

第二届煤矿采场矿压
理论与实践讨论会论文汇编



煤炭工业部矿山压力科技情报中心站

煤矿采场矿压理论与实践讨论会论文汇编

编辑出版：煤炭工业部矿山压力科技情报中心站
(站长单位 中国矿业学院)

发 行：中国矿业学院科技情报室(江苏省徐州市)

印 刷：四川省煤田地质公司制图印刷厂

1984年 月出版 定价2.00元

编 辑 说 明

第二届煤矿采场矿压理论与实践讨论会于83年8月召开，会上共提交论文20篇，都作了报告，博得了好评。论文可分为四组，其中砌体梁、传递岩梁、能量原理等六篇为一组，其次论述支架与围岩相互作用方面的论文也有六篇，为第二组，特殊条件下矿压问题的论文有五篇，为第三组。最后，顶板管理与矿压显现规律等论文共三篇。矿压情报中心站为了交流学术思想和科研成果特此编辑出版。书中对论文主要作者作了简单介绍。凡第一届讨论会论文集中已对作者作过介绍的则从略，特此说明。

论文集编辑工作疏漏之处，请读者多加指正。

✓采场上覆岩层岩体结构模型及其应用·····	钱鸣高 (1)
岩梁裂隙前后的支承压力显现及其应用的探讨·····	宋振骥 刘义学 陈孟伯 宋 扬 (12)
试论一些矿压问题的能量原理·····	石平五 (25)
论采场周围压力分布规律·····	任德惠 刘兴华 (35)
✓采场上覆岩层平衡条件的模型研究·····	张志文 (47)
✓采场上覆岩层裂隙的变化规律·····	汪理全 (58)
支架水平工作阻力在掩护支架工作面顶板管理中的作用·····	吴 健 (71)
长壁工作面支承系统与上覆围岩力学关系的有限元分析·····	史元伟 袁宪章 陈社杰 侯松林 (79)
液压支架工作阻力问题的相似模拟和有限元电算法研究·····	乔福祥 吴洪训 (102)
用有限元计算分析采场支架——围岩相互作用之间的关系·····	乔福祥 吴洪训 (109)
采场支架——围岩关系的相似材料模拟试验研究·····	乔福祥 吴洪训 (119)
采场上覆岩层运动规律及支架工作阻力、初撑力探讨·····	张可藏 (127)
第三纪煤系地层的采场矿压理论若干问题的探讨·····	陆家果 (137)
松软顶板的初次放顶及其改进途径·····	谢富林 张东升 李 枫 (149)
湖南煤矿冲击现象·····	崔广平 (159)
坚硬顶板支架——围岩关系的研究·····	新钟铭 (171)
✓浅论坚硬顶板的下沉与断裂·····	贾喜荣 (182)
采场矿压规律与特征初论·····	刘正修 (196)
倾斜长壁工作面矿压显现规律的研究·····	赵宏珠 (206)
采场支护系统的“三度”及其实际应用·····	庄玉伦 (220)

附 录

第二届煤矿采场矿压理论与实践讨论会会议纪要·····	(225)
第二届煤矿采场矿压理论与实践讨论会出席代表名单·····	(227)

采场上覆岩层岩体结构模型及其应用

钱 鸣 高

(中国矿业学院)

14

本文在分析采场上覆岩层活动规律及岩层结构平衡的基础上,进一步提出了岩体结构模型。事实证明不论采空区应力场发生多少变化,无论是岩层破断距离是否相等,暴露区岩块的受力特征仍然不变。此模型为分析开采中有关的一系列问题,从机理上打下了基础。

一、前 言

由于回采工作面是煤矿生产的核心部分,且回采工作空间是随着回采工作面的推移而不断前移。既经济而又安全地维护好回采工作空间,无论对矿工的安全以及提高矿工的生产效率都有极为重要的关系。回采工作空间的支护无疑是一构筑物,只是由于它不断地推移而具有一定的临时构筑物的性质。而且此构筑物所受的载荷以及其变形特点又密切与其上覆岩层的活动规律有关。为了使支护物既经济而又可靠,研究采场上覆岩层形成“结构”的可靠性以及研究此“结构”失稳的条件将都具有十分重要的现实意义。文章⁽¹⁾根据采场在推进过程中的围岩移动特点,建立了岩块互相咬合关系的结构力学模型。本文将进一步探讨并建立采场上覆岩层的整体“结构”模型,从而为进一步确定支护物的参数以及向有关开采方面提供依据。

二、采场上覆岩层活动规律

根据国内外有关采场上覆岩层内部深基点移动观测,尤其是大屯孔庄矿的测定,可将如图 1 a 所示柱状图形成的采场上覆岩层的变形破坏绘成如图 1 b 所示。

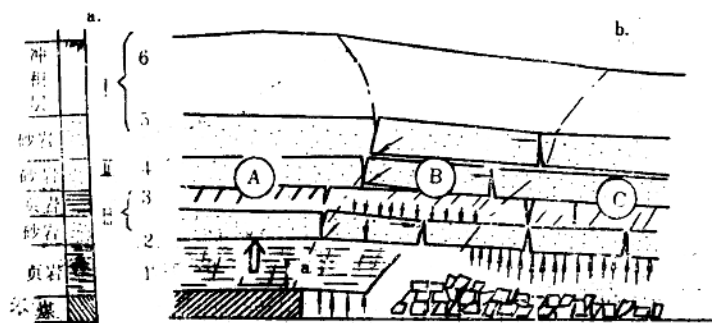


Fig. 1

在岩层内部可划分为三个区：A—煤壁支撑影响区；B—离层区及支架支撑影响区；C—已冒落矸石支撑区（岩层重新压实区）。从而说明离层区以上破断了的岩块互相咬合而形成的“结构”为“煤壁——采空区已冒落的矸石”支撑体系所支撑。而对于裂隙带的下位岩层所形成的岩块互相咬合的“结构”则为“煤壁——支架——采空区已冒落的矸石”支撑体系所支撑。

