

沿空留巷巷旁充填体主要参数研究

郭育光 柏建彪 侯朝炯

(采矿系)

摘要 在现场实践的基础上, 本文对高水灰渣巷旁充填体的作用机理进行研究, 由此得到求解巷旁充填体力学参数的力学模型和计算公式, 计算所得结果与现场实测所得结果基本一致, 为沿空留巷巷旁支护设计提供了依据。

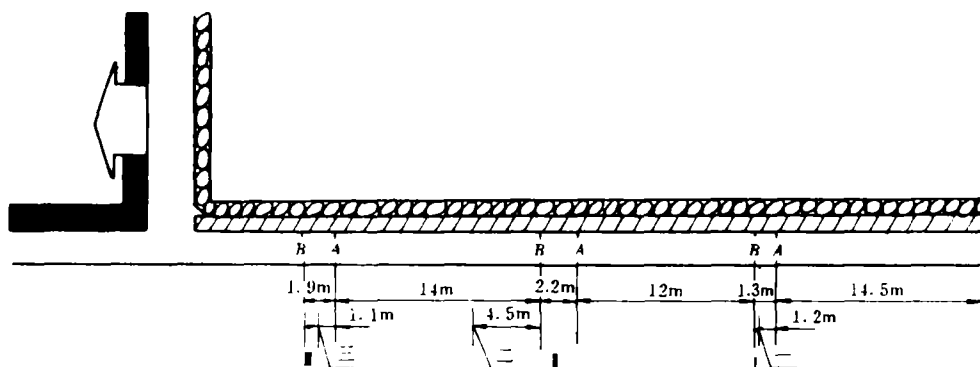
关键词: 沿空留巷、巷旁充填体、切顶阻力、后期支护阻力

用高水灰渣充填材料构筑的沿空留巷巷旁充填体具有增阻速度快, 支承能力大的良好力学特性, 并有机械化程度高, 密闭采空区效果好等优点, 巷道维护状况优于矸石垛、木垛、密集支柱等传统方式, 具有较好的经济效益。因此, 这一新技术的使用和发展, 必将对我国煤矿采区巷道布置、巷道支护改革及开采程序优化等产生重大影响。

本文在现场实践的基础上, 对巷旁充填体的作用机理及其力学参数的确定进行了初步研究。

1 巷旁充填体作用机理

1991年4~6月在徐州矿务局庞庄煤矿东城井721工作面回采巷道进行了高水灰渣巷旁整体充填沿空留巷试验。试验期间对721工作面单体液压支柱支护强度、巷道围岩变形、巷旁充填体变形及其力学特性进行了观测。测站布置图见图1所示。



1~Ⅲ为巷道围岩变形测站和充填体变形测站的位置;
A、B为各测站的侧面; 一~三为充填体载荷测站的位置。

图1 测站布置图

本文1991年12月2日收到。

1.1 721 工作面上覆岩层活动规律

721 工作面煤层厚 2.5~4.0 m, 平均 3.2m, 采高 2.0m, 煤层倾角 0~10°, 平均 5°; 直接顶为 4.9m 厚的砂质页岩, 直接底为泥质页岩, 老顶为平均厚 4m 的砂岩。综合柱状见图 2。

在巷旁充填沿空留巷期间, 观测了 721 工作面的单体液压支柱的支护强度。工作面单体液压支柱支护强度和工作面与巷道围岩变形测站间的距离(x) 关系如图 3 所示。

工作面推过巷道围岩变形测站

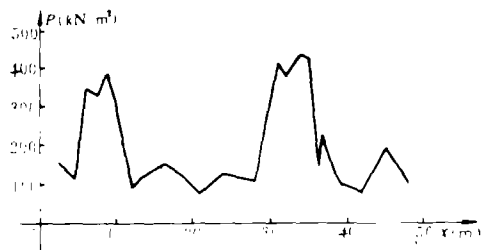


图 3 工作面支柱支护强度与巷道围岩变形测站位置关系

岩层名称	厚度 (m)	柱状	岩性描述
砂岩	2.2		有交错层理, 泥质多
页岩	5.1		深灰, 含植物化石较细微
砂岩	2.8		深灰, 中粒状, 泥质胶结
煤线	0.4		黑, 稍硬, 含黄铁矿
砂质页岩	3.5		深灰, 砂质分布较均匀
砂岩	4		灰, 中粒, 泥质较多
砂质页岩	4		灰黑, 上部含砂质, 含植物化石
7 号煤层	3.2		局部较硬, 呈暗灰色
泥质页岩	4.4		灰黑, 含炭质成份有滑石
8 号煤层	1		坚硬板状玻璃光泽

