



指导性文件  
GD036-2025

中 国 船 级 社

# 液化气体运输船检验指南

**2025**

2026年1月1日生效

北 京

# 目 录

第 1 章 总则	1
第 1 节 一般规定	1
第 2 节 有关公约与规范要求	2
第 2 章 检验与发证	3
第 1 节 一般规定	3
第 2 节 新建船舶的初次检验	3
第 3 节 保持船级的检验	3
第 4 节 散装运输液化气体适装证书或符合证明的检验和发证	12
第 3 章 船体结构	14
第 1 节 船体结构布置	14
第 2 节 船舶结构关键位置	18
第 3 节 船舶特殊区域	23
第 4 节 货舱内表面平整度	33
第 5 节 船体结构无损检测	34
第 4 章 货物围护系统	37
第 1 节 薄膜型货物围护系统	37
第 2 节 C 型独立液货舱	55
第 3 节 B 型棱形独立液货舱	63
第 4 节 A 型棱形独立液货舱	70
第 5 章 货物驳运与处理系统	71
第 1 节 货物驳运与处理系统综述	71
第 2 节 货物驳运与处理系统设备检验	71
第 3 节 货物驳运与处理系统低温管系与泵塔检验	73
第 4 节 货物驳运与处理系统辅助系统检验	77
第 6 章 推进方式和轴系布置	85
第 1 节 推进方式	85
第 2 节 轴系布置	85
第 7 章 气体航行试验和首次装货与卸货操作	87
第 1 节 薄膜型液化天然气运输船气体航行试验	87
第 2 节 C 型独立液货舱液化天然气运输船气体航行试验	95
第 3 节 B 型棱形独立液货舱液化天然气运输船气体航行试验	100
第 4 节 首次装货和卸货验证	104
第 8 章 液化天然气运输船安全管理体系审核	105
第 1 节 总则	105
第 2 节 安全管理体系审核内容和要点	105
附录 1 船体结构和货物围护系统的营运检验和修理	110
第 1 节 船体结构的检验要点和修理原则	110
第 2 节 货物围护系统的检验要点和修理原则	113
附录 2 B 型棱形独立液货舱及货舱处所内的营运检验和修理	116
附录 3 B 型棱形独立液货舱的应急处置操作	121

# 第 1 章 总 则

## 第 1 节 一般规定

### 1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本指南适用于：

(1) 最大蒸气压力小于0.07MPa、采用薄膜型液货舱散装载运液化天然气的无限航区船舶。其他采用薄膜型液货舱的装置可参考执行；

(2) 采用C型独立液货舱载运散装液化天然气，液货舱结构件尺寸的设计按最大蒸气压力确定的无限航区船舶；

(3) 采用B型棱形独立液货舱散装载运液化天然气，设计蒸气压力小于0.07MPa的无限航区船舶；

(4) 采用A型棱形独立液货舱散装载运液化天然气的无限航区船舶可参考执行；

(5) 国内航行散装载运液化天然气运输船可参考执行。

1.1.1.2 本指南涉及的各种类型货物围护系统的相关要求供参考使用，详见 IGC 规则、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》、专利公司技术文件和批准的设计图纸和资料等文件的相关要求。

1.1.1.3 本指南中的图片、示意图、数值参数和表格是一种对当前已建造运营的液化天然气运输船检验的可接受的惯例做法，供参考使用。

1.1.1.4 本指南中的气体航行试验的相关要求是基于当前已建造运营的各种类型 LNG 运输船的气体航行试验流程及技术要求，供参考使用。

1.1.1.5 本指南主要针对现场检验相关工作要求，其他用途可参考使用。

### 1.1.2 一般要求

1.1.2.1 依据服务协议中约定的公约、规则、规范和其他适用标准进行检验。在开工会议上，各参与方根据船厂的实际能力和相关要求制定旨在确保质量和施工进度的检验、试验计划。

1.1.2.2 与绝缘、薄膜和货舱制造和安装相关的自动/手动焊接作业应由具有资质的操作者/焊工完成，操作者/焊工应遵守已批准的焊接工艺规程要求，并且经过船厂严格有效的培训。

1.1.2.3 无损检测操作员使用设备对焊缝进行无损检测，评估焊缝质量，操作员需获得由 CCS 依据其《材料与焊接规范》或相关国内或国际行业协会或组织依据适当的规范签发的资质证书。无损检测工艺应由 3 年以上 II 级及以上资质的操作员评定。

1.1.2.4 用于船舶结构、C 型独立液货舱、B 型棱形独立液货舱、薄膜型货物围护系统和货物驳运与处理系统的主要材料，包括但不限于船舶结构钢板、9%Ni 合金钢、36.5%Ni 合金钢、胶合板、隔热材料、低温不锈钢等，需要满足 CCS《材料与焊接规范》的要求，材料持证要求满足 CCS《钢质海船入级规范》的要求。

1.1.2.5 货物驳运与处理系统相关设备应取得 CCS 产品证书，满足 CCS《产品检验指南》的要求，具体持证产品清单满足 CCS《钢质海船入级规范》的要求。

1.1.2.6 殷瓦合金和低温不锈钢等零部件生产线和绝缘箱生产线的生产流程和成品检验需经 CCS 评估，确认生产出的产品满足适用标准。

## 第 2 节 有关公约与规范要求

### 1.2.1 一般要求

1.2.1.1 液化气体运输船舶设计、建造、检验和审核一般应满足以下公约、规则、规范、指南及标准的相关要求，具体以服务协议约定为准，包括但不限于：

- (1) IMO《1974年国际海上人命安全公约》及其修正案（以下简称《SOLAS公约》）；
- (2) IMO《防污染公约》及其修正案（以下简称《MARPOL公约》）；
- (3) IMO《经1988年议定书修订的1966年国际载重线公约》及其修正案；
- (4) IMO《国际散装运输液化气体船舶构造与设备规则》及其修正案（以下简称“IGC规则”）；
- (5) IMO《1969年国际船舶吨位丈量公约》及其修正案；
- (6) IMO《2008国际完整稳性规则》及其修正案；
- (7) IMO《国际船舶安全营运和防止污染管理规则》及其修正案（以下简称《ISM规则》）；
- (8) 1972年国际海上避碰规则及其修正案；
- (9) 1995年培训、发证和值班标准国际公约(STCW)及其修正案；
- (10) ILO 1979年码头作业安全和健康实用规则；
- (11) ILO 1979年修正的1976年码头作业安全和健康指南；
- (12) CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》；
- (13) CCS《钢质海船入级规范》；
- (14) CCS《材料与焊接规范》；
- (15) CCS《液货船危险区域划分和电气配备指南》；
- (16) CCS《液化气体运输船气体燃料发动机系统设计与安装指南》；
- (17) CCS《船舶安全管理体系认证规范》；
- (18) CCS《法定检验实施指南》；
- (19) 船旗国主管机关的有关法定要求；
- (20) 接受的公认压力容器标准，如GB150《压力容器》、AD2000；
- (21) 石油公司组织或航运组织的相关要求，如OCIMF失控液货船拖带设备建议案（参见SOLAS公约/IMO决议A.535）、OCIMF系泊设备指南；OCIMF大型船舶码头和海岛安全系泊指南和建议案；OCIMF船舶拖带用设备建议案；OCIMF/SIGTTO冷冻液化天然气（液化天然气）运输船管线建议案；ICS/OCIMF/SIGTTO船对船驳运指南（液化气体）；SIGTTO液化气体货物转运船/岸联系应急关闭建议案和指南；SIGTTO回声探测器过度浪涌压力缓和指南；SIGTTO液化天然气运输船货物过滤器的安装和应急关闭系统的建议案；SIGTTO液化天然气进出口码头的港口资料；
- (22) ICS直升机/船舶操作指南；
- (23) WHO船舶国际医疗指南；
- (24) 其他相关标准。

## 第2章 检验与发证

### 第1节 一般规定

#### 2.1.1 一般要求

2.1.1.1 对拟入CCS船级和/或授权进行法定检验的液化气体运输船，申请方向CCS提交申请。

2.1.1.2 CCS经评审接受申请后，将提供船舶入级检验服务，并根据申请承担授权范围内的船舶法定检验服务。经CCS审图、建造中检验和建造后检验，确认船舶入级部分已符合CCS《钢质海船入级规范》、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和本指南的要求，并满足相应的法定要求，CCS将签发相应的船舶入级证书和法定证书。

#### 2.1.2 图纸资料审查

2.1.2.1 对拟入级的液化气体运输船，除提供CCS《钢质海船入级规范》和CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》要求的图纸和资料外，还需提供本指南第3章至第6章所要求的图纸和资料。

2.1.2.2 开工前，申请方应将船舶图纸资料提交CCS审图单位进行审查。图纸分批送审时，至少首先要提交必要的船体图纸资料。

### 第2节 新建船舶的初次检验

#### 2.2.1 一般要求

2.2.1.1 液化气体运输船建造中的入级检验应满足CCS《钢质海船入级规范》第1篇第4章的适用规定及本节要求。

2.2.1.2 建造中入级检验还应满足CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的适用规定和本指南第3章至第6章的相关要求。

### 第3节 保持船级的检验

#### 2.3.1 一般要求

2.3.1.1 保持船级的各种检验，除满足CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》要求外，还应符合CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第1至4节、第6节和第16节的适用规定。

2.3.1.2 机械检验、电气设备检验、船底外部及有关项目的检验、螺旋桨轴与尾管轴检验和锅炉检验应分别满足CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章第9、10、11、12和13节的规定。

2.3.1.3 年度检验旨在确认货物驳运与处理系统和相关安全设备处于令验船师满意的状况，应尽可能在装卸操作过程中进行，可结合装卸码头或锚地过驳完成。验船师主要采用验证记录、见证操作和必要的试验来完成年度检验。除非必要，年度检验通常不需要进入液

货舱和/或惰化的货舱处所。液货舱和/或惰化的货舱处所不必进行除气或换气。

2.3.1.4 中间检验一般需要通过试验货物驳运与处理设备的相关自动控制、报警和安全系统的功能确认其处于正常的状态。中间检验要求的测试范围通常是无法在货物装卸作业中进行的项目，检验尽可能选择在船舶除气状态下进行。

2.3.1.5 特别检验通过全面检查、试验和校核，以确保结构、设备、附件、布置和材料处于良好状态，并且在适当的维护、操作及进行定期检验的情况下，船舶适合在新的5年特别检验周期内营运。特别检验应在坞内和除气状态下进行。通常应与“国际散装运输液化气体适装证书”的换证检验同时进行。

2.3.1.6 验船师应严格遵守CCS职业健康和安全的有关规定以及船舶、码头和船厂相关安全管理规定，在对货物区域检验时应关注低温危害，确认检验环境安全后开展检验工作。

2.3.1.7 船舶保持船级期间重点区域的检验要点和修理原则参见附录1。

2.3.1.8 船舶搁置和恢复应满足CCS《船舶搁置指南》的要求。

2.3.1.9 船舶首次装货和卸货验证的要求见第7章第4节。

### 2.3.2 检验种类及要求

2.3.2.1 年度检验项目和要求如下：

(1) 应满足CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章5.4.2、5.6.2、5.9.2、5.10.2和5.16.2的适用要求，即需满足所有船舶的一般要求和油船、液化气体船的适用要求；

(2) 适用时，确认在规定的单一故障发生时恢复操舵能力所需的装置保持良好状态；

(3) 核查并确认船舶证书及文件的有效性：

① 确认船舶具备有效的船级证书、法定证书和各种符合声明文件；

② 适用时，确认船舶具备有效的船旗国主管机关特别要求的证书和文件；

③ 适用时，确认船舶具备有效的USCG及特定组织或港口要求的证书和文件；

④ 确认货物操作手册、货物记录簿、货物围护系统性能记录、装载极限资料、冷却程序、为安全载运所载货品所必需的资料等有关说明和信息资料均在船上；

⑤ 检查日志确认货物围护系统和货物驳运与处理系统正常运行，还需要考虑关注每天进行货物再液化时间或货物蒸发率；

⑥ 确认船上已备有装载和稳性资料手册，包括典型营运和压载工况的细则、评估其他装载工况的规定、船舶残存能力的概要以及确保船舶在安全和适航条件下装载和营运的足够资料；

⑦ 确认船上已具备根据所有预期装载工况的装载资料及吃水和纵倾的变化而提供破损残存能力的资料；

⑧ 核查是否已安装任何新设备，如有，则确认该设备在安装前已获认可，并确认任何变化已记录在相应的证书或记录报告上。

(4) 检查消防设备：

① 适用时，确认在货泵舱（如有）内或其附近的潜在着火源，诸如松动部件、可燃材料等，均已消除，无不当的渗漏迹象且通道梯处于良好状态；

② 检查防火和灭火系统的布置，对一台主消防泵进行遥控起动试验，对应急消防泵进行起动试验；

③ 检查货物区域内围蔽的货物机器室和围蔽的货物马达室的固定式灭火系统，并确认其操作方式进行了明确标识；

④ 检查用于冷却、消防和船员防护的甲板喷水系统，并确认其操作方式进行了明确标识；

⑤ 检查用于货物区域的化学干粉灭火系统，并确认其操作方式进行了明确标识；

⑥ 适用时,检查专门载运有限数量货物的船舶的围蔽货物机器处所的适当灭火系统和转塔舱的内部水雾系统,并确认其操作方式进行了明确标识;

⑦ 确认并检查消防员装备,包括自储式压缩空气呼吸装置的配备和状况,以及防爆型或本质安全型双向便携式无线电话机的配备;

⑧ 适用时,检查用于集控室的 NOVEC 1230 灭火系统或固定式泡沫灭火系统,并确认其操作方式进行了明确标识。

(5) 检查安全及人员保护相关设备或配备:

① 检查并适当测试缺氧监控设备;

② 适用时,检查有毒气体探测设备;

③ 确认已配备适合于所载运货物的两套便携式气体探测设备和一台适合于测量含氧量的仪器;

④ 核查人员保护设备的配备,包括:

(a) 为保护从事正常货物作业的船员,对船员提供包括眼睛保护在内的合适的保护设备并妥善储藏;

(b) 已配备均可用于允许人员进入充满气体的处所并在其中工作的充足的但不少于三整套安全设备(包括自给式正压空气呼吸器、防护服、长靴、手套、配有腰带的钢芯援救绳、防爆灯等),并予以妥善储藏;

(c) 已配备充足的压缩空气供气设施,并检查备用气瓶、空气压缩机和充气阀箱已配备并妥善储藏;

(d) 已配备担架和适用于所载运货品的医疗急救设备,包括氧气复苏设备;

(e) 适用时,已配备适合紧急逃生用途的呼吸防毒面具和眼睛保护设备,并予以妥善储藏;

(f) 适用时,消除污染设施和眼睛冲洗设备可使用。

(6) 检查船体结构:

① 尽可能检查所有燃料舱、含油压载水舱和含油污水舱柜以及留空处所的透气管上防止火焰通过的装置;

② 适用时,检查所有货泵舱(如有)舱壁有无渗漏迹象或裂缝,特别应检查货泵舱(如有)舱壁所有贯穿件的密封装置;

③ 检查通往船首通道的布置;

④ 适用时,检查不小于 20000 载重吨的液货船应急拖带装置;

⑤ 适用时,确认专用压载水舱内设置的防腐系统得到维护;

⑥ 确认所有为破损残存条件下的特殊布置处于满意状态;

⑦ 适用时,按批准文件规定的试验和检验要求(如有),检查货物区域隔离的替代设计和布置;

⑧ 检查驾驶室、上层建筑和甲板室面向货物区域端部的门、舷窗、窗,特别应关注其气密性能;

⑨ 检查所有空气进口和起居处所、服务处所、机器处所、控制站的开口以及面向货物区域或首尾装卸货物装置的上层建筑和甲板舱室的开口的关闭设施。

(7) 检查液货舱结构及相关附属装置:

① 检查液货舱开口,包括填料、盖、围板和隔板:

(a) 所有液货舱开口应作内部检查和外部检查(尽实际可行),特别应注意系固装置支撑处的板、塔结构、座子和管子连接件;

(b) 检查甲板贯通处的密封装置,确认液货舱开口的填料(如密封胶)完整无破损、盖板与舱口边缘接触严密;

