

# 交叉点巷道支护效果数值模拟研究

杨李成<sup>1,2</sup> 王帅<sup>1,2</sup>

1 中煤科工集团沈阳研究院有限公司 2 煤矿灾害防控全国重点实验室

DOI:10.12238/gmsm.v7i4.1741

**[摘要]** 巷道交叉点由于跨度和顶板悬露面积大,加上交岔点附近巷道两侧支承压力区和顶板卸载区的相互影响,使该处围岩受力复杂,给支护带来更大的困难,本文通过数值模拟研究,研究了巷道交岔点处不同支护方案的支护效果,具有重要的实用价值。

**[关键词]** 数值模拟; 交叉点; 支护

中图分类号: TN913.25 文献标识码: A

## Numerical simulation study on the support effect of cross point tunnels

Licheng Yang<sup>1,2</sup> Shuai Wang<sup>1,2</sup>

1 Middling coal Science and Engineering Group Shenyang Research Institute Co., Ltd

2 National Key Laboratory of Coal Mine Disaster Prevention and Control

**[Abstract]** Due to the large span and overhanging area of the roof at the intersection of the roadway, as well as the mutual influence between the supporting pressure zones on both sides of the roadway and the unloading zone of the roof near the intersection, the surrounding rock at the intersection is subjected to complex forces, which brings greater difficulties to support. This paper studies the support effect of different support schemes at the intersection of the roadway through numerical simulation, which has important practical value.

**[Key words]** numerical simulation; Intersection point; Support

## 引言

巷道交岔点是指井下两条或多条巷道的交接或分支处<sup>[1]</sup>,亦即两侧支承压力区和顶板卸载区发生相互叠加的岩体范围。巷道交岔点按空间位置可分为水平巷道交岔点、水平巷道与斜巷交岔点、水平巷道与垂直巷道交接处。按交岔点的形式可分为分岔点、交岔点、对称分岔点和连接点等。受巷道开挖影响,巷道围岩由三向应力变为两向应力状态,当与之交叉的巷道开挖后,在形成的三角区域内,受二次开挖影响,围岩应力再次重新分布,在三角区域内,支撑压力叠加,在交岔点附近应力水平会明显升高。

在煤矿生产中,巷道作为连接井下生产系统的脉络,其稳定性直接影响着矿井的生产效率。巷道交岔点因受两条或多条相交巷道的影响,巷道跨度和顶板悬露面积往往很大,加上交岔点附近巷道两侧支承压力区和顶板卸载区的相互影响,使该处围岩受力复杂,因此巷道交岔点是井下施工和巷道支护的一个困难地段<sup>[2]</sup>。特别是遇到破碎的煤巷,就给支护带来更大的困难,研究巷道交岔点的支护问题具有重要的理论和实用价值。

## 1 工程背景

本文以某矿为工程背景,该矿有可采煤层一层(14#煤层),该煤层为单一结构煤层,平均厚度为3.3m。在下山巷道中间需要开掘两条巷道,第一条是回风顺槽,另一条是运输顺槽,顺槽中

间布置工作面,这样顺槽与下山便形成两处“丁字型”交岔点。该巷道交岔点埋深300m左右,直接顶为18.6m厚的粉砂岩,基本顶为42.3m厚的细砂岩,煤层厚度3.8m,直接底为14m的粉砂岩,基本底为6.9m厚的中细砂岩。

在运输顺槽与下山巷交岔点施工过程中,由于原支护方案的不合理及施工工艺的限制,加上围岩破碎,巷道跨度和顶板悬露面积大,及交岔点附近巷道围岩应力变化的叠加影响,使交岔点处围岩应力复杂。原有的普通U型钢架棚支护效果不好,不能保证生产安全。在巷道支护中,棚式支护属于被动支护,基本不具有初阻力,只是在围岩变形后,随着围岩变形的增加,支架支护阻力随之增加<sup>[3]</sup>。与U型钢架棚相比,锚杆支护在技术、经济、安全方面相较普通U型钢架棚支护方式具有独特的优势。

## 2 数值模型的建立

本次模拟以摩尔-库伦(M-C)为准则,根据该矿现有的力学实验数据,计算采用的巷道围岩力学参数如1所列。

本次模拟的地点是一个十字形交岔点,呈中心对称状态,由于受力具有对称性,所以为了简化模型,选取巷道交岔点处的四分之一建立模型,模型长、宽、高分别为20m、20m、40m,模型中不同颜色代表不同岩层,其中煤层厚度为3.5m。通常巷道支护方式包括主动支护(锚杆支护)、被动支护(棚式支护)两种,从现有研

