

船舶振动预报

海洋出版社

U661.4

243479

Y99

船舶振动预报

恽伟君 译

周祖逵 校



海洋出版社

1985 年·北京

内 容 提 要

本书是由 1980 年挪威船级社 (NV) 制订的“船舶有害振动预防措施” (Prevention of Harmful Vibration in Ships) 和 1979 年法国船级社 (BV) 制订的“限制船舶振动影响的设计建议” (Recommendations Designed to Limit the Effects of Vibrations on Board Ships) 两部分组成。书中根据大量实船营运中存在的振动问题, 总结了预防振动的一系列简单而实用的计算公式和实际措施。

本书适于船舶研究、设计、教学、航运、造船等部门的技术人员及管理人员阅读, 也适于从事振动研究、设计工作的科技人员参考。

责任编辑: 刘莉蕾

责任校对: 金玉筠

船 舶 振 动 预 报

恽伟君 译

周祖逵 校

海 洋 出 版 社 出 版 (北京市复兴门外大街 1 号)

新华书店北京发行所发行 清华大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 7 5/8 插页: 1 字数: 170 千字

1985 年 9 月第一版

1985 年 9 月第一次印刷

印数: 1200

统一书号: 13193·0523 定价: 2.00 元

译者前言

近年来,随着造船工业的迅速发展,对船舶制造质量提出了愈来愈高的要求。作为建造船舶质量的重要标志之一就是船舶振动是否已限制在允许的量级。

减小船舶振动既是以船为“家”的船员们所期待的,也是广大从事船舶科研、教学、设计、营运部门的技术人员所致力目标。然而,船舶振动是很复杂的,它不仅涉及到船舶的振源,如螺旋桨、主机、海浪等各种因素,也涉及到船舶结构设计是否合理。它是一个由无限多谐振器组成的复杂系统,因此稍不注意就会出现激振力与某一谐振器发生共振。一旦出现这种情况,将不得不采取改变结构或掉换螺旋桨、主机等代价甚为昂贵的措施。

但是,船舶振动并非是不可预知的。从大量营运船舶的振动中,即可总结出一些十分有益的经验。《船舶有害振动预防措施》和《限制船舶振动影响的设计建议》就是根据这些经验总结出的指导性文件。该两本文件对于我国正在开展的船舶振动预报工作以及满足广大船舶设计工作者掌握船舶振动有关知识的要求是大有裨益的。为此我们翻译了这两本文件。

本书翻译出版过程中承恽福宝、钱宗保两同志绘制了大量插图,胥加华和俞则人、郭振玲、崔福兰等同志协助整理,在此谨表示衷心感谢。

译者

1984.5

目 录

船舶有害振动预防措施 (挪威船级社)

1. 总论	(1)
1.1 序言	(1)
1.2 定义	(2)
1.3 振动原理	(5)
2. 振动检验程序	(10)
2.1 概述	(10)
2.2 设计概念研究 (阶段 I)	(12)
2.3 初步设计研究 (阶段 II)	(16)
2.4 最终设计研究 (阶段 III)	(17)
2.5 实例	(18)
3. 激振源	(25)
3.1 概述	(25)
3.2 螺旋桨	(26)
3.3 主机	(39)
4. 轴系振动	(42)
4.1 概述	(42)
4.2 纵向振动	(42)

4.3 扭转振动.....	(47)
4.4 回转振动.....	(48)
5. 船舶结构振动.....	(50)
5.1 概述.....	(50)
5.2 船体梁振动.....	(50)
5.3 上层建筑振动.....	(57)
5.4 局部结构振动.....	(62)
5.5 尾部强迫振动.....	(65)
6. 结构考虑.....	(68)
6.1 概述.....	(68)
6.2 尾部和上层建筑的刚度和支撑.....	(68)
6.3 滚装船上层建筑的刚度和支撑.....	(70)
6.4 上层建筑的局部甲板区域.....	(71)
6.5 尾尖舱结构的设计细则.....	(72)
7. 衡准.....	(78)
7.1 概述.....	(78)
7.2 人体反应.....	(78)
7.3 螺旋桨的压力脉动 尾部振动.....	(82)
7.4 螺旋桨的压力脉动 尾尖舱结构.....	(84)
附录 I 挪威船级社 (VERITAS) 编制的计算机程序.....	(87)
附录 II 简易估算螺旋桨脉冲的实例.....	(93)

限制船舶振动影响设计的建议 (法国船级社)

