

用混合有限元模型分析船体振动问题研究

杨传武, 陈志坚

(海军工程大学 船舶与海洋工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要: 对混合有限元模型应用于船体振动分析的方法进行了讨论, 并建立了某船的混合有限元模型, 分别对其船体总振动和局部振动进行了计算. 计算结果表明, 混合有限元模型的总振动计算结果略小于迁移矩阵法, 而局部振动计算结果与孤立模型存在较大差异.

关键词: 混合有限元模型; 总振动; 局部振动

中图分类号: U661.44

文献标识码: A

Analysis of hull vibration by mixing finite element model

YANG Chuan-wu, CHEN Zhi-jian

(Dept. of Naval Architecture & Ocean Eng., Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: A method of analyzing the hull vibration by mixing finite element model is discussed. The mixing finite element model of a ship is established, and its inherent frequencies of overall vibration and local vibration are computed respectively. The computing result shows that the result of overall vibration computed by the mixing finite element model is appreciably less than that by matrix transfer method, whereas there is definite difference between the results of local vibration by the mixing finite element model and that by isolated model.

Key words: mixing finite element mode; overall vibration; local vibration

船体是一种复杂的弹性结构, 其振动问题相当复杂, 既有全船范围的总振动, 也有发生在特定结构范围内的局部振动. 分析船体振动, 一般将总振动和局部振动分开来考虑, 这样处理, 有数学处理上方便、计算简单的优点. 总振动分析, 通常采用一维梁模型进行; 局部振动分析, 通常采用板架或板格振动计算模型进行^[1]. 总振动和局部振动经常耦合在一起, 任何板架结构或板格也总是与其它结构相连在一起, 单取某一板架(或板格)进行局部振动分析, 无法准确考虑船体其它结构部分的影响, 也排除了总振动对局部振动的耦合作用, 计算结果应是实际振动性能的近似反映^[2]. 如用有限元法建立全船三维有限元模型进行振动分析, 可以得出准确的计算结果, 但工作量较大. 混合有限元模型可有效地克服上述弱点. 对我们所关心的局部结构, 采用有限元法建立三维有限元模型, 其余船体部分则采用一维梁模型描述. 通过适当的技术将一维梁和三维有限元模型组合在一起, 即为分析船体振动的混合有限元模型. 混合有限元模型在分析船体艉部振动中有较多的应用, 但在分析船体其它部位的局部振动中应用还比较少. 笔者对某船建立由#211~#250肋位船体的立体部分、其余部分为一维梁组成的混合有限元模型, 并对其进行振动分析, 探讨混合有限元模型的应用方法及对计算结果的影响.

1 混合有限元模型的建立

1.1 计算原理

应用有限元方法,可得混合有限元模型的控制方程为^[3]:

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

其中: $[M]$ 、 $[C]$ 和 $[K]$ 分别为质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵; $\{\ddot{y}\}$ 、 $\{\dot{y}\}$ 和 $\{y\}$ 分别是加速度矢量、速度矢量和位移矢量; $\{F(t)\}$ 是力矢量,包括直接作用在结构节点上的集中载荷和节点以外载荷引起的等效节点力.从(1)式出发,可得分析船体固有振动问题的广义特征方程为:

$$|-\omega^2[M] + [K]| = 0 \quad (2)$$

解(2)式即可求得船体振动的固有频率.

1.2 一维船体梁模型

对于船体梁的弯曲振动,决定一维梁单元性质的关键参数是反映其弯曲刚度的剖面惯性矩和反映剪切刚度的剖面剪切面积.混合有限元模型中船体梁各梁段的剖面惯性矩取该梁段两端面的剖面惯性矩的算术平均值,剖面剪切面积也取该梁段两端面的剖面剪切面积的算术平均值.

船体梁的质量由船舶的有效质量与附连水质量两部分构成.船舶的有效质量包括船体结构的净质量与船上货物、油水及设备等的质量.附连水质量采用刘威士(Lewis)、陶德(Todd)等人的经验公式计算^[4,5].

