

“短锚+轻架”联合支护体系支护特性

安百富^{1,2*}, 王云搏³, 黄亨鹏³, 周梦祥³, 徐鹏³

- (1. 湖南科技大学 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室, 湖南 湘潭 411201;
2. 中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116;
3. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:针对“短锚+轻架”联合支护体系支护特性问题,在分析其结构组成的基础上,采用三维建模软件 Creo 和 Nastran 数值计算软件研究分析了“短锚+轻架”联合支护体系支护的刚度和强度特性.研究发现:在刚度特性方面,支护体系顶部和两侧分别以垂直位移和水平位移为主,且顶部和两侧变形呈现出阶段性分布特征;在强度特性方面,支护体系 Mises 应力分布具有明显规律性,各断面最大 Mises 应力出现在工字钢翼缘处,锚杆和锚索对支护体系的 Mises 应力起到了一定的控制作用.

关键词:短锚;轻架;联合支护;刚度;强度

中图分类号:TD353

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2018)04-0012-05

On Supporting Property of Short Anchor and Light Frame

An Baifu^{1,2}, Wang Yunbo³, Huang Hengpeng³, Zhou Mengxiang³, Xu Peng³

- (1. Work Safety Key Lab on Prevention and Control of Gas and Roof Disasters for Southern Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
3. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Aimed at the supporting characteristics of “short anchor + light frame” support system, based on the analysis of its structure and by the means of numerical calculation, this paper researches on the stiffness and strength characteristics of “short anchor + light frame” support system with Creo and Nastran. Results show that in the aspect of stiffness, the vertical displacements of the support system top and horizontal displacements of the support system sides are large respectively, and they both have significantly distributed characteristics. In the aspect of stiffness, the distribution of Mises stress in the support system is regular and its maximum value appears on the edge of I-beam, and the anchors and anchors play a certain role in controlling the Mises stress of the support system.

Keywords: short anchor; light frame; joint support; stiffness; strength

对于破碎围岩或者软岩巷道,传统一般采用 U 型钢架棚支护,然而该方法不仅价格高、耗费人力资源多,并且不能达到预期效果^[1,2].近年来,有学者提出“短锚+轻架”的联合支护方式^[3],经现场工业性试验验证具有“低耗高强”特性.然而对“短锚+轻架”的联合支护体系的支护特性方面未进行深入研究.

本文在分析“短锚+轻架”联合支护体系基本组成的基础上,基于安徽某矿 4513 工作面回采巷道支护参数,联合三维建模软件 Creo 和数值计算软件 Nastran 研究分析“短锚+轻架”的联合支护体系强度和刚度

特性.

1 “短锚+轻架”联合支护体系结构构成

图1为“短锚+轻架”的联合支护结构,由图1可知“短锚+轻架”共同支护体系由以下5个关键部分构成:轻型金属棚架、短锚杆/索、高强度钢筋笆、双抗布及金属短梁.金属短梁、轻型金属支架与锚杆/索共同结合,并在高强度钢筋笆和围煤岩中间铺设双抗布,轻型金属棚架位于高强度钢筋笆之前.

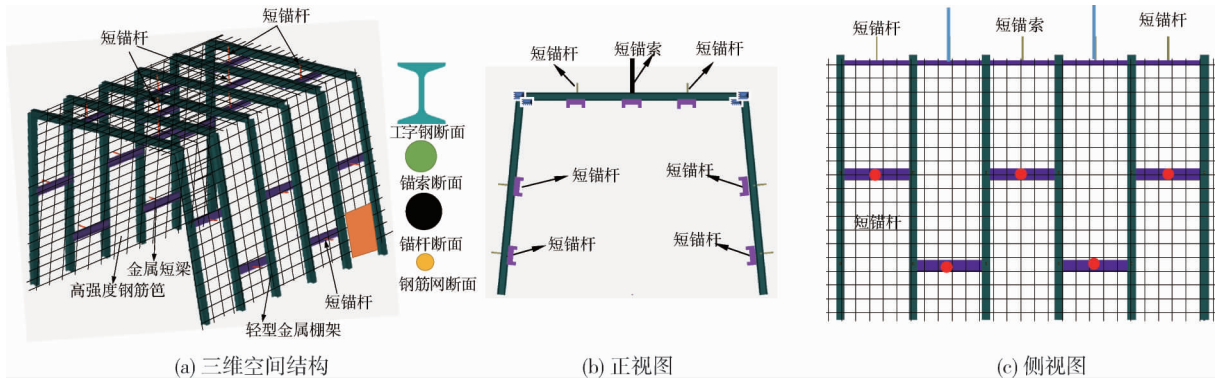


图1 “短锚+轻架”的联合支护结构

2 “短锚+轻架”联合支护体系支护特性数值模型

2.1 试验巷道支护参数

以安徽某矿4513工作面回采巷道为研究对象^[3],如图2所示,其支护体系中型钢为11#矿用工字钢,棚间距为800 mm,中短梁采用的是16#槽钢.

