

第四届煤矿采场矿压理论与实践讨论会论文汇编

第四届 煤矿采场矿压 理论与实践讨论会 论文汇编

矿山压力编辑部 编

中国矿业大学出版社

TD3-53

1
3

第四届煤矿采场矿压 理论与实践讨论会 论文汇编

《矿山压力》编辑部 编

中国矿业大学出版社



B 83034

内 容 提 要

本书为全国第四届煤矿采场矿压理论与实践讨论会论文汇编,共收集了与会专家学者及工程技术人员科研论文52篇,主要论述了上覆岩层的运动规律及其支承压力分布,采场支架与围岩的力学关系,放顶煤开采的矿压显现,开采方法与支护改革,采区巷道矿压等方面近几年的最新研究成果,涉及了采场矿压的各个领域,内容丰富,理论联系实际,具有较高的学术水平和实践意义,可做煤炭院校大中专师生、煤矿现场工程技术人员科研、学习的参考材料。

主 编 李鸿昌
责任编辑 姜志方
技术设计 杜锦芝
责任校对 周俊平

第四届煤矿采场矿压理论 与实践讨论会论文汇编 《矿山压力》编辑部 编

中国矿业大学出版社出版 发行
江苏省新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷
开本787×1092毫米1/16 印张15.5 字数372千字
1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷
印数: 1—1000册

ISBN 7-81021-266-4

TD·61

定价: 16.00元

前 言

煤矿采场矿压理论与实践讨论会是煤炭工业矿山压力情报中心站定期举办的并受到我国矿压界关注与支持的传统学术活动。这项活动具有很大的吸引力,已被我国矿压界教授、专家、学者和工程技术人员所接受,成为他们定期发表论著和进行学术争鸣的论坛。

讨论会每隔两年举行一次,它的富于节奏的活动充分显示出我国煤矿采场矿压理论与实践的研究新成果和我国煤矿采场矿压工作发展的新趋势,它对形成具有我国特色的矿压理论与实践有着积极的推动作用。每届讨论会的论文汇编将成为我国采场矿压研究工作发展历新的新记录。

第四届煤矿采场矿压理论与实践讨论会是1987年8月1日至5日在北京煤矿机械厂召开的。

讨论会表明,煤矿采场矿压理论与实践研究在前三届讨论的基础上,又有了新的进展。各学派通过各自的实践,使研究工作延伸到新的领域。矿压理论用于指导工程实践方面也取得了广泛的进展。讨论会还表明,一大批年青有为的矿压研究工作已经脱颖而出,这是十分令人欣慰的,它反映出我国煤矿采场矿压理论和实践研究的兴旺发达的局面。为了肯定他们的研究成果,鼓励他们锲而不舍的治学精神和躬于实践的不懈努力,讨论会在他们中间进行了优秀论文的评选。可以认为,这项活动会产生积极影响。

第四届煤矿采场矿压理论与实践讨论会论文汇编共收入论文32篇。其中,上覆岩层的运动规律及支承压力分布方面9篇;采场支架与围岩的力学关系方面7篇;放顶煤开采的矿压显现方面4篇;开采方法与支护方面5篇;采区巷道矿压方面6篇。

这些论文涉及了采场矿压的各个领域,内容丰富,理论结合实际,具有较高的学术水平 and 实践意义。本汇编是我国矿压界近期发展阶段在学术研究和具体实践方面取得的丰硕成果,特编辑出版,以策读者。编辑工作如有疏漏之处,尚希指正。

本论文汇编的出版得到中国统配煤矿总公司生产局的大力支持,在此表示衷心感谢。

编辑部

1988年6月

目 录

第一部分 上覆岩层的运动规律及支承压力分布

长壁工作面老顶破断的计算机模拟	朱德仁 钱鸣高 (3)
用煤体松动爆破减硬顶板来压强度的探讨	朱德仁 徐林生 钱鸣高 (13)
老顶岩层板结构断裂规律	蒋金泉 宋振骥 (23)
老顶来压步距及断裂位置	岑传鸿 高寿宝 (31)
老顶来压过程及矿压显现的动态变化	石平五 (36)
煤层压力注水后采场矿压规律的研究	赵阳升 (44)
采区上覆岩层移动与采场矿压分布	王振安 (51)
采场围岩多种力学结构形式分析	曹树刚 (62)
徐州矿区东部 8 层煤顶板运动与矿压显现规律	周廷振 (68)

