

液压支架频繁开启原因与整改措施

张 军¹, 徐亚军^{2,3,4*}, 马军杰¹, 李丁一^{2,3,4}, 庞晓亮^{2,3,4}, 尚应溱⁵

¹山东能源西北矿业邵寨煤业有限公司, 甘肃 平凉

²中煤科工开采研究院有限公司, 北京

³天地科技股份有限公司, 北京

⁴煤炭科学技术研究院有限公司, 北京

⁵陕西正通煤业有限责任公司, 陕西, 咸阳

收稿日期: 2023年9月23日; 录用日期: 2023年10月24日; 发布日期: 2023年10月31日

摘 要

邵寨煤业公司2201工作面煤层平均厚度2 m, 面长300 m, 选用ZY12000/15/30D型两柱掩护式液压支架进行支护, 实际开采过程中安全阀频繁开启, 论文详细分析了工作面液压支架频繁开启原因, 得出了工作面安全阀频繁开启原因。工作面采高较小, 液压支架支护性能得不到充分发挥; 煤层埋藏较深, 工作面长度较长, 矿压显现强烈; 工作面上覆岩层岩性较弱, 承载能力有限, 上述三个问题是造成工作面安全阀频繁开启原因。在此基础上, 提出了具体整改方案, 实施效果明显, 为类似问题的解决提供参考。

关键词

液压支架, 较薄煤层, 安全阀, 超长工作面

Reasons and Rectification Measures for Frequent Opening of Powered Supports

Jun Zhang¹, Yajun Xu^{2,3,4*}, Junjie Ma¹, Dingyi Li^{2,3,4}, Xiaoliang Pang^{2,3,4}, Yingqin Shang⁵

¹Shandong Energy Northwest Mining Shaozhai Coal Co., Ltd., Pingliang Gansu

²Coal Mining Research Institute Co., Ltd. of CCTEG, Beijing

³Tiandi Science and Technology Co., Ltd., Beijing

⁴China Coal Research Institute Co., Ltd., Beijing

⁵Shaanxi Zhengtong Coal Industry Co., Ltd., Xianyang Shaanxi

Received: Sep. 23rd, 2023; accepted: Oct. 24th, 2023; published: Oct. 31st, 2023

*通讯作者。

文章引用: 张军, 徐亚军, 马军杰, 李丁一, 庞晓亮, 尚应溱. 液压支架频繁开启原因与整改措施[J]. 矿山工程, 2023, 11(4): 510-518. DOI: 10.12677/me.2023.114063

Abstract

The average thickness of the coal seam in the 2201 mining face of Shaozhai Coal Industry Company is 2 m, with a face length of 300 m. The ZY12000/15/30D type 2-leg shield hydraulic powered support is used for support. In the actual mining process, safety valves of leg open frequently. The paper analyzes in detail the reasons for the frequent opening of the safety valves of leg in the mining face. The research results indicate that the mining height of the mining face is relatively small, the support performance of the hydraulic powered support cannot be fully utilized; the coal seam is buried deeper, the mining face length is longer, and the mining pressure is strong. The lithology of the overlying strata on the mining face is weak and the bearing capacity is limited. The above three problems are the reasons for frequent opening of the safety valve on the mining face. Based on this, specific rectification plans have been proposed, and the implementation effect is obvious, providing reference for solving similar problems.

