



指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD026 - 2000

中国船级社

船上振动控制指南

2000

人民交通出版社



指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD026 - 2000

中 国 船 级 社

船上振动控制指南

2000

北 京

责任编辑：李晓明 钱悦良

中国船级社

指导性文件

船上振动控制指南

Chuanshang Zhengdong Kongzhi Zhinan

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

中国船舶总公司第十一研究所印刷服务部印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：16 字数：394千

2000年3月 第1版

2000年3月 第1版 第1次印刷

印数：0001-2000册 定价：60元

统一书号：15114·0337

目 录

第 1 章 通则	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 振动基础	(2)
1.3 船上振动与激励关系	(6)
第 2 章 振动控制流程	(9)
2.1 概述	(9)
2.2 报价设计阶段	(9)
2.3 合同设计阶段	(10)
2.4 详细设计阶段	(11)
2.5 生产设计阶段	(14)
第 3 章 螺旋桨激励	(15)
3.1 概述	(15)
3.2 伴流场	(15)
3.3 螺旋桨空泡	(19)
3.4 轴承力	(19)
3.5 脉动压力与表面力	(20)
3.6 减少螺旋桨激励的方法	(25)
第 4 章 柴油机不平衡力与力矩	(32)
4.1 概述	(32)
4.2 不平衡力与力矩	(32)
4.3 不平衡力矩对船体总振动的影响	(36)
4.4 柴油机不平衡性能的评估	(37)
4.5 防振措施	(38)
第 5 章 柴油机机架振动	(41)
5.1 概述	(41)
5.2 激励源	(43)
5.3 机架振动计算	(49)
5.4 衡准	(54)
5.5 防振措施	(56)
第 6 章 轴系扭转振动	(64)
6.1 概述	(64)
6.2 计算模型	(64)
6.3 自由振动计算	(68)
6.4 激励源	(69)

6.4	激励源	(69)
6.5	响应计算—放大系数法	(73)
6.6	响应计算—传递矩阵法	(78)
6.7	衡准	(83)
6.8	检验	(87)
6.9	减振措施	(92)
第7章	轴系纵向振动	(95)
7.1	概述	(95)
7.2	计算模型	(96)
7.3	固有频率计算	(99)
7.4	激励力计算	(101)
7.5	阻尼力计算	(105)
7.6	响应计算	(107)
7.7	衡准	(108)
7.8	预防措施	(109)
第8章	轴系回旋振动	(113)
8.1	概述	(113)
8.2	回旋自由振动	(115)
8.3	固有频率计算	(117)
8.4	衡准	(128)
8.5	回避措施	(128)
第9章	轴系校中	(130)
9.1	概述	(130)
9.2	计算模型	(131)
9.3	校中计算	(134)
9.4	运转状态校中计算	(139)
9.5	衡准	(141)
9.6	检验	(144)
9.7	实例分析	(146)
9.8	小船轴系校中	(151)
第10章	机械与设备隔振	(152)
10.1	概述	(152)
10.2	隔振设计	(157)
10.3	衡准	(166)
10.4	隔振元件	(169)
第11章	船体梁总振动	(174)
11.1	概述	(174)

11.2	船体梁固有频率的估算	(174)
11.3	船体梁固有频率的详细计算	(183)
11.4	船体梁总振动响应计算	(191)
第 12 章	上层建筑振动	(193)
12.1	概述	(193)
12.2	激励与传递	(193)
12.3	上层建筑整体振动固有频率的简化计算	(194)
12.4	上层建筑整体振动固有频率的有限元计算方法	(197)
12.5	上层建筑局部构件的振动	(198)
12.6	衡准	(198)
12.7	减振措施	(198)
第 13 章	局部振动	(199)
13.1	概述	(199)
13.2	局部结构的固有振动频率	(199)
13.3	局部结构固有振动频率的详细计算	(214)
第 14 章	船舶耦合振动	(216)
14.1	概述	(216)
14.2	船体 - 尾部舱段 - 上层建筑的耦合振动	(216)
14.3	主机机架 - 机舱板架的耦合振动	(217)
14.4	大开口船船体水平弯曲和扭转的耦合振动	(218)
14.5	结构 - 流体的耦合振动	(221)
第 15 章	船体振动衡准与防振减振措施	(222)
15.1	概述	(222)
15.2	船长等于和大于 100m 的商船振动评价衡准	(222)
15.3	船长小于 100m 的商船振动评价衡准	(222)
15.4	防振与减振措施	(225)
第 16 章	振动测量与分析	(229)
16.1	概述	(229)
16.2	振动测量要求	(229)
16.3	船体梁固有振动特性测量	(230)
16.4	船体结构航行振动测量	(234)
16.5	机械设备振动测量	(235)
16.6	轴系扭转振动测量	(235)
16.7	轴系纵向振动测量	(236)
16.8	轴系回旋振动测量	(237)

