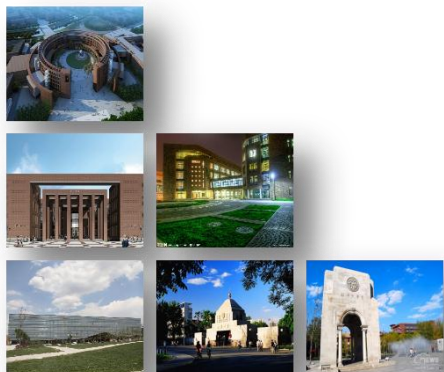


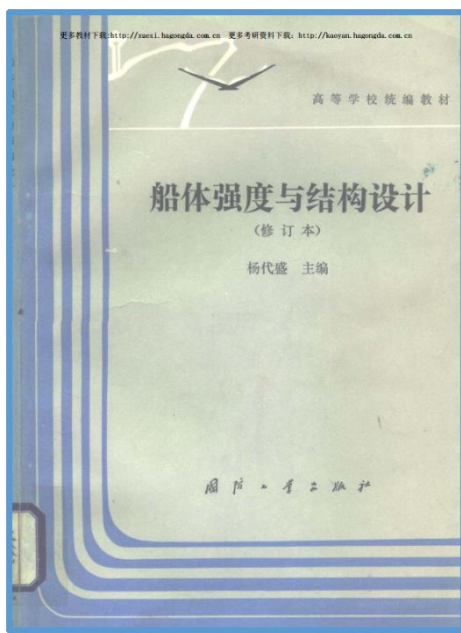
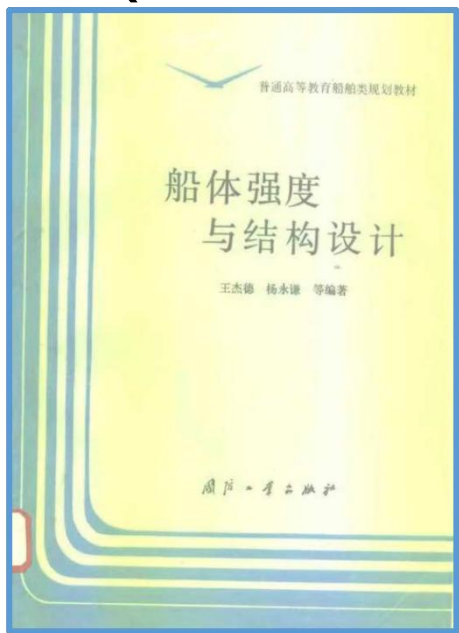
船舶事故案例





参考教材

- **王杰德 等 船体强度与结构设计** 国防工业出版社，1995
- **杨代盛 船体强度与结构设计** 国防工业出版社，1986 **U661/Y38**
- **裴志勇 等 船体强度与结构设计** 科学出版社，2017
(**U661.43/P29** 图书馆可在**科学文库网站**下载电子版资源 **WKReader**打开)





其他参考书目

- **孙丽萍 等 船舶与海洋工程结构强度与结构设计**
中国工信出版集团，哈尔滨工程大学出版社，2020 **U661.43/S71**
- **侯海量 等 水面舰艇强度**
国防工业出版社，2020 **U661.43/H57**
- **许维军 等 船体强度与结构设计**
哈尔滨工程大学出版社，2020
- **许维军 等 潜艇强度**
哈尔滨工程大学出版社，2020 **U674.76/X96**
- **杨代盛 等 船舶强度的概率方法**
哈尔滨工程大学出版社，2007 **U661.43/Y38**



为什么研究船体强度问题？

广州沥心沙大桥 “船撞桥”事故



2024年2月22日凌晨5时31分左右，佛山籍集装箱船“良辉688”轮在航经南沙洪奇沥水道时，因船员操作失当，“良辉688”轮左舷船身触碰沥心沙大桥下行通航孔18#桥墩，随后船头再次触碰下行通航孔19#桥墩，致使该通航孔上的桥面断裂。

在该事故中，造成5人死亡（空载中巴车驾驶员1人、电动摩托车驾驶员1人、落水小货车3人），两人在医院救治，目前生命体征稳定；肇事船舶一名船员轻微伤。



为什么研究船体强度问题？



- 稳性
- 快速性(阻力、推进)
- 耐波性
- 操纵性
- 浮性
- 抗沉性
-



油耗

驾驶感受

动力性能

安全性



1. 船中折断



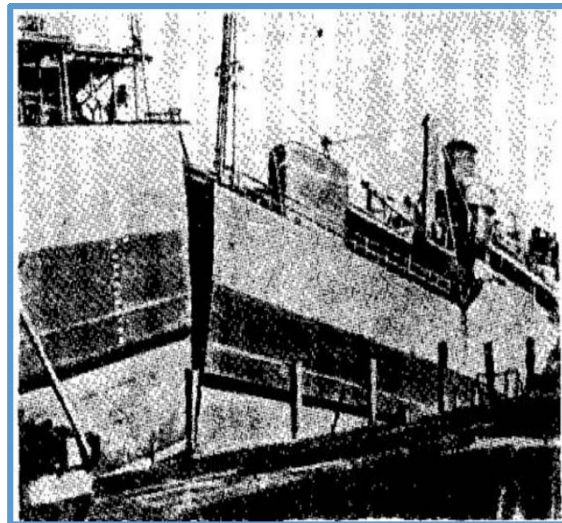


1. 船中折断——美国自由轮



- 二战期间美国大量建造的**货轮**
- 在1941年到1945年间，18个美国船坞共计建造了**2751艘**自由轮
- **34天**即可完成“建造+舾装”

