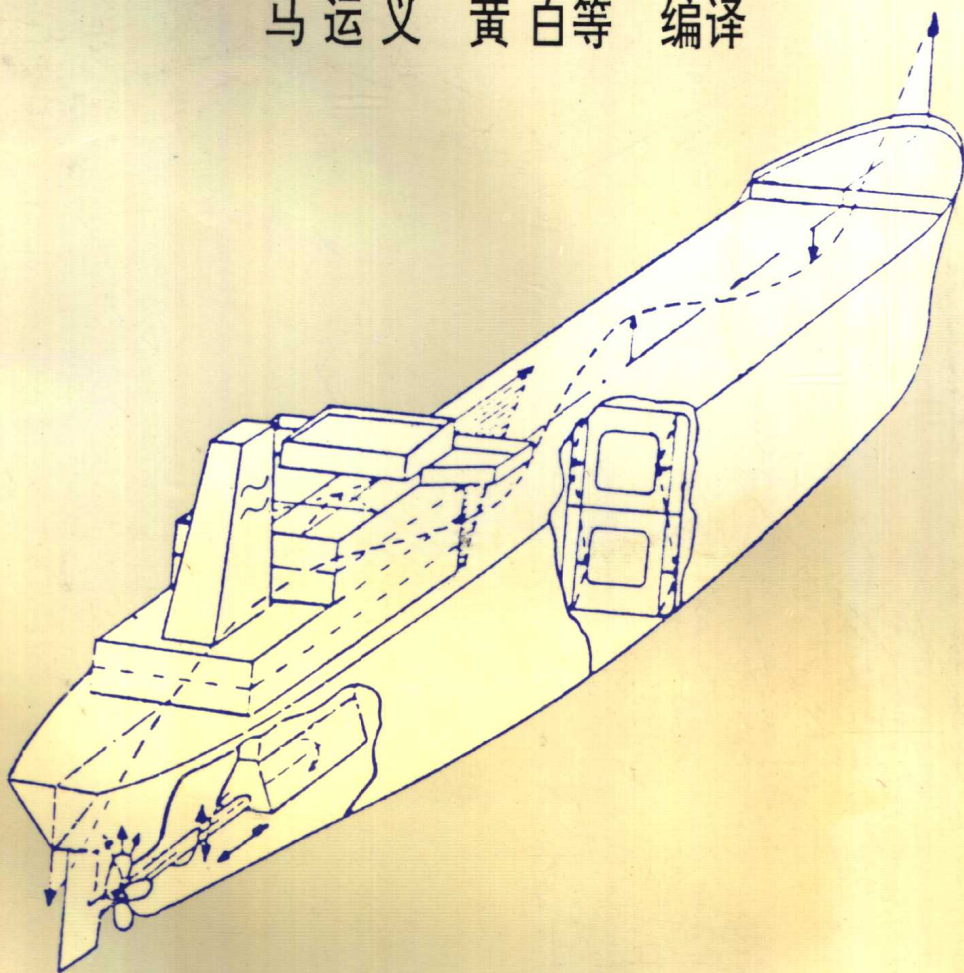


船舶振动控制

马运义 黄白等 编译



大连海运学院出版社

船舶振动控制

编译 马运义 黄白等

大连海运学院出版社

(辽) 新登字 11 号

内 容 提 要

本书由挪威委里塔斯船舶集团有关专家集体编写并于 80 年代后期出版。书中内容包括: 船舶运行中的振动问题; 船舶的主要激振源; 船体桁材振动的设计分析; 船舶上层建筑的振动; 轴系振动; 机械设备的减振; 流体系统的振动; 检测振动的仪器和测量技术; 以及对振动系统的分析和评估等。并汇集了有关固有频率的计算公式, 内容丰富、实用, 既有理论分析又有实船试验研究的最新成果, 实为船舶设计、建造人员、船东和检验人员难得的工具书。本书也可作为有关院校师生、海员、海军有关人员以及对此有兴趣的人员的参考书。