由于支撑体系的力学特性，即煤壁具有一定的刚性，而已冒落的矸石则是一压实的过程，可缩性比较大，因而决定了采场上复岩层的下沉变形是按照接近于 $W_x = W_m(1 - e^{-ax^b})$ 的负指数曲线变化。此方程中的 a 与 b 是两个系数，它随着与开采层不同的距离及岩层力学性质而变化。 W_m 为岩层下沉基本稳定时离工作面为 L 米处的下沉值。根据测定， L 在研究采场矿山压力时可取 50~60 米。 $z = \frac{x}{L}$ ， x 是由工作面开始计算向采空区方向的任意距离。一般来说此曲线的斜率 $\frac{dW_x}{dz}$ ，随着岩层远离开采层而逐渐地接近于正态分布。

煤层开采后的上覆岩层，根据移动曲线的斜率变化可知它将为大小不等的断裂裂隙所切割，其破坏的程度将视岩性的不同而不同。一般来说越是软的岩层（如页岩、薄层的砂页岩等）则不仅要经受开采时岩层弯曲变形而导致的破坏，而且在煤壁前支承压力的作用下就可能使其处于碎裂状态。但对于坚硬岩层（如砂岩或石灰岩）则裂隙的形成主要是由于随着回采工作面的推进岩层的弯曲变形而导致的周期性破断，因而常常呈整齐的块条状。根据文章⁽¹⁾的结论，显然只有把这些坚硬岩层视为可形成“结构”的岩层，如图 1 中 2、4、5 岩层。而对碎裂了的或为纵横交错的裂隙所切割的软岩层，如图 1 中的岩层 3 与冲积层 6，则视为坚硬岩层的载荷以及传递垂直力的媒介。为此可将开采煤层的上覆岩层群以坚硬岩层为底层而将其划分为若干岩层组。如图 1 可将其划分为 3 组，即 2 与 3 为 I 组；4 单独为 II 组，而 5 与 6 则为 III 组。

根据岩层内部深基点的测定，随着回采工作面的推进，此深基点不仅有垂直位移而且还有沿回采工作面推进方向以及沿煤层倾斜方向的水平位移。现将由大屯孔庄矿 7111 工作面观测巷（它位于开采层八号层之上 25 米的走向方向，煤层倾角为 25°）用经纬仪及水准仪测得的

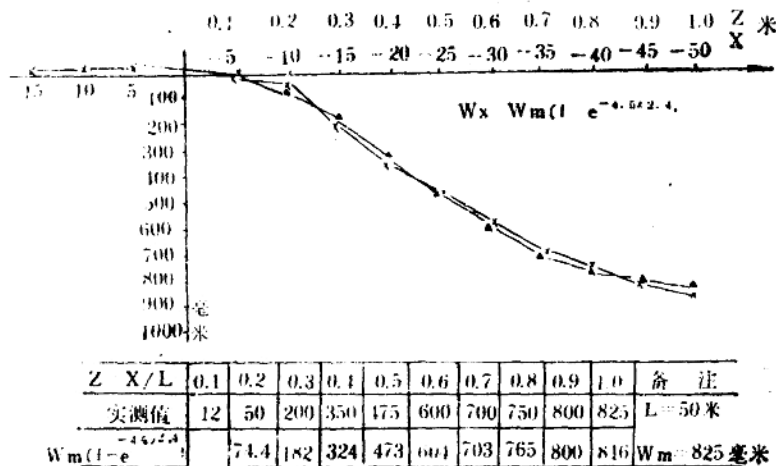


图2

观测点移动轨迹叙述如下:

图2所示曲线是以回采工作面为固定座标,观测点与工作面不同相对距离时的下沉曲线。

图3为观测点在沿煤层倾斜方向垂直面上的移动轨迹。

图4为几个观测点在沿开采层走向方向垂直面上的移动轨迹。

图5为观测点在水平投影面上的移动轨迹。

由此可知岩层内部深基点移动的基本规律是:

1. 图2的下沉曲线性质及其作用已在文章⁽¹⁾中阐述。

2. 由图3可知随着煤层开采,其上复岩层(指回采工作面中部上方)基本上是沿着与层面成垂直的方向向下移动。图中因为煤层倾角为 25° ,因而上覆岩层的观测点基本上按照与水平面成 65° 角的方向向下运动。

3. 根据图4可知上覆岩层的观测点,沿走向方向先向采空区方向移动,而当达到图2中曲线的拐点时,此深基点转面向开采面推进的方向移动。而且最后超过其原来的位置,由图可知此数值常可达100多毫米。