第二部分 采场支架与围岩的力学关系

综采工作面直接顶的端面冒落	钱鸣高 殷建生 刘双跃 (73)
采场支架与多岩梁老顶总体运动间的力学关系	宋振骥 蒋宇静 宋杨 (83)
提腿支架与围岩相互作用的研究	李鸿昌 朱诗顺 (91)
坚硬顶板支架与围岩关系	费喜荣 (98)
倾斜长壁采场力学模型及支架工作阻力的分析	宋元明 汪理全 (102)
采场支架与围岩相互作用的基本原理	张延涛 (108)
运用曲面拟合法研究围岩变形对长壁工作面支架负载的影响	王祝汉 (114)

第三部分 放顶煤开采的矿压显现

放顶煤开采的矿压显现及其破煤作用	王庆康 刘新河 刘武皓 李五文 (123)
放顶煤开采的顶煤活动规律及矿压显现	吴 健 (130)
对综采放顶煤工艺中几个问题的看法	查明涛 (137)
急倾斜特厚煤层采用推移顶梁液压支架放顶煤的几点体会	王利民 (143)

第四部分 开采方法与支护改革

厚煤层开采和合理支护	乔福祥 (151)
厚煤层大采高综采途径的研究	李鸿昌 刘凤权 (155)
切顶支柱采面矿压特点及参数研究	赵宏球 (163)
坚硬顶板特厚煤层分层开采的相似模拟研究	靳钟铨 (171)

柏林煤矿K ₁₈ 煤层采场矿压显现规律及顶板类型.....	袁宗权 唐建新(179)
论抚顺特厚煤层分层水砂充填工作面的支护改革.....	齐东洪(187)

第五部分 采区巷道矿压

煤帮极限承压力的计算分析.....	侯朝炯 马念杰(199)
采准巷道可缩性梯形矿用工字钢支架的研制.....	吴健 邱远新(208)
沿空留巷支护与围岩相互作用关系的新概念.....	吴健 赵士昌(213)✓
缓斜近距煤层开采底板应力分析.....	任德忠 陶连金(222)
复合岩层的力学性质实验研究与矿压显现验证.....	邱贤德 肖长富 吴刚(228)
连续采煤机房柱式采煤方法掘巷期间的矿山压力研究.....	刘明远 李芳成(233)

附 录

第四届煤矿采场矿压理论与实践讨论会会议纪要.....	(239)
第四届煤矿采场矿压理论与实践讨论会荣誉论文名单.....	(241)

第一部分 上覆岩层的运动规律及支承压力分布

长壁工作面老顶破断的计算机模拟

中国矿业大学 朱德仁 钱鸣高

长壁工作面开采过程中必然要造成顶板岩层的活动与破断,而回采空间又必须在岩层破断过程中,以及破断以后保持良好的维护状况。因此,为保证生产的正常进行和采矿人员的安全,一定要研究顶板岩层的破断规律、特征以及可能的控制途径,形成了煤矿生产中特有的岩石力学问题。

顶板岩层的破断规律可以根据各岩层的岩性、层位不同分成两类,一是老顶的破断规律,二是直接顶的规律。本文主要研究老顶的破断规律。

一、研究基础

研究老顶破断规律的基础是建立符合老顶赋存与支承条件的力学模型和确定合理的破断准则。

1. Winkler弹性基础上Kirchhoff板力学模型

在一般条件下,长壁工作面的长度约100~200m,反映老顶破断性质的主要参数——工作面初次来压步距约30~50m(部分具有坚硬顶板的工作面可达到100m),老顶的分层厚度一般为2~4m。按照弹性薄板的假设条件,其厚度与宽度之比应小于1/4,则暴露的老顶与上部岩层离层时,或层间摩擦力很小时,可以视为弹性薄板,即Kirchhoff板。支承老顶的直接顶和煤层是弹性介质,鉴于矿山压力研究只求宏观控制,因此可以假设它们符合Winkler弹性基础假设条件。

