

# 22116 综采工作面基本顶来压步距规律

张志强<sup>1</sup>, 彭跃金<sup>2</sup>, 李青锋<sup>2,3\*</sup>

(1. 潞宁煤业有限责任公司, 山西 忻州 036700; 2. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;  
3. 湖南科技大学 矿业工程研究院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:**以山西潞安集团潞宁煤业 22116 综采工作面为研究背景, 采用理论分析、现场实测、数值模拟等方法对工作面来压步距规律进行研究。现场实测数据显示, 周期来压步距范围为 18~24 m; 数值计算显示, 工作面顶板初次来压步距范围为 40~50 m, 周期来压步距范围为 20~30 m; 理论计算显示, 初次破断距为 47 m, 周期破断距为 23 m。实测数据及模拟研究与理论计算结果较吻合, 可以为工作面来压预报提供依据。

**关键词:**综采工作面; 基本顶; 来压步距; 现场监测; 数值模拟

**中图分类号:**TD323      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-9102(2019)03-0007-07

## On the Basic Top Pressure Step of 22116 Fully Mechanized Mining Face

Zhang Zhiqiang<sup>1</sup>, Peng Yuejin<sup>2</sup>, Li Qingfeng<sup>2,3</sup>

(1. Luning Coal Industry Co., Ltd., Xinzhou 036700, China;

2. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. Institute of Mineral Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** Taking the 22116 fully-mechanized coal face of Luning Coal Industry of Shanxi Lu'an Group as the study background, it studies the law of pressure step distance of the working face by theoretical analysis, field measurement, numerical simulation, etc. Field measured data show that the range of pressure steps in the cycle is 18~24 m; In addition, the field test data show that the range of initial pressure step of roof is 40~50 m, the range of periodic pressure step is between 20 m and 30 m. The theoretical calculation shows that the primary rupture interval is 47 m, and the periodic rupture interval is 23 m. The measured data and simulation results are in good agreement with the theoretical calculation results, which can provide a basis for the prediction of working face pressure.

**Keywords:** fully-mechanized face; basic roof; pressure step; field monitoring; numerical simulation

在地下煤矿生产过程中, 顶板下沉、工作面冒顶等事故可能会随着工作面推进、采空区暴露面积增加而产生, 而顶板破断所造成的工作面来压则是该事故发生的重要影响因素<sup>[1]</sup>, 因此, 工作面来压步距规律研究对安全生产具有重要意义。钱鸣高等<sup>[2,3]</sup>研究了基本顶在不同支撑条件下的破坏形式, 并对采场上覆岩层结构形态进行了更深层次的分析; 鞠金峰、许家林等<sup>[4]</sup>以前人研究成果为基础, 综合运用现场实测、模拟实验与理论分析, 提出特大采高工作面基本顶“悬臂梁”结构模型, 并指出一定条件下, 亚关键层 1 提前破断是由亚关键层 2 破断引起, 并且会导致工作面来压步距、来压强度呈现一定周期变化; 黄庆享、周金龙等<sup>[5,6]</sup>基于对矿区现场实测, 揭示了大采高工作面来压机理; 弓培林、靳钟铭等<sup>[7]</sup>运用关键层理论得出

收稿日期: 2019-04-24

基金项目: 湖南省自然科学基金面上资助项目(2018JJ2130)

\*通信作者, E-mail: liqingfeng0712@163.com

下位顶板及时垮落、矸石垫层加厚会导致来压减弱;题正义、秦洪岩等<sup>[8]</sup>在现场试验、理论分析及数学推导基础上进一步研究煤层倾角对工作面来压特征的影响;王晓振等<sup>[9]</sup>结合理论分析与现场实测就综采面高速推进对周期来压规律进行了探究;张通、赵毅鑫等<sup>[10]</sup>通过工程实践及理论分析对覆岩类别不同时,覆岩硬度系数与周期来压步距之间的关系进行了探讨.相关学者<sup>[11-16]</sup>也做了大量的研究.本文在已有研究成果基础上,以山西潞安集团潞宁煤业 22116 综采工作面为研究对象,采用理论分析、现场实测与数值模拟等方法,对综采工作面来压步距规律进行研究,研究成果对该矿安全开采具有实际指导意义,更为类似矿山安全生产提供了参考意见.