第 1 章 通 则

1.1 概述

1.1.1 宗旨

(1) 为了有效控制船上有害振动的影响,保证船舶安全营运,特编制《船上振动控制指南》(以下简称指南)。

(2) 本指南是参考中华人民共和国船舶检验局指导性文件《船上有害振动的预防》部分内容,并依据多年的使用经验与科研成果的基础上编制而成的。

(3) 本指南可供有关方参考使用,但其中有关轴系振动与校中部分已包含了规范的内容,如按本指南推荐的轴系振动与校中计算方法进行送审,则可缩短审批时间。

1.1.2 服务

本社可承担船上振动控制的设计、计算、实测及相关的研究工作。

1.1.3 振动现象

(1) 船舶在海上航行,会产生不同程度的振动,如果振动系统固有频率与激励频率一致,就会产生共振。对一些装置,即使不处在共振状态,由于激励的增大,也可能引起剧烈的振动,甚至影响船舶的正常运行。

(2) 船舶运行时,常见的振动现象有:

- ① 船体梁、上层建筑和尾部的振动;
- ② 板格、板架、桅杆和机舱等的振动;
- ③ 推进轴系的振动;
- ④ 机架和机械设备的振动。

1.1.4 有害振动

由振动引起的下列现象的振动称为有害振动:

- (1) 船体结构和机械部件的疲劳损坏;
- (2) 影响到机器和设备的正常运转;
- (3) 影响到船上人员正常工作和生活。

1.1.5 振动控制

(1) 为了在设计阶段进行船舶振动的预报,本指南根据不同设计阶段,提供了一套减小船舶振动的设计流程,通过统计数据、经验公式或计算机程序估算及评价振动特性,以达到设计阶段就能预报或消除船上有害振动的目的。

对于营运中船舶的振动问题,可根据现有图纸资料进行必要的计算分析及实船测量,如振动量级超过规定允许值,则在实际可行的条件下,应采取合适的减振措施,以改善船舶振动的特性。

(2) 振动控制的主要途径有:

- ① 减小激励力及其传递;
- ② 调频,改变振动系统的固有频率或激励频率,防止共振的产生;
- ③ 增加阻尼,以消耗振动能量,达到减小振幅的目的;
- ④ 增加强度,以增强抗振能力;