VIBRATION CONTROL IN SHIPS
BY
VERITASMARINE TECHNOLOGY CONSULTANTS

船舶振动控制

(挪威)委里塔斯船舶集团编著

编 译: 马运义 黄白等

责任编辑: 马定元 陈崇铨

封面设计: 郭俐虹

大连海运学院出版社出版发行

武汉水运工程学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 17

字数: 425 千 印数: 1~1500

1992 年 2 月第 1 版 1992 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 7-5632-0476-8/U·88

定价: 15.00 元

编译者的话

本书由挪威委里塔斯(VERITAS)船舶集团有关专家编写并于1985年3月出版。全书由九章和两篇附录组成。其内容是按照对船舶振动源的分析(包括理论的探讨和有关实验的验证)和应采取减振的具体措施而编排的。每章篇首均附有简短的概要,统领全章所讨论的基本内容,十分洗炼和实用。

书中既配有理论性背景材料、参考数据和计算公式,又配有船模试验结果、设计参数和近50艘不同类型船舶的实船试验研究的最新成果。它实质是一本船舶振动控制方面的难得的实用工具书。

减小振动,降低噪声,改善船上环境,提高民用船舶的适居性,提高军用舰艇的隐蔽性和适居性,一直是我国造船界、航运界、有关院校和海军部门十分关注的问题。但是,迄今为止,我们尚未发现有象本书这样阐述控制船舶振动内容如此丰富、完整和实用的好书。完全可以预料,本书作为船舶振动控制的指南,无疑将会受到舰船设计师、造船师、船东、检验人员、海军和有关院校师生们的欢迎和喜爱。

全书约40万字,具有图文并茂,计算公式和数据兼备、理论和实际相结合的特点。

这本书是从1989年开始编译的。参加译校的有武汉船舶设计研究所的马运义、黄白、伏同先、罗忠钧和海军驻438厂军代表刁成山、林德银等同志。其中,第1、2、9章、附录A、附录B由黄白译,罗忠钧校;第3、4章由罗忠钧译,黄白校;第5章由马运义译,伏同先校;第6、7章由伏同先译,马运义校;第八章由刁成山、林德银译,伏同先校。

在本书译校和出版中得到了武汉船舶设计研究所领导和有关同志的关心、支持,在此向他们致以深切的谢意。

由于我们水平有限,再加上经验不足,时间仓促,缺点错误肯定不少,恳请广大读者提出宝贵意见。

1992年2月

前 言

本书的宗旨,是就怎样能控制船舶振动的问题,给读者以获取有效信息的途径。书中主要内容有:

1. 设计阶段的实用措施。
2. 在设计阶段对所推荐的计算方法的验证。
3. 船体结构和机械装置所能容许的振动水平的准则。
4. 人的敏感性所能接受的振动水平的准则。

本书可以作为一本实用的船舶防振方法的参考手册。因此,它包含有参考资料,有来自有关文献的摘录,还涉及到若干协会有关的实践经验。但就其主体而言,是基于委里塔斯(VERITAS)集团所积累的经验。

初稿于1979年完成。从那以后,对原稿作了两次修改:补充和修改了内容,并对各章节的意义作了说明。于1984年11月最后定稿发排。

本书由委里塔斯集团内的研究开发室和船舶室的专家们负责编纂。首刊稿得到了挪威科学技术研究委员会(NTNF)财政上的资助。

对于实际设计工作,建议采用委里塔斯指导原则“船舶有害振动的防护”中所规定的步骤进行。因而,目前这本书可作为系列丛书中的一册。

我们期望未来的读者能从本书中获取有用的东西。对于有益于以后版本改进的一切批评和意见,将受到最热忱的欢迎。

编者 1985年3月
于奥斯陆

梗 概

编写本书的目的是介绍船舶结构和船舶机械目前所采用的振动分析的“工艺状况”。

重点放在阐述较通用的分析方法上。这种方法又要以懂得基本的“物理原理”这类理论资料为依据。振动问题用船舶使用过程中的实际例子来加以说明。

本书不是另外一本振动教科书,也不是用来作为有限元方法的入门,而是针对工程师、造船师、船东、检验人员和未经振动分析培训过程的船员编纂的。其目的是要在振动专家和那些不常遇到“何时做和做什么”这种任务的其它专业工程师之间建立起良好的联系,用以改善船上的振动环境。

