

内部资料 不得外传



船舶稳性

《船检业务基础知识》培训教程

张高峰 编著

胡 威 审稿

中国船级社上海培训中心

2009 年 5 月

目 录

A 部分	课程框架
B 部分	课程大纲
C 部分	具体教学大纲
D 部分	POWERPOINT 讲义
1	《完整稳性》
2	《破损稳性》

A 部分

课 程 框 架

一、范围

本课程涉及国际/国内航行海船完整稳性与破损稳性的要求。由于稳性涉及的船型与规则较多，本课程仅讲述稳性的共性特点，并结合各类船舶的特殊性讲述稳性特殊要求，并介绍稳性审图方法。

本课程不包括具体的稳性计算与审图手段的实践培训。

二、目标

通过本课程的学习，并辅以适当的在职培训，将使得学员能够：

- 掌握各类船舶的稳性特征与技术要求；
- 掌握基本的稳性图纸审核方法。

三、引用的公约、规范、规则等

- R1 IMO MSC.267(85)决议 “2008 国际完整稳性规则”
- R2 MSC/Circ.608/Rev.1 通函 “敞口集装箱船暂行导则”
- R3 2004 年 “国内航行海船法定检验技术规则”（统一书号 15114.0646）
- R4 2004 年 “国内航行海船法定检验技术规则 2006 年修改通报”（统一书号 15114.0919）
- R5 2004 年 “国内航行海船法定检验技术规则 2008 年修改通报”（统一书号 15114.1201）
- R6 IMO MSC.23(59)决议 “国际散装谷物安全装运规则”
- R7 船舶倾斜试验与静水横摇试验实施指南（1996）（统一书号 JCG/Z010-96）
- R8 73/78 防污公约 2006 综合文本（MARPOL）（统一书号 15114.1114）
- R9 国际海上人命安全公约 2004 综合文本（统一书号 15114.0820）
- R10 国际散装运输危险化学品船舶构造与设备规则（IBC Code）
- R11 国际散装运输液化气体船舶构造与设备规则（IGC Code）
- R12 MSC.235(82)决议 “近海供应船设计建造指南”
- R13 MSC.236(82)决议 “近海供应船装载限量有毒有害液体指南修正案”

R14MSC.266(84)决议“2008 特种用途船安全规则”

R15MSC.216(82)决议“SOLAS II-1 章修正案”

R16MSC.281(88)决议“SOLAS II-1 章解释文件”

R17IMO MSC.245(83)-横贯进水装置评估的标准方法决议。

R18 IMO MSC.143(77)决议“1966 年国际载重线公约 1988 年议定书修正案”

四、教材

T1 船舶稳性（交通行政执法人员岗位培训系列教材 船舶检验岗位培训，交通部船舶检验局组织编写，一九九八年一月）

五、参考书

B1 船舶静力学，上海交通大学出版社（ISBN 7-313-01014-1/U. 66）

六、教学辅助

P1 完整稳性（POWERPOINT 幻灯）

P2 破损稳性（POWERPOINT 幻灯）

B 部分

课 程 大 纲

题目

- 1 船舶完整稳性的基本概念与原理
 - 1.1 概述
 - 1.2 完整稳性基本原理
- 2 国际航行海船的完整稳性衡准
 - 2.1 基本稳性要求
 - 2.2 气象衡准
 - 2.3 特殊稳性要求
- 3 国内航行海船的完整稳性衡准
 - 3.1 航区划分
 - 3.2 客船等级
 - 3.3 基本稳性要求
 - 3.4 气象衡准
 - 3.5 特殊稳性要求
 - 3.6 高速船完整稳性要求
- 4 谷物稳性
 - 4.1 SOLAS 公约关于散装谷物安全装运规则
 - 4.2 体积倾侧力矩
 - 4.3 许用倾侧力矩
 - 4.4 谷物稳性计算资料
 - 4.5 国内航行海船的要求
- 5 船舶倾斜试验与静水横摇试验
 - 5.1 试验目的与原理
 - 5.2 试验前的准备工作
 - 5.3 倾斜试验与数据处理
- 6 船舶完整稳性的审核
- 7 船舶分舱、破损稳性的基本概念
 - 7.1 概述
 - 7.2 船舶分舱、破损稳性的基本概念

8 确定性方法的分舱、破损稳性要求

8.1 客船

8.2 货船

8.3 国内航行海船

8.4 高速船

9 概率方法的分舱、破损稳性要求

9.1 破损稳性规则的历史演变

9.2 SOLAS 2009 概率破损稳性规则计算要求

10 破损稳性的审核

10.1 破损稳性的审核

10.2 横管浸水平衡装置

11 复习

C 部分 具体教学大纲

课程要点	IMO、 IACS---	CCS 规范	教科书 参考书	教学辅 助材料
1. 船舶完整稳性的基本概念与原理 1.1 概述 .1 简介船舶完整稳性的发展 .2 简介稳性与法定检验、入级检验的关系 1.2 完整稳性基本原理 .1 简单介绍船舶平衡的基本原理与排水量计算方法 .2 稳性的定义 .3 初稳性与大倾角稳性 .4 初稳性高（GM）及其计算方法 .5 复原力臂及其计算方法 .6 自由液面修正 .7 影响稳性计算的各类开口			B1	P1
2. 国际航行海船的完整稳性衡准 2.1 基本稳性要求 .1 简单介绍 A.749(18)决议对国际航行海船复原力臂曲线的要求 2.2 气象衡准 .1 介绍 A.749(18)决议中的完整稳性气象衡准模式 .2 气象衡准的几个因素：风、浪、舳龙骨、受风面积等 2.3 特殊稳性要求 .1 分别介绍客船、运木船、近海供应船、特殊用途船、集装箱船、敞口集装箱船、方驳、油轮的特点与特殊稳性要求	R1-Reg.3.1.2 R1-Reg.3.2 R1-Reg.3.5, R1-Chpt.4, R2			P1
3. 国内航行海船的完整稳性衡准 3.1 航区划分 .1 介绍国内航行海船的航区的一般划分标准（风、浪统计以及距岸距离） .2 目前国内已划分的遮蔽航区 .3 介绍相当遮蔽航区营运限制概念	R3-总则 /Reg.12 R3-总则 /Reg.12.3			P1

课程要点	IMO、IACS---	CCS 规范	教科书 参考书	教学辅助材料
.1 简要介绍许用倾侧力矩的概念与计算方法 .1 简介谷物稳性计算书或谷物装载手册应包 括的资料 4.5 国内航行海船的要求 .1 说明国内航行船谷物稳性同国际航行船的区 别及要求 5. 船舶倾斜试验与静水横摇试验 5.1 试验目的与原理 .1 简述空船重量概念、试验目的与基本原理 5.2 试验前的准备工作 .1 讲述环境与系泊条件（风浪小于 2 级、船舶 方向、周围空间、系缆） .2 怎样准备移动重量（或替代用的压载水） .3 测量装置（U 形管或摆锤）的准备 .4 液体舱的清空与剩余液体测量 .5 记录多余或不足重量 .6 测量风向、风速、流向、流速、吃水、水密 度 .7 强调初始纵倾最好不超过 1%L _{BP} ，否则按实 际纵倾状态的静水力参数 5.3 试验与数据处理 .1 讲述怎样移动重量、测量记录移动力臂（a） .2 讲述怎样根据 a/λ 值与移动力矩进行误差检 查 .3 按照 R4 的附表编制倾斜试验报告 .4 要求验船师监督试验，在试验数据原始记录 名、倾斜试验报告上签名、盖船级社图章 6. 船舶完整稳性的审核 6.1 讲述审核的准备工作，强调审核重点 .1 根据船型与航区确定适用规则 .2 校核静水力与舱容 .3 讲述如何校核横交曲线，注意封闭上层建筑/ 甲板室以及舱口围板等是否计入浮力 .4 检查进水点 .5 检查受风面积、结冰重量与舳龙骨参数 .6 校核极限 GM 曲线或极限重心高度曲线	T1-Chpt4 Para.3 R3-Chpt6/ Reg.3.7 R5-Reg.1 R5-Reg.2 R5-Reg.2.5.6			P1

课程要点	IMO、IACS---	CCS 规范	教科书参考书	教学辅助材料
.7 典型装载工况校核注意重量重心与自由液面修正			T1-Chpt.6 /Para.3	
7. 船舶分舱、破损稳性的基本概念				P2
7.1 概述			T1-Chpt.7 /Para.1	
.1 分舱与破损稳性的概念				
.2 简述 SOLAS 破损稳性规则的发展史				
.3 确定性 / 概率方法的分舱破损稳性概念				
8. 船舶确定性方法的分舱、破损稳性				
8.1 客船（SOLAS 公约第 II-1 章）				P2
.1 讲述现有 SOLAS 公约客船分舱要求				
— 限界线、分舱因素、可浸长度、许用舱长等概念	R6-Chpt.II-1 Reg.4,5,6			
— “SOLAS 90” 客船分舱破损稳性浮态与剩余稳性要求	R6-Chpt.II-1 Reg.8			
— 载客数超过 400 人的客 / 滚船特殊分舱要求	R6-Chpt.II-1 Reg.8-2,3			
— SOLAS 对现有客滚船的追溯性要求	R6-Chpt.II-1 Reg.8-1,2			
8.2 货船				P2
.1 简述油船 MARPOL 公约按船长的分舱要求	R6-Reg. 25			
.2 简介化学品船与液化气体船按船长与货物对环境安全的危险程度决定分舱水平	R8-Reg. 2. 8 R9-Reg. 2. 8			
.3 简述近海供应船一舱制分舱要求	R10-Reg. 3. 2			
.4 简述特殊用途船概念与按船长与特殊人员数量决定分舱水平的要求	R11-Reg. 2. 2			
.5 SOLAS 对装载高密度货物的散货船破损稳性要求	R7-Chpt.12/ Reg.4			
.6 简述国内航行客船、双体客船与高速船分舱要求	R3-Part 4 Chpt.II-1/Reg. 1.6,1.7 Part 6 Reg.6 R14/Reg.27			
.7 简述载重线公约对 A、B-100、B-60 干舷的破损稳性要求				
8.3 高速船				
.1 简介单体高速船破损稳性				
.2 简介双体高速船破损稳性				