图 2 721 工作面综合柱状图

4.5m, 在巷旁充填试验期间工作面老顶第一次破断失稳, 工作面顶板来压, 至 12m 时, 老顶稳定, 工作面顶板压力恢复正常; 至 28m 时, 老顶第二次破断失稳, 工作面顶板来压, 至 36m 时, 老顶稳定, 工作面顶板压力恢复正常。老顶周期来压步距为 24m。庞庄煤矿东城井 7 层煤矿压观测表明, 老顶周期来压步距亦为 24m 左右。

1.2 巷旁充填沿空留巷围岩变形规律

巷道围岩变形与回采工作面距离关系如图 4 所示。

在回采工作面推过之后, 沿空留巷围岩变形可分为四个阶段。第一阶段, 工作面后方 0~4m 范围, 尚未构筑巷旁充填体, 巷道顶底板相对移近剧烈, 移近速度平均为 9.8mm/d, 为无巷旁支护区; 第二阶段, 工作面后方 4~20m 范围, 处于工作面端部弧形三角板下方^[4], 已构筑巷旁充填体。由于充填体早期强度高, 增阻速度快, 单轴抗压强度 4 小时为 2.2MPa, 1 天为 3.6MPa, 3 天为 4.7MPa, 7 天为 5.0MPa, 有效地控制了围岩变形, 巷道围岩变形小而平缓, 顶底板相对移近速度平均为 2.4mm/d, 两帮相对移近速度平均为 1.1mm/d, 为采动影响缓和区; 第三阶段, 工作面后方 20~40m 范围, 处于老顶周期断裂期 (见图 3), 围岩活动剧烈, 巷道顶底板移近速度再次剧增, 平均为 10.8mm/d, 两帮移近速度平均为 7.3mm/d, 为采动影响剧烈区; 第四阶段, 工作面后方 40m 以后, 老顶活动稳定期, 巷道顶底板相对移近速度平均为 2.1mm/d, 两帮相对移近速度平均为 1.9mm/d, 为采动影响稳定区。一次采动稳定以后, 巷道顶底板相对移近率平均为 15.2%, 两帮移近率为 5.2%, 断面收缩率为 13.8%。

1.3 巷旁充填体变形规律

巷旁充填体变形包括横向变形和垂直变形两部分, 充填体变形与回采面距离关系如图 5 所示。

巷旁充填体变形分为三个阶段。第一阶段，工作面后方 20m 以内，围岩比较

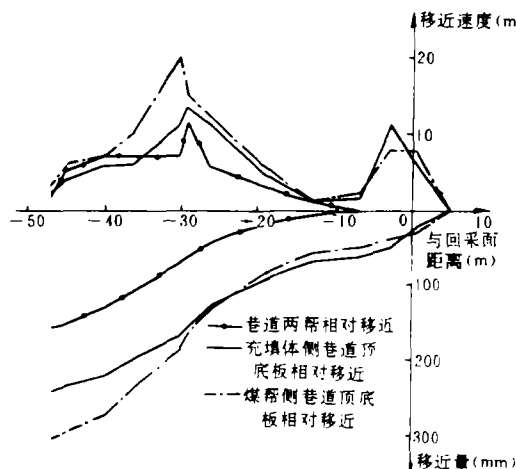


图4 巷道围岩变形与回采面距离关系

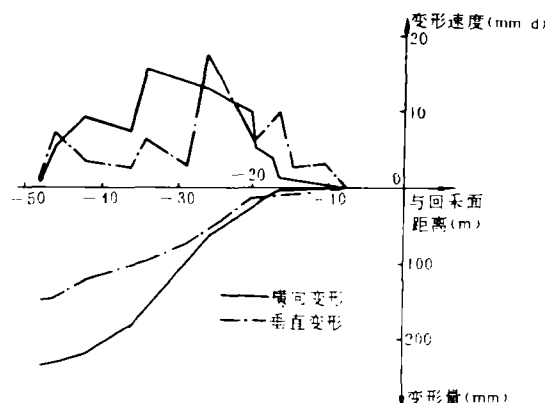


图5 充填体变形与回采面距离关系

稳定，充填体变形速度较小，横向变形速度平均为 1.3mm/d ，垂直变形速度平均为 2.0mm/d ，为充填体变形缓和区；第二阶段，工作面后方 20~40m 范围内，处于老顶周期断裂期，围岩活动强烈，充填体变形剧烈，横向变形速度平均为 11.4mm/d ，垂直变形速度平均为 9.3mm/d ，为充填体变形剧烈区；第三阶段，工作面后方 40m 以后，老顶活动渐趋平稳，充填体变形速度较小，横向平均为 1.0mm/d ，垂直方向平均为 0.7mm/d ，为充填体变形稳定区。