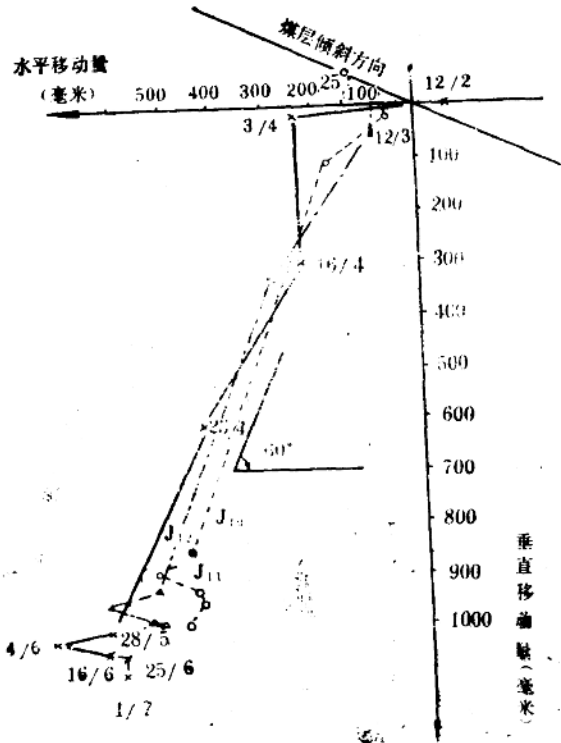


图3

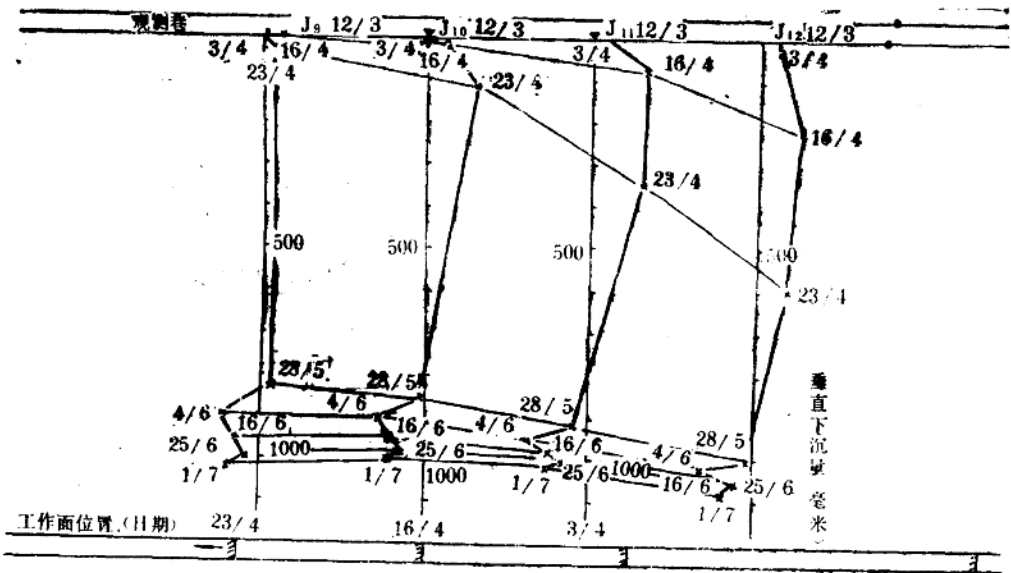


图4

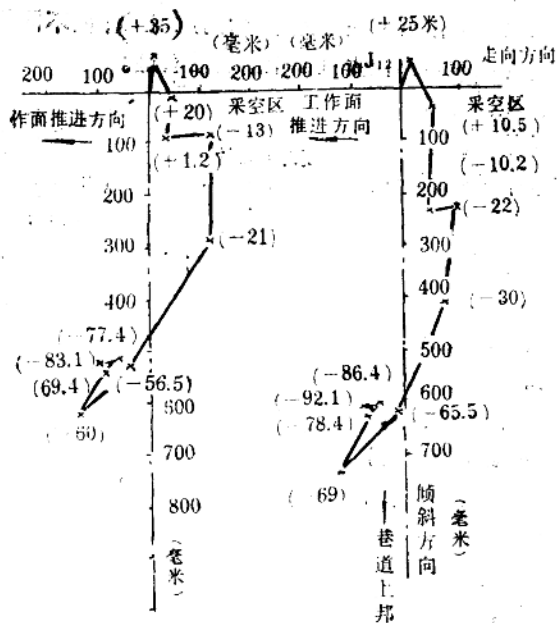


图5

注: ()内数字为距工作面距离

4. 图5说明观测点的总的水平移动情况。显然, 沿着Y轴方向的移动量大小将随着开采层的倾角以及观测点离开采层的距离而变化。

岩体内岩层与岩层间的水平错动, 也在观测巷底板中所打的观测孔中得到证实。因而可以断定层间所具有的摩擦力不足以阻挡岩层间的相互错动, 相对之下是极小的。

三、上覆岩层的岩体结构力学模型

如前述, 在研究开采后引起的岩层运动规律时, 可将主宰整个岩层运动的几层坚硬岩层作为研究的主体, 而将其各自的上覆软岩层或碎裂了的岩层视为载荷。

显然力学模型的建立应以上述上覆岩层深基点观测作为依据。如根据图2可决定岩块间咬合点的位置及形成结构的外形轮廓线。根据图3可知所研究的对象主要是指回采工作面中部上方的岩层, 而且是研究垂直于层面的垂直面内的岩块相互关系。

