



移动扫码阅读

刘金海,黄 涛,王悦平,等.孤岛工作面防冲安全开采论证方法研究与应用[J].煤炭科学技术,2021,49(6):88-93.doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.06.010  
 LIU Jinhai, HUANG Tao, WANG Yueping, et al. Study and application of demonstration method for safe mining of island coal panel based on prevention of rock burst [J]. Coal Science and Technology, 2021, 49 (6): 88-93. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2021.06.010

# 孤岛工作面防冲安全开采论证方法研究与应用

刘金海<sup>1</sup>,黄 涛<sup>1</sup>,王悦平<sup>1</sup>,朱斯陶<sup>2</sup>,李乃禄<sup>3</sup>,刘 虎<sup>4</sup>,董续凯<sup>2</sup>

(1.华北科技学院 应急技术与管理学院,北京 101601;2.北京科技大学 土木与环境工程学院,北京 100083;  
 3.彬县水帘洞煤炭有限责任公司,陕西 咸阳 274900;4.山东能源集团有限公司,山东 济南 250000)

**摘要:**为便于执行《煤矿安全规程》和《防治煤矿冲击地压细则》中关于开采冲击地压煤层孤岛煤柱应进行防冲安全论证的规定,提出一种孤岛工作面防冲安全开采论证方法,并进行工程应用。结果表明:孤岛工作面防冲安全开采论证包括冲击地压矿井属性论证,孤岛工作面冲击类型论证,孤岛工作面冲击危险等级评价,矿井防冲能力论证;依据煤层冲击倾向性鉴定结果和煤层冲击危险性评价结果论证煤层冲击地压属性,进而得到冲击地压矿井属性;对于冲击地压矿井,根据孤岛工作面支承压力分布论证冲击地压类型;在开展冲击危险因素排查和冲击危险性评价的基础上,计算防冲工程量;依据矿井防冲机构与人员配备情况、监测系统覆盖能力、卸压机具配备情况,论证矿井防冲能力;最后,综合冲击地压类型、冲击危险等级及防冲能力与防冲工程量之间的关系,得到能否保障安全开采的结论。

**关键词:**冲击地压;孤岛工作面;冲击类型;防冲能力;防冲工程量

中图分类号:TD323;TD324 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2021)06-0088-06

## Study and application of demonstration method for safe mining of island coal panel based on prevention of rock burst

LIU Jinhai<sup>1</sup>, HUANG Tao<sup>1</sup>, WANG Yueping<sup>1</sup>, ZHU Sitao<sup>2</sup>, LI Nailu<sup>3</sup>, LIU Hu<sup>4</sup>, DONG Xukai<sup>2</sup>

(1. School of Emergency Technology and Management, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China;

2. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

3. Bin County Shuiliandong Coal Co., Ltd., Xianyang 713500, China; 4. Shandong Energy Group Co., Ltd., Jinan 250000, China)

**Abstract:** In order to implement the regulations of *Coal Mine Safety Regulations* and *Detailed Rules for Prevention and Control of Coal Mine Rock Burst* on the safety demonstration of island coal panel mining in coal seam with rock burst, a demonstration method of island coal panel mining safety is proposed and applied in engineering. The results show that: the demonstration of safety mining for prevent rock burst of island coal panel includes the demonstration of the attribute of rock burst mine, the demonstration of rock burst type of island coal panel, the evaluation of rock burst risk level of island coal panel and the demonstration of ability to prevent rock burst of mine. According to the identification results of coal seam rock burst tendency and the evaluation results of coal seam rock burst risk, the rock burst attribute of coal seam is demonstrated, and then the rock burst attribute of mine is obtained. The types of rock burst are demonstrated according to the abutment pressure distribution of island coal panel. The engineering quantity of preventing rock burst is calculated based on the investigation of rock burst risk factors and evaluation of rock burst risk. The ability to prevent rock burst is demonstrated according to the allocation of institutions and personnel for rock burst prevention, the coverage capacity of monitoring system and the allocation of pressure relief equipment. Finally, the conclusion of whether the safe mining can be ensured is obtained according to the types of rock burst, rock burst risk level and the relationship between the ability to prevent rock burst and the engineering quantity of preventing rock burst.

