

某煤矿采煤工作面辅助运输顺槽维护技术与运用

左保龙

中国石化长城能源化工(宁夏)有限公司 宁夏银川 750001

摘要:我国采煤工作面顺槽布置形式有单巷布置、双巷布置、三巷布置,其中受地质条件限制,采用双巷布置矿井占有一定的比例,在工作面回采过程中辅助运输顺槽往往受动压影响,出现不同程度地变形,甚至出现整条顺槽报废现象,因此如何维护好该顺槽成为矿井工作之重,该矿井在采取了变更支护设计、超前密集钻孔卸压及补强支护等综合措施后,辅助运输顺槽变形量得到了有效控制。

关键词:支护形式变更;密集钻孔卸压;动压;补强支护

Research and application of maintenance technology of auxiliary transportation channel in coal mining face of a coal mine

Baolong Zuo

Sinopec Great Wall Energy & Chemical (Ningxia) Co., LTD., Yinchuan city, Ningxia Hui Autonomous Region 750001

Abstract: Our country mining face gateway layout has a single lane arrangement, double lane arrangement, three lane arrangement, which restricted by geological conditions, with double lane layout occupies certain proportion, mine auxiliary transportation in the process of mining face gateway is often affected by dynamic pressure occur deformation in different degrees, and even the whole gateway scrap phenomenon, Therefore, how to maintain the drainage well has become the heavy work of the mine. After the comprehensive measures such as changing the support design, advanced intensive drilling pressure relief and reinforcement support are taken, the deformation of the auxiliary transportation drainage channel has been effectively controlled.

Keywords: Support form change; Intensive drilling pressure relief; Dynamic pressure; Reinforcing supporting

一、采煤工作面顺槽布置方式

根据采区巷道布置,工作面顺槽布置考虑了以下几种方式:

1. 单巷布置,沿空掘巷服务下区段。

2. 双巷布置,留宽煤柱,单巷服务下区段。

第一种方式属于无煤柱开采方式,间隔开采沿空掘巷。每个工作面布置一条胶带输送机顺槽,兼进风巷,一条辅助运输顺槽,兼回风巷。本方式主要优点是:可以提高煤炭回收率,有利于防止煤层自然发火,而且采区内的采掘工作互不影响,有利于沿空巷道的掘进和维护,所有顺槽都是随采随废,巷道维护工作量小。

第二种布置方式为留设区段煤柱方式,其主要特点是可以实现快速掘进,满足安全高效综采工作面回采接

续的要求,其中一条顺槽可以疏排采空区积水和向采空区实施防火措施并作为下区段的上顺槽二次使用,有利于人员通行和顺槽事故的抢救,另外有利于接替紧张的采区的开采,但煤柱损失稍多。

由于该矿井开采煤层较多,压茬关系较复杂,采用单巷布置需要跳采,不能解决各煤层压茬关系,采用双巷布置,则可以缓解接替困难,解决好压茬关系及采空区积水的问题。经综合分析采用第二种布置方式,运输顺巷与辅助运输巷间留设15m区段煤柱,断面形状为梯形巷道。

二、原辅助运输顺槽支护形式、补强支护及存在的问题

1. 支护形式及补强支护

首采工作面辅助运输顺槽巷道支护形式为锚网索喷支护, 锚杆规格 $\Phi 18 \times 2200\text{mm}$, 间排距 $800 \times 800\text{mm}$, 网片采用 $\Phi 6.5\text{mm}$ 钢筋网, 网格 $100 \times 100\text{mm}$, 锚索规格 $\Phi 17.8 \times 5000\text{mm}$, 间排距 $1600 \times 2400\text{mm}$, 每排两根锚索, 巷道全断面喷浆支护, 喷浆厚度 80mm , 喷浆强度 C25。工作面回采前对辅助运输顺槽采取补强支护, 即顶板采用锚索+钢带及架棚支护形式, 锚索规格 $\Phi 17.8 \times 7300\text{mm}$, 间排距 $1600 \times 2400\text{mm}$, 施工在原两排锚索中间位置, W 钢带规格为 $2500 \times 280 \times 4\text{mm}$, 架棚材料为 11# 矿工钢, 棚间距为 800mm 。