Keywords

Powered Support, Thinner Coal Seam, Safety Valve, Extra Long Mining Face

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

立柱安全阀是液压支架一个重要装置,立柱安全阀频繁开启是影响综采工作面安全生产的一大隐患。立柱安全阀开启在一定程度上反映了工作面顶板来压强度和液压支架支护能力,液压支架工作阻力不足,工作面来压时会出安全阀频繁开启情况。在实际生产中,一般要求工作面安全阀开启率应不超过支架总数的 10%。文献[1]以阳煤一矿 8303 工作面为例,分析了该工作面 65 号和 75 号支架安全阀开启率较高的原因在于安全阀开启压力值整定较低,液压支架支护性能得不到充分发挥。文献[2]分析了酸刺沟煤矿 6[±]106 工作面液压支架开启特点,认为液压支架安全阀开启与架型结构有关,四柱式液压支架前后柱受力不均、液压支架支撑效率低是导致该工作面液压支架安全阀开启的主要原因。文献[3]总结分析了液压支架常见故障原因,认为原因较多,一方面与安全阀结构有关,表现为阀芯断裂、密封圈损坏、弹簧疲劳;再就是与乳化液污染有关,表现为杂质堵塞通道、密封表面油污、过滤器堵塞等;还有就是液压件损坏,表现为液压窜液,高压乳化液穿过密封直接抵达低压侧。文献[4]分析了 8.8 m 超大采高工作面液压支架安全阀开启特点,提出了安全阀短时开启概念和长时开启(安全阀开启超过一个割煤循环),安全阀短时开启顶板下沉呈现激增状态,长时开启顶板下沉速度由急增逐渐过渡到缓增状态。不难发现,安全阀开启原因较多,其不仅与安全阀本身结构有关,还与支架型式、开采条件、煤层厚度等条件密切相关,需要具体问题具体分析。

本文以邵寨煤矿为例,详细分析其工作面液压支架安全阀频繁开启原因,给出了具体整改措施,为该问题的解决提供参考。

2. 工作面条件与配套设备

邵寨煤矿位于甘肃省灵台县和陕西长武县交界处,主采 2 煤,煤层埋深 620~790 m,平均 710 m;煤

层厚度 0.9~2.86 m，平均厚度 2 m。煤层结构简单，顶底板以粉砂质泥岩、砂质泥岩、泥岩为主。煤层倾角 $0^{\circ}\sim 7^{\circ}$ ，平均 4° 。2201 工作面为 2 煤首采工作面，工作面走向长度 2000 m，倾向长度 300 m，采用综合机械化煤工艺，全部垮落法管理顶板。中部支架选用 ZY12000/15/30D 型两柱掩护式液压支架，最大高度 3.0 m，最小高度 1.5 m，中心距 1.75 m，支护强度 1.17~1.26 MPa。液压支架主要技术参数如表 1 所示。

Table 1. Main technical parameters of powered support
表 1. 液压支架主要技术参数

| 项目 | 单位 | 数值 | 备注 |
|------|-----------|-----|------------------------|
| 高度 | 1500/3000 | mm | 最低/最高 |
| 宽度 | 1680/1880 | mm | 最小/最大 |
| 中心距 | 1750 | mm | |
| 初撑力 | 10390 | kN | $P = 37.5 \text{ MPa}$ |
| 工作阻力 | 12000 | kN | $P = 43.3 \text{ MPa}$ |
| 支护强度 | 1.17~1.26 | MPa | 工作高度 |
| 底板比压 | 3.65~4.53 | MPa | 底座尖端 |

液压支架设有伸缩梁和抬底结构，采用倒拉框架式推移装置，截深 800 mm。最小采高 1.9 m，配套 SL300 型电牵引双滚筒采煤机和 SGZ1000/2×1000 刮板输送机，安全过机空间 257 mm，过煤空间 457 mm (图 1)。