**Key words:** rock burst; island coal panel; rock burst type; ability to prevent rock burst; engineering quantity of preventing rock burst

收稿日期:2021-02-28;责任编辑:朱恩光

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51874133,51904017)

作者简介:刘金海(1982—),男,河南扶沟人,教授,博士。E-mail:jh\_liu1982@163.com

通讯作者:王悦平(1987—),男,内蒙古包头人,讲师,硕士。E-mail:wyp\_wu@qq.com

## 0 引言

为规范煤矿冲击地压防治,原国家安全生产监督管理总局组织专家对2004年11月3日公布的《煤矿安全规程》进行了修订,于2016年发布了修订后的《煤矿安全规程》(以下简称《规程》)<sup>[1]</sup>,在其中增加了“冲击地压防治”专篇;原国家煤矿安全监察局组织专家制定了《防治煤矿冲击地压细则》(以下简称《细则》)<sup>[2]</sup>,于2018年8月1日施行。《规程》和《细则》对冲击地压矿井开采孤岛煤柱进行了明确规定,如《规程》第二百三十一条规定“开采孤岛煤柱的,应当进行防冲安全开采论证;严重冲击地压矿井不得开采孤岛煤柱”,《细则》第三十二条规定“冲击地压煤层开采孤岛煤柱前,煤矿企业应当组织专家进行防冲安全开采论证,论证结果为不能保障安全开采的,不得进行采掘作业;严重冲击地压矿井不得开采孤岛煤柱”。

部分矿井在《规程》和《细则》施行之前,由于防治冲击地压意识不强,为快速完成采掘接续,留下条带煤柱;衰老矿井剩余资源多为孤岛煤柱。因此,我国有很多矿井现在或今后需要开采孤岛煤柱。与非沿空工作面和一侧沿空工作面相比,孤岛工作面应力集中程度高,冲击危险性大<sup>[3-7]</sup>,2015年有2个煤矿在开采孤岛工作面时发生冲击地压事故<sup>[8-9]</sup>,导致工作面封闭。开展孤岛工作面防冲安全开采论证有助于矿井提前决策,如论证结果为“不能保障安全开采”,矿井就可以不规划和不准备该工作面,从而避免因准备该工作面造成的经济损失。

尽管《规程》和《细则》都要求“开采孤岛煤柱的,应当进行防冲安全开采论证”,但缺少“孤岛煤柱防冲安全开采论证方法”的研究,造成“孤岛工作面防冲安全开采论证报告”被写成了“冲击危险性评价报告”,失去针对性,论证结果也缺乏可靠的依据,无法切实指导矿井决策。为此,笔者结合近10年来从事现场冲击地压防治的经验,系统研究孤岛工作面防冲安全开采论证方法,并期望通过与业内同行交流,进一步完善孤岛工作面防冲安全开采论证方法,从而更便于《规程》和《细则》施行。

## 1 孤岛工作面防冲安全开采论证方法

依据《规程》和《细则》相关规定,有2种情况不得开采孤岛煤柱或孤岛工作面:①严重冲击地压矿井,②防冲安全开采论证结果为“不能保障安全开采”。另外,根据近几年从事现场冲击地压防治的经验,整体冲击型孤岛工作面发生冲击地压的风险

大<sup>[10]</sup>,冲击地压防治难度大,如赵楼煤矿“2015.7.29”冲击地压事故工作面、朝阳煤矿“2015.6.19”冲击地压事故工作面均为整体冲击型孤岛工作面,都在工作面煤壁和回采巷道发生冲击地压。因此,对于孤岛工作面冲击类型为整体冲击型的,需要进一步论证其冲击危险等级。采用综合指数法和基于应力比的冲击危险程度划分方法确定整体冲击型孤岛工作面的冲击危险等级,若具有强冲击危险,建议不开采。孤岛工作面防冲安全开采论证共分为4个步骤:

1)论证孤岛工作面所属矿井的冲击地压矿井属性。冲击地压矿井属性分为非冲击地压矿井、冲击地压矿井、严重冲击地压矿井3种。冲击地压矿井属性依据冲击地压煤层属性进行判定。根据《细则》第九条规定,在矿井井田范围内发生过冲击地压现象的煤层,或者经鉴定煤层(或者其顶底板岩层)具有冲击倾向性且评价具有冲击危险性的为冲击地压煤层;有冲击地压煤层的矿井为冲击地压矿井。根据《细则》第十五条规定,煤层(或者其顶底板岩层)具有强冲击倾向性且评价具有强冲击危险的,为严重冲击地压煤层;开采严重冲击地压煤层的矿井为严重冲击地压矿井。依照上述关于冲击地压矿井和严重冲击地压矿井的定义,煤层(及其顶底板岩层)不具有冲击倾向性,或者煤层(或者其顶底板岩层)具有冲击倾向性但评价不具有冲击地压危险的,为非冲击地压矿井。可见,孤岛工作面所属矿井的冲击地压矿井属性论证的关键是论证冲击地压煤层属性。

2)论证“防冲安全开采论证”必要性。依据孤岛工作面所属矿井的冲击地压矿井属性论证结果,确定“防冲安全开采论证”必要性。若孤岛工作面所属矿井的冲击地压矿井属性论证结果为非冲击地压矿井,不需开展孤岛工作面防冲安全开采论证,直接判定该孤岛工作面“可回采”;若孤岛工作面所属矿井的冲击地压矿井属性论证结果为严重冲击地压矿井,直接判定该孤岛工作面“严禁回采”;若孤岛工作面所属矿井的冲击地压矿井属性论证结果为冲击地压矿井,判定该孤岛工作面须进行“防冲安全开采论证”。

3)论证“孤岛工作面冲击类型”。“防冲安全开采论证”需要开展3方面的工作:①论证“孤岛工作面冲击类型”,②在开展危险因素排查和冲击危险评价的基础上计算孤岛工作面防冲工程量,③根据矿井人员与机构设置、监测系统覆盖能力和卸压机具配备情况评估矿井防冲能力。首先是论证“孤

岛工作面冲击类型”,若孤岛工作面冲击类型为局部冲击L,应再论证矿井防冲能力A与孤岛工作面防冲工程量Q之间的关系;若孤岛工作面冲击类型为整体冲击G,需要进一步论证冲击危险等级,若具有强冲击危险等级G2,判定为“严禁回采”,若具有“非强冲击”(包括弱、中等冲击)危险等级G1,需要再论证矿井防冲能力与孤岛工作面防冲工程量之间的关系。

4)论证“矿井防冲能力与孤岛工作面防冲工程量之间的关系”。情况C1:孤岛工作面防冲工程量Q大于矿井防冲能力A,判定该孤岛工作面“严禁回采”。情况C2:孤岛工作面防冲工程量Q小于矿井防冲能力A,判定该孤岛工作面“可回采”。

