

# 液压成形设备中复合液压缸的设计及有限元分析

高振莉<sup>1</sup>, 韩同样<sup>2</sup>

(1. 北京建筑工程学院 机电工程系, 北京 100044; 2. 北京交通大学 机电工程学院, 北京 100044)

**摘 要:** 液压成形是利用液体的压力使工件成不同截面形状的一种塑性加工工艺. 介绍了液压成形原理、工艺过程及在工业上的应用, 详细说明了管件液压成形设备的组成. 用有限元理论和 ANSYS 软件对液压成形设备中的复合液压缸进行分析, 指出其理论应用背景及单元的选择, 并用传统的方法对其进行设计计算, 将两者比较后得出: 计算数值相近, 均能满足要求. 说明该设计方法正确.

**关键词:** 液压成形技术; 复合液压缸; 有限元; ANSYS 软件

**中图分类号:** TH137.51

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-754X(2005)05-0294-04

## Design and FEM analysis of multi-hydraulic pressure cylinder in hydro-forming equipment

GAO Zheng-li, HAN Tong-yang

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Hydro-forming, also called internal high pressure forming, is a kind of plasticity process which exploits hydraulic pressure to make work pieces form different section shapes. This paper introduced principle of hydro-forming, process and application in industry. In addition, constitution of Hydro-forming equipment is presented in details. Analysis of multi-hydraulic pressure cylinder is conducted by adopting FEM theory and the application—ANSYS, in which its application background and selection of units are purposed. Furthermore, analysis is also conducted by utilizing traditional computation methods. Through compare of the two results, it can conclude that the result sought from FEM method is valid, which demonstrates that the method is feasible.

**Key words:** hydroforming technology; multi-hydraulic pressure cylinder; FEM; software ANSYS

利用液压成形技术生产异型截面管是国际上正在研究和开发的新技术. 在美国、欧洲等发达国家, 已被广泛应用于生产各种汽车的框架结构、主梁、后车轴等部件(图 1、图 2); 用它生产的汽车不仅具有较高的强度、刚度, 车身结构牢固, 安全性能好, 对人体有较好的保护作用等优点, 而且可减轻车体重量, 节约金属, 降低人力、物力消耗.

液压成形的原理是将欲加工的管坯置于模具中, 在管坯中加入高压油, 由于管内壁受均匀压力的

作用而产生塑性变形. 为了使塑性变形更容易实现, 在实际的工艺过程中, 管的两端还需加轴向推进力, 如图 3 所示.

目前根据工件摆放位置的不同, 液压成形工艺过程可分为卧式和立式两种. 对于这两种情况的选择, 目前主要是根据工件的形状及设备条件而定, 关于在哪种情况下有更好的成形能力, 有更简单的控制过程, 有待进一步研究. 本文着重介绍卧式液压成形设备的组成及有关设计.

收稿日期: 2005-07-12.

基金项目: 北京市教委科技发展项目资助(KM200510016006).

作者简介: 高振莉(1963—), 女, 山西太原人, 副教授, 从事机械设计制造、特种制造及虚拟技术研究,

E-mail: gaozhenli@bicea.edu.cn.



