

非线性有限元分析 在飞机结构上的应用

■ 刘汉旭

摘要:飞机结构分析大部分工作是用线性有限元方法,线性理论做了许多假设,如材料的弹性性质和小变形假设,按照线性理论分析飞机某些零部件,很多结构会失效,然而这与实际情况不符,很多结论过于保守,文章分别按照材料线性和非线性有限元理论对飞机零组件进行分析,并达到优化结构,减轻结构重量的目的。

关键词:非线性有限元;材料非线性;三参数法;五参数法;应力应变曲线

用有限元法计算飞机重要零组件时,由于用线弹性理论,零件的一些部位应力可能会很高。如果用该计算值进行强度校核,得出的强度结论会很保守,没有挖掘材料的潜能,会使得结构重量提高,影响飞机性能。

因此完成零件材料线弹性有限元静强度分析后,如果发现材料进入塑性状态,要对零件进行材料非线性静强度分析。计算时分多级载荷工况进行分析,一般至少分为 67% 的设计载荷和 100% 的设计载荷两种,这样计算结果才真实可靠,得出的强度结论才准确合理。

1. 材料的应力-应变曲线的确定

进行结构非线性分析时,需要知道材料的应力-应变曲线,一般常用材料的应力应变曲线能从材料手册中查到,对查不到应力-应变曲线的材料,可以用下列 3 种方法确定:

(1) 三参数法。

目前“飞机设计手册”中,应力-应变关系曲线采用三参数($E, \sigma_{0.7}, \sigma_{0.85}$)给出,而 $\sigma_{0.7}, \sigma_{0.85}$ 不是常规材料

性能数据,设计人员使用不方便。

式中的 n 用下式计算:

弹性模量 E , 相应于应力-应变曲线和 0.7E 割线交点的应力 $\sigma_{0.7}$; 描述应力-应变曲线拐弯曲率的形状参数 n 。

$$\frac{E\varepsilon}{E0.7} = \frac{\sigma}{\sigma_{0.7}} + \frac{3}{7} \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.7}} \right)^n$$

$$n = 1 + \frac{\ln \frac{17}{7}}{\ln \frac{\sigma_{0.7}}{\sigma_{0.85}}}$$

当已知材料的性能参数 E, n 和 $\sigma_{0.7}$

时,即可求出该材料的应力-应变曲线。

(2) 五参数法。

笔者采用五参数($E, \sigma_b, \sigma_{0.2}, \delta, \mu$)表述应力-应变关系曲线;其中, δ 为材料延伸率(以小数表示), n 为形状参数。

$$\text{其 } \varepsilon = \frac{\sigma_t}{E} + \delta e^{-n(1-\frac{\sigma_t}{\sigma_b})}$$

中, σ_t 为材料的拉伸

$$\text{应力; } n = \frac{k}{(1 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_b})}$$

材料的压缩曲线表示为: $\sigma_c = (1 + 2\varepsilon)\sigma_c$, 其中, σ_c 为材料的压缩应力。

材料的 $E, \sigma_b, \sigma_{0.2}, \delta, \mu$ 为常见参数。

(3) 比例修正法。

对同类材料,可以按已知材料的应力应变曲线按比例修改得到,如查不到 40CrNiMoA 材料的应力应变曲线,可以

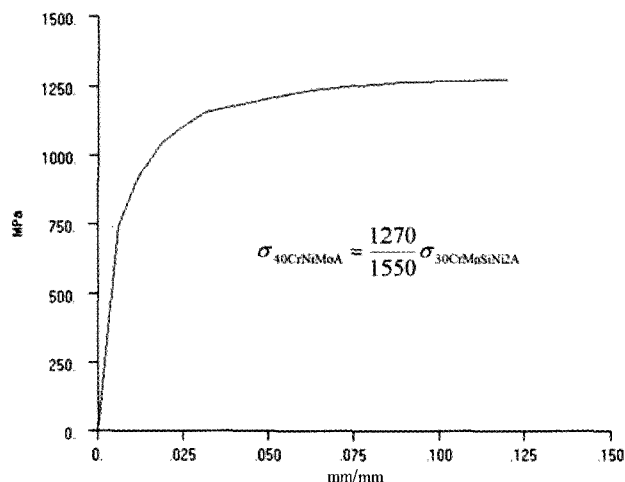


图1 应力应变曲线 (下转第 52 页)