由此可将图1所示的示例, 根据文章⁽¹⁾所研究的成果, 绘制成如图6所示的岩体整体结构的力学模型。

图中形成“结构”的几个依据是:

1. 以各坚硬岩层为主体, 将破断了的岩块作为每一元件, 按照下沉曲线的特性决定块间咬合点的位置,

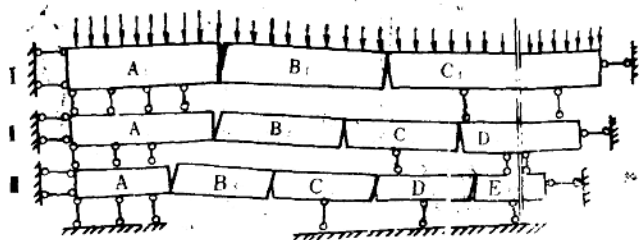


图6

2. 将软岩层或碎裂了的岩层视为载荷或传递垂直力的媒介。且由于层间不能阻挡水平滑动, 因而可将其简化为相应的支承链杆;

3. 离层区视为无支撑区;

4. 最上岩层组的坚硬岩层, 由于其上只是软岩层及冲积层, 因而可视为均布载荷作用于此第 I 组的坚硬岩层上, 而后各岩层组则不然;

5. 最上的坚硬岩层, 随着回采工作面的推进, 由于载荷条件一致, 因而此岩层破断后的各岩块长度可视为一致。但对而后的各组岩层由于互相影响, 破断后的岩块长度则不一定相等。

现在分析各组岩层的平衡关系。

先分析第 I 组岩层, 显然由于表土层的散体, 根据前述原则, 载荷是均布载荷。

为了表达方便起见, 仍然按照 A→G 岩块相排列。并且由于讨论几组岩层, 为了将各自的岩块及力相区别, 将每个符号的第一个脚标表示纵向的岩层编号, 而把第二个脚标作为岩层分块的横向排列。而且把 B 块的编号为 0, 由 C 块开始为 1, 例如 R_{15} 即表示第 I 岩层组第 G 块岩块的支撑力, Q_{20} 即表示第 II 岩层组 B 块岩块的重量及载荷等等。

这样根据第 I 组各岩块咬合点的受力关系如文章⁽¹⁾中所提到的, 应符合以下关系:

$$T_1 = \frac{L_{10} Q_{10}}{2(h_1 - s_{10})} \quad (1)$$

$$(R_1)_{0-1} = 0 \quad (2)$$

$$(R_1)_{0-0} = Q_{10} \quad (3)$$

$$R_{11} = Q_{11} - \frac{\Delta S_{11}}{h_1 - S_{11}} Q_{10} \quad (4)$$

$$R_{12} = Q_{12} + \frac{\Delta S_{11}}{h_1 - S_{11}} Q_{10} \quad (5)$$

$$R_{13} = Q_{13} - \frac{\Delta S_{13}}{h_1 - S_{11}} Q_{10} \quad (6)$$

$$R_{14} = Q_{14} + \frac{\Delta S_{13}}{h_1 - S_{11}} Q_{10} \quad (7)$$

$$R_{15} = Q_{15} \quad (8)$$

现再分析第 II 岩层组, 此时 $R_{11}, R_{12}, \dots, R_{15}$ 将作为此岩层组的载荷, 且由于各破断岩块不等长, 因而各岩块本身的载荷也不等, 如图 7。

此时岩层的结构力学模型仍可参照图 7, 只是各岩块的断裂长度 B_2 为 L_{20} , 载荷为 Q_{20} , 而 $C_2, D_2, E_2, \dots$ 等各块的长度各为 $L_{21}, L_{22}, \dots$, 其本身的重量各为 $Q_{20}, Q_{21}, Q_{22}, \dots$

……由于考虑到 $R_{11}, R_{12}, R_{13}, \dots$ 的作用, 因此 $C_2, D_2, E_2, \dots$ 的载荷将分别为 $Q'_{21}, Q'_{22}, Q'_{23}, \dots$, 若

$$\text{此处取 } \begin{matrix} Q'_{21} & Q'_{22} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{matrix} = \begin{matrix} m_{21} & \\ & m_{22} \end{matrix}, \dots,$$