1.4 巷旁充填体承受载荷规律

巷旁充填体承受载荷与回采面距离关系见图 6 所示。

巷旁充填体所承受的载荷分为三个阶段。第一阶段，工作面后方 20m 以内，充填体承受的载荷较小，工作面后方 7m 达到 1500kN/m ，20m 达到 4300kN/m ，具有波动性；第二阶段，工作面后方 20~32m 范围，载荷剧烈增加，最大达到 5600kN/m ，工作面后方 32m 以后，载荷逐渐降低，最后稳定在 4300kN/m 左右。

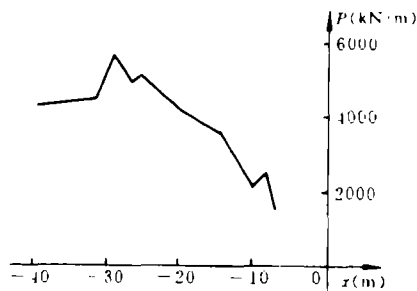


图6 充填体载荷与回采面距离关系

1.5 巷旁充填体作用机理

从上述实际观测资料可以看出，巷道围岩变形，巷旁充填体变形以及充填体载荷的变化都与回采工作面的周期来压有关系。回采工作面后方 20m 范围内，巷道围岩变形速度较小；当周期来压引起工作面后方老顶弧形三角板失稳时，巷道围岩及巷旁充填体产生剧烈变形，充填体承受载荷也剧烈增加，这个区域在工作面后方 20~40m 范围内。

因此，用高水灰渣充填体维护沿空留巷，其作用机理为：

(1) 巷旁充填体应具有早期强度高，增阻速度快的力学特性，紧随工作面构筑，及时支护直接顶，控制巷道围岩的变形，与巷内支护共同作用，确保巷道内直接顶不破碎、避

免与上部老顶离层,并切断采空区旁的直接顶,减小巷旁充填体所承受的载荷。

(2) 回采面的推进,必然引起老顶破断、失稳、剧烈沉降,此时巷旁充填体的支护阻力应达到切顶阻力,当老顶岩层中的弯矩在巷旁充填体边缘附近达到极限值时,切断老顶。垮落的矸石由于破碎后体积增大,当充填满采空区时,更上位岩层在矸石及煤体的支撑作用下,取得运动的平衡,巷道围岩变形趋于缓和并稳定下来,所以采高决定巷旁充填体的切顶高度;另外,高水灰渣巷旁充填体因具有一定的可缩量,对上位岩层在取得平衡之前的急剧沉降有较好的适应性。

(3) 巷道围岩运动稳定后,巷旁充填体具有的支护阻力为后期支护阻力,其大小应能够维持巷道上方已切断岩层的平衡,同时将巷道顶板下沉量控制在设计范围内。一般后期支护阻力小于切顶阻力。

2 巷旁充填体主要参数的确定

运用高水灰渣巷旁充填体沿空留巷,工作面后方下位老顶的运动有三种状态,即稳定——失稳——再稳定,与之相对应,巷旁充填体的作用可分为三个阶段,以下分别确定三个阶段中巷旁充填体的主要参数。

2.1 初期支护阻力及增阻速度

2.1.1 力学模型的建立

巷旁充填体构筑初期,下位老顶处于稳定状态,充填体与巷内支护共同作用,维护直接顶,阻止直接顶与老顶离层,并切断采空区侧直接顶,此阶段充填体作用的对象为直接顶,巷旁充填体与直接顶相互作用的力学模型见图7。