课程要点	IMO、 IACS---	CCS 规范	教科书 参考书	教学辅 助材料
<p>—检查 SOLAS 极限稳性曲线是否载入装载手册</p> <p>10.2 横贯浸水装置</p> <p>.1 讲述横贯浸水装置的使用目的与限制条件</p> <p>.2 简述横贯浸水装置平衡时间要求</p>	<p>R7-Chpt.II-1</p> <p>Reg.8.5</p> <p>R13</p>			

D 部分
POWERPOINT 讲义

《完整稳性》

《破损稳性》

编写制作：中国船级社上海规范所 张高峰

完整稳性

张高峰

CCS上海规范研究所

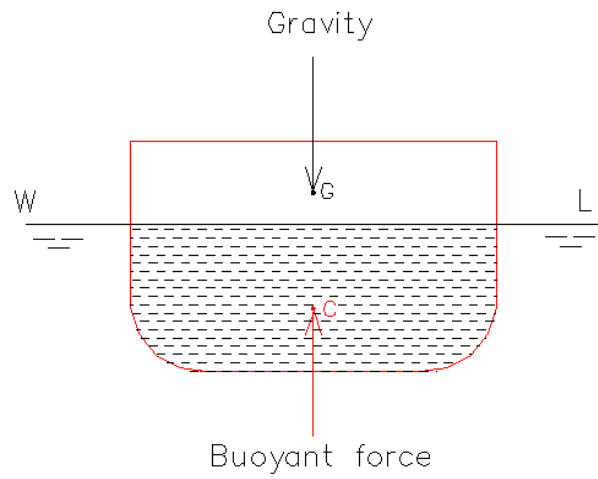
1

主要内容

1. 船舶平衡与排水量
2. 稳性基本概念与原理
3. 初稳性高(GM)和复原力臂
4. 国际航行海船完整稳性衡准
5. 国内航行海船完整稳性衡准
6. 倾斜试验
7. 破损稳性简介

2

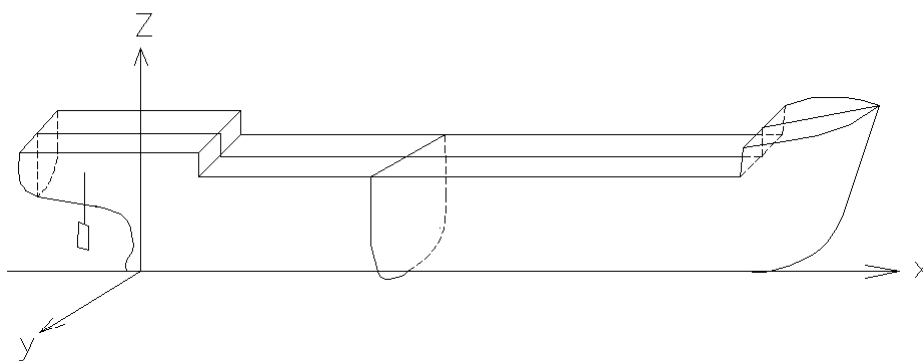
1、船舶平衡与排水量



阿基米德定律 (Archimedes principle)

3

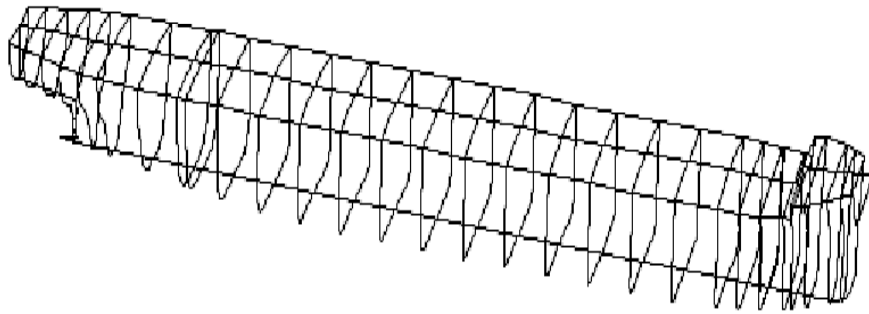
排水量计算



Ship form

4

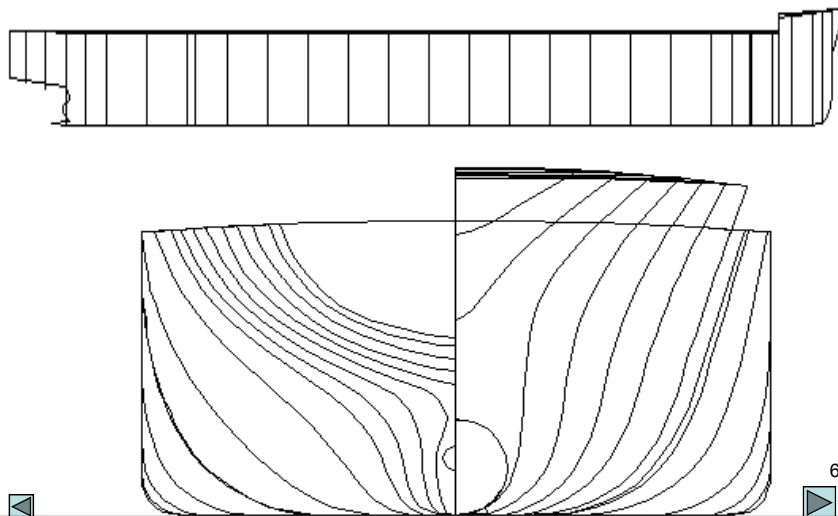
1、排水量计算



3-D geometry model of the hull

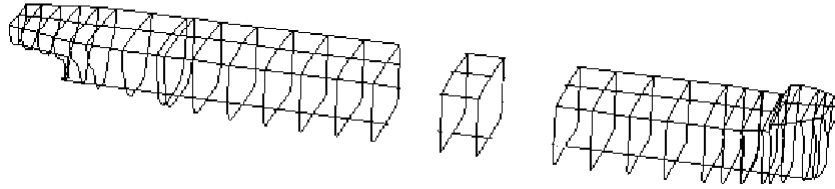
5

排水量计算



6

1、排水量计算



- (1) 将船舶沿纵向分成若干站
- (2) 计算每站剖面的水线下面积
- (3) 按梯形法或其它方法沿纵向积分得到全船排水体积
- (4) 排水体积乘以水密度、附体及壳板系数得到排水量₇

基本静水力参数

- (1) 水线面系数、前体水线面系数
- (2) 方型系数、勘划载重线用的方型系数
- (3) 水线面惯性矩
- (4) 横稳心半径、横稳心高度
- (5) 初稳性高度
- (6) 浮心与漂心纵向位置
- (7) 每厘米吃水吨数、每厘米纵倾力矩

8

2、稳性基本概念

1、广义的稳性定义:

船舶具有抵抗外力（风、浪等）而不致倾覆的能力。

2、初稳性：

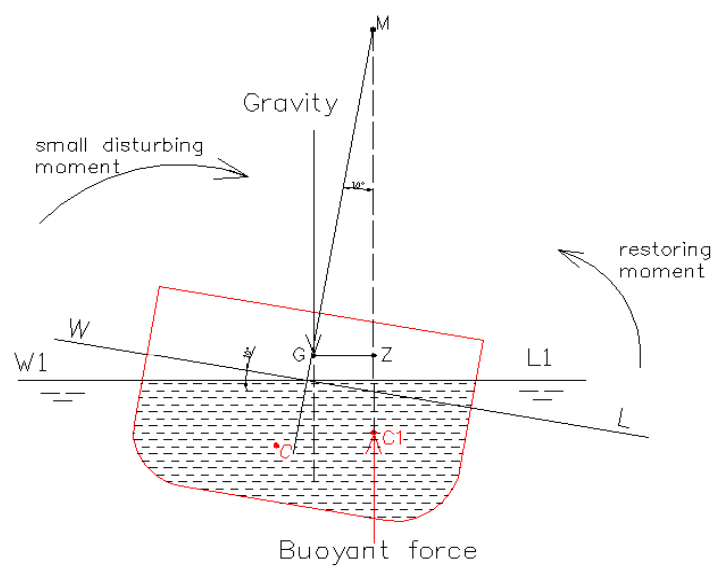
横倾角小于 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 度的稳性。主要以初稳性高GM度量。

3、大倾角稳性:

横倾角超过 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 度的稳性。主要以复原力臂曲线特征以及气象衡准量度。

