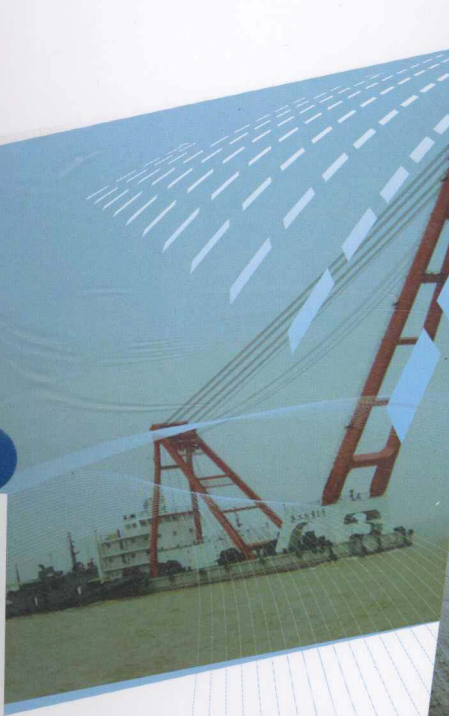


# 船舶与海洋工程 结构力学

刘土光 刘敬喜 赵耀 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013059936

U661.4

10

# 船舶与海洋工程结构力学

刘土光 刘敬喜 赵耀 编著



U661.4  
10

国防工业出版社

·北京·



北航

C1666185

01302333

## 内 容 简 介

本书以船舶与海洋工程结构系统的单跨梁、连续梁、平面刚架、桁架、板架、薄板、圆柱壳以及线状结构等基本结构形式为研究对象,阐述了其基本结构的计算力学模型以及将一个复杂的船舶结构系统如何简化为计算力学模型。并在此基础上,进一步阐述了结构力学中的基本理论与方法——力法、位移法与能量原理;讨论了杆件、杆系、薄板与圆柱壳的静力分析理论、结构的稳定性以及薄壁杆件的扭转等。同时,进一步对有限元法基础进行了介绍。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程专业及相关专业的教学用书或参考书,也可供从事船舶设计、制造领域的工程技术人员以及一般工程力学专业的学生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶与海洋工程结构力学/刘土光,刘敬喜,赵耀  
编著. —北京:国防工业出版社, 2013. 6  
ISBN 978-7-118-08680-5

I. ①船… II. ①刘… ②刘… ③赵… III. ①船舶—  
结构力学②海洋工程—结构力学 IV. ①U661.4②P75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 098540 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 字数 525 千字  
2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

本书以船舶与海洋工程专业本科学生为教学对象编写,也可供一般工程力学专业的学生与工程技术人员作参考用书。

结构力学中的经典理论和方法为力法、位移法与能量法,是本书的基本内容,在本书第2~4章进行集中和系统的论述。在具体内容取舍上,不仅仅局限于解决船的与海洋工程结构中的弯曲与稳定性,还着眼于能处理一般工程结构中类似的结构力学问题。本书给出了许多计算示例,有助于学生通过本教材的学习后能具备解决工程实际结构力学问题的能力,同时在每章后还给出了思考题,通过这些思考题的思考,可巩固学生对基本概念的深刻理解,提高学生的自学能力。

有限元法已在结构分析中获得广泛应用,因此本书对有限元法中经常应用的一些单元进行了论述,并对相关单元在应用中应注意的问题作了介绍,同时还对有限元建模等问题作了简要阐述。

在本书的编写过程中,还注意了知识的衔接和避免重复,尤其是避免与已学知识的重复,如材料力学中已学过的内容只引用其结论,不再复述。对于能量原理,为了便于理解其基本概念,特以附录形式阐述了变分原理的基本知识。主讲教师可根据学生实践,进行简要讲授或由学生自学。