⑤ 对主要设备安装减振器。

1.1.6 定义

本指南所用的主要定义如下：

- (1) 位移：系指表征物体或质点相对于某参考位置变化的矢量。
- (2) 速度：系指表征位移对时间导数的矢量。
- (3) 加速度：系指表征速度对时间导数的矢量。
- (4) 系统：系指用以完成一定功能的各有关部分的组合。
- (5) 振动：系指描述机械系统运动或位置的量值相对于某一平均值或大小交替地随时间变化的现象。
 - (6) 周期振动：系指自变量经过某一相同增量后其值能再现的周期量。
 - (7) 振动系统：系指包含有质量和刚度的有阻尼或无阻尼的任何系统。
 - (8) 稳态振动：系指连续的周期振动。
 - (9) 简谐振动：系指随时间 t 按简谐函数规律变化的振动。
 - (10) 简谐次数：系指发动机或轴每一转出现的简谐波的个数。
 - (11) 激励：系指作用于系统的外力或其他输入。
 - (12) 响应：系指系统受激励作用后的输出。
 - (13) 自由振动：系指激励或约束去除后出现的振动。
 - (14) 受迫(强迫)振动：系指由稳态激励产生的稳态振动。
 - (15) 频率：系指单位时间振动次数，每秒振动次数用赫兹 Hz 表示。每分钟振动次数用 $1/\text{min}$ 表示。
 - (16) 固有频率：系指由系统的质量和刚度所决定的振动频率， n 个自由度系统，一般具有 n 个固有频率，从小到大顺序排列，分别称为第 1 阶(节)固有频率、第 2 阶(节)固有频率，……第 n 阶固有频率等等。
 - (17) 振动模态：系指系统振动特性的一种表征，它由系统的特征值和相应的特征矢量所决定。
 - (18) 振幅：系指简谐振动的最大值。
 - (19) 相对振幅：系指系统中某点振幅与参考点振幅的比值。
 - (20) 振型：系指对某一振动模态，由各点相对振幅所描述的图形。
 - (21) 节点：系指系统某振型中相对振幅为零的位置。
 - (22) 波腹：系指系统某振型中相对振幅最大的位置。
 - (23) 共振：系指系统作强迫振动时，激励频率有任何微小改变均会使系统响应下降的振动状态。
 - (24) 共振频率：系指出现共振时的频率。
 - (25) 共振转速：系指激起共振时的转速，亦称临界转速。
 - (26) 圆频率：系指每 2π 秒振动的次数，用 rad/s 或 $1/\text{s}$ 表示；亦称角频率。
 - (27) 相位：系指将自变量的某值作为基准值来测量时，周期函数的超前的周期分数值，用度表示；亦称相角。
 - (28) 相位差：系指同频率的两个周期函数的相角之差，亦称相角差。

1.2 振动基础

1.2.1 简述

实际系统是十分复杂的,完全按其本来面目进行振动分析既不可能,也不必要。为此,必须首先建立能代表实际系统的简化的力学模型。这个模型应保持原系统的基本振动特性,但又不过于复杂。简化的程度取决于原系统的复杂程度、要求分析的精度以及拥有的计算手段。

简化模型一般可分为两大类。离散系统模型和分布系统模型,前者又可分为集总参数模型与有限元模型。

集总参数模型由三种基本元件组成,即惯性元件(集中质量)、阻尼元件(没有质量的阻尼器)、弹性元件(没有质量的弹簧)。它们分别以 M 、 C 、 K 来表示。

分布系统模型由分布参数元件组成,分布参数元件通常是指质量、刚度均匀分布或按一定规律分布的连续弹性体。

显然对于同一实际系统,可以根据不同需要简化为几种不同的模型。在大多数情况下,都可近似离散为一多自由度系统,甚至可以简化为一单自由度系统。

在振动分析中单自由度系统的振动特性具有基础性,由它可以建立振动的许多基本概念。

分布系统虽然理论上有无穷多个固有频率,但具有实际意义的只有几个低阶固有频率及其相应的振型。

1.2.2 单自由度系统自由振动

图 1.2.1 为一单自由度系统。

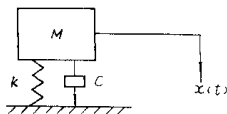


图 1.2.1 单自由度系统

其运动方程式为

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = 0 \quad (1.2.1)$$

式中: M ——质量, kg;

C ——粘性阻尼系数, Ns/m ;

K ——刚度, N/m ;

Qx, \dot{x}, \ddot{x} ——质量 M 离静平衡位置的位移(m)、速度(m/s)、加速度(m/s^2)。

如忽略系统阻尼,则振动位移 $x(t)$ 随时间的变化可用下式描述:

$$x(t) = A \sin(\omega_n t + \varphi_0) \quad (1.2.2)$$

式中: A ——振幅,按下式计算:

$$A = \sqrt{[x(0)]^2 + \left[\frac{\dot{x}(0)}{\omega_n}\right]^2} c$$

ω_n —— 系统无阻尼固有圆频率；

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (1.2.3)$$

φ_0 —— 无阻尼自由振动初相角, $\varphi_0 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega_n x(0)}{\dot{x}(0)}$

