指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD20-2019

中 国 船 级 社

散货船结构检验、评估和修理指南



2020年2月1日生效

北 京
2019年10月

目 录

前言 1
第1章 概述 2
第1节 散货船定义 2
第2节 散货船船型介绍 3
第3节 散货船船级附加标志 6
第2章 散货船的结构检验 10
第1节 一般要求 10
第2节 定义 10
第3节 检验前的准备 18
第4节 定期结构检验要求 19
第5节 保护涂层检查和维护修理 22
第6节 结构腐蚀和变形衡准 26
第7节 结构损坏修理的一般要求 29
第8节 散货船结构特征和检查要点 34
第一部分 散货船的一般结构特征和检查要点 34
第二部分 散货船常见的关键结构区域 55
第3章 营运中结构损坏案例和修理细节 64
第1节 概述 64
第2节 结构缺陷和修理细节 65
第一部分 货舱区域 66
区域1 甲板结构 67
区域2 顶边舱结构 90
区域3 货舱舷侧结构 112
区域4 横舱壁包括凳式结构 133
区域5 双层底包括底边舱结构 147
第二部分 艏艉端区域 171
区域1 艏端结构 173
区域2 艉端结构 181
区域3 艉柱、舵装置及螺旋桨轴支架 188
第三部分 机器和起居处所 206
区域1 机舱结构 207
区域2 起居舱室结构 211
第3节 结构损坏和修理案例 213

前 言

本指南对通常在装货处所具有单甲板、双层底、底边舱和顶边舱，具有单舷侧或双舷侧结构，且主要用于装运散装干货的散货船给出了工作指南，旨在用以指导船公司、验船师和其他相关方对散货船的船体结构进行检验、评估和修理。

本指南着重于中国船级社（以下简称“CCS”）的检验程序，但也适用于其他管理机构、船东和经营者的检查/检验计划。

本指南包含了散货船船型介绍等一些基本知识和CCS的船级检验程序及相关要求，包括检验前的准备和各类定期检验。

本指南包含了散货船船体有损坏记录的各主要结构区域，并着重于每个区域构件的主要特征。本指南在IMO A.866(20)决议和IACS REC.76 建议案的部分内容的基础上，给出了散货船每个结构区域的结构恶化和损坏的示例、可能的原因、需要检验的内容及建议的修理方法。同时结合CCS建造散货船的审图和检验经验积累、营运散货船的结构损坏技术分析成果，以及CCS《散货船结构检验、评估与修理指南》（2014）实施以来的问题反馈，本次对 2014 年版指南进行了修订，并形成 2019 年版指南。

对矿砂船的结构检验要求（包括案例分析），参见我社编制的现行《矿砂船结构检验指南》，本指南不再详述。

本指南使用当前所收集到的相关资料编辑而成，仅作为指导性文件提供给相关方，为相关方的正确决断提供支持。在处理具体的技术问题时，应遵循验船师的专业判断做出决策。本指南不能代替CCS规范及国际公约等的有关规定。若本指南的某些规定与CCS最新版本《钢质海船入级规范》不一致或相抵触时，应以后者为准。

本指南使用相关方若在实施中有意见和/或修改建议，请反馈至CCS总部营运入级业务处的电子信箱：cdwork@ccs.org.cn。

第 1 章 概述

第 1 节 散货船定义

1.1.1 SOLAS 公约对散货船的定义

SOLAS 公约第 IX 章第 1.6 条散货船定义：散货船系指通常在货物处所建有单层甲板、顶边舱和底边舱，且主要用于载运散装干货的船舶，包括诸如矿砂船和兼装船等船型。同时第 III 章 31 条、第 XI-1 章 2 条和第 XI-2 章 1.1 条也指向这一定义。

SOLAS 公约第 XII 章第 1.1 条散货船定义：散货船系指主要用于载运散装干货的船舶，包括诸如矿砂船和兼装船等船型。同时第 II-1 章 2.24 条也指向这一定义。

1.1.2 IMO MSC.277(85)对散货船定义的澄清

IMO 于 2008 年 11 月 28 日通过了 MSC.277(85)决议《对“散货船”定义的澄清和对偶尔载运散装干货和非 SOLAS XII/1.1 和 II-1 定义的散货船的船舶的 SOLAS 公约规定应用指南》，澄清了如下定义：

1.1.2.1 SOLAS公约定义的散货船

1）“主要用于载运散装干货”系指设计主要用于载运干散货，并装运、装载或卸载散装货物，船舶的货物处所长期载运、装载或卸载这种干散货物；和

2）“通常在货物处所建有单层甲板、顶边舱和底边舱”和“包括诸如矿砂船和兼装船等船型”；如果不是矿砂船或兼装船，或缺乏部分或全部结构特征的船舶，也是散货船。该解释适用于2010年7月1日及以后安放龙骨或处于类似建造阶段的散货船，必须满足SOLAS公约第II-1、III、IX、XI-1、XII章等对散货船要求的条款。

1.1.2.2 专用载运某些固定散货的船舶

系指专门设计和建造用于载运木屑、水泥、飘尘和糖等固定货物，并不采用超过10吨的抓斗、机械铲和其他会损坏货舱结构的设备进行装卸的船舶。不必适用SOLAS公约第II-1、III、IX、XI-1、XII章中适用于散货船的条款（此条解释的实施日期为2009年1月1日，即该日及以后安放龙骨或处于类似建造阶段的该类型船舶）。

1.1.2.3 偶尔载运散货的船舶

系指非上述两种船舶，只有满足特定技术要求，才能被允许偶尔载运散装干货。

附加技术要求参见现行 CCS《散货船附加要求指导手册》第 4 章第 4 节 4.3.1.3 规定。

1.1.3 MSC.277(85)决议为非强制性，并仅适用新船。其应用，还应关注船旗国的特殊规

定。

中国旗船舶按《国际海船法定检验技术规则》2010 修改通报第 4 篇第 1 章 2.4 条要求执行，法规已纳入了 MSC.277(85)决议的要求，并适用于 2010 年 5 月 1 日及以后安放龙骨或处于相似建造阶段的中国旗船舶。

1.1.4 SOLAS公约第XII章第1.2和1.3条对单舷侧结构和双舷侧结构散货船的定义单舷侧结构散货船系指满足下述条件的散货船：

1）货舱任何边界均为舷侧壳板；或

2）一个或多个货舱边界为双舷侧结构；2000年1月1日以前建造的散货船，该双舷侧结构宽度小于760mm；2000年1月1日或以后，但在2006年7月1日以前建造的散货船，该双舷侧结构宽度小于1,000 mm；该宽距按垂直于舷侧壳板量取。

此类船舶包括货舱任何边界均为舷侧壳板的兼装船。

双舷侧结构散货船系指所有货舱边界均为双舷侧结构，且与单舷侧结构定义不同的散货船。

1.1.5 IMO ESP规则对散货船的定义

散货船：系指通常在装货处所具有单甲板、双层底、顶边舱和底边舱，且主要用于装运散装干货的船舶，包括兼用船。

双舷侧散货船：系指通常在装货处所建有单甲板、顶边舱和底边舱，且主要用于载运散装干货的船舶，包括矿砂船和兼装船，其所有货舱采用双舷侧作为边界（不论边舱的宽度如何）。

1.1.6 CCS 现行《钢质海船入级规范》中的散货船和双壳散货船的定义分别与上述 1.1.5 散货船和双舷侧散货船的定义相一致。

1.1.7 适用本指南的散货船定义

系指除1.1.2.2及1.1.2.3定义之外的散货船，但不包括矿砂船和兼用船。

第 2 节 散货船船型介绍

1.2.1 按结构形式划分

散货船按舷侧结构形式可分为单舷侧散货船和双舷侧散货船（包括矿砂船），未特别指出双舷侧的散货船一般是指单舷侧散货船。本指南关注的船舶结构类型不含矿砂船和兼装船。图 1.2.1 (1)和(2)为典型单舷侧和双舷侧散货船的布置简图。

1.2.2 矿砂船系指在整个货物长度区域内通常设有单甲板、两道纵向舱壁和双层底，且仅中货舱主要用于载运矿砂货物的散货船。相比传统的散货船，矿砂船有较小的舱口和货物容量。

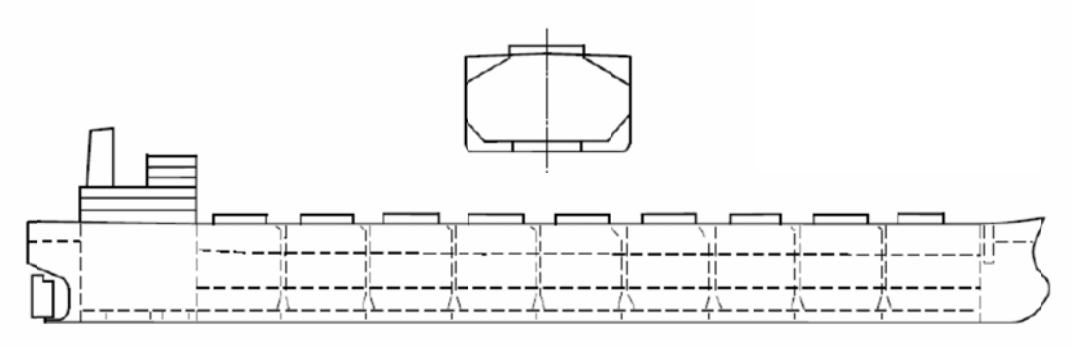


图 1.2.1 (1) 单舷侧散货船

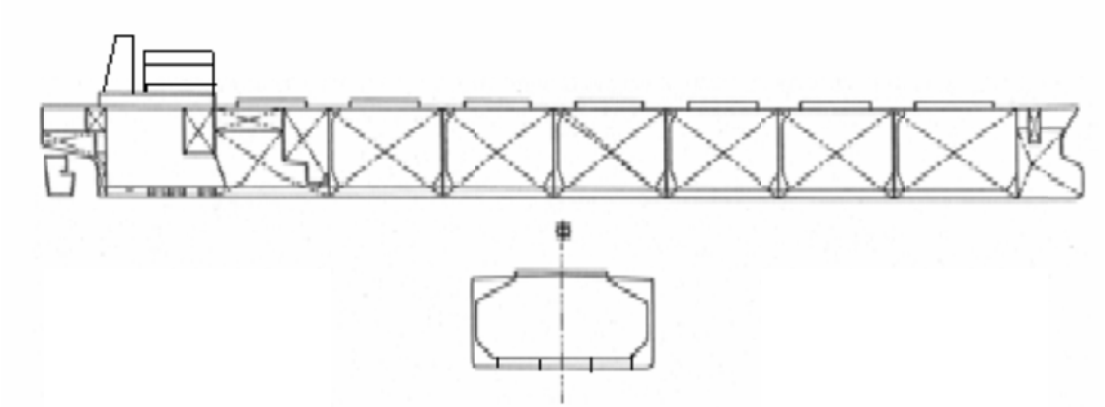


图 1.2.1 (2) 双舷侧散货船

1.2.3 按是否适用 CSR（共同结构规范）划分

CSR 散货船和非 CSR 散货船

CSR 散货船的适用范围：无限航区的自航散货船（单舷侧或双舷侧结构），包括至少一个货舱具有底边舱和顶边舱、并且其它货舱未设底边舱和/或顶边舱的混合型散货船，但不包括矿砂船和兼装船，并且：

1）2006 年 4 月 1 日及以后签订建造合同的散货船，船体尺度满足下列特征：

90m≤L＜350m（L为规范船长）；L/B＞5；B/D＜2.5；C_B≥0.6（C_B为方形系数）。

2）2015年7月1日及以后签订建造合同的船长L为90m及以上的散货船，其船体结构应满足协调后的CSR规范的有关规定，但不适用于下列船型：

矿砂船；兼装船；木屑运输船；装卸货不使用重量大于10吨的抓斗、机械铲和可能损坏船体结构的其他工具的水泥、飘尘和糖运输船；具有适于自卸货内底结构的船舶。

1.2.4 按航线和载重吨大小划分

通常来说，散货船根据其航线和载重吨大小分为四类，即：灵便型散货船（Handysize Bulk Carrier）、巴拿马型散货船（Panamax Bulk Carrier）、好望角型散货船（Capesize Bulk Carrier）、超大型矿砂船（VLOC）。

1）灵便型散货船（Handysize Bulk Carrier）：载重吨在 2~5 万吨左右的散货船。其中超过 4 万吨的船舶又被称为大灵便型散货船（Handymax Bulk Carrier）。具有较强的对航道、运河及港口的适应性。

2）巴拿马型散货船（Panamax Bulk Carrier）：在满载情况下可通过巴拿马运河的最大型散货船。随着巴拿马运河的拓宽，通航散货船的船型变大。按照巴拿马运河管理局（ACP）发布的航运公告，重新给出了如下定义：

巴拿马型散货船（Panamax Bulkers）：船舶尺度和吃水最大值满足实际船闸的限制，也即总长 294.13m，船宽 32.31m，热带淡水吃水 12.04m。此类船舶，如载重吨在 50,000~54,999 之间，称为迷你巴拿马型散货船（Baby-Panamax Bulkers）；载重吨在 50,000~64,999 之间，称为超灵便巴拿马型散货船（Supramax Bulkers）；如果船舶的总长达到 229m，可称为卡姆萨尔型散货船，与能够航行于几内亚 Kamsar 港的最大散货船尺度设计要求相一致。

超巴拿马型散货船（Panamax Plus Bulkers）：热带淡水吃水＞12.04m，≤15.24m，并且证明能通过新船闸的巴拿马型散货船。

新巴拿马型散货船（Neopanamax Bulkers）：所有尺度大于巴拿马型或超巴拿马型散货船，其能够满足新船闸的尺度和吃水限制，也即：总长 366m，船宽 49m，热带淡水吃水 15.24m，载重吨可达 17 万吨。

3）好望角型散货船（Capesize Bulk Carrier）：载重吨在 12~21 万之间的散货船，该船型以运输铁矿石为主，由于尺度限制不可能通过巴拿马运河和苏伊士运河，需绕行好望角和合恩角。

迷你好望角型散货船（Handy-cape Bulkers）：载重吨≤119,999，船宽＞39.5m。

4）超大型矿砂船（Very Large Ore Carrier，简称 VLOC）：载重吨 20 万以上的矿砂船，主要用于铁矿石远洋运输。时至今日，全球已有不少有实力的船公司拥有 VLOC。经过不断实践和优化改良，在原 VLOC 的基础上已开发出了 20 万载重吨级、30 万载重吨级和 40 万载重吨级等船型，其中 Valemax 型船系指为淡水河谷设计的 40 万载重吨的 VLOC。

1.2.5 其它散货船型

自卸散货船（Self-Unloaders）：在货物长度区域内通常设有单甲板、双层底、底边舱、顶边舱，以及单舷侧或双舷侧结构并主要用于装运自卸散装干货的散货船，其典型船中横剖面参见图示。

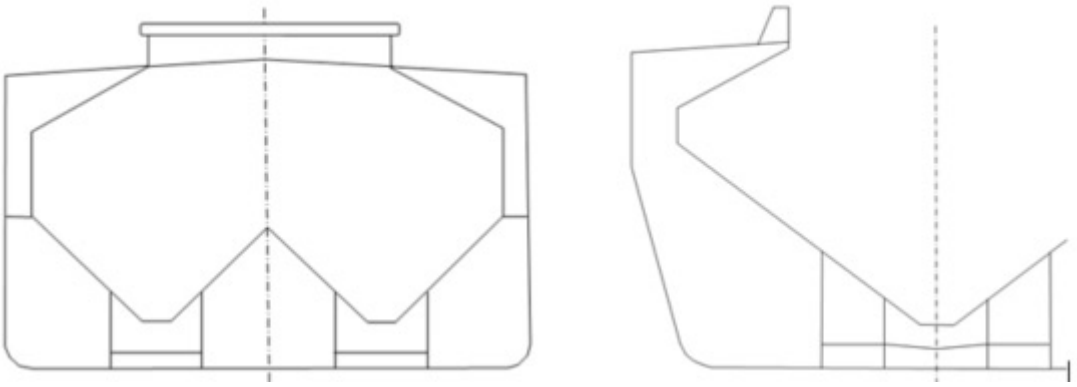


图 1.2.4 自卸散货船典型船中横剖面

第 3 节 散货船船级附加标志

1.3.1 船舶类型附加标志

附加标志	说明	
Bulk Carrier	散货船	主要用于运输散装干货的船舶，在装货处所通常具有单甲板、顶边舱和底边舱以及双层底，货舱边界为舷侧壳板。如果所有货舱均为双舷侧结构的散货船，其内、外壳之间的最小距离大于等于 1000mm，则在该船型附加标志后加注“Double Side Skin”标志，并用“,”与其分隔，如 Bulk Carrier, Double Side Skin。
Ore Carrier	矿砂船	在装货处所具有单甲板、两道纵舱壁、中舱为双层底，仅中舱用于装载矿砂的船舶。

1.3.2 货物与装载特性附加标志

附加标志	说明	
BC-A	协调附加标志 BC-A	如散货船满足如下条件，应授予该协调标志： ①设计装载货物密度为 1.0t/m^3 及以上的干散货； ②最大吃水工况中有指定空舱组； ③装载工况中包括 BC-B 的要求。
BC-B	协调附加标志 BC-B	如散货船满足如下条件，应授予该协调标志： ①设计装载货物密度为 1.0t/m^3 及以上的干散货； ②所有货舱装货；

		③装载工况中包括BC-C的要求。
BC-C	协调附加标志BC-C	如散货船满足如下条件，应授予该协调标志： ① 设计装载货物密度为 1.0t/m^3 及以上的干散货。
Maximum cargo density (XX t/m^3)	最大货物密度（XX t/m^3）	当设计的最大货物密度小于3.0t/m^3时，协调附加标志应后缀该标志注明此项限制，并在括号内标明允许装载的最大货物密度值，该附加标志仅适用于BC-A和BC-B协调附加标志。
No MP	无多港口装/卸货物	当散货船设计中未按规范中对多港口装/卸货物提出要求时，协调附加标志应后缀该标志注明此项限制标志。该附加标志适用于所有协调附加标志（BC-A、BC-B、BC-C)。
Holds Nos. XXX may be Empty	允许空舱组	当散货船设计中允许空舱时，协调附加标志应后缀该标志。该附加标志仅适用于BC-A协调标志。
Holds Nos. XXX may be Empty with Restrictions Imposed by SOLAS XII/14	XXX货舱空舱航行限制	如果现有船不能满足SOLAS第XII章5.1条关于任一货舱进水的结构强度要求和MSC.168(79)决议关于单舷侧结构强度标准和换新衡准的要求，则该船在2006年7月1日或达到10年船龄，两日期较晚之日及其后，满载工况航行时，不允许任何货舱装运低于该货舱最大许可货物重量的10%。

1.3.3 特殊性能附加标志

附加标志	说明	
Strengthened for Heavy Cargoes	重货加强	对于货舱区域的强力甲板和船底骨架均为纵骨架式，并货舱区域设置双层底、船底骨架加强的干货船，可授予该标志。
COMPASS	COMPASS	对按COMPASS-Structure软件进行船舶设计校核的船舶，后缀一个或多个R、D和F标志，其含义如下： R：按COMPASS-Structure进行规范校核的船舶； D：按COMPASS-Structure进行船舶结构直接计算的船舶； F：按COMPASS-Structure进行船舶结构疲劳强度评估的船舶。该附加标志对CSR船舶是必需的。
GRAB [X]	抓斗装卸结构加强	对CSR船舶货舱内底板、底边舱斜板最下列板和横舱壁的底凳板具有最大X吨重的抓斗装卸货的结构加强。 X-空抓斗重量
Grab*(X)	抓斗装卸结构加强	对非CSR船舶货舱内底板、底边舱斜板最下列板和横舱壁的底凳板具有最大X吨重的抓斗装卸货的结构加强。 X-空抓斗重量
CSR	共同结构规范	按共同结构规范设计建造，加注在船型附加标志之后。

PSPC	保护涂层	授予特定处所满足IMO有关保护涂层性能标准的船舶，并后缀一个或多个B、D和V标志，其含义如下： B：所有类型船舶专用海水压载舱处所施用的保护涂层； D：双舷侧处所施用的保护涂层； V：散货船的空舱处所施用的保护涂层。 注：B、D和V可以单独也可以组合使用。
CM	船体结构建造监控	船体结构关键位置的结构精度控制，包括对中、装配、边缘处理以及工艺标准符合批准的计划的船舶。对满足SOLAS第II-1/3-10条（目标型船舶建造标准）的散货船，该附加标志是必需的。

1.3.4 特殊设备和系统附加标志

附加标志	说明	
HMS (X)	船体监测系统	在船舶的船体监测系统内，安装有相关监测传感器/组件的，可授予该附加标志。括号中为选用的传感器/组件的代表字母，多个字母之间以逗号“,”分隔。船体监测系统可选用的传感器/组件如下： Gn：监测船体总体应力的传感器； Dn：监测船体局部应力的传感器； On：监测推进轴输出的传感器； An：监测轴向加速度的传感器； Mn：监测船体刚体运动（6个自由度）的装置； Pn：监测海水瞬时作用在船体压力（砰击）的传感器； Sn：监测液舱内液体流动压力（晃荡）的传感器； Tn：监测温度的传感器； Bn：监测海面波浪的装置； Wn：风力传感器； Nn：外部导航信息传感器； Cn：与装载仪在线连接，该装载仪应根据装载状态持续地更新。 注：n为传感器或装置数目。
Loading Computer	装载仪	授予配备认可的装载仪的船舶，并后缀一个或多个S、I、G和D标志，其含义如下： S：该装载仪可用于各种装载工况下船体强度的计算及校核； I：该装载仪可用于完整稳性的计算及校核； G：该装载仪可用于散装谷物稳性的计算及校核； D：该装载仪可用于破舱稳性的计算及校核。

1.3.5 特殊检验附加标志

附加标志	说明	
ESP	加强检验程序	对国际航行的油船、油/散、油/散/矿、化学品、散货船、自卸散货船，该附加标志是必需的。接受加强检验程序的非国际航行油船、油/散、油/散/矿、化学品、散货船、自卸散货船，该附加标志由船东自愿选择，并注意船旗国特殊要求。

第 2 章 散货船的结构检验

第 1 节 一般要求

2.1.1 船舶入级检验

系指由船级社或其代理人对拟取得或已经具有该船级社船级的船舶，依据船级社规范规定的检验范围和要求实施的检查和试验。其目的是为了查明受检船舶的结构强度、推进、操纵及辅助设备、系统和维护情况是否符合船级社规范的相关要求。对于符合 CCS 规范要求的船舶，将签发船舶入级证书。

2.1.2 ESP 加强检验

具有 ESP 附加标志的散货船进行定期检验时，应根据 IMO《散货船和油船检验期间加强检验程序规则》（即 IMO ESP 规则及其修正案）进行加强检验，并且：

20,000DWT 及以上的散货船，自其第 3 次特别检验起，船体中间和特别检验中对货物长度区域范围内的货舱、隔离舱、管隧、空舱和选择的燃油舱以及所有压载舱的船体结构和管系系统的检验，应至少由 2 名具有资格的专职验船师同时登轮，共同执行。

100,000DWT 及以上的单舷侧结构散货船，在其船龄 10~15 年之间的船体中间检验中对货物长度区域范围内的货舱、隔离舱、管隧、空舱和选择的燃油舱以及所有压载舱的船体结构和管系系统的检验，应至少由 2 名具有资格的专职验船师同时登轮，共同执行。

2.1.3 ESP 检验基于两个主要判断标准：保护涂层状况和结构腐蚀程度。重要发现有保护涂层状况为“差”或结构显著腐蚀（参见本章第 2 节 2.2.10 和 2.2.15 条定义）。

2.1.4 进行年度检验、中间检验、特别检验以及按此范围进行的检验时，要求进行近观检验的区域内的船体结构测厚，应与近观检验同步进行。

第 2 节 定义

2.2.1 作为本指南所采用结构术语的参考，图 2.2.1 (1)中显示了散货船货物处所的典型结构布置。此外，图 2.2.1 (2)和 2.2.1 (3)以及 2.2.1 (4)分别显示了散货船货舱的典型横剖面和典型槽形水密横舱壁的纵剖面。这些示意图给出了通用术语。为了使定义和检验资料报告明确，建议对船体构件采用标准术语。本指南所用的其他术语定义如下：

2.2.2 压载舱：系指主要用作海水压载的液舱。

1）散货船压载舱：系指单独用于海水压载的舱，或适用时，对可用于装货和海水压载的处所，当发现其显著腐蚀时，将视为压载舱。

2）双壳散货船压载舱：系指单独用于海水压载的舱，或适用时，对可用于装货和海水压载的处所，当发现其显著腐蚀时，将视为压载舱。两舷的边舱即使其与顶边舱或底边舱相连，也应被认为是一个独立舱。

2.2.3 处所：系指独立的舱室，包括货舱、液舱、隔离舱、以及邻接货舱、甲板和外壳板的空舱。

2.2.4 代表性处所：系指能反映类似形式、用途和具有类似防腐蚀系统的其他处所的处所。当选择代表性处所时，应考虑到其营运和修理史及可识别的关键结构区域和/或可疑区域。

2.2.5 横剖面：系指包括该剖面上的所有纵向构件，如板以及在甲板、舷侧外板、船底板、内底板、纵舱壁（如适用时，还包括底边舱斜板和顶边舱底板）上的纵骨和纵桁。对横骨架式船，横剖面包括邻接的骨架及其在横剖面处的端部连接。

2.2.6 全面检验：系指为报告船体结构总的状况和确定进行附加近观检验范围的检验。

2.2.7 近观检验：系指验船师在近距离范围内（即伸手可及）能见到结构构件的细节的检验。

2.2.8 换新厚度（t_{ren}）：系指最小许用厚度，mm，若结构构件低于此厚度，则应予以换新。

2.2.9 防腐系统：通常可考虑全硬保护涂层（通常是指环氧树脂或同等物）。除软涂层和半硬涂层以外的其他涂层系统只要根据制造厂的规定应用和维护，可以考虑作为替代品接受。

2.2.10 涂层状况：

良好：系指只有小的点状锈斑；

尚好：系指在扶强材边缘和焊缝的连接处涂层有局部脱落和/或所检验的区域中有超过20%或更大的范围轻度锈蚀，但小于定义“差”的程度；

差：系指在检验的区域中，有超过20%或更大范围的涂层普遍脱落，或有10%或更大范围的涂层产生硬质锈皮。

2.2.11 特殊考虑：特殊考虑或特别的考虑（与近观检验和测厚有关）系指至少应通过足够的近观检验和测厚，以确定保护涂层下结构的实际平均状态。

2.2.12 可疑区域：系指有显著腐蚀和/或验船师认为易于快速蚀耗的区域。

2.2.13 货物长度区域：系指所有货舱和邻近区域，包括燃油舱、隔离舱、压载舱和空舱。

2.2.14 关键结构区域：系指通过计算确定需要进行监控的区域或从该船舶或类似船舶或

姐妹船（适用时）的营运历史中确定的容易发生影响船舶结构整体性的破裂、屈曲或腐蚀的区域。

2.2.15　显著腐蚀：系指通过腐蚀状况评估表明其腐蚀量已超过许用极限的 75%，但尚处于可接受的范围内的腐蚀程度。对 CSR 船舶，显著腐蚀系指通过腐蚀状况评估表明测得的厚度在 t_{ren}+0.5mm 和 t_{ren} 之间的腐蚀程度。

2.2.16　过度腐蚀：系指超过允许腐蚀极限的腐蚀程度。

2.2.17　普遍腐蚀：系指参考区域中含有超过 70%或更大范围的硬质和/或松脱的锈块腐蚀状态，包括点腐蚀，且伴随厚度减薄的证据。

2.2.18　均匀腐蚀：表现为无保护的易碎铁锈，均匀出现在无涂层的货舱和液舱的内部表面。锈皮不断脱落后，新的金属暴露又受到侵蚀。一般在发生了严重的厚度损失后，其损失才能由外观看出。

2.2.19　点腐蚀：系指分散的腐蚀点/区域，其腐蚀程度大于其周围区域的总体腐蚀程度。点腐蚀密度的定义见图 2.2.19。

2.2.20　边缘腐蚀：系指板材、扶强材、主要支撑构件和开孔的自由边的局部腐蚀。边缘腐蚀示意图见图 2.2.20。

2.2.21　凹槽腐蚀：系指扶强材与扶强材、扶强材与板材的焊缝连接处典型的局部厚度减少。凹槽腐蚀示意图见图 2.2.21。

2.2.22　远程检查技术（RIT）：系指一种验船师无需身体直接接近，即可对结构的任何部分进行检查的检验手段（参见 IACS Rec.42）。

2.2.23　主管机关：系指船旗国主管机关或者由主管机关认可的组织。

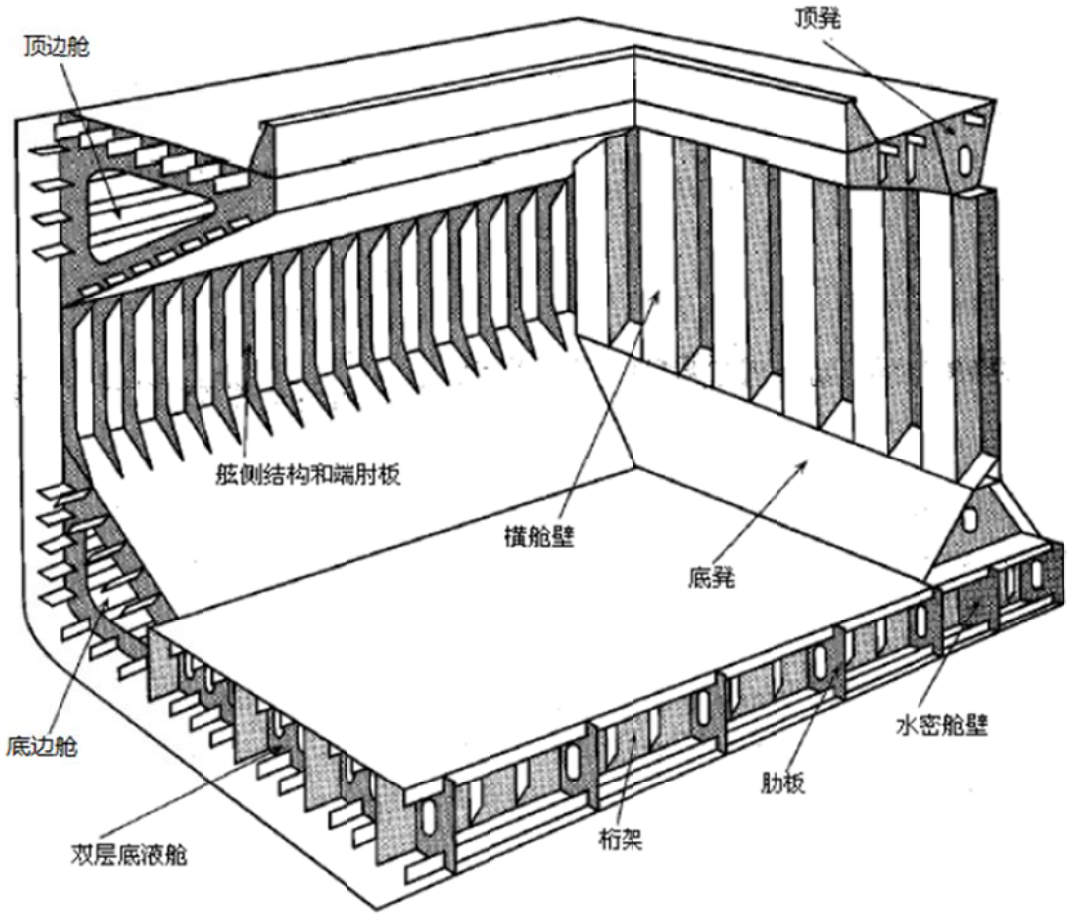


图 2.2.1 (1) 单舷侧散货船典型货舱结构

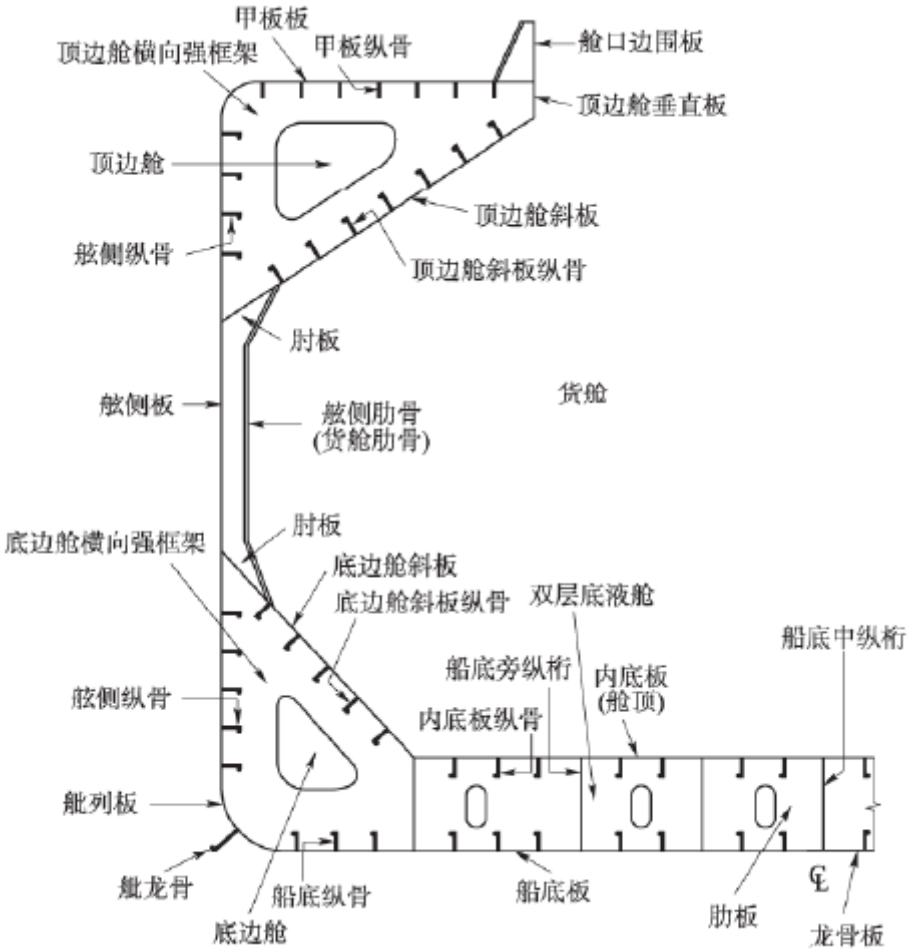


图 2.2.1 (2) 单舷侧散货船货舱典型横剖面

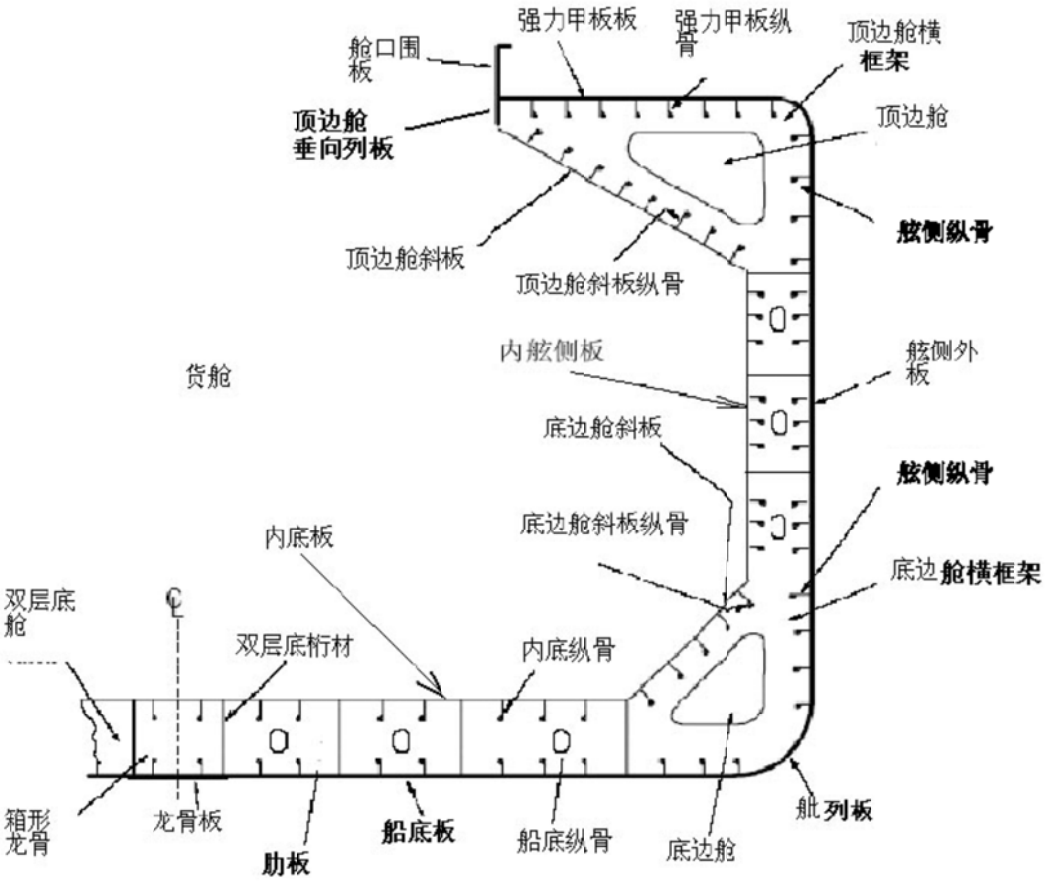


图 2.2.1 (3) 双舷侧散货船货舱典型横剖面

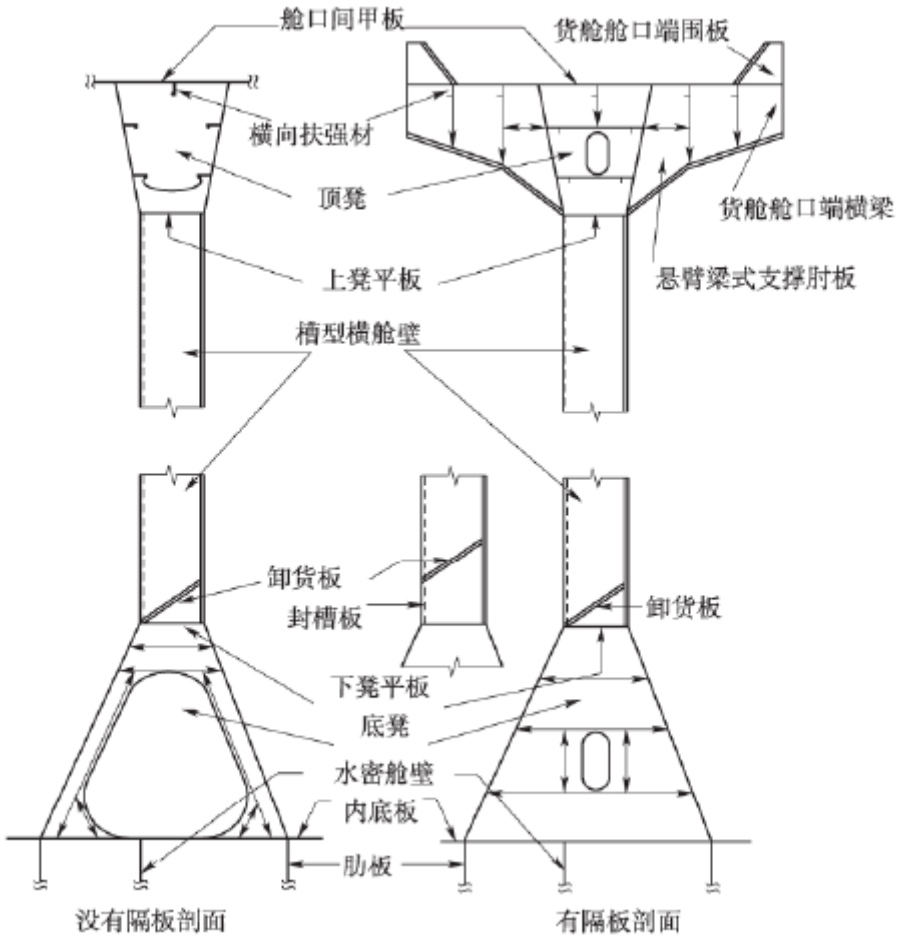


图 2.2.1 (4) 散货船典型槽形水密横舱壁

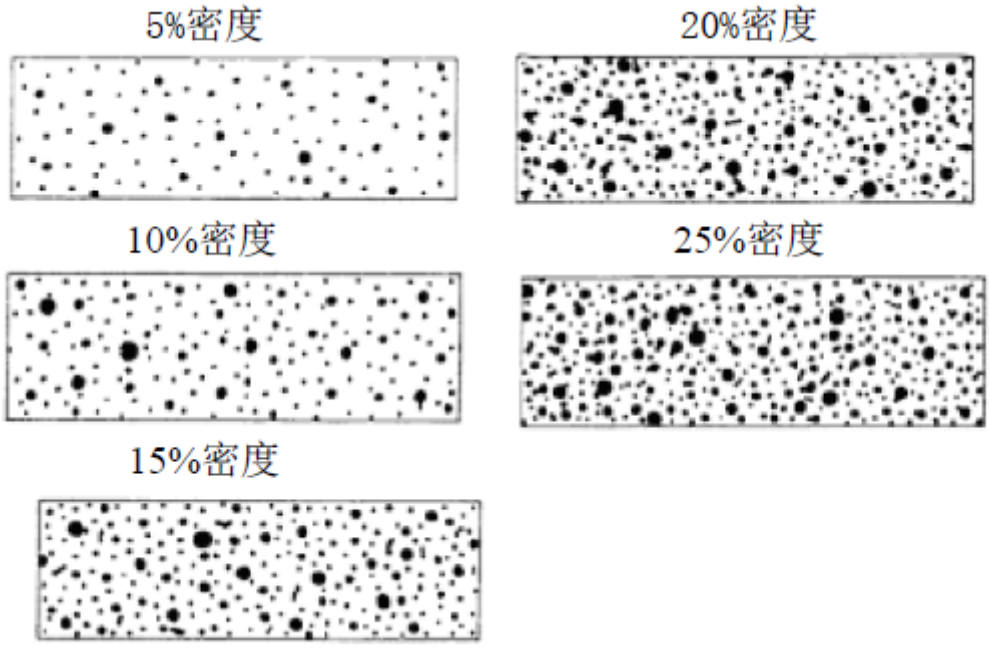


图 2.2.19 点腐蚀密度图

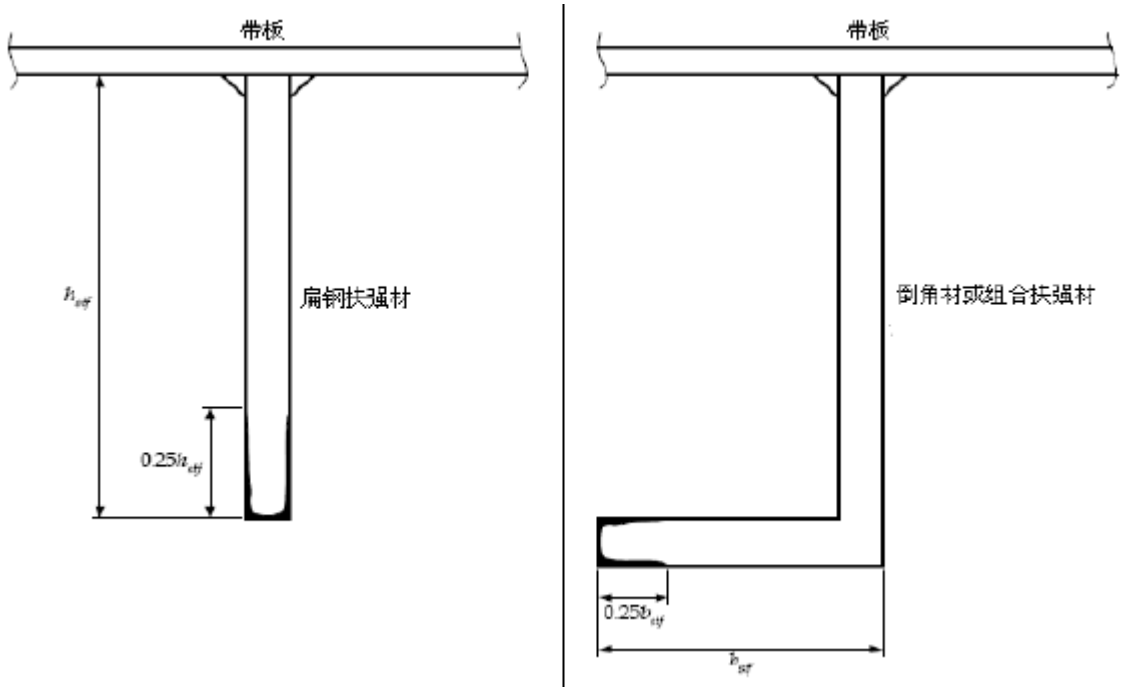


图 2.2.20 边缘腐蚀

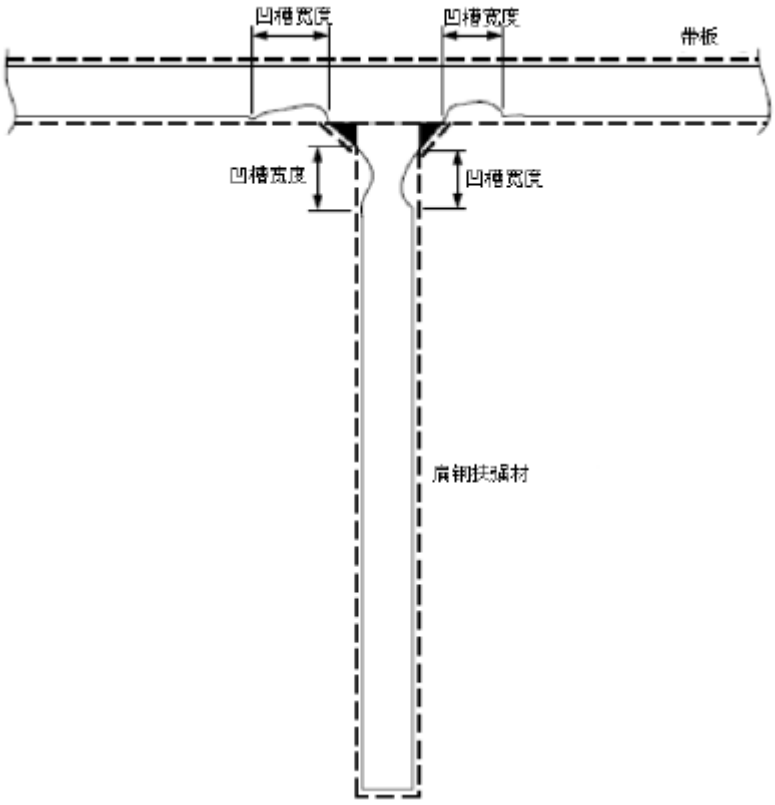


图 2.2.21 凹槽腐蚀

第 3 节 检验前的准备

2.3.1 一般要求

散货船执行检验前的检验条件、接近结构的措施、检验设备、在海上或锚泊状态下的船舶检验、ESP 检验计划的制定、支持性文件的提供以及 ESP 检验计划会议的召开，应符合现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章 5.1.6 和 5.1.7 的相关要求。

2.3.2 检验通道相关要求

SOLAS公约第II-1章第3-6条规定：2006年1月1日或以后建造的20,000总吨及以上的散货船，必须设置进入每一货物区域处所的通道和该区域处所内的通道以及该区域处所前部的通道，以供对船舶结构进行全面检验、近观检验和厚度测量。检验通道应符合条SOLAS公约第II-1章第3-6条5款和MSC.158(78)决议通过的《检查通道技术规定》的相关要求。

对于2005年1月1日或以后至2006年1月1日以前建造的20,000总吨及以上的散货船，检验通道至少应符合SOLAS公约第II-1章第3-6条5款和MSC.133(76)决议通过的《检查通道技术规定》的相关要求。

验船师在执行定期检验进入货物区域处所（货舱、压载舱和空舱）进行内部检查前，应核查《结构通道手册》，并应确认通道保持良好的工作状态。如果发现通道损坏、腐蚀或恶化情况，应估测该损坏或恶化程度是否影响到继续使用通道的安全性。影响到安全使用的恶化情况称之为“实质损坏”，并且应采取措施确保受影响的部分在妥善修复之前不得继续使用。

2.3.3 封闭处所的作业安全

封闭处所系指具有下列任一特征的处所：1）有限的出入开口；2）自然通风条件不畅；3）不适于人员在处所内持续作业。该类处所包括但不限于锅炉、压力容器、货物处所（干货舱）、货物处所梯道、压载舱、双层底、双壳处所、燃油舱、滑油舱、生活污水舱、泵舱、压缩机室、隔离空舱、留空处所、箱形龙骨、发动机曲轴箱、洞穴和凹坑。

散货船的液舱和处所应能安全进入。液舱和处所应进行危险气体清除和适当通风。在进入液舱、空舱和封闭处所之前，应测定并确认其内的危险气体业已驱除，并含有足够的氧气。具体作业安全要求详见现行 CCS《检验安全客户指南》和 IMO Res.1050(27)通过经修订的《进入船上封闭处所的建议案》。

2.3.4 救援和应急响应设备

若使用呼吸器和/或其他设备作为“救援和应急响应设备”，则该设备应能适合于被检验的处所。

2.3.5 远程检查技术（RIT）

现场验船师可考虑允许使用远程检查技术（RIT）作为近观检验的替代方法。远程检查技术（RIT）原则上不适用于油船及散货船的检验，但还应注意船旗国对此的特殊规定。使用 RIT 进行的检验应以使现场验船师满意的方式完成。当使用 RIT 进行近观检验时，应提供相应厚度测量的临时接近结构措施，除非该 RIT 能够进行所需的厚度测量。RIT 检验应按照现行 CCS《钢质海船入级规范》和 IACS Rec.42《远程检验技术应用指南》的要求进行。常用的 RIT 方式有：

1）无人机械臂；

2）遥控潜水器（ROV）；

3）无人机（参见CCS《无人机检验应用指南》）；

4）CCS接受的其它措施。

2.3.6 GBS 散货船建造档案

SOLAS 公约第 II-1 章第 3-10 条规定：船长为 150m 及以上的下列散货船，不包括矿砂船和兼装船：1）2016 年 7 月 1 日或以后签订建造合同；2）无建造合同，2017 年 7 月 1 日或以后安放龙骨或处于类似建造阶段；或 3）2020 年 7 月 1 日或以后交船，必须满足《散货船和油船目标型船舶建造标准》（GBS），并且应在新船交船时提供一份具有关于如何在船舶设计和建造中应用 GBS 标准功能要求的具体资料的船舶建造档案（SCF），将其保存在船上和/或岸上，并在该船的整个营运期内予以适时更新。

对 GBS 船舶，船舶建造档案（SCF）限于保留在船上的项目，应在船上可获得。

第 4 节 定期结构检验要求

2.4.1 散货船应按照现行 CCS《钢质海船入级规范》规定的间隔期进行定期检验。定期检验程序是评定船体结构状况，特别是货舱及邻近舱柜结构的最重要方式。定期检验包括每五年进行的特别检验，两次特别检验之间的中间检验和年度检验。除定期检验外，当船舶遭受影响入级的船体及其设备的损坏时，以及涉及入级的任何修理或改装或更换时，还应进行临时检验，典型的问题和选择的解决办法应记录在船舶历史档案中。

2.4.2 年度检验

2.4.2.1 年度检验应在检验周年日的前后 3 个月内进行，并且尽量与法定年度检验同时进行。散货船年度检验的项目详见现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章第 7 节 5.7.2 规定。

2.4.2.2 年度检验应尽实际可能进行总体检查，旨在确保船体、露天甲板舱口盖、舱口围板、关闭设施、设备和管系保持满意的状态，并应考虑到营运历史、压载舱防腐系统的状况和范围，以及检验报告案卷中确定的区域。

2.4.2.3 船龄为 10 年及以上的散货船，年度检验时要求对货舱进行全面检验和近观检验。

2.4.2.4 当上次中间检验和特别检验的结果有要求时，压载舱应进行检查。

2.4.2.5 当验船师认为需要或存在普遍腐蚀时，则应进行测厚。如测厚结果显示显著腐蚀，应扩大测厚范围。测厚应在检验完成之前进行。

2.4.2.6 以前检验确认的可疑区域应予检查。以前检验确认的显著腐蚀区域应测厚。对 CSR 船舶，如已按涂层生产商的要求敷设保护涂层并且每年检查确认涂层状况为“良好”时，可不进行年度测厚。

2.4.2.7 如适用，对于船长为150m及以上的散货船按船舶建造档案（SCF）检查船舶结构，并考虑经识别的需要特殊注意的区域。

2.4.3 中间检验

2.4.3.1 中间检验应在第 2 次或第 3 次年度检验之时或两次检验之间进行。除年度检验要求之外的项目，可在第 2 次或第 3 次年度检验之时或两次检验之间进行。中间检验应尽量与法定中间检验及坞内检验同时进行，中间检验开始前应举行一次检验计划会议。散货船中间检验的项目详见现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章第 7 节 5.7.3 规定。

2.4.3.2 以前检验发现的可疑区域，应进行全面检验和近观检验，同时该区域应经受足够范围的测厚，以确定该区域的总体腐蚀和局部腐蚀的程度。

2.4.3.3 船龄为 5 年及以上至 10 年的散货船，所有货舱应进行全面检验和足够范围的近观检验，同时结合近观检验进行测厚，以确定货舱的总体腐蚀和局部腐蚀的程度。

2.4.3.4 船龄为 10 年及以上的散货船，中间检验的要求应与上次特别检验的范围相同。除验船师认为必要外，燃油舱的内部检查和所有液舱的压力试验不作要求。

2.4.4. 特别检验

2.4.4.1 船体和轮机（包括电气设备）通常应在5年间隔期内进行特别检验，以便更新入级证书。第1次特别检验应在初次入级检验完成之日起5年内完成，其后特别检验应在上次特别检验完成之日起5年内完成。对于入级证书有效期小于5年的船舶，可缩减特别检验

周期。特别检验应尽量与法定换证检验同时进行，特别检验开始前应举行一次检验计划会议。散货船特别检验的项目详见现行CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第7节5.7.4规定。

2.4.4.2 特别检验可在到期之日前1个年度检验开始，于到期之日前完成。如特别检验开始的时间早于到期日前1个年度检验，则全部特别检验应在特别检验开始后的15个月内完成。

2.4.4.3 特别检验着重于近观检验，同时该区域应经受足够范围的测厚，以便查明裂纹、屈曲、显著腐蚀及其它形式的结构损坏。散货船、双壳散货船和矿砂船的特检时近观检验的最低要求分别详见现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章第 7 节表 5.7.4.4 (1)②、表 5.7.4.4 (2)②、表 5.7.4.4 (2)③。

2.4.4.4 测厚可以从特别检验开始时进行或特别检验到期前15个月内的厚度测量报告可作为本次特别检验的厚度测量报告。散货船、双壳散货船（包括矿砂船）和不具有ESP附加标志的散货船（包括双壳散货船）的特检时测厚的最低要求分别详见现行CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第7节表5.7.4.5 (1)①、表5.7.4.5 (1)②、表5.7.4.5 (1)③。

2.4.4.5 涂层恶化的海水压载舱和有显著腐蚀的结构区域和/或验船师认为易于快速蚀耗的区域，如果本次检验没有修理，则必须予以记录，以待下次检验时特别注意。

2.4.5 船底外部及有关项目的检验

2.4.5.1 在每 5 年进行的特别检验周期内，至少应进行两次船底外部及有关项目的检验。其中一次应结合特别检验进行。在所有情况下，任何两次检验的间隔不应超过 36 个月。在例外情况下，可允许坞内检验到期后展期 3 个月进行。检验内容详见现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章第 11 节的有关要求。

2.4.5.2 船底外部及有关项目的检验既可以在干船坞或在船排上进行，也可以在船舶漂浮状态下进行。在干船坞或在船排上进行检验称为坞内检验，在船舶漂浮状态下的检验称为水下检验。

2.4.5.3 对船龄 15 年及以上的 ESP 散货船，船底外部检验必须在干船坞中进行。对船龄少于 15 年的散货船，当不结合特别检验时，船底外部检验可以在漂浮状态下进行，但应确保船况良好并具有合适的设备和合格的人员。

2.4.5.4 坞内检验是特别检验的一部分。如特别检验中还未对货舱和压载舱进行检验，则在坞内检验时应按特别检验的要求对货舱和压载舱下部进行全面检验、近观检验和测厚。

2.4.6 损坏和修理检验

2.4.6.1 损坏检验通常是船体定期检验计划以外的临时检验，当船舶遭受影响入级的船体

及其设备的损坏时进行。当损坏或缺陷影响到船体结构性能和水密完整性时，船东或其代表有责任通知 CCS。结构损坏应经 CCS 验船师进行检验和评估，并进行必要的修理。在某些情况下，根据损坏的程度、类型和部位，永久性的修理可推迟到结合计划的定期检验一起进行。

2.4.6.2　任何与超过允许极限的结构蚀耗有关的损坏（包括屈曲、凹槽、脱开或断裂)或大面积区域的蚀耗超过允许极限，并影响或验船师认为将影响船舶的结构、水密或风雨密完整性时，均应进行立即彻底修理。这些区域包括：舷侧结构和舷侧外板，甲板结构和甲板板，船底结构和船底外板，内底结构和内底板，内侧结构和内侧板，水密或油密舱壁，舱口盖和舱口围板。

2.4.6.3　如在发现缺陷的港口完成上述修理有困难，经 CCS 同意，可允许船舶直接驶往有能力的修理港口完成上述修理。可能要求船舶为该修理航次卸除货物和/或进行临时性修理。如结构损坏是局部的且不会影响到船舶结构完整性（例如：横向甲板条上微小的孔）并已妥善处理，则验船师可考虑允许进行适当的临时性修理以确保水密或风雨密完整性，并按要求给出特定期限要求的船级条件。

2.4.6.4　如影响或有可能影响船级的船体、轮机或设备的修理由船员在航行过程中进行，则该修理应予以预先计划。修理程序应包括所需修理的范围，以及任何在航行过程由验船师进行检验的需要，该修理程序应在合理的提前时间内提交 CCS 认可。未能在修理前通知 CCS 可能导致船级的暂停。

2.4.6.5　现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章附录 7《航行中修理检验指南》为船员、专业公司和现场验船师提供处理航次修理、包括在航行中修理的指导。

第 5 节 保护涂层检查和维护修理

2.5.1　保护涂层的配备要求

SOLAS 公约第 II-1 章第 3-2 条规定：500 总吨及以上且：1）2008 年 7 月 1 日或以后签订建造合同的船舶；或 2）如无建造合同，2009 年 1 月 1 日或以后安放龙骨或处于类似建造阶段的船舶；或 3）2012 年 7 月 1 日或以后交船的船舶，船上配置的所有专用海水压载舱和船长 150m 及以上的散货船双舷侧处所应按照 IMO MSC.215(82)决议通过的《所有类型船舶专用海水压载舱和散货船双舷侧处所保护涂层性能标准》（PSPC）涂装涂层。

2006 年 12 月 8 日或以后签订建造合同的 CSR 散货船必须符合 PSPC 要求。

1998年7月1日或以后建造的散货船，不适用上述PSPC要求的所有专用海水压载舱应有一个有效的防腐系统，例如硬保护涂层或等效物。该防腐系统的选择、应用和维护方法应符合IMO A.798(19)决议通过的《专用海水压载舱防腐系统的选择、应用和维护指南》。

2.5.2 保护涂层的状况评定

2.5.2.1 保护涂层的状况一般评定为三级：良好、尚好和差，相关定义参见本章第 2 节 2.2.10 条。

IMO《保护涂层维护和修理指南》（MSC.1/Circ.1330）进一步澄清细化如下：

良好：在参考区域内小于 3%面积出现点状锈斑，但涂层无明显可见的损坏状况。参考区域中，小于 20%的边缘或焊缝出现锈蚀。

尚好：在参考区域内，小于 20%的面积出现涂层剥落或锈皮穿孔，硬质锈皮必须小于参考区域的 10%。参考区域中，小于 50%的边缘或焊缝处出现锈蚀。

差：在参考区域内，20%以上的涂层面积剥落或出现锈穿孔，或 10%以上面积出现硬质锈皮，或涂层局部剥落集中在大于 50%的边缘或焊缝处。

	良好(3)	尚好	差
涂层剥落或锈蚀面积(1)	<3%	3~20%	>20%
硬锈皮面积(1)	--	<10%	≥10%
局部涂层剥落或边缘或焊缝处的锈蚀(2)	<20%	20~50%	>50%
注： (1) % 系指参考区域内的面积百分比，或“关键结构区域”。 (2) % 系指参考区域内的边缘或焊缝长度百分比，或“关键结构区域”。 (3) 点状锈斑，即斑点锈蚀但涂层无可见的失效。			

2.5.2.2 参考区域：系指对液舱涂层状况评估的划分单元。关键结构区域属于参考区域之一。

散货船液舱的参考区域按照 IMO《保护涂层维护和修理指南》（MSC.1/Circ.1330）划分如下：

1）顶边舱

(a) 甲板板、舱口垂直列板和斜底板及其附属结构，划分为 2 个参考区域：甲板板和舱口垂直列板及其附属结构区域、斜底板及其附属结构区域。

(b) 舷侧外板及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域（当顶边舱的垂直高度不超过 15m 时），或上、中、下 3 个参考区域（当顶边舱的垂直高度超过 15m 时）。

(c) 前后横舱壁及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域（当顶边舱的垂直高度不超过 15m 时），或上、中、下 3 个参考区域（当顶边舱的垂直高度超过 15m 时）。

2）底边舱

(a) 斜顶板、船底舷侧纵桁和船底外板及其附属结构，划分为 2 个参考区域：船底舷侧纵桁和船底外板及其附属结构区域、斜顶板及其附属结构区域。

(b) 舷侧外板包括舭部外板及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域（当底边舱的垂直高度不超过 15m 时），或上、中、下 3 个参考区域（当底边舱的垂直高度超过 15m 时）。

(c) 前后横舱壁及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域（当底边舱的垂直高度不超过 15m 时），或上、中、下 3 个参考区域（当底边舱的垂直高度超过 15m 时）。

3）双层底舱

双层底舱边界及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域。

4）边舱

(a) 甲板板和舱底板及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域：甲板板及其附属结构区域、舱底板及其附属结构区域。

(b) 舷侧外板和纵舱壁板及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域（当边舱的垂直高度不超过 15m 时），或上、中、下 3 个参考区域（当边舱的垂直高度超过 15m 时）。

(c) 前后横舱壁及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域（当边舱的垂直高度不超过 15m 时），或上、中、下 3 个参考区域（当边舱的垂直高度超过 15m 时）。

5）首尖舱

首尖舱边界及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域（当首尖舱的垂直高度不超过 15m 时），或上、中、下 3 个参考区域（当首尖舱的垂直高度超过 15m 时）。

6）尾尖舱

尾尖舱边界及其附属结构，划分为上下 2 个参考区域。

2.5.3 保护涂层的分类

保护涂层按照其防护性能区分为：

硬涂层：在其干燥过程中发生化学变化的涂层，通常用于新建结构或覆盖在起保护作用的非转化空气干燥涂层之上。涂层可以是无机的也可以是有机的。

目前最常见的硬涂层为环氧树脂基底系，如通过相关试验证明其防护作用等效并取得型式认可，其他成分的油漆也能被定义为硬涂层。硬涂层对于施工环境和施工工艺水平要求相当高，其附着强度通常不小于 3MPa。 PSPC 规定涂层类型应为环氧基体系，其他涂层系统的性能要通过 IMO 决议 MSC.215(82)附件 1 的试验程序。建议多道涂层系

统，每道涂层的颜色要有对比。面涂层应为浅色，便于营运中检查。

半硬涂层：干燥后仍有足够的柔性和硬度，触碰和踩踏都不会受到损坏且排压载作业时不受水冲刷影响的涂层。

软涂层：不干燥而长久保持柔软状态的涂层，使用寿命为 2~4 年，具体请参见油漆生产商的说明书，一般不建议使用。如使用软涂层，应为检查人员提供安全检验通道，以便核实涂层的有效性并对内部结构进行状况评估（包括可能需要对涂层的锈斑清除）。

2.5.4 保护涂层的检查

2.5.4.1 船舶应按 CCS 规范的有关要求在规定的期限内对防腐系统的有效性进行状态检验。

2.5.4.2 应对压载舱的防腐系统状况进行检查。对于压载舱（不包括双层底舱），如发现硬保护涂层处于“差”的状态，且未换新，或已敷设软涂层或半硬涂层，或从建造之时就未敷设硬保护涂层，则对所述舱应每年进行检查。如验船师认为必要，应进行测厚。如在压载双层底舱内发现硬保护涂层处于该种状态，且未换新，或已敷设软涂层或半硬涂层，或从建造之时就未敷设硬保护涂层，则对所述舱可每年进行检查。如验船师认为必要，或存在大面积腐蚀，应进行测厚。

2.5.4.3 如货舱内设有硬保护涂层，且涂层处于“良好”状态，近观检验和厚度测量的范围可予以特殊考虑。

2.5.4.4 对于 CSR 散货船，针对已识别的显著腐蚀区域，如已按涂层生产商的要求敷设保护涂层并且涂层状况为“良好”状态，可不进行年度测厚。

2.5.4.5 具有 PSPC 附加标志的船舶，在船舶营运期间应按照 CCS 规范对不同船型的检验要求对与附加标志相关特定部位的涂层进行年度检验、中间检验和特别检验。涂层应保持在不低于状况评定中的“尚好”状况。在特别检验时，还应核查相关文件，验证涂层得到了良好的维护。若涂层进行过修理，则应有相关记录标明修理是按船上的涂层技术文件的规定进行。

2.5.4.6 当检查发现涂层状况评定为“差”时，该部位涂层应予以及时修复，否则将取消相关涂层的附加标志或要求后续定期进行舱室的内部检验，必要时进行测厚。

2.5.4.7 在对船舶涂层进行外观检查时，应特别注意以下部位的涂层状况：

1）结构凹陷易于积水的位置；

2）液舱内部；

3）外加电流保护装置的辅助阳极附近的区域；

4）其他在使用过程中易于产生涂层损坏的区域。

2.5.4.8 当发现以下现象，可根据涂层损坏程度予以局部维护、修补、整新或全面重新涂

装：

1）水线以下区域的涂层表面有海生物较大面积附着时；

2）结构表面出现大面积锈蚀，或个别锈斑的面积较大时；

3）涂层出现明显剥离、起泡、龟裂、老化等现象时；

4）在使用过程中产生涂层磨损、碰坏、拉伤时。

2.5.5 保护涂层的维护修理

2.5.5.1 在船舶的使用寿命期间，应根据 IMO《保护涂层维护和修理指南》（MSC.1/Circ.1330）对保护涂层系统的有效性进行验证。若发现涂层状况为“良好”，可通过维护保持“良好”；若发现涂层状况为“尚好”，可通过维护保持“尚好”或通过修理达到“良好”；若发现涂层状况为“差”时，须通过修理达到“良好”。

2.5.5.2 对于非 PSPC 涂层的修理，应按照现行 CCS《船舶结构防腐蚀检验指南》第 8 章的要求进行涂装作业。损坏的旧涂层应按照上述指南附录 E 进行旧涂层缺陷评估后制定施工方案。

2.5.5.3 对于需满足 PSPC 标准要求的船舶，涂层的维护和修理应符合 IMO《保护涂层维护和修理指南》（MSC.1/Circ.1330）和建造方提供的《涂装规格书》的规定，并应将营运中的维护、修理和局部重涂事项记录在涂层技术文件（CTF）中。涂层修理原则要求，见 IMO《保护涂层维护和修理指南》（MSC.1/Circ.1330）第 6 条的规定。

第 6 节 结构腐蚀和变形衡准

2.6.1 CSR 散货船的结构腐蚀衡准

2.6.1.1 净厚度方法

为使CSR船舶在整个营运寿命周期内能保证足够的结构强度，CSR规范引入了净厚度t概念。结构单元的净厚度t是为了符合设计的结构强度而要求的，而结构单元的腐蚀增量t_c是独立于尺度要求而单独给出的。该方法清晰的将净厚度与为了船舶运营阶段可能出现的腐蚀而增加的厚度区分开。该方法使得船舶生命周期中的结构腐蚀状况能被清晰确认，替代了以往以建造厚度为基础的设计与检验标准。

2.6.1.2 对于CSR散货船，结构腐蚀衡准详见现行CCS共同结构规范并如下2.6.1.3~2.6.1.5所述。

2.6.1.3 CSR散货船点腐蚀的验收衡准

1）散货船舷侧结构：详见现行CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第1节5.1.17(2)①规定。

2）其他结构：详见现行CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第1节5.1.17(2)②规定。

2.6.1.4 CSR散货船边缘腐蚀的验收衡准

详见现行CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第1节5.1.17(3)规定。

2.6.1.5 CSR散货船凹槽腐蚀的验收衡准

详见现行CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第1节5.1.17(4)规定。

2.6.2 非 CSR 散货船的结构蚀耗衡准

2.6.2.1 对于非 CSR 散货船，结构蚀耗衡准应根据船龄及有关结构件按照现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章附录 1 的相关规定并如下 2.6.2.2~2.6.2.3 所述。

2.6.2.2 国际船级社协会（IACS）对非 CSR 散货船的结构强度评估提出了统一要求（UR），主要包括 S12、S17~S23、S31，具体可参见现行 CCS《散货船附加要求指导手册》。

2.6.2.3 非 CSR 散货船点腐蚀和凹槽腐蚀的验收衡准

1）符合 UR S31 要求的舷侧结构

符合 UR S31 要求的单舷侧散货船舷侧肋骨和肘板的腐蚀衡准（参见现行 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章附录 6）：

舷侧结构的点腐蚀密度图见图 2.2.19。

如在一个区域（A, B, C, D）内点腐蚀密度大于15%，那么应作测厚以检查点腐蚀的范围。15%是根据仅在板一面的点腐蚀或焊缝腐蚀。

如点腐蚀密度大于 15%，则在点腐蚀最多部位应将 300mm 直径或更大（或，如在附属于舷侧肋骨的肋骨折板或舷侧外板、底边舱斜板或顶边舱斜板上，一个相当于成直角的区域上不可行）的区域清洁出白（裸金属），且在清洁区域内 5 个最深点腐蚀处测厚。其中最小厚度应记录为板的厚度。

任何点腐蚀或凹槽腐蚀的最小可接受的剩余厚度应为：

对在货舱内的肋骨和肘板的腹板和面板上的点腐蚀或凹槽腐蚀为建造厚度的 75%；

对在附连货舱肋骨的舷侧板、底边舱和顶边舱斜板，从肋骨每边等于 30mm 宽度的板上的点腐蚀或凹槽腐蚀为建造厚度的 70%。

如在一个区域内点腐蚀密度小于 15%，对深度大于 1/4 原始板厚的点腐蚀，一般可接受对这些分散性麻点进行堆焊，但若剩余净厚度值小于 6mm，则板材应进行割换。

2）上述 1）以外的其他结构

其他结构参照上述 1）舷侧结构的腐蚀衡准。

2.6.3 船体构件变形极限

2.6.3.1 定义

1）皱折：指骨架间钢板的挠曲，其最大挠度应在骨架间沿短边方向测量。

2）凹陷：指骨架与钢板的共同挠曲，其最大挠度应在完好的骨架间测量。

2.6.3.2 钢板皱折极限

1）由于撞击产生的变形

横骨架式强力甲板，舷顶列板和船底外板在船中 0.4L 区域内皱折的最大允许挠度 fmax 规定如下：

fmax≤2.6t，当 s/t≤50 时

fmax≤0.06s，当 s/t＞50 时

横骨架式的其余位置及纵骨架式板的皱折最大允许挠度 fmax 规定如下：

fmax≤3t，当 s/t≤50 时

fmax≤0.07s，当 s/t＞50 时

式中：s—皱折处肋距或纵骨架式的纵骨间距，mm；t 皱折处外板的厚度，mm。

2）由于应力产生的变形

变形特征：位于船中部 0.4L 区域内的上甲板和底板的变形遍及全宽；骨架间板材形成有规则的波浪状皱折。

变形极限：

横骨架式皱折的最大极限允许挠度：fmax≤15mm+1.5t

纵骨架式皱折的最大允许挠度：fmax≤20mm+2t

式中：t 皱折处板的厚度，mm。

变形处理：对应力变形应作详细记录，如超过变形极限，应更换大于原板厚的板材或予以加强。

2.6.3.3 板架凹陷极限

板架凹陷的最大允许挠度：fmax＜6L+10 mm

式中：L 中骨架的跨度，m。

2.6.3.4 其他规定

1）骨材自由端偏移，不得超过其长度的 4%。

2）龙骨、肋板、双层底桁材腹板的皱折，不得超过板高度的 4%。

3）肘板不允许有皱折变形，肋骨与横梁在端部的相对位移不得超过该处肋骨的厚度。

4）骨架不允许有明显的弯曲变形。

5）对于甲板开口总宽度超过 0.6 倍船宽，或舱口长度超过 0.7 倍舱口两端横向甲板条中心线之间的距离的船舶，对其抗扭强度应特别注意。

6）横向强度构件，特别是四分之一船长附近的横向强度构件有规律性变形时，也应适当加强。

7）船舶受力构件，尤其是舷侧顶列板，甲板边板，上层建筑端部，船中部 0.4L 区域内的舷边连接和舱口角隅等部位不允许任何裂纹。

第 7 节 结构损坏修理的一般要求

2.7.1 概述

2.7.1.1 船体结构缺陷通常是各种因素共同作用而产生的，并会相互影响，比如裂纹常常产生于焊道的起止端、扶强材的圆角或构件交接处等存在潜在焊接缺陷的部位；结构过度腐蚀，厚度减薄的结构件在受到外力作用时，其防挠和防裂的能力下降，从而导致裂纹和屈曲等缺陷的产生；屈曲较大的板材容易使防腐涂料分层、脱落，以致产生严重的腐蚀现象。

本指南中，结构损坏和恶化系指由下列原因引起的缺陷：

- 过度腐蚀
- 设计缺陷
- 材料缺陷或不良工艺
- 极端恶劣气候条件下航行
- 装卸货作业，海上压载水交换
- 磨损
- 撞击（与码头、浮冰及水下物体等）

但不包括如碰撞、搁浅、火灾/爆炸等直接的事故结果。

2.7.1.2 缺陷一般指：

- 材料蚀耗
- 裂纹
- 变形

各种结构缺陷发生的位置和修理的一般要求详细讨论如下：

2.7.2 材料蚀耗及其修理

2.7.2.1 除了要熟悉在检验中可能遇到的典型结构缺陷，还必须知道船体结构可能发生的各种腐蚀的形式和可能的位置。

2.7.2.2 腐蚀的分类

按照参考区域腐蚀的范围大小，腐蚀可以分为局部腐蚀和普遍腐蚀。按照腐蚀的严重程度，腐蚀可以分为轻度腐蚀、显著腐蚀和过度腐蚀。按照腐蚀的作用和表现形式，腐蚀可以分为均匀腐蚀、点腐蚀、凹槽腐蚀和边缘腐蚀。点腐蚀、凹槽腐蚀和边缘腐蚀也属于局部腐蚀。

2.7.2.3 均匀腐蚀的修理

均匀腐蚀表现为无保护的易碎铁绣，均匀出现在无涂层的货舱和液舱的内部表面。锈皮不断脱落后，新的金属暴露又受到侵蚀。直到过度腐蚀发生后，厚度损失才能由外观看出。船舶建造过程中未除尽的氧化皮，会加速营运时的腐蚀。所有各类船舶严重的均匀腐蚀，通常表现为锈皮堆积，导致大面积的钢板换新。凡超过允许腐蚀极限的板材和构件应进行割换修理（按照本章第6节规定的结构腐蚀衡准）。

2.7.2.4 边缘腐蚀的修理

边缘腐蚀系指发生在板材、扶强材、主要支撑构件和开孔的自由边的局部腐蚀。例如：压载水舱内纵骨往往在流水孔和过焊孔处边缘腐蚀严重、减薄，但其余部分尚好，产生此情况的原因是由于纵骨在流水孔和过焊孔处涂层敷设困难，先天不足，该处还要受到海水的冲刷，加上该处截面变小，应力增大，造成加速腐蚀。凡超过允许腐蚀极限的板材和构件应进行割换修理（按照本章第 6 节规定的结构腐蚀衡准）。

对于CSR散货船，如果对开孔边缘不割换而只进行切割处理，需注意满足下述条件：1）开口边缘板厚度折减的最大范围不大于开口最小尺寸的20%且不超过100mm；粗糙或不均匀的表面可以切割，条件是开口最大尺寸的增加不超过10%并且新边缘的剩余厚度不小于t_{ren} -1mm。

2.7.2.5 凹槽腐蚀的修理

通常出现在焊缝及其两边，特别是在热影响区。腐蚀是由于熔敷金属和热影响区的金相结构不同而产生的电流所致。焊缝处的涂层由于表面粗糙使得腐蚀加速而使保护效果比其它区域更差。凹槽腐蚀将导致应力集中和进一步加快腐蚀进程。凹槽腐蚀通常也可以在如涂层被刮伤或金属本身受到机械损伤的基体材料上发现。凡超过允许腐蚀极限的板材和构件应进行割换修理（按照本章第 6 节规定的结构腐蚀衡准）。