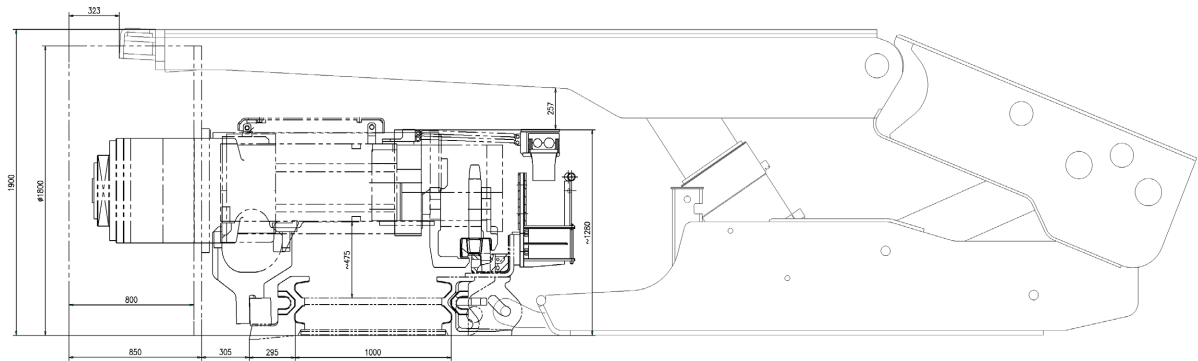


Figure 1. Minimum mining height supporting section
图 1. 最小采高“三机”配套断面

3. 安全阀开启现象与原因分析

3.1. 安全阀开启现象

2021 年 6 月该套支架开始在 2201 工作面投入使用。2021 年 6 月 8 日~2021 年 7 月 8 日，工作面累计推进 119.7 m，共完成 149 个割煤循环，平均推进度为 3.9 m/d。期间统计了 10 次周期来压过程，结果表明来压步距界于 7.2~15.5 m 之间，平均来压步距 11 m。来压时液压支架工作阻力 9776.2~14228.5 kN，平均工作阻力 11661.9 kN；非来压期间支架工作阻力 8264.8~11229 kN，平均为 9903.3 kN，动载系数 1.14~1.22，平均 1.19。液压支架压力云图如图 2 所示。

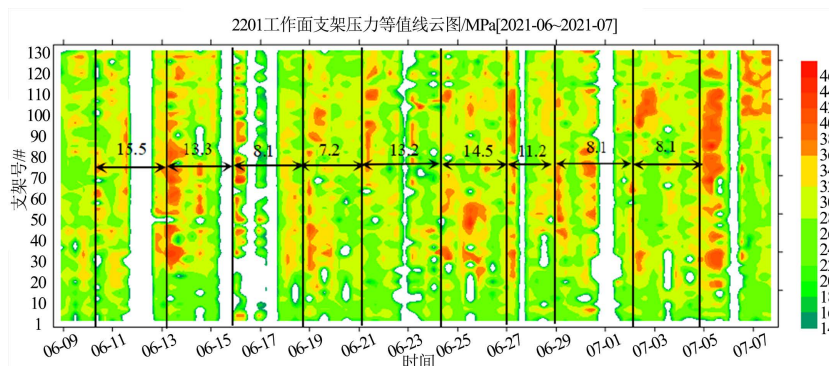


Figure 2. Mining face support pressure cloud diagram

图 2. 工作面支架压力云图

统计结果表明, 支架工作阻力 0~5000 kN 占比为 1.30%, 5000~10,000 kN 占比为 78.96%, 10,000 kN 以上占比为 19.74%。支架 10,000 kN 高压力占比如图 3 所示。由图可知, 该工作面支架高压工作阻力分布较为广泛。

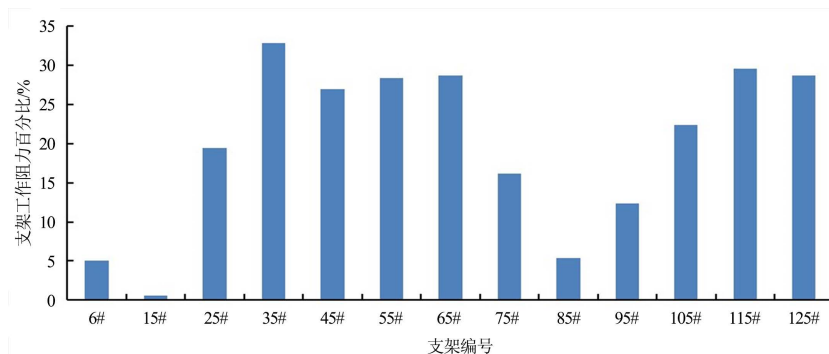


Figure 3. Proportion of supports above 10,000 kN

图 3. 10,000 kN 以上支架工作阻力占比

开采期间, 立柱安全阀开启频繁。由安全阀开启率统计可知, 工作面高压力区基本位于工作面中部, 从机头方向支架安全阀开启率呈现趋势为低 - 高 - 低 - 高的趋势(图 4)。立柱安全阀开启主要分布在 25#~75# 支架, 靠近机尾的 105#~125# 支架安全阀开启频率也较高。其中, 35#、45#、55#、65#、105#、115#、125# 支架安全阀开启率为 11.41%~21.46%, 平均开启率为 18.69%, 占支架总数的 53.8%。

