

OVM 新型轻量化千斤顶的研制

吴志勇 李文献

【摘要】 YCW 系列轻型千斤顶是 OVM 公司引用计算机优化设计技术和超高压预处理技术开发出的新型张拉千斤顶,较原系列产品的重量减轻 30% 左右。已成功应用于十多处工程,并已申报国家专利。

关键词: 轻量化 千斤顶 研制

一、概述

穿心式千斤顶广泛应用于建筑工程的钢筋、钢绞线预应力加载、起吊及大型构件的起吊、顶推、转体施工中,由于施工经常处于高空或工作面狭窄的环境,因此对千斤顶的重量及尺寸提出了严格的要求。千斤顶尺寸减小不仅减小了工作空间,而且为预应力钢筋施工节省不少的工艺用料;而重量减轻将更加方便搬运、施工。

为减轻千斤顶的重量及尺寸,国内外进行了长期不懈的努力,如选择高强合金钢和部分轻金属材料,进行结构优化设计,尽可能选用可靠的动、静密封元件等。从目前产品看,国外一些新型千斤顶的技术参数明显优于国内同类产品,重量轻,体积小。这种差距迫使我们加快技术改造,为了使我国预应力千斤顶的性能赶上以至超过国外产品水平。我公司近几年在研制新型轻量化千斤顶方面取得了显著的进步,新样机已在国内十多个工程中成功使用,技术设计已通过内部评审。

二、千斤顶轻量化的途径

预应力千斤顶在工作中要承受 40~80MPa 的高压,因此,保证其缸体、活塞、穿心套在这样的压力条件下正常、安全、可靠地工作是设计者首要确保的问题。穿心式千斤顶在半径方向主要由三件筒形容器组成,作为缸体的外筒承受较高的工作内压作用,其重量在千斤顶中占有较大的比例,以我公司产品 YCW150A 型千斤顶为例,缸体约占总重的 43%。活塞在工作中主要承受轴向作用力,穿心套在工作中承受外压作用,承受外压的容器在设计中除考虑其强度问题外,更主要的问题是防止径向变形失稳。

以上分析表明,减轻千斤顶重量的途径是对其主要零件进行结构优化设计,我们以 YCW150A 型千斤顶为模型,运用有限元分析软件,对该千斤顶的重要零部件(包括活塞、穿心套、油缸)在计算机上进行有限元受力变形分析,提出结构的优化方案。但是,占有总重最大比例的缸体的重量减轻,在现有设计方法中存在着较大的障碍,其核心问题是目前此类承受内压的圆筒的强度设计是以弹性失效准则为依据的,考虑到工作实际对象同理论假设不同,因而要求一个较大的安全系数,在这样的理论基础及工程设计方法条件下设计千斤顶缸体,其尺寸及重量就相对偏大、偏重。在这种情况下,我们以弹塑性理论为设计原理,利用厚壁圆筒的自增强机理,并结合有限元分析的结果,对千斤顶的油缸进行重新设计并进行高压处理,达到了减小尺寸、减轻重量的目的。

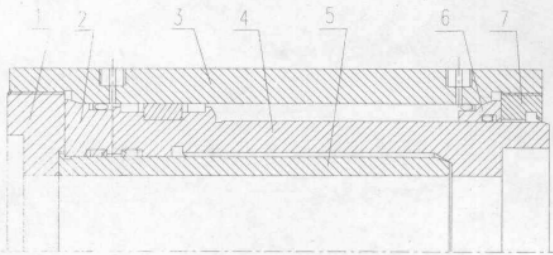
三、YCW150A 型千斤顶的受力分析

现以我公司 YCW150A 型千斤顶为例(结构见图 1)。运用有限元分析软件,将千斤顶基本组件——油缸、穿心套、活塞、大堵头、后压紧环、定位螺母和后密封板组合在一起进行分析计算,然后提出优化方案。

