

CAE中的有限元法和优化 技术应用的研究所

王 裕

王 裴

(新疆工学院)

(吉林工业大学)

摘要 有限元法和优化技术是CAE中工程计算和分析的两个基本工具, 本文以液压缸系统零部件为例, 通过设计过程的分析, 来对计算机辅助工程(CAE)进行探讨, 供工程设计者和计算机辅助设计的参考。

关键词: 计算机辅助工程; 数值模拟

一、引 言

为了提高产品的设计质量, 目前已逐渐开始将微型计算机和计算机绘图系统应用于产品设计, 解决工程设计中的一些技术问题。但是, 当计算机辅助系统中, 缺乏高效的、良好的定量分析的工程方法来进行数值计算和数值模拟时, 就会影响计算机辅助工程系统应用的迫切性和实用性。

任何产品的设计, 都是基于产品结构参数和几何参数。本文以液压缸系统主要的零部件——缸体和活塞杆为例, 着重讨论数值计算和数值模拟。液压缸系统零部件设计和其它产品设计一样, 当方案(单杆缸或双杆缸等)确定后, 如何寻找系统中零部件满足一定条件下的最佳参数和几何尺寸, 然后进行结构设计和数值模拟, 把计算机绘图、结果显示和分析、设计结合起来, 以缩短设计周期, 提高产品的质量, 是CAE系统解决的基本问题之一。

二、液压缸缸体的优化设计

1. 计算分析

由于液压缸缸体是非常复杂的结构, 采用有限元法来加以计算是比较有效的。把缸体看成线弹性结构, 考虑其几何结构, 受力条件及约束条件的对称性, 可以应用平面应力有限元来加以计算和模拟, 有限元方程为

$$\underset{\sim}{K} \underset{\sim}{u} = \underset{\sim}{R} \quad (1)$$

当约束充分时, (1)式可写为

$$\underset{\sim}{u} = \underset{\sim}{K}^{-1} \underset{\sim}{R} \quad (2)$$

根据位移和应变的关系, 有

$$\underset{\sim}{\varepsilon} = \underset{\sim}{B} \underset{\sim}{u} \quad (3)$$

根据应变和应力的关系, 有

$$\underset{\sim}{\sigma} = \underset{\sim}{D} \underset{\sim}{u'} \quad (4)$$

在(1)–(4)式中,

$$\underset{\sim}{K} = \sum_{i=1}^{NE} \underset{\sim}{K}_i \text{——结构的刚度矩阵}$$

$$\underset{\sim}{u} = \left\{ \begin{matrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{matrix} \right\} \text{——结构节点的位移列阵}$$

$$\underset{\sim}{R} = \left\{ \begin{matrix} R_1 \\ \vdots \\ R_n \end{matrix} \right\} \text{——结构的外载列阵}$$

$\underset{\sim}{K}^{-1}$ ——为刚度阵的逆矩阵,

$\underset{\sim}{\varepsilon}$ ——为应变列阵,

$\underset{\sim}{\sigma}$ ——为应力列阵,

$\underset{\sim}{B}$ ——为几何矩阵,

$\underset{\sim}{D}$ ——为弹性矩阵

实际计算时,通过(3)、(4)式求出位移和应力,从而求得缸体的应力场和应变场的关系:如图1。

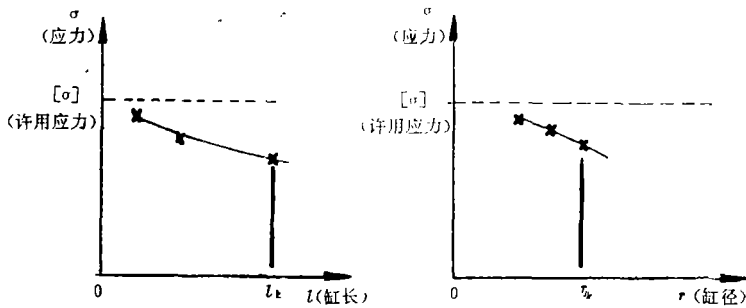


图1

2. 液压缸的长度和厚度的计算

从图1曲线可以看出当总的拉压力一定时应力的大小随液压缸长度的增加而减少,同时当长度 $l = l_k$ 时,再增加缸长对应力的大小的变化几乎无影响,因此可以取 l_k 为合理(最佳)或最优的长度,同理可以根据 r_k 的大小来确定最优的缸壁的厚度 δ_k 。

