

应用研究·煤矿·

综采工作面遇断层煤壁稳定性分析及控制技术研究

Stability analysis and control technology of coal wall in fully mechanized mining face crossing fault area

齐奕尧(晋能控股煤业集团有限公司 挖金湾煤业公司,山西 大同 037000)

摘要:某矿2603工作面出现支架支撑力异常、回采过程中支架异响的情况,现采用数值模拟和现场应力监测分析2603工作面支架异常的原因,并制定了治理措施。结果表明,采用千米定向钻机对断层区域进行注浆作业,注浆凝固后工作面支架压力基本趋于平稳,未出现波动较大的现象。研究结果对其他矿井煤壁失稳控制具有一定指导意义。

关键词:煤壁失稳;数值模拟;应力监测;注浆加固;效果考察

中图分类号: TD823 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)06-0069-05

Abstract: The reasons for the abnormal supporting force and the abnormal sound from the support in the 2603 working face of a mine are analyzed by numerical simulation and field stress monitoring, and the treatment measures are formulated. The results show that after grouting solidification for fault area by using a 1000-meter directional drill, the support pressure of the working face basically tends to be stable without large fluctuation. The study results have guiding significance for the control of coal wall instability in other mines.

Key words: coal wall instability; numerical simulation; stress monitoring; grouting reinforcement; effect investigation

1 前言

工作面回采过程中,煤壁失稳对工作面机械设备、机电设备及其他辅助设备均会产生大的破坏。煤壁破碎大的因素很多,地质因素、管理不到位均会导致煤壁失稳^[1-4]。山西某矿2603工作面回采过程中常出现工作面裂纹,伴随着支架的吱吱声,随时出现顶板失稳情况,为防止工作面回采过程中出现顶板灾害,本文采用综合分析法对该工作面围岩展开研究。

2 矿井及工作面概况

山西某矿为煤与瓦斯突出矿井,核定产能180万t/a,主采煤层6#煤层,6#煤层厚度5.9m,煤层顶板为泥岩、砂质泥岩,厚度8m;底板为粉砂岩、泥

岩,厚度11m。

目前在采工作面为2603工作面。工作面采用走向长壁综合机械化放顶煤开采,一次性采高2.5m,放顶3.4m;工作面走向长度1569m,切眼长度190m,工作面区域内存在断层构造6个,位置点如图1所示。其中影响比较大的断层为F₅断层,断距4m,正断层。

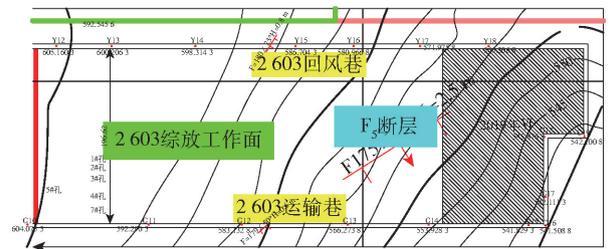


图1 2603工作面分布图

3 工作面围岩稳定性分析

2603工作面回采过程中,通过F₅断层位置时,煤壁出现了较大的声音,支架位移量比较大。为分析存在断层情况下工作面煤壁围岩失稳情况,现进行数值模拟分析,结合现场监测数据进行分析。

[作者简介] 齐奕尧(1993-),男,汉,河北阜平人,本科,助理工程师,从事煤炭开采工作。

[基金项目] 山西省重点研发计划项目(社会发展)(201903D321080)

[引用格式] 齐奕尧.综采工作面遇断层煤壁稳定性分析及控制技术研究[J].中国矿山工程,2021,50(6):69-73.

3.1 2603 工作面数值模拟

2603 工作面整体存在断层,断层会导致工作面围岩应力分布不均匀,产生煤岩局部变形的现象。为研究断层影响下,工作面围岩应力分布情况,现采用软件 COMSOL Multiphysics 进行围岩应力模拟研究。COMSOL Multiphysics 是一款多场耦合数值模拟软岩,基于有限元分析理论,可以模拟应力场、渗流场、温度场等多场作用下模块不同参数分布情况^[5-10]。

