

文章编号: 1000-7598 (2013) 09-2615-08

孤岛顶煤综放采场冲击矿压形成机制及控制技术

汪华君¹, 姜福兴², 温良霞¹, 赵明洲¹

(1. 毕节学院 资源与安全工程学院, 贵州 毕节 551700; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘 要: 应用覆岩空间结构学术观点对孤岛顶煤综放采场冲击矿压机制及其控制技术进行研究。根据覆岩关键层的岩性、层位、范围等因素, 覆岩关键层空间结构分为覆岩空间大结构和基本顶有限矿压结构。孤岛顶煤采场冲击矿压发生机制: ① 孤岛顶煤综放采场 θ 型空间大结构形成过程是集中压力逐渐增加的过程, 是该时间段发生冲击矿压的力源; ② 采场基本顶形成最下位 θ 型空间结构后, 随着工作面推进, 基本顶块体产生滑落失稳, 造成工作面冲击矿压现象。通过对分段来压理论、基本顶结构失稳理论和坚硬顶板预断裂理论对覆岩关键层空间结构运动的控制作用研究, 提出采用覆岩空间结构理论分析、分阶段降低放煤率、坚硬覆岩预爆泄压技术、覆岩坚硬岩层破裂的微地震监测技术等方式方法预防冲击矿压的发生。

关 键 词: 顶煤; 综放采场; 冲击矿压; 放煤率

中图分类号: TD 313

文献标识码: A

Formation mechanism and control technology of impacting pressure in sublevel caving mining face under isolated top coal

WANG Hua-jun¹, JIANG Fu-xing², WEN Liang-xia¹, ZHAO Ming-zhou¹

(1. School of Resources and Safety Engineering, Bijie University, Bijie, Guizhou 551700, China; 2. School of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Study of the rock burst mechanism and its control technology in sublevel caving mining face under isolated top coal is done by applying overlying strata spatial structure academic viewpoint. According to the key stratum lithology, layer place, range and other factors, the key stratum spacial structures are divided into big structure of overlying strata and main roof structure leading to limited pressure. rockburst mechanism in island top coal stope is: ① formation process of θ -shaped spatial structure in sublevel caving mining face is the process of gradually increasing pressure, and that is the rockburst power source in this period; ② After the formation of the lowest θ -shaped spatial structure of the main roof, with the face advancing, the main roof block slides and which cause the rock burst phenomena. Through the study of the controlling effect on the key stratum spatial structure movement by segmented pressure theory, the instability of basic roof structure theory and hard roof prefracture theory, the ways and means of overlying strata spatial structure theory analyzing and reducing the rate of caving in different phases, hard overlying strata prefracture technology, microseismic monitoring technology overburden rock hard rock rupture of to prevent rock burst occurred are proposed.

Key words: top coal; sublevel caving mining face; impacting mining pressure; rate of release

1 引 言

综合机械化放顶煤(简称综放)开采技术在我国得到迅速发展, 出现了潞安、兖州、阳泉等以放顶煤开采为主的高产高效矿区。这种开采方法具有掘进率低、效率高、适应性强及易于实现高产、高效等明显优点, 在国内开采条件适合地区得到广泛推广^[1]。

在综放开采技术推广过程中, 出现了异于综采

采场矿压显现的综放采场冲击型矿压现象^[2]。这种冲击型矿压主要发生在孤岛综放采场或工作面有构造的采场。如图 1 所示, 在岩体破坏较严重、构造复杂、断层较多和使用分层长壁开采较困难的地段, 使用综放技术开采过构造(或顶煤厚度有变化)时容易受到冲击型矿压的威胁。

冲击型矿压的存在严重威胁着安全生产。轻者, 造成开采设备的毁坏; 重者, 造成人员伤亡。如何采取安全技术措施控制和预防冲击型矿压的发生,

收稿日期: 2012-07-05

基金项目: 贵州省自然科学基金资助项目(黔科合 J 字【2011】2001 号); 贵州省教育厅重点资助项目(黔教高发【2011】278 号)。

第一作者简介: 汪华君, 男, 1970 年生, 博士后, 副教授, 院长, 主要从事矿业工程领域的教学与科研工作。E-mail: xga2582@163.com

成为矿压控制领域的一个重点研究课题。本文以孤岛顶煤综放采场为研究对象,分析冲击型矿压形成机制和控制技术。研究成果同样适用于解决其他条件下的综放采场冲击型矿压问题。

