

# 矿井深部巷道软弱破碎围岩研究与控制技术

王丙成

河南能源永城煤电控股集团有限公司职工培训学校

**[摘要]**城郊煤矿逐渐进入二水平(-800m)开拓和开采阶段,研究深部巷道围岩控制技术是实现矿井开拓安全施工、开采阶段安全生产的重要课题。通过对二水平岩巷支护现状分析,解决巷道开挖支护后,裂隙萌生和扩展的速度很快,几天内一定厚度范围内的岩体即被次生裂隙切割成小碎块,一个月左右即出现严重破坏和大变形而失稳,导致锚杆拉断、折断等各种形式的支护失效等技术难题,制定了深部软弱破碎围岩巷道主动高效控制技术方案,调整了岩巷支护施工流程,优化了深部岩巷分时空高效支护施工工艺,提出了实现高效支护施工的几个关键工序和技术,确保了安全生产。

**[关键词]**矿井二水平;围岩失稳破坏;主动支护;控制技术

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.2168

## 一、引言

城郊煤矿深部岩巷围岩地质特征没有进行合理科学分类,支护方案选择不合理,造成了地质赋存条件相对简单的巷道或者部分巷段支护强度过大,支护材料的浪费;地质条件复杂的巷道,没有进行有针对性的加强支护,围岩变形量大,出现各种形式的支护失效。这种只重视对巷道局部位置的加强支护,没有考虑巷道围岩整体结构的稳定性;对局部关键区域的支护强度不够,未能找准巷道围岩结构中最薄弱和最敏感的部位,致使脆弱部位先被破坏造成其它部位甚至整个巷道的支护逐渐失效。造成这种被动局面的原因是对支护系统的整体性能研究不够,忽略了锚杆托盘、大刚度钢梁附件的整体支护效果,未能充分挖掘和发挥锚杆等支护构件的最大支护效能,支护的高预紧力没有充分得到大面积扩散,对巷道围岩的支护强度得不到保障。对巷道帮部的有效支护深度不够,忽视了帮部支护强度,致使锚杆支护构件或帮部锚固结构部分或全部失效,最终导致巷道帮部失稳引起顶板失稳垮冒。

为解决以上技术难题,在分析研究围岩特性和机理的基础上,采用锚杆支护技术、注浆锚索加固技术、底板主动卸压技术,通过高预紧力充分调动围岩的自稳能力,同时配合锚索形成钢筋网护顶护帮强化支护,有效控制了顶板离层,抑制了围岩变形,对巷道围岩变形起到了很好的控制作用,满足了矿井安全生产要求。

## 二、深部软弱破碎围岩巷道主动高效控制技术方案

### (一)城郊煤矿二水平岩巷围岩地质构造成因分析

1.从石炭系上统太原组(C2t)、二叠系下统山西组(P1s)和二叠系下统下石盒子组(P1x)三个地质年代分析了与二2煤层开采有关的顶底板地层。

2.从褶皱和断层两个方面概括了NNE~NE向、近EW向和NW向三个方向的构造分布,NNE~NE向构造为本区主体构造,由一系列NE向隐伏背、向斜及断裂构造所组成,近EW向构造次之,以断裂为主<sup>[1]</sup>。

3.统计了城郊煤矿井田内主要断层的产状,并对其分布规律进行了概率统计分析,并运用断层走向玫瑰花图的方法描述了断层的走向分布规律。

4.通过对井田内构造特征及其演化过程的综合分析得知,区内EW向构造应以形成于印支期为主,NNE~NE向主体构造以形成于燕山期及以后时期为主,主要表现为井田内的主体造线方向与区域的郟庐断裂带的构造线方向的演化过程一致。

### (二)二水平深部巷道地应力水平和分布规律

1.综合分析出了永煤矿区深部围岩地应力整体状况,即沿南北方向的水平挤压应力分量最大,大约为16.33~16.88MPa,即17MPa;沿东西方向的水平应力稍大于南北方向,略高于南北方向1~2 MPa和5MPa。