## 1 22116 工作面概况

由矿山资料可知,22116 工作面位于侏罗系大同组上部的 2<sup>#</sup>煤,工作面区域地层整体为一南东向倾斜的单斜构造,煤层走向 N48°W,倾向 S138°E.工作面区域内煤层结构简单,中部夹不连续的薄层炭质泥岩夹矸,煤层厚度从 1.0 ~ 5.0 m,平均厚度 3.5 m,工作面平均倾角 5°.煤层直接顶由下往上依次主要为 2.6 m 细粒砂岩(以长石为主)、3.0 m 砂质泥岩、5 m 粉砂岩,总厚 16 m;基本顶由下往上依次主要为 2.6 m 中粒砂岩、23.0 m 细粒砂岩(以石英为主),总厚 26 m.22116 工作面地面标高 1 466~1 610 m,煤层标高 1 037~1 057 m,由此可判断,22116 工作面上覆天池河组岩层上段受构造剥蚀,完整性差.相对于大同组 23.0 m 细粒砂岩(以石英为主),天池河组中段、天池河组下段、云岗组下段的岩层厚度薄、强度弱,而云岗组上段的底部为灰色中粒长石石英砂岩,为巨厚层状,与大同组 23.0 m 细粒砂岩(以石英为主)强度相近,根据关键层理论,云岗组上段底部的灰色中粒长石石英砂岩为主关键层,控制其上覆所有岩层的运动;大同组 23.0 m 细粒砂岩为亚关键层,其所控制的上覆岩层平均厚度 70 m.22116 煤岩层综合柱状图如图 1 所示.

岩石名称	柱状	厚度/m	岩性描述
粒中粒砂岩、细砂岩		26	灰色,厚层状,水平层理发育,较坚硬,结构从上到下中粗粒、细粒砂.局部顶部夹灰黑色砂质泥岩薄层,中部夹灰白色粉砂岩薄层
细粒砂岩、泥岩、粉砂岩		16	灰白色,水平层理发育,易破碎
煤		1~5 3.5	侏 2 <sup>#</sup> 煤层,黑色,金属光泽,内生裂隙发育,煤层结构简单,局部含有不连续薄层炭质泥岩夹矸,全区稳定可采
泥岩		14	深灰色,中厚层状构造,参差状断口,见植物根茎化石
细砂岩		7	灰白色,厚层状,成份以石英为主,长石次之,含暗矿物,次圆状,分选中等,钙质胶结,较坚硬

图 1 22116 煤岩层综合柱状图

## 2 顶板破断距分析及处理

### 2.1 顶板破断距理论计算

由《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》知,单一煤层开采的垮落带高度计算式如式(1).经计算,垮落带高度 12.5~17.5 m.

$$\begin{cases} H_k = \frac{100 \sum M}{2.1 \sum M + 16} \pm 2.5, & \text{坚硬岩层}(10 \sim 80 \text{ MPa}) \text{ 时;} \\ H_k = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2, & \text{中硬岩层}(20 \sim 40 \text{ MPa}) \text{ 时.} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $H_k$  为垮落带的最大高度, m;  $\sum M$  为累积采厚, m.

由组合梁理论,大同组 23.0 m 细粒砂岩的载荷由式(2)计算,其上覆岩层统一按泥岩考虑,分层厚度 2 m,弹性模量 10 GPa,载荷为 2.4 MPa.由于垮落带高度 12.5~17.5 m 接近直接顶厚度(16 m),基本顶断裂后易形成砌体梁结构,其初次破断距、周期破断距分别按式(3)和式(4)计算,初次破断距为 47 m,周期破断距为 23 m.