由此可将第 II 岩层组各个未知力的关系列成如下的矩阵。

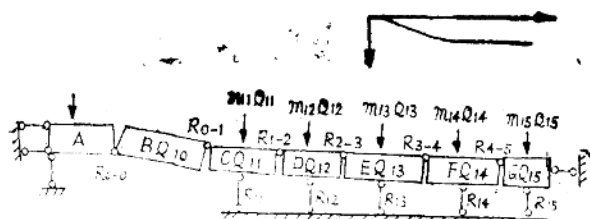


图 7

$$\begin{pmatrix} \frac{L_{20}}{2} Q_{20} \\ \frac{L_{20}}{2} Q_{20} \\ \frac{L_{21}}{2} m_{21} Q_{21} \\ \frac{L_{21}}{2} m_{21} Q_{21} \\ \frac{L_{22}}{2} m_{22} Q_{22} \\ \frac{L_{22}}{2} m_{22} Q_{22} \\ \frac{L_{23}}{2} m_{23} Q_{23} \\ \frac{L_{23}}{2} m_{23} Q_{23} \\ \frac{L_{24}}{2} m_{24} Q_{24} \\ \frac{L_{24}}{2} m_{24} Q_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{20} & & & & & & & & & \\ 0 - L_{20} & & & & & & & & & \\ & L_{21} \frac{L_{21}}{2} & & & & & & & & \\ & & \frac{L_{21}}{2} L_{21} & & & & & & & \\ & & - L_{22} \frac{L_{22}}{2} & & & & & & & \\ & & & \frac{L_{22}}{2} - L_{22} & & & & & & \\ & & & & L_{23} \frac{L_{23}}{2} & & & & & \\ & & & & & \frac{L_{23}}{2} L_{23} & & & & \\ & & & & & - L_{24} \frac{L_{24}}{2} & & & & \\ & & & & & & \frac{L_{24}}{2} - L_{24} & & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -(h_2 - S_{20}) \\ (h_2 - S_{20}) \\ \Delta S_{21} \\ -\Delta S_{21} \\ \Delta S_{22} \\ -\Delta S_{22} \\ \Delta S_{23} \\ -\Delta S_{23} \\ \Delta S_{24} \\ -\Delta S_{24} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (R_2)_{0-0} \\ (R_2)_{0-1} \\ R_{21} \\ (R_2)_{1-2} \\ R_{22} \\ (R_2)_{2-3} \\ R_{23} \\ (R_2)_{3-4} \\ R_{24} \\ T \end{pmatrix}$$

显然上述分析对于而后的各个岩层组都适用，若以 $\{M_i\}$ 表示第 i 岩层组等式左面的载荷矩列向量，

$\{R_i\}$ 表示等式右边的第 i 层的各岩块所受未知力的列向量，

$[F_i]$ 表示未知力前的系数矩阵。

则第 i 层的方程组可表达为：

$$\{M_i\} = [F_i] \cdot \{R_i\}$$

由此可知第 i 层方程组的增广矩阵 $\bar{A}$ 为：

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} L_{i0} & & & & & & & & & \\ 0 & -L_{i0} & & & & & & & & \\ & L_{i1} \frac{L_{i1}}{2} & & & & & & & & \\ & & \frac{L_{i1}}{2} L_{i1} & & & & & & & \\ & & -L_{i2} \frac{L_{i2}}{2} & & & & & & & \\ & & & \frac{L_{i2}}{2} - L_{i2} & & & & & & \\ & & & & L_{i3} \frac{L_{i3}}{2} & & & & & \\ & & & & & \frac{L_{i3}}{2} L_{i3} & & & & \\ & & & & & -L_{i4} \frac{L_{i4}}{2} & & & & \\ & & & & & & \frac{L_{i4}}{2} - L_{i4} & & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -(h_i - s_{i0}) - \frac{L_{i0}}{2} Q_{i0} \\ (h_i - s_{i0}) \frac{L_{i0}}{2} Q_{i0} \\ \Delta S_{i1} \frac{L_{i1}}{2} m_{i1} Q_{i1} \\ -\Delta S_{i1} \frac{L_{i1}}{2} m_{i1} Q_{i1} \\ \Delta S_{i2} \frac{L_{i2}}{2} m_{i2} Q_{i2} \\ -\Delta S_{i2} \frac{L_{i2}}{2} m_{i2} Q_{i2} \\ \Delta S_{i3} \frac{L_{i3}}{2} m_{i3} Q_{i3} \\ -\Delta S_{i3} \frac{L_{i3}}{2} m_{i3} Q_{i3} \\ \Delta S_{i4} \frac{L_{i4}}{2} m_{i4} Q_{i4} \\ -\Delta S_{i4} \frac{L_{i4}}{2} m_{i4} Q_{i4} \end{pmatrix}$$

A 经过行的初等变换可得:

$$\begin{array}{rcl}
 1 & - \frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} & \frac{Q_{i0}}{2} \\
 1 & - \frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} & - \frac{Q_{i0}}{2} \\
 1 & 2 \left(\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + n_{i1} \right) & Q_{i0} + m_{i1} Q_{i1} \\
 1 & - \left(\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2n_{i1} \right) & - \frac{Q_{i0}}{2} \\
 1 & - 2 \left(\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2n_{i1} \right) + 2n_{i2} & - (Q_{i0} - m_{i2} Q_{i2}) \\
 1 & - \left[\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2(n_{i1} - n_{i2}) \right] & - \frac{Q_{i0}}{2} \\
 1 & 2 \left[\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2 \left(n_{i1} - n_{i2} + \frac{n_{i3}}{2} \right) \right] & Q_{i0} + m_{i3} Q_{i3} \\
 1 & - \left[\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2(n_{i1} - n_{i2} + n_{i3}) \right] & - \frac{Q_{i0}}{2} \\
 1 & - 2 \left[\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2(n_{i1} - n_{i2} + n_{i3}) - n_{i4} \right] & - (Q_{i0} - m_{i4} Q_{i4}) \\
 & 2 \left[\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2(n_{i1} - n_{i2} + n_{i3} - n_{i4}) \right] & Q_{i0}
 \end{array}$$

