

浅埋强矿压下工作面动载矿压显现规律及控制技术

The occurrence pattern and control of dynamic underground pressure in a shallowly-buried mine with high underground pressure

徐宏庆¹, 冯芷胥¹, 邓飞^{2,3}

(1. 山西兰花集团莒山煤矿有限公司, 山西 晋城 048002; 2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037; 3. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037)

摘要:为解决综采工作面受上覆采空区动载矿压影响而造成推进困难的问题,以3-1#煤层31201综采工作面为研究目标,针对31201工作面在推进期间矿压显现强度大,工作面易出现大面积压架的现象,对工作面不同区域的来压步距、来压持续长度以及来压期间释放的能量等参数进行分析,确定了各区域矿压显现强度的关系,在此基础上,采用定向钻孔爆破技术对采空区集中煤柱进行爆破卸压。根据现场监测数据显示,31201工作面在过集中煤柱区域期间,工作面顶板稳定性大大提高,矿压显现强度明显降低,且未出现压架事件,工作面平均来压步距与持续长度分别为8.65 m和2.3 m,地表裂隙的范围与强度大大降低,在一定程度上实现了“顶板运动可控、顶板压力分次化解”的目的。

关键词:浅埋;综采;集中煤柱;矿压显现;压架;钻孔爆破

中图分类号: TD323 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)04-0041-06

Abstract: The dynamic pressure load of the mined out area above makes the advancing of fully mechanized coal faces difficult. To solve this problem, a case study was made of the 31201 work face, 3-1# coal seam. As the pressure is great during advancement, and as large areas of over-burdened supports often occur, the duration and length of periodic pressure steps in different areas, as well as the energy released were monitored, and a pressure occurrence pattern was thus developed. Based on the pressure pattern, oriented drilling and blasting was used to relieve the pressure caused by the concentrated pillars in the mine-out area above. According to the field data, when 31201 work face was passing the area of concentrated pillars, roof stability was greatly enhanced and pressure was reduced markedly, with no over-burdened supports; the average periodic pressure step and duration were 8.65 m and 2.3 m respectively. The scope and severity of surface cracks were also greatly reduced, and the goal of “bringing roof movement under control and relieving roof pressure step by step” was realized.

Key words: shallowly buried; fully mechanized work face; concentrated coal pillars; underground pressure occurrence; over-burdened roof supports; drilling and blasting

1 前言

神东矿区为我国机械化、高效化生产矿区,煤层埋深浅。受生产条件制约,神东地区矿井初期多采用房柱式开采工艺,采空区残留有大量的小煤柱矿房与集中煤柱,随着煤炭浅部资源的日趋枯竭,矿井陆续向深部延伸开采,下部煤层布置综采工作面回

采期间,受到上覆采空区及集中煤柱双重动载矿压的影响,形成浅埋煤层强矿压的现象。在这种条件下,极易发生工作面压架,顶板大面积冒落、采空区积聚气体大量涌出的现象,给工作面安全回采带来严重威胁。因此,矿压研究学者针对工作面过上覆采空区集中煤柱期间动载矿压的发生机理以及工作面顶板大面积来压的机理做了详细研究,并取得了大量成果,但对于采空区上覆集中煤柱分布失稳范围以及动载规律有待于进一步探索^[1-4]。

31201工作面受上述问题制约,工作面回采期间,在上覆采空区和集中煤柱压力区的影响下,推进困难,支架压死事故频发,根据现场资料显示,31201

[作者简介] 徐宏庆(1972-),男,汉,大专,从事矿山开采等方向研究。

[基金项目] 山西兰花集团莒山煤矿矿压综合治理项目

[引用格式] 徐宏庆,冯芷胥,邓飞.浅埋强矿压下工作面动载矿压显现规律及控制技术[J].中国矿山工程,2021,50(4):41-46.