在巷道内取样对围岩力学参数进行测量,采用电子万能压力试验机进行单轴抗压强度试验、抗拉强度试验、抗剪强度试验,顶板岩层试验情况如图 2 所示。每组试验使用 3 个试块进行试验,取参数平均值为最终值。岩心取样,样本直径 20 mm,长度 300 mm。煤层底板及煤样测试试验和顶板测试试

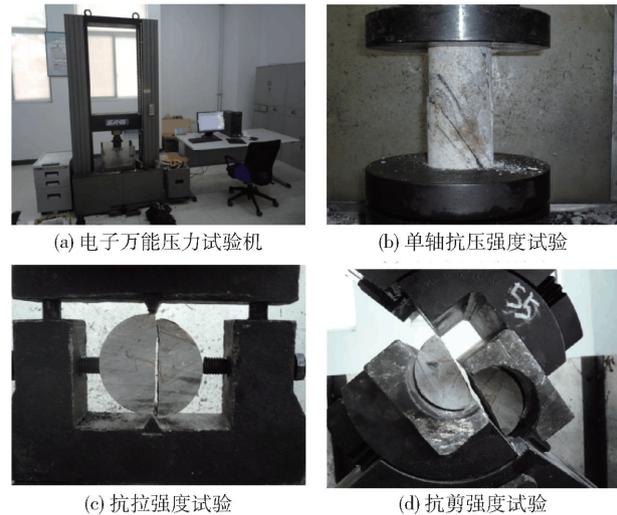


图 2 2603 工作面顶板岩层应力测试试验图

验方式相同。

通过试验测试,测得煤层顶板、底板、煤岩及邻近层岩石应力参数见表 1。以表 1 的参数进行数值模拟试验,假设断层以外区域的煤岩为均匀介质,煤层的为多孔介质。通过测试煤层孔隙率为 0.15,数学模型如下。

1) 应力场模型

$$\rho_1 \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} - \nabla \delta' = Fv \tag{1}$$

式中: ρ_1 ——模型密度,kg/m³;
 t ——时间,s;
 δ' ——内应力,MPa;
 F ——模型受到的外力,N;
 v ——模型的位移变化率,m/s;
 u ——煤岩骨架位移,m/s。

2) 渗流场模型

$$\frac{\partial Q\varphi}{\partial t} + \nabla(\rho q) = Q_m \tag{2}$$

$$q = -\frac{k}{\mu} \nabla p \tag{3}$$

式中: Q ——单位体积煤内的瓦斯含量,m³;
 ρ ——瓦斯密度,kg/m³;
 q ——瓦斯渗流速度矢量,m/s;
 Q_m ——整体瓦斯含量,m³。
 μ ——黏度,Pa·s;
 ∇p ——煤层内的瓦斯压力梯度,Pa/m。

模型不考虑温度的影响,主要为渗流场和应力场。不同岩层基本参数见表 1,模拟初始变量参数见表 2。

表 1 模拟参数表

岩层	厚度/m	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	容重/kN·m ⁻³	内摩擦角/(°)	抗拉强度/MPa	黏聚力/MPa
松散层	53	13	39	15 003	13	4.6	7
软岩	25	18	11	21 003	23	6.6	13
主关键层	11	48	29	25 003	38	10	23
软岩	15	18	11	21 003	23	6.6	13
亚关键层	7	43	28	25 003	33	9.6	18
软岩	14	18	11	21 003	26	6.6	13
煤层	5.9	15	8	15 003	20	4.7	9
底板	13	53	31	25 003	38	11	23

根据参数及现场测试煤层顶板承受的初始压力 45 MPa,进行 2603 工作面围岩应力数值模拟研究,该数值模拟过程为瞬态模型,模拟顶板在 45 MPa 的

初始应力下,14 d 内的应力分布情况。模型总时间为 14 d,模拟步长为 1 d。数值模拟结果如图 3 所示。

4.1 设备及材料

钻机采用 ZYL-17000D 型千米定向钻机, 钻孔孔径 160 mm, 辅助设备有 BLY400/12 泥浆泵、胎体复合片钻头、扩孔钻头、中心通缆钻杆、螺杆马达、测量系统、YSX15 矿用本安型随钻测量系统等。