大约有1500艘自由轮出现了严重的裂缝
事故发生在冬季寒冷季节，断裂原因主要是焊缝不满足强度要求。



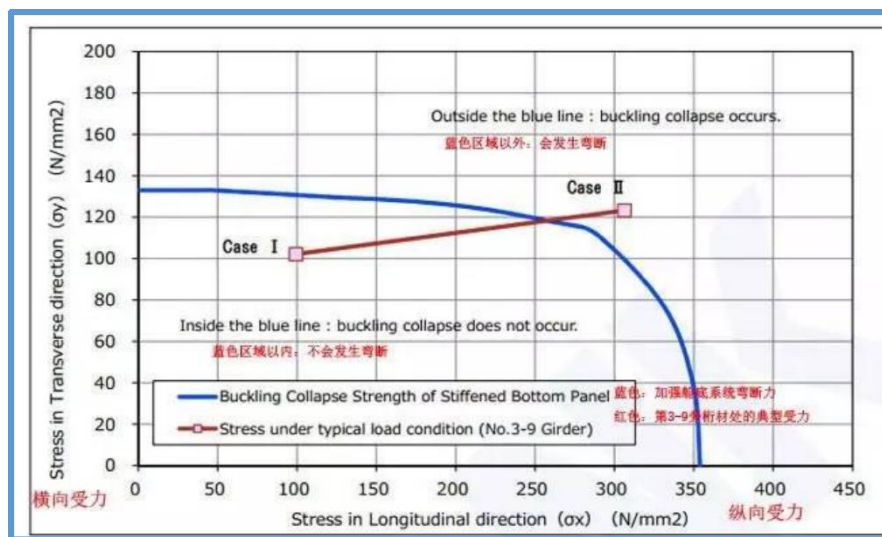


1. 船中折断——巴拿马型集装箱船



断裂原因：船中部分集装箱没有货物，船底没有压载水，引起中部浮力远大于重量，垂向力大于可接受的横向载荷，导致**中部船底板屈曲失稳**，船底板**失稳**，导致构件应力增大，最终导致船底板出现裂纹，逐渐向上扩展，导致船中断裂。**船体总体上抵抗总弯曲力矩能力不够。**

2013年6月17日，巴拿马型集装箱船
MOL COMFORT在印度洋**断裂，沉没。**
该船体断裂是从船底中部开始，裂缝从
船底向甲板扩展直至断裂。





2. 船舶撞击桥梁——勤丰128号



2000年3月27日，台州籍货船“勤丰128号”的桅杆，撞在了长江宁波金塘大桥桥面，当时桥正在建设中，桥面断裂、塌落，4人当场死亡，船体严重受损。





2. 船舶撞击桥墩——南桂机035



2007年6月15日清早5时10分，“南桂机035”号运沙船由佛山高明开往顺德，途中偏离主航道航行撞击九江大桥，导致桥面坍塌约200米。后证实，有四辆汽车7名司乘人员，以及2名现场施工人员共9人坠江失踪。





2. 船舶撞击冰山——泰坦尼克号



- “永不沉没”的巨轮
- 处女航撞击冰山沉没
- 1517人丧生

1912年4月14日23时40分左右，泰坦尼克号与一座冰山相撞，造成**右舷船艏至船中部破裂**，五间水密舱进水。4月15日凌晨2时20分左右，泰坦尼克船体断裂成两截后沉入大西洋底3700米处。

事后统计，2224名船员及乘客中，1517人丧生，其中仅333具罹难者遗体被寻回，船舶残骸直至1985年才被再度发现





2. 两船相撞——义海轮与交响乐轮



渔业损失、生态环境损失债权金额共约 37.4 亿元，所幸未发生人员伤亡等次生事故。



2. 两船相撞——“隆腾6”与“江甬6号”



2009年4月16日凌晨，散货船“隆腾6”轮（黑色）与运砂船“江甬6号”轮在宁甬江口水域拦腰相撞，“江甬6”号轮舱室撞破进水，2小时沉没。





3. 船舶触礁——海丰96



2009年6月7日下午3点40分，装载1400吨饲料的“海丰96”号货运船在重庆嘉陵江曾家岩水域大溪沟附近触礁，船体进水后发生倾覆。





3. 船舶触礁——豫信货13176轮



“豫信货13176轮”，装载了约8000吨黄沙，由福建起航，准备驶往长江。该货轮航行至舟山黄龙岛附近海域时，不慎触礁，**船右艏处破损进水**，海水迅速涌入船舱，船体向左倾斜。营救4名船员结束的瞬间，船舶沉入海中





4. 爆炸破坏结构——深海平台



2010年美国深水地平线平台

- 起火爆炸，造成7人重伤、至少11人失踪
- 平台沉没，水下井口开始漏油
- 初次封堵后二次喷发
- BP石油公司遭40亿美元罚款



2006年巴西P-36半潜式平台

- 平台主甲板下支柱爆炸
- 灭火过程中二次更大的爆炸
- 救援无效，平台沉没，死亡10人
- 方圆20公里漂浮6000升石油



其他20个船舶碰撞视频案例

• <https://www.bilibili.com/video/BV1sJ41137Xh>

bilibili

首页 ▾ 番剧 直播 游戏中心 会员购 漫画 赛事 下载APP

我的埃及留学经历



20个船舶碰撞事故案例

1881 3 2019-09-19 17:39:57



1人正在看，已装填 2 条弹幕



发个友善的弹幕见证当下

弹幕礼仪 >

发送



船体发生破坏的主要形式

- **船中破坏**：船舶总体抗弯曲能力不足以抵抗货物及波浪引起的弯曲力矩，这种破坏型式称之为船舶总体结构破坏。
- **局部破坏**：非船中的局部船体构件出现变形或者断裂，一般由局部载荷引起，包括瞬间撞击力，或者局部装载不合理等引起，称之为局部结构破坏。