表3 点状符号









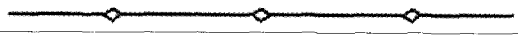

有线电视	人孔	有线电视人孔	 2.0
	手孔	有线电视手孔	 2.0
	分线箱	有线电视分线箱	 2.0
	光机箱	有线电视光机箱	 2.0
	光交箱	有线电视光交箱	 2.0
	器件箱	有线电视器件箱	 2.0
	上杆	有线电视上杆	 2.0
	预留口	有线电视预留口	 2.0

表4 线状符号

有线电视	T	TL	
		TLB	

录项目审批结果信息,并提供给建设单位,最终形成完整的电子档案。

(5) 图层标准。

① 图层命名规则。按序号、分项两段结构,以数字(或字母)和中文字段命名。例如:图名为高速公路中心线,图层命名表示为:1 高速公路中心线;图名为高压天然气管,图层命名表示为:N 高压

天然气管。

② 图层设置要求。0 层除作为插入块的基准层外不能存放任何数据;除地形图、管线图外不使用 xref;图例与图层应保证一一对应;同一图层必须采用统一的名称、实体类型、线型、色彩;各种类要素的颜色在编辑中应设置成规定的颜色,其“颜色”属性不能设置为“By-Layer”,应手工指定。

③ 标准图层描述。点状符号见表3,线状符号见表4。

参考文献

- [1]徐立志.小区有线电视预埋管道的建设[J].中国有线电视,2004(1).
- [2]梁子安.地下线缆管道的规划、设计与施工[J].东南传播,2006(6).

(编辑 王遐)

(上接第37页)

由 30CrMnSiNi2A 材料的应力应变曲线(《飞机结构金属材料力学性能手册》第1卷第187页,图2-138)按比例修改得到,见图1。

比例修正法有一定使用条件,通常在近似求解时用。如果知道材料的基本性能参数,建议用三参数法和五参数法确定材料的应力-应变曲线。

2. 非线性有限元分析

结构非线性分析的实例:某型机襟翼滑轨三维有限元应力分析。

襟翼滑轨有限元模型由撑杆和滑轨组成,滑轨由八节点六面体单元模拟,撑杆由梁元模拟,共有 75 625 个节点,51 780 个单元(滑轨有限元模型见图2)。

载荷取自相关襟翼滑轨载荷报告,加载位置为滑轮车滑轮与滑轨实际接

触区,载荷以集中力的方式加在接触区内的节点上。前滑轮车共4个滑轮,载荷平均分配到4个滑轮上,每个滑轮载荷以集中力的方式加在

7个节点上,节点载荷为4723牛顿;后滑轮车共两个滑轮,载荷均分到两个滑轮上,每个滑轮载荷以集中力的方式加在15个节点上,节点载荷为5584牛顿。滑轨接头一个与撑杆相连,一个在孔周围加法向约束,撑杆铰支约束(加载方式见图2)。

按材料线性计算结果知,滑轨最大应力为 $\sigma_{\max}=2480\text{MPa}$ 。如果根据此计算结果,可以得出该滑轨远不满足强度要求,需重新设计。但按原型机载荷、设计经验及试验情况,该滑轨强度不会这么弱。按材料非线性计算结果知,滑轨最大应力为 $\sigma_{\max}=1240\text{MPa}$,与试验情况较吻合。

3. 结论

从该实例可以知,有限元分析不能仅局限于线弹性计算分析,还要开展材料非线性计算分析,这样才会更符合真实情况。不仅可以避免结构过于笨重,还有利于结构优化设计,减轻飞机结构重量。

(编辑 姚鑫)

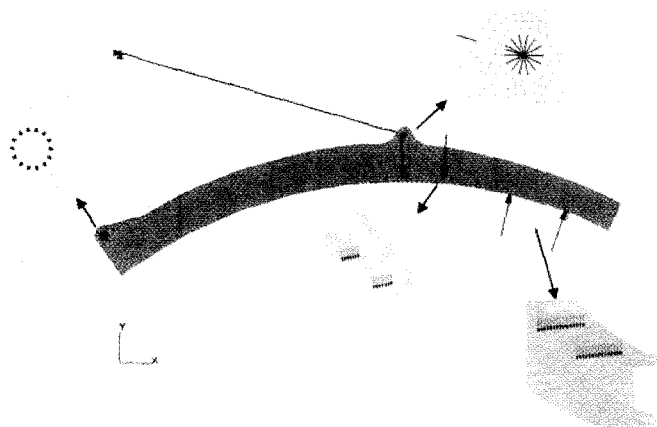


图2 有限元模型