综采工作面在推进至上覆采空区集中煤柱 12 ~ 16 m 时,发生切顶,工作面近 100 组支架被压死,活柱行程降低至 0.3 m 左右,工作面上隅角、回风巷道氧气浓度分别降至 10% 和 14%,地表塌陷位置滞后工作面近 40 m,裂隙长度约 200 m,最大深度为 80 cm。为杜绝此类事故的再次发生,本文以 31201 工作面为研究对象,通过现场实测及理论分析,对综采工作面上覆采空区集中煤柱期间动载矿压显现规律进行研究,并在此基础上,提出相应的防治对策并进行现场实践,旨在为现场实践提供一定的借鉴指导^[5-6]。

2 工程概况

31201 综采工作面为 3-1#煤层二盘区首采面,工作面走向长度 1 865 m,倾斜长度 311.4 m,埋深 150 m。工作面基本顶为中、细粒砂岩,岩层平均厚度为 10.5 m;直接顶为砂质泥岩,岩层平均厚度为 3.0 m;直接底为粉砂岩,岩层平均厚度为 3.8 m。区域可采煤层厚度为 3.5 m,煤层平均倾角 3°。31201 工作面上覆 2-2#煤层采空区,工作面与采空区层间间距为 30.5 ~ 42 m,平均间距为 40 m,31201 工作面北邻 3-1#煤层主要运输大巷,东、南、西侧均为实体煤,31201 工作面共布置四条巷道,自东向西分别为辅运巷道、主运巷道、1#回风巷道、2#回风巷道,31201 工作面巷道布置示意图如图 1 所示。

3 综采工作面矿压显现特征

3.1 区域划分

31201 综采工作面上覆采空区区域分布范围较为复杂,根据矿压显现特征的差异性,将 31201 综采工作面上覆区域划分为五个区域,各区域自北向南分别为柳根沟上坡段、柳根沟下坡及沟底段、2-2#

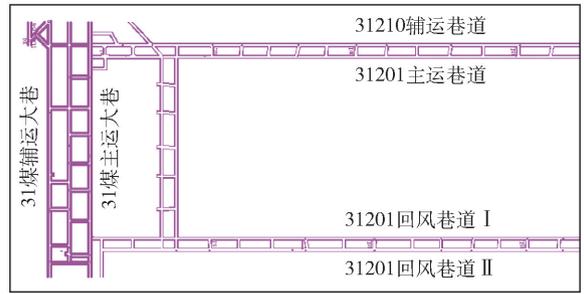


图 1 31201 工作面巷道布置示意图

煤采空区、过集中煤柱后以及过集中煤柱前区域,各区域位置分布示意如图 2 所示。

3.2 工作面矿压显现规律

以 31201 工作面过集中煤柱前矿压显现规律研究为例进行阐释说明,31201 工作面过集中煤柱前的时间周期为 25 d,每间隔 5 个支架记录一次工作面割煤后的阻力值,通过数值软件绘制出的 31201 工作面过集中煤柱前支架循环阻力云图如图 3 所示。

通过记录各监测时段工作面矿压显现实测数据,汇总 31201 工作面过集中煤柱前各阶段矿压显现特征见表 1。

从表 1 可以看出,31201 工作面过集中煤柱前期间,上部、中部、下部平均来压步距分别为 13.53 m、17.35 m 和 14.42 m,平均来压步距为 15.10 m。上部、中部、下部平均来压持续长度分别为 2.53 m、3.35 m 和 4.36 m,平均来压持续长度为 3.41 m,微震事件平均值为 4.79E + 05J,方差为 4.61E + 05J,总体来压强度较小,体现为工作面局部来压,煤壁最大片帮深度为 500 mm。

