

文章编号:1000-582X(2007)08-0054-05

综放工作面顶煤承载能力和支架工作阻力的探讨

翟新献^{1,2}, 苏承东¹, 李仕明³, 刘中云³

(1. 河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南 焦作 454000;

2. 大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116023; 3. 义马煤业集团公司杨村煤矿, 河南 义马 472300)

摘要: 支架工作阻力计算是综放开采研究的主要问题之一。在对顶煤力学性质进行了实验室试验的基础上, 总结出顶煤破坏时的强度满足主应力表示的莫尔-库仑强度准则。根据综放工作面顶煤体的受力特点, 运用损伤力学应变等效原理, 建立了综放工作面控顶距内顶煤体受力力学模型。从顶煤体承载能力的角度, 研究综放面支架-顶煤体之间相互作用关系, 推出了支架工作阻力的理论计算公式。该模型较好地解释了综放工作面支架工作阻力随顶煤强度的提高而增加的矿山压力显现。研究结论对综放面支架工作阻力计算具有一定的理论指导意义。

关键词: 顶煤体; 综放工作面; 支架工作阻力; 损伤力学

中图分类号: TD355; TD313

文献标志码: A

经过在中国 20 多年的发展, 实践证明综放开采技术是一种高产高效、低能耗、安全, 经济效益明显的采煤方法, 同时存在采空区丢煤多, 工作面采出率低、煤尘大, 以及采空区自然发火等问题, 这些都与支架结构和型式有关。中国综放开采支架型式较多, 实施综放开采技术首先需要进行支架参数选择, 支架选型的核心问题是支架工作阻力的计算问题^[1]。顶煤体在综放工作面支架-围岩系统中起着关键性作用, 顶煤体的变形破坏是支架-围岩相互作用的结果^[2]。顶煤的变形特点符合宏观损伤力学原理。顶板岩层的变形压力引起了顶煤的变形, 并通过顶煤介质层将垂直变形压力传递到支架上, 因此支架载荷由顶煤体重力和顶板岩层促使顶煤体垂直变形压力两部分组成, 该模型解释了综放开采煤层愈软支架载荷愈小, 以及支架载荷并不与采厚成正比等综放开采矿压显现基本特点。但对于具体综放工作面, 受测试技术的局限, 损伤参数 D_k 、 D_c 的确定很难获得准确的数据, 因此该方法仅为综放开采支架工作阻力理论计算方法。吴健教授等在总结综放开采支架载荷的特点^[3], 应用了岩石力学的基本观点, 将顶煤的承载能力与顶煤的膨胀率联系起来, 提出了以煤壁处顶煤承载能力作为控顶距内顶煤的承载能力, 来计算综放工作面支架载荷 $P =$

$nBL_k\sigma_{1B}$ 。该方法较好地解释了综放面支架载荷与顶煤强度有直接关系等矿压显现规律。但由于顶煤性质不同, 需要进行大量的实验室试验和现场观测研究, 才能确定煤体支承压力和煤体膨胀率之间关系, 导致煤壁处顶煤承载能力 σ_{1B} 难以确定, 因此该方法在理论上可行, 实际应用困难, 难以在支架工作阻力计算中推广应用。

为此, 笔者首先对放顶煤工作面顶煤的力学性质进行了试验研究, 总结出顶煤承载能力与围压之间关系, 然后根据综放工作面顶煤体的受力特点, 运用损伤力学理论研究顶煤体的力学特性、支架与顶煤体的相互作用关系, 为放顶煤工作面支架工作阻力选择提供一定的理论指导。

1 顶煤力学特性试验

1.1 试验方法

试验所用煤样来自义马杨村煤矿中区 1313₂ 下分层放顶煤工作面, 煤样属于 2-1 煤层下分层。由于煤层裂隙比较发育、均质性较差, 为尽可能保持煤样原始状态, 从工作面煤壁上方取大尺寸的煤块, 块度尺寸长度 × 宽度 × 高度约为 800 mm × 800 mm × 800 mm。煤块升井后及时用石蜡封闭, 然后运到河南理工大学岩

收稿日期: 2007-03-25

基金项目: 国家重大自然科学基金项目(50534070/E04, 4063804/D0214)