2. 存在问题

回采期间工作面辅助运输顺槽受采动影响, 顶板压力较大, 出现开裂、下沉等矿压显现特征, 并伴随有两帮较大的移进量, 尤其是靠近工作面的高帮侧尤为严重, 且地鼓严重。辅助运输顺槽因来压明显产生大变形已不能满足矿井的安全生产需要, 造成该条顺槽报废, 给矿井接续及安全带来较大隐患, 因此在下一个工作面施工过程中如何采取措施防止巷道较大变形, 使其能为下一个工作面正常服务成为该矿井工作之重。

三、辅助运输顺槽综合维护技术方案

1. 顺槽掘进期间支护形式变更

根据首采工作面辅助运输顺槽支护经验, 在接续工作面辅助运输顺槽支护设计时对支护材料规格及间排距进行了调整, 支护形式为锚网索+W 钢带联合支护, 锚杆规格 $\Phi 20 \times 2200\text{mm}$, 间排距 $800 \times 800\text{mm}$, 网片采用 $\Phi 6.5\text{mm}$ 钢筋网, 网格 $100 \times 100\text{mm}$, 锚索规格 $\Phi 21.8 \times 7300\text{mm}$, 间排距 $1200 \times 1600\text{mm}$, 每排三根锚索, W 钢带规格 $3500 \times 280 \times 4\text{mm}$ 。通过支护变更, 进一步加强了支护强度。

2. 运输顺槽顶板密集钻孔切顶卸压护巷

(1) 密集钻孔切顶卸压原理

密集钻孔开挖后, 钻孔周边围岩由三向应力状态变成两向或单向受力状态, 并且由于钻孔过程产生的扰动导致其强度降低。在集中应力作用下, 钻孔周围的岩体首先由弹性状态转变为塑性状态, 形成塑性区。随后, 载荷被转移到强度更高且远离钻孔的弹性单元内, 并在塑性区外围形成了应力集中, 孔壁近区的塑性区围岩变形量将不断增大, 处于塑性区内圈围岩变形量将比塑性区外圈围岩要大, 当达到变形极限时, 内圈岩体就会破裂, 形成破裂区。破裂区内部煤体的强度将明显削弱, 低于原岩应力。将岩体周围破碎区和塑性区统称为密集钻孔在岩体中形成的卸压区。结合顶板岩层的结构、强度和地应力分布规律, 当密集钻孔的直径和间距选择合

理时, 密集钻孔开挖形成的卸压区相互叠加, 互相连通, 形成人工构造弱化带, 回采过程中顶板沿人工构造弱化带被切断。

密集钻孔直径越大, 且钻孔足够密集, 密集钻孔开挖形成的破裂区、塑性区将互相叠加, 叠加区域力学性能弱于非叠加区域, 极大程度上加强了预裂方向的破坏作用, 大幅降低了预裂区域卸压钻孔产生非定向裂缝的可能性。同时, 在切缝方向初始定向裂纹形成之后, 卸压钻孔孔壁周围介质内形成应力松弛区, 也在一定程度上抑制了其它方向上裂纹的形成。

因此, 密集钻孔弱化切顶技术大致可以分为三个过程: 第一个过程是施工钻孔过程中, 钻孔周围围岩强度降低, 在集中应力作用下, 钻孔周围的围岩首先由弹性状态转变为塑性状态; 第二个过程是孔壁近区的塑性区围岩变形量不断增大, 当达到变形极限时, 内圈围岩就会破裂, 形成破裂区; 第三个过程是破裂区形成的同时, 塑性区范围逐渐扩大, 密集钻孔塑性区, 甚至破裂区, 相互叠加, 互相连通。