- (c) 确认气穹上的密封装置合格;
- (d) 适用时, 尽实际可行确认液货舱开口周围的围板和隔板安装位置正确, 无变形或松动, 与舱体结构连接牢固。
- ② 检查液货舱压力/真空阀和防止火焰通过的装置:
  - (a) 外观检查标识清晰、压力数值正确;
  - (b) 适用时, 外观检查防止火焰通过的装置, 检查透气桅顶部防火网罩处于良好状态并保持清洁, 应注意不允许在透气桅杆开口上用防火网替代阻焰装置;
  - (c) 操作确认液货舱压力/真空阀压力设定转换或旁通装置完好, 开启或关闭状态指示器显示正常(如设有时);
  - (d) 检查管路上的截止装置处于良好状态;
  - (e) 适用时, 检查改变调定压力的记录已正确记入航海日志, 阀本体和货控室标明值与记录值一致。
- ③ 确认便携式或固定式滴盘或甲板液货泄漏绝缘装置合格:
  - (a) 确认便携式滴盘数量和规格符合设计要求及预订用途、外观状态完好;
  - (b) 检查固定式滴盘或甲板液货泄漏绝缘装置外观状态完好, 确认内部无积水。
  - (8) 检查气体燃烧装置(GCU)和/或再液化装置(如设有时):
    - ① 检查气体燃烧装置并进行试验:
      - (a) 检查尽实际可行在 GCU 工作状态下进行。整体的外观检查, 确认处于良好的工作状态, 确认所有运动部件和热/冷表面的安全防护设施良好有效;
      - (b) 试验 GCU 的安全措施和报警装置;
      - (c) 试验 GCU 供气应急切断。尽可能试验在双壁管失去惰性气体压力或在排气通风不能正确工作的情况下, 对设有用气设备的供气予以关闭;
      - (d) 试验 GCU 主气体燃料阀, 可从机器处所内或至少一个遥控位置手动切断主气体燃料供应。
    - ② 检查再液化装置并进行试验:
      - (a) 查阅货物操作记录, 再液化装置工作良好;
      - (b) 检查尽实际可行在再液化装置工作状态下进行。整体的外观检查, 确认处于良好的工作状态, 确认所有运动部件和热/冷表面的安全防护设施良好有效;
      - (c) 试验再液化装置的安全措施和报警装置。
    - (9) 检查货物区域的机械通风:
      - ① 进入围蔽处所前, 应核查入口处张贴或规定进入货物机器处所的程序和通风要求, 照明灯具正常工作;
      - ② 尽可能检查在装卸操作时, 通常需进入的货物区域的处所的机械通风装置, 并确认其操作合格;
      - ③ 适用时, 确认通风系统运行正常;
      - ④ 检查通风系统是否经过修理和变动, 如有应符合批准图纸要求;
      - ⑤ 尽实际可行进行通风故障声光报警试验;
      - ⑥ 检查正压通风保护处所(如空气闸保护处所)的机械通风和安全保护措施, 确认其处于良好状态并得到妥善的保养;
      - ⑦ 检查空气闸装置得到妥善维护保养, 门能够有效地自闭和未关闭时的声光报警有效, 验证正压式机械通风的有效性;
      - ⑧ 验证货物气体探测设备及声光报警处于正常状态。
  - (10) 检查电气设备、电缆、接地、照明和自动化系统:
    - ① 危险区域的电气设备和电缆:

- (a) 检查气体危险处所和区域内所有电气设备处于良好状态，并检查其维护和维修记录确认其得到妥善维护保养；
- (b) 检查危险区域的电气接地装置，包括所安装的搭接片。
- ② 检查泵舱（如有）内的应急照明：
  - (a) 检查货泵舱的应急照明，对 2002 年 7 月 1 日以后建造的液货船，如应急照明兼做主照明，应注意与泵舱通风之间的连锁。
  - ③ 检查货物管路和独立液货舱与船体电气接地：
    - (a) 检查货物管路和独立液货舱与船体电气接地，确认处于良好状态。
  - ④ 检查自动化系统：
    - (a) 控制系统：查阅轮机日志和货物日志，确认日常使用情况；确认当自动控制系统和/或遥控系统发生故障和失效（包括动力源中断）时应能发出报警信号并进行电源自动切换试验；检查自动控制系统和/或遥控系统的电力、液压和气动动力源以及管路和电路；必要时可进行模拟或效用试验；
    - (b) 监测系统：尽实际可行检查和试验监测系统，确认系统处于正常工作；
    - (c) 安全系统：尽实际可行检查液体货物和气体燃料供应的自动关闭装置。
- (11) 检查货物驳运与处理系统：
  - ① 在液货舱区域检查下列系统或设备：
    - (a) 检查液货舱的透气、驱气、除气和其他通风系统；
    - (b) 尽实际可行检查甲板上和货泵舱（如有）内的货物操作和处理用管系，包括：液相管、气相管、扫舱/喷淋管、燃料供应管、取样管，管路连接法兰、绝缘、支撑，膨胀管路和波纹管，液货管路低温阀包括遥控阀、液货低温安全阀，遥控阀液压系统，辅助管路如惰性气体及干燥空气管路、氮气管路、压缩空气管路，压力释放和泄放装置以及水幕系统等；
    - (c) 确认任何液体和蒸气软管适合于预定的用途，并（适用时）确认其型式认可或标有试验日期；
    - (d) 目视检查屏壁间绝缘层（处所）和货舱处所的压力释放阀（PRVs）和真空释放阀，并确认压力释放阀（PRVs）已铅封，船上备有压力释放阀开启和关闭压力的证明文件，并确认其安全系统和报警装置合格；
    - (e) 尽实际可行检查货泵（如设有）压盖密封，验证电动和机械遥控操作及关闭装置的正常运行；
    - (f) 检查液货舱液位指示器（如液位雷达测量系统及浮子液位计）、溢流控制装置、压力表和温度指示装置；
    - (g) 验证在货物卸载管路上安装的压力表和液位指示器系统运行正常；
    - (h) 如在货物驳运与处理期间进行检验时，尽实际可行对货物驳运与处理系统管系和机械装置进行目视检查；
    - (i) 所有可接近的气密舱壁的穿透部位包括气密轴封应进行外观检查；
    - (j) 确认已备有应急液货泵并适当维护。
  - ② 在货物机器室及转塔舱（适用时），检查相关如下设备及管路系统以及逃生路线状况，包括：
    - (a) 检查货物机器室的天然气压缩机、货物蒸发器、货物加热器、货物气液分离器和相关水冷却器以及真空泵等以及相应的液相或气相管路系统；
    - (b) 检查货物机器室（气体危险区域）的电气设备和电缆；
    - (c) 检查气体探测包括氧气探测（适用时）系统探头或采样点；
    - (d) 检查触发 ESD 的失火探头；
    - (e) 检查或试验通风口系统及其防火风闸，逃生路线及逃生门。

- ③ 检查货物马达室的各设备及系统以及逃生路线状况，包括：
  - (a) 确认空气闸满足本节(9)⑦的要求；
  - (b) 检查隔离空舱加热装置；
  - (c) 检查天然气压缩机和真空泵的驱动电机；
  - (d) 检查或试验通风口系统及其防火风闸，逃生路线及逃生门；
  - (e) 适用时，检查其他电气设备及电缆状况。
- ④ 确认 ESD（应急关闭）系统连同货泵和货物压缩机的自动关闭处于满意状态：
  - (a) 货物管路上的应急截止阀关闭时，货泵与货物压缩机能够自动关闭；
  - (b) 确认船岸连接时 ESD 测试处于正常情况；
  - (c) 确认所有 ESD 操作均有效（ESD 应能在驾驶室、装卸货遥控阀或货控室以及货物区域中不少于 2 个位置手动操作触发）；
  - (d) ESD 阀的关闭时间应不大于 30s，但如果液货舱注入阀不属于应急关闭装置（ESD）阀，则该阀关闭时间不受 ESD 关闭时间要求；
  - (e) 确认 ESD 抑制和越控功能以及设置合理；
  - (f) 检查航海日志以确认应急切断装置已按照行业要求进行过试验。
- ⑤ 在货物控制室检查下列货物驳运和处理有关的控制系统：
  - (a) 检查集成自动化系统（IAS）：确认货物驳运和处理系统直接相关的系统和设备如液货泵、扫舱/喷淋泵、燃气泵、天然气压缩机、货物蒸发器、货物加热器、货物气液分离器（如设有）、水冷却器（如设有）等设备运转及相关的监测、显示和报警正常；确认货物驳运和处理系统中起到辅助作用的系统和设备如惰性气体、氮气、隔离空舱加热系统、绝缘层空间氮气的补充与排放及压力控制系统等系统和设备运转及相关的监测、显示和报警正常；确认货舱及主、次屏壁空间压力控制及保护，包括：真空泵及驱动电动机、货舱压力监控报警系统、主次屏壁间氮气压力监控报警及压力控制系统、气体管理系统等系统和设备运转及相关的监测、显示和报警正常；
  - (b) 检查货物测量系统（包括温度、压力、液位测量）：检查液货舱液位指示器、溢流控制装置、压力表、高压以及（如适用时）低压报警装置和温度指示装置，适当时尽实际可行进行测试；
  - (c) 检查船岸连接系统（SSL）；
  - (d) 检查气体探测系统（适用时）：检查用于货物控制室的气体探测装置以及为排除那些危险处所的着火源所采取的措施；检查气体探测设备，并在适当时对其进行测试。
- ⑥ 检查货物系统的仪表：货物装置各系统的仪表包括压力表、温度表和液位指示器应进行验证以确认其测量准确度；
- ⑦ 货物围护系统的环境控制：
  - (a) 确认惰性气体/干燥空气装置包括防止蒸气回流至气体安全处所的装置处于满意的 操作状态；
  - (b) 对于薄膜液舱货物围护系统，应确认用于绝热层惰化以及屏壁间空间的氮气控制系统处于正常工作状态；
  - (c) 适用时，确认已携带足够的惰性气体以补偿正常损耗，且已配备用于有关舱室和处所的监控装置；
  - (d) 适用时，通过检查惰性气体使用记录确认惰性气体使用量的增加未超出用以补偿正常损耗所需的量；
  - (e) 确认所有干燥空气系统以及屏壁间和货舱处所的驱气用惰性气体系统合格。
- ⑧ 其它系统或设备：
  - (a) 适用时，检查船首或船尾装卸装置。应特别注意电气设备、消防设备以及货物控制室和岸上之间的通讯设施；

(b) 适用时, 检查抛货装置。

(12) 检查防寒要求 (如船舶被授予防寒附加标志“ACC-POLAR (DST)”) :

① 核查船上保存的相关文件, 如考虑结冰的稳性计算书、防冰和除冰的程序手册、防寒设计图册、防寒操作与维护程序等;

② 确认船上的防寒布置和措施没有未经认可的变更;

③ 按照批准的有关图纸资料, 尽实际可行验证安装的防寒设备及其相关控制和报警系统功能, 包括但不限于:

(a) 液舱的防冻措施;

(b) 各种通道和开口装置的防冰/除冰措施;

(c) 重要处所的加热布置;

(d) 驾驶室观察窗的加热和清洁系统;

(e) 救生设备和消防系统的防寒措施;

(f) 原动机燃烧空气的预热和导入;

(g) 甲板机械的防寒措施;

(h) 露天管路系统的除冰防冻措施;

(i) 航行设备的防寒措施;

(j) 处所的应急加热系统;

(k) 配备的附加消防和安全系统的伴热。

2.3.2.2 中间检验项目和要求如下:

(1) 《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章 5.4.3、5.6.3、5.9.3、5.10.3 和 5.16.3 的适用规定;

(2) 上述 2.3.2.1(2)至(12)所述检验项目;

(3) 检查液货舱:

① 检查液货舱压力/真空阀和防止火焰通过的装置:

(a) 如压力/真空阀拆检, 确认压力/真空阀经有资质的机构进行调定和铅封;

(b) 确认调定记录保存在船上。

(4) 确认用于船体结构的加热装置 (如有时) 处于正常工作状态:

① 总体检验船体结构的加热系统, 确认系统运转情况及报警点状态良好;

② 必要时, 对蒸汽加热器及阀件包括安全阀进行拆检。安全阀应定期进行校准;

③ 隔离空舱及液穹环围空间内部加热盘管检查;

④ 确认温度传感器定期进行校准。

(5) 确认已配备用于货物区域机械通风风机的备件;

(6) 检查电气:

① 危险区域的电气设备:

(a) 认可防爆型电气设备和电缆: 总体检查危险区域内诸如货泵舱以及邻近液货舱区域的电气设备和电缆, 以检查设备、装置和线路的缺陷; 危险区域的电气设备应尽实际可行检查接地保护 (接地点检查)、隔爆外壳完整性、电缆外护套损坏情况等;

(b) 检查正压型设备和相关报警设备, 尽实际可行进行功能试验;

(c) 基于正压通风保护的处所: 对正压通风保护处所, 例如空气闸保护处所 (电动机室、货物控制站等) 的通风装置作效用试验, 确认受正压保护处所的正压通风的能力; 尽实际可行, 当压力异常时应采取的安全措施 (关断和/或报警) 动作值应经过验证, 如验证当处所内的正压状态异常时, 应能从危险区域外切断被保护处所内非防爆型电气设备的供电。

② 电路的绝缘电阻:

(a) 应测试电路的绝缘电阻, 在保持合适的试验记录情况下, 可考虑接受最近的测试

读数：

(b) 对于危险处所和区域，绝缘电阻应仅在船舶完成除气或惰化状态下，确保无危险时进行测量；如果存在无法测量的情况，可选择核查日常测量记录，如发现异常，可要求进行实际测量。

③ 仪表和安全系统：

(a) 液位、压力和温度的指示和报警装置：货物装置关于压力、温度和液位的仪表应进行目视检查，并应通过改变压力、温度和液位来进行对比试验。可接受无法接近的传感器或位于液货舱或惰化货舱内的传感器进行模拟试验，此试验还应包括对报警和安全功能的试验；每次干坞后的首次满载时，应通过提升液货舱中的货物液位至报警点进行高位报警试验。若货物条件不允许，船长应在首次货物条件允许时进行测试，留存证明材料并记录在航海日志中，不迟于之后的首次年度检验提交验证：

(b) 气体探测系统：气体探测系统的管路的腐蚀和损坏情况应尽可能地进行目视检查，应对吸入点与分析装置之间的可见管路进行检查，气体探测器应用样气进行校准或验证；

(c) 应急切断系统（ESD）：货物应急切断系统应在管路内没有液流的情况下进行试验，以验证该系统将能够停止货泵和压缩机。

(7) 防寒要求检查（如适用）：

① 结合锚机对锚进行部分降落和起升试验，对锚链筒蒸汽或热水的除冰保护进行功能试验；

② 结合船体外部检查，检查海水阀箱中防止浮冰堵塞海水吸入格栅和海水管吸入口的布置状况。

2.3.2.3 特别检验项目和要求如下：

(1) CCS《钢质海船入级规范》第1篇第5章5.4.4、5.6.4、5.9.4、5.10.4和5.16.4的适用规定；

(2) 上述2.3.2.2(2)至(7)所述检验项目；

(3) 检查船体：

① 所有气密舱壁应进行检查，应确认气密轴封的有效性。

(4) 检查液货舱：

① 货物围护系统：

(a) 所有液货舱应进行内部检查；

(b) 特别注意液货舱和垫片、支承和锁固装置的绝热。为验证液货舱或绝热层本身的情况，有必要时可能要求去除绝热层；

(c) 尽实际可行对绝热层进行目视检查，确认绝热系统完整性并处于正常工作状态；对于在除气状态下也无法直接接触或目视检查的绝热层，应结合对边舱、双层底舱和隔离舱的周围结构进行检查，并结合货物监测系统及相关记录判定绝热层的技术状况；

(d) 对独立舱的外部检查应特别注意货舱的支撑物，如鞍座处的液货舱壳板及覆板、被垫物（如非金属衬垫）、系固定位装置（止动挡板或止浮装置等）、鞍座结构，还应检查独立舱与上甲板贯穿件及穹顶的密封状态完好。

② 按照批准的货物围护系统检查/检验计划，尽实际可行对所有液货舱主体结构、液货舱内管系和泵（如适用）和穹顶穿舱管系（如适用）、液货舱绝热层（如适用）、货舱处所梯道（如适用）、主屏壁（如适用）、部分次屏壁（如适用）以及液货舱支撑结构（如适用）进行目视检查。所有液货舱的次屏壁应通过压力/真空试验、目视检查或其他可接受的方法检查其有效性；

③ 无损检查：

(a) 无损检查是对液货舱检验的补充，应特别注意主构件、液货舱外壳和高应力部分

(包括验船师认为必要的焊接接缝)的完整性;

(b) 对 C 型独立液货舱,必要时,对下列高应力部件进行无损检查:

- a. 液货舱支承和防转/防摇/防浮装置;
- b. 强肋骨或环状加强框架;
- c. 制荡舱壁周界;
- d. 液货舱壳体与气室和集物槽连接根部;
- e. 泵、塔和梯的底座;
- f. 管的连接端;
- g. 与液货舱外壳和双体/三体液货舱的纵舱壁的 Y 型接头。

(c) 对 B 型棱形独立液货舱,无损检测范围应在液货舱设计特别准备的程序中给出;

(d) 液货舱的无损检测应结合液货舱结构及其附属构件的近观检验一并实施。

④ 如果上述(4)的检查结果或航行记录的检查对液货舱的结构完整性持有怀疑时,则应进行液压或气动液压试验。对整体液货舱以及 A 型和 B 型棱形独立液货舱的试验压力至少为最大允许调定值(MARVS)。对 C 型独立液货舱的试验压力应不小于 1.25 倍 MARVS;

⑤ 所有 C 型独立液货舱在第 2、4 和 6 次特别检验时应按如下进行:

(a) 按①(a)规定进行无损探伤,以 1.25 倍 MARVS 压力进行液压或气动液压试验;或

(b) 应进行全面的按计划的无损探测,若无原无损探测的专门程序,则应进行下列检查:

- a. 液货舱支承和防转/防摇/防浮装置;
- b. 环状加强框架;
- c. 与液货舱外壳和双体/三体液货舱的纵舱壁的 Y 型焊缝;
- d. 制荡舱壁;
- e. 液货舱壳体与气室、集液槽、人孔、深井泵座等连接根部;
- f. 泵、塔和梯的底座;
- g. 管的连接端。

上述每一区域内的至少 10%焊缝长度应进行无损探测。试验尽可能在内部和外部进行,进行无损探测部位必要时要求除去绝热层;

⑥ 对所有液货舱应用适当的程序验证其密性:

(a) 如果船舶气体探测设备的有效性已经确认,则可接受用该设备进行甲板下独立液货舱的密性试验;

(b) 对薄膜型和半薄膜型液货舱系统,应根据对实际液货舱系统的经批准的方法而特别准备的程序进行检验和试验;

(c) 薄膜型液货舱货物围护系统的主屏壁和次屏壁应按设计厂商的试验程序和验收标准进行密性试验,该试验程序和验收标准应得到 CCS 认可;低压差试验可用于监测货物围护系统的性能,但不应被接受作为次屏壁的密性试验;

