

doi:10.13301/j.cnki.ct.2016.01.083

# 复合板材液压支架顶梁的有限元分析\*

马希青, 王芳芳

(河北工程大学 机电工程学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 在液压支架顶梁的合适位置焊接上另一种材质的金属板材, 成为具有复合板材的顶梁。利用 Pro/E 和 ANSYS 软件对顶梁进行三维建模与有限元分析, 编写 APDL 语言自动调整可变参数获得第 2 种金属板材在复合板材顶梁中的最佳焊接位置, 这在满足同等强度条件下与单一材质的顶梁相比, 其结果可明显减轻顶梁的自身重量、降低其生产成本。

**关键词:** 液压支架顶梁; 复合板材; APDL; 有限元分析

**中图分类号:** TD355 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008 - 8725(2016)01 - 0215 - 03

## Finite Element Analysis of Composite Sheet Top Beam of Hydraulic Support

MA Xi-qing, WANG Fang-fang

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

**Abstract:** Composite sheet top beam is considered that another material sheet is welded at key position of top beam of the hydraulic support. Model of the top beam of hydraulic support is established and analyzed by using Pro/E and ANSYS. The best welding position that the second kinds of sheet metal is in composite sheet top beam is found based on APDL automatically adjusting the variable parameters. Compared with the single material beam at the same strength condition, the weight and cost of the top beam is obviously reduced.

**Key words:** top beam of hydraulic support; composite sheet; APDL; finite element analysis

\* 河北省自然科学基金资助项目(E2010001010); 邯郸市科学技术研究与发展计划项目(1449301088-3)

### 0 引言

在传统液压支架的设计过程中, 整个顶梁多采

总进风量 2 157 m<sup>3</sup>/min, 总回风量 2 068.2 m<sup>3</sup>/min, 实际风量小于需风量, 井下风机反风时间 8 min, 反风风量 632.2 m<sup>3</sup>/min, 风井负压 1 163 Pa, 井下防灾设施分布合理, 并且安装了自动监测监控系统。综合矿井的资料, 对其通风系统进行安全性评价对所选取的 10 个指标进行计算, 得安全度  $S=53.68$ , 安全等级 E。

造成危险的原因: ①井下自动监测系统不够完善, 东翼-400 水平通风设备出现连接不上现象; ②主通风机出现设备严重老化现象, 通风困难时期往往出现主通风机效率下降; ③矿井反风风量低于正常风量的 40%; ④通风设施设置不合理, 矿井漏风比较严重; ⑤现有的通风系统进回风井附近风压较大, 矿井漏风比较严重单翼集中生产后, 东西两翼的通风阻力出现了不均衡的现象导致另外一翼的风量出现不足。

### (2) 优化措施

①东翼-400 水平采用全新的监测系统并配备灵敏度高的通风监测设备; ②对矿井进行风机选型, 重新配置满足矿井需风要求的主要通风机, 满足矿井内的反风量。主要进回风路线通过系统内部减阻, 增加其对矿井东翼的供风; ③对东翼-600 水平大巷安设调节风窗, 减少其漏风; ④对现有通风系统中的主要用风地点配风进行优化, 优化用风地点风量开拓巷道合理分配风量。重新对矿井的通风系统进行安全性分析得出矿井通风系统的安全度  $S=85.32$ , 安全等级为 B 级, 能够保障矿井进行安全生产。

### 7 结语

(1) 本文建立了矿井通风系统评价模型, 划分 5 个评价单位, 选取 14 项评价指标, 对评价指标进行灰色关联度优选, 得到 10 个优选指标, 对优选指标进行量化, 最后进行安全度分析。结合实例对矿井通风系统安全性进行系统分析, 并提出相应的优化措施。

(2) 按照本文方法对山东某矿进行安全性分析, 得出现有安全度  $S=53.68$ , 其主要通风机性能差、反风量过低等问题使得矿井通风系统处于相当危险等级。经过措施优化后, 矿井通风系统的安全度为  $S=85.32$ , 这样使得矿井通风系统处于安全状态。

### 参考文献:

- [1] 蔡卫. 矿井通风系统安全性评价及其应用[J]. 煤炭学报, 2004(2): 195-198.
- [2] 曹庆贵. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.
- [3] 曹树刚, 徐阿猛, 刘延保, 等. 基于灰色关联分析的煤矿安全综合评价[J]. 采矿与安全工程学报, 2007(2): 141-145.
- [4] 程磊, 杨运良, 景国勋. 九里山煤矿通风系统安全性评价[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2003(4): 442-444.
- [5] 陈晓坤, 欧阳博文, 马超, 等. 灰色关联度在煤矿通风安全评价中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2006(3): 69-71.
- [6] 谢乃明, 刘思峰. 灰色层次分析法及其定位求解[J]. 江南大学学报, 2004(1): 87-89.
- [7] 穆瑞, 张家泰. 基于灰色关联分析的层次综合评价[J]. 系统工程理论与实践, 2008(10): 125-130.
- [8] 沈能. 煤矿通风系统存在的问题及发展[J]. 中国新技术新产品, 2010(20): 149.