每章的篇首均附有一个简短的概要,以突出本章所讨论问题的基本特征。

第一章:“船舶和船舶系统的振动测量”——提出了船舶使用过程中遇到的振动问题,并对需要特别注意的事项作了介绍。

第二章:“船舶的主要激振源”——探讨了螺旋桨和主机的激振,同时对波浪引起的振动也作了简要的说明。描述了激振机理并指出了获取低激振设计的方法和措施。

第三章:“船体振动”——讨论了船体桁材振动的设计分析,并对结构特征,计算程序和评估结果也作了总的评说。

第四章:“船舶上层建筑的振动”——研讨了总体结构振动和局部结构振动设计分析的各个方面,并对结构特征,计算方法以及结果评估都作了评论。

第五章:“轴系振动”——讨论了轴系的扭转、纵向和旋转的振动。对计算和评估轴应力的方法,振动对轴系的元件、传动装置和联轴器的影响,连同建议性的意见也一并提了出来。

第六章:“机械设备的减振”——对隔振问题作了一定程度的处理,特别集中注意了分析方法的适用性、隔振器的性能、底座刚度和外加载荷的影响。对安装的实际工作也提出了建议性的意见。

第七章:“流体系统振动”——涉及到流体动力学的两个方面:即管路中的液体流动和油舱内的液体晃动。简要地解释了这些现象,略述了分析方法,并对减少动力的影响提出了建议。

第八章:“仪器和测量技术”——集中讨论了切实可行的步骤,并略述了用于数据处理的传感器、记录器和分析器的特性。

第九章:“关于振动评估指导原则的使用”——强调了要适当进行测量和对被控参考条件下的现象作充分描述的必要性,并突出了通晓指导原则应用范围的重要性。

术 语

一、基本术语

振幅: 一个正弦量的最大值, 即 $X = \sin \omega t$, 振幅 X 。

角频率(圆周频率): 一个正弦量的频率和 2π 的乘积, 即 $2\pi f = \omega$ 。

非周期振动: 一个确定的非周期振动。

带通滤波器: 为一个在从大于零的低截止频率到有限高的截止频率区域内有单纯传输带的滤波器。

临界阻尼: 对于单自由度系统, 其对应于有限条件的粘性阻尼量是一个自由振动的振荡和非振荡的过渡状态。临界线性粘性阻尼系数等于:

$$C_c = 2 \sqrt{mk} = 2m\omega_0。$$

式中 ω_0 是单自由度系统的无阻尼固有频率。

循环: 状态或数值的全过程。一个周期现象或功能通过这个过程后又完全重复其本身状态。

阻尼固有频率: 一个阻尼线性系统的自由振动频率。

阻尼: 能量随时间或距离的耗散。

阻尼比: 临界阻尼系数, 对于具有线性阻尼系统, 它是实际阻尼系数(C)对临界阻尼系数(C_c)的比值, 即:

$$\xi = \frac{C}{C_c}。$$

自由度: 估算某种数量所需的自变量的数目。

确定函数: 从它的前几次所知道的状态就可以预测其数值的一种函数。

位移: 是描述物体或物件相对于参照系而改变其位置的一种矢量。如果测得的量不是相对于原始参照系而是相对于某一参照系, 则这种位移标为相对位移。

滤波器: 是一种在频带上把振动分离开来的装置。通过它时, 在一个或一个以上的频带内, 振动衰减很小, 而在其它频率内, 振动衰减很大。

强迫振动: 由外部激振引起的稳态振动。对于线性系统, 其振动跟激振具有相同的频率。

傅里叶系数: 傅里叶级数的离散谐波分量的系数。

傅里叶级数: 就彼此调谐的离散频率分量而言, 是一种表示周期函数数值的级数。

傅里叶频谱: 把傅氏振幅描述为频率的函数。确定这个函数需要有两个傅里叶谱。它们或者是傅里叶频谱的实部和虚部合成的振幅频谱, 或者是由一个振幅绝对值和一个傅里叶相位角组成的频谱。