本书每章后面附有一定数量的习题,书后附有参考文献与附录,以供查阅。

本书出版得到兄弟院校同行的热情支持与帮助,并得到华中科技大学船舶与海洋工程学院与国防工业出版社的大力支持,值此表示衷心感谢。

限于编者水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,敬请读者和专家批评指正。

编者

2012年10月于华中科技大学

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 船舶与海洋工程结构力学的内容与任务	1
1.2 船舶与海洋工程结构的载荷特征与主要失效形式	2
1.2.1 载荷特征	2
1.2.2 失效模式	3
1.3 船舶与海洋工程结构力学的研究方法 with 计算图形	4
1.3.1 船舶与海洋工程结构力学的研究方法	4
1.3.2 船舶与海洋工程结构计算图形	5
思考题	8
习题	8
第2章 直梁的弯曲	9
2.1 梁弯曲微分方程式及其通解	9
2.1.1 直梁的弯曲微分方程式	9
2.1.2 梁弯曲微分方程式的求解(初参数法)	10
2.1.3 任意载荷作用下的初参数法	13
2.2 弹性边界条件及其在船体结构中的实际概念	16
2.2.1 弹性支座	16
2.2.2 弹性固定端	17
2.2.3 弹性支座与弹性固定端在船体结构中的实际概念	20
2.2.4 复杂杆系的弹性支座与弹性固定端的柔性系数	22
2.2.5 弹性固定端的固定系数	23
2.3 梁的弯曲要素与应力计算	24
2.3.1 单跨梁弯曲要素的应用	24
2.3.2 梁的应力	26
2.4 剪切对梁横向弯曲的影响 <sup>*</sup>	26
2.4.1 基本概念	26
2.4.2 剪切挠度计算	27
2.5 梁的复杂弯曲	29
2.5.1 梁复杂弯曲微分方程式	29

2.5.2	微分方程式的解(初参数法).....	30
2.5.3	复杂弯曲梁的弯曲要素与叠加原理.....	35
2.5.4	轴向力对弯曲要素的影响.....	36
2.6	弹性基础梁的弯曲.....	36
2.6.1	弹性基础梁的概念.....	36
2.6.2	弹性基础梁的弯曲微分方程式及其解.....	37
2.6.3	无限长的弹性基础梁.....	41
	思考题.....	42
	习题.....	43
<b>第3章</b>	<b>平面杆系结构计算</b> .....	<b>45</b>
3.1	超静定结构与计算的基本原理.....	45
3.1.1	超静定结构的基本概念.....	45
3.1.2	力法的基本原理.....	45
3.1.3	位移法的基本原理.....	48
3.2	力法应用于连续梁的计算.....	53
3.2.1	刚性支座上连续梁的计算——三弯矩方程.....	53
3.2.2	弹性支座上连续梁的计算——五弯矩方程.....	56
3.3	力法应用于简单刚架的计算.....	58
3.4	力法应用于简单板架的计算.....	60
3.5	位移法在杆系结构中的应用.....	61
3.5.1	位移法补充基本方程.....	62
3.5.2	位移法在杆系结构计算中的应用.....	62
3.6	结构对称性在平面杆系结构计算中的应用.....	67
3.6.1	对称结构与对称载荷的刚架.....	67
3.6.2	对称结构与反对称载荷的结构.....	68
3.7	曲杆与圆环的计算 <sup>*)</sup> .....	68
3.7.1	曲杆刚架的计算.....	68
3.7.2	圆环的计算.....	72
	思考题.....	76
	习题.....	76
<b>第4章</b>	<b>桁架结构与线状结构分析</b> .....	<b>79</b>
4.1	概述.....	79
4.2	静定平面桁架的内力计算.....	80
4.2.1	节点法.....	80
4.2.2	截面法.....	83

4.3	桁架结构的矩阵分析	85
4.3.1	矩阵位移法的概念	86
4.3.2	杆元的刚度矩阵	86
4.4	桁架结构分析	95
4.4.1	平面桁架的矩阵结构分析	95
4.4.2	空间桁架元	97
4.5	系泊系统的静力分析	101
	思考题	106
	习题	106
<b>第5章</b>	<b>能量原理及其应用</b>	<b>108</b>
5.1	应变能与余能	108
5.1.1	应变能	108
5.1.2	余能	112
5.2	虚位移原理、最小势能原理与应变能原理	113
5.2.1	虚位移原理	113
5.2.2	最小势能原理	116
5.2.3	应变能原理	118
5.3	最小势能原理的近似解法(里兹法、迦辽金法)	121
5.3.1	瑞利—里兹法(Rayleigh-Ritz Method)	121
5.3.2	迦辽金法(Galerkin Method)	126
	思考题	127
	习题	127
<b>第6章</b>	<b>薄平板的弯曲分析</b>	<b>129</b>
6.1	薄平板的基本概念与基本假设	129
6.1.1	板的几何特征与基本概念	129
6.1.2	薄板弯曲的基本假设	130
6.2	薄板弯曲的平衡微分方程	132
6.2.1	薄板弯曲的本构关系	132
6.2.2	薄板弯曲内力	133
6.2.3	平衡微分方程	134
6.3	边界条件	136
6.4	矩形板的经典解法	138
6.4.1	纳维(Navier, C.L.)解	139
6.4.2	利维(Levy, M.)解法	142
6.4.3	应用叠加原理解法	146