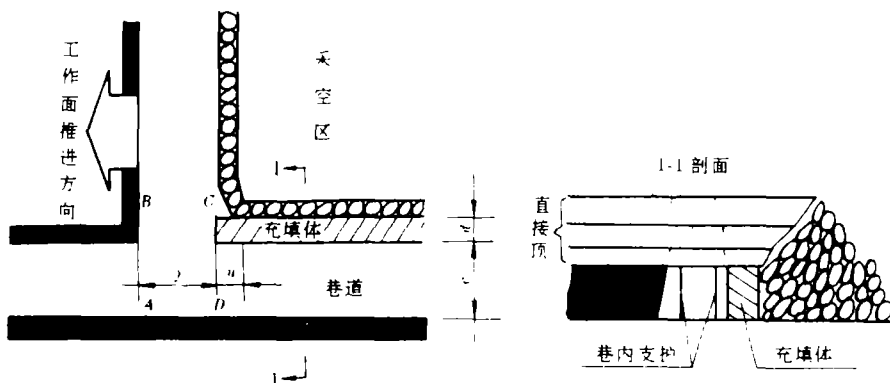


图7 巷旁充填体与直接顶相互作用关系

一般直接顶的抗拉强度、剪切强度均较小,从工程安全角度考虑,设 $ABCD$ 四边所受的弯矩及剪力为零,巷旁充填体与巷内支护共同维护 $ABCD$ 岩块的平衡。

2.1.2 巷旁充填体初期支护阻力及增阻速度的求解

根据图7分析直接顶 $ABCD$ 岩块,由 $\sum F_i = 0$ 得:

$$(c+d)(j+u) \cdot t \cdot \gamma - \omega(c+d)(j+u) - P_c \cdot u = 0 \quad (1)$$

由(1)式得:

$$P_c = \frac{(c+d)(j+u)(t \cdot \gamma - \omega)}{u} \quad (2)$$

式中: P_c ——巷旁充填体构筑24小时的支护阻力; c ——巷道宽度;
 d ——巷旁充填体宽度; j ——充填体距回采面距离;
 u ——日充填长度; t ——直接顶厚度;
 ω ——支架对直接顶 $ABCD$ 的平均支护强度; γ ——直接顶容重。

增阻速度是单位时间巷旁充填体支护阻力的增加值。巷旁充填体有效维护巷道的条件之一是在老顶破断、失稳时,其支护阻力达到切顶阻力,切断老顶,使充填体卸载并形成由煤体、上位岩层和矸石组成的新的平衡结构。所以:

$$V = \frac{P_q - P_c}{\frac{b-j-u}{u}} \quad (3)$$

式中: V ——巷旁充填体的增阻速度; P_q ——巷旁充填体的切顶阻力;
 b ——老顶来压步距。

2.2 切顶阻力

2.2.1 力学模型的建立

随着回采面的推进,控顶范围扩大,引起下位老顶破断、失稳,此阶段巷旁充填体具有的支护阻力,应使老顶沿巷旁充填体侧的弯矩达到极限弯矩,从而切断下位老顶。由于巷内支护阻力远小于巷旁支护阻力,巷内支护阻力可忽略不计。巷旁充填体与顶板相互作用的力学模型如图8所示。

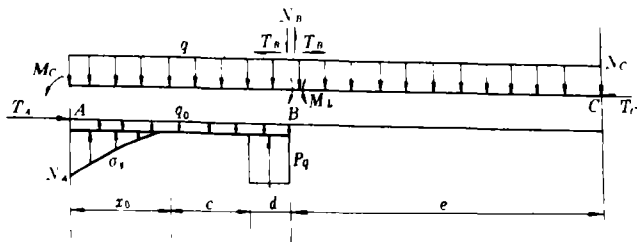


图8 切顶阻力计算简图

作如下简化: (1) 矸石对结构块 AC 的支撑力为零,在采空区侧受到的剪力为 N_C ,水平推力为 T_C ;

$$T_C = \frac{L \cdot q}{2(h - \Delta S_C)}^{[5]}$$

式中: L —— AC 岩块的长度; q —— AC 岩块单位长度的自重;
 h —— AC 岩块的厚度; ΔS_C —— AC 岩块被切断时 C 端的下沉量。

(2) 因采空区上方直接顶与老顶之间的离层,以及老顶之上软弱岩层与更上位岩层之间的离层,认为其间的剪力为零;

(3) 老顶之上的软弱岩层,其重量均匀地加到老顶上;

(4) 下位老顶以煤体弹塑性交界处为旋转轴向采空区侧旋转倾斜;