(d) 对具有非焊接型式次屏壁的薄膜型液货舱,试验结果数据如果超过设计方给出的阈值,则应对该情况进行调查分析,并进行附加试验(如红外热成像检测、声发射检测)。

(5) 检查货物围护的透气系统:

① 液货舱、液穹环围(如设有)、屏壁间处所和货舱处所的压力释放阀/真空阀应拆开进行检查、试验和校准,若设有非金属薄膜,则此薄膜应进行换新,每个压力释放阀都应进行试验以确保能在设定的压力下开启;

② 如果具有对压力释放阀进行持续检查或对部分压力释放阀重新试验的记录,则可以考虑接受仅对具有代表性的释放阀进行检查和试验,该检查和试验应选取在用的每一规格和每一型号的货物气体释放阀,并打开进行内部检验和试验;此外,对于其他未检查和试验的

阀在航海日志中应有记录表明已经在上次特别检验时进行过检验和试验；

③ 压力释放阀和真空阀的调定和铅封，包括阀门的调定压力记录要保存在船上。

(6) 检查管系：

① 货物管系、液氮管系和处理管系包括阀、执行机构、补偿装置等在认为有必要时应打开检查。为了确认管子状况，必要时应移去绝热层。若目视检验对管系的完整性有怀疑时，应对管系以 1.25 倍设计压力进行压力试验。上述管路部件经检查并重新安装后，整个管系进行密性试验；

② ESD 阀压力试验应每 5 年进行一次，试验压力为其工作压力；

③ 涉及 ESD 系统的相关遥控阀门定期维护或检修，拆检工作需要由阀门厂家或其委托的机构进行，拆检修理后应见证 ESD 遥控阀门关闭时间，确保调定满足要求；

④ 结合货舱和隔离空舱等的内部检查，尽可能检查管路穿过舱壁的连接处或贯通件的状况；如对管路连接处状况有怀疑或需要时，可要求进行探伤，以确认不存在裂纹等缺陷；

⑤ 液货管路低温阀包括遥控阀和液货低温安全阀应拆开进行检查、试验，安全阀应进行校准以确保能在设定的压力下开启。

(7) 检查与货物操作有关的设备及部件：

① 与货物操作和甲烷蒸发燃烧相关的货泵、压缩机、处理用压力容器、液氮容器、热交换器以及其他部件包括原动机，原则上应按《钢质海船入级规范》第 1 篇有关机械装置的检验规定进行检查；

② 主货泵、应急货泵/扫舱/喷淋泵/燃料泵及驱动电机：应按照厂家要求的间隔或每 5 年进行一次打开检查，以较早者为准。应急货泵应每 5 年一次开盖检查；

③ 天然气压缩机及驱动电机：应按照厂家的要求间隔期进行定期拆检维护，报警和安全保护系统应视情进行功能性试验并确认满意；驱动轴气密轴封应拆开检查；

④ 热交换器及辅助处理装置：应按照厂家要求的间隔或每 5 年进行一次打开检查和试验，以较早者为准；

⑤ 检查货舱及主、次屏壁空间压力控制及保护系统：

(a) 应按照厂家要求的间隔对真空泵及驱动马达进行拆检维护；

(b) 气体管理系统有关的传感器和仪表应进行校准；

(c) 对报警装置进行测试，确认处于良好工作状态。

(8) 适用时，结合液舱内部检查，对液舱的防冻设备进行检查；

(9) 其他：

① 为屏壁间处所和货舱处所排水或卸货的系统应进行检验，必要时进行试验；

② 用于分隔货物、惰性气体和舱底水的管系的软管和可拆短管应进行检验。

## 第 4 节 散装运输液化气体适装证书或符合证明的检验和发证

### 2.4.1 一般规定

2.4.1.1 液化气体运输船除按所有船舶的一般要求，应符合 SOLAS 公约（包括对油轮要求中的适用规定）、ILL 公约、MARPOL 公约等适用要求，并持有上述公约所要求的相应证书外，根据船旗国政府的授权，或船东或设计单位或建造厂的申请或合同/协议委托，按《国际散装运输液化气体船构造和设备规则》的要求进行检验，检验合格后将签发“国际散装运输液化气体船适装证书”或“国际散装运输液化气体船适装符合证明”。

2.4.1.2 CCS《散装运输液化气体船构造和设备规范》已经涵盖了《国际散装运输液化气体船构造和设备规则》的相关要求，因此虽然 IGC 规则规定的检验和发证，不属于入级

的要求，但是法定证书的有效性将影响船级证书的签发。

2.4.1.3 加入 CCS 船级的船舶，船舶入级检验应与 IGC 规则适装证书或符合声明的检验结合进行。

## 2.4.2 检验

2.4.2.1 《国际散装运输液化气体船构造和设备规则》中规定的检验分为：初次检验、年度检验、中间检验、换证检验和附加检验。

2.4.2.2 散装运输液化气体适装证书或符合声明的初次检验、年度检验、中间检验和换证检验，除按船旗国政府规定和/或委托方提供的标准外，根据检验种类分别按照本节 2.3.1、2.3.2.1、2.3.2.2、2.3.2.3 规定，以及 CCS《法定检验实施指南》（第 3 部分）的 GI、GA、GIn 和 GR 办理。

2.4.2.3 附加检验，根据情况可以是总体的或局部的检验，或在任何重大修理或更新时进行此类检验。此类检验时应确保必要的修理或更新有效，此种修理或更新的材料和工艺在所有方面均属合格，船舶适于出海航行，不会对船舶或船上人员产生危险或不会对海洋环境造成不当的危害威胁。

## 2.4.3 检验后状态维护要求

2.4.3.1 应维持船舶及其设备的状况，使其符合 IGC 规则的规定，确保船舶适于出海航行，不会对船舶或船上人员产生危险或不会对海洋环境造成不当的危害威胁。

2.4.3.2 法定检验完成后，非经主管机关许可，经检验的结构、设备、附件、装置及材料不得作任何改变，但直接更换者除外。

2.4.3.3 每当船舶发生事故或发现缺陷业已影响船舶安全或影响船舶的救生设备或其他设备的有效性或完整性时，该船的船长或船东应尽快向负责签发证书的主管机关、被指定的验船师或被认可组织报告，此时主管机关、验船师或组织应着手进行调查，以确定是否需要进行 IGC 规则所要求的附加检验。如果船舶系在另一缔约国政府的港口内，则船长或船东亦应立即向港口国有关当局报告，而被指定的验船师或被认可组织应查明该报告确已提交。

## 2.4.4 证书的签发或签署

2.4.4.1 符合 IGC 规则有关规定从事国际航行的液化气体船，经初次检验或换证检验合格后，应给予签发有效期不超过 5 年的“国际散装运输液化气体适装证书”或“符合证明”。经过年度检验和中间检验合格后，应在“国际散装运输液化气体适装证书”或“符合证明”上进行签署。签发或签署的证书应存放在船上，供随时检查。

## 第3章 船体结构

### 第1节 船体结构布置

#### 3.1.1 薄膜型液化天然气运输船船体结构布置

3.1.1.1 薄膜型液化天然气运输船在货舱区域为具有双舷侧、双层底、双层甲板和双层横舱壁结构的完整双壳结构，如图 3.1.1.1(1)和 3.1.1.1(2)所示。液货舱区域的各甲板骨架、船底骨架和内底骨架一般应为纵骨架式，舷侧和内壳也应为纵骨架式。货舱区域以外的船体结构可为横骨架式或纵骨架式。纵骨架式与横骨架式之间应有良好的过渡。甲板室和机舱间位于船尾区域，首部液压泵组和部分油舱位于船首区域。均由水密舱壁予以分隔。管弄设置在船舶中心线上双层底内，用于压载水系统、首部油舱、应急消防泵（如适用）、首侧推（如适用）等各设备的操作。

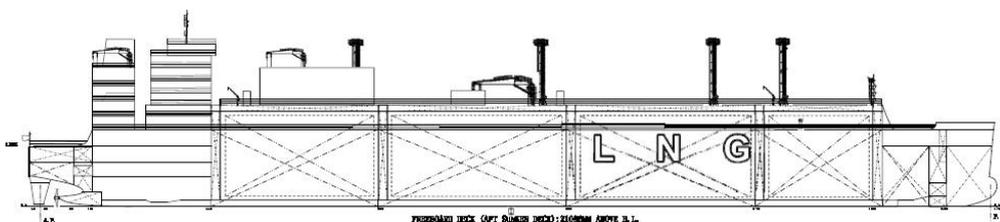


图 3.1.1.1(1) 典型薄膜型液化天然气运输船侧视图

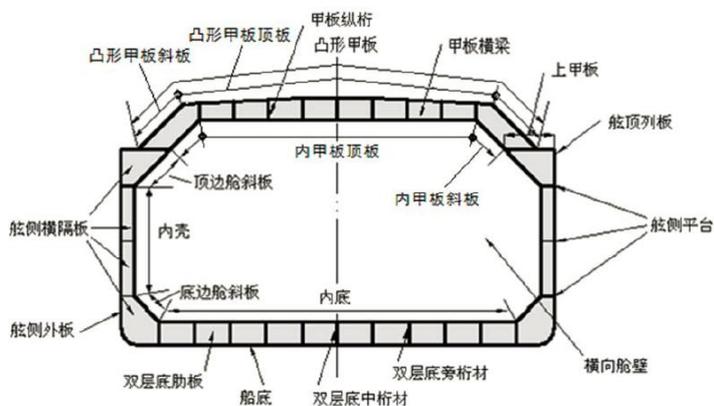


图 3.1.1.1(2) 典型中横剖面

3.1.1.2 典型的薄膜型液化天然气运输船自首至尾一般有：

- (1) 首尖舱，绳索间；
- (2) 应急消防泵舱，首部燃油泵舱，锚链舱；
- (3) 首部燃油储存舱，水手长储存间；
- (4) 货物区域：

① 货物区域系指船上设有货物围护系统、货泵舱和压缩机舱的部分，并包括在这些处所上方的船上该部分的整个长度和宽度范围内的甲板区域；

② 数个水密隔离舱将货物区域分为数个货舱处所，每个货舱处所为一个由船体结构封闭的区域，薄膜型液货舱安装在货舱处所内；

③ 货物区域船底部分由内底板和船底外板构成货物区域的双层底，薄膜型液化天然气运输船沿船长中心线布置管弄，管弄中布置压载水管系；管弄以外的双层底区域为压载水舱；双层底与舷侧通过底边舱连接，底边舱用作压载水舱且与双层底压载水舱连通；

④ 货物区域舷侧由舷侧内壳板与舷侧外板构成货物区域的双舷侧处所；货物区域的双舷侧处所布置压载水舱；

⑤ 货物区域上甲板以上有连续的双层凸形甲板，货物马达室和货物机器室位于凸形甲板上；凸形甲板顶板与内甲板构成甲板隔离空舱；两侧的凸形甲板斜板与内甲板斜板构成两条纵贯货物区域的通道，供船员由尾部起居处所到达首部，同时在其中敷设电缆，布置燃油管系、消防水管系等。

(5) 机舱；

(6) 尾尖舱，舵机舱。

3.1.1.3 船体结构用钢应符合 CCS《钢质海船入级规范》及《材料与焊接规范》的要求。其中，与低温有关的钢材等级选用应基于所在区域处的温度，同一温度场区域上构件的钢材等级应相同。温度分布一般由传热学分析计算得到，外界环境温度的工况可采用 IGC 规则环境工况、USCG (CFR 46 PART154) 工况或主管机关认可的工况，USCG 工况条件较 IGC 环境工况更为严格，应用也更为广泛。船舶的开孔、舱口或人孔以及通道应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 12 节的规定。

3.1.1.4 货物区域与机器处所、起居处所、服务处所、锚链舱、控制站等都应进行必要的分隔。通常薄膜型液货舱采用隔离空舱予以分隔。

3.1.1.5 起居处所、服务处所或控制站应不位于货物区域内，面向货物区域的舱壁布置成为能够避免仅因甲板或舱壁的单一破损而导致货物舱气体进入这些处所的情况发生。起居处所、服务处所、机器处所和控制站的出入通道、通风开口不应面向货物区域，并距离面向货物区域的端壁至少应为船长的 4%，且不小于 3m，但不必超过 5m。应考虑货物气体和其他气体燃烧装置排出废气的影响，防止有害气体的进入。

3.1.1.6 货物机器处所应位于露天甲板上，且位于货物区域内。货物机器处所和转塔舱应在防火和防止潜在爆炸方面视作货泵舱，并满足 SOLAS 公约相关要求。货物机器处所的布置应能使穿戴防护防护服和带呼吸器的人员安全无阻地进出，并且在人员受伤时，能及时将昏迷的伤员救出。货物机器处所内应设有至少 2 个远离的脱险通道和门，除非当至门的最大距离小于或等于 5m 时，可接受单个脱险通道。

3.1.1.7 货物控制室均应位于露天甲板以上，且可位于货物区域内。一般而言货物控制室位于甲板室居住处所内，如此布置的货物控制室还应是非危险区域，并且出入口、防火分隔、电气仪表的设计都应满足相关要求。

3.1.1.8 在不移动任何固定结构或装置的情况下，至少对船体内壳结构的一侧应能进行目测检验，燃油舱限界面的舱壁至少要从内部进行检验。

3.1.1.9 对货舱处所、留空处所、液货舱和归为危险区域的其他处所进行布置时，应考虑身穿防护服和携带呼吸器的人员能进入上述任何处所并进行检验，且允许受伤和/或昏迷人员撤离。通道开孔的具体技术要求与散货船、油船的检验通道技术规则相同。

3.1.1.10 露天开敞甲板上的危险区域与非危险处所之间的通道应形成空气闸。空气闸应由两扇能确保气密的钢质门组成，门槛高度应不小于 300mm，此类门应是自闭式的，无任何门背扣装置，能保持过压，它们之间距离至少为 1.5m，但不大于 2.5m。空气闸还应确认气体探测、报警、相关联锁设计的有效性。

3.1.1.11 薄膜型液货船的次屏壁区域应设置适当的排水泵用于处理通过相邻船体结构漏入货舱或绝热处所的污水泄漏，吸口不应引向机器处所内的泵，还应设有能探测此类泄漏的装置。通常此类货舱污水井布置在每个货舱后部与横隔舱连接处，通过一台隔膜泵输送舱

底水，污水井内设置液位探测器来监控次屏壁区域内的污水情况。

3.1.1.12 薄膜型液货舱是非自身支持的液货舱，它由邻接的船体结构通过绝热层支持的一层或两层液密和气密层（薄膜）组成。薄膜材料根据专利方的设计选择，一般使用 36%Ni 合金钢或低温不锈钢制成，工作温度约为-163℃，设计蒸气压力通常不超过 0.025MPa，如果船体结构尺寸相应加大并适当考虑支持绝缘层的强度，设计蒸气压力可相应增加，但应小于 0.07MPa。薄膜间一般为木质绝缘箱或聚氨酯泡沫板等材料构成的绝缘层，通过专用零部件固定在货舱内表面，形成完整的货物围护系统。

### 3.1.2 C 型独立液货舱液化天然气运输船船体结构布置

3.1.2.1 C 型独立液货舱液化天然气运输船的上甲板由首部延伸至尾部甲板室，甲板下由数道横舱壁，将主船体分隔成数个舱段。典型的 C 型独立液货舱液化天然气运输船自首至尾一般有：

(1) 首尖舱，水手长储藏室；

(2) 首侧推/应急消防泵舱，首部压载水舱，锚链舱，氮气发生器室/首液压泵站室等；

(3) 货物区域：

① 货物区域系指船上设有货物围护系统、货泵舱（如有）和压缩机舱的部分，并包括在上述处所上方的船上该部分的整个长度和宽度范围内的甲板区域；

② 数道水密横舱壁将货物区域分为数个货舱处所，每个货舱处所为一个由船体结构封闭的区域，C 型独立液货舱安装在货舱处所内；

③ 货舱区船底部分通常是由内底板和船底外板构成货舱区的双层底，C 型独立液货舱液化天然气运输船沿船长中心线布置管弄，管弄以外的双层底区域为压载水舱；双层底与舷侧通过底边舱连接，底边舱用作压载水舱且与双层底压载水舱连通；

④ 货舱区舷侧和上甲板间设连续的顶边舱；货舱区两舷的顶边舱布置淡水舱、空舱和压载水舱。

(5) 机舱位于货物区域舱的后方，机舱内设有各种必需的油柜，机舱下方的双层底下设置液舱或空舱；

(6) 尾尖舱、缆绳舱/尾液压泵站。

3.1.2.2 任何起居处所、服务处所或控制站不应位于货物区域内。对货物围护系统要求设置次屏壁的船舶，应将起居处、服务处所或控制站面向货物区域的舱壁布置成能避免仅因甲板或舱壁的单一破损而使货物舱的气体进入这些处所。

3.1.2.3 起居处所，服务处所、机器处所和控制站入口、空气进口和开口不应面向货物区域，它们应设置在不面向货物区域的端壁上，或设置在上层建筑或甲板室的外侧壁上。这些开口离开面向货物区域上层建筑或甲板室的端壁之间的距离至少应为船长的 4%，且不小于 3m，但不必超过 5m。

3.1.2.4 船舶的开孔、舱口或人孔以及通道应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 12 节的规定。

3.1.2.5 船舶在液货舱指定的通道应满足《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 3 章 3.5 的适用要求。

