿为例

武强¹⁾ 刘金韬²⁾ 董东林¹⁾ 武雄¹⁾ 周瑞光³⁾

1) 中国矿业大学北京校区, 100083; 2) 水利部水利电力规划设计总院, 北京, 100018

3) 中国科学院地质研究所, 北京, 100081

内容提要 采用现场地应力实测、室内不同含水量情况下的断裂带物质的单轴、三轴常规和流变力学试验以及弹塑性三维可视化数值仿真模拟(FLAC^{3D})等研究, 获得了断裂带物质弱化效应力学参数, 阐述了其弱化机理和主要控制因素, 提出了煤层底板断裂构造突水时间弱化效应的新概念。对赵各庄矿13水平(-1100 m)F₃断层破碎带穿越的首采区安全回采方案做出了预测和评价。

关键词 延迟滞后突水 突水时间效应 流变试验 三维可视化模拟

矿井突水是一个突发性事件, 国内外对其研究非常重视(王明玉等, 1995; 王广才等, 2001; 倪宏革等, 2001; 卜昌森等, 2001)。目前的研究已从单纯的水力学或岩石力学拓展到多学科、多手段相互交叉渗透。这些研究以地质为基础, 水文地质、工程地质、岩体力学和采矿工程为主导, 在突水的地质结构、地质模型、水动力学机理、岩体力学行为变化以及突水方式、突水量分析与计算及预防措施等方面取得了一定进展。然而, 由于矿井突水机理类型多, 涉及学科内容广, 控制影响因素复杂, 至今仍然是国内外采矿界尚未认识清楚的一个采矿难题。

本文根据全国大水岩溶矿区多次发生的延迟滞后突水现象, 以1972年3月开滦赵各庄煤矿9132回采工作面滞后突水事件为例, 经过深入细致的理论分析与系统研究, 提出了煤层底板断裂构造突水时间弱化效应的概念。这个概念丰富和发展了煤层底板突水机理类型, 较好地刻画了在我国华北型煤矿区采掘工程活动中所暴露出来的大量滞后突水案例的形成机理, 即随着采掘工程活动的延长, 煤层底板岩体的断层带物质在奥陶系灰岩高水头承压水和矿压长期作用下, 其强度逐渐降低(武强等, 1995)。室内大量的岩石力学试验也反映出这样的趋势, 而且随着采掘工程的继续, 被弱化的断层带物质的范围会逐渐由下向上扩展, 即位于断层带的奥陶系灰岩水导升高度逐渐向上发育, 最后当与矿压破坏带相

连通时, 导致煤层底板突水灾害的发生。

1 问题的引出

赵各庄矿在1972年3月回采九水平9132工作面时曾发生重大底板突水事故。该工作面采用分层回采方式回采, 共分3个分层, 每一分层厚约2.5 m, 第一分层安全回采后, 第二分层开始回采, 当采至A-B剖面时发生重大突水事故(图1), 突水位置为9通

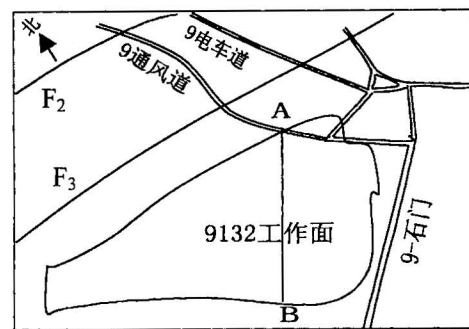


图1 赵各庄矿9132工作面平面布置示意图

Fig. 1 Sketch of face 9132 in the Zhaogezhuang mine

风道和9电车道(图1、2)。9132工作面从初采至突水事故发生, 时间间隔约5个月(1971年9月至1972年3月), 但9通风道和9电车道距突水发生已开掘12年之久。煤层底板至奥陶系灰岩顶界面厚度约为120 m。根据赵各庄矿在一般开采斜距情况下的底板应力变

收稿日期: 2001-02-01; 改回日期: 2001-09-10; 责任编辑: 周健。

作者简介: 武强, 男, 1959年生。现任中国矿业大学(北京校区)教授、博士生导师, 主要研究领域为煤田水文地质与环境地质。通讯地址: 100083, 北京学院路丁11号, 中国矿业大学水资源与环境工程研究所。