作者简介: 韩成功(1991-), 江苏盐城人, 山东科技大学 2013 级在校研究生, 研究方向: 资源评价理论与方法, 电子信箱: 1014153162@qq.com.

责任编辑: 郑万才 收稿日期: 2015-05-26

用同一种材质的钢板焊接而成,其方法虽然简单但容易导致顶梁过重、经济性差。而在实际工程上,技术人员往往凭借经验在顶梁的薄弱部位(即危险截面处)焊接另一种高材质的钢板,形成具有复合板材的顶梁以提高顶梁的工作强度。此种做法虽然简单有效,但实施起来缺乏理论依据,故具有一定的盲目性。本文在不降低顶梁工作强度的前提下,利用 Pro/E 和 ANSYS 软件分别对单一材质顶梁和复合板材顶梁进行有限元分析和比较,获得了第 2 种金属板材在复合板材顶梁中的最佳焊接位置,实现了降低顶梁自身重量和生产成本的目的。

## 1 单一材质顶梁的有限元分析

### 1.1 建立顶梁的有限元网格模型

欲对顶梁进行有限元分析,必须先依据其初始设计的结构尺寸建立三维模型。由于顶梁的整体结构相对比较复杂,如直接在 ANSYS 系统中建立模型,则需要不断地转换坐标系和工作平面,费时耗力,建模效率低。因此,取顶梁所有纵向肋板的厚度 20 mm,则利用 Pro/E 野火版 5.0 软件建立了某液压支架顶梁的三维参数化模型,如图 1 所示。

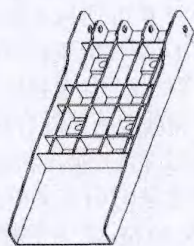


图 1 某液压支架顶梁的三维参数化模型

在 Pro/E 软件中,将上述顶梁模型以 \*.IGES 格式导入到 ANSYS 软件中。这里,将坐标系原点设在顶梁底板后端的中点处,坐标系的  $x$  轴沿顶梁纵向方向, $y$  轴沿顶梁横向方向, $z$  轴垂直于顶梁顶板。将顶梁材料选用 Q460,弹性模量 206 GPa,泊松比 0.28,采用自由网格划分,获得了该顶梁的有限元网格模型,如图 2 所示。



图 2 顶梁的有限元网格模型

### 1.2 顶梁的求解及后处理

最常见液压支架顶梁的模拟加载方式一般有 3

类,分别为顶梁前后两端施加集中载荷、顶梁单侧施加偏载、顶梁施加弯扭载荷。按照中华人民共和国《液压支架通用技术条件》的规定,顶梁在施加弯扭载荷时,垫块的位置如图 3 所示。显然,这时的顶梁受力状况最为复杂,因此本文以该加载方式为例,利用 ANSYS 软件对顶梁进行有限元分析。

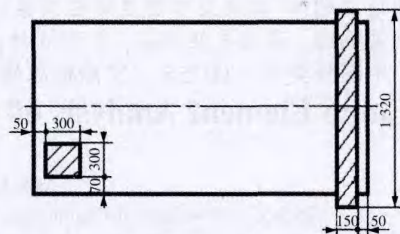


图 3 顶梁的加载方式

已知顶梁的工作阻力  $F=8.2 \times 10^6$  N,柱窝球面面积  $S=37\ 176$  mm<sup>2</sup>,并假定立柱传递给柱窝的外力均匀作用于柱窝表面,则施加的实验载荷为额定工作阻力的 1.3 倍,即

$$p=1.3F/4S=72 \text{ MPa}$$

依据计算结果和实验要求,对试验垫块 UX,UY,UZ 3 个方向的自由度进行等效边界约束,并加载求解。最后得到的顶梁在承受弯扭载荷下的变形云图和应力云图分别如图 4、图 5 所示。



图 4 单一材质顶梁的变形云图

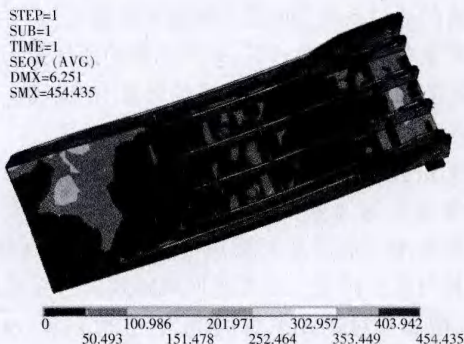


图 5 单一材质顶梁应力云图

在应力云图中,顶梁后端销孔处呈现的危险断面是由于施加等效边界约束条件所引起的,不属于本文探讨范围。除此之外,顶梁的实际应力集中区域呈现在顶梁前柱窝 2 个外侧肋板上端边缘处,即

$x=(1\ 580\sim 1\ 720)$  mm,  $y=532$  mm,  $z=280$  mm,其最大应力值 252.464 MPa,最大变形量 6.251 mm。