焊缝腐蚀属于常见的凹槽腐蚀。角焊缝焊脚的最大允许腐蚀极限为 20%，对接焊缝腐蚀后其边缘不得低于钢板表面。超过此极限的焊缝应进行焊补修理，施焊前金属表

面应进行除锈和清洁。具体工艺要求可参照下述点腐蚀的焊补修理。

2.7.2.6 点腐蚀的修理

点腐蚀通常出现在压载舱内的底板或水平表面，如面板，通常是从涂层局部脱落开始的。一旦出现坑点腐蚀，腐蚀便会因坑点与正常结构间的电流而加剧。对于点腐蚀区域的修理，可选取如下处理方案：用涂层或填充物填充、焊补(对点腐蚀处进行堆焊)、换板等等。应按照本章第 6 节规定的结构腐蚀衡准，并根据点腐蚀的密度、腐蚀深度及点腐蚀的位置来选取合适的处理方案。

下述处理要求的检验指南只能作为处理问题的思路和指导，对于现场发生的问题还需要具体分析，对于超出本检验指南的处理方案，须经 CCS 同意。

2.7.2.6.1 填充

深度小于 1/4 原板厚的点腐蚀可定义为浅的点腐蚀。浅的点腐蚀可用涂层或填充物填充，在对点腐蚀进行填充前，采用的材料及采用的工艺应经 CCS 批准认可，此外应按照填充材料生产商的建议进行合适的干燥及表面处理措施。

点腐蚀会加快腐蚀进度，特别是在有涂层的区域。为控制点腐蚀进一步加剧，在腐蚀初期就采取处理措施是很有必要的。但需注意：对点腐蚀用涂层或填充物填充，只是作为阻止或减少点腐蚀进度推荐的手段，但不接受作为对超过允许腐蚀极限的修理方法。

2.7.2.6.2 焊补

1）对于深度超过 1/4 原板厚的较深的点腐蚀，如在一个区域内的点腐蚀密度小于 15%（参见图 2.2.19 点腐蚀密度图），且任何点的剩余厚度不小于 6mm，可在分散点腐蚀表面进行焊补。

2）对点腐蚀采用焊补修理的一般原则

在高应力区和承受总强度的主要结构上应严格限制对点腐蚀进行焊补。在特殊情况下采用焊补，需要慎重考虑方可接受，且需经 CCS 批准。

如拟焊补的结构为高强度钢，一般不同意进行焊补，在特殊情况下，必须以照片和详细报告报 CCS 批准。

考虑现场焊补修理的可操作性以及焊接质量等因素，一般仅接受对个别的或小范围的点腐蚀进行焊补。如拟焊补的范围较大，原则上不予同意焊补，在特殊情况下，必须以照片和详细报告报 CCS 批准。

3）焊补位置主要为仰焊的（如船底板下表面），应严格控制焊工的资格及采用的焊接工艺。焊补时，采用的焊接材料及焊接工艺应与母材相适应。

清洁：完全清除点腐蚀的锈斑。

干燥：采用氧-乙炔火焰或其他等效方法进行干燥。

预热：环境温度较低时应要求预热。

焊接：建议采用低氢焊条，焊完每道焊缝后转换反向。

NDT：至少应有 10%的范围，最好采用磁粉探伤，以检查表面及浅表面是否存在裂纹。

2.7.2.6.3　割换

如深的点腐蚀超过规定的允许腐蚀极限，或剩余厚度小于 6mm，则不应采用焊补的修理方法，而应进行割换。

割换时所使用的钢板、型材及焊接材料均应符合现行 CCS《材料与焊接规范》的有关要求，使用的材料等级应与母材相适应。焊接应按认可的焊接工艺进行施工，并按施工焊缝长度抽取一定比例进行 X 射线或超声波探伤检查。船体水密结构修理后，还需进行密性试验。

2.7.3　裂纹及其修理

2.7.3.1　大多数裂纹出现于应力集中的部位。焊缝缺陷、焊瘤及船舶建造时安装吊码而没有很好去除的部位，都是裂纹经常出现的地方。当裂纹是由小于其屈服应力的交变应力导致时，称为疲劳裂纹。此外，除了由波浪外力引起的周期应力外，还有主机或螺旋桨震动而引起的震动力易造成疲劳裂纹，特别是在船体后部。

2.7.3.2　裂纹由于检验时表面清洁不够、接近困难、光线不足或裂纹表面压紧而不易发现。因此，必须标识、清洁、并仔细检查潜在的问题区域，如没有发现裂纹的起始点，需检查板背面的结构。

2.7.3.3　始发于焊缝潜在缺陷处的裂纹较多地出现于焊缝的起始端和终止处、扶强材的包角焊和交叉焊缝处。应特别注意肘板的趾端、切口和交叉焊缝处。裂纹也可在咬边的应力集中处始发。尽管尚不普遍，由于间断焊焊缝端部的应力集中，也会引起裂纹。

2.7.3.4　必须注意裂纹，特别是由交变应力引起的裂纹，会导致严重的损害。如肋骨的疲劳裂纹会蔓延到船壳板，而影响到船体的水密完整性。在极端恶劣的气候条件下，壳板的裂纹会进一步延伸而致部分壳板的脱落，从而造成货舱进水。

2.7.3.5　裂纹的修理一般采用补焊方法，补焊前应将裂纹彻底铲除。如为穿透性裂纹，应在裂纹两端开止裂孔，然后用低氢焊条采取全焊透的方法重新焊接，必要时局部加装扶强材。当裂纹扩展至板材上时，需将板材局部割换。通常可利用无损检测手段进行裂纹范围的确认。

2.7.4　变形及其修理

2.7.4.1 结构变形由平面内载荷、平面外载荷或组合载荷引起。这些变形通常称为局部变形（即皱折，如板格或扶强材的变形）或整体变形（即凹陷，如横梁、肋骨、纵桁或肋板及其带板的变形）。

2.7.4.2 当变形过程中因载荷的少量增加而导致大的变形，则这个过程称为失稳。

2.7.4.3 变形通常由冲击负荷/碰撞和偶然性的超载引起的。虽然尾浪的冲击也会引起船体尾部的变形，但一般来说，发生在船首部的由船底砰击力和波浪冲击力引起的变形更常见。

2.7.4.4 对由于与其它物体碰撞而引起的变形必须特别注意，虽从外部看是较小的变形，但很多情况下，其内部构件已严重损坏。

2.7.4.5 永久性屈曲是由超载、因腐蚀而造成的厚度全面减薄或碰撞变形所致。弹性屈曲通常不能直接发现，但可通过涂层损坏、应力线或锈皮的脱落来判断。屈曲变形通常发生于强肋骨或肋板的腹板上。很多情况下，是由于强肋骨/肋板的腐蚀、过宽的扶强材间距、强肋骨/肋板上错误布置的减轻孔、人孔和切口造成。

2.7.4.6 还必须注意到偶然性超载可能引起重大的变形。然而在通常情况下，变形的主要原因与过度腐蚀和碰撞损坏有关。

2.7.4.7 凡超过允许变形极限的板材和构件应进行割换修理（按照本章第 6 节规定的结构变形衡准）。

2.7.5 结构修理焊缝无损检测的一般要求

2.7.5.1 对于钢质船体结构（包括船体结构与起重机基座（起重柱）直接相连的节点）修理焊缝的无损检测，应执行 CCS 现行《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章中相关条款的要求。

2.7.5.2 现场验船师与承修单位之间应就修理焊缝无损检测的位置、数量、适用标准等商定具体的要求和安排。

2.7.5.3 鉴于船舶修理的现场施工环境、作业条件等通常不如新建船舶，故对船舶修理焊缝无损检测的数量和位置要求应不低于对新建船舶的无损检测要求，且在必要时，验船师可要求增加无损检测的数量。

第 8 节 散货船结构特征和检查要点

第一部分 散货船的一般结构特征和检查要点

2.8.1 上甲板区域

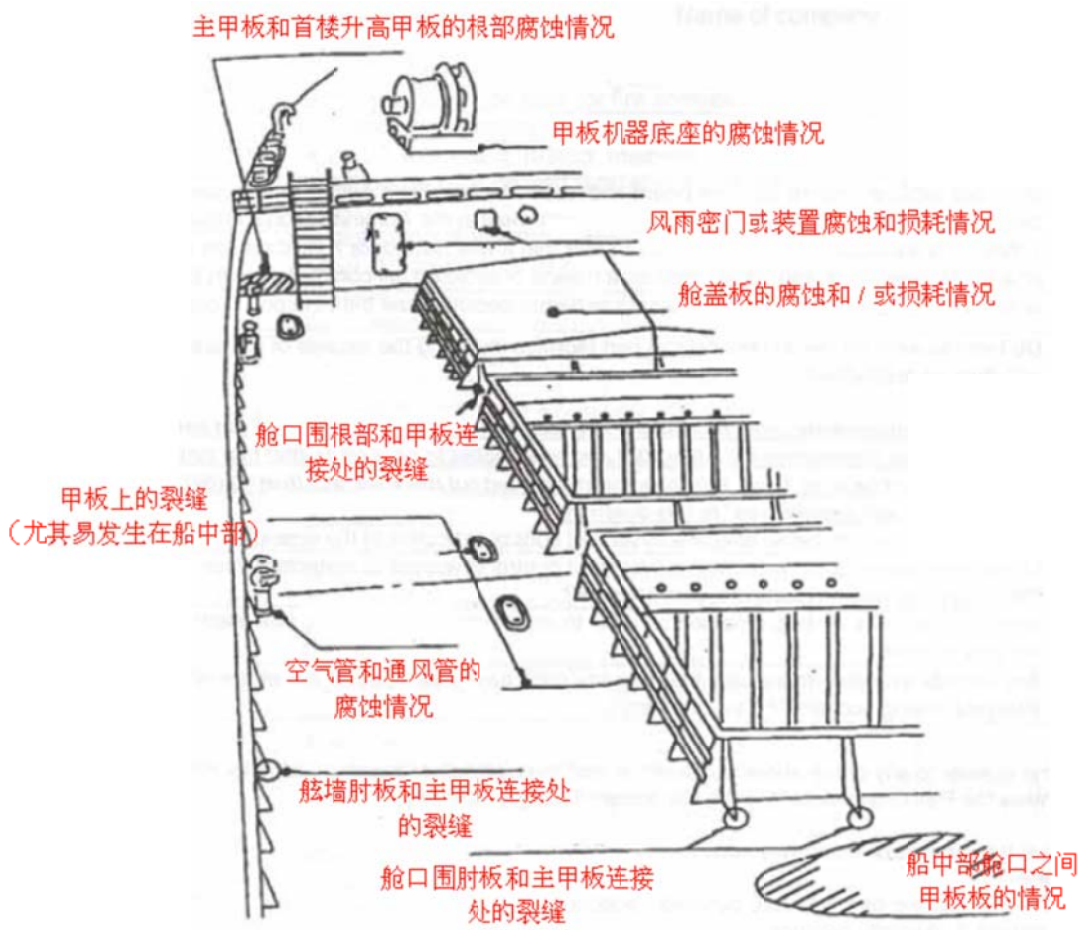


图 2.8.1 上甲板检查要点

2.8.1.1 散货船的纵向连续上甲板承受船体纵桁的应力。纵向弯曲会在上甲板引起轴向力，导致在甲板钢板应力集中位置产生裂纹。

2.8.1.2 散货船设有货舱口便于货物装卸。这些货舱口会降低船舶抗扭强度而导致在舱口角隅产生应力集中，最明显的特征是在这个区域的甲板上产生裂纹。

2.8.1.3 横向甲板条承受横向弯曲产生的应力。横舱壁为散货船提供横向强度，而横向甲板条提供抵抗横向轴向力的强度。

2.8.1.4 关注横向甲板条的是否发生翘曲。通常情况下，纵骨设置在货舱边线以外的纵向连续上甲板下，这就是纵骨架式。如果在横向甲板条处也按同样的方法设置甲板梁材的话，由于没有足够的强度抵抗作用在其上的横向轴向力，横向甲板条就会发生翘曲，所以横向甲板条的结构最好还是采用横骨架式。对于横向甲板条采用纵骨架式的船舶，应特别注意主甲板的翘曲情况。

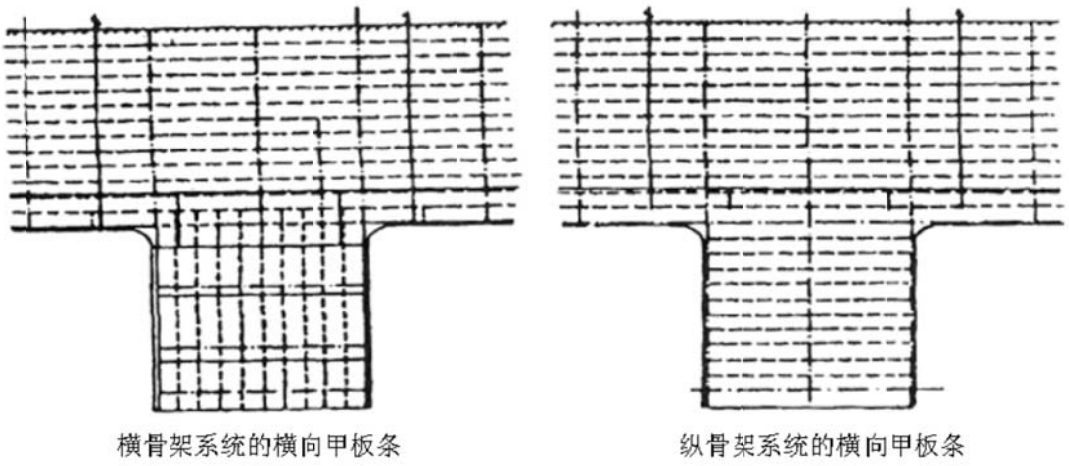


图 2.8.1.4 横向甲板条的骨架形式比较

2.8.1.5 关注上甲板上的裂纹。上甲板上的裂纹各种各样，从货舱口延伸出来的裂纹通常认为严重危及船舶安全：

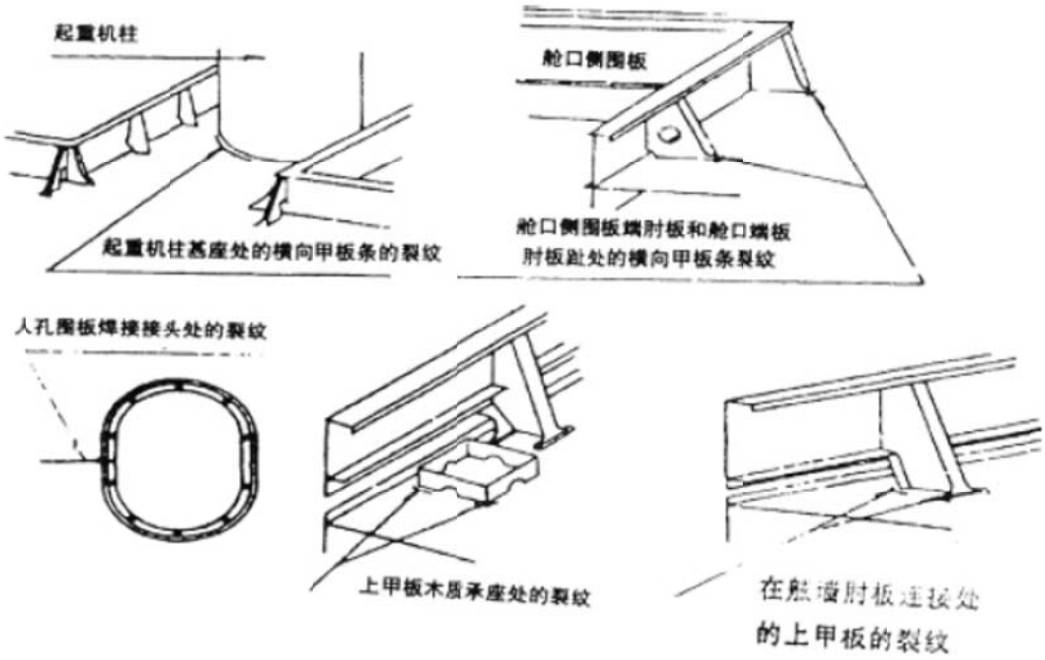


图 2.8.1.5 (1) 上甲板上的各种裂纹

1）关注货舱舱口角隅处是否开裂

货舱大开口降低了船体抗扭强度并导致在上甲板舱口角隅产生应力集中。因此，舱口角隅的上甲板钢板是裂纹产生的焦点之一，在检查中这个区域应给予特别的注意。

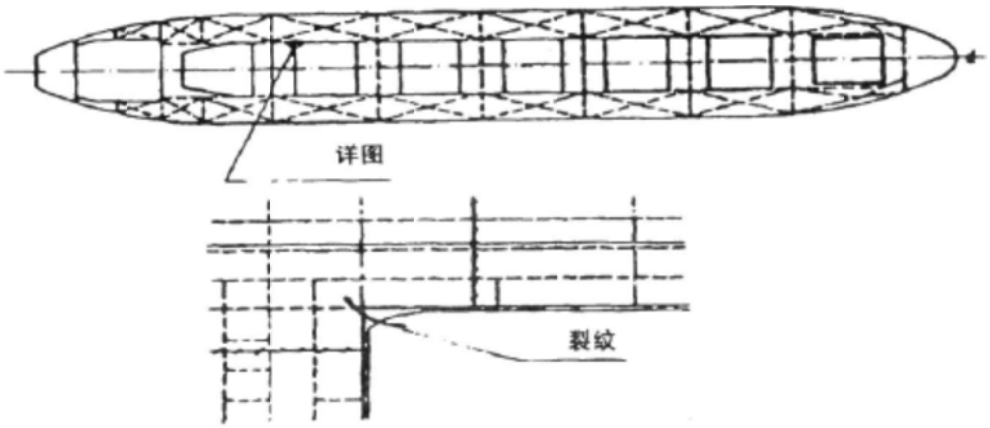


图 2.8.1.5 (2) 货舱口的裂纹

2）关注上甲板甲板设备处的钢板上是否有裂纹

各种金属附件焊接在甲板上，这些装置在焊接连接处会引起应力集中或在焊缝中存在缺陷。在人孔、舱口围板端部肘板、舷墙肘板、起重机柱基座和甲板室等附近甲板，应小心检查钢板裂纹的情况。

3）关注舱口围板上是否有裂纹

舱口围板承受着船体桁材应力。虽然不是重要的纵向强度构件，但必须进行仔细的检查确保这些裂纹不会延伸。裂纹从焊接连接和围板金属附件的缺陷处开始，这种裂纹会导致应力集中，这样的裂纹严重危及船舶的安全，因为它有可能引发大范围的损坏。



图 2.8.1.5 (3) 舱口围板的裂纹

4）关注货舱纵向舱口围端肘板趾端处是否有裂纹

纵向舱口围端肘板趾端处应力集中，如果结构过渡不合理，非常容易产生裂纹。



图 2.8.1.5 (4) 纵向舱口围端肘板趾端处裂纹

2.8.1.6 大型散货船应关注舱口间甲板上的小舱口角隅板是否开裂。

2.8.1.7 上甲板上厚度较小的钢结构(如横向甲板条、舱口围板、舱口盖等)易于被腐蚀和经常穿孔。制止腐蚀的最好方法是保持结构的完好涂层和油漆。上甲板上最容易腐蚀的部位如下所述：

1）横向甲板条

设计在舱口间的横向甲板条厚度约为主强力甲板厚度的一半，因为它不是纵向强力构件。但是横向甲板条是提供船舶横向强度的主要构件，因此横向甲板条的腐蚀和锈蚀严重危及船舶的完整性。



图 2.8.1.7 (1) 舱口间甲板的腐蚀

2）舱口盖板

由于腐蚀引起的舱口盖板的穿孔会使舱口盖的风雨密完整性失效，导致货舱进水进而引起货损，并影响船舶的稳性。



图 2.8.1.7 (2) 舱口盖板的腐蚀

3）舱口围板

如果蒸汽管设置在舱口边围板旁边，围板的腐蚀速度将非常迅速。围板的腐蚀穿孔

会导致与舱口盖腐蚀产生的同样问题。



图 2.8.1.7 (3) 舱口围板和扶强材的腐蚀



图 2.8.1.7 (4) 舱口围顶板的腐蚀

4）风雨密门、小舱口和墙式通风筒盖

无论是盖子、门板和围板，还是铰链、密封胶垫和把手都始终是保持良好状态。

5）上甲板上的立管

压载舱或燃油舱的空气管、测深管和上甲板下封闭处所的通风管易于腐蚀。如果管子穿孔，海水会直接进入舱柜或货舱并引起燃油的污染、货损、货物移动和/或稳性问题。

6）首楼后横壁

首楼的污水会引起首楼后横壁在与甲板连接处的腐蚀。

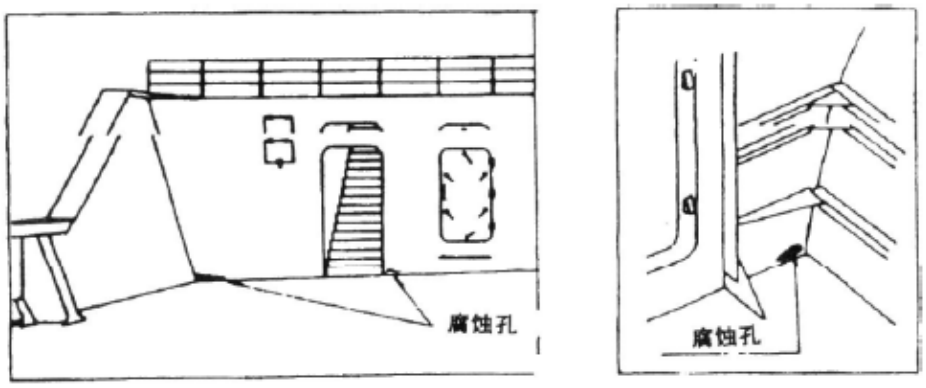


图 2.8.1.7 (5) 首楼后横壁

2.8.2 货舱

2.8.2.1 在典型的散货船上，顶边舱和舭部底边舱组成一个围绕着货舱处所的双船体，与双层底一起提供船体的强度和刚性。单舷侧散货船货舱设置的舷侧外板肋骨，位于顶边舱和底边舱之间。在近年来的设计中，这些货舱肋骨和端部肘板的厚度比外板薄，且不像普通干货船那样设置强肋骨和舷侧纵桁。

2.8.2.2 散货船货舱水密横舱壁的构造具有不同形式，通常分为：具有或不具有上凳或下凳的垂直槽形舱壁、具有或不具有上凳或下凳的双板式舱壁、或设有垂直加强的平面舱壁，其中以垂直槽形舱壁应用最为普遍。

2.8.2.3 关注货舱肋骨是否变形。货舱肋骨的变形或因抓斗和铲车的撞击，或因外板遭碰撞，或因应力过大导致。抓斗和铲车的撞击产生的变形一般发生在肋骨下部和下肘板。外板遭碰撞产生的变形一般可以发现外板有相应的变形，因应力过大产生的变形一般具有对称性和规律性。其中以应力过大变形最为危险，应引起检查人员的高度重视。



图 2.8.2.3 货舱肋骨应力变形

2.8.2.4 关注货舱横向舱口端横梁是否变形。横向舱口端横梁容易受抓斗钢丝绳的撞击或应力过大产生变形。

2.8.2.5 关注舱口间甲板下的悬臂梁支撑肘板是否变形。大型散货船在舱口间甲板下往往设置有悬臂梁支撑肘板，因肘板上的扶强材强度不够，支撑肘板容易发生屈曲变形。



图 2.8.2.5 悬臂梁支撑肘板屈曲变形

2.8.2.6 货舱内底板容易被抓斗或铲车等撞击而凹陷变形。



图 2.8.2.6 内底板凹陷变形

2.8.2.7 如散货船的货舱兼用于装货和压载，其横舱壁下凳和内底板的连接处或附近经常发现裂纹。

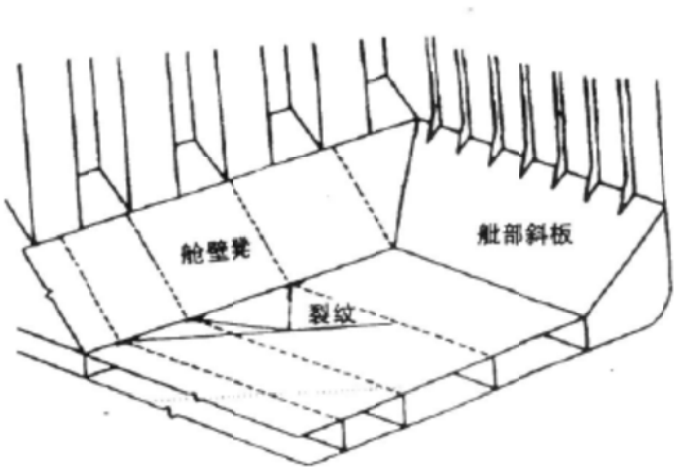


图 2.8.2.7 舱壁下凳和内底板连接处的裂纹

2.8.2.8 在大型(如好望角型和巴拿马型)散货船上，舭部斜板在折角线沿着舭部横向构件会出现裂纹，这是由于局部加强不足造成的。

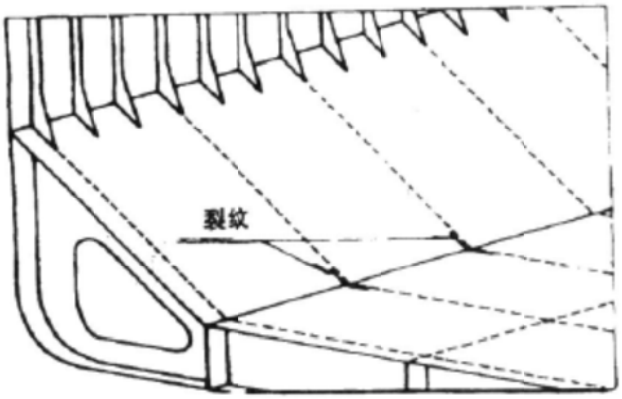


图 2.8.2.8 舭部斜板的裂纹

2.8.2.9 第一货舱的舷侧纵桁和/或舷侧外板沿着防撞舱壁常常出现裂纹，这种损坏是因为货舱结构和首尖舱结构之间缺少足够的连续性。

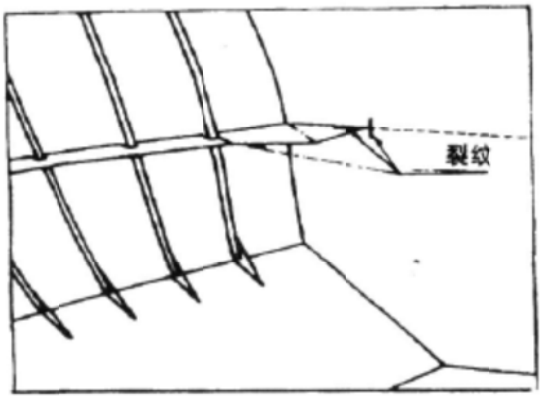


图 2.8.2.9 防撞舱壁的裂纹

2.8.2.10 关注货舱横向舱口端横梁趾端是否开裂。舱口端横梁趾端应力集中，如果布置不合理，更容易发生开裂。如舱口端横梁的肘板没有延伸到顶边舱下面或肘板的面板在趾端没有加大。

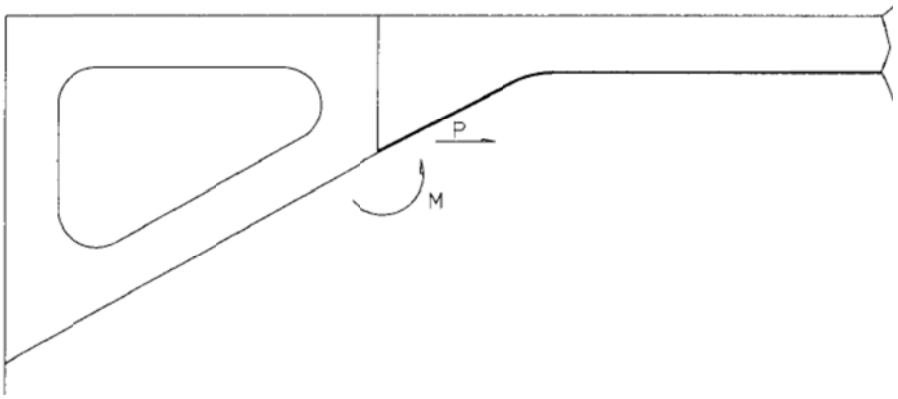


图 2.8.2.10 (1) 舱口端横梁趾端的不合理布置



图 2.8.2.10 (2) 舱口端横梁趾端开裂

2.8.2.11 关注舱口间甲板下的悬臂梁支撑肘板的趾端是否开裂。强力构件的趾端应力比较集中，容易产生开裂。如舱口间甲板设置有吊机，吊机底座反面的加强纵桁端肘板的趾端也容易开裂。

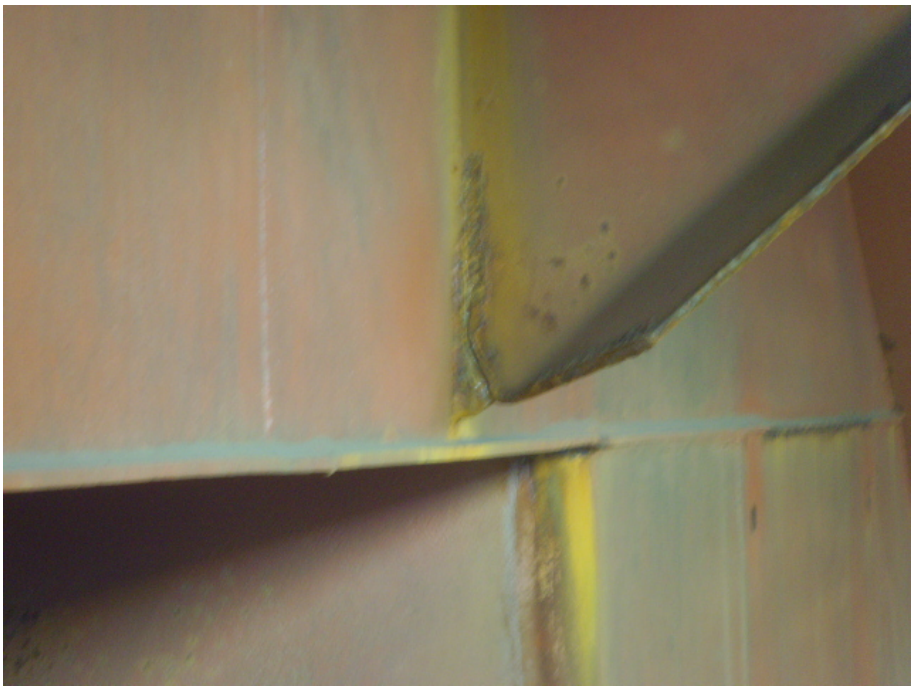


图 2.8.2.11 悬臂梁支撑肘板趾端开裂

2.8.2.12 关注货舱肋骨上下肘板趾端是否开裂，尤其是 T 型货舱肋骨的趾端。



图 2.8.2.12 (1) 货舱肋骨上肘板趾端开裂



图 2.8.2.12 (2) 货舱肋骨下肘板趾端开裂

2.8.2.13 关注槽形横舱壁与上下凳的底板或顶板、内底板、封槽板、卸货板、顶边舱和底边舱斜板及外板的连接焊缝是否开裂，下凳斜板与底边舱斜板的连接焊缝是否开裂。

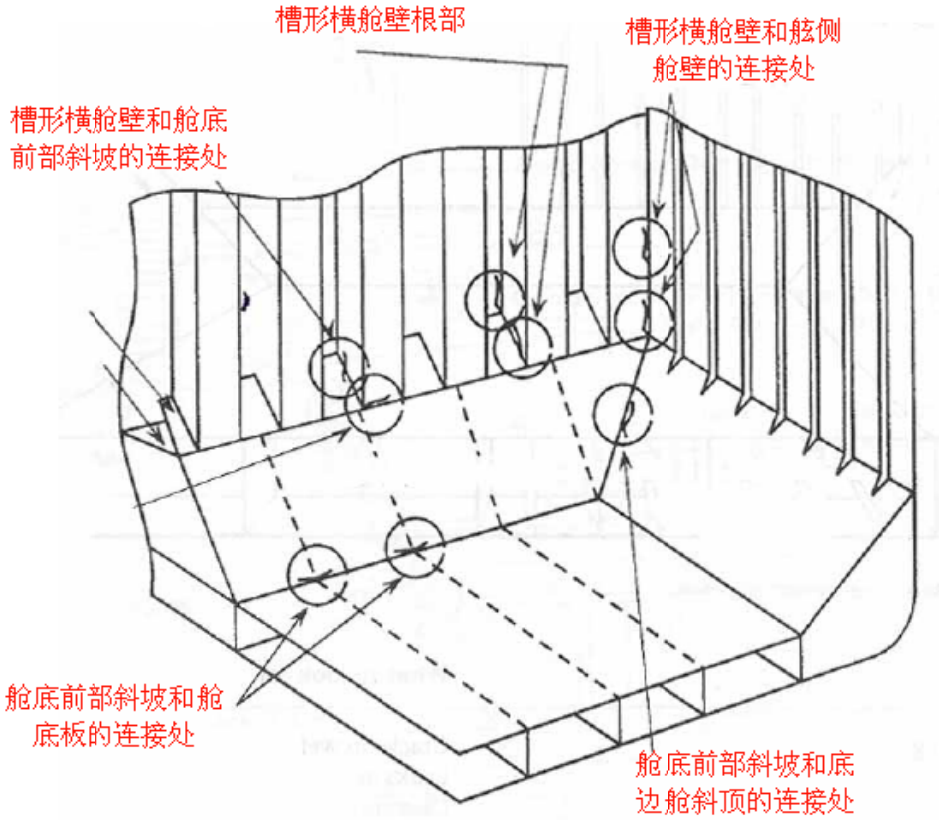


图 2.8.2.13 在横舱壁结构连接处的典型损坏

2.8.2.14 关注货舱肋骨的腐蚀减薄。腐蚀通常袭击较薄的钢结构，并且在薄板中腐蚀加速。在组成货舱结构的各种构件中，货舱肋骨通常是最薄的，特别是肋骨腹板。货舱肋骨在与外板的角焊缝处，容易发生凹槽腐蚀。货舱肋骨的面板往往在不容易观察和保养的反面腐蚀更加严重。

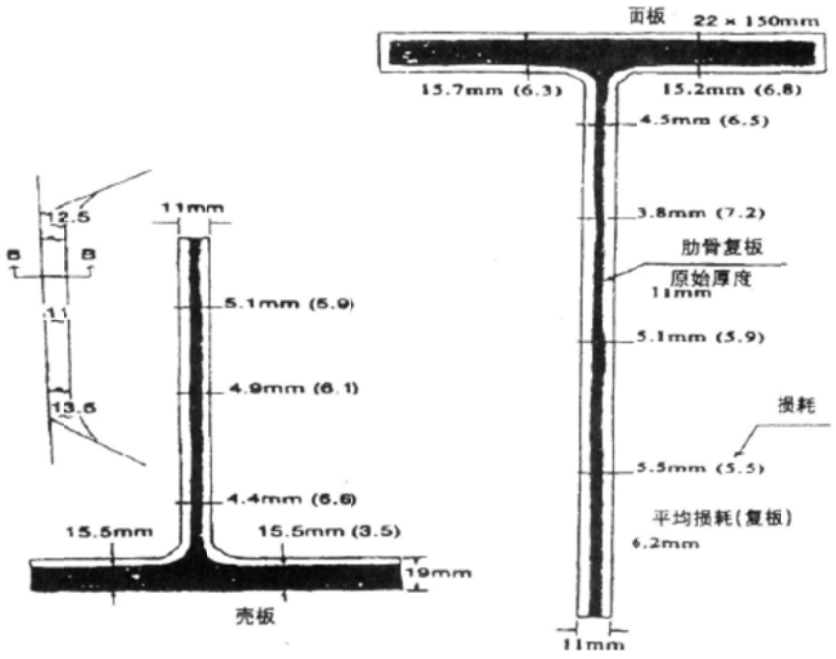


图 2.8.2.14 (1) 货舱肋骨腐蚀的范例



图 2.8.2.14 (2) 货舱肋骨面板反面腐蚀严重

2.8.2.15 横舱壁对加速腐蚀同样敏感，特别是在半高和底部位置。

2.8.2.16 货舱内底板因为货舱一侧的涂层基本上没有，加上货物、铲车和抓斗的磨损，很容易腐蚀超标，15 年及以上船龄的散货船应特别加以关注。散货船在其寿命周期内，内底板一般需要全部更换一次。



图 2.8.2.16 货舱内底板腐蚀和变形

2.8.3 顶边舱

2.8.3.1　顶边舱检查时，需特别关注舷侧纵骨、横框架及连接舷侧外板和斜板的肘板是否有受外部的碰撞发生的变形。



图 2.8.3.1 舷侧纵骨碰撞变形

2.8.3.2　横框架上的纵骨贯穿孔四周容易发生开裂。

2.8.3.3　最下面的几根斜板纵骨容易在横框架处开裂。

2.8.3.4　因为顶边舱经常处于压载/空载交替状态，钢结构容易发生腐蚀。由于上甲板的日晒高温和海水反复干/湿影响使得上部的保护涂层容易恶化，所以顶边舱的上部必须仔细检查。因为构件自由边的涂层容易脱落，所有横框架的开孔四周、纵骨上的流水孔/透气孔四周、横框架面板及纵骨面板边缘容易腐蚀。



图 2.8.3.4 (1) 甲板纵骨根部凹槽腐蚀



图 2.8.3.4 (2) 横框架贯穿孔周围的腐蚀

2.8.4 底边舱和双层底舱

2.8.4.1 检查时应关注底边舱横框架是否有变形，因为底边舱处于船体梁的折角区域，容易发生应力变形。

2.8.4.2 检查时，应关注下列易发生裂纹的节点。

1）纵骨和实肋板交接处

裂纹会出现在舷侧纵骨、船底纵骨和/或内底纵骨与实肋板或舭部底边舱的强横构件交接处，裂纹还会出现在肋板或强横构件中的纵骨切口转角处。

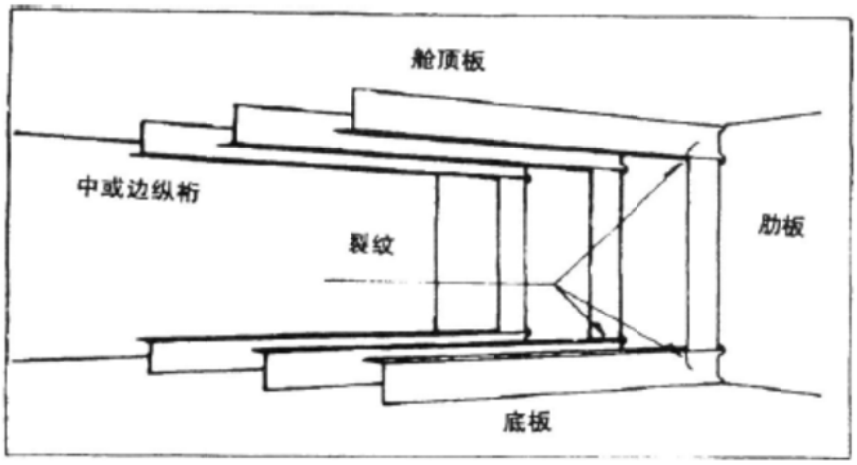


图 2.8.4.2 (**1**) 内底/外底纵骨的裂纹



图 2.8.4.2 (2) 内底纵骨的裂纹

2）在结构中断连续处的纵骨裂纹

纵骨会在附加的(部分的)边纵桁的端部出现裂纹，该边纵桁安装在货舱舱壁下或货舱污水井侧壁下双层底内。裂纹是由于连接处结构的不连续性引起的额外应力集中而产生的。

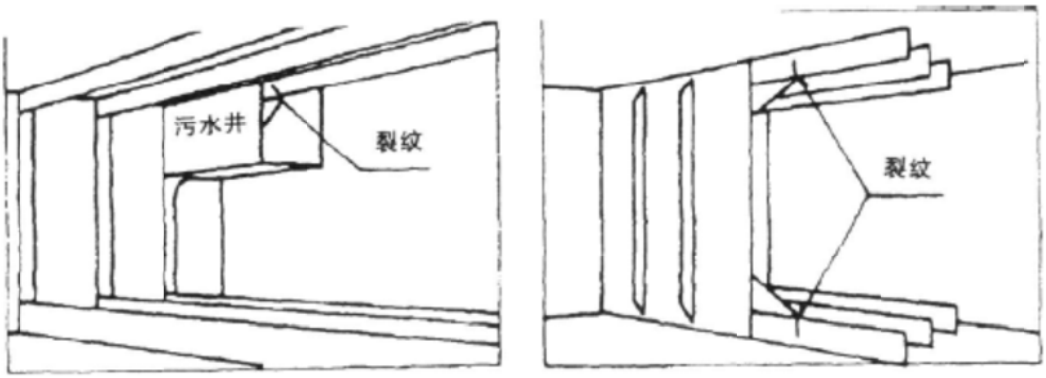


图 2.8.4.2 (3) 内底/外底纵骨的裂纹

3）底边舱强横构件

裂纹会在底边舱内的强横构件出现，裂纹是从纵骨的贯穿孔或在斜板的下端折角处开始的。

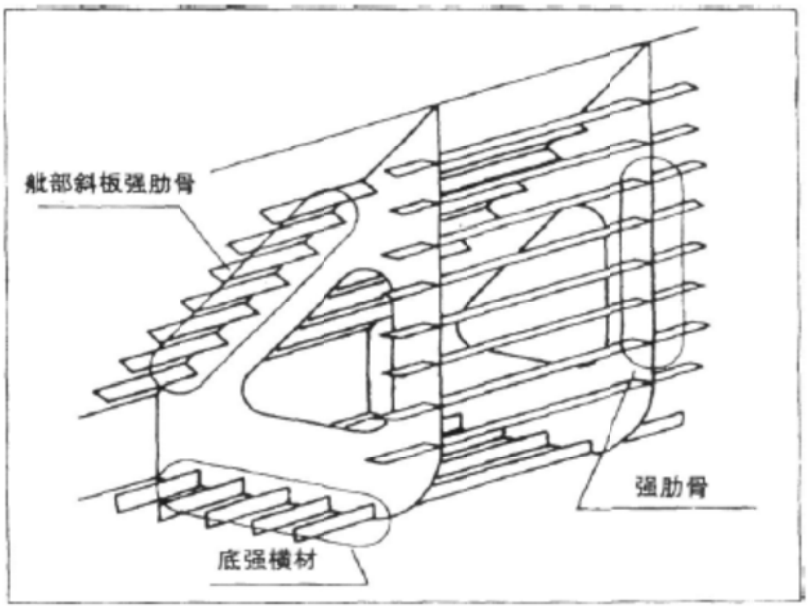


图 2.8.4.2 (4) 底边舱强横构件检查点



图 2.8.4.2 (5) 底边舱横框架在纵骨穿孔处开裂

2.8.4.3 因为底边舱和双层底舱经常处于压载状态，所以涂层往往会比较好，结构不太容易发生腐蚀。但还是应特别关注如下区域：

1）热加速腐蚀

对于双层底布置燃油舱的船舶，在靠近燃油舱边界的区域腐蚀更加严重。

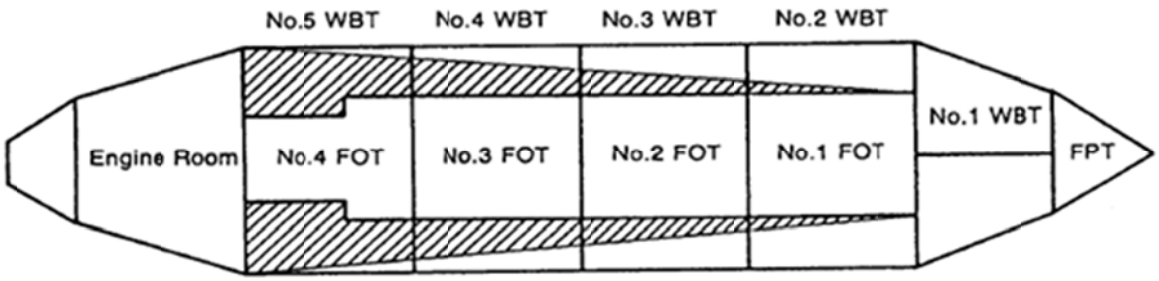


图 2.8.4.3 (1) 可发现因热影响产生严重腐蚀的区域

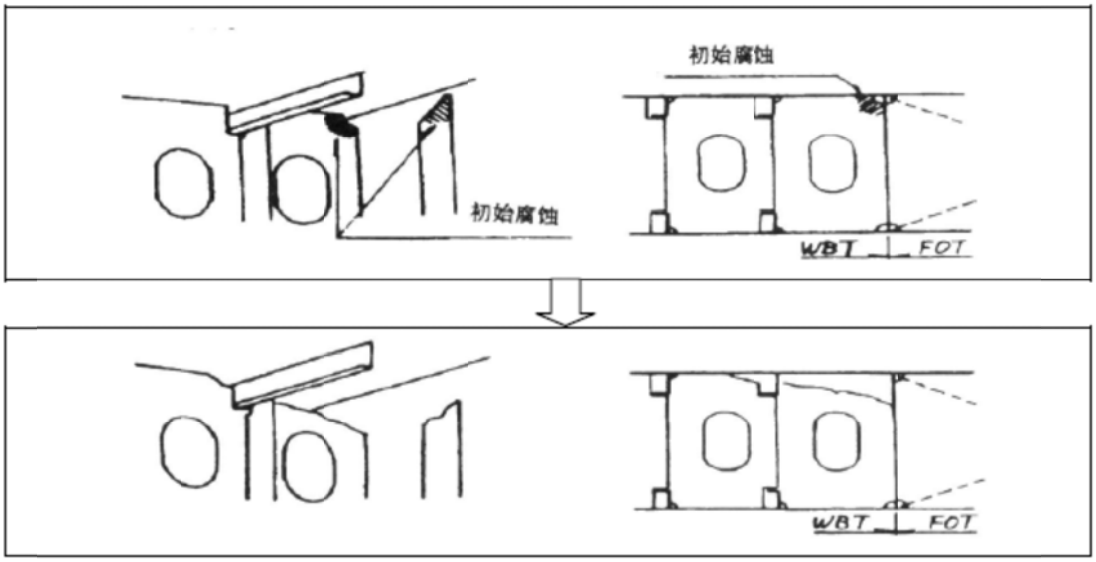


图 2.8.4.3 (2) 燃油舱附近压载舱腐蚀的过程



图 2.8.4.3 (3) 压载舱热效应腐蚀（邻接燃油舱）

2）吸口下区域

在舱内吸口下的外底板常常被腐蚀。在老旧船舶进坞时，应拆开吸口检查吸口下方外底板的腐蚀情况。



图 2.8.4.3 (4) 吸口下方外底板腐蚀

2.8.5 其它注意事项

2.8.5.1 测深管在其下方设有一块垫板以防止测深尺铅头的撞击。在检查中，对保护垫板的减薄程度应进行检查。

2.8.5.2 顶边舱和底边舱之间如设有连接围阱，应仔细检查其内部钢结构的腐蚀情况。

第二部分 散货船常见的关键结构区域

2.8.6 不同船舶的关键结构区域随着船舶的尺寸及结构设计形式的不同而有所区别，具体到实船的结构关键区域，可参考船体结构建造监控计划（CMP）、船舶结构通道手册（PMA）所列区域。本节以部分 CSR 船舶类型为例说明 CSR 船舶的常见关键结构区域，在船舶的营运检验以及船员日常检查维护方面都可以作为重点进行关注，本指南给出的仅是部分示例，下表以 CAPESIZE 类型的 CSR 散货船为例，将常见的关键结构区域汇总如下：

序号	结构位置	对应图示	检查范围	说明
1	靠近下凳处的双层底纵桁和内底板	图 2.8.6 (1)	船中 0.4L 区域内的中纵桁，第 1、2、3 旁纵桁（特别是重压载货舱的横舱壁下凳和内底板相交处焊缝）	高应力区域 疲劳关键节点
2	管隧内横向框架	图 2.8.6 (2)	所有货舱横舱壁下凳垂直板下的管隧内横向框架（特别是重压载货舱的横舱壁处）	高应力区域 疲劳关键节点
3	底边舱折角处	图 2.8.6 (3)	第 2~8 货舱的中间几道强框架肋板处	高应力区域 疲劳关键节点
4	甲板舱口角隅	图 2.8.6 (4)	所有货舱主甲板的舱口角隅处	高应力区域 疲劳关键节点
5	下凳斜板	图 2.8.6 (5)	重压载货舱前后横舱壁的下凳斜板与底边舱斜板、内底板相交处	高应力区域 疲劳关键节点
6	底边舱斜板	图 2.8.6 (6)	中间 3 个重货舱的底边舱斜板两端靠近横舱壁处	高应力区域
7	顶边舱强框架（对接焊缝）	图 2.8.6 (7)	重压载货舱的顶边舱强框架开孔角隅处	高应力区域
8	上凳斜板	图 2.8.6 (8)	重压载货舱横舱壁的上凳斜板与顶边舱斜板相交处	高应力区域
9	甲板纵桁	图 2.8.6 (9)	重压载货舱横舱壁上凳的甲板纵桁与横舱壁相交处	高应力区域
10	舱口端强横梁	图 2.8.6 (10)	所有货舱舱口端强横梁靠近顶边	高应力区域

			舱斜板的端部	
11	舷侧肋骨	图 2.8.6 (11) 图 2.8.6 (12)	所有货舱区域（特别是肋骨上部和下部肘板趾端）	疲劳关键节点
12	下凳斜板	图 2.8.6 (13)	所有货舱横舱壁与下凳斜板相交处	疲劳关键节点

1）靠近底凳处的双层底纵桁和内底板（船中 0.4L 区域内的中纵桁，第 1、2、3 旁纵桁，特别是重压载货舱的横舱壁下凳和内底板相交处焊缝）。

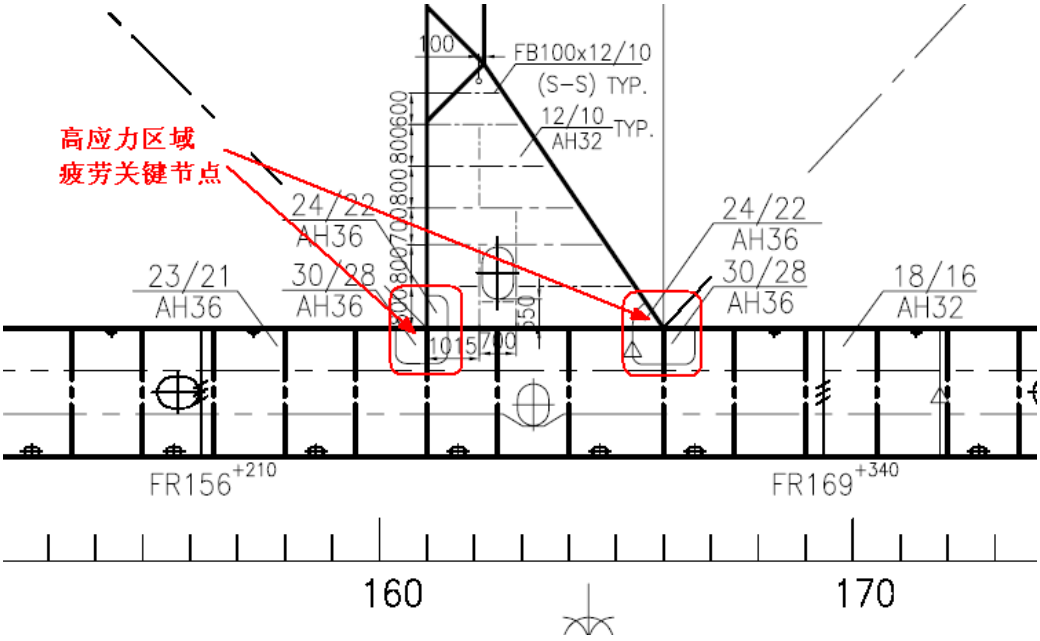


图 2.8.6 (1)

2）所有货舱横舱壁下凳垂直板下的管隧内横向框架（特别是重压载货舱的横舱壁处）

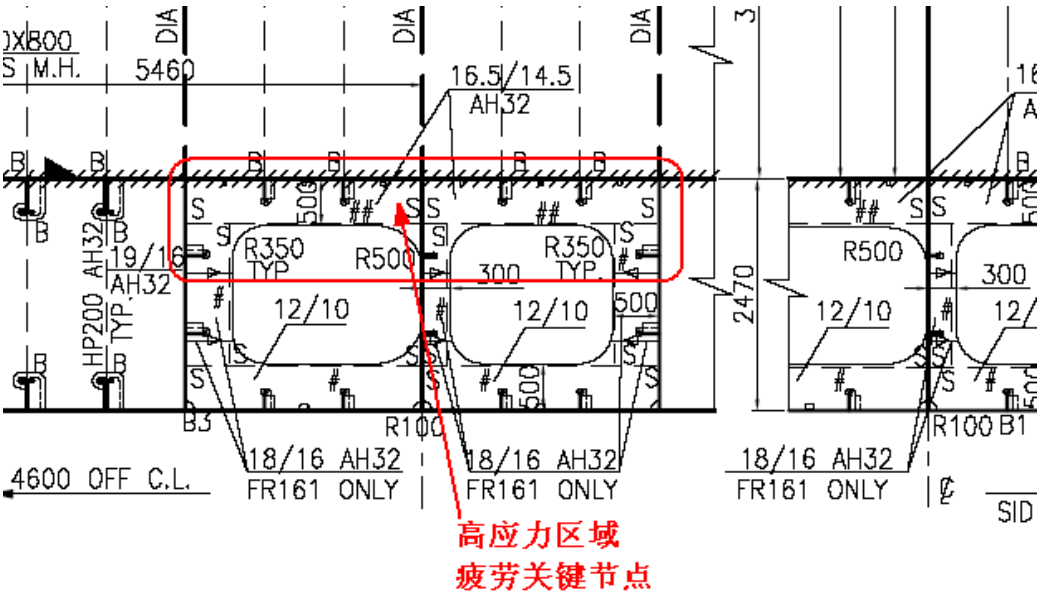


图 2.8.6 (2)

3）靠近底边舱折角处的底边舱强框架和双层底肋板的根部（第 2~8 货舱的中间几道强框架

肋板处）

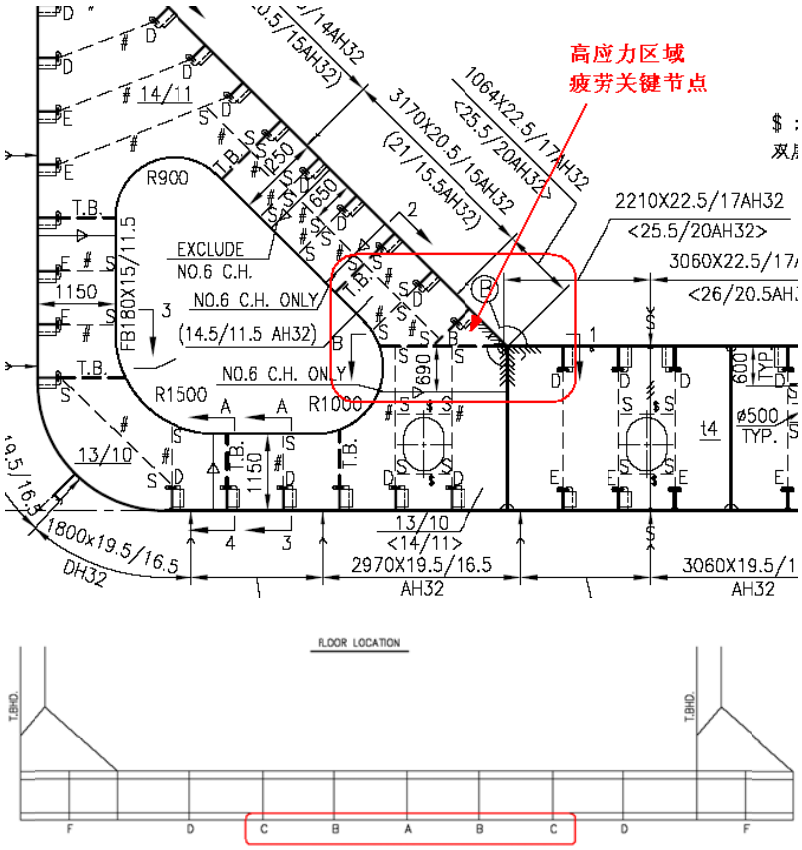


图 2.8.6 (3)

4）所有货舱主甲板的舱口角隅处

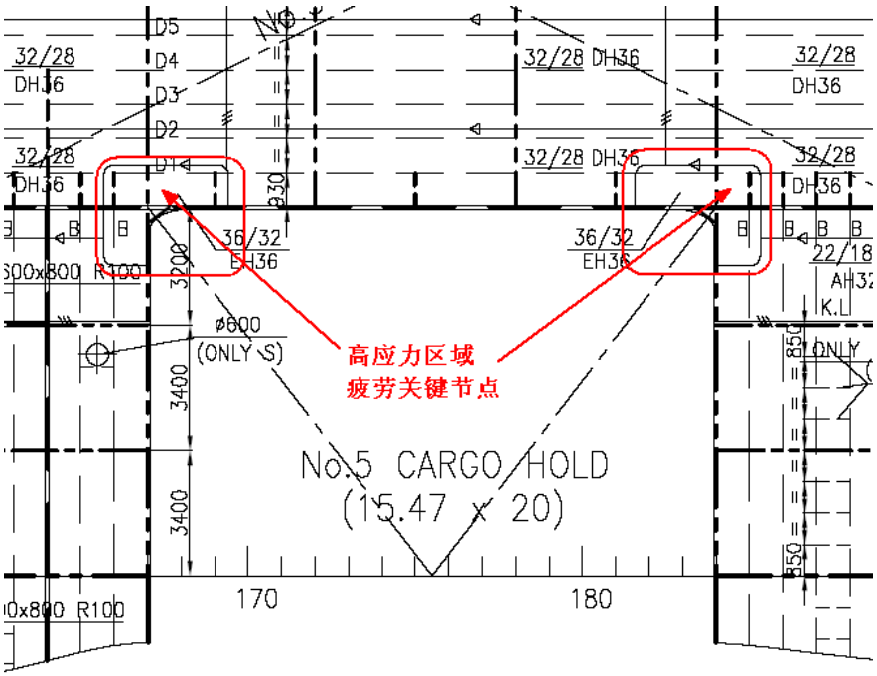


图 2.8.6 (4)

5）重压载货舱前后横舱壁的下凳斜板与底边舱斜板、内底板相交处

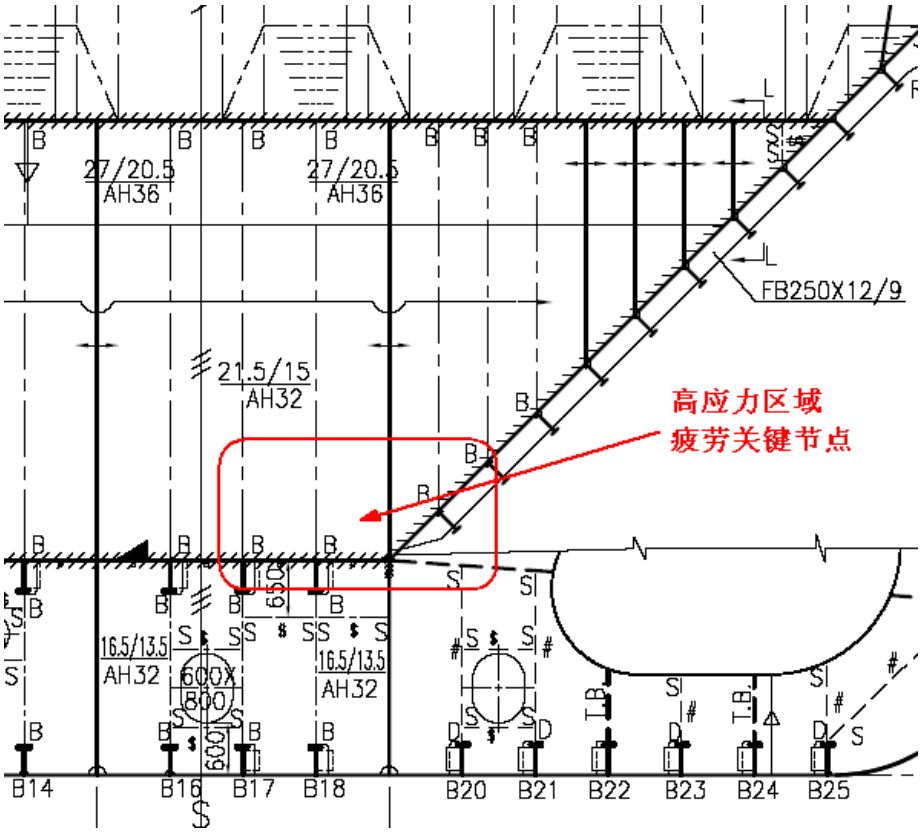


图 2.8.6 (5)

6）中间三个重货舱的底边舱斜板两端靠近横舱壁处

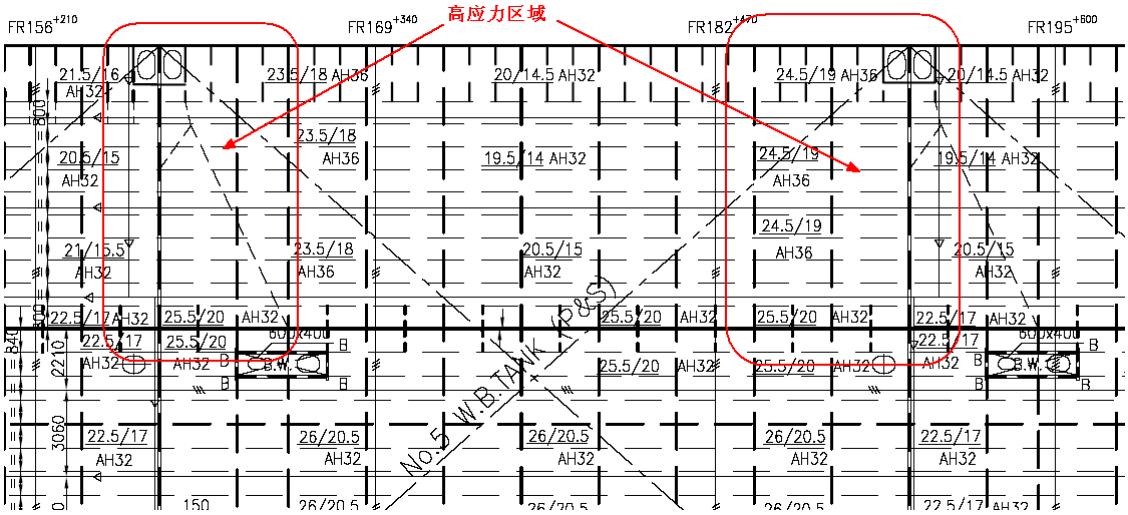


图 2.8.6 (6)

7）重压载货舱的顶边舱强框架开孔角隅处

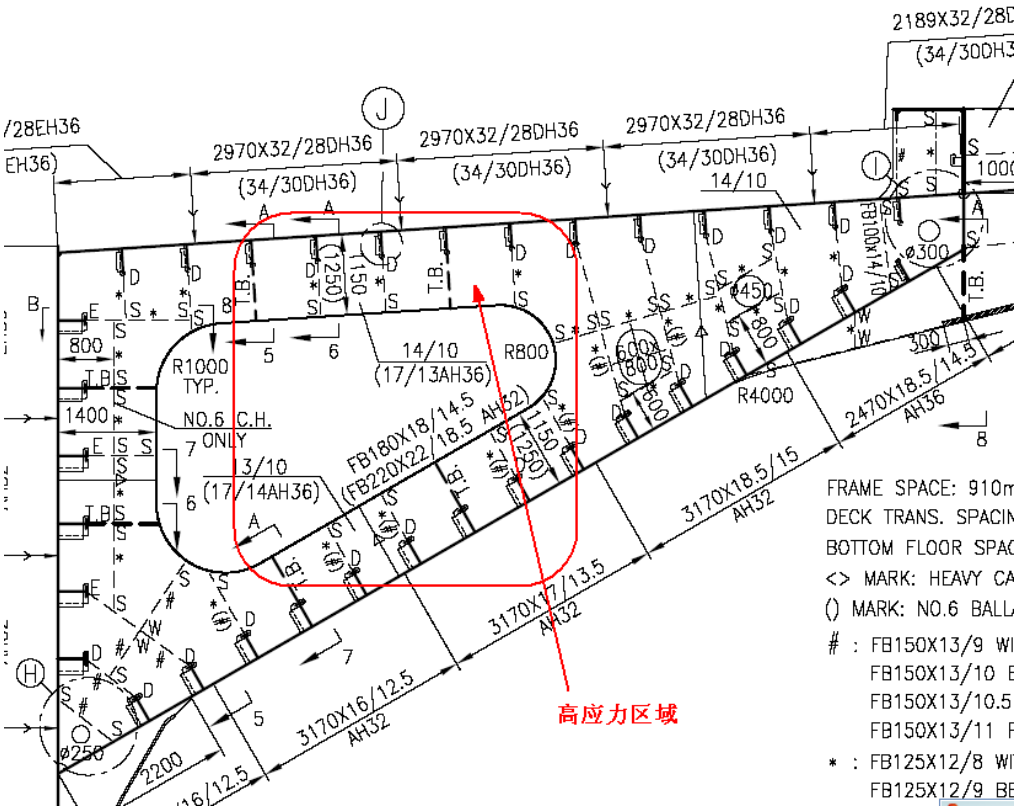


图 2.8.6 (7)

8）重压载货舱横舱壁的上凳斜板与顶边舱斜板相交处

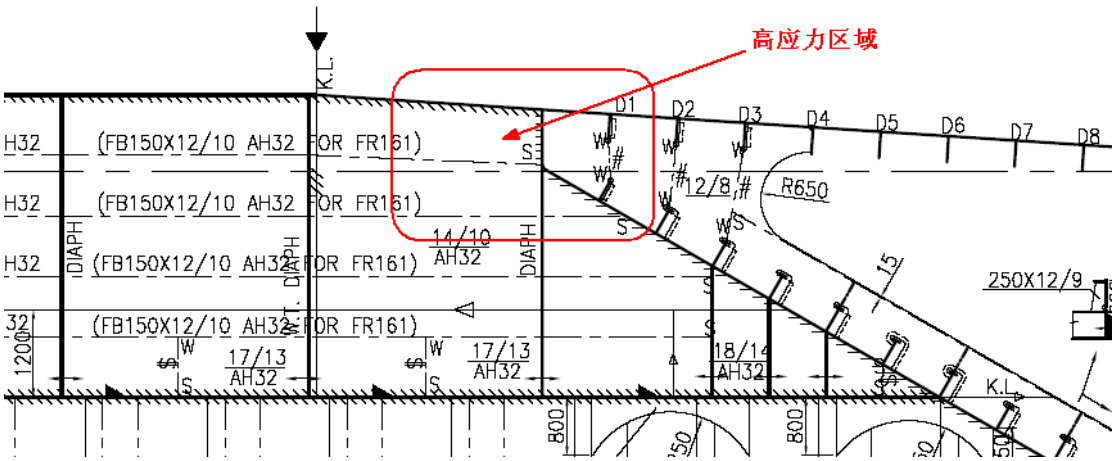


图 2.8.6 (8)

9）重压载货舱横舱壁上凳的甲板纵桁与横舱壁相交处

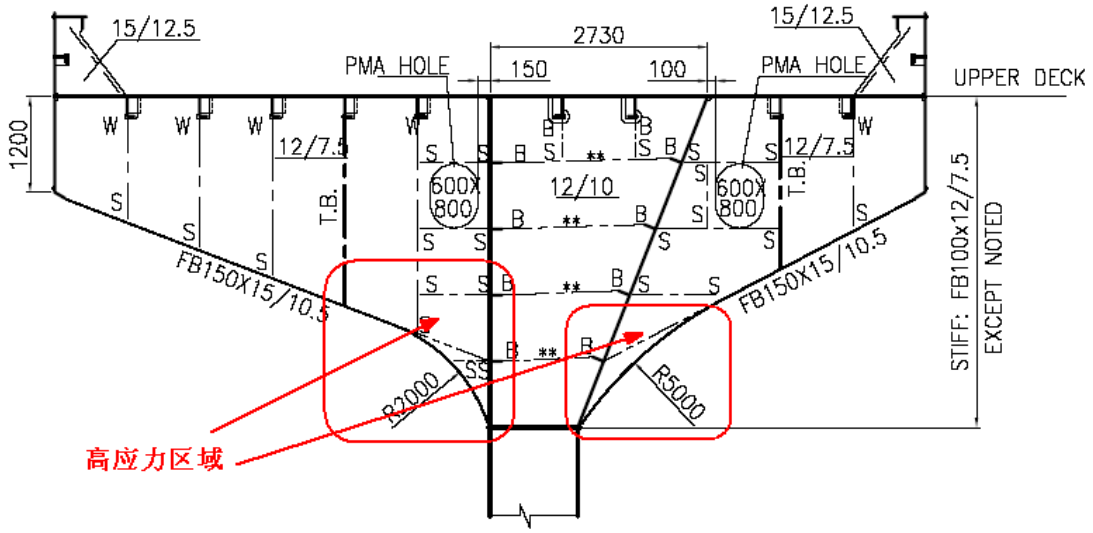


图 2.8.6 (9)

10）货舱舱口端强横梁靠近顶边舱斜板的端部

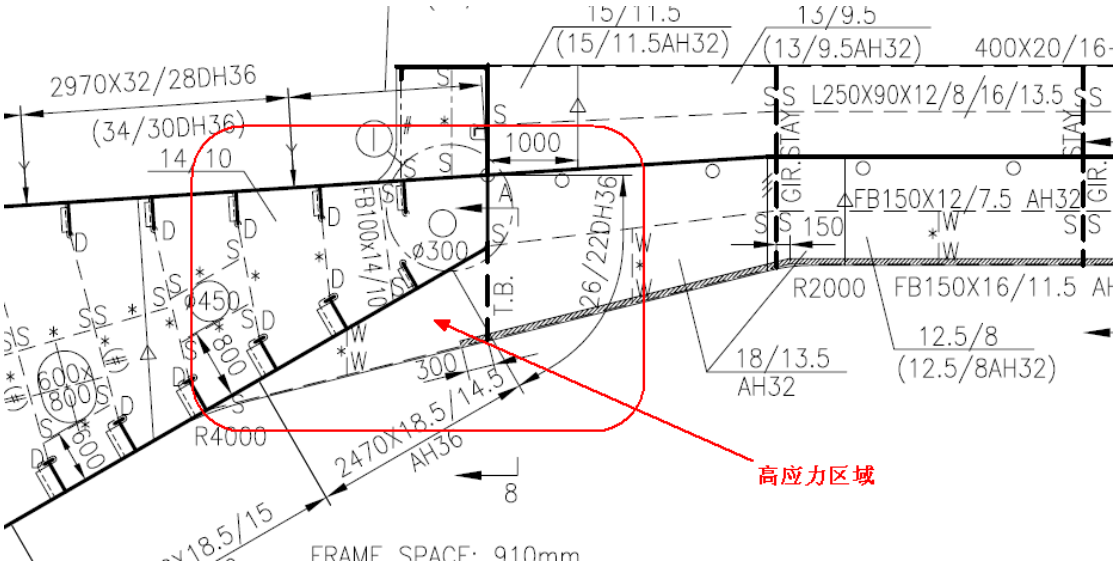


图 2.8.6 (10)

11）所有货舱区域的舷侧肋骨（特别是肋骨上部和下部肘板趾端）

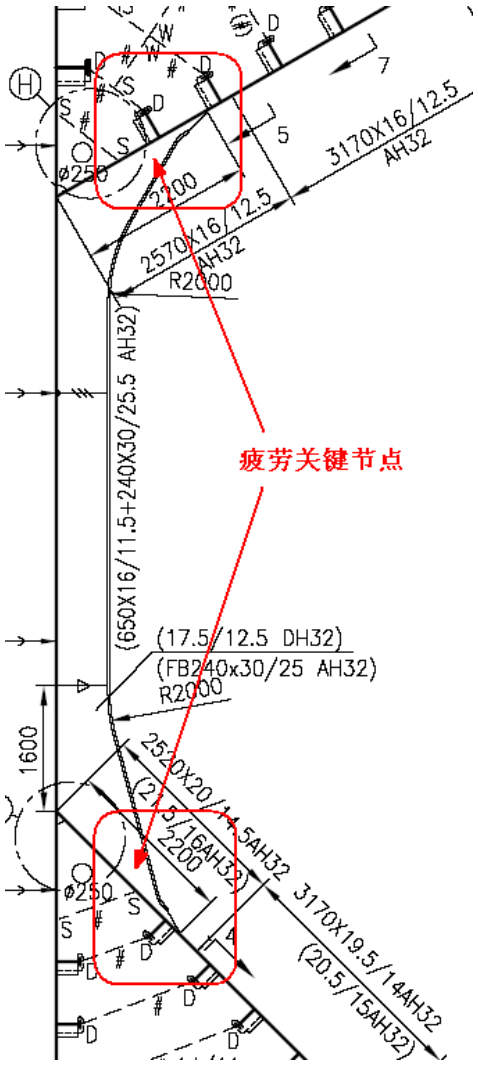


图 2.8.6 (11)

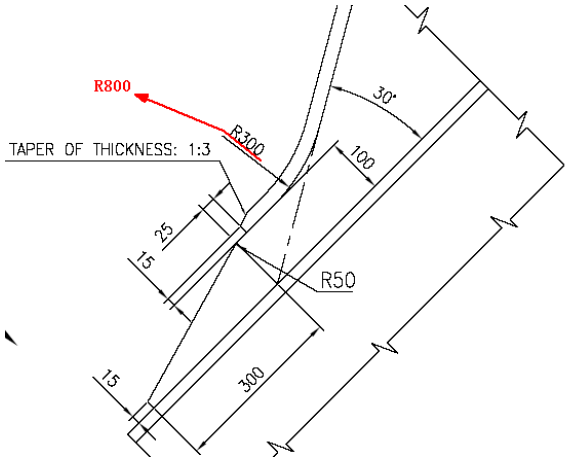


图 2.8.6 (12) 肋骨趾端详图

12）所有货舱横舱壁与下凳斜板相交处

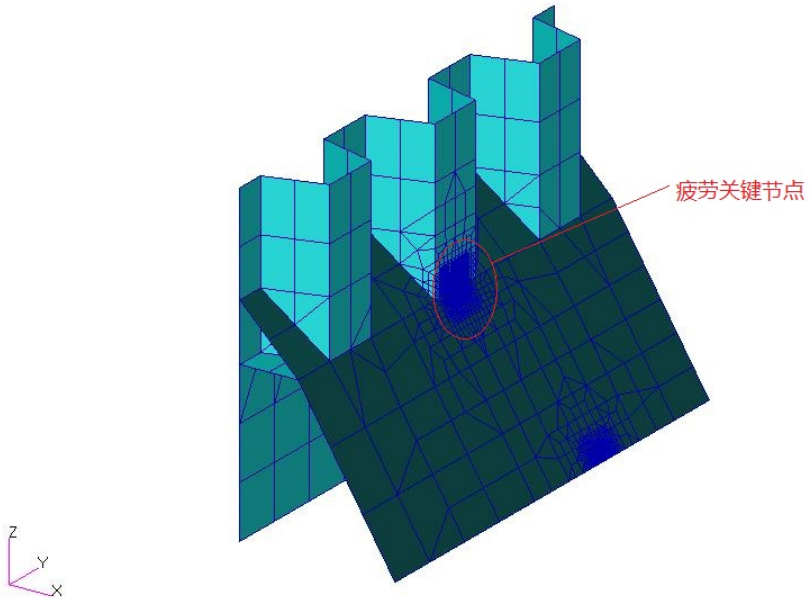


图 2.8.6 (13)

第 3 章 营运中结构损坏案例和修理细节

第 1 节 概述

3.1.1 任何与超过允许极限的结构蚀耗有关的损坏（包括屈曲、凹槽、脱开或断裂)或大面积区域的蚀耗超过允许极限，并影响或验船师认为将影响船舶的结构、水密或风雨密完整性时，均应进行立即彻底修理。这些区域包括：

1）舷侧结构（包括舷侧肋骨及其端部连接件）和舷侧外板；

2）甲板结构和甲板板（包括舱口间甲板）；

3）船底结构和船底外板；

4）内底结构和内底板；

5）内侧结构和内侧板；

6）水密或油密舱壁；

7）舱口盖和舱口围板。

3.1.2 通常，如部分结构已蚀耗到允许的最小厚度，受其影响的区域必须割换。不能用复板的方法作为蚀耗的补偿。液舱内的修理工作应对可达性作出详细策划。

3.1.3 如果损坏部位的割换需展期，验船师可以考虑接受以下临时处理措施：

1）对受影响的区域进行喷砂并重作涂层以减少腐蚀速度；

2）对受影响的区域进行复板加强，但压力作用下失稳的区域应特别考虑；

3）可通过增加临时构件使较强的构件支持较弱的构件；

4）在构件裂纹的末端打止裂孔，以阻止裂纹扩展恶化；

5）在受影响的区域打水泥箱。

3.1.4 如结构损坏是局部的且不会影响到船舶结构完整性并已妥善处理，则验船师可考虑允许进行适当的临时性修理以确保水密或风雨密完整性，并按要求给出特定期限要求的船级条件。