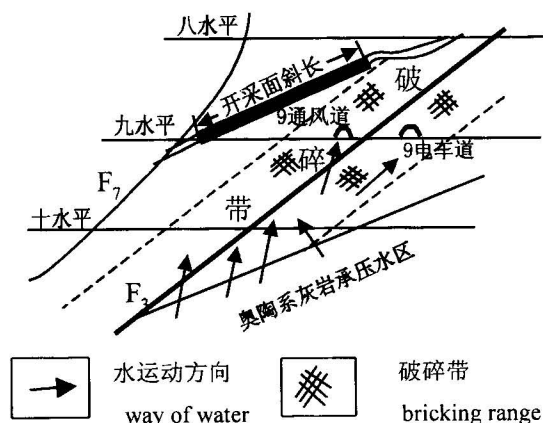


图2 赵各庄矿突水断面示意图

Fig. 2 Sketch of water bursting section plane in the Zhaogezhuang mine

化, 矿压对煤层底板的破坏影响深度约为40~60 m。9通风道所在位置距煤层垂距约40 m, 距奥陶系灰岩垂距约80 m。

根据上述情况分析, 可以推断9132工作面底板突水主要由人工采掘活动所诱发, 随着回采工作的持续, 在5个月时间内, 奥陶系灰岩水沿断层破碎带(F_3)上升到了通风道和电车道的位置。由此可知, 在开通通风道和电车道时, 由于采掘工程影响, 奥陶系灰岩水就已经沿断层破碎带(F_3)上升到某一高度, 而这一状态一直持续了12余年。在此期间, 被奥陶系灰岩水长期浸泡的断层破碎带物质的强度势必会降低, 再加后期9132工作面回采对煤层底板的二次影响破坏, 导致了这次底板突水事故发生, 这一作用过程称之为底板突水时间弱化效应。

2 研究方法

针对赵各庄矿13水平(-1100 m) F_8 断层破碎带穿越的首采区的安全回采评价问题, 在充水分析和吸收前人研究成果的基础上, 首先进行了现场地应力实测工作, 了解确定了煤层底板原始地应力分布状况及其作用方向。然后进行了岩样和断层带物质的现场取样工作, 并在室内分别进行了不同含水量情况下的断裂带物质的单轴、三轴常规和流变力学试验, 获得了断裂带不同物质的弱化效应力学参数。在此基础上, 应用国际上先进的弹塑性三维可视化专业软件——FLAC^{3D}(Itasca Consulting Group Inc, 1997), 对13水平首采区煤层底板在不同开采方案下的应力应变特征进行了三维可视化数值仿真模拟, 在模拟过程中, 充分利用了赵各庄矿1972年 F_3 断层

9132工作面回采的突水和1995年 F_7 断层1132工作面安全回采的信息资料, 对模型进行了正、反两方面的反演识别。最后对穿越 F_8 断层的13水平首采区的煤层底板突水问题进行了三维可视化预测与评价。为赵各庄矿13水平首采区安全回采方案制订提供了科学依据, 同时也为妥善解决我国华北型煤矿普遍存在的断裂构造附近的煤层底板涌(突)水评价难题, 提供了一套完整有效的科学研究方法和解决问题的途径。

3 物理试验研究

3.1 现场原始地应力实测

本次地应力实测采用应力解除法, 它是目前国内外地应力测量技术成熟程度相对较高的一种方法, 它采用空心包体法, 通过套心技术进行量测。测量数据显示, 原岩应力场主要以自重应力为主, 同时也叠加构造应力场作用, 但其作用强度不大; 最大主应力近于垂直方向, 其量值为29.1~30.6 MPa, 中间主应力和最小主应力均表现为近水平压应力作用, 其中间主应力作用方位近ENE-WSW向, 量值为12.1~16.8 MPa, 最小主应力大致呈NNW-SSE向, 量值在11.5~12.2 MPa范围; 总体上原岩应力状态在空间上的分布是相对均匀的, 但构造作用、岩层结构及岩性对原岩应力状态具有一定影响。

3.2 室内物理力学试验

根据井下掘进巷道所揭露的断层破碎带物质, 进行了现场原岩取样, 所取岩样为断层的灰黄色含泥糜棱岩和黑色断层煤泥两种物质, 经现场密封处理后, 带回试验室进行了室内常规单轴和三轴的压缩试验与三轴流变试验。试验是在中国科学院地质研究所工程地质开放实验室完成, 三轴流变试验是在该室的三轴流变仪上进行的。具体试验结果见表1和表2。

断层带物质的力学性质与许多因素有关, 如断层带中软、散、碎物质的比例、分布规律和颗粒组成、颗粒形状、矿物成分、含水量、围压状态、劈理、节理发育状况及延伸性等(Cundall, 1991)。它们的关系有些可以通过室内试验确定, 有些则需进行原位力学试验才能获得。本次试验进行了两种断层带物质的8组室内力学试验。这些试验包括两种基本含水状态(7.1%~7.5%与12.1%~12.2%)、不同围压情况下的常规和流变力学试验, 所得数据对认识断层带的水力学性质和进行断层带突水分析无疑是非常有益的。现就试验得出的一些变形破坏特征和规律

分析如下。

表 1 赵各庄矿糜棱岩与断层泥压缩试验结果

Table 1 Compressing trial results of fault gouge and mylonite in the Zhaogezhuang mine