据此,提出孤岛工作面防冲安全开采论证流程,如图1所示。

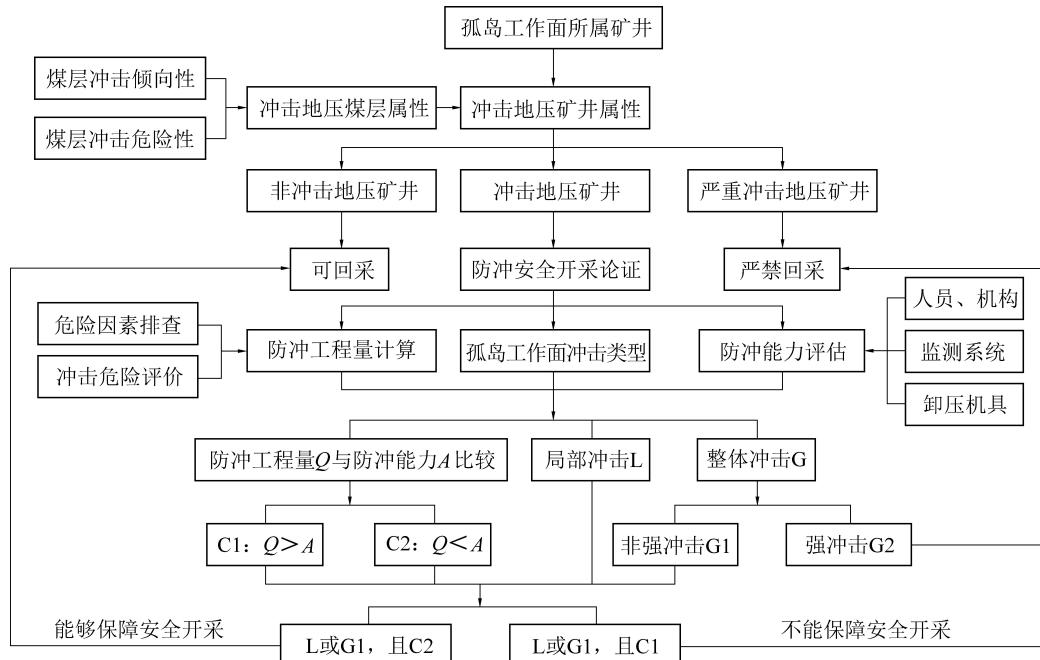


图1 孤岛工作面防冲安全开采论证流程

Fig.1 Flow chart of safety mining demonstration for island coal panel

## 2 孤岛工作面冲击类型判定

基于孤岛工作面发生冲击地压的部位,将其冲击类型分为整体冲击和局部冲击。整体冲击是指工作面煤壁和两侧回采巷道同时发生冲击地压,主要原因是两侧采空区侧向支承压力在工作面煤体上产生应力叠加和集中,垂直应力曲线呈钟形,如图2所示。局部冲击是指工作面两侧回采巷道发生冲击地压,而工作面煤壁不发生冲击地压,主要原因是两侧

采空区侧向支承压力只影响到邻近采空区一侧部分煤体,未在工作面煤体上产生应力叠加,垂直应力曲线呈马鞍形,如图3所示。因此,可依据工作面煤体沿倾斜方向的垂直应力分布曲线形态判定孤岛工作面冲击类型。

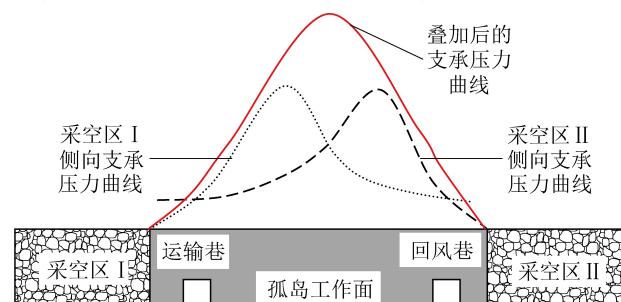


图2 整体冲击型孤岛工作面垂直应力曲线形态

Fig.2 Vertical stress curve shape of island coal panel with whole rock burst type

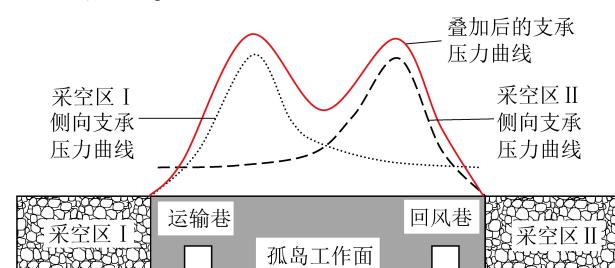


图3 局部冲击型孤岛工作面垂直应力曲线形态

Fig.3 Vertical stress curves shape of island coal panel with local rock burst type