3.1.2.6 C 型独立液货舱液化天然气运输船液货舱区域的各甲板骨架、船底骨架和内底骨架为纵骨架式或横骨架式，舷侧为横骨架式或纵骨架式。货舱区域以外的船体结构可为横骨架式或纵骨架式。纵骨架式与横骨架式之间应有良好的过渡。

3.1.2.7 C 型独立液货舱液化天然气运输船设计载运液化天然气，液化天然气装载在数个 C 型独立液货舱内，大部分为双叶（bi-lobe）液罐，货物围护系统设计温度为-163℃，液货舱舱顶设计压力由液货舱结构件尺寸所承受最大蒸气压力确定，属 2G 型船。货舱底部的

双层底上设置鞍座挡板及防横摇结构，货舱顶部及舷侧设置防横摇及止浮结构。

3.1.2.8 C型独立液货舱位于由双层底、双舷侧的内壳（如有时）、凸形甲板（如有时）、底边舱斜板、顶边舱斜板（如有时）、船壳和上甲板围成的空舱内。

3.1.2.9 C型独立液货舱液化天然气运输船的典型中横剖面 and 构件名称如图3.1.2.9所示。

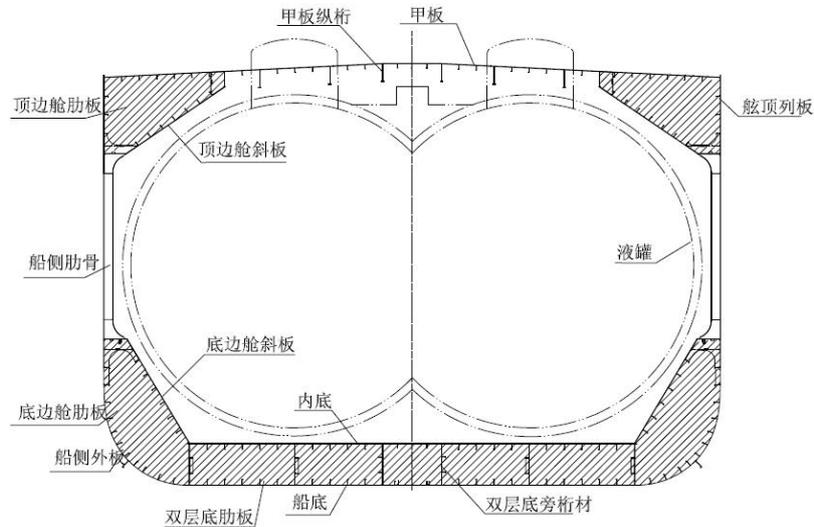


图 3.1.2.9 典型中横剖面

### 3.1.3 B型菱形独立液货舱液化天然气运输船船体结构布置

3.1.3.1 B型菱形独立液货舱液化天然气运输船的上甲板由首部延伸至尾部甲板室，甲板以下由数道横舱壁，将主船体分隔成数个舱段。典型的B型菱形独立液货舱液化天然气运输船自首至尾一般有：

- (1) 首尖舱，水手长储藏室；
- (2) 首侧推/应急消防泵舱，首部压载水舱，锚链舱，氮气发生器室/首液泵站室等；
- (3) 货物区域：

① 货物区域系指船上设有货物围护系统、货泵舱（如有）和压缩机舱的部分，并包括在上述处所上方的船上该部分的整个长度和宽度范围内的甲板区域；

② 数道水密横舱壁将货物区域分为数个货舱处所，每个货舱处所为一个由船体结构封闭的区域，B型菱形独立液货舱安装在货舱处所内；

③ 货舱区船底部分通常是由内底板和船底外板构成货舱区的双层底，双层底区域通常为压载水舱或管弄舱，双层底与双舷侧通过底边舱连接，底边舱用作压载水舱且与双层底压载水舱连通；

④ 货舱区舷侧和上甲板间设连续的顶边舱；货舱区两舷的顶边舱用作（或为）压载水舱。

(4) 机舱位于货物区域舱的后方，机舱内设有各种必需的油柜，机舱下方的双层底下设置液舱或空舱；

(5) 尾尖舱。

3.1.3.2 任何起居处所、服务处所或控制站不应位于货物区域内。

3.1.3.3 起居处所，服务处所、机器处所和控制站入口、空气进口和开口不应面向货物区域，它们应设置在不面向货物区域的端壁上，或设置在上层建筑或甲板室的外侧壁上。这些开口离开面向货物区域上层建筑或甲板室的端壁之间的距离至少应为船长的4%，且不小于3m，但不必超过5m。

3.1.3.4 船舶的开孔、舱口或人孔以及通道应符合 CCS《钢质海船入级规范》的相关规

定。

3.1.3.5 船舶在 B 型棱形独立液货舱指定的通道应满足 3.1.2.5 的相关要求。

3.1.3.6 B 型棱形独立液货舱液化天然气运输船液货舱区域以及货舱区域以外的船体结构可为横骨架式或纵骨架式。纵骨架式与横骨架式之间应有良好的过渡。

3.1.3.7 B 型棱形独立液货舱液化天然气运输船设计载运液化天然气，液化天然气装载在数个 B 型棱形独立液货舱内，大部分为棱柱液货舱，货物围护系统设计温度为 $-163^{\circ}\text{C}$ ，液货舱舱顶设计压力由液货舱结构件尺寸所承受最大蒸气压力确定，属 2G 型船。货舱底部的双层底上设置鞍座挡板及防横摇结构，货舱顶部及舷侧设置防横摇及止浮结构。

3.1.3.8 B 型棱形独立液货舱位于由双层底、双舷侧的内壳（如有时）、凸形甲板（如有时）、底边舱斜板、顶边舱斜板（如有时）、船壳和上甲板围成的空舱内。

3.1.3.9 B 型棱形独立液货舱液化天然气运输船的典型中横剖面 and 构件名称如图 3.1.3.9 所示。

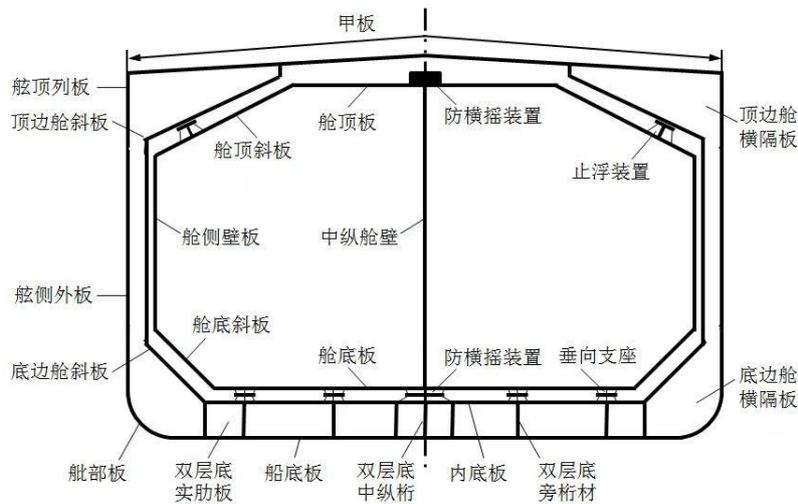


图 3.1.3.9 典型中横剖面

## 第 2 节 船舶结构关键位置

### 3.2.1 关键节点

3.2.1.1 船舶入级符号中若含有“CM”附加标志，则应按规范要求提供“船体关键区域建造控制图”（或“建造精度控制图”）经审图认可；若入级符号中未包含“CM”附加标志，则应对提供的“船体关键区域建造控制图”（或“建造精度控制图”）进行审图备查。对关键节点的要求具体可参见 CCS《船体结构建造监控指南》。

3.2.1.2 液化天然气运输船货舱船体维修成本极高，因此在设计初期，就需根据船舶的寿命对船舶的疲劳节点进行设计，如对板材和构架的对中质量、装配间隙焊后成型等提出要求，一般在图纸中会予以标明其焊接节点形式、构架对中要求、装配要求和焊后成型要求等信息，液化天然气运输船典型的结构控制节点参见附录 1，如图 3.2.1.2(1)-(4)是某液化天然气运输船内底板、斜板和边纵桁相交节点的相关信息。

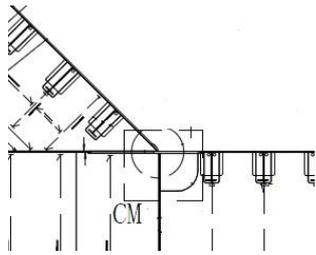


图 3.2.1.2 (1) 节点位置

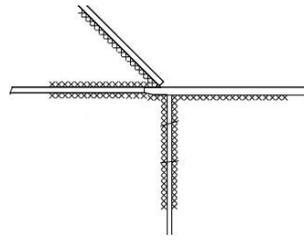


图 3.2.1.2 (2) 节点区域焊接形式

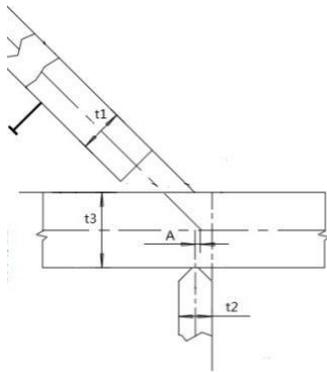


图 3.2.1.2 (3) 节点对中形式

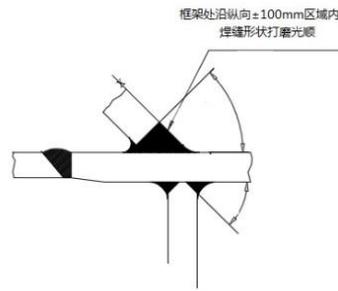


图 3.2.1.2 (4) 节点装配和打磨要求

3.2.1.3 角焊的直线对中形式有图 3.2.1.3(1)和 3.2.1.3(2)两种，各板材中心线相交于一点。一些节点在设计时增加了设计偏移量  $a_{design}$  (如图 3.2.1.3(1)中的  $a$  即为设计偏移量)，在制定检验计划和制作检验样板时应特别关注。

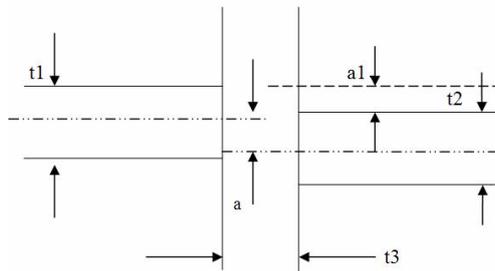


图 3.2.1.3 (1) 垂直对中形式

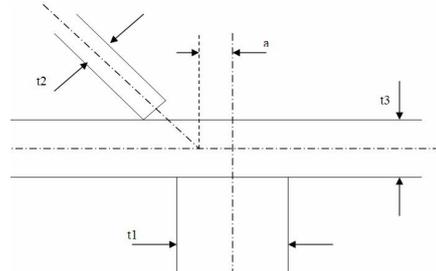


图 3.2.1.3 (2) 斜对中形式

3.2.1.4 装配中的对中测量就是用各种方法(施工中勘划背面构架线、参考线、检验线、使用形状样板等)测得实际的偏差值  $a$ ，并保证装配是  $a$  处于可接受的范围。如图 3.2.1.4 所示，安装构架的参考线应在  $a_{max}$  和  $a_{min}$  之间。 $a$  在结构设计中已予以考虑(一般为  $a \leq \min(t1, t2, t3)/3$  且  $a \leq 5mm$ )。

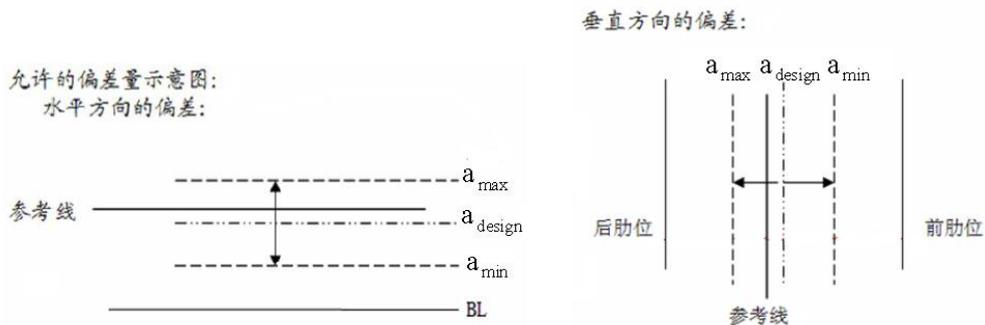


图 3.2.1.4 允许偏差示意图

3.2.1.5 一般情况下，板材和构架的装配对中无法直接测量，需要通过勘划参考线或者使用特殊样板进行测量，一般有以下三种测量情况：

(1) 参考线测量法：如图 3.2.1.5(1)所示，在铺板划线时，在 t3 构架面勘划距离 t2 理论线一定距离的参考线（图中为 100+t2），并反驳到 t3 的另一面。在 t1 构架对中时，测量线的范围应该在以参考线为基准的计算范围内 $[100-1/2(t1-t2) \pm a]$ ；

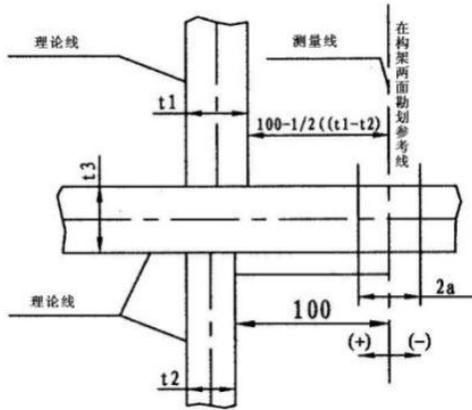


图 3.2.1.5 (1) 参考线测量法

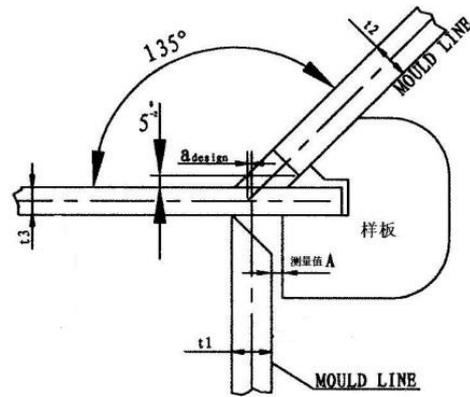


图 3.2.1.5 (2) 检验线测量法

(2) 样板测量法：如图 3.2.1.5(2)所示，根据三个构架的几何关系，制成样板，根据几何关系，计算出测量值 A 的范围；

(3) 参考线和样板结合测量法：如图 3.2.1.5(3)所示，在铺板划线时，在 t3 构架面勘划距离 t2 理论线一定距离的参考线（图中为 100mm），并反驳到 t3 的另一面。根据节点的几何关系制作特殊样板进行测量，在样板上勘划测量线，测量时测量线应该在以参考线为基准的一定范围内。

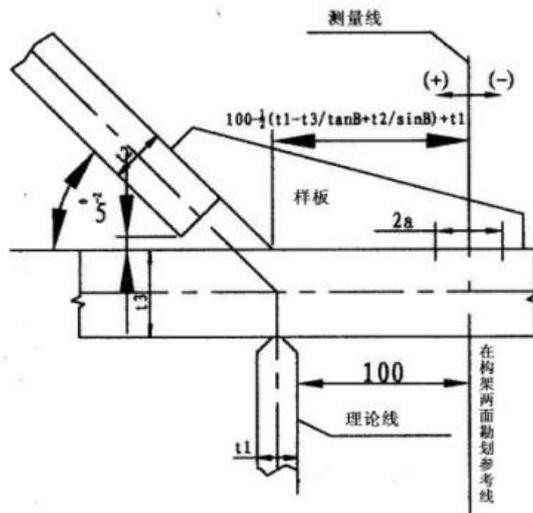


图 3.2.1.5 (3) 参考线和样板结合测量法

3.2.1.6 某船的关键节点装配测量：在分段制作过程中根据实际构架位置勘划参考线，并且在参考线端部和中间做上标记（如打“样冲”），如图 3.2.1.6(1)所示。在关键节点合拢装配时，根据标记复原检验线，如图 3.2.1.6(2)所示。使用经过认可的形状样板对关键节点的角度和对中度进行检验，并检验装配间隙。对装配数据进行记录，如图 3.2.1.6(3)所示。



图 3.2.1.6 (1) 样冲标记 图 3.2.1.6 (2) 勘划检验线 图 3.2.1.6 (3) 样板测量

### 3.2.2 关键节点控制的前期准备

3.2.2.1 审核船厂提交《船舶建造精度控制手册》内容应包括：

- (1) 根据图纸要求控制的关键节点位置，节点图，控制的一般要求（如对中度、装配间隙等）；
- (2) 关键节点控制和检验一般流程和方法；
- (3) 每个关键节点控制方法和各个区域精度控制的详细信息：每个节点的控制和测量方法，参见本章 3.2.1 相关内容。各节点的检验测点信息，如该测量点节点图、构架尺寸、测量线位置、测量点位置、形状样板的几何参数和编号、设计偏差值  $a_{design}$ 、允许偏差值  $a_{max}$  和  $a_{min}$  以及装配间隙要求等。如表 3.2.2.1 和图 3.2.2.1(1)和图 3.2.2.1(2)所示。

节点信息表

表 3.2.2.1

位置	参考线	构架板厚 (mm)			a (mm)				样板号	分段号	总段号
		t1	t2	t3	$a_{design}$	$a_{max}$	$a_{min}$	测量值			
Fr.xx	xx	x	x	x	x.xx	x.xx	x.xx	x.x	XXXX	XXX	XXX