自由振动: 是一种消除了激振或约束后的振动。

基频: 对于周期量, 是基频周期的倒数。

(周期量的)谐频: 其正弦频率为基本频率的整倍数。

瞬态值:在某一给定瞬间的变量数值。

低通滤波器:在从零频率到某一有限频率范围内能使信号通过的滤波器。

量级:振动量的量级,是描述振动振幅的某种量度(如,平均绝对值,均方值,峰值等)。

均方值:某一给定间隔时间函数(或数组)的均方值等于该间隔时间该函数(或该数组)的平方值的平均值。(注:均方值是均方根值的平方)。

固有振形:一个系统自由振动时的振动形态。若该系统为零阻尼,其固有振形就和常态相同。

周期振动:是一种自变量的增量相等时重复发生的周期量。周期量 Y 是时间的函数,可表示为:

$$Y = f(t) = f(t + nA)$$

式中: n 为整数, A 为常数, t 为自变量。

相位角:正弦量向前变化值可从作为自变量数值中求得(α 角作为起始基准)。即:

$$Y = \sin(\omega t + \alpha); \quad \alpha = \text{相位角。}$$

随机振动:对某一给定瞬间其数量无法精确预测的振动。

简谐运动:随时间作正弦函数运动的运动。

单自由度系统:只需一个座标便能确定其在某一瞬间的完整形态的系统。

频谱:用来把某一数量描述为频率或波长的函数的谱。

时间关系曲线:表示时间函数的数量大小。

瞬态振动:一个不是稳态或随机系统的振动运动。

无阻尼固有频率:仅仅由于该系统的弹性力或惯性力而产生的自由振动的频率。

速度、相对速度:描述位移时间导数的矢量。在某一给定条件下,若不是按原始参照系而是按某一参照系测量出来的速度,则称为相对速度。

二、船舶专用术语

激振:施加给某一系统的周期的、准周期的、瞬态的或随机的力/力矩。

共振:外部激振与本系统固有频率吻合时的运动状态。

临界速度:有共振出现的(主机、轴等)速度。

超临界的:高于临界速度的运转。

亚临界的:低于临界速度的运转。

振动方式:与模态数(如两节点模态)有关的特征振动方式。

形状模态:相对的振幅曲线,即描述模态几何形状的曲线。

节点:形状模态曲线上的诸静止点。

腹点:形状模态曲线上具有最大位移的诸点。

阶数:每转中振动次数。

桨叶频率:激振频率等于 $\frac{\text{轴转速}}{60} \times \text{桨叶数}$ 的频率(轴转速以每分钟转数表示—RPM)。

使用者须知

每章总的编排方式如下：

- 概要
- 正文(+表+图)
- 符号及名称
- 表格
- 本章专用附录, 标为 A. N.。其中 N 表示章次, 即 A. 2。附录的编排与该章相同。
全部参考文献汇编成单独的目录单, 按章次排列, 附于本书的最后。
补充的理论性背景资料汇集于附录 A 和附录 B 之内, 列在参考文献目录单之后。

总 目 录

- 第一章 船舶和船舶系统的振动测量
- 第二章 船舶的主要激振源
- 第三章 船体振动
- 第四章 船舶上层建筑的振动
- 第五章 轴系振动
- 第六章 机械设备的减振
- 第七章 流体系统振动
- 第八章 仪器和测量技术
- 第九章 关于振动评估指导原则的使用
- 附录 A 振动系统的分析
- 附录 B 固有频率计算公式汇集

