

# 矸石充填沿空留巷顶板与侧壁耦合研究

韩 乐 (大同煤矿集团同生千井煤业有限公司, 山西 朔州 036900)

**摘要:** 本文分析了上覆地层的变形特性与采煤工艺和留住道路沿着回充采空区煤炭开采技术, 顶板关键层的力学模型, 建立了保持道路的条件下采空区回充以及机械式采煤模型。结合具体情况, 得到了充填和综采条件下沿空留巷顶板关键层的挠度曲线。采用库仑土压力理论解决问题的侧压煤矸石充填区域支持墙上旁边的巷道, 并提供理论依据合理选择煤矸石混凝土墙和屋顶之间的距离, 证明支持巷道的稳定。

**关键词:** 矸石充填; 支护壁; 巷道

## 1 引言

在我国所开采的煤矿之中, 分布在综采工作面两端的巷道长达上万公里, 这么些年, 维护的方式一致采用当煤柱的方式<sup>[1, 2]</sup>。但该方法造成的损失量较大, 占煤炭开采损失总量的40%, 是造成损失最多的原因之一<sup>[3]</sup>。因此, 采用无矿柱法来维护巷道, 提高采矿技术是一种可行的发展趋势。但问题是, 在中厚煤层和厚煤层分段巷道中, 大多数采用冒顶法来管理留巷技术的应用, 均未达到预期效果。研究表明, 与非充填采矿法相比, 充填采矿法的变形量要小得多, 非充填采矿法的变形面积约为30%。充填采矿在控制顶板变形方面取得突破性进展, 为矸石充填综采回采巷道的实际应用提供了必要条件。矸石回充区限制了顶板下沉, 在某种程度上减小了墙面阻力, 因此既实现顶板关键层完好无损, 又使得墙面稳定。此外, 脉石是一种颗粒状介质。在屋顶的压力下, 它会对支撑墙面产生侧向压力, 对支撑墙的稳定也起着重要作用。

## 2 关键层的力学研究

### 2.1 上覆岩层的变形特征

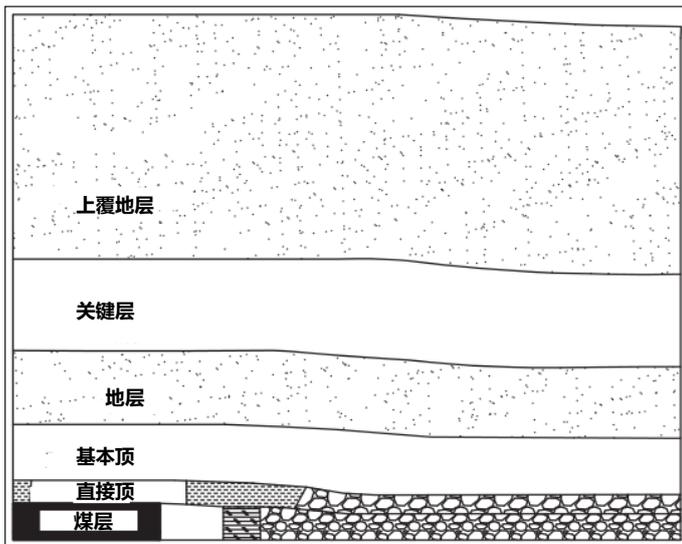


图1 残余巷道覆岩变形分析

在传统的沿空留巷中, 当工作面向前时, 残留巷道的巷道侧支护阻力应达到顶板抗剪。当基本顶弯矩到达靠近巷旁支架边缘时, 基本顶被切成。由于上层煤、矸石的支撑, 矸石垮塌体积不断增大, 直至达到移动平衡,

变形转缓。当采空区充填时, 采空区直接顶板垮落时发生坍塌。粗大的岩石和回充矸石都将支撑基本顶板。从而有效地控制了基本顶与直接顶的接触与下沉。关键层与上覆软弱层分离后, 由于上覆岩石的载荷作用, 关键层会下沉。但由于离场距离较短, 下部岩体的支护效果将较为明显。关键层处在控制良好的弯曲状态, 残留巷道的巷侧支护阻力不会达到极限值。充填面积对顶板位移的控制将减小支护应力, 进而对巷道有所保护, 提升了巷道支护的鲁棒性, 使得巷道使用更加安全可靠。