作者简介: 翟新献(1963-), 男, 河南理工大学教授, 博导, 主要从事矿山压力方面研究工作, (E-mail) zhaixinxian@hpu.edu.cn。

石力学实验室。将2-1煤层煤样沿垂直层理方向加工成规格为 $\varphi 50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的园柱形标准试件13个,然后按照试验规程要求进行常规单轴压缩试验、常规三轴连续加载试验,以及模拟顶煤体的受力特征进行了煤样三轴卸围压试验。

1.2 煤样破坏方式

在单轴和三轴压缩(包括三轴卸围压)试验中,煤样均为脆性变形破坏,破坏方式主要有2种:张拉破坏和剪切破坏。在单向压缩条件下,煤样的破坏形式以沿着轴向的张拉-劈裂破坏为主。煤样的抗拉强度低,当拉应力达到煤样的抗拉强度极限时,就会产生众多沿轴向劈裂的破坏面,但张拉破坏实质为剪切滑移破坏,煤样的承载能力降低是由剪切滑移决定的。在三轴压缩试验时,煤样的破坏一般为剪切破坏,出现的单一破坏面倾斜贯穿试件的上面、侧面或下面,称为主控破裂斜面。该面将煤样分裂成2个基本块,主控破裂斜面与最大主应力呈一定的夹角,随着围压的增大,主控破裂斜面也变得愈光滑。

三轴压缩试验中,煤样在加载和卸载条件下具有不尽相同的剪切破坏方式。从材料的微观破坏机理讲,煤样在加载和卸载时微破裂的产生均是由拉、剪作用引起的,但在宏观上,较高围压时进行的连续加载试验中,煤样的破坏一般为剪切单一破坏形式,主控破裂斜面为较光滑的近视平面。在保持轴向和侧向应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)恒定时的卸围压试验中,煤样破坏常常具有

张拉-剪切复合型破坏方式,主控破裂斜面为凹凸不平的曲面;对于低围压下三轴加载试验,煤样也有同样的破坏方式如图1所示。

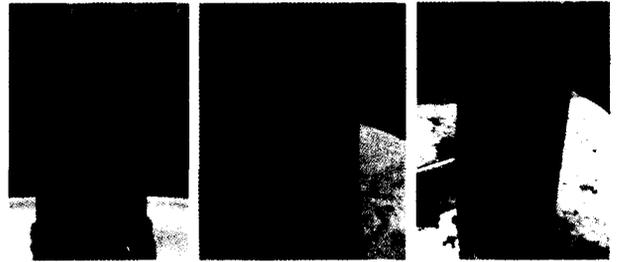


图1 三轴压缩试验时煤样破坏方式

1.3 煤样强度与围压之间关系

综放工作面前方的煤体处于三向受压应力状态下,工作面上方的顶煤通常处于三向受压应力状态,但有时处于双向受压甚至单向受压状态,而顶煤在不同应力状态下表现出的变形和强度有较大的不同。一般情况下,煤样的三轴抗压强度大于双轴抗压强度,双轴抗压强度大于单轴抗压强度,且煤样的三轴强度随着围压的增大而提高,两者大致成线性关系。

表1为在不同试验条件下煤样的试验结果和莫尔-库仑强度准则参数回归结果。由于按照莫尔-库仑强度准则进行线性强度回归时的相关系数 R 值较大: $0.85 \leq R \leq 0.97$,所以莫尔-库仑准则可以用来解释常规三轴压缩试验和三轴卸围压试验时煤样的破坏机理。

表1 在不同应力条件下煤样莫尔-库仑强度准则回归参数

回归方法	煤样编号	加(卸)载试验方法	莫尔-库仑强度准则回归参数				强度相关系数 R
			Q/MPa	K	$\Phi/(\text{°})$	C/MPa	
1	B5-B8	常规三轴压缩	35.24	2.33	23.5	11.55	0.97
2	B9-B13	三轴卸围压	29.04	2.15	21.4	9.90	0.85
3	B5-B8	常规三轴压缩	29.76	2.43	24.6	9.55	0.90
	B9-B13	三轴卸围压					
4	B1-B4	常规单轴压缩	20.82	3.08	30.7	5.93	0.96
	B5-B8	常规三轴压缩					
5	B1-B4	常规单轴压缩	21.33	2.67	27.1	6.52	0.89
	B9-B13	三轴卸围压					