## 3 应用示例

### 3.1 工程概况

陕西某矿3808工作面位于+770 m水平三采区,西侧与3807、3805、3803工作面终采线之间留设

宽度为6 m的煤柱,东侧与2802、2803、2801工作面采空区之间留设宽度为6 m的煤柱;北侧为矿井边界保护煤柱,南侧为矿井进风大巷保护煤柱,属于典型的两侧沿空孤岛工作面,如图4所示。3808工作面走向长度为413 m,倾斜长度为160 m,回采煤层为4煤,厚度为11.5 m,倾角3°~10°,平均埋深317.6 m,采用综合机械化放顶煤开采工艺,采煤机割煤高度3.5 m,放煤高度平均8 m。

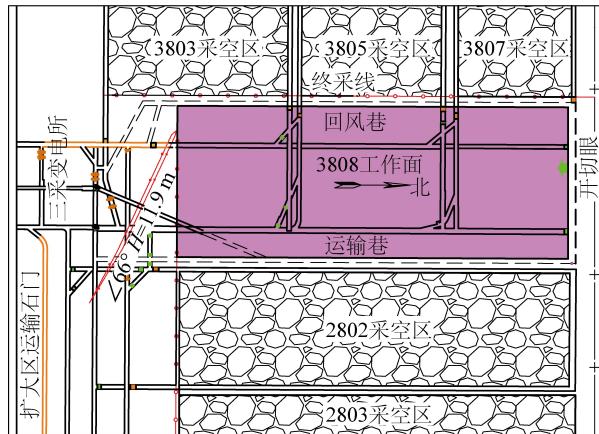


图4 3808工作面布置

Fig.4 Layout of No.3808 working face

### 3.2 防冲安全开采论证必要性

1)4煤层冲击地压属性论证。经鉴定,4煤及其顶板具有弱冲击倾向性,4煤底板无冲击倾向性。经评价,4煤冲击地压危险状态等级评定为中等冲击危险性。因此,4煤属于冲击地压煤层,但不属于严重冲击地压煤层。

2)冲击地压矿井属性论证。该矿井只回采4煤,而4煤属于冲击地压煤层,即该矿井属于冲击地压矿井,但不属于严重冲击地压矿井。因此,3808工作面具有防冲安全开采论证必要性。

### 3.3 孤岛工作面冲击类型判定

3808工作面西侧3807、3805、3803工作面开采后形成的采空区长度为1 600 m,东侧2802、2803、2801工作面开采后形成的采空区宽度为360 m,两侧都达到充分采动状态。取岩层断裂角80°,覆岩裂隙带高度取5倍的煤层厚度,密度为2.5 t/m<sup>3</sup>,采用刘金海等<sup>[11]</sup>建立的模型,计算得到3808工作面一侧采空区的侧向支承压力分布如图5所示。

图6为3808工作面两侧采空区支承压力分布。由图6可知,两侧采空区侧向支承压力峰值未发生叠加,垂直应力曲线呈马鞍形。因此,3808工作面冲击类型为局部冲击。

### 3.4 防冲工程量计算

1)3808工作面冲击危险性评价。经分析,3808

工作面冲击地压影响因素主要有煤岩冲击倾向性、煤层厚度变化、顶板厚硬岩层、顶板岩层结构特征、断层、巷道群、巷道底煤、采空区、覆岩空间结构运动。采用综合指数法评价得到,3808工作面冲击地压危险等级为“中等冲击地压危险”。