图 1 异型截面管  
Fig. 1 Different section tube

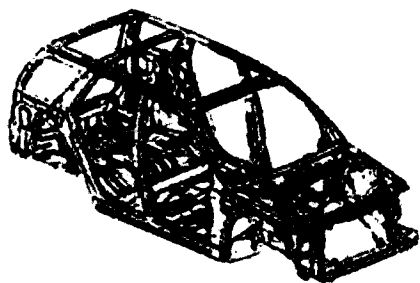


图 2 汽车的框架结构  
Fig. 2 Automobile frame

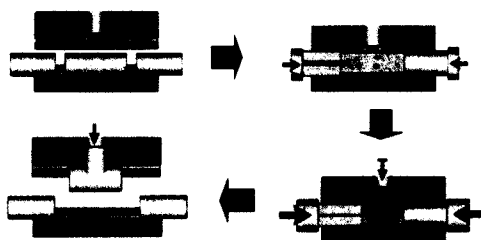
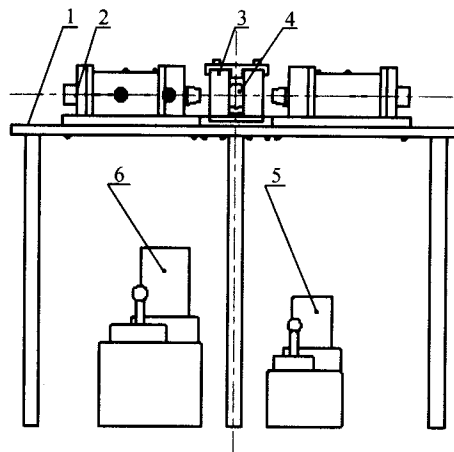


图 3 工艺过程  
Fig. 3 Technology processing

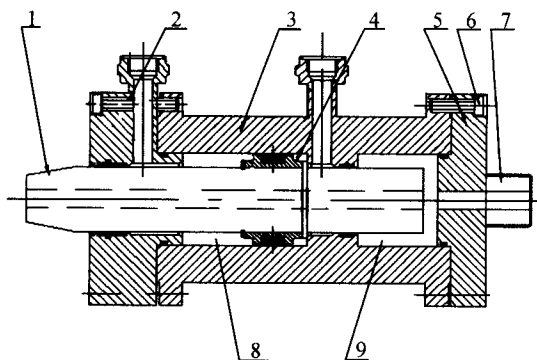


1. 工作台; 2. 复合液压缸; 3. 模具;  
4. 成形工件; 5. 次高压泵; 6. 高压泵

图 4 液压成形设备

Fig. 4 Hydroforming equipment

端, 活塞杆端面的锥形可实现与管坯的密封. 缸体最高承压可达 63 MPa (德州液压机具厂 CL100/50 系列). 高压腔中的油压是通过高压腔进油口与高压泵直接连接得到的; 当高压腔充满油液时, 就会顺活塞杆的空腔流入管坯, 这样使管坯—高压腔—高压泵的压力基本相同; 高压腔的另外一个作用在于, 它平衡了管坯中高压油对活塞杆端面的反作用力; 高压腔部分的缸体最高承压设计参数为 80 MPa.



1. 空心活塞杆; 2. 缸前盖; 3. 缸筒; 4. 活塞; 5. 缸后盖;  
6. 高强度螺钉; 7. 高压腔进油口; 8. 次高压腔; 9. 高压腔

图 5 复合式液压缸结构图

Fig. 5 Multi-hydraulic pressure cylinder

## 1 卧式液压成形设备的组成

卧式液压成形设备如图 4 所示. 其工作原理为: 首先, 次高压泵通过复合液压缸中的低压腔推动活塞锁紧管坯的两端; 其次, 高压泵通过复合液压缸中的高压腔向管坯中注高压油, 实现图 3 所描述的工艺过程.

## 2 复合式液压缸的设计

### 2.1 结构设计

复合式液压缸具有锁紧管坯且向管坯中注高压油的双重功能, 其结构示意图见图 5. 次高压腔中有进油口和出油口, 它与普通的双作用缸动作原理相同, 可带动活塞往返运动, 保压时可锁紧管坯的两

### 2.2 理论校核

按照传统的理论公式对以上的液压缸进行校核, 参数如下: 设外径为  $D_1$ , 取内径  $D_2 = 100$  mm (CL100/50 系列), 缸筒材料选用 ZG340-640 铸钢,  $\sigma_s = 340$  MPa,  $\sigma_b = 640$  MPa.

