

杨科,池小楼,刘帅.大倾角煤层综采工作面液压支架失稳机理与控制[J].煤炭学报,2018,43(7):1821-1828. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0949

YANG Ke, CHI Xiaolou, LIU Shuai. Instability mechanism and control of hydraulic support in fully mechanized longwall mining with large dip[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(7): 1821-1828. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0949

## 大倾角煤层综采工作面液压支架失稳机理与控制

杨科<sup>1,2</sup>,池小楼<sup>1,2</sup>,刘帅<sup>1,2,3</sup>

(1. 安徽理工大学 煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室,安徽 淮南 232001; 2. 安徽理工大学 能源与安全学院,安徽 淮南 232001; 3. 东北大学 资源与土木工程学院,辽宁 沈阳 110819)

**摘要:**针对大倾角旋转俯伪斜大采高综采面液压支架稳定性控制特点,结合潘二矿12124综采工作面地质与工程条件,开展了破碎顶板和软煤条件液压支架与刮板输送机稳定性控制机理与方法研究。基于现场观测数据分析,构建了大倾角综采工作面液压支架倾倒与下滑两种失稳模式,对比分析了支架受力特征,揭示了支架失稳与煤层倾角、支架顶梁和直接顶的摩擦因数之间的关系。推导了液压支架带压移架的“带压临界值”,提出了铺金属网带压擦顶追机移架方法。综合分析设计了旋采段回采调斜比例为1:3,并确定了俯伪斜回采段输送机下滑量不应大于304 mm,并通过设置了防倒、防滑千斤顶的“三机”联合防倒滑措施,有效控制“三机”稳定性及片帮、冒顶,实现了大倾角厚煤层安全高效开采。

**关键词:**大倾角煤层;采煤方法;支架-围岩关系;矿压控制;安全高效开采

中图分类号:TD355.4

文献标志码:A

文章编号:0253-9993(2018)07-1821-08

## Instability mechanism and control of hydraulic support in fully mechanized longwall mining with large dip

YANG Ke<sup>1,2</sup>, CHI Xiaolou<sup>1,2</sup>, LIU Shuai<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Mining Coal Safety and Efficiently Constructed by Anhui Province and Ministry of Education, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. Collage of Energy and Safety, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 3. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** In terms of the characteristics of stability control of hydraulic support under the condition of the fully mechanized working face with large seam dip angle, rotating, large mining height and false bow oblique, and combining with the geological and engineering conditions of fully mechanized working face numbered 12124 in Pan'er Mine, this paper studies the mechanism and method of stability control of broken roof and hydraulic support and scraper conveyor under soft coal conditions. Based on the analysis of field observation data, two instability modes including the dumping and falling of hydraulic support in fully mechanized working face with large dip angle are constructed to analyze the force characteristics of the supports by comparison. The relationships between the instability of the supports and seam dip angle, beam of support, the friction coefficient of the direct top are revealed. Then "threshold with pressure" of moving hydraulic support with pressure is derived, and the method of moving support with load, laying metal net, contacting roof and chasing coal winning machine are provided. The ratio of adjusting oblique in the rotating mining area

收稿日期:2017-07-11 修回日期:2018-03-27 责任编辑:韩晋平

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51634007);安徽省重点研究与开发计划资助项目(1704a0802129);安徽省高校优秀拔尖人才培养项目资助项目(gxbjZD2016046)

作者简介:杨科(1979—),男,四川叙永人,教授,博士。Tel:0554-6668081, E-mail: yksp2003@163.com

通讯作者:池小楼(1992—),男,山东菏泽人,博士研究生。E-mail:2937680510@qq.com

is designed to be 1 : 3 by comprehensive analysis, and the decline value of conveyor in bow pseudo-inclined mining area is determined to be less than 304 mm. With the measures of preventing sliding and falling of “three machine” which are installed jack with preventing sliding and falling, and the effective control on the “three machine” stability, wall caving and roof falling, the safety and high efficient mining of thick coal seam with large seam dip angle are realized.

**Key words:** coal seam with large dip angle; coal mining method; support and surrounding rock relationship; ground control; safe and efficient extraction

对于大倾角煤层,由于地质构造和赋存条件较为复杂,使得开采技术发展水平远低于缓倾斜煤层,在实际开采过程中存在许多技术难题<sup>[1-4]</sup>。液压支架稳定性控制就是大倾角煤层开采所面临的主要技术难题。煤层倾角增大、顶板破碎滑落以及回采工艺的不合理等因素加大了支架防倒、防滑的控制难度。因此需针对大倾角煤层开采制定安全高效的工作面设备稳定控制措施<sup>[5-6]</sup>。

近年来,国内外学者围绕大倾角煤层工作面液压支架稳定性建立了单个支架及支架组之间的失稳力学模型<sup>[7-8]</sup>,分析了大倾角支架-围岩关系以及在特殊时期(顶板来压及过断层)支架受力状况<sup>[9-10]</sup>,设计并实施了诸多工程控制举措<sup>[11-14]</sup>。综上可知,现有研究成果对大倾角工作面回采支架稳定性起到一定理论指导作用,但是对于复杂工程地质条件如破碎顶板和软煤条件下大倾角煤层旋转及俯伪斜开采时,支架-围岩关系及矿压控制理念与技术都需要进一步分析与实践,以达到工作面安全高效回采的目的。