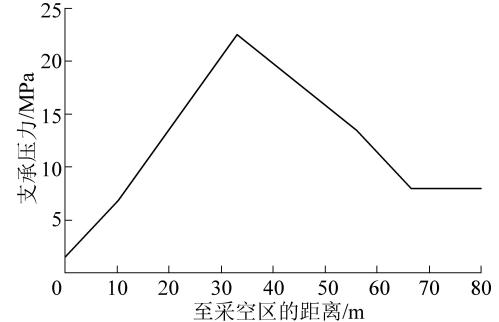


图5 3808工作面一侧采空区的侧向支承压力分布

Fig.5 Lateral abutment pressure distribution of goaf on one side of No.3808 working face

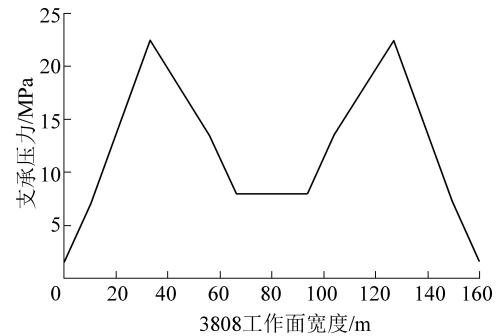


图6 3808工作面两侧采空区的侧向支承压力分布

Fig.6 Lateral abutment pressure distribution of goafs on both sides of No.3808 working face

2)3808工作面冲击危险区划分。采用多因素耦合法划分3808工作面掘进期间和回采期间冲击危险区,如图7、图8所示。

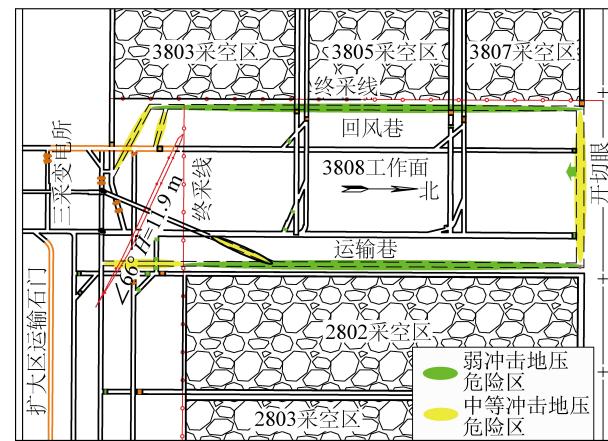


图7 3808工作面掘进期间冲击危险区分布

Fig.7 Distribution of rock burst danger area in No.3808 working face during driving

经计算,掘进期间中等冲击危险区内巷道长度

为441 m,弱冲击危险区内巷道长度为862 m;回采期间中等冲击危险区内巷道长度为765 m,弱冲击危险区内巷道长度为400 m。

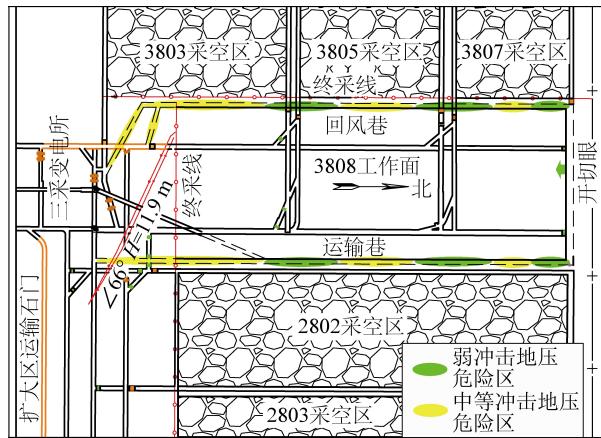


图8 3808工作面回采期间冲击危险区分布

Fig.8 Distribution of rock burst danger area in No.3808 working face during mining