6.5	薄板弯曲的能量法	148
6.5.1	薄板弯曲的应变能	148
6.5.2	能量解法(里兹法)	149
6.6	矩形薄板的筒形弯曲	150
6.6.1	板的筒形横弯曲	151
6.6.2	板的筒形复杂弯曲	152
6.6.3	板的筒形大挠度弯曲	154
	思考题	159
	习题	160
<b>第7章</b>	<b>圆筒形薄壳的静力分析</b>	<b>162</b>
7.1	圆筒形壳的基本理论	162
7.1.1	基本假设与微块内力	162
7.1.2	微块的静力平衡方程式	165
7.1.3	边界条件	166
7.2	圆筒形薄壳的无矩理论及其解	168
7.3	圆筒形薄壳的有矩理论及其解	172
7.3.1	轴对称变形圆筒形壳的解	172
7.3.2	封闭形圆筒形壳在均匀外压下的轴对称弯曲	176
7.4	环向加筋圆筒形壳的结构分析	178
	思考题	183
	习题	183
<b>第8章</b>	<b>结构稳定性分析</b>	<b>184</b>
8.1	概述	184
8.1.1	结构的稳定性问题	184
8.1.2	平衡状态的特征	185
8.1.3	结构稳定性问题分析方法	186
8.1.4	稳定问题的类型	187
8.2	单跨轴向受压杆的稳定性分析	189
8.2.1	中性平衡法	189
8.2.2	能量法	194
8.2.3	具有初始几何缺陷压杆的稳定性	197
8.3	理想压杆的非弹性稳定性	199
8.3.1	切线模量理论	199
8.3.2	双模量理论	200
8.3.3	湘利(F.R.Shanley)理论	201



8.3.4	切线模量理论的应用	201
8.4	连续压杆的稳定性分析	202
8.4.1	在刚性支座上连续压杆的稳定性分析	203
8.4.2	在中间弹性支座上连续压杆的稳定性分析	205
8.5	甲板板架的稳定性分析	209
8.5.1	简单板架的稳定性分析	209
8.5.2	板架的非弹性稳定性	213
8.5.3	横骨架式甲板板架的稳定性问题	217
8.6	矩形板的稳定性分析	218
8.6.1	板的中性平衡微分方程	218
8.6.2	四边自由支持的单向受压板的临界应力	219
8.6.3	四边自由支持板在切应力作用下的临界应力	222
8.6.4	三边自由支持一边完全自由单向受压板的临界应力	223
8.7	板稳定性的能量解法	225
8.7.1	中性平衡时的应变能与外力功	225
8.7.2	一对边受线性分布压应力作用的四边自由支持矩形板的临界应力分析	227
8.7.3	板在复合受力时的稳定性分析	229
8.8	板的后屈曲性能与极限强度	230
8.8.1	板屈曲后的应力分布	231
8.8.2	板的有效宽度与折减系数	231
8.8.3	板的极限载荷	233
8.9	圆环的屈曲分析	235
	思考题	237
	习题	237
<b>第9章</b>	<b>薄壁杆件的扭转</b>	<b>241</b>
9.1	扭转的基本概念	241
9.2	薄壁杆件的自由扭转与翘曲	242
9.2.1	开口薄壁杆件的自由扭转	242
9.2.2	单闭室薄壁杆件的自由扭转	243
9.2.3	多闭室薄壁杆的自由扭转	245
9.3	薄壁杆件自由扭转的截面翘曲分析	249
9.3.1	开口薄壁截面的翘曲	249
9.3.2	闭口薄壁杆件的翘曲	249
9.4	开口薄壁杆件的约束扭转	253
	思考题	254

习题	255
<b>第 10 章 结构有限元法基础</b>	<b>257</b>
10.1 有限元法的基本概念	257
10.2 杆元	258
10.2.1 单元形函数	258
10.2.2 应变矩阵与应力矩阵	259
10.2.3 单元刚度矩阵	260
10.2.4 单元的等效节点载荷	260
10.2.5 节点载荷与节点位移之间的关系	260
10.2.6 结构刚度矩阵和结构节点载荷列阵集成	261
10.2.7 有限元方程与位移边界条件处理	262
10.2.8 坐标变换	263
10.3 梁元	265
10.3.1 轴向刚度	266
10.3.2 扭转刚度	266
10.3.3 $xy$ 平面内弯曲	267
10.3.4 $xz$ 平面内的弯曲	269
10.3.5 主轴坐标系内力与位移的关系式	269
10.3.6 节点坐标系内的力—位移关系式	270
10.3.7 总体坐标系内的力—位移关系式	273
10.3.8 杆系结构矩阵位移法的求解步骤	278
10.4 平面三角形单元	278
10.4.1 节点位移与节点力	278
10.4.2 位移函数	279
10.4.3 应变—位移关系	280
10.4.4 应力—应变关系	280
10.4.5 单元刚度矩阵	281
10.4.6 收敛性的条件	282
10.4.7 载荷移置	283
10.5 矩形薄板弯曲单元	284
10.5.1 位移函数	284
10.5.2 单元的应变与应力	286
10.5.3 单元刚度矩阵	286
10.5.4 载荷移置	287
10.6 有限元模型化技术	288

