

采用梁元的加强框结构可靠度计算

宋笔锋 冯元生

(西北工业大学 502 教研室, 西安, 710072)

RELIABILITY ANALYSIS OF A STIFFENED FRAME STRUCTURE BY USING BEAM ELEMENT

Song Bi-feng, Feng Yuan-sheng

(Faculty 502, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072)

摘要 以梁元为可靠性分析单元建立了一种新的加强框结构的可靠性计算模型, 采用可靠性理论方面的新成果进行了分析计算, 研究了若干参数(如可靠性分析单元个数、元件强度差异系数和相关系数及外载荷差异系数)对计算结果的影响, 为加强框设计提供了依据。

关键词 梁元, 加强框, 可靠性

Abstract In this paper, a new reliability analysis model of a stiffened frame structure is established by adopting beam element as the reliability analysis element. The advanced theory is employed to compute the reliability of the structure.

The effects on the computational results of several constants c_i , for example, the number of element n , the dispersion coefficient of element strength V_{R_i} , the relative coefficient of element strength X_{C_i} and the dispersion coefficient of external load V_{S_i} are studied.

The computational results show that the model of this paper is right and the methods adopted are efficient and the results are very useful in the design of the structure.

Key words beam element, stiffened frame structure, reliability

1 计算模型与方法

1.1 计算模型

图 1(a)所示结构是某型飞机机翼-机身对接框, 它主要承受弯矩。其形状近似于圆形, 全框由径向加强筋分成 18 个小段, 剖面为典型的工字梁(图 1(b))。小段 1-3、7-12、16-18 的材料为 LC4Z; 小段 4-6、13-15 的材料为 30CrMnSiA。以杆元、板元为可靠性分析单元建立了一种杆-板式可靠性分析模型^[1], 这种模型的一个明显弱点是失效模式中包含的失效元件个数必须由经验确定。另外, 在采用梁元的可靠性分析模型中, 应力的计算结果相对于杆-板式模型而言更精确, 因为该框主要承受弯矩作用。

将结构划分成若干梁元, 梁元的可靠性失效准则为其弯矩值超过极限弯矩。

将框中每一小段划分成 n 个小单元。显然, 只要所有 $18 \times n$ 个小单元中有 2 个失效, 结构就失效。所以, 从静强度观点来看, 任意 2 个单元都构成一个失效模式且所有失效模式都是串联关系。结构可靠性框图如图 2 所示。

1991 年 9 月 4 日收到, 1992 年 4 月 27 日收到修改稿
航空科学基金资助课题

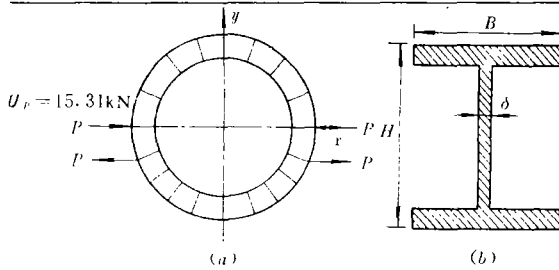


图 1 加强框结构(a)和框剖面形状(b)

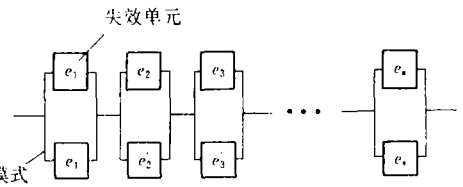


图 2 可靠性框图

1.2 计算方法

1.2.1 改进的优化准则法

改进的优化准则法可以表述为:凡满足不等式(1a)和(1b)的单元 i 可以被选为第 p 级增量载荷作用以后的可能破坏单元

$$C_p \leq \bar{S}_{ipcr} \leq 1 \tag{1a}$$

$$S_{ipcr} \geq 0 \tag{1b}$$

其中:

$$\bar{S}_{ipcr} = \left(S_{pcrm} + \sum_{j=1}^{p-1} S_{jcr} \right) / \left(S_{ipcr} + \sum_{j=1}^{p-1} S_{jcr} \right) \tag{1c}$$

$$S_{ipcr} = (u_{R_i^e} - \sum_{j=1}^{p-1} a_{ij} S_{jcr}) / a_{ip} \tag{1d}$$

$$S_{pcrm} = \min_i [\max(S_{ipcr}, 0)] \tag{1e}$$

a_{ij} 为第 j 个单位增量载荷在元素 i 中的响应; S_{jcr} 为 p 级增量载荷以前的第 j 级增量载荷; $u_{R_i^e}$ 为元素 i 的强度 R_i^e 的均值; c_p 为控制参数^[2]。

1.2.2 安全余量方程

结构第 j 个失效模式的安全余量方程 M_j 可以写成^[3]

$$M_j = \sum_{i=1}^k D_i R_i - S \tag{2}$$

式中: D_i 是常数; S 是作用于结构的广义外载。

1.2.3 失效概率计算

结构失效概率可以用下面高精度方法计算^[4]

$$P_{fs} = P_1 + P_2 - P_{12} + P_3 - (P_{31} + P_{32}) + P_{321} + \dots + P_m - \sum_{i=1}^{m-1} P_{mi} + \max \left(\sum_{i, j \in 1, m-1}^{m-2} P_{mij} \right) \tag{3}$$

式中 P_{fs} 表示结构失效概率; P_i 、 P_{ij} 、 P_{ijk} 分别表示单个失效模式(i)的失效概率、两个失效模式(i, j)及 3 个失效模式(i, j, k)同时失效的概率; m 是结构主要失效模式个数。 P_{ij} 、 P_{ijk} 采用仿射空间中的数值积分法计算^[5]。