9

3. 初稳性高(GM)和复原力臂



10

横稳心半径:

$$CM = I / \nabla$$

初稳性高:

$$GM = CM + ZC - ZG$$

11

初稳性高GM的意义

1、几何意义: GM是复原力臂曲线在 origin 处的切线的斜率

2、复原能力的重要标志

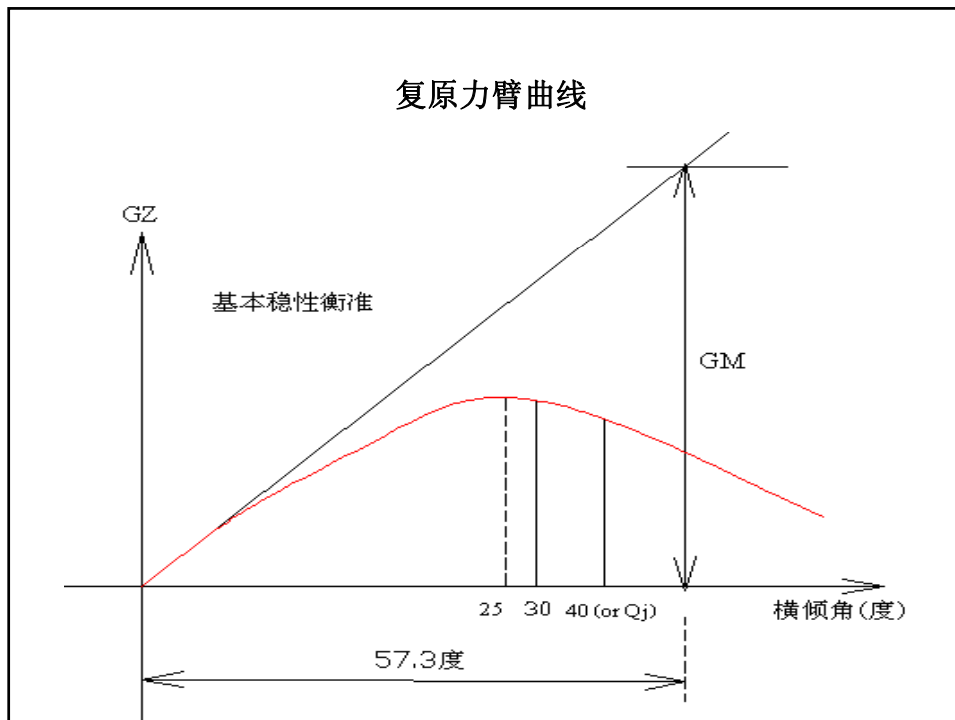
小倾角时复原力矩: $MR = \Delta * GM * \Theta$

3、双重效应:

较大的GM: 稳性太好但横摇周期小, 在浪中横摇剧烈。影响大型集装箱船、装载甲板货的船、大型客船。

适度的GM: 稳性好, 且横摇周期大, 摇摆适中。

12



复原力臂计算

1、 $GZ = ls - ZG \cdot \sin \theta$

2、复原力臂计算中考虑的因素

(1) 能提供浮力的封闭体:

干舷甲板以下的主船体、满足封闭条件的第1层甲板室、第1、2层上层建筑与货舱围

(2) 自由液面影响

消耗液体舱、液货舱、航行途中装载率变化压载水舱

复原力臂计算—液面修正方法

1、升高重心法

$$GZ = l_s - (ZG + FSC) * \sin\theta$$

$$GM_1 = GM - FSC \quad (FSC \text{ 为液面惯性矩除以排水量})$$

2、移动力矩修正法

(1) 根据实际液体舱几何模型，精确计算任意横倾角的液体移动力矩，除以排水量即为对复原力臂的修正 δGZ 。

$$GZ = l_s - ZG * \sin\theta - \delta GZ$$

(2) 或按照现有规则推荐的表格估算

15

稳性计算中涉及的几种开口

1、风雨密开口：关闭后任何风浪情况下风、雨、浪不能透入船体内部：

第一层甲板室的门（甲板内有开口通向主船体内）

第一层上层建筑甲板上的门及窗

第二层甲板室的门

货舱口、空气管、人孔及其它通向主船体以下的小舱口等

2、进水点：船体、上层建筑或甲板室中不能风雨密关闭的开口。淹没后稳性丧失。

3、不影响稳性的小开口：

钢索/缆、锚链孔、流水孔、排水孔、卫生管口等淹没角度 30° 以上。

16

海船完整稳性衡准

1、基本稳性衡准

是对GZ曲线的基本要求

2、气象衡准

是风浪联合作用下抗倾覆衡准

3、规则

国际航行：IMO A.749(18)，经MSC.76(59)修正， $L \geq 24\text{m}$

国内航行：2004《国内航行海船法定检验技术规则》及2006年
修改通报， $L \geq 20\text{m}$

17

4. 国际航行海船基本稳性衡准

1、 $GM \geq 0.15\text{m}$

2、 $GZ(\text{at } 30^\circ) \geq 0.2\text{m}$

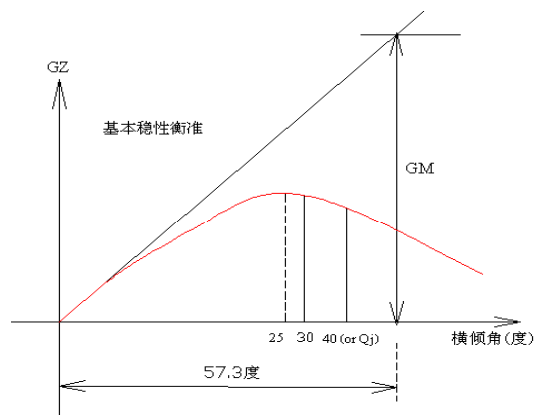
3、 $GZ(\text{max.})$ 对应横倾角 $\geq 25^\circ$

4、面积要求：

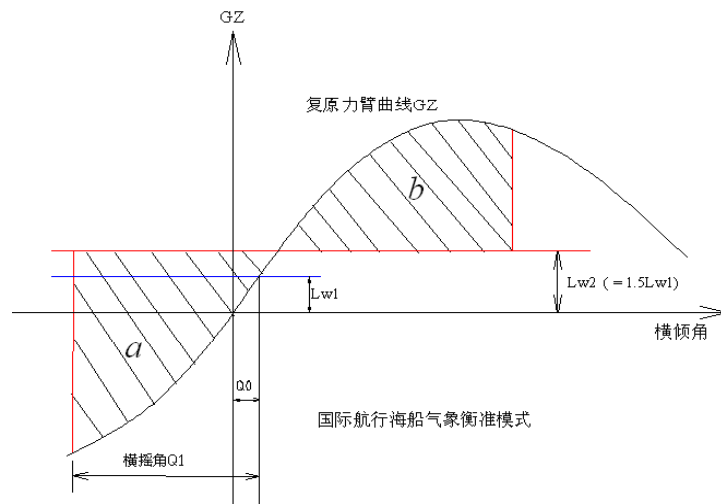
$0 \sim 30^\circ \geq 0.055 \text{ m.rad}$

$0 \sim 40^\circ \geq 0.09 \text{ m.rad}$

$30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.03 \text{ m.rad}$



国际航行海船气象衡准



要求：面积 $b \geq$ 面积 a

19

1、影响气象衡准的几个因素

- 航区
- 风压
- 浪

2、计算气象衡准的几个重要参数

- 横摇角(注意A.749(18)中横摇角公式系数 r 不大于1.0)
- 舦龙骨面积
- 受风面积

3、其它要求

国际航行船一般要求计算结冰稳性

20

国际航行特殊稳性要求—客船

1、特点：

旅客多、航速大、受风面积大、干舷小、船体相对较瘦

2、两种倾覆模式：

全速回航（仅考虑稳定回转阶段）

旅客集中一舷

3、要求：

以上两种模式单独考虑，导致的倾角均不超过 10°

4、校核的标准装载工况：满载出 / 到港、压载出 / 到港、满客无货出 / 到港

21

国际航行特殊稳性要求—运木船

1、特点：

（1）甲板上装载大量的木材

（2）木材淹没时可提供额外的浮力

（3）木材吸水导致货物重量增加

（4）在冰区航行，木材结冰量较常规大很多

2、导致：

改善大倾角稳性，但重心提高、受风面积增大，降低初稳性。

3、要求：

（1）结冰重量按常规的3倍计算

（2）木材吸水量按木材重量的10%计算

（3）受风面积计入甲板上木材面积

22

国际航行特殊稳性要求—运木船

3、要求：

(4) 木材提供的浮力按其浸没体积的75%计算

(5) 基本稳性衡准可替代为：

任何情况下 $GM \geq 0.1m$ ；

$0 \sim 40^\circ$ (或进水角之小者) GZ 曲线下面积 $\geq 0.08 \text{ m.rad}$

最大 $GZ \geq 0.25m$

23

国际航行特殊稳性要求A.469(12)决议—近海供应船

1、特点：

为海洋钻井平台运送各种物资的船。多为首驾驶、后部有大面积的露天甲板，用以堆装物资，如管子、集装箱，有的甲板下有水泥舱。

2、要求：

(1) GZ 曲线可以计入满足风雨密要求的第二层上层建筑；

(2) 原则上应满足基本稳性衡准与气象衡准；

(3) $L < 100m$ ，对 GZ 曲线可以放宽要求：

— $\max GZ$ 对应的倾角 $\theta_m \leq 15^\circ$

— $\theta_m \leq 30^\circ$ 时， θ_m 处面积 $A \geq 0.055 + 0.001 (30 - \theta_m)$

— 不要求 $0 \sim 30^\circ$ 或 $0 \sim \min(40^\circ, \theta_f)$ 的面积，其它同基本稳性衡准

(4) 装载管子时，考虑管子因吸水增加重量：

干舷 $< 0.015L$ 增加30%

干舷 $< 0.03L$ 增加10% 其它干舷 线性内插

(5) 尾吃水应保持0.005L的最小干舷

24

国际航行特殊稳性要求A.534(13) —特殊用途船

1、特点：

- (1) 载有12名（含乘客）以上与船舶用途有关的特殊人员的机械自航船。
- (2) 船舶用途包括：
 - 科研/考察/测量船、
 - 海员训练船、
 - 鲸鱼与鱼类和其它海洋生物资源加工船
 - 其它类似的船。

