

一种由试验结果建立焊接板动态分析模型的新方法

钱 怡

(无锡轻工大学机械工程系,无锡 214036)

摘要 针对焊接板材料性质及参数难以确定、建立分析模型困难的特点,提出了一种通过实验模态分析结果,修正有限元刚度及质量矩阵,来建立焊接板动态分析模型的新方法。该方法可用于复杂板壳结构建模和模型正确性校核,具有建模精度高和节省计算工作量等优点。

关键词 建模方法;焊板;动态分析

中图分类号 TB24

0 前 言

工程中,薄板焊接构件的应用非常广泛,如车辆、船舶等大型结构,大部分由薄板焊接构成。为了对这些结构进行计算、分析,须建立其分析模型。而建模工作中常遇到的一个难题就是焊点及其附近材料性质的确定,焊接板如何模型化。常用的办法有:1)当焊点较密时,把两块焊接的板当作一整块处理,这种方法简单,但误差较大;2)把焊点作为有限元中的梁单元或杆单元处理,当两块板焊接时,可认为它们在焊点处通过杆(梁)连接,但有两个缺点:其一,焊点较密时,单元稠密,导致计算工作量大;其二,没有考虑焊点附近构件材料性质的变化。作者提出一种利用实验结果修正有限元模型中的刚度及质量矩阵来建立模型的新方法。

1 建模方法

首先把图 1 所示的焊接板看成一整块,在其上根据要求任意划分有限元网格,作为有限元原始模型,计算出该模型的质量、刚度矩阵 M_A, K_A (两矩阵均为 $N \times N$ 阶方阵)^[1],然后通过模态实验测出该构件的振型矩阵 Φ 及模态频率 P 。

对于线性振动系统,有

$$M\ddot{q} + Kq = F$$

其中 M, K 分别为结构质量矩阵及刚度矩阵, F, q 分别为激振力和节点位移列阵。

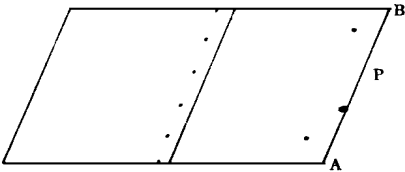


图 1 焊接板

相应的特征方程为

$$K\Phi = \Lambda M\Phi$$

其中 Φ 为振型矩阵, Λ 为特征值矩阵。

由上两式可见,无论采用什么方法求解结构的固有频率、振型或响应,均受质量、刚度矩阵精度的影响。因计算 M_A, K_A 时没考虑焊接后焊点附近材料性质的变化,由它算出的模态振型及频率将引入不同程度的误差,若再进一步计算动态响应,误差程度将会更大。为此设法通过修正 M_A, K_A ,使模型符合实际焊接结构,则计算可达到满意的结果。

设 M_I, K_I 为修改后的质量、刚度矩阵, M_I 应满足使 Euclidean 范数^[2]

$$\|M_A^{-1/2}(M_I - M_A)M_A^{-1/2}\|_E$$

最小,同时

$$\Phi^T M_I \Phi = I$$

其中 I 为 $n \times n$ 阶单位矩阵, n 为用于修正 M_A, K_A 的实验频率阶数, $n \leq N$ 。

Φ 为 $N \times n$ 阶振型矩阵,是 Φ 中的一部分。

同样, K_I 满足

$$\|M_I^{1/2}(K_I - K_A)M_I^{-1/2}\|_E$$

最小,同时

$$\Phi^T K_I \Phi = \Lambda$$

其中 Λ 为 $n \times n$ 阶对角阵,其元素为频率测量值的平方。

由 M_I, K_I 计算所得的 Φ_I, Λ_I 与实验所得的 Φ, Λ 相比,前 n 阶两者相同, $n+1$ 至 N 阶的值将有一定的误差。但对于激振频率 $f < p$ 的情况,由修正模型所算出的响应比原有限元模型精度大为提高。

