

# 复杂条件下松软散巷道围岩控制原理与应用技术研究

窦家环, 张向阳

(安徽理工大学资源开发与管理工程系, 安徽 淮南市 232001)

**摘要:**运用理论分析、数值模拟和现场试验的方法,研究复杂条件下松软散巷道围岩稳定问题,根据软岩巷道围岩强度低、对应力变化敏感、变形具有明显时间效应等特性,应用矿压显现特征,认为松软散巷道围岩控制的基本技术和控制过程为:应力转移降低巷道浅部围岩应力;采用高强度套棚,结合锚网索支护技术,提高支护强度和围岩自身稳定性;加强巷道两帮、底角支护,避免巷道局部受集中应力作用。该技术已成功应用于工程实践。

**关键词:**松软散巷道;围岩控制;数值模拟;工程应用;防治措施

中国煤矿煤系地层中,具有软岩的矿井分布十分广泛,北起黑龙江、内蒙古,南到广东、广西,东起山东、浙江,西到新疆、青海,具有软岩的矿井遍布全国各主要产煤省区。每年巷道掘进量约 6000 km,其中 10% 以上的巷道为软岩巷道,并且软岩巷道的发展趋势也越来越复杂,从浅部单一的软岩巷道到深部复杂的松软散巷道,巷道围岩所表现出的多变性,复杂性和不稳定性,不仅造成巷道断面变形量大、返修率高和维护费用大,而且严重影响煤矿的安全生产和矿井经济技术指标。因此,有必要对引起巷道变形的因素和合理的控制措施进行研究,以指导煤矿的安全生产。

## 1 松软散巷道力学机理及矿压显现特征

根据理论分析和大量工程实践,煤矿松软散巷道的变形力学机制可分为 3 类,即物化膨胀类、应力扩容类和结构变形类<sup>[1]</sup>。随着巷道的不断开拓,空间和时间效应对巷道的变形起着越来越重要的影响,具体表现为构造应力、水、自重应力和工程偏应力以及掘巷时间的先后对其变形的影响。

文献[2~4]表明,开巷后,围岩塑性区首先发生在强度最低的巷道两帮和应力集中的角部,随着帮、角塑性区的发展,其他部位的塑性区也逐渐发展,但最终仍以帮、角的塑性区为最大。帮和底围岩塑性区发展愈大,则破裂围岩塑性变形、粘塑性流动和体积膨胀造成的巷道变形量也愈大。巷道变形特点表现为初始速度大,之后逐渐减缓并过渡到比较稳定的阶段。此外,因开采工作引起的动压以及其他因素会使巷道围岩各岩层受到压缩而产生下沉,

帮下沉将促使底板破裂、滑移、鼓起更为剧烈,两帮和底板愈松软,巷道底臃量就愈大。

## 2 软岩巷道控制原理

从引起巷道变形的主要因素和控制巷道变形的途径考虑,围岩塑性区产生以后,其范围大小对巷道围岩变形量与底臃量影响最大。煤帮和底板围岩塑性区大,破碎区也大,由此而产生的围岩塑性变形、粘塑性流动、体积膨胀变形及底臃量也越大。巷道帮底角是最先产生塑性区并且是塑性区最发育的部位,巷道底臃主要是两侧底板岩层挤压巷道和两帮下沉引起的,根据松软散巷道的变形力学机制和显现特点,可采取防治水、围岩卸压和加强支护等措施。因此,要控制松软散巷道围岩变形就要做到:应力转移降低巷道浅部围岩应力;采用高强度套棚,结合锚网索支护技术,提高支护强度和围岩自身稳定性;加强巷道两帮、底角支护,避免巷道局部受集中应力作用。

## 3 工程应用

### 3.1 生产地质条件

某矿 1214(3)上提工作面为原 1214(3)工作面提高开采上限延伸布置的走向工作面。本面东至五勘探线,南为 1211(3)、1212(3)、1213(3)等 3 个工作面采空区,西为五-六勘探线,北为 40 m 防水煤柱线。工作面切眼前方 400 m 顺槽范围内下方为 11-2 煤层 1211(1)工作面采空区,垂距 79 m 左右。该面水文地质条件简单,基岩面以上含水层被“红层”阻隔,形成天然屏障,据地质资料综合分析,主

要水害为 13-1 煤层顶板的砂岩裂隙水,顶板砂岩裂隙水不均一,构造、裂隙发育时岩性破碎含水量增加,所采煤层直接顶的厚度为 6.65~18.2 m,泥岩的平均厚度为 12.44 m,底板灰色泥岩厚度为 1.3~8.4 m,加上工作面在 1211(1)工作面采空区上方,巷道围岩松软且存在裂隙。因此,工作面两顺槽为典型的复杂条件下松软散巷道。