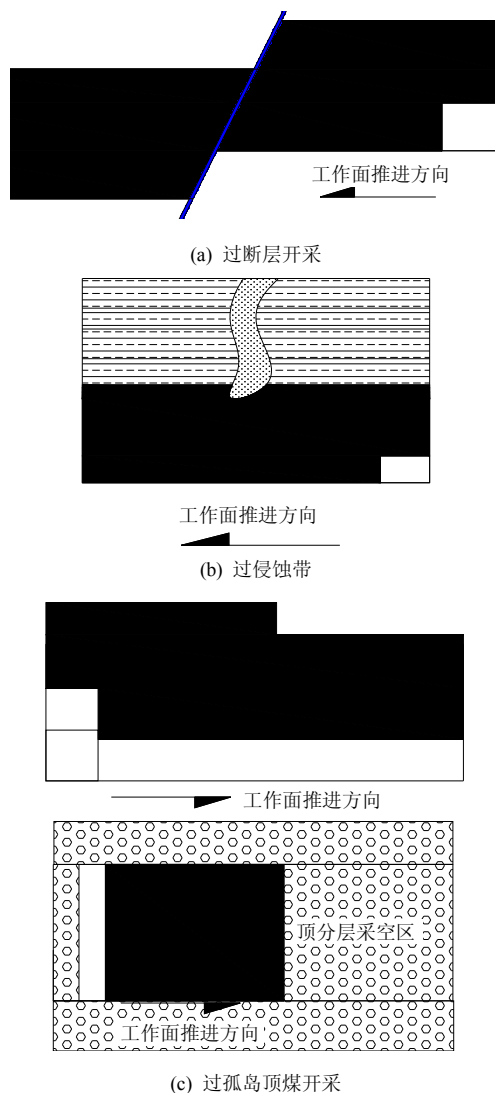


图1 易形成冲击矿压工作面类型

Fig.1 Mining faces easy to form impacting pressure

2 冲击矿压形成机制研究

从综放采场覆岩关键层空间结构运动规律入手,研究冲击型矿压形成的机制,从而可以从控制关键层空间结构形成的要素入手,研究防治冲击型矿压的技术方法和措施。

2.1 孤岛顶煤综放采场的形成

按照综放采场四周的边界条件,可分为两面采空采场、三面采空采场和四面采空综放采场。其中,四面采空采场又称为孤岛型采场,其开采潜在的安全隐患最多,也最严重^[3-6]。

对于三面采空综放采场,有可能形成另一类型

的孤岛型采场:由于先前采用分层开采,而后采用综放开采,当该综放工作面开切眼位置和其同区段顶分层开切眼位置有一定距离,且该综放工作面走向两侧都为采空区(厚煤层分层开采一个或多个分层)时,从综放采场开切眼开始到已采顶分层开切眼原始位置这一块段煤柱为顶煤孤岛型煤柱,所在的综放采场就作为孤岛顶煤综放采场存在,如图1(c)所示。

2.2 覆岩关键层空间结构类型

根据对采场覆岩三维空间破裂规律的微地震监测研究和多起冲击矿压事故的调研分析,采场动态开采引起的覆岩运动范围在厚度方向上超过了基本顶(6~8倍采高)的范围,在煤层层面上不再局限于回采巷道附近范围^[3]。

根据覆岩关键层的岩性、层位、范围等因素,可将覆岩关键层空间结构分为覆岩空间大结构和基本顶有限矿压结构^[5]。

2.2.1 覆岩空间大结构特点

由于煤层覆岩中可能存在多层关键层,因而采场基本顶之上的关键层可能形成多层覆岩空间大结构。其主要特点有:

(1) 范围广

不但在煤层厚度方向上具有多层特点,而且在煤层层面周围延伸上范围加大,这主要是由于覆岩空间结构是拱结构,其拱脚作用范围远远大于基本顶作用范围。

(2) 拱脚作用区域具有动态和超前性

每一层关键层所形成的大结构,都是随着采场推进而不断移动的;大结构拱脚所形成的集中压力作用在采场前方的煤柱上,并不断向前移动,这是孤岛煤柱产生塑性变形的力源之一。

(3) 最终形成自稳定结构

空间大结构关键层整体性好,拱结构所需要的变形由关键层及其上软弱岩层共同完成。其中,软弱岩层变形最大,可能发生局部断裂;关键层更多为弹性变形和局部断裂塑性变形。

2.2.2 基本顶有限矿压结构特点分析

煤层基本顶(最低位关键层)所形成的拱结构为最小的覆岩关键层空间结构,其特点如下:

(1) 三维范围小,且为断裂岩层块体形成的空间拱结构。

(2) 基本顶拱结构对采场起到掩护作用,但其同时具有不稳定性,可能产生滑落失稳和变形失稳。

孤岛顶煤综放采场煤柱较小时,煤柱上方基本顶所形成的拱结构有三块结构和两块结构两种情况,

如图2所示。

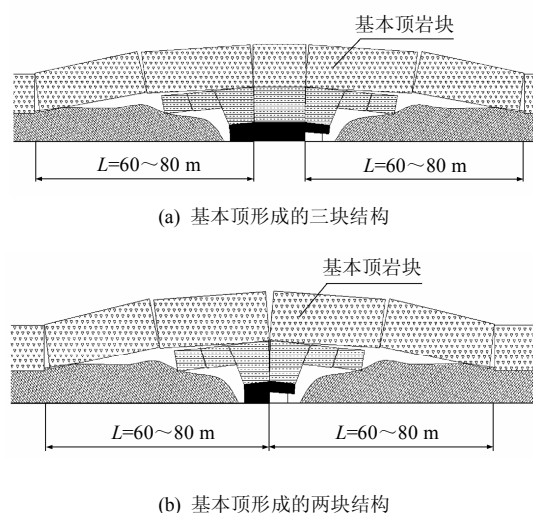


图2 基本顶结构类型图
Fig.2 Structure types of main roof

2.3 孤岛顶煤综放采场冲击矿压形成理论

在孤岛顶煤综放采场推采过程中,当工作面推进到一定位置时,综放采场覆岩空间结构类型从三面采空综放采场的C型覆岩空间结构发展到四面采空综放采场的 θ 型覆岩空间结构,参见图3采场不同开采阶段覆岩多层空间结构示意图。

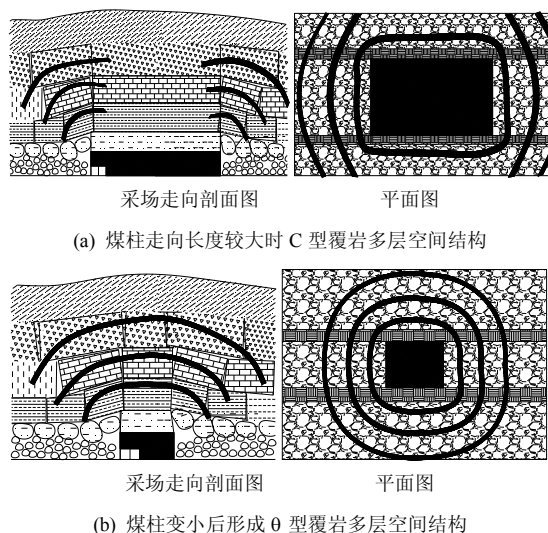


图3 采场不同开采阶段覆岩多层空间结构示意图
Fig.3 Schematic diagrams of overlying strata spatial structure of stope in different mining stages

在最上位关键层形成 θ 型覆岩空间结构后,由上而下,逐层关键层形成各自的 θ 型覆岩空间结构,最后由基本顶形成 θ 型空间拱结构。 θ 型空间结构的形成和失稳是造成冲击矿压发生的力源。

2.3.1 θ 型空间大结构形成过程

在孤岛顶煤综放采场推进到一定位置时,采场一侧动态的、最上位的C型关键层空间结构和已采顶分层侧静态的、最上位的C型关键层空间结构开始叠加形成最上位 θ 型空间拱结构。与此同时,C型关键层空间结构拱脚压力开始叠加,应力开始集中。当应力集中达到最大值,随着采场继续推进、孤岛顶煤煤柱的减小,集中应力开始向 θ 型空间拱结构的拱脚(在采空区)转移。在此期间,最上位关键层会有一个很小的沉降,其后 θ 型覆岩关键层自稳空间拱结构形成,承受自身和其上岩(土)层作用^[5]。

在两个C型空间结构叠加过程中,集中应力的叠加使得孤岛煤柱内裂纹逐渐延展、扩展,随着裂纹的扩展、发生、联通现象,煤柱强度降低,处于非稳定的双向受力状态。当煤柱塑性变形发展到一定程度,集中应力高于其极限强度时,煤柱发生急剧变形,形成冲击型矿压。

研究表明,C型空间结构在采场上下出口处的应力集中系数可达到7,而因 θ 型空间结构形成作用在孤岛煤柱上的集中应力要远大于7。

2.3.2 θ 型空间结构运动形成冲击矿压机理分析

在孤岛顶煤综放采场,当采场基本顶形成最下位 θ 型空间结构时,直接顶和顶煤都基本进入塑性流变状态,上位直接顶所形成的类拱结构已经失去承担部分直接顶重量的作用。随着工作面推进,基本顶块体可能产生滑落失稳,造成工作冲击矿压现象。图4为基本顶滑落失稳时作用在支架上力 P 的简化计算模型。