式中 $n_{i1}, n_{i2}, \dots$ 表示第 i 岩层中 $C_i, D_i, E_i, \dots$ 各岩块的斜率即 $\frac{\Delta s_{i1}}{L_{i1}}, \frac{\Delta s_{i2}}{L_{i2}}, \frac{\Delta s_{i3}}{L_{i3}}, \dots$ 。

由此方程组很容易得到各未知力的解, 也即岩体内任意破断了的岩块的受力状态。同时也可解出各层岩层在开采过程中采空区的支承压力分布状态。

由上述矩阵可得:

$$2 \left[\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2(n_{i1} - n_{i2} + n_{i3} - n_{i4}) \right] T_i = Q_{i0}$$

因此
$$T_i = \frac{Q_{i0}}{2 \left[\frac{h_i - s_{i0}}{L_{i0}} + 2(n_{i1} - n_{i2} + n_{i3} - n_{i4}) \right]}$$

为了对岩体内形成的结构作一粗略的定性分析, 仍然可以假定相邻两岩块的斜率几近一致, 即 $n_{i1} \approx n_{i2}, n_{i3} \approx n_{i4}$, 如此, 任意层的水平推力 T_i 为:

$$T_i = \frac{L_{i0} Q_{i0}}{2(h_i - s_{i0})}$$

对照于公式 (1) 可知每层形成的水平推力的大小, 仅与处于暴露状态岩块的破断长度 L_{i0} 、层厚 h_i 、下沉量 s_{i0} 以及其重量 Q_{i0} 有关。而与采空区岩体内的应力分布状态无关。

同理可求得其它有关的力如下:

$$(R_i)_{0-1} = 0$$

$$(R_i)_{0-0} = Q_{i0}$$

$$R_{i1} = m_{i1} Q_{i1} - \frac{n_{i1} L_{i0} Q_{i0}}{h_i - s_{i0}}$$

$$\begin{aligned}
 R_{i2} &= m_{i2} Q_{i2} + \frac{n_{i2} L_{i0} Q_{i0}}{h_i - s_{i0}} \\
 R_{i3} &= m_{i3} Q_{i3} - \frac{n_{i2} L_{i0} Q_{i0}}{h_i - s_{i0}} \\
 R_{i4} &= m_{i4} Q_{i4} + \frac{n_{i4} L_{i0} Q_{i0}}{n_i - s_{i0}} \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

由此可知, 虽然在第Ⅰ、Ⅱ组结构的载荷及岩块破断长度发生了变化, 但此岩层结构的主要特征仍然没有变化, 即仍然符合以下几条:

1. 悬露岩块的重量几乎全部由前支承点(煤壁)承担;
2. 岩块 B_i 与 C_i 间的剪切力几近为零, 即此处相当于半拱的拱顶;
3. 此结构的最大剪切力发生在岩块 A_i 与 B_i 之间, 其值相当于岩块 B_i 本身的重量及其上复软岩层之载荷。

如此, 任意层平衡的条件为:

$$\begin{aligned}
 T_i \operatorname{tg}(\varphi - \theta) &> (R_i)_{0-0} \\
 \frac{L_{i0} Q_{i0}}{2(h_i - s_{i0})} \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \theta) &> Q_{i0}
 \end{aligned}$$

因此要求形成的破断岩块长度必须满足如下的要求:

$$L_{i0} > 2 \frac{(h_i - s_{i0})}{\operatorname{tg}(\varphi - \theta)}$$

粗略地计算, 在 $\theta = 0$, $\operatorname{tg}\varphi = 1$ 的条件下, 且不计 s_{i0} , 则破断岩块的长度至少应是其层厚的两倍。

因此有时采场周期来压步距突然变小(或由于断层或由于上位岩层组断裂的影响), 反而可能形成工作面沿煤壁的切顶事故。

所以回采工作面的矿山压力显现, 主要是由于各岩层组中岩块 B_i 的回转、剪切等原因而造成的。

对于各层在采空区的支承压力分布, 则主要决定于 m_{ij} 的确定, 此待以后再讨论。

四、岩体结构模型的应用

1. 支护强度的确定

根据前述, 可将支护在最困难条件下的岩层活动情况用图8表示。由于支架所能影响的范围只是离层区以下的岩层, 因此图中只表示了裂隙带的下位岩层及采场直接顶部分对支架的作用关系。

由图及前述分析, 显然可以将裂隙带的下位岩层视为采场支架应协助维护的最下位岩层结构。直接顶与此结构之间不应存在垂直方向的离层(由于水平错动而造成的缝隙除外)。

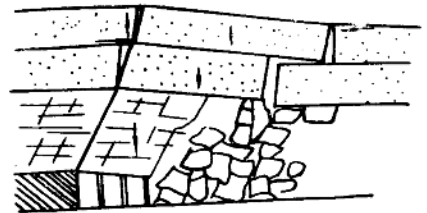


图8

由于支架工作阻力对煤壁形成的力矩远小于裂隙带下位岩层岩块在回转过程中对煤壁形成的力矩，因此支架的可缩量设计应按照裂隙带下位岩层的变形条件进行。

为了满足支架的下位岩层的平衡条件，支架对它的支撑力 P_1 可以用下式作粗略的估算：

$$P_1 = \left[2 - \frac{L_0 \operatorname{tg}(\varphi - \theta)}{2(h - s_0)} \right] Q \text{ 吨/米}$$