在综采进路采空区沿空回充留巷的情况下, 基本层面顶板下岩体的支护效果显著, 关键层仅仅产生轻微弯曲和变形, 不会造成断裂损坏。关键层仍可作为重支承岩层。变形如图1所示。

### 2.2 关键层力学模型

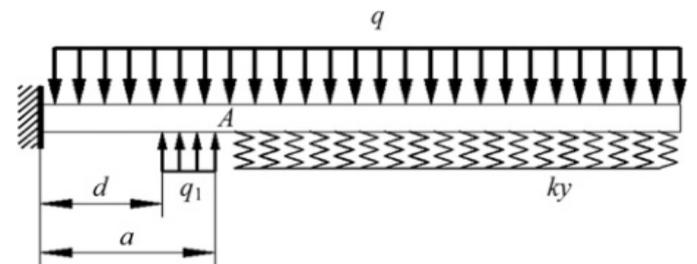


图2 关键层力学简化模型

综采采空区充填过程中, 矸石回充区控制了上覆岩层的沉陷, 保证了关键层的完整性。在此基础上, 应调整矸石混凝土墙与顶板的距离, 以保护支撑墙。在施工过程中, 采矿、矸石充填和墙体混凝土应同时进行。当到达回充区一定时间后, 围岩和围岩变形将趋于稳定。花上的关键层采空区侧入口和采空区稳定阶段为研究对象和简化的实际模型, 左边的约束尚未开发的固体煤在屋顶上夹紧边界近似, 在屋顶上被认为是均匀的负载。右边的回充区近似满足 Winkler 弹性地基假设, 可以作为弹性地基梁模型进行研究。与巷道和巷道的宽度相比, 充填区可以视为无限长, 充填区域右边对左边巷道的影响较小, 所以可以将充填区域右边边界作为自由边界。通过度巷道长度进行研究, 能够搭建模型进行仿真计算, 得到相关数据, 其中,  $q$  代表从关键层得到的等效电荷,  $f$  代表墙体表面对关键层顶板的压力,  $d$  代表巷道宽度, 矸石混凝土墙右侧与左边界之间的距离巷道。

我们假定采空区为弹性地基。基于文克尔弹性地基理论,任意点的基础表面积与该面积上的压力成正比关系, $y$  是屋顶偏转, $k$  是地基系数,如图 2 所示。

### 2.3 机械模型的解决方案

由于整个大梁是超静定结构。梁的角度和挠度连接在墙右侧点 A 处。我们可以分别考虑点 A,假设 A 点的剪切力是  $p$ ,弯矩是  $m$ ,则 A 点左边的岩梁是静态结构,右边的梁是基于 Winkle 搭建的。

根据综采进路沿回采空区留巷的机械化模型,采用 Winkle 所提出的理论对地基层和关键层进行分析和研究。关键层上部受均匀分布压力  $q$  作用,弹性基础上挠度基本微分方程为:

$$\frac{d^4 y(x)}{dx^4} + 4b^4 y(x) = q \quad (1)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \quad (2)$$

## 3 运用在工程上的案例及分析

### 3.1 工程地质条件

根据煤矿所处的地质条件,试验区域部分地面高度为 +33.92~+34.08m,以地面为基准,地下高度为 -653~-647m,煤层的趋势是东西方向,南边均为土场,0~4° 的倾角,北边部分是坡度较大的斜体构造。与普通的地质构造相比较,掘进方向上与煤层的夹角为 0~3°,硬度系数  $f=1-2$ ,岩体厚度 3.18~4.15m,平均厚度为 3.56m,这是一个稳定的厚煤层。在煤层的底板上是粉砂岩和泥岩的混合构成的,在煤层顶板上是泥岩。混合岩的硬度系数为  $f=4.2-6.1$ ,二氧化碳的相对排放量为  $0.417\text{m}^3/\text{t}$ ,相对气体的排放速度为  $0.27\text{m}^3/\text{t}$ ,粉尘和煤尘的爆炸系数为 41.17%,煤层自燃的时间周期为 3~6 个月。

### 3.2 关键顶板地层的变形特征

根据煤矿开采深度及各层岩层性质参数,可在简化计算模型中得到各部分参数。 $b_0$  和  $h_0$  分别为梁的宽度和高度。此外,根据煤矸石混凝土力学性能试验方法,在合理配比下,抗压强度大于 7MPa。为了承受回采区关键顶板地层不破裂,通过对矸石混凝土墙体和关键层顶板之间距离的调整,能够将支护阻力保持在 7MPa,这样能够保证矸石混凝土墙体的抗压性,使得墙体更稳定。