### 3.2 数值模拟

根据 1214(3)上提工作面的工程地质条件,采用 FLAC<sup>2D</sup>3.3 软件对其进行模拟。模拟过程中,采取先开挖 11-2 煤层,待采空区基本稳定后,开挖 1214(3)上运输顺槽,并在巷道底板、右底角布置测点,测其垂直应力、水平应力、剪切应力的变化情况,其模拟结果见图 1,图 2,图 3。

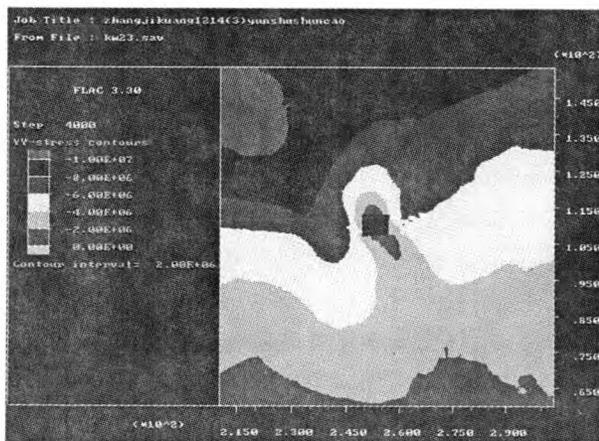


图 1 巷道围岩垂直应力分布云图

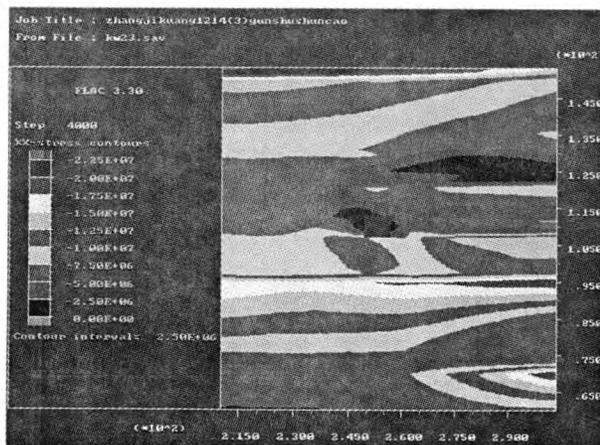


图 2 巷道围岩水平应力分布云图

由图 1~图 3 可知,巷道两帮 15 m 范围内受到的垂直应力较大,表现为明显的压应力,是使巷道两帮变形的主要因素;巷道左下角 30 m 左右范围内有一水平应力集中区,而其他部位围岩水平应力较低,

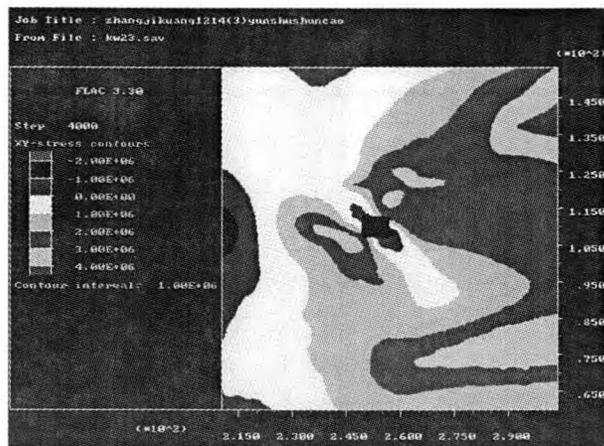


图 3 巷道围岩剪切应力分布云图

但两帮水平应力较集中,也是引起巷道变形的主要因素;巷道左下角和右上角 5 m 范围内受到的剪切应力为正,左上角和右下角 4 m 范围内受到的剪切应力为负,从而导致巷道左上角和右下角受到向外的拉应力,而巷道左下角和右上角受到压应力作用。

巷道开挖前,垂直应力和水平应力先是在高应力状态下急剧转为低应力,在采空区基本稳定后,应力逐渐升高。达到一定程度时,随着巷道的开挖,应力又逐渐降低;巷道开挖成形后,底板垂直应力呈缓慢上升趋势,而水平应力基本保持不变;在整个模拟过程中,底板测点剪切应力变化不大,剪切应力基本表现为负值。巷道右底角的应力变化趋势基本和底板应力变化一致,但在巷道开挖后,水平应力降低后又表现为上升,过一个时期又逐渐下降,而垂直应力的上升趋势也较底板测点强。

总结上述模拟结果,引起巷道变形的主要因素是巷道两帮的垂直应力集中、巷道右下角有一水平应力集中区和巷道左上角和右下角受到向外的拉应力,而巷道左下角和右上角受到压应力作用,从而导致巷道两帮内缩、底板臃起等。