莫尔-库仑强度准则认为岩石破坏是剪切破坏,若利用主应力 σ_1 、 σ_3 表示岩石的极限应力状态时,则莫尔-库仑强度准则形式为^[4]

$$\sigma_1 = Q + K\sigma_3, \quad (1)$$

式中, σ_1 为最大主应力,MPa; σ_3 为最小主应力,MPa; Q 为材料常数,表示煤样在完全剪切破坏时的单向抗压强度,MPa,可以通过不同围压下对煤样强度进行回归分析得到; K 为材料常数,表示围压对煤样轴向承载能力的影响系数。

图2为煤样强度与围压之间的试验结果。对常规三轴加载和三轴卸围压试验结果分别进行强度参数回归,如表1中的回归方法1、2所示。根据常规三轴加载试验和三轴卸围压试验结果,回归出煤样材料的内摩擦角 Φ 分别为 23.5° 和 21.4° ,两者仅相差 2.1° ;内聚力 C 分别为11.55、9.90 MPa,两者相差1.65 MPa;而其它试验方法组合以后进行回归以后,煤样的内聚力减小,但内摩擦角增大,会部分夸大围压对煤样强度的影响,但仍可以用来解释采矿工程问题。所以利用

主应力表示的莫尔-库仑强度准则,来表征煤样的轴向最大承载能力 T 与围压之间呈线性关系,可简写为 $T(Q, K)$ 的数组形式,它表明了给定煤样能够承载的最大轴向应力 σ_1 与围压 σ_3 之间成线性正变关系。

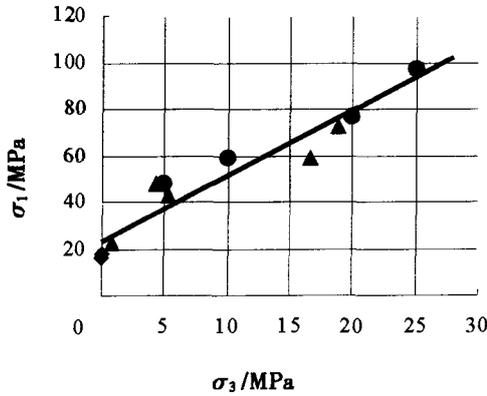


图2 不同围压条件下煤样强度

2 顶煤损伤力学分析

综放工作面顶煤材料是一种自然损伤材料,受综放工作面前方移动支承压力的作用,位于塑性变形区内特别是位于综放面控顶距内的顶煤发生二次损伤。如果损伤分布和材料性能的影响在损伤体空间各个方向上的差异不大,这时可以假定损伤在各个方向的影响都相同,将空间损伤问题简化为各向同性损伤问题,且损伤变量用一个标量来表示^[5]:

$$D = \frac{A_D}{A}, \quad (2)$$

式中, D 为损伤变量; A 为单元体任一横截面中微元的总面积, mm^2 ; A_D 为单元体截面面积 A 中出现微孔隙、微裂隙等缺陷,受损以后不能承载微元的总面积, mm^2 。

式(2)中单元体横截面面积趋向于零时, D 的极限值称为单元体的损伤变量。由于单元体面积微小,有时将单元体损伤变量又称为微元体损伤变量,两者可以互用。损伤变量 D 的变化范围为: $0 \leq D \leq 1$ 。当 $D = 0$ 时,表示单元体未受损伤,处于弹性变形状态;当 $D = 1$ 时,表示单元体横截面上全部为微孔隙、微裂隙,材料处于完全损伤破坏状态,此时单元体不能承受载荷,这是一种理想状态;实际上当 $D < 1$ 时,单元体就有可能断裂,失去承载能力,单元体就已经发生破坏。

当单元体某一横截面上出现了损伤面积时,由于其损伤面积内不能承受载荷,因此在单元体横截面上能有效地承受载荷的面积即实际承载面积将减小,导致横截面上实际承受的应力升高,该应力称为有效应

力。损伤单元体在不考虑横截面上损伤面积影响的条件下,计算出来的截面上应力属于表观应力(名义应力),有效应力与名义应力之间有下列关系^[6]:

$$\sigma_i^* = \frac{\sigma_i \cdot A}{A - A_D} = \frac{\sigma_i}{\frac{A - A_D}{A}} = \frac{\sigma_i}{1 - \frac{A_D}{A}}; \quad (3)$$

