

# ANSYS 在预紧结构优化设计中的应用\*

陈家文, 雷义民, 罗志清, 李学峰, 赵志军

(中国兵器工业第 203 研究所, 西安 710065)

**摘要:**首先采用有限元算法得到应力分布和预紧力计算结果,并根据计算结果,运用 ANSYS 的优化模块,对预紧簧片的厚度和预紧力进行迭代运算,直到得到满足设计要求的预紧力为止。优化结果显示,当簧片厚度为 0.334mm 时,所提供的预紧力与设计要求的 38N 最为接近。最后将仿真得到的最优结果与试验结果比较,得到了一致的结论。

**关键词:**有限元; ANSYS; 预紧簧片; 仿真; 优化

**中图分类号:** TJ760.3      **文献标志码:** A

## The Application of ANSYS to Optimal Design of Pretightening Structure

CHEN Jiawen, LEI Yimin, LUO Zhiqing, LI Xuefeng, ZHAO Zhijun

(No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Firstly, according to the simulation result of the stress distributing and the pressure, the ANSYS optimization module was used to iterative calculate thickness and pressure of the pretightening reed until the pressure meets requirement. The optimization result proves that the provided pressure is nearest to required 38N when the thickness of the reed is 0.334mm. Finally, the optimal simulation result is accordant with the experiment data, which provides design reference.

**Keywords:** finite element method(FEM); ANSYS; pretightening reed; simulation; optimization

### 0 引言

在导弹结构设计中,零部件的设计优化与整个导弹结构的性能息息相关。文中针对导弹插拔机构预紧簧片,分析不同厚度的预紧簧片所能提供的预紧力,保证导弹在运输过程中不会因为预紧力过小使得插拔机构松动,也确保导弹发射瞬间插拔机构不会因为预紧力过大而不能正常拔脱。因此选择合适的预紧力满足设计要求至关重要,这就需要对预紧簧片进行优化设计,寻找最优的设计方案。文中基于 CAD 和 CAE 平台,采用了“设计—仿真分析—修改设计”的现代设计理念,极大地降低了由于多次试验带来的研发成本和试验风险,提升了研发工作的效率。

### 1 模型的建立

预紧簧片模型的建立是用三维建模软件

UG 建立的,大小与尺寸严格按照图纸尺寸建模如图 1(预紧簧片为图中深色部分,较浅色部分为插拔机构)。

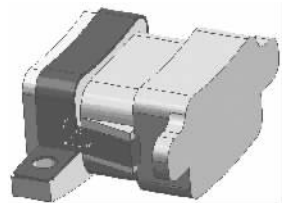


图 1 三维模型

### 2 力学性能及边界条件

#### 2.1 材料性能

簧片材料: 铍青铜 QBe2;

弹性模量:  $E = 135 \text{ GPa}$ ;

泊松比:  $\mu = 0.3$ 。

插拔机构材料: 45 钢;

弹性模量:  $E = 200 \text{ GPa}$ ;

泊松比:  $\mu = 0.3$ 。

#### 2.2 计算边界条件

根据簧片与插拔机构的装配关系及其相对

\* 收稿日期: 2008-10-15

作者简介: 陈家文(1983-), 男, 江苏淮阴人, 硕士研究生, 研究方向: 导弹结构设计。

运动关系,边界条件定义如下:

- 1) 将插拔机构固支;
- 2) 簧片 Y 向、Z 向位移约束(使其保持 X 向自由);
- 3) 对簧片施加 X 向载荷。

### 3 有限元分析

#### 3.1 单元选取与网格划分

根据装配关系,检查模型完整性,导入 ANSYS,对实体模型进行抽面操作。用平面壳单元 SHELL181 对簧片划分网格,既控制了分析规模,也可以得到较为准确的分析结果。在变换不同厚度的簧片时,只用控制厚度参数即可,通过参数化建模能更方便以后的优化设计。