### 3.3 加固及防治措施

#### 3.3.1 加固两帮和底角

按照锚杆支护巷道的作用机理和引起巷道变形的因素,在巷道掘成 1 个月后对巷道两帮和底角进行加固。打帮底角锚杆可实现对软弱围岩帮、底角加固,改变围岩应力状态,与全面加固底板控制底臃的方法相比,这种方法不仅控制底臃的效果好,而且施工简单、方便。对于底臃变形严重的区段,配合套棚等联合支护以及在巷道底板中间布置一排底板锚杆,视具体情况而定。

锚杆具体施工参数为:在巷道两帮底角,水平面

偏下 30° 和 45° 方向垂直于巷道轴向打 2 根 2500 mm 长锚杆(见图 4),煤体侧为玻璃钢锚杆,煤柱侧为金属锚杆,间距为 800 mm × 400 mm。

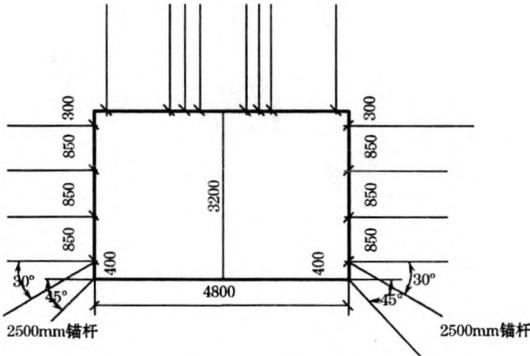


图 4 巷道锚杆支护布置

### 3.3.2 套棚联合支护

对巷道围岩极松散和底臃严重的区段,进行套 U 型棚与原有的锚网索联合支护,加强对围岩的控制,套棚要背齐足够的支护材料,使套棚受力均匀,以达到最佳支护效果。

### 3.3.3 防治顶板水

由于运输顺槽有一段顶板淋水严重,淋水浸泡巷道底板,底板岩层更加松软,强度降低,呈现明显的流变性,对控制巷道底臃造成很大的影响。因此,对这一段 100 m 长的巷道顶板打两个深 50 m,直径为 150 mm 的放水钻孔,预放顶板水,放出的水直接从排水管排出,避免了水对控制巷道变形的影响。

### 3.4 巷道维护效果

通过对该面运输顺槽加补帮底角锚杆,快速施工,预放顶板水等措施,并对巷道顶底板及两帮变形进行观测,截止到工作面开始正式回采为止,巷道表面变形得到了控制,变形曲线见图 5。

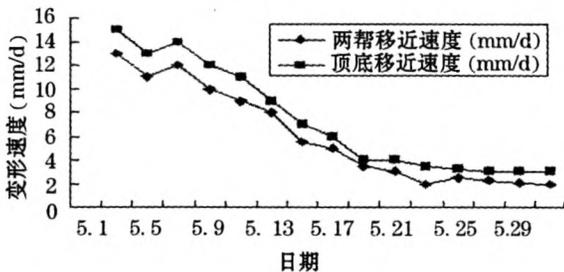


图 5 巷道表面变形曲线

从巷道表面变形曲线可以看出,在巷道底角和两帮加补锚杆,对巷道变形起到了很好的控制作用,两帮变形速度从 13 mm/d 减小到 2 mm/d,顶底板变形速度从 15 mm/d 减小到 3 mm/d,有效地减小了巷道变形速度。保证了巷道断面大小,满足了通风、行人和设备运输、安装的要求,为工作面正常回采提供了保障。

## 4 结 论

(1) 巷道帮底角是最先产生塑性区并且是塑性区最发育的部位,巷道底臃主要是两侧底板岩层挤压巷道和两帮下沉引起的,根据松软散巷道的变形力学机制和显现特点,可采取防治水、围岩卸压和加强支护等措施。

(2) 引起巷道变形的主要因素是巷道两帮的垂直应力集中、巷道右下角有一水平应力集中区和巷道左上角和右下角受到向外的拉应力,而巷道左下角和右上角受到压应力作用,从而导致巷道两帮内缩、底板臃起等。

(3) 加固帮底角、防治水和套棚联合支护在控制巷道变形方面收到了很好的效果,有效地减小了巷道变形速度,为工作面正常回采提供了保障。

(4) 考虑采动对巷道的影响,建议在工作面回采期间,加强两巷超前支护,保证超前支护距离不小于 60 m。

### 参考文献:

- [1] 何满潮,孙晓明. 中国煤矿软岩巷道工程支护设计与施工指南[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 康红普. 软岩巷道底臃的机理及防治[M]. 北京:煤炭工业出版社,1993.
- [3] 侯朝炯,勾攀峰. 巷道锚杆支护围岩强度强化机理研究[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(3):342~345.
- [4] 柏建彪,侯朝炯,杜木民,等. 复合顶板极软煤层巷道锚杆支护技术研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(1):53~56.

(收稿日期:2006-08-28)

作者简介:窦家环(1978-),男,安徽长丰县人,在读研究生,主要从事矿山压力与岩层控制方面的研究。