(5) 沿空留巷下侧煤体支承压力 σ_y 和应力极限平衡区宽度 x_0 计算式^[2]为:

$$\sigma_1 = \left(\frac{C_0}{\operatorname{tg} \varphi_0} + \frac{P_x}{A} \right) e^{\frac{2 \operatorname{tg} \varphi_0}{M-4} x} - \frac{C_0}{\operatorname{tg} \varphi_0}$$

$$x_0 = \frac{M \cdot A}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \ln \frac{k \gamma H + \frac{C_0}{\operatorname{tg} \varphi_0}}{\frac{C_0}{\operatorname{tg} \varphi_0} + \frac{P_x}{A}}$$

式中: C_0 、 φ_0 ——煤层与顶底板岩层交界面的粘聚力和内摩擦角;

P_x ——支架对煤帮的支护阻力; A ——侧压系数; M ——采高;

γ ——上覆岩层平均容重; k ——应力集中系数; H ——开采深度。

2.2.2 切顶阻力的求解

根据图8, 用平衡法对 AB 、 BC 两岩块分别建立力学方程。

BC 岩块, $\sum F_x = 0$, 得:

$$N_B - q \cdot e - N_C = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_x = 0, \text{ 得 } T_B = T_C \quad (5)$$

$\sum M_B = 0$, 得

$$M_L - \frac{1}{2} q \cdot e^2 - N_C \cdot e + T_C \left(\frac{h}{2} - \Delta S_C \right) = 0$$

$$N_C = \frac{M_L + T_C \left(\frac{h}{2} - \Delta S_C \right) - \frac{1}{2} q \cdot e^2}{e} \quad (6)$$

AB 岩块, $\sum M_A = 0$, 得

$$P_q \left(x_0 + c + \frac{d}{2} \right) + \int_0^{x_0} \sigma_1 (x_0 - x) dx + M_0 + T_B \left(\frac{h}{2} - \Delta S_B \right) - \frac{1}{2} (q + q_0) (x_0 + c + d)^2 - N_B (x_0 + c + d) - M_L = 0 \quad (7)$$

将(4)、(5)式代入(7)式, 得:

$$P_q = \left[M_L + (q \cdot e + N_C) (x_0 + c + d) + \frac{1}{2} (q + q_0) (x_0 + c + d)^2 - T_C \left(\frac{h}{2} - \Delta S_B \right) - M_0 - \int_0^{x_0} \sigma_1 (x_0 - x) dx \right] / \left(x_0 + c + \frac{d}{2} \right) \quad (8)$$

式中: P_q ——巷旁充填体的切顶阻力; M_L ——老顶岩层的极限弯矩;

q ——老顶及其上部软弱岩层单位长度的自重; q_0 ——直接顶单位长度自重;

c ——巷道宽度;

d ——巷旁充填体宽度;

h ——老顶岩层厚度;

ΔS_B ——老顶跨落前 B 端的下沉量,

$$\Delta S_C = \frac{x_0 + c + d + e}{x_0 + c + d} \cdot \Delta S_B$$

e —— BC 岩块的长度, 其计算式^[6]为:

$$e = \frac{2b}{17} \cdot \frac{b}{L_m} \cdot \sqrt{100 + 102 \left(\frac{L_m}{b} \right)^2} - x_0 - c - d$$

b ——老顶来压步距; L_m ——工作面长度; M_0 —— A 端老顶的残余弯矩。

2.2.3 切顶阻力与切顶高度的关系

一定的切顶阻力只能切断一定高度的岩层。巷旁充填体合理的切顶高度是切断老顶岩层后, 垮落的矸石充填采空区, 使更上位岩层在矸石及煤体的支撑作用下, 取得运动的平衡, 巷道围岩变形趋于缓和并稳定下来, 所以

$$\sum_{i=1}^n h_i (k_{pi} - 1) = M, \quad h_q = \sum_{i=1}^n h_i \quad (9)$$

式中: h_q ——巷旁充填体的合理切顶高度; n ——切顶范围内岩层的层数;

h_i 、 k_{pi} ——第 i 层岩层的厚度及其残余碎胀系数; M ——采高。

由(8)式计算得到的切顶阻力只能切断第一组老顶(即第一层老顶及其上部软弱岩层)。根据(9)式计算, 如果第一组老顶高度达到充填体合理切顶高度, 则(8)式计算得到的切顶阻力就是巷旁充填体的切顶阻力, 若达不到则巷旁充填体还需切断更上位老顶。