$$q_1 = \frac{E_1 \times h_1^3 \times \sum_{i=1}^n \gamma_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n E_i \times h_i^3}; \quad (2)$$

$$L_c = h \sqrt{\frac{2R_T}{q}}; \quad (3)$$

$$L_d = 1.2 \times h \sqrt{\frac{R_T}{3q}}. \quad (4)$$

式中:  $q_1$  为 23.0 m 细粒砂岩自身荷载, MPa;  $E_1$  为 23.0 m 细粒砂岩的弹性模量, Pa;  $h_1$  为 23.0 m 细粒砂岩的厚度, m;  $\gamma_i$  为上覆各岩层的容重,  $i$  取 1~ $n$ ,  $\text{kN/m}^3$ ;  $h_i$  为各岩层的厚度,  $i$  取 1~ $n$ , m;  $E_i$  为各岩层的弹性模量,  $i$  取 1~ $n$ , Pa;  $L_c$  为初次破断距, m;  $h$  为上覆岩层总厚度, m;  $R_T$  为 23.0 m 细粒砂岩的单轴抗拉强度, MPa, 取 4.6 MPa;  $q$  为 23.0 m 细粒砂岩岩层自重及其上部载荷, MPa;  $L_d$  为周期破断距, m.

### 2.2 工作面来压步距数值模拟

#### 2.2.1 数值模型的建立

为进一步对顶板来压步距进行了解,根据 22116 工作面实际情况,建立数值模拟模型,如图 2 所示.煤层埋深 450 m,采高 3.5 m,模型尺寸长宽=150 m×66.5 m,模型上部边界施加荷载应力,设置模型下边界、左右边界的速度为零.

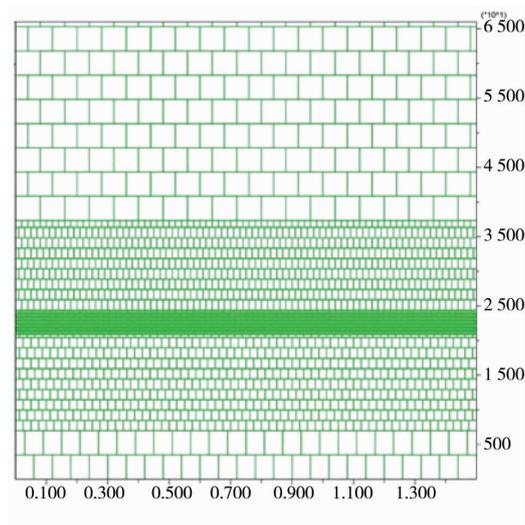


图2 数值模拟模型

### 2.2.2 模拟结果分析

模拟设计从工作面切眼处按 10 m 步距进行推进,设置具有一定工作阻力的支架进行支护,进而对顶板周期来压步距进行分析.随着工作面向前推进,采空区基本顶逐渐发生周期来压.工作面推进顶板垮落情况如下图 3 所示.