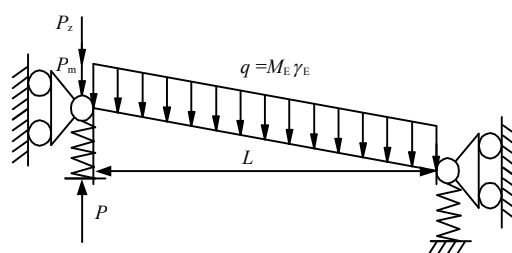


图4 基本顶滑落失稳支架作用力计算模型
Fig.4 Calculating model of support pressure caused by main roof slipping

基本顶滑落失稳时,支架受力 P 近似计算公式为^[2]

$$P = P_z + P_m + \frac{1}{2} L M_E \gamma_E / L_K \quad (1)$$

式中: P 为支架受力(kPa); M_E 为基本顶厚度(m);

L 为基本顶的触矸点距工作面煤壁的距离 (m); P_m 为单位面积顶煤压力 (kPa); P_z 为单位面积直接顶作用力 (kN/m^2)。其计算公式为: $P_z = \gamma_z M_z$, γ_z 为直接顶的重度 (kN/m^3), M_z 为直接顶厚度 (m); L_k 为支架控顶距 (m); γ_E 为基本顶的重度 (kN/m^3)。

举例说明冲击矿压程度。设煤层厚度为 8.0 m, 采厚为 2.5 m, 放厚为 5.5 m; 基本顶触矸点距离煤壁为 70.0 m, 顶煤重度为 13.5 kN/m^3 ; 直接顶厚度与基本顶厚度都取开采厚度的 2.5 倍, 即 20.0 m; 直接顶和基本顶重度都取 25 kN/m^3 ; 支架控顶距取 4.5 m。计算支架受力为

$$P = 25 \times 20 + 13.5 \times 5.5 + 0.5 \times 70 \times 20 \times 25 / 4.5 = 4\,463.14 \text{ kN/m}^2$$

按照支架宽度为 1.5 m、控顶距长度为 4.5 m 计算, 支架最大工作阻力要达到 30 126.20 kN。该工作阻力大概是目前最大的工作阻力和使用高度 ZF15000/27.5/42 型放顶煤液压支架工作阻力 15 000 kN 的两倍。因此, 一般综放支架难以承受此冲击压力, 必然造成冲击矿压事故。

3 冲击矿压灾害防治技术

3.1 冲击矿压灾害防治基本理论分析

现阶段, 冲击矿压防治理论主要有以下几个方面。

(1) 分段来压理论

覆岩空间结构大部分对称线是平行于工作面的, 其运动失稳可能造成工作面大面积同时来压, 且强度巨大。因而, 利用工作面长度控制工作面分段来压, 可减小来压强度, 避免工作面大面积来压造成矿压冲击事故。

(2) 综放采场基本顶结构失稳理论

随着工作面推进, 基本顶形成如图 2 所示的空间结构可能产生失稳。基本顶空间结构失稳形式有两种: 变形失稳和滑落失稳。要保持结构稳定必须使得结构岩块运动空间得到控制: 顶板的沉降量小于运动岩块稳定的允许沉降量。结构岩块运动空间大小决定于采空区的充填程度。

(3) 坚硬顶板预断裂理论

形成覆岩空间结构的主要载体是覆岩中的坚硬岩层, 通过对覆岩中坚硬岩层的提前爆破断裂, 可控制空间结构的形成规模以及失稳冲击强度等, 可有效地避免冲击矿压的发生。

3.2 冲击矿压灾害防治技术

覆岩空间结构形成、演变运动的理论分析是制

定防冲方案的前提。通过对孤岛顶煤综放采场开采条件: 煤层厚度、直接顶、基本顶及上位覆岩岩性的分析, 确定覆岩空间结构形成的基本条件, 在理论上预计覆岩空间结构及其运动规律, 并预计矿压显现规律, 这是制定防冲技术措施的基础。

根据冲击矿压形成机制及其防治理论, 主要有以下几个方面的防治措施。

(1) 分阶段降低放煤率

根据采场与顶分层工作面开切眼的距离, 分段调整顶煤放出率, 达到调整采空区充填程度的目的, 并最终达到控制覆岩空间运动结构形成规模及运动规律, 避免空间结构失稳造成冲击矿压事故。