思考题 .....	292
习题 .....	293
附录 I 变分法基础 .....	295
附录 II 单跨梁的弯曲要素表 .....	300
附录 III 单跨梁的复杂弯曲要素表与辅助函数 .....	307
附录 IV 杆件临界应力曲线及修正系数 .....	311
附录 V 具有中间弹性支座连续压杆的稳定性曲线 .....	313
附录 VI 矩形平板的弯曲要素 .....	316
附录 VII 矩形平板稳定性计算公式 .....	319
附录 VIII 船用球扁钢断面几何要素 .....	320
部分习题参考答案 .....	321
参考文献 .....	328

# 第1章 绪论

## 1.1 船舶与海洋工程结构力学的内容与任务

船舶担负航运、生产、战斗及其他多种任务，而海洋工程中的平台主要担负海上资源开采、深海资源探测等，它们的结构均是十分复杂的水中工程建筑物。由于船舶和海洋工程所受到的外力除各种载重、装备质量和水压力外，还会受到波浪冲击力及运动产生的惯性力等。为了保证在各种受力状态下都能安全、正常地工作，船舶和海洋工程应具有足够的强度和刚度，即其结构在使用过程中和一定的使用年限内，应具有不破坏或不发生过大变形的能力。

在满足强度与刚度的条件下，船舶与海洋工程结构应使其结构自身的质量尽可能地减轻，以利于提高船舶与海洋工程的使用性能和降低建造成本。

船舶与海洋工程结构力学就是研究船舶与海洋工程结构的强度与刚度的科学。学习船舶与海洋工程结构力学就是为了能够对船舶与海洋工程结构所必需的强度与刚度做出判断，为船舶与海洋工程结构设计提供依据，使所设计的船舶与海洋工程结构达到质量轻、材料省并具有足够的强度与刚度的标准。因此，船舶与海洋工程结构力学是船舶与海洋工程结构设计的基础。

结构的强度与刚度通常是由结构中的各种应力和变形来衡量。对于船舶结构，人们通过长期的生产实践，分析了船体的受力与变形特征，认为在考虑船体的强度问题时，可将其视为一根空心薄壁梁，即船体梁(Ship Hull Girder)静置于静水中或波浪上，计算沿船体纵向(船长方向)分布的重力与浮力作用下的应力与弯曲变形。这种将船体作为一个整体来研究其强度问题，称为船体的总纵强度或总强度问题，如图 1.1.1 所示。图 1.1.1(a)称为中拱状态(Hogging Condition)；图 1.1.1(b)称为中垂状态(Sagging Condition)。总强度一直是船体强度校核的主要问题。

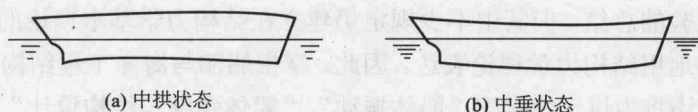


图 1.1.1 船体总纵强度

船体除总纵强度外，船体的横梁、肋骨、肋板等横向构件以及船体板、底纵桁等还会因局部载荷产生变形或受到损坏，因此也需要研究这些横向构件和局部构件的强度问题。通常称这类问题为横向强度问题或局部强度问题，如图 1.1.2 和图 1.1.3 所示，以区别于总强度问题。