岩样编号	岩性	含水状态 (%)	围压 (MPa)	破坏应力 (MPa)	弹性模量 (MPa)	泊松比 (μ)	强度参数	
							内聚力 (MPa)	内摩擦角 ($^{\circ}$)
2151	灰黄色含泥糜棱岩	7.2	0	0.51	66.4	0.38	0.07	31.0
2152		7.5	0.05	1.07	111.3			
2153		7.3	0.10	1.22	121.9			
2154		7.5	0.15	1.38	133.8			
2155		7.4	0.20	1.54	138.1			
2162	黑色断层煤泥	12.0	0	0.42	48.2	0.42	0.04	27.8
2163		12.1	0.05	0.91	86.2			
2166		12.0	0.10	1.00	89.0			
2164		12.2	0.15	1.17	103.5			
2165		12.1	0.20	1.31	116.5			
2175	黑色断层煤泥	7.2	0	0.63	101.0	0.37	0.08	35.0
2174		7.4	0.05	1.36	163.0			
2176		7.3	0.10	1.59	170.4			
2177		7.2	0.15	1.75	168.4			
2178		7.5	0.20	1.96	177.8			
2188	黑色断层煤泥	12.0	0	0.45	75.1	0.41	0.05	29.1
2187		12.1	0.05	1.17	120.3			
2186		12.2	0.10	1.26	124.6			
2185		12.0	0.15	1.45	133.4			
2189		12.2	0.20	1.59	140.4			

表 2 赵各庄矿糜棱岩与断层泥流变试验结果

Table 2 Creeping trail results of fault gouge and mylonite in the Zhaogezhuang mine

岩样编号	岩石描述	含水状态 (%)	围压 σ_3 (MPa)	起始流变应力 σ_1 (MPa)	长期强度参数	
					内聚力 (MPa)	内摩擦角 ($^{\circ}$)
2157	灰黄色含泥糜棱岩	7.2	0	0.20	0.03	26.1
2158		7.4	0.05	0.44		
2160		7.1	0.10	0.57		
2159		7.5	0.15	0.74		
2161		7.2	0.20	0.84		
2168	黑色断层煤泥	12.1	0	0.12	0.01	19.8
2167		12.0	0.05	0.35		
2172		12.2	0.10	0.44		
2171		12.1	0.15	0.55		
2173		12.2	0.20	0.64		
2181	黑色断层煤泥	7.2	0	0.22	0.04	30.0
2182		7.4	0.05	0.45		
2184		7.3	0.10	0.62		
2183		7.2	0.15	0.76		
2179		7.4	0.20	0.93		
2196	黑色断层煤泥	12.1	0	0.14	0.02	22.1
2192		12.2	0.05	0.32		
2193		12.1	0.10	0.45		
2191		12.0	0.15	0.54		
2194		12.0	0.20	0.69		

3.2.1 断层带物质的变形特征

断层带物质的变形与围压有关。一般情况下,硬岩的弹性模量受围压的影响不大,但对于断层带物质的弹性模量,如灰黄色含泥糜棱岩和黑色断层煤泥这两种断层物质,在其含水量相同时,单轴压缩下的弹性模量明显地低于有围压下的弹性模量,且在含水量相近时,弹性模量随围压的增加而增加。产生这一现象的原因是塑性变形成分受围压的影响,有围压或围压增加时,一方面破坏应力增加,另一方面粘塑性变形成分响应缓慢,从而导致弹性模量增加。

3.2.2 断层带物质流动变形破坏特征

在所进行的4组基本流变试验中,由各试件在加速流变发生时所对应的应变显示(图3),此时对应的应变随着围压的增加而增加。如灰黄色含泥糜棱岩在含水量为7.1%~7.5%、围压分别为0、0.05 MPa、0.10 MPa、0.15 MPa、0.20 MPa时,加速流变发生所对应的应变分别为1.98%、2.30%、2.29%、2.33%、2.45%;黑色断层煤泥在含水量为7.2%~7.4%、围压分别为0、0.05 MPa、0.10 MPa、0.15 MPa、0.20 MPa时,加速流变发生所对应的应变分别为1.76%、1.82%、1.85%、1.97%、2.10%。这就是说对于巷道围岩在无支护、巷道壁围岩处于单轴压应力状态时,加速流动变形对应的应变小,巷道壁围岩的位移也小,巷道围岩在位移较小时,围岩就处于破坏阶段,突水可能发生。但当支护施加后,巷道围岩增加了围压,巷道围岩的应变较大时,仍未达到加速流变发生所对应的应变。因此在大多数巷道工程中,即使鼓胀非常明显,巷道围岩仍处于常速流变(蠕变)阶段,也就是处于稳定安全状态,突水的可能性仍然较小。

对比常规瞬时加载试件破坏时对应的应变和流变试验中加速流变发生时的应变,可以发现,在瞬时加载破坏时对应的应变小,而加速流动变形发生时

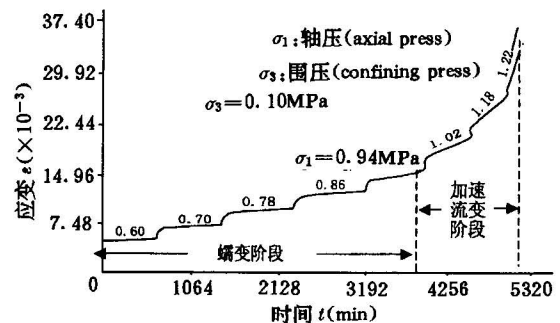


图 3 典型流变试验应变历时曲线

Fig. 3 Representative curve of creep strain trail

对应的应变大。增加的这一部分应变与时间有关,是历时载荷作用下的历时累加应变。由于作用力历时长,粘塑性成分相对充分地在此试件的各部分发生。在实际工程中,巷道开挖时常发生围岩破坏,多数是由于瞬时变形引起。因此在突水现象中,对于巷道开挖的工作面处若发生突水,突水前兆是短暂的;而对于处于支护状态的巷道围岩中若发生突水,突水前应发生与时间有关的变形,只要重视这种流变现象,加强监测并及时处理,巷道围岩就不会破坏,突水就可以防治。