目 录

第一章 船舶和船舶系统的振动测量	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 问题的物理现象	(1)
1.3 特殊结构件及振动水平	(2)
1.4 机械和设备的振动	(4)
1.5 每章要旨	(4)
第二章 船舶的主要激振源	(11)
2.1 螺旋桨引起的振动	(11)
2.1.1 螺旋桨的激振力	(14)
2.1.1.1 传递给桨轴的水动力和力矩	(14)
2.1.1.2 传递给船体表面的水动力	(16)
2.1.1.3 螺旋桨引起的激振力的相对量值	(18)
2.1.2 选择参数的准则	(19)
2.1.2.1 伴流	(20)
2.1.2.2 螺旋桨	(21)
2.1.3 对叶频推进压力脉动的估算	(22)
2.1.4 容许激振水平的准则	(24)
2.1.4.1 船体尾部结构的局部振动	(24)
2.1.4.2 上层建筑振动	(25)
2.1.5 设计阶段的细节研究	(27)
2.1.6 减小船舶在运行中的螺旋桨激振力	(30)
2.1.6.1 更改螺旋桨	(30)
2.1.6.2 改善伴流	(30)
符号及名称	(32)
2.2 机器引起的振动	(33)
2.2.1 引言	(33)
2.2.2 发动机的力和力矩	(35)
2.2.2.1 内力和内力矩	(36)
2.2.2.2 导向力/力矩	(36)
2.2.2.3 点火脉冲	(37)
2.2.3 内外质量力矩的计算	(37)
2.2.4 支承力	(38)
2.2.4.1 旋转振动	(38)

2.2.4.2	扭转振动	(38)
2.2.4.3	轴的纵向振动	(39)
2.2.5	计算程序所需要的数据	(39)
	符号及名称	(39)
2.3	波浪引起的振动	(40)
2.3.1	导言	(40)
2.3.2	弹动振动	(40)
2.3.3	实际考虑	(41)
第三章	船体振动	(52)
3.1	船体桁材振动	(52)
3.1.1	船体桁材振动的类型	(52)
3.1.2	振动参数	(53)
3.1.2.1	导言	(54)
3.1.2.2	有效质量	(54)
3.1.2.3	周围水的附连质量	(55)
3.1.2.4	抗弯刚度——有效翼板	(56)
3.1.2.5	抗剪刚度	(56)
3.1.2.6	转动惯量	(57)
3.1.3	船体桁梁的固有频率计算	(57)
3.1.3.1	导言	(57)
3.1.3.2	计算尺公式	(58)
3.1.3.3	变宽度梁模型(通常称为集总的质量模型)	(61)
3.1.3.4	有限元模型	(63)
3.1.3.5	结果的比较	(63)
3.2	双层底振动	(66)
3.2.1	机舱里的双层底	(66)
3.2.1.1	导言	(66)
3.2.1.2	振动的类型	(66)
3.2.2	货舱的双层底	(67)
3.2.3	结果的比较	(68)
3.3	局部船体结构振动	(69)
3.3.1	导言	(69)
3.3.2	对结构的评论	(69)
3.3.3	简单计算	(70)
3.3.4	更精确的计算	(70)
附录A.3.1	经验的/近似的方法适用于船体振动附连水质量的计算	(71)
A.3.1.1	船的垂直振动的附连质量计算	(72)
A.3.2	计算船体频率的简单公式	(75)