2.分析出城郊煤矿深部最大主应力 $\sigma_1=17.0\sim 19\text{MPa}$ ,与铅垂方向夹角为 $100\sim 110^\circ$ (近水平方向), $\sigma_2=1.72\sim 3.29$ , $\sigma_3=9.16\sim 9.42$ 。最大水平应力 $\sigma_H=\sigma_1=17.0\sim 19\text{MPa}$ ,沿东北—南西向。

3.对顶板各主要岩性进行岩石强度力学测试,抗压强度为42.09~112.76 MPa,抗拉强度为0.76~9.62 MPa,凝聚力为1.1304~4.9088 MPa,内摩擦角为 $25.43^\circ\sim 37.23^\circ$ 。

### (三)城郊煤矿深部典型岩巷围岩赋存条件地质特征分类

1.按地应力折算指标分类。巷道围岩一般处于三维或二维应力状态,3个原岩主应力大小 $\sigma_1$ , $\sigma_2$ , $\sigma_3$ 已经通过地应力实测得到,但所测得的应力大小只是在围岩弹性区内的应力值,并不代表塑性区和破裂区的岩体应力值,但可以简单地通过上述应力值得出塑性区和破裂区内的折算应力 $\sigma_i$ ,使它代表围岩体的平均应力。折算应力 $\sigma_i$ 可按以下方法求得:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

巷道围岩体的地应力折算指标可表述为:

$$W = \frac{R_c}{\sigma_i}$$

式中:W为岩体的地应力折算指标; $R_c$ 为岩体的抗压强度,MPa; $\sigma_i$ 为岩体的折算应力,MPa。

随着岩体地应力折算指标W的增大,巷道围岩的稳定性就高。根据大量现场数据统计,当W值为0.7以上时巷道为易于支护巷道,因此选取地应力影响程度的划分临界值为0.7。

表3 地应力折算指标的基本划分

类型	地应力影响程度	围岩地应力折算指标W
I	弱	>0.7
II	强	<0.7

2. 按岩体基本质量综合指标分类。岩体结构是影响巷道稳定性的关键因素, 巷道围岩都有不同程度的地质弱面和构造, 比如节理、裂隙等, 破坏了围岩的整体性与连续性, 降低了围岩的强度。把反映岩体结构面和构造的发育程度称为岩体的完整性。岩体节理裂隙越发育, 完整性越差, 其强度越低, 巷道围岩的稳定性就越差<sup>[2]</sup>。

岩体基本质量综合指标根据分级因素的完整性指标  $K_v$  (取值范围为0.15~1.0) 和坚硬性指标  $R_c$  值, 按式计算确定, 即

$$Q_b = 90 + 3R_c + 250K_v$$

式中:  $Q_b$  为岩体基本质量指标;  $R_c$  为岩石的单轴抗压强度, MPa;  $K_v$  为完整性指标,  $K_v$  可用岩体体积节理数  $J_v$  按表4对应取值。

表4 巷道围岩完整性指标  $K_v$  取值表

$J_v$ (条/m <sup>3</sup> )	<3	3~10	10~20	20~35	>35
$K_v$	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	<0.15

#### (四) “四高”锚杆支护技术

“四高”锚杆技术指的是以下关于锚杆四个方面的特性:

1. 高预拉力: 高预拉力又称高预应力、高预紧力, 主要是通过给锚杆施加预拉力而提高锚杆对巷道顶板的初撑力, 当预拉力提高到一定范围时, 可以有效的减小或者消除锚固范围内的岩层离层, 同时在巷道顶板形成梁结构或者在巷道整体表面形成承载壳结构, 巷道上方的垂直应力将会被转移到巷道两侧深部岩体中, 即维护巷道顶板稳定, 又可以控制片帮<sup>[3]</sup>。