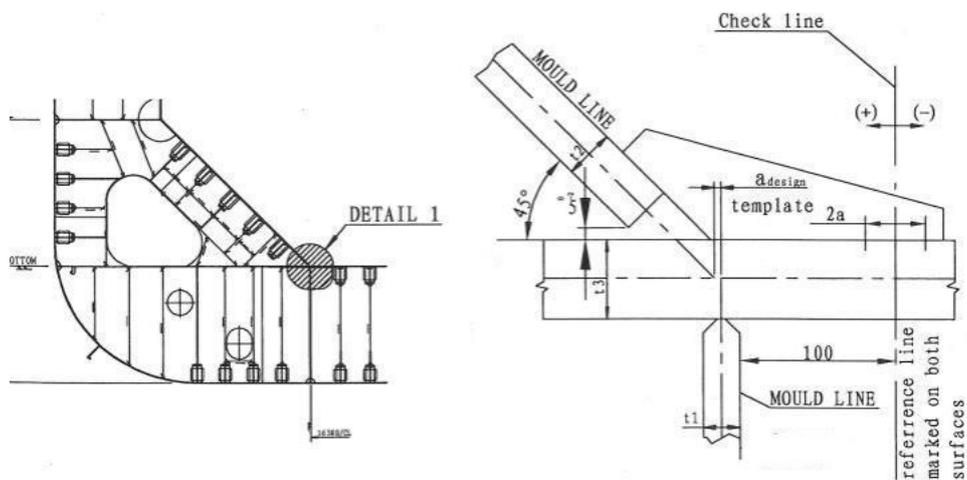


图 3.2.2.1 (1) 节点位置和测量示意图

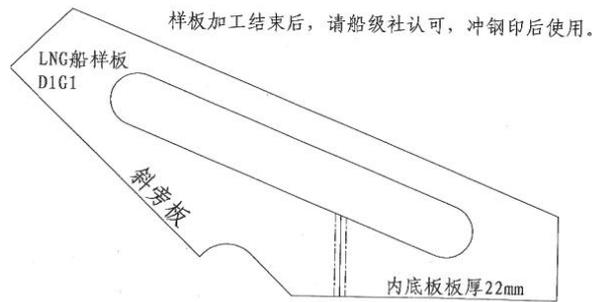


图 3.2.2.1 (2) 节点样板

3.2.2.2 建议现场验船师提前与船厂设计部就 CM 节点的范围及卡板型式进行讨论确认, 并在船舶开工前会议上, 就 CM 节点的相关要求做重点说明, 以提醒船厂相关部门引起重视。船厂精度管理部根据设计部“建造精度控制图”要求的 100M.K 线, 完整反映到相关图纸上并做涂装保留要求。100M.K 线的样冲标记应在 CM 节点装配前完成作业, 并向精度管理部提交报验。对后续作为测量依据用的 100M.K 线的样冲点, 生产部门必须做好胶条等保护措施以便验船师进行确认。

3.2.2.3 对建造过程中需要使用的各个形状节点样板应能明显区分(如编号), 对节点样板的几何参数进行确认, 经 CCS 验证并打上钢印, 以备在建造过程中使用。

### 3.2.3 关键节点的装配检验

3.2.3.1 在关键节点提交前, 施工方应先对节点的装配情况进行检验, 并对装配间隙和对中度进行测量, 填写测量数据表。测量数据表为根据《船舶建造精度控制手册》细化的表格, 内容一般包括如该测量点节点图、构架尺寸、测量线位置、设计偏差值  $a_{design}$ 、允许偏差值  $a_{max}$  和  $a_{min}$  以及装配间隙要求, 测量时间和测量人员等。

3.2.3.2 对关键节点装配间隙、焊接坡口进行检验。检验构架线和参考检验线的位置和精度。按照《船舶建造精度控制手册》要求复核测量数据, 复核后签字确认。

### 3.2.4 关键节点的完工检验

3.2.4.1 在关键节点焊接完工后对节点焊缝进行目检, 并根据《船舶建造精度控制手册》复核其对中度, 对于有打磨光滑要求的区域进行外观检验。

3.2.4.2 按要求进行无损检测, 审核无损检测报告。

### 3.2.5 船舶建造精度控制完工文件

3.2.5.1 在全船关键节点全部完工后, 船厂应汇集所有节点的测量数据表, 按《船舶建造精度控制手册》要求编写《船舶建造精度控制完工文件》, 提交验船师审核。

3.2.5.2 船舶建造精度控制完工文件报告中精度控制检查表应至少包括以下内容:

- (1) 节点编号(如节点 A);
- (2) 构件的位置(如某距舭 xxmm 的船底纵桁);
- (3) 中心线偏差的计算值;
- (4) 允许最大偏差值;
- (5) 测量偏差值;
- (6) 测量点的位置(如某个大合拢的装配);
- (7) 检查人员、测量人员、验船师及日期。

## 第3节 船舶特殊区域

### 3.3.1 薄膜型液化天然气运输船特殊区域

#### 3.3.1.1 泵塔基座区域检验要求：

(1) 泵塔基座位于货舱后部的泵塔下方，与泵塔相连的货舱内底区域通常根据温度选用合适的低温材料；

(2) 泵塔基座区域结构通常与该区域双层底分段整体制作，在分段检验时应特别注意不锈钢区域的焊接情况（如焊接工艺的执行情况和焊接环境等）。因不锈钢平整度较难矫正，内底不锈钢焊接时应特别注意不锈钢板的变形控制；

(3) 基座区域反面构架是按照泵塔基座尺寸设计，一般有相对较密的横向和纵向加强，因此在施工过程中需要特别注意各构件的位置和相对距离。并在内底上构架位置做“样冲”标记，以方便泵塔基座安装；

(4) 基座区域结构完工后，按批准的无损探伤图要求进行无损探伤检查。

#### 3.3.1.2 液穹区域检验要求：

(1) 液穹区域位于穹顶甲板上，在泵塔顶部，是安装液穹的区域，同时也需承受整个泵塔的重量。其货舱面一般由不锈钢组成，其余结构的材料为耐低温碳钢。大部分液货管及测量管经此穿入货舱。出入货舱的人孔也位于液穹区域；

(2) 液穹分段和周界穹顶分段的合拢口留焊区需要尽可能的小，以防止在后续液穹分段在合拢过程中因电焊而破坏货物围护系统。为了减小留焊区，液穹分段的制作一般与周界的穹顶分段同时进行，并同胎架施工，从而保证货舱面平整度和各个构架的对中度要求（相当于预装配）。为保证货舱开口的平整度，开口区域可增加加强筋以防止开口变形；

(3) 在液穹分段和周界穹顶分段合拢时，需按照相关要求对分段进行装配检验。应尽可能减少装配区域（特别是在周界围护系统已经施工完毕的情况下）的动火施工量。在液穹分段合拢施工完毕后，需对合拢区与的焊接和完整性进行检验，并按要求进行无损检测。对液穹分段的货舱面合拢缝和穹顶甲板合拢缝进行真空密性试验。

#### 3.3.1.3 气穹区域检验要求：

(1) 气穹一般位于液穹前部，大约货舱中心的穹顶甲板上，其船体构件主要为一个气穹筒体（不锈钢）和周围的加强支撑组成。气穹区域的货舱内表面，气穹筒体，以及部分与之相连的肋板和纵桁均使用不锈钢板，其余周界区域材料为耐低温碳钢；

(2) 气穹区域分段制作中，应注意不锈钢的焊接情况（如焊接工艺的执行情况和焊接环境等），并需关注该区域的平整度。在气穹区域完工后，按批准的无损探伤图要求进行无损检测。

#### 3.3.1.4 舷侧开口区域检验要求：

(1) 舷侧开口是在货物围护系统安装期间时，专门开设大型工艺孔，一般设置在舷侧纵舱壁上；

(2) 舷侧开口区域结构和舷侧分段同时制作，在舷侧分段搭载完毕后，再沿相应切割线切割，以达到开口的目的，该区域和周界一般有以下的要求：舷侧开口的切割线应布置合理，并注意内部构架的中断位置。货舱内壳和内壳开口应能保证平整度的要求，一般可在内壳开口周围加设加强筋以防止变形；

(3) 舷侧开口关闭：

① 对工艺孔分段和货舱合拢区域进行装配检验，应尽可能减少装配区域（特别是在周界围护系统已经施工完毕的情况下）的动火施工量；

② 对工艺孔分段和货舱的合拢区域焊接和完整性进行检查，并按要求进行无损检测；

- ③ 对舷侧开口区域的货舱壁和外板进行密性试验（气密试验或者真空试验）；
- ④ 按认可的图纸进行最终开孔（如周界临时水密构件上的人孔、减轻孔、流水孔等）。

3.3.1.5 其他特殊结构区域检验要求：

(1) 锚固扁钢承受了液货舱的横向方向和纵向方向的力并将之传递到主船体上，其反面有一圈特别的加强，如图 3.3.1.5 所示。这些加强通常在分段制作时安装，在检验中应关注其材质、位置以及焊接形式等要求；

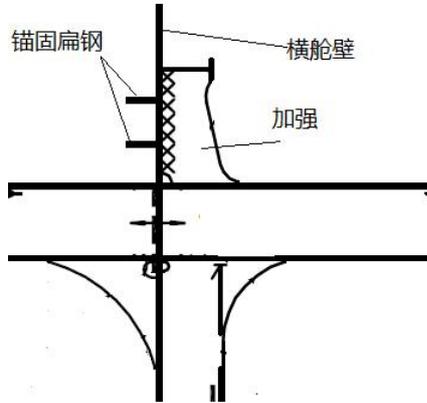


图 3.3.1.5 锚固扁钢反面加强

(2) 在横舱壁上部的中间位置，设置有氮气排气管穿入，氮气排气管穿入的区域设有氮气管保护箱的气密结构，在分段建造时完成，检验时应特别注意箱体的材质（通常为耐低温碳钢），周界气密焊缝的质量。

3.3.2 C 型独立液货舱液化天然气运输船特殊区域

3.3.2.1 气室开口区域检验要求：

(1) 一般 C 型独立液货舱液化天然气运输船每个货舱上甲板上左右对称各开一个气室圆孔，直径根据液货系统的气室大小而设计；所在气室区域的甲板应根据温度场计算来选取钢级，下面的横梁、纵桁和纵骨等加强结构予以考虑，其中横梁、纵桁的端部与气室下的圆形加强结构间一般采用全焊透焊接。如下图 3.3.2.1(1)所示；

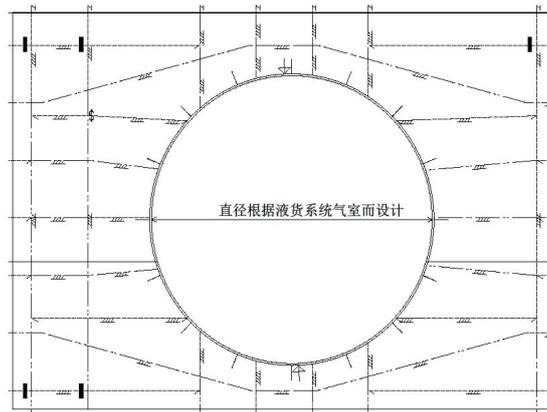


图 3.3.2.1 (1) 气室区域的甲板结构图

(2) 气室围壁与上甲板焊接，并与甲板下的加强结构对齐。围壁上面板按照角度开螺栓孔，与液罐上的 DOME 环形面板对应，两面板间为竖 M 型密封圈，螺栓固定，保证液货舱密封，如图 3.3.2.1(2)为气室围壁图；



图 3.3.2.1 (2) 气室围壁图

(3) 气室结构的检验要点:

- ① 甲板通常设置梁拱, 会影响气室结构的准确安装, 应注意甲板斜面的平整度检验;
- ② 为保证螺栓孔安装位置, 气室围壁结构顶部面板检验时应注意平整度验收;
- ③ 气室结构与甲板下加强结构应对齐;
- ④ 气室结构完工后应进行总体尺寸测量。

3.3.2.2 鞍座检验要求:

(1) 鞍座结构是 C 型独立液货舱液化天然气运输船最为关键的液货舱支撑结构, 目前主要有两种鞍座型式。一种是常规的圆环型鞍座, 与船体结构为一体, 两侧圆弧足够大和 C 型独立液货舱液罐匹配, 如图 3.3.2.2(1)所示; 另一种为平底型鞍座由货舱内底板上的前后纵向限位挡板和横向限位装置组成, 如图 3.3.2.2(2)所示。这两种鞍座型式都是在每个货舱设置一个固定端和滑动端;



图 3.3.2.2 (1) 圆环型鞍座布置



图 3.3.2.2 (2) 平底型鞍座布置图

(2) 鞍座结构的检验要点:

① 鞍座结构在其制造前, 首先应提交相关的焊接规格表等文件进行审查。鞍座特别是平底型鞍座的腹板与面板、内底板/船底板、内纵壁的焊接应采用全焊透角焊, 其余鞍座结构的填角焊应为全焊透/深熔焊, 以上焊缝均应采用相应等级的低氢焊丝/焊条, 如图

3.3.2.2(3)和图 3.3.2.2(4)所示:

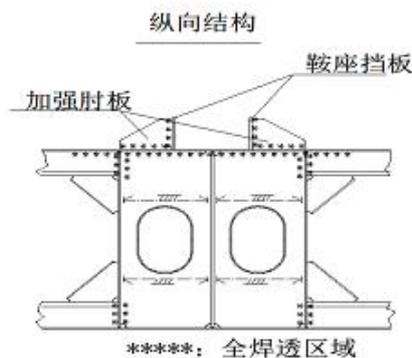


图 3.3.2.2 (3) 平底型鞍座节点图

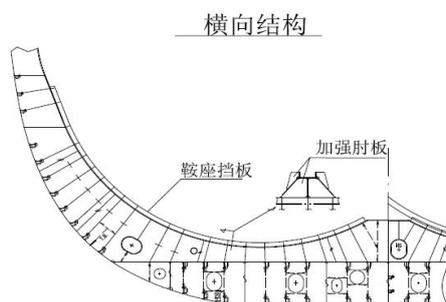


图 3.3.2.2 (4) 圆环形鞍座节点图

② 鞍座的各构件尺寸较厚，角焊缝要求较高，制作过程中焊接热输入量大，会生产大的焊接应力，且焊接变形不宜控制，所以一般应在内场制造完工后作为整体部件在分段完工阶段安装，以减少装、焊应力对货舱结构的影响；

③ 鞍座腹板上任何开孔及加强措施，应符合批准的鞍座结构图要求；

④ 鞍座在货舱内安装时，应严格控制鞍座结构腹板及所有支撑肘板与船体相关构件对齐情况，必要时在定位装配完成后进行安装和焊前报验；

⑤ 鞍座结构装船完工后应进行总体尺寸测量。

### 3.3.2.3 止浮装置

(1) 在鞍座固定端和滑动端位置处，舷侧顶边舱下均设有止浮装置。如图 3.3.2.3(1)和图 3.3.2.3(2)所示。止浮装置由平台和强力肘板支撑组成。止浮装置与顶边舱斜底板及平台板间一般均采用全焊透/深熔焊，顶边舱内的相应肋板厚度局部增加，构件材质选用高等级韧性钢材，肋板与下面的止浮装置板对齐。止浮装置与强肋骨间一般为全焊透/深熔焊，装置平台板根据液罐高度定位，平台与液罐间塞入层压木，浇筑环氧固定；

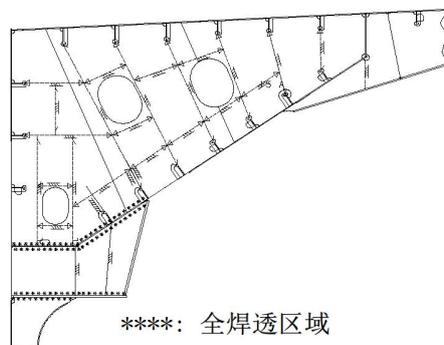


图 3.3.2.3 (1) 止浮装置全焊透节点图

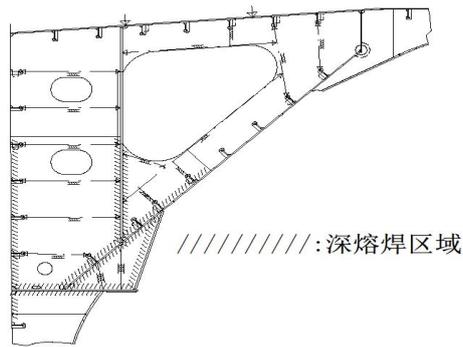


图 3.3.2.3 (2) 止浮装置深熔焊节点图

(2) 止浮装置的检验要点:

① 止浮装置是 C 型独立液货舱液化天然气运输船的重要结构, 在其制造前, 首先应提交相关的焊接规格表等文件进行审查。止浮装置的腹板与面板, 以及与斜顶板和外板的焊接应采用全焊透/深熔焊填角焊, 以上焊缝均应采用相应等级的低氢焊丝/焊条;

② 由于止浮装置的构件尺寸较厚, 角焊缝要求较高, 制作过程中焊接热输入量大, 会产生大的焊接应力, 且焊接变形不宜控制, 所以一般应在其部件制造完工后作为整体部件在分段完工阶段安装, 以减少装、焊应力对货舱结构的影响;

③ 腹板上任何开孔及加强措施, 应符合批准的结构图要求;

④ 在货舱内安装时, 应严格控制结构腹板及所有支撑肘板与船体相关构件对齐情况, 必要时在定位装配完成后进行安装和焊前报验;

⑤ 止浮装置装船完工后应进行总体尺寸测量。

#### 3.3.2.4 横向限位装置

(1) 横向限位装置型式是平底型鞍座特有的结构形式, 分为液罐底部限位结构和液罐顶部限位结构:

① 液罐底部鞍座的固定端和滑动端的前后各设一对横向限位装置, 底部横向限位装置以船中线对称布置, 结构如图 3.3.2.4(1)所示。为了防止液罐横摇, 鞍座底部插入到两个限位装置之间, 用层压木进行连接。防横摇的层压木安装于围框内, 外面包有一层不锈钢皮, 与液罐鞍座上的层压木紧密贴合, 两木头间产生摩擦力控制液罐位移。横向限位装置结构的钢板为高强钢, 下口与内底板之间为全焊透。对应下面的加强结构为内底横梁及肋板, 区域内的横梁、肋板与内底板间也为全焊透。安装层压木的围框和木头紧密贴合后, 层压木与围框板间通过环氧连接;