2 推广应用

利用实验所得的振型及频率,不仅可用于建立分析模型,也可对现有分析模型进行校验,查出模型参数错误区域。

如前所述,修正后的刚度矩阵为 K_I ,原始模型的刚度矩阵为 K_A ,则两者关系为

$$K_I = K_A + \Delta K$$

其中 ΔK 为刚度修正矩阵,用 ΔK_{ij} 代表其分量,同时采用无量纲的形式

$$(\Delta K_R)_{ij} = \frac{\Delta K_{ij}}{[(K_A)_{ij}(K_A)_{ij}]^{1/2}}$$

$(K_A)_{ij}$ 为原始模型刚度矩阵中的元素。 (ΔK_R) 越大,说明 K_I 与 K_A 差异越大,即原始模型的参数误差越大。因此可根据较大的 $(\Delta K_R)_{ij}$ 的位置,判断模型错误区域,从而加以修正^[3]。

3 算 例

图 1 所示为两块厚度为 0.5 mm 的薄钢板由点焊相连接,由于焊缝的机械性质与其它区域不同,因此,在建立有限元模型时,必须考虑修正以符合实际结构,才能得到正确的计算结果。现由本文提出的方法修正模型。固支板的一条边,由实验测出板的前 10 阶固有频率及振型(列于表 1)。把两块板作为一个整体,建立图 2 所示的有限元分析原始模型,由模态分析可得出其前 10 阶频率及振型。由表 1 可见原始模型的频率与实验频率间存在一定误差。利用前 8 阶频率及振型的实验值,修正有限元原始模型的刚度矩阵 K_A 和质量矩阵 M_A ,修正模型计算所得的频率值列于表 1。

由表 1 中修正模型值可见,前 10 阶的固有频率值可与实验值达到很高的一致性。

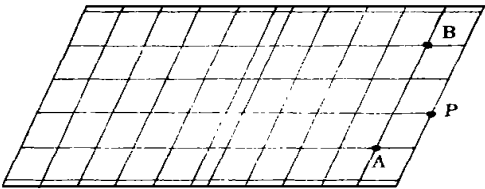


图 2 焊接板有限元模型

此外,在板 A、B 两处同时加正弦激励 $F=100\sin 2\pi ft$,测出频率 $f=50\text{ Hz}$ 和 $f=300\text{ Hz}$ 时板在激振点附近处 P 点的最大位移值。同时用有限元原始模型和修正模型分别计算相同激励下相应点处的最大位移,结果列于表 2。可见当激振频率在修正频率范围内时,由修正模型计算的结果精度大大提高。

4 结 论

上述焊接板用结合实验模态分析结果修正模型的方法,避开了焊点局部材料性质改变、刚度难以确定的特点,建立符合实际焊接板结构的有限元模型,是建立工程中分析、计算模型的一个简便、且有相当精度的方法。它不仅可用于局部材料性质难以确定的场合,同样适用于大型复杂有限元模型的简化。另外,通过刚度、质量矩阵元素的比较,可及时、准确地查出模型错误区域,尤其适合大型结构模型的校验。

参 考 文 献

1 Bathe EL, Wilson R. Numerical Methods in Finite Element analysis.
2 武汉大学,山东大学计算数学教研室. 计算方法. 北京: 人民教育出版社, 1979
3 Berman A, Nagy E J. Improvement of a Large Analytical Modal Using Test Data. AIAA Journal, 1983, 21(3): 1168 ~ 1173

The Modeling Method for Welding Plate

Qian Yi

(Dept. of Mech. Eng. Wuxi University of Light Industry, Wuxi, 214036)

Abstract In view of the difficulty fixing material character and parameters, the modeling method for welding plate is presented. It combines mass and stiffness matrices from a finite element model with experimented mode shapes and natural frequencies to produce improved mass and stiffness matrices. The method enabled us to identify regions of original finite element models where the model parameters were incorrect. It is applied into from small sample problems and to large complex structures.

Key-words modeling method; welding plate; dynamic analysis

(责任编辑: 陈 娇)