2、要求：

- (1) 完整稳性按照普通货船的要求；
- (2) $L < 100\text{m}$ 时，GZ曲线可以按照近海供应船的特殊要求

25

国际航行特殊稳性要求—集装箱船

1、特点：

- (1) 甲板与舱口盖上装载大量集装箱，重心较高，受风面积较大，视线要求较高，对绑扎要求也较高；
- (2) 甲板宽而线型瘦，大外飘；
- (3) 集装箱不能提供浮力；
- (4) 干舷较大，航速高；
- (5) GZ曲线一般呈现“S”形，GM较小，但完整稳性富裕度大，但随浪稳性差。

2、要求：

- (1) 完整稳性按照普通货船的要求；
- (2) $L > 100\text{m}$ 时，尚应满足特殊的随浪稳性要求；
- (3) 满载出港时，可以通过压载水达到满载排水量，且集装箱数量达到最大（但不要求全部满箱）。

26

国际航行特殊稳性要求—敞口集装箱船

1、特点：

- (1) 主要用于短途运输集装箱货物；
- (2) 货舱没有舱口盖；
- (3) 装卸效率高
- (4) 货舱容易进水

2、要求：

- (1) 在第一货舱前设置挡浪板；
- (2) 除满足一般货船的稳性要求外，还要考虑货舱按0.7渗透率，进水至舱口顶端时的稳性满足SOLAS B-1规则的稳性要求，使 $S_i=1.0$ 。

27

国际航行特殊稳性要求—方驳

1、特点：

- (1) 无推进装置，无船员，甲板上的人孔一般要求水密关闭；
- (2) $B/D \geq 3.0$ ；
- (3) 方型系数 $C_b \geq 0.9$

2、要求：GZ曲线和气象衡准均放宽处理；

- (1) 最大GZ之前的面积 $\geq 0.08 \text{ m.rad}$
- (2) 540Pa风力作用下引起的倾角小于该装载工况下0.5倍干舷处的淹没角
- (3) 正稳性范围
 - $L \leq 100\text{m}$ $\geq 20^\circ$
 - $L \geq 150\text{m}$ $\geq 15^\circ$
 - 其它船长，线性内插

28

国际航行特殊稳性要求—油船

1、特点：

- (1) 双底双壳：5000 DWT及以上
- (2) 设置双层底：0~5000 DWT
- (3) 为减小自由液面，设置纵舱壁
- (4) 装卸过程中容易发生较大的横倾甚至倾覆

2、要求：

- (1) 除常规要求外，还要求满足MARPOL I/25A条以及IACS UI 11A的要求
- (2) 装载工况除满/压载外，船级社一般要求计算半载或部分装载工况

29

5. 国际航行海船特殊稳性要求—谷物稳性

1、谷物定义

2、谷物稳性原理

3、谷物横倾力矩计算

- (1) 满载平舱横倾力矩；
- (2) 满载不平舱横倾力矩；
- (3) 部分装载舱横倾力矩。

30

5. 国内航行海船航区划分

1、**沿海航区 coastal service:** 台湾岛东海岸、台湾海峡东西海岸、海南岛东海岸及南海岸距岸不超过10海里的海域和除上述海域外距岸不超过20海里的海域；距有避风条件且有施救能力的沿海岛屿不超过20海里的海域。

风速：22m/s，概率 $p(V>22) < 1\%$

2、**近海航区 greater coastal service:** 指中国渤海、黄海及东海岸不超过200海里的海域；台湾海峡、南海距岸不超过120海里（台湾岛东海岸、海南岛东海岸及南海岸不超过50海里）的海域。

风速：31m/s，概率 $p(V>31) < 1\%$

31

5. 国内航行海船航区划分

3、**远海航区 unrestricted service :** 超出近海航区的海域。

风速=42m/s, $P(V>42) < 1\%$

4、**遮蔽航区 sheltered service:** 在沿海航区内，岛屿之间、岛屿与海岸之间（距离不超过10海里）围成的遮蔽性好，风浪较小的海域。

风速：22m/s，概率 $p(V>22) < 1\%$

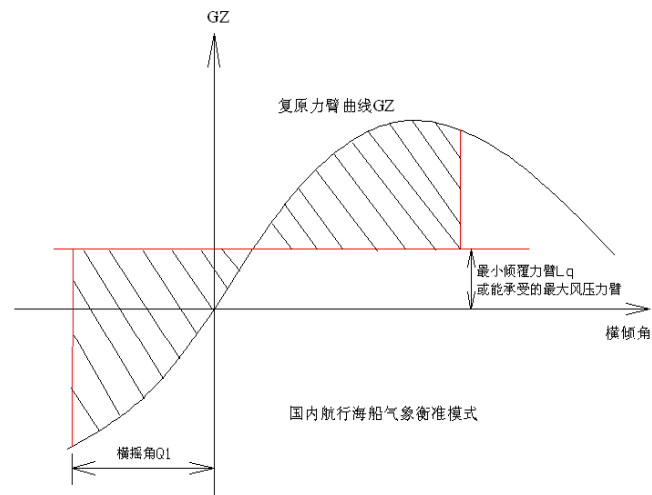
5、**相当遮蔽航区营运限制:** 港区附近距岸不超过10海里的水域（台湾海峡及类似水域距岸不超过5海里），满载航程不超过2h小时，蒲氏风级不超过6级，目测波高不超过2m。

32

5. 我国各航区风浪资料				
航区 Navigation area	风速 wind speed (m/s)	有义波高 significant wave height (m)	蒲式风级 Beaufort wind scale	海事局规定的 抗风等级
遮蔽航区	≤22	≤2	≤6	6
沿海航区	≤22	≤4	≤6	6
近海	≤31	≤6	≤8	7
远海	≤42	≤8	≤10	8
风速超越概率都取为<1%				33

5. 国内航行客船等级划分			
客船等级	航 行 限 制		
	航 区	海 域	航程距庇护地 距离
I	远海、近海	—	—
II	沿海	黄海、东海、北部湾、渤海湾、 琼州海峡、雷州半岛东海岸和西海岸	≥10 n mile
		台湾海峡、台湾岛东海岸、 海南岛东海岸和南海岸、南海	≥ 5 n mile
III	沿海	黄海、东海、北部湾、渤海湾、 琼州海峡、雷州半岛东海岸和西海岸	<10 n mile
		台湾海峡、台湾岛东海岸、 海南岛东海岸和南海岸、南海	< 5 n mile
	遮蔽	—	—
34			

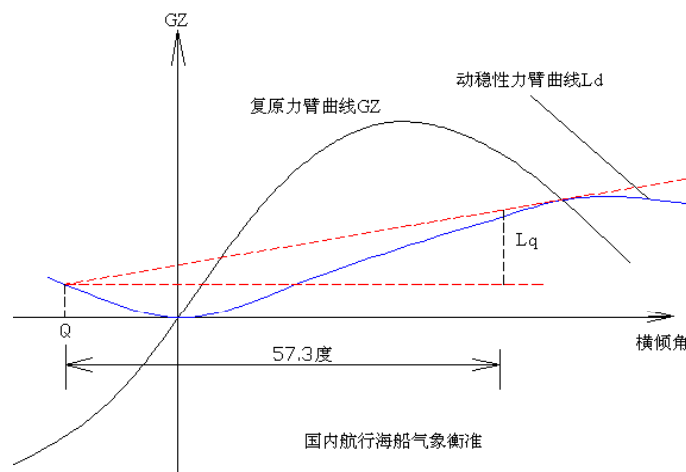
5. 国内航行海船气象衡准模式



要求: $K = L_f / L_q \geq 1$

35

5. 国内航行海船气象衡准数的计算



36

5. 国内航行海船基本稳性衡准

- 1、对GZ曲线的要求除了无面积要求外，其余基本和国际航行船一致。
- 2、对GZ曲线的放宽要求：
 - (1) $B/D > 2.0$ 时 θ_m 可以根据气象衡准进行折减；
 - (2) 遮蔽航区船， Max GZ 及 θ_m 还可进一步放宽。
- 3、对液货舱的自由液面的特殊要求。
要求按 0° 横倾、98%装载率计算自由液面影响。
- 4、对江海航行船，还要满足加速度衡准。
- 5、对冬季航行青岛以北的航区，对稳性最差的工况补充计算结冰稳性。