3.2.3 含水量对断层物质力学参数的影响

本次试验表明,含水量不仅影响断层物质的瞬时力学参数,而且也影响断层物质与时间有关的力学参数。对比表1、2中参数可知,断层物质含水量少,其强度、弹性模量就大,瞬时加载测得的 C (内聚力)、 Φ (内摩擦角)值和长期加载的流变试验测得的 C 、 Φ 值也大;若含水量多,则其强度、弹性模量就小,瞬时的 C 、 Φ 值和长期的 C 、 Φ 值也小。引起含水量这种力学效应的原因主要包括:①水对断层物质的软化;②有效正应力和有效围压效应;③水在固体颗粒周围存在的不同形式;④在不同力的作用下,水在孔隙和颗粒周围的力学作用机理不同。

3.2.4 断层带破坏特征与其介质类型的关系

断层带物质介质类型确定了其破坏特征的概貌和总趋势。由试验结果显示,灰黄色含泥断层糜棱岩在含水量7.1%~7.5%和12.0%~12.2%的状态下,无论是常规的,还是流变的单轴或三轴压缩试验都呈鼓胀破坏,或鼓胀流动破坏,只是随着围压、含水量的增加,或由常规到流变,即从力的瞬时作用到与时间有关的力的作用下,破坏时鼓胀的程度由小到大;而黑色断层煤泥在含水量为7.2%~7.5%和12.0%~12.2%的状态下,显示出多种破坏形式和特征。如常规试验有剪破坏、网化剪破坏和网化鼓胀破坏,而蠕变试验时则有剪切流动破坏、网化剪切流动破坏和网化鼓胀流动破坏等形式。

灰黄色含泥断层糜棱岩由泥和碎屑组成,泥包裹着碎屑,它的变形和破坏受泥和碎屑的耦合作用的影响,而且在整体含水量下,泥的含水量应大于碎屑的含水量,变形主要由泥质产生,因此该断层物质的变形更多的反映出塑性变形,破坏形式主要表现为体现塑性变形的鼓胀破坏和鼓胀流动破坏。

断层煤泥是由极细粒物质组成,相对含泥糜棱岩而言,在相同含水量时,其细颗粒泥质周围水膜的厚度要小,即泥质周围水的形式存在差异,由此导致

水的力学作用机理不同,从而表现出与糜棱岩不同的破坏特征,其变形破坏相对更多地反映出脆性特征,主要为剪切破坏和网化剪切破坏。

3.2.5 断层煤泥破坏特征与含水量的关系

断层煤泥在含水量7.2%~7.5%和12.0%~12.2%的常规试验表明,单轴压缩状态下其破坏形式都是剪破坏。但轴向应力和剪破坏面夹角 β 则随着含水量的增加而减小。三轴压缩试验表明,在相同围压下,含水量小时,轴向应力和剪破坏面夹角 β 大,含水量大时,轴向应力和剪破坏面夹角 β 小(图4)。上述现象表明,在相同围压下,含水量增加,塑性变形成分增加。



图4 剪切破坏示意图

Fig. 4 Sketch of shear failure

流变试验表明,在单轴和三轴条件下,当围压不变时,随着含水量的增加,试件破坏形式则由剪切流动破坏向网化流动破坏转化,即含水量增加时,塑性变形成分增加,与压缩试验结果趋势一致。

3.2.6 断层煤泥破坏特征与围压的关系

常规压缩和流变试验均表明,在相同含水量的情况下,随着围压的增加,试件的破坏形式由剪切破坏或网化剪切破坏逐渐向剪切流动破坏或网化剪切流动破坏转化,即含水量相近时,试件的变形破坏更多地反映出塑性变形特征。

3.2.7 断层煤泥破坏特征的时间效应

在瞬时与长期流变不同应力方式作用下,试件的破坏特征和破坏类型存在明显差异,表现出时效特征。在相同含水量、相同围压下,若采用瞬时加荷作用,断层带物质变形不充分,会更多的体现出脆性破坏的特征;但在长期荷载作用下,断层物质变形比较充分,与时间有关的变形如粘性变形、塑性变形比瞬时状态下大大加强。因此在相同含水量和相同围压下,长期荷载作用下的破坏形式比瞬时荷载作用下的破坏形式更具有粘塑性破坏特征。

4 数值仿真模拟研究

为了从理论上对煤层底板断裂构造突水时间弱化效应进行量化研究,本文根据赵各庄矿实际回采工作面的具体地质条件,将煤层底板岩体分为8个岩层组(高洪烈等,1985,夏镛华,1985),建立了具有断层结构面的煤层底板岩体的物理力学概念模型(图5),并应用国际上先进的FLAC^{3D}软件进行了三维仿真数值模拟计算。计算过程中所用的围岩力学参数初值由室内岩石力学试验测得,再根据已知工作面的回采结果进行反演模拟识别,对参数初值不断调整校正,直到反演结果与实际回采结果完全吻合(Cundall, 1990)。本次反演识别选用了正、反两个已知回采结果的工作面。一是F₃断层带附近9132工作面的突水信息;二是F₇断层带附近1132工作面安全回采信息。调整校正后的力学参数见表3。

