

文章编号:1673-9469(2008)01-0038-04

深井软岩巷道交岔点稳定性影响因素研究

程立朝,刘新河,崔景昆

(河北工程大学资源学院,河北邯郸 056038)

摘要:采用数值模拟试验方法,研究了几何结构参数对深井软岩巷道交岔点围岩变形规律的影响。试验结果统计分析表明:最大水平应力作用角 α 、分岔角 β 对三角区稳定性影响显著,主巷道跨度 B 对交岔点处顶板稳定性的影响高度显著;并对试验结果进行处理,得到了各试验参数与反映交岔点稳定性指标之间的关系。试验结果可为深井软岩巷道交岔点的设计、施工和稳定性预测提供一定的参考价值。

关键词:深井;软岩;巷道交岔点;数值模拟

中图分类号: TD823

文献标识码: A

Research on factors affecting stability of soft rock roadway intersection in deep underground

CHENG Li-chao, LIU Xin-he, CUI Jing-kun

(College of Natural Resources, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The stability of roadway intersection has been studied under the condition of depth excavation, soft rock masses by using orthogonal experiment of numerical simulation. The results show that the rib stability of triangular space at intersection is remarkably affected by the orientation angle α of maximum horizontal stress and fork angle β . The roof stability at intersection is highly obviously affected by roof span. The relationship between each influence parameter and stability indices has been found, the surrounding rock deformation mechanics mechanism of soft rock roadway intersection has been analyzed. The results provide a guideline for soft rock mass intersection construction and deformation prediction in great depths.

Key words: depth excavation; soft rock; roadway intersections; numerical simulation

软岩巷道支护问题一直是困扰我国煤矿生产建设的重大问题之一。目前,我国有关矿山巷道交岔点的研究资料非常有限,而且大多数为工程实践^[1],国外对巷道交岔点做过一些研究^[2],但其交岔点的几何复杂程度和埋深及其它地质条件根本无法与我国相提并论。随着开采深度的增加,软岩矿井的数量不断加大。处于深井条件下的软岩巷道交岔点受各种因素的影响,其力学特性与浅部不同,表现出大变形、大地压和难支护的现象,严重影响煤矿安全和矿山巷道的运输效率。因此研究深井软岩巷道交岔点的稳定性问题变得尤为重要。

深部巷道交岔点的稳定性主要受几何结构参

数、地质因素、施工方式和支护方式等因素影响。文献对施工方式的研究较为详细,而对其它因素研究较少。本文主要研究几何结构参数对深井软岩交岔点稳定性的影响,其间不可避免涉及到交岔点施工与构造应力场之间的方位角问题,所以,本文也将构造应力与交岔点之间的夹角考虑进去。

1 正交试验方案设计

1.1 研究方法的确定

与其它研究方法相比,正交试验法^[3]是一种解决多因素试验问题的有效方法,其优点在于能够通过较少的试验次数获得较多的信息,能够比

较全面地反映试验的情况,得到较佳的试验结果。因此,本研究选用正交试验法来安排试验。

1.2 正交试验设计

1) 变量因子及其水平的确定。本研究计划重点考察最大水平应力作用角 α 、分岔角 β 、主巷道跨度 B 这三个变量因素对试验结果各个衡量指标的影响,拟定各变量因素的水平如下:

最大水平应力作用角 α 。根据澳大利亚加莱博士的最大水平应力理论以及文献[4]、[5]中现场观测和数值研究成果,对普通巷道而言,其顶底板的稳定性主要受水平应力的影响。但是由于交岔点处的局部性与普通巷道的无限性的区别,最大水平应力作用角对巷道交岔点的影响程度必然与普通巷道有区别。为了考察深井条件下最大水平应力作用角 α 对巷道交岔点各指标的影响,安排了 0° 、 30° 、 60° 、 90° 四个水平。