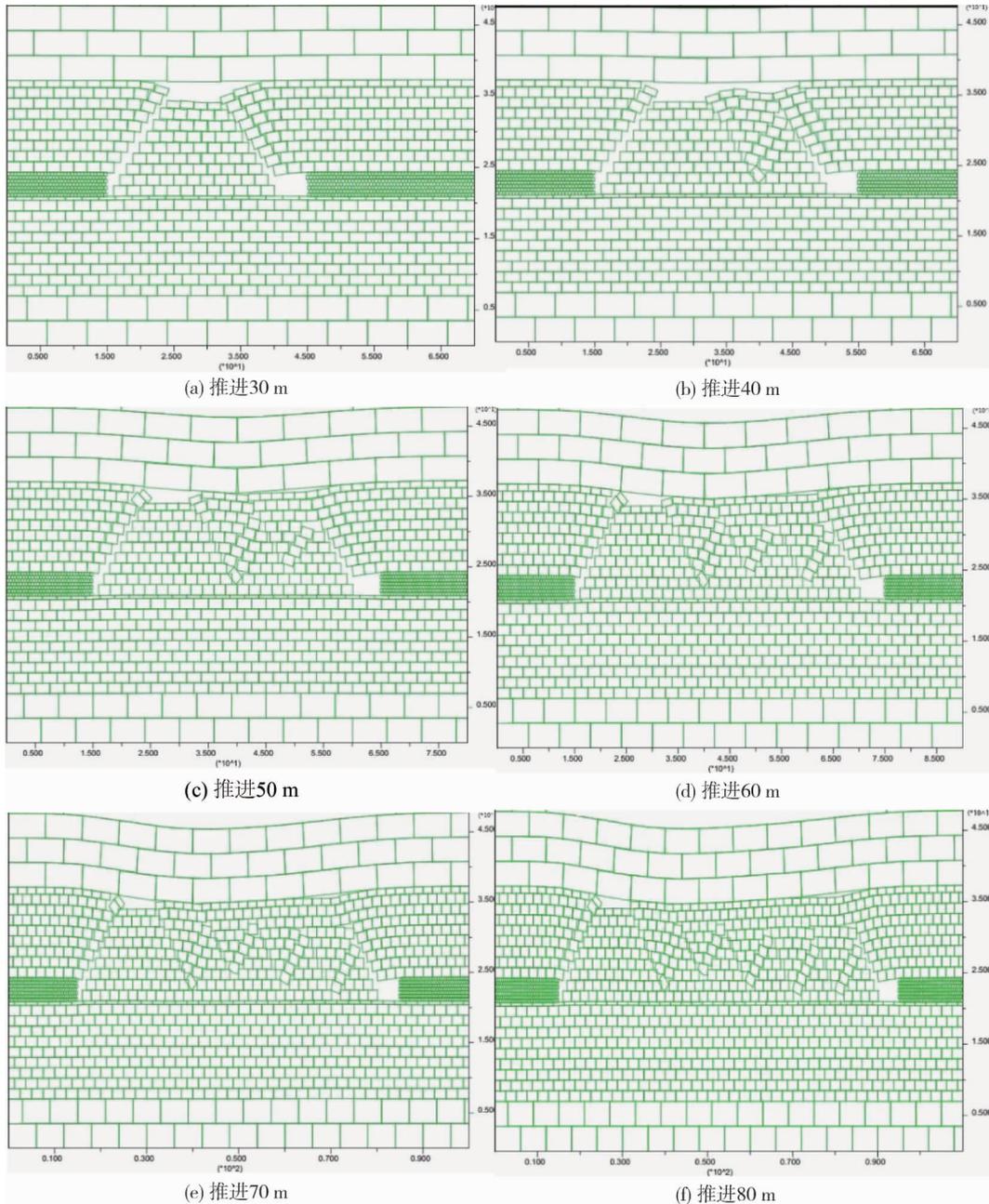


图 3 随工作面推进时顶板的垮落情况

从图 3 可以看出:当工作面推进 30 m 时,直接顶已经全部垮落,垮落的矸石将采空区全部充填,此时,基本顶出现微小裂隙,但是仍处于稳定状态;随着工作面继续推进,直接顶及时垮落,基本顶悬露跨度增加;当工作面推进 50 m 时,基本顶发生破断下沉,基本顶中部断裂处压向垮落的直接顶上,进一步压实垮落的矸石;由图 3b 及图 3c 可以看出,基本顶初次来压范围为 40~50 m.自工作面初次来压后继续向前推进,当推进 60 m 时,基本顶继续弯曲下沉,工作面前方基本顶同时出现微小裂隙,在下方矸石的支撑作用下,裂隙没有进一步扩展;当推进 70 m 时,基本顶裂隙进一步扩大,但基本顶下沉量依然较小,由此可以判断,此时并没有发生第一次周期来压;当工作面推进 80 m 时,工作面上方基本顶裂隙逐渐扩大,并将填充

在采空区的矸石进一步压实,工作面发生第一次周期来压,由图 3c 及图 3f 可以看出,工作面周期来压步距范围为 20~30 m,与上述理论计算结果基本吻合,验证了理论计算的基本准确性。