2. 高强度: 高预紧螺栓载荷可以大大增加影响范围, 适应动态压力变形, 保证锚杆的高强度, 使高阻让压的工作状态得以实现, 进而有效限制围岩的变形。

3. 高刚度: 保护表材料性能决定最初的工作负荷, 提高强度和刚度的组件将影响围岩的螺栓载荷的扩散, 提高加载速度, 并能适应强烈动压的影响, 从而达到限制巷道围岩变形的影响。

4. 高锚固点: 通过设计长锚杆(索)来实现高锚固点, 确保足够的锚固深度层, 使足够厚度的岩体被充分调动, 一定范围抵抗围岩膨胀变形的发生, 有效控制巷道围岩变形。

#### (五) 注浆锚索加固技术

围岩注浆加固是利用浆液把围岩的各种弱面充实, 并把弱面充填体和四周岩体重新胶结起来, 从而提高围岩的整体稳定性及其力学性能, 改善围岩的物理力学性能。实践证明, 围岩注浆加固是一种改善围岩结构及力学性质、提高围岩自承能力、降低支护成本、改善巷道支护效果的有效方法。注浆锚

索加固有以下特点:

1. 利用浆液封堵围岩的裂隙, 隔绝空气防止围岩风化, 并防止围岩被水浸湿而降低围岩承载强度。

2. 将松散破碎围岩胶结成整体, 提高岩体内聚力、内摩擦角及弹性模量和岩体强度, 利用围岩本身作为支护结构的一部分。

3. 使得喷层壁后充填密实, 这样保证荷载能均匀作用于喷层和支架上, 避免出现应力集中而破坏。

4. 充填围岩裂隙, 配合锚喷支护, 形成一个多层有效组合拱, 即喷网组合拱、锚杆压缩区组合拱及浆液扩散加固拱。形成多层组合拱结构, 扩大提高有效承载范围、支护结构的整体性和承载能力。

### 三、结论

1. 应用密度椭球体理论分析了城郊煤矿井田的构造作用模式, 本区域受到东北-西南向的挤压作用和西北-东南向的拉张作用, 井田主应力为NE-SW向受挤压的构造应力场型, 巷道布置时应使巷道轴线平行或尽量平行于挤压应力方向。

2. 矿井主体构造为NNE~NE向构造, 从东到西分布于整个井田区域内, EW向、近NW向构造集中分布于井田的中南部范围内, 为次一级构造; 统计出矿区内断层走向大致可分为四个方向, 并用断层走向玫瑰花图描述了断层走向方向和规律。

3. 分析了城郊煤矿深部巷道地应力水平及围岩地质力学特征, 通过预测和判断相结合的方法得出了城郊煤矿深部巷道地应力水平总体评定结果; 现场取样, 实验室测定了城郊煤矿深部巷道围岩力学性质, 抗压强度为42.09~112.76 MPa, 抗拉强度为0.76~9.62 MPa, 凝聚力为1.1304~4.9088 MPa, 内摩擦角为25.43°~37.23°。

4. 分析了深部巷道围岩稳定性关键因素及其作用机制从岩性、围岩构造、地应力及地下水四个方面对巷道围岩稳定性的影响进行了分析, 归纳了深部巷道围岩稳定性关键因素, 合理选择巷道布置位置及支护方案才能尽可能减小围岩构造对深部巷道稳定性影响。

### 参考文献:

[1] 司文, 张念超, 张慧君, 等. 高地压软岩巷道围岩强化控制技术[J]. 煤矿安全, 2012(8): 85-88.  
 [2] 刘祥志, 陈贵林, 王福刚. “注浆锚索”在鹤岗矿区深部软岩条件下的应用[J]. 煤炭科技, 2013(3): 75-76.  
 [3] 赵启峰, 高文蛟, 牛国星, 等. 综放采断面回采巷道底鼓诱因分析及控制技术[J]. 煤炭工程, 2014(6): 39-42.

作者简介: 王丙成(1965-), 男, 汉族, 安徽利辛人, 中级工程师, 1996年毕业于黑龙江双鸭山职工工学院综合机械化采煤专业, 研究方向为煤矿安全生产技术及安全教育培训。