

基于 ANSYS 的某活塞热应力分析

陈 刚, 赵玉奎, 徐春雨

(解放军炮兵学院, 安徽 合肥 230031)

摘 要:结合虚拟样机技术和有限元分析技术,使用 SolidWorks 建立活塞的虚拟样机后,通过 SolidWorks 与 ANSYS 的接口,将温度载荷施加在活塞的有限元模型上,得到温度场分布;在对某发动机活塞组进行了结构介绍和理论分析的基础上,采用 ANSYS 软件建立了活塞组三维有限元模型;基于有限元理论对有限元模型进行仿真计算,确定了热应力和变形集中部位。通过对有限元仿真结果进行分析可以看出,该研究验证了分析的可行性和准确性,能够为活塞进一步的优化设计提供理论依据。

关键词:活塞; SolidWorks; ANSYS; 有限元方法; 热应力分析

中图分类号: TH113.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)11-0214-03

Thermal - Stress Analysis Based on ANSYS for the Piston

CHEN Gang, ZHAO Yu-kui, XU Chun-yu

(Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Combining VPT with FEA, builds a virtual prototype of piston of an engine by SolidWorks. Based on the virtual prototype, through the interface between ANSYS and SolidWorks, the temperature loads are applied on the FEA model of piston and the temperature field is obtained. It is performed based on the theoretical analysis for piston components, ANSYS software is applied to establish the 3-D finite element model, and the model is simulated by finite element method. According to the FEM theory, the model is simulated and calculated. Then, the thermal - stress concentrated place is determined. Analyzed the results, it is feasible to analyze the relationship between them by using ANSYS. The results are useful to support the optimum design of the piston.

Key words: piston; SolidWorks; ANSYS; finite element method; thermal - stress analysis

0 引 言

热应力问题的求解,在当代工程技术领域中起到越来越重要的作用,如内燃机、蒸汽轮机、燃气轮机,以及核动力工程等主要设备部件的设计中,热应力是必须考虑的因素。随着计算机技术的高速发展和现代有限元理论的长足进步,使得应用有限元技术处理热应力问题变得直观且便捷。

有限元法(Finite Element Method, FEM),也称有限单元法,是当今工程分析中获得最广泛的数值计算方法。由于它的通用性和有效性,受到工程技术界的高度重视。伴随着计算机科学技术的飞速发展,现在已经成为计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)的重要组成部分。它的基本思想是将表示结构或连续体的求解域离散为一组有限的子域,并且通

过它们边界上的节点相互联结成一个组合体。ANSYS 软件是一个基于有限元法上的,融结构、流体、电场、磁场和声场分析于一体的大型通用有限元分析软件,并能与多数 CAD 软件接口,实现数据的共享与交换,如 Pro/Engineer、NASTRAN、SolidWorks 等,是目前最常用现代有限元分析工具之一^[1]。文中利用 SolidWorks 建立活塞模型,导入 ANSYS 中进行有限元分析,旨在通过活塞热应力问题的分析,为活塞以后的优化设计打下良好基础。

1 热应力

热应力(Thermal Stress)是指,温度改变时,物体由于外在约束以及内部各部分之间的相互约束,使其不能完全自由胀缩而产生的应力。

求解热应力,既要确定温度场,又要确定位移、应变和应力场。与时间无关的温度场称定常温度场,它引起定常热应力;随时间变化的温度场叫非定常温度场,它引起非定常热应力。通常,热应力的求解步骤如下^[2]:(1)由热传导方程和边界条件(求非定常温度场

收稿日期:2010-01-29;修回日期:2010-05-24

基金项目:上海市科技计划项目(00-638K)

作者简介:陈 刚(1955-),男,安徽合肥人,教授,研究方向为机电控制工程及其自动化。

还需初始条件)求出温度分布;(2)再由热弹性力学方程求出位移和应力。

热应力是由于物体内同一点的温度发生变化而引起的应力。产生热应力应该具备两个条件:其一,物体内必须有温度变化(即前后两个瞬时同一点的温度之差 $T = T^{(2)} - T^{(1)}$);其二,物体受热后不能自由伸张。若是可以自由伸张,即使由于热胀而变形,却不会产生热应力。但大多数物体都有外部约束,即使没有外部约束也会由于物体内部各点温度不同,变形不均而产生内部约束从而产生热应力。