为什么研究船体强度问题？



- 稳性
- 快速性(阻力、推进)
- 耐波性
- 操纵性
- 浮性
- 抗沉性
-

经济性

安全性

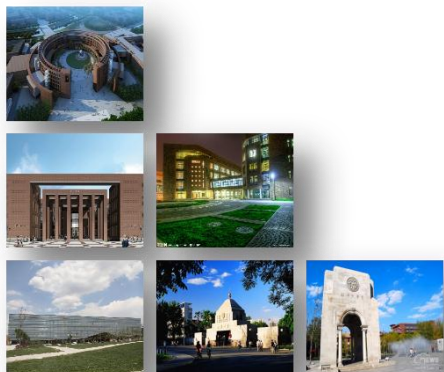
- 强度是关乎船舶与海洋结构物**安全**的重要指标



强度问题研究的必要性

- 为了防止船舶结构发生破坏，需要计算分析船体结构抵抗波浪等载荷的能力，确定船舶允许作业或航行的海洋环境；为了保证**安全**航行，需要合理的布置船体的结构，掌握船体结构设计技术。

船体波浪上的外力计算

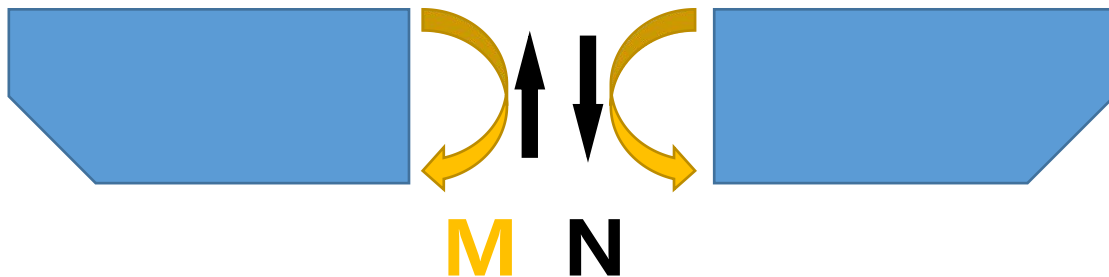




1、船体梁的受力与变形特征

1.1 船体梁的受力特征

船体梁：将船简化为**变断面的空心 薄壁 梁**结构



剪力： N

弯矩： M



1、静水浮力分布曲线

1.2 浮态调整



任务：进行纵倾调整（确定船舶在静水中浮态，求解平衡状态船舶首尾吃水）

调整依据：船的平衡条件 ①

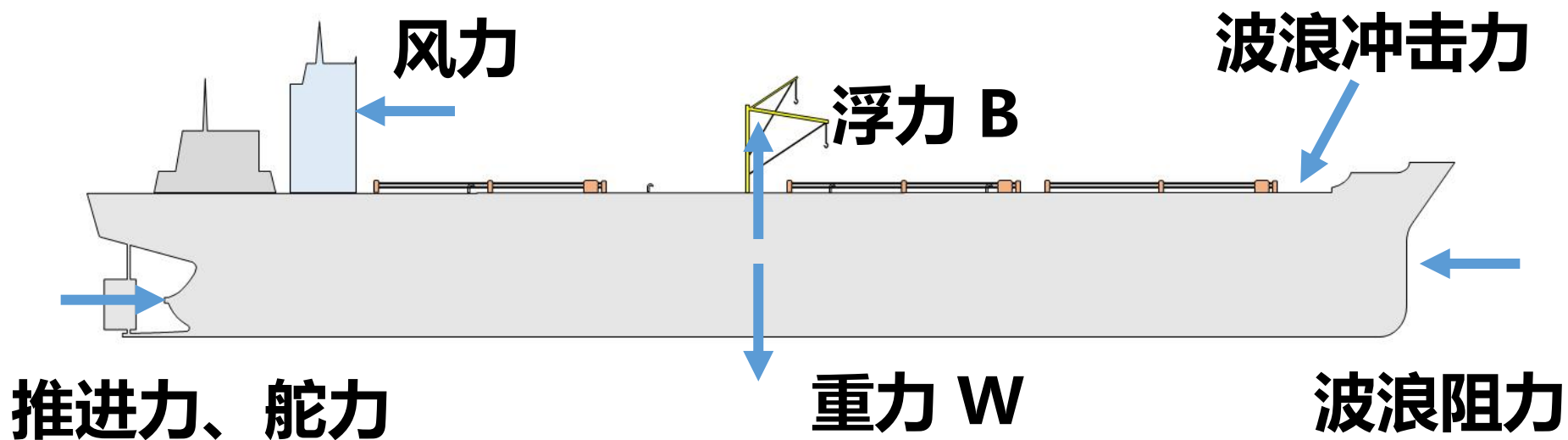
②

所需技术资料：船的装载工况、静水力曲线、邦戎曲线



2、影响外力主要因素

2.1 船舶受力



实践证明：**重力**与**浮力**是影响船体总纵弯曲的主要外力



2、影响外力主要因素

2.3 船舶波浪遭遇状态