1、分析手段

利用我公司的两台 Sun 工作站和运行于工作站上的大型结构分析软件 MSC/NASTRAN (NASA Structural Analysis) 以及基于微机的有限元分析软件 ALGOR 进行分析计算。

2、建模方法



1. 定位螺母 2. 大堵头 3. 油缸 4. 活塞
5. 穿心套 6. 后密封板 7. 后压紧环

图1 YCW150A型千斤顶结构图

根据千斤顶轴对称结构特点,采用轴对称模型来进行分析计算,由于重力和温度的影响较小,故在模型中忽略不计。

3、分析步骤

(1)划分网格单元,各组件的网格单元先由有限元软件前处理器自动划分,然后根据结构的受力变形特点进行局部调整;

(2)赋予各组件材料参数;

(3)按千斤顶实际工况加约束;

(4)按千斤顶最大的受力工况(行程 200mm,工作油压 51MPa)加荷载,在油腔内加上均布的 51Mpa 的压力;

(5)调用运算模块进行计算。(计算结果从略)

从有限元计算分析结果可知,在额定压力下,整个 YCW150A 千斤顶的安全系数都较高,油缸的内径变形量和穿心套的外径变形量也都较小,为此,综合考虑受力和变形因素,各组件均有优化的可能,我们提出了 YCW150A 千斤顶的优化方案,即 YCW150B 型千斤顶的结构、尺寸图(图从略),再利用有限元程序校核其强度和变形量。

四、油缸的高压处理机理

对油缸进行高压处理,实际是利用厚壁圆筒的自增强机理,所谓自增强,是在容器(油缸)未使用之前进行加压处理,其压力超过内壁发生屈服的压力(初始屈服压力),使缸壁从内壁开始发生超应变塑性变形,而靠近外壁表面的材料仍保持弹性变形。压力卸除后,内部超应变层受到外部弹性收缩的压力后产生压应力,弹性层由于收缩

受阻产生拉应力。这样的缸体承受工作压力时,内壁的压应力与工作应力引起内壁拉压应力的叠加,致使总应力下降;外壁应力叠加的结果可使主应力增加,从而使缸壁内应力分布均匀化。这种利用缸壁自身外层材料的收缩产生预加外压,提高缸体强度的方法就是自增强,也称“自紧”。

1、由于自增强压力必须大于内壁的初始屈服压力,故自增强计算首先应求初始屈服压力。缸体的初始屈服压力通常按 Trasca 屈服条件确定:

$$P_s = \frac{\sigma_s}{2} \left(1 - \frac{a^2}{b^2}\right)$$

2、自增强压力计算

设油缸在自增强压力 P_z 的作用下缸壁发生部分屈服,存在一个弹性区和一个塑性区,设其交界面半径为 c ,圆筒内半径为 a ,外半径为 b 。见图 2。

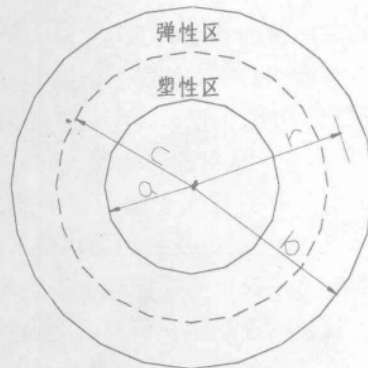


图2 油缸壁部分屈服分布图
自增强压力为:

$$P_z = \frac{\sigma_s}{2} \left(1 - \frac{r^2}{b^2} + 2 \ln \frac{r}{a}\right)$$

3、自增强油缸的内径永久扩大量

油缸在高压处理时其内表面扩大特性非常重要,处理之后缸体内表面永久扩大量也是考虑油缸特性尤其是随后加工要给定余量选择的重要依据。

$$u_y = \frac{\sigma_s \alpha}{2E(k^2 - 1)} (k_p^2 - 2 \ln k_p - 1) (2k^2 - \mu k^2 + \mu)$$

