

充填液压支架后顶梁危险工况分析

王 慧, 赵国超, 金 鑫

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要:为掌握外载作用情况对充填液压支架工作状态的影响,进而保证作业安全和延长支架的使用寿命,介绍了虚拟样机正交试验法,并以 ZZC8800/20/38 型六柱式充填液压支架为例,对支架后顶梁的外载作用点位置对其受力影响程度进行试验研究。结果表明:正交试验法可以用来分析充填液压支架后顶梁的工况,并经试验确定了扭转加载形式为支架的危险工况,起到了缩小外载样本空间的作用,减少了后续样机可靠性试验的试验次数,大幅缩短了试验时间,可为充填液压支架危险工况研究提供有效的指导方法,从而有利于充填液压支架的使用维护。

关键词:充填液压支架;正交试验法;危险工况;后顶梁

中图分类号:TD56

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)08-0130-05

Analysis on danger performances of rear top beam on backfill hydraulic powered support

WANG Hui, ZHAO Guochao, JIN Xin

(School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to understand the external load effect affected to the working state of the backfill hydraulic powered support and thus to ensure the operation safety and to prolong the service life of the powered support, the paper introduced the orthogonal test of the virtual prototype. With a ZZC8800/20/38 mode six legs backfill hydraulic powered support as an example, an experiment study was conducted on the stressed influence degree by the external loading effect point location at the rear top beam on the powered support. The results showed that the orthogonal test method could be applied to analyze the performances of the rear canopy on the powered support. The test showed that a torsion loading form would be the danger performances of the powered support, could play a role to reduce the external loading space and could reduce the test times of the reliability test for the late prototype. The test time could be highly reduced. An effective guide method was provided to the danger performance study of the backfill hydraulic powered support, and thus the application and maintenances of the backfill powered support would be favorable.

Key words: backfill hydraulic powered support; orthogonal test method; danger performance; rear top beam

0 引 言

充填液压支架是固体充填技术的关键设备^[1],它主要用于维护采煤作业空间和充填空间^[2],为煤矿井下安全生产提供必要的保障。充填液压支架通过支架后部刮板输送机向采空区运送充填物料,并由底座尾部夯实机构对物料进行夯实^[3],提高固体充填物的密实度和接顶率,防止顶板破碎下沉,以达

到使用目的。充填式液压支架增加了后部充填输送机构,这样就使得其整体尺寸加长、跨度增大、受力增多。由于顶板的破碎程度不同,将导致支架顶梁的接顶位置和面积有所不同,使得顶梁外载作用点也不同。而不同的外载作用点对顶梁危险截面应力的影响亦不同。顶梁作为支架主要承载构件,其危险截面的可靠性至关重要。目前对顶梁的可靠性研究主要集中在结构优化和 ANSYS 有限元分析。如

收稿日期:2018-04-21;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.08.021

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51404132)

作者简介:王 慧(1960—),男,辽宁凌源人,教授,博士生导师。E-mail:847447693@qq.com

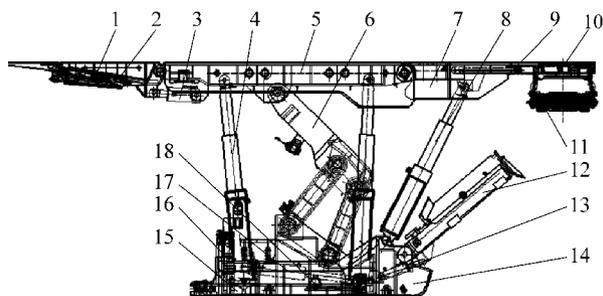
引用格式:王 慧,赵国超,金 鑫.充填液压支架后顶梁危险工况分析[J].煤炭科学技术,2018,46(8):130-134.

WANG Hui, ZHAO Guochao, JIN Xin. Analysis on danger performances of rear top beam on backfill hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(8): 130-134.