潘二矿 12124 综采工作面开采 4 煤,煤层倾角  $26^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ,煤层厚度平均 3.8 m,煤体极软,普氏系数  $f$  为 0.1 ~ 0.3;工作面面长 144 m,推进长度 884 m;煤层底板为砂质泥岩,顶板为砂泥岩互层,工作面属于典型大倾角“三软”厚煤层。受断层构造影响,12124 工作面分走向、旋转和俯伪斜开采 3 个阶段,为一次采全高,采用 ZZ7200/22/45 支撑掩护式支架。

因此,为实现该工作面安全高效开采,笔者采用理论分析和现场实测,研究了大倾角工作面支架与顶板摩擦因数变化对支架稳定性的影响规律,分析了旋采段、俯伪斜段支架-围岩关系及液压支架和刮板输送机防倒、防滑控制方法并进行工程试验。

## 1 支架-围岩关系分析

通过总结 12124 综采工作面走向段矿压显现特征,大倾角工作面顶板对回采支架的倾向挤压作用如图 1 所示。受煤层倾角增大的影响,沿工作面倾向顶板运移对支架作用也存在显著差异,即从上而下支架与顶板的接触存在部分接触、全部接触甚至挤压接

触。分析表明,大倾角工作面顶板冒落及沿层面滑移对支架施加侧向挤压作用,是支架失稳的主要诱因,而不同区域瞬时侧向应力的方向和强度也有所不同,从而导致支架失稳机率增加。加之受顶板破碎影响,倾向上部围岩破碎后迅速下滑,顶板悬空面积增大,“支架-围岩”整体承载力学关系被破坏。支架上方暴露顶板运动空间越大,对支架造成的冲击作用就会增强。

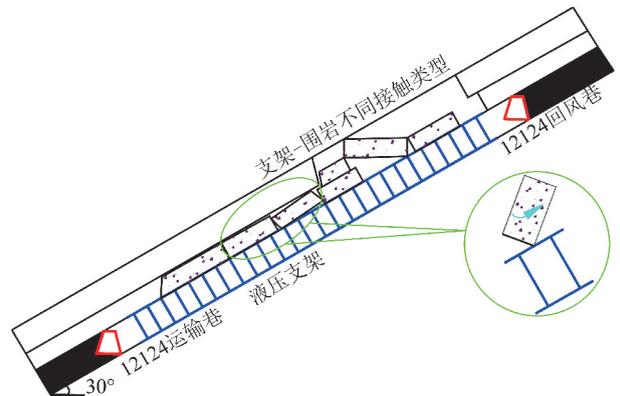


图 1 支架倾向挤压结构

Fig. 1 Structure of support inclined extrusion

## 2 大倾角液压支架稳定性分析

为便于研究,把支架从相互约束中隔离出来单独分析,重力作用下空间受力关系如图 2 所示。

液压支架的稳定性受控于煤层走向和倾向共同作用。重力在三维空间分解为沿煤层法线分力  $G_2$ ,促使支架稳定;而沿倾向分力  $G_1$ ,则会增大支架倾倒和下滑趋势。

由图 2 中的几何关系可知,沿煤层法线分力  $G_2$  为

$$G_2 = G \cos \alpha \cos \beta \quad (1)$$

沿倾向分力  $G_1$  平行于支架顶梁且与  $G_2$  相互垂直。因此,  $G_1$  计算式

$$G_1 = G \sqrt{1 - (\cos \alpha \cos \beta)^2} \quad (2)$$

式中,  $G$  为支架自重, kN;  $\alpha$  为煤层倾角, ( $^{\circ}$ );  $\beta$  为俯采角, ( $^{\circ}$ )。

