富康源矿底板裂隙突水特征及防治技术研究

闫　晶（山西乡宁焦煤集团富康源煤业有限公司，山西　临汾　041000）

摘　要：为了研究深部开采高水压条件下的底板突水特征及防治措施，根据富康源矿水文地质条件，通过对深部 2106 工作面开采的山西组 2# 煤层底板隔水层隔水性能分析，对底板裂隙突水进行危险性评价，采用 FLAC^{3D} 软件建立力学过程数值模拟模型，模拟结果：裂隙上方扩张宽度约 0.029m，随着监测层向下，裂隙扩张宽度逐渐变小，采用注浆加固技术对底板进行支护，钻探验证后钻孔的最大涌水量为 6.5m^3/h，每个钻孔的涌水量都＜ 10m^3/h，加强了底板的隔水性能，底板突水得到有效控制。

关键词：底板突水特征；水力压裂；模拟研究；防治技术

Abstract: in order to study the floor water inrush characteristics and prevention measures under the condition of high water pressure in deep mining, according to the hydrogeological conditions of fukangyuan mine, through the analysis of the water resisting performance of the floor water resisting layer of Shanxi group 2# coal seam mined in deep 2106 working face, the risk of floor fissure water inrush is evaluated, and the numerical simulation model of mechanical process is established by FLAC^{3D} software, Simulation results: the expansion width above the crack is about 0.029m. With the downward of the monitoring layer, the expansion width of the crack gradually decreases. The grouting reinforcement technology is used to support the bottom plate. After drilling verification, the maximum water inflow of the borehole is 6.5m^3/h, and the water inflow of each borehole is less than 10m^3 / h, which enhances the water separation performance of the bottom plate and effectively controls the water inrush of the bottom plate.

Key words: floor water inrush characteristics; Hydraulic fracturing; Simulation study; Control technology

0 引言

富康源矿位于山西省临汾市乡宁县台头镇神角村，井田面积约 3.12km^2，矿井西北走向 6.6km，南北走向平均宽度约为 3.6km，矿年设计生产能力为 120 万 t。主要含煤地层是山西组 2# 煤层，2106 工作面是井田区域内可采煤层，可采长度为 560m，工作面中部及北部的煤层厚度为 1.95m，南部煤层厚度为 1.27m，埋藏深度为 340m，煤层变异系数为 26.5%，中部含有 1–3 层细砂岩夹石，受底板裂隙水的威胁，出现突水事故，影响安全生产，为防止出现底板突水，对煤层底板裂隙的突水危险性进行分析。

1 矿井地质水文概况

2106 工作面煤层平均厚度为 4.9m，煤层倾角为 2°，直接顶是中砂岩厚度为 2.1m，直接底是细砂岩厚度为 1m，在工作面掘进期间，底板裂隙发育，含水层主要是奥灰水裂隙含水层组，单位涌水量为 0.851L/s·m，底板隔水层为 55m，煤层构造简单，仅发育一些宽缓褶皱，掘进期间共揭露断层 27 条，1m 以上的断层 10 条，影响范围达 350m，断层呈带状分布，附近伴有节理，有较好的透水性，在过断层时，会出现活化，造成导水裂隙带发育，引发突水事故。

2 底板裂隙突水评价研究

2.1 底板裂隙突水数值模拟

富康源矿 2106 工作面倾向长度为 180m，中细砂岩煤层厚度为 42m，海相泥岩煤层厚度为 10m，底板断层发育，给模型上方施加岩石自身重应力以及太灰孔隙水压力，模型示意图如图 1 所示。

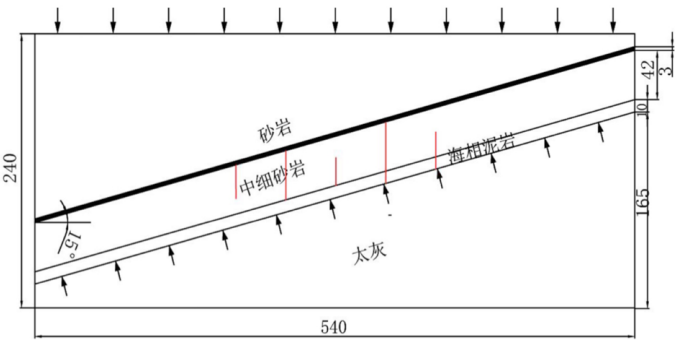

图 1　工程模型示意图

结合富康源矿井水文地质概况，综合考虑岩石的物理力学特性，运用三维有限差分算法，采用 FLAC^{3D} 软件建立力学过程数值模拟模型，建立沿走向长度 300m，倾向宽度 540m，高度 240m 的模型，共划分 87480 个单元，93940 个结点，对模型的侧面进行水平约束，底面进行垂直约束，上面施加垂直载荷，现场取得岩石力学参数结果如表 1 所示。

表 1　岩石力学参数

岩性	容重 / kg/m^3	弹性模量 /GPa	内摩擦角 /°	泊松比	粘聚力 /MPa	抗拉强度 /MPa
中砂岩	2650	79.52	41	0.298	11	4.6

煤	1440	2.81	36	0.463	2.09	0.35
细砂岩	2660	54.83	36.5	0.297	4.41	3.3
泥岩	2660	46.1	36.7	0.335	2.77	1.71
太灰	2670	60.4	41	0.295	12.16	8.46
破裂带介质	1320	0.913	30	0.268	0.072	0.12