$i = 1, 2, 3。$

式中, σ_i^* 为有效应力, MPa ; σ_i 为名义应力, MPa 。

将式(2)代入式(3),得到有效应力与名义应力之间关系式:

$$\sigma_i^* = \frac{\sigma_i}{1 - D}。 \quad (4)$$

2.1 顶煤体受力分析

根据损伤力学的应变等效原理可知,损伤材料在有效应力作用下产生的变形与同等材料在无损伤时发生的应变等效。因此将作用在综放工作面顶煤体上的应力用有效应力来表示,则顶煤体的塑性变形可以转化为按弹性变形进行受力分析。

在综放工作面控顶距内,沿工作面方向上取单位宽度的顶煤体,顶煤体边界面上作用的面力用有效应力表示。设顶煤体在上、下边界面上作用的面力为 σ_y^* , 在左、右边界面(采空区侧)上作用的面力为 $\sigma_{x_1}^*$ 、 $\sigma_{x_0}^*$;沿综放工作面方向上作用的面力为 σ_x^* , 由此建立综放工作面顶煤体受力学模型,如图3所示,从而将顶煤体在塑性变形区的受力变形问题,转化为弹性力学的平面应变问题。

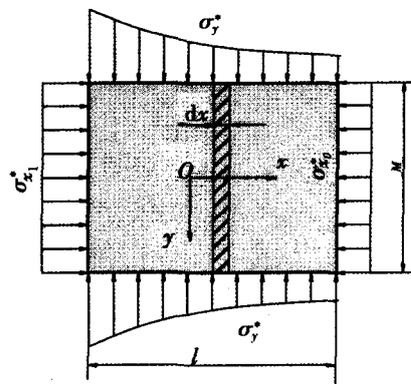


图3 综放工作面顶煤体受力模型

从顶煤体中任取一个顶煤单元体,单元体受力模型如图4所示,设单元体上、下面和左、右面上受到的正应力分别为 σ_y^* 和 σ_x^* 、剪应力分别为 τ_{yx}^* 和 τ_{xy}^* , 则单元体上外法线 N 与 x 轴夹角为 α 的任一斜面 AB , 其方向余弦分别为^[7]

$$\cos(N, x) = \cos\alpha, \cos(N, y) = \cos(90^\circ - \alpha) = \sin\alpha,$$

则斜面 AB 上的正应力和剪应力分别为

$$\left. \begin{aligned} \sigma_N^* &= \sigma_x^* \cos^2 \alpha + \sigma_y^* \sin^2 \alpha + 2\tau_{xy}^* \cos \alpha \cdot \sin \alpha \\ \tau_N^* &= (\sigma_y^* - \sigma_x^*) \cos \alpha \cdot \sin \alpha + \tau_{xy}^* (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \end{aligned} \right\} \circ \quad (5)$$

将式(5)化简后得:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_N^* &= \sigma_x^* \cos^2 \alpha + \sigma_y^* \sin^2 \alpha + \tau_{xy}^* \sin 2\alpha \\ \tau_N^* &= \frac{1}{2}(\sigma_y^* - \sigma_x^*) \cdot \sin 2\alpha + \tau_{xy}^* \cdot \cos 2\alpha \end{aligned} \right\} \circ \quad (6)$$

式中, σ_x^* 、 σ_y^* 和 τ_{xy}^* 为分别为单元体在垂直于 x 、 y 轴平面上的正应力和剪应力, MPa; σ_N^* 、 τ_N^* 为斜面 AB 上的正应力和剪应力, MPa。

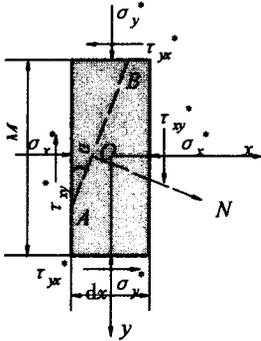


图4 顶煤单元体受力计算

阳泉大试块煤样三轴压裂试验结果表明^[8], 大煤样破坏形式为剪切滑移破坏, 剪切滑移面即主控破裂斜面将贯穿整个试块, 从试块上边界面一直延深扩展到试件的侧面。放顶煤工作面顶煤体的垮落属于剪切滑移失稳, 因此当单元体上斜面 AB 处于顶煤体的主控破裂面位置, 且顶煤体达到极限平衡状态时, 斜面上的应力之间满足莫尔-库仑强度准则, 即主控破裂面上的应力之间满足下列关系:

$$\tau_N^* = \sigma_N^* \tan \varphi + C, \quad (7)$$

式中, φ 为顶煤煤质材料的内摩擦角, 单位为角度; C 为顶煤煤质材料的内聚力, MPa。

将式(6)代入式(7), 得

$$\frac{1}{2} \sin 2\alpha \cdot (\sigma_y^* - \sigma_x^*) + \cos 2\alpha \cdot \tau_{xy}^* =$$

$$(\sigma_x^* \cos^2 \alpha + \sigma_y^* \sin^2 \alpha + \sin 2\alpha \cdot \tau_{xy}^*) \tan \varphi + C。$$

化简后得

$$\sigma_y^* = \sigma_x^* \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot \alpha}{\cos(\alpha + \varphi)} + \tau_{xy}^* \cdot \frac{\sin(2\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} + C \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)} \circ \quad (8)$$

在式(8)中, 当 $\tau_{xy}^* = 0$ 时, 顶煤微元体中的应力 σ_y^* 、 σ_x^* 将分别转化为主应力 σ_1^* 、 σ_3^* , 然后将 $\sigma_y^* =$

$$\sigma_1^* = \frac{\sigma_1}{(1-D)}, \sigma_x^* = \sigma_3^* = \frac{\sigma_3}{(1-D)}$$
 代入式(7), 化简后得

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_3 \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot \alpha}{\cos(\alpha + \varphi)} + \\ &C \cdot (1 - D) \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin \alpha \cos(\alpha + \varphi)} \circ \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式(9)为综放工作面顶煤体处于极限状态时满足的应力平衡条件, 即维持主控破裂斜面处于极限状态时, 顶煤体上正应力、剪应力和顶煤煤质材料力学性质之间的定量关系式。顶煤体所受的铅垂应力 σ_y^* 称为顶煤体承载能力, 它与顶煤体水平应力(有时称为顶煤体围压或水平约束力) σ_x^* 呈线性正变关系; 顶煤受的水平约束力越大, 顶煤主控破裂斜面两侧煤体产生相对滑动时, 所需要的顶板垂直压力也越大, 顶煤的承载能力越高; 当水平约束力一定时, 顶煤的承载能力主要取决于顶煤煤质材料的力学性能。

所以对于具体地质开采条件下的综放工作面, 煤质材料的力学参数(C 、 φ)不变, 则综放面控顶距内沿工作面方向单位宽度顶煤体的承载能力为^[9]

$$P_0 = \int_0^l \sigma_1 \cdot 1 \cdot dx = \int_0^l \sigma_1 dx, \quad (10)$$

式中, P_0 为顶煤体的承载能力, MN/m; l 为控顶距, m。

将式(9)代入式(10)得:

$$P_0 = \int_0^l \sigma_3 \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot \alpha}{\cos(\alpha + \varphi)} dx + \int_0^l C \cdot (1 - D) \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)} dx。$$

化简得

$$P_0 = \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot \alpha}{\cos(\alpha + \varphi)} \int_0^l \sigma_3 dx + C \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)} \int_0^l (1 - D) dx。 \quad (11)$$

假设综放工作面从煤壁到顶煤垮落面之间, 顶煤体所受的水平约束力 σ_3 按线性递减规律变化。同样顶煤体损伤变量 D 按线性规律递减, 在煤壁处顶煤无损伤 $D = 0$, 在控顶距末端顶煤垮落以后完全损伤 $D = 1$ 。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_3 &= \sigma_1 - \frac{\sigma_{x_1} - \sigma_{x_0}}{l} \cdot x \\ D &= \frac{x}{l} \end{aligned} \right\} \circ \quad (12)$$

式(12)中 σ_{x_1} 为综放面煤壁处顶煤单元体所受的水平约束力, MPa; σ_{x_0} 为综放面顶煤垮落面处顶煤单元体所受的水平约束力, MPa; x 为综放面控顶距内任一位置的顶煤体单元体到煤壁的水平距离, m。

