

# 多联硫化机上横梁构型有限元分析及优化

韩露, 李溪斌, 陈谦, 刘存, 吕柏源

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 硫化机工作时上横梁是承受锁模力的关键部位, 其强度和刚度不仅影响硫化机的寿命, 而且影响锁模精度。采用ANSYS有限元分析软件对多联硫化机上横梁不同构型进行比较分析, 在满足刚度和强度要求的基础上, 经过结构改进和优化, 上横梁总质量降低了22.8%, 并降低了成本。

**关键词:** 多联硫化机; 上横梁; 箱式构型; 有限元分析; 结构优化

**中图分类号:** O241.82; TQ330.4<sup>+</sup>7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)07-0823-04

多联硫化机有5个工位可以同时工作, 极大地提高了橡胶制品的制造效率。硫化机工作时, 上横梁<sup>[1]</sup>是承受锁模力的关键部位, 不同工位单独工作时势必会造成上横梁受力不均匀, 影响对中精度, 从而影响制品的质量, 因此上横梁的强度和刚度是硫化机设计的关键因素。本工作旨在通过对不同构型的上横梁进行有限元分析, 确定合适的结构, 并在此基础上进行优化设计, 达到既能满足使用要求又能节省资源的目的。

## 1 理论分析

应用有限元进行分析时, 解的精度<sup>[2]</sup>主要取决于单元模型(形状及位移模式等)的选择和网格划分的精细, 而单元模型的选择更为关键。对于四面体单元, 利用虚功原理将单元所受外载荷转化为等效载荷。

## 2 上横梁有限元分析

### 2.1 建立几何模型

多联硫化机板式上横梁的基本结构如图1所示, 由于其结构较为复杂, 因此采用三维设计软件SolidWorks对上横梁进行建模, 然后导入ANSYS中进行分析。为减小计算规模, 在建模时进行了适当简化, 如忽略圆角和螺纹; 将焊接件视为理想焊件, 即将上横梁按单一零件建模; 取上横梁的

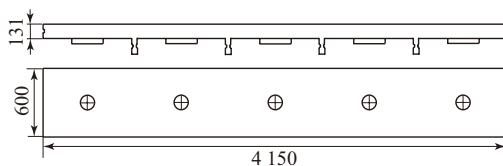


图1 板式上横梁结构示意图

1/2进行分析。

本工作采用的钢材是Q235A普通钢材, 其力学参数为: 弹性模量  $2.12 \times 10^5$  MPa, 泊松比 0.288, 密度  $7.86 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 屈服极限 235 MPa, 安全因数 1.3, 许用应力  $\leq 180.7$  MPa。

### 2.2 定义单元类型并划分网格

单元类型选择solid 95<sup>[3]</sup>, 该单元具有20个节点, 各有3个自由度, 可以在空间任一点定位, 并在不影响精度的前提下, 允许不规则形变。采用自由网格划分方法对上横梁进行网格划分, 并在应力集中的位置进行网格细化, 更真实地反映实际受力情形。划分过的模型如图2所示。

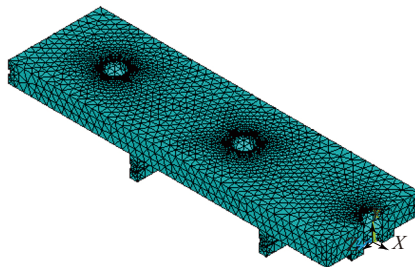


图2 上横梁网格划分

### 2.3 定义约束条件并施加载荷

当硫化机5个工位同时工作时, 上横梁受到锁模力的反作用最大, 同时上横梁受到左右侧

**作者简介:** 韩露(1989—), 男, 河南郸城县人, 青岛科技大学硕士研究生, 主要从事高分子机械加工技术与设备方面的研究。

**E-mail:** hanlu54@126.com

板和公用侧板的约束作用,视上横梁上各个键槽为约束边界,施加 $X, Y, Z$ 方向的全约束。单个工位受力 $F=1\,454.4\text{ kN}$ ,根据实际情况,视载荷均匀分布作用于上横梁下的加强环的环面( $S_1=49\,278.375\text{ mm}^2$ )上,因此表面载荷 $Q_1$ 为

$$Q_1 = \frac{F}{S_1} = \frac{1\,454.4 \times 10^3}{49\,278.375} \approx 29.514(\text{MPa})$$