前言.....	(105)
第一章 引论.....	(107)
1.1 船舶振动概论.....	(107)
1.2 振动力学的基础.....	(109)
1.3 本指导文件的内容.....	(113)
1.4 符号.....	(113)
1.4.1 流体动力学.....	(114)
1.4.2 力学.....	(115)
1.4.3 等量换算.....	(120)
第二章 振动的激励.....	(122)
2.1 概述.....	(122)
2.2 激励源的分析.....	(122)
2.2.1 螺旋桨产生的激励.....	(122)
2.2.1.1 尾流场概论.....	(122)
2.2.1.2 由螺旋桨通过轴系产生的激振.....	(123)
2.2.1.3 螺旋桨产生的船体结构上 的压力脉动.....	(124)
2.2.1.3.1 推力(P) r 引起的压力脉动	(124)
2.2.1.3.2 叶片厚度引起的压力脉动	(125)
2.2.1.3.3 无空泡船体表面脉动	(125)
2.2.1.3.4 空泡的压力脉动	(125)
2.2.1.3.5 船体涡流压力脉动	(126)
2.2.1.3.6 导管螺旋桨	(126)

2.2.1.3.7 尾轴隧下的螺旋桨	(126)
2.2.1.4 螺旋桨对附加装置产生的 脉动影响.....	(126)
2.2.2 主机产生的激励.....	(127)
2.2.2.1 一次激励.....	(127)
2.2.2.1.1 自由力和自由力矩	(127)
2.2.2.1.2 内力矩	(139)
2.2.2.1.3 横向力矩	(139)
2.2.2.2 二次激励.....	(134)
2.2.2.3 在船体梁钢结构上的主机产生的 激励作用	(134)
2.2.3 波浪引起的振动激励.....	(136)
2.2.3.1 冲荡振动.....	(137)
2.2.3.2 弹跳振动.....	(138)
2.3 激振的预防.....	(138)
2.3.1 螺旋桨产生的激振预防.....	(138)
2.3.1.1 尾流场的改进.....	(139)
2.3.1.1.1 单桨船的尾部形状	(139)
2.3.1.1.2 改善尾流场的其他装置	(144)
2.3.1.1.3 双桨船	(144)
2.3.1.2 传递给轴系的螺旋桨激振预防.....	(144)
2.3.1.2.1 叶片数	(144)
2.3.1.2.2 展开的叶片面积	(145)
2.3.1.2.3 叶片的侧斜角	(145)
2.3.1.2.4 螺旋桨直径	(146)
2.3.1.2.5 螺旋桨和舵之间的间隙	(146)
2.3.1.2.6 螺旋桨和船体之间的轴向间隙	(146)
2.3.1.3 压力脉动对船体结构的激励的预防.....	(146)

2.3.1.4 对传递到桨的附连装置上	
的激励的预防.....	(147)
2.3.1.4.1 轴支架的支撑	(147)
2.3.1.4.2 桨后舵	(147)
2.3.2 主机产生的激励预防.....	(148)
2.3.2.1 主机制造厂提供的资料.....	(148)
2.3.2.2 船厂进行的研究或采取的措施.....	(148)
2.3.3 海浪产生的激振预防.....	(151)
2.3.3.1 冲荡振动的预防.....	(151)
2.3.3.2 弹跳振动的预防.....	(151)
2.3.3.3 预防冲荡振动和弹跳振动	
现象的困难.....	(152)
2.4 减小激励.....	(153)
2.4.1 减小螺旋桨产生的激励.....	(153)
2.4.1.1 尾流场的改进.....	(153)
2.4.1.2 螺旋桨的修正.....	(154)
2.4.1.3 在尾尖舱外板上的开口	(154)
2.4.2 减小由机器产生的激励.....	(155)
2.4.2.1 概述.....	(155)
2.4.2.2 采取的措施.....	(155)
2.4.3 减小波浪引起的激励.....	(156)
第三章 推进装置和辅机的响应.....	(158)
3.1 概述.....	(158)
3.2 响应分析.....	(160)
3.2.1 桨-舵	(160)
3.2.2 轴系.....	(161)

3.2.2.1 扭转振动.....	(161)
3.2.2.2 纵向振动.....	(161)
3.2.2.3 侧向振动和进动(回旋振动).....	(161)
3.2.2.4 关于轴系性能的静动现象的 相互依赖.....	(164)
3.2.3 柴油机.....	(164)
3.2.3.1 直接驱动的低速或中速机.....	(164)
3.2.3.2 齿轮传动的中速或高速机.....	(165)
3.2.3.3 辅机.....	(165)
3.2.4 蒸汽涡轮机.....	(165)
3.2.5 燃汽轮机.....	(165)
3.2.6 传动装置.....	(165)
3.2.6.1 具有蒸汽涡轮机或燃汽轮机 或柴油机推进设备的传动装置.....	(165)
3.2.6.2 辅机的传动装置.....	(166)
3.2.7 联结器.....	(166)
3.2.8 锅炉(主锅炉、辅锅炉、 废汽锅炉).....	(166)
3.2.9 冷凝器、热交换器.....	(167)
3.2.10 辅助设备.....	(167)
3.2.11 各种管系.....	(167)
3.2.12 仪器.....	(167)
3.2.13 噪声.....	(167)
3.2.14 振动级监控(条件监控).....	(168)
3.3 响应的预防.....	(168)
3.3.1 螺旋桨-舵.....	(168)
3.3.2 轴系.....	(169)