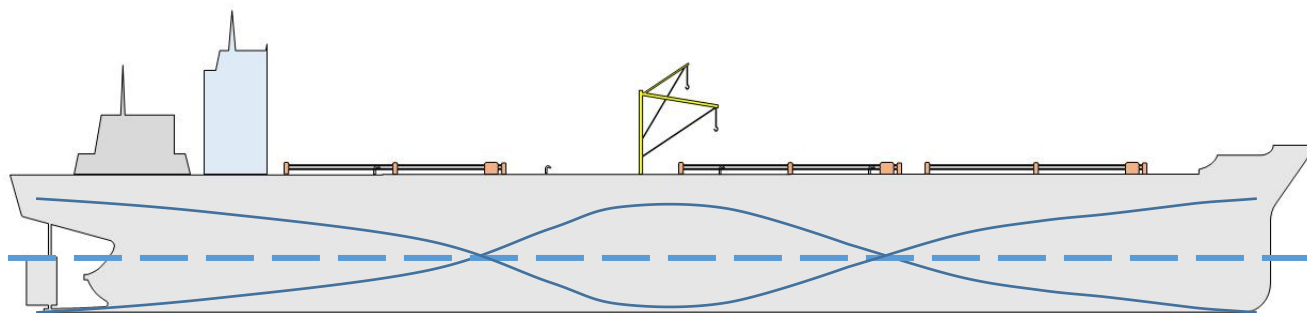
船体**静置**在波浪上

- (1) 船舶与波浪相对速度为0
- (2) 船体重力浮力处于平衡状态



典型遭遇状态

- 波峰处于船中
- 波谷处于船中

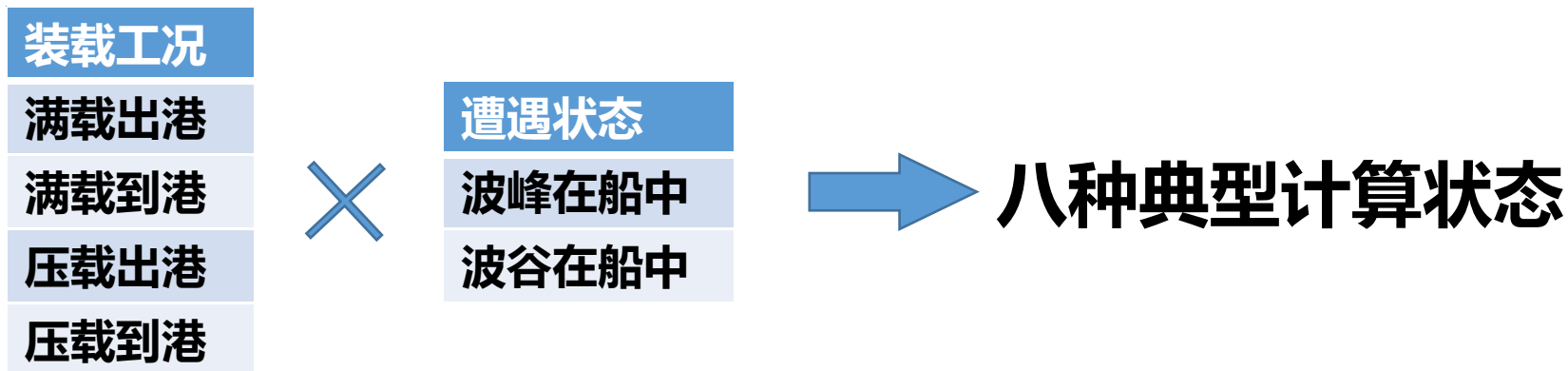




2、影响外力主要因素

2.5 船体强度计算状态选择

综合考虑装载工况与波浪的遭遇状态



特殊计算状态：工程船在潮差大海域作业，坐底工况

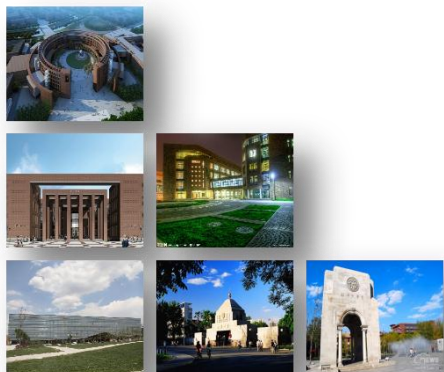


3、总纵弯矩校核

例 某船舶在中垂状态下波浪附加弯矩为 $-15,000 \text{ t}\cdot\text{m}$ ，中拱状态下波浪附加弯矩为 $10,000 \text{ t}\cdot\text{m}$ 。该船存在以下四种装载状态：

- **(1) 装载状态1，静水弯矩为 $20,000 \text{ t}\cdot\text{m}$**
- **(2) 装载状态2，静水弯矩为 $-10,000 \text{ t}\cdot\text{m}$**
- **(3) 装载状态3，静水弯矩为 $+15,000 \text{ t}\cdot\text{m}$**
- **(4) 装载状态4，静水弯矩为 $-15,000 \text{ t}\cdot\text{m}$**
- **试问何种装载状态更好？**

