

船体振动

[英国] F. H. 陶德著



国防工业出版社

船 体 振 动

[英国] F. H. 陶德著

孙海濤 田 原 譯
陈达偉 曹本正



國防工業出版社

目 录

序	7
第一章 緒論	9
§ 1.1 概 述	9
§ 1.2 船体振动的类型	9
§ 1.3 船体振动的起因	10
§ 1.4 自然振动	11
§ 1.5 强迫振动	12
§ 1.6 振动的諧調	12
§ 1.7 船舶振动的重要性	13
第二章 船舶振动的数学基础	15
§ 2.1 自然振动	15
§ 2.2 强迫振动	18
§ 2.3 阻 尼	23
§ 2.4 粘性阻尼自然振动	24
§ 2.5 粘性阻尼强迫振动	28
§ 2.6 梁的横向振动	33
§ 2.7 船舶振动	41
第三章 船舶振动問題的研究史	44
第四章 水动力慣性系数和附加虛重量	78
§ 4.1 概 述	78
§ 4.2 附加重量計算	80
§ 4.3 对附加虛重量 的試驗工作	86
§ 4.4 有限水域对附加 虛重量的影响	93
§ 4.5 船舶垂向振动的 附加虛重量計算	105
§ 4.6 船舶水平振动的附加 虛重量計算	113
§ 4.7 扭轉振动中附加 质量慣性矩計算	113
第五章 船体自然振动頻率計算	120
§ 5.1 概述	120
§ 5.2 油輪二节点垂 向頻率計算	121
§ 5.3 二节点水平振 动頻率計算	132
§ 5.4 高諧弯曲頻率計算	133
§ 5.5 船体扭轉振 动頻率計算	139
§ 5.6 改变重量与結構慣量 分布对頻率的影响	144
§ 5.7 船体頻率計算現有水 平的探討	146

§ 5.8	夏德洛夫斯基的修正 剩余切力和剩余弯矩 基线的方法	153
第六章	船舶振动测量	158
§ 6.1	概述	158
§ 6.2	船舶振动测量	158
§ 6.3	实船试验	163
§ 6.4	激振机	166
第七章	计算频率与实测频率之间的比较	170
§ 7.1	概述	170
§ 7.2	船舶的特征	171
§ 7.3	无上层建筑 的船舶	171
§ 7.4	具有长上层建 筑的船舶	178
§ 7.5	实测振幅	183
§ 7.6	船体计算自然频率和实 测值之间进一步的比较	184
第八章	计算船体频率的经验公式	189
§ 8.1	概述	189
§ 8.2	希列克公式	189
§ 8.3	陶德公式	195
§ 8.4	改变排水量 的影响	200
§ 8.5	其他经验公式	201
§ 8.6	水平二节点频率	220
§ 8.7	高谐频率	221
§ 8.8	扭转振动的频率	227
第九章	受干扰力的船体反应计算	232
§ 9.1	概述	232
§ 9.2	容许的振动极限	232
§ 9.3	振幅计算	237
§ 9.4	主机的横向振动	272
§ 9.5	跳动质量	275
第十章	螺旋桨激起的振动	278
§ 10.1	概述	278
§ 10.2	作用在船体 上的力	281
§ 10.3	螺旋桨周围压 力场的试验	286
§ 10.4	叶片数对压 力场的影响	289
§ 10.5	轴的纵向及 横向振动	293
§ 10.6	对螺旋桨周围压 力场的理论研究	294
第十一章	船舶振动的防止和消除	308
§ 11.1	概述	308
§ 11.2	共振的避免	310
§ 11.3	激振力的减小	313
§ 11.4	减振	323

§ 11.5 机器不平衡力的减小	324	§ 11.9 消振器的应用	337
§ 11.6 改变螺旋桨的设计	329	§ 11.10 弹性座架	346
§ 11.7 局部振动	332	§ 11.11 快速电子计算机在振动计算中的应用	356
§ 11.8 在双桨或四桨船上用同步螺旋桨减振	336	§ 11.12 目前的水平和对未来的展望	358
第十二章 船体振动记录情况的汇集		363	
§ 12.1 概述	363	§ 12.3 在本书作者的一些论文的讨论中所介绍的实例	365
§ 12.2 本书作者得到的结果	363	§ 12.4 其他结果	366
参考文献的缩写		385	
参考文献		386	
索引		398	