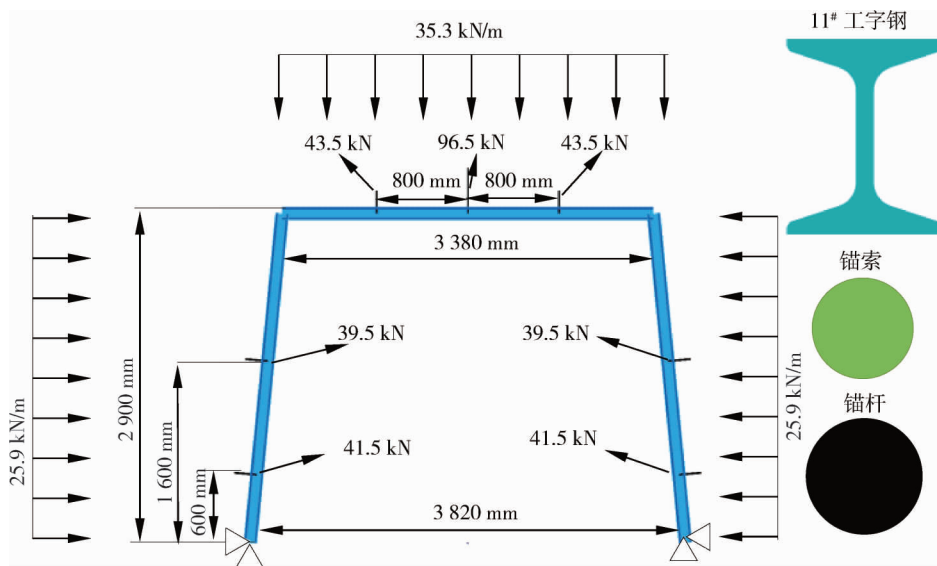


图2 回采巷道支护参数

在槽钢的中间部分开设锚杆/索的孔,槽钢腹板扣于工字钢翼的边缘位置,锚杆/索通过槽钢中部的圆孔锚固在围岩之中.锚杆尺寸为 $\Phi 22 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}$,规格为左旋无纵肋螺纹钢高强预应力锚杆(材质为20MnSi钢材),各采用2卷Z2355锚固剂.锚索使用的规格标准为 $\Phi 178 \text{ mm} \times 6000 \text{ mm}$,选用的锚固剂为1卷K2355和3卷Z2353锚固剂,分摊到每架“短锚+轻架”联合支护体系的锚杆和锚索预紧力分别为39.5,41.5,43.5,96.5 kN;选用双抗布的规格标准为 $4000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$,压茬100 mm;高强度钢筋笆大小为 $1200 \text{ mm} \times$

900 mm,压茬大于100 mm,接点间距小于200 mm,用于连接牢固的为双股12[#]铁丝,钢筋网眼大小为100 mm×100 mm,钢筋直径为10 mm;由现场监测该支护体系水平载荷为25.9 kN/m,垂直载荷为35.3 kN/m.

2.2 数值模型

建立“短锚+轻架”联合支护体系模型按照以下步骤完成:构建实体模型、选择模型单元、材料本构模型设定、模型边界条件及加载方案4步^[4,5],具体过程如下:

1) 构建实体模型

按照I型钢国际的标准,分以下4步完成:第一步利用完全参数化三维建模软件(Creo)来建立矿用11[#]工字钢断面模型,第二步把11[#]工字钢断面模型存为.sat的文件格式,第三步利用处理器(Femap)导入求解器(NX Nastran)中,最后一步构建出工字钢支架轴向轮廓线.

2) 选择模型单元

由于工字钢断面为形状闭口梁,中性轴与剪切中心重合,因此采用BAR单元模拟工字钢,锚杆和锚索采用CABLE单元模拟,并依据锚杆和锚索预紧力对应施加初始张力.

3) 材料本构模型

依据工字钢支架金属材料的属性,选用双线性等向强化的弹塑性材料模型.其弹性模量为206 GPa,泊松比为0.3,剪切模量为21 GPa,屈服强度为355 MPa.