垂向振动时单位长度上的附连水质量公式为:

$$m_{av} = \frac{1}{2}C_v K_i \pi \rho b^2 \quad (\text{kg/m}) \quad (3)$$

水平振动时单位长度上的附连水质量公式为:

$$m_{ah} = \frac{1}{2}C_H K_i \pi \rho d^2 \quad (\text{kg/m}) \quad (4)$$

式中: ρ 为水的密度; b 为计算剖面处的水线半宽; d 为计算剖面处的吃水; C_v 、 C_H 分别为垂向、水平振动时,船体水下部分剖面形状不同于椭圆而引入的无因次修正系数; K_i 为三维流动引入的无因次修正系数,其中 i 为船体梁振动阶数.

船舶的有效质量以等效密度的形式添加在各梁段上,附连水质量以集中质量的形式分布于各节点上.

1.3 三维立体有限元模型

对所关心的局部结构所在的船体段建立三维立体有限元模型.为了真实反映实际的船体结构,文中用板元模拟甲板、外壳板及纵横舱壁,梁元模拟纵桁、纵骨及横向骨架.三维立体有限元模型严格按照实际尺寸建立.

立体部分的设备质量以等效密度的形式均布在各层甲板及骨架上,部分集中设备的质量则以集中质量的形式添加在该设备所在位置的有限元节点上.立体部分的附连水质量以集中质量的形式分布于外板的水线以下部分,该部分附连水质量的计算公式与前面相同.

1.4 混合有限元模型

由于三维立体有限元模型与一维船体梁模型在几何形状上的巨大差异,如何将二者合理的连接在一起并真实地反映船体振动问题,是混合有限元模型的一个关键点.作者采用以下方法将2类模型连接在一起:

(1) 连接点选在立体部分的两端面横舱壁与水线附近主甲板及中纵剖面相交处;

- (2) 在连接点处添加两条互相垂直的无质量刚性梁,刚性梁布置在立体模型与船体梁相连的端面上,刚性梁的两端一直延伸至船体的外板;
- (3) 使刚性梁的刚度与船体梁刚度基本相当. 试算表明,该刚度值可使连接剖面具有平断面假设的特点.

所建立的混合有限元模型如图 1 所示.

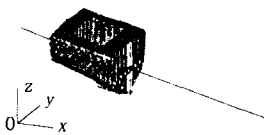


图 1 某船的混合有限元模型

2 船体总振动分析

由于混合有限元模型中存在三维立体部分,利用该模型进行船体振动分析时,船体总振动的模态与局部振动模态混杂在一起,不能简单地由所求频率的大小顺序直接得出船体总振动的固有频率和固有振型. 注意到船体总振动实质上主要是指全自由梁的垂向及水平振动,该类振动的振型具有波动的特点. 船体梁的变形曲线与平衡位置有相交点存在,一般称之为振型的节点,第 n 阶总振动具有 $n+1$ 个节点. 总振动的节点特征可以帮助我们识别船体总振动模态. 采用有限元分析的后处理技术,选用适当的放大系数,求得某船垂向总振动前二阶的振型如图 2、3 所示. 某船总振动固有频率计算结果如表 1 所示. 本文还利用迁移矩阵法得出了该船垂向和水平总振动前二阶的固有频率值,计算结果也如表 1 所示.

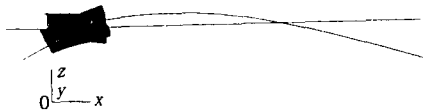


图 2 混合有限元模型垂向总振动一阶振形图



图 3 混合有限元模型垂向总振动二阶振形图

表 1 混合有限元模型计算结果与迁移矩阵法计算结果的比较

振动形式	振动模态	迁移矩阵法的计算结果/Hz	混合有限元模型的计算结果/Hz	误差/%
垂向振动	一阶	1.128	1.063 8	-5.7
	二阶	2.468	2.324 7	-5.8
水平振动	一阶	1.938	1.894 7	-2.2
	二阶	4.188	4.095 2	-2.2

从表 1 中的数据可以看出,混合有限元模型的前二阶垂向总振动固有频率计算结果略小于迁移矩阵法的计算结果,两种计算模型的水平总振动的计算结果符合较好.