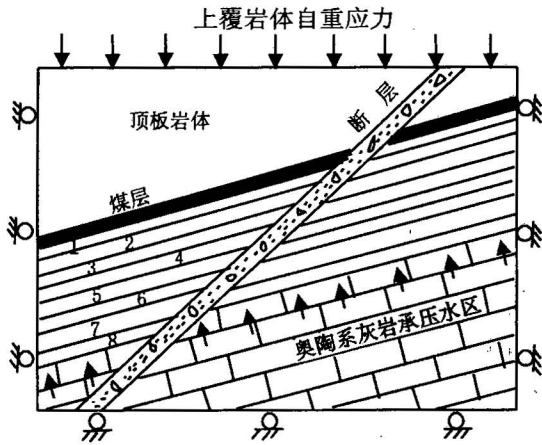


图5 煤层底板物理力学概念模型示意图
Fig. 5 Mechanical model sketch of coal bed plank

根据赵各庄矿13水平12煤层整体回采布置方案,预测开采区为13水平首采区,对应标高为-1000~-1100 m,首采区正好穿越F₃断层带。该断层带宽5~10 m,落差5~10 m,为正断层。首采区设计长度约400~450 m,宽度约180 m。整个采区分为东、西两个子采区,每个子采区又分为南、北两个回采工作面。12煤层沉积厚度为6.6~7.5 m,设计分3层回采,每一分层采厚为2.2~2.5 m,回采方案设计先采西部采区,后采东部采区(图6)。

被F₃断层穿越的12煤层首采区模拟范围为:顶界面标高为-800 m,底界面标高为-1400 m,长度800 m,宽度500 m。顶界面相应的垂直地应力值为20.8~22.4 MPa,地应力梯度为2.6~2.8 MPa/

表3 煤层底板分层岩体和断层
破碎带力学参数结果表

Table 3 Mechanical parameters of rock layers and fracture area of coal bed plank

组序	弹性模量 (GPa)	泊松比 (μ)	内聚力 (MPa)	内摩擦角 (°)	抗拉强度 (MPa)
1	18.0	0.23	2.0	40	2.0
2	5.0	0.29	1.0	35	1.0
3	15.0	0.24	2.0	40	2.0
4	4.0	0.27	1.1	35	1.0
5	8.0	0.26	0.6	35	1.0
6	12.0	0.24	1.1	40	1.2
7	1.0	0.28	0.2	30	0.2
8	1.0	0.28	0.4	30	0.5
断层带	0.2	0.45	0.01	23	0.01
影响带	0.5	0.35	0.02	30	0.01
煤层	0.2	0.40	0.07	27	0.5
顶板	19.0	0.24	2.0	42	3.0
奥陶系灰岩	25.0	0.22	8.0	45	6.0
煤矸石	0.4	0.3	0.01	25	0

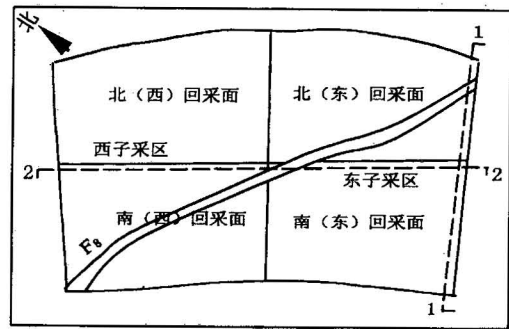


图6 13水平首采区工作面平面布置示意图
Fig. 6 Sketch of the first mining work face in 13th level

100 m。剖分后的模拟模型见图7。

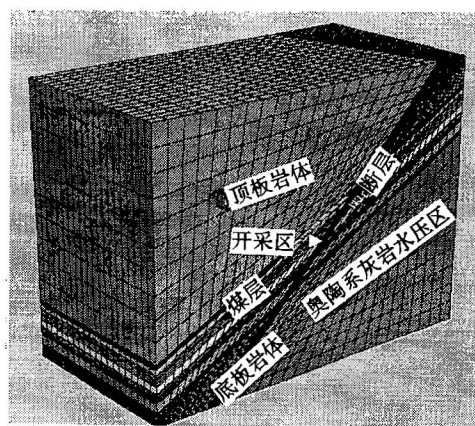


图7 模拟计算模型示意图
Fig. 7 Sketch of simulating model

模拟计算将时间效应分为3个时效阶段，建立了3个计算模型，这3个模型的断层带物质随着回采工程延续时间的不同，其断层带物质的弱化范围也不同，即断层带的奥陶系灰岩水导升发育高度亦有差别。另外，考虑到不同季节的奥陶系灰岩承压水位的变化，各类模型底板所承受的奥陶系灰岩水压分别设计为11.5 MPa 和11 MPa。3类模型具体设计为：