37

5. 国内航行海船特殊稳性要求—客船

一级客船按远海航区要求

38

5. 国内航行海船特殊稳性要求—拖船

1、特点：

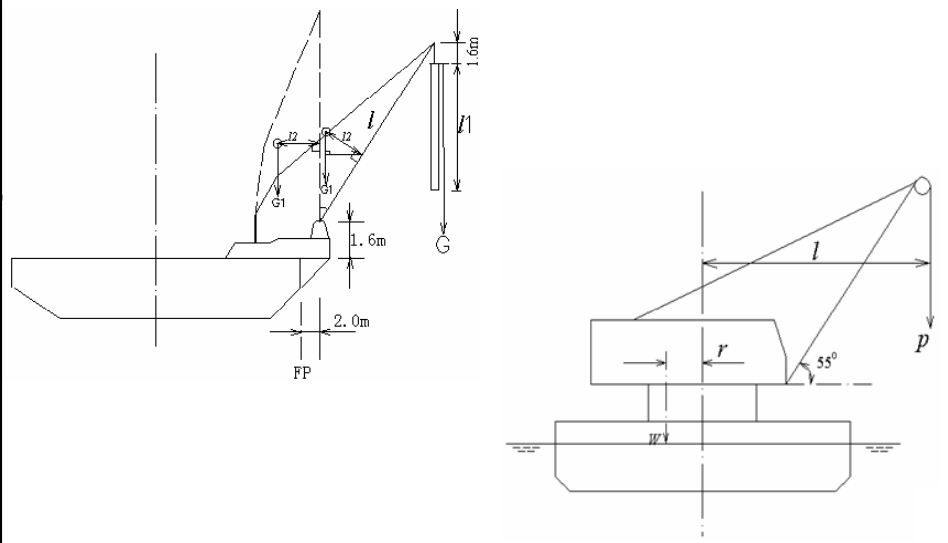
- (1) 用于海上拖带非自航船或海洋平台等浮动建筑物；或港内拖带/顶推大船掉头与进出港；
- (2) 主机功率很大，反作用产生的牵引力巨大；
- (3) 港内作业时，风浪小，但主甲板上的门允许开着导致进水角很小。

2、要求：

- (1) 海上航行气象衡准同时考虑阵风与与急牵力作用，并满足基本稳性衡准；
- (2) 港内作业仅满足急牵力衡准，可以不满足基本稳性衡准。

39

5. 国内航行海船特殊稳性要求—起重船



5. 国内航行海船特殊稳性要求—起重船

1、特点：

- (1) 船型大多接近方驳，非自航
- (2) 既有普通拖航状态，也有起重作业状态，倾覆模式差别较大

2、要求

- (1) 调遣航行与作业均仅要求校核100%、10% 消耗品和备品两种情况下的稳性
- (2) 起重作业时气象衡准同时考虑吊荷与风倾力矩的作用，GM要求在风浪和吊荷横倾力矩作用下产生的横倾角不超过极限静倾角。
- (3) 由于非自航，还应校核避风稳性（不考虑浪）。

41

5. 国内航行海船特殊稳性要求—挖泥船

1、特点：

- (1) 船型分为箱型与普通船型，一般为非自航；
- (2) 作业方式多：绞吸式、链斗式、耙吸式、抓斗式；
- (3) 有的设有泥舱；
- (4) 营运状态分为调遣、作业与避风，倾覆模式差别较大。

2、要求

- (1) 按作业方式与营运状态区别对待；
- (2) 起重作业时气象衡准同时考虑各种作业产生的横倾力矩与风倾力矩的联合作用，GM要求各种外力矩作用下产生的横倾角不超过极限静倾角；
- (3) 由于非自航，还应校核避风稳性（不考虑浪）；
- (4) 对有泥舱的船，各营运状态均考虑泥舱满载与泥舱空舱两种情况；作业时还要考虑泥舱半载；
- (5) 泥沙比重小于 1.4t/m^3 还要考虑自由液面影响。

42

5. 国内航行海船特殊稳性要求—顶推-驳船组合体

1、顶推-驳船组合体定义（铰接 / 刚性联接）



3

国内航行海船特殊稳性要求—顶推-驳船组合体

1. 顶推-驳船组合体定义（铰接 / 刚性联接）
2. 稳性要求
 - （1）刚性连接方式：两船作为一个整体满足驳船的要求，若驳船系敞口集装箱，还要满足《敞口集装箱船检验暂行规则》C部分符合满载完整进水工况的稳性要求。
 - （2）铰接方式：除刚性连接方式要求外，顶推船与驳船独立分别满足相应船型要求

44

5. 国内航行海船特殊稳性要求一半潜船

1、半潜船

也称半潜式母船，它通过本身压载水的调整，把装货甲板潜入水中，将所要承运的特定货物（像驳船、游艇等）从指定位置浮入半潜船的装货甲板上，运到指定位置。



5. 国内航行海船特殊稳性要求一半潜船

1、半潜船

有较大开敞露天载货甲板，艏部或艉部有较高上层建筑或甲板室或浮箱，在装卸货物作业过程中呈半潜状态

半潜状态：举升甲板被水淹没，仅依赖上层建筑或甲板室或浮箱提供储备浮力

举升甲板：是承载货物并在装卸货物作业过程中被水淹没的开敞露天载货甲板

最大沉深：开口密性按载重线要求，另外需要勘划最大沉深吃水标志

46

5. 国内航行海船特殊稳性要求—半潜船

1、半潜船稳性要求

(1) 航行：机动船按干货船要求；非机动半潜船在拖航状态下的完整稳性符合非机动海驳规定。

(2) 作业：编制操作手册，规定下潜操作步骤与作业气象海况条件

— 无货下潜/上升过程：GM不小于0.15m

— 载货下潜前：GM不小于1.0m

— 载货甲板入水或出水过程中，其稳性应满足下列衡准之一：

a. 在基本无浪的平静水域，蒲氏风级不超过3级时，经自由液面修正后的初稳性高度不小于0.05 m，或蒲氏风级不超过5级时，经自由液面修正后的初稳性高度不小于 0.1 m；

47

5. 国内航行海船特殊稳性要求—半潜船

1、半潜船稳性要求

(2) 作业：编制操作手册，规定下潜操作步骤与作业气象海况

— 载货甲板入水或出水过程中，

b. 在蒲氏风级不超过 6 级，有义波高不超过 0.5 m的水域，或蒲氏风级不超过4级，有义波高不超过1m的水域，经自由液面修正后的初稳性高度不小于 0.15 m。

c. 半潜船下潜至最大沉深时，经自由液面修正后的初稳性高度不小于0.5m。

d. 半潜船甲板上无承载物在下潜或上浮的任何阶段，经自由液面修正后的初稳性高度均不得小于 0.15 m。

e. 承载大型物件、船舶或海洋设施进行下潜作业时，可按承载物的实际位置及浮态计及其对稳性的影响。；按10%消耗品计 48

5. 国内航行海船特殊稳性要求—近海供应船

基本稳性要求： 对复原力臂曲线的要求同国际航行船
气象衡准： 按照国内法规

49

5. 国内航行海船特殊稳性要求-高速船

1、适用范围：

船长 $\geq 20\text{m}$

$V_{\max} \geq 3.7 \nabla^{0.1667} \text{m/s}$,

以营运航速航行至避难地不超过4H的客船与8小时的货船

2、营运限制概念

(1) 近海/沿海航区营运限制，到避难地航行时间限制同1

(2) 遮蔽航区营运限制 (2H航程/wind 7/wave 2.0m)

(3) 平静水域营运限制 (距案5mlie/ 2H航程/wind 6/wave 1.0,m)

3、完整稳性：国内常规单体双体高速船排水状态完整稳性同同类型船的普通船型稳性要求；

4、破损稳性：国内航行单体、水翼船、全垫升气垫船破损稳性衡准同普通单体客船；双体、水面效应船同常规双体客船

50

6. 倾斜试验

- 1、目的：确定空船重量与重心位置
- 2、哪些情况下需要作倾斜试验
 - (1) 新造船；
 - (2) 现有船因改装或修理导致结构或用途发生重大变化；
 - (3) 定期检验中空船重量检验表明空船重量变化超2%，或LCG变化 超过1%L；
- 3、哪些船不用作倾斜试验
 - (1) 新造的同一批姊妹船（同一个厂、完全按相同的图纸建造）；
 - (2) 修改或改装设备使LW与LCG变化很小。
- 4、执行标准
船检局《船舶倾斜试验与静水横摇试验实施指南》JCG/Z010+96

6. 倾斜试验原理

- 1、空船：处于正常的可拖航状态，无：消耗液品、备品、船员及其生活用品。机器、机械设备及管道中允许留少量的液体。
- 2、试验原理：
船舶在移动力矩M作用下产生横倾角 θ ，初始纵倾角 ψ ，则：