根据以上两个假设条件,在各种边界条件下的老顶与支承它的直接顶、煤层力学体系可简化为Winkler弹性基础上的Kirchhoff板,这就是本文所建立的力学模型,用它研究老顶破断规律有以下优点:

(1) 采用“板”代替“梁”的假设条件,可以从整体上研究老顶破断的起始、发展的全过程,也可以了解它破断后的空间结构形式;

(2) 把老顶和支承它的直接顶、煤层视为一个力学体系,能深入探讨它们各自的力学性质与它们的力学状态之间的相互影响;

(3) 既简化了采场的真实三维空间问题,又不失去所研究对象的主要特征,使相似材料和计算机模拟容易实现。

2. 破断准则

(1) 老顶破断是拉伸破坏,裂缝首先发生在老顶内拉应力最大,并达到抗拉强度极限的部位,裂缝方向与最大拉应力相垂直,沿最大拉应力正交迹线扩展;

(2) 裂缝形成、扩张与伸展是一个由微观到宏观, 由缓慢到迅速的时间过程, 扩展速度取决于裂缝周围的应力环境。

综上所述, 采用 Winkler 弹性基础上 Kirchhoff 板的力学模型和拉伸破断准则是本文研究老顶破断规律的基础。

二、老顶破断的计算机模拟方法

根据 Winkler 弹性基础上 Kirchhoff 板的基本力学方程和老顶破断过程相似材料模拟试验的结果, 本文设计了 FEAEBP 老顶破断分析的有限元方法, 并编制了相应的计算机源程序, 在 IBM-4341 机上得到了实现。

FEAEBP 分析采用 8 节点矩形薄板有限单元混合作为基本计算方法 (如图 1-1-1 所示)。单元基本未知量列阵为

$$\begin{Bmatrix} W_n \\ M_n \end{Bmatrix} = [W_1 \ W_2 \ W_3 \ W_4 \ W_5 \ W_6 \ W_7 \ W_8]^T \quad (1)$$

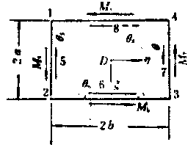


图 1-1-1 8 节点矩形单元

式中: W_n ——单元的角点挠度;

M_n ——单元边中点的分布弯矩。

与式 (1) 所对应的基本物理量列阵为

$$\begin{Bmatrix} F_n \\ \theta_n \end{Bmatrix} = [F_1 \ F_2 \ F_3 \ F_4 \ 2a\theta_5 \ 2b\theta_6 \ 2a\theta_7 \ 2b\theta_8]^T \quad (2)$$

式中 F_n ——单元角点的法向力;

θ_n ——单元边中点的法向转角;

a, b ——单元边长的 1/2。

它们的关系为

$$\begin{Bmatrix} K_{FF} & K_{FM} \\ K_{MF} & K_{MM} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_n \\ M_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_n \\ \theta_n \end{Bmatrix} \quad (3)$$

式中 K_{FF} 是刚度子矩阵, 根据势能原理建立; K_{FM} 是几何子矩阵, 根据位移场建立; K_{MF} 也是几何子矩阵, 根据力和力矩平衡关系建立; K_{MM} 是柔度子矩阵, 根据余能原理建立。

基本计算方法中, 单元关系矩阵合成总关系矩阵, 一般边界约束条件的处理, 单元载荷向角点转移, 以及求解大型线性方程组的方法, 都与通常的有限元分析方法类似。

FEAEBP 分析方法的主要特点在于引入了老顶周边 (或部分边界) 的弹性基础, 和增添了步长追踪、破断追踪分析过程, 从而突出了煤矿岩石力学问题的特征。

1. 弹性基础边界的引入

根据 Winkler 弹性基础的假设条件

$$p = -kw \quad (4)$$

式中 p ——弹性基础单位面积的弹性反力;

k ——弹性基础的弹性系数;

w ——弹性基础内任意点的挠度。

可推导位于弹性基础上老顶单元受到的弹性反力向角点转移值 $\{P_n\}$

$$\{P_n\} = -k \int [N]^T [N] d\zeta d\eta \cdot \{W_n\} \quad (5)$$

式中 $[N]$ ——矩形单元的位移形函数

$$[N] = [N_1 \ N_2 \ N_3 \ N_4]$$

$$N_i = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{\xi}{\xi_i} \right) \left(1 + \frac{\eta}{\eta_i} \right), \quad i = 1, 2, 3, 4$$