模型1：在开采及奥陶系灰岩水压作用下，断层

带奥陶系灰岩水导升高度上升至奥灰岩顶板以上10 m，即奥陶系灰岩及以上10 m 底板岩体内断层带物质弱化，采用室内流变试验力学参数，内聚力取0.01 MPa，内摩擦角 19° ，其他参数不变。在时间效应上可称之为第一时效阶段。

模型2：随着时间的持续，断层带奥陶系灰岩水导升高度继续扩展，上升至奥陶系灰岩顶板以上30 m，即奥陶系灰岩及以上30 m 底板内断层带物质弱化，参数采用上述模型1的弱化参数，其他参数不变。在时间效应上可称之为第二时效阶段。

模型3：如果断层带奥陶系灰岩水导升高度随时间延续进一步扩展，上升至奥陶系灰岩顶板以上60 m，即奥陶系灰岩及以上60 m 底板内断层带物质弱化，参数采用上述弱化参数，其他参数不变。在时间效应上可称之为第三时效阶段。

在奥陶系灰岩水压为11 MPa 条件下，对上述3个模型进行了模拟计算，其结果分别见图8、9。图8a、b、c 分别为图6中1—1剖面第一、第二、第三时效阶段的纵向变形；图9a、b 分别为图6中2—2剖面第二、第三时效阶段的纵向变形。

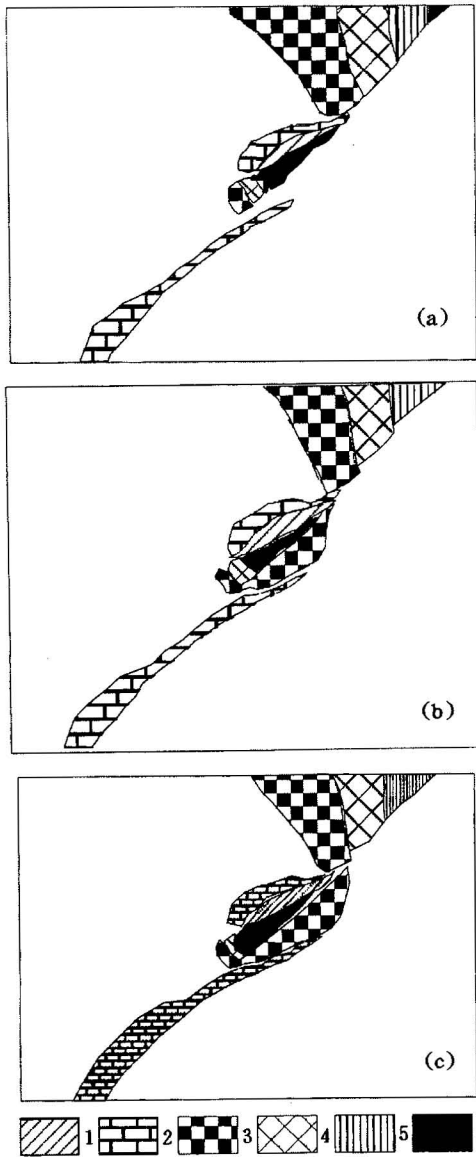


图 8 第一(a)、第二(b)、第三(c)时效阶段 1—1剖面图(11 MPa)

Fig. 8 The first phase (a), second phase (b) and third phase (c) z-displacement in section 1—1 (11 MPa)
 1—位移<-2 cm 区; 2—位移0~-2 cm 区; 3—位移0~2 cm 区;
 4—位移2~3 cm 区; 5—位移3~4 cm 区; 6—位移>4 cm 区
 1—Displacement < -2 cm; 2—displacement 0~-2 cm; 3—displacement 0~2 cm; 4—displacement 2~3 cm; 5—displacement 3~4 cm; 6—displacement >4 cm

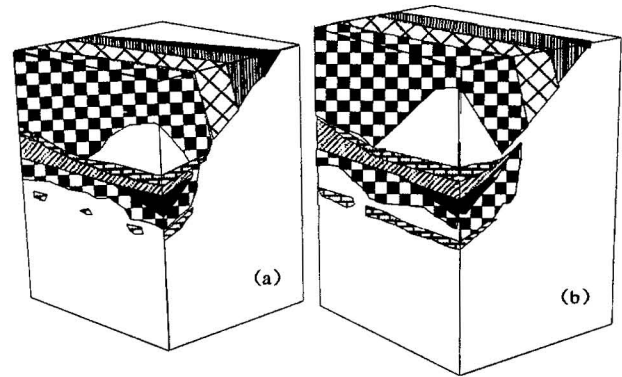


图 9 第二(a)、第三(b)时效阶段2—2剖面图(11 MPa)
 Fig. 9 The second phase (a) and third phase (b) z-displacement in section 2—2 (11 MPa)
 图例同图8(The legends same as in Fig. 8)

在奥陶系灰岩水压为11.5 MPa 条件下，对上述模型1、2进行了模拟计算，其结果见图10。图10a、b 为图6中1—1剖面的纵向变形。

从水压11 MPa 的计算结果看，图8a、b、c 显示的分别是模型1、2、3的变形特点。由计算结果分析可以得出，从第一时效阶段到第三时效阶段，底板变形量明显在增加，开采引起的底板破坏带明显扩展，而且在第三时效阶段断层破碎带的奥陶系灰岩水导升带明显较第一时效阶段扩张了许多。即随着断层带