其中: $x(0)$ —— $t = 0$ 时的初始位移;

$\dot{x}(0)$ —— $t = 0$ 时的初始速度。

这是一个简谐振动, 振动圆频率 ω_n 仅取决于系统的质量、刚度, 而与初始条件无关。

如考虑阻尼, 将式(1.2.1)改写为:

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0 \quad (1.2.4)$$

式中: ξ —— 阻尼比, 按下式计算:

$$\xi = \frac{C}{2M\omega_n} = \frac{C}{2\sqrt{MK}} \quad (1.2.5)$$

在大多数工程实际问题中阻尼比 ξ 均远小于 1, 此时, 振动位移随时间的变化可用下式描述:

$$x(t) = A_1 e^{-\xi\omega_d t} \sin(\omega_d t + \varphi_1) \quad (1.2.6)$$

式中: A_1 —— 振幅, 按下式计算:

$$A_1 = \sqrt{[x(0)]^2 + \frac{1}{\omega_d^2} [\dot{x}(0) + \xi\omega_n x(0)]^2}$$

ω_d —— 系统有阻尼固有圆频率:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (1.2.7)$$

φ_1 —— 有阻尼自由振动初相角, 按下式计算:

$$\varphi_1 = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{\omega_d x(0)}{x(0) + \xi\omega_n x(0)} \right)$$

其余符号意义与式(1.2.2)相同。

这是一个振幅值随时间按指数规律衰减的振动。其时间历程如图 1.2.2 所示, 振动圆

频率 ω_d 小于 ω_n , 但实际问题中, 一般可不考虑它们间的微小差别。

1.2.3 单自由度系统简谐激励下的振动响应

简谐激励的作用下有限阻尼单自由度系统如图 1.2.3 所示。

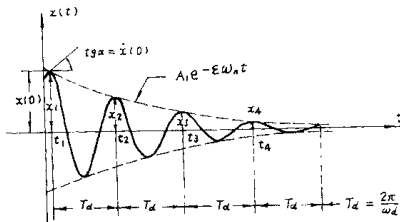
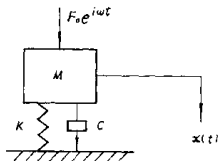


图 1.2.2 有限阻尼自由振动



1.2.3 简谐激励作用下有限阻尼单自由度系统

单自由度系统在简谐激励下的运动方程为：

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_0 e^{i\omega t} \quad (1.2.8)$$

式中： F_0 ——激励的幅值；

ω ——激励的圆频率；

其余符号意义与(1.2.1)式同。

其稳态振动响应为：

$$x(t) = A_2 e^{i(\omega t - \varphi_2)} \quad (1.2.9)$$

式中： A_2 ——振幅；

$$A_2 = \frac{A_H}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (1.2.10)$$

其中: A_{st} ——静位移, $A_{st} = \frac{F_0}{K}$;

φ_2 ——强迫振动初相角,按下式计算:

$$\varphi_2 = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \right) \quad (1.2.11)$$

φ_2 随频率比变化的曲线称相频特性曲线,如图 1.2.4 所示。

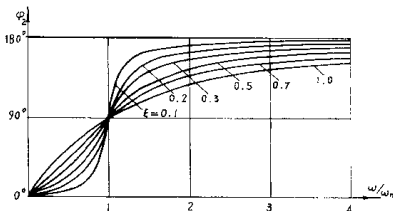


图 1.2.4 相频特性曲线

系统的振动响应也常用动态放大系数 T_m 表示:

$$T_m = \frac{A_2}{A_{st}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (1.2.12)$$