施加约束和载荷后的模型如图3所示。

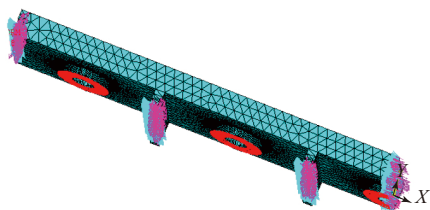


图3 约束与加载分布

## 2.4 求解与结果分析

采用ANSYS直接解法求解,求解结果如图4和5所示。由图4可知, $Y$ 方向最大位移为 $0.351\text{ mm}$ ,发生在上横梁左右两工位的套筒和加强环位置,与实际工作时左右两工位约束不对称、中间3个工位约束对称的情况相符,结果也比较合理。由图5可知,最大应力发生在上横梁左右两侧套筒处,此位置为应力集中部位,最大应力为 $168\text{ MPa}$ ,远小于材料的屈服极限 $235\text{ MPa}$ ,满足结构强度要求。

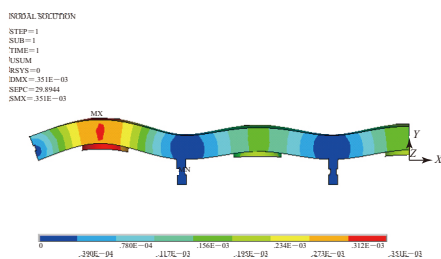


图4 板式上横梁位移分布

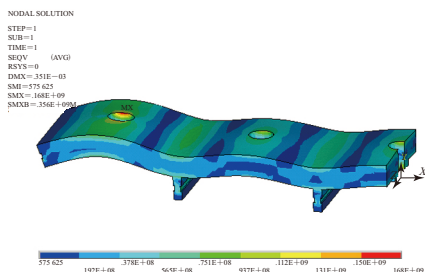


图5 板式上横梁应力分布

## 2.5 结构改进

综上所述,板式上横梁的强度、刚度均满足使用要求,为研究不同构型上横梁强度、刚度的变化,还需设计一箱式上横梁进行对比分析。已知板式上横梁的质量约为 $2\,694\text{ kg}$ ,现以同样质量的钢材设计一箱式上横梁,其结构尺寸如图6所示。该上横梁是由底板、顶板、端板、腹板焊接在一起的密闭箱型梁,其内部焊接有“米”字形肋板以降低整个结构的变形,中间位置装有套筒,箱式上横梁的质量约为 $2\,690\text{ kg}$ 。

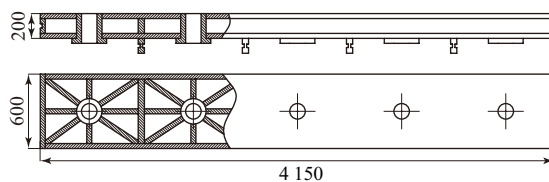


图6 箱式上横梁结构示意图

箱式上横梁分析结果如图7和8所示。由图7和8可知,最大位移和最大应力分别为 $0.236\text{ mm}$ 和 $121\text{ MPa}$ ,发生位置与板式上横梁相同。通过对比分析可知,在同样的工作条件下,同等质量、不同构型的上横梁强度、刚度不同,箱式上横梁的强度、刚度明显较好。因此,在多联硫化机上横梁的设计中应选用箱式上横梁。

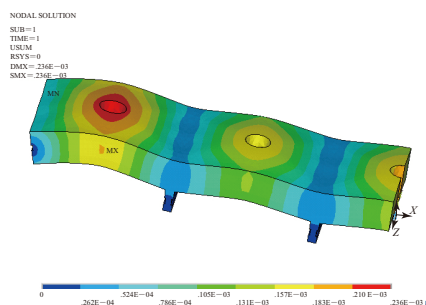


图7 箱式上横梁位移分布

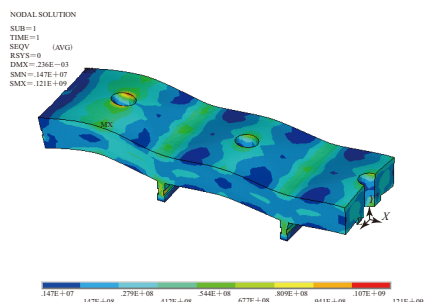


图8 箱式上横梁应力分布

3 结构优化

综上所述,箱式上横梁的最大应力远小于材料的许用应力,为节省资源,还需对其进行优化。本工作采用正交试验方法<sup>[4]</sup>对上横梁各个参数进

行优化,正交试验表如表1所示,其中上横梁壁厚为 $\delta$ ,肋板宽度为 $B$ ,上横梁高度为 $h$ ,最大应力为 $\sigma$ ,最大应变为 $\xi$ ,质量为 $m$ 。