综合考虑计算精度的影响和有限元模型的计算规模,根据圣维南原理对局部特征如倒角、倒圆、螺钉孔等进行了适当的简化。网格划分

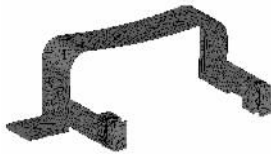


图 2 网格划分

分如图 2 所示(为方便计算,插拔机构用拔块替代)。

#### 3.2 约束与加载

插拔机构实际工况为导弹发射推力提供预紧簧片的拔脱力。为方便计算,进行必要的等效简化,即不考虑动载荷影响,只做静力分析,施加位移载荷,使拔块和簧片产生相对位移,当簧片脱离拔块时即为拔脱。

1) 对拔块施加位移约束,约束 X、Y、Z 3 个方向的平动自由度和绕 3 个轴的旋转自由度;

2) 对簧片施加 X 向 1mm 位移载荷,约束 Y、Z 向的自由度,使其只在 X 向(即导弹发射方向)进行相对运动;

3) 定义接触面,将拔块和簧片有可能接触的面进行配对接触定义,如图 3 所示。

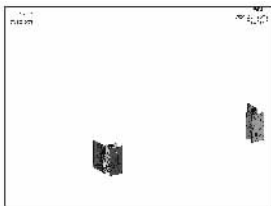


图 3 定义接触面

### 4 仿真分析结果

图 4 所示为 Von Mises 综合应力。

计算所得结果,最大应力 0.98GPa 出现在簧片支腿连接处,此处为由于模型简化而产生的

应力集中。此外,簧片与拔块接触部位的应力为 0.4GPa,应力并不大,满足材料的许用应力。因此,预紧簧片的厚度还存在进一步优化的余量。下面通过 ANSYS 软件的 opt 优化模块对簧片的厚度进行优化分析。

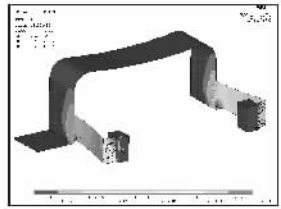


图 4 Von Mises 应力

### 5 优化分析

#### 5.1 ANSYS 优化设计基本过程:

ANSYS 优化设计可通过 GUI 方式来实现。GUI 方式具有更大灵活性,而且可以实时看到循环过程的结果。但使用 GUI 方式时,首先要建立模型的分析文件,然后可交互式使用优化处理器的功能以确定设计空间,便于后续优化处理。这些初期交互式的操作可以帮助用户缩小设计空间大小,使优化过程得到更高效率。

利用 ANSYS 进行结构优化设计的程序文件应包括指定分析文件、声明优化变量、选择优化方法(零阶方法或一阶方法)和指定优化循环控制方式等几步。值得注意的是采用 GUI 方式时,要尽量避免产生不必要的一些误操作,因为这些操作会出现在分析文件中,会影响到优化分析过程,需要在日志文件(\*.log)进行修改,将误操作删除。

综上所述 ANSYS 的结构优化设计过程可用图 5 来表示。

#### 有限元分析过程

- 1) 利用参数化技术建立有限元模型。
- 2) 在模型上施加载荷和边界条件,并求解。
- 3) 提取状态变量的值与目标函数相关的变量值。

#### 优化分析过程

- 1) 指定分析文件,定义设计变量和状态变量。
- 2) 存储优化数据,建立优化控制文件,定义目标函数。
- 3) 选择优化方法,运行优化程序,显示优化结果。

生成分析文件

图 5 基于 ANSYS 分析的优化设计流程图

根据上述优化思路,使用 ANSYS 对预紧簧片厚度进行优化设计,优化的目标是簧片的预紧

力与设计要求相符,其中簧片厚度在指定范围内变化,最大应力不超过许用应力,簧片结构优化的数学模型为:

$$\begin{cases} W_t = \min (F - F_0)^2 \\ \text{Const: } 0.1 \leq t \leq 0.5, \sigma \leq [\sigma] \end{cases}$$

其中: $F$  表示预紧力, $F_0 = 38\text{N}$  为设计需求的预紧力, $t$  表示簧片的厚度, $\sigma$  为优化设计中结构的应力强度。根据设计的要求,不能大于许用应力  $[\sigma] = 1030\text{MPa}$ 。