3)防冲工程量计算。掘进期间,弱、中等冲击危险区巷帮卸压孔间距分别为3、2 m,钻孔深度为25 m,需累计施工巷帮部卸压钻孔587个,工程量为14 675 m;巷道底板卸压钻孔布置方式为1排2孔,排距为2 m,孔深为2 m,工程量为2 330 m。因此,3808工作面掘进期间卸压钻孔工程量为17 005 m。

回采期间只对冲击地压危险区危险程度升高的区域加密卸压钻孔,如掘进期间的弱冲击地压危险区在回采期间变为中等冲击地压危险区,需在原卸压钻孔之间增加1个卸压钻孔,如掘进期间的弱冲击地压危险区在回采期间变为强冲击地压危险区,需在原卸压钻孔之间增加2个卸压钻孔,如掘进期间的中等冲击地压危险区在回采期间变为强冲击地压危险区,需在原卸压钻孔之间增加1个卸压钻孔。

对照图7与图8可知,冲击地压危险区危险程度增高的区域有初次来压、见方、二次见方影响区及回风巷侧终采线外侧煤柱区,即由掘进期间的弱冲击地压危险增加到回采期间的中等冲击地压危险,巷道长度为450 m,回采期间需施工巷帮卸压钻孔150个,工程量为3 750 m。

3808工作面掘进与回采期间巷帮卸压钻孔数量为737个,工程量为18 425 m,底板卸压钻孔数量为1 165个,工程量为2 330 m,累计工程量为20 755 m。

### 3.5 矿井防冲能力评估

1)防冲机构与人员。矿井成立了冲击地压防治领导小组,设置了防冲副总工程师,设立了冲击地压防治办公室,配备专职人员8人,其中工程技术人员超过4人,组建了30人的防冲队。因此,矿井防

冲机构和人员符合《细则》要求,能够满足当前矿井防冲工作的需要。

2)冲击地压监测能力。矿井装备了微震监测系统,可满足区域监测要求;采煤工作面安装了应力在线监测系统,采煤工作面液压支架安装了支架载荷监测系统,同时采用钻屑法作为辅助监测和卸压效果检验手段,满足采煤工作面局部监测要求。

掘进工作面安装了应力在线监测系统和地音监测系统、锚杆(索)受力监测系统,同时采用钻屑法作为辅助监测和卸压效果检验手段,满足掘进巷道“震动-应力”监测要求。

因此,矿井采用的监测方法符合《细则》要求,能够满足当前矿井冲击地压监测需要。

3)卸压施工能力。矿井配备卸压钻机9台,气动手持式钻机10台。2020年度计划施工卸压钻孔55 750 m。按照每班1台卸压钻机施工2个深度为25 m的卸压钻孔,6台在用、3台备用情况下,1年(取300 d)可施工深度为25 m的卸压钻孔10 800个,工程量为270 000 m。因此,卸压钻孔施工能力远大于卸压钻孔工程量。

根据3808工作面掘进计划,平均掘进速度为8.2 m/d。若在中等冲击危险区施工,卸压钻孔间距为2 m,则每天需施工4个卸压钻孔,配备1台卸压钻机即可满足。底板卸压钻孔工程量为2 330 m,折算为帮部卸压钻孔,则为94个,再加上设计帮部卸压钻孔587个,等于681个。按照巷道内布置1台卸压钻机,卸压钻孔施工周期为114 d,小于巷道掘进工期181 d。

根据3808工作面回采计划,2020年计划回采时间为12月1日至12月31日,按日进尺为3.2 m计算,则累计推进距离为96 m。卸压钻孔需超前150 m完成,则卸压钻孔施工范围246 m。若在中等冲击地压危险区施工,原卸压钻孔之间加密1个,即卸压钻孔间距为3 m,则工作面一侧巷道需施工82个。按照巷道内布置1台卸压钻机,卸压钻孔施工周期为14 d,远小于工作面回采时间30 d。

可见,无论从卸压钻机施工能力还是施工周期来看,矿井具备完成3808工作面卸压钻孔施工的能力。通过对比可知,矿井防冲能力大于防冲工程量,判定该孤岛工作面“可回采”。