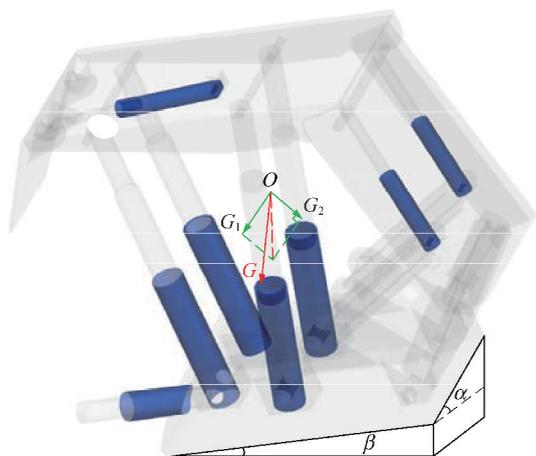


图2 自重作用下支架受力特征

Fig. 2 Characteristics of hydraulic support under self-gravity

## 2.1 初撑状态下支架受力分析

忽略邻架及支架推移千斤顶对支架的影响,建立了单个支架在初撑状态下的受力模型(图3)。

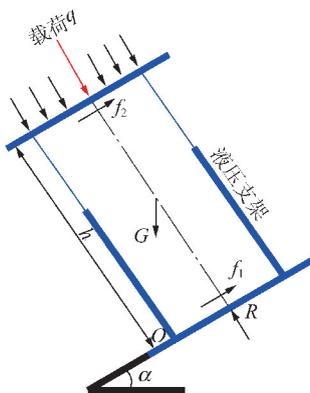


图3 初撑状态下支架受力模型

Fig. 3 Mechanical model of hydraulic support in support initial brace state

液压支架在初撑力  $R$ , 支架初撑力反作用力  $q$  和支架自重  $G$  共同作用下处于平衡状态, 此时有

$$\begin{cases} f_1 + f_2 = G_1 \\ qB + G_2 = R \\ \frac{B}{2}G_2 + \frac{B^2}{2}q = \frac{h}{2}G_1 \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $f_1 = \mu R$ ,  $f_2 = \mu(R - G_2)$ ;  $h$  为支架高度,  $m$ ;  $B$  为支架底座宽度,  $m$ ;  $\mu$  为支架与煤岩体的摩擦系数;  $R$  为支撑力,  $kN$ ;  $q$  为支架初撑力反力,  $kN$ 。

把式(1)和式(2)代入式(3)推导可得初撑状态下液压支架保持稳定的临界煤层倾角为

$$\alpha_1 = \arccos \frac{2h\mu - B}{\cos \beta \sqrt{B^2\mu^2 + (2h\mu - B)^2}} \quad (4)$$

对于大倾角综采工作面,  $\mu$  一般取  $0.15 \sim 0.45$ <sup>[15]</sup>。结合潘二矿地质与工程条件及液压支架架型和参数, 初撑状态下支架适应的煤层倾角  $\alpha_1$  范

围如图4所示。

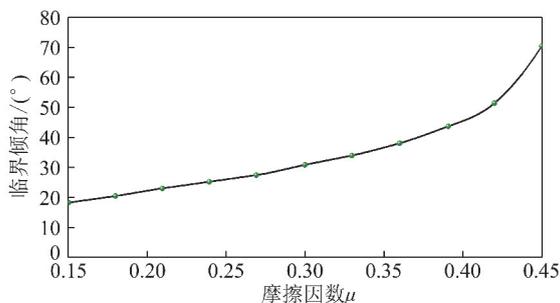


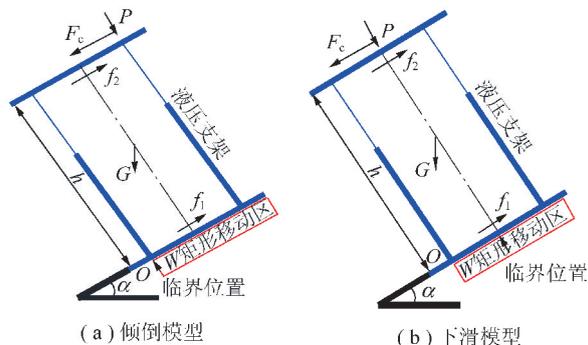
图4 临界倾角与摩擦因数变化关系

Fig. 4 Change curve between critical inclination and friction coefficient

由图4可知,随着煤层倾角增大,保持液压支架稳定所需的摩擦因数则越大,而顶板的完整程度影响支架与顶板间的摩擦因数。回采过程中,受矿山压力与岩层移动作用,顶板岩层将会发生变形、破断,完整性进一步降低。而顶板破碎后将引起顶梁与直接顶之间摩擦因数变小,沿煤层倾向的挤压作用更大,液压支架易被推倒。移架过程中,顶梁与接触岩层从滑动摩擦变为滚动摩擦,摩擦因数降低,支架也易失稳。煤层倾角增大,会引起支架与顶板间的冒空范围加大,摩擦因数可能降为0,液压支架下滑倾倒的机率倍增。因此,对破碎顶板控制的关键是确保液压支架顶梁与顶板的摩擦因数位于合理的区间,从而增大顶梁与直接顶间抗倾倒下滑的摩擦力。

## 2.2 工作状态下支架受力分析

工作状态下,假设支架工作阻力反力集中力在矩形区内移动,当移动到临界位置时极易发生支架倾倒、下滑失稳。此时,支架在顶板侧向应力  $F_c$ , 支架自重  $G$ , 支架工作阻力  $P$ , 支架工作阻力作用下底板反力  $W$  共同作用下处于平衡状态。据此,建立图5所示工作状态下液压支架倾倒、下滑力学模型。



(a) 倾倒模型

(b) 下滑模型

图5 支架工作状态倾倒和下滑受力模型

Fig. 5 Mechanical model of hydraulic support in sliding and tipping condition with the support working state

### 2.2.1 支架倾倒分析

根据力矩极限平衡条件,底板反力作用点在  $O$

点处,如图 5(a)所示,此时有

$$F_c h + \frac{h}{2} G_1 - \frac{B}{2} (P + G_2) - f_2 h = 0 \quad (5)$$

式中,  $f_2 = \mu P$ ;  $F_c$  为顶板侧向应力, kN;  $P$  为支护阻力, kN。

根据工作面具体条件,计算支架侧向应力

$$F_c = \gamma H L_z B \sqrt{1 - (\cos \alpha \cos \beta)^2} \quad (6)$$

其中,  $\gamma$  为容重,  $\text{kN/m}^3$ ,  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ ;  $H$  为直接顶厚度,  $H = 5.8 \text{ m}$ ;  $L_z$  为直接顶悬顶长度,  $L_z = 5.1 \text{ m}$ 。代入式(3)得  $F_c = 557 \text{ kN}$ 。