## 2 复合板材顶梁的有限元分析

为了降低顶梁的自身重量,复合板材顶梁最外侧 2 个纵向肋板选用 18 mm 厚度的钢板,其余肋板采用 20 mm 厚度的钢板,同时在顶梁适当位置拼焊不同材料的板材,板材的尺寸 130 mm×80 mm×10 mm。顶梁材料仍选用 Q460,焊接板材材料选用 16Mn,弹性模量 212 GPa,泊松比 0.31。

复合板材顶梁的建模过程同单一材质顶梁的建模过程相同。但由于焊接板材位置是一个可变参数,需要重复调整参数变量来筛选最优结果,因此本文采用 APDL (ANSYS Parametric Design Language) 参数化设计语言可自动快捷地实现可变参数的修改过程。用于自动调整板材焊接位置的 APDL 程序如下

! \*\*\* 参数输入

T1=10\$A1=80\$B1=130

ET,2,SOLID45

MP,EX,2,2.12E+05\$MP,PRXY,2,0.31

wpoff,,X ! \*\*\* X 取值见表 1(X 坐标)

BLC4,532,280,T1,A1,B1

前处理过程中,通过布尔操作中的 glue 命令将顶梁与板材黏合,分别对其进行自由网格划分。

对于复合板材顶梁,施加与单一材质顶梁同等的载荷,当  $y=532$  mm,  $z=280$  mm,而  $x$  分别取 16 个不同数值时的有限元分析结果如表 1 所示。

表 1 试验数据对比表

坐标 $x$ /mm	最大应力 $\sigma$ /MPa	最大变形 $S$ /mm
1 580	248.140	6.367
1 590	248.696	6.289
1 600	247.927	6.279
1 610	255.096	6.358
1 620	245.219	6.229
1 630	247.574	6.383
1 640	259.020	6.381
1 650	259.420	6.402
1 660	235.960	6.211
1 670	246.848	6.271
1 680	255.085	6.307
1 690	253.732	6.429
1 700	248.169	6.429
1 710	252.859	6.254
1 720	254.896	6.321

通过试验,130 mm×80 mm×10 mm 板材在 (1 660, 532, 280)mm 位置处可得到最优结果,其最大应力值 235.96 MPa,最大变形量 6.211 mm,其应

变云图和应力云图如图 6、图 7 所示。

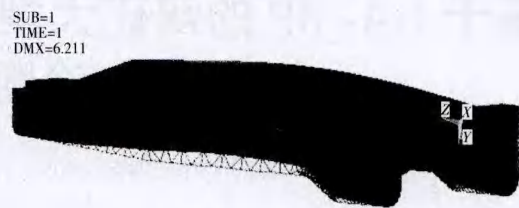


图 6 复合板材顶梁应变云图

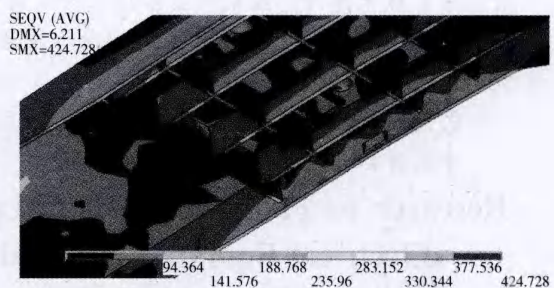


图 7 复合板材顶梁应力云图

## 3 结果分析

根据前面得到的应力云图和数据表可以看出,在满足同等强度条件下,复合板材顶梁承受的最大应力值比单一材质顶梁承受的最大应力值减小 16.5 MPa,最大变形量减小 0.04 mm,而复合板材顶梁的重量却比单一材料顶梁重量减轻 43.56 kg,故可明显节省液压支架的制造成本。

## 4 结语

本文利用 Pro/E 和 ANSYS 软件对复合板材液压支架顶梁进行三维建模、有限元分析,减轻了顶梁的重量,产生明显的经济效益。同时,分析过程中,利用 APDL 语言对参数进行自动化控制和调整,极大地提高了建模和分析效率。文中阐述的分析和设计方法对于其他产品的设计与开发也有较高的参考价值。

### 参考文献:

- [1]李秋生,崔汉涛,马希青,等.应用 Pro/E 和 ANSYS 软件提高液压支架的设计水平[J].煤炭技术,2006,25(11):13-15.
- [2]任怀伟,王国法,范迅.基于有限元分析的支架箱型截面几何参数优化[J].煤炭学报,2010,35(4):680-685.
- [3]王富强,芮执元,魏兴春.基于 APDL 语言的结构优化设计[J].科学技术与工程,2006,21(6):3 405-3 408.
- [4]朱强,秦东晨,姚向豫.基于 ANSYS 的液压支架掩护梁结构优化研究[J].煤矿机械,2012,33(4):2-4.

作者简介:马希青(1963-),河北故城人,教授,硕士,毕业于大连理工大学起重运输与工程机械专业,长期从事机械 CAD 的教学与研究工作,电子信箱:jixiecad@hebeu.edu.cn.

责任编辑:郑万才 收稿日期:2015-06-08