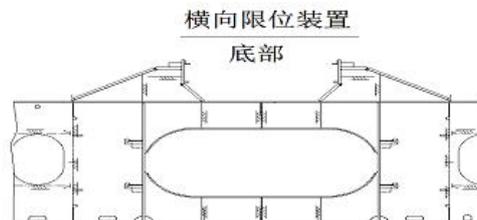


图 3.3.2.4 (1) 底部横向限位装置

② 每个货舱的液罐顶部的前后各设置一对横向限位装置, 结构形式类似于底部的横向限位装置, 以船中为中心线布置, 采用高强钢, 结构如图 3.3.2.4(2)所示。与横向限位装置相连接的甲板横梁面板, 及与甲板纵桁的连接都是采用全焊透的焊接方式, 由于结构的构件尺寸较厚, 大部分采用开坡口焊接, 如图 3.3.2.4(3)所示;

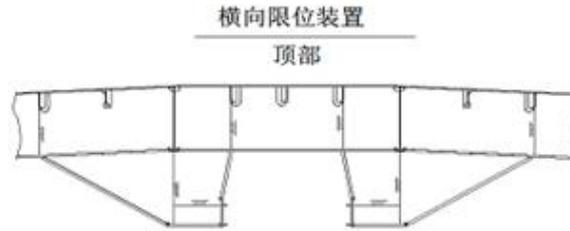


图 3.3.2.4 (2) 液罐顶部限位装置

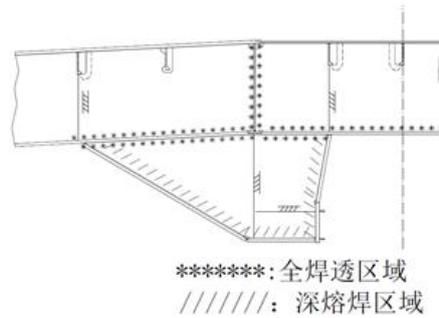


图 3.3.2.4 (3) 液罐顶部限位装置焊接节点

(2) 横向限位装置的检验要点:

① 横向限位结构在其制造前, 首先应提交相关的焊接规格表等文件进行审查, 底部横向限位装置腹板与内底板, 甲板横梁面板和顶部横向限位装置腹板焊接应采用全焊透填角焊, 其余结构的填角焊应为全焊透/深熔焊, 以上焊缝均应采用相应等级的低氢焊丝或焊条;

② 横向限位装置各构件尺寸较厚, 角焊缝要求较高, 制作过程中焊接热输入量大, 会产生大的焊接应力, 且焊接变形不宜控制, 所以一般应在制造完工后作为整体部件在分段完工阶段安装, 以减少装、焊应力对货舱结构的影响;

③ 横向限位装置腹板上任何开孔及加强措施, 应符合批准的横向限位装置结构图要求;

④ 横向限位装置在货舱内安装时, 应严格控制其结构腹板及所有支撑肘板均应与船体相关构件对齐情况, 一般在定位装配完成后进行安装和焊前报验;

⑤ 横向限位装置在装船完工后应进行总体尺寸测量。

### 3.3.2.5 尾部结构

(1) C 型独立液货舱液化天然气运输船尾部通常有两种形式, 一种为常规的轴舵系布置, 另一种为 360 度全回转推进器作为推进系统, 分别如下图 3.3.2.5(1)和 3.3.2.5(2)所示;

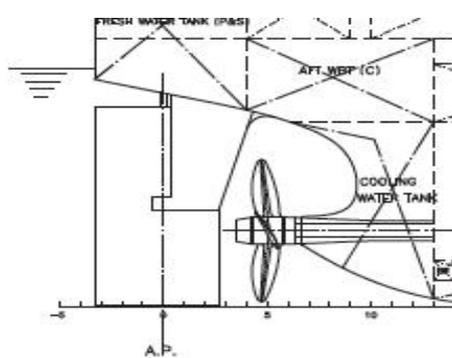


图 3.3.2.5 (1) 常规轴舵系布置

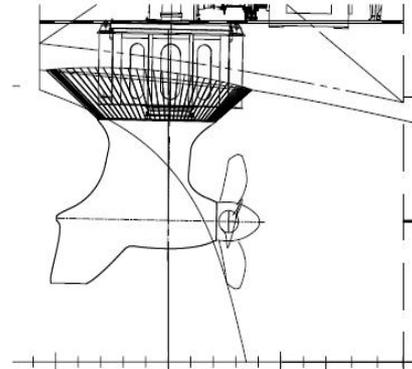


图 3.3.2.5 (2) 全回转推进器布置

(2) 全回转尾部结构:

① 结构布置：采用全回转推进器的船舶一般设有左右对称的电力推进器舱，中间布置液压泵站。底层最外侧为对称的尾压载舱结构，往船舯的左右对称平台为推进器设备安装平台，平台上开圆形孔，推进器设备的上体从平台圆孔贯穿至外板外，正中间平台与尾部外板间形成狭长的分水踵结构，为空舱。具体如图 3.3.2.5(3)所示：

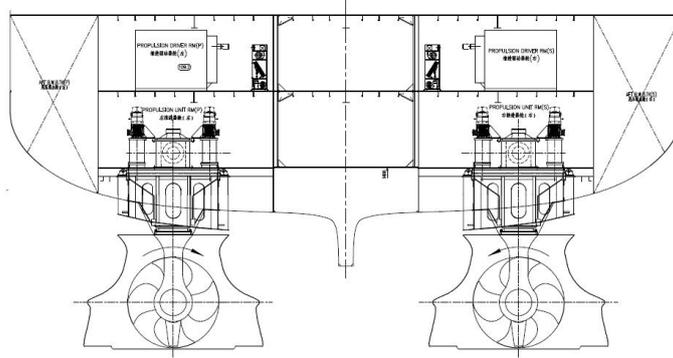


图 3.3.2.5 (3) 全回转船尾结构

② 尾部结构检验要求：

(a) 推进器中间筒体的加强肘板需与推进器基座平台下的加强肘板对齐。由于筒体贯穿内底及外板，需要在内底板上及外板上开孔，应严格控制开孔精度。设备筒体与基座平台和外板的焊接为对接焊，且焊接间隙要求较高，需按照工艺严格把控，减少变形，并对焊缝进行探伤检验。

(b) 推进器的中间部分筒体安装需满足相关工艺要求。

(c) 肘板与筒体的焊接采用全焊透填角焊，在安装时，应严格控制肘板定位使之与筒体内部肘板完全对齐，在定位装配完成后进行安装和焊前报验。如图 3.3.2.5(4)所示。肘板安装完工后应进行总体尺寸校核。

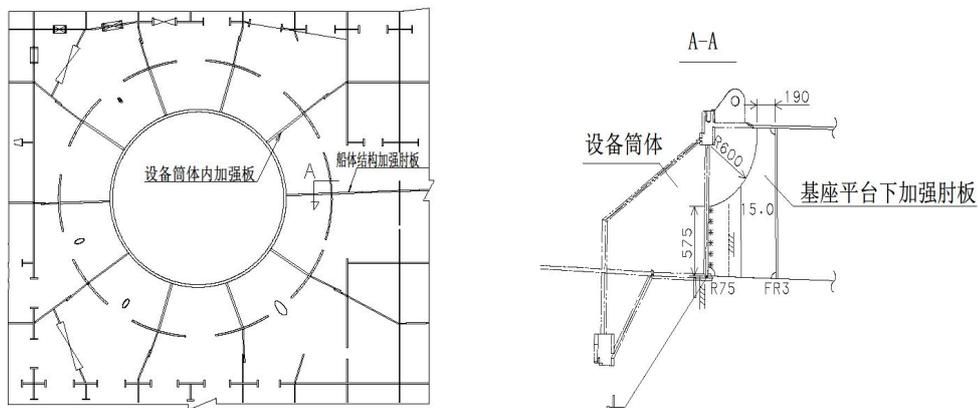


图 3.3.2.5 (4) 设备筒体加强结构图

(3) 常规推进尾部结构：

① 常规推进尾部结构应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 2 分册相关要求。

### 3.3.3 B 型棱形独立液货舱液化天然气运输船特殊区域

3.3.3.1 B 型棱形独立液货舱需要设置部分次屏壁，要与小泄漏保护系统一起使用并满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和 IGC 规则的要求。

3.3.3.2 在 B 型棱形独立液货舱外表面敷设绝缘材料，绝缘外表面保持密封，泄漏的液态货物不会从绝缘外表面渗出，并且在货舱底部设置部分次屏壁，部分次屏壁

上方的 B 型棱形独立液货舱壳体上连接泄放通道，该泄放通道一般固定在 B 型棱形独立液货舱壳体上且不穿透壳体，泄放通道贯穿绝缘层，设有供液体货物流入的小孔，并且泄放通道穿过绝缘层的最下端设有隔断装置。

3.3.3.3 当 B 型棱形独立液货舱主屏壁壳体产生泄漏时，液体货物泄漏到绝缘层上，并向下汇集到绝缘层上面的收集槽，再通过泄放通道流到隔断装置，主屏壁设有温度传感器，通过检测温度变化判断是否有泄漏情况发生；隔断装置可以是爆破片，也可以是其它型式。如采用爆破片，爆破片达到一定低温后启动爆破，爆破片破裂后，液体货物通过泄放通道直接流进部分次屏壁，泄漏的液体货物经过自然蒸发，通过氮气管排出。部分次屏壁底板下面设有温度传感器，通过检测温度变化判断是否有泄漏情况发生。

3.3.3.4 部分次屏壁如图 3.3.3.4 所示，检验要求如下：

- (1) 检查部分次屏壁的承接盘，确认不存在塑性变形、开裂、断开和无法集液等情况；
- (2) 检查承接盘支撑座承压木，确认不存在塑性变形、开裂、断开和紧固件失效等情况；
- (3) 检查隔断装置，确认不存在破损和固定螺丝脱落等情况。



图 3.3.3.4 部分次屏壁

3.3.3.5 支撑座检验要求：

(1) B 型棱形独立液货舱壳体顶部底部设有抗横摇的支座、抗纵摇的支座、底部两侧支撑座和顶部两侧的止浮支座，支座由两部分组成，如图 3.3.3.5(1)和图 3.3.3.5(2)所示；

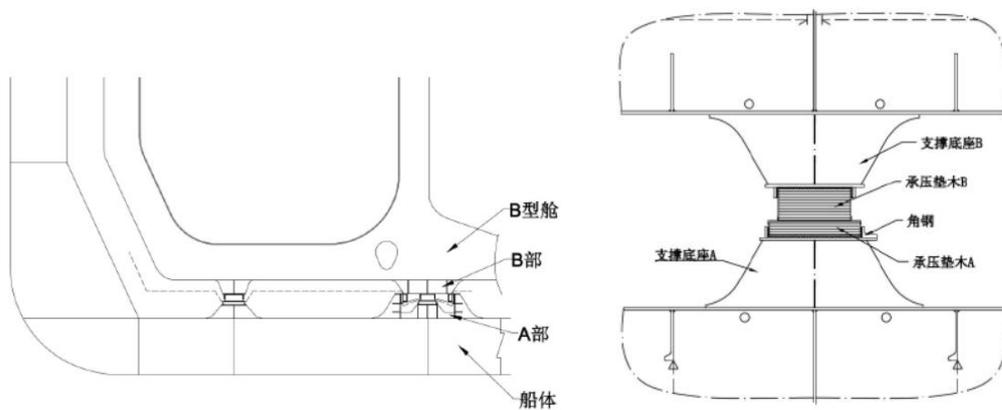


图 3.3.3.5 (1) 罐体支撑座两部分示意图

图 3.3.3.5 (2) 支座详图

(2) 支撑座 A 连接在船体上，其材质一般与船体结构相同，支撑座 B 连接在 B 舱罐体上，其材质一般与罐体相同，两个支座之间加装承压木，根据设计需要，承压木可以是一整

块，也可以是两块。如果采用两块承压木，支撑座 A 上表面覆盖不锈钢板调节高度，承压木与支撑座 A 间隙用环氧树脂填充，使承压木 A 固定；承压木 B 与支撑座 B 之间也是用环氧树脂填充固定。承压木 A 上表面设有不锈钢板，通过覆盖不锈钢板的表面与承压木 B 相互接触，承压木之间允许通过该不锈钢板有一定的相互滑动，如图 3.3.3.5(3)所示；

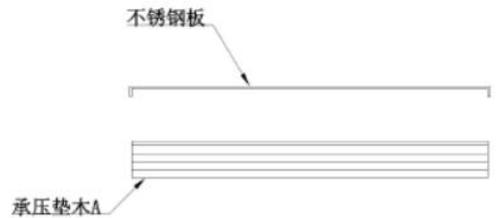


图 3.3.3.5 (3) 承压木间的不锈钢板示意图

(3) 抗横摇和纵摇的支撑座略有不同，其在横摇或者纵摇方向加装抗摇垫木，如图 3.3.3.5(4)所示；

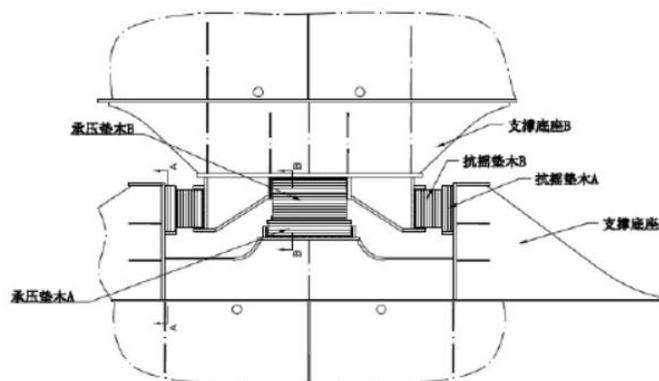


图 3.3.3.5 (4) 抗横摇或抗纵摇支撑座示意图

(4) B 型棱形独立液货舱顶部两侧设有止浮支撑座，止浮垫木与船体结构之间存在一定间隙，如图 3.3.3.5(5)所示；

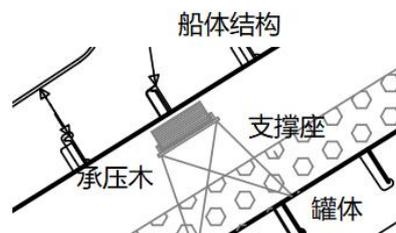


图 3.3.3.5 (5) 止浮支撑座示意图

(5) 通常在需要浇筑环氧树脂的钢板上设有螺栓孔，并有连接管，环氧树脂通过螺栓孔浇筑进承压木与钢板之间，如图 3.3.3.5(6)和图 3.3.3.5(7)所示；

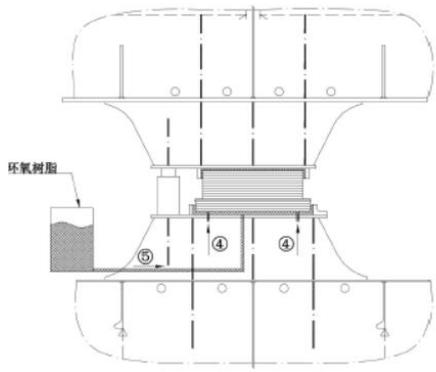


图 3.3.3.5 (6) 支撑座环氧浇筑示意图

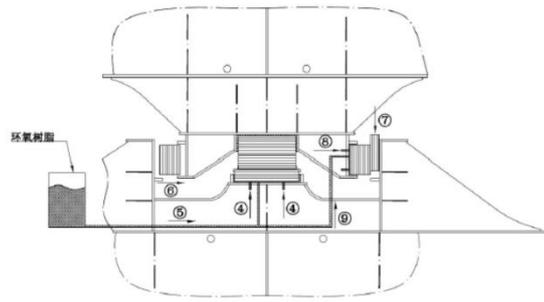


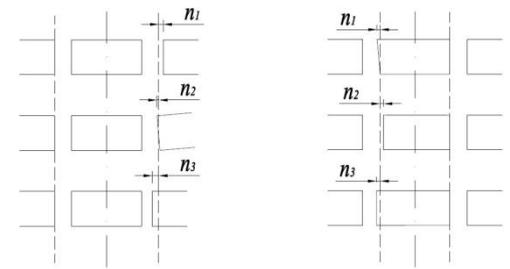
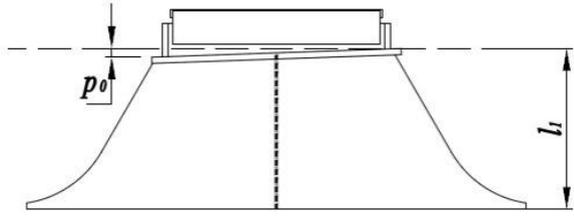
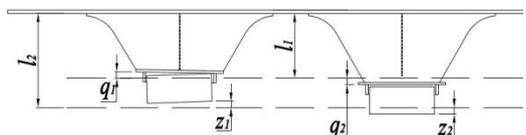
图 3.3.3.5 (7) 支撑座环氧浇筑示意图

(6) 支撑座安装精度要求如表 3.3.3.5 所示。

支撑座安装精度

表 3.3.3.5

序号	项目	允许偏差	适用范围	备注
1	与船体中心线偏差 $y_0$	$\pm 5\text{mm}$	全部支座	<p>CL.</p> <p>FR</p> <p><math>y</math> 为标准距中值</p>
2	与肋位线偏差 $x_0$	$\pm 5\text{mm}$	全部支座	
3	构件板厚中心线偏差 $a_0$	较薄板厚 $t_0$ 的 1/3 或者 5mm, 取小者	支座内部、支座与船体结构	
4	抗摇支座垂直度 $m_0$	$\pm 2\text{mm}$	抗摇支座	