将支架和工作面参数以及侧向应力代入式(5)计算得支架不倾倒所需的最小工作阻力为 1 248 kN。

### 2.2.2 支架下滑分析

由图 5(b)可知,支架在顶板侧向应力  $F_c$ , 支架自重  $G$  作用下有沿工作面倾向下滑的趋势,在临界下滑状态,有计算式

$$f_1 + f_2 - F_c - G_1 = 0, W - G_2 - P = 0, \\ f_1 = \mu W \quad (7)$$

将支架和工作面参数以及侧向应力代入式(7)得支架不下滑所需的最小工作阻力为 1 156 kN。

综合分析可知,支架在倾向保持稳定所需的最小工作阻力为 1 248 kN,为保证工作面支护系统稳定,实施带压移架措施,移架过程中需克服支架与顶底板摩擦力。由图 4 可知煤层倾向  $30^\circ$  时的(大倾角)工作面摩擦因数为 0.28,计算得带压移架临界值为  $0.28 \times 1\,248 + 0.28 \times (1\,248 + 252) = 770 \text{ kN}$ 。而 12124 工作面采用 ZZ7200/22/45 型液压支架,支架最大移架力 802 kN。满足支架稳定状态下带压移架条件。

## 2.3 液压支架稳定性控制方法

### 2.3.1 破碎顶板控制

通过初撑状态下支架受力分析可知,顶板破碎和冒空程度对支架与顶板之间的摩擦因数起决定作用。针对 12124 工作面具体情况采取如下方法保证摩擦因数的稳定。

(1) 为保证顶板完整性,防治冒空,工作面顶板整体铺设规格为  $5.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$  的菱形编制孔金属网,如图 6(a)所示。

(2) 针对旋采段支架不断调斜带来的顶板破碎加剧问题,在应力集中区域(工作面下部),采用铺设双层金属网控制措施,并保证下部区域支架工作阻力达到额定值。

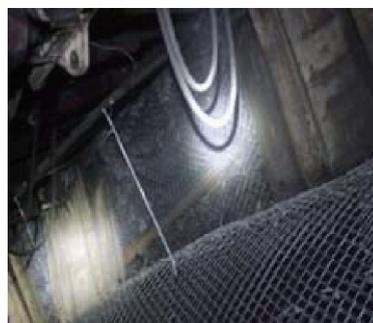
(3) 采用支架顶梁梁头结网的方式防治金属网出现兜网现象,如图 6(b)所示。

### 2.3.2 支架移架控制

根据工作状态下液压支架受力分析,设计并实施



(a) 工作面铺金属网



(b) 工作面顶板结网

图 6 液压支架铺网方法

Fig. 6 Paving networks method on the top of hydraulic support 了带压擦顶追机移架,移架过程中做到“少降快拉”,及时支护外露顶板,减少顶板破碎,防止破碎顶板滑移冲倒支架。

## 3 旋采段工作面矿压控制

### 3.1 旋采段矿压控制分析

为避开瓦斯富集区、满足俯伪斜段面长要求,工作面需通过调斜支架进行旋转开采(图 7)。

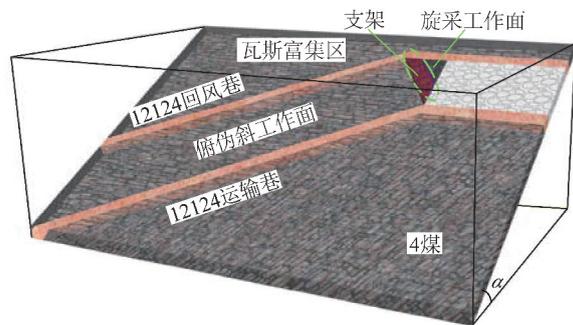


图 7 旋转俯伪斜工作面空间位置

Fig. 7 Panel layout of rotating bow pseudo-inclined working face

根据工作面地质与工程条件,选择虚中心旋采方法,旋采距离及采煤机每割一刀煤的支架调斜量采用下式计算。

$$L_1 = \frac{X\varphi\pi L_m}{180^\circ(1-X)}, L_2 = \frac{0.8d(1-X)}{XL_m}$$

式中,  $L_1$  为旋采距离, m;  $L_2$  为每割一刀煤支架调斜量, m;  $X$  为调斜比例;  $\varphi$  为支架旋转角度,  $\varphi = 18^\circ$ ;  $L_m$

为工作面面长,  $m$ ;  $d$  为支架长度,  $m$ 。

为保证旋采段采煤机与输送机不滑落, 通过现场实践, 确定调斜量为支架侧护板行程一半左右, 调斜比例选择 1 : 3, 代入参数计算得到旋采距离 22.608 m, 采煤机割一刀煤支架调斜量为 0.056 m。