船体总纵强度计算



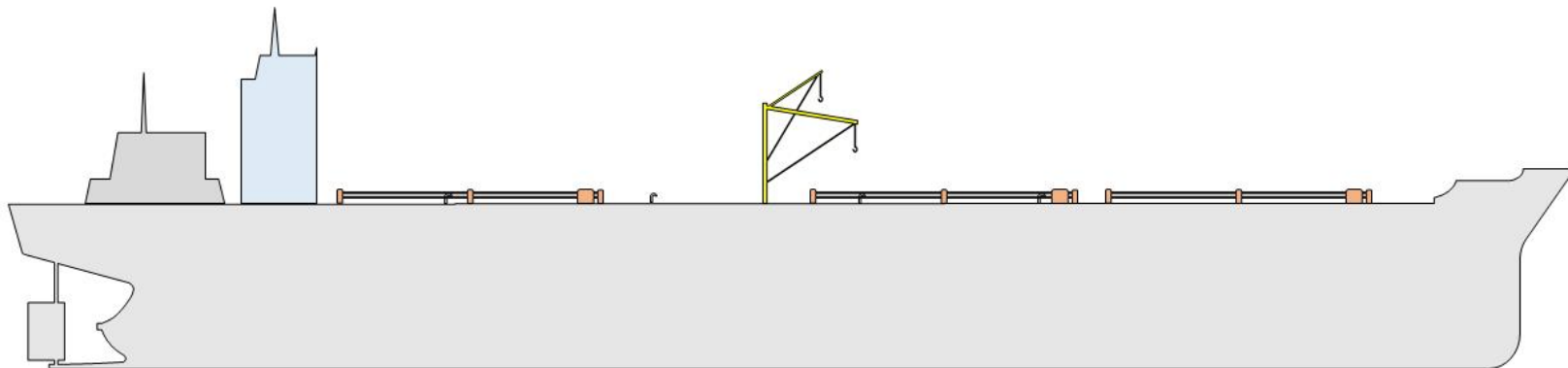


1、船体梁的总纵弯曲应力

1.3 计算剖面的选取

选取目的：找到**应力水平较高**的剖面，以防破坏（危险剖面）

选取原则：外载荷大 或 抗弯刚度/剖面模数小 $\sigma_i = \frac{M}{I} z_i$





1、船体梁的总纵弯曲应力

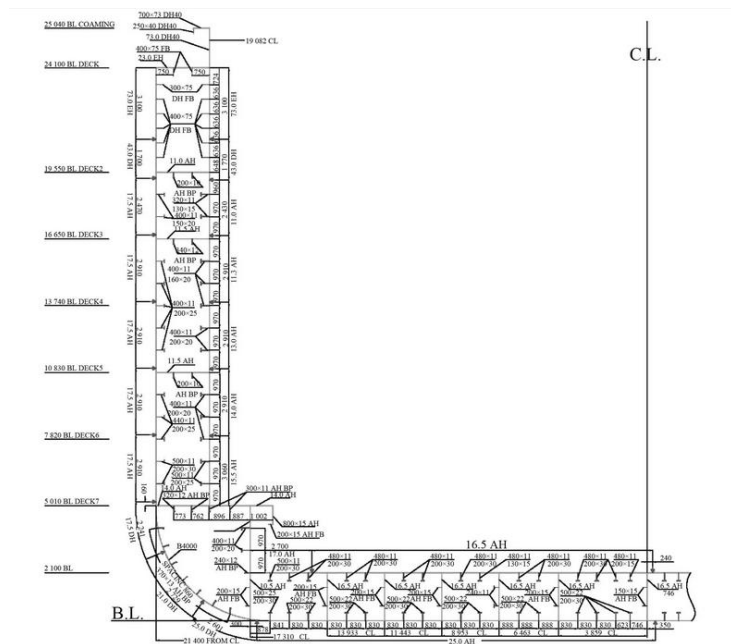
规范特殊要求示例：

对于具有大开口的集装箱船

(主尺度需满足一定要求) **货舱区域内**

应至少计算**七个**横剖面的应力

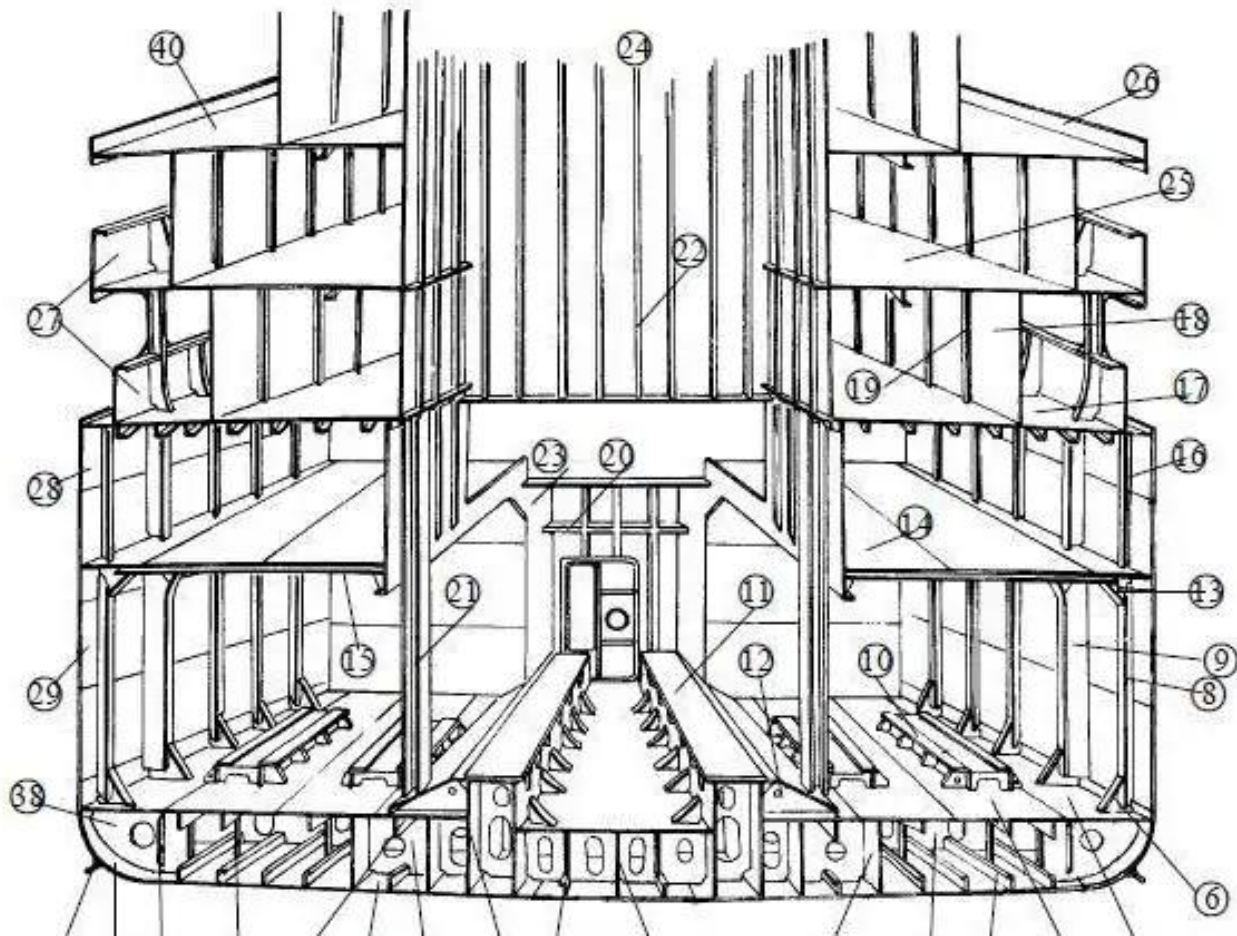
- 机舱前端
- 开口长度的前端
- 在开口长度内再取五个剖面，且至少三个位于船中 $0.4L$ 范围内
- 所有结构突变处的剖面