ξ_i, η_i ——单元角点的局部坐标

令

$$K_{PW} = k \iint [N]^T [N] d\xi d\eta \quad (6)$$

则式(5)可写成

$$\{P_n\} = -K_{PW}\{W_n\} \quad (7)$$

将 $\{P_n\}$ 迭加到单元角点力 $\{F_n\}$ 上, 则式(3)变为

$$\begin{pmatrix} K_{PW} & K_{PM} \\ K_{PW} & K_{PM} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W \\ M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_n - K_{PW}\{W_n\} \\ \theta_n \end{pmatrix}$$

所以

$$\begin{pmatrix} K_{PW} + K_{PW} & K_{PM} \\ K_{PW} & K_{PM} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_n \\ M_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_n \\ \theta_n \end{pmatrix} \quad (8)$$

由式(8)可见, 位于弹性基础上老顶的单元关系矩阵, 仅要在一般关系矩阵上迭加一个弹性基础附加刚度子矩阵 K_{PW} , 由式(6)积分得

$$K_{PW} = \frac{kab}{9} \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} \quad (9)$$

因此, 老顶的任何边界和部位均可按它的支承条件设置弹性基础。

式(9)中弹性系数 k 可以这样计算:

对于弹性模量为 E_a 、层厚为 m 的岩层

$$k = \frac{E_a}{m} \quad (10)$$

当由多层岩层作为弹性基础时, 它们的综合弹性系数 k 与各岩层的弹性系数 k_i 存在关系

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{1}{k_i} \quad (11)$$

由式(10)和(11)可见, k 值是直接顶与煤层的几何、力学性质的综合指标。

2. 步长追踪分析

步长追踪分析指随工作面与开切眼的跨距增加而引起老顶内最大拉应力分布的变化, 以判断它是否出现起始破断裂缝, 裂缝的位置, 裂缝的方向, 以及当时老顶的跨距等参数。该项分析是一个重复计算过程, 每次计算都是在逐步增加老顶跨距的基础上进行, 直至老顶内某些单元的最大拉

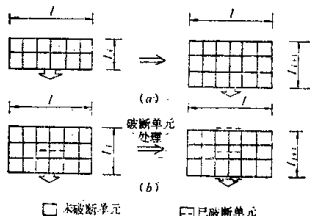


图1-1-2 两种追踪分析

(a)一步长追踪分析 (b)一破断追踪分析



b-弹性基础板求解子程序

应力达到产生裂缝的强度条件(一般近似取老顶拉伸强度极限)为止,裂缝在这些单元内产生,方向与最大拉应力方向相垂直,与最大拉应力正交迹线相一致,如图1-1-2(a)所示。

3. 破断追踪分析

当老顶产生起始裂缝后,进一步了解这些裂缝的延伸、扩展、贯通,最终获得老顶破断图形的基本面貌,即为破断追踪分析的主要目的。该分析过程也是一个重复计算过程,每次计算保持老顶跨度不变,仅改变最大拉应力达到(或超过)强度极限的单元某些约束条件,模拟裂缝的扩展,例如:

- (1) 裂缝是处于微裂缝发展阶段,令裂缝所在单元边界上的弯矩 M ,降低若干倍;
- (2) 裂缝已经形成,但裂缝两侧不产生垂直方向错动,则令相应边界上的弯矩 M ,等于零;
- (3) 裂缝已处于张开状,两侧又有自由错动,则不仅要按上述(2)进行处理,还应在合成总关系矩阵时,将裂缝两侧的点单独处理。