2 结构及分析

本文分别对 $n=1, 2, \dots, 8$ 、元素强度差异系数 $V_{R^e} = 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$ 和

0.1、元素强度相关系数 $X_G=0.2, 0.4, 0.5, 0.6$ 和 0.8 以及外载差异系数 $V_s=0.05, 0.08, \dots, 0.2$ 等多种情况进行了计算, 由于篇幅限制就不给出其中间结果, 只结合分析各种参数对计算结果的影响给出最终结果。

2.1 n 对计算结果的影响

图 3 给出结构失效概率 P_{fs} 与 n 的关系曲线。可以看出 n 对计算结构有较大影响, 要保证可靠性分析的结果 n 必须取足够大。

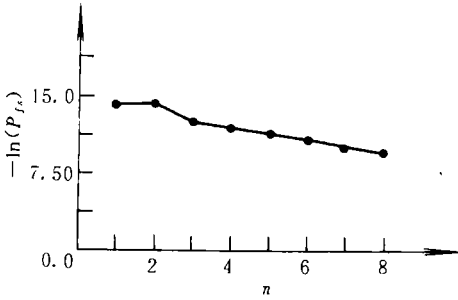


图 3 P_{fs} 与 n 的关系曲线

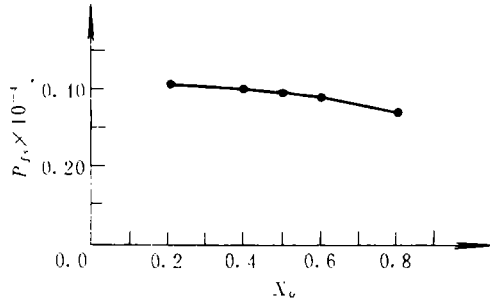


图 4 P_{fs} 与 X_G 的关系曲线

2.2 X_G 对计算结果的影响

图 4 给出了 P_{fs} 与 X_G 间的关系曲线。由图可以看出随着相关系数增大, P_{fs} 略呈下降趋势。这是因为元素间相关系数增大时模式间相关系数亦增大, 从而二阶交叉失效概率增大。但总的来看 X_G 对 P_{fs} 的影响并不显著。

2.3 V_{R^e} 对计算结果的影响

图 5 给出了 P_{fs} 与 V_{R^e} 间的关系曲线。由图可以看出 V_{R^e} 增大 P_{fs} 显著增大。因为 V_{R^e} 增大时安全余量 M_j 的方差增大, 单个失效模式的失效概率增大。因此, 对 V_{R^e} 应尽量准确地取值。

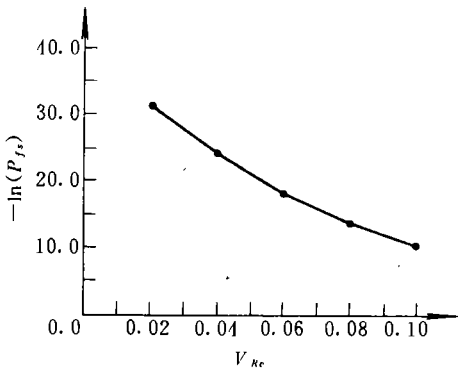


图 5 P_{fs} 与 V_{R^e} 的关系曲线

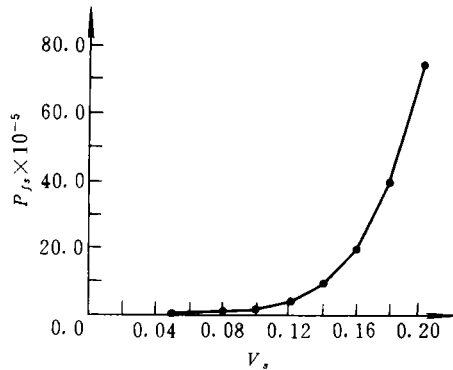


图 6 P_{fs} 与 V_s 的关系曲线

2.4 V_s 对计算结构的影响

图 6 给出了 P_{fs} 与 V_s 的关系曲线。由图看出 V_s 增大时 P_{fs} 迅速增大。因为 V_s 增大时 M_j 的方差增大, 单个失效模式的失效概率增大。因此, 对 V_s 的估计要尽量准确。

3 结论

(1)计算结果表明, 本文可靠性分析模型是合理的, 所采用的可靠性分析方法是可行

的。

(2) V_s 、 V_{R^e} 、 X_G 及 n 对计算结果均有不同程度的影响,其中 V_s 、 V_{R^e} 最为显著,所以应当比较准确地估计 V_s 、 V_{R^e} 值。

参 考 文 献

- 1 宋笔锋,冯元生.加强框结构的静强度可靠性分析方法.西北工业大学学报,1992,10(1):95~102
- 2 Feng Y S. Enumerating Significant Failure Modes of a Structure System by Using Criterion Methods. Journal of Computers and Structures, 1989, 30(5):1153~1157
- 3 Moses F, Rashedi M R. The Application of System Reliability to Structural Safety. Proceeding, 4th International Conference on Application of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering, University di Fience, Italy, Ditagora Edituice, 1983
- 4 Feng Y S. A Method for Computing Structural System Reliability with High Accuracy. Journal of Computers and Structures, 1989, 33(1):1~5
- 5 Song B F. A Numerical Intergration Method in Affine Space and a Method with High Accuracy for Computing Structural System Reliability. Journal of Computers and Structures, 1992, 42(2):255~262