$$GM = M/(\Delta * \text{tg } \theta)$$

$$KG = KM - (GM + GG_0) * \cos \psi \text{ (GG}_0\text{为自由液面修正)}$$

$$LCG = LCB + (KG - VCB) * \text{tg } \psi$$

6. 倾斜试验条件

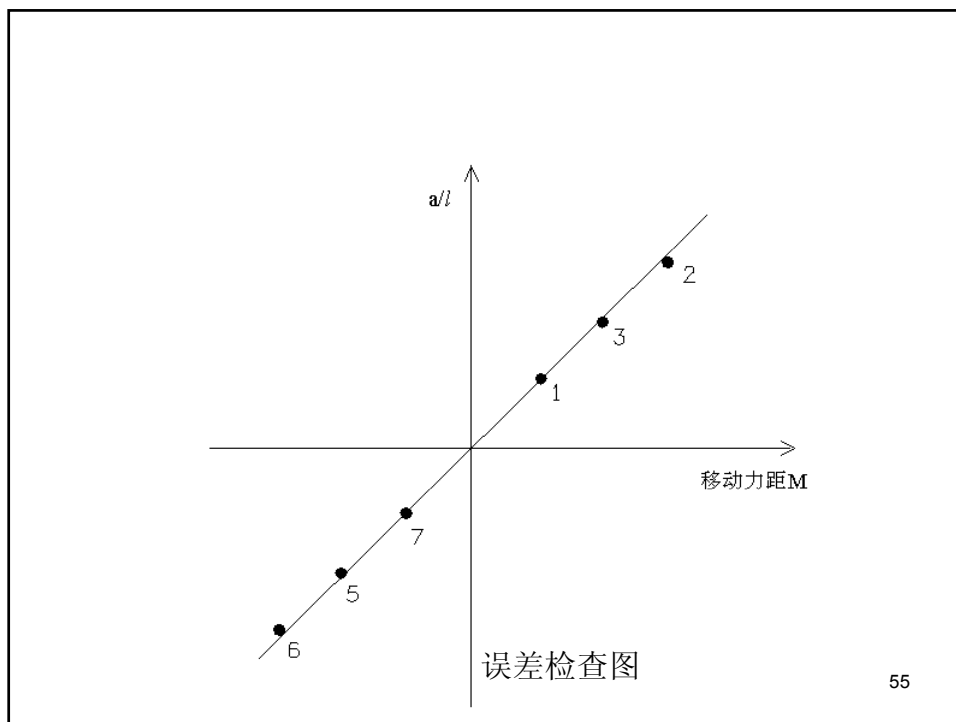
- 1、水况：风力<蒲氏2级，浪级不超过2级；
- 2、水域宽敞，包括四周与船底都有足够的空间使水能自由流动，船能自由漂浮，不碰触障碍物；松开缆绳；
- 3、船上只有试验人员外，船上尽量干净（液体、物体），对多余与不足物件一一登记。对清除不掉的液体舱或灌满，或测深并，进行自由液面修正；
- 4、移动重量块事先监督标定称重，总重量确保最大横倾角 $2\sim 4^{\circ}$ ，并按试验计划在甲板两舷规定位置摆放到位；（大船可使用压载水）
- 5、测量装置到位：至少两套；摆锤浸入油槽，且自由偏移；挂垂线至少长2.2m，并保证有15cm以上的偏移距离。对U形管，水箱液面面积至少是连通管的1000倍，并保证液面差15cm以上；管中无气泡。

53

6. 开始进行倾斜试验

- 1、验船师应监督或亲自测量、记录水密度与6个水尺处的吃水；
- 2、验船师应检查初始横倾角（不得 $\leq 0.5^{\circ}$ ）与纵倾（ $\leq 1\%L$ ，否则静水力数据需要实际纵倾下的数据）；
- 3、验船师应监督移动重量的移动，监督挂摆或U形管读数，检查测量数据表格并签名；
- 4、全部测量完成后，验船师应对测量数据进行误差检查，确保试验准确。
- 5、验船师负责审核倾斜试验报告，在封面上签名，盖批准章。

54

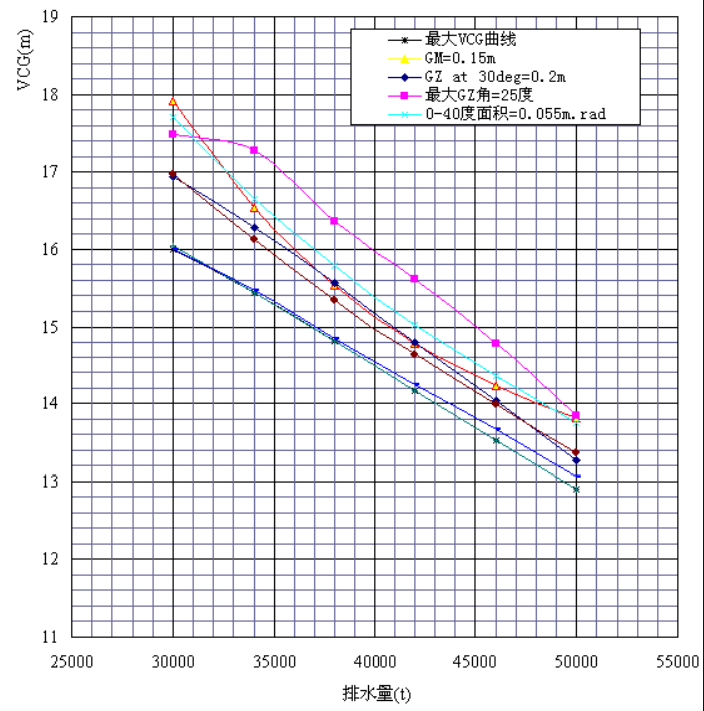


完整稳性审核

- 1、根据船型与航区确定适用规则
- 2、校核静水力与舱容
- 3、校核横交曲线，注意封闭上层建筑/甲板室以及舱口围板等是否计入浮力
- 4、检查进水点
- 5、检查受风面积、结冰重量与舦龙骨参数
- 6、校核极限GM曲线或极限重心高度曲线
- 7、典型装载工况校核注意重量重心与自由液面修正

56

完整稳性
极限重心
高度曲线



破 损 稳 性

张高峰

CCS上海规范研究所

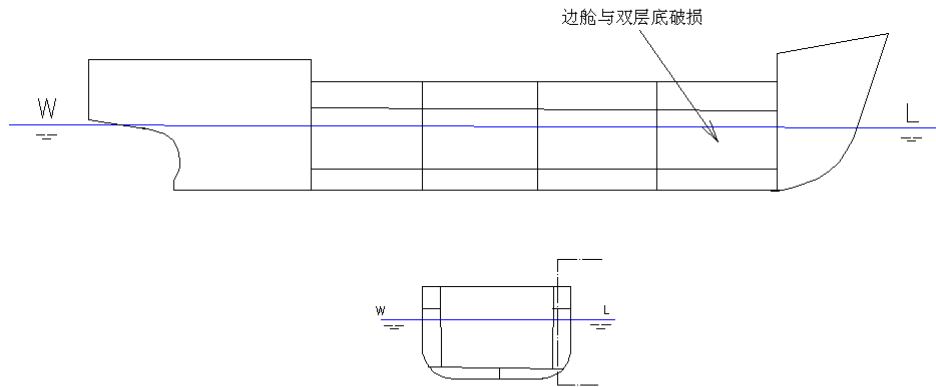
1

主 要 内 容

1. 破损稳性基本概念与计算方法
2. 确定性方法
3. 概率方法

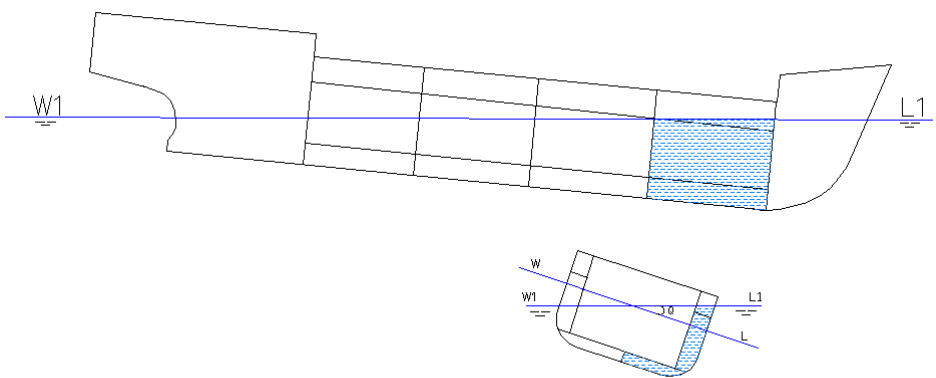
2

破损前浮态



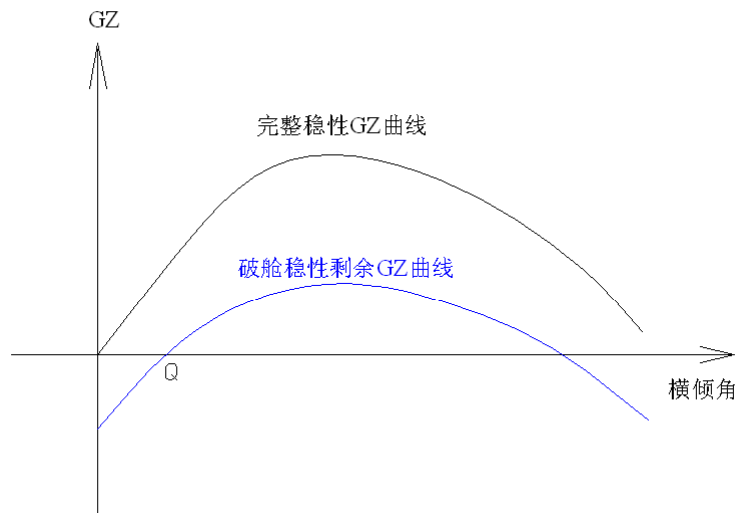
3

破损后浮态



4

剩余稳性曲线



5

破舱稳性基本概念与计算方法

1、破舱稳性基本概念

破损后具有漂浮和一定剩余稳性的能力（能抵抗一定程度的风浪等外力）。

2、破损稳性

分舱：国内客船根据限界线与渗透率确定可浸长度
以及许用舱长；货船按照破损稳性确定分舱

稳性：浮态（吃水、横倾、纵倾、水线位置）

剩余稳性（破损后GZ曲线的特征）

6

破舱稳性基本概念与计算方法

- 3、计算原理：增加重量法
固定排水量法
- 4、两种理念的破损稳性衡准方法
 - 确定性方法
 - 概率方法

7

破损稳性——确定性方法

1、定义

按规定的破洞大小与破损位置、受损舱室的渗透率及装载工况，计算破损后中间进水与最终平衡阶段的复原力臂曲线与最终浮态。校核浮态与复原力臂曲线是否满足规范的要求。

8

破损稳性——确定性方法

2、涉及的规范

- SOLAS 90标准（现有客船，即2009年之前建造的国际航行客船）
- MARPOL 2006 附则I/28条（油船）
- IGC规则（散装液化气体船）
- IBC规则（散装化学品船）
- IMO MSC.235(82)决议（近海供应船设计与建造指导性文件）