当破断裂缝发展到能使老顶产生迅速破坏条件时,可以根据当时老顶的最大拉应力分析和活动趋向,直接描绘出整个老顶的破坏图形,如图1-1-2(b)所示。

FEAEBP分析的计算机源程序框图如图1-1-3所示。使用该计算程序时,仅要输入老顶、直接顶和煤层的几何、力学参数,工作面长度,边界条件代号等原始数据,计算机便可以进行两种追踪分析,输出有关老顶破断的各种参数。

三、老顶破断特征与控制

参考大同云岗矿8143工作面矿压观测资料,本文取以下一套有关老顶、直接顶和煤层的几何、力学参数:

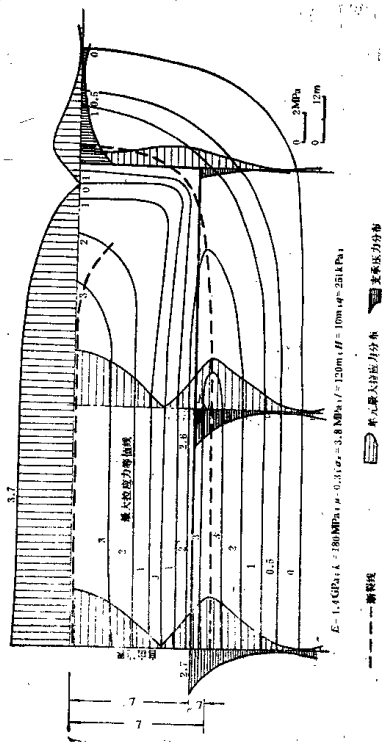
老顶粗砂岩分层厚度 H	10m;
老顶粗砂岩抗拉强度 σ_t	3.8MPa;
老顶粗砂岩弹性模量 E	4.4GPa;
老顶粗砂岩的泊松比 μ	0.3;
直接顶和煤层的弹性系数 k	180MPa;
工作面长度 L	120m。

作为FEAEBP分析的基本数据,对老顶破断进行计算机模拟。模拟结果发现,采用 Winkler 弹性基础上 Kirchhoff 板力学模型和拉伸破断准则,能全面地显示老顶破断特征,并带来了一些新的认识。

1. 老顶断裂线的分布

若取工作面边界条件为一侧实体煤,一侧自由边,由FEAEBP分析得到老顶的初次断裂步距为60m,断裂时老顶内各点的最大拉应力等值线分布,以及由它自重引起的支承压力曲线如图1-1-4所示(由于对称,仅取它的1/2)。分析各点的最大拉应力可以发现,暴露老顶中央和边缘部位应力值最高,所以破断一最在这两个部位首先开始,然后沿最大拉应力正交迹线扩展。由破断追踪得到断裂线的轨迹如图1-1-4中虚线所示,它有以下特征:

- (1) 断裂线首先在拉应力较高的暴露老顶中央,或者工作面附近产生;
- (2) 工作面端头,断裂线分布存在两种形式,实体煤边界处呈弧形,形成端头顶板的“弧三角形悬板”结构;自由暴露边界处呈直线,致使端头处于断裂老顶岩块之下;



(3) 除实体煤边界的工作面端头外, 工作面下方老顶断裂线产生在煤壁以内, 支承压力峰值的前方, 这纠正了一般认为发生在煤壁上方或在支承压力峰值位置的认识。

由上述特征可见, 老顶断裂线平面分布范围近似于一个大于老顶暴露面积的椭圆。

2. 断裂线分布的影响因素

本文将老顶、直接顶和煤层视为一个力学体系, 所以老顶断裂线的分布与这个力学体系的几何、力学参数有关, 主要有以下几方面:

- (1) 工作面长度 l ;
- (2) 老顶弹性模量 E ;
- (3) 老顶抗拉强度 σ_t ;
- (4) 老顶的厚度 H ;
- (5) 直接顶和煤层的综合弹性系数 k 。