唐琨等^[4]利用 Pro/E 建立了顶梁的三维模型,通过 MATLAB 软件对液压支架顶梁箱式结构进行了优化设计,改进了支架顶梁的结构,但并未给出顶梁不同受力点对其可靠性的影响。因此,探索合理有效的研究充填液压支架顶梁外载作用点位置对顶梁受力的影响程度、确定其危险工况的方法十分必要。

1 充填液压支架顶梁力学分析

固体充填液压支架整体结构如图 1 所示。



- 1—前梁;2—护帮千斤顶;3—前梁千斤顶;4—前立柱;
5—顶梁;6—四连杆机构;7—后顶梁;8—后立柱;
9—后刮板伸缩千斤顶;10—托板;11—多空底卸式刮板输送机;
12—夯实机构;13—摆梁千斤顶;14—底座;15—推移框架;
16—抬底千斤顶;17—推移千斤顶;18—底调千斤顶

图 1 固体充填液压支架整体结构

Fig. 1 Structure of solid backfill hydraulic support

根据充填液压支架工作特点及整体结构,可建立支架顶梁整体简化受力模型如图 2 所示。

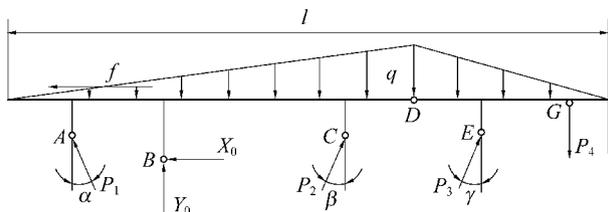


图 2 顶梁整体受力模型

Fig. 2 Stress model of top beam

根据受力平衡,可得

$$\sum F_x = P_2 \sin \beta - f + P_3 \sin \gamma - P_1 \sin \alpha - X_0 = 0$$

$$\sum F_y = P_1 \cos \alpha + P_2 \cos \beta + P_3 \cos \gamma + Y_0 - F - P_4 = 0$$

$$f = \mu F$$

其中: F 为顶板压力,且 $F = 0.5qs$, q 为载荷, s 为顶梁面积; f 为顶板摩擦力; μ 为摩擦因数,通常取 0.3; P_1 、 P_2 分别为前立柱支撑力; α 、 β 、 γ 为支撑角度; P_3 为后立柱支撑力; P_4 为刮板输送机对后顶梁的拉力; X_0 、 Y_0 分别为上连杆对顶梁的水平力和支撑力。由于顶梁处于静力平衡状态,因此,顶梁

的 x 向合力为 0, y 向合力为 0, 即 $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$ 。

2 正交试验

通过选取适当数量的试验点进行正交试验,利用部分试验结果来分析全部试验情况,是一种“以偏盖全”的方法。因此,试验点是否具有代表性是正交试验准确性高低的关键因素。

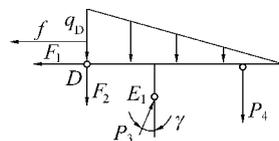
正交表是正交试验的基本工具,于 1951 年,由日本统计学家田口玄一正式提出。根据正交表可以确定出各因素的主次效应顺序以及对试验指标的影响情况,从而得出最佳组合,实现试验目的。正交表对各试验因素、各水平间的组合搭配均匀,安排合理,大幅减少了试验次数,使正交试验表现出了分散性和整齐可比性的特点。

一般正交表可由 $L_n(t^m)$ 表征。其中: L 为正交表; n 为试验次数; t 为因素水平数; m 为因素数量,即正交表的列数。在选择绘制正交表时,首先确定因素水平数和因素数量,进而确定正交表类型。

3 充填液压支架案例分析

3.1 充填液压支架后顶梁受力分析

ZZC8800/20/38 型六柱式充填液压支架顶梁由前顶梁和后顶梁铰接组成,根据顶梁整体受力模型(图 2),取后顶梁为分析对象,受力模型可简化如图 3 所示。



q_b —前顶梁与后顶梁铰接处所受的分布载荷; F_1 、 F_2 —前顶梁与后顶梁铰接处所受力在 x 向、 y 向的分力

图 3 后顶梁受力模型

Fig. 3 Stress model of rear beam

3.2 后顶梁正交试验设计

充填液压支架在采煤作业中,采区形成了“煤壁—支架—充填物”的支撑体系。顶梁受载形式一般为:中部承受集中载荷、两端承受集中载荷、单侧受载、承受扭转载荷^[5],根据后顶梁受力情况,假设后顶梁外载作用点的位置可等效为前端上下、后端上下、中部上中下共 7 个方向,设置情况如图 4 所示。