同理,采用相同的数据统计方式对 31201 综采工作面过集中煤柱后、2-2#煤采空区、柳根沟下坡

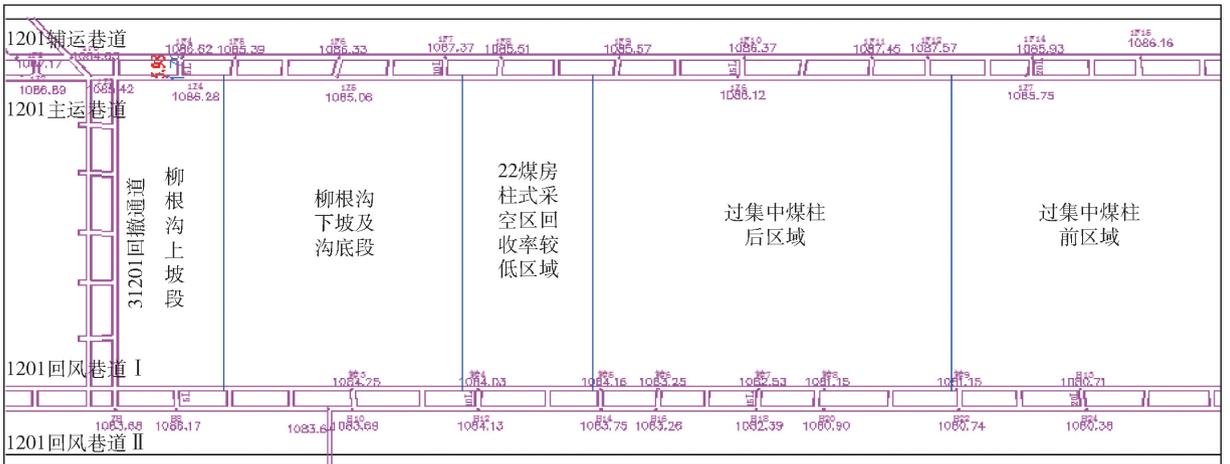


图 2 31201 工作面上覆区域位置分布示意图

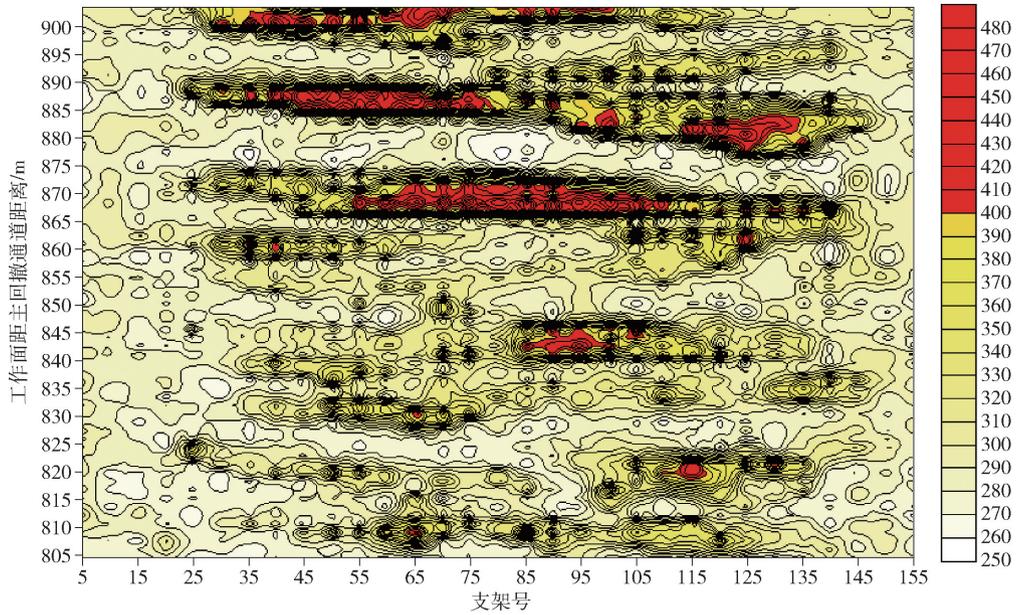


图3 31201工作面过集中煤柱前支架循环阻力云图

表1 31201工作面过集中煤柱前矿压显现特征表

来压范围	据主回撤 通道距离/m	来压 范围/架	来压 步距/m	持续 长度/m	微震 事件/J	微震事件 数量/个	矿压显现
上部	844.25	35~70	12.88	4.02			
中部	843.58	75~115	17.23	3.36	5.43E+05	10	安全阀未开启,支架立柱未出现下沉,工作面
下部	840.26	120~145	10.84	5.37			无片帮,无漏矸现象,顶
上部	829.56	30~55	14.99	6.62			板来压显现较弱
中部	828.09	60~110	18.82	5.89	3.62E+06	51	
下部	825.13	120~145	15.44	5.89			
上部	801.14	55~70	17.11	0.69			
中部	803.21	90~100	18.01	4.81	4.93E+05	20	局部来压,顶板来压强
下部	802.52	110~130	23.10	4.14			度小,工作面出现片帮,
上部	790.71	50~60	10.66	0.67			最大深度为500mm,安
中部	789.05	65~75	17.45	2.02	3.92E+05	8	全阀未开启
下部	792.92	125~140	9.81	1.38			
上部	778.95	50~55	12.01	0.67			
中部	794.11	70~95	13.7	0.84	3.58E+05	14	顶板来压强度小,工作面
下部	780.57	110~130	12.99	5.01			最大片帮深度为300mm

及沟底段以及柳根沟上坡段四个区域时各阶段矿压显现特征情况进行统计,汇总情况见表2。

通过对表2分析可以得出,31201工作面通过各区域期间,矿压显现特征主要表现为:

(1)31201工作面过集中煤柱前阶段,工作面周期来压步距与持续长度较短,平均来压步距、持续长度分别为15.10m、3.41m,周期来压步距整体呈现出上、下部小,中部大的特点。

(2)31201工作面过集中煤柱后阶段,该区域主要受工作面上覆集中煤柱压力的影响^[7],工作面周

期来压步距与持续长度较过集中煤柱前阶段略大,平均来压步距、持续长度分别为16.75m、4.12m,周期来压步距整体呈现出上部大,中、下部大的特点。

(3)31201工作面过2-2#煤采空区阶段,工作面周期来压步距与持续长度较短,平均来压步距、持续长度分别为14.14m、3.75m,该区域上方采空区无明显区域性差异,故工作面上、中、下部来压步距差别较小,周期来压步距整体呈现出上、下部大,中部小的特点。

(4)31201工作面过柳根沟下坡及沟底段阶段,

表2 31201工作面过不同区域时矿压显现特征情况汇总表

区域	集中煤柱前	集中煤柱后	2-2煤采空区	柳根沟下坡及沟底段	过柳根沟上坡段
上部来压步距/m	13.53	18.83	14.20	21.86	20.13
中部来压步距/m	17.35	15.49	12.94	14.95	16.24
下部来压步距/m	14.42	15.93	15.30	20.34	19.44
平均来压步距/m	15.10	16.75	14.14	19.06	18.60
上部来压持续长度/m	2.53	3.98	3.81	2.80	5.02
中部来压持续长度/m	3.35	4.70	3.25	2.49	5.41
下部来压持续长度/m	4.36	3.66	4.18	3.00	2.08
平均来压持续长度/m	3.41	4.12	3.75	2.76	4.17
微震事件平均能量/ 10^5 J	7.79	8.83	10.8	1.70	8.34
微震事件能量均方差/ 10^5 J	4.61	8.59	3.76	0.854	6.02

工作面来压强度较弱,周期来压步距在五个阶段中最长,持续长度较短在五个阶段中最短,其平均来压步距、持续长度分别为19.06 m、2.76 m,周期来压步距整体呈现出上、下部大,中部小的特点。

(5)31201工作面过柳根沟下坡段阶段,工作面来压强度较过柳根沟下坡段显著增加,工作面周期来压步距较长,持续长度较短,其平均来压步距、持续长度分别为18.60 m、4.17 m,周期来压步距整体呈现出上、下部大,中部小的特点。