分岔角 β 。普遍认为分岔角对交岔点顶板稳定性影响很小,但这种说法没有指明是深井条件下,还是浅部。为了考察分岔角 β 对深井软岩巷道交岔点的影响,安排了 30° 、 60° 、 90° 、 120° 四个分岔角水平。

主巷道跨度 B 。软岩条件下,巷道跨度不仅影响顶板松动圈厚度,对顶板变形等其它指标也产生重要影响^[6]。巷道跨度一般取值在 3~6m,试验中确定交岔点主巷道跨度的四个水平分别为 3、4、5、6m。巷道高度固定不变,取 3m。

2) 固定因素的确定。对于没有列入正交表的因素,让其保持在固定状态。

模拟深度为 1 000m,施加在模型上部表面的载荷按照自重应力计算,取值为 24.8MPa;施加在水平方向上的最大水平应力 σ_{hmax} 为 33.4MPa,最小水平应力 σ_{hmin} 为 18.8MPa。模拟采用的岩石物理力学参数为:密度 1 800 kg/m³,单轴抗压强度 12.5 MPa,弹性模量 1.4 GPa,泊松比 0.3,粘结力 1.5 MPa,内摩擦角 30° 。

3) 数值模型的建立。数值模拟选用有限元数值模拟软件 ANSYS8.0^[7]。坐标系 X 轴对应方向与最大水平应力 σ_{hmax} 作用方向一致,Y 轴对应方向与最小水平应力 σ_{hmin} 作用方向一致。最大水平应力作用角 α 为最大水平应力 σ_{hmax} 与主巷道对称轴之间所成锐角。交岔点模型平面示意图见图 1。

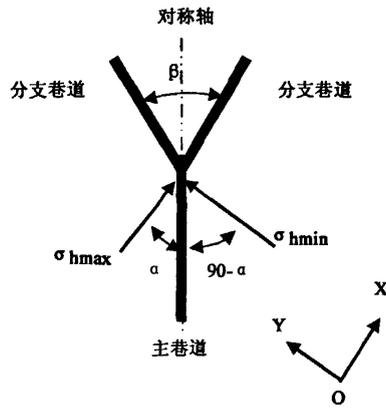


图1 交岔点模型平面示意图

Fig.1 Schematic diagram of intersection model

4) 试验指标的选取。影响软岩巷道交岔点稳定性的主要指标包括:顶板松动圈最大厚度、顶板最大表面变形量、三角区塑性破坏最大范围、三角区巷帮最大变形。我们可以将这四个指标作为试验指标。

5) 试验的因素水平及方案设计。根据最大水平应力作用角 α 、分岔角 β 、主巷道跨度 B 这三个变量因素对应的水平,选择正交表类型 $L_{16}(4^5)$ 来设计试验方案。依次将变量因素填入正交表 $L_{16}(4^5)$ 表头的 1、2、3 列,正交表的第 4、5 列为空列,得到试验方案如表 1。

表 1 正交试验方案

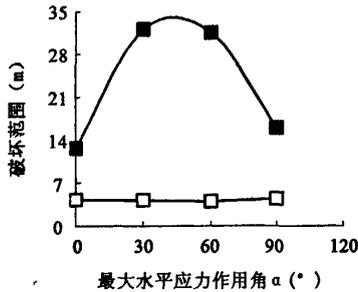
Tab. 1 The plan of orthogonal experiment

试验号	列号		
	1 $\alpha(^{\circ})$	2 $\beta(^{\circ})$	3 B(m)
1	1(0)	1(30)	1(3)
2	1(0)	2(60)	2(4)
3	1(0)	3(90)	3(5)
4	1(0)	4(120)	4(6)
5	2(30)	1(30)	2(4)
6	2(30)	2(60)	1(3)
7	2(30)	3(90)	4(6)
8	2(30)	4(120)	3(5)
9	3(60)	1(30)	3(5)
10	3(60)	2(60)	4(6)
11	3(60)	3(90)	1(3)
12	3(60)	4(120)	2(4)
13	4(90)	1(30)	4(6)
14	4(90)	2(60)	3(5)
15	4(90)	3(90)	2(4)
16	4(90)	4(120)	1(3)