3.3.2.1 轴系和基座合理结构的确定	(169)
3.3.2.2 静力研究	(171)
3.3.2.3 动力研究	(174)
3.3.2.4 振动研究	(177)
3.3.3 柴油机	(177)
3.3.3.1 无齿轮传动的低速或中速柴油机	(177)
3.3.3.2 有齿轮传动的中速或高速柴油机	(178)
3.3.3.3 辅机	(178)
3.3.4—3.3.12 机舱其他装置	(178)
3.3.13 噪声	(179)
3.3.14 振动级的预防管理 (条件监测)	(179)
3.4 响应的减小	(179)
3.4.0 概述	(179)
3.4.1 螺旋桨——舵	(180)
3.4.2 轴系	(181)
3.4.3 柴油机	(181)
3.4.3.1 低速和中速直接驱动机	(181)
3.4.3.2 带齿轮传动的中速或高速机	(182)
3.4.3.3 辅机	(182)
3.4.4—3.4.12 机舱的其他装置	(182)
3.4.13 噪声	(183)
3.4.14 振动级的预防管理 (条件监控)	(183)
第四章 船体结构响应	(184)
4.0 引论	(184)
4.0.1 概述	(184)
4.0.2 本章摘要	(184)

4.1 限界	(185)
4.1.1 同船员不舒适有关的允许加速度	(185)
4.1.2 结构的最大允许振幅	(188)
4.1.3 主机和装置的允许振动速度	(188)
4.2 船舶结构振动的分析	(188)
4.2.1 船体梁振动	(189)
4.2.2 子部件振动	(190)
4.2.3 局部振动	(191)
4.3 振动预防	(191)
4.3.1 引论	(191)
4.3.2 建议	(192)
4.3.2.1 预防激振的一般建议的回顾	(192)
4.3.2.2 预防结构振动的有关建议和措施	(192)
4.3.2.2.1 概述	(192)
4.3.2.2.2 一般建议	(192)
4.3.2.2.3 轴系和推进机械机座的钢结构	(193)
4.3.2.2.4 机舱结构和船体尾部结构	(195)
4.3.2.2.5 上层建筑的钢结构	(196)
4.3.2.2.6 机舱棚的结构	(198)
4.3.2.2.7 小船的特殊情况	(198)
4.3.3 自由振动预报	(199)
4.3.3.0 概述	(199)
4.3.3.1 半经验公式或方法	(200)
4.3.3.1.1 船体梁振动	(200)
4.3.3.1.2 部件振动	(200)
4.3.3.1.3 局部振动	(200)
4.3.3.2 精确计算方法	(208)
4.3.3.2.1 用迁移矩阵法计算船体梁振动	(208)

4.3.3.2.2	用有限元法计算船体梁振动	(209)
4.3.3.2.3	用有限元法计算部件振动	(209)
4.3.3.2.4	用有限元法计算局部振动	(210)
4.3.3.3	试验过程	(210)
4.3.4	振动级的预报	(211)
4.3.4.1	激励力预报的回顾	(211)
4.3.4.2	当前预报振动级的可能性	(211)
4.4	减振	(212)
4.4.1	振动原因的研究	(212)
4.4.1.1	激励	(212)
4.4.1.2	结构响应	(213)
4.4.1.2.1	计算	(213)
4.4.1.2.2	船体测量	(213)
4.4.2	建议	(214)
4.4.2.1	大功率激励级	(214)
4.4.2.2	大的振动响应	(215)
4.4.2.2.1	减小振幅	(215)
4.4.2.2.2	减小动应力	(216)
4.4.2.3	特殊建议	(216)
附录 在本指导文件涉及的领域中, 法国船级社进行理论和试验研究的目录 (各种研究参照本指导文件各章)		(218)

1. 总 论

1.1 序 言

1.1.1 在大多数情况下，激起的振动并不致于产生任何有害的影响。然而，在营运船舶中存在振动问题时，则将首先会影响到以下几个方面：

- (1) 引起全体船员的烦恼和降低舒适性。
- (2) 使结构和机械部件产生疲劳损伤。
- (3) 机械部件与设备发生故障和增加维护保养。

这些情况下，减轻振动影响的有关措施，常常是费时耗财的。

1.1.2 特别强调，在船舶的早期设计阶段获得船舶动态特性可靠的预报方法是重要的，因为在设计时，采取缓冲振动的措施，往往是行得通的，并能获得实质性的补救效果。

上述“设计阶段的控制”过程意味着大量参数的调试和误差处理。诸如：螺旋桨和主机激振的大小和频率、轴系和船舶结构等的振动特性等，以期寻找发动机（或螺旋桨、或船体）与上层建筑间的最佳配合。