物质强度被奥陶系灰岩水弱化范围的不断扩展,底板岩体的变形量将逐渐增大,导升带也会持续扩展延伸。由图8b可知,当断层带内物质弱化范围扩展至第二时效阶段时,底板就已处于不安全状态,此时导升带与开采影响破坏带就已贯通。如果断层带内物质弱化范围进一步扩展至第三时效阶段,底板导升带与开采影响破坏带的贯通范围将进一步扩大(图9a、b),即突水通道进一步扩展。

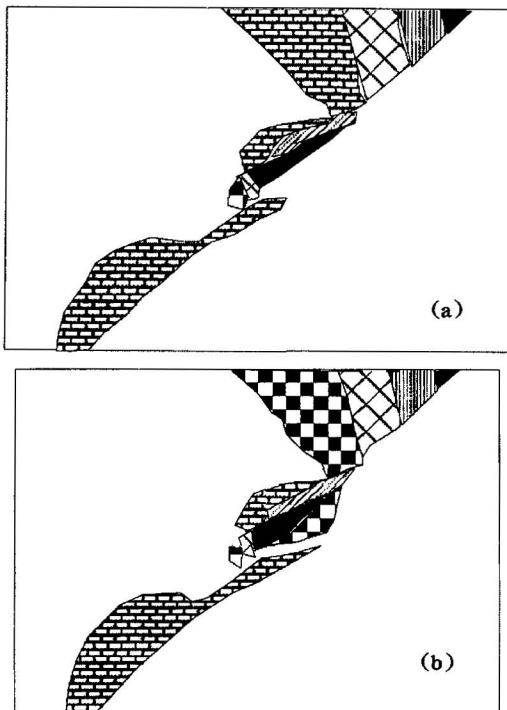


图10 第一(a)、第二(b)时效阶段
1-1剖面图(11.5 MPa)

Fig. 10 The first phase (a) and second phase (b)
z-displacement in section 1-1 (11.5 MPa)
图例同图8(The legends same as in Fig. 8)

图10a、b展示了水压在11.5 MPa时的变形特征,图10a为第一时效阶段变形情况,图10b为第二时效阶段变形情况。此结果除反映出上述的基本特征之外,还表明在11.5 MPa水压条件下(相当于标高-100 m时水位),在第一时效阶段,底板岩体导升带虽与开采影响破坏带尚未完全连通,但已存在着突水的危险。在第二时效阶段,导升带与开采影响破坏带已完全贯通,底板处于不安全状态。

根据模拟计算结果,可以对13水平12煤层首采区作出如下预测:

(1)当断层破碎带物质受奥陶系灰岩水弱化处于第一时效阶段时,在奥陶系灰岩水压低于11.5 MPa条件下,回采是安全的;如果高于11.5 MPa

时,回采则不安全。

(2)当断层破碎带物质受奥陶系灰岩水弱化处于第二时效阶段时,在奥陶系灰岩水压超过11 MPa条件下,回采就已处于不安全状态。

5 影响断层突水时间效应的主要因素

突水的时间效应主要表现在随着回采的进行,断层破碎带物质在奥陶系灰岩水的高承压水头作用下,抗突水能力逐渐被削弱,直至破坏。根据对大量突水资料的综合分析,时间效应的主要影响因素包括:

(1)破碎带物质的结构特征:破碎带物质的结构特征决定着其解体的难易。若易于解体,则破碎带的抗突水能力很快就会被削弱,产生突水的时间也就大大提前。

(2)破碎带物质的力学强度:破碎带物质的力学强度较强时,在奥陶系灰岩水高水头作用下不易发生崩解破坏,其抗突水能力就不易被削弱。

(3)奥陶系灰岩水水压:水压越大,对破碎带物质的破坏力越强,也就越易削弱其抗突水能力。

(4)奥陶系灰岩水化学成分:主要反映在对断层破碎带物质的化学侵蚀和溶蚀性方面,侵蚀、溶蚀性越强,抗突水能力削弱的越快。

(5)开采条件的影响:主要表现在对断层破碎带的扰动上,开采对围岩的扰动越小,原始的平衡状态越不易被打破,即抗突水能力越不易被削弱。

6 主要结论

(1)煤层底板断裂构造突水时间弱化效应概念的提出,较好地刻画了深部煤层在高岩溶水压作用、并在其底板沉积有大厚度隔水岩体条件下,延迟滞后突水的形成机理。这个概念丰富和发展了煤矿井突水理论,是对我国华北型煤矿普遍存在的煤层底板突水类型的新的补充与完善。

(2)在充水分析和吸收前人研究成果的基础上,本文所采用的现场地应力实测、室内不同含水量情况下的断裂带物质的单轴、三轴常规和流变岩石力学试验和弹塑性的三维可视化数值仿真模拟等研究,对赵各庄矿13水平首采区安全回采方案评价和从理论上分析研究煤层底板断裂构造延迟滞后突水机理,均是合理可行的。这套完整有效的科学研究方法对妥善解决我国华北型煤矿普遍存在的断裂构造附近的煤层底板突水评价难题,具有极其重要的理论指导意义和很高的实用价值。