利用 7 个作用点受载的不同组合方式模拟后顶梁的不同工况。7 个等效作用点可组合为 $(2^7 - 1)$ 种加载方式,组合方法较多,若逐一进行试验工作量较大,难以实施。采用有限元方法进行虚拟样机正交试验,分析各加载位置对顶梁最大应力的影响情况,

将7个点的影响程度进行排序,从而获得对后顶梁受力影响较大的危险工况。

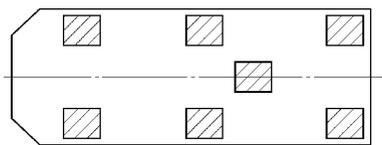


图4 顶梁受载等效作用点

Fig. 4 Equivalent point of top beam loading

3.3 液压支架后顶梁三维建模

利用 Pro/e 建立后顶梁三维模型,对应等效作用点布置垫块,将简化结果保存为.igs 格式,导入 ANSYS Workbench 中,模型如图5所示。



1—7 为垫块
图5 垫块布置

Fig. 5 Cushion block arrangement

3.4 材料属性与网格划分

后顶梁的主体材料为 16Mn,在 ANSYS 材料库定义材料属性。采用自动网格划分法,设定网格尺寸为 45 mm,并对柱窝等应力集中处进行网格细化,结果如图6所示,获得节点数 98 929 个,网格单元数 51 967 个。

3.5 后顶梁虚拟样机正交试验设计

根据上述分析,正交试验选用 7 因素 2 水平,即 t 为 2, m 为 7。7 个因素分别对应后顶梁上表面等效作用点 1、2、3、4、5、6、7。水平 1 为额定工作阻力的 1/7,水平 2 为 1.2 倍额定工作阻力的 1/7。

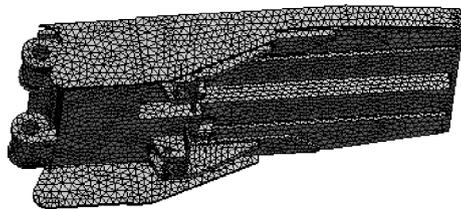
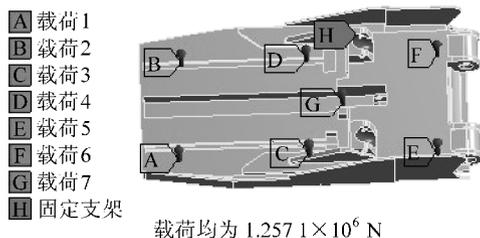


图6 顶梁网格划分

Fig. 6 Top beam mesh division

试验主要分析外载作用点位置对后顶梁应力影响情况,在有限元分析求解时,假设柱窝和各铰接孔为固定约束,分别按正交试验表在 7 个垫块处施加 2 个水平的载荷,进行 8 次模拟试验。ZZC8800/20/38 型六柱式充填液压支架的额定工作阻力为 8 800 kN,试验 1 的约束和载荷设置情况如图 7 所示。