船 体 振 动

[英国] F. H. 陶德著

孙海濤 田 原 譯
陈达偉 曹本正



國防工業出版社

內 容 簡 介

本书系根据英国倫敦爱德華諾 出版有限公司 1961 年出版的 F. H. 陶德著的“船体振动”第一版譯出。

本书为叙述船舶总体振动的专著，着重介绍了振动附連水、激振力的来源、总自由振动与总强迫振动的計算方法，以及振动計測与减振等問題，并附有大量实测資料与参考文献目录。

本书可供科研設計人員、船舶使用部門及大专学校的师生参考。

本书序第五章、第六章及第十一章由陈达偉譯，第一章、第四章、第七章及第十章由田原譯，第二章、第八章、第九章及第十二章由孙海濤譯，第三章由曹本正譯，并相互校对。

SHIP HULL VIBRATION

[英国] F. H. Todd

LONDON

EDWARD ARNOLD(PUBLISHERS)LTD

1 9 6 1

*

船 体 振 动

孙海濤 田 原譯
陈达偉 曹本正

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 12 $\frac{3}{4}$ 326 千字

1965 年 10 月第一版 1965 年 10 月第一次印刷 印数：001—690 册

統一书号：15034·982 定价：(科七) 2.10 元

目 录

序	7
第一章 緒論	9
§ 1.1 概 述	9
§ 1.2 船体振动的类型	9
§ 1.3 船体振动的起因	10
§ 1.4 自然振动	11
§ 1.5 强迫振动	12
§ 1.6 振动的諧調	12
§ 1.7 船舶振动的重要性	13
第二章 船舶振动的数学基础	15
§ 2.1 自然振动	15
§ 2.2 强迫振动	18
§ 2.3 阻 尼	23
§ 2.4 粘性阻尼自然振动	24
§ 2.5 粘性阻尼强迫振动	28
§ 2.6 梁的横向振动	33
§ 2.7 船舶振动	41
第三章 船舶振动問題的研究史	44
第四章 水动力慣性系数和附加虛重量	78
§ 4.1 概 述	78
§ 4.2 附加重量計算	80
§ 4.3 对附加虛重量 的試驗工作	86
§ 4.4 有限水域对附加 虛重量的影响	93
§ 4.5 船舶垂向振动的 附加虛重量計算	105
§ 4.6 船舶水平振动的附加 虛重量計算	113
§ 4.7 扭轉振动中附加 质量慣性矩計算	113
第五章 船体自然振动頻率計算	120
§ 5.1 概述	120
§ 5.2 油輪二节点垂 向頻率計算	121
§ 5.3 二节点水平振 动頻率計算	132
§ 5.4 高諧弯曲頻率計算	133
§ 5.5 船体扭轉振 动頻率計算	139
§ 5.6 改变重量与結構慣量 分布对頻率的影响	144
§ 5.7 船体頻率計算現有水 平的探討	146

§ 5.8	夏德洛夫斯基的修正 剩余切力和剩余弯矩 基线的方法	153
第六章	船舶振动测量	158
§ 6.1	概述	158
§ 6.2	船舶振动测量	158
§ 6.3	实船試驗	163
§ 6.4	激振机	166
第七章	計算頻率与实测頻率之間的比較	170
§ 7.1	概述	170
§ 7.2	船舶的特征	171
§ 7.3	无上层建筑 的船舶	171
§ 7.4	具有长上层建 筑的船舶	178
§ 7.5	实测振幅	183
§ 7.6	船体計算自然頻率和实 测值之間进一步的比較	184
第八章	計算船体頻率的經驗公式	189
§ 8.1	概述	189
§ 8.2	希列克公式	189
§ 8.3	陶德公式	195
§ 8.4	改变排水量 的影响	200
§ 8.5	其他經驗公式	201
§ 8.6	水平二节点頻率	220
§ 8.7	高諧頻率	221
§ 8.8	扭轉振动的頻率	227
第九章	受干扰力的船体反应計算	232
§ 9.1	概述	232
§ 9.2	容許的振动极限	232
§ 9.3	振幅計算	237
§ 9.4	主机的横向振动	272
§ 9.5	跳动质量	275
第十章	螺旋桨激起的振动	278
§ 10.1	概述	278
§ 10.2	作用在船体 上的力	281
§ 10.3	螺旋桨周圍压 力場的試驗	286
§ 10.4	叶片数对压 力場的影响	289
§ 10.5	軸的纵向及 横向振动	293
§ 10.6	对螺旋桨周圍压 力場的理論研究	294
第十一章	船舶振动的防止和消除	308
§ 11.1	概述	308
§ 11.2	共振的避免	310
§ 11.3	激振力的减小	313
§ 11.4	减振	323