3.1.5 本指南中的结构缺陷和修理细节是根据 CCS 收集的资料整理的，仅对所遇类似的损坏和修理提供指导。虽然建议的修理反映了 CCS 验船师的经验，但也可接受其它满意的变通修理方法。无论如何，在任何情况下，应完成修理并使 CCS 验船师满意。

第 2 节 结构缺陷和修理细节

本节分为下述部分和区域，检验时应特别注意：

第一部分 货舱区域

区域1 甲板结构

区域2 顶边舱结构

区域3 货舱舷侧结构

区域4 横舱壁包括凳式结构

区域5 双层底包括底边舱结构

第二部分 艏艉端区域

区域1 艏端结构

区域2 艉端结构

区域3 艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架

第三部分 机器和起居处所

区域1 机舱结构

区域2 起居舱室结构

第一部分 货舱区域

目录

区域1 甲板结构

区域2 顶边舱结构

区域3 货舱舷侧结构

区域4 横舱壁包括凳式结构

区域5 双层底包括底边舱结构

区域 1 甲板结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题一甲板上检查

2.1 材料的蚀耗

2.2 变形

2.3 裂纹

3 应予注意的问题--甲板下检查

3.1 材料的蚀耗

3.2 变形

3.3 裂纹

4 关于修理的一般性建议

4.1 材料的蚀耗

4.2 变形

4.3 裂纹

4.4 其它

图和/或图片一区域1	
序号	项目
图片1	舱口围板和顶边舱垂向列板的过度腐蚀

结构细节缺陷和修理实例一区域1	
例	项目
1	主货舱舱口角隅处的裂纹
2-a	横向甲板厚薄板之间焊缝上的裂纹
2-b	横向甲板靠近厚板处薄板的屈曲
2-c	横向甲板板的整体屈曲
3-a	纵向舱口围板端肘板的腹板或趾部处甲板的裂纹
3-b	纵向舱口围板端肘板的腹板或趾部处甲板的裂纹
4	起始于通道人孔焊缝的甲板裂纹

5	带缆桩附近甲板的变形和裂纹

结构细节缺陷和修理实例一区域1	
例	项目
6	横向甲板纵桁切口附近的裂纹
7-a	舱口围板和舱口端横梁的屈曲
7-b	舱口端横梁折角处的裂纹
8	舱口端横梁与顶边舱连接处的裂纹
9	舱口端横梁上添注孔附近的裂纹
10-a	在舱口盖轨道终点处舱口围顶板上的裂纹
10-b	在舱口盖轨道终点处舱口围顶板上的裂纹
11	位于舱口围顶板上起始于压条对接焊的裂纹
12	舷墙引水员梯过道处甲板板的裂纹

1. 概述

1.1 由于货物的分布和波浪运动，舱口以外的甲板结构承受纵向船体梁的弯曲应力。由于甲板上浪、过度的甲板货物或不正确的货物装卸，甲板结构也可能会承受超常的负荷。在恶劣天气下，由于波浪拍击或船首外飘，船艏甲板的某一区域还可能承受附加压力。

1.2 货舱口之间的横向甲板结构承受横向压力，这来自于波浪运动下船体梁扭曲导致的平面弯曲和舷侧海水压力。因船体梁弯曲力矩和横向、扭转载荷的综合效应，主货舱口角隅附近区域还承受着高周期性应力。

1.3 不连续的货舱口侧围板承受着显著的总纵弯曲应力，这会导致在货舱口长度中点处的附加应力和侧围板延伸肘板端部的应力集中。

1.4 舱口盖在缺乏维护保养状况下运行会导致楔子和密封垫的损坏，最终导致货舱丧失风雨密完整性。错误操作和甲板货的超载也会引起舱口盖的损坏。

1.5 海洋环境、货舱中货物水蒸气造成的潮湿大气和太阳照射产生的甲板和舱口盖板的高温会导致板材和扶强材的加速腐蚀。

1.6 舷墙是用于保护船员、货物和绑扎甲板货物。虽然舷墙不是计入船体梁总纵强度的构件，但是它们也承受较大总纵弯曲应力，这会导致裂纹和腐蚀的产生，尤其在舷墙终点，如引水员梯通道或膨胀接头处。这些裂纹会延伸到甲板板而造成严重损坏。

1.7 甲板舾装件（如通风筒，空气管和测深管)的状况恶化，也会造成风雨密/水密和防火的严重缺陷。

1.8 如船舶被授予装载木材干舷，应根据ILLC1966的要求检查甲板木材堆装装置。这些装置的状况恶化会引起甲板货物的移动而导致船舶结构的损坏。

2. 应予注意的问题一甲板上检查

2.1 材料的蚀耗

2.1.1 通过目测可以发现甲板结构、货舱舱口盖和舱口围板的普遍性锈蚀。应特别注意设有管路的区域，如消防总管、液压管和压缩空气管等。因为管路安装靠近板材而使保护涂层维护保养困难。

2.1.2 在货舱口线外厚甲板板和薄横向甲板板之间的过渡区域，尤其在板厚差较大的情况下，易产生凹槽形腐蚀。因为板厚的差异会导致该区域积水，造成周围板材腐蚀而产生凹槽。

2.1.3 横向甲板条板和舱口盖上易产生点腐蚀。这是由于积水和散落的某些货物残余物的综合效应所致。

2.1.4 腐蚀/蚀耗破坏钢质舱口盖自身的完整性并且影响相联的活动附件，如楔子、顶升架

和滚轮等。一些船舶使用箱形舱口盖和油布，但由于木材等甲板货物使油布很容易磨损而导致舱口盖的过度腐蚀。

2.2 变形

2.2.1 承受平面压应力区域（特别是已出现腐蚀的区域）的板材易产生屈曲（扶强材间）。应特别注意那些压力方向垂直于扶强系统方向的区域，如货舱口之间安装纵向扶强材的横向甲板（见例2-b和2-c）。

2.2.2 在货物搬运/装载处（如甲板、舱口围板和舱口盖处）或机械设备（如舱口盖）操作处的构件易产生变形。由于甲板上浪，露天甲板区域（尤其是首部甲板）的构件易产生变形。

2.2.3 甲板上构件（如舱口侧围板延伸肘板和舷墙）的变形/扭曲可能是由于货物和货物装卸机械的不正确操作而引起的撞击所致。这种变形也可能是由于恶劣天气下甲板上浪所致。

2.3 裂纹

2.3.1 通常通过近观检验可以发现结构不连续和应力集中区域的裂纹。应特别注意货舱口构件，尤其是甲板开口的角隅处。

2.3.2 始发于舱口线外甲板板的裂纹（见例1）会延伸穿过甲板而严重损坏船体结构完整性。始发于横向甲板条的甲板板裂纹，尤其是在厚甲板板和薄横向甲板板的过渡区域（见例2-a），应立即修理，否则会造成严重后果。

2.3.3 舱口处甲板和相连舱口围板上的裂纹可能起因于：

(a) 舱口开口角隅的几何形状。

(b) 起货设备钢缆拉磨导致的凹槽。

(c) 舱口角隅板自由边或靠近自由边处的焊接附件和卸载板。

(d) 舱口围板和甲板的角焊缝连接，尤其是舱口角隅处的圆弧形围板。

(e) 附件、紧固装置的开口和切口、在舱口围板顶和/或围板顶材中点处用以开/关舱口盖的操纵机械。（见例10-a，10-b和11）。

(f) 舱口侧围板延伸肘板终端处（见例3-a和b）。

2.3.4 由于应力集中，舷墙终端处的甲板易产生裂纹，如引水员梯通道处。当甲板承受高总纵弯曲应力时，该类裂纹会延伸而产生严重后果（见例12）。

3. 应予注意的问题一甲板下检查

3.1 材料的蚀耗

3.1.1 应通测厚掌握横向甲板下扶强材/结构的蚀耗程度。海洋环境和货舱中高潮湿大气的

综合效应会加快腐蚀速度。

3.1.2 由于保护涂层的维护保养困难，在货舱内侧的舱口围板和顶边舱垂向列板上会出现严重腐蚀而导致结构产生裂纹（见图片1）。



图片1 舱口围板和顶边舱垂向列板的严重腐蚀

3.2 变形

3.2.1 应检查主要支撑结构（如舱口端横梁和顶边舱垂向列板）是否产生屈曲。屈曲产生的原因可能是：

(a) 装载不符合装载手册的要求（分区载荷）。

(b) 恶劣天气下的过度海水压力。

(c) 甲板货物超载。

(d) 恶劣天气下甲板上浪。

(e) 这些因素的综合效应。

3.2.2 顶边舱/压载货舱在压载或排压载时，如果通风不当会导致甲板结构的变形。如发现该类变形，为了确认损坏的性质和程度，应对顶边舱/压载货进行内部检查。

3.3 裂纹

3.3.1 甲板板、横舱壁和纵桁肋强材的连接处可能产生裂纹。这常与因锈蚀而导致的连接面积减少有关。

3.3.2 主要支撑结构（如舱口端横梁）与顶边舱垂向列板和纵桁的焊接连接处可能会产生裂纹。

4. 关于修理的一般性建议

4.1 材料的蚀耗

4.1.1 一旦货舱开口线外的厚甲板板与薄横向甲板板之间的过渡区出现凹槽形腐蚀，应考虑将邻近的横向甲板板部分或全部换新。

4.1.2 若横向甲板条出现普遍的点腐蚀，应考虑将整块板或其部分换新。

4.1.3 当发现甲板下结构蚀耗严重时，应根据CCS允许的腐蚀极限，将结构整件或其部分割换。

4.1.4 应进行测厚以确定舱口盖的蚀耗程度，并据此对板材和扶强材进行割换。

4.2 变形

4.2.1 当甲板板产生屈曲时，除因该板腐蚀情况将其割换外，还应进行适当的加强。

4.2.2 如因横向强度不足而导致舱口端横梁屈曲，应将板材割换并安装附加板格扶强材。

4.2.3 由腐蚀导致强度丧失的屈曲横向甲板结构应被割换。如果横向甲板为纵向加强，而因横向强度不足导致屈曲，则应安装横向扶强材（见例2-b和2-c）。

4.2.4 应根据损坏的程度，部分或全部换新货舱舱口盖的变形部分。

4.3 裂纹

4.3.1 应仔细检查货舱口角隅处的裂纹和设计细节（见例1）。对于这种裂纹，补焊不是永久性的解决方法。当嵌入板与相邻甲板板之间的厚度差大于等于4mm时，较厚板的边缘应适当削斜。为了减少修理产生的残余应力，应仔细监控焊接顺序和焊接工艺，且嵌入板和相邻结构的焊接应采用低氢型焊条。

4.3.2 如果裂纹是由安装在舱口角隅处的卸载板与甲板焊接处的应力集中所致，则卸载板与甲板连接处应不焊接。

4.3.3 若货舱开口线外的厚甲板板与薄横向甲板板之间的过渡区域产生裂纹，应考虑换新部分或整个宽度的相邻甲板板并增加板厚（见例2-a）。

4.3.4 若在横舱壁与横向甲板结构连接处产生裂纹，应超出损坏区域换新和重焊连接结构以增加连接面积。

4.3.5 若舱口端横梁出现裂纹，应换新损坏结构并采用全熔透焊接。

4.3.6 为了减少舱口围板将来产生裂纹的可能性，应遵循下列细节：

(a) 在舱口围板顶和/或舱口围板顶材上的开口和其他不连续处应设圆形角隅（选择椭圆形或圆形）（见例10-b）。

任何局部加强都应纵向削斜过度，其斜度比应不大于1：3（见例10-a）。

(b) 舱口角隅处，圆形舱口围板与甲板的角焊缝上产生的裂纹应采取如下修理方法：

用低氢型焊条或相当焊条施以全熔透焊接来代替原角焊缝。如果裂纹较大且反复出现，应将围板重新设计成直角，且纵向围板以削斜肘板的形式延伸，并与舱口端围板和甲板下横向构件对中设置横向连续肘板。

(c) 舱口侧围板延伸肘板上应避免开口和疏水孔。肘板上裂纹的修理参见例3a和b。

4.3.7 舱口盖上性质不严重的裂纹可以成“V”形批掉后焊接。裂纹较大的结构应割换。

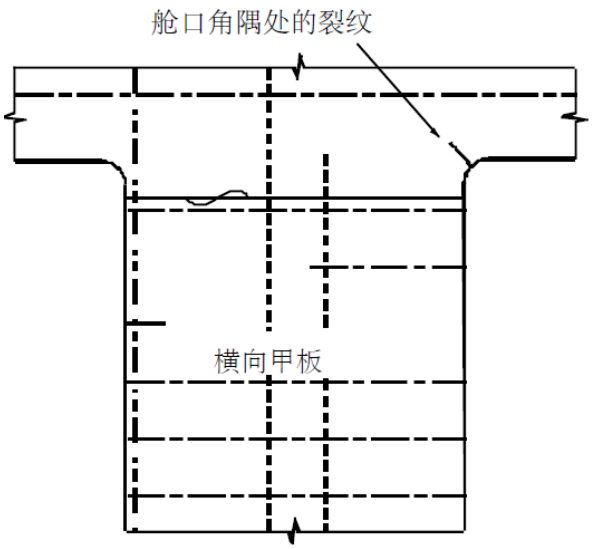
4.3.8 未出现显著腐蚀而产生裂纹的舷墙端部可结合一般性修理，尝试改善设计来减少应力集中。

4.4 其他

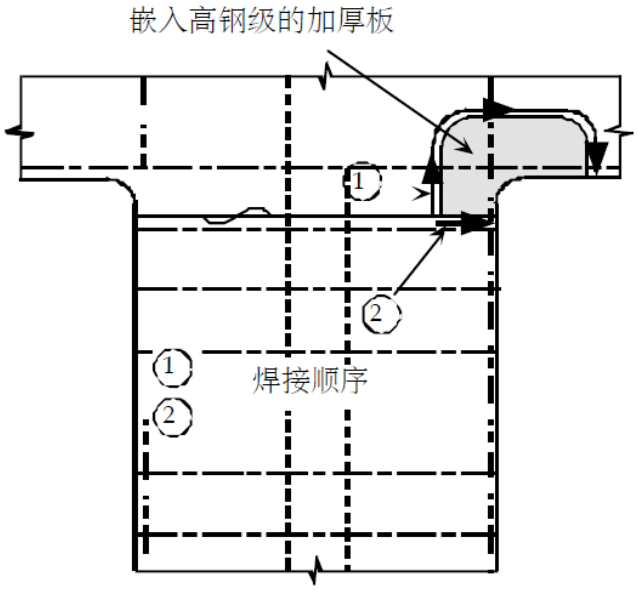
4.4.1 出现损坏或腐蚀的舱口盖附件（如楔子，滚轮等）应进行换新。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域	甲板结构	1
损坏细节	主货舱舱口角隅处的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、舱口角隅处应力集中，即角隅半径处。

2、焊在靠近舱口角隅板边缘的卸载板附件。

3、钢缆拉磨导致的凹槽。

修理说明

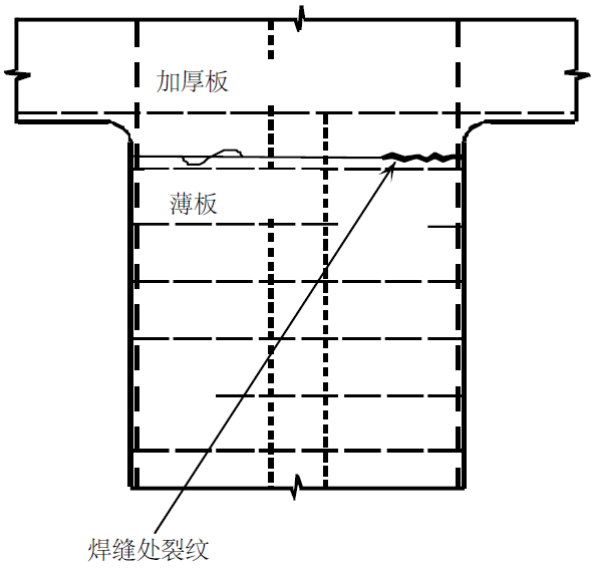
1、产生裂纹的角隅板应割换。如果裂纹是由应力集中所致，那么嵌入的板材应增加厚度、提高钢级和／或改善几何形状。嵌入板应该保持连续直至超过舱口角隅椭圆形或抛物线半径的纵向和横向延伸，并且相邻甲板的对接焊缝应避开舱口围板的对接焊缝。建议嵌入板的边缘以及嵌入板和相邻甲板板的对接焊应匀顺磨光。并应采取措施使打磨形成的微观凹槽平行于板边缘。

2、如果裂纹产生原因为卸载板与甲板的焊接连接，那么该处应不焊接。

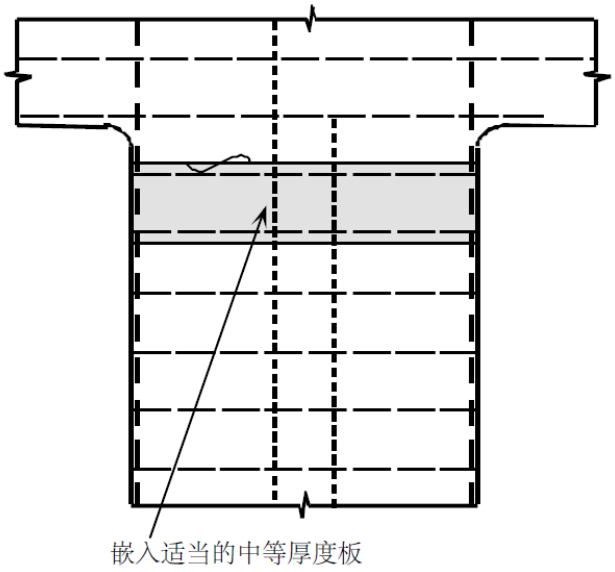
3、如果裂纹产生的原因为钢丝绳拉磨形成凹槽，可以采取变更原设计的方法。

第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	2-a
损坏细节	横向甲板厚薄板之间焊缝上的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、由于甲板板厚度突变而产生的应力集中。

2、由于船侧（纵向）扭转运动而导致横向甲板条的平面弯曲。

3、焊缝没有避开舱口角隅的切点。

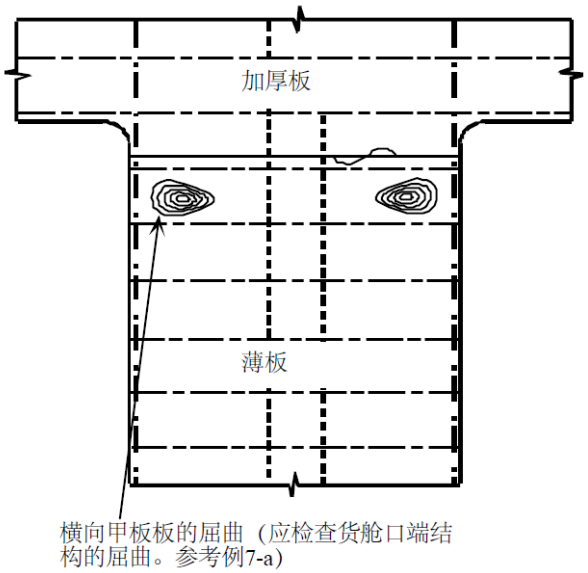
修理说明

1、建议嵌入中间厚度板。

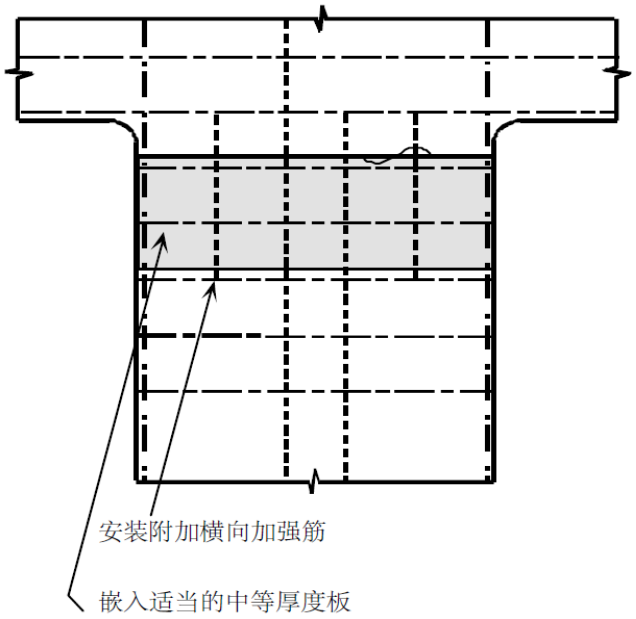
2、注意板材之间的平滑过渡（削成斜面）。

区域1	甲板结构	2-b
损坏细节	横向甲板靠近厚板处薄板的屈曲	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、由于船侧(纵向)扭转运动和腐蚀的综合作用而导致的横向甲板条平面弯曲。

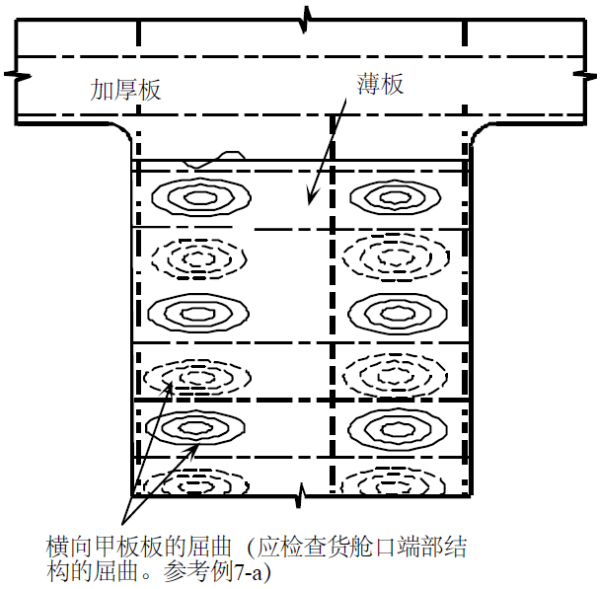
2、板的厚度不足和／或没有足够的横向加强筋。

修理说明

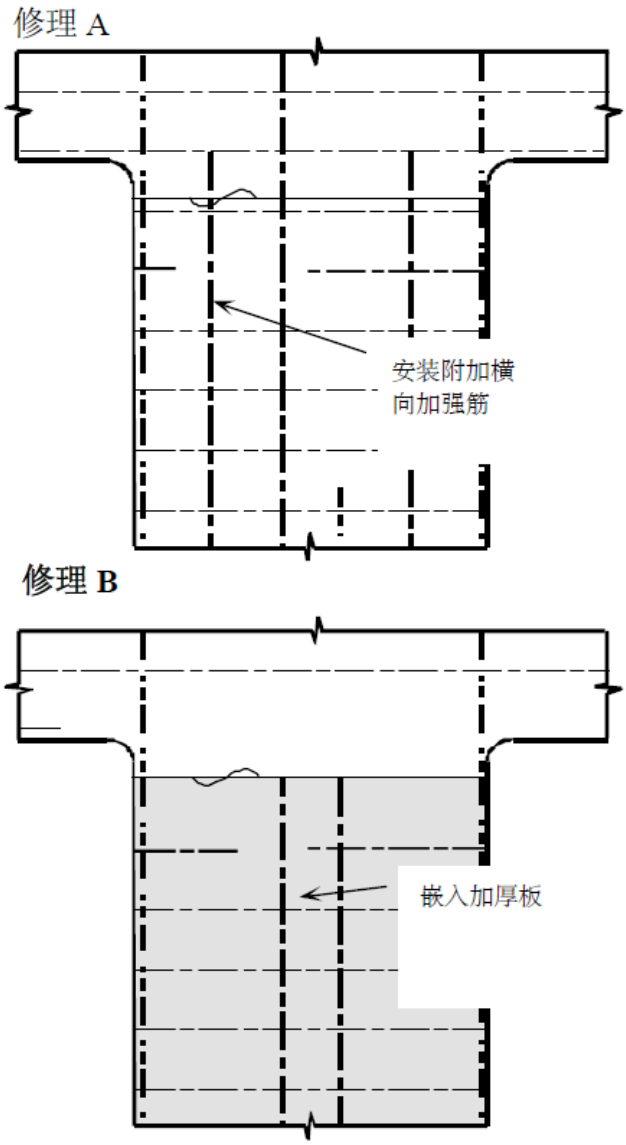
l、横向加强筋从舱口边线向中心线延伸至少10%的舱口宽度，和/或在该区域增加板的厚度。

区域1	甲板结构	2-c
损坏细节	横向甲板板的整体屈曲	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、因风暴海况产生的甲板横向压力。

2、应相邻货舱超载而产生的甲板横向压力。

3、板的厚度不足和/或没有足够的横向加强筋。

修理说明

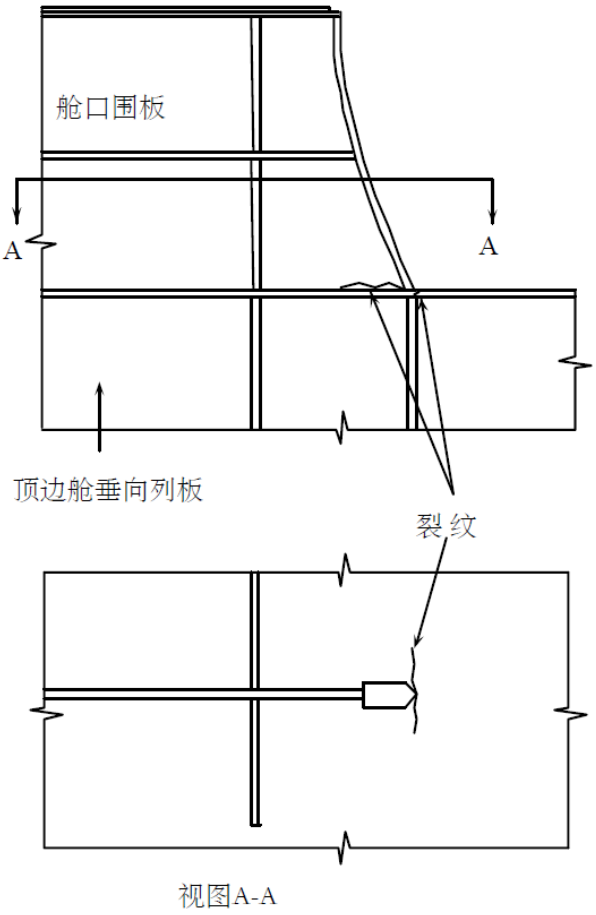
1、修理A 原厚板结合附加横向加强筋。

2、修理B 嵌入加厚板。

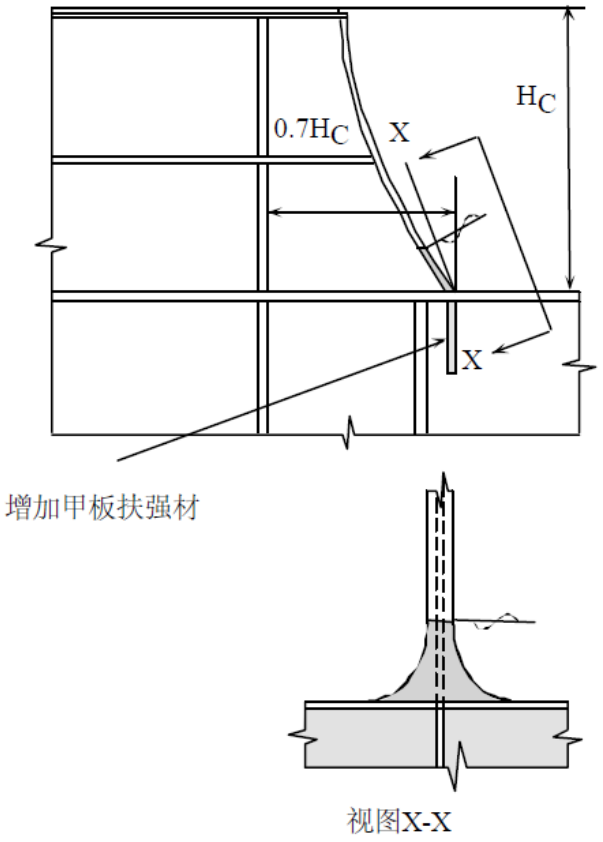
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	3-a

损坏细节	纵向舱口围板端肘板的腹板或趾部处甲板的裂纹

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、由于肘板设计不当产生应力集中而导致的损坏。

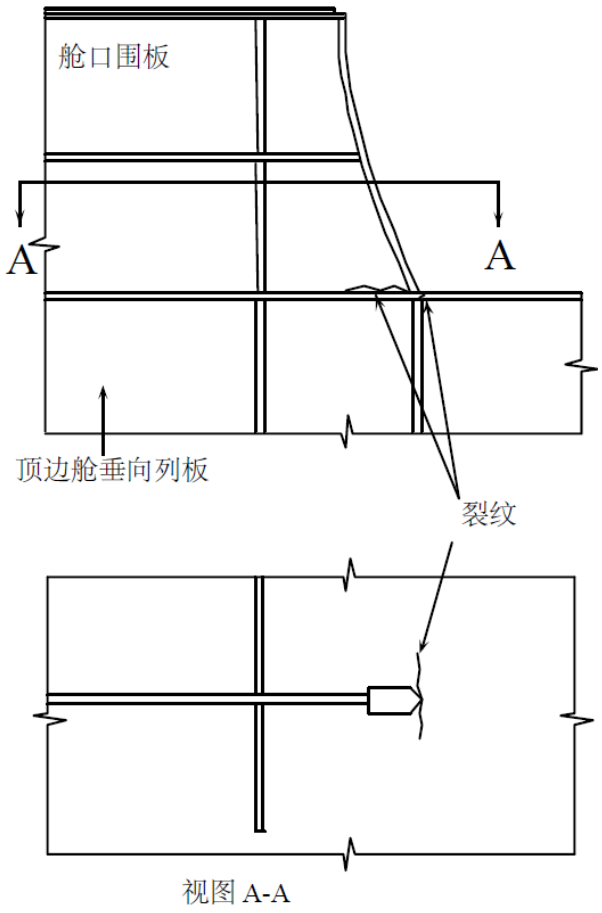
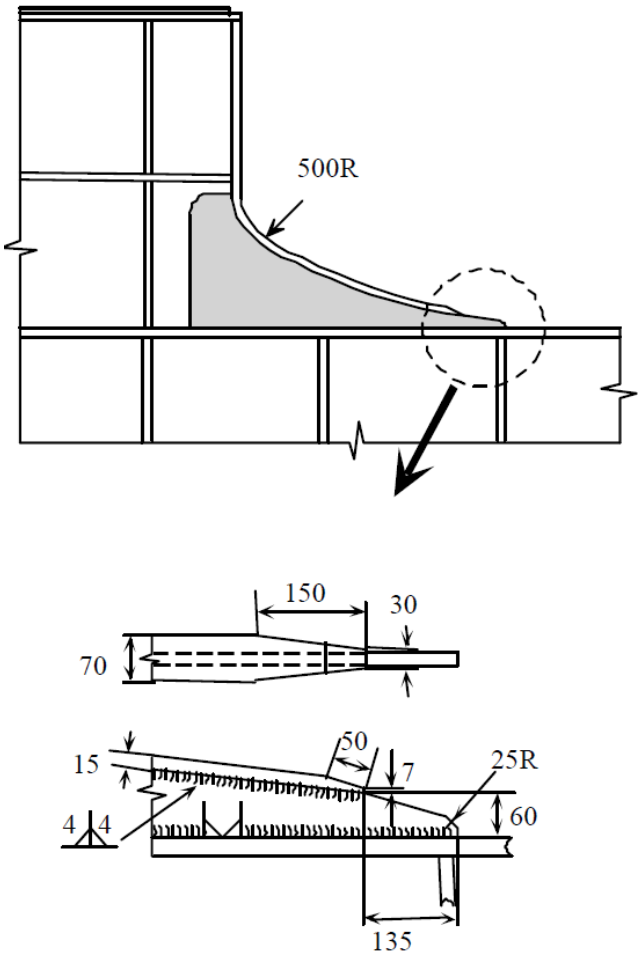
修理说明

1、如上图所示，改变肘板设计。如果肘板趾端避开常规扶强材，应在端肘板趾端处安装附加的甲板下扶强材。

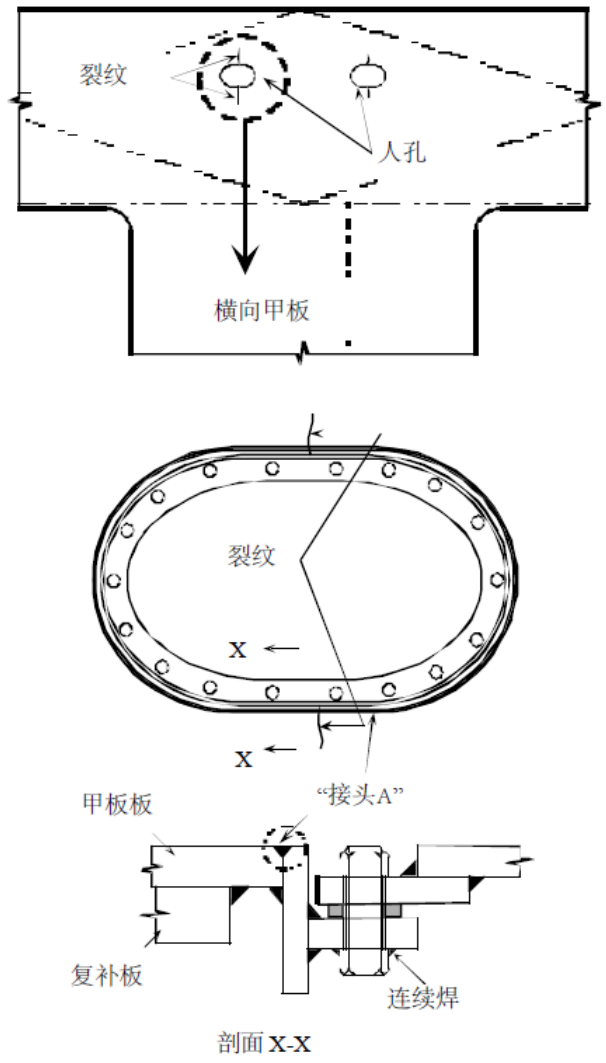
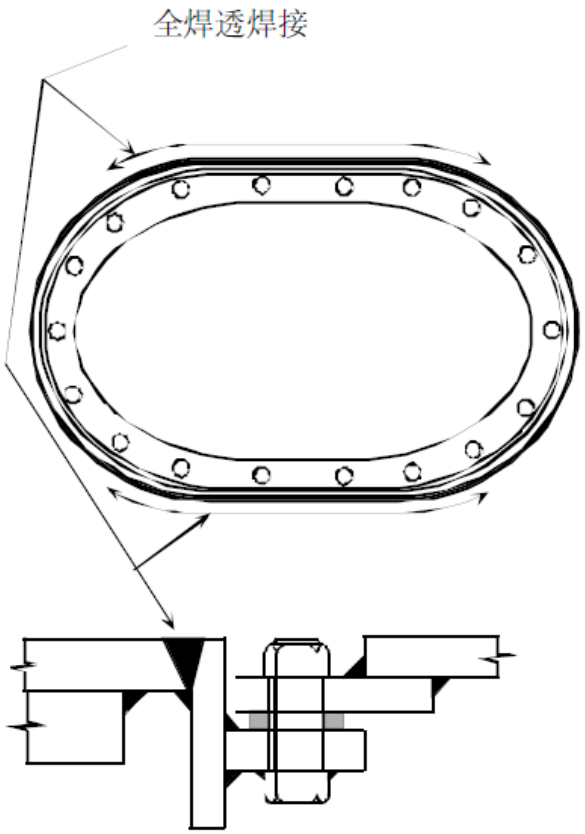
2、从边围板端肘板的趾端起O.15Hc 长度范围内及横向支撑肘板与甲板的焊接均应采用全熔透焊接。

3、甲板板上的裂纹应成V 形批掉并重焊或将甲板板割除并局部换新，应采用低氢型焊条焊接。

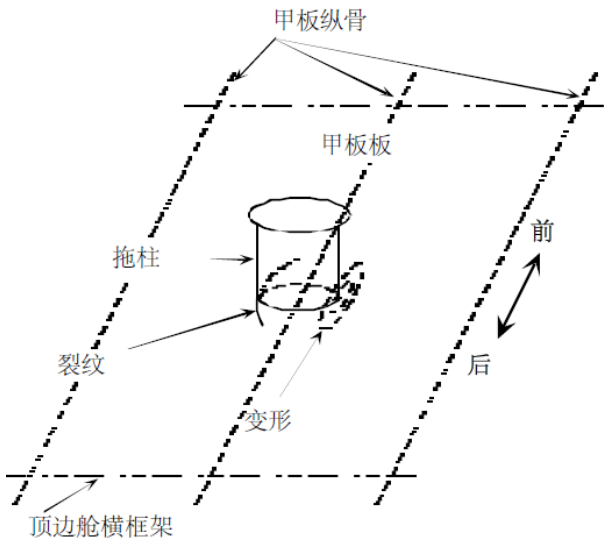
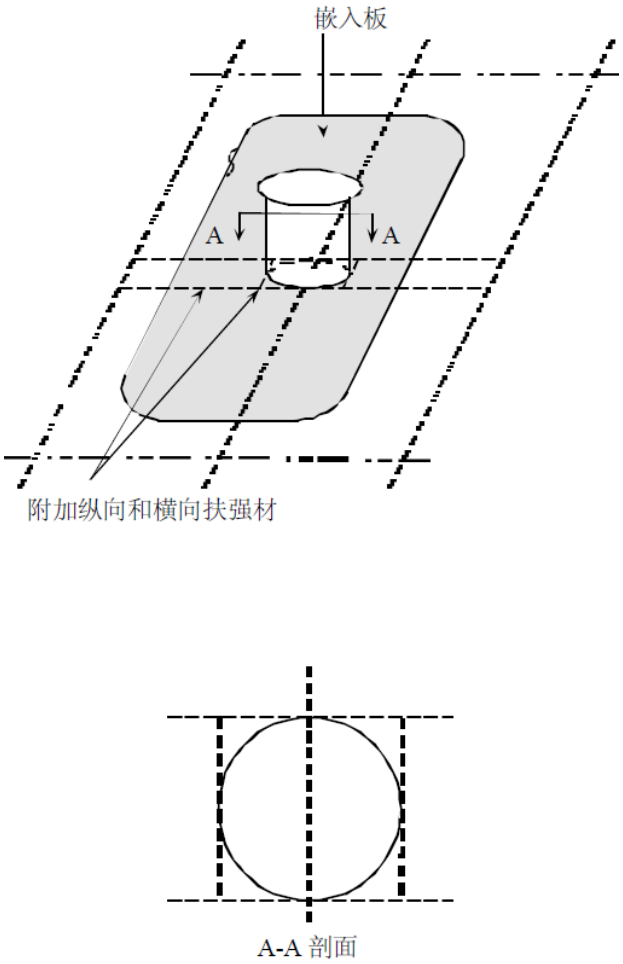
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	3-b
损坏细节	纵向舱口围板端肘板的腹板或趾部处甲板的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于肘板设计不当产生应力集中而导致的损坏。	修理说明 1、如上图所示，改变肘板设计。如果肘板趾端避开常规扶强材，应在端肘板趾端处安装附加的甲板下扶强材。 2、甲板板上的裂纹应成V 形批掉并重焊或将甲板板割除并局部换新，应采用低氢型焊条焊接。

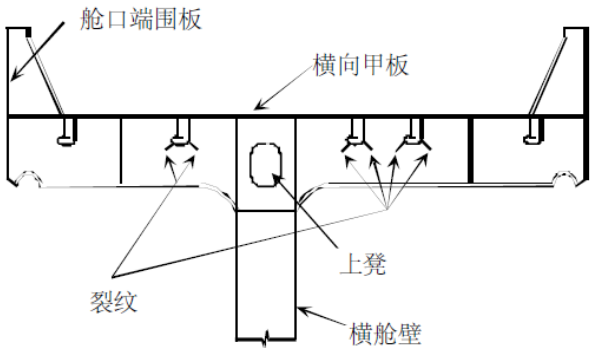
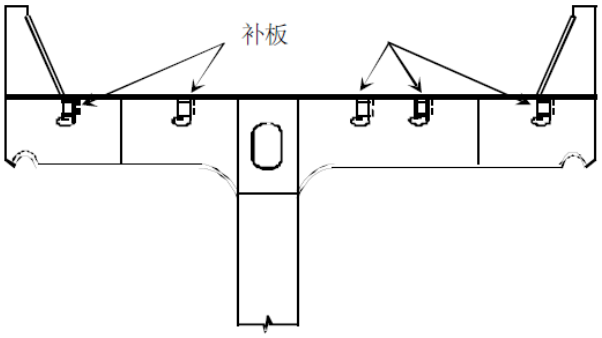
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	4
损坏细节	起始于通道人孔焊缝的甲板裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、恶劣气候。 2、接头“A”的不正确焊接。	修理说明 1、甲板裂纹应成V 形批掉并重焊，或认为必要将甲板板割除并局部换新。 2、应考虑接头“A”采用全熔透焊接。

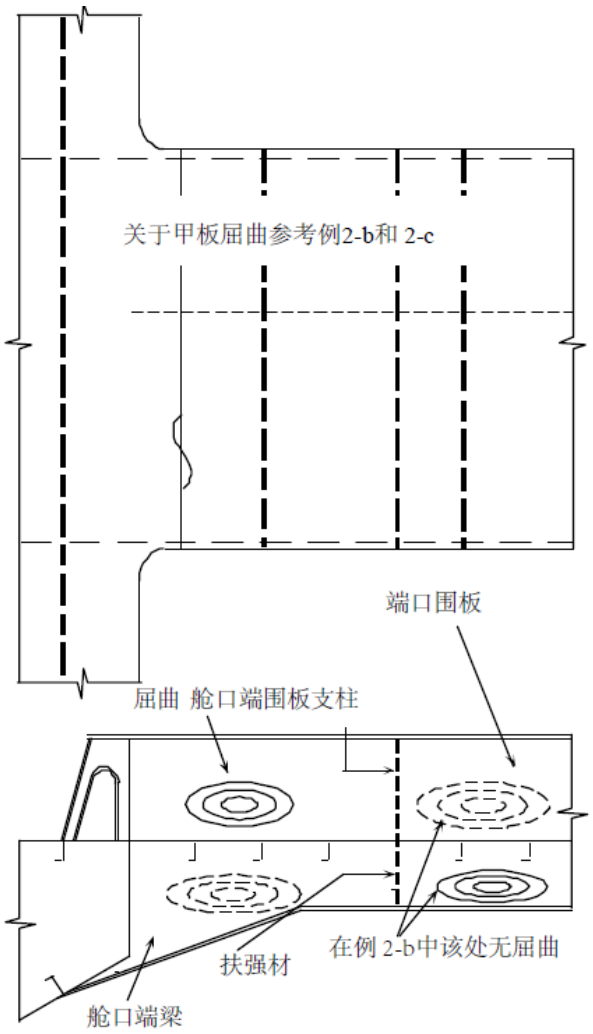
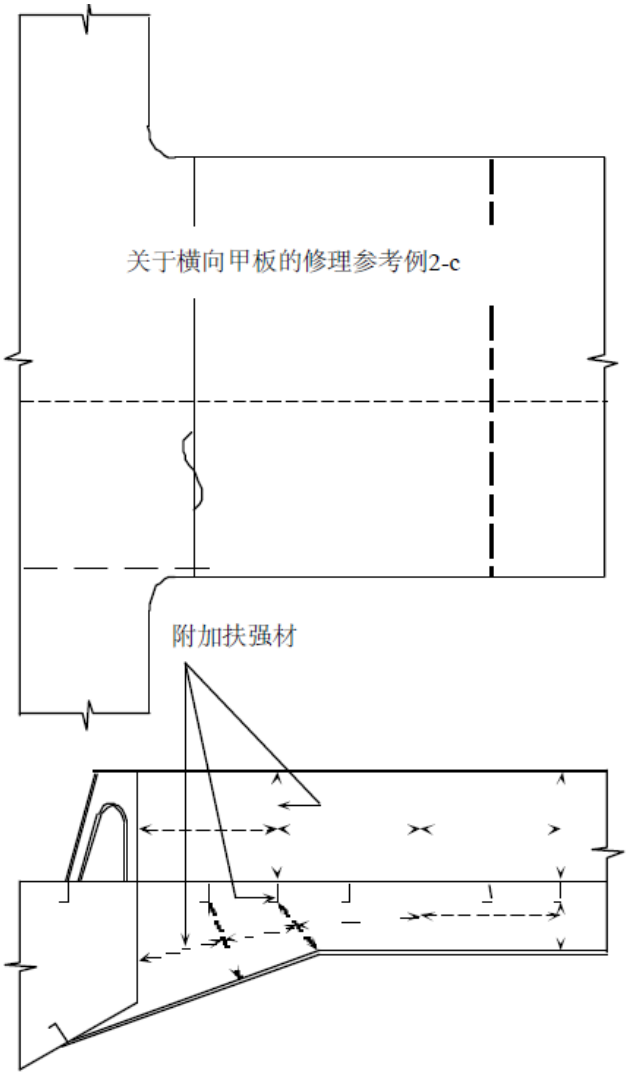
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	5
损坏细节	带缆桩附近甲板的变形和裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、强度不足。	修理说明 1、有裂纹/变形的甲板板应割除并局部换新。 2、应考虑采用扶强材加强。

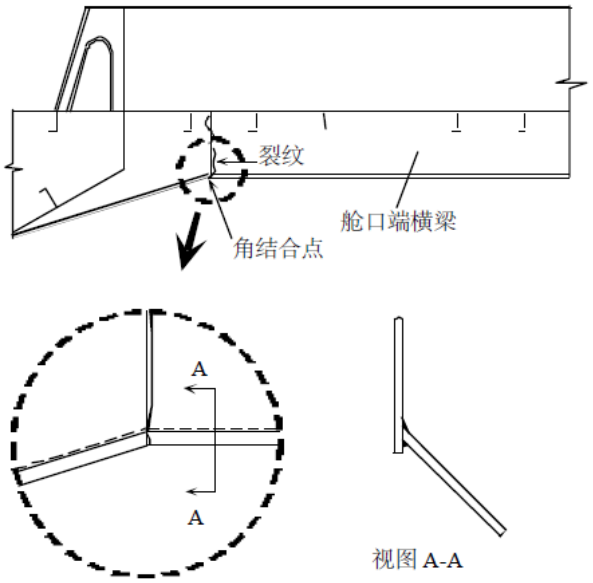
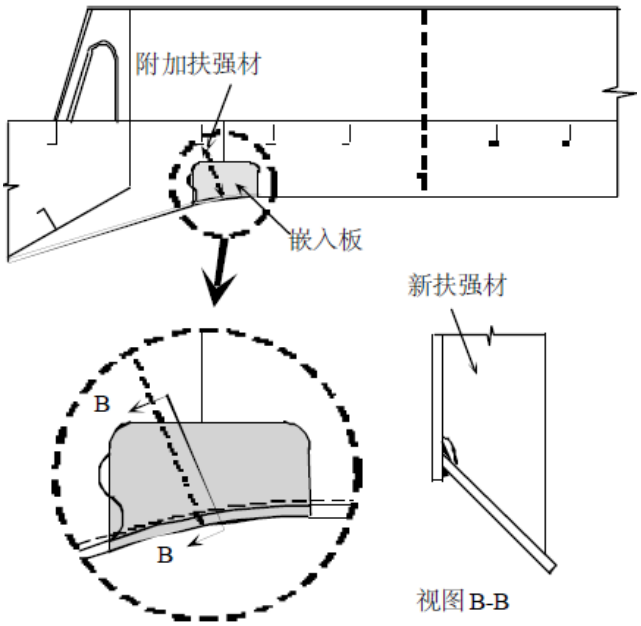
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	6
损坏细节	横向甲板纵桁切口附近的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、横向甲板纵桁切口处的应力集中。	修理说明 1、有裂纹的横向甲板纵桁的腹板应割掉并局部换新。 2、应安装补板。

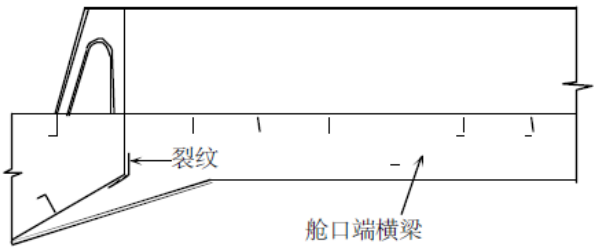
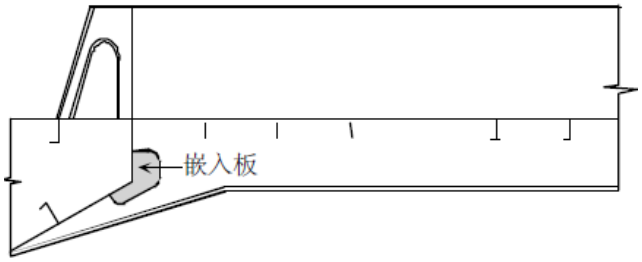
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	7-a
损坏细节	舱口围板和舱口端横梁的屈曲	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、因风暴海况产生的附加横向力和扭转负荷。 2、装货处所偶然性超负荷。	修理说明 1、如果屈曲是由于腐蚀诱发丧失强度所致，必要时应将屈曲区域割换。 2、如果屈曲是由于强度不足所致，应将屈曲区域割换并安装扶强材。

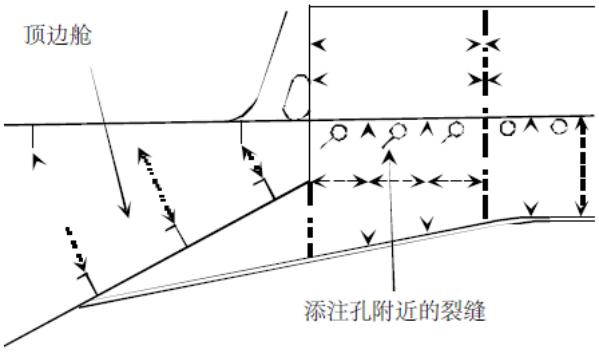
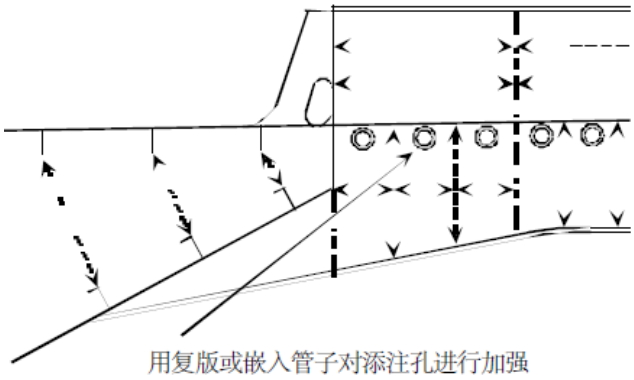
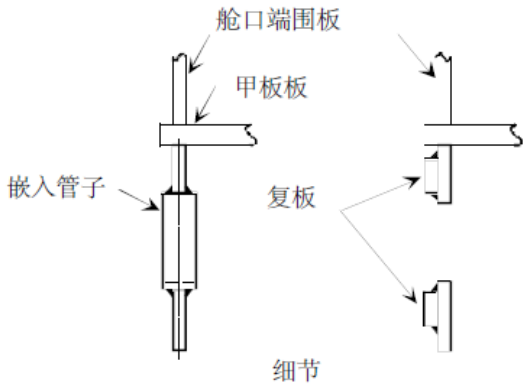
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	7-b
损坏细节	舱口端横梁折角处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、折角处的应力集中。	修理说明 1、裂纹部分应割换。 2、应考虑改善措施以避免折角处的应力集中。

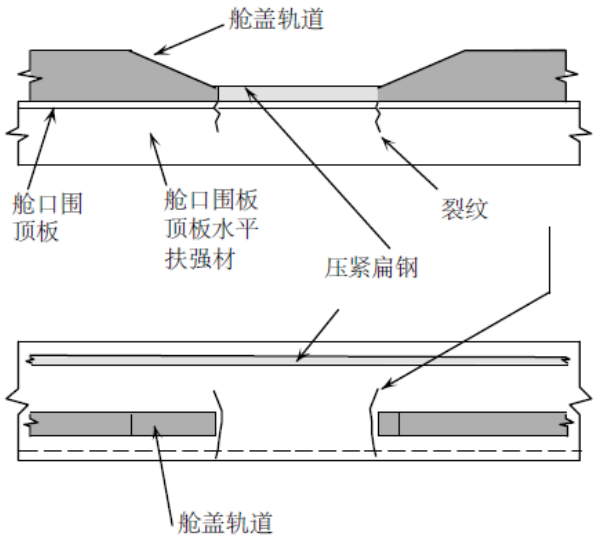
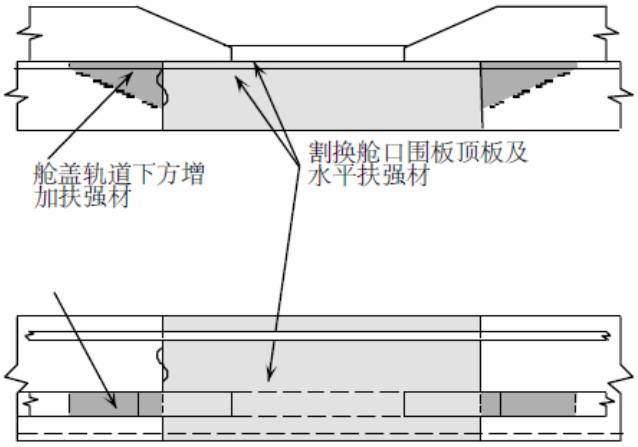
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	8
损坏细节	舱口端横梁与顶边舱连接处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、舱口端横梁与顶边舱横框架不对中。 2、应力集中。	修理说明 1、有裂纹的部分应割换。

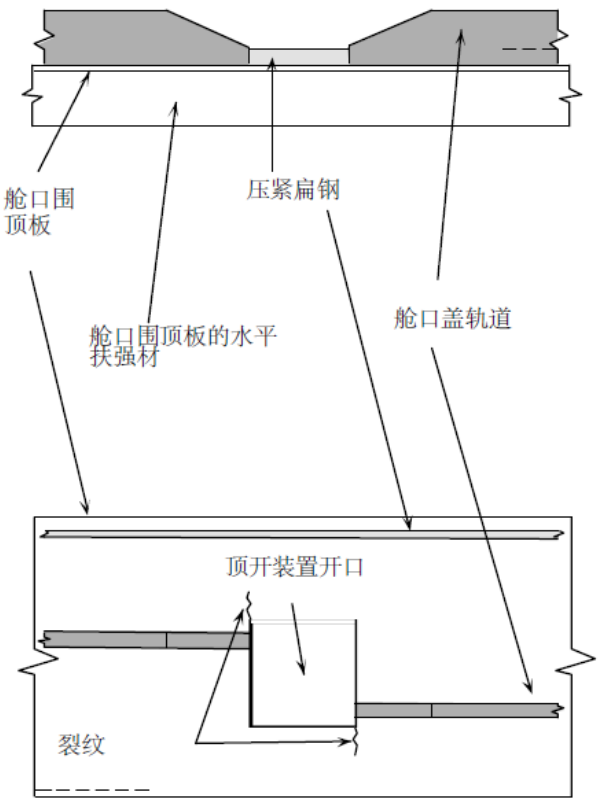
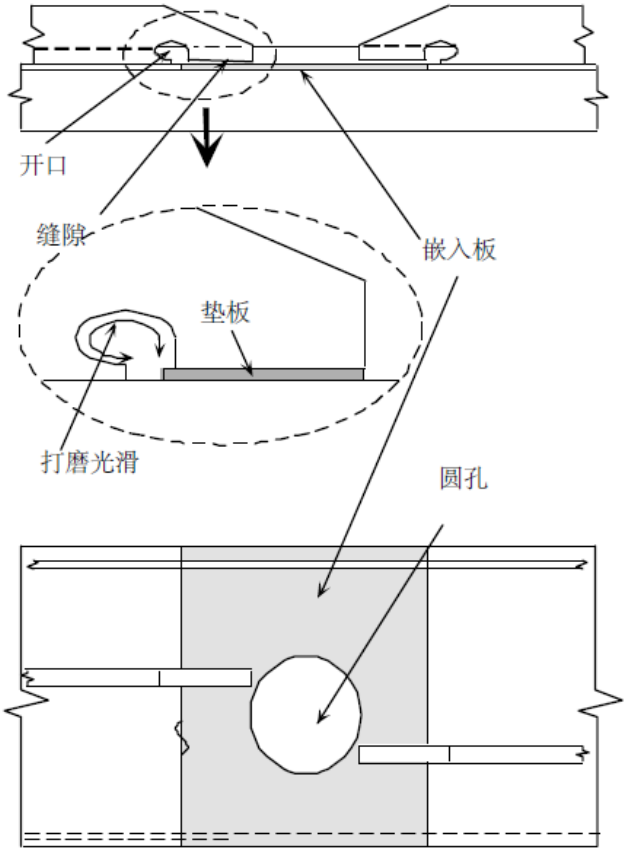
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	9
损坏细节	舱口端横梁上加料口附近的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	 
可能的损坏原因说明 1、添注孔附近加强不足。 2、腐蚀。	修理说明 1、裂纹部分应切割成V形后焊接或割换。 2、如裂纹部分未发现腐蚀，应考虑加强。

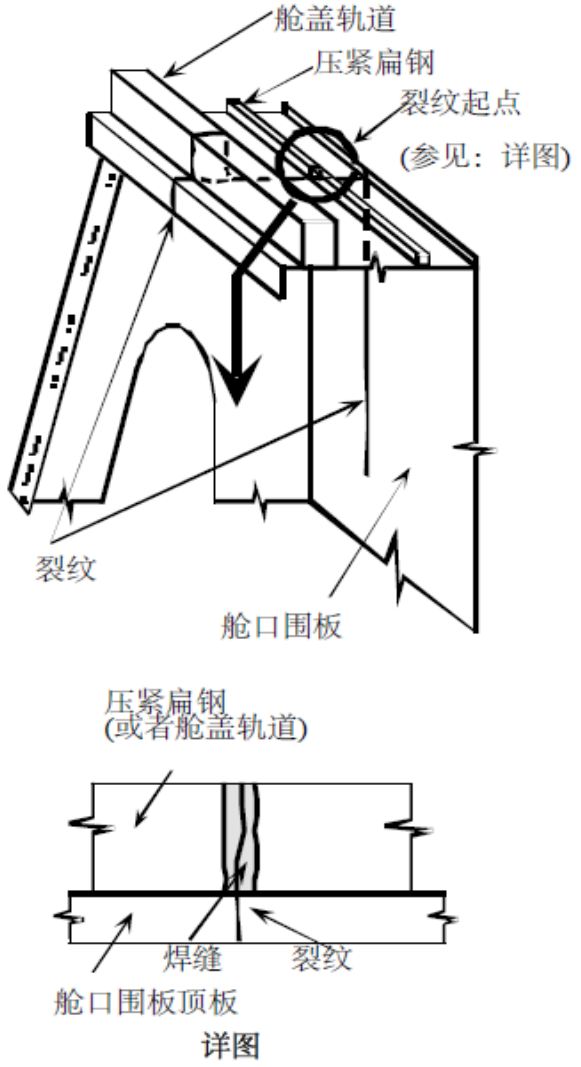
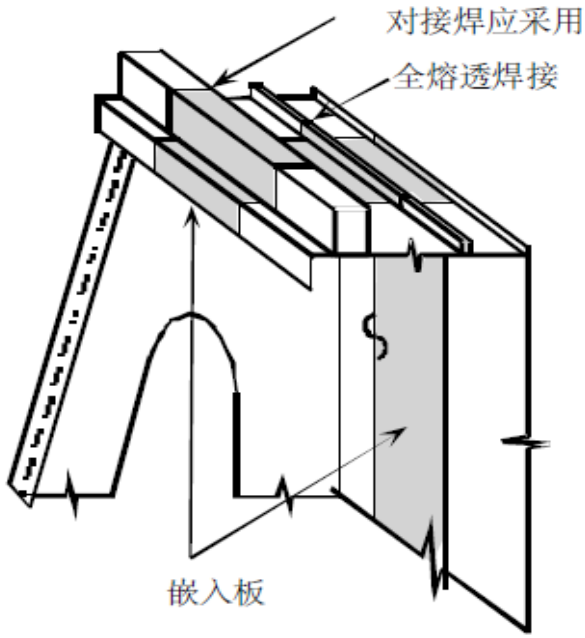
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	10-a
损坏细节	在舱口盖轨道终点处舱口围顶板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于设计不当而导致在舱口盖轨道终点处的应力集中。	修理说明 1、裂纹部分应割掉并局部换新。 2、应考虑嵌入加厚板和/或在顶板下面安装附加扶强材进行加强，也可参考例10-b。

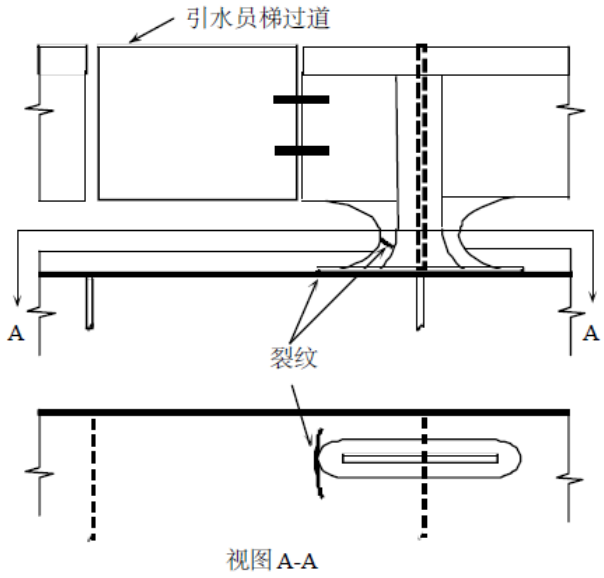
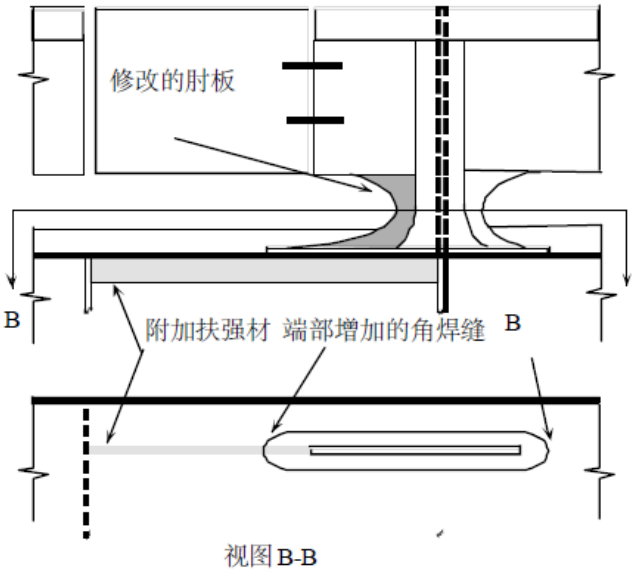
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	10-b
损坏细节	在舱口盖轨道终点处舱口围顶板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于开口设计不当而导致在舱口盖轨道终点处的应力集中。	修理说明 1、裂纹部分应割除并局部换新。 2、嵌入加厚板和/或考虑采用加大半径来减少应力集中，或考虑如上图所示在轨道上开口而使端部不焊接以减少开口角隅处的应力。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	11
损坏细节	位于舱口围顶板上起始于压条对接焊的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、恶劣气候 2、压紧扁钢和/或轨道的焊接准备工作不充分。（虽然压条和轨道不是纵向强力构件，当它们与纵向强力构件一样承受同样的纵向应力。） 3、裂纹可能起因于舱口盖轨道焊缝的未完全熔透。	修理说明 1、仔细考虑船舶的装载情况和正确的焊接工艺。 2、如认为必要，割换产生裂纹的结构。(小裂纹可成V形批掉后补焊) 3、压紧扁钢和轨道的对接焊应采用全熔透焊接。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域1	甲板结构	12
损坏细节	舷墙引水员梯过道处甲板板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、舷墙终点处的应力集中。	修理说明 1、有裂纹的甲板板应割除并局部换新。 2、应考虑减少应力集中。在上图中，针对支撑板上的裂纹，应用软化类型的支承板换新原支承板，并且加大垫板；对于甲板板上的裂纹，应采取安装附加扶强材的方法。

区域 2 顶边舱结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题

2.1 材料的蚀耗

2.2 变形

2.3 裂纹

3 关于修理的一般性建议

3.1 材料的蚀耗

3.2 变形

3.3 裂纹

图和/或图片一区域2	
序号	项目
图片1	顶边舱—潜在问题区域

结构细节缺陷和修理实例…区域2	
例	项目
1	制荡舱壁上未经加强的减轻孔和人孔周围的裂纹
2-a	开口圆弧半径附近腹板减薄并接着出现屈曲
2-b	开口圆弧半径附近腹板减薄并接着出现屈曲
2-c	开口圆弧半径附近腹板减薄并接着出现屈曲
3	横框架腹板扶强材末端的裂纹
4-a	横框架腹板开口处裂纹
4-b	横框架腹板开口处裂纹和屈曲
5	在横框架腹板或舱壁处纵骨上的裂纹
6	在横框架处最低一根纵骨上的裂纹
7-a	横向肘板上的裂纹
7-b	横向肘板上的裂纹
7-c	横向肘板上的裂纹
8	在斜板和垂向列板上起始于顶边舱与舱口端横梁连接处的裂纹
9	斜板折角处的裂纹

结构细节缺陷和修理实例…区域2	
例	项目

10	防撞舱壁与首货舱顶边舱结构相交处的裂纹
11	机舱前壁与尾货舱顶边舱结构相交处的裂纹

1. 概述

1.1 顶边舱内部结构极易产生腐蚀和蚀耗。对所有的散货船特别是老龄船及保护涂层损坏的船，这是一个主要问题。如果涂以保护涂层并有良好的保养，涂层可显示结构是否保持在良好状态或暴露结构缺陷。

一些船舶的顶边舱除了涂层外还采用牺牲阳极保护。但这对舱室的上部没有作用，因为这种系统要求结构全部浸没在海水中，而在压载航行时，压载舱不可能灌满压载水。

导致顶边舱结构损坏的其它主要原因包括超压和由于恶劣天气下船舶横摇而产生的相邻部分灌注压载水的压载舱/货舱内压载水的拍击。

1.2 如果构件端部细节设计不合理，将导致高应力集中而使船舶前、后区域的纵骨端部（尤其在防撞舱壁和机舱壁处）产生裂纹。

如果结构没有合理地加强，在船舶前后区域的顶边舱折角处也会产生裂纹，参见例10。

2. 应予注意的问题

2.1 材料的蚀耗

2.1.1 海洋环境和顶边舱内的高度潮湿大气的综合作用导致腐蚀速度加快。

2.1.2 腐蚀速度和程度取决于环境状况和采取的保护措施，如涂层和牺牲阳极。下列结构通常易于腐蚀（参见图1）：

(a) 腐蚀环境下的结构

甲板板和甲板纵骨

与加热燃油舱相邻的横舱壁

顶边舱斜板的最下部分

(b) 承受高应力的结构

横框架角隅处的面板与腹板。

舷侧纵骨与横框架的连接处。

(c) 涂层易于脱落的区域

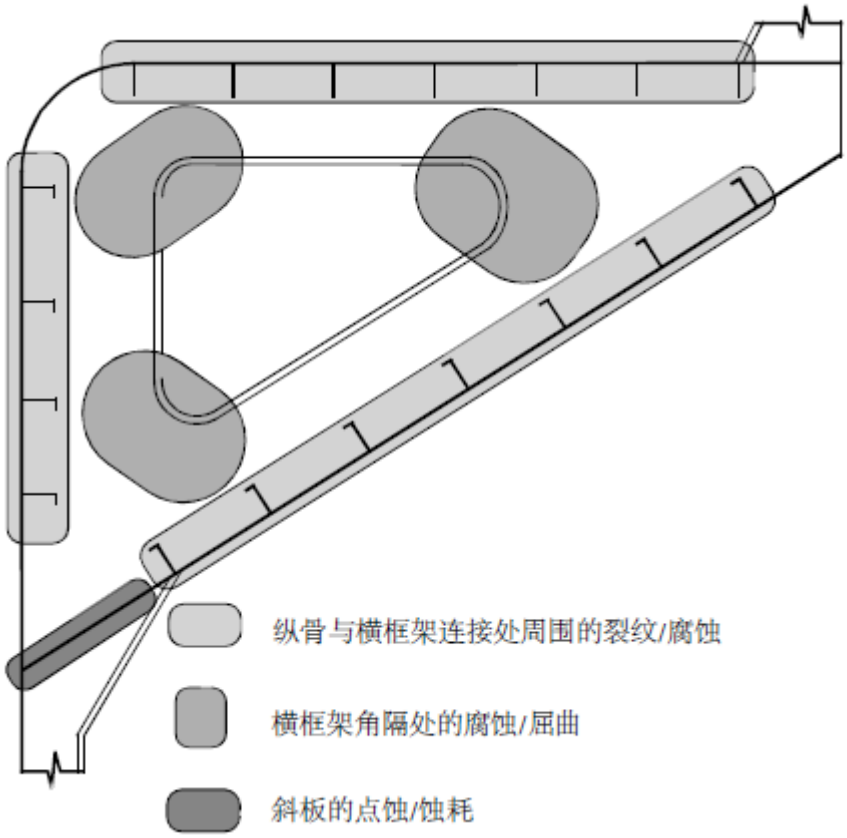
纵骨面板的反面

焊接接头

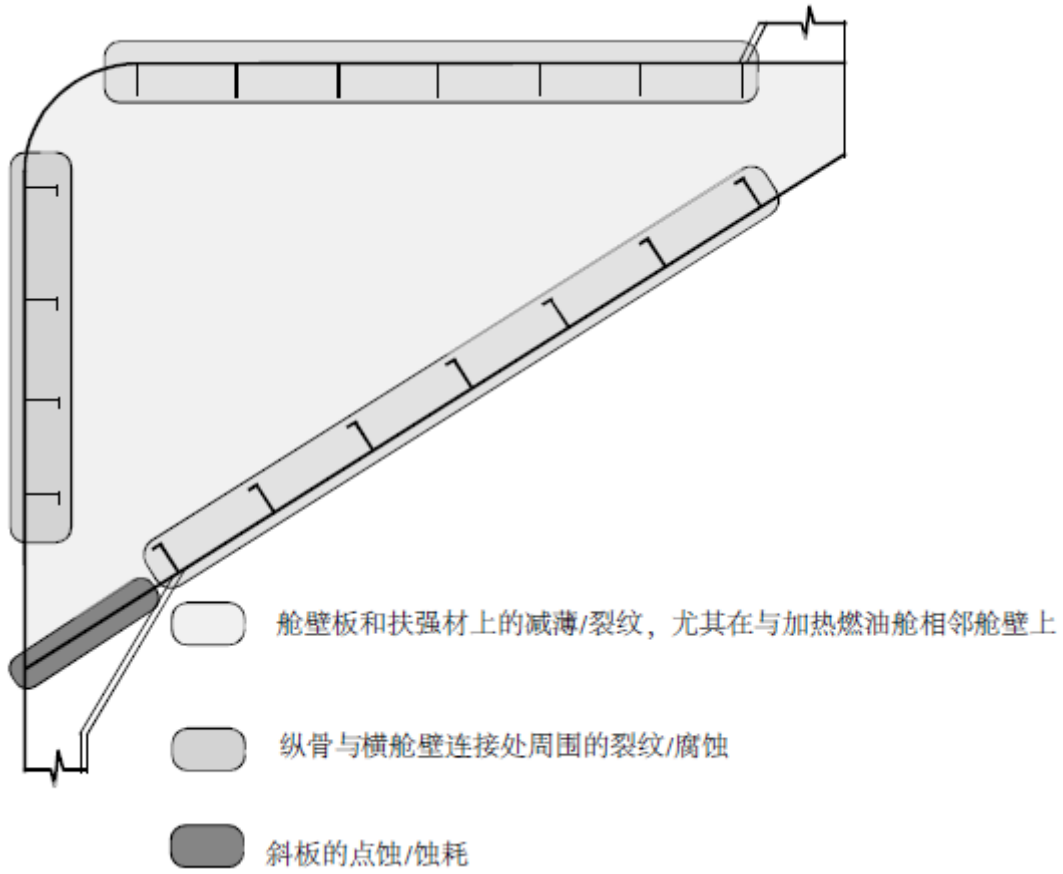
通道口的边缘

(d) 排水不畅区域

舷侧纵骨和斜板纵骨的腹板



(a) 横框架剖面图



(b) 横舱壁剖面图

图1 顶边舱一潜在问题区域

2.2 变形

2.2.1 结构变形是由于撞击（和码头、浮冰、水下物体等)、船舶碰撞、货物的错误装卸和高应力引起的。在检查时应注意下列区域：

(a) 承受高应力区域

横框架角隅处的屈曲。

(b) 与压载货舱相邻的结构。

当压载货舱部分灌注压载水和/或装载压载水不正确时（见注），会引起压载水的晃动拍击，从而导致下列构件的变形。

—横框架的屈曲和/或斜板横向构件的坍塌

—斜板的变形和/或斜板纵骨的坍塌

—隔板的屈曲

注：某些散货船设计为当压载货舱装载压载水时，压载货舱内的顶边舱也应装载压载水。因此这类船舶在压载货舱压载时，如果顶边舱没有压载，顶边舱的构件会由于应力增加而产生裂纹/变形。

2.2.2 顶边舱，压载货舱在压载/排压载时，如果通风不当会造成甲板结构的变形和顶边舱结构的损坏。在甲板上检查时发现这种变形，应对顶边舱进行内部检查以确定损坏的性质和程度。

2.3 裂纹

2.3.1 在检查裂纹时，应注意下列区域：

(a) 应力集中区域

一横框架角隅处面板的焊接接头。

一扶强材末端与横框架的连接处，靠近或在横框架的角隅处。

一最低一根纵骨与横框架的连接处，尤其是尺寸减小的纵骨（见例6）。

一前、后顶边舱内的纵骨末端

一最前、最后一个顶边舱的斜板折角处（见例9）

一最前、最后一个顶边舱内的过渡区域（见2.3.2）

一货舱槽形横舱壁和凳式结构对中连接处

一舷侧肋骨与端肘板对中连接处，尤其在肘板趾端

(b) 承受波浪动载荷区域

一舷侧纵骨与水密舱壁连接处

一舷侧纵骨与横框架连接处

2.3.2 由于结构的不连续性，在防撞舱壁或机舱前舱壁处，下列构件的端部易产生裂纹：

—顶边舱斜板

一顶边舱垂向列板

一首尖舱顶板(甲板部物料间甲板)

一机舱燃油舱的纵舱壁

为了避免不连续性造成的应力集中，上述构件反面应设合适加强筋。如未设加强筋或由于腐蚀、不对中加强筋失效，上述构件端部可能出现裂纹。

3. 关于修理的一般性建议

3.1 材料的蚀耗

3.1.1 如果腐蚀是由于高应力集中引起的，换新原厚度的板材是不足以避免腐蚀再度发生的，应考虑换新加厚板和/或进行适当加强，并结合采取适当的防腐措施。

3.2 变形

3.2.1 应查明变形的原因，如果变形是由操作疏忽所致，应通知船东代表；如果变形是因结构强度不足所致，应考虑进行适当加强；如果变形是由腐蚀所致，应考虑采取适当的防腐

措施。

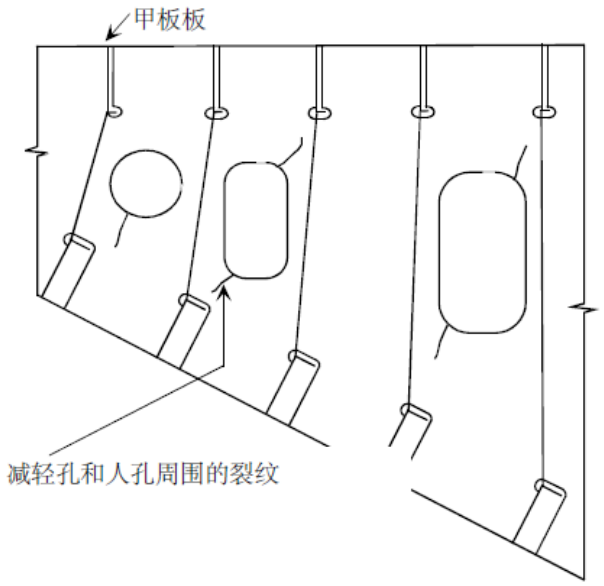
3.3 裂纹

3.3.1 如果裂纹是由波浪载荷的周期性运动产生的疲劳所致，应考虑改善结构细节设计以减少应力集中，如安装软化趾端的肘板。如果疲劳裂纹与振动和高周期率的中度水平应力有关，那应考虑采取减震和避免共振的措施，如安装附加扶强材。