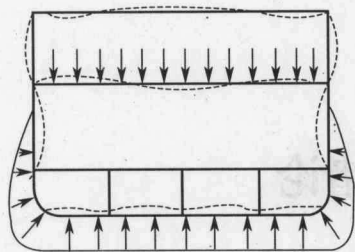


图 1.1.2 船体横向构件变形示意图

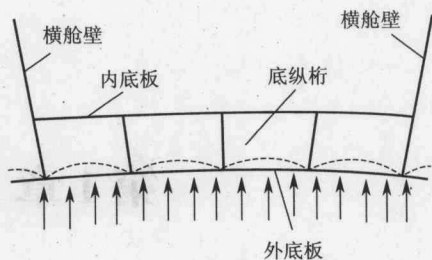


图 1.1.3 船底局部变形示意图

随着船舶和海洋建造实践经验的积累、对其强度问题日益深入研究和为了满足设计建造更大更新型的船舶与海洋工程的需要,逐渐地形成了专门研究船体和海洋工程强度的科学,如船体强度和船舶结构力学。船体强度是研究船体结构强度的科学,它包括外力和结构在外力作用下的响应,即内力研究和许用应力的确定等一系列问题。而船舶结构力学则是研究船体结构内力的问题,不包括外力及许用应力等方面的问题。

近年来,人们将结构在外力作用下产生的应力与变形等称为结构的响应(Response),如图 1.1.4 所示。

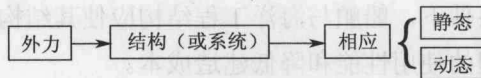


图 1.1.4 结构响应示意图

船舶与海洋工程结构力学是研究船体和海洋工程结构静力响应的一门课程。通过船舶与海洋工程结构力学的学习,达到如下目标。

(1) 具有对船体与海洋工程结构进行强度校核的能力。即对于已经设计好的或建造好的船舶与海洋工程,在船体与海洋工程结构尺寸已知的条件和给定的外载荷或工况下,计算结构的应力与变形,并与许用值比较,判断船体与海洋工程结构的强度是否足够。

(2) 具有进行船舶与海洋工程结构设计的能力。即对于将要设计建造的船舶与海洋工程,在已知结构的外力及许用应力(或变形)的情况下,根据结构中算得的应力(或变形)的大小,确定结构尺寸。

因此,在学习船舶与海洋工程结构力学时,应掌握在给定的外力作用下如何确定结构中的应力与变形以及受压构件的稳定性问题。所以,“船舶与海洋工程结构力学”是研究船体与海洋工程结构中板与构架的强度与稳定性的科学。

对于民用船舶的结构设计,均依据船级社颁布的船舶建造入级规范进行设计,入级规范是造船与营运实践经验的总结,但其中不少规定仍建立在结构力学基本理论的基础上,且目前入级规范也越来越多地用结构力学理论表达。因此,掌握船舶与海洋工程结构力学不仅有助于深刻理解入级规范,还将为进一步学习“船体振动”、“船体强度与结构设计”以及海洋工程方面的课程奠定基础。

## 1.2 船舶与海洋工程结构的载荷特征与主要失效形式

### 1.2.1 载荷特征

作用于船舶与海洋工程结构的载荷,根据载荷随时间变化可分为静态载荷、缓慢变化载荷

和快速变化载荷三类。

静态载荷是不随时间而变化的载荷。这类载荷包括船体外部水压力、内部水压力、船体自重装载以及坞修时的进坞载荷与船体水下部分因温度变化引起的载荷等。

缓慢变化载荷是指其载荷随时间缓慢变化，如由于遭遇波浪与船舶运动组合形成的作用在船体上的波浪诱导分布动压力；液体货物的晃动；航行中甲板上浪；对舷侧及首部甲板的拍击；在桅杆和其他延伸结构上的惯性载荷以及在甲板和肋骨框架上与集装箱及其他重物连接点上的惯性载荷；下水载荷与停泊载荷；破冰载荷等。对于海洋工程其水下部分还会受到海水潮流与风流引起的随水深变化的潮流与风流载荷，对于近海结构物中，其桩腿还有泥载荷。

快速变化载荷是指随时间快速变化的载荷或载荷变化呈短周期变化，这类载荷又称为冲击载荷。如船体纵摇时与波浪发生砰击(底部砰击与首外飘砰击)所产生的脉冲压力；船体局部结构由主机或辅机引起的强延振动，由螺旋桨(特别当出现空抱时)以及其他激振源所导致船体压力的波动以及漂浮在海面上冰块的冲击、水下或空中爆炸载荷的冲击、船舶碰撞引起的冲击力等。

船舶与海洋结构力学主要讨论其结构在静载作用下的响应。

## 1.2.2 失效模式

失效(Failure)实际上是衡准准则的统称。在材料力学课程中，从保证结构和构件安全、正常运转出发，根据构件在外载作用下的所允许的应力、变形、保持与恢复原有平衡状态阐述过强度、刚度和稳定性问题，因此有所谓强度失效、刚度失效和稳定性失效。在船舶和海洋工程结构中，其失效也不外乎从这三方面进行判断，但因船舶与海洋工程，不仅其结构复杂，外载也极其复杂，因而其失效模式也就显得十分复杂。1967年国际船舶结构会议(ISSC)对失效作出了明确定义。