## 4 结 论

1)孤岛工作面防冲安全性论证步骤为:论证孤岛工作面所属矿井的冲击地压矿井属性→论证“防冲安全开采论证”必要性→论证“孤岛工作面冲击

类型”→论证“矿井防冲能力与孤岛工作面防冲工程量之间的关系”。

2)孤岛工作面冲击类型判定的依据是工作面煤体倾向垂直应力曲线形态,其中钟形垂直应力曲线代表孤岛工作面冲击类型为整体冲击,马鞍形垂直应力曲线代表孤岛工作面冲击类型为局部冲击。

3)严重冲击地压矿井的孤岛工作面、具有强冲击危险等级的孤岛工作面、防冲工程量大于防冲能力的孤岛工作面(简称“三类孤岛工作面”)不建议开采。

#### 参考文献(References):

- [1] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京:煤炭工业出版社,2016:139-140.
- [2] 国家煤矿安全监察局. 防治煤矿冲击地压细则[M]. 北京:煤炭工业出版社,2018:20-21.
- [3] 姜福兴,陈洋,李东,等. 孤岛充填工作面初采致冲力学机理探讨[J]. 煤炭学报,2019,44(1):151-159.  
JIANG Fuxing, CHEN Yang, LI Dong, et al. Study on mechanical mechanism of rock burst at isolated backfilling working face during primary mining[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44 (1): 151-159.
- [4] 冯宇,姜福兴,李京达. 孤岛工作面围岩整体失稳冲击危险性评估方法[J]. 煤炭学报,2015,40(5):1001-1007.  
FENG Yu, JIANG Fuxing, LI Jingda. Evaluation method of rock burst hazard induced by overall instability of island coal face[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40 (5): 1001-1007.
- [5] 张俊飞,姜福兴,杨建博,等. 冲击煤层孤岛煤柱可开采性研究[J]. 采矿与安全工程学报,2016,33(5):867-872.  
ZHANG Junfei, JIANG Fuxing, YANG Jianbo, et al. Recoverability

of isolated coal pillars in rockburst coal seam [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2015, 40 (5): 1001-1007.

- [6] 赵善坤. 强冲击危险厚煤层孤岛工作面切眼贯通防冲动态调控[J]. 采矿与安全工程学报,2017,34(1):67-73.  
ZHAO Shankun. Dynamical control of scour prevention in the isolated thick-seam working face with high outburst risk during its cut transfixion[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2017, 34 (1): 67-73.
- [7] 朱广安,窦林名,王红胜,等. 临断层孤岛面冲击危险与断层滑移数值反演:以朝阳煤矿3108工作面为例[J]. 煤炭学报,2020,45(2):533-541.
- [8] 朱斯陶. 特厚煤层开采冲击地压机理与防治研究[D]. 北京:北京科技大学,2017:34-48.  
ZHU Sitao. Mechanism and prevention of rockburst in extra-thick coal seams mining[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2017: 34-48.
- [9] 朱广安. 深地超应力作用效应及孤岛工作面整体冲击失稳机理研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2017:106-119.
- [10] 朱斯陶,姜福兴,刘金海,等. 我国煤矿整体失稳型冲击地压类型、发生机理及防治[J]. 煤炭学报,2020,45(11):3667-3677.  
ZHU Sito, JIANG Fuxing, LIU Jinhai, et al. Types, occurrence mechanism and prevention of overall instability induced rockbursts in China coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45 (11): 3667-3677.
- [11] 刘金海,姜福兴,朱斯陶. 长壁采场动、静支承压力演化规律及应用研究[J]. 岩石力学与工程学报,2015,34(9):1815-1827.  
LIU Jinhai, JIANG Fuxing, ZHU Sitao. Study of dynamic and static abutment pressure around longwall face and its application [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34 (9): 1815-1827.