§ 11.5 机器不平衡力的减小	324	§ 11.9 消振器的应用	337
§ 11.6 改变螺旋桨的设计	329	§ 11.10 弹性座架	346
§ 11.7 局部振动	332	§ 11.11 快速电子计算机在振动计算中的应用	356
§ 11.8 在双桨或四桨船上用同步螺旋桨减振	336	§ 11.12 目前的水平和对未来的展望	358
第十二章 船体振动记录情况的汇集		363	
§ 12.1 概述	363	§ 12.3 在本书作者的一些论文的讨论中所介绍的实例	365
§ 12.2 本书作者得到的结果	363	§ 12.4 其他结果	366
参考文献的缩写		385	
参考文献		386	
索引		398	

序

振動是船舶設計師、船舶建造師、輪機工程師和用船部門一直感到興趣的課題。振動的存在，會損害客船的聲譽和嚴重的削弱軍艦的戰鬥力，因此避免振動應該成為每個設計人員在從事一艘新船設計時思想上必須考慮的問題之一。

造船文獻中有許多關於振動方面的論文，散載於各造船學會的年刊和技術書刊中。作者的意圖在於把我們現有的知識匯為一集，使繁忙的實際工作者能較方便地利用這些豐富的資料。

本書不要求成為一本完整的振動教科書。它完全是以實用為目的，並經常以船舶設計師和船舶建造師的實際需要作為作者編寫的前提，同時使書的內容主要限於船體振動方面。然而，為了使讀者能夠正確地領會那些主要是包括在數學問題中的全部因素，就必須列入某些理論基礎。

本書按下述程序編寫：首先是一般地討論振動問題，特別是有關船舶的振動問題，振動的類型和它們的起因，然後簡單地但尽可能清楚地給出足夠的數學基礎，以便使任一讀者都能領會問題的複雜性和解決問題所發展起來的一些方法。其次，對過去學者的研究工作作一簡短的历史回顧，因為我們能從历史中學到不少的知識。繼而敘述了估算船體振動頻率的詳細計算方法和經驗公式，記載了若干實船的測量資料，並把計算頻率與實測頻率進行了比較。

本書還討論了防止與減小船體振動的方法，包括更改螺旋槳的設計和改變螺旋槳周圍的間隙，以及使用衰振器、消振器和彈性座架等。

計算像船體這樣一種複雜結構的振動頻率，特別是計算高諧

調頻率，包含着大量的运算工作量。模拟計算机和电子計算机的高度方便性和灵活性为船舶設計师提供了一种可以縮短計算时间和减少劳动量的新工具，并且实际上能使更复杂的計算工作也得以进行。本书对这方面发展的可能性进行了简单的探討，并提供了参考文献，以便于更完整地研究其潜力。

本书对有价值的船舶振动資料进行了分析，并以尽可能完整的方式列于本书中，以便讀者能随心所欲地利用这些資料，最后附有大量的文献資料目录，可作为进一步研究的参考。

作者在从事其他工作的同时，对船舶振动研究了近三十年，在此期間曾請教过許多人，查閱过許多原始文献。对书中特別提到的那些文献的作者致以謝意；对那些在这方面发表过文章的其他作者，同样也表示衷心的感謝，因为他們的著作曾不断地給作者以启示和幫助。