当孤岛煤柱较小时, 顶煤放出率为 0。此时需根据采场综放支架支撑能力确定安全开采高度。

基本顶结构在采场上方失稳, 作用在采场支架上的是直接顶重量和基本顶一半力矩, 简化计算模型如图 5 所示^[2]。

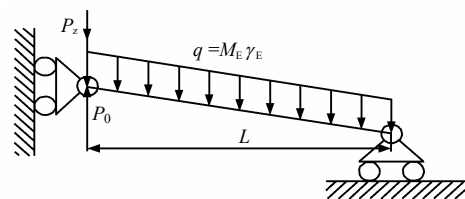


图 5 放煤率为 0 时支架受力计算模型
Fig.5 Calculation model of pressure on support with 0 rate of coal release

支架受力 P 为

$$P = P_z + \frac{1}{2} L M_E \gamma_E / L_k \quad (2)$$

假设采场支架受力 P 与支架最大工作阻力 P_0 相同; 开采高度为 H ; 一般情况下, 直接顶厚度 M_z 为 $2.5H$, 基本顶厚度 M_E 为 $3.5H$; 基本顶触矸点到工作面煤壁的距离 L 与煤层开采厚度 H 的近似关系为 $L = 8.75(H + 1)$; 取支架控顶长度为 4.5 m。将以上数据代入式 (2), 计算得开采高度 H 的表达式为

$$H = \frac{\sqrt{(3.4\gamma_E + 2.5\gamma_z)^2 + 13.6\gamma_E P_0 - (3.4\gamma_E + 2.5\gamma_z)}}{6.8\gamma_E} \quad (3)$$

(2) 工作面调斜

通过工作面调斜, 在不破坏覆岩空间结构的前提下造成工作面分段来压, 减轻来压强度和范围, 避免矿压事故。

(3) 改变回采工艺参数

提高推进速度调整采放比等参数可以提高采场推进速度, 加快覆岩空间结构形成, 相对减少孤岛煤柱上集中应力作用时间。

(4) 采用坚硬覆岩预爆泄压技术

通过对覆岩中坚硬岩层形成空间结构的理论分析, 确定坚硬岩层爆破参数。坚硬岩层分段爆破断裂后, 覆岩空间结构造成的岩层弹性能量积累条件消失, 最终冲击矿压形成的力源缺失, 覆岩中坚硬岩层的运动不会再形成冲击型矿压。

(5) 采用覆岩坚硬岩层破裂的微地震监测技术

近年来, 微地震监测技术在冲击矿压预测预报中的应用越来越多^[7-10]。

通过在井下采场附近布置微地震监测系统, 可以监测到覆岩中坚硬岩层的断裂区域或断层活化区

域, 这些区域都是最有可能形成冲击矿压的区域。根据所得到的信息, 可以提前爆破断裂该区域坚硬岩层, 同时加强采场支护和防冲管理, 防治冲击矿压事故。

4 孤岛顶煤综放采场工程实践

4.1 工程背景^[5]

2107₂ 孤岛综放面是常村煤矿二采区的综放工作面, 其走向长度为 1 300.0 m, 倾斜长度为 240.0 m。在走向上, 自开切眼开始 580.0 m 为厚煤层顶分层未采区, 外段 720.0 m 为 2107₁ 顶分层已采区。工作面上部为 2105、2103、2101 工作面以及一采区的采空区; 工作面下部为 2109、2111、2113 工作面采空区。