### 5.2 优化计算

采用参数化方式建立有限元模型及分析文件,经过程序计算后,迭代结果见表 1,迭代过程中厚度、最大应力、预紧力的动态变化过程曲线见图 6~图 8。

表 1 迭代结果

NO.	$\sigma/\text{MPa}$	$t/\text{mm}$	$F/\text{N}$
1	980	0.100	26.35
2	937	0.183	30.87
3	753	0.297	35.42
4	648	0.334	38.14
5	514	0.401	43.31
6	536	0.382	41.05
7	631	0.343	39.13
8	937	0.263	33.83
9	845	0.275	34.02
10	633	0.329	36.15
11	634	0.338	38.21
12	631	0.340	38.47
13	644	0.335	38.15
14	641	0.336	38.17
15	644	0.335	38.14

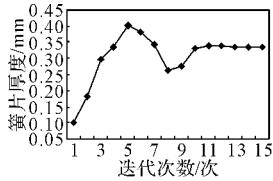


图 6 簧片厚度  $t$  随迭代次数变化

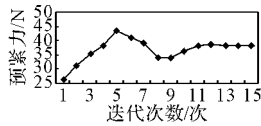


图 7 预紧力  $F$  随迭代次数变化

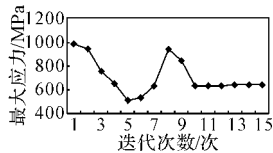


图 8 最大应力  $\sigma$  随迭代次数变化

### 5.3 结果分析

从变化曲线和图表

可以看出,在迭代次数没超过 15 次的情况下,各

变量基本趋于稳定。最后得到在厚度为 0.334mm 时,簧片所提供的预紧力为 38.14N 最能符合设计要求,目标函数值达到最小。在实际情况中,簧片的厚度只能取整,因而选择 0.3mm 厚的簧片最为合适。将簧片进行拔脱试验,用弹簧秤测得预紧力试验数据见表 2。

表 2 拔脱试验结果

簧片厚度 /mm	第 1 次 /N	第 2 次 /N	第 3 次 /N	均值 /N
0.2	32	30	27	29.67
0.3	33	39	37	36.33
0.4	47	45	48	46.67

## 6 结论

运用 ANSYS 有限元仿真分析软件进行结构设计优化的基本原理,对预紧簧片进行优化设计。由此说明了有限元技术在优化设计中的应用价值,转变了传统结构设计的被动校核方法,进而很大程度上减少了设计成本和周期,为结构设计提供了必要的设计依据和新的研究方法。

参考文献:

- [1] 张尔文,孙友松,周光辉. UG 与 ANSYS 模型数据转换的方式及实例分析[J]. 机械制造与自动化, 2007(2):90-91.
- [2] 何彬峰,刘晓华,李立斋. 基于 ANSYS 的含运动部件机构的动力学仿真新方法[J]. 科学技术与工程, 2007,7(14):3594-3596.
- [3] Jorma Arros. Analysis of aircraft impact to concrete structures[J]. Nuclear Engineering and Design, 2007,237(12/13):1241-1249.
- [4] 张志利,王自杰,李国英,等. 某型导弹发射筒的弹射工况建模仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007,19(17):3880-3882.
- [5] 余联庆,梅顺齐,杜利珍,等. ANSYS 在结构优化设计中的应用[J]. 中国水运, 2007(3):76-77.

(上接第 65 页)

## 4 结论

1) 导弹综合测试系统的开发和研制保证了总装工厂导弹批量生产的质量和进度。

2) 控制系统数据处理平台实现了导弹自动检测、测试结果自动输出等智能化功能,大大提高了测试的运行效率,节约了大量的人力物力。

参考文献:

- [1] 陈炳和. 计算机控制系统基础[M]. 北京:航空航天大学出版社, 2001.
- [2] 钱乐秋,赵文耘,朱军钰. 软件工程[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [3] 张树兵,戴红,陈哲. Visual Basic 6.0 入门与提高[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.