对有机会閱讀本书的青年船舶設計师，本人想更进一言以資勉励。纵然过去在这方面已經做了許多工作，但还远未彻底了解船舶振动問題，如果他选择此課題作为其主要志趣，則肯定会遇到許多引人入胜的技术問題。或許它比造船科学中的絕大部分学科更需要借助于数学分析，而且船舶推进、科学装备(如雷达等)和音导的杀伤武器等的发展，都表明了随着岁月的增长，要解決的問題是越来越复杂，越来越重要了。

F. H. 陶 德

第一章 緒 論

§ 1.1 概 述

由于振动对船舶結構及旅客和船員的舒适都具有不良的影响，故它始終是造船和輪机工程师很感兴趣的課題。随着現代船舶装备的复杂程度和它們对振动敏感性的增长，纵然过去在这方面作了許多研究，但看来解决避免振动的問題不是愈形簡單，而是愈形困难了。

振动問題比其它許多与船舶有關的問題更依賴于数学分析，因此在工程师們的思想会上曾受到一定的迷惑。然而，当我们考虑到船舶結構的复杂性和在船上可能存在的許多引起振动的根源时，就会了解我們还远未能全面解决船体振动的所有問題是不足为奇的。还有許多工作留待我們去做，例如在进一步运用新的数学求解方法方面，在模型試驗方面，以及在实船試驗方面；且也只有在实船上作最后的試驗，才能作为我們技术进步的驗證。

由于軍艦需要防御和进攻，消除振动就更为重要，各国海軍界正日益致力于消振的研究，毫无疑問，所获得的大部分新知識一般地将可应用于船舶設計的領域中。

§ 1.2 船体振动的类型

船舶經受的振动，一般可分为两类。

第一类，当主机或某些輔机在一定轉速时，整个船梁处于振动状态，在严重情况下，沿船长可明显地看到船体的运动，在艏、艉端的振幅甚至可达一吋。这种振动的严重性，取决于产生振动的轉速和船舶营运轉速之間的关系，因为要使船舶长期处于这种状态而不引起鉚釘松动和裝置显著的损坏，是很难實現的。这种

影响整个船体结构的振动，通常为同步振动或共振。第二类，船舶局部或某种装置，例如桥楼结构，桅杆或板格处于振动状态，虽然这种振动一般不致使船舶有任何显著的危險，但仍可能使旅客和船員感到煩惱，而在軍艦中，严重的是可能妨碍航行仪表、雷达、声納、炮火指揮仪及类似装备的正常使用。这种振动通常称为“局部振动”；一般对这种振动的防治方法，首先是消除引起振动的根源，其次，在不可能消除的情况下，則采取局部措施，如增設扶强材、支柱及其他类似措施。然而，在某些情况下，这类振动可能只是一种船体高频强迫振动或共振的反映，此时就必须考虑用其他方法补救。虽然，在实质上共振和局部振动都是由于同一原因产生，即由于某些周期性激振力所致，但前者是一种更难处理的严重問題。

船舶一旦建成后，用增添船体材料的措施来加强船体是不能消除这种共振的；而应该充分注意引起共振的干扰力根源。某些干扰力是純粹机械性质的，是能够消除或至少可降低到不严重的程度；但另一些来自水动力的某一部分的干扰力，則是不能完全避免的。

§ 1.3 船体振动的起因

仅在某种外力作用于船体时，船体才会产生振动。在某些情况下，此力是由波浪引起的，例如当船舶剧烈地纵摇和受到砰击时，就会产生一种震顫，这种震顫可用适当的仪器测出，并显示出一种船体的瞬时振动。在拋錨时，如錨鏈或多或少地突然为制鏈器刹住，亦会发生类似的结果。在此以后的数秒钟內，可感到船体在振动，且可测出其頻率。但所有这些振动都是断續发生的，而且是不怎么重要的。

那种导致结构損坏，使人們感到不舒适或干扰仪器工作的連續振动，总是由于主机、輔机、軸系或螺旋桨的某些不平衡周期力所引起的。因此，在任何特定的情况下，只要适当地注意干扰