由热膨胀理论^[3]可知,某一点温度为 T , 在无约束情况下,该处可产生正应变 αT (α 为热膨胀系数)。对平面应力问题有 $\epsilon_{0x} = \epsilon_{0y} = \alpha T$, 而 $\gamma_{0xy} = 0$ 。由于物体存在约束,伴随热变形将产生热应力 $\sigma_{Tx}, \sigma_{Ty}, \tau_{Txy}$ 。这些热应力又引起该处发生弹性应变 $\epsilon_{ex}, \epsilon_{ey}, \gamma_{exy}$ 。则该点的总应变^[3] 为

$$\begin{cases} \epsilon_x = \epsilon_{ex} + \epsilon_{0x} \\ \epsilon_y = \epsilon_{ey} + \epsilon_{0y} \\ \gamma_{xy} = \epsilon_{exy} + 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{令} [\epsilon] = (\epsilon_{ex} \epsilon_{ey} \gamma_{exy})^T, [\epsilon_e] = (\epsilon_{ex} \epsilon_{ey} \gamma_{exy})^T, [\epsilon_0] = (\epsilon_{0x} \epsilon_{0y} \gamma_{0xy})^T = \alpha T (1 \ 1 \ 0)^T$$

$$\text{则式(1) 可变为} [\epsilon] = [\epsilon_e] + [\epsilon_0]$$

物体内各点的位移量由 $[\epsilon]$ 确定,而热应力由 $[\epsilon_e]$ 确定。

$$\text{由应力表达式 } \delta = D[\epsilon] \text{ 可得热应力矩阵表达式 } [\delta_T] = [D][\epsilon_e] = [D]([\epsilon] - [\epsilon_0])$$

2 建立模型

严格按照活塞图纸尺寸标注,在 SolidWorks2010 环境内建立活塞三维实体模型^[4]。将此文件存储为 “*.x-t” 文件,然后通过 SolidWorks 与 ANSYS 接口命令,将建好的 “*.x-t” 文件直接导入 ANSYS10.0 中就完成了活塞有限元模型的建立。

3 温度场求解

物质系统内各个点上温度的集合称为温度场。温度场温度 T 这个数量通常是空间坐标 (x, y, z) 和时间变量 t 的函数,即 $T = (x, y, z, t)$ 。它分为稳态和瞬态两种类型。不随时间而变的温度场称为稳态温度场;反之,随时间变化的温度场称为瞬态温度场。

温度场分析遵循热力学第一定律,即能量守恒定律。

对于一个封闭的系统(没有质量的流入或流出)

$$Q - W = \Delta U + \Delta PE + \Delta KE$$

其中: Q 为热量; W 为做功; ΔU 为系统内能; ΔKE 为系统动能; ΔPE 系统为势能;大多数工程传热问题当中的 $\Delta PE = \Delta KE = 0$ 。

对于稳态分析: $Q = \Delta U = 0$,即流入系统的热量等于流出系统的热量。

对于瞬态分析: $q = \frac{dU}{dt}$,即流入或流出的系统热传递速率 q 等于系统内能的变化。

基于上述温度场和热应力求解理论,进入 ANSYS 开始温度场求解。具体步骤如下:

(1)设定单元类型。

GUI: Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete, 打开 Element Type 对话框, 点击 Add 按钮, 打开 Library of Element Type 对话框, 选择 Thermal Solid: Tet 10node 87 单元。

(2)划分网格。

GUI: Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh-tool, 打开 Meshtool 对话框, 勾选 Smart Size, 设定为 “6” 点击 “Mesh” 按钮, 选中活塞模型进行自由网格划分, 共产生 6160 单元 10448 节点, 如图 1 所示。

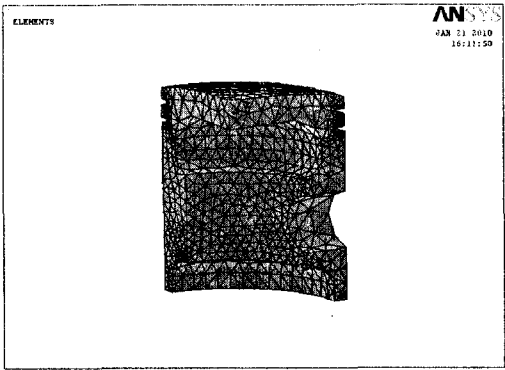


图 1 活塞模型网格划分图

(3)定义热分析材料参数。

GUI: Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models, 打开 Define Material Model Behavior 对话框, 点击 Thermal > Conductivity > Isotropic 打开定义材料参数对话框, 按照表 1 设定材料参数。

表 1 热分析材料参数

零件	PRXY	$\rho(\text{kg/m}^3)$	KXX
活塞	0.3	2730	160

(4)定义求解类型。

GUI: Main Menu > Solution > Analysis Type > New Analysis, 设定分析类型为 Steady - State(稳态)。

(5)施加载荷。

GUI: Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Convection > On Areas, 分别对活塞上表面

加载温度载荷 2000 和对内腔加载温度载荷 600。

(6) 温度场求解。

GUI: Main Menu > Solve > Curent LS, 进行计算求解。

GUI: Main Menu > General Postproc > Plot Reasult > Contour plot > Nodal Solu, 选择 Nodal Solution > DOF Solution > Temperature 查看计算结果, 结果如图 2 所示。