### 2.3 现场实测数据分析

根据 22116 工作面实际情况,在工作面液压支架顶梁上布置压力传感器对液压支架的工作阻力进行实时监测记录.本文从采集的数据中随机选取连续 13 d 的 3 组数据进行分析,分别选取工作面上部 18# 支架、工作面中部 63# 支架以及工作面下部 108# 支架.如图 4 所示,随着工作面推进,工作面上部液压支架的工作阻力在第 4~11 d 范围内出现阻力由下降到上升的变化过程,说明在此期间,工作面顶板随推进距离增加出现了由稳定-失稳-再稳定的连续变化,即顶板出现了周期性破断;如图 5 所示,随着工作面推进,工作面中部液压支架的工作阻力在第 6~12 d 范围内出现阻力由下降到上升的变化过程,说明在此期间工作面顶板发生了周期性破断;如图 6 所示,随着工作面推进,工作面下部液压支架的工作阻力在第 4~12 d 范围内出现阻力由下降到上升的变化过程,说明在此期间工作面顶板随推进距离的增加出现了由稳定-失稳-再稳定的连续变化,即顶板出现周期性破断,并对工作面产生了周期性来压。

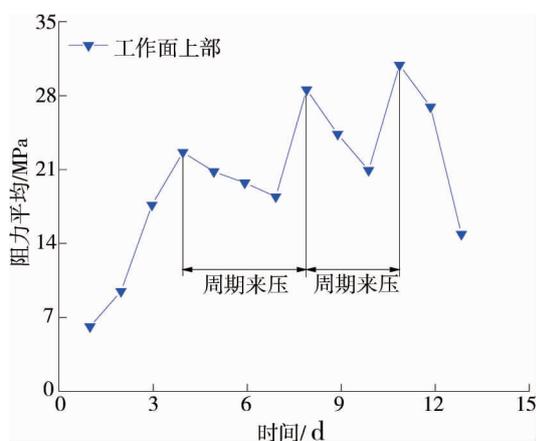


图 4 工作面上部支架阻力随时间的变化曲线

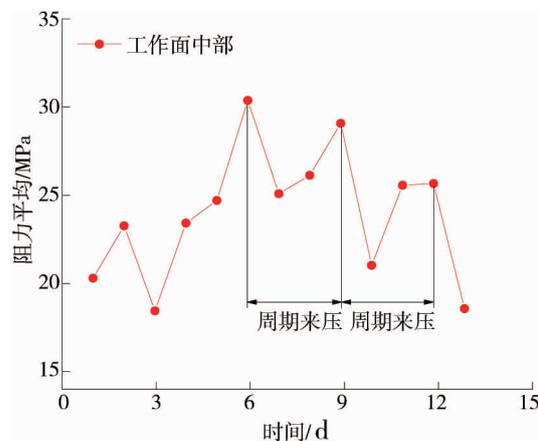


图 5 工作面中部支架阻力随时间的变化曲线

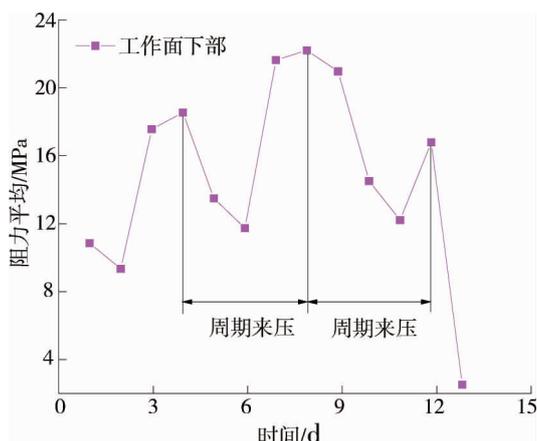


图 6 工作面下部支架阻力随时间的变化曲线

对比图 4~图 6 可知:工作面顶板发生周期来压的时间在 3~4 d,而 22116 工作面日推进度平均为 6 m 左右,故可由此推断周期来压步距范围为 18~24 m,进一步验证了理论计算的基本准确.在工作面推进过程中需要在巷道 30 m 范围内进行二次加强支护,同时通过监测数据显示,工作面液压支架初撑力相对较小,因此,需要及时调整支架初撑力以达到更好的支护效果。