的根源以减小不平衡力，就可减低这种振动。减振措施取决于主机类型、汽缸数量、主机带动的辅机和许多其他因素。螺旋桨与轴系也是引起振动的主要根源。如果他们质量不平衡，或螺旋桨某一叶片的螺距和其他叶片的螺距有显著的差别，则将传递給船体一频率与转速相同的周期力。即使螺旋桨在这些方面没有缺点，但由于叶片是在船体后面的混乱伴流内运转，在每一转内作用在每个叶片上的力也是变化的。这些变化力同时通过轴与水传递給船壳，引起一频率等于叶片数和转速乘积的干扰力。虽然这些干扰力通过对详图设计的充分注意，特别是注意了螺旋桨与船体的间隙，能够使其减小，但对于机械推进的船舶，不可避免的总是要存在着这类水动力的干扰力。

§ 1.4 自然 振 动

振动的基本特征可利用简单的试验加以解释。假想一长钢梁，例如一根直钢杆，在距其两端约 $1/4$ 长度的地方用两个刃形支座支持着，在其中点处放置一台带有飞轮的小电动机，该飞轮上挂上一块小的不平衡重量。假如在电动机处于静止状态时，梁的中点稍有以下陷，然后拿走电动机，则在一段时间内此杆将在垂直平面内发生振动，其移动的大小或振幅将逐渐消逝。如将此振幅记录下来，则其图形具有图 1 所示的特性。若初始位移不很大，则相继振动一周的时间间隔实际上是一常值。

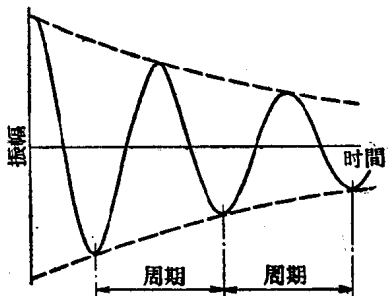


图 1 自由、阻尼振动的振幅曲线。

在同一方向上的相继振动的時間間隔称为周期時間或簡称为周期，而在該情况下的运动則称之为等时运动。单位時間內的振动次数称为頻率，显然頻率為运动周期的倒数。

在上述試驗中，除了初始干扰以外，整个运动是在受到自然力——梁的重量、剖面形状与梁材料的弹性性质及支持点的位置、以及材料本身内部和在支座处与周围的空气或其他流体的阻尼作用的影响下发生的。因此，这种振动称为“自然振动”，而相应的频率称为自然频率。我们将会看到根据支座的形式和数量的不同，弹性梁有许多这种自然频率。

§ 1.5 强迫振动

回到上述梁的試驗，如果电动机以固定轉速运转，則不平衡重量将傳遞一周期干扰力給梁，使梁产生一频率与强迫力频率相等的振动——在这一情况下，频率在数值上就等于电动机每分钟的轉数。事实上，梁被迫不以自然振动频率而以干扰力的频率振动，所以这种振动称为强迫振动。

倘若电动机相继以若干不同的固定轉速运转，可发现所引起的振动的振幅将如图 2

中曲线所示的形状随强迫频率而变化。此曲线的主要特征是，当干扰力的频率大致等于如上述所定义的梁的自然频率时，就出现显著的振幅高峰。这种振动称为

同步振动或共振。如让

这种振动形式发生的话，那末它就要給工程结构和船舶造成极大的問題。

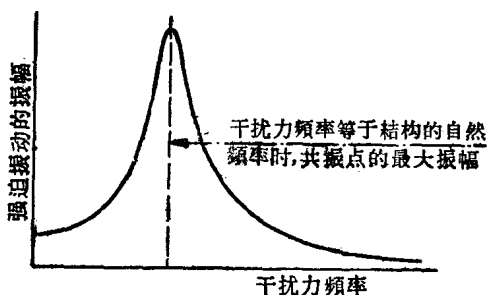


图 2 最大振幅和作用频率的关系。

§ 1.6 振动的諧調

在上述简单梁的假想試驗中，就垂向振动而言，梁支持于刃形支座上的两点是保持不动的；这些点称为节点，并称該梁是在