### 3.2 旋采段“三机”失稳控制技术

为满足支架 1 : 3 的调斜比例, 保证“三机”稳定, 采取“三机”联合控制技术。

#### 3.2.1 支架管理

(1) 支架按自上而下的顺序擦顶移架, 并调整侧护板行程(从输送机机头起第 30 架支架为分界点, 30 架以上每 5 架有一架满行程, 30 架以下每 10 架有一架满行程), 控制调斜量为 0.056 m, 逐步实现支架调向。调斜循环完成后, 确保工作面“三平两直”。

(2) 为防治机头架倾倒, 机头 3 架顶梁和 6 架四连杆处设置防倒千斤顶, 作为全部支架的锚固点, 如图 8 所示。

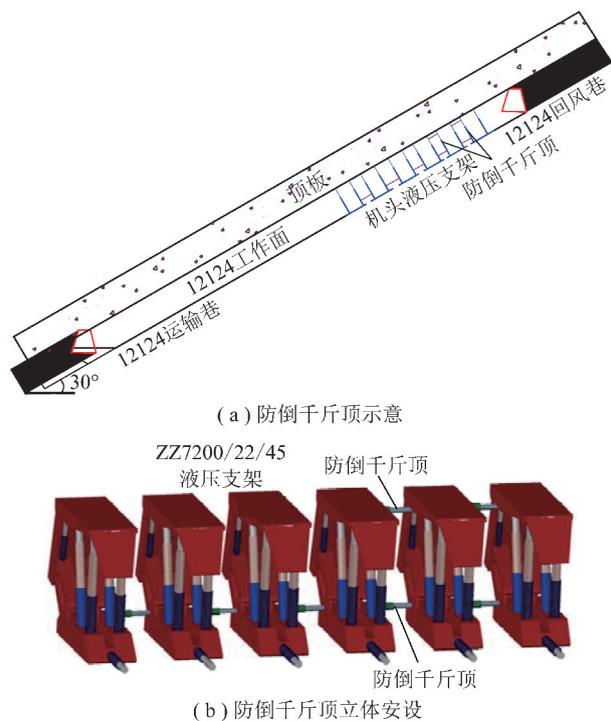


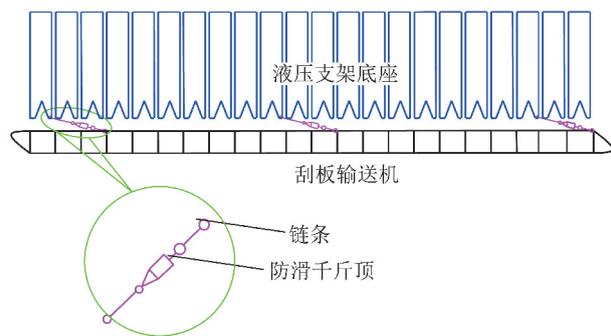
图 8 工作面防倒千斤顶布置

Fig. 8 Installation of anti-slip jack in the working face

#### 3.2.2 “三机”联合管理

旋采前采煤机机头上窜 2 m, 为输送机预留下滑空间。旋采过程中输送机按照自下向上的抵车顺序, 每 15 架支架分组采取单体支柱辅助单向上行抵车, 抵车时推移方向略垂直输送机或有微小向上趋势。采煤机采用自上而下割煤方式, 期间调整支架状态, 直至调正、找直。旋采中为保证采煤机、输送机及支架整体抗滑能力, 每 10 架一组设置防

滑千斤顶, 如图 9 所示。



(a) 防滑千斤顶示意



(b) 现场防滑千斤顶安设

图 9 工作面防滑千斤顶布置

Fig. 9 Installation of anti-skid jack in the working face

### 3.3 旋采段支架稳定性控制效果分析

工作面安装 KJ345-F2 矿用本安型压力监测分站, 统计分析了工作面 20 号、40 号、60 号和 80 号液压支架的压力表读数, 获得了实施铺网带压擦顶追机移架及“三机”稳定控制技术后的支架受力特征, 如图 10 所示。分析表明, 回采过程中初撑力、工作阻力分布均匀, 前后柱初撑力主要分布在 1 600 ~ 2 500 kN, 基本呈“正态分布”。来压期间循环末阻力平均 6 072 kN, 非来压期间平均 4 572 kN, 平均动载系数为 1.33, 工作阻力有效利用率 52% ~ 93%。回采过程中无压架和挤架引起支架工作阻力异常现象, 支架支护状态良好。

## 4 俯伪斜段工作面矿压控制

### 4.1 俯伪斜段矿压控制分析

通过采用铺网带压擦顶追机移架方法, 有效控制了液压支架的稳定性, 当工作面进入俯伪斜段回采时, 如何控制刮板输送机下滑是“三机”稳定性控制的关键一环。受工作面布置影响, 俯伪斜开采段刮板输送机有沿工作面走向下滑的趋势, 导致支架底座产生斜向拉力, 拉力与液压支架自重煤层倾斜方向分力的扭矩使液压支架重心偏离底座中心, 易发生倾倒。为确定合理输送机下滑量, 建立如图 11 所示的俯伪斜段角量关系图, 据此有