封孔材料为水泥浆, 水泥为普通硅酸盐水泥, 水灰比 1: 1.28, 添加速凝剂。

4.2 钻孔施工

钻孔施工设计图如图 5 所示, 设计钻孔 4 个, 钻孔施工完成后进行注浆作业。钻孔参数见表 2。

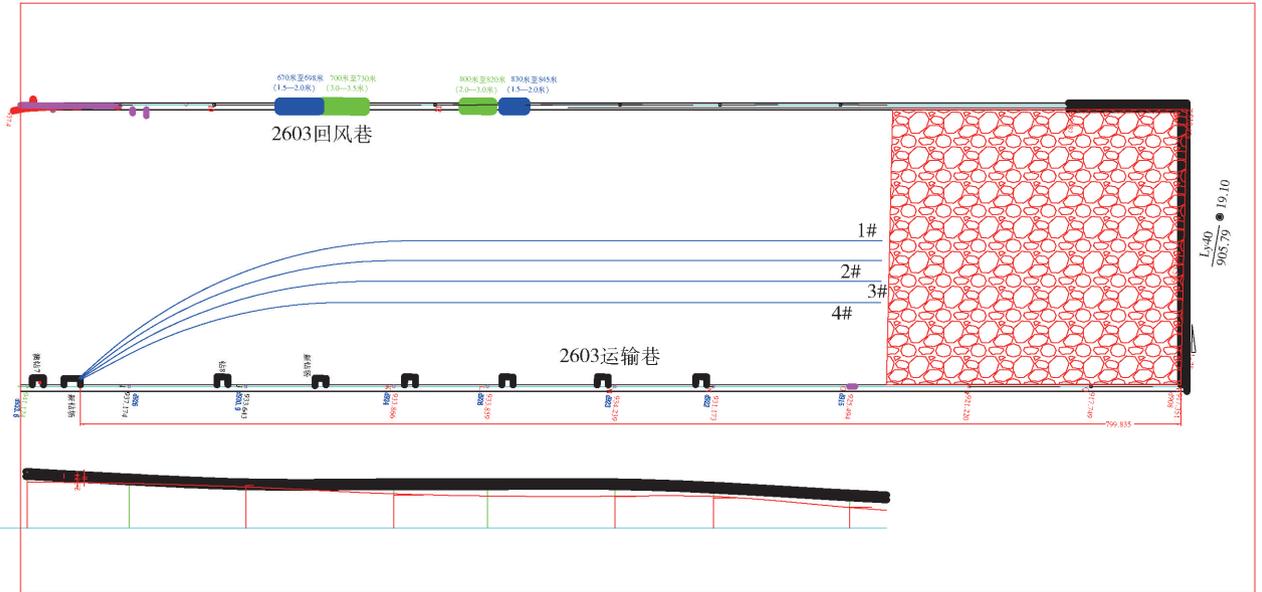


图 5 钻孔设计图

表 2 钻孔参数表

钻孔编号	钻孔深度/m	孔径/mm	方位角/(°)
1	260	160	30
2	258	160	32
3	255	160	35
4	252	160	40

4.3 注浆工艺

根据断层位置以及数值模拟情况, 主要对断层位置进行注浆封堵, 采用 GL90-125 型双液注浆泵, 额定量为 7 m³/h。工作压力 15 MPa, 注浆泵吸浆口径 38 mm, 出浆口径 32 mm。材料为水泥浆, 每 10 m 进行一次注浆, 采用胶囊进行分段封孔, 注浆压力达到 15 MPa 为注浆达标。主要封孔位置为 F₅ 断层位置, 距离孔底 80 m 范围内全部进行分段注浆, 每个钻孔分八段进行注浆。每段的注浆量见表 3。

4.5 注浆效果分析

通过对断层区域注浆作业, 凝固一天后对工作面 126 个液压支架压力进行考察, 注浆后支架压力分布如图 6 所示。

由图 6 可知, 施工完成定向钻孔后, 整个工作面

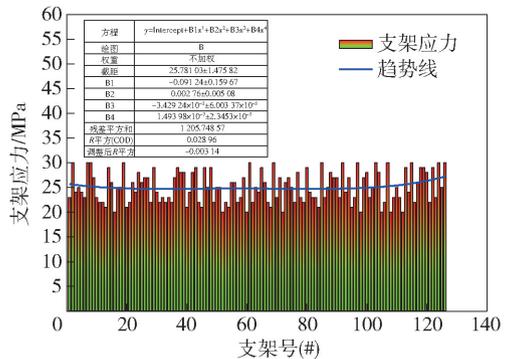


图 6 支架压力分布

各个支架压力分布比较均匀, 在 $20 \times 10^6 \sim 30 \times 10^6$ Pa 为出现应力变化较大区域。现场回采过程中, 未出现支架吱吱作响的声音。