因素(1)对老顶断裂线分布有宏观影响, 在文献中已有详细讨论, 本文不再赘述, 以下主要研究后4个因素的影响。

取不同的老顶、直接顶和煤层几何与力学参数用FEAEBP进行数值分析, 可以得到一系列类似图1-1-4的结果。为了分析断裂线分布特点, 取这一系列结果中4个特征值(见图1-1-4):

- (1) 老顶产生断裂时, 工作面与开切眼距离之半 L' ;
- (2) 老顶断裂岩块的长度 L ;
- (3) 断裂线工作面煤壁的距离 L'' , $L'' = L - L'$;
- (4) 老顶首先出现裂缝的位置。

作为断裂线分布特征指标, 则可以研究这些指标与上述诸因素的关系, 如图1-1-5所示。由图1-1-5可见, 诸因素对断裂线分布的影响如下:

(1) 随 σ_t 的增加, L 和 L' 都增加, 但 L'' 却减小。 σ_t 小时, 断裂首先在暴露老顶中央产生, 大时, 首先在边缘产生。

(2) E 接近于零时, L 和 L' 都等于固支板的断裂步距计算值之半, L'' 等于零。随 E 的增加, L' 先增大, 后减小; L 先增大, 然后基本不变; L'' 则增大。 E 小时, 断裂首先在老顶边缘产生, 大时, 首先在中央产生;

(3) 随 H 的增加, L 和 L' 都增加, L'' 也随之增大。 H 小时, 断裂首先在老顶边缘产生, 大时, 首先在中央产生;

(4) k 为无穷大时, L 和 L' 都等于固支板的断裂步距计算值之半, L'' 等于零。随 k 的减小, L' 先增加, 后减小; L 先增大, 然后基本不变; L'' 则增大。 k 大时, 断裂首先在老顶边缘产生, 小时, 首先在中央产生。

3. E/k 比

仔细分析图1-1-5可见, 尽管(b)和(d)中变化的因素分别为 E 和 k , 但得到了完全一致的老顶断裂线分布特征, 说明 E 和 k 对老顶破断的影响有一定的相关性。进一步的数值模拟发现, 在其它参数相同条件下, 不管 E 和 k 怎样变化, 只要保持 E/k 不变, 那么老顶内的最大拉应力值和分布保持不变, 因此断裂线分布也不改变。图1-1-5的(b)和(d)中, 横坐标的 E/k 对应相等, 所以 L , L' 和 L'' 等特征值完全一致。

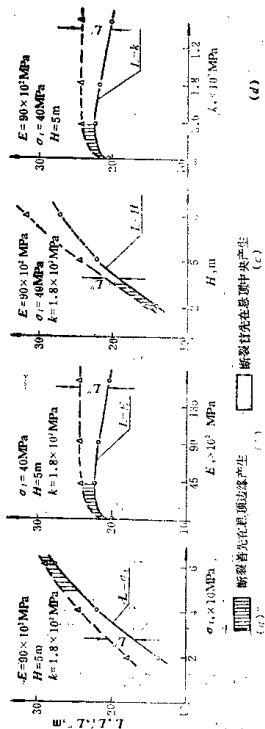


图1-1-5 老顶断裂的影响因素

L —老顶断裂沿块长度; L' —老顶断裂时工作面与开切眼距离之半; E —老顶弹性模量; σ_1 —老顶
 直接顶; H —老顶厚度; L'' —断裂线深入煤壁距离; K —弹性基础弹性系数

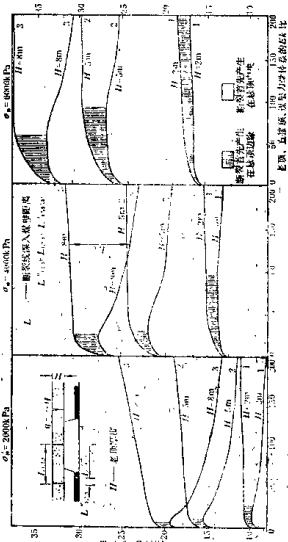


图1-1-6 老顶断裂
 长度的确定
 L —老顶断裂沿块长度;
 L' —老顶断裂时工作面与
 开切眼距离之半;
 L'' —老顶断裂沿块
 长度

上述 E 和 k 对老顶破断线分布影响的相关特性, 可以将它们组合成一个新的力学参数 E/k , 称 Ek 比。显而易见, Ek 比是由老顶、直接顶和煤层力学性质共同决定的, 是研究老顶破断规律的主要指标, 也是本文所建立力学模型的重要力学参数。