1.1.3 对于营运中的船舶，选择的振动课题包含下述主要方面：

- (1) 船体、尾部和上层建筑的振动；
- (2) 居住舱室的振动；
- (3) 尾尖舱和货舱的振动；

(4) 机械故障。

1.1.4 在处理振动的现象时，要考虑激振力，结构响应，振动衡准三个重要的因素。

1.1.5 现已致力于制定一个用于各个设计阶段的振动检验程序，并说明如何使用简单的方程和经验公式，当然也参照了电算方法。

1.1.6 本指南的主要目的在于控制结构振动级，以避免结构损坏的危险和船员在有害振动中的暴露。所以，首先将主机和辅机系统作为结构振动的振源处理。

1.2 定 义

1.2.1 在处理振动现象时，必须使用振动方面的常用术语。本指南常用术语如下：

(1) 振动系统：包括质量和弹簧的任何系统（有阻尼或者无阻尼）。

(2) 固有频率 系统的自由振动频率。

(3) 激励 作用于系统的准周期变化或随机变化的力（力矩）。

(4) 谐波 基波或正弦曲线整数倍的波。

(5) 共振 在外激励周期量和系统固有频率之间一致的状态。

(6) 临界速度 出现共振时（机器、轴等）的速度。

(7) 超临界速度 运行在图 1—1 临界速度之上的速度。

(8) 亚临界速度 运行在图 1—1 临界速度以下的速度。

(9) 振动模态 同节点数有关的特性曲线图 (例如: 2 个节点的模态等), 图 1—2。

(10) 模态形状 相对的幅值曲线。

(11) 节点 振动零点的位置, 图 1—2。

(12) 波谷 振动最大值的位置, 图 1—2。

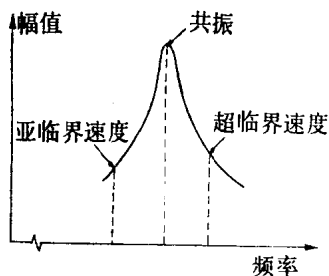


图 1—1 超亚激振

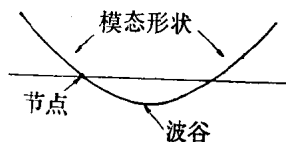


图 1—2 节点和波谷

(13) 振幅 正弦量 (位移、速度、加速度) 的最大值 (图 1—3)。

(14) 频率 每秒循环次数, 用 H_z 表示。

(15) 周期 振动一次所需要的时间, 图 1—3。

(16) 频谱 以频率函数描述的量, 图 1—4。

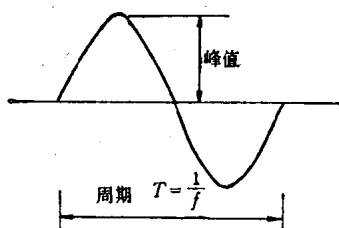


图 1—3 振幅

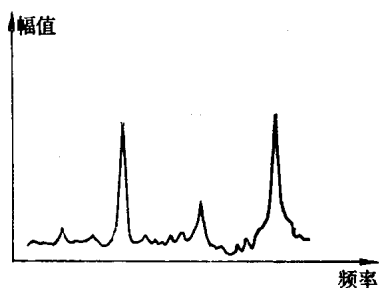


图 1—4 频谱

(17) 平稳振动 连续的周期振动, 图 1—5。

(18) 峰—峰值 量的端值间的代数差 ($a=2b$ 图 1—6)。

(19) RMS 值 均方根值 (正弦量峰值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$) , (即图 1—6 中的C)。

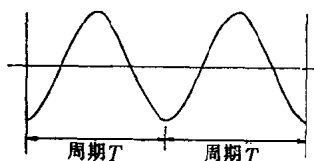


图 1—5 平稳振动

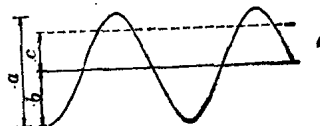


图 1—6 振幅定义

(20) $r/\min_e$ 机轴的每分钟转数。

(21) $r/\min_p$ 螺旋桨在每分钟的转数。

(22) 阶 以轴转速为单位的振荡数。

(23) 总振动 船舶的主要构件, 如船体梁、上层建筑的振动。

(24) 局部振动 船舶的次要构件, 如桁材、薄板、甲板的振动。

(25) A·P 尾垂线、露天甲板上最后端点位置的缩写。

(26) 压力幅值 螺旋桨引起的船体表面压力 (峰值) 的谐波分量 (也称为压力脉冲)。

(27) 全速范围 主机最大连续运行的额定转速的 90~100%。