2107₂ 孤岛综放面平面图如图 6 所示。

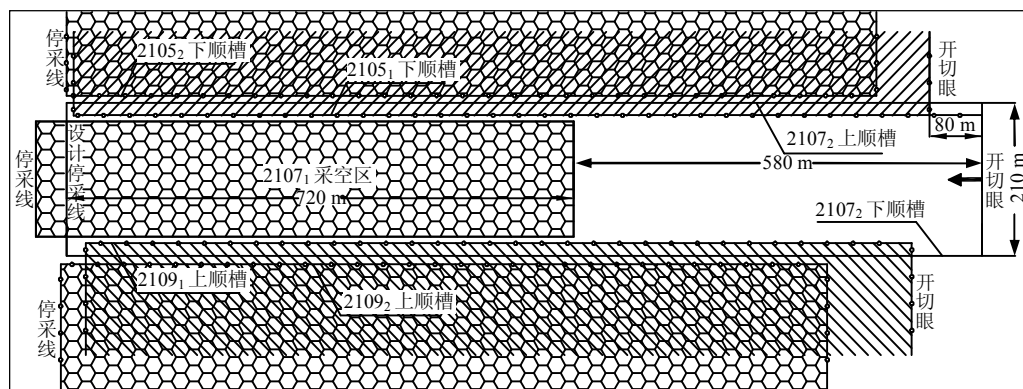


图 6 2107₂ 孤岛综放面平面图

Fig.6 Plan of 2107₂ fully mechanized sublevel caving face

工作面上方地表标高为+525.0~540.0 m, 开采标高为-5.0~+40.0 m。开采煤层平均厚度为 11.5 m, 煤层倾角平均为 12.5°。2107₁ 工作面顶分层开采厚度为 2.5 m; 2107₂ 综放面开采厚度为 2.5 m, 顶煤未采区域放煤厚度为 7.0 m, 已采顶分层区域放煤为 4.0 m。

2107₂ 孤岛面上、下两侧都有多个工作面采空区, 已经达到充分采动。图 7 示出了 2107₂ 孤岛面周围的采动情况平面图及砂岩体厚度变化情况。当 2107₂ 综放面向 2107₁ 面开切眼方向回采过程中, 采场覆岩巨厚砾岩 (200.0 m 以上) 在采场上方逐步形成 θ 型覆岩多层空间结构, 使该孤岛煤柱处于高支撑压力作用之下。

4.2 不同放煤率回采阶段的划分

(1) 正常放煤阶段

从开切眼开始回采, 综放采场正常放煤, 放煤率约为 85%。

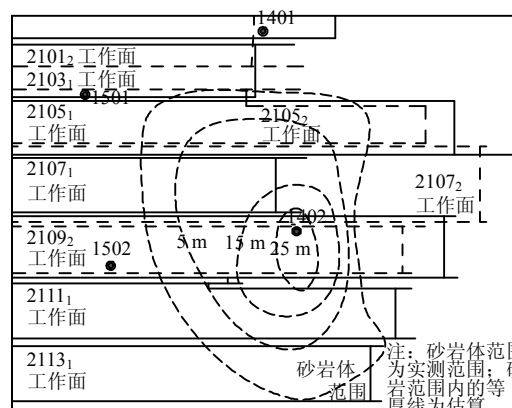


图 7 2107₂ 工作面布置图及上覆砾岩体分布特征

Fig.7 Layout of working face 2107₂ and distribution characteristics of its overlying conglomerate

(2) 降低放煤率阶段

巨厚砾岩岩层顶部距离煤层顶部平均高度 $h=520.0$ m, 取岩层走向移动角 $\delta=80^\circ$, 代入公式 $L \approx 2h \cot \delta$ ^[5], 有 $L \approx 2 \times 520.0 \times \cot 80^\circ \approx 183.4$ m。由此可

知,当采场剩余走向长度为 183.4 m 左右时,孤岛煤柱两侧两个 C 型砾岩层空间结构开始衔接,支承压力开始叠加。

巨厚砾岩岩层底部距煤层顶部平均高度为 280.0 m,有 $L \approx 2 \times 280.0 \times \cot 80^\circ \approx 98.7$ m。由此可知,当工作面走向剩余尺寸为 100.0 m 左右时,砾岩硬岩层空间结构支承压力叠加完成,达到最大峰值;当该状态下空间结构受压具有一定的下沉量 Δw 后,支承压力峰值快速下降,而拱结构内的挤压力大幅度迅速增加,砾岩岩层 θ 型空间结构基本形成。该结构形成后,将形成自稳结构,承担本岩层以及其上土层重量。其后,以下各个关键层不断形成 θ 型覆岩空间结构。孤岛煤柱不断受到集中压力作用,塑性变形程度逐渐加大。

由覆岩岩层构成可知,砾岩岩层所形成的集中压力作用在煤柱上是形成冲击矿压危险性最大的一个潜在因素,能否形成自稳结构是发生冲击矿压与否的决定因素,而下部岩层结构的失稳是诱发冲击地压的因素。

由以上分析,放煤率分为 3 个阶段:①第 1 阶段为正常放煤阶段;②第 2 阶段为降低放煤率阶段,该阶段从孤岛煤柱剩余 200 m 时开始调整顶煤放出率;第 3 阶段为剩余 100 m 时停止放煤。