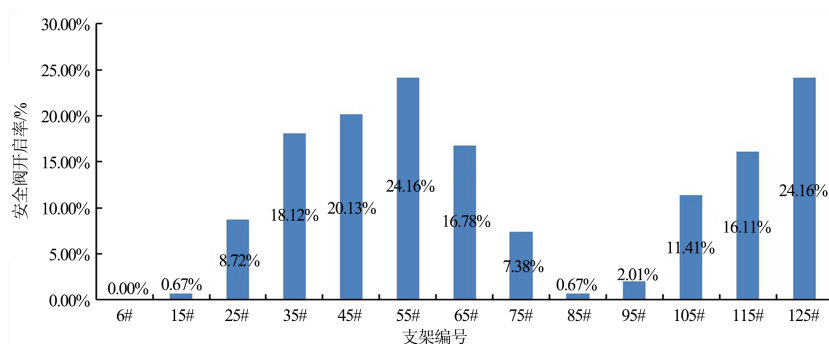


Figure 4. 2021 Mining face safety valve opening

图 4. 2021 工作面安全阀开启率统计

3.2. 安全阀开启原因分析

该工作面选用 ZY12000/15/30D 型两柱掩护式液压支架，支护强度 1.17~1.26 MPa，液压支架支护能力相当高，理论上安全阀不应该大面积开启。现场调查发现，安全阀整定参数合理，没有出现损坏现象，排除了安全阀结构故障原因[5]。因此必须要从矿压显现和液压支架工作特性两方面来分析造成安全阀频繁开启原因。

(1) 采高较小，液压支架支护能力不能充分发挥。

2201 工作面煤层厚度较薄，实际开采过程中液压支架支护高度都在 2.2 m 左右。理论计算结果表明(表 2)，当工作面开采高度低于 2.2 m 时，立柱前倾角度大于 25°，液压支架初撑力小于 7868 kN，工作阻力小于 11,000 kN，支护强度小于 1.24 MPa。两柱掩护式支架最大特点是支架高度越小，有效支护能力就越低，为了保证液压支架支护能力能够充分发挥，必须要控制支架合理支护高度，防止液压支架“高架低用”[6]。由表 2 可知，ZY12000/15/30D 型两柱掩护式液压支架合理支护高度在 2.4~2.8 m，这时液压支架初撑力都在 8000 kN 以上。当支架高度低于 2.4 m，工作阻力都小于 8000 kN。

Table 2. Hydraulic powered support calculation results

表 2. 液压支架计算结果

| 架高(m) | 立柱倾角(°) | 顶梁合力(kN) | 支护强度(MPa) | 初撑力(kN) |
|-------|---------|----------|-----------|---------|
| 280 | 16.3 | 11,328 | 1.26 | 8091 |
| 270 | 17.8 | 11,287 | 1.26 | 8062 |
| 260 | 19.1 | 11,265 | 1.26 | 8046 |
| 250 | 20.4 | 11,235 | 1.26 | 8025 |
| 245 | 21.0 | 11,213 | 1.26 | 8010 |
| 240 | 21.6 | 11,187 | 1.26 | 7990 |
| 230 | 22.9 | 11,115 | 1.25 | 7939 |
| 220 | 24.3 | 11,015 | 1.24 | 7868 |
| 210 | 25.8 | 10,884 | 1.23 | 7774 |
| 200 | 27.4 | 10,716 | 1.21 | 7654 |
| 190 | 29.3 | 10,505 | 1.19 | 7504 |
| 180 | 31.4 | 10,246 | 1.16 | 7319 |
| 170 | 33.9 | 9930 | 1.12 | 7093 |
| 160 | 36.6 | 9548 | 1.08 | 6820 |
| 150 | 39.8 | 9093 | 1.03 | 6495 |