### 2.4 22116 工作面工程实践

资料显示,22116 工作面初次来压范围在 30 m 左右,与理论计算及数值模拟结果值有些许差别.因在 22116 工作面试采完成割煤 3 刀后,根据《综采工作面强制放顶作业规程》进行了初次强制放顶和两巷初

次放顶,放顶采用切眼深孔爆破,切眼深孔爆破主要布置31个炮孔,分别为A,B,C,D1~D10,E1~E12,G,H,M1,M2,N1,N2炮孔.其中A,B,C,D1~D10,G,H布置在切眼靠近老塘侧,距切眼靠老塘侧煤墙距离≤500mm,E1~E12布置在距D排孔1m的平行线上.A孔位置在运巷的上帮处,距运巷上帮2.5m.A与B孔孔口间距7.5m,B与C孔孔口间距15m,D1~D10孔口间距15m,D10与G孔孔口间距8.5m,G与H孔口间距3m,H孔据风巷下帮2m.E排孔E2~E12孔口间距15m,E1与运巷上帮间距7.5m,E1与E2间距10m.22116综采工作面切眼深孔爆破平面示意图如图7所示,切眼深孔爆破炮孔参数如表1所示.

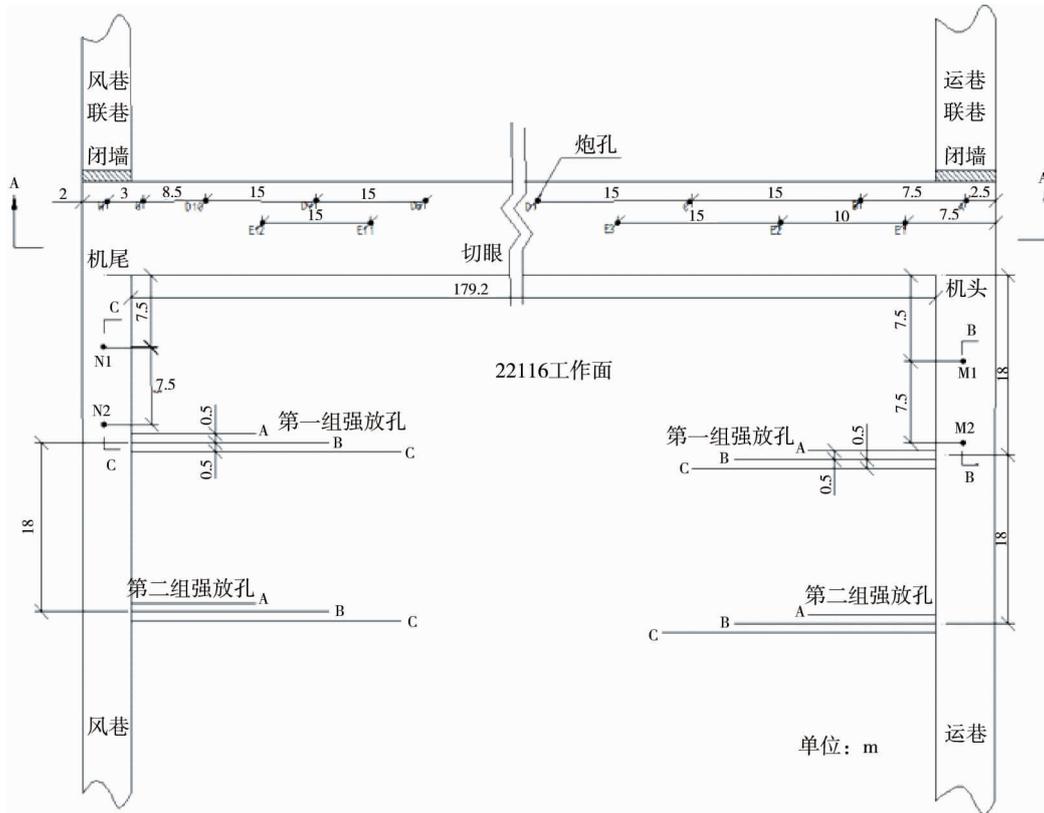


图7 22116综采工作面切眼深孔爆破平面图

表1 切眼深孔爆破炮孔参数

炮孔编号	炮孔长度/m	炮孔仰角相对方位角/°	装药长度/m	装药量/kg	封泥长度/m	雷管数	导爆索/m	PVC管/m
A	15	81	10	16	5	2	30	10
B	21	41	14	22.4	7	2	42	14
C	27	29	18	28.8	9	2	54	18
D1~D10	27×10	29	18×10	28.8×10	9×10	2×10	54×10	18×10
E1~E12	27×12	29 52	18×12	28.8×12	9×12	2×12	54×12	18×12
G	15	81	10	16	5	2	30	10
H	15	90	10	16	5	2	30	10