#### 2.2.1 缸筒壁厚的确定

由于液压缸是高压容器, 应按厚壁缸公式(1)进行计算, 预设  $\delta = 30$  mm,  $\delta/D = 30/100 = 0.3 < 10$ , 有:

$$\delta \geq \frac{D}{2} \left[ \sqrt{\frac{[\sigma] + 0.4p_{\max}}{[\sigma] - 1.3p_{\max}}} - 1 \right] \quad (1)$$

式(1)中,  $D=100$  mm,  $p_{\max}=100$  MPa,  $n=1.5$ ,  $[\sigma]=\sigma_s/n=340/1.5=226.67$  MPa, 代入数据, 得:

$$\delta \geq \frac{D}{2} \left[ \sqrt{\frac{[\sigma] + 0.4p_{\max}}{[\sigma] - 1.3p_{\max}}} - 1 \right] = 33.04 \text{ mm}$$

所以, 取  $\delta=40$  mm, 此时缸筒外径  $D_1=180$  mm.

### 2.2.2 缸筒壁厚的验算

材料力学中用厚壁圆筒来计算分析公式, 此问题在力学上为轴对称问题(图 6), 利用极坐标可建立以下方程组(2):

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -\frac{p_{\max}R_2^2}{R_1^2-R_2^2} \left( \frac{R_1^2}{r^2} - 1 \right) \\ \sigma_\theta &= \frac{p_{\max}R_2^2}{R_1^2-R_2^2} \left( \frac{R_1^2}{r^2} + 1 \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式(2)中,  $R_1=D_1/2$ ,  $R_2=D_2/2$ ,  $p_{\max}=100$  MPa,  $r$  为半径; 当  $r=R_2=D_2/2$  时, 应力为最大, 其分布如图 6 所示, 将数据代入方程组(2), 得:  $\sigma_r=-100$  MPa,  $\sigma_\theta=189.3$  MPa, 可见它们均小于  $[\sigma]$ , 所以缸筒壁厚的选择安全.

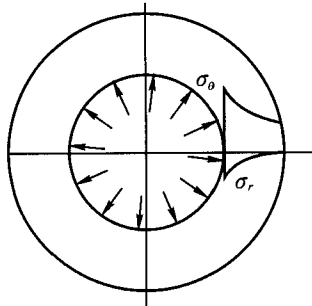


图 6 液压缸的力学模型

Fig. 6 Multi-hydraulic pressure cylinder math mode

### 2.2.3 缸盖厚度的确定

因为缸筒壁厚  $\delta=40$  mm, 高压腔缸盖厚度应大于 40 mm, 选 45 mm, 可满足要求. 次高压腔缸盖厚度可与 CL100/50 系列产品一致.

### 2.2.4 高压腔缸盖固定螺栓的选择

初选 M16 高强度螺栓 8 个, 抗拉强度为 500 MPa, 其可承受的拉力为:

$$F = \pi \times 8^2 \times 8 \times 500 = 803.4 \text{ kN}$$

高压腔缸盖所受压力为:

$$F' = \pi(50^2 - 15^2) \times 80 = 571 \text{ kN}$$

可见  $F > F'$ , 高强度螺栓可靠.

### 2.2.5 其他件的选用

由于此液压缸是在定型产品的基础上改进, 为满足生产异型截面管的特殊需要而设计的, 因此活塞杆、密封、进出油口及行程等其他参数均采用厂家

提供数据, 且校核省略.

### 2.3 有限元分析

为了进一步证明以上结论的正确性, 现用有限元理论和 ANSYS 软件进行分析. 主要步骤如下:

1) 选择受力状态. 本问题为静力结构分析.

2) 选择单元的类型. 根据研究对象受力情况的特点, 选择不同的单元类型. 这一步是软件应用是否正确的关键, 它能体现出使用者是否有较清楚的力学概念和分析问题的能力.

本问题为平面轴对称问题, 故选平面轴对称单元 Plane25. 此单元的特性如图 7 所示, 它为四节点, 每节点三自由度单元; 回转轴为  $y$  轴,  $x$  轴为回转半径.