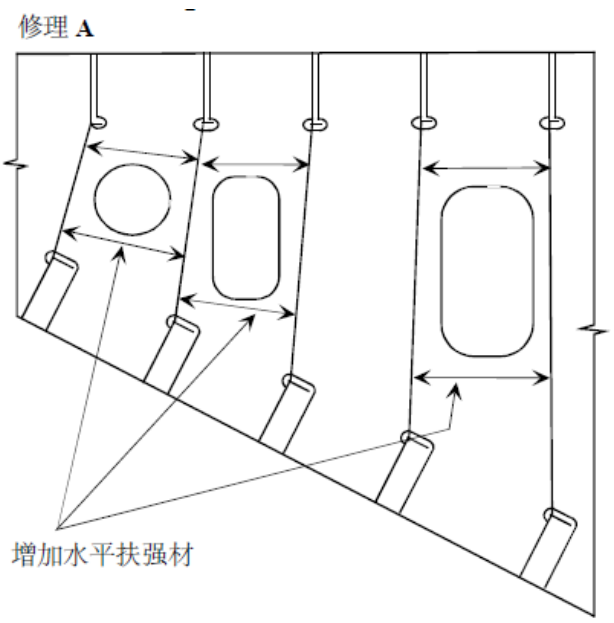
3.3.2 如果裂纹是由超常应力所致，这表明结构强度不足，应考虑换新加厚板和/或安装适当加强构件。如果过渡区域产生裂纹，应考虑采取措施以减少由于结构的不连续性而产生的应力集中。

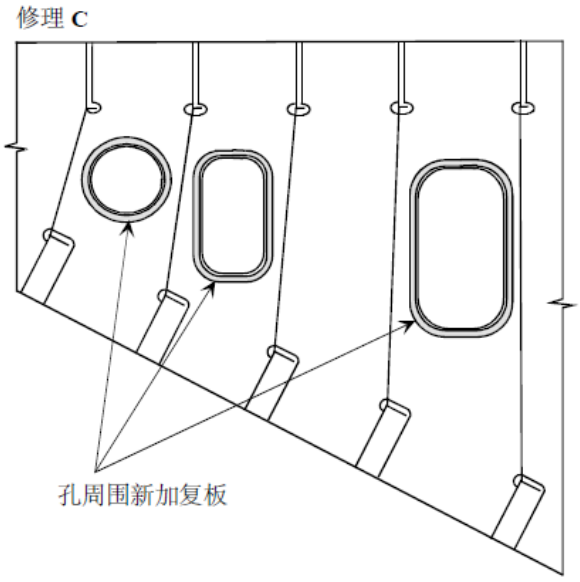
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	1
损坏细节	制荡舱壁上未经加强的减轻孔和人孔周围的裂纹	

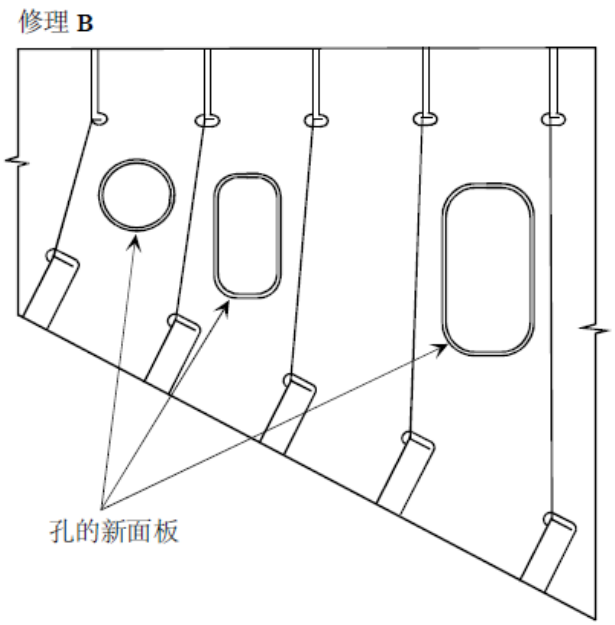
损坏示意图



修理示意图





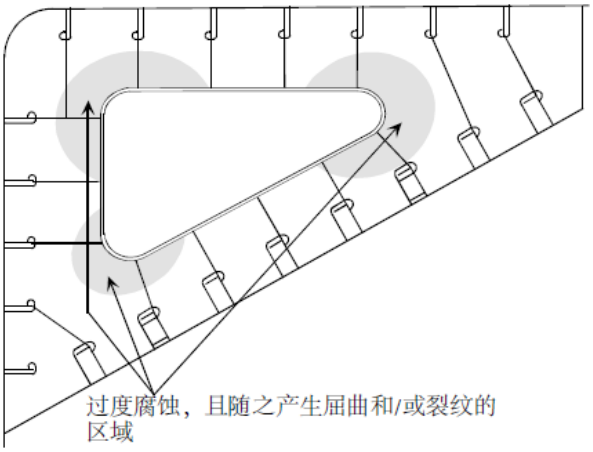


可能的损坏原因说明	修理说明
1、总体性腐蚀和存在应力集中。	1、腐蚀 / 裂纹的板应割除并换新加厚板。 2、应考虑加强。

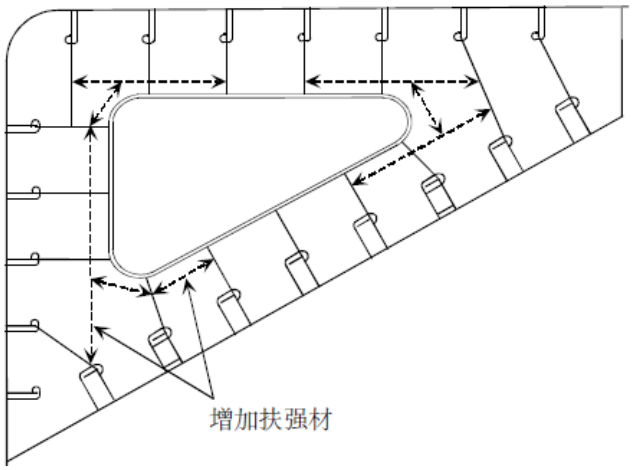
散货船	船体结构检验、评估及修理指南

第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	2-a
损坏细节	开口圆弧半径附近腹板减薄并接着出现屈曲	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、屈曲强度不足。

2、在角隅处的应力集中导致腐蚀。

修理说明

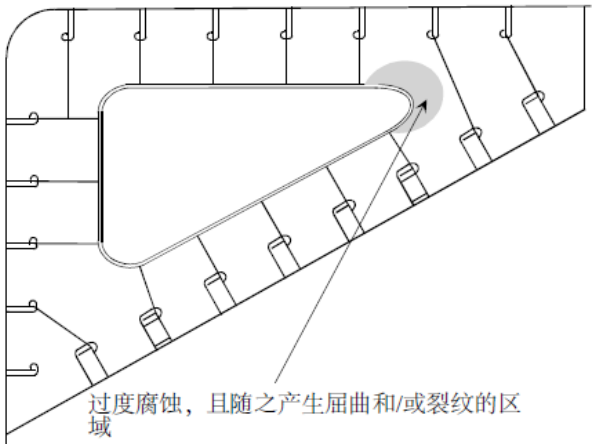
1、如必要，屈曲的板应割除并局部换新。

2、应考虑如上图所示新安装扶强材和/或换新加厚板。

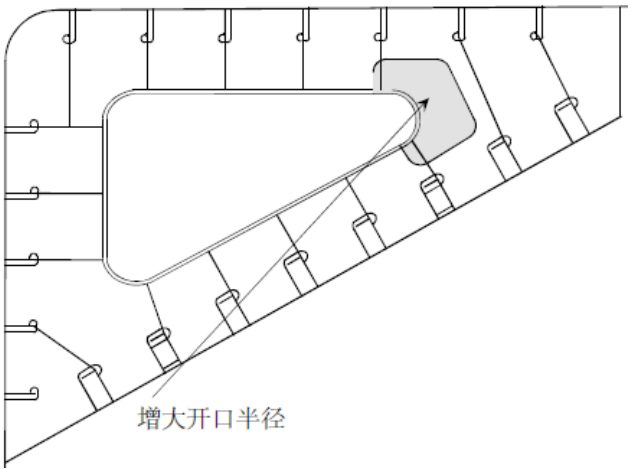
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例

区域2	顶边舱结构	2-b
损坏细节	开口圆弧半径附近腹板减薄并接着出现屈曲	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

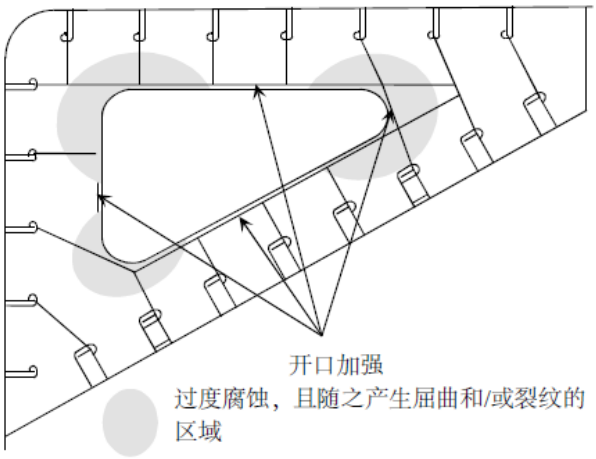
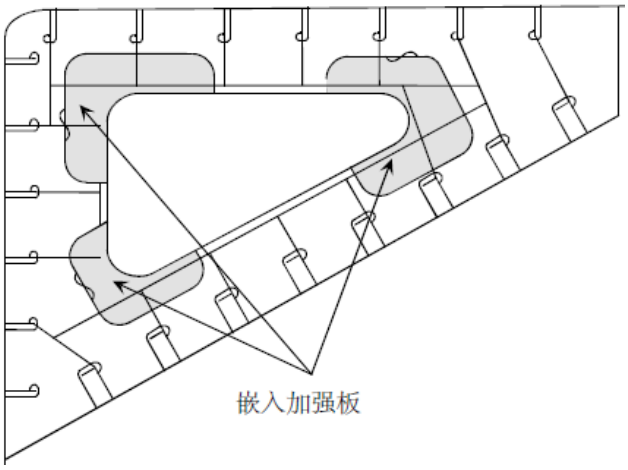
1、角隅处开口半径不够大产生应力集中而导致腐蚀。

修理说明

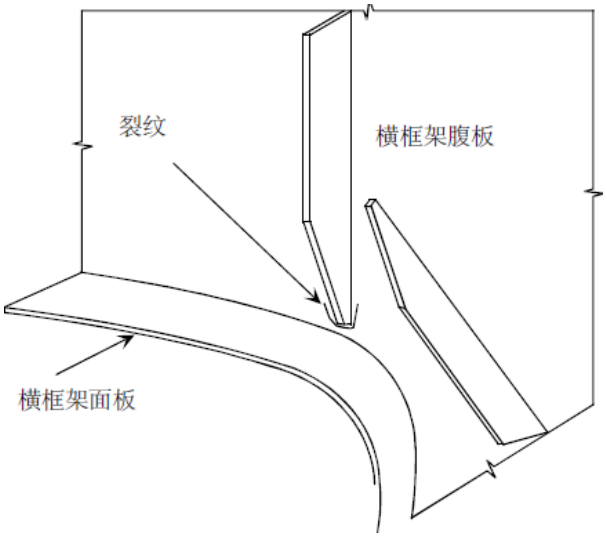
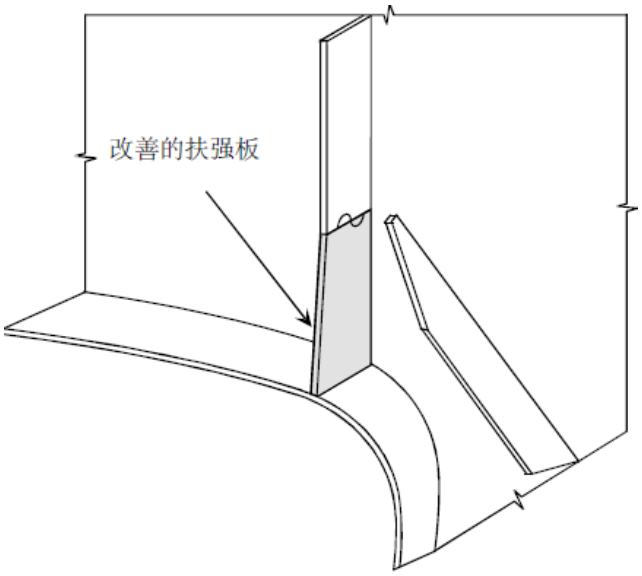
1、腐蚀/屈曲的板应割除并部分换新加厚板，最好增设附加扶强材使变形最小。

2、如必要，应改善半径设计。

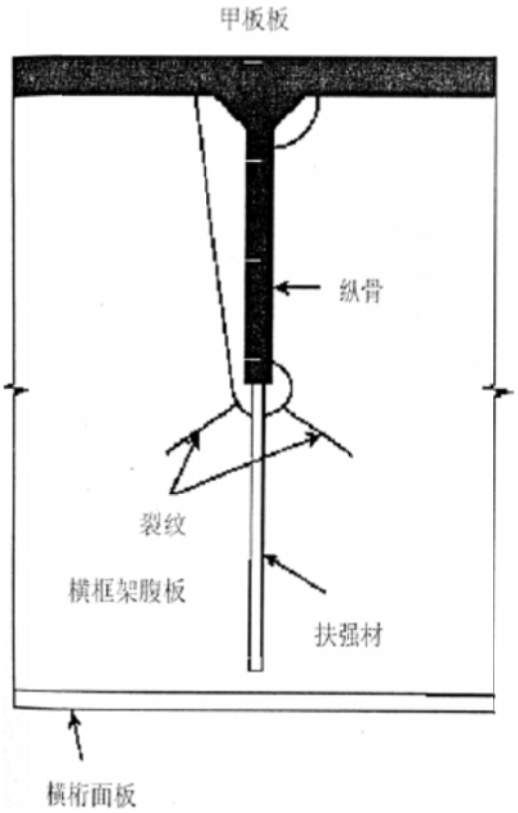
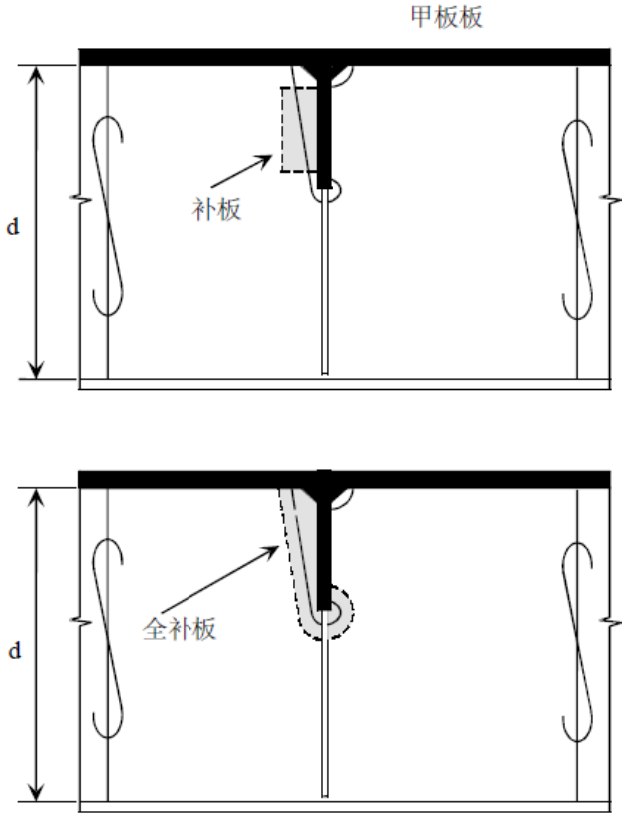
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	2-c

损坏细节	开口圆弧半径附近腹板减薄并接着出现屈曲
损坏示意图  	修理示意图 
可能的损坏原因说明 1、横框架自由边处的附加应力(在例2-a~2-c中，设有面板以补强开口)。	修理说明 1、腐蚀/屈曲的板应割除并部分换新加厚板。

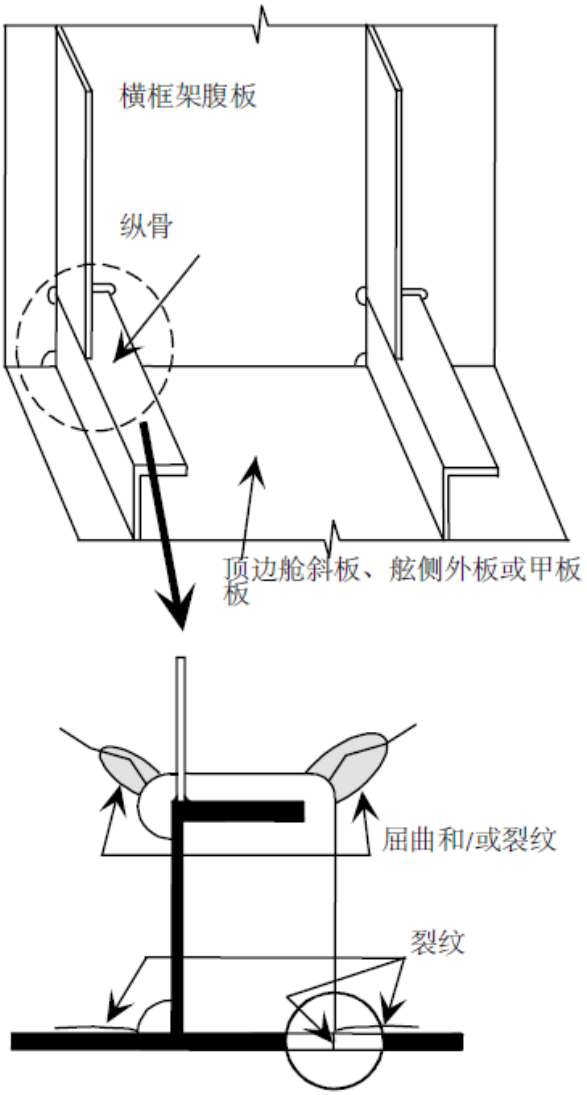
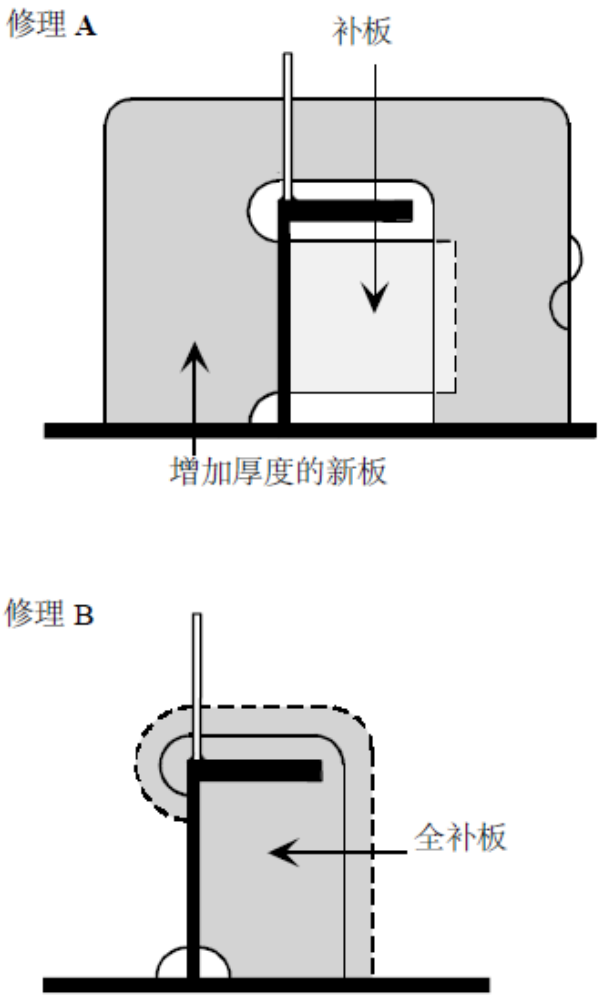
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	3
损坏细节	横框架腹板扶强材末端裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、应力集中。	修理说明 l、如板材没有整体腐蚀，裂纹可成V形坡口批掉并补焊。如必要，有裂纹的板应割换。 2、应避免扶强材端部的过度应力集中。

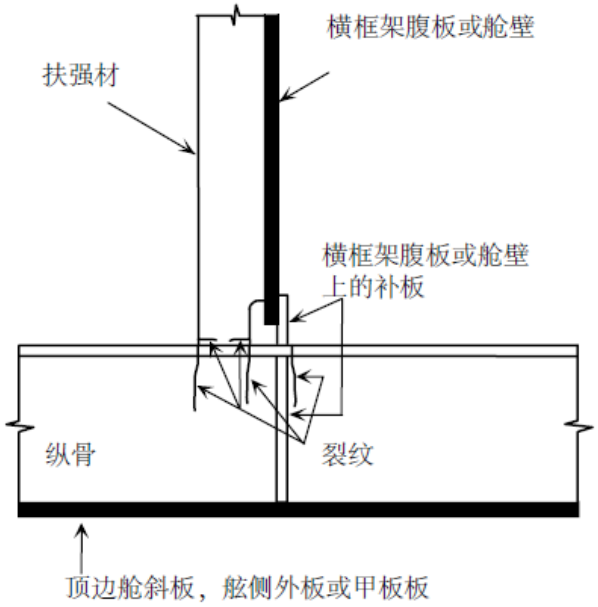
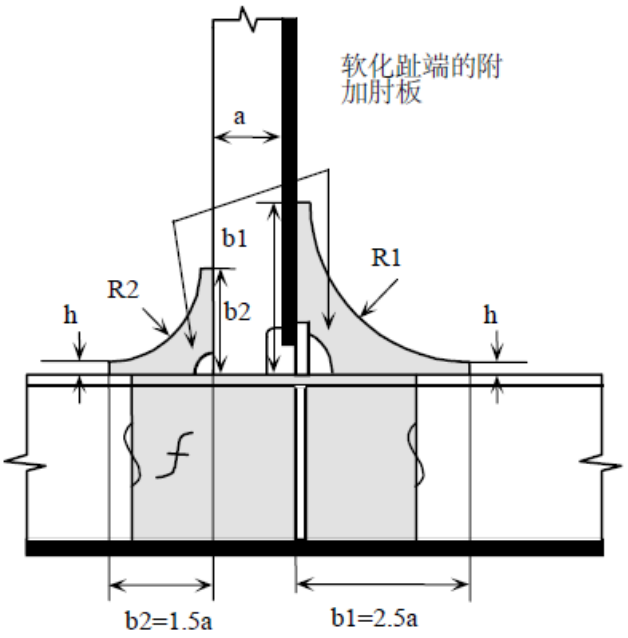
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	4-a
损坏细节	横框架腹板开口处裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	 （注）在切口高度大于0.4 倍的腹板高度（0.4d）和高剪切应力区域应安装全补板
可能的损坏原因说明 1、由于切口过大产生局部剪切应力集中而导致损坏。 2、焊接缺陷（甲板纵骨与扶强材间的角焊缝）。	修理说明 1、割除并局部换新腹板。 2、采用补板封闭开口或间隔安装全领板。

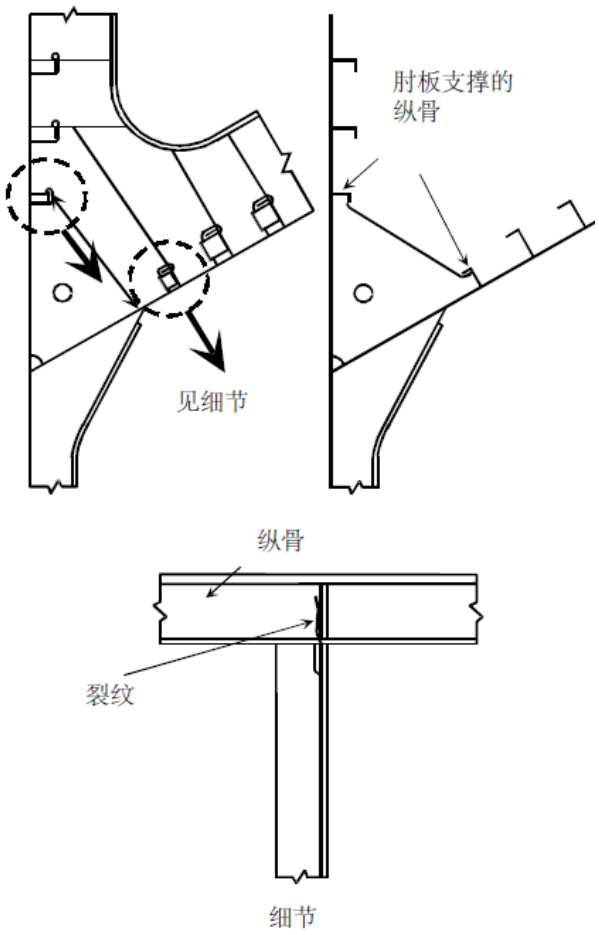
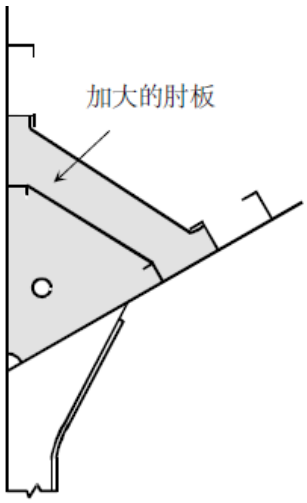
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	4-b
损坏细节	横框架腹板开口处裂纹和屈曲	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、损坏是由普遍腐蚀和由于存在开口产生应力集中而引起的。	修理说明 1、如果是重大裂纹，应将其割除并局部换新板材；如果不是，且板材没有总体腐蚀，可将裂纹成V形坡口批掉并焊接。 2、修理A 考虑采用耳板。 3、修理B 在切口高度大于0-4 倍腹板高度并位于高剪应力区域或者耳板修理证明无效时应考虑采用领板修理。

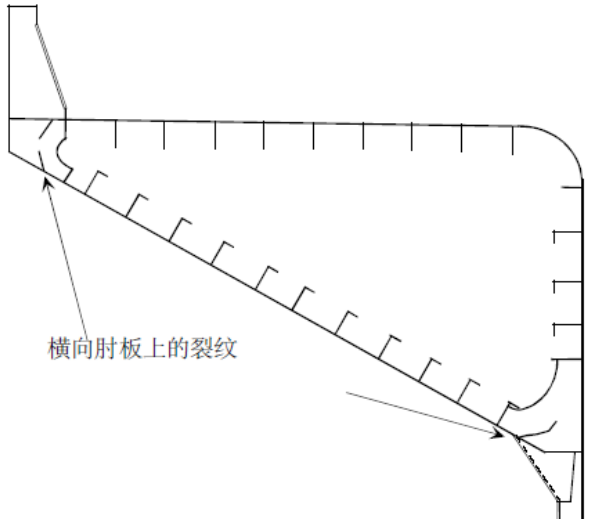
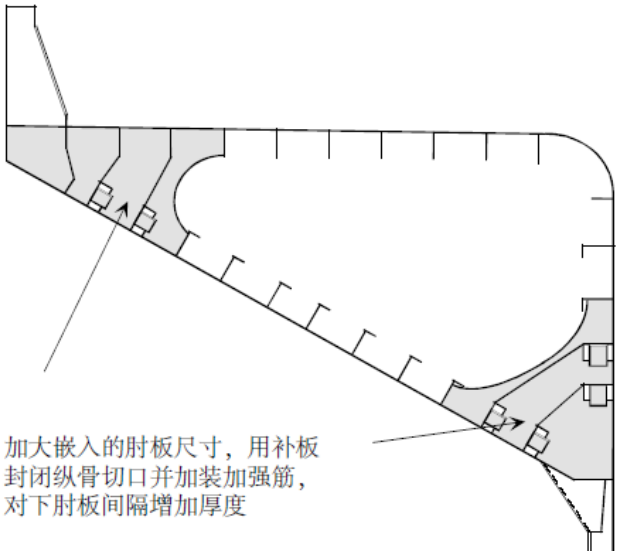
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	5
损坏细节	在横桁腹板或舱壁处纵骨上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	 如需要时，纵骨切换并局部换新 1、趾端最大倾斜度为1:3， R1=(b1-h)x1.6 和R2=(b2-h)x1.6。 2、软化趾端肘板应先与纵骨焊接。 3、肘板的过焊孔应尽可能小，建议最大为35mm。 4、如肘板趾端被打磨光顺，在该处应进行全焊透焊接。 5、未加强的肘板边缘的最大长度与厚度比为50:1。 6、趾端高度尽量小(10-15mm)。
可能的损坏原因说明 1、损坏是由导致该区域加速疲劳的应力集中导致。	修理说明 1、若裂纹延伸超过纵骨高度的1/3,应将其切除并局部换新。若未超过，可将其成V形批掉并焊接。

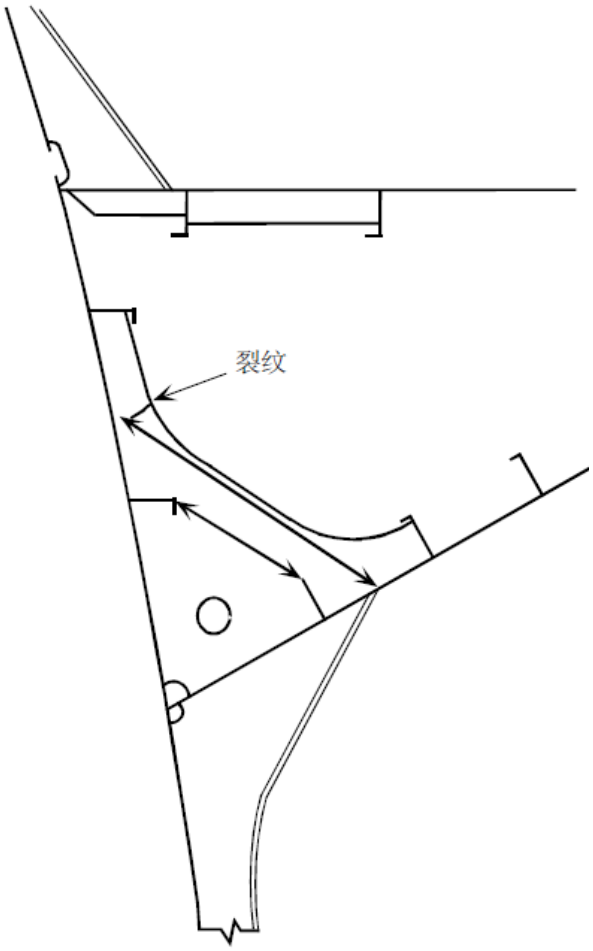
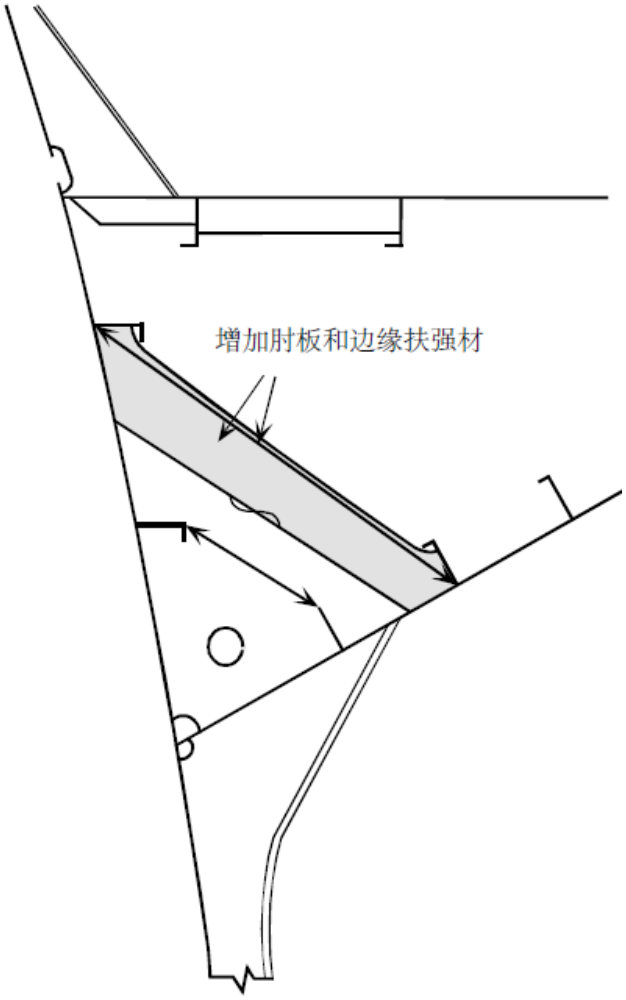
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	6
损坏细节	在横框架处最低一根纵骨上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 l、构件尺寸的抗扭刚度不足(最低纵骨通常由如上所示的肘板支撑而采用小尺寸。但最低纵骨通过肘板遭受来自舷侧肋骨的扭力而可能产生裂纹。	修理说明 1、裂纹部分应割换。 2、肘板尺寸应加大。

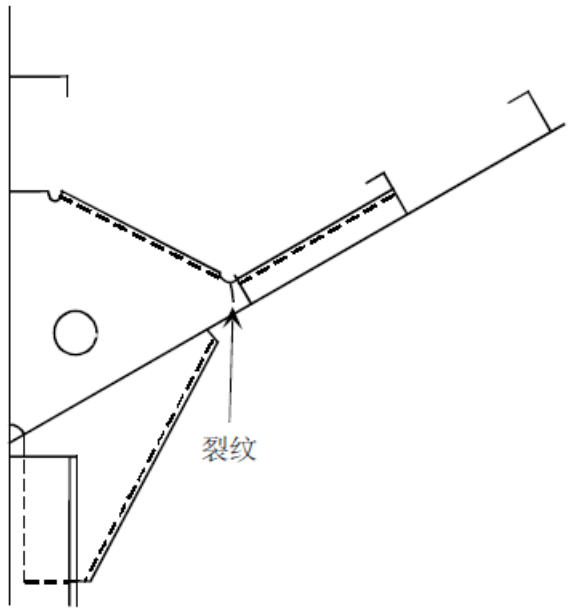
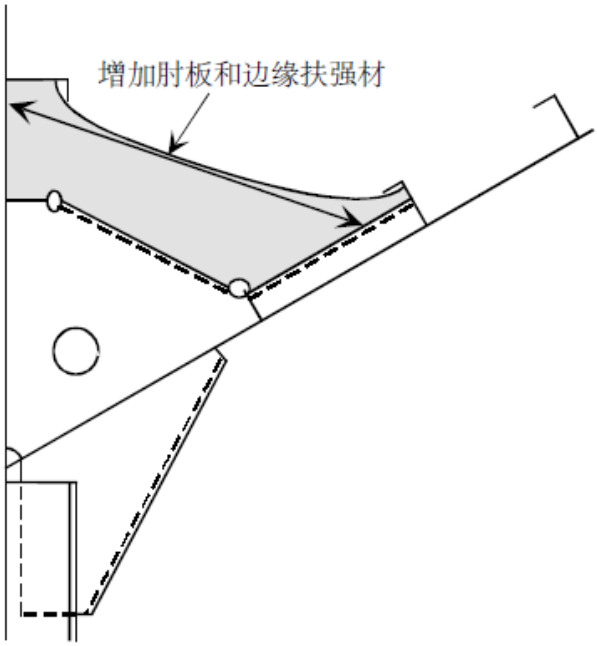
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	7-a
损坏细节	横向肘板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、普遍腐蚀和存在应力集中。 2、肘板与相邻结构不对中，如与舷侧肋骨肘板和/或舱口围板肘板不对中。 3、由于肘板尺寸不够而产生的高剪切应力。 4、偶然性的超载。	修理说明 1、如果损坏是由舷侧肋骨肘板或舱口围板肘板不对中引起，应予以校正。如果认为必要，可用大肘板代替原肘板。

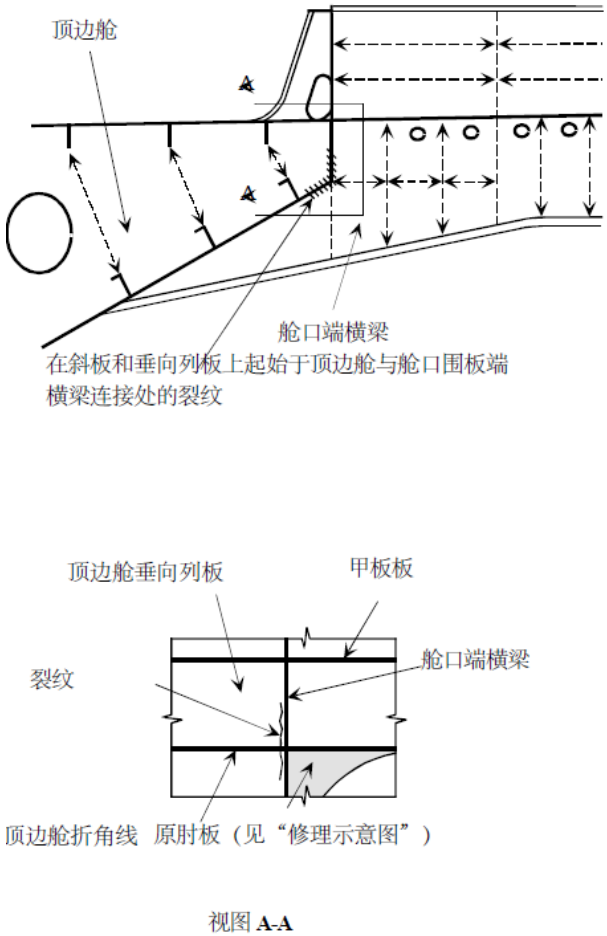
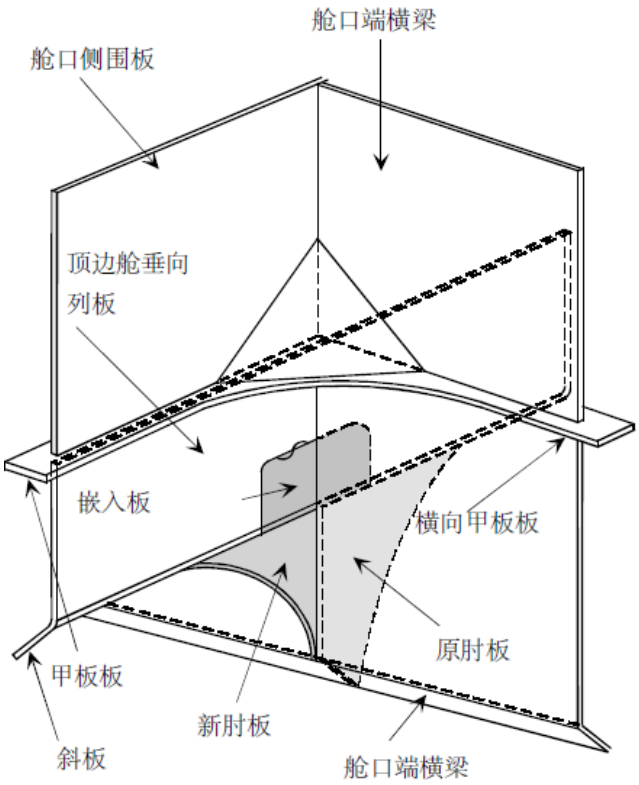
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	7-b
损坏细节	横向肘板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、强度不足。 2、腐蚀。	修理说明 1、裂纹部分应割换。 2、如果裂纹部分没有腐蚀，应考虑增加构件尺寸和厚度。根据裂纹的性质，可采用肘板部分换新的方法。

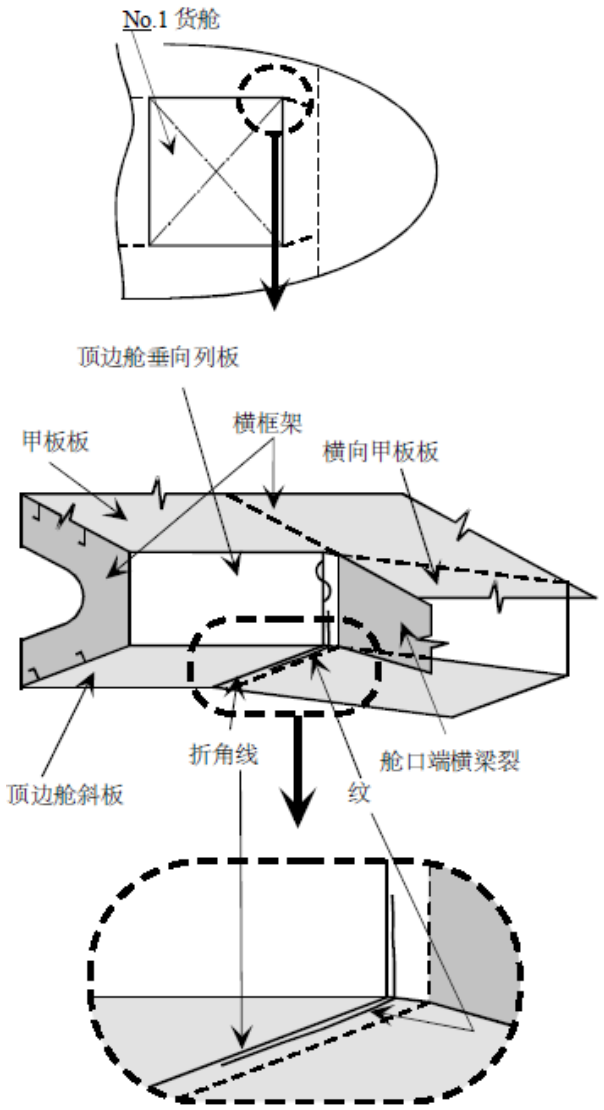
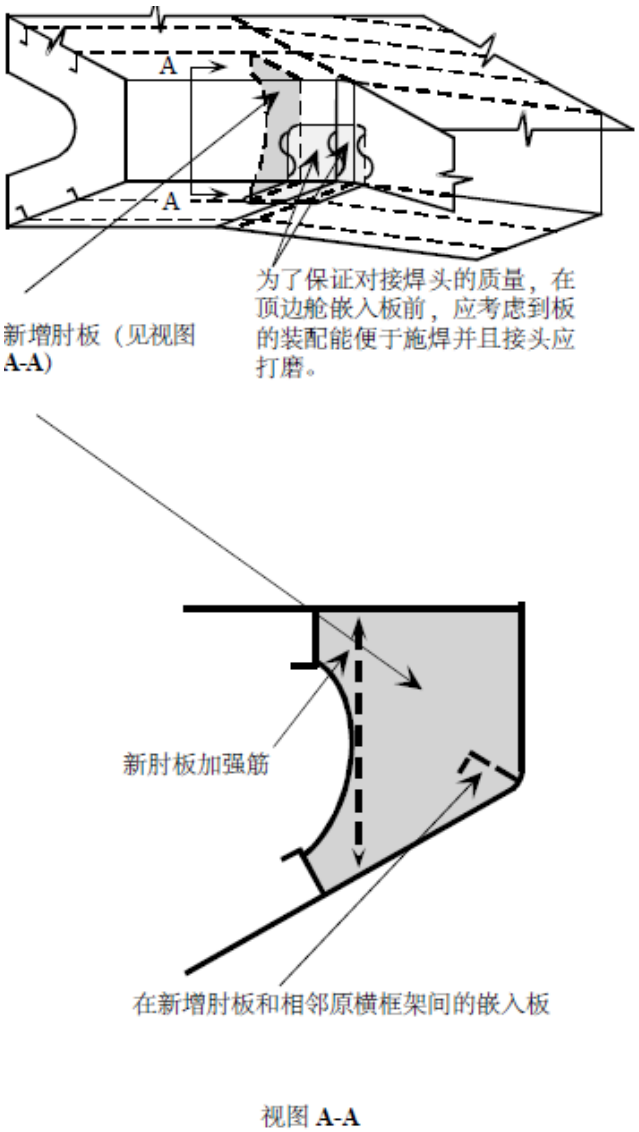
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	7-c
损坏细节	横向肘板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于肘板形状而引起的应力集中。	修理说明 1、有裂纹的焊缝应成V形批掉并焊接。

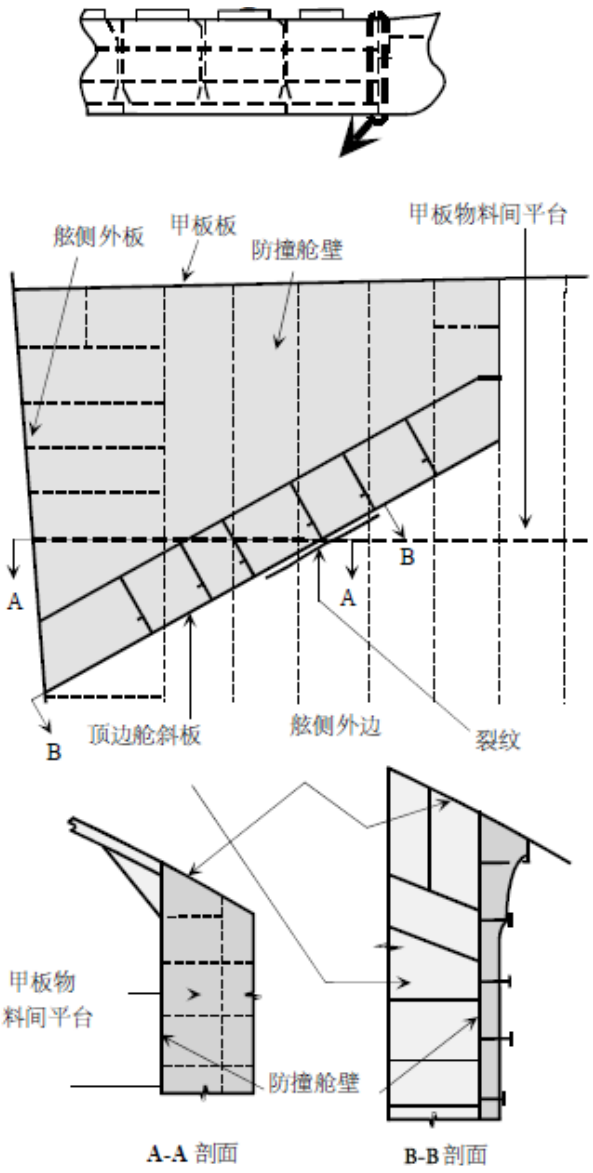
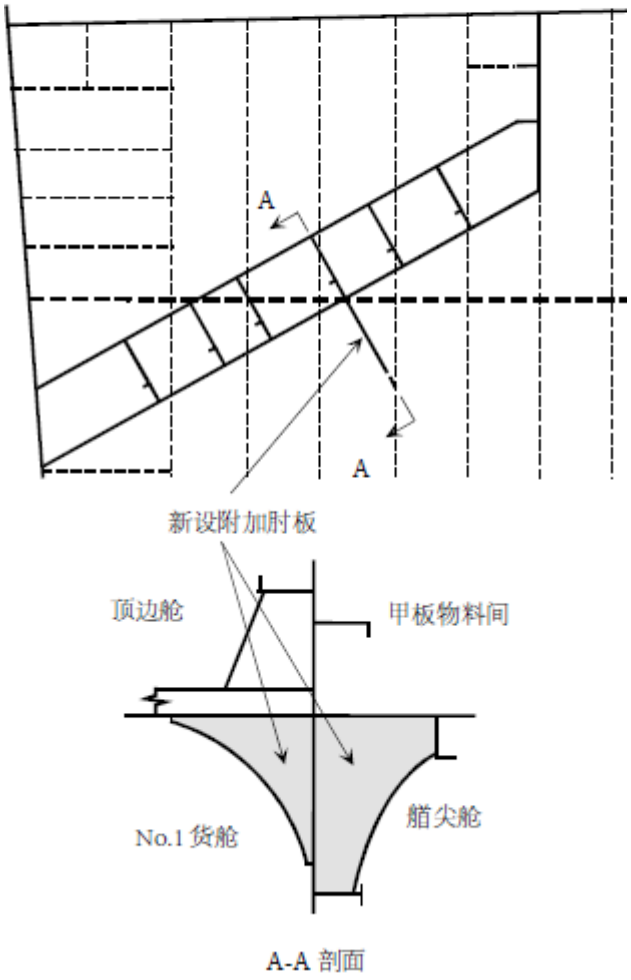
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	8
损坏细节	在斜板和垂向列板上起始于顶边舱与舱口端横梁连接处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、舱口端横梁与顶边舱连接处的应力集中。	修理说明 1、裂纹部分应割除并换新加厚板。 2、应考虑用增加肘板加强。

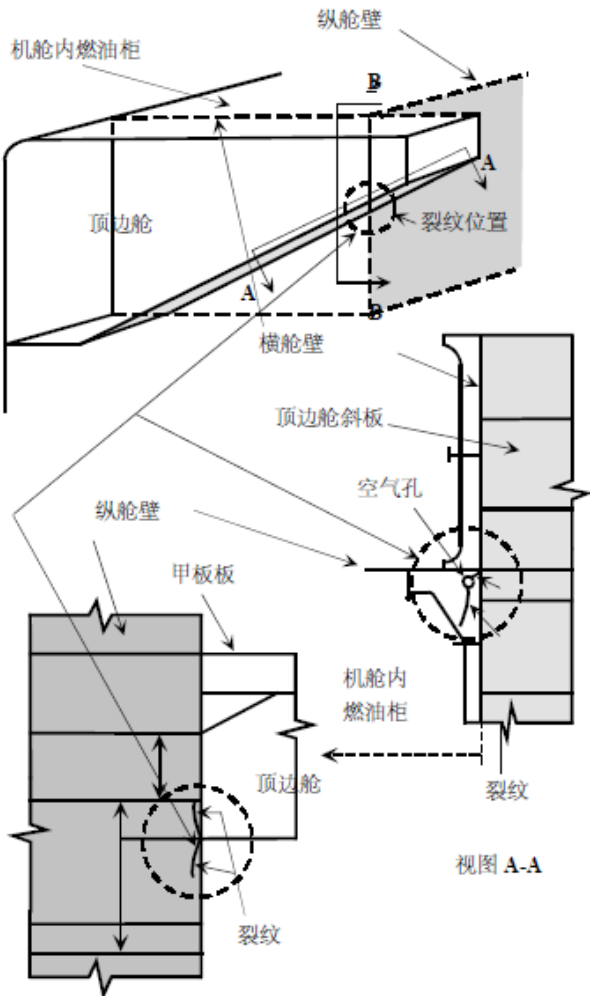
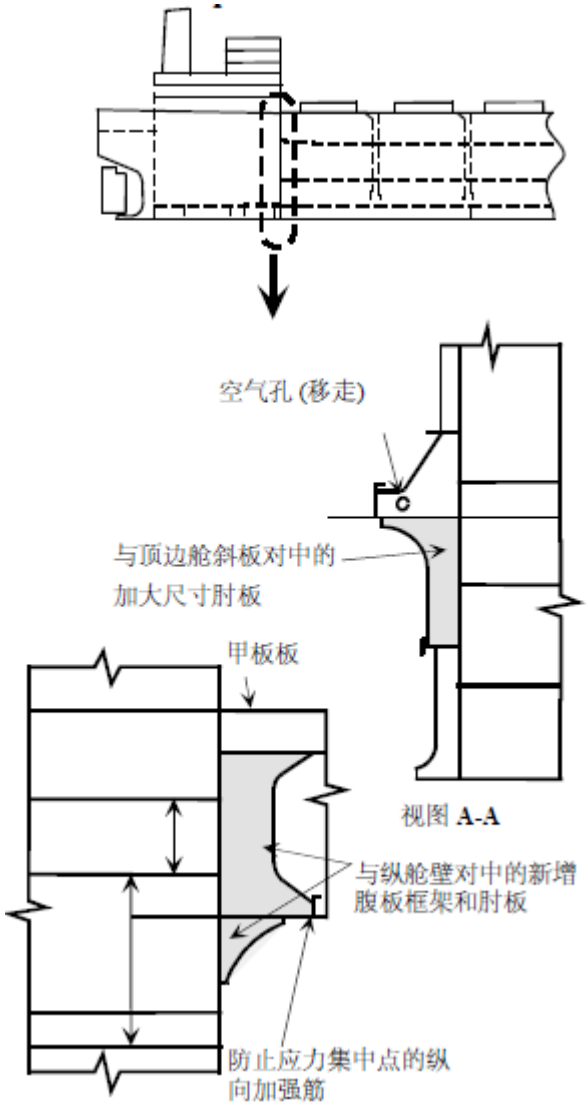
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	9
损坏细节	斜板折角处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、强度不足。 2、折角引起的附加应力。	修理说明 1、折角处应适当加强。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	10
损坏细节	防撞舱壁与首货舱顶边舱结构相交处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、损坏是由于顶边舱斜板和甲板部物料间甲板板(艏尖舱顶板)相交处应力集中点所致。	修理说明 1、产生裂纹的板应割换。 2、应考虑减小应力集中(在两侧安装肘板进行加强)。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域2	顶边舱结构	11
损坏细节	机舱前壁与尾货舱顶边舱结构相交处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、损坏是由于顶边舱斜坡板和机舱内燃油柜相交处应力集中点所致。	修理说明 1、必要时割换有裂纹的板并据上图阴影进行加强。空气孔位置应重新布置。

区域 3 货舱舷侧结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题一内部检查

2.1 材料蚀耗

2.2 变形

2.3 裂纹

3 应予注意的问题一外部检查

3.1 材料蚀耗

3.2 变形

3.3 裂纹

4 关于修理的一般性建议

4.1 材料蚀耗

4.2 变形

4.3 裂纹

图和/或图片一区域3	
序号	项目
图1	舷侧肋骨一潜在问题区域
图2	舷侧肋骨的损坏一潜在问题区域
图3	舷侧肋骨上具有代表性的测量点位置一潜在问题区域
图4	过渡区域一潜在问题区域
图5	舷侧肋骨的均匀腐蚀
图片1	舷侧肋骨坍塌
图片2	舷侧外板丢失

结构细节缺陷和修理实例…区域3	
例	项目
1-a	肋骨端部肘板裂纹
l-b	舷侧肋骨肘板趾端处裂纹
2	舷侧肋骨肘板趾端处裂纹
3	在底边舱斜板附近舷侧肋骨/下肘板和外板上的裂纹
4	舷侧外板变形
5	最前/后货舱内肋骨腐蚀的不利影响

6	首货舱舷侧外板的屈曲和裂纹
7	防撞舱壁区域支撑肘板上的裂纹
8	货舱内未安装抗拍击舷侧纵桁时防撞舱壁区域支撑肘板上的裂纹
9	防撞舱壁后侧连接顶边舱和底边舱的围壁通道水平隔板处的裂纹
10	在最后货舱内机舱前壁处连续/延伸肘板上的裂纹

1. 概述

1.1 当船体在恶劣海况下遭受波浪载荷和其他动载荷时，形成货舱外部边界的舷侧外板除了承受船体梁剪切应力外，还是防止海水涌入/漏入船体内的第一道防线。因此舷侧结构的完整性对船舶的安全是至关重要的，在检验和检查中应特别注意。

1.2 停泊时船舶和码头的碰撞以及货物装卸过程中货物、装卸设备的撞击使舷侧结构容易损坏。

1.3 所载货物的特性（如从海水中装运的潮湿木材和某些种类的煤）和海洋环境会导致涂层的恶化和板材、扶强材的严重腐蚀，这使船舶结构在恶劣天气时更易损坏。

1.4 散货船（尤其是大型散货船）装运多种货物，其中常见的货物之一是煤。某些种类的煤含有硫杂质，硫与水反应会产生硫酸，如果船舶结构没有使用合适的涂层并正确保养，它能使结构产生严重的腐蚀。

1.5 由于结构的不连续性，船舶艏艉端过渡区域的船体结构易产生应力集中。

舷侧外板承受的波浪拍击、纵向结构的不连续性以及舷侧结构的细长线型和柔性使得过渡区域的结构更容易产生裂纹。

1.6 图1-4所示为潜在问题区域的总结，图片1-2为舷侧结构损坏的例子。

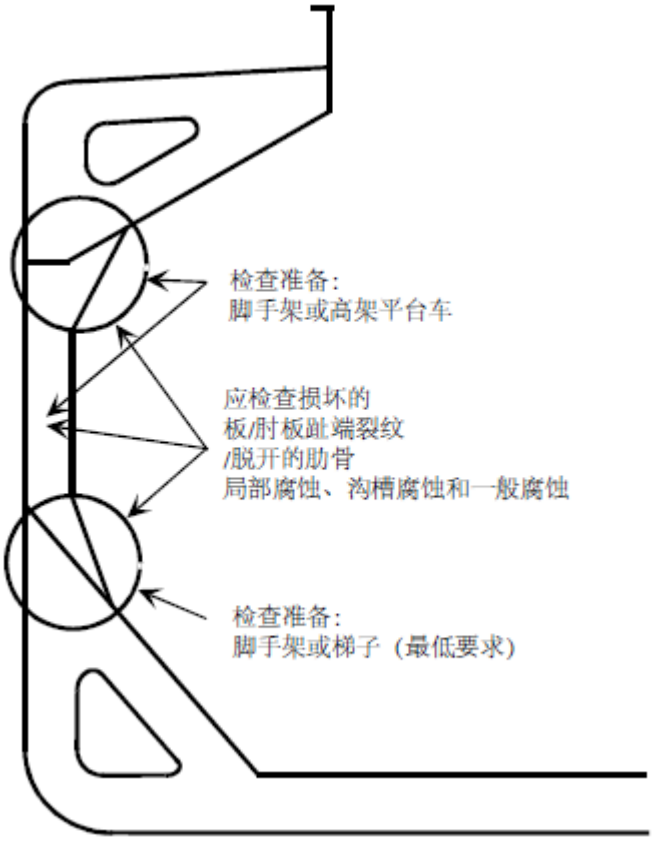
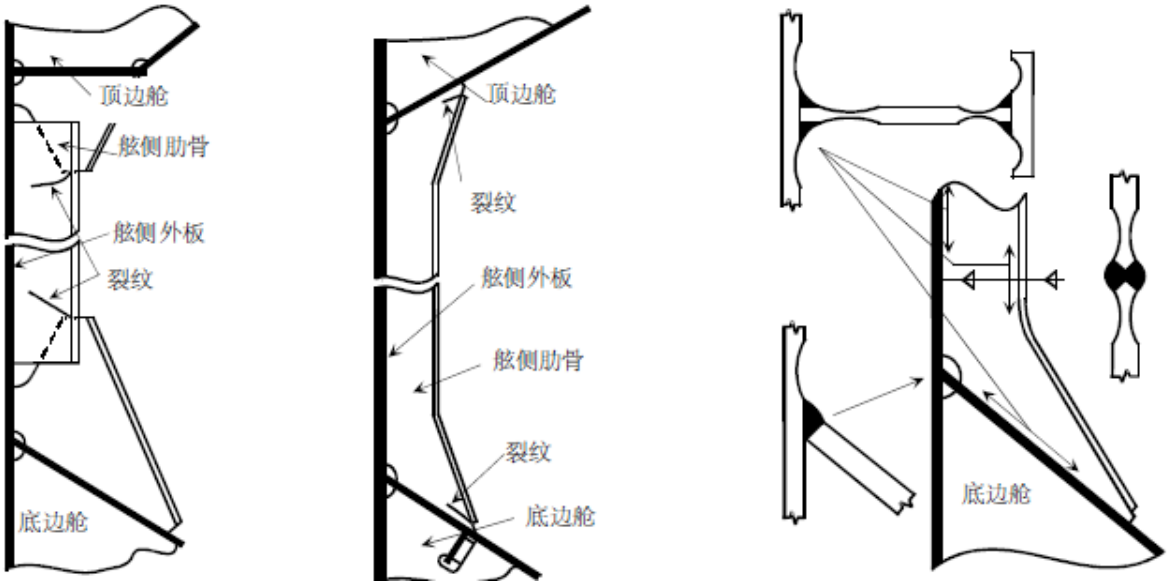


图1 舷侧肋骨一潜在问题区域



(a) 分离式肘板结构形式实例　(b) 整体式肘板结构形式实例　(c) 凹槽腐蚀

图2 舷侧肋骨的损坏—潜在问题区域

（注）所采用的肘板结构形式在很大程度上决定着裂纹的位置和程度。采用分离式肘板结构形式时，裂缝位置一般在肋骨的肘板趾端处；采用整体肘板结构形式时，裂缝位置一般在底边舱和顶边舱的肘板趾端处。

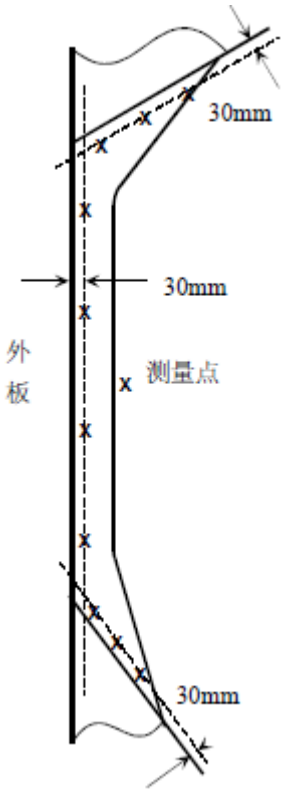


图3 舷侧肋骨上具有代表性的测量点位置—潜在问题区域

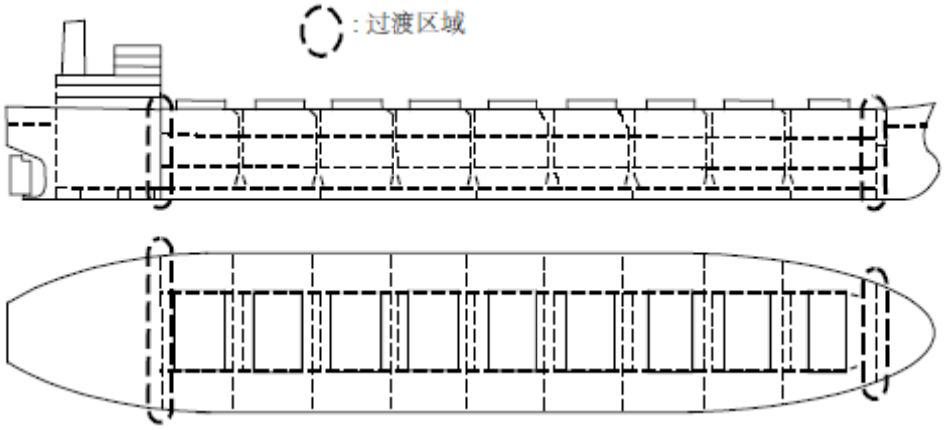


图4 过渡区域—潜在问题区域



图片1 舷侧肋骨坍塌



图片2 舷侧外板损坏（参见例4、例5)

2. 应予注意的问题一内部检查

2.1 材料蚀耗

2.1.1 舷侧肋骨可能看不出明显的减薄和变形，但事实上由于厚度减薄其强度已极大的减弱。检查应在清除锈皮和堆积的锈渣后进行。为了评定结构状况，尤其在均匀腐蚀状况下，必须进行测厚。（见图5）

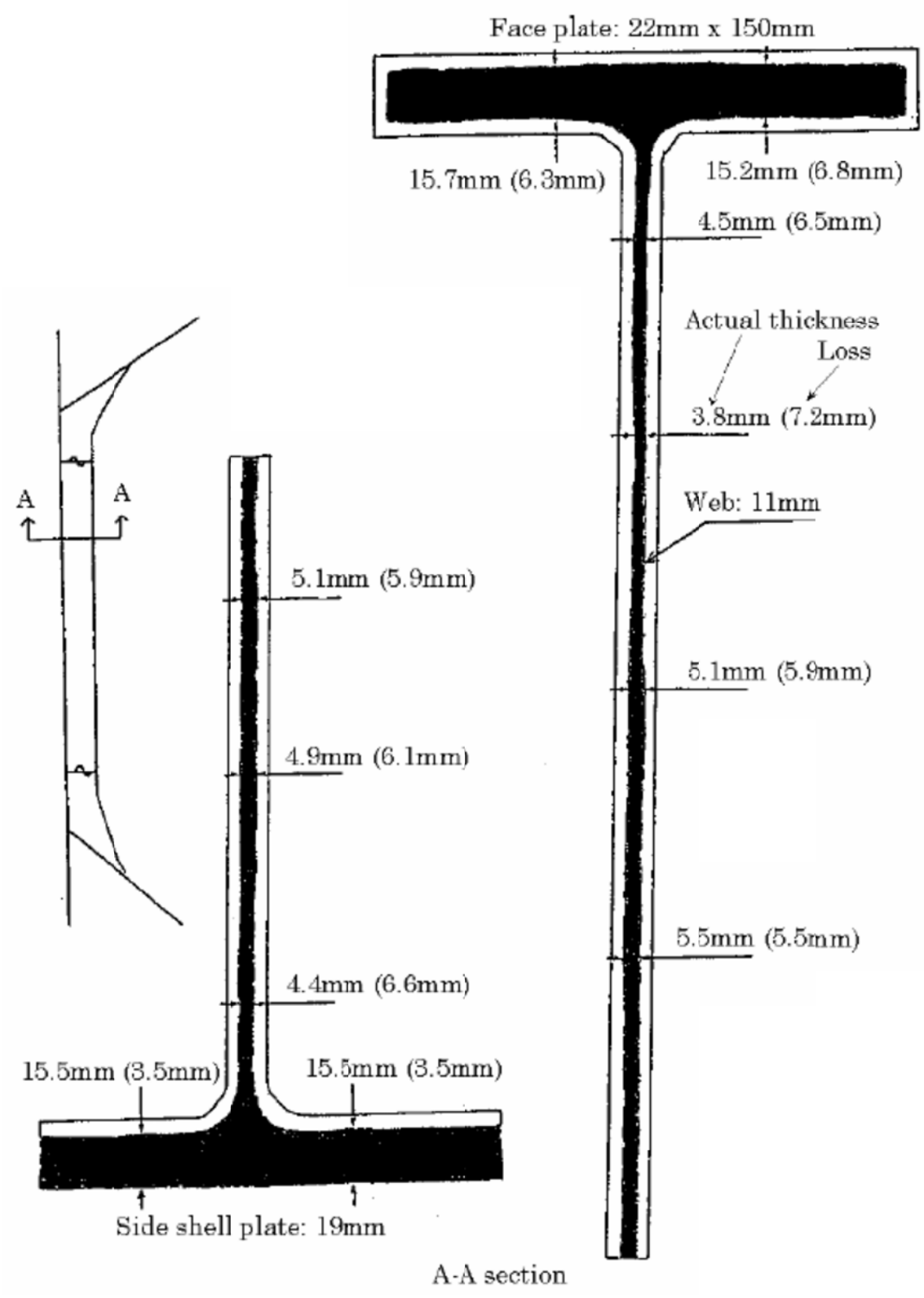


图5 舷侧肋骨的均匀腐蚀

2.1.2 通常在没有涂层的舷侧肋骨及其端部连接处会产生较严重的局部腐蚀，且靠近舷侧外板的腹板厚度损失远远大于靠近面板的腹板厚度损失，因此代表性测厚点应选在图示区域（见图3）。在这种情况下，若不进行修理会导致外板失掉支承而产生较大的船内挠度，在很多情况下，能使舷侧外板产生裂纹及肋骨腹板产生裂纹和屈曲，并最终导致肋骨端部肘

板从顶边舱和底边舱斜板上脱开。

2.1.3 前/后货舱内肋骨的严重腐蚀和可能出现的腐蚀凹槽，以及此处斜板的斜向安装会导致外板的裂纹和屈曲，见例5。

2.1.4 点腐蚀可出现在检验前需去除的涂层气泡之下。

应注意即使肋骨的上部和/或下部未被蚀耗，肋骨的中部也可能被蚀耗。

下列各项应予以考虑（并可作为验船师核对用清单）：

* 每个货舱的货舱肋骨尺寸图和允许的腐蚀极限

* 货舱肋骨的修理记录

* 以往的测厚报告

* 货舱肋骨的腐蚀通常等于或大于货舱横舱壁的腐蚀

* 注意所载货物的记录，特别是煤或类似腐蚀性货物的记录

* 以往涂层的记录

* 安全的检验设施（脚手架/高架车/活动梯等）

外观检验应考虑到：

* 面板的缩小可指示腹板上的腐蚀程度

* 腹板厚度可根据过焊孔的边缘状况进行评定

* 腹板，外板和热影响区之间的角焊

* 腹板，面板和热影响区之间的角焊

* 上肘板和顶边舱之间以及下肘板，舭斜边舱和热影响区之间的角焊

* 腹板上下部分的过焊孔

100,000载重吨及以上的散货船的经验显示No.3货舱的舷侧肋骨更易于损坏。因此，建议特别考虑该货舱内的舷侧肋骨。

2.2 变形

2.2.1 当卸货时使用抓斗、推货机或装载圆木时，肋骨的下部将会受到某种程度的损坏。这种损坏既可能是肋骨肘板面板的损坏，也可能是数根肋骨的较大变形，且在某些情况下导致裂纹。某些个别肋骨和肘板一旦失去作用将会给邻近的肋骨施加附加载荷，根据“多米偌”效应，在很多情况下，其缺陷能扩大至整个货舱的舷侧结构。

2.3 裂纹

2.3.1 裂纹在上、下肘板的趾端或肘板与肋骨的连接处较为明显。在很多情况下，裂纹的产生是由应力集中和波浪载荷引起的应力变化所致，而应力集中是由于不良设计/或不良工艺引起的。局部疲劳裂纹，或许与局部腐蚀有关，往往很难查明，因此强调在定期检验时，

应特别注意这些区域。

2.3.2 装货压载两用舱的周界比其它货舱的周界更容易产生裂纹，这些区域应进行近观检验。

2.3.3 近观检验时经常能发现防撞舱壁和机舱前壁处的船壳板和支撑或连续/延伸肘板上的裂纹。

3. 应予注意的问题一外部检查

3.1 材料蚀耗

3.1.1 舷侧外板腐蚀的总体状况可以在码头侧对水线上区域进行近观检验来评定，尤其应注意涂层恶化的区域。

3.2 变形

3.2.1 应仔细检查有可能产生变形的舷侧外板。水线下的舷侧外板通常只有船舶在干坞内时才能检查，因此当船舶在坞内时，应特别注意有可能的变形。当发现外板变形时，应检查该区域的内部结构，因为即使外部显示较小变形，内部结构也可能有较大损坏。

3.2.2 由于船体线型造成的艏部外板在船长方向上的曲度变化，以及外载荷（如静、动水压力）引起的外板压应力，使最前货舱的舷侧外板容易产生屈曲。由于舷侧外板为高强度钢或因腐蚀而减薄，使其易产生届曲，并沿着防撞舱壁或舷侧肋骨产生裂纹。

3.3 裂纹

3.3.1 在干坞内检查时，在压载舱区域水线上下的外板裂纹可以通过潮湿区域与周围干燥外板的对比来探测。

4. 关于修理的一般性建议

4.1 材料腐蚀

4.1.1 一般而言，如果货舱肋骨和/或其端肘板已经腐蚀至允许最低极限，则受影响的区域应割换。然而，如果肋骨/肘板的剩余截面积勉强保持在允许极限内，验船师应要求将受影响的肋骨和其端肘板换新。必须保证端肘板与底边舱和顶边舱内部结构的对中，且建议修理区域涂以保护涂层。

4.1.2 如果区域的点腐蚀密度低于15%（见图6），大于原厚度1/4的点腐蚀可焊至与原表面同平。

如果深坑聚集在一起或剩余厚度小于6 mm，板应通过板插入而不是焊接修理来更新。

4.2 变形

4.2.1 根据变形的程度，可通过就地校正或割换受影响结构，将结构恢复到初始形状和位置。

4.3 裂纹

4.3.1 因为结构部件是相互依赖的，舷侧外板、肋骨及其端肘板的所有裂纹和其它重大损坏，

即使是局部的，也应修理。

4.3.2 防撞舱壁、深舱壁和机舱壁的支撑肘板和连续/延伸肘板的裂纹部分应割换，并考虑修改肘板形状和尽可能的延伸肘板以减少应力集中，而且损坏肘板区域的受影响外板也应割换。

4.3.3 货舱周界处裂纹的修理应考虑修改结构、增加构件尺寸和提高材料钢级等，以防止裂纹的再次发生。

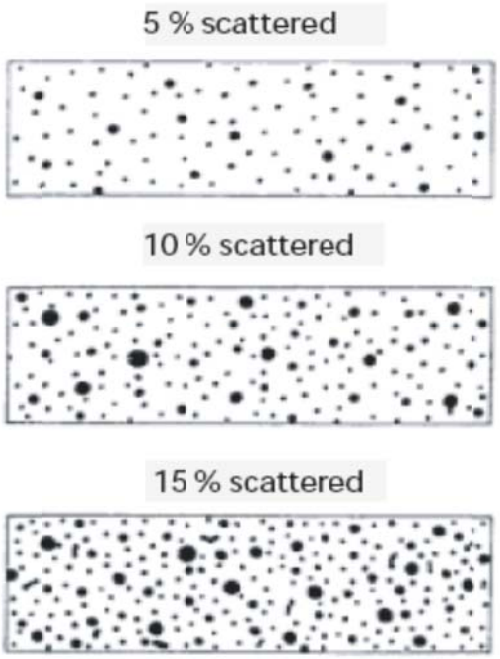
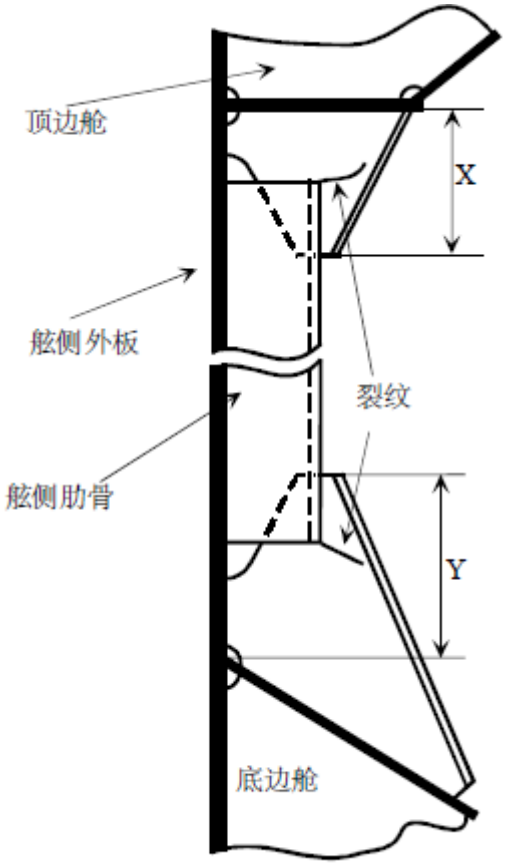


图6 点腐蚀密度图（密度从5%至15%）

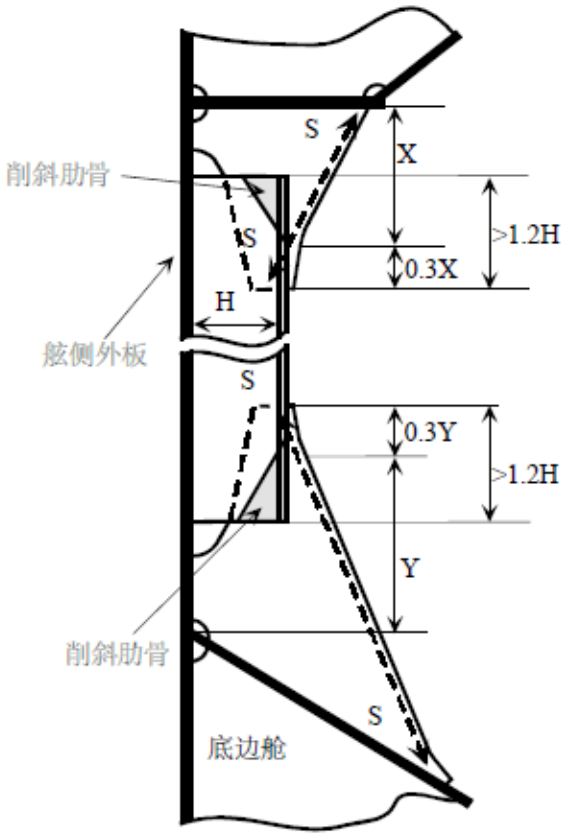
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	1-a
损坏细节	肋骨端部肘板裂纹	

损坏示意图



分离式肘板结构

修理示意图



S=削斜端

可能的损坏原因说明

1、这种类型的损坏是由应力集中引起的。

修理说明

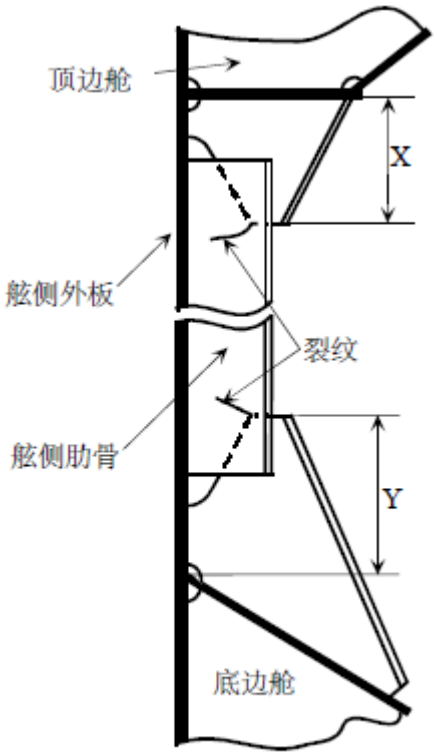
1、对诸如发裂等细小裂纹，可以成“V”型坡口批掉、打磨、焊接并进行无损探伤检查。