(1) 损伤(Damage)如果一个构件或结构原来形状有某种有损于今后功能的变化，即使没有立即丧失其作用，对其发挥预定作用产生了不利的影晌，就认为该结构受了损伤。损伤包括由于局部屈服或屈曲形成的过度永久变形以及由于疲劳或局部脆裂列起的裂纹。

(2) 破坏(Collapse)当结构损伤得很严重，以致它不能再履行其功能时，则认为结构受到破坏。这种功能的丧失或许是逐渐丧失，如疲劳裂纹的扩展或塑性区的扩散等；或许是突然丧失，如塑性失稳或脆性裂纹扩展所产生的破坏。在所有情况中，破坏载荷定义为引起功能丧失的最小载荷。

由失效定义可知，对于船舶和海洋工程整体结构，其失效模式可分为断裂失效模式和延性失效模式两大类。断裂失效包括疲劳断裂失效和脆性断裂失效两种模式；延性失效有拉伸屈服、压缩失稳和递增破坏三种模式。

所谓递增破坏，实际上指船体结构在波浪上航行时，因受到可变的反复加载，当船梁弯矩超过极限弯矩，且循环的次数足够大时，则会构成不能接受的大挠度，使结构变得无用。因此，把结构说成是因“递增的破坏”而损坏。

实际上船体的破坏现象是各种破坏形式的综合，而且形成过程也是非常复杂的。根据船舶营运经验及理论分析，船体总体失效主要分为两类。

### 1) 由一次性载荷引起的失效

这种破坏模式包括由于主船体结构的屈服与塑性流动造成的破坏和由于构成船体的板架或其某构件的屈曲引起的破坏两类。这种破坏模式是在一种或几种极值载荷组合作用下的横剖

面塑性破坏或主要扶强材受压失稳破坏。这种破坏一旦发生，通常会引起船体的折断。

在船体板架中可能发生多种屈曲破坏模式，其中主要有以下两种。

(1) 扶强材间板的破坏。这种破坏模式虽然是局部破坏，但应给予足够重视。特别是对纵骨架船，因为一旦板发生屈曲，则会由于板的有效性降低而降低板与扶强材的组合强度。与杆件不同，细长度比较大的板能承受超出其临界屈曲载荷的载荷。

(2) 板格破坏模式。这种破坏模式是由横骨架的纵向扶强材及其有效带板的柱状屈曲造成的。多数情况下，由于作用在船底和甲板板架上的横向载荷通常是自船外向船内的，所以屈曲时扶强材面板处于受拉状态。但屈曲也可能在相反的方向发生。此时，由于大多数扶强材处于受压状态，就可能发生扶强材挠曲与扭转耦合形式屈曲，这类屈曲称为侧向失稳或侧倾。

## 2) 由循环载荷引起的疲劳破坏及脆性断裂失效

由循环载荷引起的疲劳破坏是递增型破坏。船在海上受到波浪载荷的循环作用，船体梁就将产生水平相对高、频率相对低的循环应力，从而形成高应力低频率疲劳现象，而在结构上特别是不连续部位产生疲劳裂纹。这种裂纹分布相当广泛，而且是不可避免的。有人认为这种裂纹对船体强度不致产生很大的危害，因为它的扩展速度相当缓慢，且在造成危害之前已扩展的裂纹可以及时检测出来并得到修理。但是，不能不考虑疲劳裂纹很可能是脆性断裂的起始源。这种破坏的产生往往与结构上是否存在局部高应力集中点有关，特别是与材料性能和环境温度有关。

综上所述，对于船舶与海洋工程结构力学着重阐述构件与结构受载后的静态响应，包括其应力分析、变形计算和稳定性分析等方面内容。

## 1.3 船舶与海洋工程结构力学的研究方法 with 计算图形

为了进行结构计算，分析结构的应力与变形，通常都要将实际结构进行一些简化，然后选用适当的计算方案和方法进行计算，得出计算结果，并在实践中检验计算结果的准确性。

### 1.3.1 船舶与海洋工程结构力学的研究方法

在进行船体与海洋工程结构计算的时，总是根据需要与可能，将实际结构进行简化后再作结构分析。对于船舶结构，传统的做法如下。

(1) 将船体的总强度问题与横向强度或局部强度问题分开考虑，必要的时候再将它们的结果叠加起来。

(2) 在横向强度或局部强度问题中，将空间结构拆分成平面结构进行分析。因此通常考虑的是船体中一个隔舱内的甲板部分、舷侧部分、船底部分和仓壁部分，并把它们均视作无曲率变化的平面结构。