4.3 不同放煤率阶段顶板运动规律分析

4.3.1 正常放煤阶段

放顶煤采场直接顶厚度受到顶煤放出率的控制,直接顶厚度 M_z 的计算公式^[11]为

$$M_z = \frac{0.8H + T(\eta - 0.2)}{K_A - 1} \quad (4)$$

式中: H 为采高 (m); T 为放煤高度 (m); η 为顶煤放出率; K_A 为矸石碎胀系数,一般取为 1.3。

将 2107₂ 工作面有关数据 $H=2.5$ m, $T=7.0$ m, $K_A=1.3$ 代入式 (4), 简化后得

$$M_z = 23.33\eta + 2 \quad (5)$$

放顶煤采场基本顶厚度计算的经验公式^[11]:

$$h = 6(H + \eta T) - M_z = 6(H + \eta T) - \frac{0.8H + T(\eta - 0.2)}{K_A - 1} \quad (6)$$

将 2107₂ 工作面有关数据代入上式, 简化后得

$$h = 13 + 18.67\eta \quad (7)$$

正常放煤阶段顶煤放出率 $\eta=85\%$, 计算直接顶厚度 $M_z=22.0$ m, 基本顶厚度 $h=29.0$ m。对照柱状图直接顶确定为 25.0 m, 其上 16.2 m 的泥岩岩层和 13.0 m 左右的砂岩互层为基本顶。

估算工作面正常放煤阶段支架受力

$$P = P_z + P_m = \left(\frac{1}{2} \sim 1 \right) M_z \gamma_z + T \gamma_m \quad (8)$$

式中: γ_m 一般取 $1.35 \times 10 \text{ kN/m}^3$ 。

将各参数代入式 (8), 得

$$P = 407.0 \sim 719.5 \text{ kN/m}^2 = 2 \ 747.25 \sim 4 \ 856.63 \text{ kN/架}。$$

工作面支架型号为 ZFS5500—18/28, 额定工作阻力为 5 500 kN。从理论计算来说, 支架是可以满足安全生产要求的。

工作面实测验证了以上计算的准确性。实测工作阻力小于 4 500 kN/架的占 96.20%, 最大工作阻力为 4 735.53 kN。由此可知, 所测得的最大、最小值和理论估算十分接近。

4.3.2 降低放煤率阶段

(1) 顶煤放出率的计算

分析煤层顶板覆岩组合, 6.7 m 厚的中砂岩硬度大, 断裂后形成的冲击对煤柱和采场支架危害性较大, 可确定该中砂岩为基本顶。其下方 10.5 m 厚的粗砂岩和没有放出的顶煤作为直接顶。

将顶煤厚度为 7.0 m、开采厚度为 2.5 m、碎胀系数为 1.3, 代入直接顶计算式 (5), 有 $10.05 + (1 - \eta) \times 7 = 23.33\eta + 2$, 计算后得 $\eta = 49.60\%$ 。

(2) 基本顶结构稳定性分析

当 $\eta = 49.60\%$ 时, 基本顶厚度 $h = 13 + 18.67\eta = 22.3$ m。由柱状图知, 组成基本顶的有 6.7 m 厚的中砂岩、8.4 m 厚的粉砂岩和 6.9 m 厚的泥岩。设中砂岩抗压强度为 75 MPa, 抗拉强度取为 4 MPa。

在此开采条件下, 基本顶结构在触矸点处下沉量^[9]为

$$SA_i = 0.2(H + \eta T) \quad (9)$$

式中: SA_i 基本顶在采空区触矸点处的下沉量; 下标 i 表示上覆岩层中由下向上所研究的岩层层位。

由式 (9) 可得, $SA_i = 1.2$ m。

基本顶周期来压步距, 即基本顶岩块长度^[12-13]为

$$l = \sqrt{\frac{h_1^2 \sigma_t}{3(h_1 + h_2)\gamma}} \quad (10)$$

式中: l 为基本顶岩块长度 (m); h_1 为基本顶中硬岩层厚度, 取 6.7 m; σ_t 为硬岩抗拉强度, 取 4 MPa; h_2 为基本顶中硬岩层上覆软岩的厚度, 取 15.3 m; γ 为基本顶平均重度, 取 25 kN/m^3 。

将各参数值代入式 (10), 可得 $l = 10.5$ m。

根据采场放顶煤开采覆岩破坏情况, 推断组成基本顶结构得的岩块为 3 块, 拱结构的跨度为

31.5 m 左右。基本顶结构保持整体变形稳定时, 岩块运动稳定允许的下沉量^[12-13]:

$$SA'_3 \leq \frac{5(h - \sqrt{h_1^2 + l^2 - (h_1^4 l^2 + 2h_1^2 l^4 + l^6)^{1/3}})}{4} \quad (11)$$