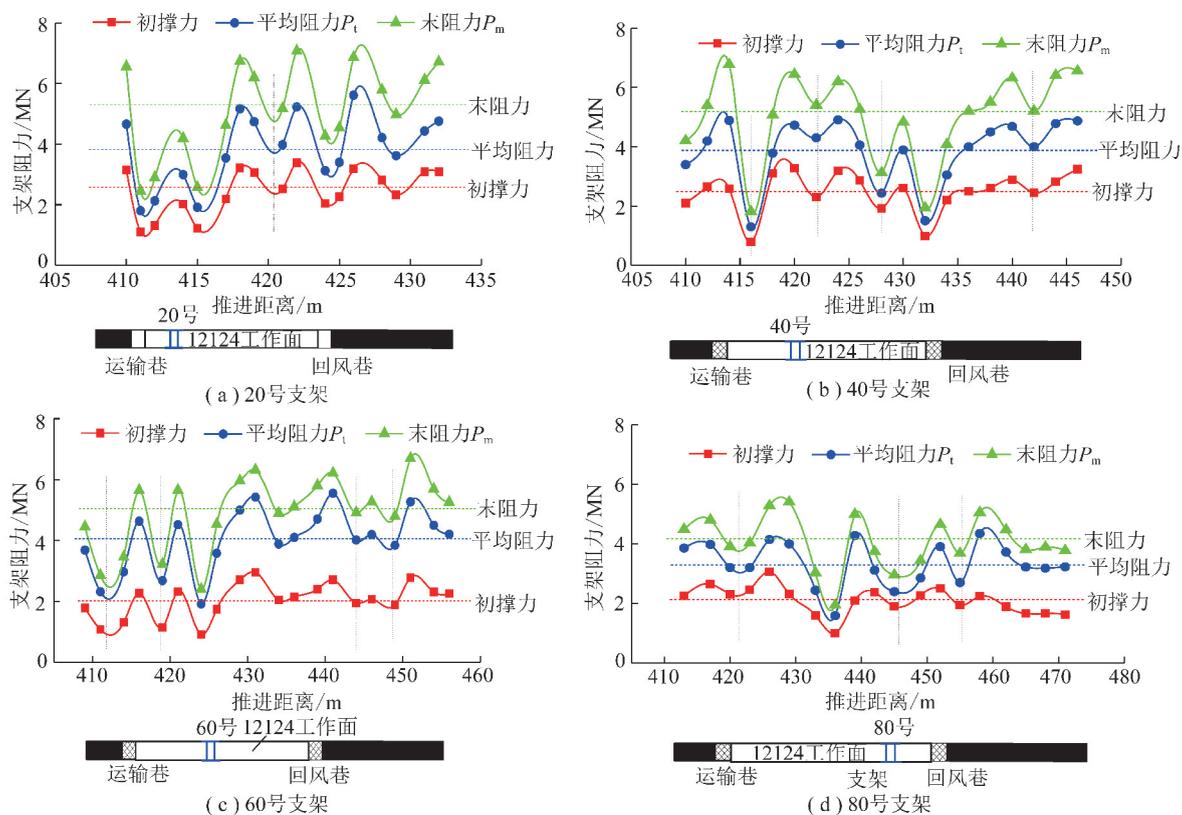


图 10 旋采段支架工作阻力曲线

Fig. 10 Working resistance curve of the rotary mining section supports

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \varphi \quad (10)$$

其中,  $\theta$  为工作面运输巷与煤层走向的夹角, ( $^{\circ}$ )。根据工作面布置参数, 求得  $\theta = 22.3^{\circ}$ 。

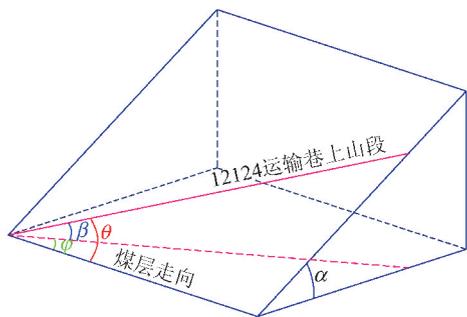


图 11 俯伪斜段角关系

Fig. 11 Relationship of angle in bow pseudo-inclined section

为确保输送机正常运行, 采煤机每循环进尺 800 mm, 工作面输送机沿煤层伪倾斜方向下滑量  $x = 800 \times \sin 22.3^{\circ} = 304$  mm。

## 4.2 俯伪斜段“三机”失稳控制技术

### 4.2.1 输送机管理

(1) 设计沿煤层走向运输巷巷帮标线法, 测量输送机机头链轮中心线与该直线的垂距, 计算割每刀煤输送机实际下滑量。若下滑量大于 304 mm, 机头多进, 抵消过多的下滑量; 若小于 304 mm, 机尾多进, 弥

补不足下滑量。现场实践表明, 机尾超前机头的超前距控制在 3 ~ 6 m 时, 可满足平均每割一刀煤, 运输机下滑 304 mm。

(2) 针对工作面俯采角度较大, 采取增大煤机卧底量方法, 实现输送机与俯采角一致, 防止推溜输送机过程中导向杆和输送机连接处的悬空。

### 4.2.2 “三机”联合管理

为防止支架空载发生倒架、危及邻架稳定性, 俯伪斜段采高不超过 3.8 m。当液压支架发生轻微倾斜下滑时, 在满足液压支架架间间隙为 70 ~ 100 mm (满行程 170 mm) 条件下, 可使用侧护板调整。当机尾超前机头的距离过大时, 通过每 10 架设置防滑千斤顶控制输送机下滑 (图 9)。为保持采煤机、输送机与俯采角一致, 采用每 10 ~ 15 架支架为一组利用单体支柱辅助单向上行抵车。