3 船体局部振动分析

利用混合有限元模型分析船体局部振动问题时按照以下方法进行:首先判定局部振动的一个频率范围,用通用程序求出该范围内的所有固有频率值;然后利用通用程序的后处理技术,将所关心的特定结构的振型隔离出来,从而求得船体特定结构的局部振动固有频率. 按上述方法求得该船立体部分三甲板的首阶局部振动固有频率为 11.453 Hz,该频率值对应的振型如图 4 所示. 作者还用孤立的三维立体有限元模型进行局部振动分析,取边界条件为自由支持,模型中结构与质量参量的处理方法与混合有限元模型完全相同. 按此模型算得三甲板首阶局部振动固有频率为 9.484 Hz,该频率所对应的振型如图 5 所示.

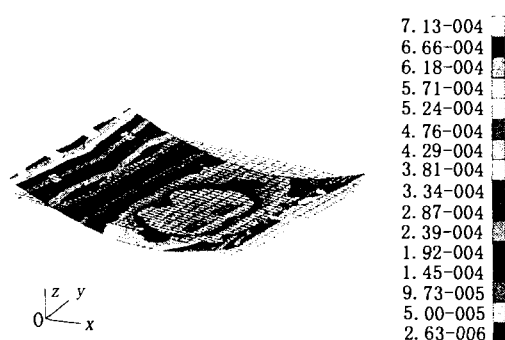


图 4 混合有限元模型三甲板首阶振型图

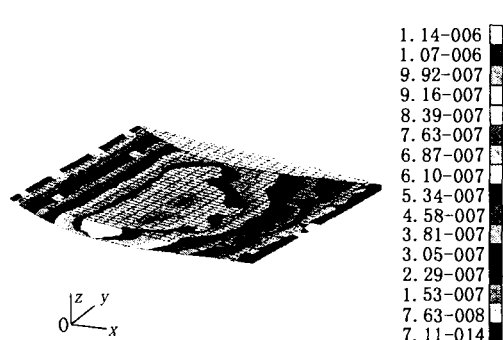


图 5 三维模型自由支持三甲板首阶振型图

对比上述计算结果发现:混合有限元模型的局部振动计算结果大于孤立的三维立体有限元模型,并且存在较大的差异。显然这是由于三甲板以外的船体结构的影响所造成的。而且 2 种模型中三甲板两端的振型并不完全相同,实际情况是该甲板两端是有垂向位移的。混合有限元模型是比孤立的三维立体有限元模型更接近于真实船体的计算模型,其计算结果也更为准确。

4 结束语

用混合有限元模型分析船体振动问题,所求得的船体总振动前二阶固有频率值略小于迁移矩阵法的计算结果;而利用混合有限元模型所求得的特定结构的局部振动固有频率值,与孤立的三维立体有限元模型所得的固有频率值存在较大的差异。

参考文献:

- [1] GJB64.1A-97,舰船船体规范·水面舰艇[S].
- [2] 陈志坚. 利用模态迭加法进行动响应分析应注意的问题[J]. 海军工程大学学报, 2002, 14(5): 22-25.
- [3] 帕兹 M. 结构动力学——理论与计算[M]. 李裕澈, 刘勇生 译. 北京: 地震出版社, 1993.
- [4] 金威定, 赵德有. 船体振动学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000.
- [5] 翁长俭, 张保玉. 船体振动学[M]. 大连: 大连海运学院出版社, 1992.

《海军工程大学学报》列入《中国科技核心期刊》

2004 年 3 月,《海军工程大学学报》接到中国科学技术信息研究所的收录证书:

《海军工程大学学报》经过多项学术指标综合评定及同行多位专家评议推荐,被收录为国家科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)。有效期至 2006 年 3 月。

本刊编辑部