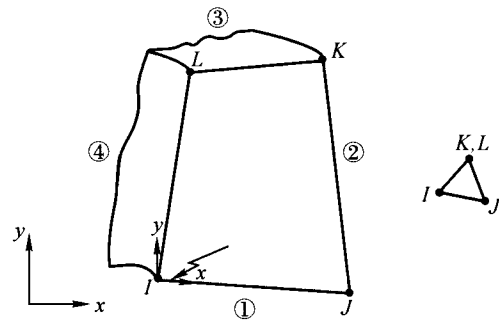


图 7 平面轴对称单元的特性

Fig. 7 Character of plane axis-symmetry element

3) 建立数学模型及划分网格. 如图 8 所示, 建立数学模型时先建一个平面模型, 然后再按轴对称生成立体模型; 划分网格的原则是在直接受力面和几何形状复杂部分尽量对网格细化, 以便得到精确的解.

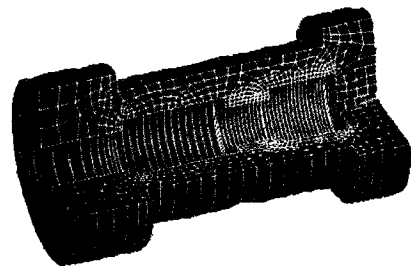


图 8 液压缸单元划分

Fig. 8 Finite elements of multi-hydraulic pressure cylinder

4) 加载并计算. 在液压缸筒内壁及缸盖加均布载荷, 分别为: 高压腔 80 MPa, 次高压腔 63 MPa, 固定约束后进行计算.

5) 结果分析. 运用 ANSYS 软件可得到以下结果: ①等效应力、应变云图. ②变形云图. ③单元及节点的位移、应力、应变值等. 在此为校核液压缸的强度, 特分析其等效应力云图, 等效应力最大值为

203.6 MPa, 最小值 0.28 MPa. 小于所选定材料的  $\sigma_s, \sigma_b$ , 最大位移量为  $0.33 \times 10^{-4}$  mm, 满足要求.

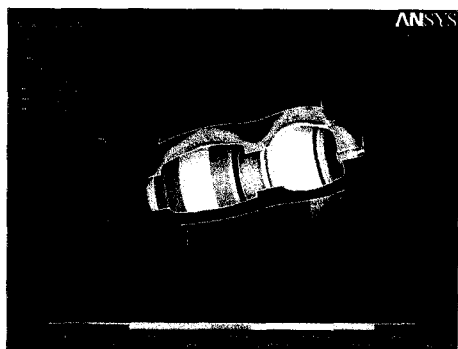


图9 液压缸等效应力图

Fig. 9 Equivalent stress of multi-hydraulic pressure cylinder

### 3 结 论

(1) 用传统的解析法和有限元对液压缸的设计进行了计算分析, 两者结果一致, 计算数值相近, 均能满足要求.

(2) 以现有的定型产品为依托, 根据工艺需要对其进行设计改造, 不仅从理论上证明设计是合理的, 从实际上也是可以实现的.

### 参考文献:

- [1] 扬培元. 液压系统设计简明手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. 10-14.  
YANG Pei-yuan. Hydro-pressure System Design Concise Handbook[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2003. 10-14.
- [2] 刘鸿文. 材料力学(下册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997. 210-216.  
LIU Hong-wen. Material Mechanics [M]. Beijing: High Education Press, 1997. 210-216.
- [3] 高振莉. 液压成形设备设计[J]. 北京建筑工程学院学报, 2004, (2), 42-45.  
GAO Zhen-li. Hydroforming equipment design [J]. Journals of Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 2004, (2): 42-45.
- [4] 王殿楹. 大型薄壁三通管件液压胀形技术探讨[J]. 重型机械, 1997, (6): 37-40.  
WANG Dian-ying. Studying of hydroforming technology about big thin-wall t-shape tube[J]. Heavy Machinery, 1997, (6): 37-40.
- [5] MUAMER Koc, TAYLAN Altan. An overall review of the tube hydroforming technology [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 108: 384-393.