它随频率比 ω/ω_n 的变化曲线称幅频特性曲线,如图 1.2.5 所示。

当 $\omega = \omega_n$ 时,式(1.2.12)可写成:

$$T_m = \frac{1}{2\xi} = Q \quad (1.2.13)$$

式中 Q 称品质因子,可用以描述系统阻尼特性。

1.3 船上振动与激励关系

1.3.1 由于船舶本身是一个复杂的弹性系统,在激励作用下引起的某一局部结构或设备的振动响应对另一局部结构或设备来说可能是个继发性的激励,而且各种不同类型的振动之间还可能存在着耦合关系。因此船上各部分之间的振动关系是错综复杂的,但又是设计人员

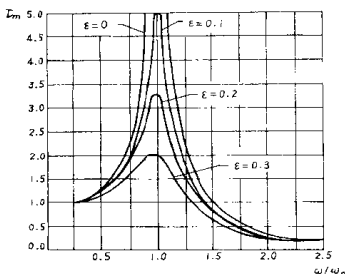


图 1.2.5 幅频特性曲线

开始就应引起注意的问题。

1.3.2 船舶振动的激励源有原发性的,也有继发性的,它们会引起局部性或整体性的振动。对船舶来说,不但要求原发性激励源引起的振动是可接受的,同时也要求由继发性激励源引起的振动是可以接受的。

(1) 原发性激励主要有:

- 主机激励;
- 辅机激励;
- 泵激励;
- 电动机激励;
- 螺旋桨激励;
- 舵激励;
- 紊流激励。

(2) 继发性激励主要包括:

- 轴系纵向振动;
- 轴系扭转振动;
- 轴系回旋振动;
- 柴油机机架横向振动;
- 柴油机机架纵向振动。

1.3.3 为了有利于分析、判断和限制船上有害振动的产生,并对船上出现的振动有一个总概念,图 1.3.1 展示了船上可能出现的一些主要激励及其振动的关系。

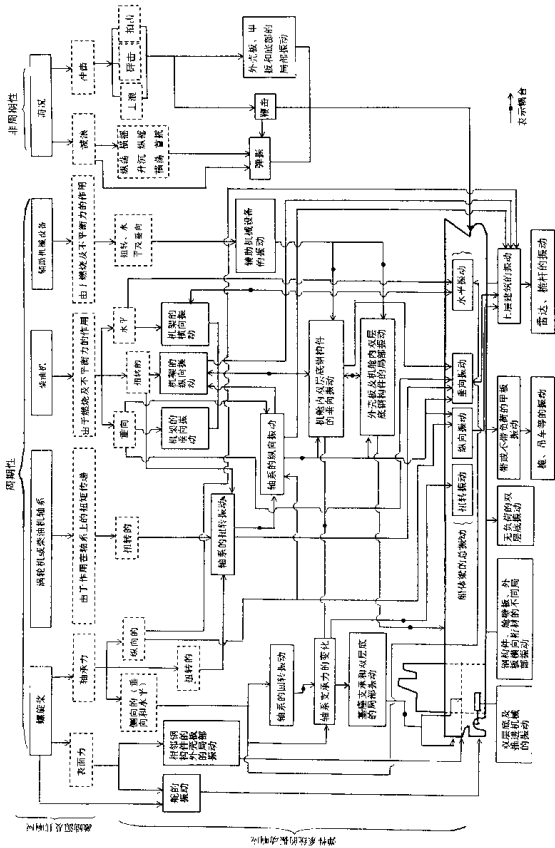


图 1.3.1 船上出现的主要激励及其与激励的关系

第 2 章 振动控制流程

2.1 概述

为指导船舶设计、制造、营运部门对新设计建造的船舶或营运船可能产生的影响船舶正常营运的船舶振动(船体总振动、局部振动及各种机械和轴系的振动)进行有效的控制,制定了振动控制流程。

本流程按船舶的设计阶段也划分为 4 个阶段,即报价设计阶段、合同设计阶段、详细设计阶段和生产设计阶段。在每个设计阶段中,按照所完成的图纸与已知数据进行相应的振动计算,预报船舶振动特性,然后按衡准进行评价,提出存在的问题、采取必要的措施和提出进一步研究的方向。

一般情况下,除非有相当一致的母型船振动资料(包括振动研究报告、详细的振动计算或实船振动测试报告),否则,对新设计船舶振动特性的了解,总是随着设计过程的逐步深入而逐渐深化的。