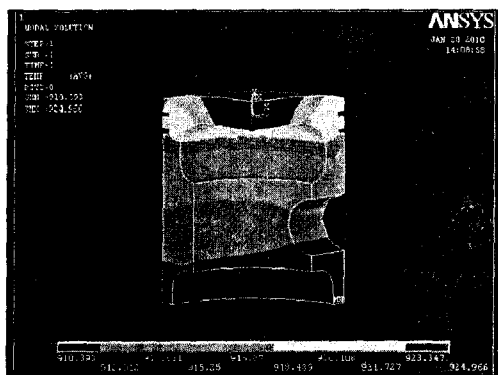


图 2 活塞温度分布图

4 热应力分析

(1) 转换单元类型。

GUI: Main Menu > Preprocessor > Element Type > Switch Elem Type, 选择 Thermal to Struc。

(2) 增加材料特性定义。

在已经定义热分析材料属性的基础上, 增加结构分析材料属性的定义, 按照表 2 定义活塞的弹性模量 EX、泊松比 PRXY、热膨胀系数 ALPX^[4]。

表 2 结构分析材料参数

零件	PRXY	EX	ALPX
活塞	0.3	120GPa	$33 \times 10^{-6} (\text{m/m} \cdot ^\circ\text{C})$

(3) 位移限制设置^[5]。

GUI: Main Menu > Solution > Define > Apply > Structural > Displacement > On Areas, 选择 XOY 平面上的活塞剖面, 设置其 Z 方向的位移值为 0; 选择 ZOY 平面上的活塞剖面, 设置其 X 方向的位移值为 0。

(4) 进行温度载荷叠加^[6]。

GUI: Main Menu > Solution > Define > Apply > Structural > Temperature > From Thermal Analysis, 在 Fname Name of result file 对话框中选择温度场计算时生成的“.rth”文件, 完成温度载荷的叠加。

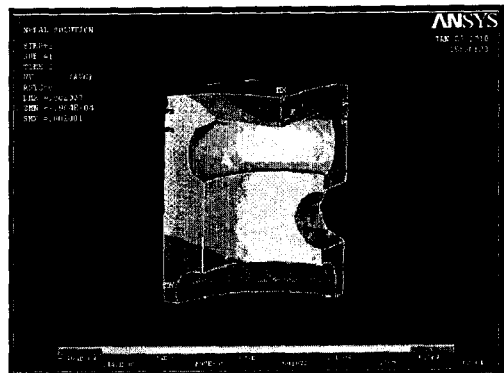
(5) 热应力求解^[7~9]。

GUI: Main Menu > Solution > Analysis Type > New Analysis, 设定分析类型^[10]为 Steady(稳态)。

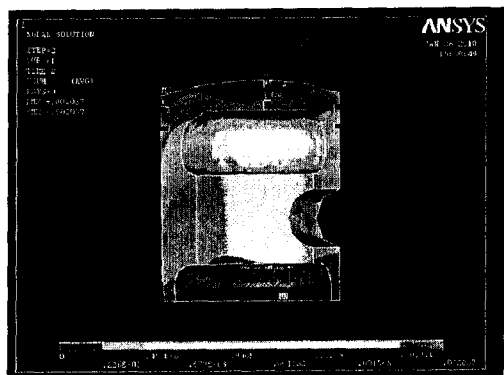
GUI: Main Menu > Solve > Curent LS, 进行热应力

求解。

GUI: Main Menu > General Postproc > Plot Reasult > Contour plot > Nodal Solu, 根据需要查看各个方向的计算结果^[11,12], 结果如图 3 所示。



Y 方向热应力分布图



整体热应力分布图

图 3 活塞热应力分布图

通过分析可以看出, X 方向上的热应力主要集中在活塞销孔和上部, 发动机活塞受到燃烧气体的作用力在作往复运动同时, 受到的热冲击也主要来自于活塞顶部, 因此 Y、Z 方向上的热应力主要集中在活塞顶部, 这从结果分布云图上很好地体现出来了。而由于传热还需要一个过程, 因此活塞顶部产生的热应力最大, 裙部最小。由分布图可以看出, 分析结果与现实情况有较好的吻合性, 可以为下一步更深入的研究或优化设计提供基本参考。

5 结束语

通过对发动机活塞的有限元分析, 得到了活塞加载温度和约束后的各个方向的热应力分布情况, 可以用于活塞的热力耦合分析和后续研究。

通过文中可以看出, 应用有限元分析方法对发动机活塞的热应力分析直观、方便、有效, 为进一步的优化提供了基本参考。

(下转第 220 页)