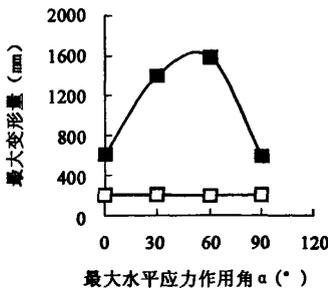
2 正交试验统计分析

2.1 α 对围岩变形规律的影响

从图2可以看出,最大水平应力作用角 α 对顶板的影响不明显;但是,对三角区巷帮变形和破坏范围影响效果显著。在 $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 范围内,三角区巷帮变形和破坏最大范围都近似为上凸的抛物线,最大水平应力作用角 $\alpha = 45^\circ$ 时,三角区巷帮变形最大,破坏范围也达到最大,此种情况最不利于交岔点的稳定; α 接近于 0° 或 90° 时,三角区塑性破坏范围和三角区巷帮变形较小,有利于交岔点的稳定。当巷道围岩条件较差或遇水产生剧烈体积膨胀时,最大水平应力作用角 α 对三角区巷帮的影响非常显著,即使在巷道交岔点刚形成初期,巷帮变形量就非常大,主要原因在于软岩的膨胀特性。若不及时采取措施遏制体积膨胀变形,可能在短时间内因巷道两帮内挤量过大,导致人员、运输设备无法通行,甚至引起片帮事故。



a 顶板松动圈厚度和三角区巷帮破坏范围变化规律



b 顶板和三角区最大变形量变化规律

—□— 顶板 —■— 三角区

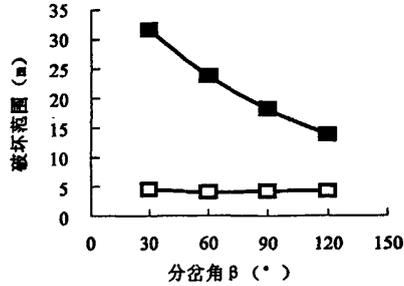
图2 α 与稳定性指标的关系

Fig.2 Relation curves between α and stability quota

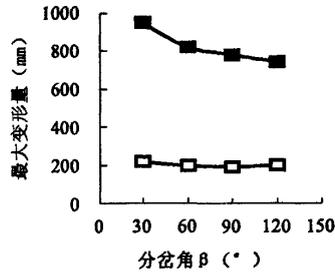
2.2 分岔角 β 对交岔点围岩变形规律的影响

由图3可知,分岔角 β 对顶板稳定性的影响不

明显;分岔角 β 各水平对应的顶板松动圈最大厚度和顶板最大表面变形量相差不大。随着分岔角 β 的增加,三角区巷帮破坏范围和巷帮最大变形均呈非线性递减趋势。



a 顶板松动圈厚度和三角区巷帮破坏范围变化规律



b 顶板和三角区最大变形量变化规律

—□— 顶板 —■— 三角区

图3 β 与稳定性指标的关系
Fig.3 Relation curves between β and stability quota

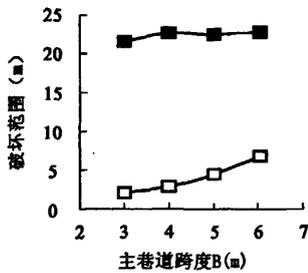
与文献[6]中的 Flac3D 试验数据相比,分岔角 β 对交岔点顶板松动圈最大厚度的影响规律基本一致。结论都表明分岔角 β 对交岔点顶板松动圈最大厚度的影响很小。但是,当分岔角 β 在 $30 \sim 45^\circ$ 之间取值时,顶板松动圈最大厚度有明显变化。考虑到交岔点整体结构的稳定性,深井软岩巷道交岔点设计时,应使分岔角 $\beta > 45^\circ$ 。