4) 模型边界条件及加载方案

两端底座筒支约束,将35.3,25.9 kN/m的载荷集度分别加载在工字钢支架上部的轴线上和棚腿的两侧^[6,7].

完成以上4个步骤构建“短锚+轻架”联合支护体系数值模型.

3 “短锚+轻架”联合支护体系支护特性分析

“短锚+轻架”联合支护体系支护特性主要体现在其抗变形和抗破坏能力,对应于该体系的刚度和强度特性^[9,10].

3.1 “短锚+轻架”联合支护刚度特性分析

“短锚+轻架”联合支护刚度特性是指“短锚+轻架”联合支护体系的抗变形能力,抗变形能力越强,其对围岩被动支护效果越好,围岩变形越小;因此“短锚+轻架”联合支护刚度特性具有重要意义.通过整理数值模拟数据得出“短锚+轻架”联合支护体系的变形云图与变形曲线,分别如图3~图5所示.

由图3~图5分析可知:

1) 由于模型左右对称,“短锚+轻架”联合支护体系水平位移与垂直位移关于Y轴对称.

2) 棚腿位置水平位移在0~1 000 mm之间缓慢增加,1 000~2 000 mm之间迅速增加,随后迅速减小,最大水平位移为3.6 mm;棚顶位置处水平位移线性增加,但水平变形与棚腿位置水平变形相比基本可以忽略不计.