2、船体参与总纵弯曲的构件

2.1 船体构件参与总纵弯曲的效率





2、船体参与总纵弯曲的构件

2.2 间断构件的处理

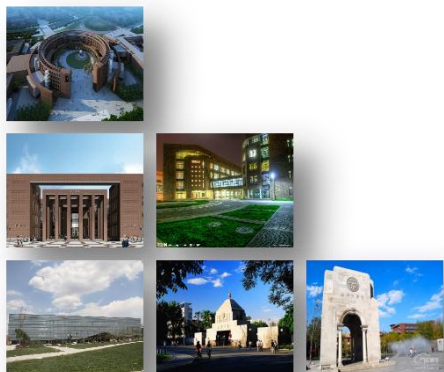
间断构件的有效性取决于它们的**长度**及其**与主体的连接情况**

(1) 船体内纵向构件的处理

连续长度不小于船体计算**剖面本身高度**
(型深) 三倍的舱口围板、纵桁、等纵向构件可以计入船体梁剖面的计算中，
但基座及其他加强纵桁不应计入



船体结构局部强度计算





1、局部强度





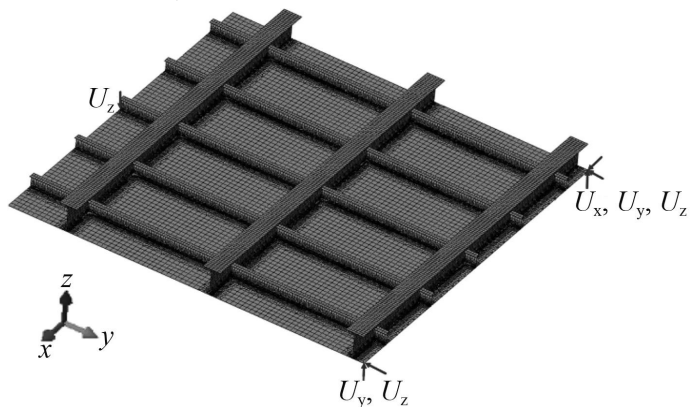
1、局部强度

总强度：船体梁--抵抗总弯曲（载荷）而不破坏的能力

局部强度：局部结构--抵抗局部载荷而不破坏的能力

局部结构：甲板板架、船底板架、肋骨框架、仓壁结构、板格、纵骨、横梁等。