巷旁充填体切断第 m 组老顶的力学模型见图9所示。

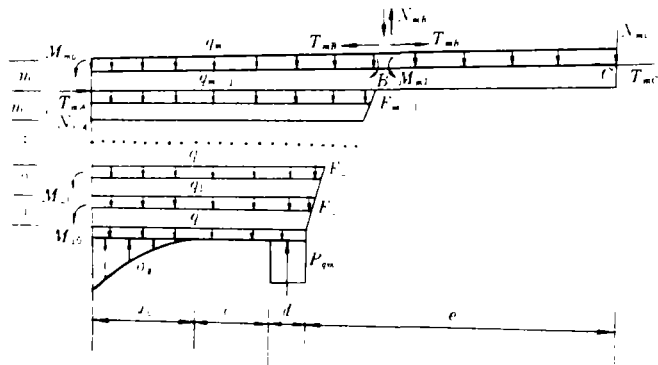


图9 切断第 m 组老顶的切顶阻力计算简图

根据图9, 用平衡法对 AB 、 BC 两岩块分别建立力学方程。

BC 段: $\sum F_y = 0$, 得

$$N_{mB} = q_m \left(e - \sum_{i=0}^{m-1} h_i \cdot \text{tg} \beta_i \right) + N_{mC} \quad (10)$$

$\sum F_x = 0$, 得

$$T_{mB} = T_{mC} \quad (11)$$

$\sum M_{mB} = 0$, 得

$$M_{mL} - \frac{1}{2} q_m \left(e - \sum_{j=0}^{m-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right)^2 - N_{mC} \left(e - \sum_{j=0}^{m-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right) + T_{mC} \left(\frac{h_m}{2} - \Delta S_C \right) = 0 \quad (12)$$

由(12)式得:

$$N_{mC} = \frac{1}{e - \sum_{j=0}^{m-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j} \left[M_{mL} + T_{mC} \left(\frac{h_m}{2} - \Delta S_C \right) - \frac{1}{2} q_m \left(e - \sum_{j=0}^{m-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right)^2 \right] \quad (13)$$

AB段: $\sum M_A = 0$, 得

$$P_{qm} \left(x_0 + c + \frac{d}{2} \right) + \sum_{i=1}^m M_{i0} + \int_0^{x_0} \sigma_1 (x_0 - x) dx + T_{mB} \left(\frac{h_m}{2} - \Delta S_B \right) - \frac{1}{2} \sum_{i=0}^m q_i \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^{i-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right)^2 - N_{mB} \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^{m-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right) - \sum_{i=0}^{m-1} F_i \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^i h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right) - M_{mL} = 0 \quad (14)$$

由(14)式得:

$$P_{qm} = \frac{1}{x_0 + c + \frac{d}{2}} \left[M_{mL} + \sum_{i=0}^{m-1} F_i \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^i h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right) + N_{mB} \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^{m-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^m q_i \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^{i-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right)^2 - T_{mB} \left(\frac{h_m}{2} - \Delta S_B \right) - \int_0^{x_0} \sigma_1 (x_0 - x) dx - \sum_{i=1}^m M_{i0} \right] \quad (15)$$

式中: P_{qm} ——巷旁充填体切断第 m 组老顶的切顶阻力;

M_{mL} ——第 m 组老顶岩层的极限弯矩;

F_i ——采空区侧第 i 层老顶作用于巷道上第 i 层老顶的剪切力, $F_0 = 0$;

h_j 、 β_j ——第 j 层老顶的厚度及破断角(当 $j \leq 0$ 时, $h_j = 0$);

q_i ——第 i 组老顶单位长度的自重, q_0 为直接顶的自重;

M_{i0} ——第 i 层老顶在 A 端的残余弯矩。

当第 m 组老顶高度满足切顶高度要求, 则 P_{qm} 即是巷旁充填体应达到的切顶阻力。

2.3 后期支护阻力

2.3.1 力学模型的建立

充填体切断老顶后, 由于冒落矸石体积增大, 使上位岩层由冒落矸石和煤体支撑, 下位老顶在煤体和巷旁充填体的作用下重新取得平衡。此阶段巷旁充填体与顶板相互作用的力学模型见图 10 所示。