A. 3. 2. 1	Sohlick 公式	(75)
A. 3. 2. 2	Todd 公式	(76)
A. 3. 2. 3	法国造船研究所 (IRCN) 公式	(77)
A. 3. 3	抗弯刚度的降低因素	(78)
第四章	船舶上层建筑的振动	(82)
4. 1	上层建筑的整体振动	(82)
4. 1. 1	引言	(82)
4. 1. 2	测得的上层建筑的响应	(82)
4. 1. 3	对结构的评论和固有频率的估算	(84)
4. 1. 4	共振频率的简单计算	(87)
4. 1. 4. 1	概述	(87)
4. 1. 4. 2	简单计算方法	(88)
4. 1. 4. 3	上层建筑共振计算的举例	(89)
4. 1. 4. 4	局限性	(90)
4. 1. 5	共振频率计算的改进	(91)
4. 1. 5. 1	概述	(91)
4. 1. 5. 2	设计计算举例	(94)
4. 1. 5. 3	与测量相关的问题	(95)
4. 1. 6	强迫振动计算	(96)
4. 1. 6. 1	螺旋桨力分布的影响	(96)
4. 1. 6. 2	上层建筑中的阻尼	(97)
4. 1. 6. 3	强迫振动计算的举例	(98)
4. 1. 6. 4	与实测响应的相互关系	(99)
4. 2	上层建筑的局部振动	(100)
4. 2. 1	引言	(100)
4. 2. 2	对结构的评论	(100)
4. 2. 3	共振频率的简单计算	(101)
4. 2. 3. 1	板和梁的计算	(102)
4. 2. 3. 2	桁材和防挠材的耦合振动	(102)
4. 2. 3. 3	正交各向异性板理论	(103)
4. 2. 3. 4	设备重量和边界条件	(103)
4. 2. 4	加强面板, 正交各向异性板理论	(104)
4. 2. 5	共振频率的有限元计算	(104)
4. 2. 6	强迫振动计算	(105)
附录 A. 4. 1	船体桁材和上层建筑的相互作用	(107)
A. 4. 2	共振频率的简单矩阵计算	(108)
第五章	轴系振动	(112)

5.1 扭转振动	(112)
5.1.1 激励源	(112)
5.1.1.1 轴向分量	(114)
5.1.2 振动计算	(115)
5.1.2.1 计算的数学模型和方法	(115)
5.1.2.2 低频振动——不规则的气缸冲击	(117)
5.1.2.3 内燃机和螺旋桨的相位	(118)
5.1.2.4 瞬态振动	(119)
5.1.3 主要参量	(120)
5.1.3.1 螺旋桨(附连水,阻尼)	(120)
5.1.3.2 曲轴系统	(121)
5.1.3.3 内燃机阻尼	(121)
5.1.3.4 挠性联轴器	(121)
5.1.3.5 液压离合器	(122)
5.1.3.6 减速齿轮	(122)
5.1.3.7 减振器	(122)
5.1.4 结果评估	(123)
5.1.4.1 轴应力	(123)
5.1.4.2 齿轮	(123)
5.1.4.3 挠性联轴器	(124)
5.1.5 特殊现象	(124)
5.1.5.1 次级共振	(124)
5.1.5.2 调速器的影响	(124)
5.1.6 实尺研究	(125)
5.1.6.1 测量方法	(125)
5.1.6.2 预防措施	(125)
5.1.7 计算所需的资料	(126)
5.2 纵向振动	(126)
5.2.1 激励源	(126)
5.2.2 振动计算	(128)
5.2.2.1 概述	(128)
5.2.2.2 计算模型和分析方法	(128)
5.2.3 主要参量	(130)
5.2.3.1 螺旋桨的附连水	(130)
5.2.3.2 曲轴刚度	(130)
5.2.3.3 推力轴承的刚度	(131)
5.2.3.4 带有扭转振动的联轴器	(131)
5.2.4 结果评估	(131)
5.2.5 实尺研究	(132)

5.2.5.1	预防措施	(132)
5.2.6	计算所需的资料与附图	(133)
5.3	旋转振动	(133)
5.3.1	导言	(133)
5.3.2	激励源	(134)
5.3.3	振动计算	(134)
5.3.3.1	概述	(134)
5.3.3.2	计算模型和分析方法	(135)
5.3.4	主要参量	(138)
5.3.4.1	螺旋桨的附连水	(138)
5.3.4.2	陀螺力偶 Mg	(139)
5.3.4.3	轴承参数	(139)
5.3.4.4	阻尼源	(141)
5.3.5	结果评估	(141)
5.3.6	实尺研究	(141)
5.3.6.1	测量结果	(141)
5.3.6.2	预防措施	(142)
5.3.7	计算所需的资料与附图	(142)
	符号及名称	(143)
第六章	机械设备的减振	(145)
6.1	导言	(145)
6.1.1	固有频率	(146)
6.2	设计考虑	(147)
6.2.1	管路连接	(147)
6.2.2	联轴器	(148)
6.2.3	其它问题	(150)
6.2.4	安装方案	(150)
6.3	隔振器的性能	(151)
6.3.1	蠕变	(151)
6.3.2	橡胶性能	(152)
6.3.3	刚度	(153)
6.3.4	驻波	(154)
6.3.5	金属隔振器	(154)
6.4	运行影响	(155)
6.4.1	通过固有频率时的运行	(155)
6.4.2	扭矩的影响	(156)
6.5	海上航行时作用于减振装置上的载荷	(157)
6.5.1	静力计算	(157)