式中 L_0 为裂隙带下位岩层的断裂步距，一般可取工作面周期来压步距中的最小步距， Q 为相应的破断岩块及其上覆软岩层的重量，其余符号同前。

上式中 P_1 不可能为负值，最小为零。若计算时出现负值，即说明此下位岩层本身能取得力系的平衡而无须支架的协助。

事实上 P_1 力的计算，一直要到裂隙带岩层中的平衡岩层为止。因此 P_1 的支撑力有时不只维护一层裂隙带的下位岩层。

而对于直接顶形成的载荷从维护采场的安全性考虑则应支撑其全部重量，因此支架的支护强度应是：

$$P = \Sigma h \cdot \gamma + \left[2 - \frac{L_0 \operatorname{tg}(\varphi - \theta)}{2(h - s_0)} \right] \frac{Q_0}{R} \text{ 吨/米}^2。$$

在有些地区，直接顶 Σh 比较薄，而位于其上的坚硬岩层破断后仍属于规则垮落带的范围，因此此岩层断裂步距超过控顶距，但块间又无水平力的联系，即此时岩块的 $T = 0$ ，因而 $R_{0-0} = 0$ 。为此，为了满足 $\Sigma F_r = 0$ 的条件， P_1 应等于 Q_0 。

但考虑到采空区冒落后的矸石，在岩块经过一定的回转时对它产生一定的支撑力 $R_{\text{矸}}$ ，如图9所示。这样 P_1 应承担的力量将是：

$$n(h_c \gamma \cdot L_c + q L_c)$$

式中 n 为一系数。

若其上的裂隙带岩层也不能得到平衡，则支架应具备的工作阻力必须满足于下面的公式：

$$P = \Sigma h \cdot \gamma \cdot R + n \cdot L_c (\gamma h_c + q) + \left[2 - \frac{L_0 \operatorname{tg}(\varphi - \theta)}{2(h - s_0)} \right] Q_0, \text{ 吨/米。}$$

当然具体的情况作具体的分析，若直接顶较厚而规则垮落带在采空区又无悬顶情况，则上式中的第2项为零。同理若裂隙带的下位岩层能自身平衡，则上式中的第3项应为零。

若开采层倾角较大，则对照图6， P 值中还应考虑 $\cos \alpha$ 的系数（ α 为煤层倾角）。

2. 顶板下沉量的确定

根据图6的结构力学模型，可知决定回采工作面顶板下沉量的主要因素是 B 岩块的倾斜度。由大屯孔庄矿的测定，在采场的上覆岩层中各层相当于 B 岩块的回转角度，如下表所示。

表中列出了离开采层不同距离的回转角。

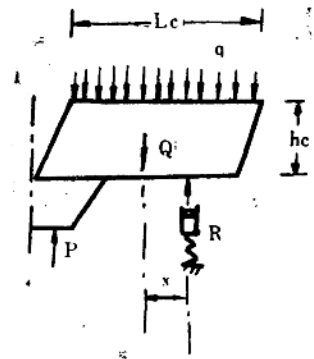


图9

此处 Δs_y 可称为采空区触矸点的下沉量,若此数值以 $[m - \sum h(K_p - 1)]$ 代入(式中 m 为采高 K_p 为矸石处于较松散状态的膨胀系数),则:

$$\Delta s_R = \frac{2}{3} \cdot \frac{R}{L} [m - \sum h(K_p - 1)]$$

3. 开采顺序

由于对开采层上覆岩层的平衡进行了研究,因而就有可能将采场的上覆岩层在垂直方向划分为非平衡带(相当于冒落带)、部分平衡带(相当于裂隙带的下位岩层)与平衡带(相当于裂隙带的上位岩层)。显然若被采动的煤层位于平衡带之上,则其所受的破坏将较小,此时若在煤层工作面的安排上作适当布置,则可进行上行开采。

除此,目前使用的工作面,开采方向大部分是沿走向,经过对上覆岩层平衡关系的研究,工作面若沿倾斜下向开采,所形成的工作面矿山压力要比其它条件为优越。

4. 其它

由于对开采后的上覆岩层结构有一宏观的认识,因而就有可能进一步确定边界条件,以分析工作面前后方的支承压力分布图形及其影响因素。

除此还可对开采后地表移动时形成台阶状下沉作出解释。

参 考 文 献

- (1) 采场上覆岩层的平衡条件,钱鸣高,中国矿业学院学报1981,第二期。
- (2) 从围岩移动的力学关系论采场支架基本参数的决定,钱鸣高,煤炭科学技术1981.11.
- (3) 采煤学 煤炭工业出版社 1979。
- (4) The Effects of Interaction in Mine Lagonts, H.I.King, B.N.Whittaker, A.S.Batchelor, 5th International strata control conference, London 1972

岩梁裂断前后的支承压力 显现及其应用的探讨

宋振骐 刘义学

(山东矿业学院矿山压力研究室)