计算便可得到第一心音与第二心音的间隔。

用户前面板如图1(c)下方所示,点击前面板上的“分析”按钮,便可显示出心跳频率和心音间隔。

用上面的方法计算出一次心音采样信号的心跳频率为68次/分,第一心音与第二心音的间隔是0.29016秒。经试验40多个人的心音采样,与实际计数比较,证明该方法是行之有效并符合实际的。而且所有数据不超过三秒就可以计算出来,计算速度还是令人满意的。

2 结束语

该心音分析虚拟仪器综合利用了PC机丰富的资源,突破了传统心脏听诊的局限,不仅“可听”,而且“可视”,不仅提供心音采集,而且提供心音分析,不仅分析频域,还分析时域,为心脏听诊提供了新的方法和途径,并为心音的进一步研究奠定了基础。经多次实际使用验证,该仪器达到了可信赖的精确度和准确度,具有很强的实用性。

下一步要做的就是丰富该仪器的内容,进一步提高它的精确度,同时设法把它和传统的听诊器结合起来,开发出可推广的产品。

参考文献:

- [1] 吴延军,徐泾平,赵艳.心音的产生与传导机制[J].生物医学工程学杂志,1996,13(3):280-288.
- [2] 陈剑,郭兴明,肖守中.心音信号识别的意义及其方法的研究[J].国外医学(生物医学工程分册),2004(2):151-

156.

- [3] 朱启琨,李雯.基于虚拟仪器的心音分析系统研制[J].仪表技术,2008(12):82-86.
- [4] Topal T, Polat H, Güler I. Software Development for the Analysis of Heartbeat Sounds with LabVIEW in Diagnosis of Cardiovascular Disease[J]. Springer Science & Business Media, 2008, 32:409-421.
- [5] 成谢锋,陶冶薇,张少白,等.独立子波函数和小波分析在单路含噪信号中的应用研究:模型与关键技术[J].电子学报,2009(7):1522-1528.
- [6] 张建,沈民奋,宋骥.三种时频分析方法在心音信号分析中的应用[J].汕头大学学报(自然科学版),2003(2):111-115.
- [7] 单正娅,苏卫峰,韩东起.基于小波分析的心音诊断方法研究[J].科技创报,2007,35:21-22.
- [8] Debbal S M, Bereksi-Reguig F. Analysis of the second heart sound using continuous wavelet transform[J]. Journal of Medical Engineering & Technology, 2004, 28:151-156.
- [9] 刘江红,李小坚. LabVIEW 中属性节点的研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(5):919-922.
- [10] 胡玉良,王海滨,陈健,等.心音在时频两域中解析方法的研究[J].西华大学学报(自然科学版),2009,28(5):5-8.
- [11] 朱冰莲,吕信.时频表达在心音研究中的应用[J].重庆大学学报(自然科学版),2006,29(5):116-119.
- [12] Bulgrin J R, Rubal B J, Thompson C R, et al. Comparison of short-time Fourier, Wavelet and time domain analyses of intercardiac sounds[J]. Biomedical Sciences Instrumentation, 2003, 29:465-472.

(上接第216页)

参考文献:

- [1] 倪栋,段进. ANSYS10.0 基础教程与实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:3-4.
- [2] 李奉香.用 ANSYS 软件进行热应力分析[J].造船技术,2005(3):44-46.
- [3] 谈卓君,左正兴,张儒华.发动机连杆有限元分析进展[J].中国机械工程,2004,15(4):365-369.
- [4] 白敏丽,丁铁新,吕继组.活塞组一缸缸套耦合热模拟[J].内燃机学报,1995,23(2):168-175.
- [5] 佟景伟,李林安,李鸿琦,等.在温度和机械载荷作用下活塞应力与变形的三维有限元分析[J].内燃机学报,1995,13(2):123-131.
- [6] 冯立岩,范立云,隆武强,等.柴油机活塞组耦合模型有限元分析[J].汽车工程,2004,26(2):154-156.
- [7] 李兵,胡欲立,姚倡峰.活塞在温度和机械载荷作用下的应力和变形的有限元分析[J].机械科学与技术,2002,21(2):222-223.
- [8] 杨威启,李晓玲.现代有限元理论与工程应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [9] 尚晓江,邱峰. ANSYS 结构有限元法高级分析方法与范例分析[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [10] Robinson D, Palaninathan R. Thermal analysis of piston casting using 3-D finite element method[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2001, 37:85-95.
- [11] Yan Y H, Chen C S, Moo C S, et al. Harmonic analysis for industrial customers[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1994, 30(2):462-468.
- [12] Lu L K H. Vibration analysis by the combined FEA/SEA approach[M]. US: Design Engineering Division, American Society of Mechanical Engineer, 1989:343-347.