表 1 巷道围岩参数

岩性	体积模量 K/GPa	剪切模量 G/GPa	密度 D/N. m	粘聚力 /MPa	内摩擦角 /(°)	抗拉强度 t/MPa
粉砂岩	32	19	2510	7	42	3.3
煤	8	2	1310	2	36	1.4
细砂岩	25	15	2500	6	42	3.6

究成果可以看出,棚式支护和锚杆支护对于巷道交岔点都有一定的支护作用,因此本次数值模拟计算,从围岩变形控制和应力分布规律两方面出发,主要就原有锚杆支护以及联合支护两种支护方式对巷道交岔点支护效果进行对比,以期找到合适的支护方式,保证生产安全。

### 3 支护方案及效果分析

#### 3.1 巷道变形分析

(1) 锚杆锚索支护条件下变形特征。模拟中的锚杆支护参数为:顶板锚杆长为2.4m,锚固长度1m,锚杆间距为1m,排距为1.0m,每排5根锚杆;锚索长11.0m,间距1.5m,排距为3.3m,每排3根锚索,锚杆锚索均采用端锚的锚固方式,锚杆锚固长度为1.3m,锚索锚固长度为2.4m;煤帮侧锚杆长度为2.4m,锚固长度为1m,间距1m,排距1m。模拟结果如图1所示。

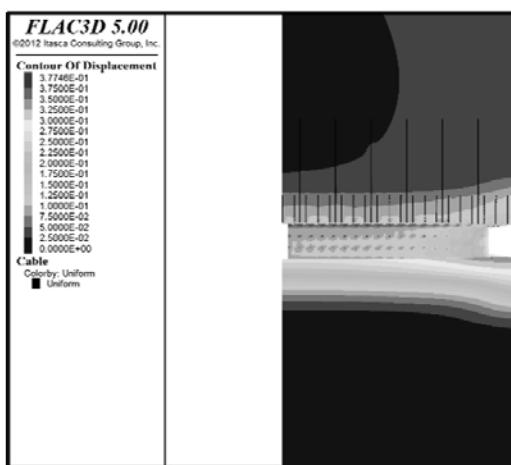


图1 锚杆支护巷道围岩变形量

从图中可以看出,巷道采用锚杆锚索支护后,巷道顶板最大下沉量为250mm,巷道最大变形处发生在巷道底板位置,最大底臌量为370mm,煤帮位置最大变形量为300mm。

(2) 棚式支护+锚杆锚索联合支护。从上述研究可以看出,单一支护方式对交岔点的支护效果有限,因此联合支护对于控制交岔

点围岩变形及巷道稳定十分必要,联合支护模拟结果如图2所示。

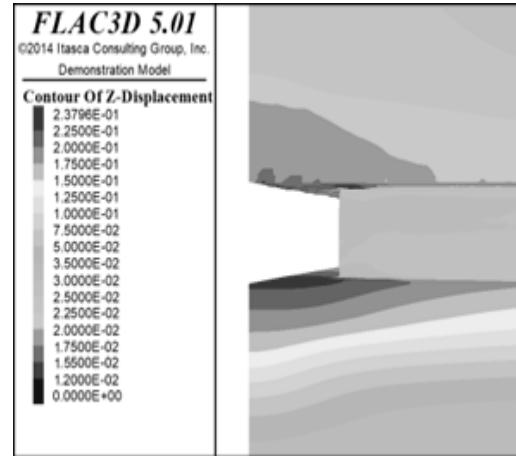


图2 联合支护巷道围岩变形量

从上图可以看出,当巷道采用联合支护后,巷道最大变形发生在底板处,为238mm,较锚杆锚索支护减小35.7%;顶板下沉量约20mm,较锚杆锚索支护减小92%;帮部位移量为100mm,较锚杆锚索支护减小66.7%。