将老顶断裂线分布的影响因素简化为三个, 即 σ_1 、 H 和 Ek 比, 可用 FEAEBP 计算一般老顶、直接顶和煤层条件下的 L 、 L' 与 L'' 等特征值, 如图1-1-6所示。图1-1-6不仅可以作为判断老顶断裂和初次来压步距的参考, 而且可以分析 Ek 比对老顶断裂线分布的影响。

(1) Ek 比的变化影响着老顶首先产生裂缝的部位, Ek 比小时, 断裂首先产生在悬露老顶的边缘, 大时, 首先产生在中央;

(2) Ek 比的变化引起 L' 的变化, Ek 比接近零时, L' 等于用固支板计算初次破断步距的一半, 随 Ek 比的增大, L' 略有增加后不断下降;

(3) 上述(1)和(2)反映了随 Ek 比的增加, 老顶破断特征由类似固支板向类似简支板转化, 所以在小 Ek 比时, 可用固支板计算 L' , 在大 Ek 比时可用简支板作近似计算;

(4) 一般情况下, Ek 比的变化对 L 的影响甚小, Ek 比达到一定值以后, L 基本不变;

(5) 由(2)和(4)可见, Ek 比的增加, 老顶断裂线与工作面煤壁的相对距离 L'' 增大, 本文称它为断裂线向煤壁内深入;

(6) 一般情况下, 随老顶层位的增加, 它的 Ek 比也增大, 因此根据(5)不难推测老顶岩层垂直剖面的静态断裂线分布是向外扩张的, 如图1-1-7中 I—I 线所示(图中 II—II 线是由工作面推进引起 I—I 线向采空区弯曲的情况)。

4. 老顶断裂的控制途径

根据图1-1-6可见, 控制老顶断裂有以下途径:

(1) 降低老顶的抗拉强度 σ_t ;

降低老顶的抗拉强度 σ_t , 可以使 L 和 L' 下降, 也使工作面来压步距减小, 从而起到控制老顶来压强度的作用。目前在坚硬顶板采用高压注水和深孔爆破, 目的就在于降低 σ_t ;

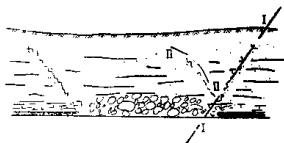


图1-1-7 老顶断裂线的空间分布

(2) 降低老顶的分层厚度 H , 也可以使 L 和 L' 都减小, 达到与降低 σ_t 相同的效果;

(3) 增加 Ek 比

增加 Ek 比可以使 L' 下降, L 基本不变, 致使 L'' 增大, 也即 Ek 比的增加可以使老顶断裂线向煤壁内深入。断裂线深入煤壁可以充分利用煤体的承载能力, 有效地发挥支架的作用, 对老顶断裂时回转失稳与滑落失稳的制约是有好处的, 所以是一种老顶控制途径。

增加 Ek 比的方法是增加 E 和降低 k , 前者的实现是很困难的, 对于后者, 由式(10)可见, k 值与直接顶、煤层的弹性模量成正比, 所以可归纳为降低它们弹性模量的问题。降低直接顶、煤层弹性模量, 可以采用松动爆破、深孔钻眼和高压注水等方法。

由上述可见, 采用松动爆破等方法处理煤层和直接顶, 可以使老顶断裂线向煤壁内深入, 达到控制老顶来压强度的目的。大同云岗矿就有这方面的实践, 该矿 8303 工作面(老顶为坚硬的砂岩)曾采用煤体松动爆破, 以降低煤的强度, 结果, 不但生产效率大大提高, 而且工作面矿山压力显现也比相同围岩条件的相邻工作面 8305 和 8307 显著减缓, 在开采过程中, 工作面来压仅 1 次, 为 8305 面的 1/17, 8307 面的 1/11。