### 4.3 俯伪斜段支架稳定性控制效果分析

俯伪斜段矿压观测表明, 回采过程中初撑力和工作阻力分布均匀, 前后柱初撑力主要分布在 1 900 ~ 3 000 kN, 基本呈“正态分布” (图 12)。来压期间循环末阻力平均 6 249 kN, 非来压期间平均 4 830 kN, 平均动载系数为 1.30, 工作阻力有效利用率 61% ~ 96%。回采过程中无压架和挤架引起支架工作阻力异常现象, 支架支护状态良好。

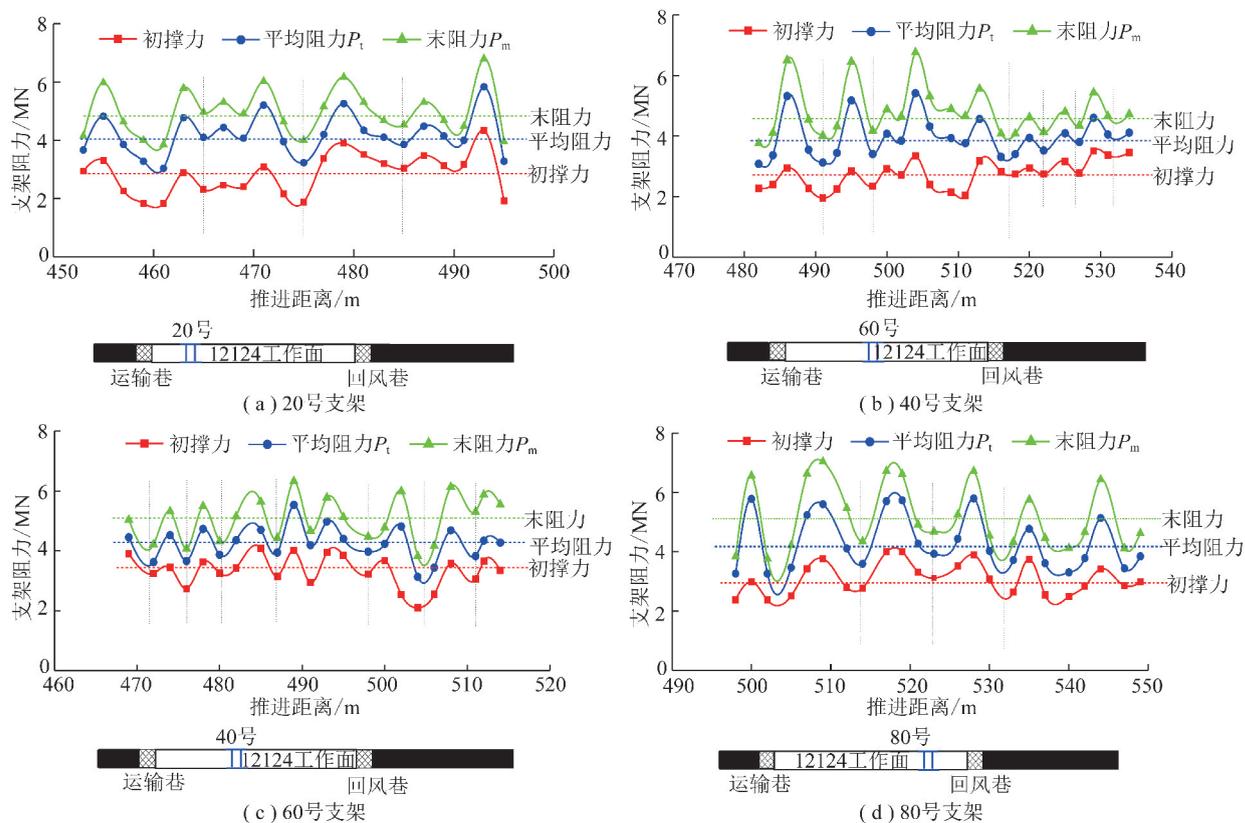


图12 俯伪斜段支架工作阻力曲线

Fig. 12 Working resistance curves of the bow pseudo-inclined section supports

## 5 结论

(1) 根据大倾角煤层综采矿压特征及液压支架在初撑和工作状态下受力分析,煤层倾角与顶梁和直接顶间的摩擦因数成非线性关系。

(2) 基于支架-围岩关系分析,揭示了软煤、破碎顶板条件下大倾角煤层工作面液压支架失稳机制,获得了带压移架临界值,提出铺网带压擦顶追机移架方法。

(3) 根据工作面布置特点,选择1:3调斜比例进行旋采,推导获得了俯伪斜段刮板输送机应控制的下滑量,并在工作面旋转段和俯伪斜段采用设置防倒和防滑千斤顶的方法,实现了“三机”联合防倒滑。

(4) 现场矿压观测表明,上述方法和技术的实施取得了良好效果,有效控制了“三机”和围岩稳定性,安全开采条件得到改善,工时利用率有效提高。

## 参考文献 (References):

[1] 伍永平. 大倾角煤层开采“R-S-F”系统动力学控制基础研究[D]. 西安:西安科技大学,2003.  
 [2] 宋维德. 大倾角大采高重型支架倒架预防及处理技术[J]. 煤矿开采,2008,13(3):35-36.  
 SONG Weide. Technology of falling prevention and disposal of heavy support with high mining height and large angle[J]. Coal Mining

Technology,2008,13(3):35-36.