(3) 在具体计算中，又将组成船体的骨架和板分开考虑，将船体板认为是支持在骨架上的板，骨架则作为板的支撑结构。但实践证明船体中的骨架在受力后变形时，和它相连的一部分板始终与骨架一起作用，不可分割。因此，在研究骨架时就把它和它相邻的一部分板一起考虑，于是在船体结构计算中的骨架将有如图 1.3.1 所示的剖面形状，其中与骨架相连的那部分板叫做骨架的带板，也称为骨架的附连翼板。根据我国钢船建造规范中的规定，骨架的带板宽度取为骨架的间距与骨架跨度的  $\frac{1}{5}$  中的最小值。

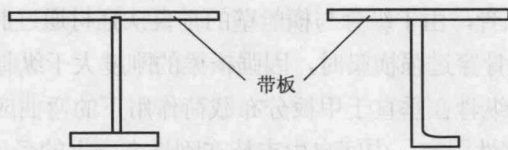


图 1.3.1 骨架横剖面

在具体船体结构计算分析时，与材料力学方法一样，需要运用变形连续、几何关系、物理关系，即静力平衡、变形连续、应力应度关系三个条件。

### 1.3.2 船舶与海洋工程结构计算图形

为了便于分析构件或结构在外力作用下内力与变形或稳定性，首先需根据实际结构的受力特征、构件之间的相互关系、计算精度要求以及所采用的计算方法，对实际结构进行必要的简化。简化后的结构图形称为实际结构的计算图形，这种简化后的结构计算图形又称为计算模型或力学模型。

#### 1) 船舶结构计算图形

如图 1.3.2 所示的纵骨架式甲板结构，其甲板板被甲板纵桁、纵骨和横梁划分为许多矩形板格(图 1.3.2(a))。由于纵横骨架的抗弯刚度比板的抗弯刚度大很多，其骨架可近似作为矩形板格的刚性支撑，且因矩形板格尺寸相同，在均布载荷作用下产生的弯曲变形几乎对称于这些骨架，根据对称性原理，板格弯曲时，其矩形周界处的转角为零，因此，如果要计算甲板板在甲板载荷作用下的弯曲应力与变形，可将甲板板简化为承受甲板分布载荷  $q$  作用下的四边刚性固定的矩形板，其计算图形如图 1.3.2(b)所示。若要研究船中垂时纵骨架式甲板板的稳定性，为使甲板板受压稳定性计算所求得临界应力偏于安全，则可忽略纵横骨架抗扭对板稳定性的影响，将其简化为如图 1.3.2(c)所示的四边自由支持、一对边受压的矩形板计算。

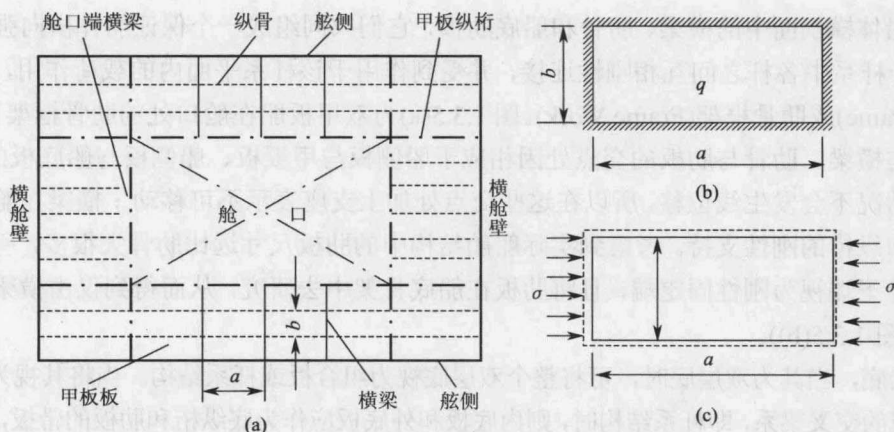


图 1.3.2 纵骨架式甲板结构及板格计算图形

对于如图 1.3.3 所示的甲板纵桁与舱口端横梁，因在上甲板(或下甲板)的骨架中，甲板纵桁与舱口端横梁尺寸最大，在计算其弯曲应力与变形时，可略去其他骨架对它的影响，将其简化为如图 1.3.3(a)所示的“井”字形平面杆系。该杆系因外载垂直于杆系平面而发生弯曲，故称为交叉梁系(Grillage)或板架。如果舱口端横梁中点设有支柱或半舱壁，则可化为如图 1.3.3(b)所示的板架。