表 3 为工作面液压支架支护阻力实测数据。由表可知，液压支架初撑力都在 7452 kN 以下，说明液压支架的支护高度 2.2 m 时，液压支架支护能力低于 8000 kN，实测数据与理论计算结果一致。

Table 3. Initial support force of hydraulic support

表 3. 液压支架初撑力实测数据

| 支架号 | 循环末阻力/kN | | 初撑力/kN |
|-----|----------|--------|--------|
| | 平时 | 周期来压 | |
| 6# | 8255 | 9776 | 7452 |
| 15# | 8831 | 11,339 | 7112 |

Continued

| | | | |
|------|--------|--------|------|
| 25# | 9067 | 11,373 | 7411 |
| 35# | 10,487 | 11,545 | 7430 |
| 45# | 10,409 | 11,931 | 7634 |
| 55# | 10,665 | 11,654 | 7367 |
| 65# | 10,608 | 11,638 | 7324 |
| 75# | 9726 | 11,237 | 7093 |
| 85# | 9403 | 12,081 | 7461 |
| 95# | 9442 | 11,773 | 7066 |
| 105# | 11,229 | 14,229 | 7544 |
| 115# | 11,042 | 12,005 | 7227 |
| 125# | 9864 | 11,726 | 7240 |
| 平均 | 9925 | 11,716 | 7335 |

工作面采高小，支护高度低，立柱倾角大，液压支架初撑力、工作阻力、支护强度都随之降低，液压支架支护性能得不到充分发挥。尽管该工作面选用 ZY12000/13/28D 型液压支架，液压支架设计初撑力为 10,390 kN，由于工作面采高小，液压支架实际初撑力不到 8000 kN。由于初撑力低，液压支架主动支护力小，顶板容易早期离层，工作面来压时矿压显现较为强烈。由于液压支架支护能力不足，立柱安全阀就会开启，这就是工作面立柱安全阀频繁开启的原因之一。

(2) 顶板岩性弱，承载能力有限。

2 煤的顶板主要有泥岩、粉砂岩、细粒砂岩、中粒砂岩、粗粒砂岩组成，物理力学性质试验结果表明顶板岩体强度为差~中等，单轴饱和抗压强度判定属软岩 - 较软岩，顶板岩性属 III-IV 级，为软化岩石(表 4)。如前所述，该工作面平均埋深在 710 m 左右，煤层埋藏较深，工作面压力大；加之工作面长度 300 m，工作面长度较长，由于顶板岩层为软弱岩层，强度较低，承载能力弱，来压时顶板承载能力有限，容易破断，这是造成工作面液压支架立柱安全阀频繁开启的另一个原因。

Table 4. Test results of physical and mechanical properties of roof rocks

表 4. 煤层顶板岩石物理力学性质试验结果

| 岩石 | 岩石质量指标 $M = Rc/30 \times RQD$ | 饱和单向抗压强度 (MPa) | RQD | 软化系数 | 变形试验 | |
|------|----------------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------------------|------|
| | | | | | 弹性模量 | 泊松比 |
| 粉砂岩 | 0.17~0.47 | $\frac{21.31-9.80}{16.57(3)}$ | 30%~85% | 0.25 | 2.606×10^4 | 0.1 |
| 细粒砂岩 | 0.27~0.77 | $\frac{62.42-11.50}{27.11(6)}$ | | 0.46 | 3.016×10^4 | 0.16 |
| 中粒砂岩 | 0.14~0.39 | $\frac{18.90-9.81}{13.94(3)}$ | | 0.63(3) | 3.02×10^4 | 0.17 |
| 粗粒砂岩 | 0.10~0.29 | $\frac{12.80-10.70}{10.39(3)}$ | | 0.22(3) | 2.165×10^4 | 0.13 |

(3) 面长较长，出现了超长工作面“三峰值”来压特征。

2201 工作面长度 300 m，工作面长度较长，根据液压支架弹性独立支座计算模型计算了工作面长度方向液压支架群组支护应力分布特性(图 5)。该方法是将工作面液压支架和两端巷帮都视为一定刚度弹性