局部载荷：仓室货物、甲板上浪、设备重量及设备运转载荷，舷外水压力等。



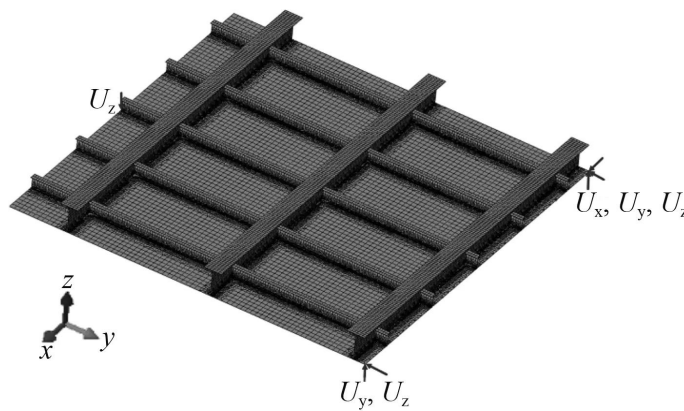


1、局部强度计算的力学模型

1.1 力学模型的概念与意义

力学模型：根据结构的**受力与变形**特点，把实际复杂的结构抽象为可以用力学方法计算的简化模型。

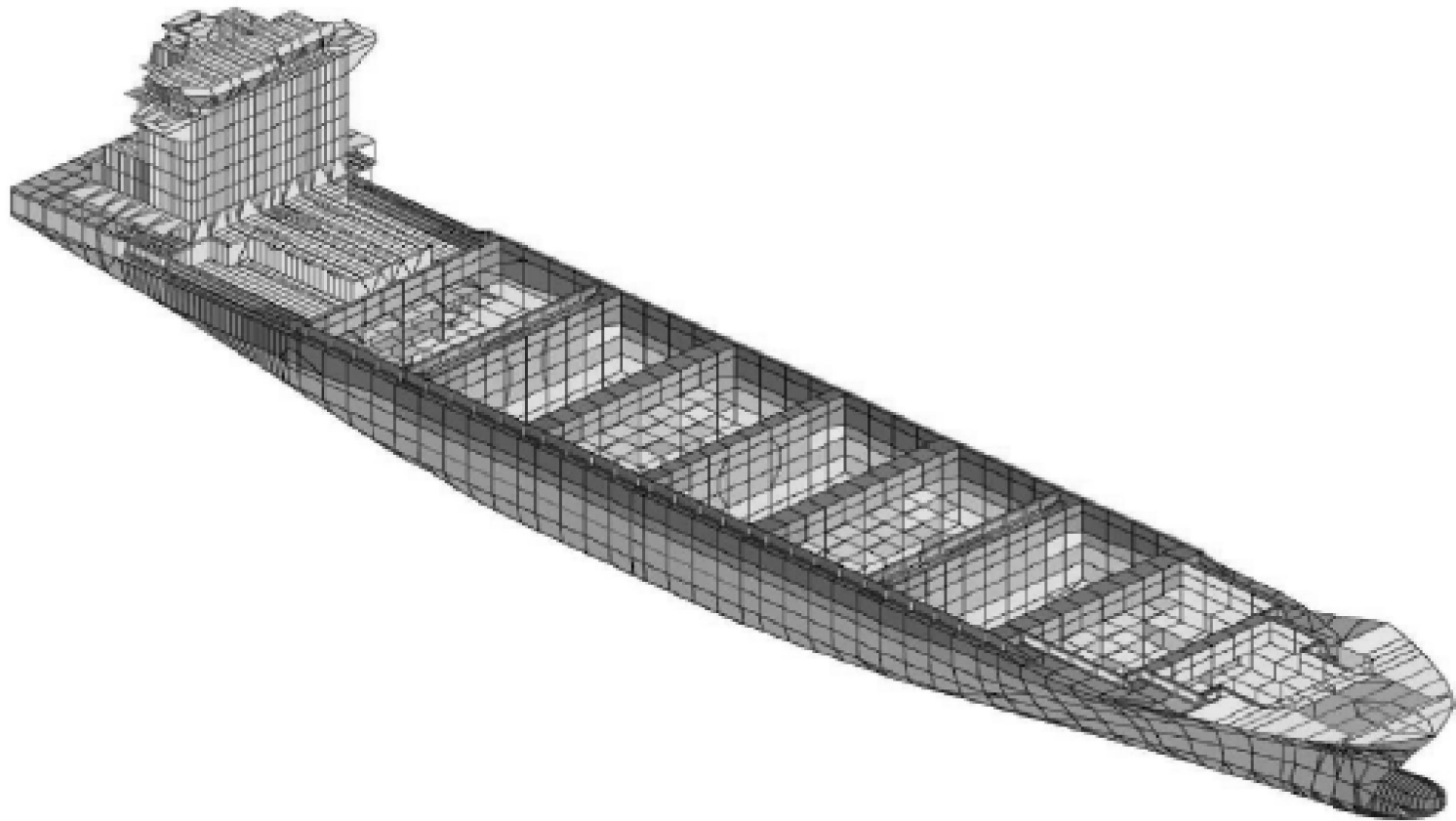
允许偏于“**安全**”的**简化**，以反应实际结构的**主要力学性质**。





3、有限元计算

常用船用有限元软件：ANSYS、ABAQUS、Patran、SESAM...





3、有限元计算

3.1 计算原理与奇异性

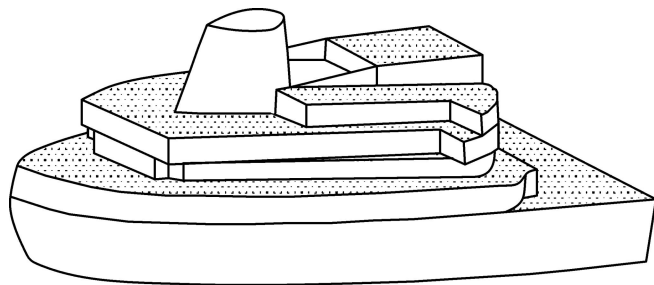
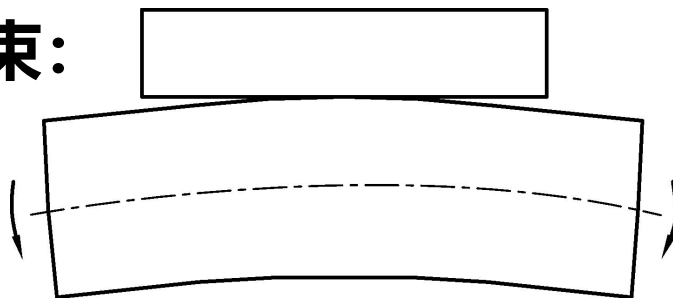
$KQ=F$ 离散 插值形函数 单元刚度矩阵 总刚度矩阵