2.3 主巷道跨度 B 对交岔点围岩变形规律的影响

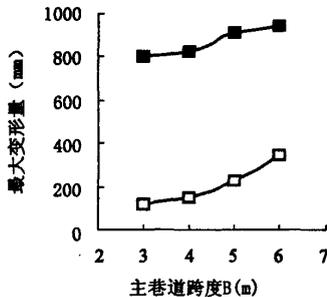
正交试验结果表明,主巷道跨度 B 对交岔点处顶板稳定性的影响是高度显著的。

从图4a和图4b可以看出,主巷道跨度 B 与交岔点顶板松动圈最大厚度和顶板最大表面变形量均呈非线性递增规律。围岩强度越低,变化速率越快,交岔点稳定性越差,受主巷道跨度 B 影响引起的交岔点稳定性问题越突出。当其它因素不变

时,随着主巷道跨度 B 的增加,顶板松动圈最大厚度和顶板最大表面变形量均增加,当顶板松动圈厚度和最大顶板表面变形量接近或大于支护体的支撑能力时,就会引起交岔点的顶板破坏,导致交岔点顶板失稳。



a 顶板松动圈厚度和三角区巷帮破坏范围



b 顶板和三角区最大变形量变化规律

—□— 顶板 —■— 三角区

图4 B 与稳定性指标的关系

Fig. 4 Relation curves between B and stability quota

主巷道跨度 B 对三角区巷帮破坏范围影响不大,对三角区巷帮变形影响较大。尤其是当 $B > 4\text{m}$ 时,三角区巷帮变形越来越严重。所以,对于深井软弱岩层中的巷道交岔点,当 B 取值较大时,要注意观测三角区巷帮变形的增加。若围岩为硬岩条件,主巷道跨度 B 对交岔点三角区巷帮变形影响较小。

3 结论

1)最大水平应力作用角 α 对三角区稳定性影响显著。 α 接近 45° 时,三角区巷帮变形最大,破坏范围也达到最大,最不利于交岔点的稳定。所以,深井条件下交岔点施工时,应避免最大水平应力与主巷道呈 45° 。 α 接近于 0° 或 90° 时,最大水平应力与分支巷道所成夹角将远远小于 90° ,较利于交岔点三角区巷帮的稳定。

2)分岔角 β 对三角区稳定性影响显著。随着 β 的增加,三角区巷帮破坏范围和巷帮最大变形均呈非线性递减规律; $\beta = 120^\circ$ 时,三角区围岩最稳定;深井交岔点设计时, β 应尽量大于 45° 。

3)主巷道跨度 B 对顶板影响高度显著。 B 与交岔点顶板松动圈最大厚度和顶板最大表面变形量均呈非线性递增规律。 B 取值越大,越不利于交岔点的稳定。

参考文献:

- [1] 陈炎光,陆士良.中国煤矿巷道围岩控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,1994.
- [2] PENG S S, OKUBO S. Roof bolting patterns at threeway intersections[R]. Virginia: Coal Research Bureau, 1978.
- [3] 赵选民,徐伟,师义民,等.数理统计[M].北京:科学出版社,2002.
- [4] 邵国建,王东升.岩体初始地应力场对地下洞室围岩变形及应力的影响[J].河海大学学报,1999,11(6):82-85.
- [5] 解连库,李华炜,杨天鸿,等.侧向压力作用下巷道围岩破坏机理的数值模拟[J].中国矿业,2006,3(3):54-67.
- [6] 朱玉生,曹守虎.巷道交岔点顶板松动圈及加强支护范围的研究[J].建井技术,2005,4(2):28-32.
- [7] 龚曙光.ASYNS 基础应用及范例解析[M].北京:机械工业出版社,2003.

(责任编辑 闫纯有)