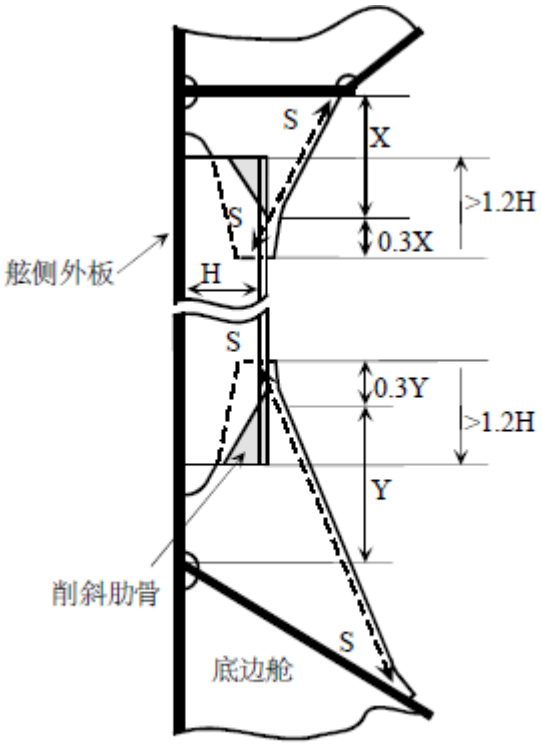
2、对大的/明显的裂纹应考虑切掉并局部换新/肋骨肘板换新。如换新肘板，肋骨端部可以削斜以达到软化的目的。

3、若慎重起见，在肘板的界面处，应综合考虑软趾和边舱结构。

4、应注意延伸肘板的臂长附近的边舱结构，即安装的加强件应与肘板对中。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南

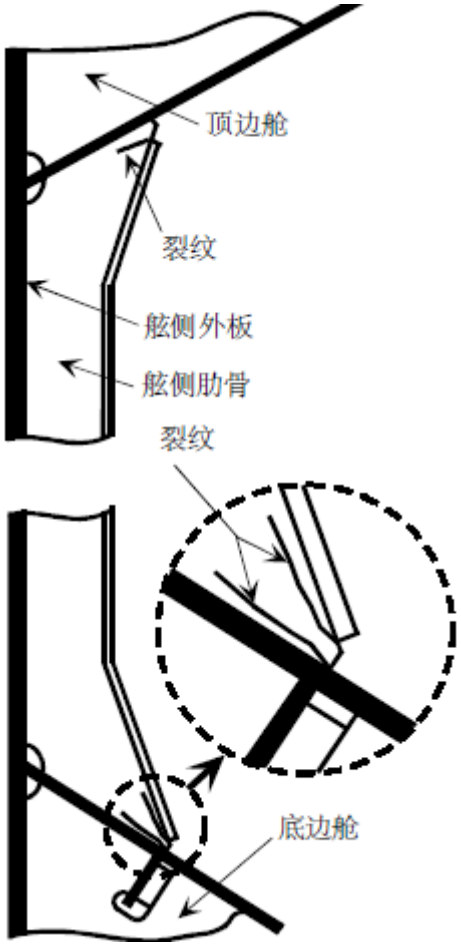
<table>
<tr><td>第一部分</td><td>货舱区域</td><td>例</td></tr>
<tr><td>区域3</td><td>货舱舷侧结构</td><td>1-b</td></tr>
<tr><td colspan="2">损坏细节</td><td>舷侧肋骨肘板趾端处裂纹</td></tr>
<tr><td colspan="2">损坏示意图


分离式肘板结构</td><td>修理示意图


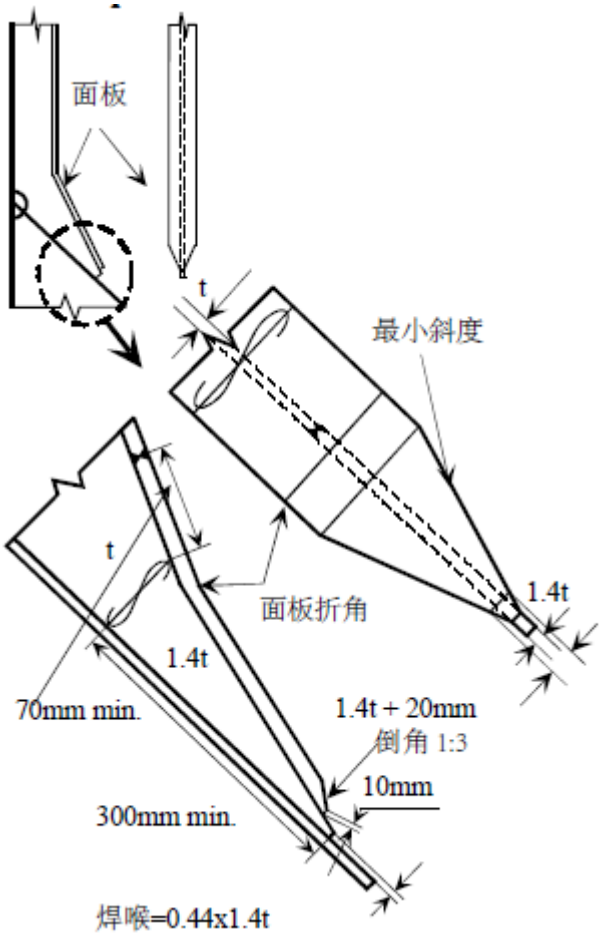
S=削斜端</td></tr>
<tr><td colspan="2">可能的损坏原因说明
1、这种类型的损坏是由应力集中引起的。</td><td>修理说明
1、对诸如发裂等细小裂纹，可以成“V”型坡口批掉、打磨、焊接并进行无损探伤检查。
2、对大的/明显的裂纹应考虑切掉并局部换/肋骨肘板换新。如换新肘板，肋骨端部可以削斜以达到软化的目的。
3、若慎重起见，在肘板的界面处，应综合考虑软趾和边舱结构。
4、应注意延伸肘板的臂长附近的边舱结构，即安装的加强件应与肘板对中。</td></tr>
<tr><td colspan="2">散货船</td><td>船体结构检验、评估及修理指南</td></tr>
<tr><td>第一部分</td><td>货舱区域</td><td>例</td></tr>
</table>

区域3	货舱舷侧结构	2
损坏细节	舷侧肋骨肘板趾端处裂纹	

损坏示意图



修理示意图



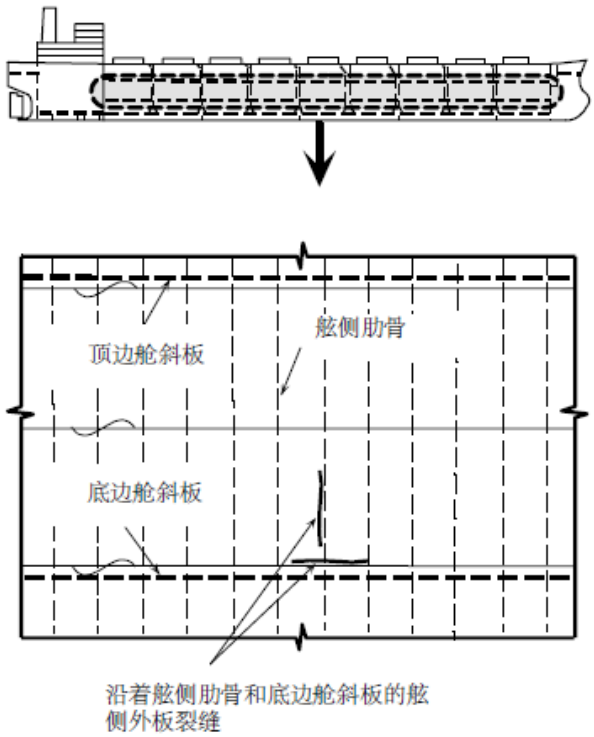
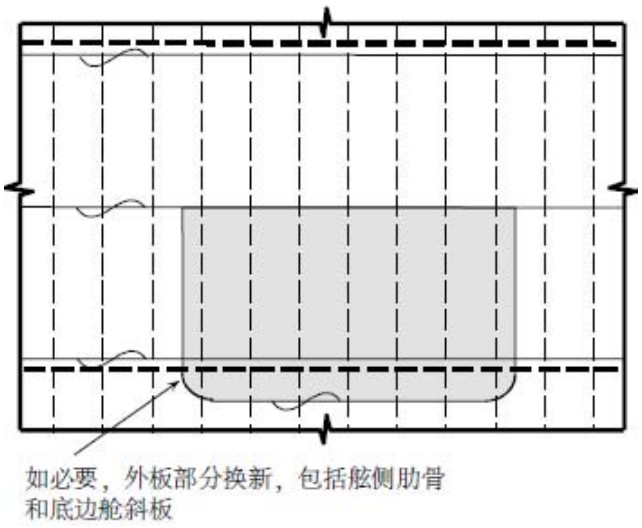
可能的损坏原因说明

1、这种类型的损坏是由应力集中引起的。

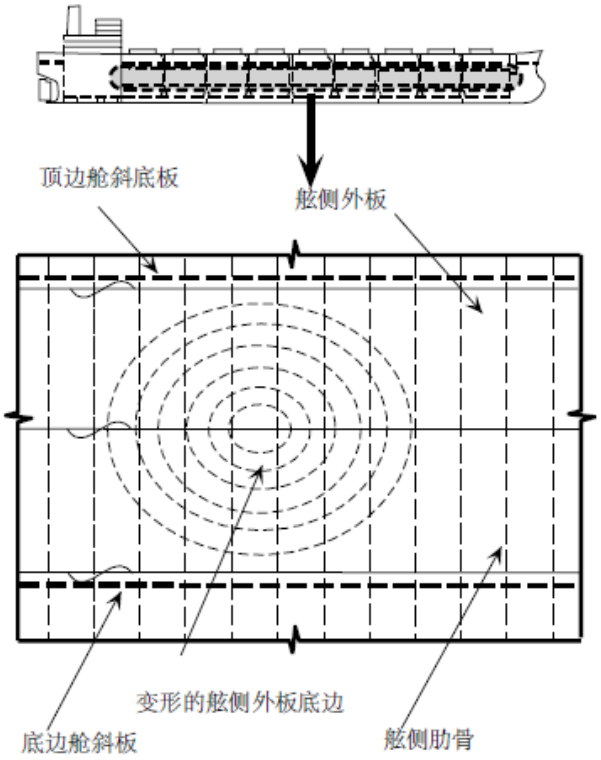
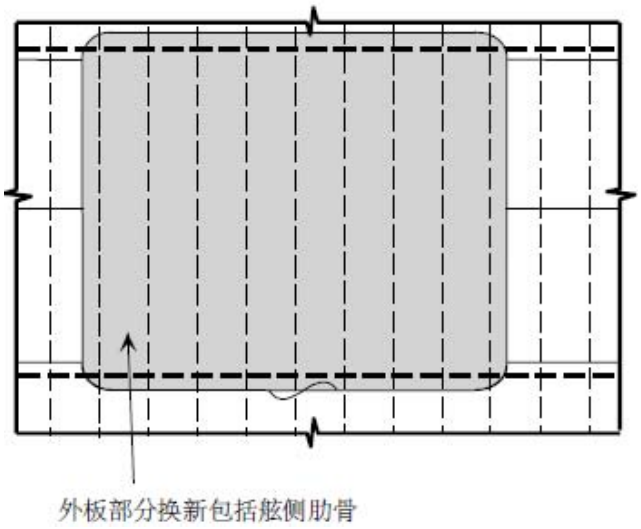
修理说明

1、修理应综合考虑类似于图示之一的设计，并应：
1.1 改变肘板面板角度以增加沿底边舱/顶边舱斜板的肘板臂长，而面板应按1：3的斜率设计。
1.2 在新面板斜削长度范围内，肘板腹板的局部厚度应比原安装的板厚增加40%。
1.3 面板的厚度应按1：3斜率斜削其终端的厚度。
1.4 新肘板趾端的焊接应根据增加的板厚，取0.44焊接系数进行焊接。
2、应注意延伸肘板的臂长附近的边舱结构，即安装的加强件应与肘板对中。

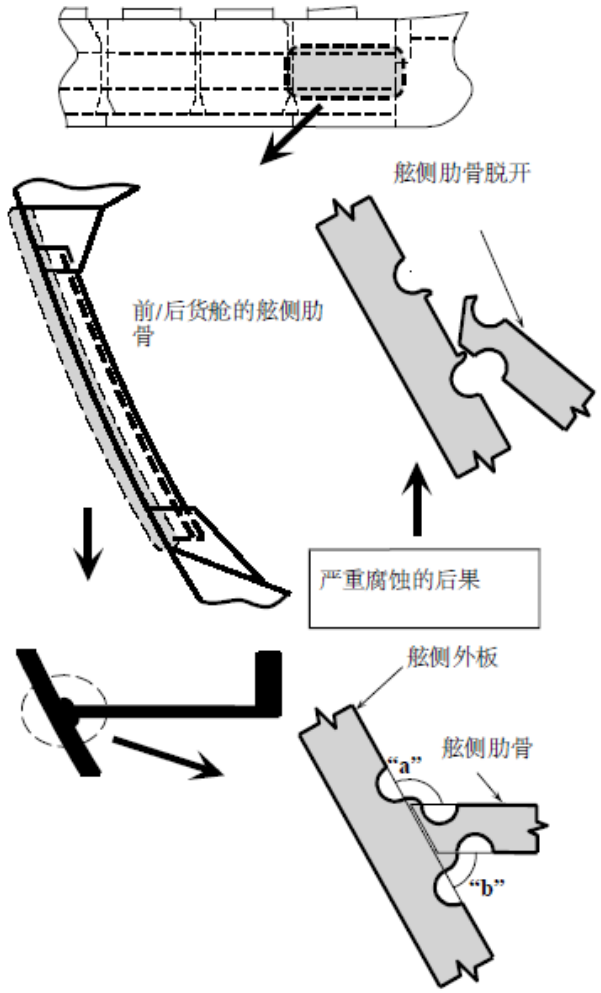
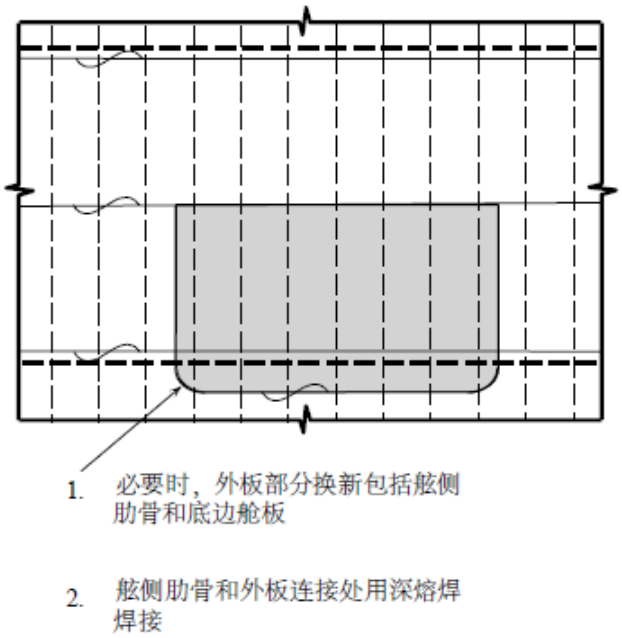
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	3

损坏细节	在底边舱斜板附近舷侧肋骨/下肘板和外板上的裂纹
损坏示意图 	修理示意图 
可能的损坏原因说明 1、严重腐蚀（凹槽形)参见图2(C)。	修理说明 1、当损坏延伸至数个肋骨时应该画出修理示意图。 2、单个裂纹可以成“V”型坡口批掉并进行补焊。 3、单个腐蚀的凹槽可以通过堆焊进行修理。

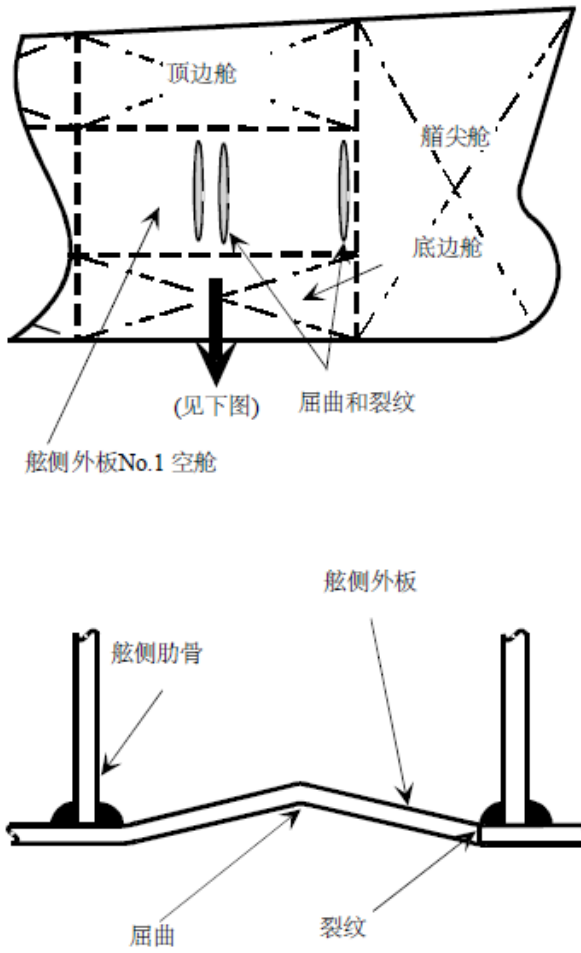
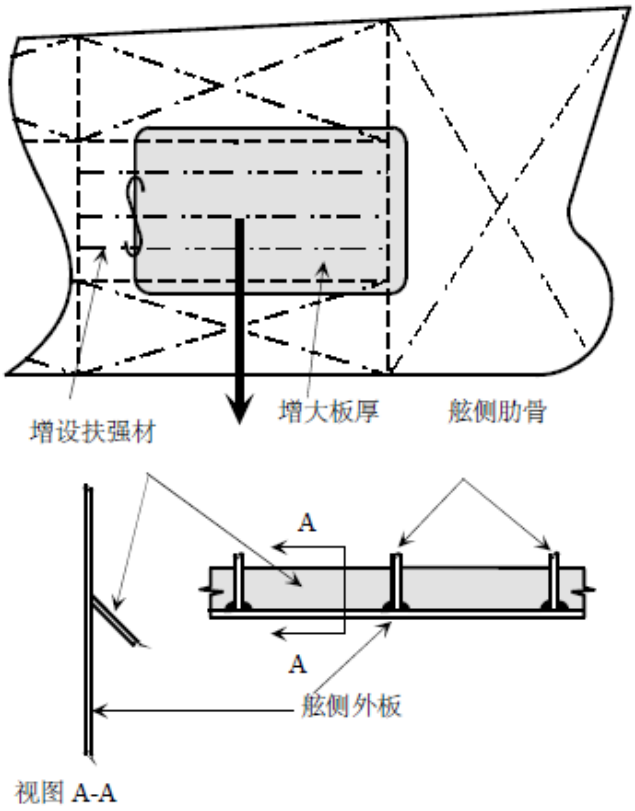
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	4
损坏细节	舷侧外板变形	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于腐蚀，舷侧肋骨失稳和/或与外板脱开导致舷侧肋骨刚性不足。 2、恶劣天气。	修理说明 1、变形的舷侧外板包括肋骨割换。

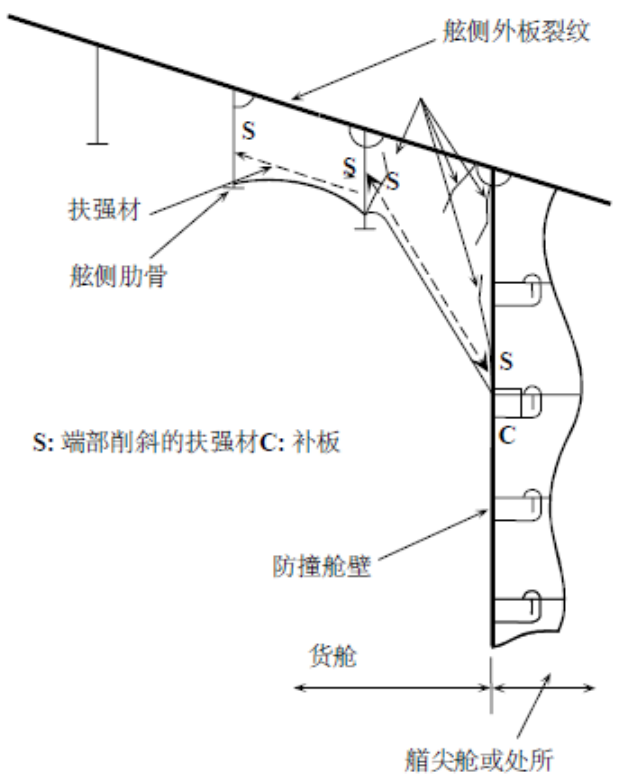
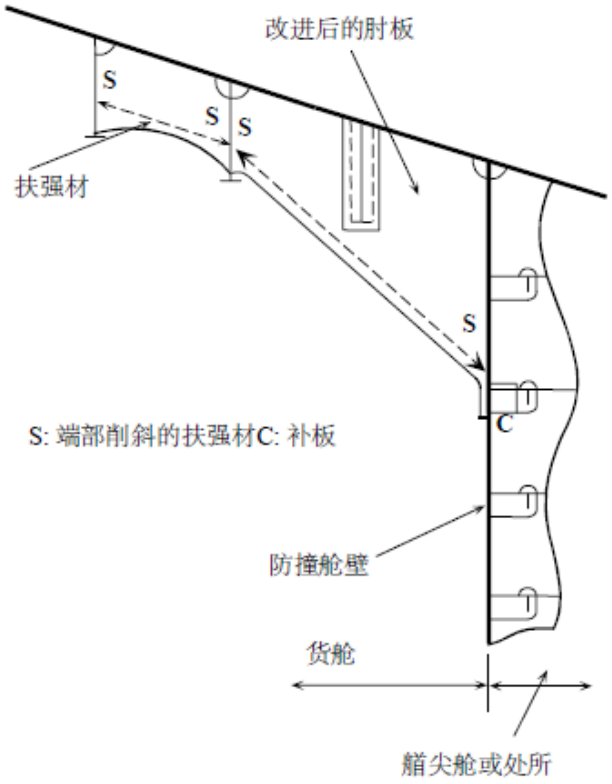
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	5
损坏细节	最前/后货舱内肋骨腐蚀的不利影响	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于舷侧肋骨沿外板连接处的严重腐蚀(凹槽形)和焊喉高度a、b的差异(因为原焊喉高度“a”通常小于“b”，如果运用相同的焊接程序，相同的腐蚀在“a”处会造成更严重的影响，可能导致舷侧肋骨坍塌和/或脱开。	修理说明 1、当数个肋骨损坏时，应画出修理示意图。 2、单个裂纹可以成“V”型坡口批掉并进行补焊。 3、单个腐蚀的凹槽可以通过堆焊进行修理。

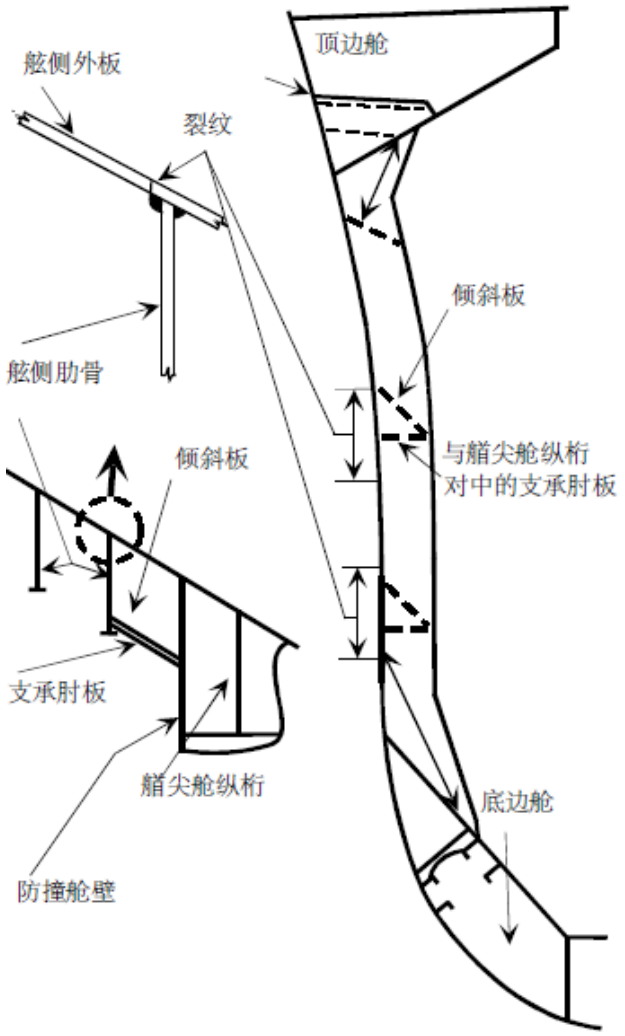
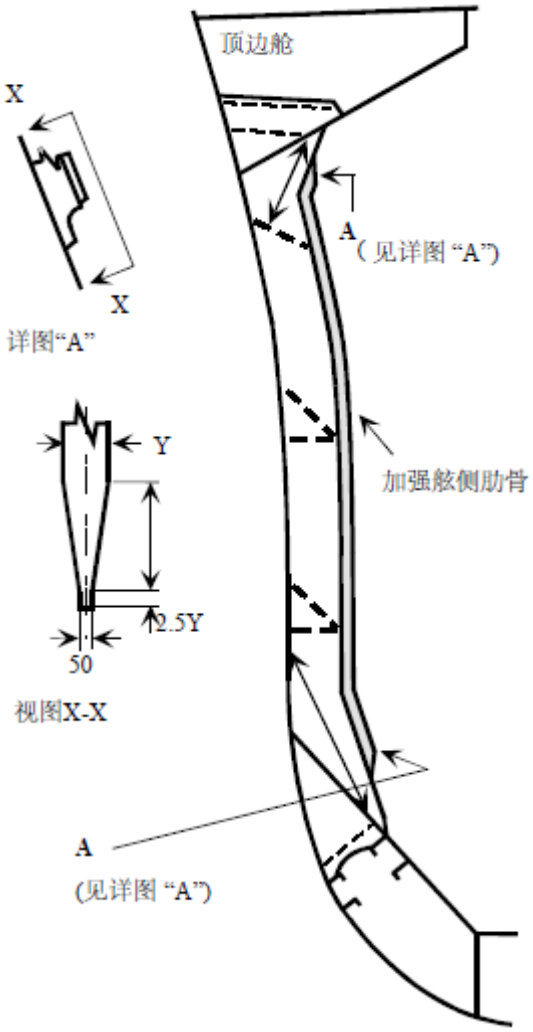
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	6
损坏细节	艏货舱舷侧外板的屈曲和裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、恶劣天气。 2、高强度钢或严重均匀腐蚀导致屈曲强度不足。 3、过度结构不足。	修理说明 1、有屈曲/裂纹的外板需割换。 2、应考虑嵌入加厚板或增设附加扶强材进行加强。

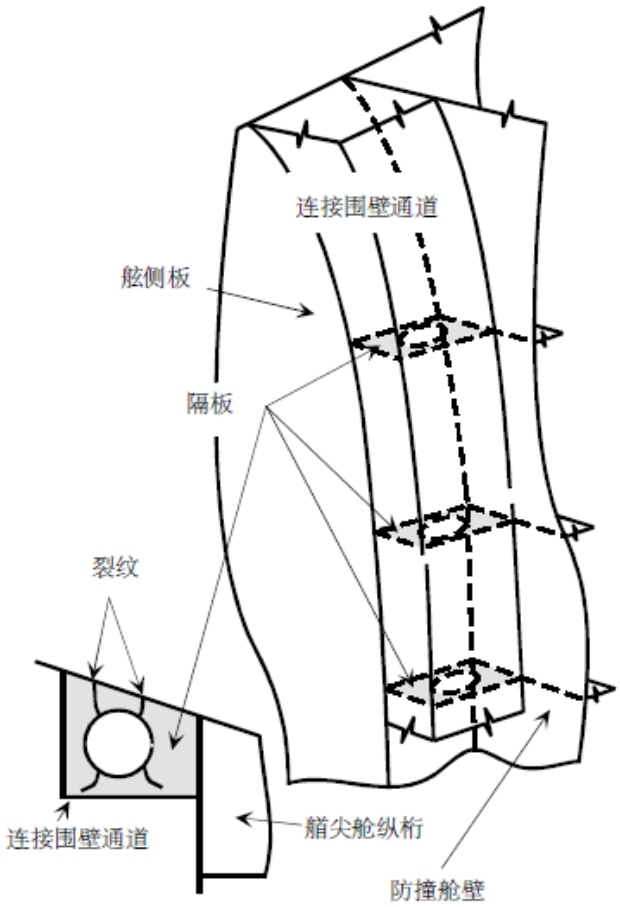
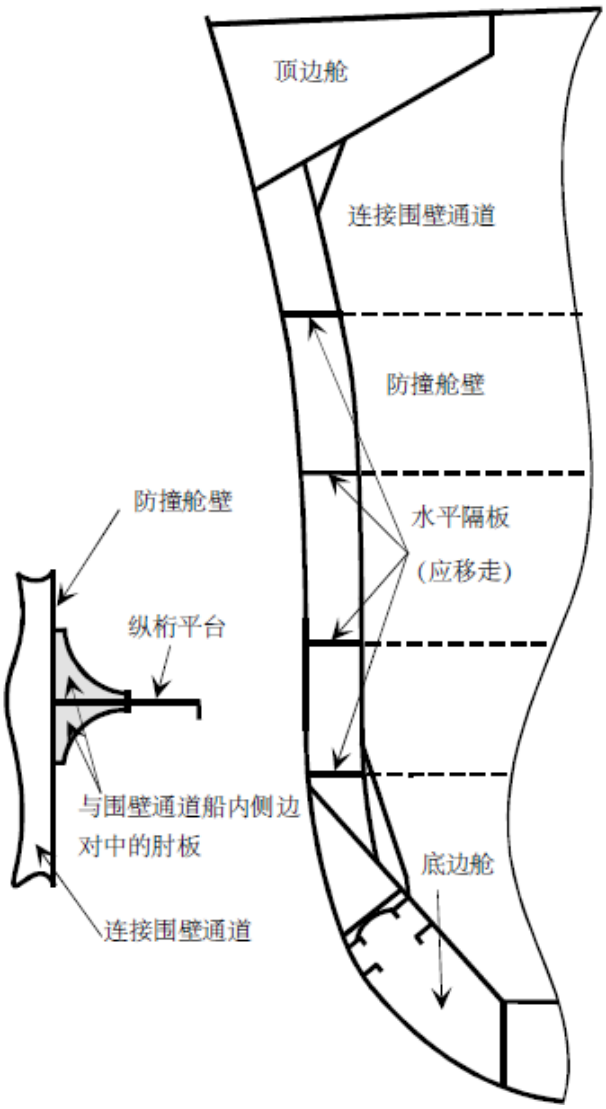
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	7
损坏细节	防撞舱壁区域支撑肘板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于承受从舷侧肋骨计及的悬臂载荷，使尺寸不足的肘板产生了高应力。 2、肘板趾端的应力集中，以及肘板趾端和首尖舱/处所内舷侧纵桁和肘板不对中。	修理说明 1、连接于防撞舱壁的延伸肘板臂应有软化趾端，在首尖舱或处所内位于肘板趾端附近的扶强材穿孔应安装补板。 2、如果裂纹延伸至舷侧外板或舱壁板，应将该板割除并局部换新。

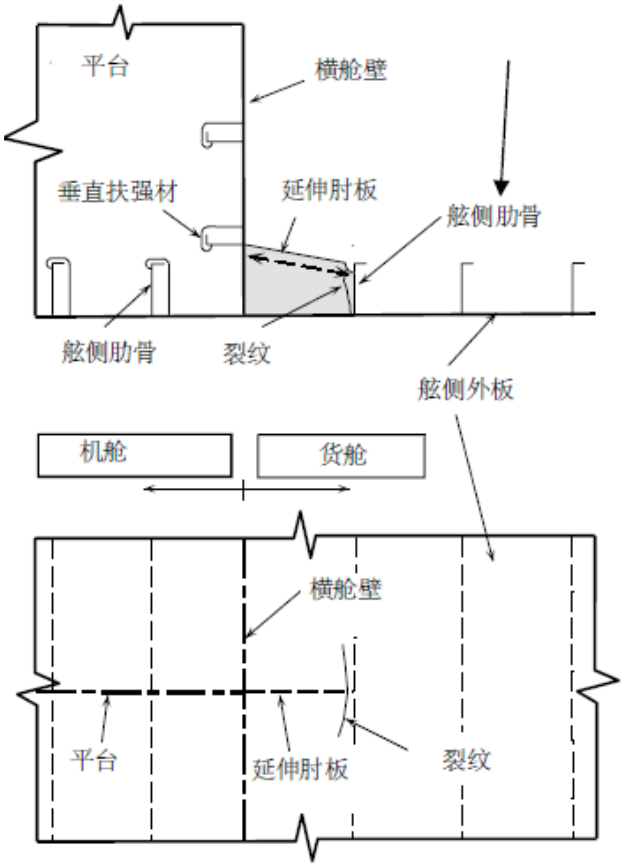
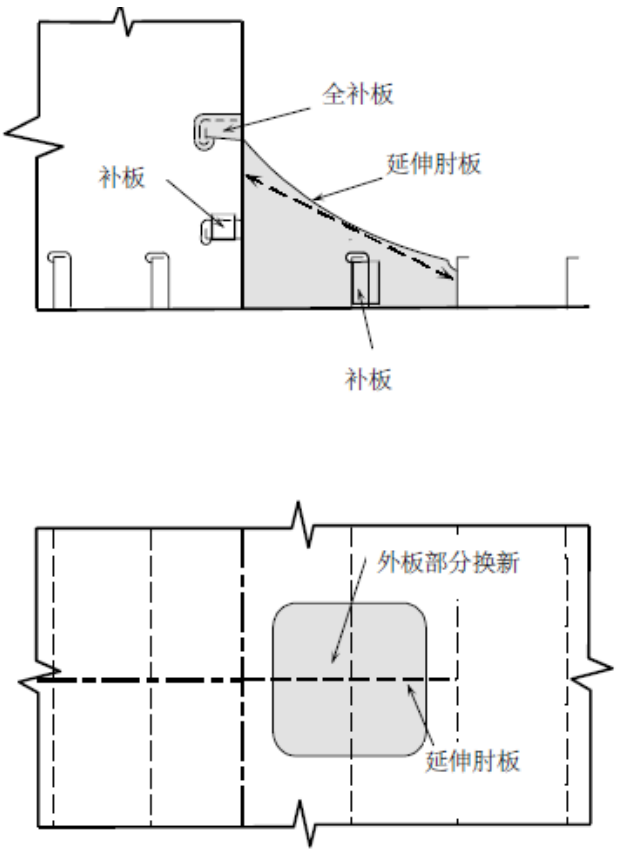
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	8
损坏细节	货舱内未安装抗拍击舷侧纵桁时防撞舱壁区域支撑肘板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由应力集中引起舷侧外板疲劳裂纹而产生损坏。若货舱结构的柔性大于防撞舱壁前面结构这种损坏将更加剧烈。	修理说明 1、有裂纹的外板应割除并局部换新。损坏范围内的舷侧肋骨应按本社的要求进行加强。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	9
损坏细节	防撞舱壁后侧连接顶边舱和底边舱的围壁通道水平隔板处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
 隔板平面图	
可能的损坏原因说明 1、由围壁通道和隔板结构的不连续产生的应力集中导致了损坏。若货舱结构的柔性大于围壁通道结构和防撞舱壁前的结构这种损坏将更加剧烈。	修理说明 1、永久性地去掉隔板，切掉有裂纹的外板并局部换新，或者必要时将损坏部分的裂纹批掉并焊接。防撞舱壁前侧舷侧纵桁或水平桁处安装带有软化趾端的肘板，并与围壁通道船内侧边对中，从而达到消除应力集中点的目的。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域3	货舱舷侧结构	10
损坏细节	在艉部货舱内机舱前壁处连续/延伸肘板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、应力集中引起舷侧外板疲劳裂纹而产生了损坏。货舱结构的柔性大于机舱结构将导致这种损坏加剧。	修理说明 1、必要时，将有裂纹的外板割除并局部换新。 2、延伸肘板应进行修改和机舱平台上的开口应加装补板。

区域 4 横舱壁包括凳式结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题一货舱内检查

2.1 材料蚀耗

2.2 变形

2.3 裂纹

3 应予注意的问题一凳式结构检查

3.1 材料蚀耗

3.2 变形

3.3 裂纹

4 关于修理的一般性建议

4.1 材料蚀耗

4.2 变形

4.3 裂纹

图和/或图片一区域4	
序号	项目
图1	横舱壁一潜在问题区域
图2	横舱壁结构连接处的典型裂纹
图片1	横舱壁的脱开和坍塌（见例4）

结构细节缺陷和修理实例…区域4	
例	项目
1-a	壁凳水平板焊缝连接处的裂纹
l-b	壁凳水平板焊缝连接处的裂纹
2	在顶边舱上部周界处的裂纹
3	槽形舱壁的凹陷和屈曲
4	在相邻卸载板的交叉处始发的槽形斜板上的裂纹
5	箱型中桁材处底凳板与内底板连接焊缝上的裂纹
6	底凳与底边舱连接处的裂纹
7	舱口端梁支承结构处的屈曲

1. 概述

1.1 在干货舱端部的横舱壁大多是普通水密舱壁，有两个主要作用：

(a) 在船舶结构设计上作为主要的横向强力构件。

(b) 在紧急状况时能防止船舶进水的进一步蔓延。

1.2 在兼作压载的干货舱端部的横舱壁是深舱舱壁，除1.1所述作用外，还应能承受货舱装满压载水时的水压力。

1.3 舱壁结构通常是带下凳的垂直槽形壁，可设上凳也可不设。其它一些舱壁结构有：一侧有垂直扶强材的平面舱壁；内部装有扶强材，设有或不设有凳式结构的双侧板舱壁。

1.4 不兼作压载舱的干货舱，在码头载卸时，为达到满意的吃水，有时可部分装载压载水。当灌注压载水受到货舱的构件尺寸，尤其是横舱壁构件尺寸的限制时，则必须在港内进行。不可以为了节省在码头的时间而在航行过程中装载压载水。在航行中进行装载可能引起压载水晃动而导致毁灭性灾难，如图片1所示。

1.5 如果没有进行正确的修理，在极端载荷下，过度腐蚀可能导致结构的坍塌，如图片1所示。

1.6 图1所示为潜在问题的总结，值得强调的是应提供检验计划、准备和执行中所述的合适的接近检验结构的设施，以便进行近观检验和测厚。



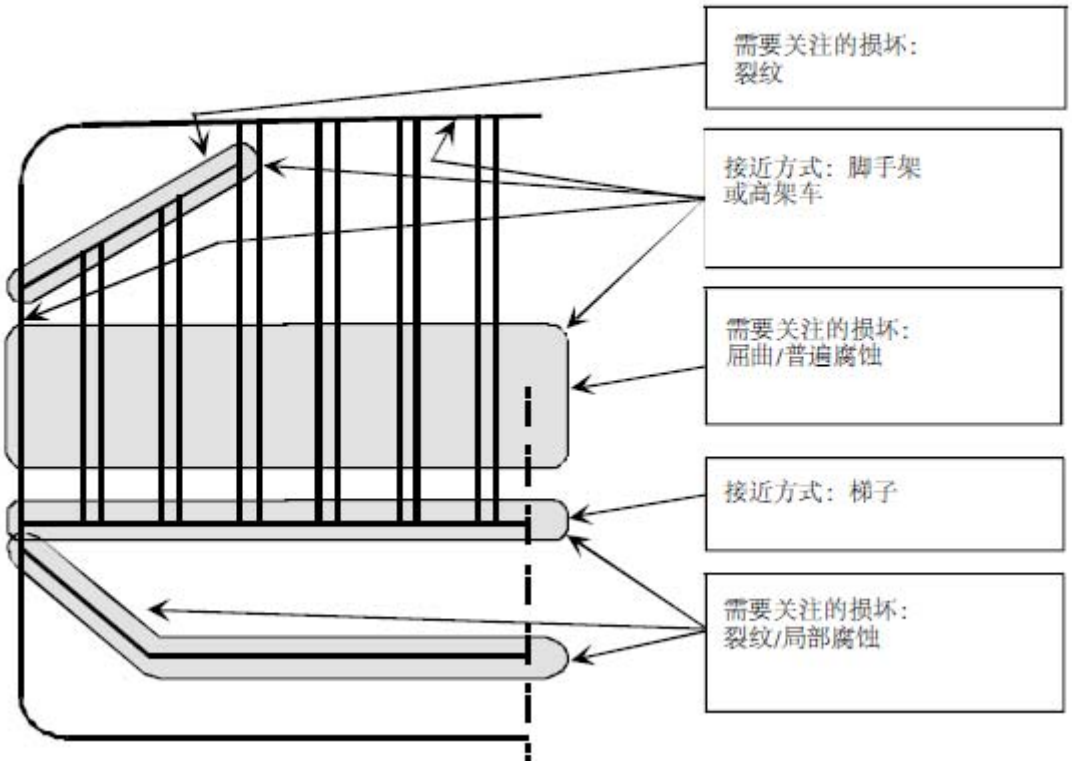


图1 横舱壁一潜在在问题区域

2. 应予注意的问题—货舱内检查

2.1 材料蚀耗

2.1.1 过度腐蚀常发生在下述区域。

(a) 在舱壁的中部和底部看起来处于良好状态，但实际上处于严重腐蚀状态，这是由于货物和环境的腐蚀造成的，尤其是对那些没有涂层保护的结构。

(b) 邻接船壳板的舱壁板。

(c) 在顶边舱和底边舱之间用于通风、压载管系的围壁通道。

(d) 舱壁板及与上/下凳平板和内底板的连接焊缝。

(e) 与顶边舱和底边舱连接焊缝附近。

2.1.2 如果保护涂层脱落并有明显腐蚀，建议进行抽查测厚，确定其减薄的程度。

2.1.3 在定期检验条文和要求中规定需要进行测厚的地方，或验船师认为有必要进行测厚的地方，应使测厚的范围满足结构整体状况的要求。

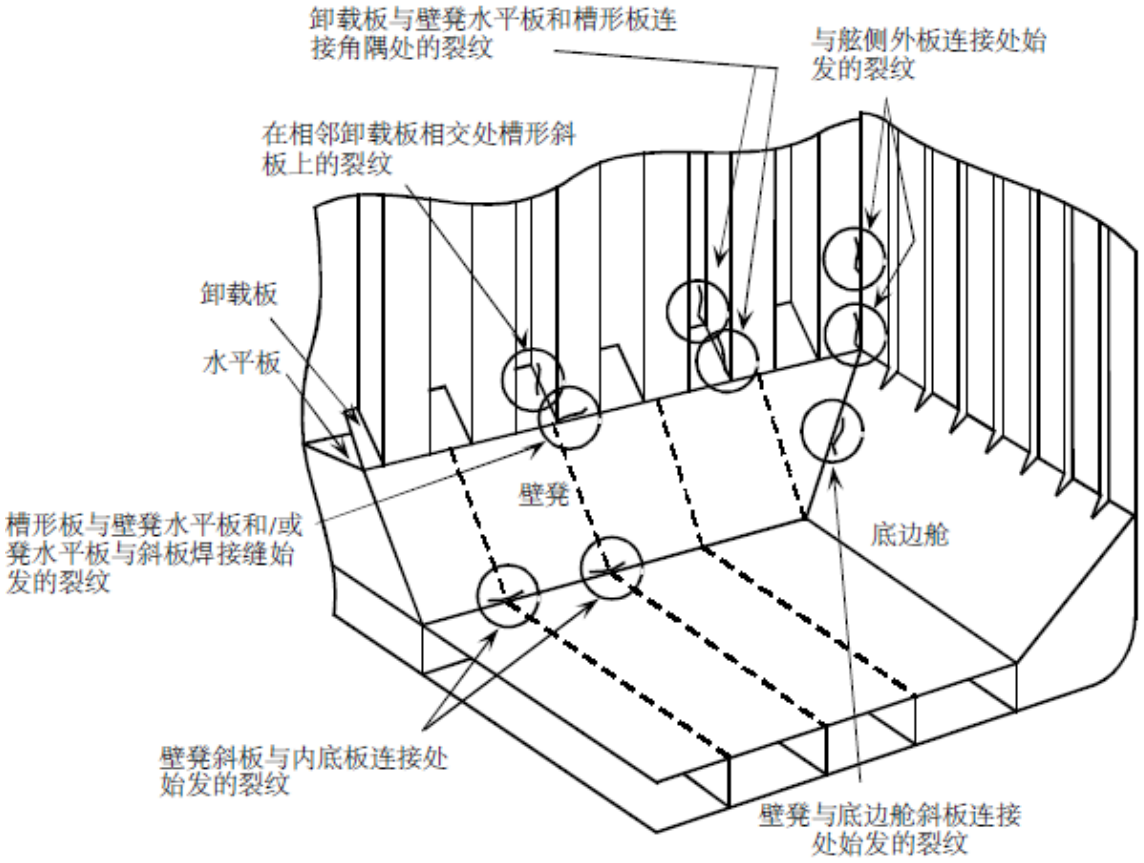
2.2 变形

2.2.1 经常能发现由于机械损伤导致横舱壁结构变形。

2.2.2 涂层的脱落或生绣可以证实当舱壁遭受严重均匀腐蚀时，舱壁会承受剪切屈曲。但对于壁厚减少很小的舱壁出现弯曲或剪切屈曲导致的变形可能是由于设计不当或超载所致，在进行修理前应调查清楚。

2.3 裂纹

2.3.1 裂纹通常发生在槽形舱壁及壁凳连接处，特别在壁凳平板，卸载板，甲板，内底板等处。（见图2）



（注）舱壁与甲板结构的上部连接处也可能发生类似损坏

图2 横舱壁结构连接处的典型裂纹

3. 应予注意的问题—凳式结构检查

3.1 材料蚀耗

3.1.1 过度的腐蚀常发生在隔板位置，尤其在其焊缝连接处上下。

3.2 变形

3.2.1 当在货舱检查时发现有机械损伤的变形时，应仔细检查凳部结构的损坏。

3.3 裂纹

3.3.1 在货舱检查时发现的下凳与槽形舱壁连接处裂纹可能始发于内部隔板的焊缝连接处。（见例1）

3.3.2 槽形舱壁平板与斜凳板不对中，也可能引起内部隔板的焊缝连接处的裂纹。（见例2）

4. 关于修理的一般性建议

4.1 材料蚀耗

4.1.1 当板材或扶强材厚度的减少量达到CCS所允许的最小值时，必须割换蚀耗的板材和扶强材。

4.2 变形

4.2.1 如果变形是局部和有限的，一般讲可以把变形校平。如果这种变形是由于厚度的普遍减薄所致，应进行局部或全部换新。

4.2.2 由于碰撞，在舷侧板附近的横舱壁板也可能发生屈曲，而且相当明显。在此情况下，应挖掉损坏面积并局部换新。若变形范围较大，必要时整块板部分或完全割换，若变形不是由于板厚减少或过度载荷所致，则应考虑结构的加强处理。

4.3 裂纹

4.3.1 由于潜在的焊接缺陷而导致的周界焊缝连接处的裂纹，可以批掉并作好焊前准备，最好用低氢型焊条或相当的焊条补焊。

4.3.2 对于在4.3.1中叙述的裂纹以外的其它裂纹，重新焊接不是永久的解决办法，应致力于改善设计和建造，从而排除这种裂纹的反复出现。

下面给出这种情况的一些典型例子：

(a) 在凳内部结构的过焊孔附近，凳板与凳平板焊缝连接处的裂纹

过焊孔应安装搭接领板进行封闭，凳的焊接连接应按4.3.1之规定进行修理。在把搭接领板焊到凳隔板肘板之前，应用低氢型焊条完成搭接领板与凳和凳平板的焊接，并采用全焊透焊接。

(b) 由于凳板与槽形舱壁平板的错位导致在槽形舱壁和/或凳板与凳平板焊接连接处产生裂纹（类似情况凳板与双层底肋板之间的错位也会发生）

建议将结构切开，校正错位，凳、肋板、槽形壁的焊接连接修理方法在4.3.1已说明，对这种损坏的其他修理方法如在凳内安装与槽形壁斜板对中的肘板，在这种情况下，槽形舱壁斜板及其下面的肘板应采用全焊透焊接且肘板上不要有过焊孔，然而在很多情况下，这一点是很难达到的。

(c) 由于邻接的卸载板焊缝的开裂导致了在槽形壁与下凳平板焊缝连接处出现裂纹。

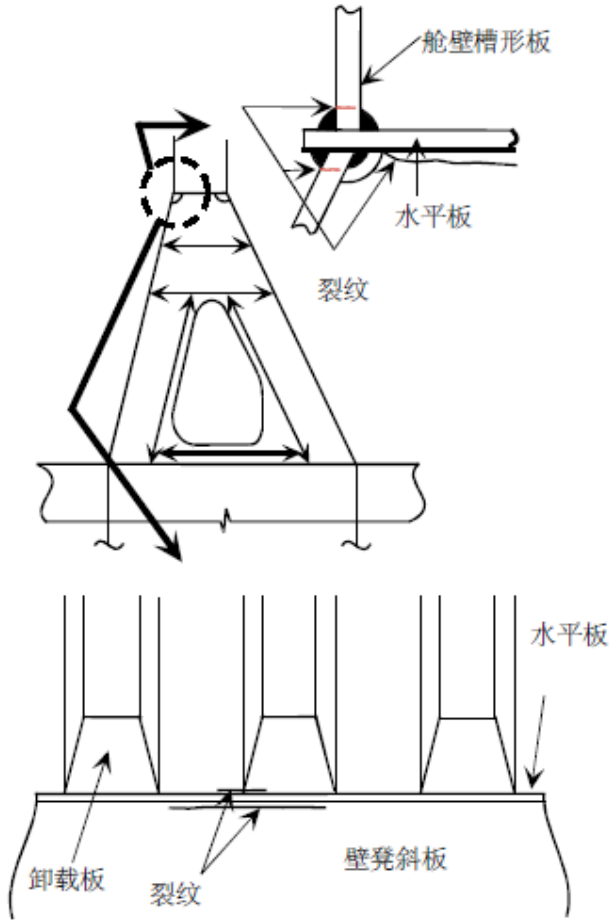
建议卸载板在焊接连接处布置适量过焊孔，槽形舱壁的焊接连接修理方法已在4.3.1中说明。

(d) 槽形舱壁与底边舱，顶边舱或与舱口开口附近甲板连接焊缝处的裂纹。

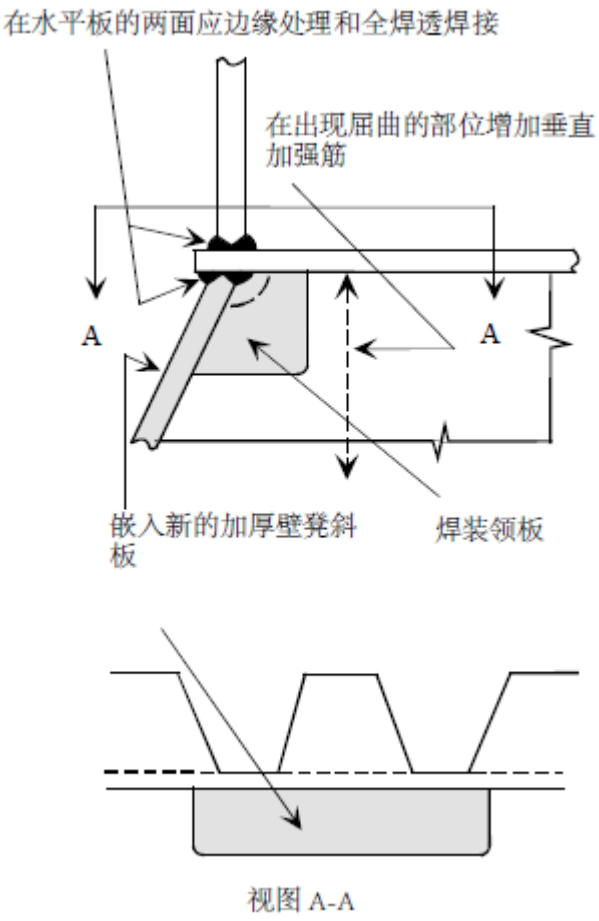
建议焊接连接按4.3.1条所述进行修理，如有可能，在舱内与槽形腹板相对中安装附加扶强材或舱外甲板下面装附加扶强材。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域4	横舱壁包括凳式结构	1-a
损坏细节	壁凳水平板焊缝连接处的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、邻近过焊孔处焊缝上应力集中。

2、槽形平板与壁凳平板或类似壁凳斜板与壁凳平板的连接焊接面积不够。

3、相对于槽形平板厚度其壁凳斜板和/或壁凳平板厚度不够。

4、如果槽形斜板没有凳内肘板支撑，则槽形折角线处产生应力集中。

修理说明

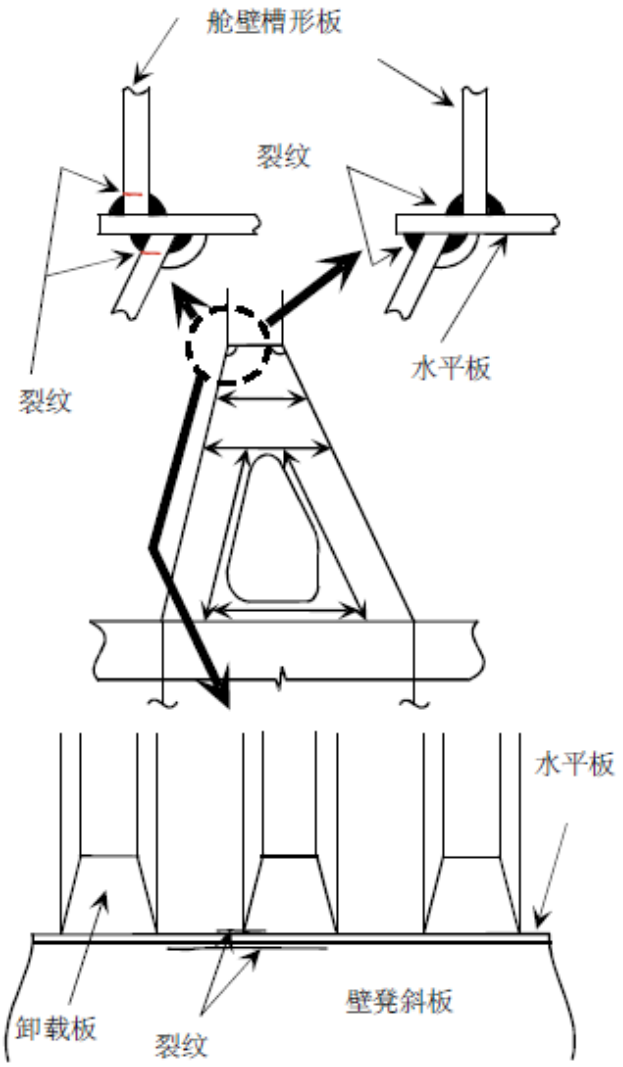
1、裂纹以“V”型坡口批掉。

2、在过焊孔处装焊领板以减少应力集中。

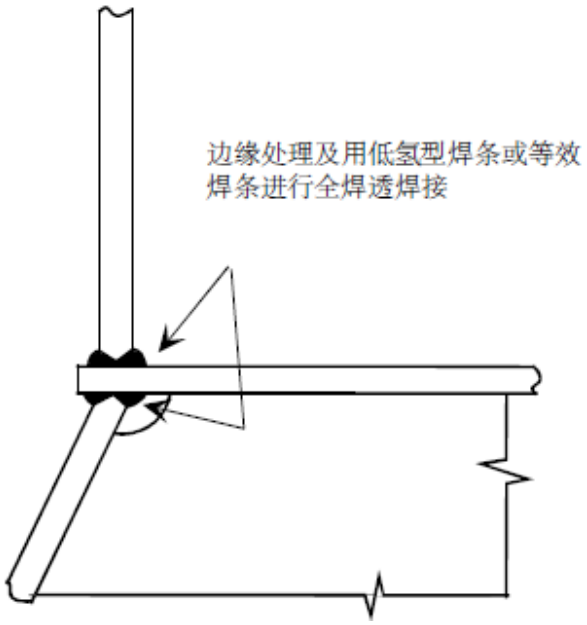
3、必要时，在壁凳板和/或隔板上进行局部挖补。

第一部分	货舱区域	例
区域4	横舱壁包括凳式结构	1-b
损坏细节	壁凳水平板焊缝连接处的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、槽形平板与壁凳斜板不对中。

2、槽形平板与壁凳平板或类似的壁凳平板与壁凳斜扳的焊接面积不够。

修理说明

1、裂纹以“V”型坡口批掉并重新焊接。

2、将结构切开校正对中。

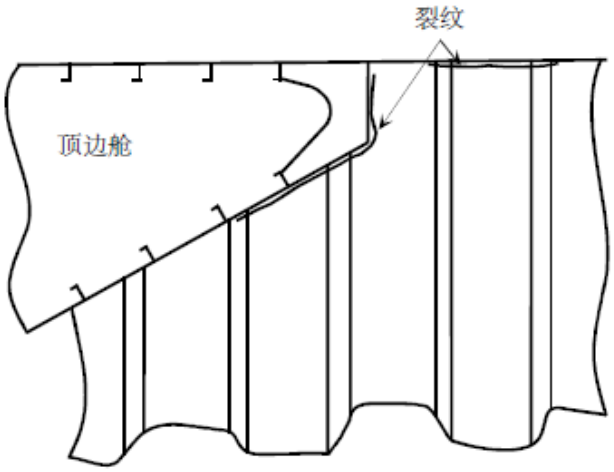
3、在凳平板两侧槽形舱壁端和凳斜板端应是全焊焊透焊接。

4、必要时，在壁凳板上嵌板。

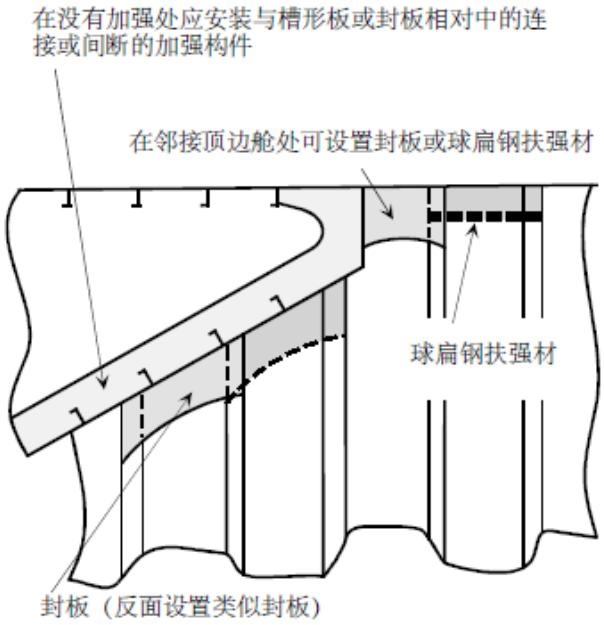
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例

区域4	横舱壁包括凳式结构	2
损坏细节	在顶边舱上部周界处的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、设计不当和／或有缺陷的焊接引起的损坏。

修理说明

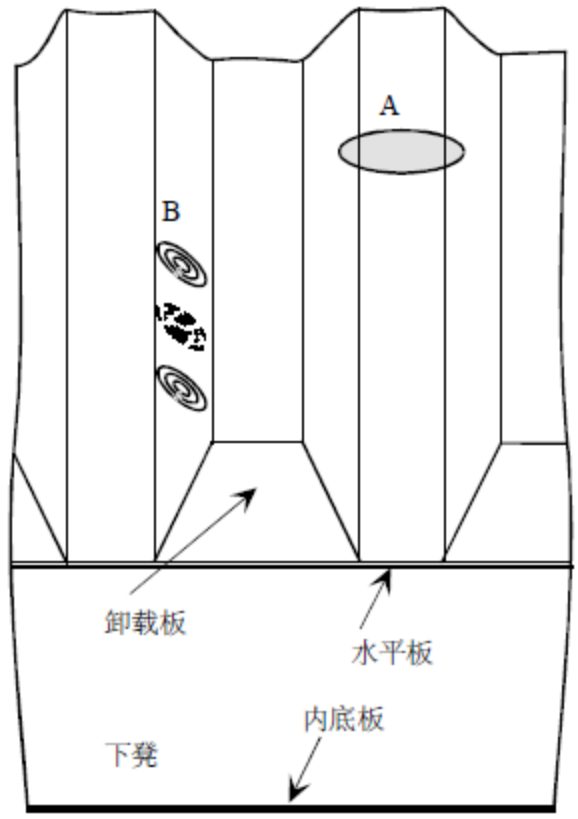
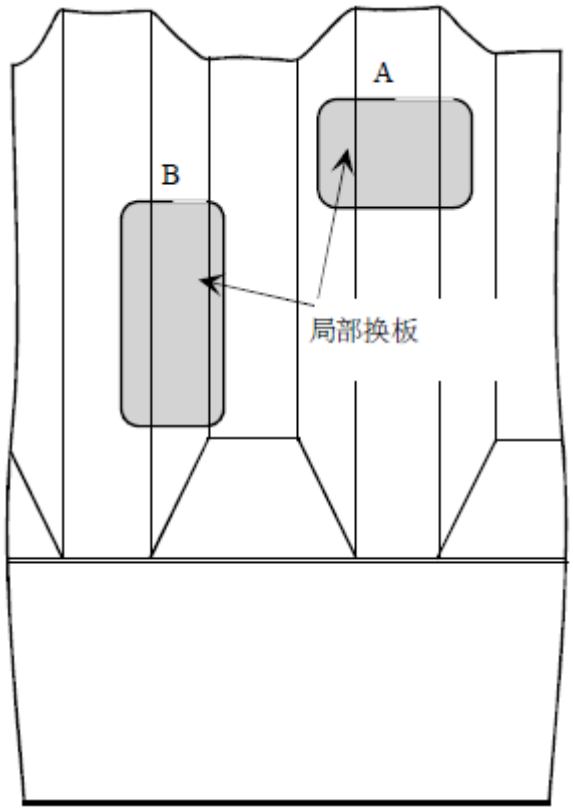
1、将裂纹成“V”型批掉并重焊，如有必要应将槽形板局部挖掉并换新。

2、建议采用上面图示的局部加强，并遵照下述标准：

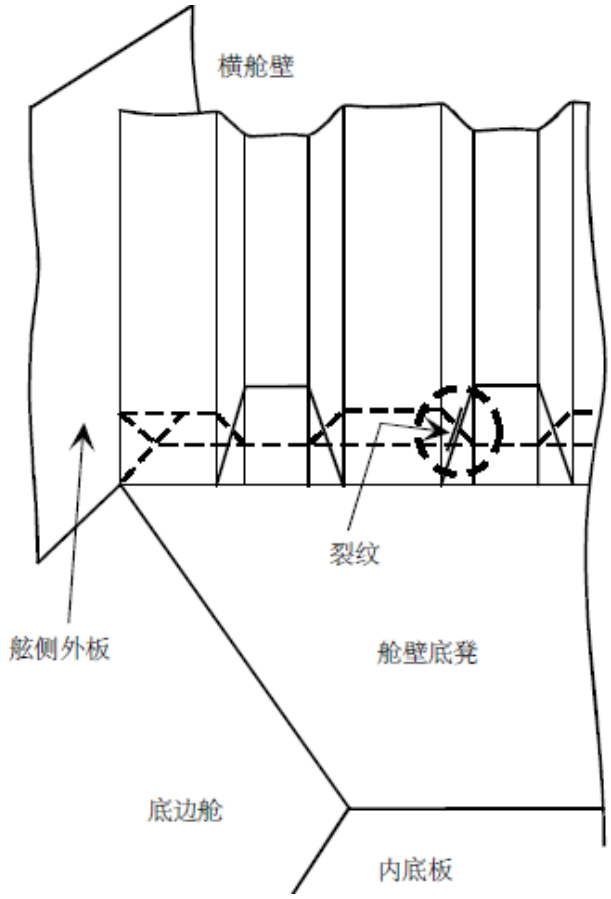
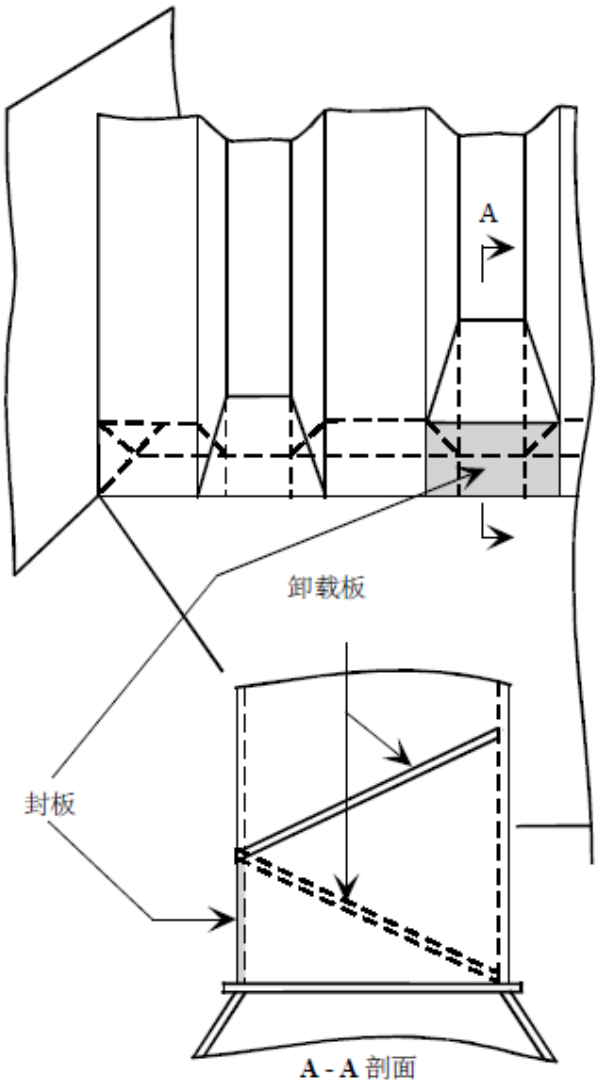
2.1 应使隔板与舱内的横向结构对中，为此封板可做成嵌合状以便其对中。

2.2 如果在顶边舱内部没有安装与槽形平板或封板对中的横向腹板，应按上图所示进行加强。

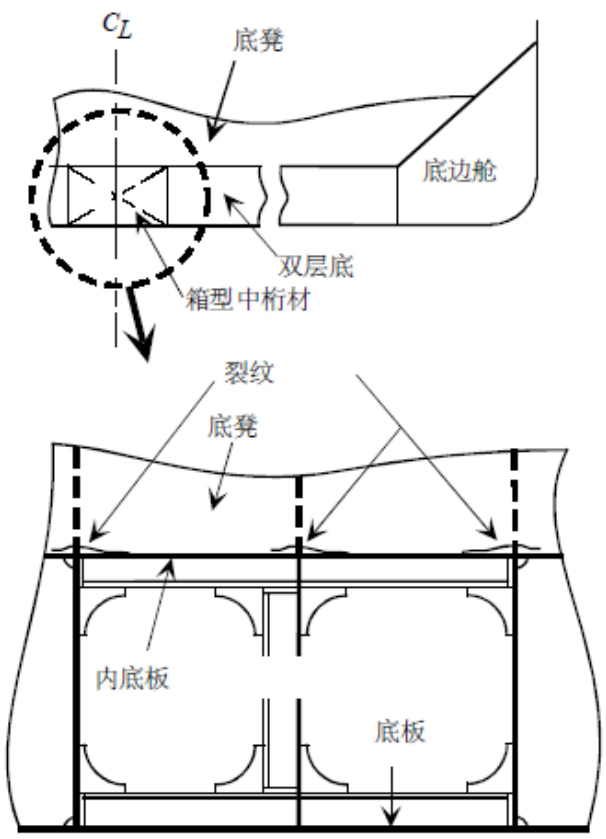
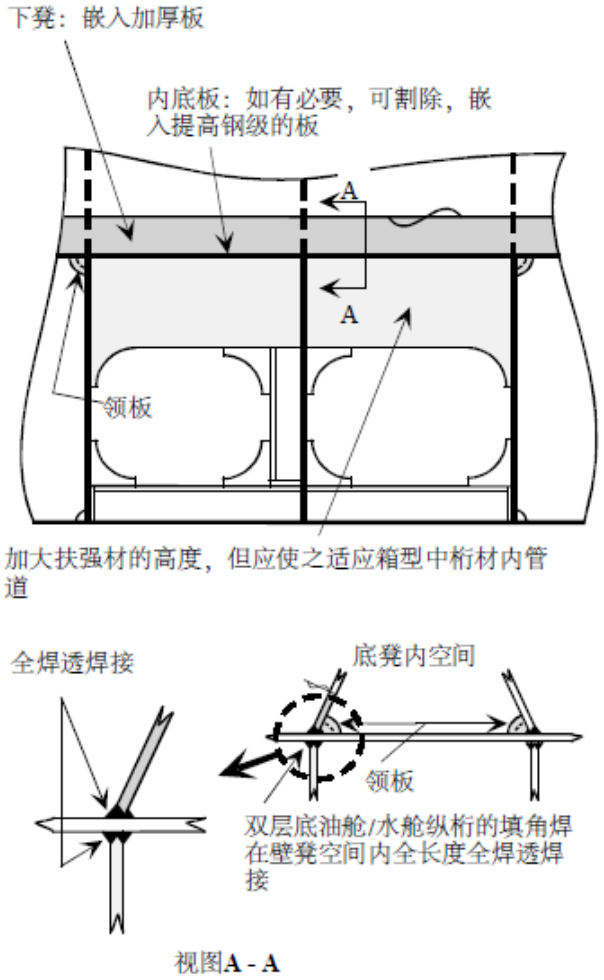
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域4	横舱壁包括凳式结构	3

损坏细节	垂直槽形板的凹陷和屈曲
损坏示意图  	修理示意图 
可能的损坏原因说明 1、在装卸货时，机械不当操作造成的损坏，如抓斗损坏。 2、因腐蚀引起的厚度减少而导致的损坏。 3、如上图区域A和B所示，弯曲或剪切引起的屈曲是由于设计不当或超负荷引起厚度的小量减少造成的。如果对损坏原因有疑问，在修理前应与验船师联系。	修理说明 1、装卸货时机械不当操作造成的损坏。如果凹陷/屈曲是局部和微小的，该板可原地校正。如果能断定变形与板厚的普遍减薄有关，应将该板割除换新(如上图A、B位置所示)。 2、因腐蚀引起的厚度减薄而导致的损坏，在这种情况下应在槽形板的中部和顶部及底部进行侧厚，必要时将槽形板全部或局部换新。局部换新时，应特别注意换板时，槽形平板角隅处的安装和对中。

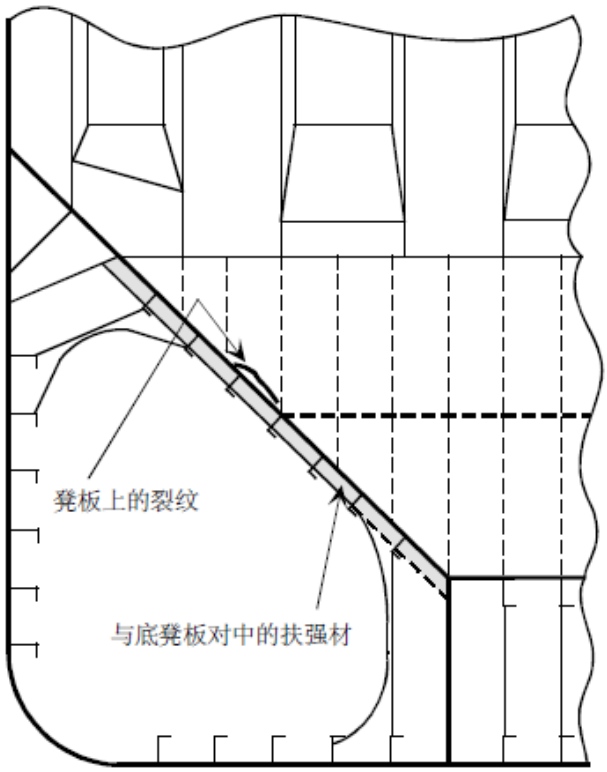
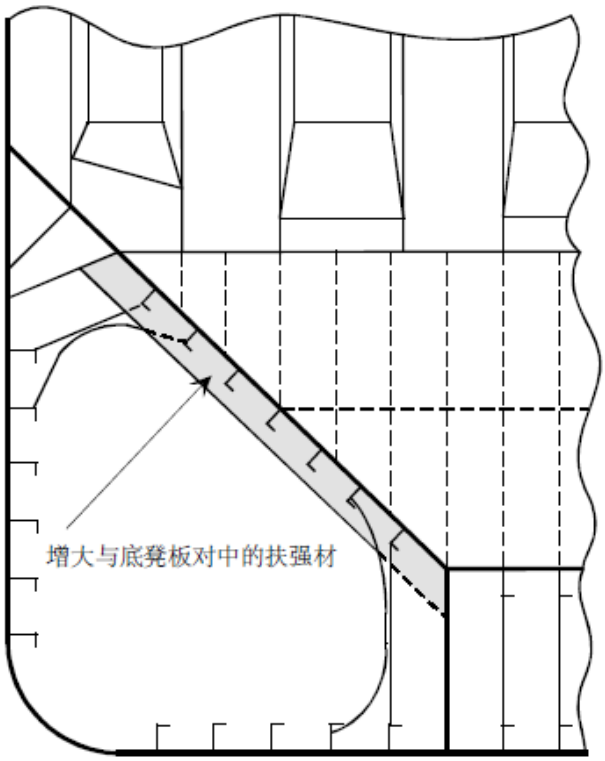
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域4	横舱壁包括凳式结构	4

损坏细节	在相邻卸载板的交叉处始发的槽形斜板上的裂纹
损坏示意图  	修理示意图 
可能的损坏原因说明 1、由于在卸载板交界处存在应力集中引起的损坏，这种损坏可能由于腐蚀和槽形斜板的厚度减小而加剧。	修理说明 1、如果由于蚀耗，槽形板和卸载板应局部换新或者必要时全部换新。 2、如果进行换新时，慎重起见应安装如图所示封板，改变交点位置从而降低应力集中。

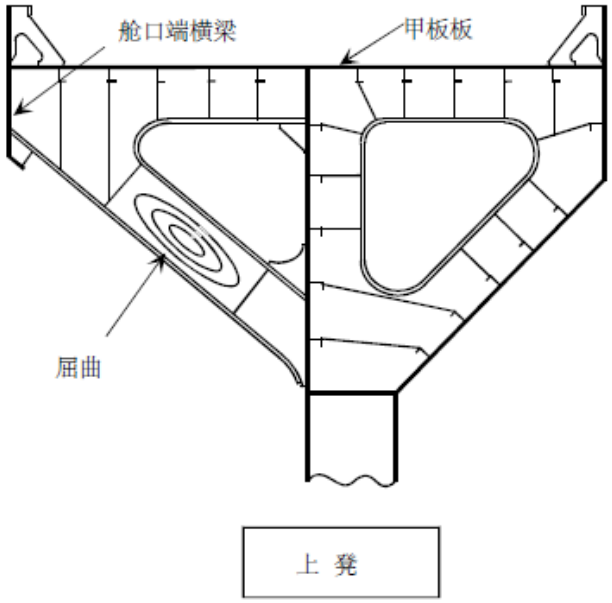
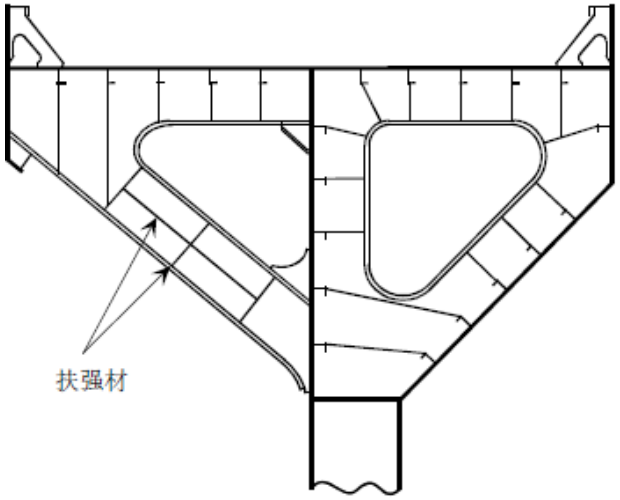
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域4	横舱壁包括凳式结构	5
损坏细节	箱型中桁材处底凳板与内底板连接焊缝上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、这种类型的缺陷更多发生在压载舱的边界处。 2、这种裂纹是因切口处的应力集中引起的，并因箱形中桁材附近内底结构的柔性而使裂纹加剧。	修理说明 1、为防止这种损坏再次发生，应按图示加装附加加强构件。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域4	横舱壁包括凳式结构	6
损坏细节	底凳与底边舱连接处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、连接处的强度不足。 2、腐蚀。	修理说明 1、如有必要，有裂纹的凳板应部分割换（增厚板)。 2、如损坏是由强度不足引起的，应增大与底凳板对中的扶强材尺寸。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域4	横舱壁包括凳式结构	7
损坏细节	舱口端横梁支承结构处的屈曲	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、强度不足。 2、压载货舱内部分压载载荷(晃荡)。 3、腐蚀。	修理说明 1、如有必要，变形部分应割除换新。 2、如损坏是由于强度不足引起的，应考虑适当地加强（增加板厚/附加扶强材）。