通过对31201工作面通过各区域期间微震事件平均能量与微震事件能量均方差数据比对可知,31201工作面过集中煤柱前、后阶段,过柳根沟下坡段阶段的微震事件平均能量较大,且三者相差不大,工作面过2-2#煤采空区与过柳根沟下坡及沟底段阶段的微震事件平均能量较小,但过集中煤柱后阶段微震事件能量均方差要远远高于其他两者,这表明31201工作面在过集中煤柱前阶段的矿压波动较为剧烈,工作面推进过程中,存在积聚压力集中释放的现象,极易造成工作面大面积压架事故^[8-9],31201工作面在过集中煤柱后以及过柳根沟下坡段阶段的矿压显现虽然强度较大,但矿压波动不大,在此阶段中不足以发生工作面大面积压架事故,31201工作面在过2-2#煤采空区以及柳根沟下坡及沟底段阶段期间,由于工作面顶板受水平挤压影响,能够形成较为稳定的铰结结构,矿压显现强度相对较弱^[10-11]。

通过对不同区域的矿压显现特征进行分析,能够得出各区域矿压显现强度的关系为:过集中煤柱后阶段来压强度 > 过集中煤柱前阶段来压强度 > 过柳根沟上坡段阶段来压强度 > 过柳根沟下坡及沟底

段阶段来压强度 > 过2-2#煤采空区阶段来压强度。

4 矿压控制技术

4.1 控制技术方案

针对31201工作面在过集中煤柱后阶段矿压显现剧烈,工作面易造成大面积压架事故的问题,现提出四种采空区治理方案,各方案分述如下。

1) 充填治理

根据实测勘查,31201工作面上覆采空区顶板垮落不严重,采用注浆充填治理方案时,需对整个采空区进行充填,采空区整体充填面积约24 891 m²,共需布置680个钻孔,钻孔间距为20 m,钻孔孔深为80 m,累计打设钻孔共54 400 m,采空区总注浆量为25 429 m³。

采用充填工艺治理采空区时,注浆材料选用复合水泥粉煤灰浆液,浆液配比为水:水泥:粉煤灰 = 1:0.3:0.9,为保证浆液胶结后能够形成稳定的结构,需将浆液密度控制在1.1~1.2 g/cm³,根据采空区面积,按照浆液配比比例,共需向注浆钻孔灌注水、水泥、粉煤灰的量分别为17 450 t、5 235 t和17 705 t。

2) 缩短工作面

31201工作面倾向长度为311 m,属超长工作面。通过上述对不同区域的矿压显现特征分析,能够看出工作面矿压显现剧烈程度呈现出中部大,两端小的特点,针对这一特征,考虑将31201工作面以中部区域为界,划分为2个长度在155 m左右的常规工作面,两工作面之间留设15~20 m的煤柱,在执行此方案的基础上,累计损失煤量约7 000 t。

3) 定向钻孔爆破

定向钻孔爆破的主要目的是破坏采空区中集中

煤柱的稳定性,加强上覆采空区顶板的垮落程度,使基本顶尽快垮落,充填采空区,降低工作面动载强度,具体方案:在31201工作面通过集中煤柱区域时,对采空区集中煤柱进行一次爆破,工作面共布置20个钻孔,钻孔为孔深67 m,累计打设钻孔1 340 m,炮孔垂深47 m,孔径为94 mm,各钻孔间距为12 m,炮孔呈“一”字型布置,沿工作面推进方向进行爆破,待工作面推进至距离集中煤柱30 m 时进行钻孔,钻孔角度为36°,钻孔装药长度为26 m,各钻孔总装药量为260 kg。采用定向钻孔爆破治理方案时,爆破共需炸药量为5 200 kg。工作面炮孔布置示意图4所示。

行过试验,收到了较好的效果^[13-14],因此,从技术上来讲,三种方案均可行。

2)经济对比

对上述三种方案进行成本能力核定,计算得出的经济对比情况见表3。

表3 方案经济对比情况表

序号	项目	费用/万元
1	注浆充填	7 914
2	缩短工作面	13 943
4	定向钻孔爆破	123

由表3可以看出,定向钻孔爆破工艺成费用在120万左右,相较于其他两种方案,在经济上具有绝对的优势,考虑到矿井采空区治理成本与经济效益,优选定向钻孔爆破集中煤柱的方法对采空区进行治理。