体[7], 基于岩梁变形协调条件, 建立液压支架刚度矩阵 $\{K\}$ 、单跨梁力矩 $\{M\}$ 和载荷 $\{Q\}$ 关系式[8]: $\{K\}\{M\} = \{Q\}$, 求解各液压支架位移量, 进而得出工作阻力与支护应力。

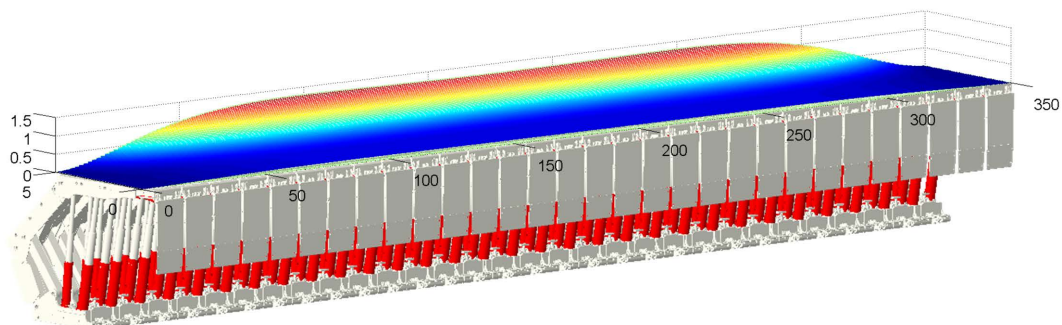
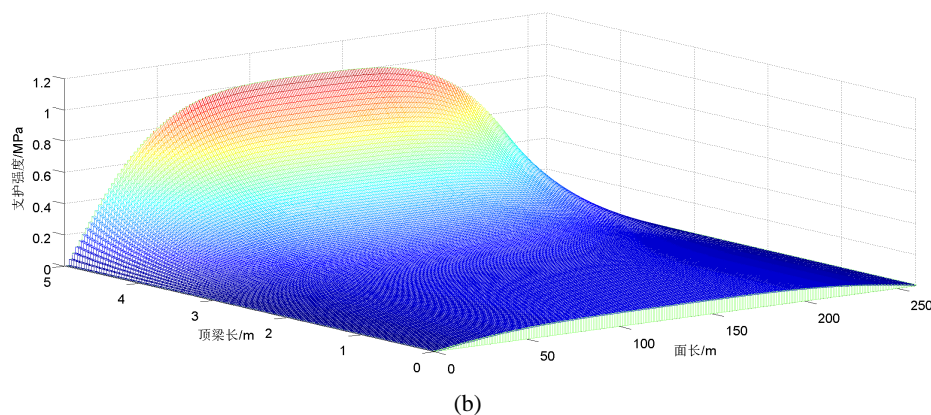
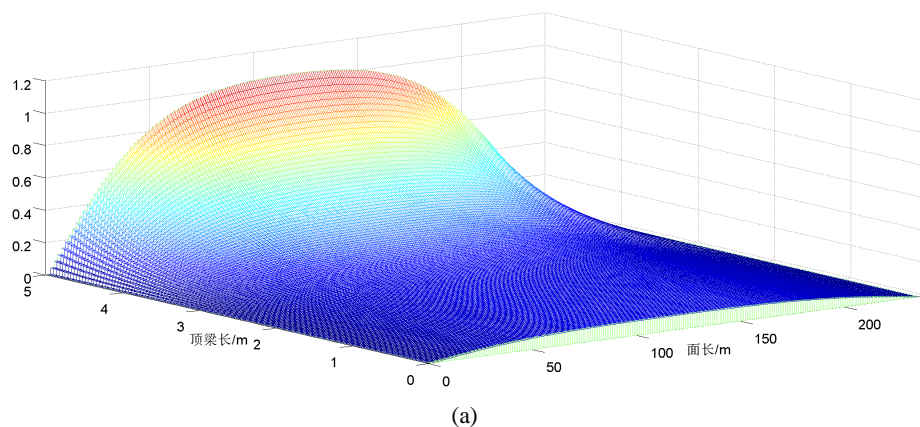