6.5.2	动力计算	(158)
6.6	被支承物体的惯性特性	(161)
6.6.1	质量惯性矩	(161)
6.6.2	质量惯性积	(161)
6.7	振动源的隔离	(162)
6.7.1	概述	(162)
6.7.2	固有频率的估算	(163)
6.7.3	振动对称面	(163)
6.7.4	支撑的挠性影响	(165)
6.8	设备的保护装置	(167)
6.8.1	响应函数	(167)
6.9	计算所需的数据	(167)
	符号及名称	(168)
附录A.6	附加说明	(169)
A.6.1	自由度	(169)
A.6.2	自由振动	(169)
A.6.3	强迫振动	(170)
A.6.4	固有频率	(171)
第七章	流体系统振动	(173)
7.1	管路中的波	(173)
7.1.1	引言	(173)
7.1.2	流体中扰动的传播速度	(173)
7.1.3	管系中的瞬态流动	(174)
7.1.4	管系中的驻波	(177)
7.1.5	计算所需的资料和图纸	(179)
7.2	水舱晃动	(179)
7.2.1	引言	(179)
7.2.2	晃动激励	(180)
7.2.3	固有晃动频率(或周期)	(180)
7.2.4	晃动激励的模式	(182)
7.2.4.1	横向晃动	(182)
7.2.4.2	回转晃动(旋转)	(182)
7.2.4.3	垂直晃动	(182)
7.2.5	晃动引起的载荷	(182)
7.2.6	晃动影响	(184)
7.2.6.1	油舱内的晃动	(184)
7.2.6.2	散装货船的晃动	(184)
7.2.6.3	液化汽船的晃动	(184)

符号及名称	(184)
第八章 仪器和测量技术	(185)
8.1 引言	(185)
8.2 船体和上层建筑振动测量	(185)
8.2.1 概述	(185)
8.2.2 船体桁架振动(弯曲模式)	(186)
8.2.3 上层建筑振动(径向模式)	(186)
8.3 螺旋桨在船体上产生的压力脉动	(187)
8.4 轴系振动测量	(187)
8.4.1 扭转振动测量	(187)
8.4.2 纵向振动测量	(187)
8.4.3 旋转振动测量	(188)
8.5 传感器	(188)
8.5.1 概述	(188)
8.5.2 振动传感器	(189)
8.6 信号处理	(190)
8.6.1 放大器	(190)
8.6.2 测量电桥	(191)
8.6.3 记录仪	(191)
8.6.3.1 用墨水在纸上记录的记录仪	(191)
8.6.3.2 用电流计和紫外线在纸上记录的记录仪	(192)
8.6.3.3 磁带记录仪	(192)
8.6.4 分析仪	(192)
8.6.4.1 概述	(192)
8.6.4.2 窄带分析仪	(192)
8.6.4.3 宽带分析仪	(193)
8.7 船上激振测试应用	(194)
8.7.1 概述	(194)
8.7.2 激振器类型	(194)
8.7.2.1 液压激振器	(194)
8.7.2.2 机电激振器	(194)
8.7.2.3 电动激振器	(195)
8.7.2.4 瞬态激振器/冲击测量	(195)
8.7.3 激振输入	(196)
8.7.3.1 正弦扫描激振	(196)
8.7.3.2 冲击试验	(196)
8.7.4 激振试验小结	(196)
8.7.5 应用实例	(197)