陈孟伯 宋扬

提 要

本文总结了老顶岩梁运动与支承压力分布及其显现间的关系。着重指出,当岩梁在端部断裂时刻,支承压力分布发生突变,以断裂线为界形成由已断裂岩梁自重所决定的“内应力场”及由上覆岩层整体重量决定的“外应力场”,随工作面推进,两个应力场中的压力和显现高峰分别向相反方向转移,其中岩梁运动完成(触矸)后,内应力场形成稳定的低应力区。作者还给出了在内应力场中表达显现的支承压力和支架上作用力关系的力学表达式。最后介绍了支承压力分布理论在采场矿压控制中的应用。

采场上覆岩层传递至煤层的垂直压应力,称为“支承压力”。支承压力的作用在临近巷道中造成的顶底板移近,支架承受载荷等现象,称为“支承压力的显现”。

采场支承压力及其显现规律的研究,是煤矿开采设计工作的基础。近些年来,国内外学者在支承压力的研究方面,已经取得了不少重要成果^①。例如深入地探讨了某些具体条件下煤层上压力的分布规律,正确的揭示了煤层厚度、强度、及开采深度等因素对支承压力大小及分布的影响。为从定性方面解决采场和巷道矿压控制问题提供了基础。当前支承压力研究所面临的任务是:必须更好地针对采场不断推进、外载不断改变的实际,从发展的观点全面探讨支承压力及其显现的全过程;深入揭示支承压力分布及其显现发展变化的原因,特别是其变化规律与上覆岩层运动间的关系;正确的回答现场生产和设计工作中提出的下列问题:

1) 如何根据支承压力分布及显现的规律,正确推断上覆岩层运动发展的情况,解决采场和巷道来压预测和预报问题。

2) 如何根据支承压力显现的规律,选择巷道位置和开掘的时间,以及正确估计巷道支护的缩量及必须的工作阻力。

本文将简要地介绍我们近几年来在这方面研究的初步成果,以及运用这些成果解决开采设计问题的可能性。

一、关于支承压力发展变化的原因及“老顶”的重要地位

由于采场不断推进,支承压力的大小、分布及其显现,都在不断的变化之中。造成其变化的原因包括以下两个方面:

1. 外载的变化,包括形成压力的上覆岩层暴露的范围和厚度,以及各岩层运动发展情况的变化等;

2. 煤层自身支撑能力(或承载能力)的改变,包括煤层的厚度(采高)、强度,以及在压力作用下破裂情况的发展等。

在既定的煤层条件下,上覆岩层运动的发展就是主要的了。

在一般的情况下,根据运动发展程度的差别,采场上覆岩层可以分为两个部分:第一部分为“直接顶”,如图(1)中A所示。这部分岩层在老塘已经冒落。在工作面由支架暂时支撑。显然,该部分岩层紧临采场,其运动发展将对采场压力的显现(包括煤壁附近支承压力显现)起直接的影响。直接顶以上的岩层,包括图1中B及C所示的一系列“岩梁”。它们虽然都有不同情况的破坏,但在推进方向上都保持了传递力的联系。因此能将其作用力传递至煤层和老塘矸石上。煤层上支承压力的大小

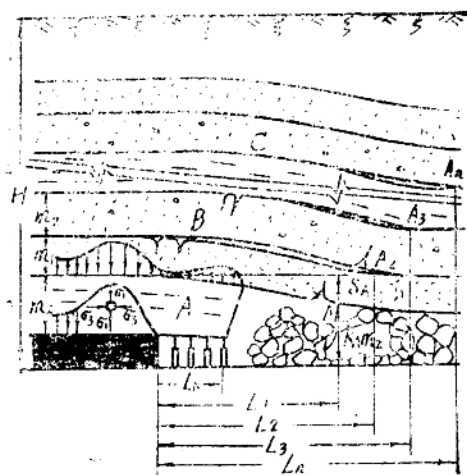


图 1

及其分布的范围,就是由这部分岩层的重量所决定的。但是研究及实践已经证明,它们中间只有临近采场的一部分岩梁的运动,才会对支承压力显现的变化产生明显的影响。我们把运动发展变化明显影响支承压力显现的这一部分岩梁称为“老顶”。

老顶中每一“岩梁”,由同时(或近乎同时)运动的一组岩层组成。由于各岩梁的岩性、厚度及位置高低的不同,其运动的时间和条件的差别是客观存在的。这个差别在实际生产中可以观测(或感觉)到。

研究证明,“老顶”对支承压力的影响,是通过两个方面的作用实现的。首先,它是形成压力的载荷中的一个组成部分。因此,其悬跨度的大小,及运动状态的改变会对临近采场的支承压力变化产生影响。但是更重要的方面是它作为“传递介质”的作用。由于所有上覆岩层的作用力都只有通过它才能传递到煤层上,因此,作为垫层,其运动状态一旦发生变化,必然会导致煤层上压力分布的改变。

此外,研究证明,在采场推进的过程中,老顶的上述两个方面的作用也是变化的,其主导地位在不断相互转化之中。例如工作面开始推进的一段时间,由于老顶岩梁的重量在整个上覆岩层中所占的比重很小,其作为载荷的影响是不明显的。相反,作为传递介质的作用将占主导地位。这个地位一直到岩梁裂断前达到高峰。但是在岩梁裂断完成后,对靠近煤壁的支承压力大小和分布的影响而言,老顶的载荷作用就是主要的了。在采场推进的全过程