对新设计的船舶的振动研究有如下几点说明:

(1) 由波浪引起的船舶振动,虽然也可能导致有害振动,但一般可通过改变船舶航速和航向来减小。因此本指南未将其列为专门研究项目,设计者如需考虑,请参阅其他有关文献和资料。

(2) 一般而言,船体耦合振动是较复杂的问题,其计算费用较昂贵、耗时时也较多。因此,一般只对某些重要产品或专题研究才作完整的耦合振动分析。但应用流固耦合方法及附连水质量对船体振动的影响将成为工程中常用的方法。

(3) 设计者可根据具体情况参考本流程的部分过程或全过程进行船上振动控制研究,也可只对本流程指出的部分内容进行研究。

2.2 报价设计阶段

2.2.1 简述

本阶段属方案设计初期,设计者应根据产品设计任务书(其中应给出船舶航区、设计性能指标、使用要求和船上可能采用的主要设备和推进系统),收集有关的母型船资料 and 主要设备的技术资料,在决定主尺度 and 选择主机机型时,估算船体梁振动固有频率,防止船体低阶固有频率和激励频率相等而产生船体梁低阶共振。同时应尽可能选择惯性力和惯性力矩得到平衡的柴油机为船舶主机。

2.2.2 振动控制设计研究内容

本阶段不可能对船体和机械设备作详细的振动计算,但本阶段决定的船舶要素及主机对船舶振动特性有重要影响;首先是船体梁振动的固有频率,其次是主机的激励。船体梁振动固有频率的计算本阶段只能使用基于统计而得的经验公式(详见第 11 章),它们大都基于实船振动测试数据加以统计分析而得到。当有母型船的实测数据或母型船的振动特性详细计算资料,则也可按母型船进行换算。主机激励则可按机型由有关资料直接计算(详见第 4 章)。

通过以上估算,可对设计船的振动状况作出初步预报。如果预计会发生严重的振动情况,则应及时调整方案,使问题尽可能在本阶段解决。若是因客观条件限制而不能在本阶段改善

不利状况,则应将存在问题指出,并提交下一个设计阶段作进一步研究。

2.3 合同设计阶段

2.3.1 简述

本阶段将在报价设计的基础上,根据船东的意见,按照有关的要求,确定船舶主尺度,完成总布置图,结构形式、构件尺寸和主要结构图纸,主要机电设备和机舱布置图,轴系布置图,螺旋桨图(或草图)。在此基础上可对引起船舶振动的各项激励,船体总振动,典型的局部振动,轴系扭振、纵振和回旋振动,进行较详细的计算和研究,如不满足要求,必须采取改进措施。

虽然本阶段对船舶振动各个方面都进行详细计算的条件还不完全具备,但本阶段所完成的图纸对船舶振动有决定性的影响,本阶段对振动预防的研究应持十分认真和慎重的态度。即应:

- (1) 要把船舶振动问题连同船舶技术性能、经济性、安全和防污染等诸方面综合考虑;
- (2) 对没有把握的问题应采取多种方法进行计算和分析比较;
- (3) 要留有一定的余地,以便万一产生不利情况时还能采取改进措施,并尽可能预估到所采取措施的效果和其对船舶性能的影响。

2.3.2 振动控制设计研究内容

(1) 线型、伴流及螺旋桨激励

按照已设计的线型,估算螺旋桨的主要参数、伴流场及螺旋桨激励(详见第3章),尽可能改善船尾伴流场的均匀度;注意桨数和尾型的配合,如单桨船尾型一般不能采用V型,而要用U型;同时还应考虑修改螺旋桨的参数,螺旋桨叶梢离船壳板间隙应满足规范要求,若间隙过小,则应减小螺旋桨直径,增加叶梢间隙,或设置避振穴。

(2) 柴油机激励

按照已选定的主机和柴油发电机组,计算柴油机的激励及其频率,包括由运动部件引起的不平衡惯性力和力矩及气体压力对气缸壁的侧压力和倾覆力矩(详见第4章)。若不满足要求,则应考虑更改机型,或增设平衡装置,或采用隔振装置。对长冲程或超长冲程低速大型柴油机,则还需计算机架振动(详见第5章),力求避免和减小机架振动对船体的二次激励,必要时可考虑在机架上部设支撑。