[3] 段子晔,马世忠. 大倾角大采高综采防倒防滑技术探讨[J]. 矿山压力与顶板管理,2002,19(4):62-64.  
 DUAN Ziyue, MA Shizhong. Discussion on technology of antidumping and anti-slipping for fully-mechanized mining with large inclined angle and mining height[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2002,19(4):62-64.  
 [4] 黄志增,任艳芳,张会军. 大倾角松软顶厚煤层综放开采关键技术研究[J]. 煤炭学报,2010,35(11):1878-1882.  
 HUANG Zhizeng, REN Yanfang, ZHANG Huijun. Study on key technology of fully mechanized top coal caving in extra-thick soft coal seam with great dip angle[J]. Journal of China Coal Society,2010,35(11):1878-1882.  
 [5] 李迎富,华心祝,蔡瑞春. 沿空留巷关键块的稳定性力学分析及工程应用[J]. 采矿与安全工程学报,2012,29(5):358-364.  
 LI Yingfu, HUA Xinzhu, CAI Ruichun. Mechanics analysis on the stability of key block in the gob-side entry retaining and engineering application[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2012,29(5):358-364.  
 [6] 陈勇,柏建彪,王襄禹,等. 沿空留巷巷内支护技术研究与应用[J]. 煤炭学报,2012,37(6):903-910.  
 CHEN Yong, BO Jianbiao, WANG Xiangyu, et al. Support technology research and application inside roadway of gob-side entry retaining[J]. Journal of China Coal Society,2012,37(6):903-910.  
 [7] 伍永平,负东风. 大倾角综采支架稳定性控制[J]. 矿山压力与顶板管理,1999,16(3/4):82-85.  
 WU Yongping, YUN Dongfeng. The stability control of support

- at top caving face with steep seam[J]. *Ground Pressure and Strata Control*, 1999, 16(3/4):82-85.
- [8] 袁永,屠世浩,窦凤金,等.大倾角综放面支架失稳机理及控制[J].*采矿与安全工程学报*,2008,25(4):430-434.  
YUAN Yong, TU Shihao, DOU Fengjin, et al. The mechanism and control of the mechanism and control of the stents in the large tilt Angle of the stents[J]. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2008, 25(4):430-434.
- [9] 黄建功,楼建国.大倾角煤层走向长壁采面支架与围岩系统分析[J].*矿山压力与顶板管理*,2003,20(4):72-74.  
HUANG Jianguo, LOU Jianguo. Support and surrounding rock system analysis of long wall mining face along strike in steeply dipping seam[J]. *Ground Pressure and Strata Control*, 2003, 20(4):72-74.
- [10] 张东升,吴鑫,张炜,等.大倾角工作面特殊开采时期支架稳定性分析[J].*采矿与安全工程学报*,2013,30(3):331-336.  
ZHANG Dongsheng, WU Xin, ZHANG Wei, et al. Stability analysis on support in large inclined coalface during special mining period [J]. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2013, 30(3):331-336.
- [11] 章之燕.大倾角综放液压支架稳定性动态分析和防倒防滑措施[J].*煤炭学报*,2007,32(7):430-434.  
ZHANG Zhiyan. Dynamic analysis on stability of hydraulic powered support in deep inclined fully mechanized wall and prevention slips measures[J]. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(7):430-434.
- [12] 林忠明,陈忠辉,谢俊文,等.大倾角综放开采液压支架稳定性分析与控制措施[J].*煤炭学报*,2004,29(3):264-268.  
LIN Zhongming, CHEN Zhonghui, XIE Junwen, et al. Stability analysis and control measures of powered supports in greater inclined full-mechanized coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2004, 29(3):264-268.
- [13] 周明昌,陈光强.大倾角综采工作面输送机 and 支架整体防滑[J].*煤矿开采*,1999,36(3):55-56.  
ZHOU Mingchang, CHEN Guangqiang. Conveyor and overall anti-sliding support of fully-mechanized mining face in steeply dipping seam [J]. *Coal Mining Technology*, 1999, 36(3):55-56.
- [14] 吴锋锋,刘长友,李建伟.“三软”大倾角厚煤层工作面组合液压支架稳定性分析[J].*采矿与安全工程学报*,2014,31(5):721-732.  
WU Fengfeng, LIU Changyou, LI Jianwei. Combination hydraulic support stability of working face in large inclined and “three-soft” thick seam [J]. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2014, 31(5):721-732.
- [15] 马文顶,刘长友,邹永华,等.大倾角仰采工作面顶板控制的实验研究[J].*矿山压力与顶板管理*,1996,13(4):18-21.  
MA Wending, LIU Changyou, ZOU Yonghua, et al. Experimental study of roof control at highly inclined up-dip long wall face [J]. *Ground Pressure and Strata Control*, 1996, 13(4):18-21.