A 载荷1
B 载荷2
C 载荷3
D 载荷4
E 载荷5
F 载荷6
G 载荷7
H 固定支架

载荷均为 1.2571×10^6 N

图7 试验1的约束和载荷设置情况

Fig. 7 Constraints and load settings in test 1

3.6 后顶梁正交试验结果分析

按照上述方式依次改变有限元分析时的边界条件进行设置求解,得到 1—8 次试验有限元求解应力云图如图 8 所示。

取 8 个试验中顶梁最大应力为试验结果,采用直观分析法分析各点受力对顶梁应力影响程度,绘制正交试验直观分析表,见表 1,因素水平应力变化如图 9 所示。

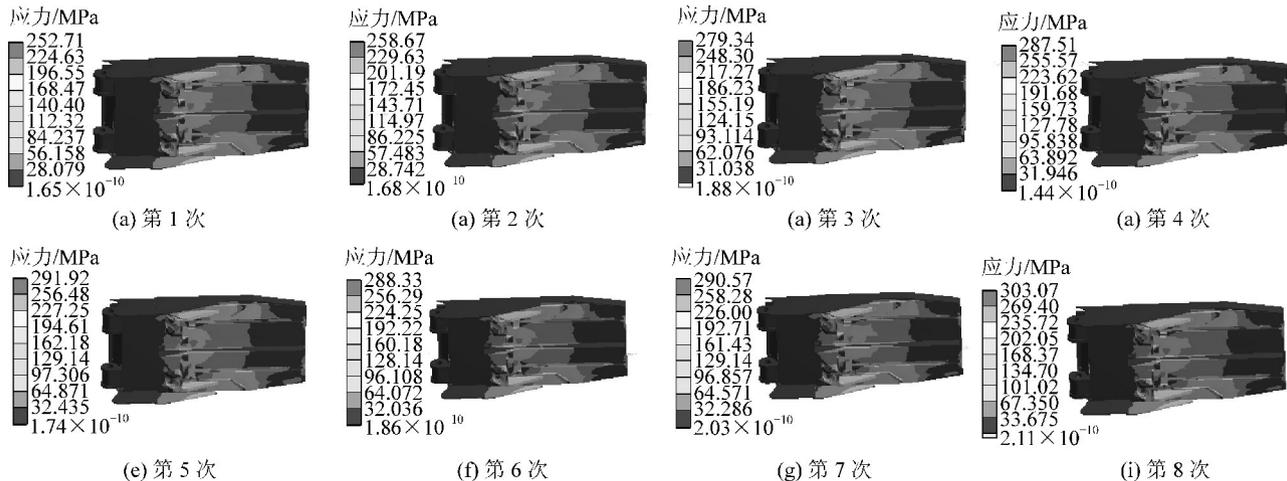


图8 第1—8次试验应力云图

Fig. 8 Stress cloud in test 1 to test 8

表 1 7 因素 2 水平 $L_8(2^7)$ 正交试验直观分析Table 1 Intuitive analysis of orthogonal test for seven factors and two levels $L_8(2^7)$

| 试验号 | 水平 | | | | | | | 最大应力/MPa |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | 位置 1 | 位置 2 | 位置 3 | 位置 4 | 位置 5 | 位置 6 | 位置 7 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 252.71 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 258.67 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 279.34 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 291.92 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 287.51 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 288.33 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 290.57 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 303.07 |
| \bar{T}_1 | 270.660 | 271.805 | 276.255 | 277.533 | 280.863 | 283.803 | 280.883 | — |
| \bar{T}_2 | 292.370 | 291.225 | 286.775 | 285.498 | 282.168 | 279.228 | 282.148 | — |
| R | 21.710 | 19.420 | 10.520 | 7.965 | 1.305 | 4.575 | 1.265 | — |

注: \bar{T}_1 、 \bar{T}_2 分别为同一位置下水平 1 和水平 2 的应力均值; R 为 \bar{T}_1 、 \bar{T}_2 的均值之差。

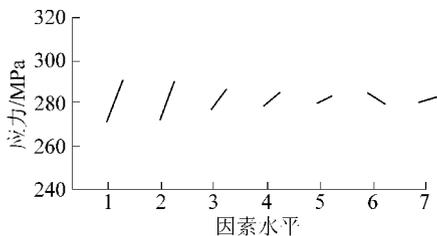


图 9 因素水平应力变化

Fig. 9 Stress variation of factor level

对试验结果进行数据处理和因素水平趋势图分析可知:即在 2 水平外载下 1 号因素极差 R_1 最大,为 21.71,2 号因素次之,表明位置 1 和位置 2 集中加载对后顶梁应力影响最大,且垫块 1 和垫块 2 加载力越大,顶梁最大应力越大。在 2 水平外载下因素 7 极差 R_7 最小,为 1.265。表明位置 7 集中加载对后顶梁应力影响最小,随着垫块 6 载荷的增大顶梁最大应力反而有下降趋势。由此表明顶梁前端加载对顶梁应力影响最大,其次是顶梁中部两端加载,顶梁后端和中部中间位置加载对顶梁应力影响较小。

4 结 论

1) 正交试验法为充填液压支架工况分析提供了理论依据和方法指导,同时达到了减少试验次数,减小试验样本空间的目的。

2) 充填液压支架后顶梁应力最大的加载位置主要为顶梁前端受载,并且后顶梁的最大应力会随着垫块 6 受载的增加而减小,因此确定后顶梁危险工况为应不包含垫块 6 的扭转加载方式。

参考文献 (References):