又如图 1.3.4(a)中甲板纵骨，由于纵骨与横舱壁的垂直扶强材通过肘板与其相连，因此可视为纵骨的刚性固定支座，而纵骨穿过强横梁时，因强横梁的刚度大于纵骨刚度，所以强横梁视为纵骨的刚性支座。因而在计算纵骨在垂直于甲板分布载荷作用下的弯曲应力与变形时，可将其简化为如图 1.3.4(b)所示的两端刚性固定、中间自由支持在刚性支座上的受均布载荷  $q$  的连续梁。

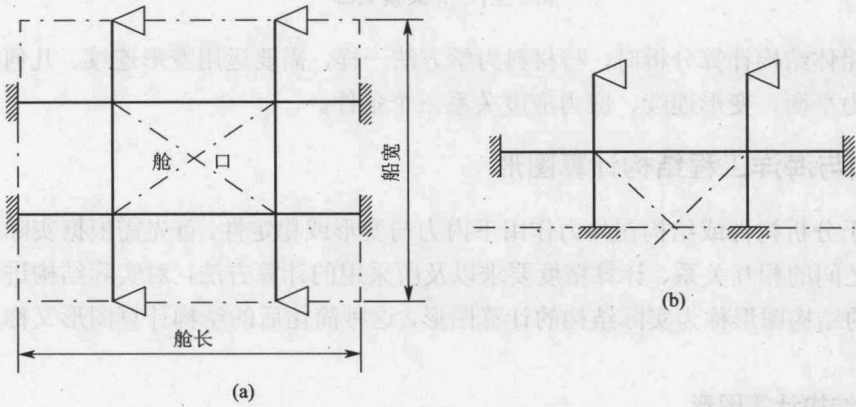


图 1.3.3 舱口强骨架计算图形

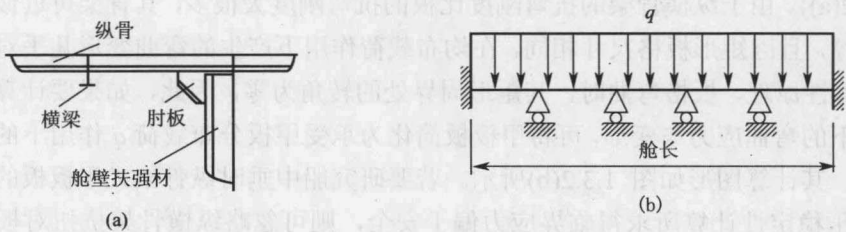


图 1.3.4 甲板纵骨计算图形

再如船体横剖面中的横梁、肋骨和船底肋板，它们共同组成一个保证船体横向强度的平面杆系。由于杆系中各杆之间互相刚性连接，并受到作用于该杆系平面内的载荷作用，故称为刚架(Rigid Frame)或肋骨框架(Frame Work)。图 1.3.5(a)为双甲板船在舱口处的肋骨框架计算图形。图中肋骨与横梁、肋骨与肋板的交点处因相应于船侧板与甲板板、船侧板与船底板的交界处，因在实际情况不会发生线位移，所以在这些交点处加上支座表示不可移动；横梁在舱口处的支座表示舱口纵桁的刚性支持。考虑到实际船舶结构中的肋板尺寸远比肋骨大很多，所以计算时也可将肋骨下端视为刚性固定端，且将肋板在船底骨架中去研究，从而得到仅由横梁与肋骨组成的刚架(图 1.3.5(b))。

对于船底，当其双层底时，可将整个双层底视为组合板或杆系结构。当将其视为由底纵桁和肋板组成的交叉梁系，即杆系结构时，则内底板和外底板应作为底纵桁和肋板的带板，如图 1.3.6 所示。内底和外底的纵骨则类似于甲板纵骨那样，计算时可作为支持在肋板上的连续梁。

在图 1.3.3(b)中，为了计算舱口纵桁与舱口横梁，忽略了图 1.3.3(a)中与尺寸大小相差不大的悬臂梁以及纵骨的影响，显然其计算图形比较粗糙。

随着电子计算机的出现和发展，也促进了工程结构计算方法的更新与发展，过去许多人工无法计算的问题，现在可以借助计算机和编程，可采用更切合结构实际的计算图形，使其计算结果更为精确、可靠。如采用图 1.3.7 所示计算图形，则可计算出甲板纵桁、舱口端梁、悬臂梁以及肋骨的应力与变形。