三、活塞杆的优化设计

活塞杆的设计,要求在满足拉压强度和弹性稳定的条件下,使其用料最省,以期提高经济效益。

1. 目标函数

活塞杆的长度决定于液压缸的类型和总体布置,当杆的长度一定时,用料最少,即使其

断面面积 S 最小

$$S = \pi d^2 / 4 \quad (5)$$

式中 S ——断面面积, d ——活塞杆直径

2. 约束条件

活塞杆设计的约束条件, 即应满足的技术要求分别为:

• 拉压强度

活塞杆工作时, 承受其压 (或拉) 载荷, 为使其工作可靠, 必须保证有足够的拉压强度。

以活塞杆受拉的液压缸为例, 活塞杆的直径:

$$d \geq \sqrt{\frac{4F \cdot n}{\pi \sigma_s}}$$

或

$$d - \sqrt{\frac{4[\sigma]}{F \cdot \pi}} \leq 0 \quad (6)$$

式中 σ_s ——活塞杆材料的抗拉强度,

n ——安全系数, (一般 $n \geq 1.4$)

F ——负载的大小,

$[\sigma]$ ——许用应力。

• 活塞杆受压稳定校核

活塞杆受压的临界载荷为

$$F \leq \frac{\psi_s \pi^2 E J_p}{n_k l^2}$$

或

$$F - \frac{\psi_s \pi^2 E J_p}{n_k l^2} \leq 0 \quad (7)$$

式中 l ——安装长度

ψ_s ——液压缸的支承方式系数,

n_k ——2~4 安全系数,

E ——活塞杆材料弹模,

$J = \frac{1}{64} \pi d^4$, 圆形活塞杆截面惯性矩,

• 几何约束条件

细长比

$$\frac{1}{r_k} \leq (20 \sim 120)$$

活塞杆直径与液压缸内径比值

$$\frac{d}{D} - C_0 \geq 0 \quad (8)$$

长径比约束

$$D > \frac{l}{20}$$

式中 r_k ——活塞杆截面的最小迴转半径

d ——活塞杆直径

D ——缸径,

l ——液压缸长度

综合(5)~(7)式,即得到完整的设计表达式:

$$\left. \begin{aligned} &MIN \quad \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &s.t \quad d - \sqrt{\frac{4[\sigma]}{F \cdot \pi}} \leq 0 \\ &F - \frac{\psi \pi^2 E J}{n l_k^2} \leq 0 \\ &\frac{1}{r_k} \leq (20 - 120) \\ &\frac{d}{D} - C_0 \geq 0 \\ &D < \frac{l}{20} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

求解(9)式,即得到最优的活塞杆直径 d

• 有限元方法和优化技术联合计算

倘若要采用有限元和优化技术联合计算时,这时用梁单元组合来模拟活塞杆结构,于是目标函数改为

$$MIN \quad \sum_{i=1}^{NE} \rho s_i l_i = \sum_{i=1}^{NE} \rho \frac{1}{4} \pi d^2 l_i$$

式中 d 为活塞杆直径, l_i 为单元长度, ρ 为材料重量密度。

弹性失稳的约束条件,由有限元方程给定:

$$\widetilde{K} \phi = -\lambda K_g \phi \quad (10)$$

式中 \widetilde{K} 是结构的刚度矩阵, K_g 是结构的几何刚度矩阵, ϕ 是失稳时模态。

方程(10)从形式上看出与结构振动时的广义特征方程完全相类似,只是各个量的力学含义不同,因此在有限元法计算中都是采用同一的求解器来进行求解。在求解时,先任意给定初始载荷 P_0 求出 \widetilde{K}_0 , 然后求得最小的特征值 λ_{min} 于是临界载荷

$$P_k = \lambda_{min} P_0 \quad (11)$$

进而求得失稳时的临界应力 σ_k 。形成的约束条件为

$$\sigma \leq \sigma_k \quad (12)$$

几何约束条件与(9)式相同,

四、液压缸橡皮环密封圈的计算

由于橡皮材料的应力应变关系是一个很复杂的非线性函数,同时橡皮构件在受力后的变形一般是大位移、大应变所以应变与位移的关系也是非线性函数,因此用有限元法进行数值模拟时,所得到的公式是非常复杂的非线性方程。