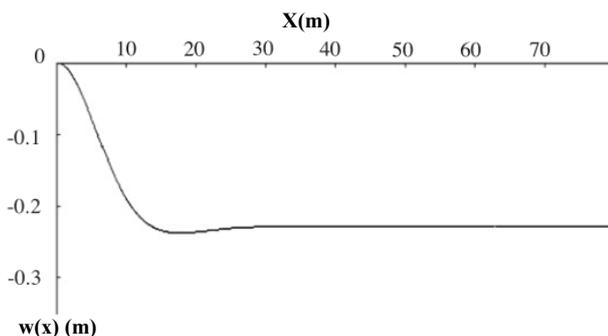


图 3 全梁挠度曲线

如图 3 所示,在上顶板,由矸石混凝土混合而成

的墙体的最大下沉量是在墙体的右边,下沉深度为 118mm,在离巷道最远处的充填区域,关键顶板岩层变形稳定在 230mm。

### 3.3 综采进路沿空回采支护巷道侧压力分析

除路边支护阻力外,矸石充填区侧压力是影响矸石混凝土墙体稳定性的另一个重要因素。当矸石充填区域遭到破坏时,充填区域的运动方向必须是由内向外,并且,充填区域内部分处于膨胀形态,围岩侧面的受力比较明显,这种情况符合库伦土压力的假设,如图 4 所示。

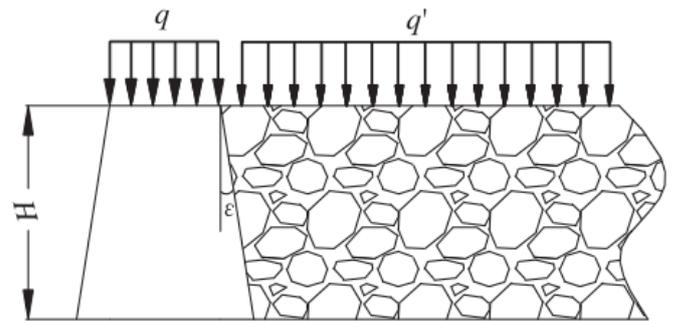


图 4 巷道旁支护墙的侧压力

矸石平均支护力  $q_0=10\text{MPa}$ ,右侧大于 6.4m 的一定范围内,矸石容重  $c=18.5\text{kN}/\text{m}^3$ ,矸石混凝土墙高  $H=3.5\text{m}$ ,面坡角  $b=0^\circ$ ,无粘摩擦角  $u=28^\circ$  评分角  $e=10^\circ$  对主动侧压力系数进行校核,可得  $K_a=0.435$ 。因此,可以得到由垂直覆岩应力和重力引起的水平和侧向压缩。

## 4 结论

①根据 Winkler 弹性地基梁理论,针对综采工作面矸石充填区域沿空留巷的地理条件,建立力学模型,分析在弹性地基的作用下,关键顶板层与地面层边界的耦合情况;②根据煤矿的工程条件,计算了综采矸石充填采空区沿空留巷的关键顶板岩层的挠度,为合理选择路边支护壁与顶板的距离提供了理论依据;③利用库伦土压力理论,根据地基沉陷,计算了由于回采区引起的路边支撑墙侧压力,为进一步探讨矸石混凝土墙体的稳定性提供了必要的依据。

### 参考文献:

- [1]Miao XX, Zhang JX, Guo GL. Study on waste-filling method and technology in fully-mechanized coal mining. J China Coal Soc 2010,35(1):1-6.
- [2]Zhang JX, Li J, AN TL, Huang YL. Deformation characteristic of key stratum overburden by raw waste backfilling with fully-mechanized coal mining technology. J China Coal Soc 2010,35(3):357-62.
- [3]Yuan F, Wang FM, Xiao ZR. Analysis on active bulk-solid pressures on curvy walls and its applications. Chin J Rock Mech Eng 2004,23(22):3900-4.

### 作者简介:

韩乐(1987-),汉族,学历:本科,毕业于黑龙江科技大学矿山安全工程专业,助理工程师,职务:安监站长。