注: 矸石对 BC 岩块的支撑力为 F_C ;

$$F_c = \frac{1}{2} g \cdot f$$

式中: g ——矸石支撑范围;
 f —— BC 岩块运动稳定后矸石对顶板 C 端的支撑强度,

$$f = 0.25H\gamma^{[3]} \quad .$$

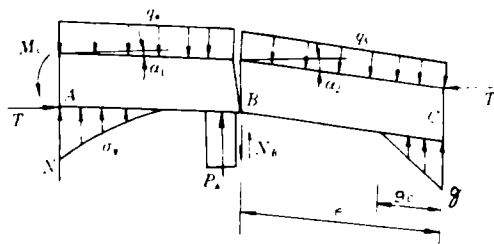


图10 下位老顶运动稳定后力学模型

2.3.2 后期支护阻力的求解

下位老顶运动稳定后, 巷道顶板与充填体相互作用的力学模型如图 10 所示。运用平衡法对 AB 、 BC 两岩块分别建立力学方程。

BC岩块, $\sum F_v = 0$, 则

$$N_R + F_C - q_b \cdot e \cdot \cos \alpha_s = 0 \quad (16)$$

 $\sum M_C = 0$, 则

$$N_B \cdot e \cdot \cos \alpha_2 - T(h - e \cdot \sin \alpha_2) - \frac{1}{2} q_b \cdot e^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{3} F_C \cdot g = 0 \quad (17)$$

联立(16)和(17)式得:

$$T = \frac{(q_b \cdot e \cdot \cos \alpha_2 - F_C) \cdot e \cdot \cos \alpha_2 - \frac{1}{2} q_b \cdot e^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{3} F_C \cdot g}{h - e \cdot \sin \alpha_1} \quad (18)$$

AB 岩块, $\sum M_A = 0$, 则

$$M_0 + \int_0^{x_0} \sigma_y(x_0 - x) \cdot \cos \alpha_1 dx + P_h \left(x_0 + c + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha_1 - N_B(x_0 + c + d) \cdot \cos \alpha_1 - \frac{1}{2} q_a(x_0 + c + d)^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 - T(x_0 + c + d) \cdot \sin \alpha_1 = 0 \quad (19)$$

巷旁支护效果好, 巷道顶板倾斜角 α_1 一般小于 3° , $\cos 3^\circ = 0.9986 \approx 1$, 记 $a = x_0$ $+ c + d$, $M_1 = M_0 + \int_0^{x_0} \sigma_y(x_0 - x)dx - \frac{1}{2} q_a \cdot a^2$, 则 (19) 式可简化为:

$$M_1 + P_h \left(a - \frac{d}{\gamma} \right) - N_B \cdot a - T \cdot a \cdot \sin \alpha_1 = 0 \quad (20)$$

将 (16)、(18) 式及 $\sin\alpha_1 = \frac{\Delta S_B}{a}$ 、 $\sin\alpha_2 = \frac{\Delta S_C - \Delta S_B}{e}$ 代入 (20) 式, 并记 $\Delta S = \Delta S_C - \Delta S_B$, 可求得:

$$P_h = \frac{1}{a - \frac{d}{2}} \left[(q_b \cdot \Delta S - F_c) \cdot a - M_1 + \frac{(q_b \cdot \Delta S - F_c) \cdot \sqrt{e^2 - \Delta S^2} - \frac{1}{2} q_b \cdot e \cdot \sqrt{e^2 - \Delta S^2} + \frac{1}{3} F_c \cdot g}{h - \Delta S} \cdot \Delta S_B \right] \quad (21)$$

式中: P_h ——充填体的后期支护阻力,

$$\Delta S_c = M - t \cdot k_p$$

M ——采高;

t 、 k_p ——直接顶厚度及其残余碎胀系数, 充填体侧巷道顶板下沉量为 S , 则

$$\Delta S_B = \frac{a}{x_0 + c} \cdot S$$

q_a ——直接顶、 AB 岩块及其上部切断岩层单位长度的重量;

q_b —— BC 岩块及其上部切断岩层单位长度的重量。

3 计算实例

徐州矿务局庞庄煤矿东城井 721 工作面综合柱状见图 2, 地质技术参数如下: $M = 2\text{m}$, $A = 0.4$, $\varphi_0 = 18^\circ$, $C_0 = 0.1\text{MPa}$, $\gamma = 2.5 \times 10^4 \text{N/m}^3$, $H = 280\text{m}$, $k = 2$, $P_v = 0.0375\text{MPa}$, $L_m = 120\text{m}$, $b = 24\text{m}$, $c = 3\text{m}$, $d = 1.2\text{m}$, $h = 4\text{m}$, $R_t = 8\text{MPa}$, $t = 4.9\text{m}$, $j = 4\text{m}$, $u = 2\text{m/d}$, $\omega = 10^4 \text{N/m}^2$, $M_0 = 0$ (考虑量危险情况)。