刚度矩阵的奇异性：指有限元计算时，由于单元的处理不当或者边界约束处理不合理，使结构**总体刚度矩阵行列式的值为零**，从而导致结构位移趋于无限大，引起计算失败。

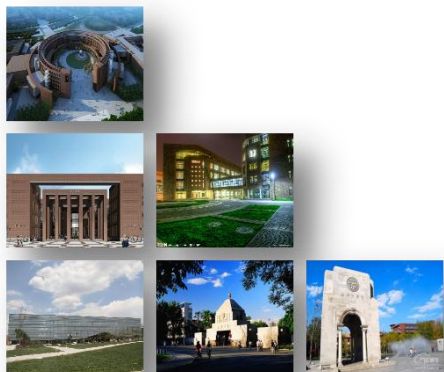
刚体自由度与约束：

二维XoZ平面内

三维坐标系下

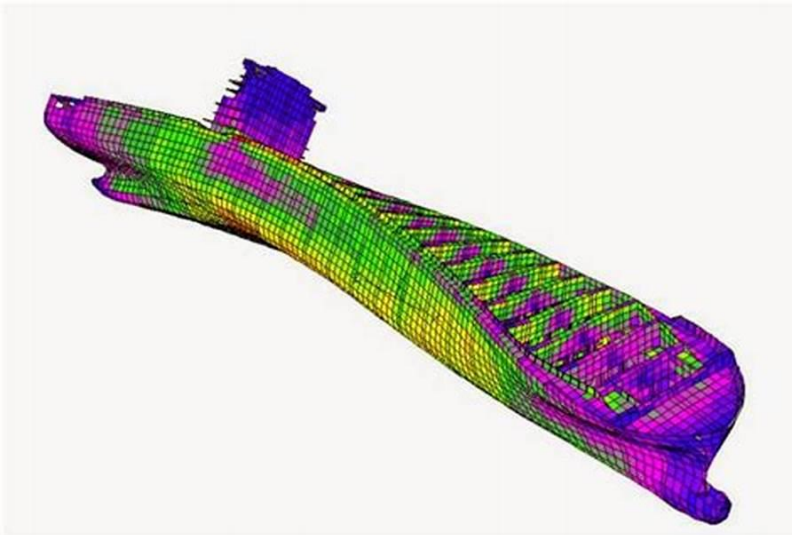
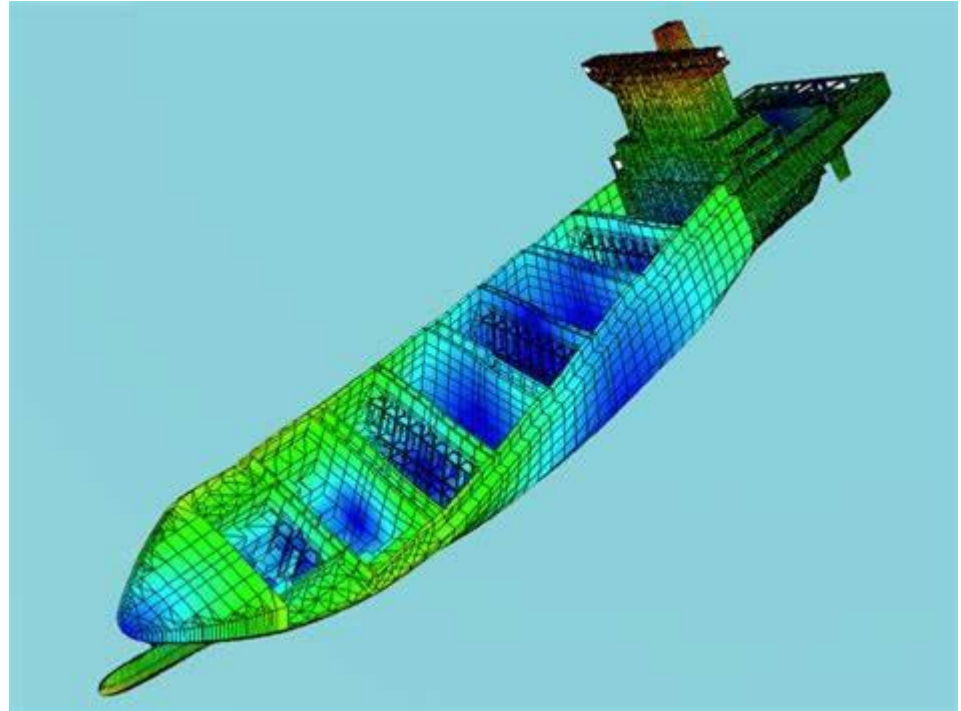


船体结构扭转强度计算





1、扭转强度计算必要性





2、作用在船体上的扭转外力

2.4 船舶倾斜/货物装载扭矩

船舶倾斜由于装载不对称引起。

船舶在航行过程中，由于风浪作用船舶发生剧烈运动，货物移动，导致装载货物重量不对称，引起船舶出现倾角。

船舶在有**静倾角**的状态**保持平衡状态条件**：

①全船重量=排水量 ②全船重量横倾力矩=全船浮力复原力矩

扭矩产生原因：虽然总体上船舶满足平衡状态，但是**单位长度上重量倾斜力矩与浮力复原力矩不相等**，其存在差额，该差额引起扭矩。

https://www.bilibili.com/video/BV1mU4y1M7bz?spm_id_from=33.1007.top_right_bar_window_default_collection.content.click



2、作用在船体上的扭转外力

(1) 引起的扭矩的因素:

波浪扭矩: 斜浪航行, 前体和后体浮力分布反对称, 引起扭矩;

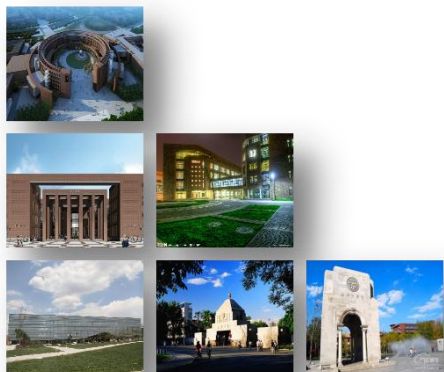
货物扭矩: 货物移动, 引起船舶重心偏移, 单位长度上, 重量力矩和浮力力矩不完全相同, 存在差额, 该差额引起货物扭矩;

横摇扭矩: 船舶横摇运动的惯性力引起扭矩。

(2) 总扭矩: 总扭矩 = 波浪扭矩 + 货物扭矩 + 横摇扭矩

(3) 波浪扭矩占总扭矩的70%, 如果货物没有偏移, 则货物扭矩为零, 横摇惯性力引起的扭矩占斜浪扭矩的30%。

成果展示





大型浮式平台有限元计算

有限元工程算例