4.3 定向钻孔爆破治理技术

根据31201工作面上覆采空区集中煤柱压力区的分布情况,确定爆破位置为工作面距集中煤柱40 m处,钻孔角度设计为36°,孔深设计为45 m。为保证爆破孔之间留有共同区域,设计钻孔孔间距为14 m,炸药单耗0.35 kg/m³,最小抵抗线为8 m,本次爆破为松动爆破,主要目的为破坏集中煤柱结构,降低其稳定性,同时利用爆破使采空区基本顶产生裂隙,加速顶板垮落进程^[15]。集中煤柱爆破示意图5所示。

图4 工作面炮孔布置示意图

4.2 方案对比选择

1)技术对比

上述三种方案均能降低31201工作面过上覆集中煤柱区域的矿压显现强度,降低工作面动载强度,起到较好的卸压作用,其中,将超长距离工作面划分为两个短距离工作面,能够有效降低采空区顶板顶板垮落造成的冲击动压的强度^[12],而对采空区进行注浆充填与定向钻孔爆破施工工艺均在神东煤矿进

5 爆破治理控制效果评价

5.1 矿压显现特征

根据矿压监测数据显示,采用定向钻孔爆破工艺集中煤柱进行爆破后,31201工作面在过集中煤柱区域期间,共发生一次较大顶板来压事件,来压形

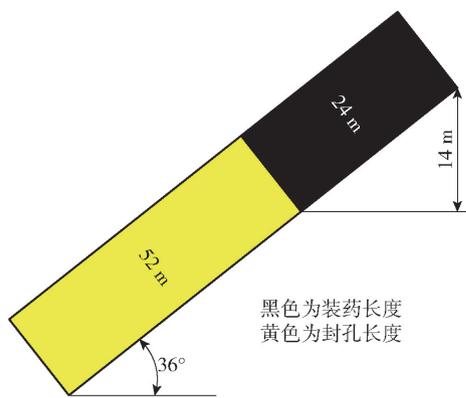
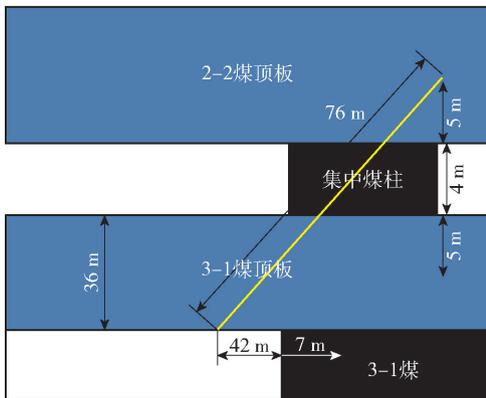
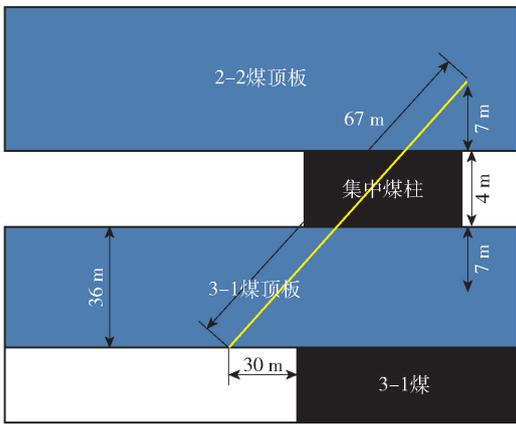


图5 集中煤柱爆破示意图

式为工作面整体来压,平均来压步距为 8.65 m,来压持续长度约 2.3 m,来压期间微震事件平均能量为 $1.23E+05J$,数量为 5 个,远小于未采取措施时的数量,31201 工作面在通过上覆采空区集中煤柱期间,未出现压架事件,工作面顶板稳定性大大提高,矿压显现强度明显降低,工作面的安全性得到了有效保障。