结合以往工作面回采经验,切眼强放后老顶初次来压步距为33m,理论计算初次破断距为47m,初次破断距跨度较大,如果不及时进行合理的顶板处理,随着工作面推进将会出现较大范围的初次来压,对工作面安全生产会产生一定影响,因此,矿上在试采结束后对切眼及两巷进行强制放顶对之后安全回采具有重大意义.

上述理论计算及数值模拟得到的结果并未考虑实际中强制放顶对初次来压步距的影响,但理论计算可以为实际施工中强制放顶距离范围提供一定的参考价值.

### 3 结论

1) 通过理论计算可知,22116工作面顶板初次破断距为47 m,顶板周期破断距为23 m;数值模拟研究表明,工作面顶板初次来压步距范围为40~50 m,周期来压步距范围为20~30 m;现场实测数据显示,周期来压步距范围为18~24 m.

2) 研究对工作面来压步距范围进行了合理分析,且判断需要在巷道30 m范围内进行二次加强支护,对工作面安全生产有一定的指导作用.

3) 工程实际施工中应在初采期间进行强制放顶以减小初次来压步距,以免出现大范围顶板来压对安全生产带来不利影响.

#### 参考文献:

- [1] 于辉.基于薄板理论的首采工作面基本顶来压步距数值研究[J].科学技术与工程,2018,18(21):195-199.
- [2] Qian M G, He F L. The behavior of the main roof in long wall mining[J]. Journal of Mine, Metals & Fuels, 1989, 18(6): 240-246.
- [3] 钱鸣高, 缪协兴. 采场上覆岩层结构的形态与受力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1995(2): 97-106.
- [4] 鞠金峰, 许家林, 朱卫兵. 浅埋特大采高综采工作面关键层“悬臂梁”结构运动对端面漏冒的影响[J]. 煤炭学报, 2014, 39(7): 1197-1204.
- [5] 黄庆享, 周金龙. 浅埋煤层大采高工作面矿压规律及顶板结构研究[J]. 煤炭学报, 2016, 41(s2): 279-286.
- [6] 黄庆享, 钱鸣高, 石平五. 浅埋煤层采场老顶周期来压的结构分析[J]. 煤炭学报, 1999(6): 581-585.
- [7] 弓培林, 靳钟铭. 大采高采场覆岩结构特征及运动规律研究[J]. 煤炭学报, 2004(1): 7-11.
- [8] 题正义, 秦洪岩, 陈明元. 综放开采煤层倾角对周期来压特征的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2015, 44(5): 817-822.
- [9] 张通, 赵毅鑫, 朱广沛, 等. 神东浅埋工作面矿压显现规律的多因素耦合分析[J]. 煤炭学报, 2016, 41(s2): 287-296.
- [10] 王晓振, 许家林, 朱卫兵, 等. 浅埋综采面高速推进对周期来压特征的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(3): 349-354.
- [11] Liu Z C, Li W L. Analysis on the thin plate model of roof fracture in isolated island face[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2014, 41(2): 104-110.
- [12] 李肖音, 高峰, 钟卫平. 基于板模型的采场顶板破断机理分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2008(2): 180-183.
- [13] 于辉. 近距离煤层开采覆岩结构运动及矿压显现规律研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015.
- [14] 杨敬轩, 刘长友, 于斌, 等. 坚硬厚层顶板群结构破断的采场冲击效应[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(1): 8-15.
- [15] 姜福兴. 采场覆岩空间结构观点及其应用研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006(1): 30-33.