5	抗摇支座 同面度 $n_0$	$\pm 3\text{mm}$	抗摇支座	 <p><math>n_0</math> 为从 <math>n_1</math> 到 <math>n_n</math> 中绝对值最大者</p>
6	支撑底座 面板平面度 $p_0$	$-10\sim 0\text{mm}$	A 部	 <p><math>l_1</math> 为面板理论高度</p>
		$\pm 5\text{mm}$	B 部	
7	支撑底座 面板同面度 $q_0$	$\pm 5\text{mm}$	A 部	 <p><math>l_2</math> 为层压木理论高度</p> <p><math>q_0</math> 为从 <math>q_1</math> 到 <math>q_n</math> 中绝对值最大者</p> <p><math>z_0</math> 为从 <math>z_1</math> 到 <math>z_n</math> 中绝对值最大者</p>
		$\pm 8\text{mm}$	B 部	
8	层压木同面度 $z_0$	$\pm 5\text{mm}$	B 部	

## 第 4 节 货舱内表面平整度

### 3.4.1 基本要求

3.4.1.1 本节所涉及的检验需按照薄膜型液化天然气运输船货物围护系统对货舱内表面平整度相关要求执行，B 型棱形独立液货舱液化气体船和 C 型独立液货舱液化天然气运输船按照或参照上述要求执行。

### 3.4.2 货舱分段内表面平整度

3.4.2.1 在分段完工检验后，需要对涉及货舱分段货舱内表面平面进行平整度检查，以减少在货舱整体完工后的平整度矫正工作。

### 3.4.3 货舱分段总组和坞内搭载内表面平整度

3.4.3.1 在平台总组和船坞搭载后，如涉及货舱内表面合拢，需对货舱面合拢焊缝区域进行平整度检查，以减少在货舱整体完工后的平整度矫正工作。

### 3.4.4 最终平整度

3.4.4.1 由于分段的吊装、运输、舾装件的安装等一系列施工会在一定程度上改变货舱平整度，因此本节 3.4.2 和 3.4.3 的平整度检查并不能代表最终的检查结果，待整个货舱船体完工后，货物围护系统安装前，需对平整度进行最终的检查和测量。

## 第 5 节 船体结构无损检测

### 3.5.1 无损检测计划审批

#### 3.5.1.1 审批依据

(1) 船体焊缝无损探伤的数量、位置和标准，参照 CCS《材料与焊接规范》及其修改通报进行。

#### 3.5.1.2 无损检测计划

(1) 无损检测计划至少包括下列内容：

- ① 全船结构无损检测数量计算和具体检测部位图或表；
- ② 各检测部位所采用的检测方法和相应的验收标准；
- ③ 相关方达成的无损检测协议；
- ④ 无损检测机构和无损检测人员资质证书复印件；
- ⑤ 无损检测设备的检修证书。

### 3.5.2 无损检测数量和位置

#### 3.5.2.1 船体无损探伤的数量和位置

(1) 船中 0.6L 范围内射线拍片数量及位置的确定：

船中 0.6L 范围内强力甲板和外板的射线拍片数量  $n$ ，按下式计算：

$$n=0.16k(i+0.1WT)+0.04WL$$

式中：

$k$ ——船中 0.6L 内板列的平均宽度， $m$ ，可按下式计算：

$$k = \frac{\text{船中横剖面处的周长（开口除外）}}{\text{横剖面处见到的板列数}}$$

$i$ ——船中 0.6L 内的纵、横向对接焊缝交叉处的总数；

$WT$ ——船中 0.6L 内的横向对接焊缝的总长， $m$ ；

$WL$ ——船中 0.6L 内的分段合拢的纵向对接焊缝的总长， $m$ 。

(2) 在船中 0.6L 区域外船体强力甲板和外板，拍片数量约为 3.5.2.1 规定区域数量的 10%~20%，且允许采用适量的超声波检测方法进行检测。

3.5.2.2 船底、舷侧、甲板、底边舱和顶边舱纵骨的对接接头，在船中 0.4L 范围内每 10 个检查 1 个，0.4L 范围外每 20 个检查 1 个。

3.5.2.3 全船船中 0.6L 区域甲板边板与舷顶列板之间的全熔透角焊缝，100%长度采用超声波检测；船中 0.6L 区域外甲板边板与舷顶列板之间的全熔透角焊缝，10%长度采用超声波检测。

3.5.2.4 铸件与船体结构钢的连接区域需要 100%采用超声波检测或者着色检测，其中全熔透焊缝还需要 100%采用超声波检测。

3.5.2.5 对于鞍座、止浮装置和横向限位装置本体(C 型独立液货舱液化天然气运输船)，其全熔透焊缝还需要 100%采用超声波检测，并对相应区域船体结构的全熔透焊缝/深熔焊缝进行必要的探伤。

3.5.2.6 对于无损探伤计划汇总表，验船师应按照规定确认是否覆盖相关要求。

### 3.5.3 无损检测标准

3.5.3.1 验船师在开工前会议时就应对无损检测范围、适用的标准和验收标准（包括评

片合格等级等)与有关方协商达成一致,并在会议纪要中列明。或者专门会议达成并共同签署无损检测适用和验收标准协议(无损检测公司、船厂、船东、验船师),并保留在船舶案卷中。

3.5.3.2 无损检测通常应满足 CCS《船舶焊接检验指南》第 7 章或公认的检测方法和验收标准的要求,如表 3.5.3.2 所示。

无损检测验收标准及验收等级

表 3.5.3.2

射线检测/RT		超声波检测/UT		磁粉检测/MT		渗透检测/PT	
标准号	等级	标准号	等级	标准号	等级	标准号	等级
ISO 10675-1	1*/2	ISO 11666	2*/3	ISO 23278	2X	ISO 23277	2X
EN 12517-1	1*/2	EN ISO 11666	2*/3	EN ISO 23278	2X	EN ISO 23277	2X
CB/T 3558	II*/III	CB/T 3559	II*/III	CB/T 3958	II*/III	CB/T 3958	II*/III
JIS Z3104	II*/III	JIS Z3060	II*/III	----	----	----	----

表注: \*用于重要区域,重要区域包括:

- (1) 150 米及以上船舶,在船舫 0.4L 区域内的强力甲板、舷顶列板、舳列板、船底板、龙骨板、内壳顶列板和纵舱壁顶列板以及支撑这些板的主要构件的焊缝,可计入船体梁剖面模数的连续凸形甲板和连续纵向舱口围板以及支撑这些板的主要构件的焊缝;
- (2) 外板和强力甲板上紧邻强力贯穿件位置的焊缝,例如挂舵臂、舵踵、桅柱等强力贯穿件,包括将其连接于主要构件的焊缝;
- (3) 主要承受动态载荷的构件的焊缝,例如尾轴支架、舵踵、舵杆连接法兰(与舵叶本体之间)以及主机座桁材上的焊缝。

3.5.3.3 如果无损检测采用的验收标准不是 CCS 已经接受的标准,则应按照采用社外标准的要求,上报主管部门审批同意后方可接受。

### 3.5.4 无损检测原则

#### 3.5.4.1 基本原则:

- (1) 船体结构中的全熔透对接焊缝宜用射线方法或超声波方法进行检测,全熔透的角焊缝和 T 形焊缝宜用超声波方法进行检测;
- (2) 船体结构中位于承受高应力循环载荷部位的焊缝,根据必要性增加适当数量的磁粉或渗透检测;
- (3) 为增大检测的随机性,应对检测部位进行适当的调整;
- (4) 射线检测的布片密度应按钢材的材料级别从高到低递减;
- (5) 纵横向对接焊缝交叉处的布片方向应平行于横向对接焊缝;
- (6) 纵、横向对接焊缝交叉处的总数,包含所有十字接头、丁字接头(偏安全考虑);
- (7) 强受力部位布片应适当密集,如舷顶列板、舳部板和龙骨板;
- (8) 全焊透焊缝应做适当的抽查以验证焊接质量;
- (9) 船体结构中规范要求全焊透的角焊缝,如:
  - ① 典型剖面图和基本结构图中批准需要全焊透的部分;
  - ② 起重机(柱)基座全熔透焊缝;
  - ③ 船中 0.6L 范围内强力甲板、舷顶列板、船底板上开孔尺寸超过 300mm 的补强件焊

缝:

④ 全船中 0.5L 区域甲板边板与舷顶列板之间的全熔透角焊缝。

(10) 内底、其他连续甲板和舱壁及其连续纵骨的对接焊缝;

(11) 由结构强度直接计算或疲劳强度评估确定的关键部位的焊缝;

(12) 独立货舱的定位构件, 如独立液罐的止浮、止移等构件(强受力)焊缝。

3.5.4.2 若船体构件(如鞍座等)由高强度钢板组焊而成, 应在热处理后进行 UT 或 MT 检测。

3.5.4.3 磁粉和渗透探伤

(1) 铸钢件/锻钢件与钢板焊接、铸钢件与铸钢件焊接、锻钢件与锻钢件焊接和轴舵系等铸锻件精加工后应做 MT 或 PT 探伤;

(2) 探伤方式应符合材质, 如不能导磁的不锈钢(奥氏体不锈钢如 304、316 等)探伤不能采用磁粉, 只能采取渗透探伤。

3.5.4.4 片位图的变更: 如果由于实船的布置无法进行 X 射线的拍片, 可允许船厂采取变更位置或 UT 探伤代替, 变更的位置需经验船师审批。

## 第 4 章 货物围护系统

### 第 1 节 薄膜型货物围护系统

#### 4.1.1 NO 96 货物围护系统

4.1.1.1 NO 96 货物围护系统是薄膜型货物围护系统中的一种,如图 4.1.1.1(1)所示,整个围护系统由液货舱的 A-K 十个面构成,如图 4.1.1.1(2)所示。每个面由主次两层屏壁层构成,每个屏壁层都由殷瓦合金薄膜及填充有珍珠岩或刚性绝缘的绝缘箱组成,如图 4.1.1.1(3)所示。液货舱两个面交界处由殷瓦管或复合梁连接,三个面的交界处由三面体连接。每个液货舱的屏壁层使用了殷瓦板、不锈钢板条、绝缘箱、三面体、殷瓦管、刚性和柔性绝缘材料、连接螺栓、温度感应器等零件组成。



图 4.1.1.1 (1) NO 96 货物围护系统示意图

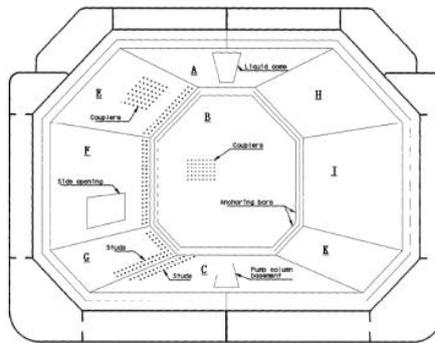


图 4.1.1.1 (2) 液货舱形状示意图

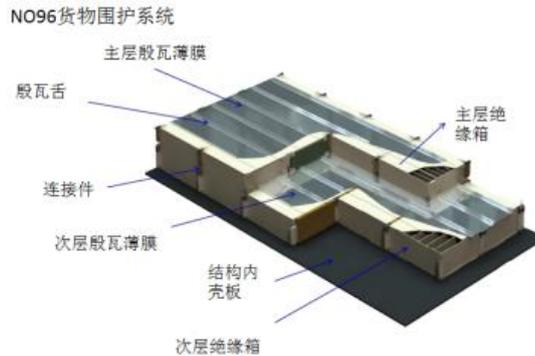


图 4.1.1.1 (3) 主次屏壁结构示意图

4.1.1.2 从事液货舱焊接的焊工都需要按照相关专利技术文件的要求进行焊工资质考试，并得到 CCS 认可。液货舱各种材料的焊接工艺应按照相关专利技术文件的要求和适用标准进行认可。殷瓦焊工焊接工作开始前应经测试并检查合格。

4.1.1.3 NO 96 货物围护系统薄膜舱的制作，主要分为以下步骤：

- (1) 船体内表面划线定位；
- (2) 连接件基座的焊接固定；
- (3) 楔块安装
- (4) 锚固扁钢安装、三面体及殷瓦管安装
- (5) 次层绝缘箱的安装；
- (6) 次层薄膜的安装与焊接；
- (7) 气密试验与状态监控；
- (8) 主层绝缘箱的安装。
- (9) 主层薄膜的安装与焊接；
- (10) 气密试验与状态监控；
- (11) 泵塔安装与试验；
- (12) 气穹安装；
- (13) 液穹安装；
- (14) 局部气密试验；
- (15) 气体航行试验；
- (16) 封舱检查。

4.1.1.4 NO 96 货物围护系统零部件制造检验

(1) 绝缘箱制造检验：绝缘箱的检验采取巡检和抽检的方式，检验中需要关注绝缘箱的外观、尺寸、平整度、门钉位置等；

(2) 殷瓦管制造检验：殷瓦管安装在货舱内部两个面的交界处。殷瓦管检验中需要关注殷瓦管的外观、自动焊缝和手工焊缝、殷瓦管焊后的尺寸、殷瓦管端部的着色探伤等；

(3) 三面体制造检验：三面体安装在液货舱内部三个面交界处，在殷瓦车间预制完毕检查合格后方可上船安装。在对三面体进行检验时需要注意三面体整体尺寸、三面体内部尺寸、三面体的焊缝外观及着色探伤；

(4) 液穹托架制造检验：检验液穹的托架时需要关注液穹托架的制作材质、整体尺寸、焊缝外观及着色探伤等；

(5) 支柱制造检验：支柱安装在最前部液货舱，通常采用不锈钢材质制作而成。检验支柱需要关注支柱的制作材质、焊缝外观、零件和支柱整体的尺寸、管子的同心度和垂直度、着色探伤等；

(6) 泵塔基座制造检验：泵塔基座是泵塔在液货舱内的导向结构，安装在液货舱内底板上。对泵塔基座的检验应关注泵塔基座的制作材料、泵塔基座内部尺寸、泵塔基座的整体尺寸、泵塔基座内部的绝缘材料、泵塔基座焊缝的外观及着色探伤等；

(7) 十字连接件制造检验：十字连接件安装在两个殷瓦管连接处或殷瓦管和三面体之间，起到连接作用。十字连接件在殷瓦车间预制后经检验合格才可以进行安装。十字连接件制作检验过程中应对其外观、长度、连接件的角度及着色探伤等进行关注；

(8) 氮气排气管制造检验：氮气排气管是用不锈钢材质制作而成的，安装在液货舱内横隔舱顶部靠近液穹区域。氮气排气管的主要作用是往主屏壁层内输送氮气。氮气排气管的检验需要关注氮气排气管的制作材质、氮气排气管的装配长度和角度、着色探伤等。

4.1.1.5 NO 96 货物围护系统安装检验

(1) 货舱清洁：清除遗留的焊渣、钢材的边角料、焊条、灰尘等垃圾，清洁完毕后应

对液货舱进行通风，保证液货舱干燥清洁：

(2) 货舱平整度测量：按专利公司技术标准或其他适用标准的要求进行液货舱内表面的平整度测量，确保平整度满足绝缘箱和殷瓦薄膜安装的要求；

(3) 货舱划线：划线是指把液货舱内表面用特定的宽度和长度划分成若干个网格，网格的四个顶点就是以后连接基座焊接的地方，按照批准的划线工艺文件执行；

(4) 连接基座安装：连接基座焊接在液货舱内表面。对焊接的位置进行打磨和清洁，在正式焊接前要先对基座进行 2~3 处的定位焊并且要确保基座和货舱内表面没有间隙。焊接结束后要对焊缝进行 100%外观检查并进行 1%的着色探伤及 3%的随机拉力试验；

(5) 楔块安装：楔块被安装在连接基座上，一般用特氟龙材料制成。楔块的作用是用来调整箱子和船体间间隙，每个连接基座上的楔块厚度由计算得来。用三米尺检验楔块安装质量；

(6) 锚固扁钢安装：每个液货舱的前后端部都存在横向环区域，为了使液货舱横向方向和纵向方向的力能传递到船体上在该区域装设有锚固扁钢。锚固扁钢是不锈钢在焊接的时候要使用不锈钢焊条。在安装锚固扁钢之前要对船体内壳板上进行划线和打磨，安装的时候要用专用的工具对锚固扁钢进行定位，定位后进行双面间断焊；

(7) 殷瓦管安装：殷瓦管安装在货舱的横向环区域，连接绝缘层的殷瓦薄膜及锚固扁钢。对殷瓦管之间的间隙、端部层差、与锚固扁钢的搭接长度进行检验、焊后对焊缝进行外观检查应无缺陷、修补处应做 100%PT；

(8) 三面体安装：三面体安装在液货舱内三个面的交界处，三面体和殷瓦管一样都是焊接在锚固扁钢上连接锚固扁钢和殷瓦薄膜的，三面体还起着连接货舱横向环角落处殷瓦管的作用。检查三面体与锚固扁钢的搭接长度、三面体内绝缘箱和三面体的贴合度、检查 SW 和 PW 焊缝外观应无缺陷、用模板检查三面体的装配间隙；

(9) 环氧树脂的涂布：次层绝缘箱安装前要在绝缘箱底部敷设上相应类型的树脂条，在环氧树脂条涂布在绝缘箱之前，须对环氧树脂条的固化进行必要的现场测试，具体如下：

- ① 树脂和固化剂的比例；
- ② 检测树脂条的外观；
- ③ 树脂条在绝缘箱上的位置；
- ④ 树脂条进行取样放入微波炉加热后测硬度；
- ⑤ 树脂条打完后 24 小时后再次测定硬度；
- ⑥ 打完绝缘箱的树脂条运至舱内最远处观察其是否发生形。