- [1] 崔永亮,郭海伟,金 桃.六柱支撑式固体充填液压支架的设计研究[J].矿山机械,2011,39(7):21-24.
CUI Yongliang, GUO Haiwei, JIN Tao. Design and study of six-legged supporting solid-filling hydraulic support [J]. Mining & Processing Equipment, 2011, 39(7): 21-24.
- [2] 徐俊明,谭辅清,巨 峰,等.六柱支撑式固体充填采煤液压支架结构及工作原理研究[J].中国矿业,2011,20(4):101-104.
XU Junming, TAN Fuqing, JU Feng, et al. Principle and structure of backfill supports with six props [J]. China Mining Magazine, 2011, 20(4): 101-104.
- [3] 李 宁,马慧慧,柳朋远.ZZC8800/20/38 型矸石充填液压支架的研制[J].矿山机械,2010,38(15):5-7.
LI Ning, MA Huihui, LIU Pengyuan. Development of ZZC8800/20/38 gangue backfilling hydraulic support [J]. Mining & Processing Equipment, 2010, 38(15): 5-7.
- [4] 唐 琨,冯梅梅.充填液压支架顶梁结构有限元分析及优化[J].煤矿机械,2014,35(2):76-78.
TANG Kun, FENG Meimei. Structure finite element analysis and optimization of filling hydraulic support top beam [J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(2): 76-78.
- [5] 李 民.液压支架顶梁优化设计[D].青岛:山东科技大学,2011.
- [6] 宓德广.充填液压支架的研制[J].煤矿机电,2008(6):96-97.
MI Deguang. Development of stowing hydraulic support [J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2008(6): 96-97.
- [7] 何 明,曾庆良,张 鑫,等.基于 Pro/E 与 ANSYS 的液压支架运动仿真与有限元分析[J].煤矿机械,2009,30(2):75-77.
HE Ming, ZENG Qingliang, ZHANG Xin, et al. Motion simulation and finite element analysis of hydraulic support based on Pro/E and ANSYS [J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30

- (2):75-77.
- [8] 马福全,王晶,孙博.ZY5000/15/30 液压支架有限元静力分析[J].煤矿机械,2011,32(5):95-96.
MA Fuquan,WANG Jing,SUN Bo.Finite element static analysis of ZY5000/15/30 hydraulic support[J].Coal Mine Machinery,2011,32(5):95-96.
- [9] 朱钧麟.液压支架应力研究及有限元分析[D].沈阳:东北大学,2011.
- [10] 裴志毅,周玉乾,李书臣.液压支架底座优化设计[J].中州煤炭,2012(6):24-25.
PEI Zhiyi,ZHOU Yuqian,LI Shuchen.Optimization design on the base of hydraulic supports[J].Zhongzhou Coal,2012(6):24-25.
- [11] 王洪亮,施卫东,陆伟刚,等.基于正交试验的深井泵优化设计[J].农业机械学报,2010,41(5):52-63.
WANG Hongliang,SHI Weidong,LU Weigang,et al.Optimal design of deep well pump based on orthogonal test [J].Journal of Agricultural Machinery,2010,41(5):52-63.
- [12] 陈超,陈荣娜,巩子天纵,等.ZZ10800/22/45 液压支架强度及疲劳分析[J].煤炭技术,2014,33(5):171-173.
CHEN Chao,CHEN Rongna,GONG Zitianzong,et al.Analysis of strength and fatigue of ZZ 10800/22/45 hydraulic support [J].Coal Technology,2014,33(5):171-173.
- [13] 王国法.工作面支护与液压支架技术理论体系[J].煤炭学报,2014,39(8):1593-1601.
WANG Guofa.Theory system of working face support system and hydraulic roof support technology[J].Journal of China Coal Society,2014,39(8):1593-1601.
- [14] 王国法.液压支架技术体系研究与实践[J].煤炭学报,2010,35(11):1903-1908.
WANG Guofa.Study and practices on technical system of hydraulic powered supports [J].Journal of China Coal Society,2010,35(11):1903-1908.
- [15] 丁飞,金鑫,王春华,等.小样本事件下液压支架可靠性评估[J].煤炭科学技术,2016,44(11):116-120.
DING Fei,JIN Xin,WANG Chunhua,et al.Reliability assessment of hydraulic support under small sample events [J].Coal Science and Technology,2016,44(11):116-120.