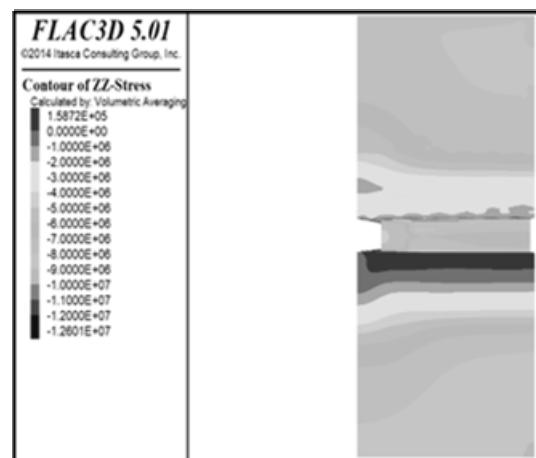


图3 锚杆支护巷道围岩垂直应力

从上述模拟结果可以看出,交岔点采用联合支护后,巷道顶板下沉量、底臌量、煤帮变形量较单一支护都小,有效地控制了围岩变形,更有利于维护交岔点巷道稳定。

### 3.2 巷道围岩应力分析

(1) 锚杆锚索支护条件下应力特征。巷道采用锚杆锚索支护后,巷道应力分布如图3所示。

从上图可以看出当交岔点采用锚杆锚索支护后,巷道围岩应力状态明显改善。顶板由原来的拉张应力转变为压应力,且巷道表面应力集中明显降低,煤帮所受压应力在数值上有所降低,有利于巷道稳定。但是巷道底板位置仍然受到拉应力影响,大小为 $1.59 \times 10^5$ Pa,拉应力的增大不利于底板的稳定,可能发生底臌,不利于巷道稳定。

从上述结果可以看出,锚杆锚索支护对于巷道围岩应力状态的改善有一定的作用。锚杆锚索支护时,巷道顶板受力状态由拉应力变为压应力,且顶板应力集中程度减弱,但是底板内拉应力状态有所加强,拉应力数值增大,不利于巷道底板稳定。

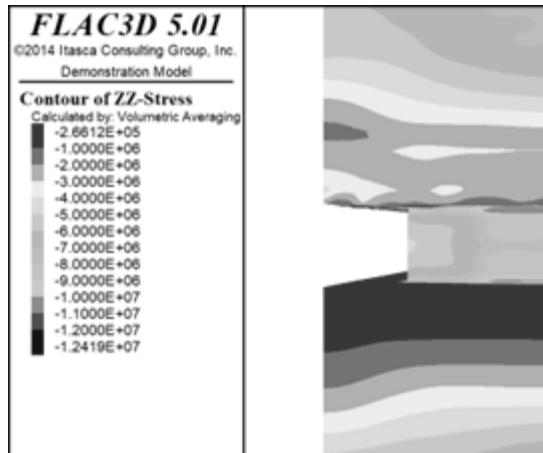


图4 联合支护巷道围岩垂直应力

(2) 棚式支护+锚杆锚索联合支护条件下应力特征。从上述

研究可以看出,单一支护方式对交岔点的支护效果有限,锚杆支护可以充分发挥顶板围岩自身承载作用,改善顶板应力分布状态,减小顶板内应力集中。因此棚式支护和锚杆锚索联合支护对于控制交岔点围岩变形,改善围岩应力状态,保证巷道交岔点稳定十分必要,联合支护模拟结果如图4所示。

从上图可以看出,当巷道交岔点采用联合支护后,巷道表面围岩应力由张拉应力状态变为压应力,且应力值较锚杆支护有所降低。顶板处由于支护作用,顶板对支护系统的最大载荷为2MPa,底板处于受压状态,载荷为0.27MPa,煤帮处受压应力,应力值为4MPa,与单一支护相比,顶底板及煤帮围岩应力状态明显改善,有利于巷道稳定。

### 4 结论

不同支护方式对巷道交岔点围岩变形控制效果不同。巷道采用锚杆锚索支护后,顶板最大变形量为250mm,最大底臌量为370mm,煤帮最大变形量为300mm;巷道采用联合支护后,底臌量为238mm,顶板下沉量约20mm,帮部位移量为100mm,较锚杆锚索支护分别减小了35.7%、92%、66.7%。

### 参考文献

- [1] 杨伯达,李文亮,付文刚.新掘主运大巷斜交穿越昌平运料巷综合掘进与支护技术研究[J].中国矿业,2014,(1):100-103.
- [2] 赵平,王术有,宋凯.深井软岩准备巷道交岔点支护研究与实践[J].河南科技,2013,(4):60.
- [3] 何杰,方新秋,许伟,等.深井高应力破碎区巷道破坏机理及控制研究[J].采矿与安全工程学报,2008,25(4):494-498.

### 作者简介:

杨李成(1995--),男,汉族,甘肃定西人,本科,研究实习员,研究方向:矿井通风与防灭火及瓦斯防治工作。

王帅(1990--),男,汉族,辽宁鞍山人,硕士,副研究员,研究方向:矿井通风防灭火及瓦斯防治工作。