采用这些参数求得该工作面沿空留巷所需巷旁充填体的力学性能如下:

24 小时之后, 支护阻力 P_c 为 1240kN/m , 巷旁充填体构筑后达到切顶阻力的时间为 8 天, 巷旁充填体需要切断两组老顶, 方可满足切顶高度要求, 切断第一组老顶所需的支护阻力 P_{q1} 为 4500kN/m , 切断第二组老顶所需的支护阻力 P_{q2} 为 5400kN/m , 后期支护阻力 P_h 大于 4000kN/m , 可控制巷道顶板下沉量小于 200mm , 即采高的 10%。

现场实际观测得到的支护阻力值由图 6 可得: 初期支护阻力为 1500kN/m , 切断第一组老顶的切顶阻力为 5100kN/m , 切断第二组老顶的切顶阻力为 5600kN/m , 后期支护阻力为 4300kN/m , 由图 5 可知, 巷旁充填体垂直方向压缩量为 151mm , 计算结果与观测值基本一致。

4 结 论

(1) 理论分析与现场试验结果表明: 高水灰渣巷旁充填体的力学性能适应沿空留巷围岩变形特点, 是一种理想的巷旁支护体。

(2) 巷旁充填体初期支护阻力 P_c 计算式为:

$$P_c = \frac{(c+d)(j+u)(t \cdot \gamma - \omega)}{u}$$

巷旁充填体切断第 m 组老顶的切顶阻力 P_{qm} 计算式:

$$P_{qm} = \frac{1}{x_0 + c + \frac{d}{2}} \left[M_{mL} + \sum_{i=0}^{m-1} F_i \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^i h_j \cdot \text{tg}\beta_j \right) \right]$$

$$+ N_{mB} \left(x_0 + c + d + \sum_{i=0}^{m-1} h_i \cdot \operatorname{tg} \beta_i \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^m q_i \left(x_0 + c + d + \sum_{j=0}^{i-1} h_j \cdot \operatorname{tg} \beta_j \right)^2 \\ - T_{mB} \left(\frac{h_m}{2} - \Delta S_B \right) - \int_0^{x_0} \sigma_i (x_0 - x) dx - \sum_{i=1}^m M_{i0} \Big]$$

巷旁充填体后期支护阻力 P_h 计算式为:

$$P_h = \frac{1}{a - \frac{d}{2}} \left[(q_h \cdot \Delta S - F_c) \cdot a - M_1 \right. \\ \left. + \frac{(q_h \cdot \Delta S - F_c) \cdot \sqrt{e^2 - \Delta S^2} - \frac{1}{2} q_h \cdot e \cdot \sqrt{e^2 - \Delta S^2} + \frac{1}{3} F_c \cdot g}{h - \Delta S} \cdot \Delta S_B \right]$$

(3) 根据徐州矿务局庞庄煤矿东城井 721 工作面地质技术条件, 对巷旁充填体的力学参数进行了计算, 结果表明, 与现场实测值基本一致。可作为巷旁支护设计的依据。

参 考 文 献

- 1 陆士良. 无煤柱护巷的矿压显现. 煤炭工业出版社, 1982
- 2 侯朝炯, 马念杰. 煤层巷道两帮煤体应力和极限平衡区的探讨. 煤炭学报, 1989(4)
- 3 宋振骐等. 关于采场巷道矿压控制实际问题. 国际采矿科学技术讨论会论文集. 山东矿业学院出版, 1985
- 4 朱德仁等. 长壁工作面端头顶板的弧三角形悬板结构. 第三届煤矿采场矿压理论与实践讨论会文汇编. 煤炭部矿山压力科技情报中心站出版, 1987
- 5 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制. 煤炭工业出版社, 1984
- 6 蒋金泉. 采场老顶岩层板结构断裂规律. 山东矿业学院学报, 1988(1)

Study on the Main Parameters of Gateside Packs in Gateways Maintained along Gob-edges

Guo Yuguang Bo Jianbiao Hou Chaojiang

(Department of Mining Engineering)

Abstract On the basis of practice this paper studies the effect mechanism of the gateside pack of slag-cement material with high water content. The mechanic model and formula for calculating the parameters of the gateside pack are obtained. The results gained by calculation in this paper are consistent with that measured on the spot. And this provides a basis for the gateside pack support design.

Key words: gateway maintained along gob-edge, gateside pack, roof-cut resistance, later period resistance