将式(12)代入式(11), 得

$$P_0 = \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot \alpha}{\cos(\alpha + \varphi)} \int_0^l (\sigma_{x_1} - \frac{\sigma_{x_1} - \sigma_{x_0}}{l} x) dx +$$

$$C \cdot \frac{\cos\varphi}{\sin\alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) dx。$$

整理后得,综放工作面顶煤体承载能力:

$$P_0 = (\sigma_{x_0} + \sigma_{x_1}) \cdot l \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot\alpha}{2\cos(\alpha + \varphi)} + l \cdot \frac{C \cdot \cos\varphi}{2\sin\alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)}。 \quad (13)$$

2.2 综放工作面支架工作阻力分析

综放面顶煤体承载能力为顶煤体承受的载荷,它直接作用在顶煤体下方的支架上和煤壁前方的截割体上,引起放顶煤支架工作阻力的升高;支架工作阻力随顶煤承载能力的提高而增大,二者成正变关系。式(13)为综放面控顶距范围内顶煤体处于极限平衡状态时,顶煤体的极限承载能力即顶煤体承载能力 P_0 ,该载荷主要由综放面支架承受,所以从有利于综放面安全角度出发,认为支架的工作阻力应等于顶煤体极限承载能力,即

$$R = B \cdot P_0 = B \cdot (\sigma_{x_0} + \sigma_{x_1}) \cdot l \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot\alpha}{2\cos(\alpha + \varphi)} + B \cdot l \cdot \frac{C \cdot \cos\varphi}{2\sin\alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)}。$$

式中, R 为支架工作阻力, MN; B 为支架中心距, m。

整理得综放工作面支架工作阻力

$$R = Bl \cdot \left[(\sigma_{x_0} + \sigma_{x_1}) \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi) \cdot \cot\alpha}{2\cos(\alpha + \varphi)} + C \cdot \frac{\cos\varphi}{2\sin\alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)} \right]。 \quad (14)$$

在一定的地质条件下,放顶煤工作面顶煤体的厚度和围岩参数保持不变时,由式(14)中可以得出综放工作面支架载荷的特点:

1) 支架工作阻力与顶煤体所受的水平应力(约束力)成正比,顶煤体承载能力随着水平约束力的增加而增大。放顶煤后顶煤体后方受到垮落散体顶煤的水平约束力 σ_{x_1} 明显下降,这时顶煤承载能力将减小,表现在支架工作阻力下降,这种降阻现象已被综放工作面支架工作阻力特性所证实。当直接顶强度较低容易垮落时,垮落后矸石的块度较小,矸石的随动性一般较好,容易充填顶煤放出以后的空间,对顶煤体施加水平约束力时;在这样条件下顶煤体承载能力较高,具体表现在支架静载荷较大。反之当直接顶较坚硬、强度较高,呈现明显的周期性垮落时,垮落后矸石块度较大,其随动性较差,难以与顶煤同步运移;该条件下垮落的直接顶矸石对顶煤体的水平约束力较小,因此顶煤承载能力较小,这就是坚硬顶板综放开采时支架工作阻力,小于顶分层综采开采时支架工作阻力的主要原因。

2) 支架工作阻力随顶煤强度的提高而增大。顶

煤煤质材料的内聚力 C ,在一定程度上反映综放面控顶距内顶煤体整体强度的高低。内聚力越大,顶煤体承载能力越高,顶煤的整体完整性越好。

3 结 论

1) 通过综放工作面顶煤进行的常规单轴压缩试验、常规三轴连续加载试验,以及三轴卸围压试验结果表明:在三轴压缩试验时,煤样在宏观上的破坏一般为剪切破坏。煤样破坏时的强度满足主应力表示的莫尔-库仑强度准则,可简称为 $T(Q, K)$ 的数组形式,它表明了给定煤样能够承载的最大轴向应力 σ_1 与围压 σ_3 之间成线性正变关系。

2) 综放工作面顶煤是一种自然损伤材料,受采动影响后假定损伤在各个方向的影响都相同,根据损伤力学的应变等效原理,将顶煤体在塑性变形区的受力变形问题,转化为弹性力学的平面应变问题,建立综放工作面控顶距内顶煤体受力力学模型。从顶煤承载能力的角度,研究综放面支架-顶煤体之间相互作用关系,推导出了支架工作阻力的定量计算公式。该模型较好地解释了以下 2 点:① 支架工作阻力与顶煤体所受的水平约束力成正比,顶煤体承载能力随着水平约束力的增加而增大;② 支架工作阻力随顶煤强度的提高而增大。研究结论对综放面支架合理工作阻力选择具有一定的理论价值。