2.2 底板裂隙突水分析

煤层底板裂隙发育，在上覆采动作用影响下，形成导水通道，从而引发底板裂隙突水，在采动过程中，工作面周围引起应力集中，采空区两侧出现压应力集中，煤层顶底板出现张应力，底板导通裂隙没有出现张应力集中。在开采长度 90m，距离切眼 45m，沿煤层倾斜方向的切面剪应力增量，可以看出，在裂隙发育地带，剪应力的增量达到最大值，垂直位移也较大，且裂隙左侧的位移向左，裂隙右侧的位移向右，在垂直应力和太灰孔隙压力的作用下，使裂隙扩张，使不导水的裂隙也出现导水危险，使导水裂隙导通性增强，越靠近工作面，扩张越厉害。

建立裂隙模型，在裂隙旁设置 22 个监测点全程监测该点在 X 方向的位移，即可得到该层裂隙扩张宽度，如图 2 所示，可以看出，裂隙上方扩张比较严重，扩张宽度约 0.029m，随着监测层向下，裂隙扩张宽度逐渐变小。

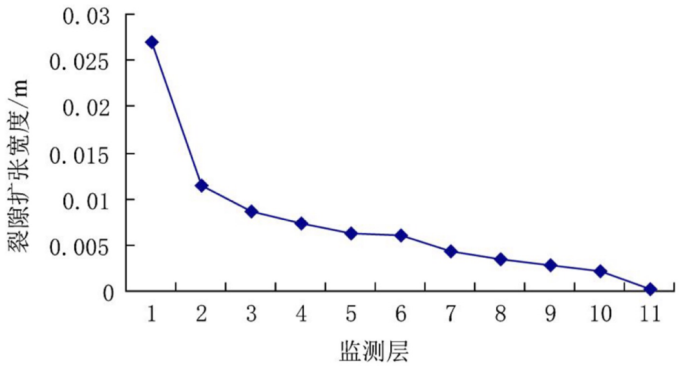

图 2 监测层裂隙扩张宽度

3 应用分析

3.1 防治方案

采用底板注浆对工作面进行注浆支护，为了使浆液分布均匀，封堵导水裂隙，将底板分为采动破坏层、加固层和改造层，通过打钻孔对改造层进行注浆，形成加固层，确保底板采动破坏层稳固，注浆加固支护图如图 3 所示。具体地，采用网格法布置钻孔，在工作面运输顺槽共布置 16 个钻场，在回风顺槽共布置 14 个钻场，每个钻场上下间隔 33m，左右间隔 58m，布置钻孔 200 个，选用水泥和粉煤灰作为注浆材料，注浆压力为 15MPa，注浆浆液扩散半径为 25m，钻孔直径为 75mm，在每个钻孔上安装二级套管，共施工注浆加固钻孔 3153m。

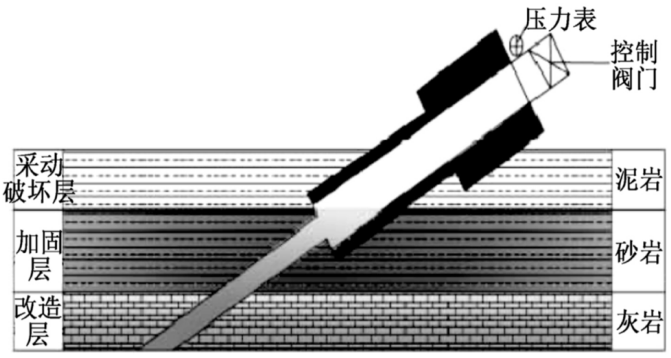

图 3 底板注浆示意图

3.2 效果验证

对注浆加固后的钻孔进行钻探验证，在工作面运输巷和回风巷交叉布置 5 个验证钻孔，钻孔深度为 45m，检验钻孔的涌水量，可以看出，1# 钻孔的涌水量为 1.7m^3/h，2# 钻孔的涌水量为 3.3m^3/h，3# 钻孔的涌水量为 3.5m^3/h，4# 钻孔的涌水量 4.1m^3/h，5# 钻孔的涌水量为 6.5m^3/h，可见，检验钻孔的最大涌水量为 6.5m^3/h，每个钻孔的涌水量都＜ 10m^3/h，使用底板注浆加固技术可以加强底板的隔水性能，提高回采的安全性。

4 结论

为防止富康源矿 410 盘区 2106 工作面底板裂隙突水，对底板裂隙突水进行危险性评价，采用 FLAC^{3D} 软件建立力学过程数值模拟模型，结果如下：裂隙上方扩张比较严重，扩张宽度约 0.029m，随着监测层向下，裂隙扩张宽度逐渐变小。钻孔的最大涌水量为 6.5m^3/h，每个钻孔的涌水量都＜ 10m^3/h，使用底板注浆加固技术可以加强底板的隔水性能，提高回采的安全性。

参考文献：

[1] 刘存玉 . 综合防治水技术在梧桐庄矿的研究与应用 [J]. 中国煤炭 ,2009,35(12):96-96.

[2] 刘建庄 , 常进海 , 浑宝炬 . 综合防治水技术在开滦矿区的研究与应用 [J]. 陕西煤炭 ,2008,27(03):62-63.

[3] 钟亚平 , 李建民 . 开滦矿区煤矿综合防治水技术理论与实践 [J]. 煤炭科学技术 ,2006(01):16-19.

[4] 刘存玉 . 综合防治水技术在梧桐庄矿的研究与应用 [J]. 中国煤炭 ,2009,35(12):96-96.

[5] 王兆欣 . 底板水害综合防治技术在梧桐庄矿的研究与应用 [J]. 区域治理 ,2019(30):35-36.

[6] 丁自伟 , 赵志强 , 高洋 , 等 . 赵各庄矿深部开采底板突水特征及防治技术 [J]. 煤炭工程 ,2010(12):72-75.