9

破损稳性——确定性方法

2、涉及的规范

- A.534(13)-特种用途船舶安全规则
- ICLL（国际载重线公约，适用于“B-”、A型干舷船）
- 国际高速船安全规则
- 国内航行海船法定检验技术规则（减小干舷的货船以及液货船、客船）
- SOLAS XII章对150米以上散货船的破损稳性要求

10

破损稳性——概率方法

1、定义

某一处所可能破损的概率乘以破损后不沉的概率得到该处所对分舱指数A的贡献。累加全船所有可能的贡献得到指数A，大于规定的指数R即为合格 —— 国内法规2008修改通报（来自SOLAS 2004 II-1/B-1部分）

11

破损稳性——概率方法

2、特点

- 基于经典概率论的全概率公式
- 是用与确定方法相同的手段计算剩余稳性与浮态，在此基础上按概率加权累加
- 允许个别处所或舱组破损后沉没，其破损的风险是可以控制的

12

破损稳性——概率方法

3、涉及的标准

—— SOLAS 2009 （MSC.216（82）决议），或2008
国际法规

—— 国内法规2008修改通报（来自SOLAS 2004 II-
1/B-1部分）

13

SOLAS 2009-概率法破损稳性规则

简 介

14

现有的SOLAS破损稳性规则

船 型	规 则	理 念	是否强制
干货船	SOLAS B-1	概率法	强制
客 船	A. 265 (VIII)	概率法	自愿
客 船	SOLAS 90	确定性	强制

15

主要内容

- 1、概率法破损稳性规则的原理
- 2、计算细节
- 3、基于概率破损稳性规则的分舱设计

16

MSC. 216 (82) 决议附件2
概率破损稳性规则

适用于2009年1月1日安放龙骨的干货船和所有尺度的客船

简称: SOLAS 2009

17

1、概率破损稳性规则的原理

- ◆ 按照风险概率的分析方法研究船舶遭遇碰撞破损浸水的概率以及浸水后残存的概率

18

概率破损稳性规则的原理

◆ 按照经典条件概率论

破损后能残存这个事件M由两个事件组成:

M事件——破损后能残存

B事件——被碰撞而发生破损浸水

C事件——浸水后没有倾覆

A事件为B、C同时发生—— $A = B \cap C$

残存概率 $P(M) = P(B \cap C) = P(B) \times P(C/B)$

$P = P(B)$: 发生某一破损事件的概率

$S = P(C/B)$: 发生某一破损事件后残存的概率 ¹⁹

概率破损稳性规则的原理

◆ 按照经典概率论中的贝叶斯全概率公式计算A指数

一艘船招致碰撞破损而浸水的可能性多种多样, 不同的破损位置、不同的破洞大小, 构成了及其复杂的由各种损坏浸水事件组成的样本空间. 每一事件都可以得出一个概率指数 A_i

$$A_i = P_i \times S_i$$

累加所有的 A_i : $A = \sum A_i = \sum (P_i \times S_i)$

A代表了船舶的综合残存水平。**A**越大, 综合残存能力越强

概率破损稳性规则的原理

要求:

$$A \geq R$$

A——实船达到的分舱指数，代表实船的安全水平

R——**SOLAS**要求的最小分舱指数。通过统计现有船舶的安全水平得出的最低的、全球可接受的安全水平

21

概率破损稳性规则的原理

◆ 建立破损概率

——在**2946个事故艘**被撞船舶的事故进行统计分析（包括破洞大小与位置），得出破损位置、破洞大小、横向穿透深度和垂向破损范围的概率分布密度函数

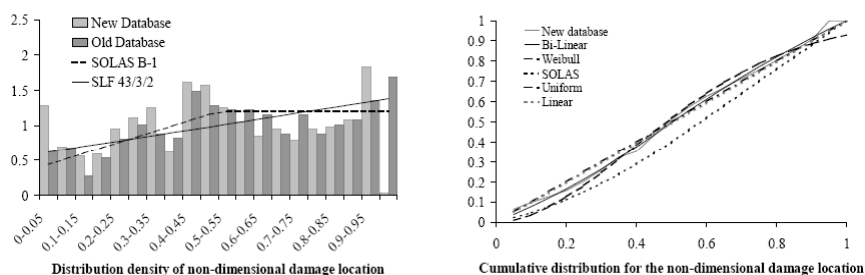
22

新的概率破损稳性规则 全面的破损事故统计

- ◆ 基于IMO、LR、GL、DNV、希腊、GDR的破损船舶资料库
- ◆ 2946个事故：1851碰撞 930搁浅 165其它事故
- ◆ 覆盖船型（10）：bulk carriers, cargo vessels, chemical tankers, gas tankers, tankers, container vessels, passenger vessels, reefer vessels,
- ◆ ro-ro vessels, fishing vessels
- ◆ 覆盖了当今 全球国际航行船队
- ◆ 填补了近40年来的新设计建造船型，尤其是大型船舶

23

新的概率破损稳性规则 全面的破损事故统计



无因次破损位置分布密度函数

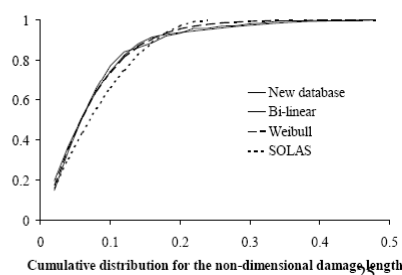
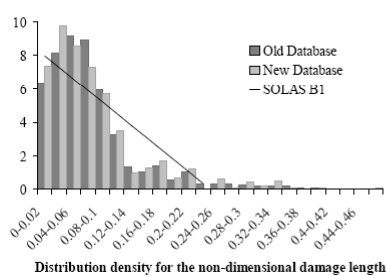
24

新的概率破损稳性规则背景 全面的破损事故统计

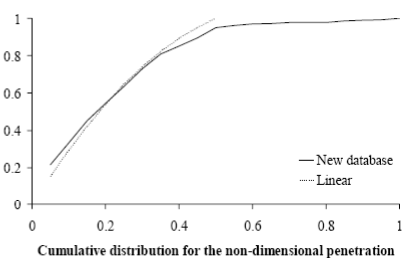
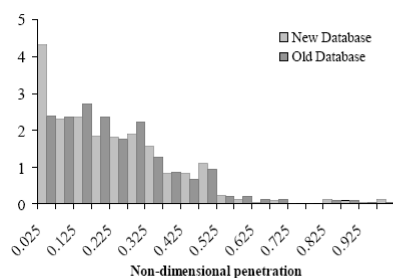
无因次破损长度分布概率密度函数:

◆无因次分布与到绝对尺度分布的转折点: **L=260米**

◆对应最大破损长度接近**A.265(VIII)**

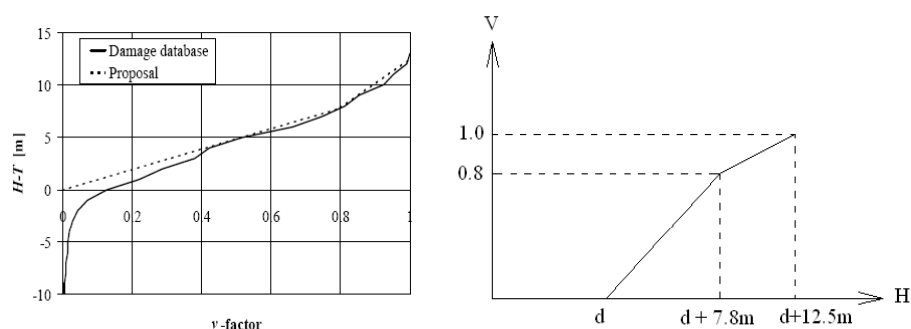


新的概率破损稳性规则背景 全面的破损事故统计



横向穿透深度分布密度函数

新的概率破损稳性规则背景 全面的破损事故统计



垂向破损分布密度函数

27

概率破损稳性规则的原理

◆ 建立达到的分舱指数A的计算假定

(1) 初始装载状态:

- 排水量: 夏季吃水 d_s , 部分装载吃水 d_p , 轻载吃水 (即压载到港吃水) d_L
- 纵倾: 轻载吃水 d_L 考虑实际纵倾; d_p 和 d_s 零纵倾, 但若纵倾超过0.5%LBP, 则增加计算相关纵倾的破损稳性
- 任意假定一根极限GM曲线, 该曲线在 d_s 及 d_p 之间、 d_L 和 d_P 之间线性变化, 由此确定VCG。只要按照此状态计算出的A指数大于或等于R指数, 则此GM曲线就是所求的极限GM曲线。该曲线需要载入装载稳性资料, 供船舶实际装载使用

28

概率破损稳性规则的原理

◆ 建立达到的分舱指数A的计算假定

(2) 建立残存标准: GZ曲线满足的什么标准认为具有残存的可能性:

参考大多数货船的确定性破损稳性规则的稳性衡准

29

概率破损稳性规则的原理

◆ 建立达到的分舱指数A的计算假定

(3) 在32艘现有干货船(满足SOLAS 2004 II-1/B-1部分25-1条干货船概率破损稳性规则)和28艘现有客船(满足SOLAS 90标准)计算达到的A指数,统计回归得出新的R指数公式