参考文献:

- [1] 张顶立, 钱鸣高. 综放工作面围岩结构分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(4): 320-326.
- [2] 闫少宏. 放顶煤开采支架工作阻力的确定[J]. 煤炭学报, 1997, 22(1): 13-17.
- [3] 吴健, 张勇. 综放采场支架-围岩关系的新概念[J]. 煤炭学报, 2001, 26(4): 350-355.
- [4] 尤明庆. 岩石试样的强度及变形破坏过程[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [5] 谢和平. 岩石混凝土损伤力学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [6] 李兆霞. 损伤力学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [7] 徐芝纶. 弹性力学简明教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 12-13.
- [8] 樊运策. 综合机械化放顶煤开采技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [9] 翟新献. 下分层综放顶煤损伤变形和岩层移动规律研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2005.

- [2] GB50034-2004. 建筑照明设计标准[S].
- [3] 姚润明, KOEN STEEMERS, NICK BAKER, 等. 能效建筑规划设计方法[J]. 建筑学报, 2004, (8): 62-64.
- [4] LYNES J A, LITTLEFAIR P J. Lighting energy savings from daylight: estimation at the sketch[J]. Lighting Research Technology, 1990, 22(3): 129-137.
- [5] RUNMING YAO, NICK BAKER (YAO R. EDT). Lighting energy saving due to the use of direct sunlight, Proceeding of "Sustainable built environment and construction" on the International Conference on Asia - Europe Sustainable Urban Development, 4 - 6 April 2006 [C]. Chongqing: ISBN0 - 903248-03-4.
- [6] TREGENZA P R. Mean daylight illuminance in rooms facing sunlit streets[J]. Building and Environment, 1995, 30(1): 83-89.
- [7] CARLO RATTI. Urban analysis for environmental prediction, PhD dissertation[D]. Cambridge: University of Cambridge, 2002.

Dynamic Calculating Method of Internal Illuminance

LIU Hong^{1,2}, LI Bai-zhan^{1,2}, YAO Run-ming³

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment, Ministry of Education, Chongqing 400030, China; 2. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 3. Department of Construction Management and Engineering, University of Reading, Reading, UK)

Abstract: This paper introduces a dynamic calculating method of internal illuminance. It can save artificial lighting energy consumption in buildings by predicting daylighting potential. Based on the modified Tregenza's average room illuminance model, the daylighting potential can be predicted by inputting the data such as room dimension, orientation, glazing area, shading device, reflection factors, urban horizontal angle, hourly solar radiation and lumenance efficacy. A computer program has been coded with Visual Basic language and a simulation for a room in Beijing has been conducted with five basic shading devices. The results show that it can be used to predict the potential of daylight in the building strategic design stage.

Key words: illuminance; shading device; daylighting potential; building energy saving

(编辑 姚飞)

(上接第58页)

Bearing Capacity of Top-coal Body and Working Resistances for Supports in Coal Faces with Sublevel Caving

ZHAI Xin-xian^{1,2}, SU Cheng-dong¹, LI Shi-ming³, LIU Zhong-yun³

(1. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China; 3. Yangcun Colliery, Yima Coal Group Co. Ltd., Yima 472300, China)

Abstract: The calculation on working resistances of supports has been one of key research questions for coal faces with sublevel caving. Based on experimental results of mechanical property of top-coal, it is the top-coal failure strength meeting Mohr-Coulomb Theory that is summed up. According to force characteristic of top-coal body in coal face with sublevel caving, using strain-equivalent principle of Damage Mechanics, the authors set up bearing mechanical model for top-coal body within face width. From the top-coal bearing capacity point of view, the interaction relationship between supports and top-coal body is studied. Theoretical calculation formula on working resistance of supports is deduced. Ground press behaviors which working with resistances of supports are increased with top-coal strength increment were better explained with this model. The conclusions have a definite direction value for calculating working resistances of supports in coal faces with sublevel caving.

Key words: top-coal body; coal face with sublevel caving; working resistance of support; damage mechanics

(编辑 姚飞)