$k = b/a$
 $k_p = c/a$

4、自增强(高压处理)曲线

对油缸进行液压自增强处理时,测量内压 P_a

同外表面切向应变 ϵ_{tb} 是非常重要的一项工作, 因为它是控制自增强参数的实现, 检验自增强性能的主要依据。自增强曲线由其工作的不同阶段分为三个部分, 即弹性加载段、弹-塑性加载段和弹性卸载段。见图 3。

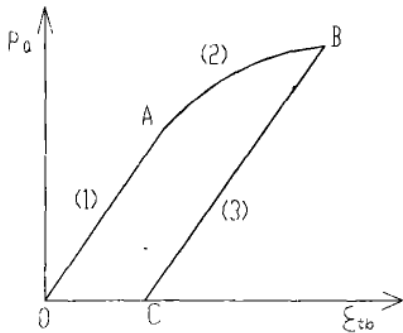


图 3 自增强曲线图

(1) 弹性加载段(O-A)

$$P_a = \frac{1}{2} E(k^2 - 1) \epsilon_{tb} \quad k - b/\alpha$$

(2) 弹-塑性加载段(A-B)

$$P_a = \frac{\sigma_s}{2} \left(\ln \frac{E k^2 \epsilon_{tb}}{\sigma_s} - \frac{E 2 \epsilon_{tb}}{\sigma_s} + 1 \right) \quad k - b/\alpha$$

(3) 弹性卸载段(B-C)

由最大自增强内压 P_a 卸压至 0, 在自增强筒的基本假设条件下为完全弹性卸载, $P_a - \epsilon_{tb}$ 斜率与弹性加载段相同。

五、油缸的高压处理工艺

为实现油缸高压处理, 在缸壁上建立残余应力, 前面讨论的理论基础主要依靠相应的高压设备、夹具及检测仪器来实现。高压处理装置如图 4。高压处理装置包括夹具系统、高压系统、测量系统。

1、夹具系统保持油缸正确定位, 实现高压密封, 承受高压下的轴向作用力。除了要求密封可靠外, 还应考虑减少工作介质(高压油腔中的高压油)以减小轴向力, 从而提高工作的安全性及提高工作效率。

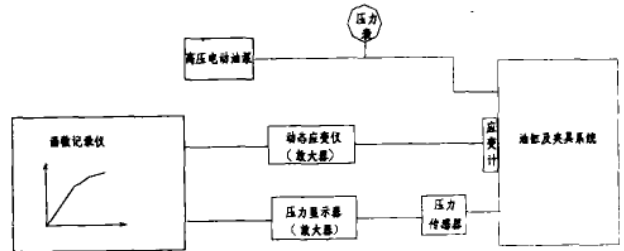


图 4 高压处理装置系统图

2、高压系统主要由高压油泵、管路、阀门、接头及压力表等部分组成, 形成向油缸处理供压及卸压的动力系统。

3、测量系统主要通过传感器、放大器及记录仪来测量油缸内压下的压力(外表面应变曲线, 以此来控制油缸高压处理的效果, 它分为压力测量和应变测量两部分。压力测量通过压力传感器把压力信号变成电压(或电流)信号传递给压力显示/放大器, 以显示压力的实时数据并使压力信号放大为记录仪器允许的输入信号。应变测量主要通过应变计测量油缸外表面的应变(主要是切向应变), 并将应变信号实时放大为电压(或电流)信号输入到函数记录仪。

六、结束语

经过有限元优化设计, 特别是油缸进行高压处理后, 我公司已试制完成的 YCW150B 型千斤顶与原 YCW150A 型千斤顶相比较, 尺寸减小了约 15%, 重量减轻了约 40%。经过工地试用, YCW150B 型千斤顶各项性能优良, 安全可靠, 操作方便。目前, 我们正将此项技术推广到我公司 YCW 系列千斤顶中去。