(3)经过本次数值模拟计算发现,FLAC^{3D}对于开采煤层底板防突水能力的模拟评价非常有效,它不仅能够较真实地描述、刻画现场复杂的实际情况(包括底板岩体的物理结构特性、力学特性和模拟边界的初始及边界条件),而且计算结果较为合理可行,较好地反映了生产实际问题的基本发展趋势,与实际情况比较接近。另外,软件的输入与输出功能较强,其计算结果的分析 and 展示功能也比较完善,可以从多方面显示计算结果。因此,有理由相信,FLAC^{3D}在不久的将来会成为煤层底板岩体防突水能力评价模拟的主要计算软件工具之一。

参 考 文 献

- 卜昌森,张希诚,尹万才,曲修术. 2001. “华北型”煤岩溶水害及防治现状. 地质论评, 47(4):405~410.
- 高洪烈,林增平. 1985. 我国煤矿床水文地质区域特征概念. 水文地质工程地质, (2):35~38.
- 倪宏革,罗国焜. 2001. 地下开采中优势面控灾机理分析. 地质论评, 46(1):71~78.
- 王广才,段琦,卜昌森,陈遂斋. 2001. 水文地球化学方法在煤矿水害研究中的某些应用——以平顶山、肥城矿区研究为例. 地质论评, 47(6):653~657.
- 王明玉,张宝柱. 1995. 华北型煤田矿井突水灾害的防治. 地质论评, 41(6):553~558.
- 武强,金玉洁. 1995. 华北型煤田矿井防治水决策系统. 北京:煤炭工业出版社.
- 夏镛华. 1985. 焦作煤田矿床充水条件及地下水防治建议. 煤田地质与勘探, (2):20~23.

References

- Bu Changsen, Zhang Xicheng, Yin Wancai, Qu Xiushu. 2001. Inunda-

- tion in the North-China type coalfields and the status quo of its protection. Geological Review, 47(4):405~410.
- Cundall P A. 1990. Numerical Modelling of Jointed and Faulted Rock in Mechanics of Jointed and Faulted Rock. Rotterdam: A. A. Balkema. 11~18.
- Cundall P A. 1991. Shear Band Initiation and Evolution in Frictional Materials in Mechanics Computing in 1990s and Beyond (Proceedings of the Conference, Columbus, Ohio, May 1991). Vol. 2; Structural and Material Mechanics. New York: ASME. 1279~1289.
- Gao Honglie, Lin Zengping. 1985. Regional characteristics of mine-hydrogeological conditions of coal deposits in China. Journal of Hydrogeology and Engineering Geology, (2):35~38 (in Chinese with English abstract).
- Itasca Consulting Group Inc. 1997. Manual of the Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions (FLAC^{3D}). Version 2. 0.
- Ni Hongge, Luo Guoyu. 2001. Study on the mechanism of hazard controlled by preferred plane in underground mining. Geological Review. 47(1):71~78.
- Wang Guangcai, Duai Qi, Bu Changshen, Chen Suizhai. 2001. Applications of Hydrogeochemical Methods to the Study of Groundwater Hazards at the Pingdingshan and Feicheng Coal Mines, China. Geological Review. 47(6):653~657.
- Wang Mingyu, Zhang Baozhu. 1995. Control of the water bursting hazard in mine workings of coal fields of north China type. Geological Review, 41(6):553~558 (in Chinese with English abstract).
- Wu Qiang, Jin Yujie. 1995. Deciding system of preventing and curing mine water in Northern China Coalfield. Beijing: Publishing House of Coal Industry (in Chinese).
- Xia Yonghua. 1985. Water-filling conditions and proposals of prevention and curing of ground water in coal deposits in Jiaozuo, China. Coalfield Geology and Prospecting, (2):20~23 (in Chinese with English abstract).

Trial Analyses and Numeric Simulations of Water-bursting Time-effect under Coal Bed

WU Qiang¹⁾, LIU Jintao²⁾, DONG Donglin¹⁾, WU Xiong¹⁾, ZHOU Ruiguang³⁾

1) China University of Mining and Technology, Beijing, 100083

2) Institute of Plan Designing for Water Conservancy and Power, Beijing, 100018

3) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100081

Abstract

In the light of safe mining evaluations for the first mining district which is cut by fault F₈ in the thirteenth mining level in the Zhaogezhuang coal mine, Kailuan, this paper adopts such methodology as measured ground stress, traditional and special rheological rock mechanics experiments, and three-dimensional visual numeric modeling using FLAC^{3D}. A lot of weakening effect mechanics parameters of fault materials have been obtained. The paper also discusses their weakening effect mechanisms, controlling factors, and presents a new concept of the time weakening effect of fault materials under coal bed. The concept develops and enriches basic theory of water-bursting in coal mine. As a result, different safe mining schemes for the first mining district at the thirteenth level in Zhaogezhuang mine have been predicted and evaluated.

Key words: water-bursting; time-effect; rheology; 3-D visual numeric modeling