(3) 轴系振动

按轴系图纸,用程序计算轴系扭转、纵向和回旋振动的固有频率及其响应(详见第6、7、8章)。若不能满足规范要求,则应修改设计或增设减振措施。要考虑和计及轴系振动对船体的二次激励。

(4) 固有频率计算

按照已给出的图纸、资料,用程序计算船体梁固有频率(详见第11章)及上层建筑、机舱框架、机舱底板、螺旋桨上方船底壳板等典型结构的局部振动固有频率(详见第12、13章),并与各个激励频率相比较,防止在营运转速范围内两者相同或相近(频率储备要求见第14章)。当不满足时,对总振动,若固有频率较难改变,则应考虑改变激励频率,如改变齿轮箱传动比和螺旋桨叶数;对局部振动则可通过改变结构型式改变固有频率。

2.3.3 振动控制的考虑

本阶段在船舶设计过程中是决定船舶防振性能的关键阶段,设计者在综合考虑各技术指标和船舶性能的同时,应尽可能把总体方面的振动问题,诸如船体总振动、上层建筑振动、主机

激励、螺旋桨激励、轴系振动激励等加以解决。此时虽然设计方案已确定,主尺度、总布置、主要设备型号等已不容作大幅度变动,但设计者在本阶段仍可从以下几个方面调整设计,防止产生有害振动。

- (1) 线型和螺旋桨设计的修改,如上述;
- (2) 总布置的局部调整,如舱室布置、重量分布、主机位置等;
- (3) 结构设计的调整和修改,如上层建筑结构、尾部结构、机舱船底板架、轴系质量及刚度、轴承位置等;
- (4) 因调整受到限制而采取的减振措施,如隔振器、避振穴等。

2.4 详细设计阶段

2.4.1 简述

本阶段全船船体、轮机、电气和各种设备的详细图纸设计将全面展开,振动控制工作的特点和应注意的方面主要包括如下:

- (1) 利用有关的计算程序精确计算船体梁振动和大型结构(部件)振动。
- (2) 局部结构,例如螺旋桨上方船壳外板、机舱船底板架等螺旋桨激励和主机激励直接作用区域结构应作振动分析,以便及时发现问题,消除隐患。
- (3) 螺旋桨激励是船舶振动的主要激励之一,修改螺旋桨设计(叶数、直径、转速等)常是减小船舶振动,尤其是尾部振动的一种有效措施。
- (4) 对于主机机架和轴系振动,既要关注其本身的振动响应,又要注意它们可能成为激励船体振动的继发性激励源。
- (5) 若拟通过增设减振装置减小船舶振动,则有必要根据实际结构进行详细的振动计算,并拟订今后的实船试验计划。

2.4.2 振动控制设计研究内容

(1) 振动的详细计算

- ① 伴流场及螺旋桨激励;
- ② 船体梁振动固有频率及响应;
- ③ 上层建筑纵向振动固有频率;
- ④ 船体尾部振动响应;
- ⑤ 轴系校中和振动的送审计算;

(2) 柴油机机架及其它机械设备振动

柴油机机架的横向和纵向振动将对船体产生二次激励,尤其是长冲程及超长冲程低速大型柴油机,建议在本阶段要进行详细的计算,避免机架的共振。

船上的各种设备和机械,包括泵、管道,在运转时都能产生机械、电磁和流体激励,其激励幅值一般较小,影响范围也不大,但其频率各异,且频率分布范围较广,若其中某一激励频率与船体某一结构固有频率相等或相近,则会激起该结构的共振。故应对各种机械设备的振动加以关注,尽可能避免上述共振的发生。

(3) 局部结构固有频率及响应

根据需要,选择进行下列计算:

- ① 机舱内船底板、内底板及板架、舱壁板和平台板架等;
- ② 上层建筑甲板和围壁;