区域 5 双层底包括底边舱结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题一舱顶检验

2.1 材料蚀耗

2.2 变形

2.3 裂纹

3 应予注意的问题一双层底和底边舱检验

3.1 材料蚀耗

3.2 变形

3.3 裂纹

4 应予注意的问题一船底外部检查

4.1 材料蚀耗

4.2 变形

4.3 裂纹

5 关于修理的一般性建议

5.1 材料蚀耗

5.2 变形

5.3 裂纹

图和/或图片一区域5	
序号	项目
图1	底边舱斜板与内底板连接处的典型裂纹
图片1	船底板焊缝的凹槽腐蚀
图片2	图片1所示凹槽腐蚀横剖面

结构细节缺陷和修理实例…区域5	
例	项目
1	肋板/纵桁减轻孔周围的裂纹，腐蚀和/或屈曲
2	底边舱/内底板交界处肋板焊接处的裂纹（圆弧形折角线）
3	底边舱/内底板交界面（焊接折角线）上肋板焊接连接处的裂纹
4	内底和边纵桁，舱壁凳板附近肋板连接焊缝处的裂纹
5	纵骨穿过横向主要构件开口处的裂纹和屈曲
6	在肋板/横框架腹板或舱壁处纵骨上的裂纹

7	在内底板和壁凳交界处外底纵骨和内底纵骨的裂纹
8	污水阱处纵骨上的裂纹
9	横框架上的裂纹
10	横向肘板焊接连接处的裂纹
11	在纵骨流水孔/透气孔角处的船底板/舷侧外板/底边舱斜板上的裂纹
12	在船底板上沿着旁桁材和/或底纵骨的裂纹
13	吸口下方底板的腐蚀
14	测深管下方的船底板腐蚀
15	由于砰击首部船底板的变形
16	在舭龙骨端部船壳板上的裂纹

1. 概述

1.1 双层底结构除承受货舱内货物的重压力外，还参与船体梁的总纵弯曲强度，双层底顶结构在装卸货物过程中遭受货物和机械设备的碰撞，船首部分的底板在恶劣海况时因砰击引起额外动载荷。

1.2 兼作压载舱的货舱双层底比只装货的货舱更容易发生裂纹和变形。

1.3 由于卸货时使用铲车使内底板/底边舱斜板和内底板/壁凳的连接焊缝遭到损坏。

2. 应予注意的问题一舱顶检查

2.1 材料蚀耗

2.1.1 舱顶结构的总体腐蚀状况可以通过目视检查了解，舱顶板的腐蚀程度应通过测厚评定。

2.1.2 由于阱内积水/腐蚀溶液能引起严重的点腐蚀，污水阱应清洁后仔细检查。应特别注意污水吸口和测深管附近的板材。

2.1.3 应特别注意管子穿过舱顶处的区域。

2.2 变形

2.2.1 舱顶板屈曲可能发生在纵骨间平面内横向压应力区域或肋板间平面内纵向应力区域。

2.2.2 舱顶区域结构变形一般是由于货物过载，装卸货时货物的撞击或卸货时使用机械造成的。

2.2.3 不论何时发现舱顶变形，必须进行进一步的双层底舱内检验以确定损坏程度。变形能引起双层底内涂层脱落，在这些无保护涂层的区域腐蚀会进一步加剧。

2.3 裂纹

2.3.1 通常在近观检查时会发现裂纹。在双层底舱压力试验时能发现沿着板的厚度方向或顺

着焊缝延伸的裂纹。（见区域4的图1和图2）

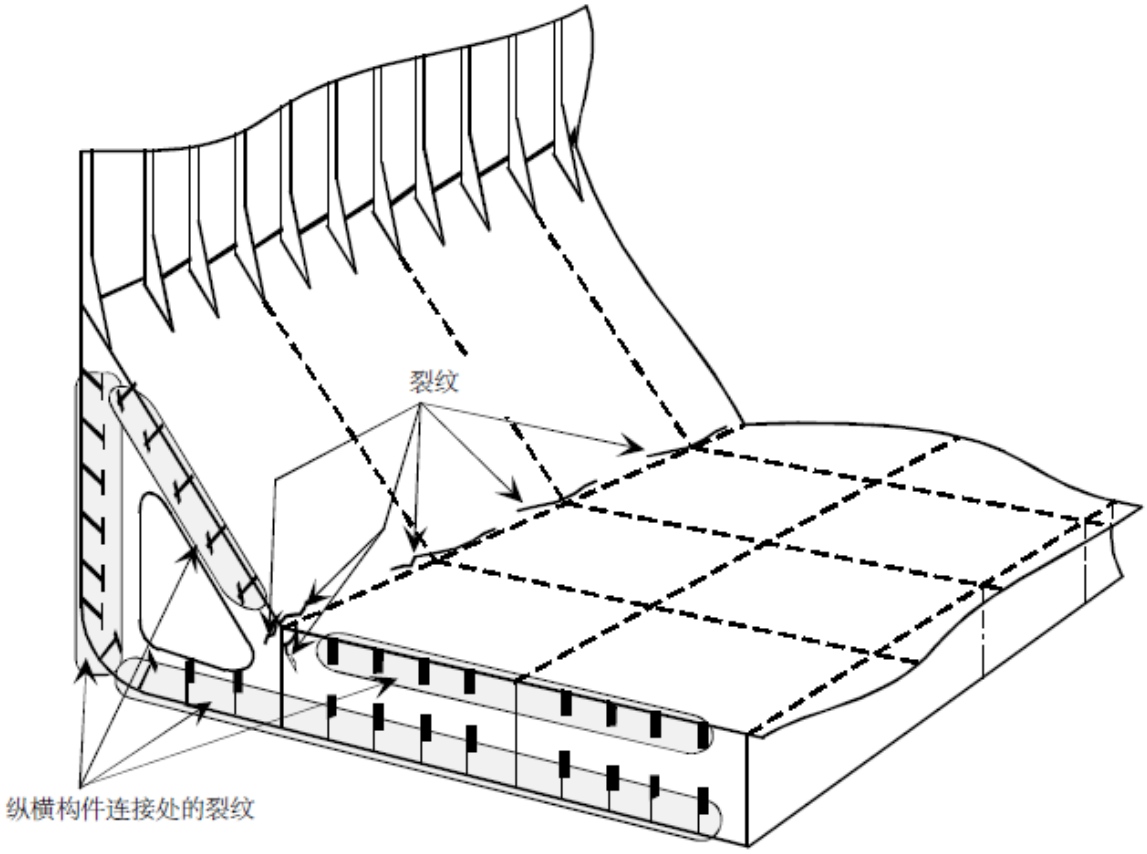


图1 底边舱斜板与内底（舱顶）和纵向构件与横向构件（或横舱壁）连接处的典型裂纹

3. 应予注意的问题一双层底和底边舱检查

3.1 材料蚀耗

3.1.1 双层底内部结构（纵材、横材、肋板、纵桁等）的腐蚀程度应通过测厚来评定。

腐蚀的速度和程度取决于腐蚀的环境和采取的保护措施，如涂层和牺牲阳极，下列结构通常易于腐蚀。（同3.1.2~3.1.4)

(a) 腐蚀环境中的结构

内底板反面及内底纵骨

加热燃油舱邻界的横舱壁和纵桁

(b) 承受高应力的结构

在角隅处横向构件面板和腹板

横向构件和纵向构件连接处

(C) 涂层容易脱落的区域

纵骨面板的背面

焊接接头

开口处的边缘

(d) 排水不良的区域

边纵骨的腹板

3.1.2 如果保护涂层没有正确的保养，压载舱内的结构会遭到严重的局部腐蚀。通常双层底舱上部结构比下部结构更易遭到严重的腐蚀。在底边舱的强框腹板的角隅处由于高剪切应力而遭到严重的腐蚀，尤其在未安装领板的纵骨开口处。

3.1.3 加热燃油的高温会加速邻近压载舱内结构的腐蚀，腐蚀速度取决于下述诸因素：

一传递给压载舱的温度和热量

一原涂层状况及其维护保养（为了有利于在造船时压载舱内使用保护涂层及以后的保养，燃油舱周界的扶强材最好安装在燃油舱内而不是压载舱内）。

一压载频率和操作

一船龄以及由于腐蚀使构件厚度减小而产生的相关应力会导致裂纹和屈曲

3.1.4 通过吸口的液流的侵蚀和空泡导致吸口下方的船壳板的局部磨损。另外，由于吸口位于舱的最低处，所以即使是空舱，水/泥仍将盖住这个区域。用手触摸位于吸口下的船壳板，可以确认壳板的状况，若有疑问，应将吸口的下部拆去并进行侧厚。如果船舶进坞，可从下面进行侧厚。如果吸口和下方壳板距离太近以至无法用手触摸，应将吸口拆去。

3.1.5 位于测深管下方的船壳板也应仔细检查，如防撞未安装复板或已磨损，船壳板会因测深锤的撞击而引起严重腐蚀。（见第3部分的例2）

3.2 变形

3.2.1 如舱顶和船底外部检查时发现变形（见4.2），则变形区域应进行舱内检查以确定舱内涂层和内部结构的损坏程度。结构的变形不仅削弱结构的强度而且引起涂层的破坏，导致腐蚀的加剧。

3.3 裂纹

3.3.1 裂纹通常是通过近观检验发现的。

3.3.2 如果双层底内的旁桁材没有与折角线（内底板与底边斜坡板的交线）对中，折角线下肋板间距较大或者为便于装配角隅处开了些角隅扇形孔，则内底板与底边舱斜板之间的焊缝或圆弧形折角线处易产生裂纹。因载荷和由此产生的变形引起的局部应力变化而导致疲劳裂纹，裂纹种类如下（见图1）：

(a) 对非圆弧形焊接折角线，其裂纹平行于折角线焊缝；

(b) 发生在圆弧形折角线中心且在内底板和底边舱斜板上的裂纹；

(c) 始发于底边舱横桁腹板和肋板上的扇形孔角隅，并在横桁腹板与肋板的连接焊缝处扩展；

(d) 始发于扇形孔边缘的裂纹在腹板上扩展，如上述(c)。

3.3.3 内底板/底边舱斜板和凳式结构连接处的裂纹可能是由于舷外波浪载荷的反复作用诱发内底板周期性变形或者由于内底板不具有良好的“Z”向性能而产生，而在底纵桁上开的扇形孔产生应力集中会进一步导致裂纹发生，其裂纹可分类如下：（见图1）

(a) 在内底板与壁凳的交界处，这些裂纹通常沿着中纵桁，边纵桁以上的连接焊缝的边缘产生，有时沿箱形龙骨侧面产生；

(b) 在压载舱附近，特别是在吸水阱附近的横舱壁凳下水密肋板与内底纵骨和外底纵骨相交处，始发于内底纵骨和外底纵骨上的裂纹；

(c) 肋板上垂直扶强材或肘板与纵骨之间的连接处以及箱形龙骨角隅处产生的裂纹；

(d) 在重压载状况时，由于很大的弯曲应力引起压载货舱处壁凳焊缝下内底板的层状撕裂。壁凳的尺寸大小和缺少全焊透焊接也是产生层状撕裂的一个重要因素，另外，内底板的“Z”向性能不好也是因素之一。

3.3.4 过渡区域

通常防撞舱壁和机舱前壁在下述构件的端部容易出现裂纹：

一底边舱斜板

一首尖舱内抗砰击桁材

一机舱内的内底板

为避免由于结构非连续性而造成的应力集中可在反面位置安装适当的扶强材，如果未安装扶强材或由于腐蚀或错位削弱了扶强材的作用则在端部易发生裂纹。

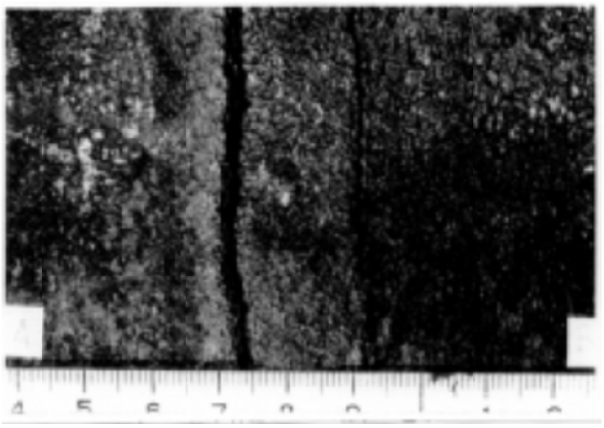
4. 应予注意的问题一船底外部检查

4.1 材料蚀耗

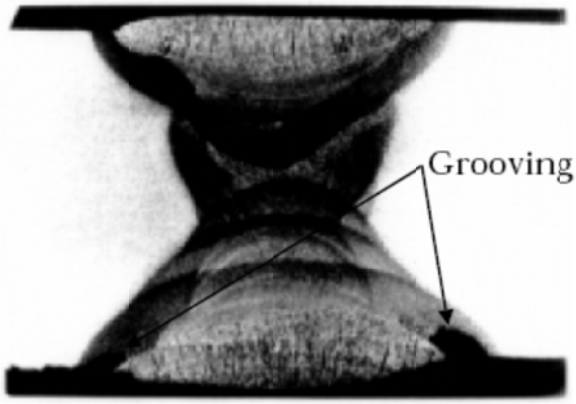
4.1.1 通常水线下的船体结构仅当船舶在坞内时才能检查，所以应利用这一机会彻底仔细地检查船壳板，船底外板的腐蚀程度可以通过测厚来评定。

4.1.2 沿着船底板焊缝经常可以发现严重的凹槽（见图片1和2）这种凹槽会由于船底保护涂层损坏和/或牺牲阳极维护不好而加速生成。

4.1.3 由于船底或船底塞连接焊缝边缘易发生过度腐蚀，应仔细检查船底或船底塞。



图片1 船底板焊缝处的凹槽形腐蚀



图片2 图片1所示的凹槽横剖面

4.2 变形

4.2.1 船底板屈曲可能发生在纵骨间或肋板间承受平面内压应力（纵向或横向）的区域。船首的波浪砰击引起的动载荷或触及到水下物体，也能造成船底板的变形。当发现船壳板的变形时，应仔细检查受影响区域的内部结构，即使外部变形较小内部结构也有可能遭到严重破坏。

4.3 裂纹

4.3.1 当船底外板凉干时应仔细检查，此时容易发现船壳板的裂纹，因为与干的船壳板相比有裂纹的地方会有渗水。

4.3.2 对接焊缝和角焊缝会出现裂纹并延伸到船底板，尤其在扇形孔的包角和舭龙骨的末端。对接焊缝的裂纹是由于焊接缺陷或凹槽造成的。如果舭龙骨在船体大接头处是断开的，则所有舭龙骨端部都必需进行检查。

5. 关于修理的一般性建议

5.1 材料蚀耗

5.1.1 双层底内的修理工作要求要求对可达性作出详细的策划。对于燃油舱的修理则要求清除气体。

5.1.2 在吸口和测深管下的船底板，如果平均板厚低于可接受值则应进行割换（见例14和15）。当发现有散布的深坑时，可进行补焊修理。

5.2 变形

内底板和船底板严重变形时应割换，包括变形部分的纵桁，肋板或横框架。若变形不是由于搁浅或其它过度局部载荷，或过渡腐蚀导致的，则应进行附加内部加强。关于这一点可以与CCS取得联系。

5.3 裂纹

5.3.1 对裂纹的修理应考虑裂纹的性质和程度。

(a) 若裂纹细小可将裂纹成“V”形坡口批掉后补焊，若裂纹较大，则该结构应挖换。

(b) 对于因双层底周期性挠曲产生的裂纹，除了将裂纹部分挖换外，还应进行结构加强。

(c) 若裂纹是由于板的Z向特性不佳所致，可用Z向特性好的钢板替换。

5.3.2 内底板与底边舱斜板折角线处的裂纹修理如下：

(a) 若裂纹仅限于焊缝处，将裂纹焊缝成“V”形坡口批掉，并用低氢型焊条或其它相当焊条施以全焊透焊接。

(b) 如裂纹已扩展到舱柜界面的板上，则应将有裂纹的板切掉，并局部换新。

(c) 如果在折角线附近发生裂纹，应避免在肋板和横框上的角隅上开扇形孔，或焊以领板将其封闭，在这方面焊接顺序很重要，应采取一切措施避免因焊接产生潜伏应力。

(d) 如果肋板间距等于或大于2m，应在相交处的肋板处或在肋板间距的中央设置肘板，该肘板应与相邻的内底板和底边舱纵骨相连接，肘板的厚度应满足CCS的规范要求。

(e) 如果损坏局限在压载货舱下的区域，对圆弧形折角线，除修理校正损坏区域外（如补焊、割换），应考虑在圆弧形上切点附近安装纵骨或斜接肘板以进一部加强。

5.3.3 内底板/底边舱斜板和凳式结构连接处的裂纹修理如下：

(a) 双层底纵桁附近壁凳与内底板相交处的裂纹，可成“V”形坡口批掉并焊接，然而，可在受影响的纵桁两侧安装附加的双层底纵桁或者采用相当的加强措施，肋板上扇形孔应补没，同时非水密纵桁上的透气孔也应重新定位。

如果裂纹是由于相邻的壁凳板与内底板下面的肋板的厚度差所致，最好将肋板上部切除，并用与相邻壁凳板相同厚度和相同机械性能的板材将其局部换新。

如果裂纹是由于壁凳板与双层底肋板之间的错位所致，应将结构切开，校正其错位。

(b) 与水密肋板相交处的内底纵骨和船底纵骨上的裂纹，应将其挖掉并局部换新，另外应安装具有软趾的肘板以减少肋板或扶强材上的应力集中。

(c) 对于纵骨与垂直扶强材或肘板连接处的裂纹，若此裂纹扩展至纵骨，长度超过纵骨深度的1/3，应将其切掉并局部换新纵骨。若裂纹没有延伸，将其成“V”形坡口批掉并焊接。另外为减少应力集中，应修改现有肘板趾端的形式或安装具有软趾的附加肘板予以补强。

(d) 应切除横向隔板/扶强材角隅处的裂纹并重新焊接。另外，扇形孔应用搭接领板封闭，为避免这种裂纹重新出现，可以考虑下述补强或改善措施：

一为减少有问题区域的变形，安装短的间断梁。

一尽可能增加箱形龙骨顶部横向隔板/扶强材的深度以便于安装管道。

(e) 通过改善焊接的形式和质量予以消除层状撕裂，即采用低氢焊条和适当的焊喉尺寸进行全焊透焊接。作为另一种办法，采用“Z”向性能钢板，即具有良好的厚度方向性能的钢板替代与下凳板相邻近和相连接的内底板。

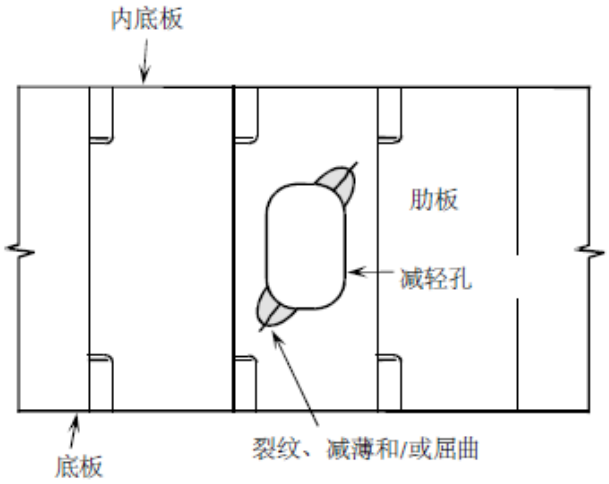
5.3.4 舭龙骨的修理如下：

(a) 及时修理舭龙骨的裂纹和扭曲，对接焊缝的裂纹应采用全焊透焊接和正确的焊接程序予以修理。舭龙骨与舭板一样承受相同水平的船体梁应力，因此舭龙骨上的裂纹可能延伸到船壳板上。

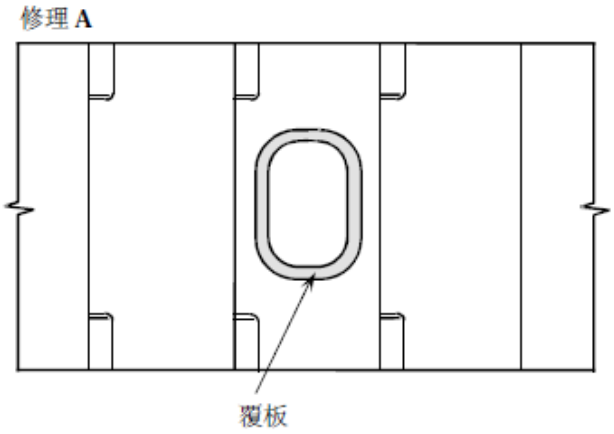
(b) 当割换修理损坏部分舭龙骨时应考虑在舭龙骨端部要有适当的内部结构支撑（见例17）。

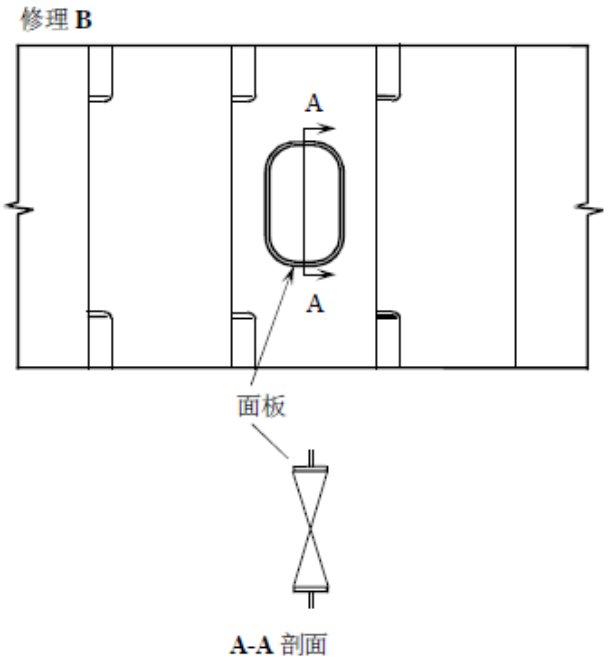
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	1
损坏细节	肋板/纵纵桁减轻孔周围的裂纹，腐蚀和/或屈曲	

损坏示意图



修理示意图



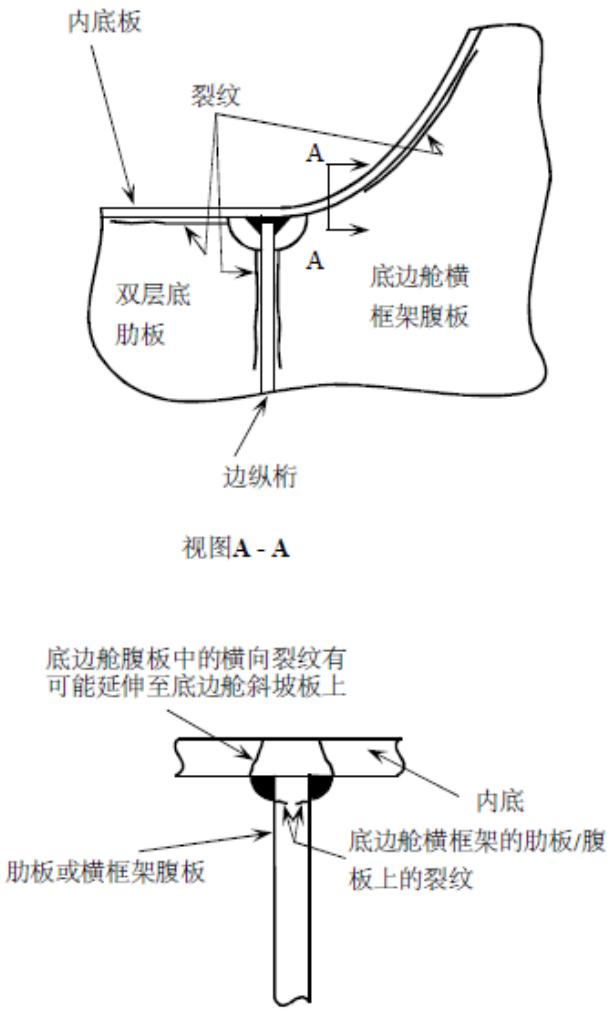


A-A 剖面

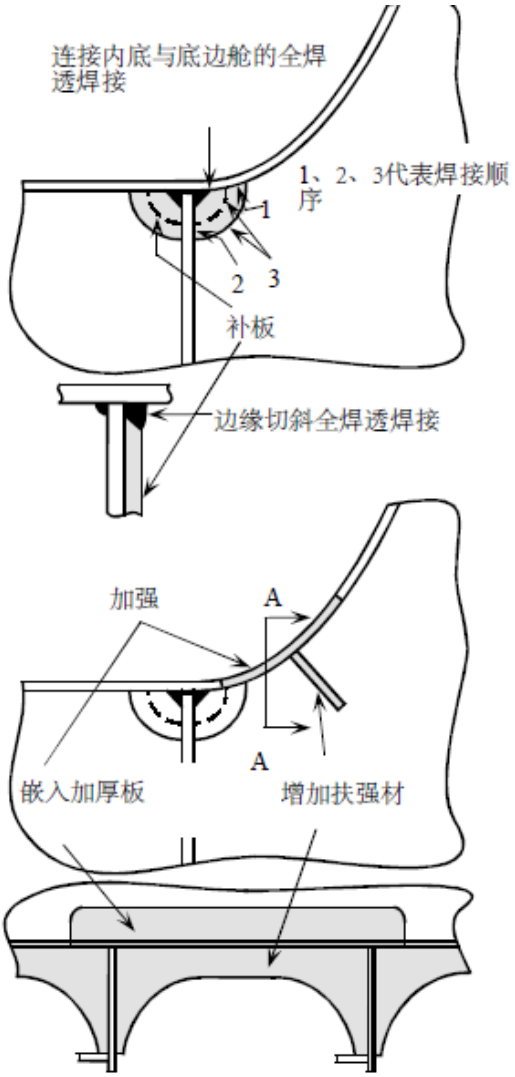
可能的损坏原因说明	修理说明
1、由于减轻孔的存在导致强度不足。 2、高应力引起减轻孔周围出现裂纹、腐蚀和/或屈曲。	1、如有必要，有裂纹、腐蚀和/或屈曲的板应进行割换。 2、应考虑适当的加强。

第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	2
损坏细节	底边舱/内底板交界处肋板焊接处的裂纹（圆弧形折角线）	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、开口的存在在焊缝边缘产生了应力集中和由于内底板/底边舱斜板的变形引起了局部应力的改变从而导致了该局部损坏。

修理说明

1、将焊缝和／或板上的裂纹成“V”形坡口批掉／割除并重新焊接。

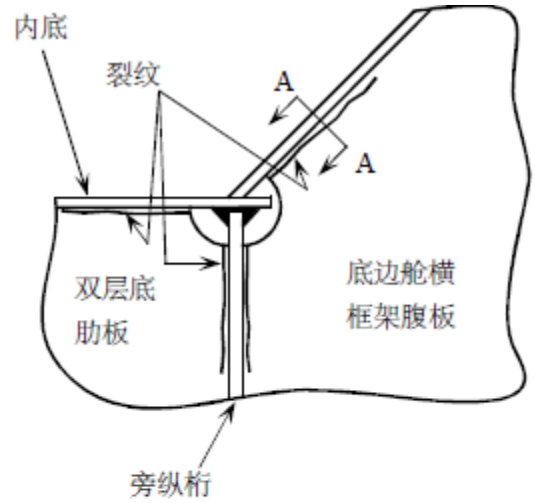
2、采用适当的补板封闭开口，在采用补板时，要特别强调边缘准备和上面所示的焊接顺序。

3、如上图所示，可能需要进一步补强，应与CCS商讨后进行。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例

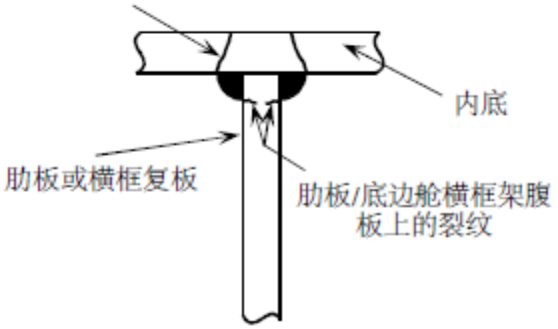
区域5	双层底包括底边舱结构	3
损坏细节	底边舱/内底板交界面（焊接折角线）上肋板焊接处的裂纹	

损坏示意图

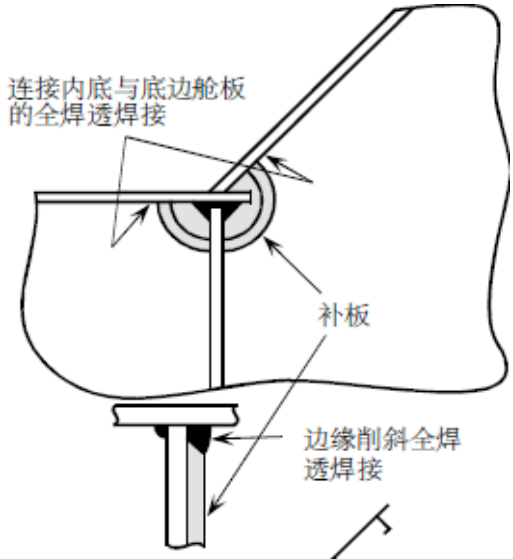


视图**A - A**

底边舱腹板上的横向裂纹，并有可能延伸至底边舱斜板

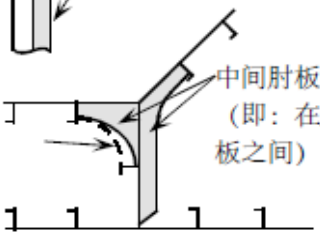


修理示意图

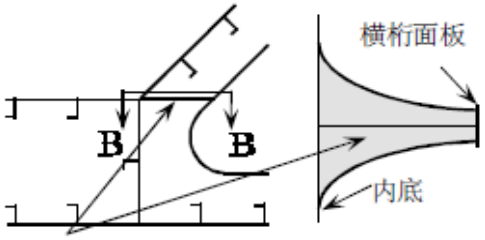


加强**A**

作为替代，如边纵桁上有肋骨，中间肋板可终止于纵骨处



加强**B**



视图 **B - B**

可能的损坏原因说明

1、焊缝边缘产生了应力集中和由于内底板/底边舱斜板的变形引起了局部应力的改变导致了该局部损坏。

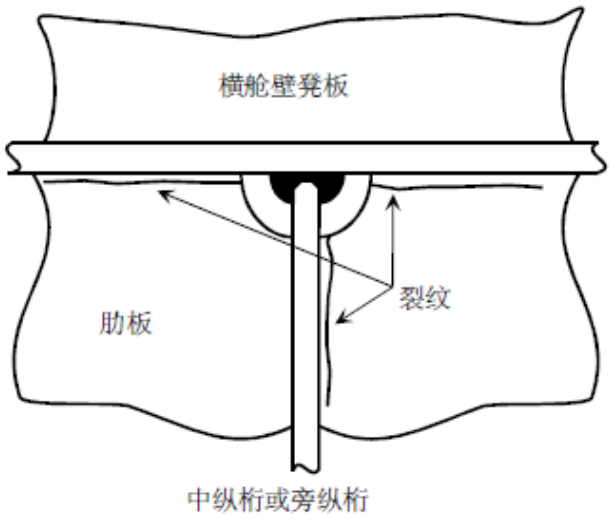
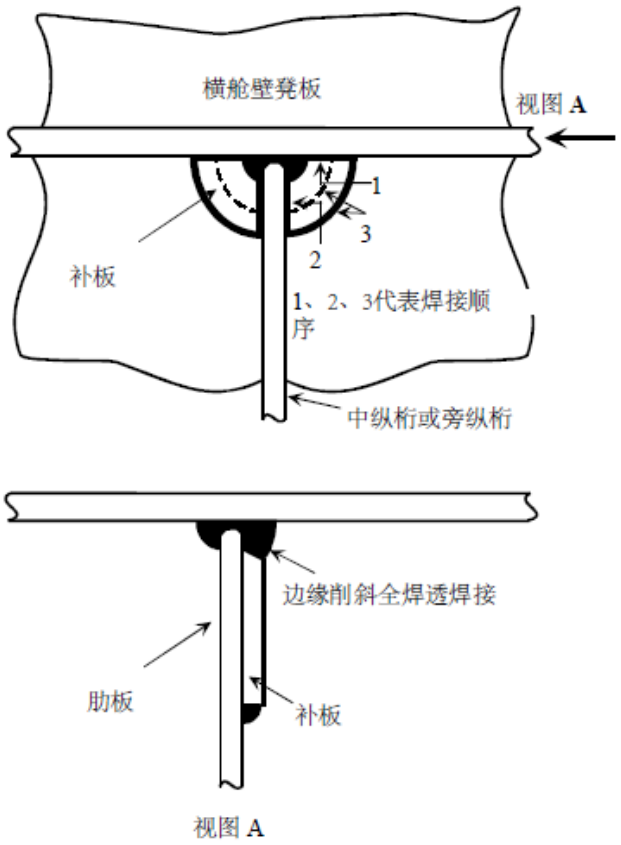
修理说明

1、将在焊缝和/或板上的裂纹成“V”形批掉/割除并重新焊接。

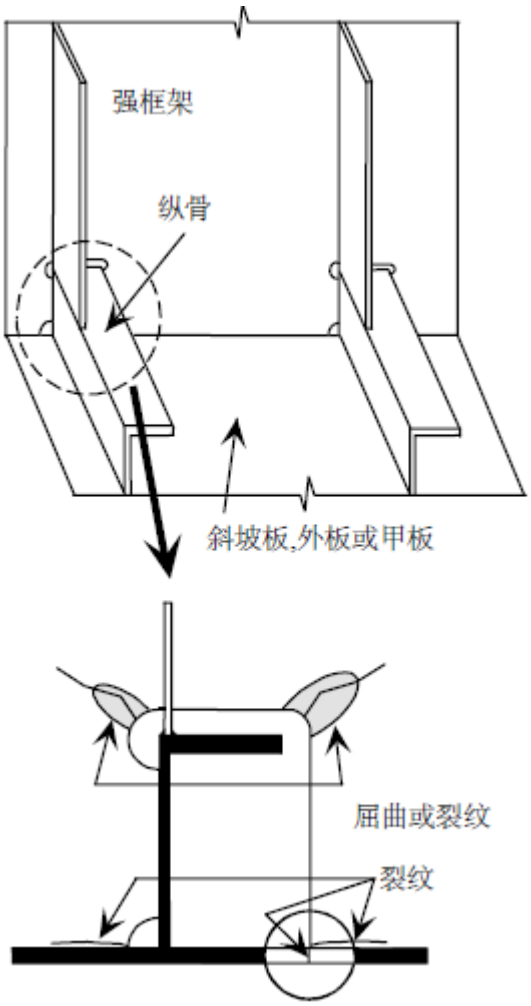
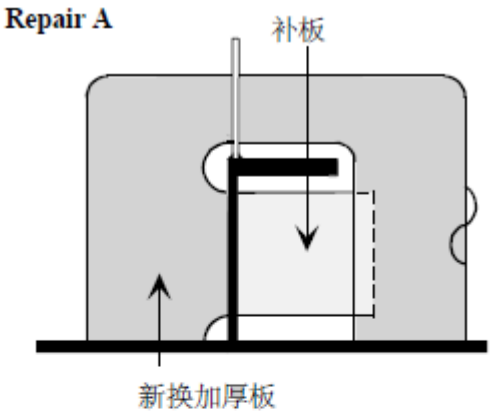
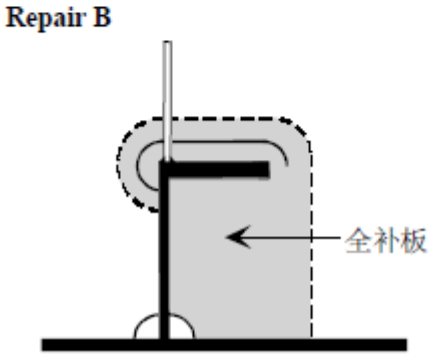
2、采用适当的补板开口，在采用补板时，要特别强调边缘准备和上面所示的焊接顺序。

3、根据对损坏原因的判断可以进行如上所示进一步补强的措施。

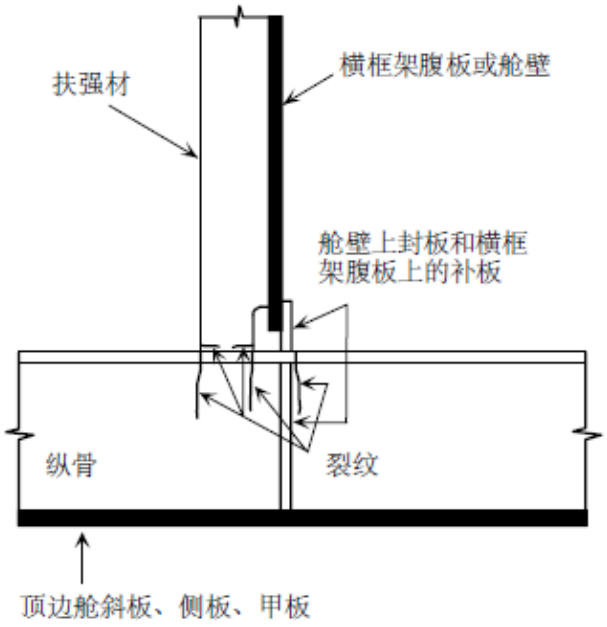
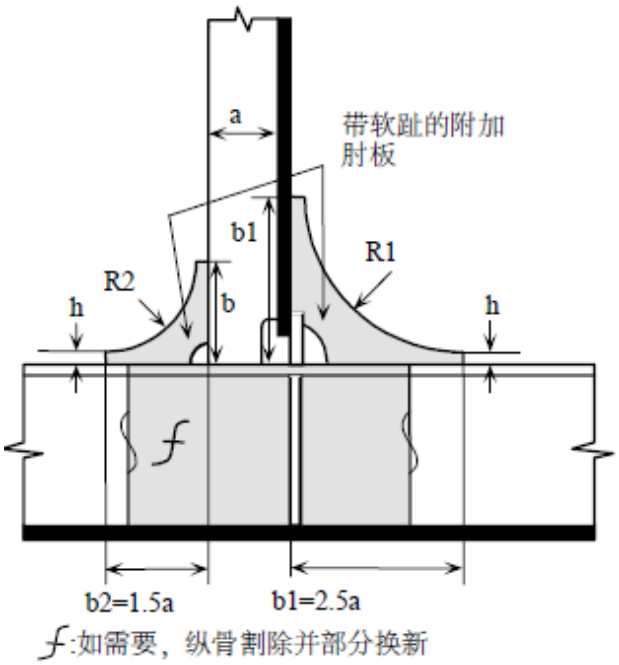
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	4

损坏细节	内底板和边纵桁，舱壁凳板处肋板连接焊接缝上的裂纹
损坏示意图  	修理示意图 
可能的损坏原因说明 1、由于存在过焊孔，在焊缝上产生了应力集中。	修理说明 1、为减少该区域的应力集中，需要在过焊孔上装焊补板。

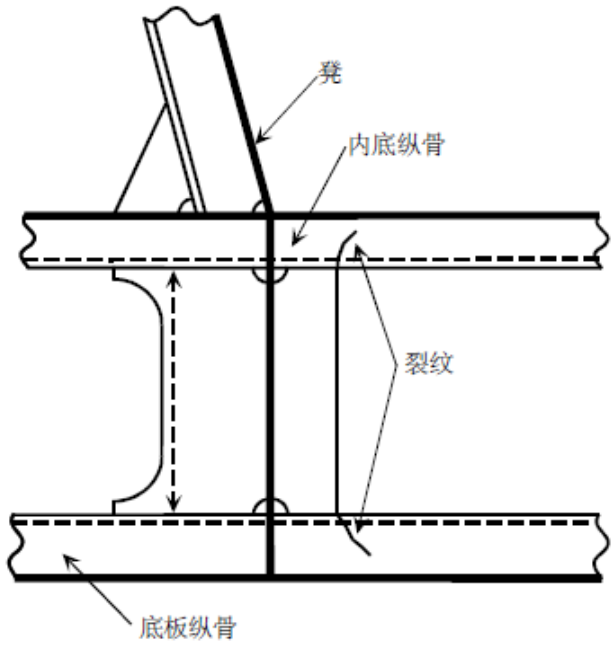
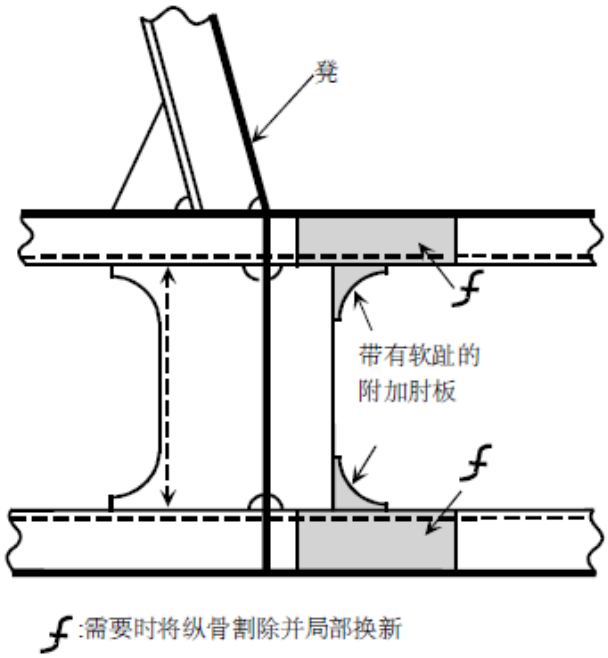
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	5
损坏细节	纵骨穿过横向主要构件开口处理的裂纹和屈曲	

损坏示意图	修理示意图
	 
可能的损坏原因说明 1、损坏是由于总体腐蚀和由于存在开口而产生的应力集中而引起。	修理说明 1、如果是显著裂纹，应将其割除并局部换新肋板/横框腹板。若板没有总体腐蚀，可将裂纹成“V”形坡口批掉并焊接。 2、若补强板无效，则采用“B”修理方法。

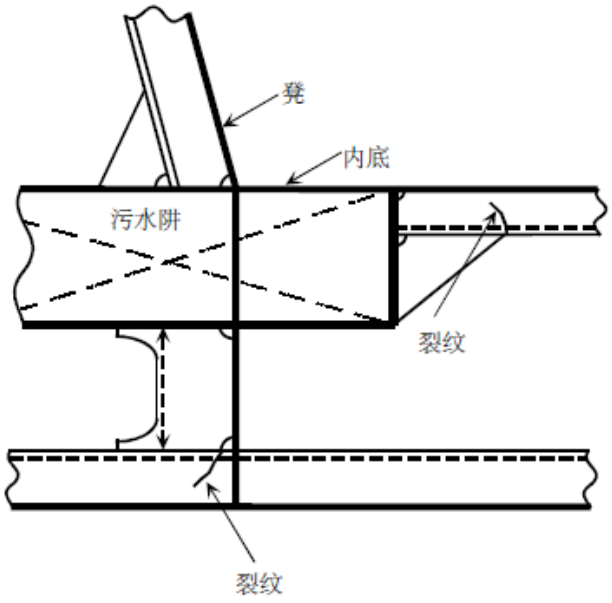
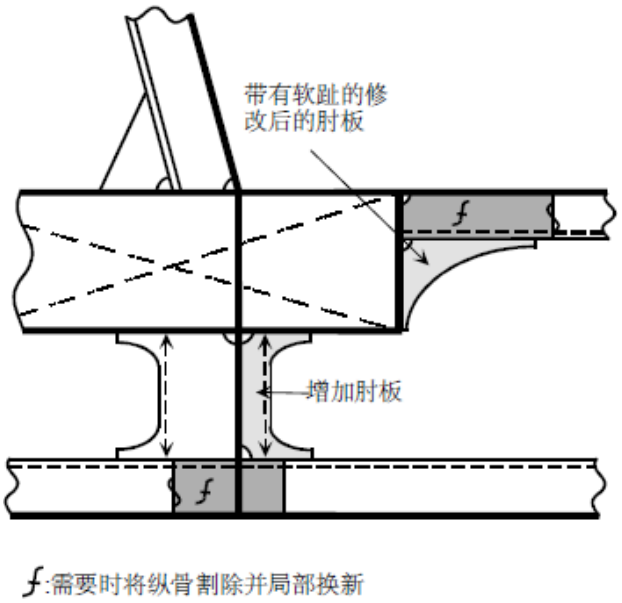
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	6
损坏细节	在肋板／横框架腹板或舱壁处纵骨上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	 1. 对于趾端的斜度最大1:3，Rl=(61-h)×1.6 和 R2=(62-h)×1.6。 2. 具有软趾的肘板先与纵骨焊接。 3. 肘板上的过焊孔尽可能的小，推荐最大半径值35mm。 4. 如果肘板的趾端已打磨光顺，则应进行全焊透焊接。 5. 对于非加强肘板边缘，最大的长度和厚度比为50：1。 6. 趾端高度尽可能小(10-15mm)
可能的损坏原因说明 l、损坏是由该区域的应力集中导致加速疲劳引起的。	修理说明 1、如果裂纹没有延伸，例如发裂（细小裂纹)可将其成“V”形批掉并焊接。 2、如果裂纹延伸至超过纵骨深度的1/3，应将其割除并局部换新。

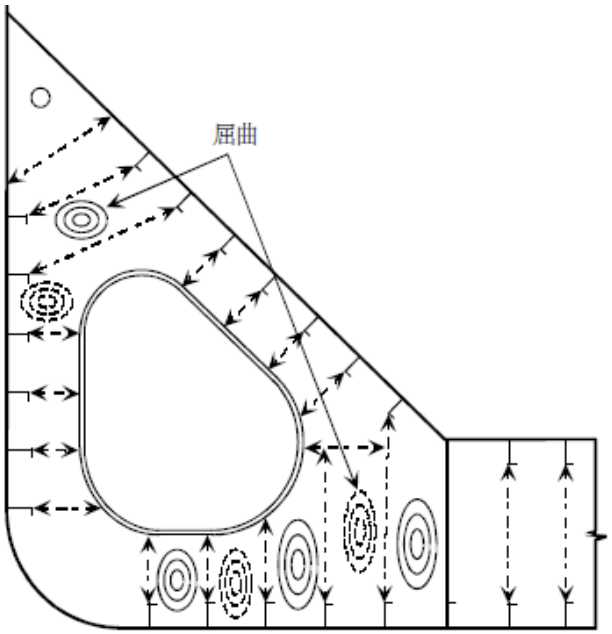
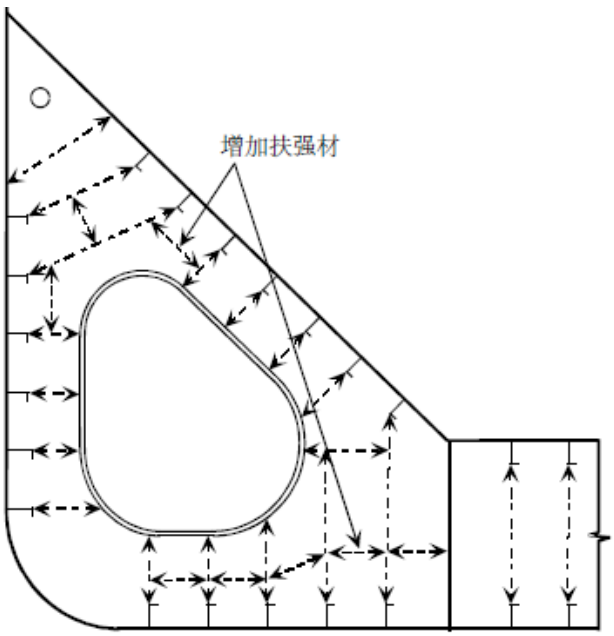
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	7
损坏细节	在内底板和壁凳交界处外底纵骨和内底纵骨的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、损坏是由该区域的应力集中导致加速疲劳引起的。	修理说明 1、如果裂纹没有延伸，例如发裂（细小裂纹）可将其成“V”形批掉并焊接。 2、如果裂纹延伸至超过纵骨深度的l/3，应将其割除并局部换新。

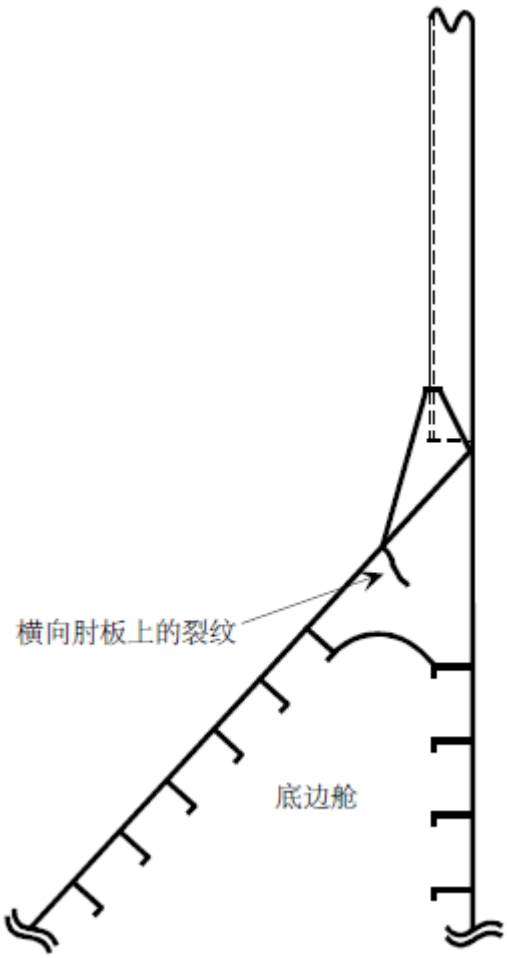
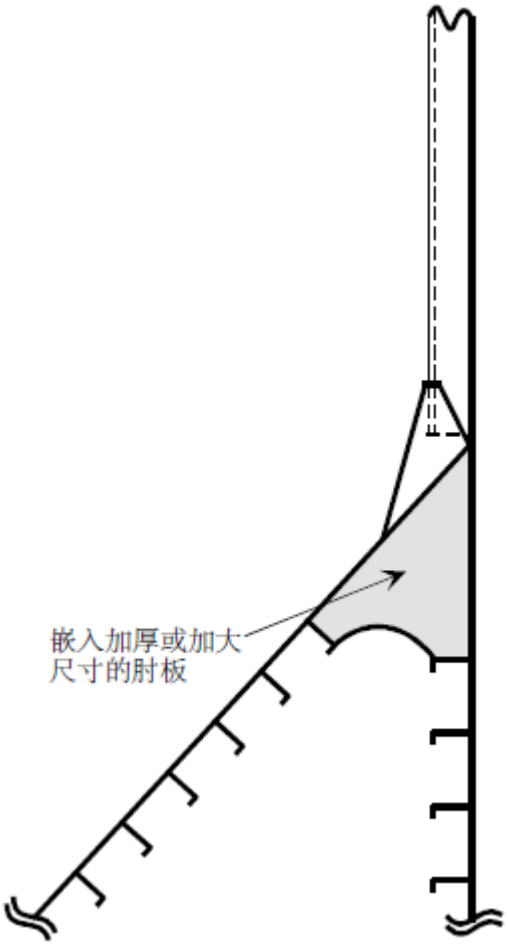
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	8
损坏细节	污水阱处纵骨上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 l、损坏是由该区域的应力集中导致加速疲劳引起的。	修理说明 1、如果裂纹没有延伸，例如发裂（细小裂纹）可将其成“V”形批掉并焊接。 2、如果裂纹延伸至超过纵骨深度的1/3，应将其割除并局部换新。

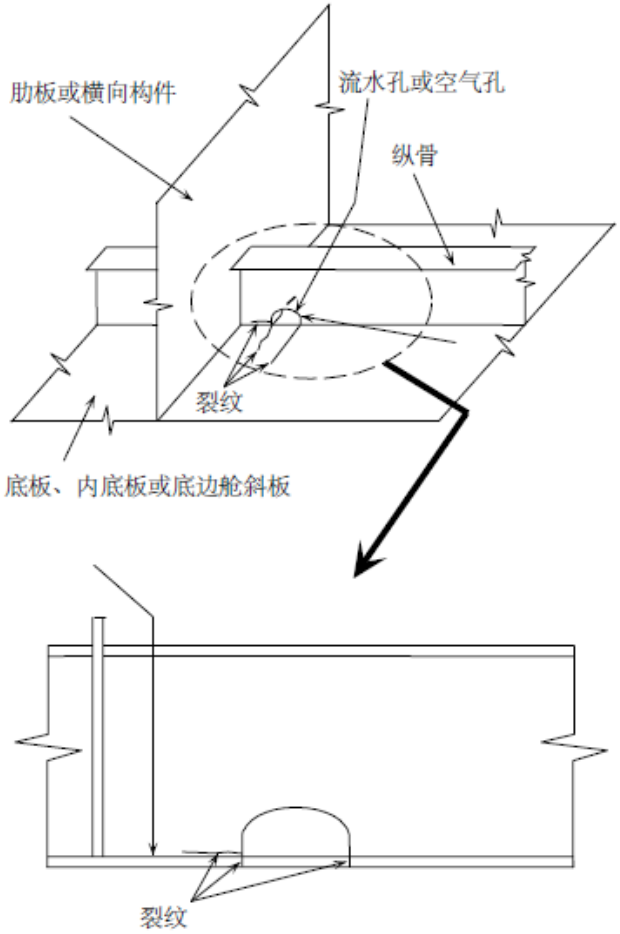
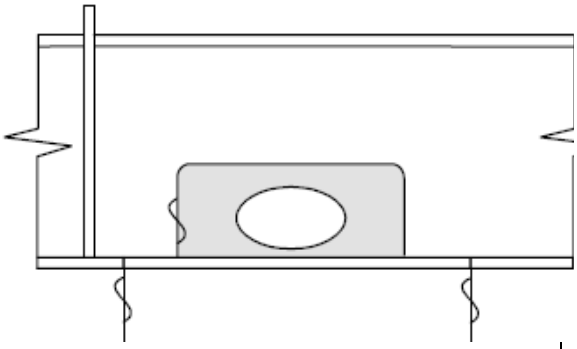
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	9
损坏细节	横框架腹板上的屈曲	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、横框架腹板的屈曲强度不足。 2、高应力区的腐蚀。	修理说明 1、如果没有明显腐蚀但有屈曲，应采用适当的加强。 2、如果屈曲的发生是由于高应力区域(剪切应力)腐蚀，损坏部分应割除并部分换新，应考虑适当的加强和保护措施。

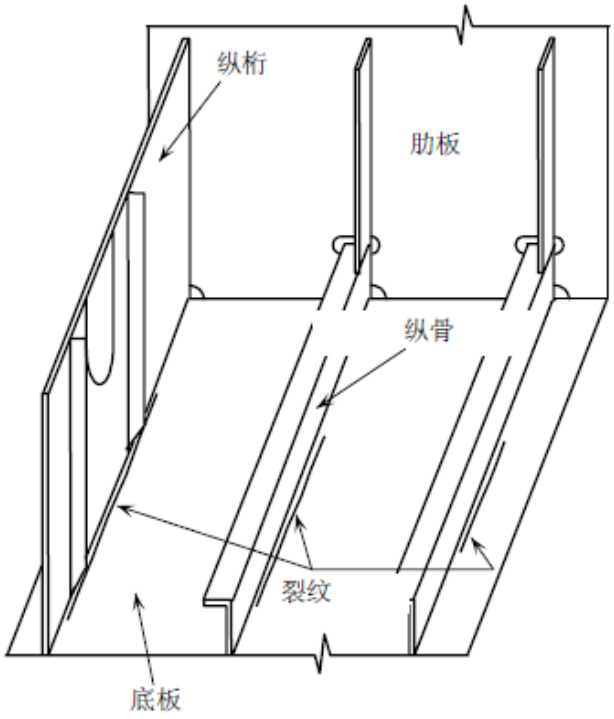
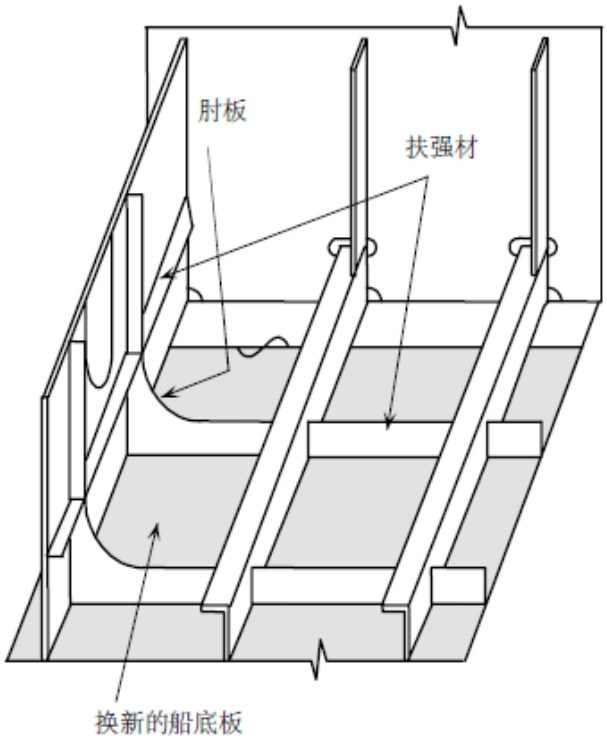
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	10
损坏细节	横向肘板焊接连接处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、普遍腐蚀和存在应力集中。 2、肘板和相邻构件（如肋骨肘板）不对中。 3、由于肘板尺寸小而产生的高剪应力。 4、偶然性超载。	修理说明 1、如果损坏是由于与上面的肋骨肘板不对中引起，应校正不对中。 2、应考虑采用加厚或加大尺寸的肘板代替。

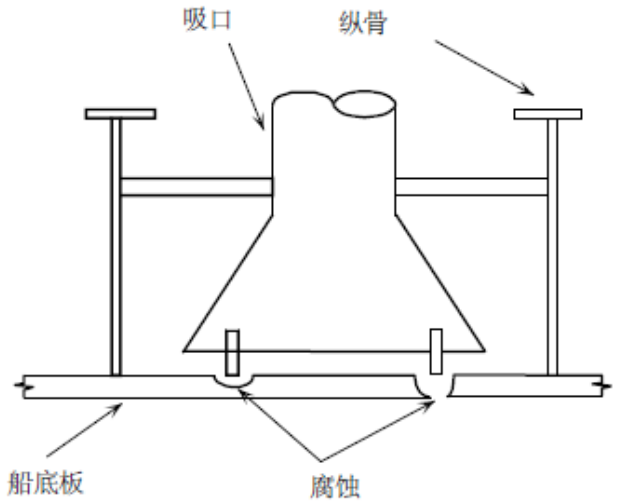
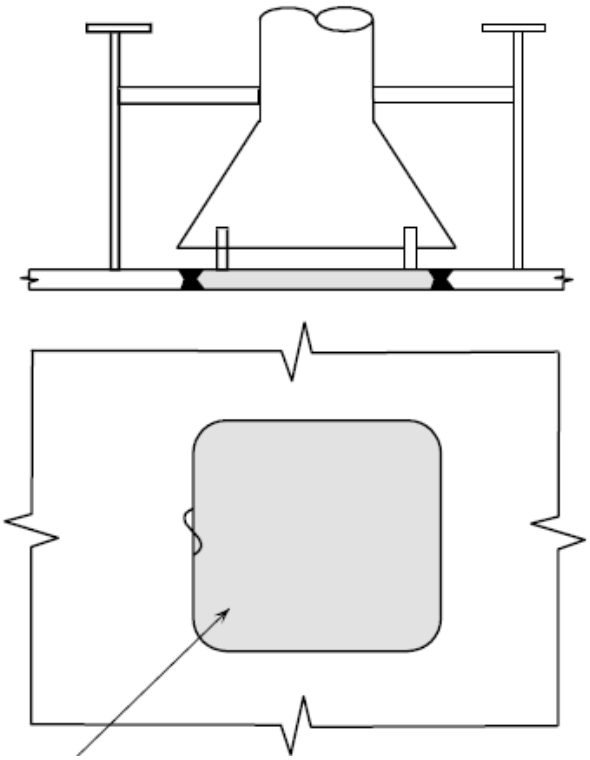
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	11
损坏细节	在纵骨流水孔/透气角处的船底板/舷侧外/底边舱斜板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
 	
可能的损坏原因说明 1、由于在流水孔/空气孔角隅处的应力集中和/或腐蚀。	修理说明 1、有裂纹的板割除或部分换新。 2、如果要改善疲劳寿命，则应考虑改变流水孔/空气孔的形状。

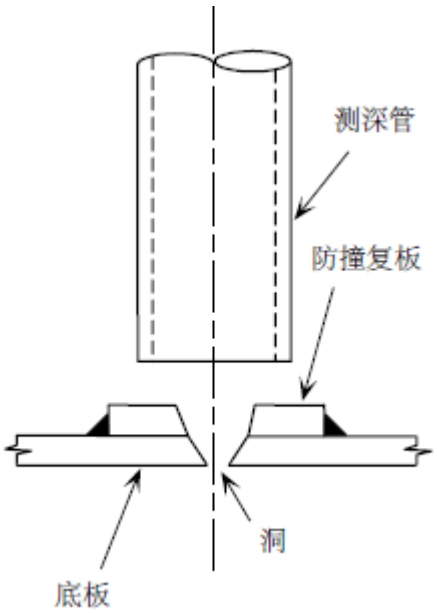
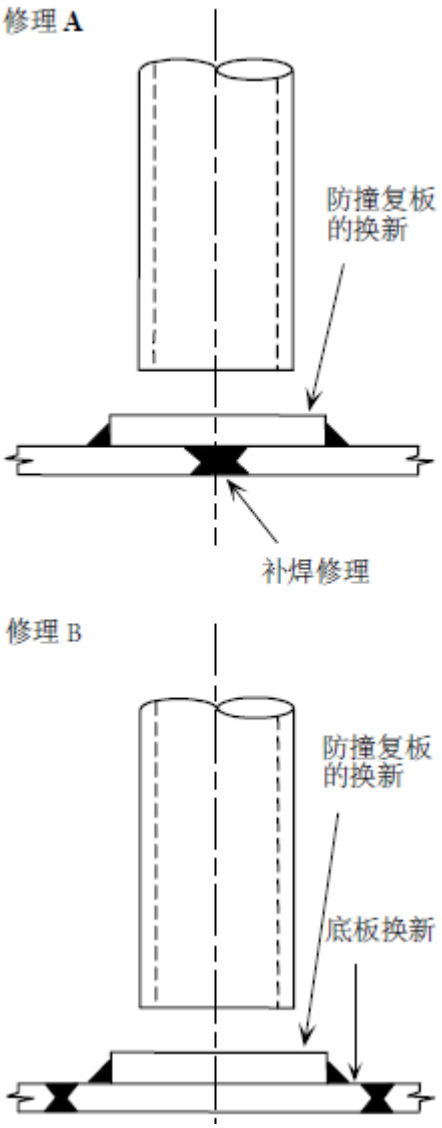
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	12
损坏细节	在船底板上沿着旁桁材和／或底纵骨的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、振动。	修理说明 1、有裂纹的底板应割除并换新。 2、应改变板格的固有频率，例如采用附加扶强材/肘板等加强。

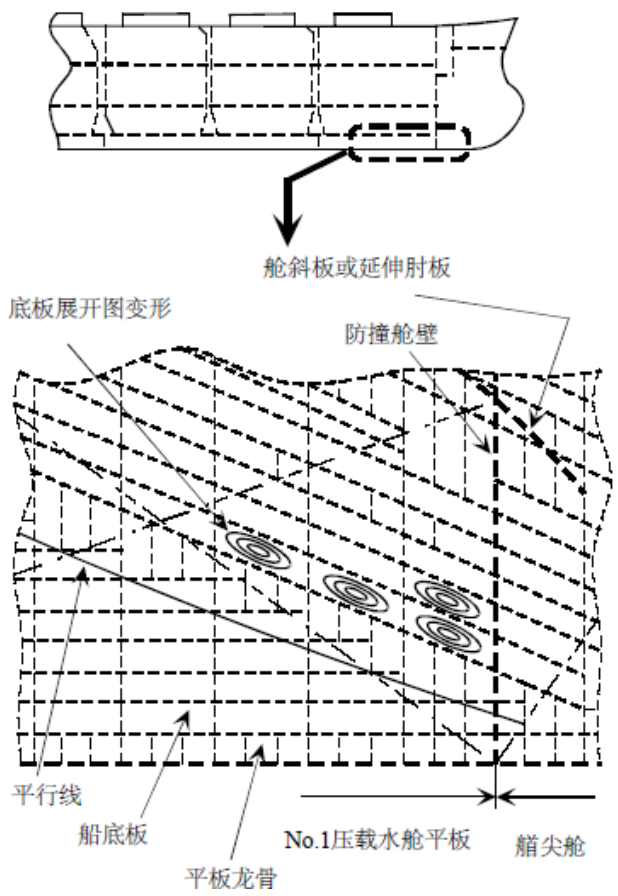
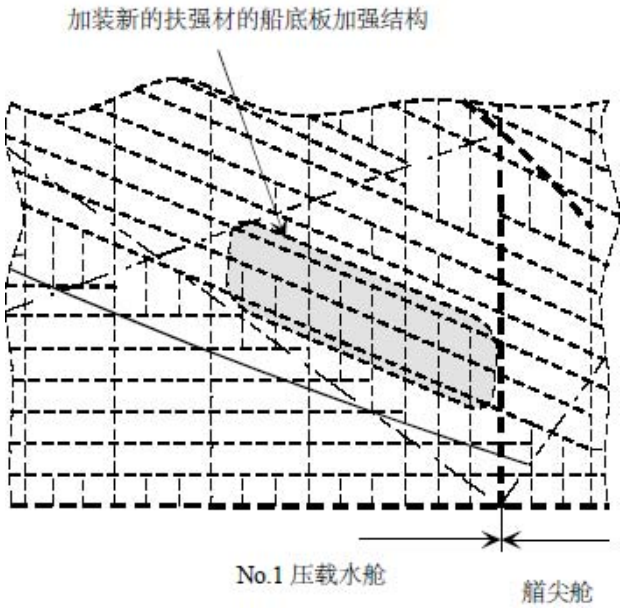
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	13
损坏细节	吸口下方底板的腐蚀	

损坏示意图	修理示意图
	 1、插入四周圆角的板。 2、根据CCS的要求，焊后进行无损检测。
可能的损坏原因说明 1、高的流动速率且缺乏有效的保护装置。 2、不同材料之间的电化学作用。	修理说明 1、受影响的板应割除并换新。可考虑加厚板和有合适坡口的板。 2、如果腐蚀局限在较小范围内，例如点状腐蚀，可采用补焊修理。

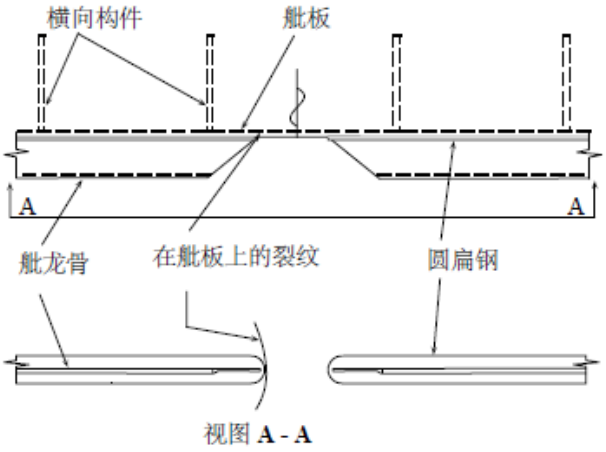
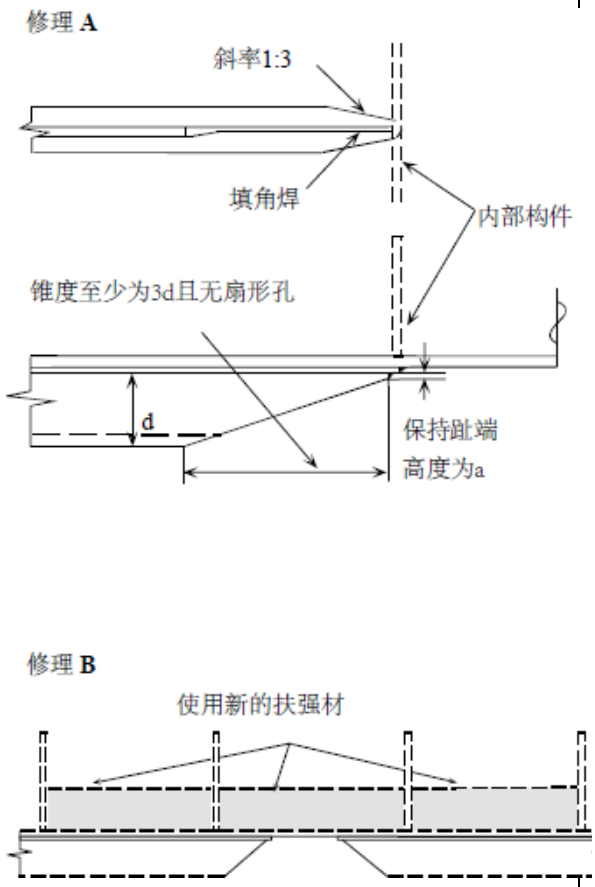
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	14
损坏细节	测深管下方的船底板腐蚀	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、测深锤的重力撞击，加速了防撞复板的腐蚀。	修理说明 1、如有必要，腐蚀的底板应焊接或部分割除换新。 2、腐蚀的撞击板应换新。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	15
损坏细节	由于砰击艏部船底板的变形	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、恶劣天气。 2、对防砰击的设计不良。 3、不当操作。例如疏忽导致压载过重。	修理说明 1、变形的船底板应原地校平，若有必要可割除换新。 2、船底板应用扶强材加强。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第一部分	货舱区域	例
区域5	双层底包括底边舱结构	16
损坏细节	在舭龙骨端部船壳板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、不良设计引起的应力集中。	修理说明 1、有裂纹的板应割除并换新。 2、应考虑减少舭龙骨端部的应力集中。 修理方法A：端部细节的修改 修理方法B：增设新的内部扶强材 修理方法C：使用连续的圆扁条钢(结合修理方法A) 3、可考虑用连续的圆扁条钢和舭龙骨替代修理方法A或B。

第二部分 艏艉端区域

目录

区域1 艏端结构

区域2 艉端结构

区域3 艉柱、舵装置及螺旋桨轴支架

区域 1 艏端结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题

2.1 材料的蚀耗

2.2 变形

2.3 裂纹

3 关于修理的一般性建议

3.1 材料的蚀耗

3.2 变形

3.3 裂纹

图和/或图片一区域1	
序号	项目
图1	艏端结构—潜在问题区域

结构细节缺陷和修理实例…区域1	
例	项目
1	艏楼甲板变形
2	舷墙处艏楼甲板板上的裂纹
3	锚链舱处舷侧外板上的裂纹
4	艏楼区域舷侧外板变形
5	艏部强肋骨腹板舷侧纵骨开口处的变形和裂纹
6	与纵桁平台肘板连接的强肋骨肘板趾端处的裂纹

1. 概述

1.1 由于高湿度海水环境作用，许多散货船，尤其是老龄散货船的艏尖海水压载舱的腐蚀成为一个较大问题。当上述处所没有涂层保护或涂层维护不良时，腐蚀会加速，并导致内部结构和舱壁边界上产生裂纹。

1.2 碰撞会导致变形，引起内部构件损坏和外板的裂纹。

1.3 波浪拍击、砰击作用导致艏尖舱区域内部结构裂纹。

1.4 由于甲板上浪，艏楼结构可能出现甲板结构变形、舷墙变形或开裂、桅杆损坏等。

1.5 锚和锚链管附近的外板容易受到损伤，不正确的收锚动作会导致变形及可能产生裂纹。

2. 应予注意的问题

2.1 材料蚀耗

2.1.1 腐蚀（以及随之产生的裂纹）有可能在如图1所示位置产生，这些部位应特别重视。应采取近观检验及代表性测厚以确定腐蚀程度。

2.1.2 锚链动作导致锚链舱内结构保护涂层的机械损伤，所以该区域易严重腐蚀。一些散货船，尤其是小型散货船，由外板形成锚链舱的边界，则锚链舱的严重腐蚀会导致舷侧外板穿孔。

2.2 变形

2.2.1 与码头或其它物体碰撞会导致较大变形及内部构件裂纹，这会影响到舱边界和防撞舱壁水密完整性。对变形区域应采用近观检验以确定损坏程度。

2.3 裂纹

2.3.1 在对内部结构的近观检验中通常可以发现艏尖舱的裂纹。

2.3.2 裂纹常发生在结构过渡区域，参见第1部分区域2、区域3。

2.3.3 在进行舱柜压力试验时可以观察到贯穿整个板厚或边界焊缝的裂纹。

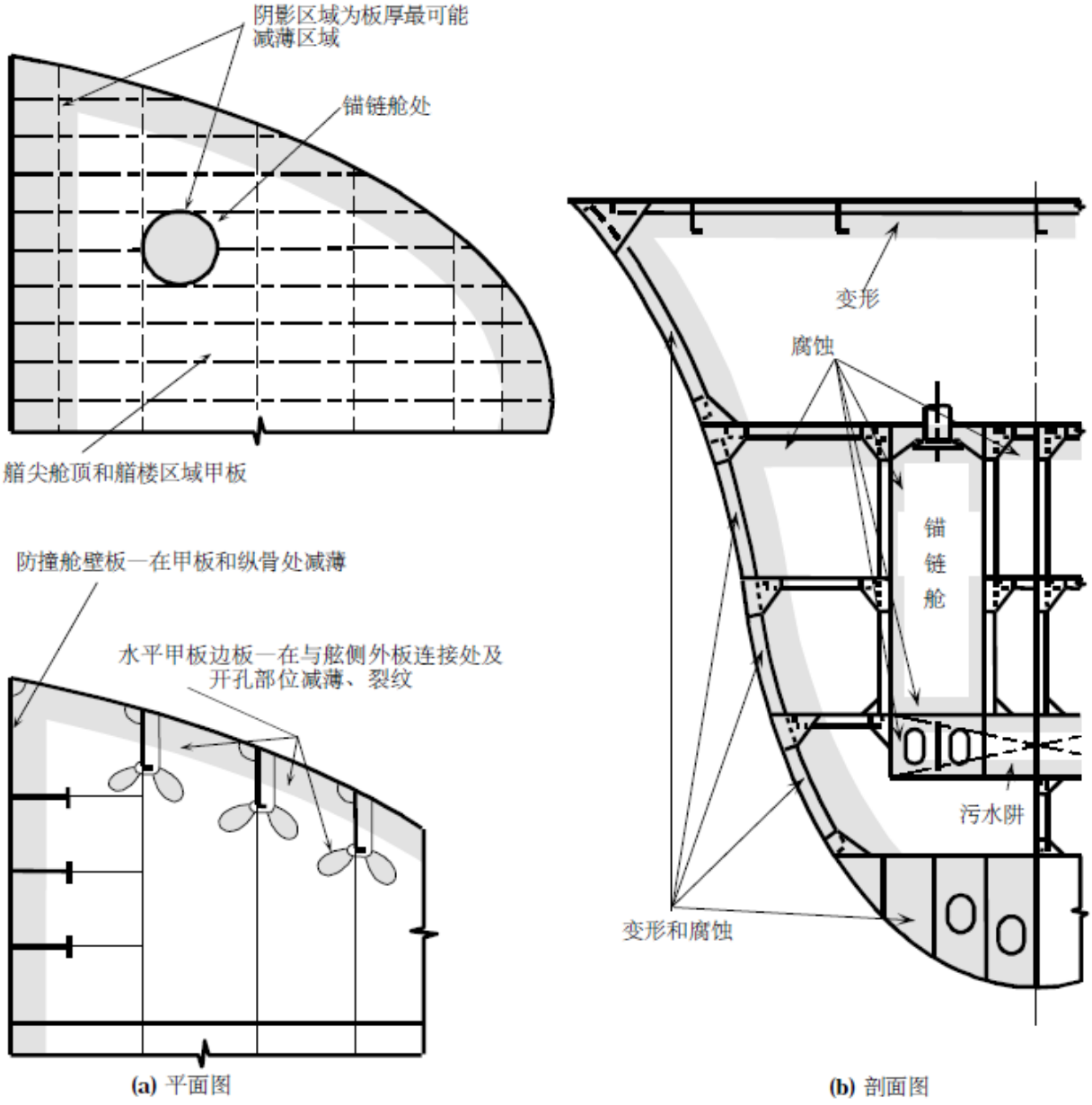


图1 艏部结构一潜在问题区域

3. 关于修理的一般性建议

3.1 材料蚀耗

3.1.1 代表性测厚可以确定需换新板的范围。当部分结构板厚减薄到所允许的最低厚度时，影响区域应被切除、换新。舱内的修理工作应要求对可达性作出详细策划。

3.2 变形

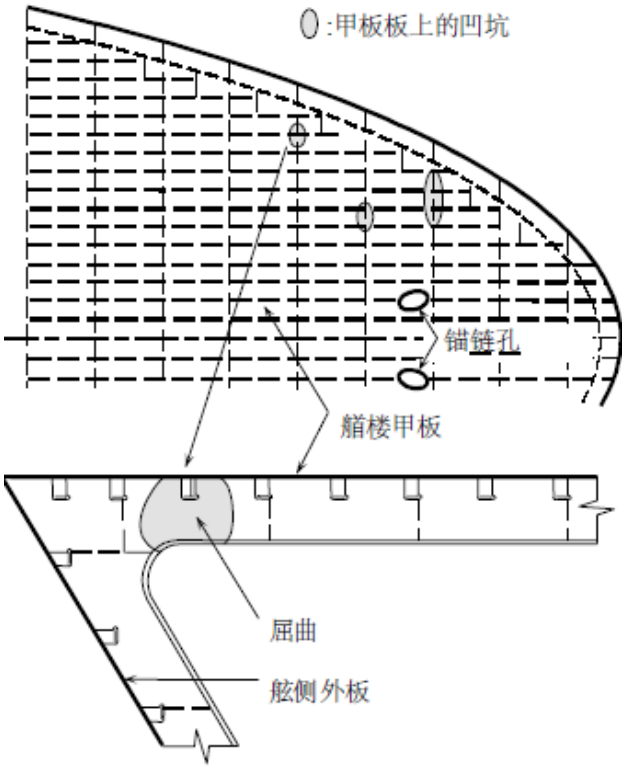
3.2.1 由于碰撞导致的变形应根据损坏性质和范围进行挖换或校平。

3.3 裂纹

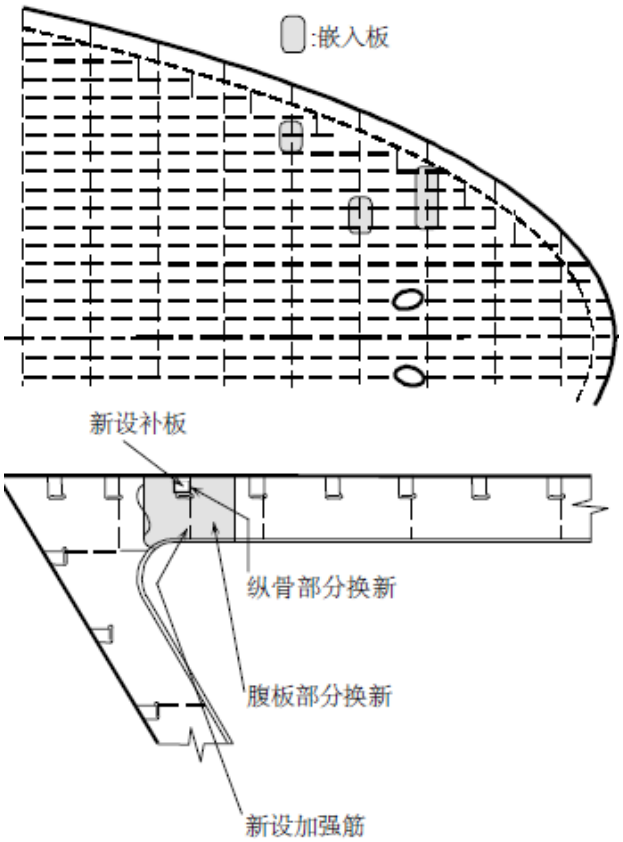
3.3.1 性质不严重的裂纹可成“V”形坡口批掉并补焊。当裂纹较长时，应挖换该结构。当裂纹是由于波浪载荷产生时，可考虑增加板厚或调整设计以减少应力集中。（见例1、2和6)