(2) 密集钻孔卸压关键技术参数

① 钻孔间距

假设钻孔所在岩体具有连续性、均质性、各向同性、线弹性并且开挖后, 其围岩处于弹性状态, 钻孔轴向尺寸远远大于其横向方向上的尺寸, 可按平面应变问题处理。将钻孔所受的垂直应力和水平应力都简化为均布应力。

由弹性力学理论解得极坐标下钻孔周围岩体中的应力分量的表达式为:

$$\begin{cases} \sigma_{\rho} = -P(1 - \frac{a^2}{\rho^2}) \\ \sigma_{\varphi} = -P(1 + \frac{a^2}{\rho^2}) \\ \tau_{\rho\varphi} = \tau_{\varphi\rho} = 0 \end{cases} \quad (4-1)$$

式中: ρ —钻孔周边任意一点的极坐标;

a —钻孔直径。

根据式 4-1 求得钻孔周围岩体中任意一点的主应力分量为:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\sigma_{\rho} + \sigma_{\varphi}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{\rho} - \sigma_{\varphi})^2 + 4\tau_{\rho\varphi}^2} \\ \sigma_3 = \frac{\sigma_{\rho} + \sigma_{\varphi}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{\rho} - \sigma_{\varphi})^2 + 4\tau_{\rho\varphi}^2} \end{cases} \quad (4-2)$$

式中, σ_1 和 σ_3 表示钻孔周围任意一点处的最大主应力和最小主应力。

采用莫尔-库伦屈服条件, 结合钻孔周围岩体中任意一点的主应力, 带入式 4-2 可得钻孔周围岩体任意一

点的屈服条件为:

$$\frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{\rho}-\sigma_{\phi})^2+4\tau_{\rho\phi}^2}=C\cos\phi-\frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{\rho}+\sigma_{\phi})^2+4\tau_{\rho\phi}^2} \quad (4-3)$$

式中: C—为岩石的内聚力,
φ—岩石的内摩擦角。

根据弹性理论求解钻孔周围岩体的应力状态,接着根据塑性条件判别该应力条件下岩体是否发生屈服,可得到钻孔周边岩体塑性区也即卸压区的近似边界线方程:

$$\rho=\sqrt{\frac{a^2p}{C\cos\phi+p\sin\phi}} \quad (4-4)$$

式中:

ρ—钻孔周边任意一点的极坐标;

a—钻孔直径, mm;

C—围岩内聚力, 顶板岩层多为粉砂岩, 取 1.0MPa;

φ—围岩内摩擦角, 取 30° ;

p—钻孔所受的水平应力, 取 15MPa。

解得:

$$\rho=1.34a \quad (4-5)$$

密集钻孔施工完成后在工作面回采过程中, 由于超前支承压力的影响, 密集钻孔周围会出现较大的应力集中, 密集钻孔周围的塑性区范围将会进一步扩大, 在设计密集钻孔间距时, 考虑工作面超前支承压力的影响, 引入采动影响系数k, 取k=3.0。因此, 密集钻孔间距约为 $D=2k\rho a=8.04a=466.32\text{mm}$ 。

根据大直径钻机技术参数, 钻孔直径为 108mm, 因此密集钻孔的间距设计为 500mm。

②钻孔深度

直接顶是指具有一定稳定性, 移架后能够自行垮落的顶板, 但基本顶的定义为厚而坚硬不容易冒落的岩层, 即回采过后, 直接顶自行垮落并切断对巷道围岩所施加的侧向支承应力, 而基本顶将在采空区形成较长且可以在一段时间内保持稳定的悬顶, 对上覆岩层进行承载, 并对巷道围岩造成较大的侧向支承应力。通过密集钻孔卸压手段, 可通过人工干预减小基本顶侧向悬臂长度, 降低采空区临近巷道的侧向支承应力, 提高围岩稳定性。并且采用切顶卸压手段可通过构造人工岩体结构弱面, 增大顶板垮落带高度, 利用顶板岩层垮落碎胀的特点, 使垮落顶板充满采空区, 对高位岩层进行承载, 进一步减弱高位顶板回转下沉对采空区临近巷道围岩稳定性地影响。假设切顶高度范围内有n层岩层, 岩层编号自下向上依次为1、2、3、...、n, 则:

$$(H_1+H_2+H_3+H_n)+M-(k_1H_1+k_2H_2+k_3H_3+k_nH_n)=0 \quad (4-6)$$

可表示为:

$$\sum_{i=1}^n H_n+M-k_p \sum_{i=1}^n H_n=0 \quad (4-7)$$

$$k_p=\frac{k_1H_1+k_2H_2+k_3H_3+\dots+k_nH_n}{H_1+H_2+H_3+\dots+H_n} \quad (4-8)$$