Figure 5. Supporting stress field of powered supports

图 5. 液压支架群组支护应力分布示意

图 6(a)、图 6(b)、图 6(c)为工作面长度分别为 240 m、260 m、300 m 时, 工作面长度方向液压支架群组支护应力。由图可知, 面长 240 m 时, 工作面长度方向支护应力为单峰值, 液压支架支护阻力中间高, 两端低; 面长 260 m 时, 中部支护应力比较宽缓, 高支护应力向两端扩展; 面长 300 m 时, 工作面出现“M”型典型“三峰值”特征[9] [10], 即中部低, 靠近中部位置支护应力较高, 形状为马鞍形, 类似字母“M”。三峰值特征表明上覆岩层顶板开始断裂[11], 液压支架上方顶板岩层承载能力减弱, 这是造成工作面安全阀开启的另一个原因。



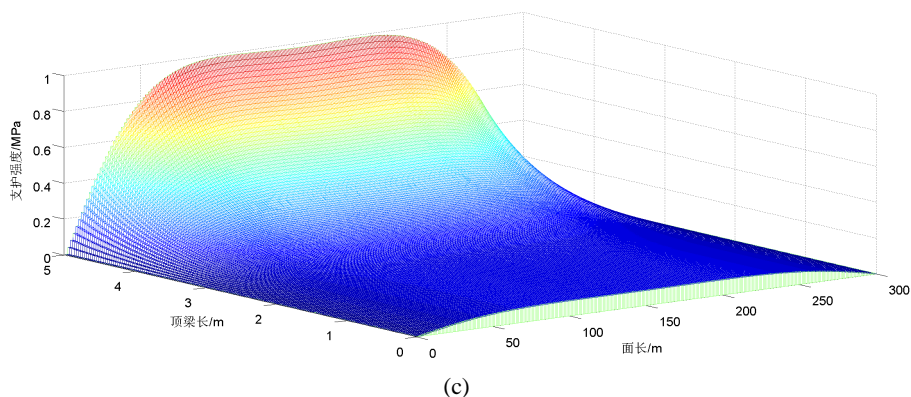


Figure 6. Distribution of support strength in mining face
图 6. 工作面长度方向支护强度分布

4. 整改措施与效果

由上述分析可知,在工作面采高和长度不变的情况下,提高液压支架初撑力是减小立柱安全阀开启的主要措施。为此,采用 37.5 MPa 高压供液泵站,为了防止高压胶管密封圈爆裂,将泵站出口压力整定为 35 MPa,保证工作面立柱初撑力不低于 30 MPa (图 7)。

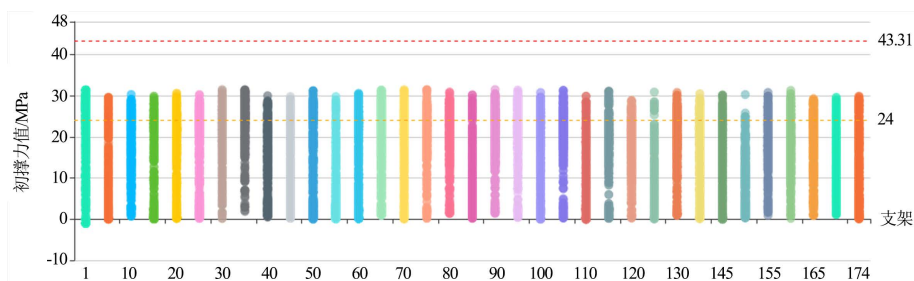


Figure 7. Actual results of initial support force
图 7. 支架初撑力实测结果

采取上述措施后,2022年5月2日至2022年5月30日,工作面共推进229个采煤循环,发生周期来压12次,周期来压步距为8.4~22.4 m,平均12.13 m。期间,工作面支架最大工作阻力为11,658 kN,平均工作阻力为6401 kN,平均初撑力为8320 kN,为额定初撑力的80.1%,安全阀开启比例为0.06%。液压支架支护强度云图如图8所示。对比图2可知,液压支架高应力区有了大幅降低,整改措施效果明显。