第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艏端结构	1
损坏细节	艏楼甲板变形	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、甲板上浪。

2、强度不足。

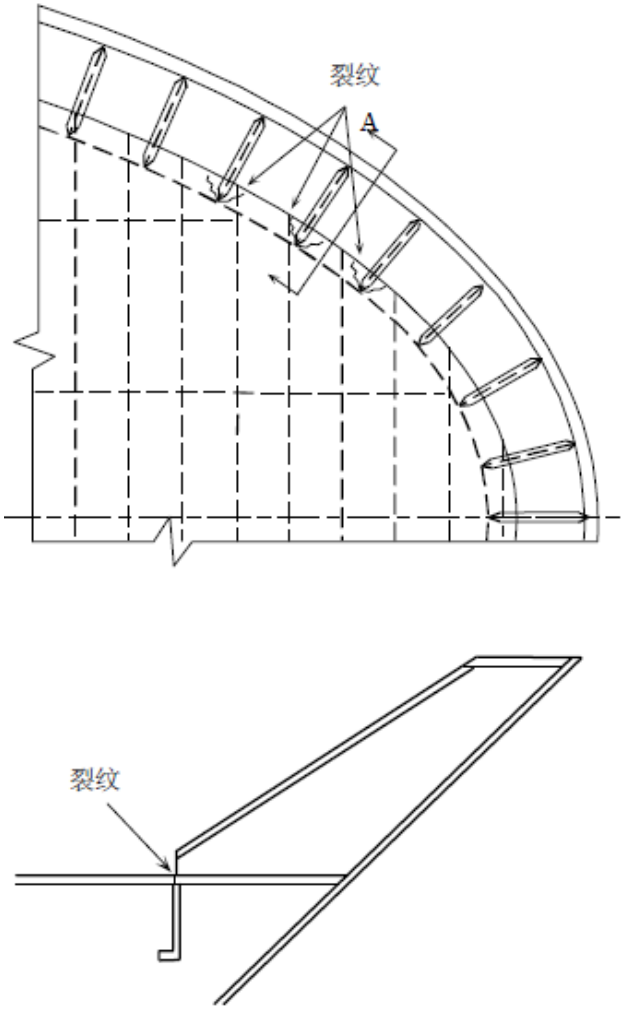
修理说明

1、变形的结构应被挖换。

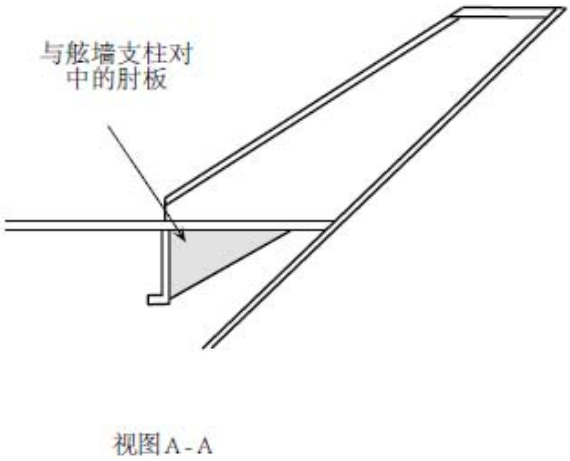
2、考虑在横梁腹板上加设加强筋。

区域1	艏端结构	2
损坏细节	舷墙处艏楼甲板上的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、恶劣天气时艏部外飘的影响。

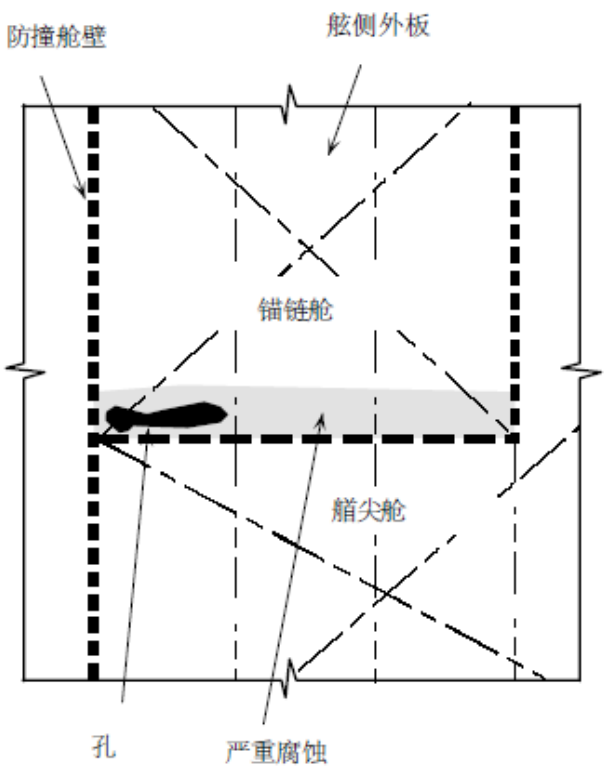
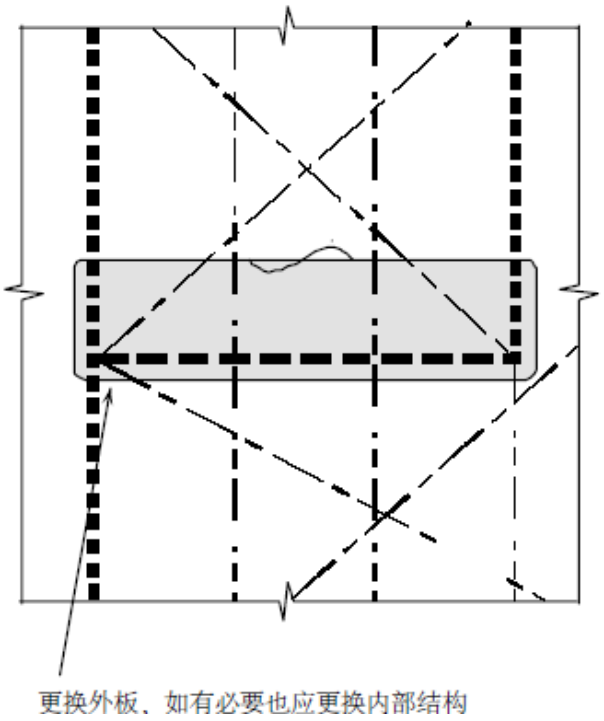
2、设计不合理导致的应力集中。

修理说明

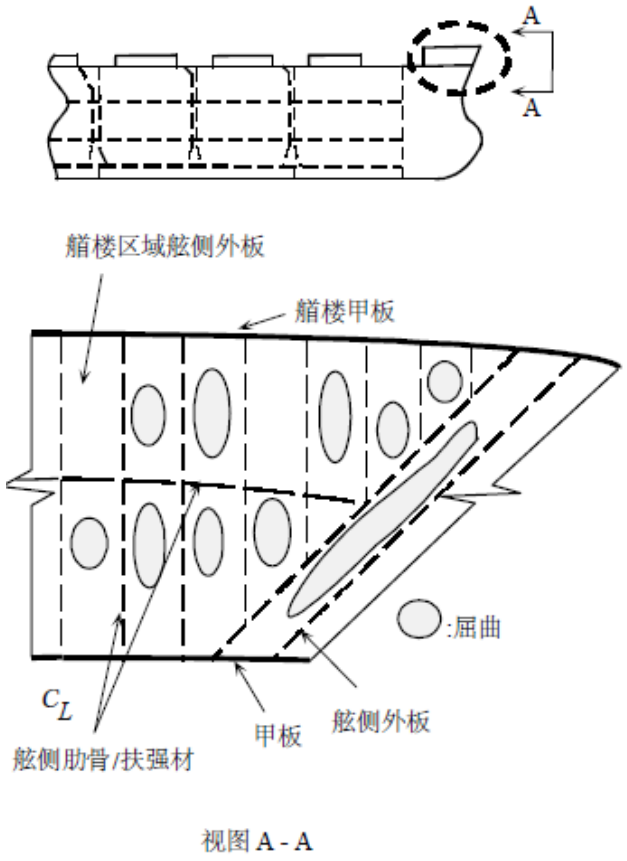
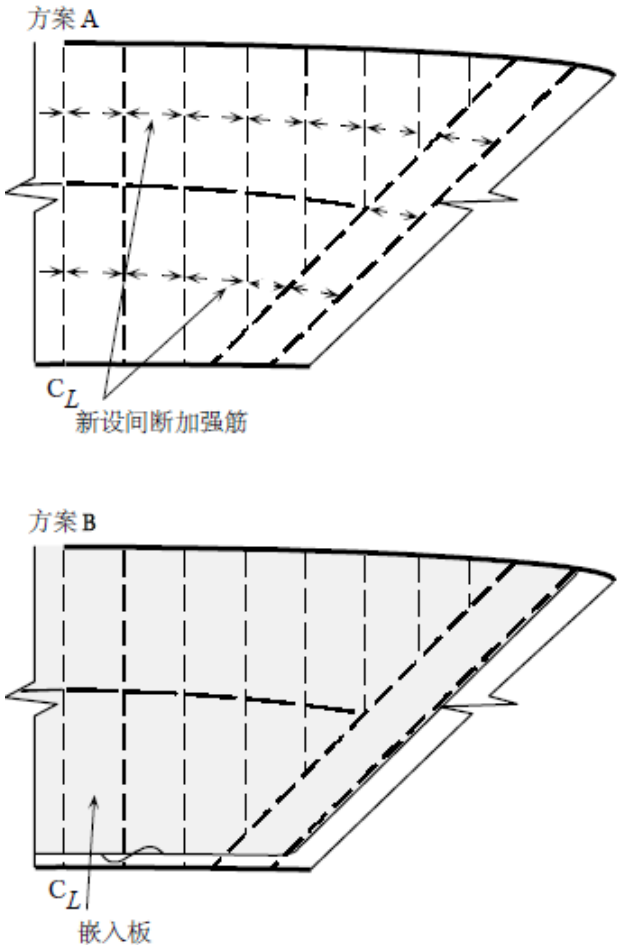
1、有裂纹的甲板板应割换。

2、增设与舷墙支柱对中的肘板以减少应力集中。

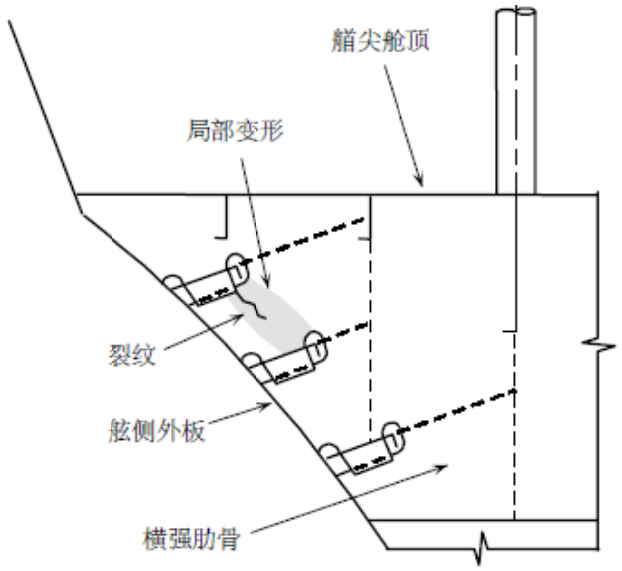
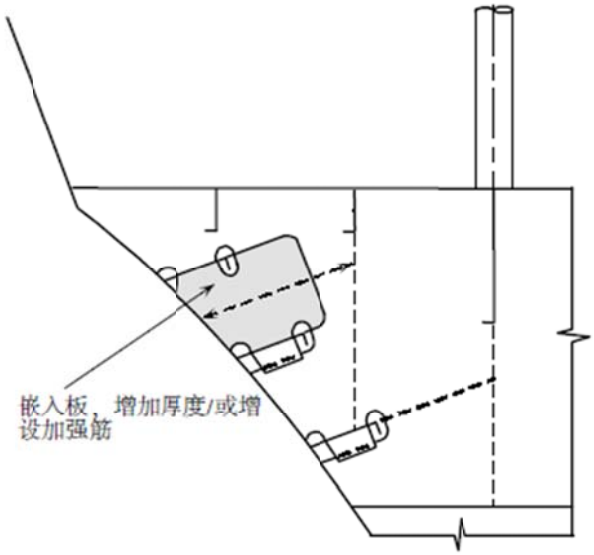
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艏端结构	3

损坏细节	锚链舱处舷侧外板上的裂纹
损坏示意图  	修理示意图 
可能的损坏原因说明 1、泥沙积聚区域严重腐蚀。	修理说明 1、腐蚀的板应割换。 2、使用保护涂层。

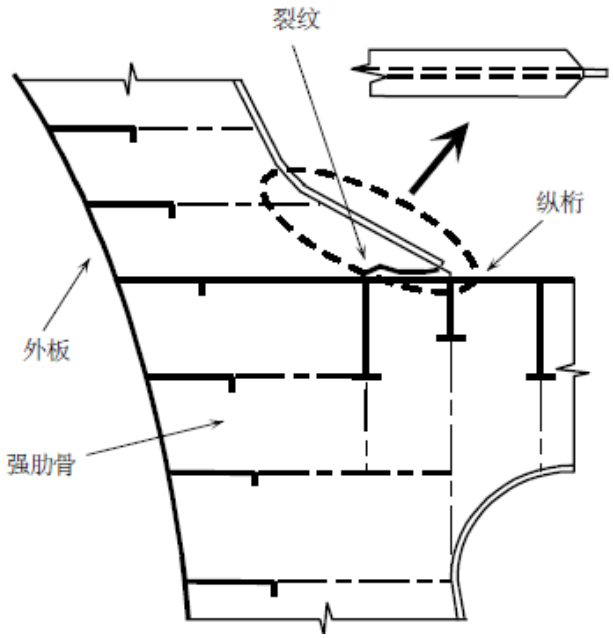
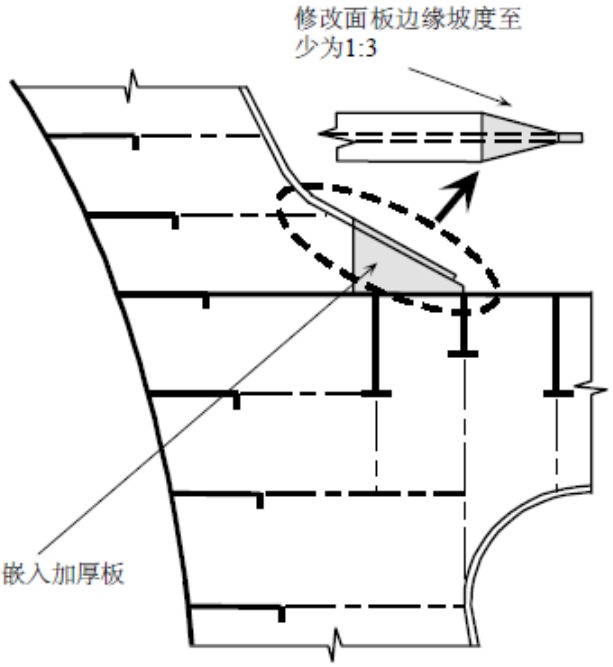
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艏端结构	4
损坏细节	艏楼区域舷侧外板变形	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、恶劣天气。 2、强度不足。	修理说明 1、变形部位应切除并局部更换。 2、方案A：考虑在现有扶强材间增设加强筋。 方案B：嵌入一块设有加强筋的加厚板。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艏端结构	5
损坏细节	艏部强肋骨腹板舷侧纵骨开口处的裂纹和变形	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由结构施工造成开口和锐边处的涂层破坏而导致局部减薄。 2、艏部外飘处承受舷外水动载荷。	修理说明 1、提供足够的板格强度以承载由于艏部外飘所增加的动载荷。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艏端结构	6
损坏细节	与纵桁平台肘板连接的强肋骨肘板趾端处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、强肋骨和纵桁连接肘板不当。 2、由于结构挠曲变形和肘板涂层损坏导致局部减薄。 3、艏部外飘处的舷外水动载荷。	修理说明 1、安装带有软化趾端的肘板，面板的趾端至少应有1：3的斜率。

区域 2 艉端结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题

2.1　材料的蚀耗

2.2　变形

2.3　裂纹

3　关于修理的一般性建议

3.1　材料的蚀耗

3.2　变形

3.3　裂纹

图和/或图片一区域2	
序号	项目
图1	艉端结构一潜在问题区域

结构细节缺陷和修理实例…区域2	
例	项目
1	舵杆筒处纵舱壁上的裂纹
2	肋板与纵桁两侧肘板连接处的裂纹
3-a	舵机舱内安装舵承的平台上的裂纹
3-b	舵机底座肘板上的裂纹及甲板板变形

1 概述

1.1 由于高湿度海水环境作用，许多散货船，尤其是老龄散货船的艉尖海水压载舱的腐蚀成为一个较大问题。当上述处所没有涂层保护或涂层维护不良时，腐蚀会加速，并导致内部结构和舱壁边界上产生裂纹。

1.2 船艉部受到撞击或波浪冲击会产生变形，这种变形导致内部结构损坏从而使船壳板产生裂纹。

1.3 主机和螺旋桨的激振也会始发艉尖舱区域内部结构裂纹。

2 应予注意的问题

2.1 材料蚀耗

2.1.1 腐蚀（以及随之产生的裂纹）有可能在如图1所示位置产生，这些部位应予以特别重视。可采用近观检验及代表性测厚以确定腐蚀程度。对于燃油舱周界和高温机舱邻近区域应加强检查。

2.2 变形

2.2.1 与码头或其它物体碰撞会导致较大变形及内部构件裂纹，这会影响到舱边界和舱壁的水密完整性。对变形的区域应采用近观检验以确定损坏程度。

2.3 裂纹

2.3.1 一般艉尖舱内肋板连接处或其它部位焊缝及舵杆筒区域裂纹只有通过近观检验才能发现。

2.3.2 舵过载会导致舵承支撑结构变形和/或产生裂纹，这种载荷也会导致连接舵承和舵机平台的螺栓损坏。

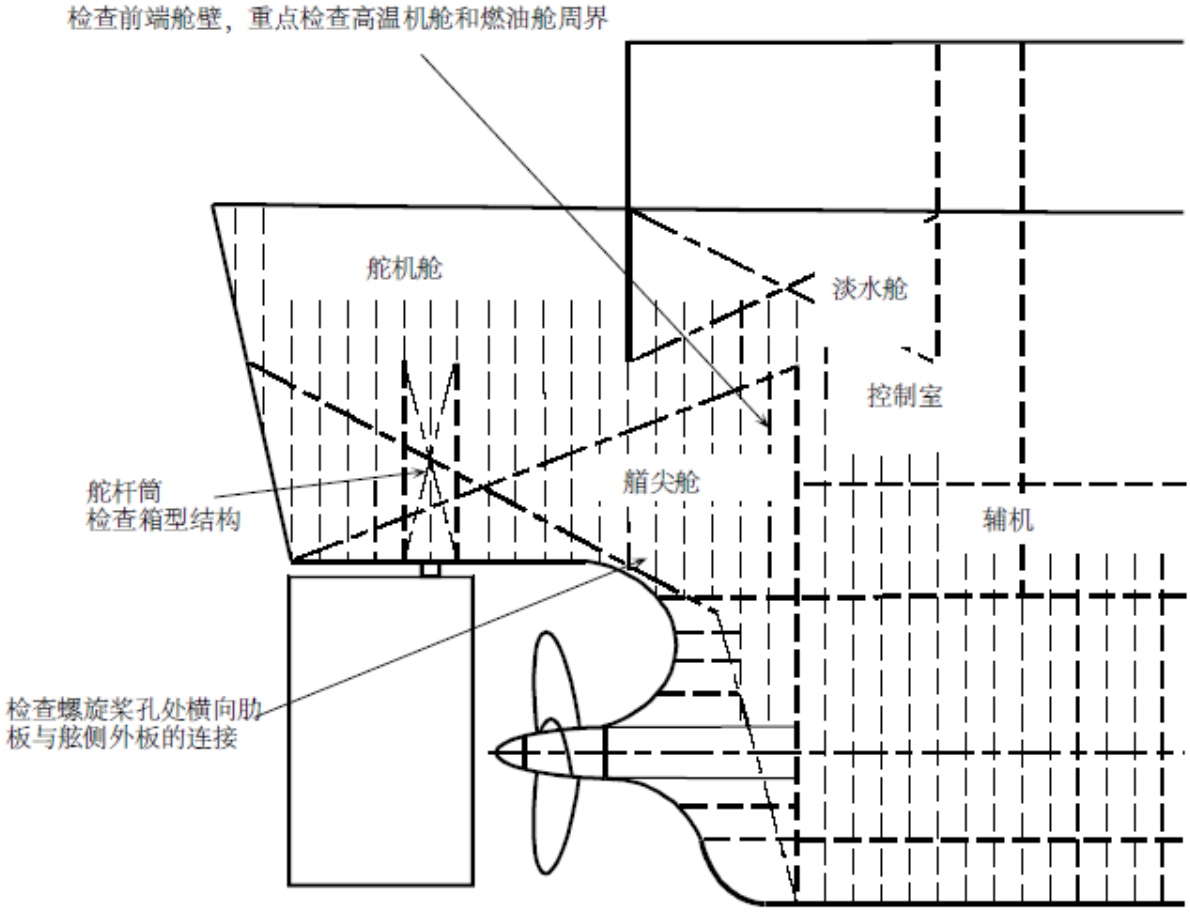


图1 艉端结构一潜在问题区域

3 关于修理的一般性建议

3.1 材料蚀耗

3.1.1 可以通过代表性测厚来确定需换新板的范围。当部分结构板厚减薄到所允许的最低厚度时，影响区域应被切除、换新。舱内的修理工作要求对可达性作出详细策划。

3.2 变形

3.2.1 由于碰撞导致的变形应根据损坏性质和范围进行挖换或校平。

3.3 裂纹

3.3.1 性质不严重的裂纹可成“V”形坡口批掉并补焊。当裂纹较长时，应挖换该结构。

3.3.2 为防止由于主机或螺旋桨激振而导致的损坏再度发生，应查明振动原因并在必要时加强结构。（详见例1、2）

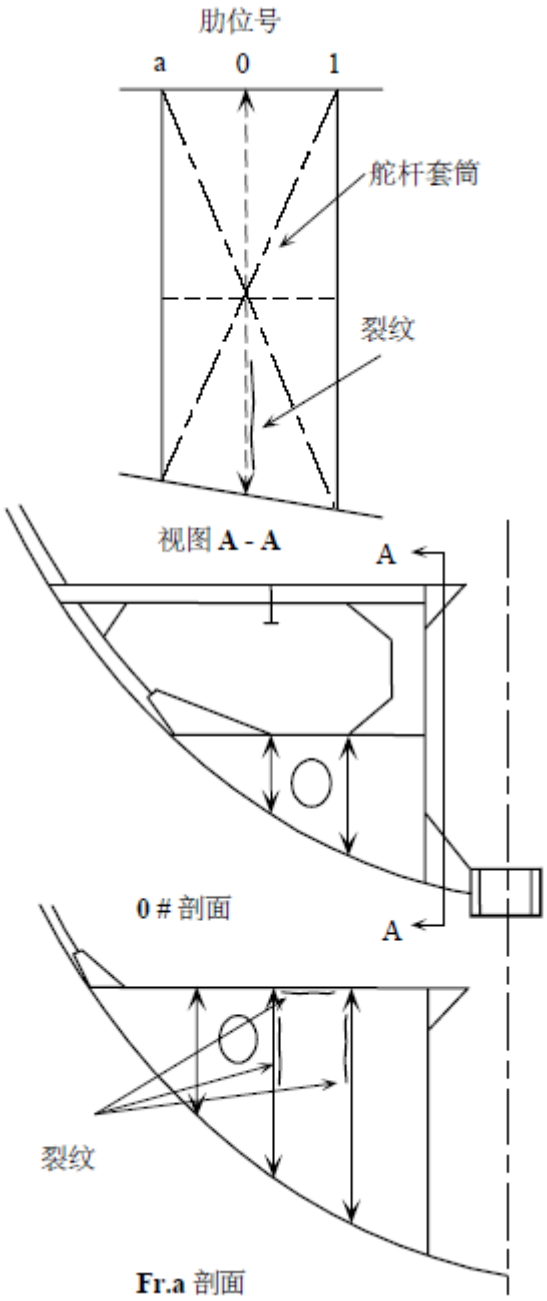
3.3.3 当裂纹是由于海上波浪载荷所致，应考虑增加板厚和/或调整设计以减少应力集中。

3.3.4 有裂纹的舵承支撑结构应挖换并加强。（见例3-a、3-b）

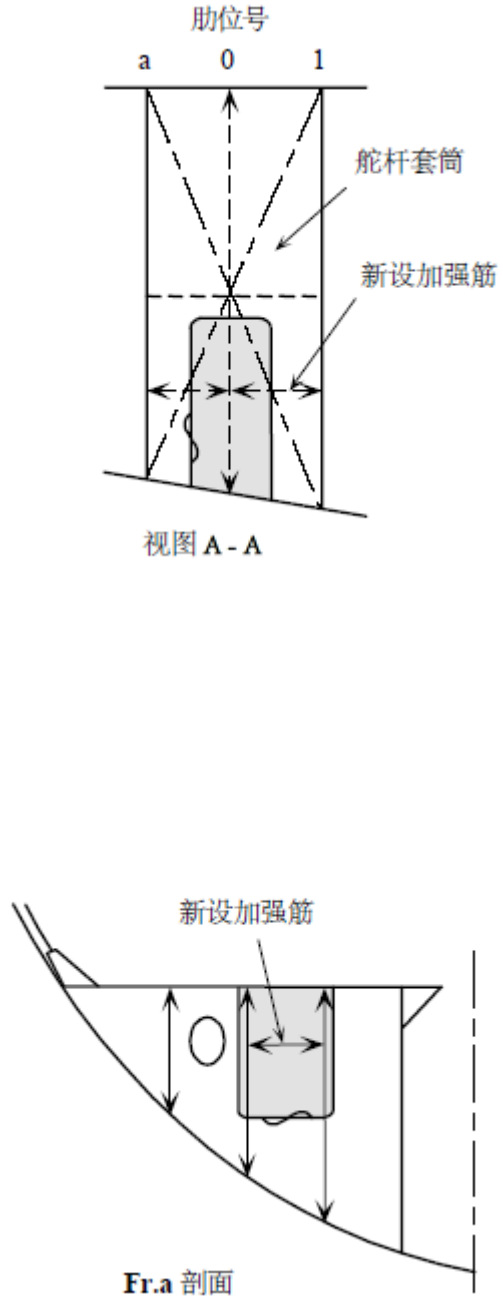
第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艉端结构	1

损坏细节	舵杆筒处纵舱壁上的裂纹

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、振动。

修理说明

1、割换有裂纹的板。

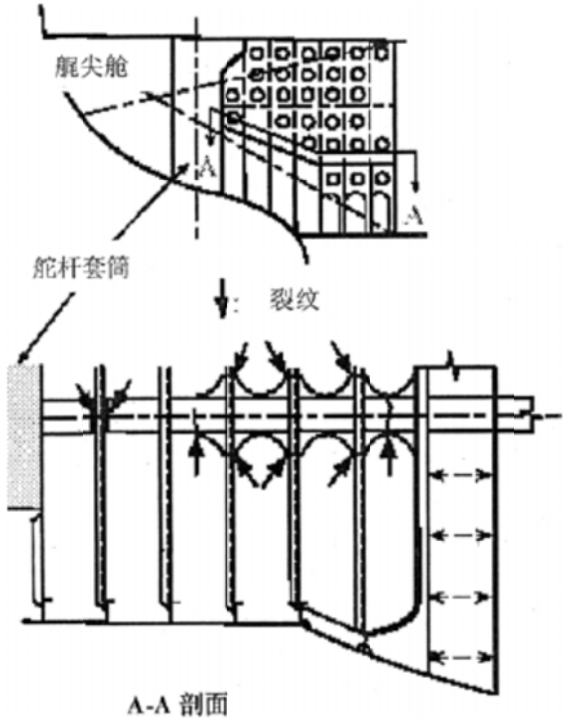
2、改变两加强筋间板的固有频率，如增设加强筋。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南

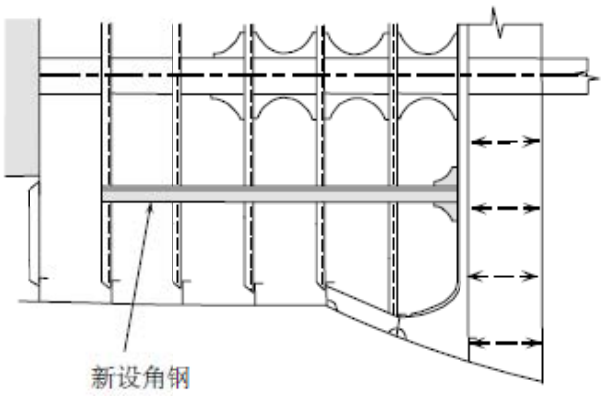
第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艉端结构	2

损坏细节	肋板与纵桁／两侧肘板连接处的裂纹

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、振动。

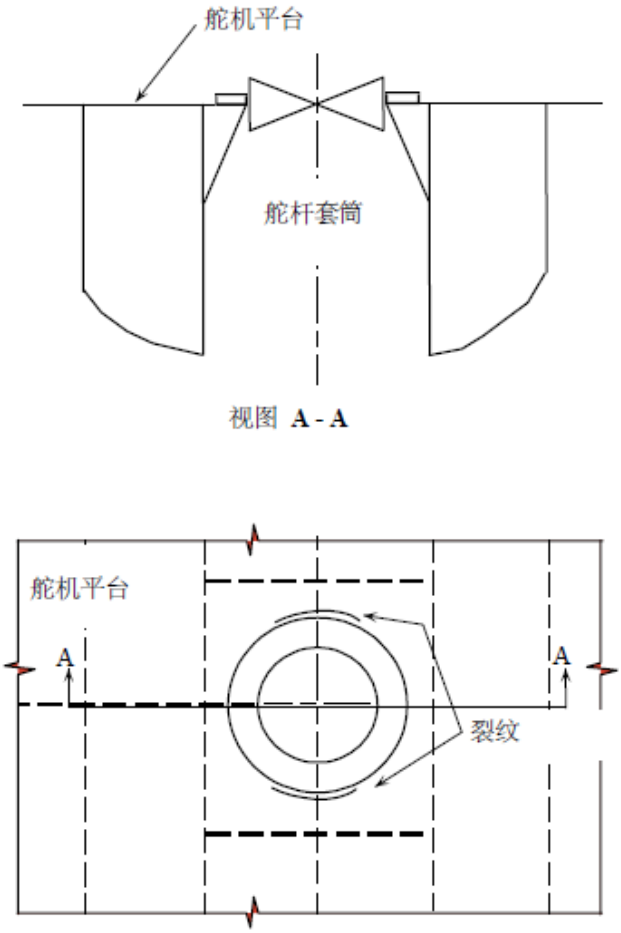
修理说明

l、割换有裂纹的板。

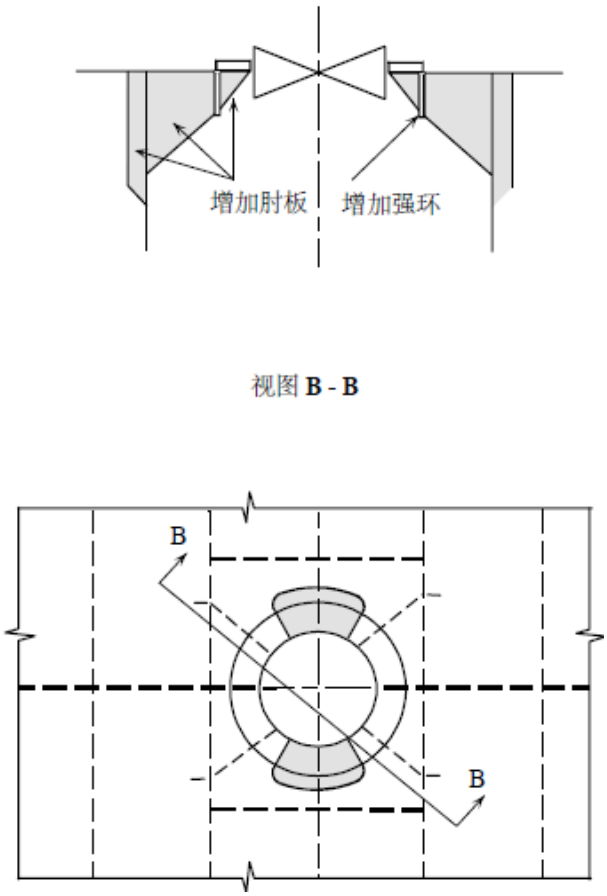
2、改变两加强筋间板的固有频率，如增设加强筋。

第二部分	艏艉端区域	例
区域1	艉端结构	3-a
损坏细节	舵机舱内安装舵承的平台上的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、设计不当。

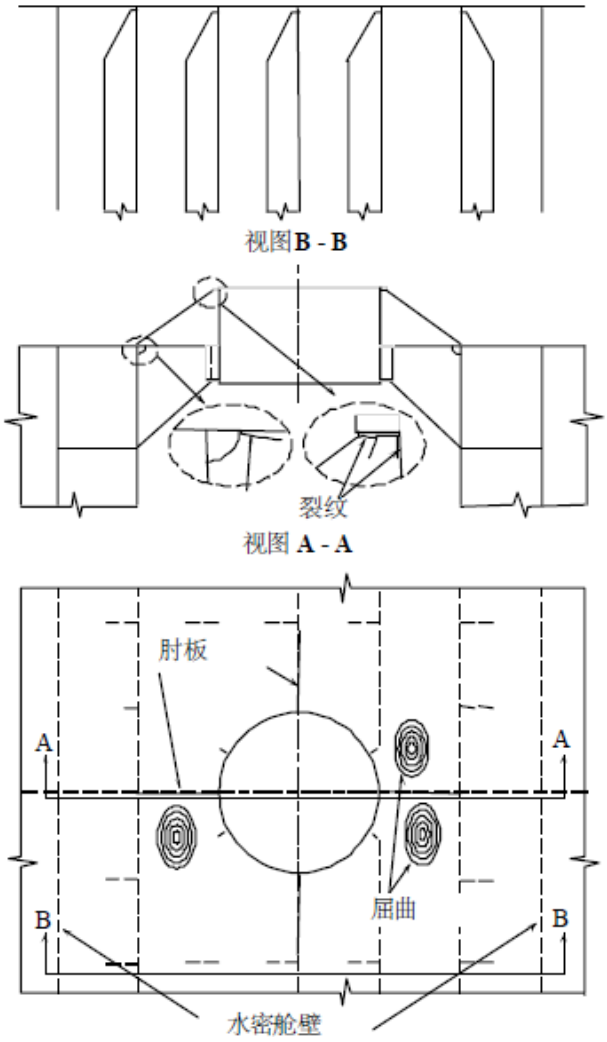
修理说明

1、割换有裂纹的板。

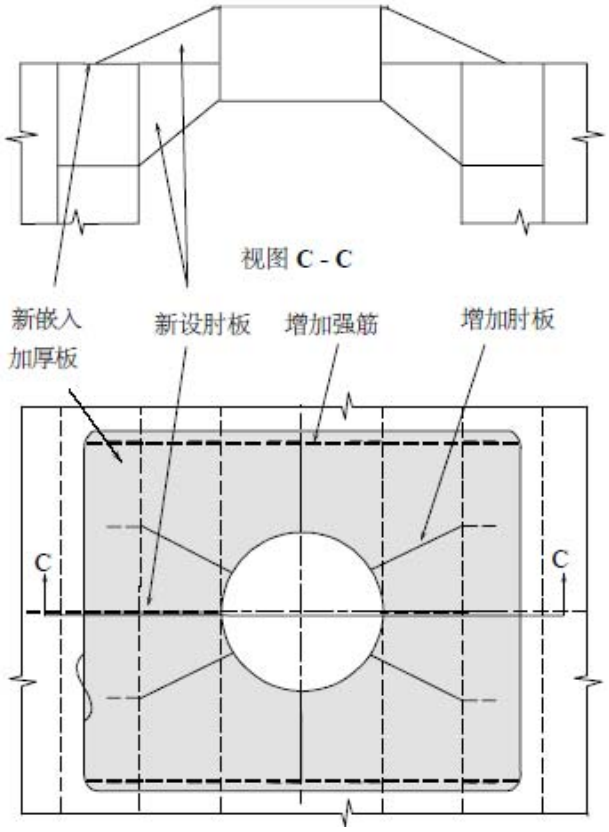
2、增设肘板和加强环以加强结构。

区域1	艉端结构	3-b
损坏细节	舵机底座肘板上的裂纹及甲板板变形	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、甲板强度不足（底板丢失）。

2、舵机底座强度不足。

3、舵机螺栓预紧力不足。

修理说明

1、嵌入一块加厚底板。

2、在底板边缘加设纵向加强筋。

3、甲板上下增设底座肘板（星形布置）。

区域 3 艉柱、舵装置及螺旋桨轴支架

目录

1　概述

2　应予注意的问题一坞内检查

2.1　变形

2.2　裂纹

2.3　腐蚀/侵蚀/磨损

3　关于修理的一般性建议

3.1　舵杆和舵销

3.2　板结构

3.3　轴瓦和轴套的磨损

3.4　舵的装配

3.5　螺旋桨轴毂和艉管的修理

图和/或图片一区域3	
序号	项目
图1	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架的术语
图2	潜在问题区域
图片1	有裂纹的舵
图3	舵杆的焊接修理
图表1	预热温度

结构细节缺陷和修理实例…区域3	
例	项目
1	挂舵臂沿船底板的裂纹
2	舵杆上的裂纹
3	舵叶和掌板连接处的裂纹
4	半悬挂舵舵叶板上的裂纹（短裂纹至垂直筋板前端）
5	半悬挂舵舵叶板上的裂纹，延伸超过垂直筋板
6	半悬挂舵舵销开口处舵叶板上的裂纹
7	螺旋桨轴毂与船壳板连接处的裂纹
8	艉柱与艉管连接处的裂纹

1. 概述

1.1 螺旋桨引起的震动可能导致艉柱、艉轴架轴承装置及其连接结构的应力集中处产生疲劳裂纹。

1.2 舵和挂舵臂在由螺旋桨产生的高速的、变化的水流冲击下，也会在应力集中处产生疲劳裂纹。

1.3 在极端恶劣的天气条件下，舵叶遭受波浪的拍击可能会导致舵杆、挂舵臂和舵本体变形。

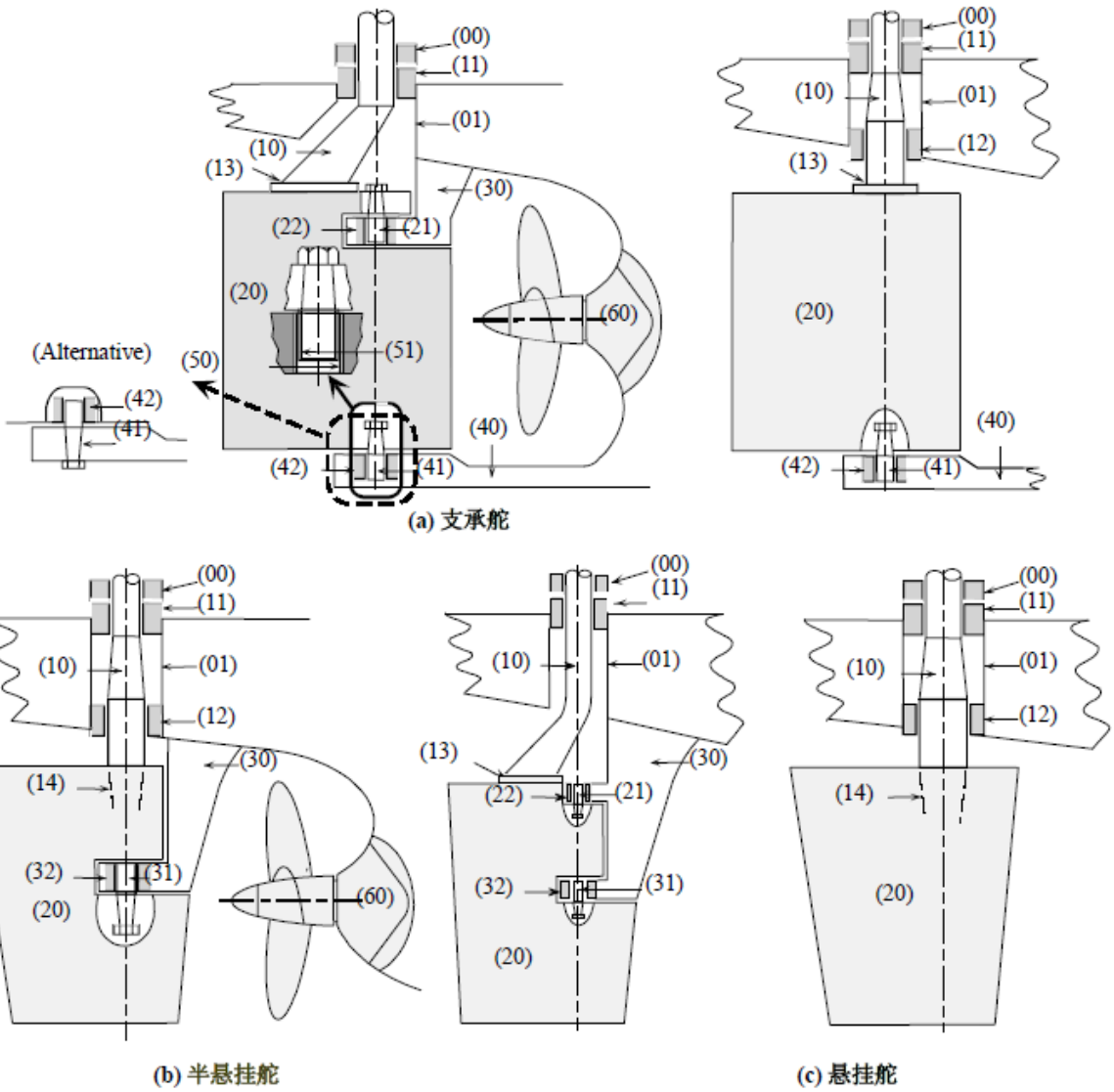
1.4 舵、挂舵臂和尾轴架（当轴系布置采用尾轴架轴承时）可能会与漂浮物如圆木或冰块碰触，产生类似1.3中所描述的损害。

1.5 由于邻近的舱室和构件采用不同的材料，如果没有适当地维护保护涂层和/或牺牲阳极，则会产生加速腐蚀（电化腐蚀）。

1.6 制造时已存在于铸件中的内部缺陷可能导致疲劳裂纹。

1.7 图2概要性地显示了潜在的缺陷区域。

1.8 全面的舵装置检验仅能在船坞中进行。但某些情况下，检验包括损坏检验可在漂浮状态下采用潜水员或调整船舶纵倾来进行。



(a) 支承舵　　(b) 半悬挂舵　　(c) 悬挂舵

术语：

(00)舵承　(01)舵杆套筒　(10)舵杆　(11)上舵承　(12)下舵承

(13)舵连接器（法兰连接器）　(14)锥形连接器　(20)舵叶　(21)上舵销

(22)上舵销轴承　(30)挂舵臂　(31)岬舵销　(32)岬舵销轴承

(40)艉框底骨　(41)底舵销　(42)底舵销轴承　(50)舵承　(51)套管(衬套)

(60)螺旋桨轴毂（艉管铸件）　(70)螺旋桨轴架（艉轴架）

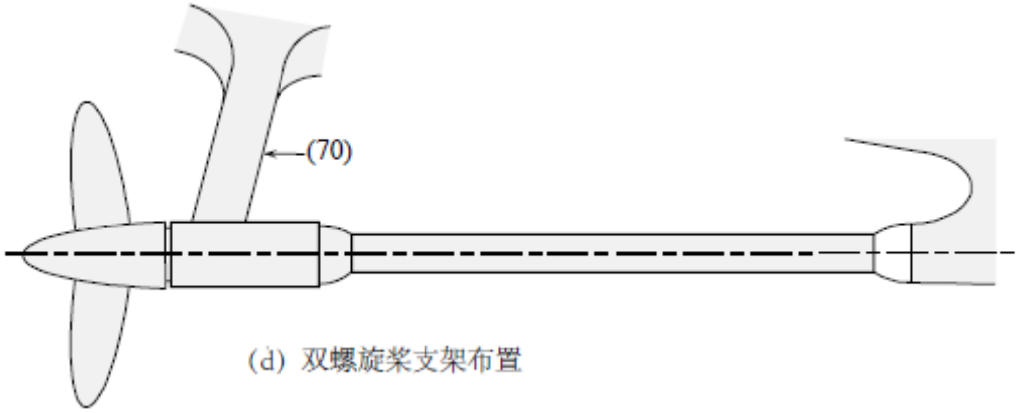
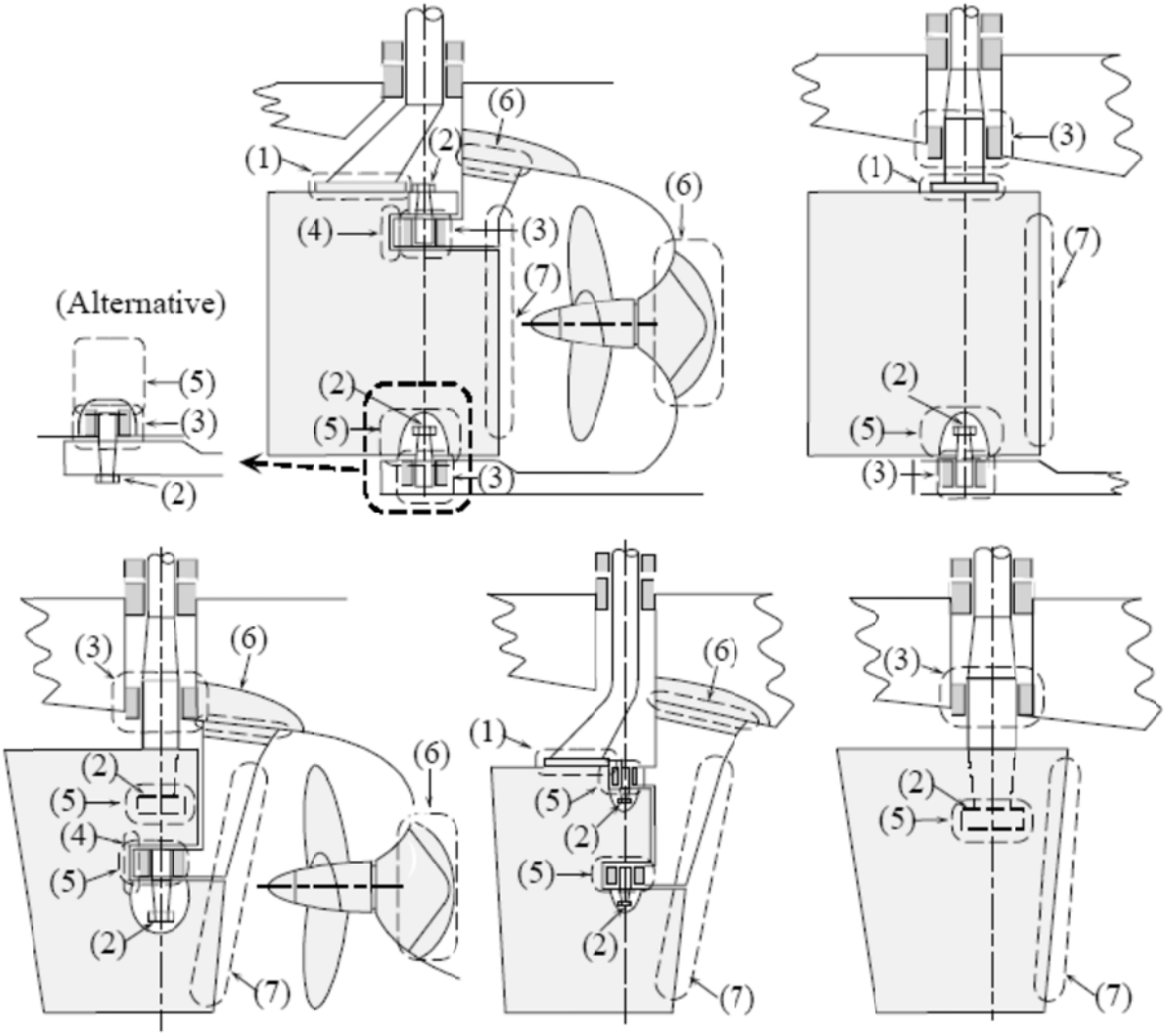


图1 艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架中的术语



损坏检查：

(1) 裂纹和连接螺栓松动

(2) 螺帽松动

(3) 磨损（过大的轴承间隙）

(4) 舵销开口处裂纹

(5) 活动盖板处的裂纹

(6) 裂纹

(7) 侵蚀

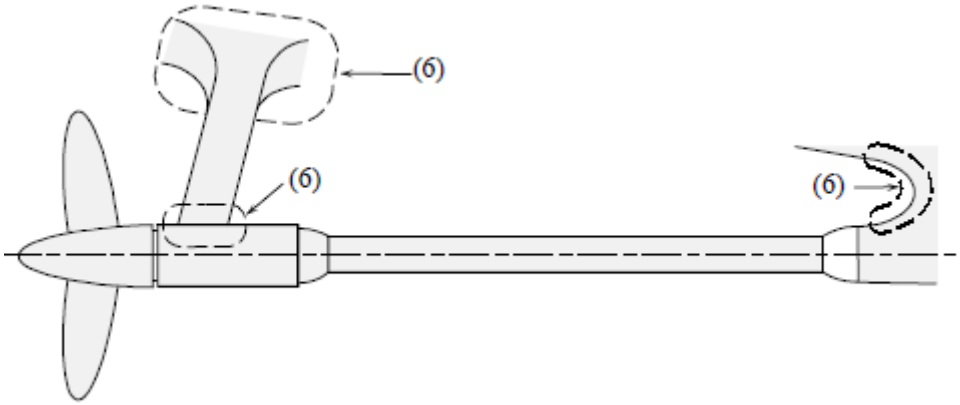


图2 潜在问题区域

2. 应予注意的问题一坞内检查

2.1 变形

2.1.1 舵叶、舵杆、挂舵臂和螺旋桨轴毂/架必须进行变形检查。

2.1.2 过大的间隙说明舵杆/挂舵臂有变形的迹象。

2.1.3 舵和舵柄间角度偏差说明可能存在扭曲变形或锥形连接滑动。

2.1.4 如发现弯曲或扭曲变形，则舵必须拆下做进一步检查。

2.2 裂纹

2.2.1 舵板上的塞焊、舵叶上的可拆卸部分的焊缝、舵叶和舵杆和/或舵销垂向锥形连接处观察孔盖上的焊缝应进行裂纹检查，这些焊缝由于焊接方法受到限制，可能会有潜在的缺陷。舵板上严重的裂纹会导致舵的丢失。

2.2.2 挂舵臂、螺旋桨轴毂、螺旋桨轴架和尾柱之间的连接焊缝必须进行裂纹检查。

2.2.3 对于半悬挂舵，舵销凹进部分处的上下拐角必须进行裂纹检查。典型裂纹参见例3~5。

2.2.4 对于水平连接器，舵杆和水平连接板（掌板）相接的过渡区域，以及水平连接板和舵叶连接处，应进行裂纹检查。典型裂纹参见例1和2。连接螺栓松动或丢失的情况下，掌板本身应进行疲劳裂纹检查。

2.2.5 内部加强结构处的舵叶板须进行裂纹检查，因为板材可能有振动（共振）。

2.2.6 如果舵杆变形，在开始修理前，舵杆必须采用无损检测进行裂纹检查，尤其是键槽内和其周围。

2.3 腐蚀/侵蚀/磨损

2.3.1 舵/挂舵臂板，特别是焊缝上应检查腐蚀/侵蚀情况（如深点腐蚀）。在极端的情况下，

腐蚀/侵蚀会导致巨大的裂缝。

2.3.2 舵杆和舵销必须进行下列检查：

一舵杆和舵销的套管和衬套间隙超过CCS所规定的允许极限

一套管情况，如果套管松动，涌入的水可能已引起腐蚀

一舵杆和舵销上，靠近不锈钢套管处的深点腐蚀

一舵杆锥形连接滑动，对于液压连接的垂向锥形连接，舵杆锥形体在铸件上的滑动会引起严重的表面损伤

一当舵销/舵杆上的不锈钢衬套/套管/包覆配合不锈钢轴瓦时，必须进行额外的裂缝腐蚀检查。

3. 关于修理的一般性建议

3.1 舵杆和舵销

3.1.1 如果舵杆由于受力过渡导致扭曲，如碰触或搁浅，但没有其它的损伤（裂纹等）或其它重大的变形，则舵杆一般可继续使用。根据舵杆的扭曲情况，可按照CCS的要求进行修理或热处理，如有键槽，键槽位置应更新。

3.1.2 没有任何裂纹仅弯曲变形的舵杆，可按照CCS批准的程序在认可的车间，根据变形的尺度，采用热校或冷校的方式进行校直。采用热校时，建议热处理的温度一般不要超过530~580℃。

3.1.3 当舵杆变形并有裂纹时，舵杆是否可用取决于裂纹的性质和范围。如焊接修理可以接受，则应采用机加工/打磨的方式去除裂纹，然后根据CCS的要求按批准的焊接工艺进行焊接和焊后热处理。

3.1.4 舵杆和/或舵销的修理可用相似的焊接材料取代损坏部分，但其化学成份应适合焊接，即含碳量一般不能超过0.25%，焊接工艺取决于碳当量(Ceq)。用机加工和/或打磨去除损坏区域后（腐蚀、刮伤等），应根据批准的焊接工艺用自动螺旋焊接的方式进行堆焊。

焊接必须延伸至承受大弯矩的区域外（舵杆），特别情况应按照CCS的要求进行焊后热处理，舵杆/舵销上的焊接材料在光车后应保留足够的层数。这类修理中最重要的步骤和条件见图3中的概述。

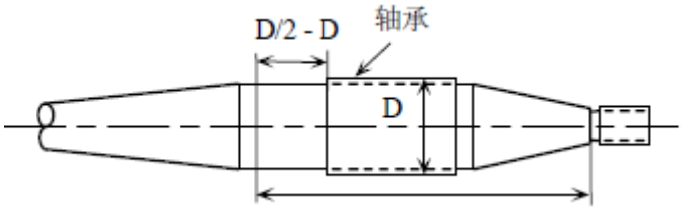
3.1.5 在舵杆承受弯曲负载的情况下，舵杆和水平连接板过渡区域上的疲劳裂纹是不能采用局部焊补的方法进行修理，一般应修改过渡区域的几何形状，加工一根新的舵杆（见例1）。在个别的情况下，也可以按照批准的焊接工艺进行焊接修补，但必须采取措施以避免过渡区域内的应力集中与热影响区的金相缺陷同时发生，并经常性地进行附加的修理检验（包括裂纹的无损检测）。

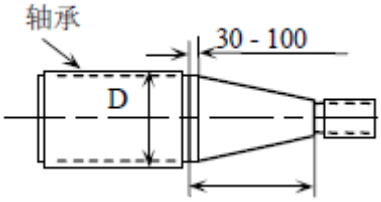
用相似的普通焊接材料替代已损坏的材料

●用机加工和/或打磨的方式去除损伤区域，对裂纹进行无损检测（推荐磁粉探伤）

●根据批准的焊接工艺（焊接程序、预热、焊接材料），采用自动螺旋焊接（转动设备）进行堆焊

●按照示意图堆焊延伸至（轴上）承受大弯矩的区域以外



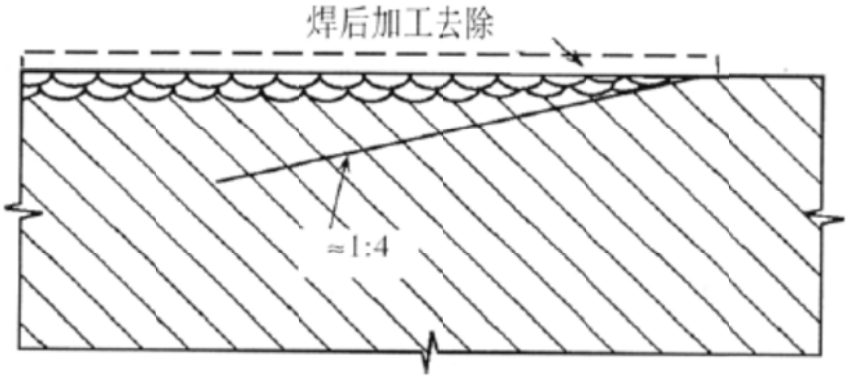


堆焊的延伸　　堆焊的延伸

舵杆　　舵销

●足够的焊接层数以补偿去除的材料，并至少多出一层（残余层的热处理）

●堆焊的端部过渡按照下面的图示



●如有特别要求时焊后热处理（不适用于不锈钢包覆普通钢）

●最终加工后，在舵杆上至少保留二层焊接材料

●裂纹的无损检测

图3 舵杆的焊接修理

3.2 板结构

3.2.1 焊缝（对接缝）上由于焊接缺陷（未熔透）引起的疲劳裂纹可以去除后采用合适的根部焊透的方法重新焊接。

3.2.2 如裂纹可能由振动（共振）引起，则必须进行舵板的振动分析，并修改设计以改变板的固有频率。

3.2.3 对半悬挂舵，在舵销凹陷处的上/下拐角处产生的短的疲劳裂纹，如未延伸至垂直的或水平的加强构件，可以去除后焊接。实施步骤按照例3。

如果半悬挂舵在舵销凹陷处的上/下拐角处产生了较长的疲劳裂纹，并延伸至板材内，就必须进行全面地检查。如需要时，用嵌板地方式更新板材和内部结构的裂缝部分，嵌补的板和内部加强结构间合理的焊接方式是非常重要的。修理后舵销凹陷处的拐角区域必须打磨光顺。在很多情况下修改圆弧半径时，都需增加板的厚度和提高板材的质量。

3.2.4 在处理板材和铸钢件连接处的裂纹应进行适当地预热，预热温度取决于下列参数：

●化学成份（碳当量Ceq）

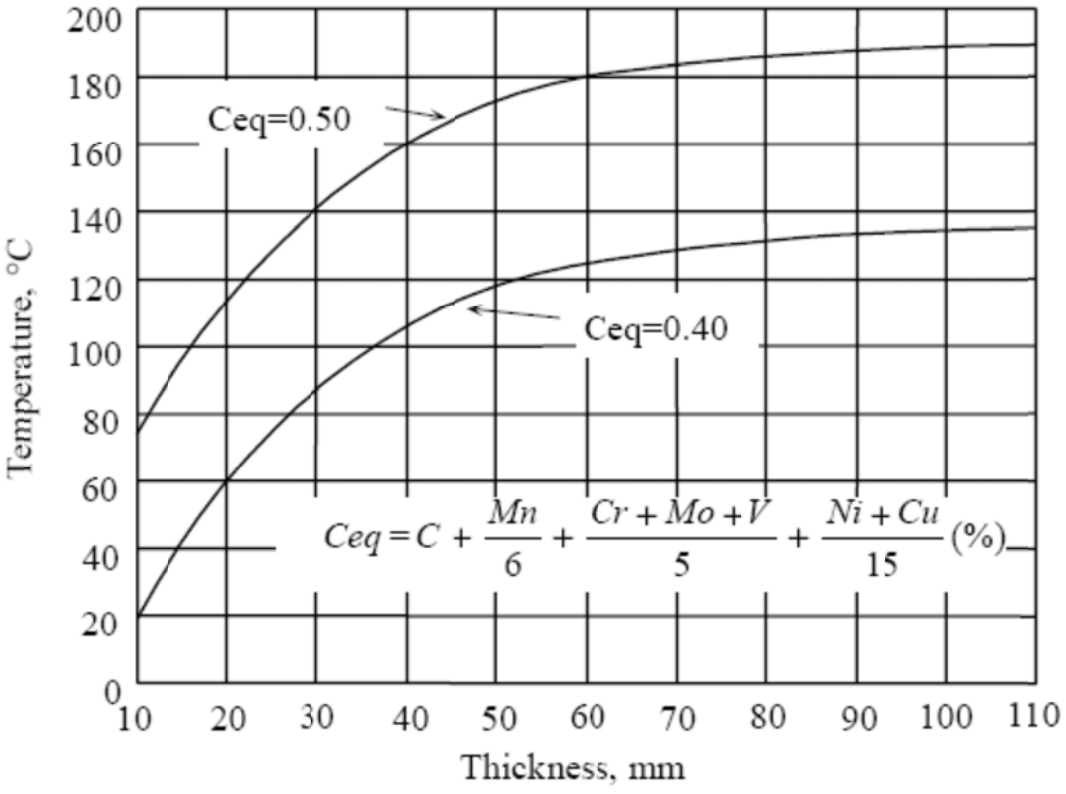
●结构厚度

●焊接材料的氢含量

●热输入量

3.2.5 可参考图表l，根据较厚构件的板厚和碳当量取得预热温度。

3.2.6 所有的焊接修理必须采用可靠的/批准的焊接工艺。



图表1 预热温度

3.3 轴承和轴套的磨损

磨损率取决于船舶的特性，如操舵的频度，但如果短期内（如5年）就发现间隙过大，必须进行舵系对中和轴承、轴套的匹配检查，同时更换轴承。

3.4 舵安装

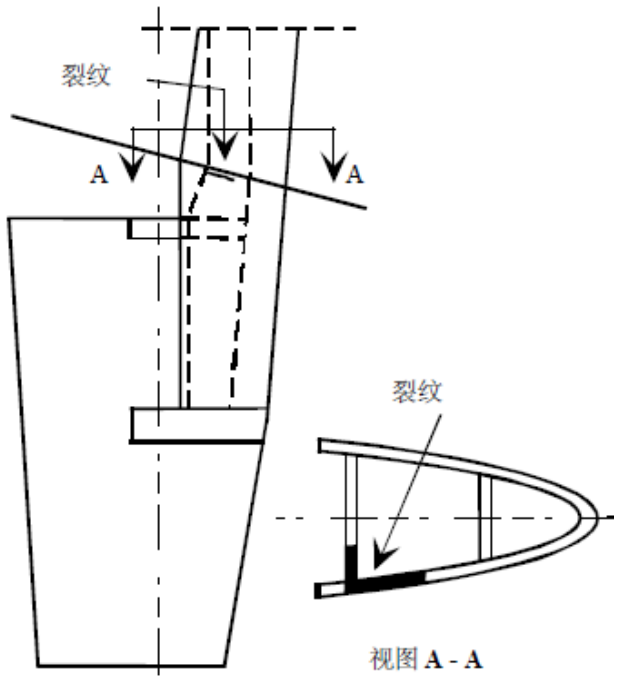
舵上所有的零件装配完成后，舵杆螺帽连同垂直锥形连接板和舵销螺帽必须进行有效地保险。如水平连接器，螺杆和螺帽应相互锁紧或都与连接板锁紧。

3.5 螺旋桨轴毂和尾管

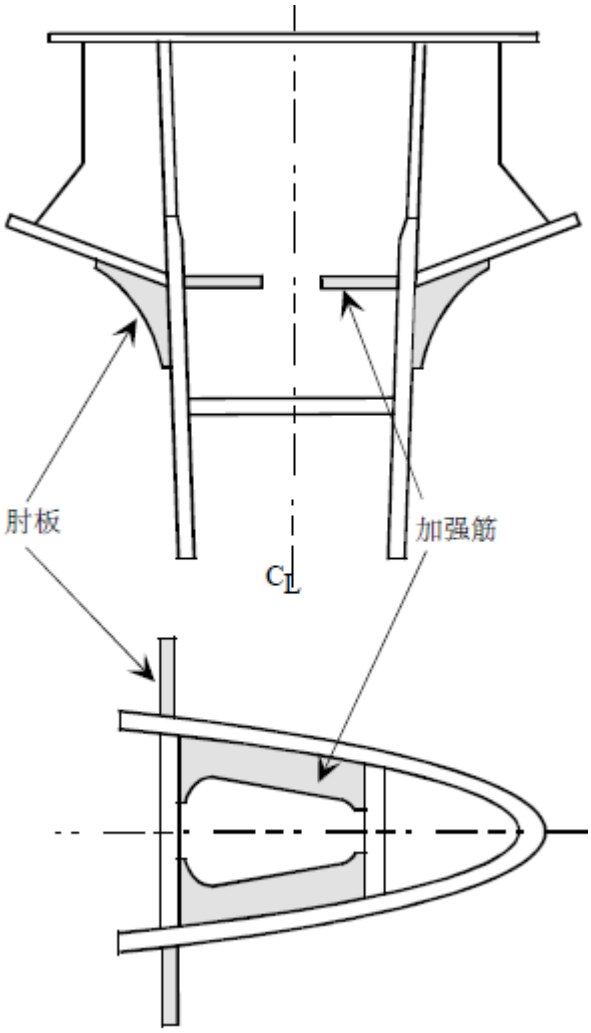
螺旋桨轴毂和尾管修理举例见例7和8。有关焊接参考资料见3.1.4、3.2.4和3.2.5。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	1
损坏细节	挂舵臂沿船底板的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、由于设计缺陷导致的强度不足。

修理说明

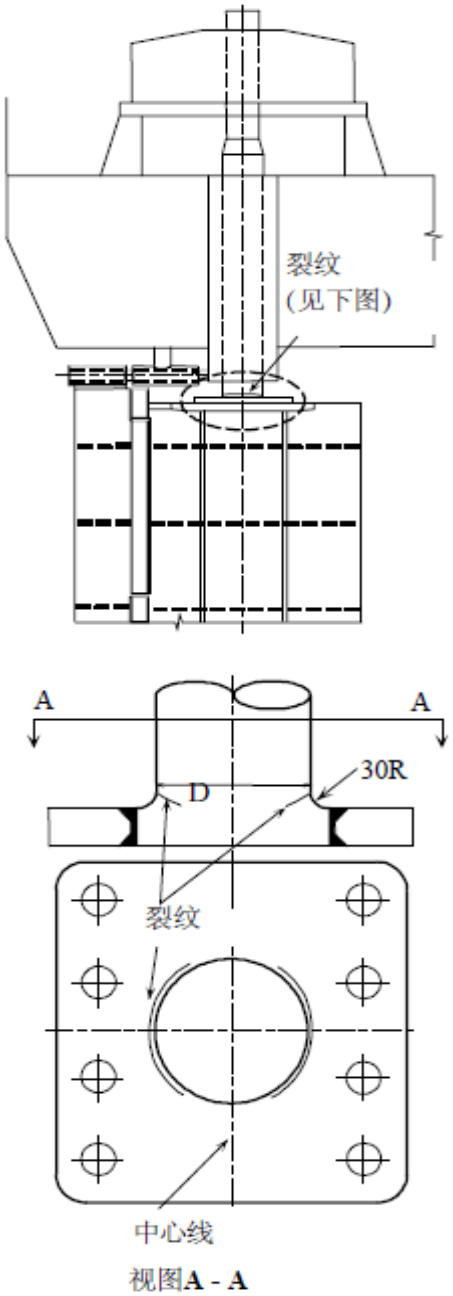
1、有裂纹的板应成V形坡口批掉并重新焊接。

2、必要时，有裂纹的板应割换。

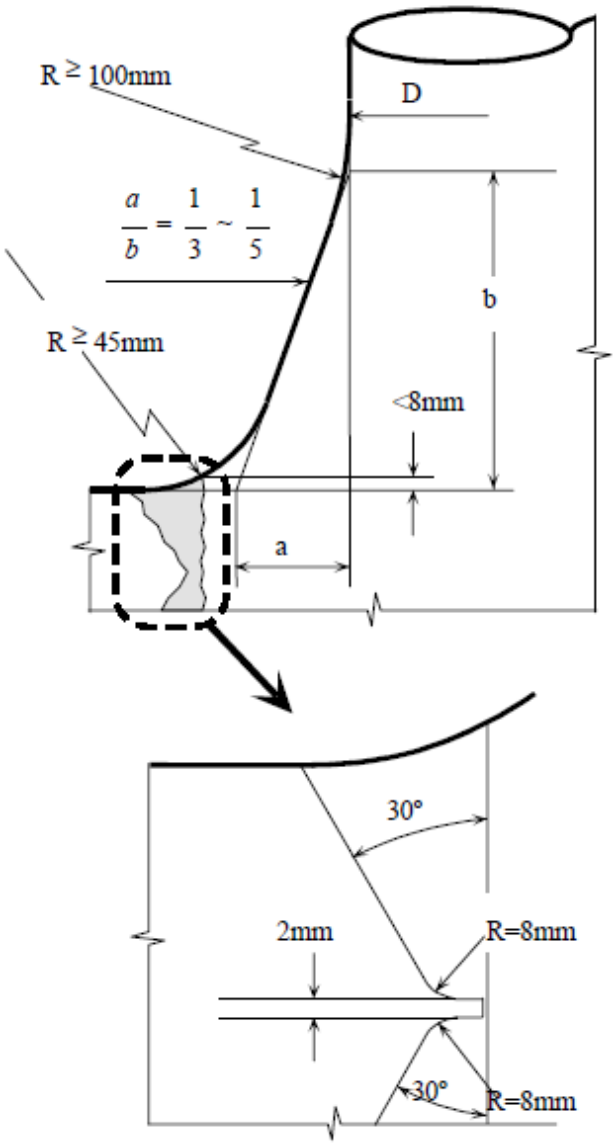
3、必要时，应考虑加强。

第二部分	艏艉端区域	例
区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	2
损坏细节	舵杆上的裂纹	

损坏示意图



修理示意图

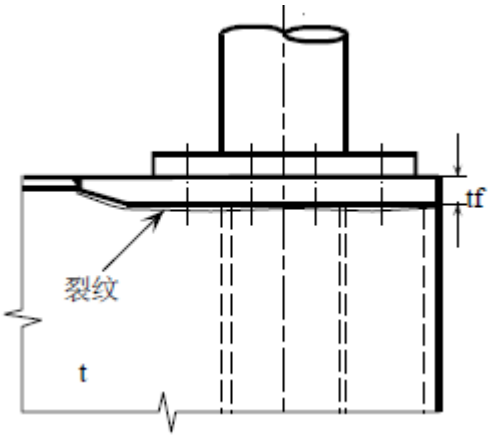


可能的损坏原因说明	修理说明
1、设计缺陷导致舵杆应力集中。	1、 修改舵杆细节设计以减少应力集中。

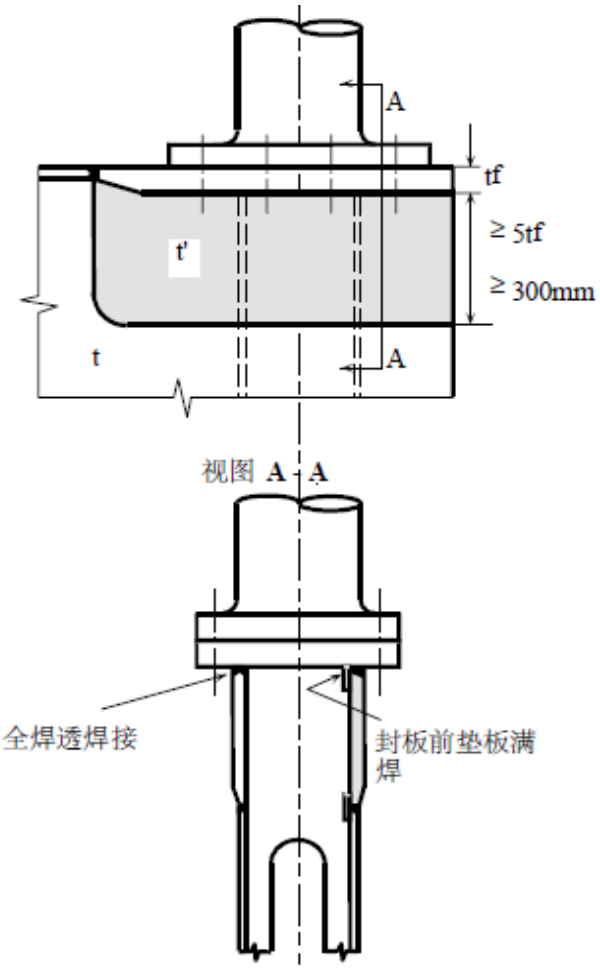
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例