根据第7组数据,即 $\delta=30\text{ mm}$ , $B=40\text{ mm}$ ,

表1 正交试验表

| 试验 | $\delta/\text{mm}$ | $B/\text{mm}$ | $h/\text{mm}$ | $\sigma/\text{MPa}$ | $\xi/\text{mm}$ | $m/\text{kg}$ |
|----|--------------------|---------------|---------------|---------------------|-----------------|---------------|
| 1  | 40                 | 40            | 190           | 125                 | 0.253           | 2 608         |
| 2  | 40                 | 35            | 200           | 129                 | 0.247           | 2 633         |
| 3  | 40                 | 30            | 180           | 134                 | 0.299           | 2 434         |
| 4  | 35                 | 40            | 200           | 137                 | 0.252           | 2 539         |
| 5  | 35                 | 35            | 180           | 167                 | 0.305           | 2 333         |
| 6  | 35                 | 30            | 190           | 149                 | 0.297           | 2 353         |
| 7  | 30                 | 40            | 180           | 164                 | 0.312           | 2 235         |
| 8  | 30                 | 35            | 190           | 171                 | 0.303           | 2 251         |
| 9  | 30                 | 30            | 200           | 152                 | 0.298           | 2 258         |

$h=180\text{ mm}$ ,从中选定两个因素,其余因素重新选择,做3组数据分析。

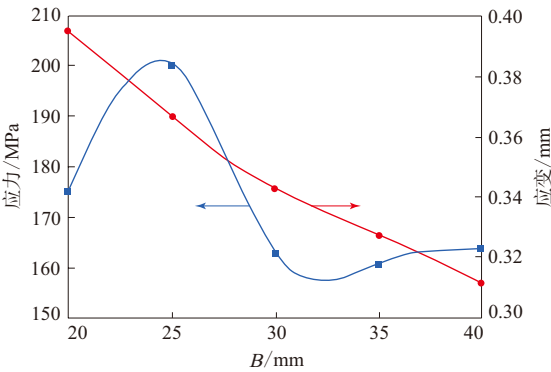
第1组: $\delta=30\text{ mm}$ , $h=180\text{ mm}$ , $B$ 可变。应力、应变和质量曲线如图9所示。