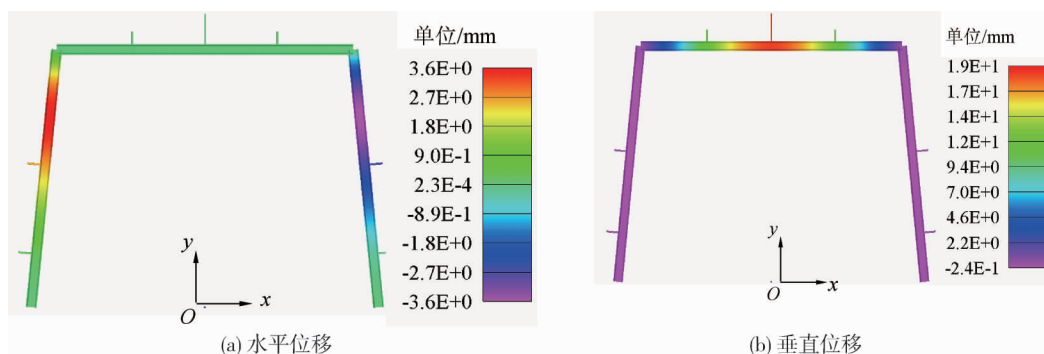


图3 “短锚+轻架”联合支护体系变形云图

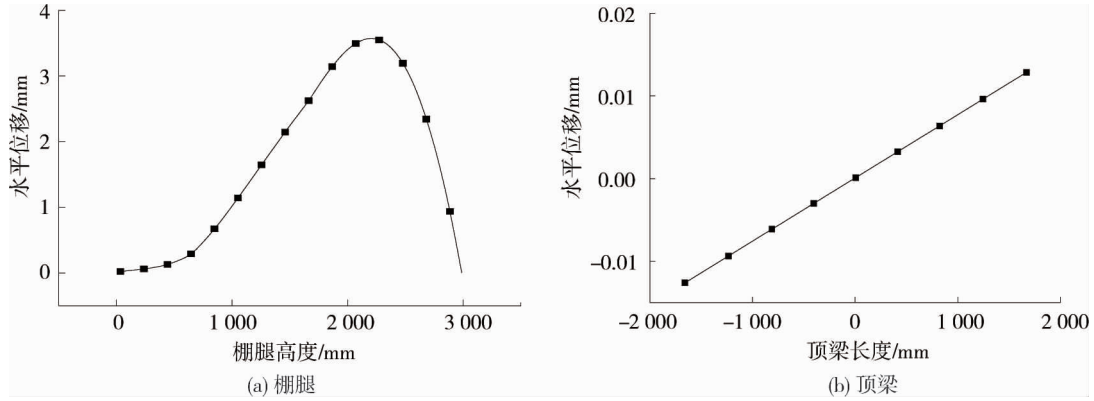


图 4 梯形工字钢水平位移

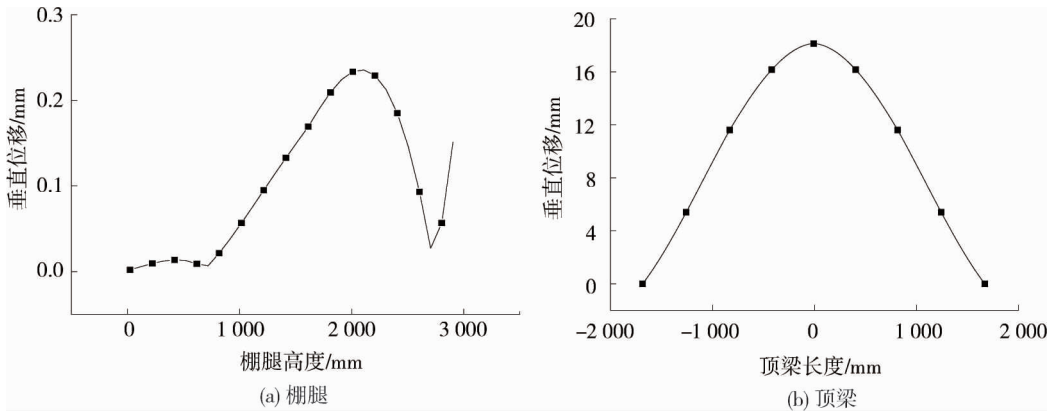


图 5 梯形工字钢垂直位移

3) 棚顶位置垂直位移随顶梁长度呈现“单峰”型,最大垂直位移为 19 mm;棚腿位置垂直位移在 0~2 000 mm 之间缓慢增加,2 000~2 600 mm 之间迅速减小,随后迅速增加,最大垂直位移仅为 0.25 mm,远小于棚顶处垂直变形。

4) “短锚+轻架”联合支护体系水平位移主要在棚腿位置,棚顶位置水平变形较小,但对于垂直位移二者相反,说明棚腿主要承受水平侧向压力,棚顶承受垂直压力。

3.2 “短锚+轻架”联合支护强度特性分析

“短锚+轻架”联合支护强度特性是指其材料强度特性,即在围岩和锚杆作用下,“短锚+轻架”联合支护所受的 Mises 应力极限.当体系 Mises 应力小于材料的屈服极限时,“短锚+轻架”联合支护体系变形量较小,超过体系的屈服极限后该体系结构变形量显著增加,并逐渐失去承载能力,因此“短锚+轻架”联合支护强度特性同样是该体系的重要指标.提取棚腿和棚顶每间隔 100 mm 工字钢截面绘制“短锚+轻架”联合支护体系 Mises 应力云图,如图 6 所示;通过整理每个截面的最大 Mises 应力来绘制 Mises 应力变化曲线,如图 7 所示.