式中: SA'_3 为基本顶结构保持整体变形稳定时基本顶岩块运动允许的下沉量 (m)。

将相关数据代入式 (11), 其右项为 3.3 m。

顶板结构不产生滑落失稳的容许下沉量:^[12-13]

$$SA''_3 \leq \frac{5}{4} \cdot \left(\frac{7fh_1\eta_0\sigma_0 - \sqrt{12hw^2 - 10fh_1w\eta_0\sigma_0 + f^2h_1^2\eta_0^2\sigma_0^2} - 11w}{4} \right) \quad (12)$$

式中: SA''_3 为顶板结构不产生滑落失稳的容许下沉量 (m); η_0 为岩块端角挤压系数, 取 0.3; σ_0 为岩块单轴抗压强度, 取 75 MPa; $w = \gamma h_1 l$ 。

经计算, 式 (12) 右项为 8.1 m。

由此可知, 当顶煤放出率为 49.60% 时, 基本顶运动几何状态决定的下沉量 1.2 m 小于系统保持整体变形稳定所允许的下沉量 3.3 m 和顶板结构不产生滑落失稳所容许的下沉量 8.1 m。因而可以断定当顶煤放出率为 49.60% 时老顶结构是稳定的。

所以, 可以确定本阶段的顶煤放出率控制在 50% 以下。

(3) 顶煤放出率为 0 时开采高度的确定

当顶煤放出率为 0 时, 顶煤作为直接顶存在。将有关参数代入式 (3), 计算得开采厚度 $H=2.5$ m。

由此可以确定, 当工作面回采高度不大于 2.5 m 时工作面支架可以正常工作, 不会出现压垮支架现象。该开采高度与 2107₁ 顶分层工作面开采高度相同, 有利于覆岩形成对称的空间结构, 以及结构的自稳形成。

5 结 论

(1) 根据覆岩关键层的岩性、层位、范围等因素, 覆岩关键层空间结构分为覆岩空间大结构和基本顶有限矿压结构。

(2) 孤岛顶煤综放开采冲击矿压形成的机制在于: 孤岛顶煤综放采场 θ 型空间大结构形成过程是集中压力逐渐增加的过程, 是该时间段发生冲击矿压的力源; 当采场基本顶形成最下位 θ 型空间结构时, 随着工作面推进, 基本顶块体产生滑落失稳, 造成工作冲击矿压现象。

(3) 通过对分段来压理论、基本顶结构失稳理

论和坚硬顶板预断裂理论对覆岩关键层空间结构运动的控制作用研究, 提出采用覆岩空间结构理论分析、分阶段降低放煤率、坚硬覆岩预爆卸压技术、覆岩坚硬岩层破裂的微地震监测技术等方法预防冲击矿压的发生。

参 考 文 献

- [1] 徐永圻. 煤矿开采学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.
- [2] 姜福兴, 汪华君, 吴士良, 等. 综放采场支架异常压力的力源研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(5): 523—526.
JIANG Fu-xing, WANG Hua-jun, WU Shi-liang, et al. Study on the abnormal pressure on support in fully mechanized sublevel caving face[J]. **Journal of China Coal Society**, 2004, 29(5): 523—526.
- [3] 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, 23(1): 30—33.
JIANG Fu-xing. Viewpoint of spatial structures of overlying strata and its application in coal mine[J]. **Journal of Mining & Safety Engineering**, 2006, 23(1): 30—33.
- [4] 姜福兴, 王同旭, 汪华君, 等. 四面采空孤岛综放采场矿压控制的研究与实践[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(9): 1101—1104.
JIANG Fu-xing, WANG Tong-xu, WANG Hua-jun, et al. Research and practice on pressure control of sub-level longwall face surrounded by mined areas[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2005, 27(9): 1101—1104.
- [5] 汪华君. 四面采空采场 θ 型覆岩多层空间结构运动及控制研究[博士学位论文 D]. 青岛: 山东科技大学, 2006.
- [6] 姜福兴, 张兴民, 杨淑华. 长壁采场覆岩空间结构探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 975—984.
JIANG Fu-xing, ZHANG Xing-min, YANG Shu-hua. Discussion on overlying strata spatial structures of longwall in coal mine[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2006, 25(5): 975—984.
- [7] 成云海, 姜福兴, 张兴民, 等. 微震监测揭示的 C 型采场空间结构应力场[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 102—107.
CHENG Yun-hai, JIANG Fu-xing, ZHANG Xing-min, et al. C-shaped strata spatial structure and stress field in longwall face monitored by microseismic monitoring[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2007, 26(1): 102—107.