考虑到上覆岩层回转下沉与自然垮落

$$h_q=\sum_{i=1}^n H_n \quad (4-9)$$

式中: h_q 为切顶高度, m; M为采高, 取 2.12m; k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_n 分别为第1、2、3、...、n层顶板岩层碎胀系数; H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_n 分别为第1、2、3、...、n层顶板岩层厚度; k为加权平均初始碎胀系数, 一般为 1.10~1.40, 取 1.15。

代入数据可得: $h_q=14.13\text{m}$

因此, 为了施工方便, 设计密集钻孔深度为 15.0m。

③钻孔角度

根据以往的大量研究可知, 随着工作面持续推进, 基本顶达到极限跨距后断裂成岩块, 破断后的岩块由于挤压力的作用相互咬合成稳定的砌体梁结构, 端头基本顶破断成弧形三角块后, 也同样形成了三绞拱式的平衡结构。此时, 基本顶虽然已经破断, 但相互抑制形成了稳定的砌体结构, 仍能向侧向煤岩体有效传递力的作用, 从而影响巷道围岩的稳定。当采用切顶卸压无煤柱自成巷工艺时, 切缝面成为了关键块A、B的咬合面, 当关键块B沿切缝面产生滑落失稳时, 才能实现基本顶岩层的顺利垮落和应力传递路径的有效切断。

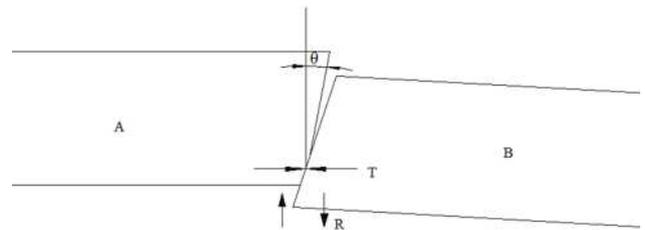


图 切顶卸压基本顶破断岩块受力分析

根据砌体梁理论和围岩结构S-R稳定原理可知, 当考虑基本顶岩层的断裂与垂直面成一定的角度时, 岩块咬合点的受力关系如图所示, 此时岩块发生滑落失稳的条件为:

$$(T\cos\theta-R\sin\theta)\cdot\tan\theta\leq R\cos\theta+T\sin\theta \quad (4-10)$$

化简可得:

$$T\sin(\varphi-\theta)\leq R\cos(\varphi-\theta) \quad (4-11)$$

即:

$$\frac{T}{R}\geq\tan(\varphi-\theta) \quad (4-12)$$

$$\theta \geq \varphi - \arctan \frac{R}{T} \quad (4-13)$$

将 $T = \frac{qL^2}{2(h-\Delta s)}$ 与 $R = qL$ 代入式可得:

$$\theta \geq \varphi - \arctan \frac{2(h-\Delta s)}{L} \quad (4-14)$$

式中, T 为岩块所受的水平推力, kN ; R 为岩块所受的剪应力, kN ; q 为基本顶的载荷集度, kN/m ; L 为基本顶岩块的长度, m ; h 为基本顶的厚度, m ; Δs 为岩块 B 的下沉量, m ; ϕ 为岩块间的摩擦角 $^{\circ}$; θ 为切顶角度 $^{\circ}$ 。