5 结论

山西某矿 2603 工作面出现液压支架异响、液压支架压力监测数据异常的现象, 采用数值模拟和数据监测的方法分析煤壁应力失稳的原因, 制定了治理措施, 得出以下结论:

(1) 采用软件软件 COMSOL Multiphysics 进行多场耦合模拟研究, 得出工作面围岩应力失稳情况为断层位置点周边大面积垮落; 液压支架压力数据

表3 注浆量表

孔号	断号	注浆量/m ³	备注
1 [#]	1-1	0.31	
	1-2	0.33	
	1-3	0.32	
	1-4	0.28	
	1-5	0.2	
	1-6	0.24	
	1-7	0.22	
	1-8	0.2	
2 [#]	2-1	0.33	
	2-2	0.3	
	2-3	0.31	
	2-4	0.31	
	2-5	0.23	
	2-6	0.23	
	2-7	0.21	
	2-8	0.23	
3 [#]	3-1	0.35	
	3-2	0.31	
	3-3	0.3	
	3-4	0.34	
	3-5	0.2	
	3-6	0.2	
	3-7	0.22	
	3-8	0.23	
4 [#]	4-1	0.3	
	4-2	0.33	
	4-3	0.34	
	4-4	0.31	
	4-5	0.24	
	4-6	0.22	
	4-7	0.22	
	4-8	0.21	

观测及顶板岩层破碎情况和数值模拟结果基本一直。

(2)数值模拟显示断层点出现应力异常,集中

点 45×10^6 Pa;现场监测结果显示,断层位置点支架承受最大应力为 42×10^6 Pa;综合分析导致煤壁失稳主要原因为断层影响。

(3)通过千米定向能钻机施工,效果考察结果显示,在断层区域注浆加固后,工作面煤壁整体稳定,支架压力在 $20 \times 10^6 \sim 30 \times 10^6$ Pa 波动,数据整体区域平缓。

(4)通过效果考察分析,注浆作业有效控制了2603工作面煤壁失稳的现象,研究结果和研究方法对于类似矿井具有一定指导意义和现实意义。

[参考文献]

- [1] 王国法,刘峰,孟祥军,等. 煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J]. 煤炭科学技术,2019,47(8):1-36.
- [2] 段伟华. 三道沟矿大采高工作面矿压显现规律及片帮控制技术[D]. 西安:西安科技大学,2019.
- [3] 马国峰. 大采高综采工作面顺槽围岩破坏特性及其支护技术研究[D]. 西安:西安科技大学,2018.
- [4] 王国法,庞义辉,任怀伟,等. 煤炭安全高效综采理论、技术与装备的创新和实践[J]. 煤炭学报,2018,43(4):903-913.
- [5] 庞义辉. 超大采高液压支架与围岩的强度耦合关系[D]. 北京:煤炭科学研究总院,2018.
- [6] 杨印朝. 复杂厚煤层大采高开采采场围岩控制技术研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2017.
- [7] 崔树江. 大采高超大采场覆岩破坏运动特征及控制研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2016.
- [8] 郭卫彬. 大采高工作面煤壁稳定性及其与支架的相互影响机制研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2015.
- [9] 王红伟. 大倾角煤层长壁开采围岩应力演化及结构稳定性研究[D]. 西安:西安科技大学,2014.
- [10] 刘长郗. 泉店煤矿大倾角厚煤层大采高综采顶板活动规律及支架稳定性研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2014.
- [11] 吴锋锋. 厚煤层大采高综采采场覆岩破断失稳规律及控制研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2014.
- [12] 屠洪盛. 薄及中厚急倾斜煤层长壁综采覆岩运动规律与控制机理研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2014.
- [13] 孟超. 大倾角大采高工作面煤壁失稳机理及控制[D]. 徐州:中国矿业大学,2013.