此外,橡皮环密封圈又属于大变形的接触问题,接触面间的平衡是建立在变形后的几何

位置上，即接触点的几何位置改变必须要考虑，这是与弹性接触问题不同之处，实际分析时必须采用非线性的有限元程序（例如ADINA, ANSYS, NFAP等）加以计算和定量地进行数值模拟。

五、液压缸系统中零部件设计的计算机辅助工程(CAE)

CAE在零部件辅助设计中作用，在于编制出合理、准确的计算机软件，在计算机上完成对零部件设计过程的模拟，将结果在计算机上显示出来，进行直观的分析。这样，在设计阶段上就能判断出零部件设计，加工，使用过程的性能，通过重复的计算机模拟试验减少产品试验环节与费用，来提高产品设计质量缩短产品设计的周期(如图2)。

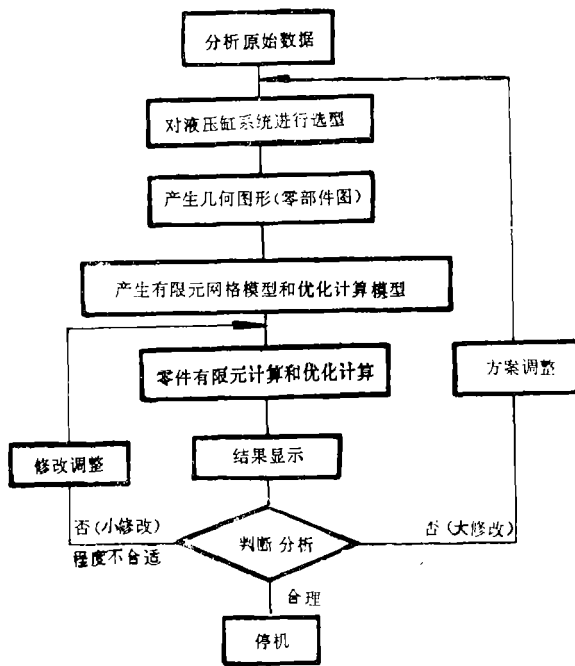


图2 液压缸系统零部件设计框图

六、结 语

计算机辅助工程系统中，有限元方法和优化技术是两个主要的数值计算和数值模拟的工具，对于线弹性系统计算和模拟已日趋成熟，至于非线性有限元和优化技术，特别是两者的结合使用，正随着工程技术的要求在逐步深入的研究之中。

在计算机辅助工程系统中，计算机绘图、工程图设计和图形显示可以在微机上采用已有的图形软件进行。由于微机资源的限制，计算机辅助工程各个环节的工作，诸如计算、绘图、模拟和显示、分析等，都是分开来单独进行的。当然在计算机资源条件许可时，可以构成集成的计算机辅助工程系统，将能更方便地付诸于应用。

参 考 文 献

- [1] 王裕; 新疆工学院学报, 1991年1期
- [2] 黄少昌等; 《计算机辅助机械设计技术基础》, 清华大学出版社, 1988年
- [3] S.S.Rao; 《The Finite Element Method in Engineering》, 1982

A Study About the Application of the Finite Element Method and Option Technology in CAE

Wang Yu, Wang Pei

Abstract

The finite element method and optimum technology are two fundamental tools in engineering calculation and engineering analysis in cae. By analysis the design process of the parts and assemblies in hydrolic cylinder system. This paper deals with cae. it can be used as a reference to the designer and users.

Key words: CAE, Numerical Simulation