区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	3
损坏细节	舵叶和掌板连接处的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



t = 板厚，mm

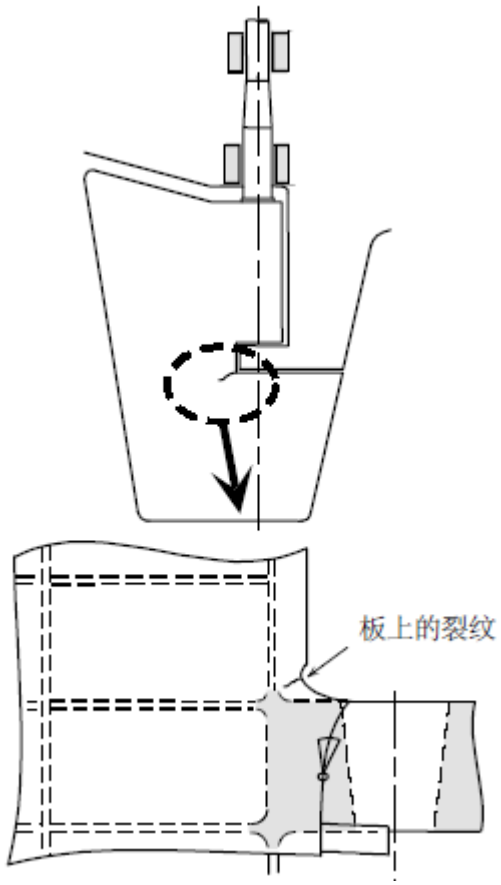
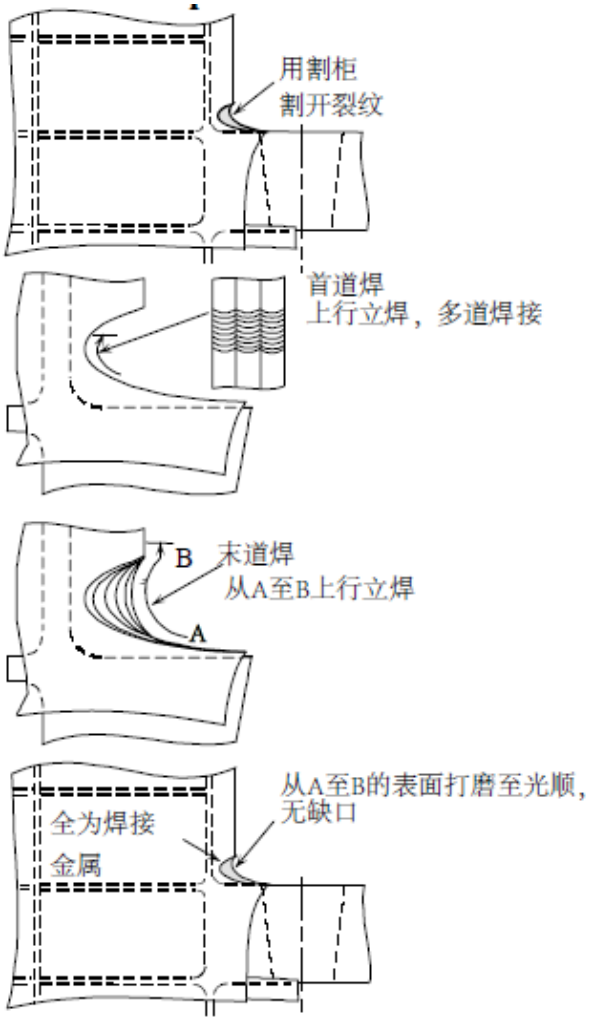
t_f = 法兰实际厚度，mm

$t = \frac{t_f}{3} + 5$, mm, 当 $t_f \leq 50$mm

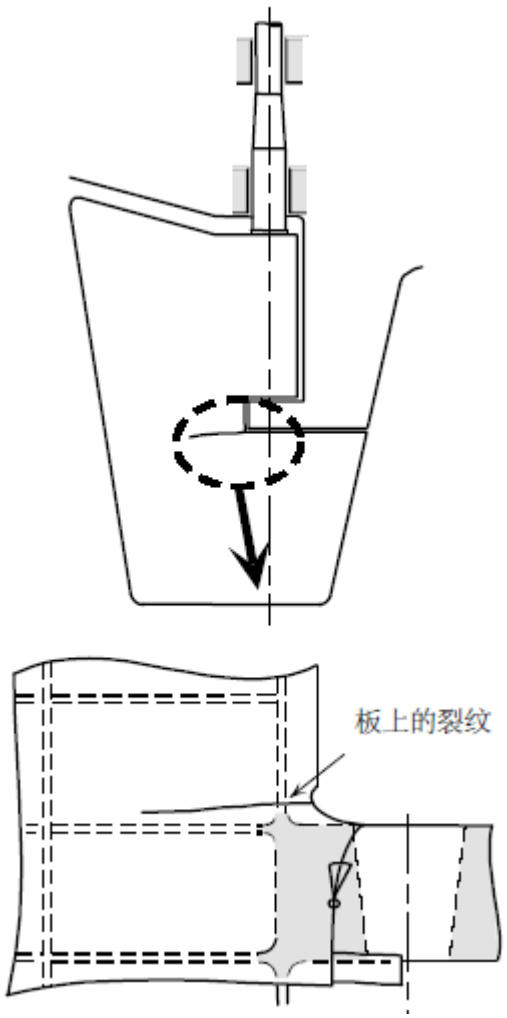
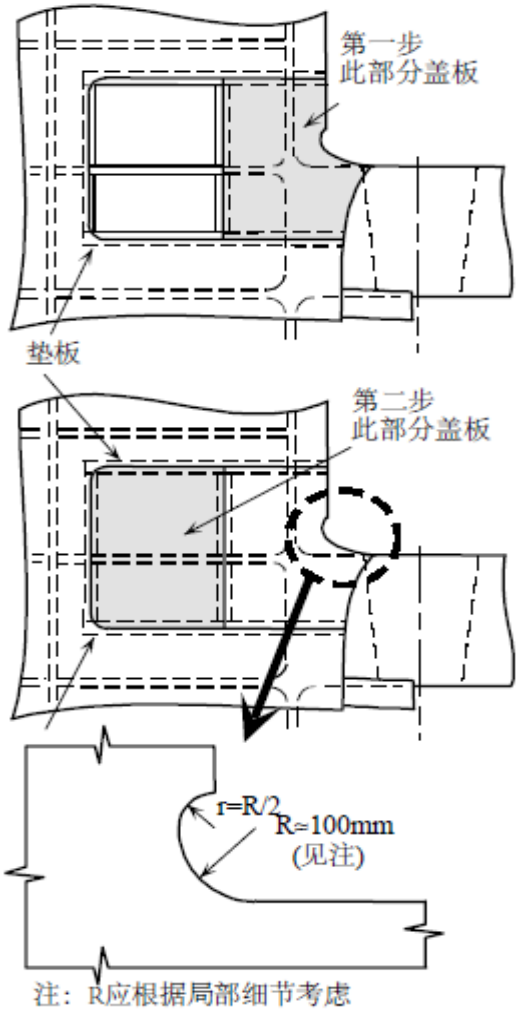
$t = 3\sqrt{t_f}$, mm, 当 $t_f \geq 50$mm

可能的损坏原因说明 l、掌板与舵叶板连接强度不足(板厚不足和／或角焊不足)。	修理说明 1、修改连接处的细节设计，增加板厚和采用全焊透焊接。

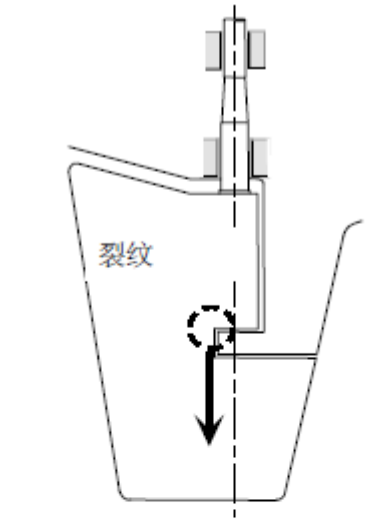
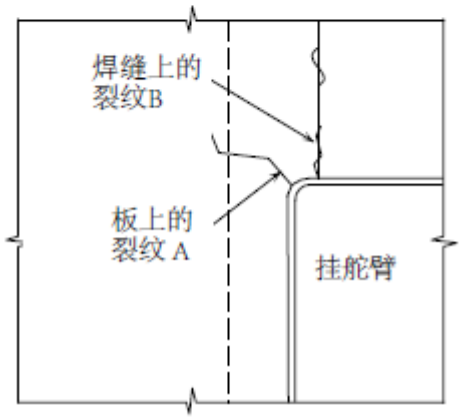
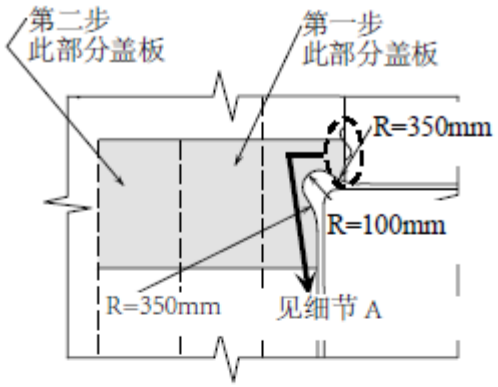
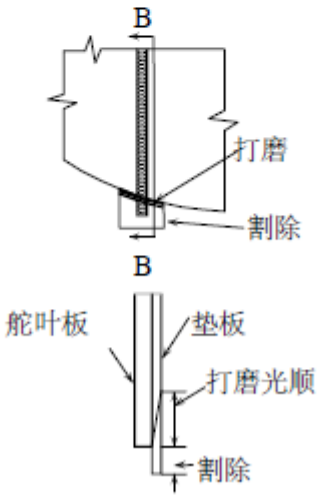
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	4

损坏细节	半悬挂舵舵叶板上的裂纹（短裂纹至垂直筋板前端)
损坏示意图 	修理示意图 
可能的损坏原因说明 1、由于局部设计不足和／或铸件与板材对接焊缝处的装配缺口。	修理说明 1、对裂缝开槽并焊接并不总是行之有效的。(如高应力区内的金相缺陷) 2、建议在修理工艺中，将金相缺陷转移至低应力区。 3、焊后必须按照例5中的建议，修改圆弧半径。 4、如裂纹很小可打磨去除，增加圆弧半径。

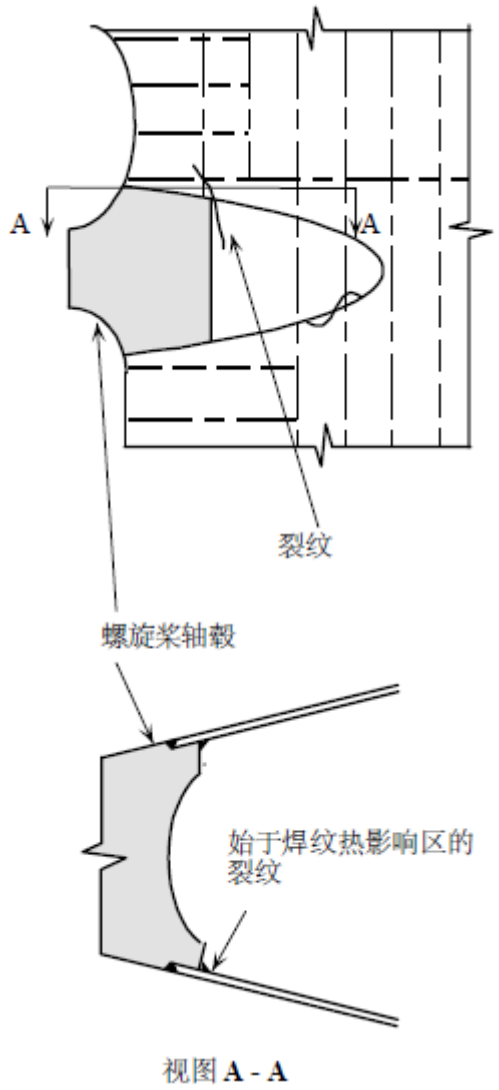
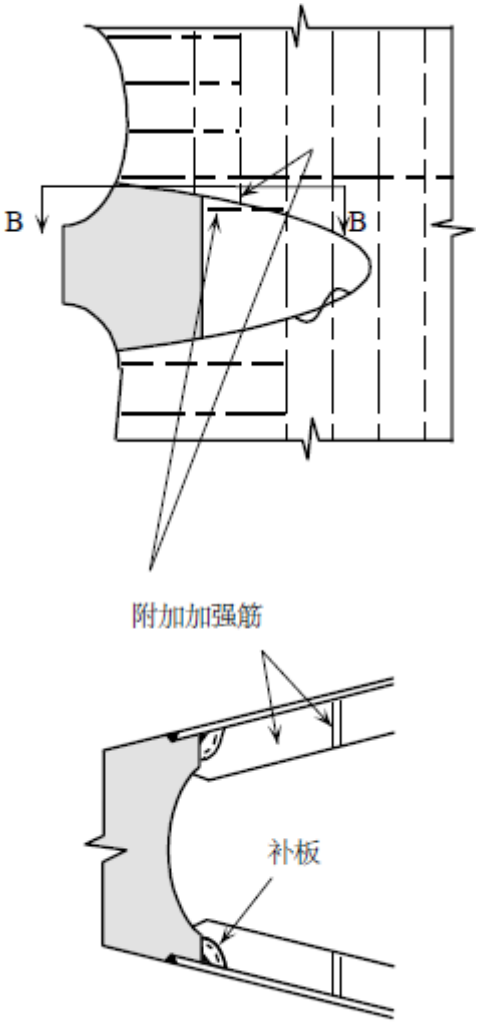
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	5
损坏细节	半悬挂舵舵叶板上的裂纹，延伸超过垂直筋板	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、由于局部设计不当和，或铸件与板材对接焊缝处的装配缺口。	修理说明 1、有裂纹的板割换。 2、内部结构检查。 3、根据示意图在割开部分嵌入钢板（按示范进行单面焊接）。 4、修改圆弧半径。 5、如是新的铸件，与板材的连接应移至高应力区域以外。

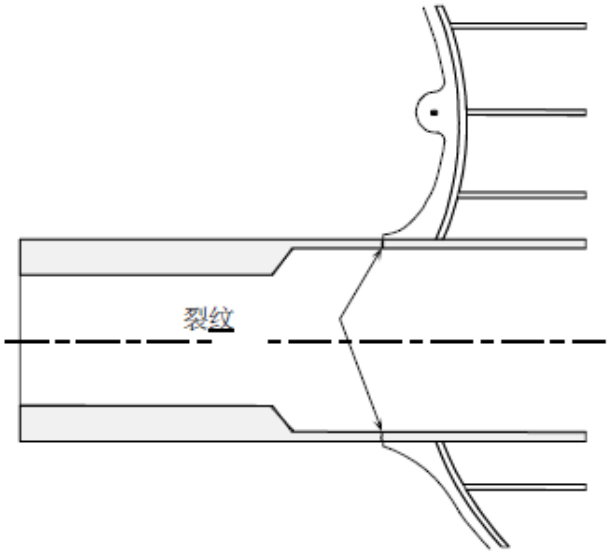
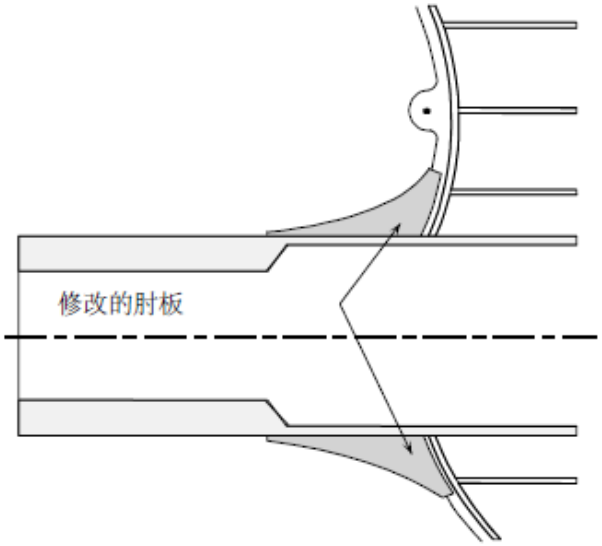
散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	6
损坏细节	半悬挂舵舵销开口处舵叶板上的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
 	 注:1.R应根据局部细节考虑 2.新的轮廓线需打磨光顺  视图 B-B
可能的损坏原因说明 l、舵销轴承处对应力集中考虑不足（裂纹A）。 2、焊缝缺陷（裂纹B）。	修理说明 1、裂纹部分需割换。 2、嵌入2块修改过的板进行修理，距边缘100mm的立焊缝无垫板，应双面焊接，焊后打磨。 3、另一种形式（见细节A）：2中的立焊缝修理时有垫板，焊接后部分衬垫打磨去除。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	7
损坏细节	螺旋桨轴毂与船壳板连接处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、振动引起的疲劳裂纹。	修理说明 1、有裂纹的船壳板需割除并部分换新。 2、增设加强筋。 3、设补板。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第二部分	艏艉端区域	例
区域3	艉柱、舵装置和螺旋桨轴支架	8
损坏细节	艉柱与艉管连接处的裂纹	

损坏示意图	修理示意图
	
可能的损坏原因说明 1、振动引起的疲劳裂纹。	修理说明 1、有裂纹的管道开V形坡口，双面焊接。 2、肘板修改换新，并柔和过渡。

第三部分 机器和起居处所

目录

区域1 机舱结构

区域2 起居舱室结构

区域 1 机舱结构

目录

1 概述

2 应予注意的问题（机舱检查）

2.1 材料的蚀耗

2.2 裂纹

3 应予注意的问题（其它舱检查）

3.1 材料的蚀耗

3.2 裂纹

4 关于修理的一般性建议

4.1 材料的蚀耗

4.2 裂纹

结构细节缺陷和修理实例…区域1	
例	项目
1	主机座肘板上的裂纹
2	机舱污水舱内测深管下船底板的腐蚀
3	机舱污水舱内进口/排出管下船底板的腐蚀

1、概述

机舱结构分类如下：

一边界结构，包括上甲板、舱壁、内底板、烟囱等

一深舱结构

一双层底舱结构

边界结构一般应定期检验，因此发现的任何损坏通常容易修理。深舱和双层底结构，由于接近困难，通常不能定期检验，只有在坞内或明显泄漏时才能发现这些结构的损坏。

2、应予注意的问题（机舱检查）

2.1 材料蚀耗

2.1.1 由于海水管系缺乏维护或泄漏，可造成舱顶板、与舱顶板相邻的船壳板和舱壁板的严重腐蚀。

2.1.2 由于机器的压盖密封或维护操作，泄漏的海水会引起严重的点腐蚀，因此污水阱应清洁并仔细检查。

2.1.3 构成边界结构的部分烟道常会遭受严重的腐蚀，可能影响机舱的防火和风雨密。

3、应予注意的问题（舱柜检查）

3.1 材料蚀耗

3.1.1 由于污油和海水混合物积聚其间，同其它双层底舱相比污水阱环境更易腐蚀。严重的腐蚀可导致船底板穿孔，尤其是测深管下方。而隔离舱很少发现由空气管进入的海水引起的点腐蚀。

3.2 裂纹

3.2.1 淡水舱或燃油舱一般设置在机舱，这些舱的结构经常遭受由于振动产生的裂纹。由于机舱双层底结构的刚性很大，这些地方很少发现裂纹。

4、关于修理的一般性建议

4.1 材料蚀耗

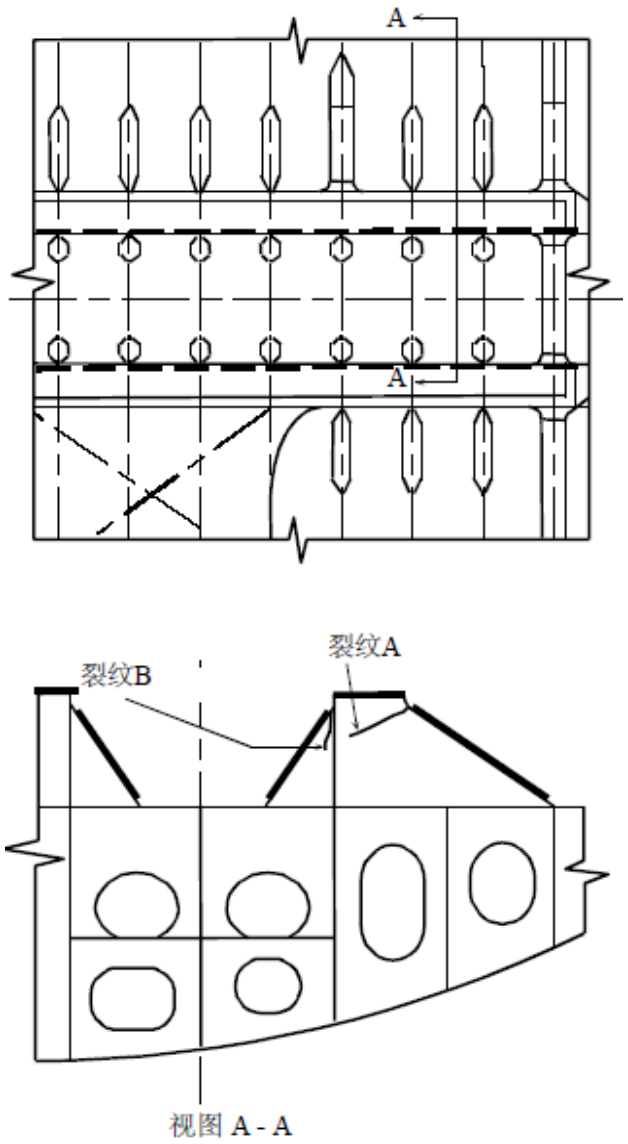
4.1.1 当部分结构恶化导致厚度减薄至所允许的最小厚度时，影响区域应割除换新。双层底内的修理需要对可达性作出详细的策划，燃油舱的修理要求清除气体。

4.2 裂纹

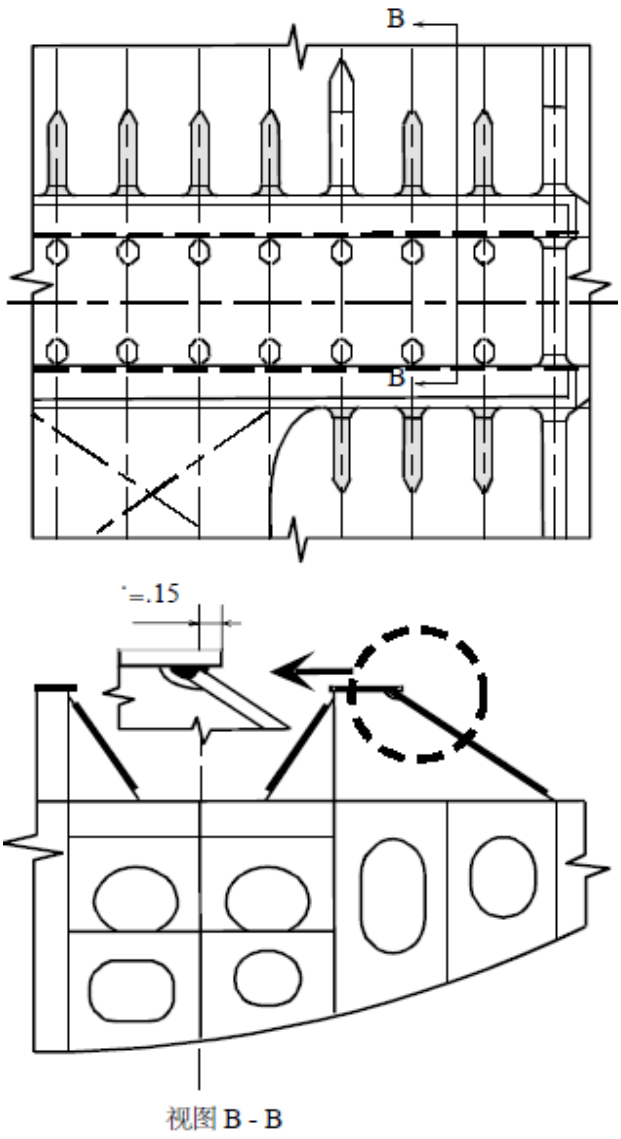
4.2.1 除了一般性的裂纹修理外，对于振动产生的疲劳裂纹，应考虑修改结构的固有频率以避免共振。可增加加强结构来避免共振，然而，在很多情况下，可能需要做很多的试验性的测试才能得到满意的解决方法。

散货船	船体结构检验、评估及修理指南	
第三部分	机器和起居处所	例
区域1	机舱结构	1
损坏细节	主机座肘板上的裂纹	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

1、主机的振动。

2、主机座肘板强度不足。

3、预紧螺栓不足。

修理说明

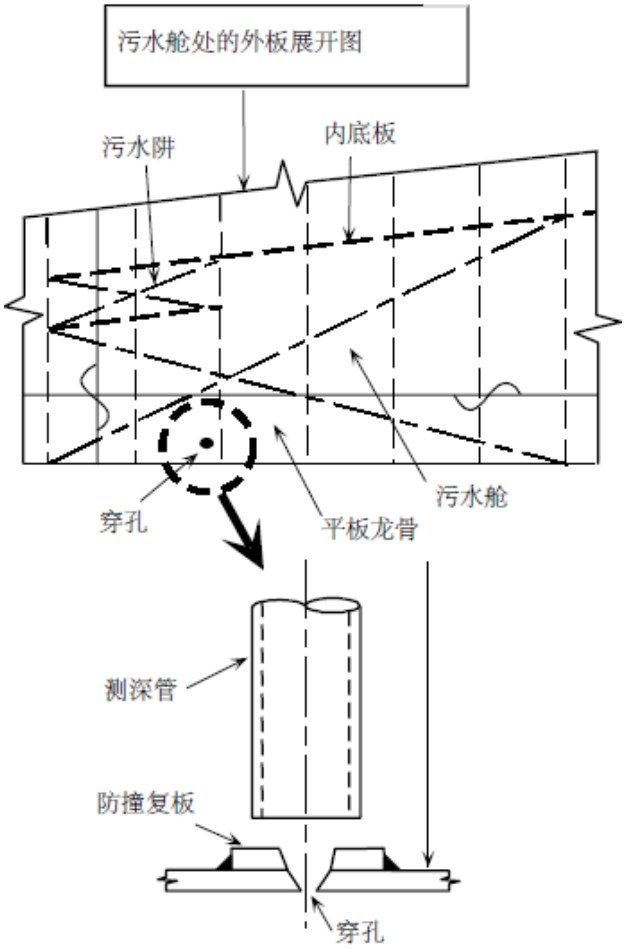
1、裂纹成V形坡口批掉后重新焊接。

2、主机座肘板改进换新。

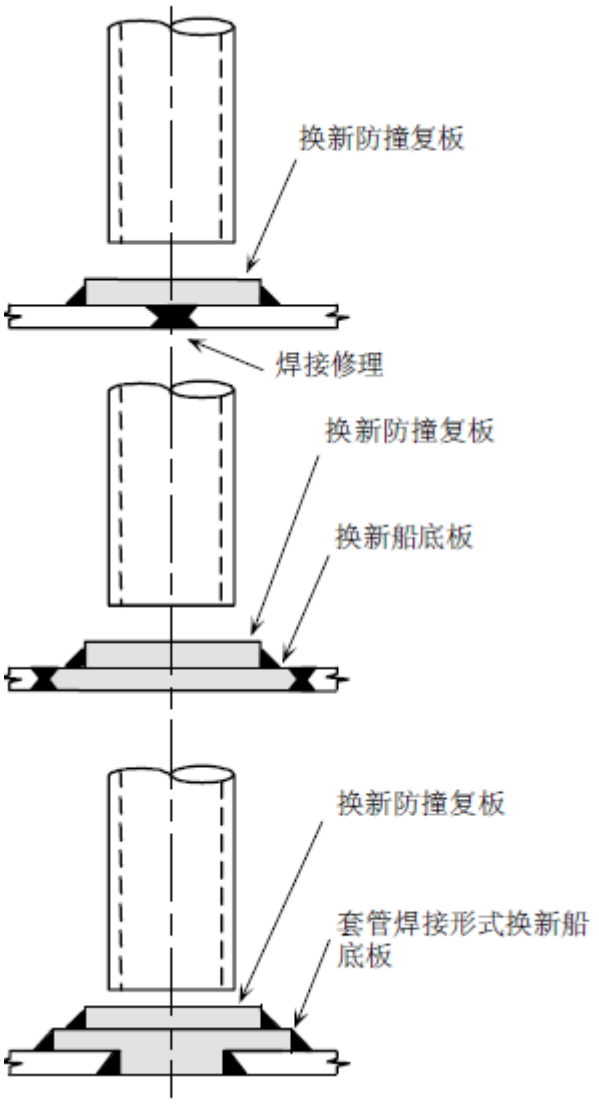
3、或嵌板和附加折边以加大肘板的剖面模数。

第三部分	机器和起居处所	例
区域1	机舱结构	2
损坏细节	机舱污水舱内测深管下船底板的腐蚀	

损坏示意图



修理示意图



可能的损坏原因说明

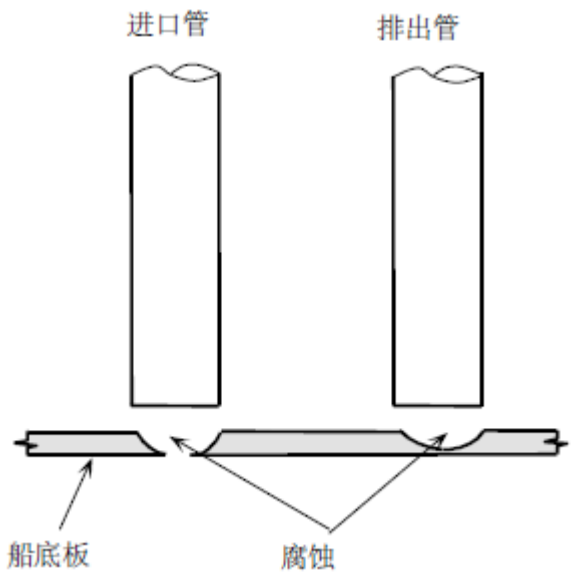
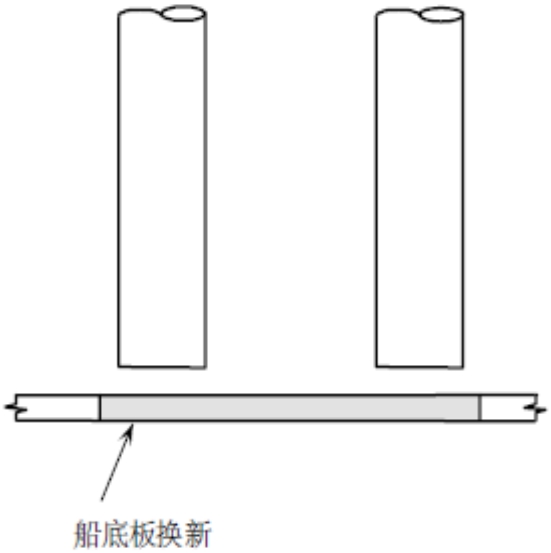
1、测深管下方船底板严重腐蚀。

修理说明

1、受腐蚀的防撞复板需换新。

2、船底板需根据腐蚀情况进行修理。

（注）套管焊接的修理方式只适用于结构应力水平相当低的情况，一般这种工艺不适用于货舱区域压载水舱内的船底板的修理。

<table>
<tr><td>区域1</td><td>机舱结构</td><td>3</td></tr>
<tr><td>损坏细节</td><td colspan="2">机舱污水舱内进口/排出管下船底板的腐蚀</td></tr>
<tr><td>损坏示意图

</td><td colspan="2">修理示意图

</td></tr>
<tr><td>可能的损坏原因说明
l、进口／排出管下的船底板腐蚀严重。</td><td colspan="2">修理说明
1、被腐蚀的船底板需割除并部分换新，最好采用较厚的板材。
2、管道末端最好用扩大的锥形开口（类似于压载水舱中的吸入口）。</td></tr>
</table>

区域 2 起居舱室结构

目录

l 概述

图和/或图片一区域2	
序号	项目
图片1	腐蚀的起居处所侧围壁

1. 概述

对于老龄船的起居处所和甲板室，腐蚀问题至关重要。由于结构板厚度较小，腐蚀可贯穿板厚导致结构穿孔。

露天甲板、与容易积水的甲板相邻的甲板室侧围壁会有严重的腐蚀（见图片1）。起居处所围壁上舾装件（如门、舷窗、通风筒等）的开口周围也会有腐蚀现象，这些区域的保养相对较困难。围壁和舾装件的腐蚀恶化会影响风雨密的完整性。

结构本身和结构件的各类支撑、桅、天线等，可能因振动引起疲劳裂纹。对这些裂纹，修理时应考虑进行附加加强以改变结构的固有频率。



图片 1 腐蚀的起居处所侧围壁

第 3 节 结构损坏和修理案例

本节中的结构缺陷和修理案例是根据实际营运船舶中发生的一些结构损坏和修理案例整理而成，目的在于为相似结构的损坏和修理提供建议和参考，当然也可接受其它满意的变通修理方法。

案例 1：

艏部空舱水平桁裂纹修理案例

1.1 缺陷描述

某好望角型 CSR 散货船艏部空舱 BL22400 环形平台在艏部结构及其下方水平加强筋端部，在无外力撞击情况下，出现轻微裂纹和平台板局部变形。红色区域为内部结构出现变形的区域，外板未见变形，缺陷位置如图 3-1 和 3-2 所示。



3-1：船艏缺陷区域外部

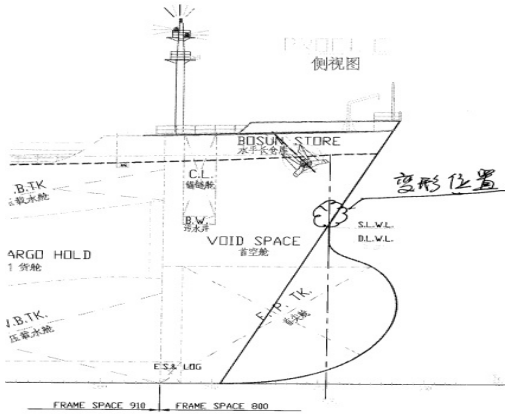


图 3-2：船艏缺陷位置

艏部空舱整体状况如图 3-3，蓝色圆圈内水平加强筋与反面对位安装的肘板端部变形，左舷为轻微变形，右舷水平加强筋端部变形较大；红色圆形区域内面板削斜端部的平台出现长度约 10mm 的轻微裂纹，右舷削斜端部延伸至右侧第一根肋骨的贯通孔处有较明显挤压变形，最大深度约为 45mm，缺陷分布如图 3-3 和 3-4 所示。

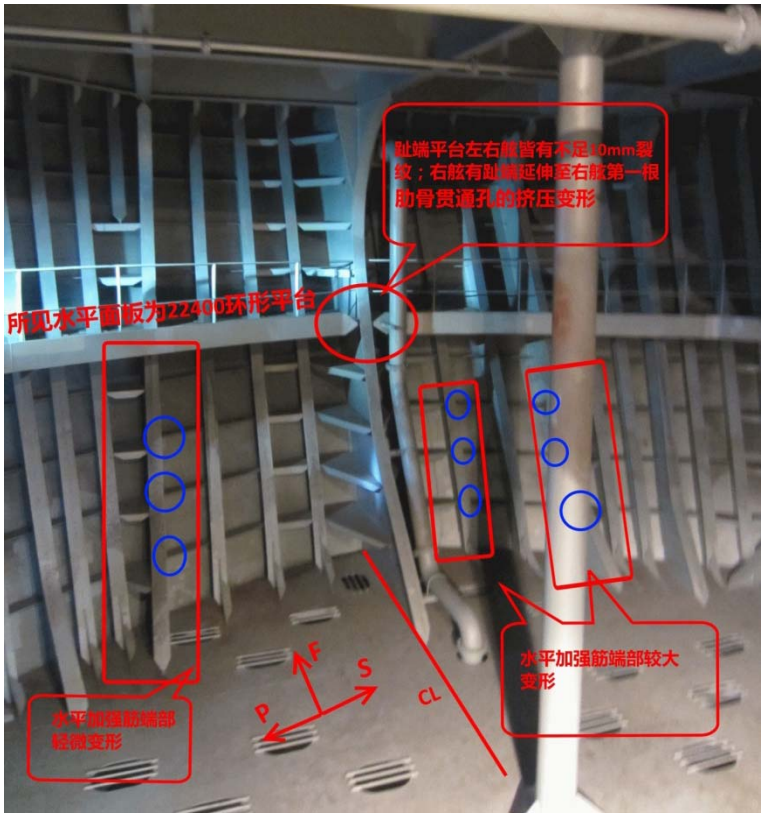


图 3-3：内部缺陷分布



图 3-4：外板加强筋缺陷

1.2 原因分析

该型系列船结构吃水 18.1m，艏部空舱 BL22400 环形平台损坏位置所支撑的艏柱外板正处于船舶满载工况下船艏外飘砰击压力区域内。BL22400 平台边缘面板与中纵桁面板未构成连续构件，致使平台边缘面板的削斜端部无法向周围构件传递应力，在趾端产生应力集中，从而造成趾端开裂及邻近趾端的平台板局部变形。

据设计单位和船厂反馈，由于中纵剖面的垂直桁面板为倾斜的形式，垂直桁面板和水

平桁面板不在同一平面内，直接对接存在困难，所以按习惯设为水平桁面板在端部削斜。端部削斜和焊接相连相比，较大幅度降低了该水平桁的端部模数，导致水平桁端部强度不足，应力集中。

1.3 整改措施

（1）BL22400 平台与中纵桁节点修改：

如图 3-5 红色区域所示，将原结构的削斜节点改为双侧软趾相连，以使水平桁面板受力可以传递到中纵桁，避免削斜趾端的应力集中。

（2）BL20800/20000/19200 位置水平加强筋修改：

如图 3-6 中位置 1 所示，水平加强筋修改为两端软趾、中间带曲率的加强肘板，肘板厚度增加到与其相连的肋骨腹板厚度相同，加强肘板趾端与相连的肋骨面板之间留 50mm 的间隙。



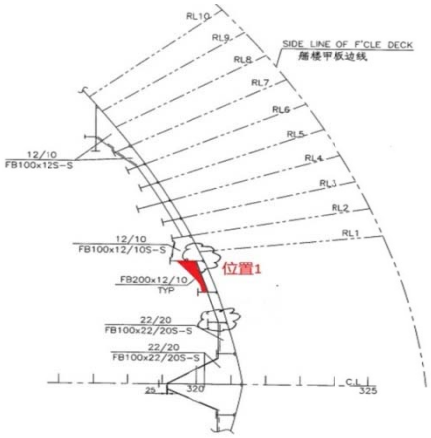


图 3-5：中纵桁节点修改　　图 3-6：水平加强筋节点修改

1.4 经验总结

在详细设计和生产设计时，当存在如垂直强构件面板和水平强构件面板不在同一平面导致无法实现连续等情况时，尤其是在关键结构区域内时，此时宜采用放大一侧构件，如放大水平强构件端部腹板高度使垂直强构件穿过水平强构件腹板（水平强构件面板保持连

续）的形式为佳。

案例 2：

机舱隔离空舱舱壁裂纹损坏案例

2.1 缺陷描述

某散货船货舱区域顶边舱斜坡板延伸至机舱部分采用大型桁材作为反面支撑，Fr45 为机舱前舱壁，桁材端部为圆弧形连接肘板，其趾端中止于 Fr.42 前，肘板下端与燃油舱纵壁焊接，纵壁反面为加筋肘板和扁钢加强。肘板趾端处燃油舱纵壁出现裂纹，导致燃油舱泄露，如图 3-7 和 3-8 所示。



图 3-7：肘板趾端处舱壁泄露

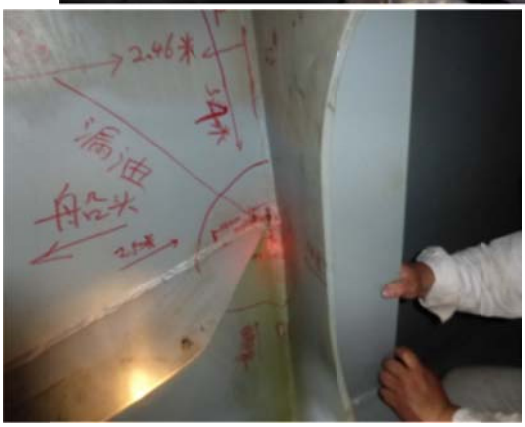


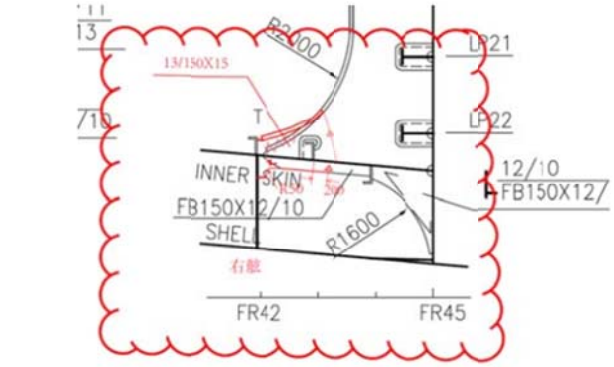
图 3-8：肘板趾端处结构

2.2 原因分析

该桁材构件为货舱纵向连续板在机舱内燃油舱的过渡构件，受到总纵强度载荷和局部强度载荷的综合作用，因受到舱室布置空间的影响，该桁材肘板无法进行足够的延伸，趾端未和强构件相连接，同时趾端反面支撑扁钢强度较弱，导致该桁材构件承受的应力在端部无法有效的传递和释放，造成肘板拉裂燃油舱壁。此类缺陷是船舶大型化后机舱区域结构布置带来的问题，有别于小尺度船舶。

2.3 整改措施

（1）如果机舱在左舷 FR42 位置处设置低硫油舱舱壁，右舷不设置低硫油舱，左舷加强方案如图 3-9 所示，右舷加强方案如图 3-10 所示：



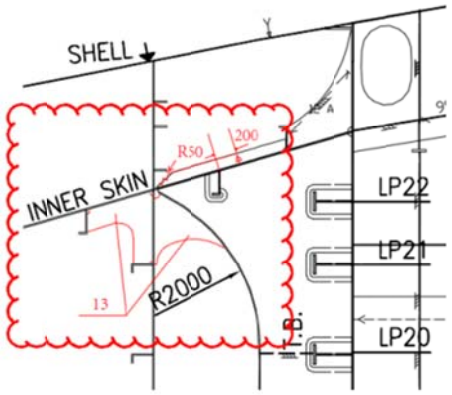


图 3-9：左舷加强

图 3-10：右舷加强

（2）如机舱左右舷均不设置低硫油舱，则靠近机舱前壁 Fr42 处无油舱舱壁，加强方案如图 3-11 所示，左、右舷相同。

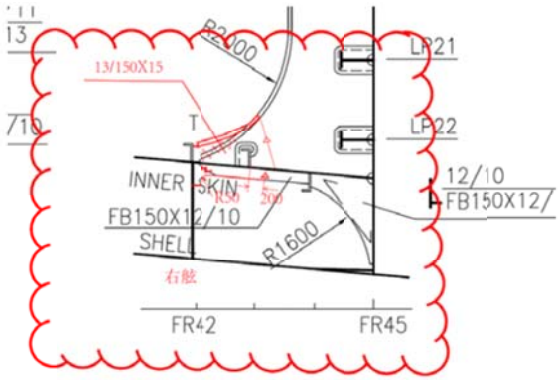


图 3-11：左右舷加强

2.4 经验总结

对大型船舶货舱纵向连续构件在机舱内的过渡结构，应充分考虑其承受总纵强度的影

响，确保其肘板趾端保持有效的连接和过渡。

案例 3：

舱口围板顶板折角处裂纹案例

3.1 缺陷描述

某 CSR 散货船多个货舱左右纵向舱口围靠近液压动力单元处的舱口围顶板出现裂纹，如图 3-12 和 3-13 所示，且姐妹船上也发现了相似的裂纹。



图 3-12：舱口围顶板位置



图 3-13：舱口围顶板裂纹

3.2 原因分析

现场发现裂纹出现在每个货舱中部的舱口围顶板剖面变化处，该位置也是每个货舱舱盖的操作电动液压单元附近。

船体梁弯曲产生的巨大张力作用于舱口围板的顶部结构单元上，而这个顶部单元的加强筋刚好在此位置存在焊缝，当此结构形式不能对应力流进行渐进和足够的分散过渡时，任何折角连接处的剖面变化将会引起高应力集中。裂纹处折角连接结构并未发生变形，这表明张力及疲劳共同作用在这个结构处，从而导致裂纹出现。

3.3 整改措施

对所有相同区域缺陷结构进行割除，并局部使用新的成型后的单板结构插入焊接，从而避免在折角连接处有焊缝的存在。

3.4 经验总结

对结构折角连接处的设计应小心谨慎，确保没有高应力集中。在板材厚度有变化的地方，在接头处应采取光顺的切斜过渡以避免应力集中。在高应力区域（例如折角处）应尽量避免焊接，但当焊接不可避免时应采取有效的处理措施，例如打磨、削斜等来改善疲劳寿命。

案例 4：

顶边斜坡板顶部折角连接处裂纹案例

4.1 缺陷描述

某 CSR 散货船 NO.2 顶边压载舱斜坡板顶部与垂直舱壁的折角连接处出现裂纹，并且姐妹船的相同部位也出现了裂纹，如图 3-14 和 3-15 所示。

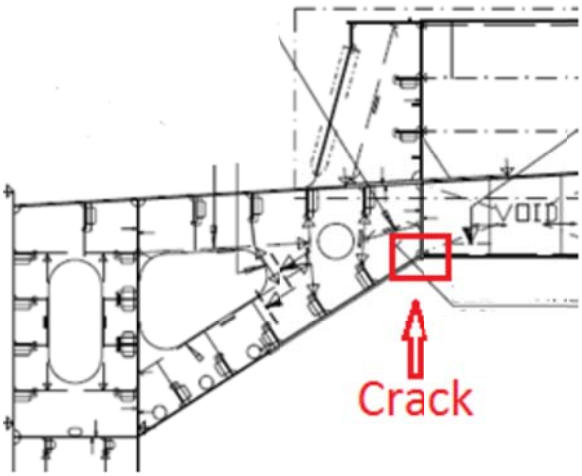


图 6-14：裂纹位置



图 6-15：折角处裂纹

4.2 原因分析

在舱口开口范围内的结构尖角处没有设置适当的过渡肘板，会引起高应力集中，特别是在逐渐收缩的前向区域形成纵向折角点的地方，而不适当的扇形过焊孔可能会进一步引起应力集中，从而导致裂纹出现。

4.3 整改措施

对裂纹和焊缝缺陷用碳刨进行彻底清除，补焊后进行 NDT 探伤，并安装适当结构形式的软肘板。

4.4 经验总结

尽管本船在设计时根据 CSR 规范进行了结构有限元计算，但是在船舶营运过程中，由于很难预料其航线和装载周期内所有的装载操作条件，特别是在恶劣天气下，很有可能由于对尖角部位结构的不当处理而导致产生裂纹，因此需要对结构不连续部位的设计细节更加谨慎。由于该船船龄较小，且其姐妹船上也出现了类似的裂纹，因此在后续的设计上对此部位应进行适当的优化设计，同时，在对船舶进行结构检查时，应注意下列较容易出现裂纹的应力集中区域：

——横框架角隅处面板的焊接接头；

——扶强材末端与横框架的连接处，靠近或在横框架的角隅处；

——最低一根纵骨与横框架的连接处，尤其是尺寸减小的纵骨；

——前、后顶边舱内的纵骨末端；

——顶边舱的斜板折角处；

——顶边舱内的过渡区域；

——货舱槽形横舱壁和凳式结构对中连接处；

——舷侧肋骨与端肘板对中连接处，尤其在肘板趾端。

案例 5：

舱口围肘板腹板趾端裂纹案例

5.1 缺陷描述

某 CSR 散货船的船中部分货舱的前后纵向舱口围肘板的腹板与主甲板相连的趾端出现 20-45mm 长度不等的裂纹，裂纹如图 3-16 和 3-17 所示。



图 3-16：趾端裂纹

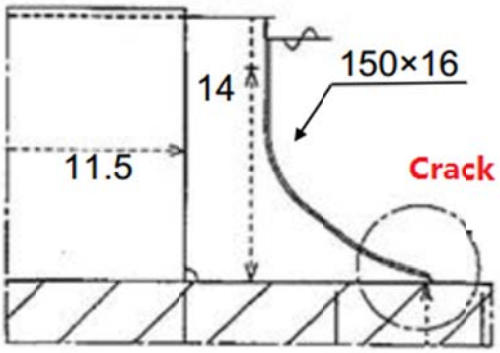


图 3-17：肘板结构

5.2 原因分析

不连续的货舱纵向舱口围板承受显著的船舶总纵弯曲应力，导致在货舱口长度中点处的附加应力和纵向舱口围板两端延伸肘板趾端处的应力集中，而肘板趾端处的面板与腹板连接处并没有进行良好的过渡，包角焊也不到位。属于肘板形式设计不当和施工工艺不到位产生应力集中而导致的损坏，类似缺陷在很多散货船上出现过。

5.3 整改措施

将裂纹彻底碳刨清除，补焊后进行 NDT 探伤，同时对面板端部进行削斜处理，加大面板和腹板的包角焊，使应力能够平顺的传递到甲板及其反面支撑构件上，减少此处的应力

集中，如图 3-18 和 3-19 所示。对裂纹较长的情况，补焊不是最佳选择，需要局部更换腹板端部。

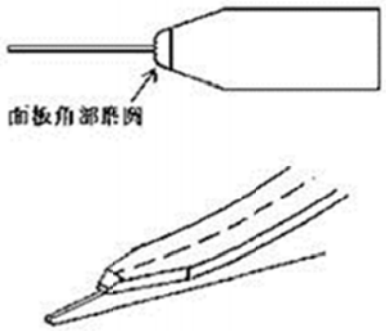


图 3-18：面板趾端优化处理



图 3-19：改进后的趾端

5.4 经验总结

对承受船舶总纵强度的强力构件的终止端，其趾端容易出现应力集中现象，良好的结构过渡形式和焊接工艺能够大大改善应力集中的程度，需在设计和施工阶段予以重视。

案例 6：

货舱舷侧肋骨趾端裂纹案例

6.1 缺陷描述

某 CSR 散货船的船中部分货舱的舷侧肋骨上端部腹板出现裂纹，接近于面板终止处，左右舷均有发生，如图 3-20 和 3-21 所示。

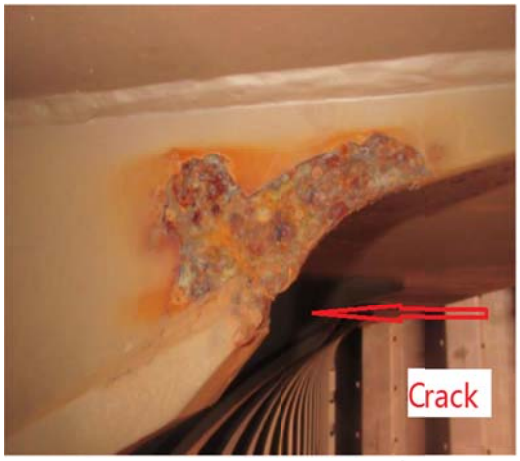


图 3-20：肋骨面板裂纹

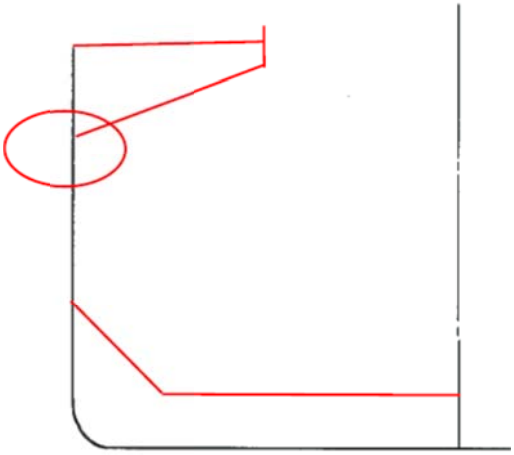


图 3-21：裂纹位置

6.2 原因分析

单舷侧散货船的舷侧结构区域是全船强度相对较弱的部位，除了需要承受总纵弯曲，还需要承受船舶扭曲带来的力矩。作为舷侧主要的支撑结构，货舱肋骨上下端部容易出现应力集中和结构疲劳，导致产生裂纹。类似缺陷在很多散货船上出现过，尤其是船龄较大的散货船上。

6.3 整改措施

考虑到出现裂纹的肋骨数量较多，且位置较为集中，不主张对裂纹进行补焊，而采用局部割换的方式，新板结构形式与原来保持一致，但对接焊缝跨过裂纹位置，确保趾端强度。施工过程中重点控制腹板与顶边舱斜坡板反面支撑结构的对中精度和焊接质量，完工后进行 NDT 试验，如图 3-22 所示。



图 3-22：修理后的肋骨上端部

6.4 经验总结

对散货船这种货舱大开口结构形式，舷侧结构除了承受总纵强度，还要承受较大的扭曲作用力，这些区域往往容易产生疲劳现象，进而导致结构裂纹出现，如上述货舱肋骨上、下端部，货舱舱口角隅板等。对 CSR 船舶结构的疲劳强度校核需要在设计时给予更多关注。

案例 7：

货舱舱口端横梁结构节点缺陷分析及永久性修理建议报告

7.1 缺陷描述

XXX 轮于 2007 年 2 月 4 日到 2007 年 2 月 23 日在中国某船厂进行了特别检验，历时 19 天。特检完成后以压载工况空放到澳大利亚 ALBANY 港，并于 2007 年 3 月 10 日接受了澳大利亚 AMSA 的 PSC 检查。结果发现舱口端横梁端部多处开裂而被滞留。开裂情况如下（摘自 PSC 检查报告）：

No.5 cargo hatch coaming skirting port and stb. forward cracked. 5#货舱前舱口端梁左右端开裂。
No.4 cargo hatch coaming skirting port and starboard forward and stb. aft. cracked. 4#货舱前舱口端梁左右端及后舱口端梁右端开裂。
No.3 cargo hatch coaming skirting stb., aft. and forward cracked. 3#货舱前后舱口端梁右端开裂。
No.2 cargo hatch coaming skirting stb., aft. and forward cracked. 2#货舱前后舱口端梁右端开裂。

附舱口端梁及缺陷图片：



发现缺陷后，船东立即安排了修理。经过 24 小时的修理，消除了缺陷。2007 年 3 月 13 日该轮从澳大利亚临时修理完毕装载小麦到 NEW CASTLE，2007 年 3 月 17 日，船长报告，在 No.3 货舱（该货舱为半舱装载）左后舱口端横梁又发现 50mm 的新裂纹。由于在 ALBANY 港进行了严格的检查，因此船方有足够的理由认为该缺陷是从 ALBANY 港开出后裂开的。

在 NEW CASTLE 港卸货后，船东又安排对 No.3 货舱左后舱口端横梁进行了修理，然后开往 BURNIE 港装货（No.1、5 舱装载原木、No.2、3、4 舱分别装载铜矿沙和锌矿沙）开往韩国 INCHON（原木）和中国南通港（矿沙）卸货。

2007 年 4 月 28 日，船舶到达南通港后，验船师立即上船了解情况，并对货舱进行了细致的检查，结果又发现 No.1 舱左后和 No.5 舱左后方舱口端梁与顶边舱连接处产生了新的开裂。

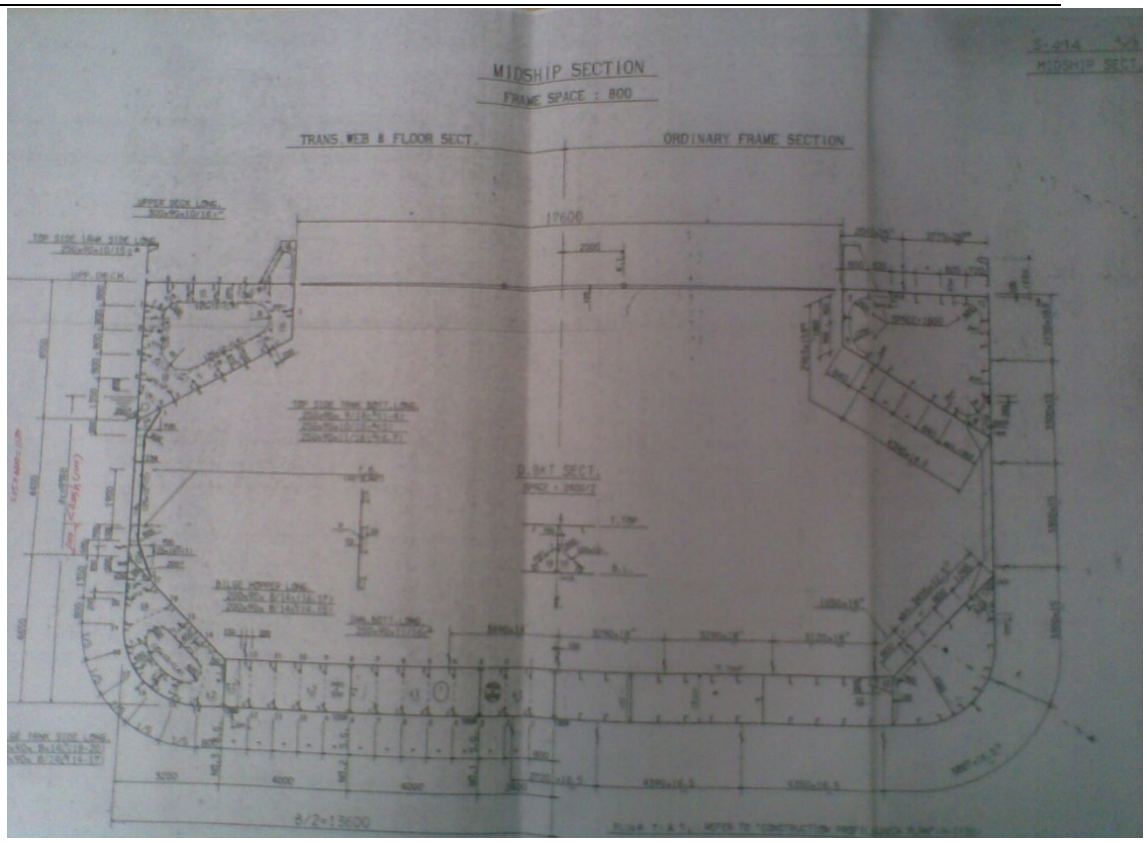


7.2 原因分析

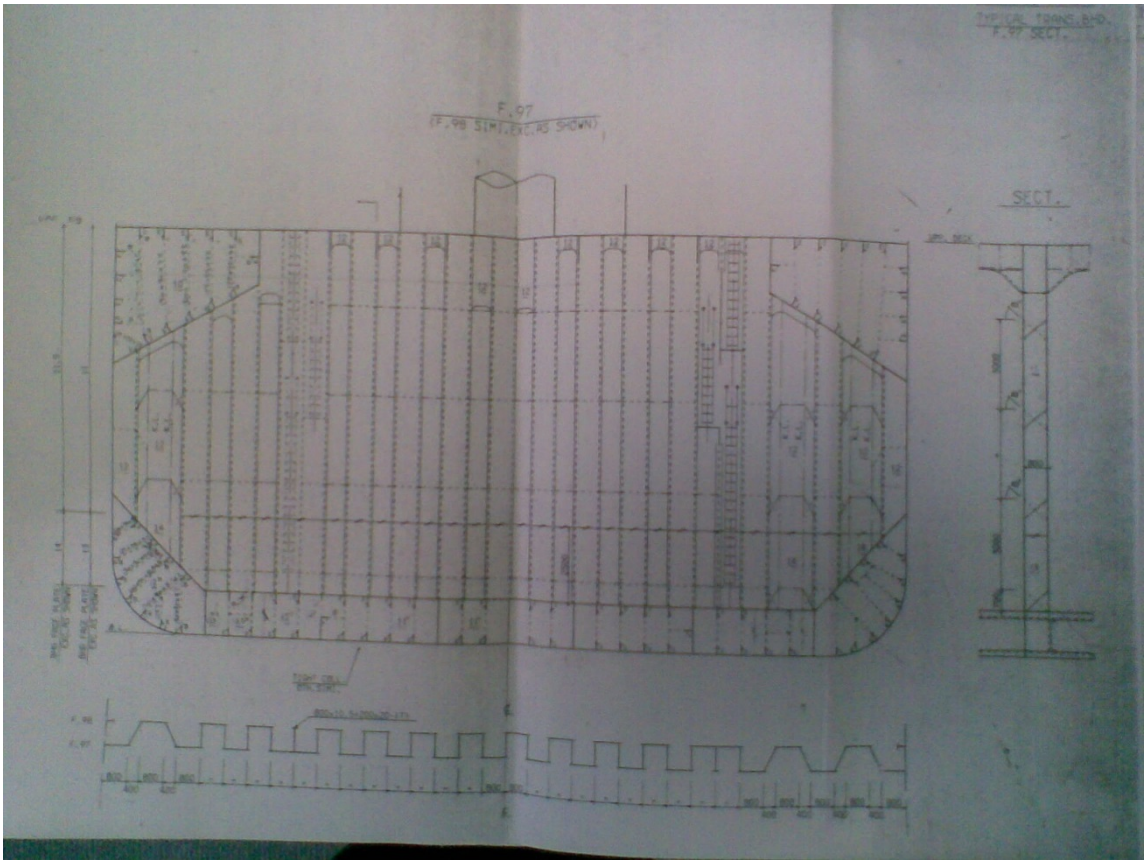
1、原船结构设计合理性分析

原船货舱区结构为带上下顶边舱的典型散货船结构，货舱开口宽度为型宽的64.7%，主甲板开口外为纵骨架式，开口之间的甲板结构为横骨架式，货舱区横舱壁为垂向槽型壁，横舱壁不带上下壁凳，具体见附图：

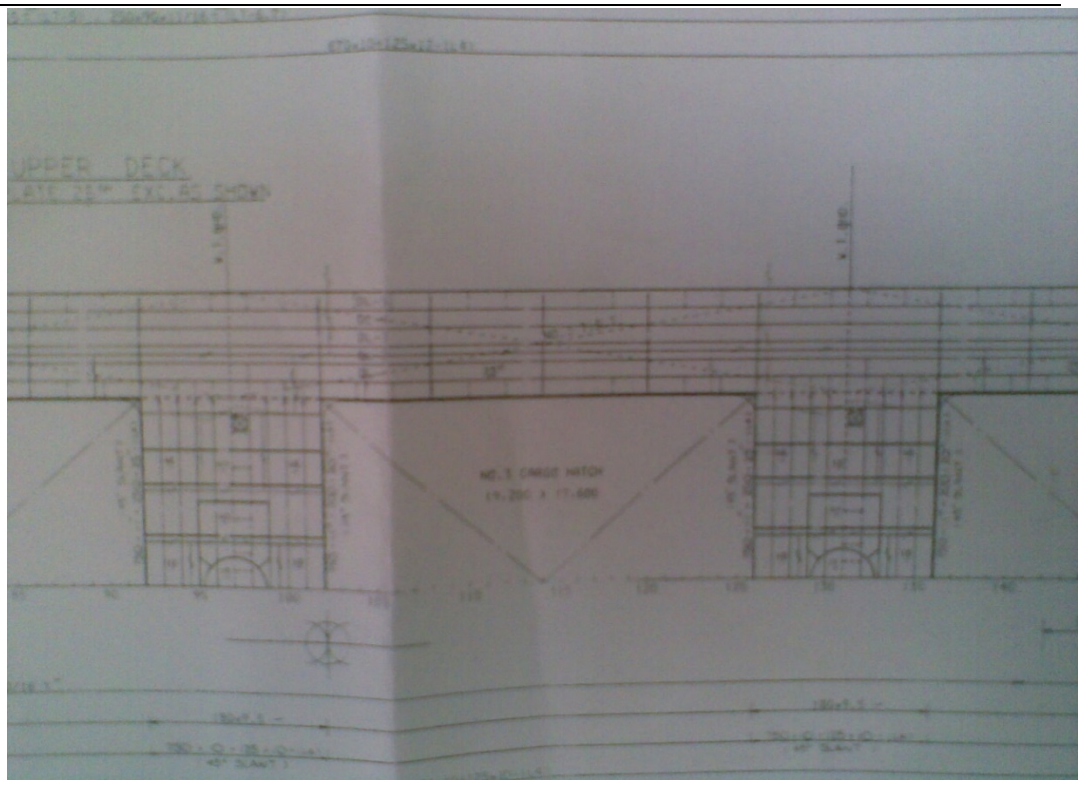
(1)舯剖面图：


MIDSHIP SECTION
FRAME SPACE : 800
TRANS WEB & FLOOR SECT.
ORDINARY FRAME SECTION
17600

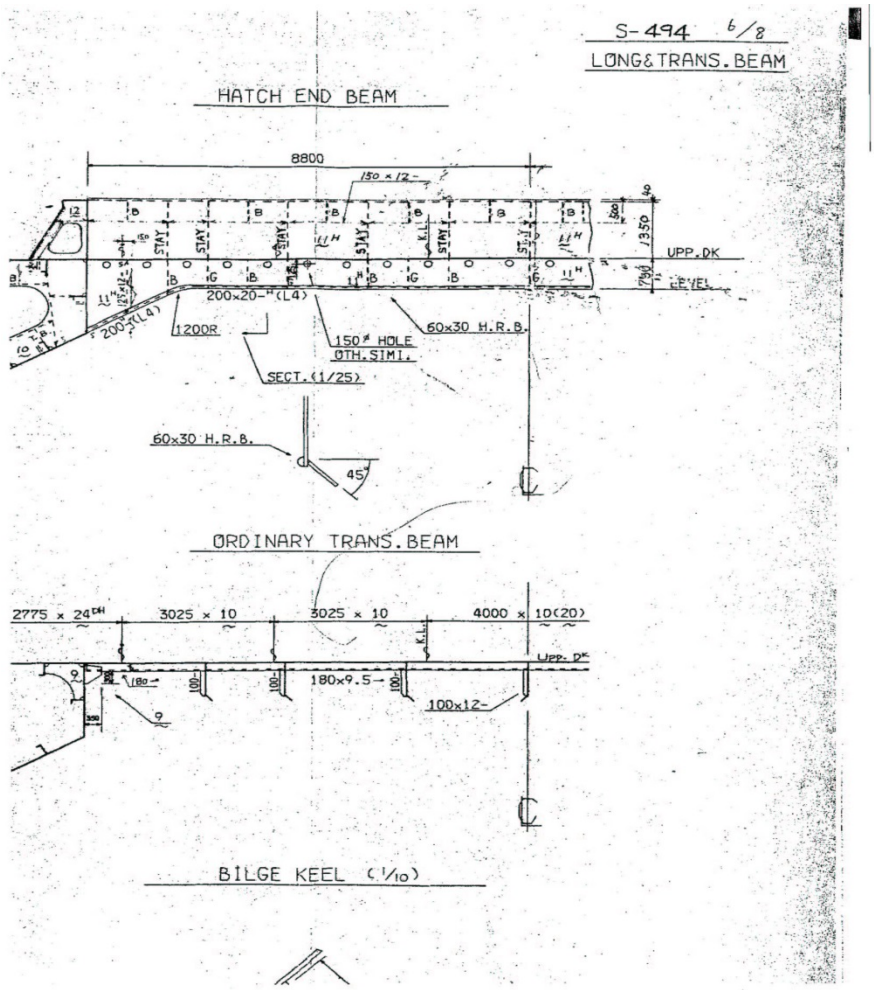
(2)横舱壁图：


F.97
SECT.

(3)主甲板图：

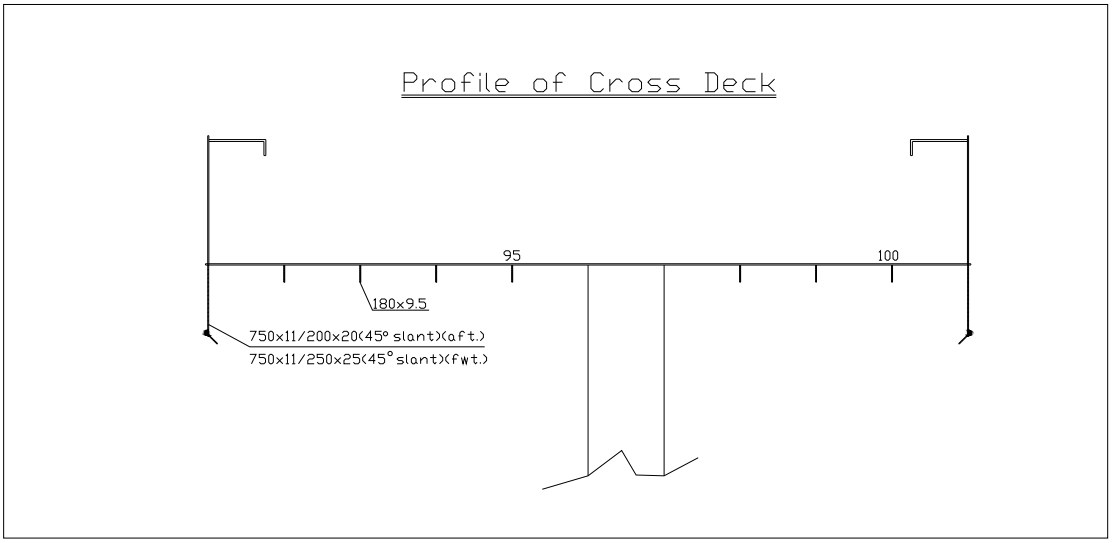


(4)舱口端梁结构图：



从图纸可见，该船货舱区结构的特点是槽型横舱壁不带上下壁凳。横舱壁上下壁凳的结构贡献反映在可减小槽型舱壁槽条的跨距和增加船舶的横向强度。不设上下壁

凳时，由于槽条跨距大，可增加槽壁的规格以满足舱壁强度要求；还可增加开口间的甲板横向构件尺寸以增加甲板的横向强度。以下为该船开口间的甲板的纵向剖面图：



从此图可以看到，该船甲板的横向强度主要由开口之间的甲板板、180x9.5 的甲板横梁及 750x11/250x25（750x11/200x20）的前后舱口端梁提供，这以常规散货船带横舱壁上壁凳或箱型舱口端梁的结构形式相比，甲板横向强度处于弱势。

另外，由于舱口端梁面板在与顶边舱垂直壁板连接处采用削斜过度，防擦半圆钢也在此处中断，使连接焊缝附近的抗拉面积及抗弯模数突然减小，通过计算，带面板与不带面板的舱口端横梁在端部对自身中和轴的剖面模数分别为 4370cm^3/1970cm^3(连带板)，差别超过 50%，而且甲板上的舱口端围板也几乎是在此处中断，进一步减弱了此处的抗拉弯能力，舱口端横梁端部趾端容易出现应力集中。

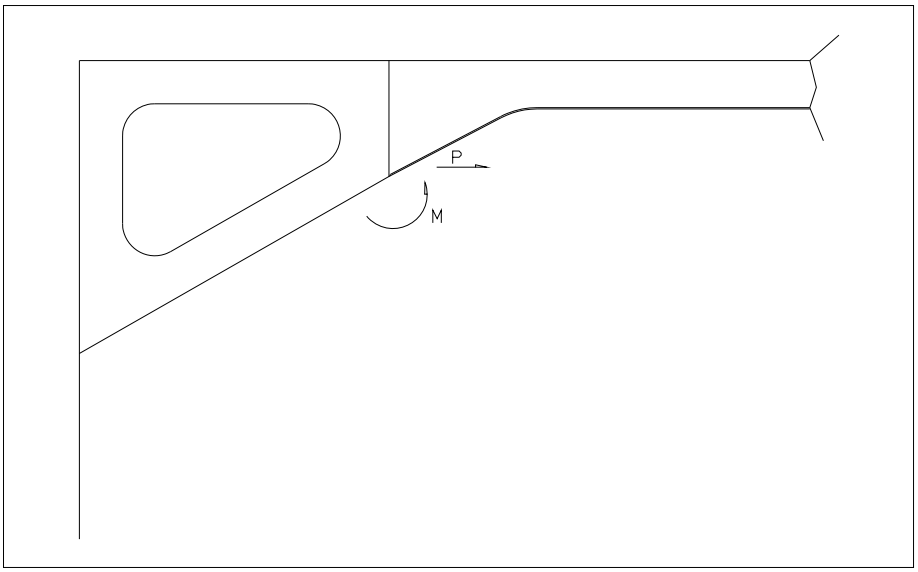
附面板削斜图片：



从上述资料及分析，以及在该船特检期间发现这次发生缺陷的部分位置以前已经经过修复，证明舱口端横梁端部是易发生开裂的部位。因此，有足够的原因怀疑该船原始设计的舱口端横梁端部节点的合理性。

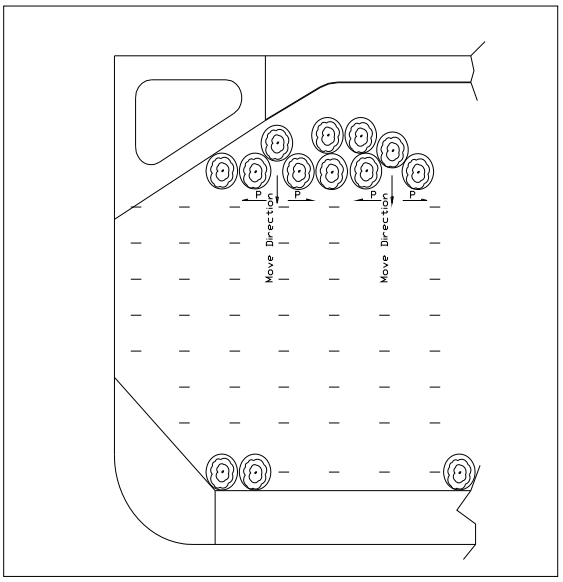
2、船舶装载状况及航行海况的影响

2.1 据船方介绍，该船在澳大利亚被滞留前，是空放航行到澳大利亚装货，此时货舱空舱、顶边舱装压载水。船舶在横摇的情况下，由于惯性力的作用，甲板结构承受可能比货舱装货时更大的横向拉弯载荷的作用，如图：



此时，舱口端横梁根部是结构剖面突变的位置，容易在横向拉弯载荷的作用下产生破坏。

2.2 另外，据船方介绍，该船从澳大利亚回国时，No.1、5 舱货物为原木，从下图示意原木的装运特点，在航行途中，由于船舶不断的摇晃，令上方原木不断向下挤压，从而主要对开口间甲板结构产生额外的横向载荷，这很可能是从 BURNIE 港至韩国 INCHON 港过程中 No.1 舱左后和 No.5 舱左后方舱口端梁与顶边舱连接处开裂的原因。



2.3 据船东反映，该轮此次特检修理完毕，空载至澳大利亚途中经印度洋航区时，海上风浪较大，船舶顶风浪航行，当时船长来电反映船舶震动较大。

船舶在风浪中航行，船体受到横摇/纵摇的联合作用，横向结构受到额外的动态拉弯及扭转载荷，特别是横向强度较弱的开口间甲板结构备受考验，由于开口间甲板缺乏箱型抗扭结构，在承受扭炬时较弱的部位很容易受到破坏。

3、综上所述，认为 XXX 轮部分舱口端梁端部出现开裂的原因可以归纳为：

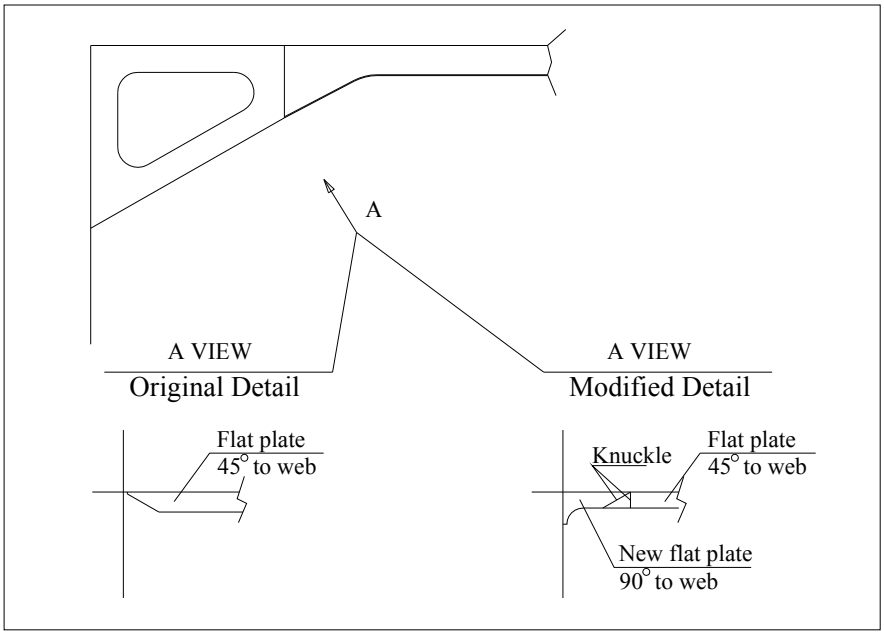
a. 原设计舱口横梁端部与顶边舱连接处的节点形式欠合理，这是主要原因；

b. 出现结构缺陷的航次的装载和航行海况使开口间甲板结构承受了额外的横向载荷。

7.3 整改措施

从上述结构分析结果，认为此次产生结构缺陷的主要原因是该船甲板横向强度裕度不足，而且舱口端横梁端部高应力区出现结构突变，最直接有效的缺陷消除方式是消除结构突变，令横向载荷能均匀传递，避免应力集中。基于此观点，验船师提出了缺陷消除的方案：

延伸舱口端横梁面板与顶边舱边板连接，利用过度面板使面板从与腹板相交 45° 过渡至与腹板相交 90°，面板与顶边舱垂向舱壁连接处采用软趾过渡，防擦半圆钢提前削斜切断，避开应力集中部位。目的是加强连接端点的强度，有效消除应力集中。见下述施工图纸及现场图片：





经过结构改进，XXX 轮重新投入营运后，期间经过恶劣的海况、有空载或满载，但货舱舱口端横梁修复节点处未出现开裂。取得了较好的效果。

7.4 经验总结

建议今后遇到不设上凳的槽形舱壁的散货船时，应该对横向甲板条的主要横向结构加强检查，包括甲板板和舱口端梁，尤其是靠近舱口角隅的部位。一旦发现异常情况，或有不正常的修理史，应该立即报告，寻求结构改进的方案。以避免缺陷的发生。

此外，由于装运木材时，货物可能会对舷侧结构产生很大的挤压作用。因此，在对运木船或其他装运木材的船舶进行检验时，应该特别注意舷侧结构和船舶的横向强度。