第2组: $\delta=30\text{ mm}$ , $B=40\text{ mm}$ , $h$ 可变。应力、

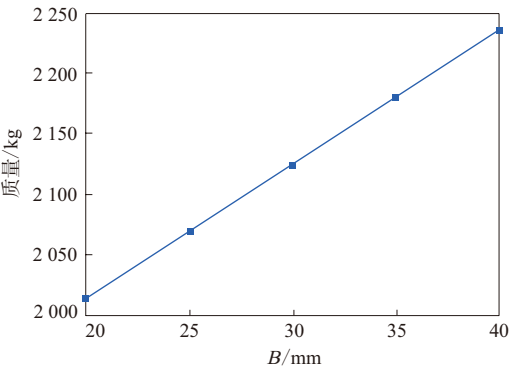
应变和质量曲线如图10所示。

第3组: $B=40\text{ mm}$ , $h=180\text{ mm}$ , $\delta$ 可变。应力、应变和质量曲线如图11所示。

根据上述数据,可以知道:  
在选择最优方案时,应力、应变和质量是最主

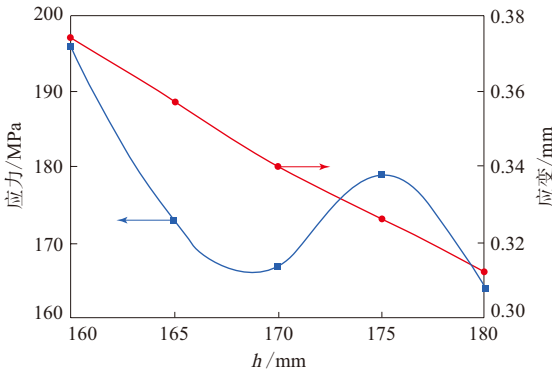


(a) 应力和应变曲线

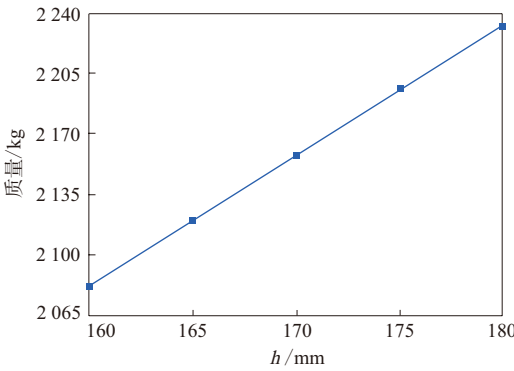


(b) 质量曲线

图9 第1组分析数据

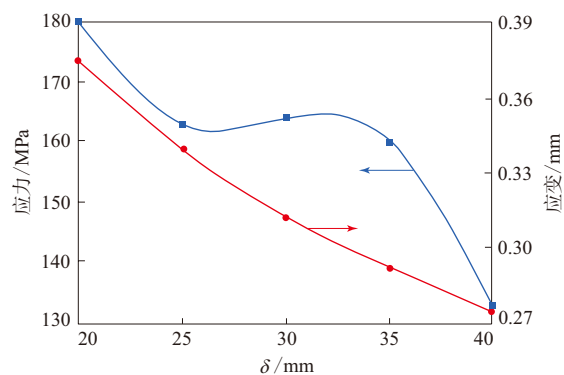


(a) 应力和应变曲线

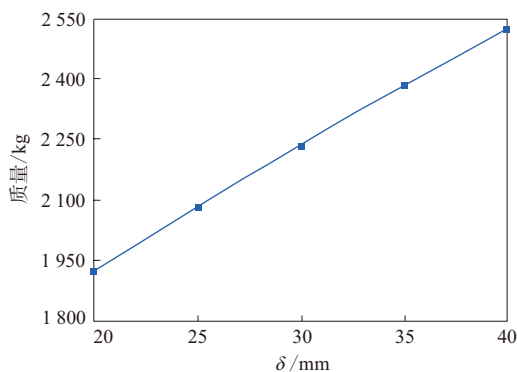


(b) 质量曲线

图10 第2组分析数据



(a) 应力和应变曲线



(b) 质量曲线

图11 第3组分析数据

要的因素, 需要综合考虑; 当 $\delta=25$  mm,  $B=40$  mm,  $h=180$  mm时, 上横梁所受最大应力和应变

分别为163 MPa和0.340 mm, 均在强度和刚度要求范围之内, 并且其质量仅为2 080 kg, 为最优方案。

#### 4 结论

对多联硫化机上横梁的构型进行有限元分析和优化, 得出如下结论:

(1) 在同等条件下, 箱式梁的强度和刚度比板式梁更高;

(2) 在满足刚度和强度要求的基础上, 经过对箱式梁的优化, 上横梁总质量降低了22.8%, 节省了钢材, 降低了成本。

#### 参考文献:

- [1] 孙凯, 范盈盈, 吕柏源. 63.5"电动螺旋轮胎定型硫化机上横梁结构改进及有限元分析与优化[J]. 橡塑技术与装备, 2008, 34(3): 30-34.
- [2] 焦东梅, 李晓燕, 吕柏源. 上横梁的有限元分析[J]. 橡塑技术与装备, 2004, 30(4): 1-4.
- [3] 刘浩. ANSYS 15.0有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [4] Wang J, Gong Y G, Liu D S, et al. Optimization of Staggered Tooth of Sleeper Molds Based on FEM[J]. Key Engineering Materials: Advanced Polymer Processing III, 2013, 561: 234-238.

收稿日期: 2018-02-05

## Optimization and Analysis of Structure Type of Upper Beam for Multiple Curing Press Based on FEM

HAN Lu, LI Xibin, CHEN Qian, LIU Cun, LYU Baiyuan

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** The upper beam was the key part to support the clamping force when the curing press was working, and its strength and rigidity not only affect the service life of curing press, but also affect the precision of mold-locking. The finite element analysis software ANSYS was used to comparatively analyze different structure type of upper beam for multiple curing press. After and the structure optimization, in the condition of meeting the requirements of material strength and stiffness, the total mass of the upper beam decreased by 22.8 percent and the cost was reduced.

**Key words:** multiple curing press; upper beam; box structure; FEM; structure optimization

欢迎订阅《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》杂志