30

概率破损稳性规则的特点

- 基于经典概率论的全概率公式
- 是用与确定方法相同的手段计算剩余稳性与浮态，在此基础上按概率加权累加
- 允许个别处所或舱组破损后沉没，其破损的概率是可以接受的

31

2、SOLAS 2009计算要求

II-1/6条 要求的分舱指数R

- ◆ $A \geq R$
- ◆ 未加权的达到的分舱指数 A_l, A_p, A_s

客船: $\geq 0.9R$

货船: $\geq 0.5R$

32

第6条 货船要求的分舱指数R

◆L>100m

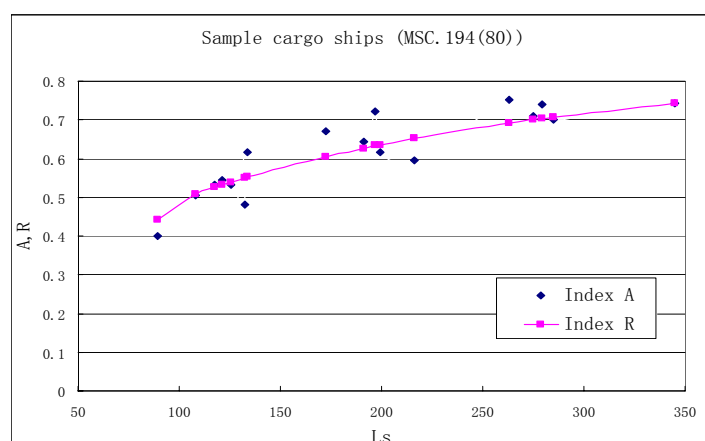
$$R = 1 - \frac{128}{L_s + 152}$$

◆80m≤L≤100m

$$R = 1 - [1 / (1 + \frac{L_s}{100} \times \frac{R_o}{1 - R_o})]$$

33

货船安全水平比较:SOLAS 2009Vs 现有实船



34

◆ 货船R指数公式特点

货船R指数公式是平均的安全水平，船长越大，要求的安全水平越高

35

II-1/6条 客船要求的分舱指数R

$$R = 1 - \frac{5,000}{L_s + 2.5N + 15,225}$$

where:

$$N = N_1 + 2N_2$$

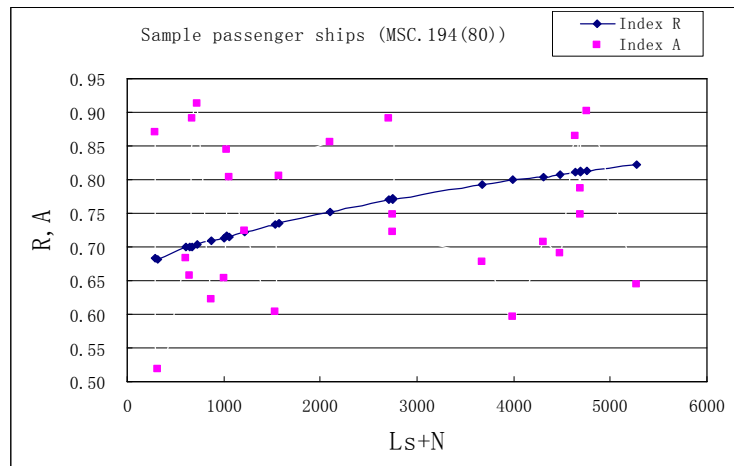
N_1 = number of persons for whom lifeboats are provided

N_2 = number of persons (including officers and crew) the ship is permitted to carry in excess of N_1 .

Where the conditions of service are such that compliance with paragraph 2.3 of this regulation on the basis of $N = N_1 + 2N_2$ is impracticable and where the Administration considers that a suitably reduced degree of hazard exists, a lesser value of N may be taken but in no case less than $N = N_1 + N_2$.

36

客船安全水平比较:SOLAS 2009Vs 现有客船



37

◆ 客船R指数公式特点

客船R指数与船长和船上旅客、船员数量有关。船长越大、人员数量越大，要求的安全水平越高

38

Part B-1 稳性

第7条 达到的分舱指数A

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l$$

39

2、SOLAS 2009极限GM曲线计算要求

II-1/5-1条 提交给船长的稳性资料

II-1/7条 达到的分舱指数A

- ◆稳性资料应表明在营运纵倾范围超过 $\pm 0.5\%$ L_s 的情况下，各种纵倾的影响
- ◆极限GM曲线分别在dL与dp、dp与ds间线性变化
- ◆ds和dp采用水平纵倾计算，dL采用实际营运纵倾

40

MSC.281(85)具体计算解释:

◆计算的纵倾步长不超过 $1\%L_s$ 。破损稳性计算应覆盖整个纵倾范围（含中间纵倾）

◆在多个纵倾基础上计算得到的多根极限GM曲线的基础上，绘制GM包络线

◆计算极限GM曲线时，纵倾在 $\pm 0.5L_s$ 范围内按零纵倾计算；纵倾超过 $\pm 0.5L_s$ 时，在超出部分的基础上按不超过 $1\%L_s$ 步长的所获得的若干纵倾计算相应的极限GM曲线。最后绘制极限GM包络线

41

——货船仅要求计算最终平衡阶段稳性

——客船需要计算中间进水阶段稳性，尤其是横贯进水装置

——最终平衡水线：货船风雨密开口及客船舱壁甲板水平撤离路线不得淹没

42

——任意进水阶段（包括最终进水阶段）不得淹没：

a) 垂向逃口

b) 位于舱壁甲板以上的水密门和平衡装置和保持舱壁水密的有关阀的控制装置

c) 没有装设水密关闭装置的穿透水密舱壁的管路、管弄，位于破损范围之内

43

——特殊情况下允许通过计算加以确定渗透率
(II-1/7-3条)

——客船还要满足首部舷侧小碰擦破损稳性要求
(II-1/8条)

44

结构或构造

II-1/9条

——所有干货船和客船强制设置双层底，且横向延伸到整个宽度

——附加等效的底部破损稳性标准

（1）不满足双层底设置要求

（2）特殊布置

45

破损稳性审核——确定性方法

- | |
|-----------------------------|
| —根据船型与航区，检查适用标准，确定分舱标准 |
| —检查稳性最差的装载工况 |
| —检查进水点、风雨密开口（对客船，检查限界线）、渗透率 |
| —检查破损舱室组合是否满足破损范围要求 |
| —检查计算结果是否满足衡准要求 |

46

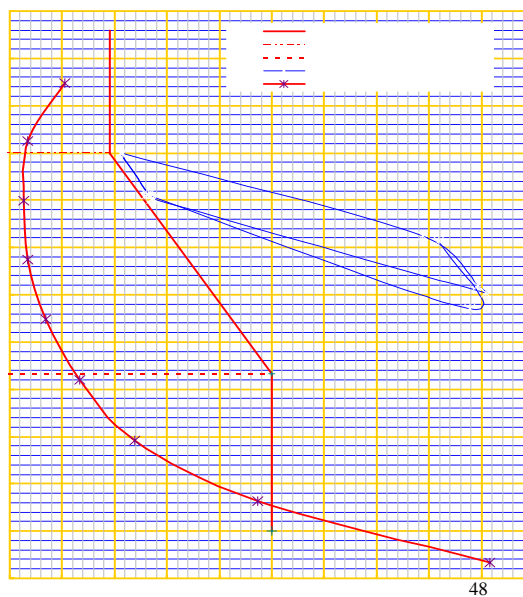
破损稳性审核——概率方法

- | |
|--------------------------------|
| —检查检查破损组合、破损长度、穿透深度、垂向破损范围是否正确 |
| —检查进水点、风雨密开口（对客船，检查舱壁甲板边线）、渗透率 |
| —检查初始状态是否正确 |
| —检查达到的分舱指数A是否大于要求的分舱指数R |
| —检查SOLAS极限稳性曲线是否载入装载手册 |

47

概率破损稳性极限GM曲线与完整稳性极限GM曲线组合在一起载入装载手册

货船实例 →



破损稳性——破损控制图

1、国内/国际航行干货船与客船

船上张贴破损控制图并备有破损控制小册子

2、国际航行液货船

破损控制图和破损控制小册子

3、涉及的标准：

SOLAS 2009 第II-1章第19条及解释文件MSC.281(85)对第4.1条的解释

《国内航行海船法定检验技术规则》第4篇2—1章1.22条

49

破损控制图的具体要求

1、要求以醒目标志标明：

——甲板与货舱的水密舱室界限

——各种开口尤其是风雨密开口、风雨密门、水密门位置

——各种开口的关闭与控制方法

50

破损控制图的具体要求

2、绞链式水密门的要求

- 在驾驶室设开闭指示器
- 能就地在门的两侧人工开闭

51

破损控制图的具体要求

3、滑动式水密门的要求

- 在驾驶室与门的两侧设开闭指示器
- 能在驾驶室遥控动力关闭
- 能在舱壁门的两侧动力开闭
- 设置独立的手动机械操纵装置，能在门的两侧人开闭
- 对客船，还能在舱壁甲板上遥控关闭（不要求动力）

52

与稳性有关的法定证书——载重线证书

具备经审批的下列资料，可以颁发载重线证书

- 按申请航区稳性要求计算的完工稳性资料或装载手册
- 装载谷物的多用途船或散货船，具备谷物稳性计算书或谷物装载手册
- 要求破损稳性的船舶，需要完工破损稳性计算书
- 总纵强度计算书
- 干舷计算书及载重线标志图
- 其它载重线勘划有关的法定检验