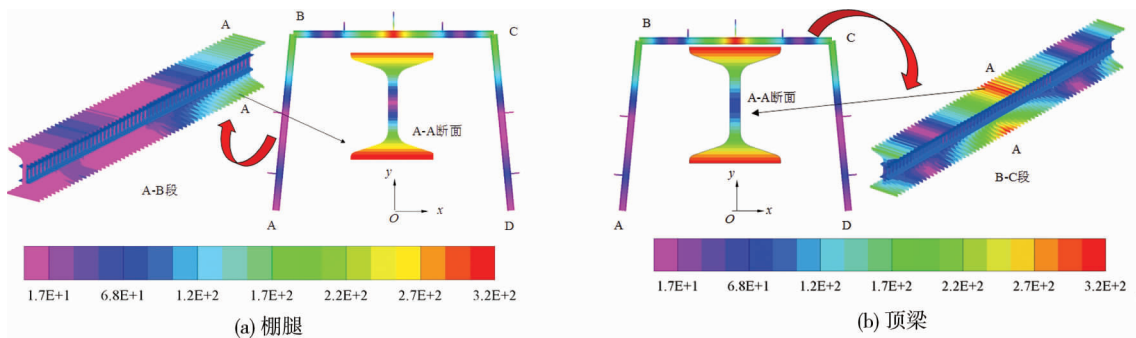


图 6 “短锚+轻架”联合支护体系 Mises 应力云图

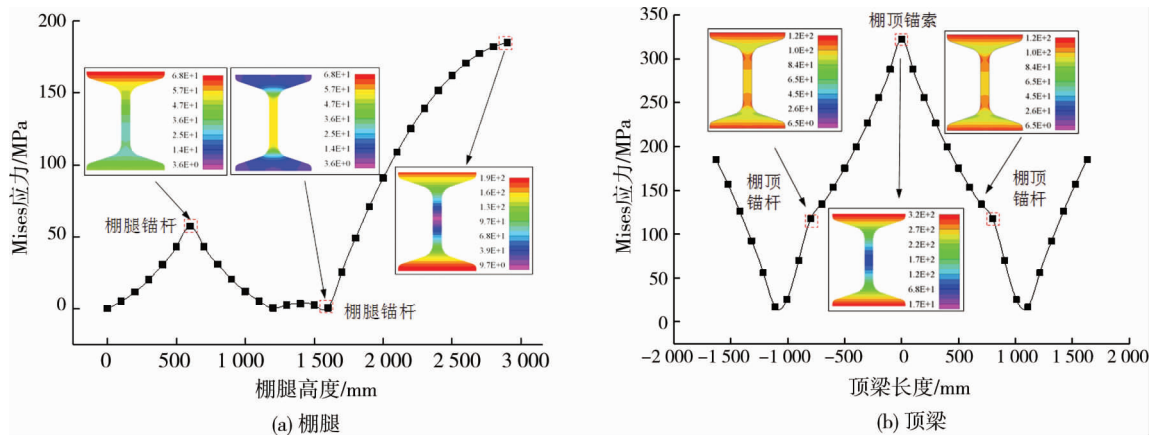


图7 “短锚+轻架”联合支护体系 Mises 应力分布曲线

由图6和图7分析可知:

1) “短锚+轻架”联合支护体系中工字钢不同断面 Mises 应力大体关于中性轴线性分布,最大 Mises 应力位于工字钢的翼缘上。

2) “短锚+轻架”联合支护体系棚腿位置 Mises 应力总体略小于棚顶位置,说明棚顶位置承受作用大于棚腿位置需要加强支护。

3) Mises 应力在棚腿高度为 0~600 mm 之间迅速增加且增加速率逐渐增加,在 600~1 200 mm 之间迅速降低,在 1 200~1 600 mm 基本保持不变,说明锚杆明显降低该体系在 600~1 600 mm 之间的 Mises 应力.在 1 600~2 900 mm 之间迅速增加,但增加速率逐渐减小。

4) 提取在棚腿高度位置为 600, 1 600, 2 900 mm 断面 Mises 应力,对应最大断面 Mises 应力分别对应为 68, 5, 190 MPa, 在棚腿高度位置为 600 mm 和 2 900 mm 处时最大应力位于工字钢的翼缘处,在 1 600 mm 处位于腹板处。

5) 棚顶位置 Mises 应力在棚腿高度为 -1 690~-1 100 mm 之间减小,在 -1 100~0 mm 之间增加,在 -800~0 mm 锚杆和锚索作用处增加速率变小;提取在棚腿高度位置为 -800, 0, 800 mm 处工字钢断面,对应最大断面 Mises 应力分别对应为 140, 320, 140 MPa, 3 个断面最大应力位于工字钢的翼缘处。

4 结论

1) “短锚+轻架”联合支护体系的顶部和两侧分别以垂直位移和水平位移为主,且其变形量较小,说明该体系具有较强的抗变形能力。

2) “短锚+轻架”联合支护体系的锚杆和锚索对支护体系的 Mises 应力起到了一定的控制作用,提高整个体系强度极限。

参考文献:

- [1] 兰学强. U 型钢支架的承载结构分析及稳定性控制研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.
- [2] 赵永恒. U 型钢架棚支护技术的研究与实践[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2013(11): 99-100.
- [3] 经来旺, 王青成, 姚文杰, 等. 破碎围岩巷道“短锚+轻架”支护技术研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(3): 6-8.
- [4] 郑西贵, 刘娜, 冯晓巍, 等. 基于 ANSYS 的 U 型钢反拱梁承载性能及稳定性分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2015, 32(3): 459-464.
- [5] 张连生. 大断面巷道 U 型钢支架屈曲特性分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2016(23): 111-112.
- [6] 岳阳, 邵阳, 权凯. 直墙半圆拱 U 型钢支架最大轴向应力影响因素分析[J]. 煤炭技术, 2017, 36(12): 84-87.
- [7] 王港盛, 权凯, 邵阳. 基于开口梁的直墙半圆拱 U 型钢支架强度研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(11): 78-80.
- [8] 马海涛, 李岗, 丁国峰. U 型钢棚支护效果优化[J]. 现代矿业, 2016, 32(3): 193-194.
- [9] 马振通. 回采工作面动压区 U 型钢支护托棚加固技术[J]. 煤矿安全, 2017, 48(9): 89-91.
- [10] 刘建庄. U 型钢支架屈曲机理及控制[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2013.