由式(4-14)可以看出,三铰拱岩块结构的稳定性与基本顶厚度、破断岩块的长度、切顶高度和岩层摩擦角有关。且当 $\theta = \phi$ 时,不管水平推力 T 有多大,岩块结构都将发生滑落失稳。因此,当切顶角度 θ 等于岩块间摩擦角 ϕ 时,三铰拱岩块结构无法取得平衡,基本顶岩块能沿切缝面顺利切落形成巷帮,从而切断侧向块体向巷道顶板传递力的路径,充分卸压并取得良好的成巷效果。然而,切顶角度的增大间接相当于增大了顶板侧向悬臂长度,不利于巷道维护,在满足基本顶岩块能顺利垮落的情况下,应尽可能的减小切顶角度。

因此,切顶角度满足式(4-14)的最小值,即:

$$\theta = \varphi - \arctan \frac{2(h-\Delta s)}{L} \quad (4-15)$$

取 $\varphi = 21^{\circ}$, $L = 10.0m$, $\Delta s = 0.2h$, $h = 2.12m$ 代入式(2-10)可得: $\theta = 2.27^{\circ}$

为方便施工,取 $\theta = 0^{\circ}$,即垂直顶板施工。

按照以上数据对运输顺槽回采段顺槽超前进行钻孔施工卸压,采空区顺槽顶板随工作面的推进能够及时垮落,辅助运输顺槽动压明显减弱。

3. 辅助运输顺槽补强支护

根据首采工作面的经验,巷道变形最大的为靠近工作面的高帮侧及顶板,为了进一步加强该部位支护强度,确定采取高帮侧补打锚索+W钢带、巷道回采段架工字钢棚的补强支护方案。

(1) 高帮侧补打锚索+W钢带补强支护

根据现场实际工程地质条件,在保证安全高效生产的前提下,通过改变锚索布置方式以及增加锚索支护密

度对煤柱侧进行补强加固,提高煤柱承载能力。

在靠近工作面的高帮侧原第二排与第四排锚杆中间补强支护两排锚索+W钢带,钢带顺巷搭接使用,锚索采用 $\phi 21.8 \times 4000mm$ 钢绞线,间距 $1600mm$,排距 $1000mm$,每根锚索使用2支M-2370树脂锚固剂,预紧力不低于 $200kN$,W钢带规格为 $3000 \times 280 \times 4mm$ 。

(2) 架棚补强支护

架棚材料采用 $11^{\#}$ 矿用工字钢,棚间距 $800mm$,棚腿窝深度为 $200mm$,每两架棚之间用 $\phi 20mm$ 圆钢拉杆四根,棚与顺槽围岩之间用木料刹紧背牢。

4. 密集钻孔与补强支护超前工作面距离

根据首采工作面动压影响经验,密集钻孔及补强支护超前工作面的距离不得小于 $50m$ 。

四、效果分析

目前,该工作面已回采至 $450m$ 处,通过采取以上综合维护措施,辅助运输顺槽高帮侧及顶板受动压影响明显减弱, $450m$ 范围内只有两处出现顶板下沉现象,巷道地鼓量较之前也有了明显地改善,巷道整体变形量在可控范围内,能够满足下一个工作面的正常使用,大大缓解了矿井的采掘接续。

五、结论

实践证明,采煤工作面辅助运输顺槽受动压影响,出现顶板下沉、两帮移近、地鼓严重,造成顺槽维护量加大,甚至出现巷道报废的现象,在采取了变更支护设计、超前进行密集钻孔卸压及补强支护等一系列措施后,巷道的变形量得到了有效控制,该方案对辅助运输顺槽的维护是切实可行的,为后续维护积累了经验。

参考文献:

- [1] 申乾. 密集钻孔切顶卸压机理及应用, 2020
- [2] 王志宏. 钻孔卸压技术在大平煤矿的研究与应用, 2014
- [3] 王建成. 浅谈煤矿巷道的维护, 2009
- [4] 晏勇, 曹桂宝, 李杰远. 关于煤矿巷道支护技术的研究, 2014
- [5] 秦玉成, 王宏越. 密集小钻孔切顶卸压技术在党家河煤矿 108 工作面的应用, 2020