5.2 地表塌陷情况

31201 上覆采空区集中煤柱爆破前期,地表并未及时出现超前垮塌,间隔一周左右,31201 工作面上部地表出现小范围塌陷与新增裂隙。裂隙最远区域为超前工作面 45 m,裂隙宽度 0.8 ~ 15 cm,地表裂隙沿着工作面推进方向持续向前移动,在工作面通过集中煤柱 30 m 后停止延伸,较之于未采取措施时工作面过集中煤柱压力区的地表塌陷情况,在范围、强度上大大降低,爆破治理效果显著,实现了较好的动载矿压卸载目标。

6 结论

(1)综合对 31201 工作面上覆采空区不同区域的来压步距、来压持续长度以及来压期间释放的能量等参数进行分析,得出各区域矿压显现强度的关系为:过集中煤柱后阶段来压强度 > 过集中煤柱前阶段来压强度 > 过柳根沟上坡段阶段来压强度 > 过柳根沟下坡及沟底段阶段来压强度 > 过 2-2#煤采空区阶段来压强度。

(2)对采空区治理方案进行优选分析,结合经济成本,最终将定向钻孔爆破集中煤柱作为治理方案在 31201 工作面实施,通过对矿压显现规律、地表塌陷情况进行分析,实践表明,该方案治理效果显著,消除了工作面大面积压架现象,同时,大大降低了工作面矿压显现强度,实现了动载矿压防治的要求,提高了工作面回采安全性。

[参考文献]

[1] 田臣,刘英杰,周海丰.综采工作面回采过上覆集中煤

柱及采空区技术[J].煤炭科学技术,2014,42(8):125-128,124.

- [2] 秦凯,王健达,李宏艳,等.集中煤柱诱发下伏近距离煤层异常矿压及机理研究[J].煤炭科学技术,2019,47(8):102-107.
- [3] 迟国铭,祁昊.补连塔煤矿 7 m 大采高综采工作面过上覆集中煤柱动载矿压控制技术[J].煤矿安全,2017,48(S1):20-23,31.
- [4] 杨永杰,张玄磊.综采面过上覆集中煤柱与沟谷区域矿压规律探究[J].神华科技,2019,17(6):27-30.
- [5] 黄庆享,贺雁鹏,周海丰.榆家梁煤矿多煤层开采矿压显现规律研究[J].西安科技大学学报,2017,37(1):21-25.
- [6] 王秀元.关于房柱式采空区集中煤柱下动载矿压灾害的防治[J].科学技术创新,2019(21):143-144.
- [7] 李瑞山.综采工作面回采过上覆集中煤柱及采空区技术[J].内蒙古煤炭经济,2020(8):55,57.
- [8] 袁小春,邵小平.综采工作面过上覆集中煤柱时压架事故分析与预防[J].陕西煤炭,2017,36(4):58-60,71.
- [9] 杨俊哲,郑凯歌,赵继展,等.浅埋近距离上覆遗留煤柱应力集中灾害压裂治理技术研究[J].矿业安全与环保,2020,47(4):82-87.
- [10] 毕博韬.工作面过集中煤柱压架机理及防治技术[J].煤,2019,28(11):14-16.
- [11] 陈苏社.综采工作面过上层煤集中煤柱动载矿压控制技术[J].煤炭科学技术,2014,42(6):140-143.
- [12] 秦会锦.集中煤柱下工作面动载矿压防治技术研究[J].煤,2020,29(12):7-9,22.
- [13] 王成帅,段晓博.综采工作面过集中煤柱矿压显现特征研究[J].煤,2020,29(11):11-12,24.
- [14] 李浩荡,杨汉宏,张斌,等.浅埋房式采空区集中煤柱下综采动载控制研究[J].煤炭学报,2015,40(S1):6-11.
- [15] 荆志星.薄煤层综采工作面回采巷道矿压显现规律及支护技术研究[J].中国矿山工程,2020,49(4):36-38,41.