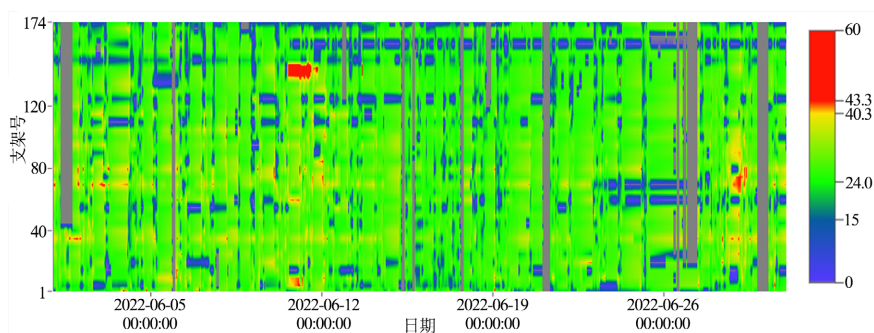


Figure 8. Stress cloud chart of powered support
图 8. 液压支架支护强度云图

5. 结语

(1) 液压支架有合理的工作高度,为了充分发挥液压支架支护性能,实际开采过程时,尽量避免让高度参数较大的液压支架在较低的高度下常态化工作。为了确保液压支架支护能力,可按初撑力不小于额定初撑力的80%的原则来确定液压支架最小工作高度。

(2) 顶板岩性和煤层埋深对安全阀开启有一定影响,对于埋深较大的工作面,在液压支架选型设计时尽量考虑选用支护强度大的液压支架,以提高液压支架支护能力。

(3) 工作面长度对安全阀开启也有一定影响,对于工作面液压支架支护强度呈“三峰值”的超长工作面,必须要考虑工作面长度对液压支架载荷的作用与影响。

(4) 条件许可的情况下,可采用出口压力较高的乳化液泵站,提高液压支架初撑力,防止支架早期离层,对于防止工作面液压支架大面积开启有一定帮助。

基金项目

国家自然科学基金(52074155); 天地科技创新创业资金项(2022-2-TD-ZD017, KJ-2021-KCMS-01)。

参考文献

- [1] 王小雷. 大采高工作面液压支架受力及矿压分析[J]. 机械管理开发, 2019, 200(12): 60-61.
- [2] 徐刚, 黄志增, 范志忠, 等. 工作面顶板灾害类型、监测与防治技术体系[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(2): 1-11.
- [3] 化泽建. 矿井液压支架安全阀常见故障分析及处理措施[J]. 内蒙古石油化工, 2021(1): 72-73.
- [4] 徐刚, 张震, 杨俊哲, 等. 8.8m 超大采高工作面支架与围岩相互作用关系[J]. 煤炭学报, 2022, 47(4): 1462-1472.
- [5] 李晓白, 张亮, 王东攀. 大采高工作面液压支架安全阀损坏原因分析[J]. 煤炭工程, 2014, 46(4): 57-59.
- [6] 任怀伟. 大采高液压支架合理工作高度及掩护梁结构研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(4): 89-93.
- [7] 王国法, 张金虎, 徐亚军, 等. 深井厚煤层长工作面支护应力特性及分区协同控制技术[J]. 煤炭学报, 2021, 46(3): 763-773.
- [8] 徐亚军, 王国法, 张金虎, 等. 基于弹性独立支座的大采高综采工作面液压支架群组支护应力场理论与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(5): 1226-1236.
- [9] 宋立兵, 王庆雄. 国内首个450m 超长综采工作面安全开采技术研究[J]. 煤炭工程, 2014, 46(3): 45-51.
- [10] 王庆雄, 鞠金峰. 450 m 超长综采工作面矿压显现规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(3): 125-128.
- [11] 徐亚军, 王国法. 液压支架群组支护原理与承载特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(S1): 3367-3373.