(10) 树脂条的应用：按照批准的工艺文件对树脂条的外观尺寸进行检验；

(11) 次层绝缘箱安装：次层绝缘箱安装在船体内表面上，次层绝缘箱与次层殷瓦薄膜组成次屏壁空间。检查绝缘箱底部树脂与货舱内表面的间隙、两个绝缘箱的层差、两个绝缘箱之间的间隙、两个绝缘箱列板槽口之间的错位情况；绝缘箱安装完毕后检查固定件上的弹簧垫片是否安装正确，用扭力扳手抽查紧固件是否锁紧；

(12) 次层薄膜安装：在次层殷瓦列板安装之前要对次层绝缘箱的表面及相关区域内做好清洁工作以确保没有任何杂物落入次层殷瓦薄膜内部。检查殷瓦列板折边的高度、殷瓦列板折边后折边内缘的半径、每 7 米列板的直线度误差、折边后殷瓦列板的表面质量、相邻两块折边殷瓦列板的折边安装高度差。检查端部列板的厚度平直部分长度、重叠部分长度、相邻端部列板之间层差情况、端部列板的剪切中心处离端部长度。端部列板焊接处应进行 100%着色探伤；

(13) 凸缘螺柱安装：凸缘螺柱是安装在次层殷瓦薄膜上用来连接次层屏壁和主层屏壁的构件。在铺设次层薄膜之前应将特殊的螺帽安放在连接螺杆顶部待次层薄膜安装完毕后用工具在次层薄膜打孔后安装凸缘螺柱，然后进行自动焊接。检查凸缘螺柱的安装位置、螺柱

偏离中心距离、凸缘螺柱的边缘与殷瓦薄膜孔的边缘搭接长度，焊接后应对凸缘螺柱的周围焊缝进行外观检验并进行 20%着色探伤；

(14) 主层绝缘箱安装：主层绝缘箱安装在次层殷瓦薄膜上，由凸缘螺柱支撑。用模板检查绝缘箱之间的层差、边界箱之间的层差、两个箱子之间的间距；检查锁紧装置的电焊是否存在漏焊、裂纹等缺陷，如果存在缺陷要进行修补；检查弹簧垫片的安装情况，主要注意垫片的安装方向；

(15) 主层薄膜安装：薄膜的检验要求详见 4.1.1.5(12)；

(16) 特殊区域绝缘箱和薄膜的安装：NO 96 薄膜型液货舱的特殊区域有液穹区域、气穹区域以及货舱的舷侧开口区域。这些区域的绝缘箱尺寸和厚度不同于平面区域，所以特殊区域的绝缘箱和薄膜安装的检验标准也和平面区域有所不同，如下：

① 液穹区域：液穹是液货舱最后关闭的一个区域，泵塔要穿过液穹区域的绝缘箱安装。液穹区域的绝缘箱在车间经过箱子制作、填充发泡剂、安装殷瓦面板等工艺流程最后吊装安装上船。检查液穹绝缘箱殷瓦面板与箱子边界的距离、两条殷瓦面板之间的间隔距离、殷瓦面板端部和搭接板的距离、殷瓦面板焊接结束后应当进行目视检查及着色探伤。检查液穹绝缘箱箱子和周边区域的对中情况；

② 气穹区域：气穹的位置在每个液货舱顶部的几何中心。气穹周围的绝缘箱是非标准箱，需在车间进行预制，然后进行安装。气穹内部安装有两层波纹管分别和主次层的殷瓦薄膜焊接用来确保主次绝缘层的完整性。检查气穹周围绝缘箱之间的层差、气穹绝缘箱与平面箱之间的层差。检查波纹管内部是否安装玻璃棉和搭接板的长度，焊接后目视检查无缺陷；

③ 舷侧开口区域：舷侧开口是前期为了液货舱安装方便开的临时工艺孔，在液货舱内部安装基本结束时就需要将这个临时工艺孔封闭掉。舷侧开口封闭后还需要和前面一样安装次层和主层屏壁。舷侧开口处的绝缘箱安装标准以及殷瓦薄膜焊接检验标准参见前述次层屏壁和主层屏壁的安装检验要求。

(17) 薄膜试验：次层殷瓦薄膜安装全部完毕后需要对整个液货舱进行强度及密性试验。次层薄膜试验结束后，在安装主层屏壁时，对次层屏壁空间进行持续的状态监控。次层屏壁的试验和主层屏壁的试验按照批准的试验程序进行，试验如下：

① 强度性能试验：绝缘层强度试验 (S/T) 是对密闭的货舱绝缘层空间抽真空让其承受一定的负压 (-800mbar) 来检验绝缘层是否能够承受极限装载工况下液态天然气及其蒸气的压力；

② 承载性能试验：绝缘层的承载试验 (B/T) 是通过抽真空的方式使得货舱绝缘层承受负压 (-200mbar) 来检验绝缘层的殷瓦薄膜在正常装载工况下是否能和绝缘箱很好的贴合以及殷瓦膜和绝缘箱之间是否存在异物；

③ 焊缝性能试验：薄膜焊缝强度试验 (M/T) 是将试验区域通过加压再释放检验殷瓦列板之间焊缝的机械性能；

④ 氦气试验：氦气试验 (H/T) 是对密闭绝缘层空间充入一定浓度的氦气，用氦气探测器来检测绝缘层的殷瓦薄膜是否存在泄漏点。氦气试验的主要目的是检测和发现任何泄漏量大于  $9.3 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ ，(此时氦气浓度为 20%)，并且校对泄漏量为  $4.3 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ ，(此时氦气浓度为 100%，+1ba)。如果泄漏数 > 5，同样的泄漏量检测方法检查修补点；如果泄漏数小于 5，着色检查修补点，并且用真空箱检查泄漏点；若真空箱不可操作，则应用氦气试验方法进行密性检查；

⑤ 真空试验：真空试验 (S/P & I/P VBT) 是在氦气试验之后对殷瓦薄膜修补点进行局部的密性试验；

⑥ 整体试验：在上述所有试验结束后还需对液货舱的两层屏壁层进行整体试验 (G/T)，屏壁层降低压力至 -800mbar，监视并记录 24 小时内的压力变化，最后取压力最稳定的 10 个

小时绘制出一份表格。

(18) 泵塔吊装：液穹区域的绝缘箱预装完毕后就可以进行泵塔的吊装，吊装过程要充分协调，防止撞伤船体结构和殷瓦；

(19) 液穹安装及液穹分段安装焊接：泵塔吊装结束后，将预装没有问题的液穹大绝缘箱吊装就位，液穹殷瓦面与平面殷瓦进行焊接密封，液穹上部船体小分段吊装就位并焊接，泵塔伸出穹顶甲板的管路与船体焊接；

(20) 气穹波纹管安装：每个气穹区域需要安装两个波纹管，在液货舱里面两个波纹管端部采取手工焊的形式连接，焊接结束后进行外观检验并做 PT，在波纹管的末端需要安装抱箍；

(21) 气穹安装：安装就位后对气穹本体和甲板之间的焊缝进行外观检查并做 PT 检查；

(22) 最终检验是在液货舱所有的安装都结束后脚手架拆除时对货舱内薄膜状况进行逐层检查，检查薄膜是否有损伤，且防止随身物体高空坠落砸伤薄膜。

#### 4.1.2 MARK III 货物围护系统

4.1.2.1 MARK III 是另一种薄膜型货物围护系统，主屏壁为 1.2mm 厚带有纵横方向槽形的不锈钢板（304L），如图 4.1.2.1(1)所示；次屏壁为二层玻璃纤维布及一层铝箔的铝箔玻璃纤维布（Triplex），其中柔性带材称为 FSB，硬质箔称为 RSB，隔热板块为上下层压板夹增强聚氨酯泡沫（R-PUF），密度在 120-130Kg/m<sup>3</sup>，其中 10%的重量为玻璃纤维，如图 4.1.2.1(2)所示；MARK III 货物围护系统典型结构图如 4.1.2.1(3)所示；MARK III 货物围护系统分两种型式：MARK III 和 MARK III Flex，如图 4.1.2.1(4)所示，MARK III Flex 的蒸发率比 MARK III 要小。MARK III 货物围护系统的设计概念是高度标准化，减少零部件的多样性；车间高度预制化，拿来即用；货舱安装自动化、减少人工操作。

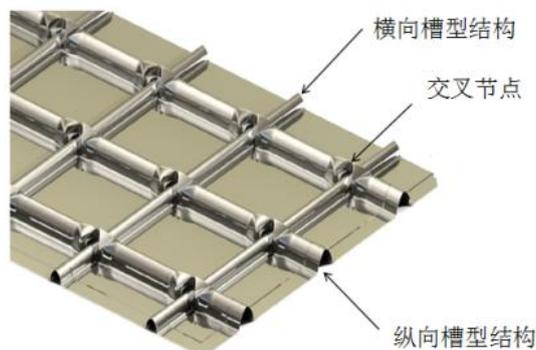


图 4.1.2.1 (1) 主屏壁示意图

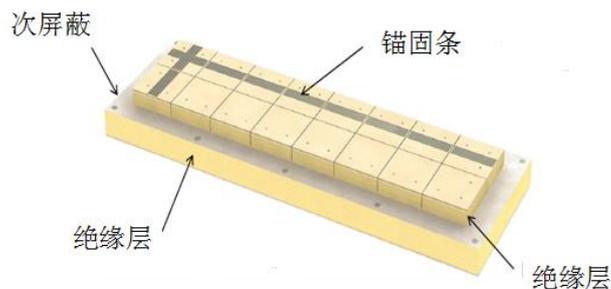


图 4.1.2.1 (2) 次屏蔽和隔热板块示意图

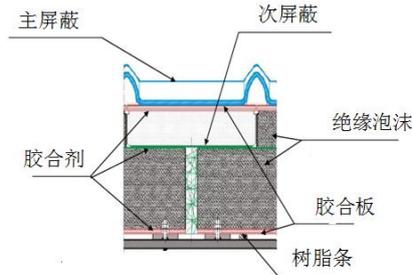


图 4.1.2.1 (3) 典型结构示意图

**MARK III** 270mm                      **MARK III FLEX** 400 mm

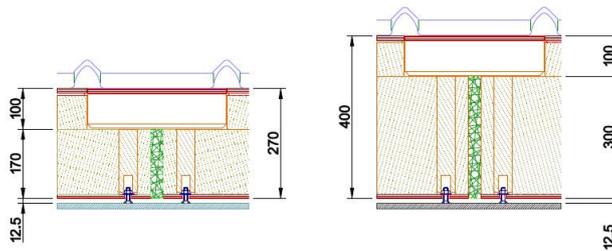


图 4.1.2.1 (4) MARK III 货物围护系统两种型式

#### 4.1.2.2 MARK III 货物围护系统零部件制造检验

(1) 胶合板用于制造绝缘板块，在建造过程中需要验船师检验，若胶合板经过 CCS 型式认可，则建造期间可进行抽检，胶合板的制造、加工和安装应满足相关适用标准和专利公司相关标准的要求；

(2) 硬质聚氨酯泡沫生产加工应按照制造商的质量标准进行验收，满足适用标准中的密度和强度等相关要求，验船师应进行抽检；

(3) 承压树脂用作承重，生产加工应按照制造商的质量标准进行验收，满足适用标准中的硬度和成型等相关要求，船厂做好生产记录，验船师应进行抽检；

(4) 用作薄膜的材质为低温不锈钢，长度和宽度应满足适用标准和专利公司相关标准的要求；

(5) 用作锚固条和角落区的材质为低温不锈钢，长度、宽度和厚度应满足适用标准和专利公司相关标准的要求；

(6) 胶合剂应获得 CCS 型式认可，按制造商的质量标准进行验收，满足适用标准中的粘合性能要求，胶合剂质量的高低直接影响次屏壁的密性；

(7) 铝箔玻璃纤维布 (Triplex) 为二层玻璃纤维布中间夹一层铝箔，铝箔玻璃纤维布分为两种，柔性带材称为 FSB，硬质箔称为 RSB。铝箔玻璃纤维布在建造过程中需要验船师检验，若铝箔玻璃纤维布经过 CCS 型式认可，则建造期间可进行抽检。铝箔玻璃纤维布应满足 CCS《船用复合材料检验指南》、其他适用标准和专利公司相关标准的要求；

(8) 平面绝缘板块：货舱大部分区域为平面区域，平面区域安装的主要构件就是平面绝缘板块。平面绝缘板块由胶合板、RSB、R-PUF 胶合而成，用于焊接主层薄膜的不锈钢锚固条铆接在顶层胶合板上。平面绝缘板块预制分为次层绝缘胶合、主层绝缘胶合、组装、压紧、切割、锚固条铆接。平面绝缘板块在工厂或车间制造过程，CCS 验船师应进行检验，除非该产品已经获得 CCS 型式认可。平面绝缘板块制造过程中制造厂应进行生产记录、CCS 不定期抽检。检验平面绝缘板块的表面质量、机加工质量、尺寸、厚度、平面度、变形情况等；

(9) 薄膜在工厂或车间制造过程，CCS 验船师应进行检验，除非该产品已经获得 CCS

型式认可。薄膜制造过程中制造厂应进行生产记录、CCS 不定期抽检。检查薄膜褶皱面板的外观、表面质量、尺寸、褶皱波峰间距、褶皱剖面等；

(10) 角度块（两面角，Angle）在工厂或车间制造过程，CCS 验船师应进行检验，除非该产品已经获得 CCS 型式认可。角度块制造过程中制造厂应进行生产记录、CCS 不定期抽检。检查角度块的外观、加工质量、孔、附件、尺寸、厚度、平整度和方正度等；

(11) 角落块（三面交角，Corner）在工厂或车间制造过程，CCS 验船师应进行检验，除非该产品已经获得 CCS 型式认可。角落块制造过程中制造厂应进行生产记录、CCS 不定期抽检。检查角度块的外观、加工质量、尺寸、加强筋、弯曲度和方正度等。

#### 4.1.2.3 MARK III 货物围护系统施工工艺认可

(1) MARK III 货物围护系统施工工艺认可工作分为“树脂和粘连工艺认可”和“焊接工艺认可”两大类，在货物围护系统进行实船安装之前应该完成所有的工艺认可工作，工艺认可工作开始前，船厂应提交“树脂和粘连工艺认可计划”和“焊接工艺认可计划”供专利公司和 CCS 进行审批，审批结束后可以开始工艺认可工作，专利公司人员和验船师应对工艺认可工作中的操作和试验等进行全过程见证并签署工艺认可的过程中文件，试验结束后，船厂根据工艺参数和试验结果等编写最终的“树脂和粘连工艺”和“焊接工艺”并提交专利公司和 CCS 进行最终的审批，作为实船货物围护系统安装的指导性工艺文件；

(2) MARK III 货物围护系统树脂和粘连工艺认可工作可细分为以下几类：

① 绝缘板紧固扭矩测试：绝缘板紧固扭矩测试的目的是通过试验得到绝缘板安装时扳手可以使用的最大扭矩，避免在螺栓紧固的过程中损坏绝缘板；

② 树脂工艺评定：树脂工艺评定测试所应用的工艺、工装工具和设备应与实船建造时所使用的完全一致，确定生产中树脂机使用的技术参数（例如喷嘴形状、高度、运动速度、流量和温度等）、树脂混合和涂布温度、工作时间等，验证树脂条和圆饼的尺寸等参数符合专利公司相关专利标准；

③ 柔性次屏壁自动粘连至刚性次屏壁：柔性次屏壁自动粘连至刚性次屏壁的工艺评定是通过与实际货舱内柔性次屏壁自动粘连一致的完整程序来进行工艺评定，目的是通过试验确定自动粘连机参数等来编写最终的粘连工艺。按要求制作粘连试样，分别进行低温剪切试验和剥离检查，检查粘连试样的溢胶情况、褶皱等缺陷，将柔性次屏壁剥离后测量胶水厚度和检查气泡等缺陷；

④ 柔性次屏壁手工粘连至刚性次屏壁（PU15 热压板固化）：通过与舱内一致的完整程序来进行柔性次屏壁手工粘连至刚性次屏壁的评定测试，目的是确定后续将要在舱内使用的各项工作参数的范围和编写最终的粘连工艺。按要求制作粘连试样，分别进行低温剪切试验和剥离检查，检查粘连试样的溢胶情况、褶皱等缺陷，将柔性次屏壁剥离后测量胶水厚度和检查气泡等缺陷；

⑤ 柔性次屏壁手工粘连至刚性次屏壁（PU45 热压板固化）：除使用的粘连剂不同以外和以上④条要求大致相同；

⑥ 柔性次屏壁手工粘连至刚性次屏壁（PU15 常温固化）除不使用加热设备以外和以上④条要求大致相同；

⑦ 柔性次屏壁手工粘连至刚性次屏壁（PU45 常温固化）除不使用加热设备以外和以上⑤条要求大致相同；

⑧ 柔性次屏壁手工粘连至不锈钢（PU15&PU45）：不锈钢试样在粘连前需对表面进行打磨预处理(粗糙度需满足专利公司标准)，打磨区域需稍微大于柔性次屏壁粘连区域，以保证所有粘连区域均被打磨，其余除不需要进行工具和材料的兼容性测试和热压板的压力测试以外，和以上④条和⑤条要求大致相同；

⑨ 刚性次屏壁手工粘连至不锈钢（PU15）：不锈钢试样在粘连前需对表面进行打磨

预处理(粗糙度需满足专利公司标准), 打磨区域需稍微大于柔性次屏壁粘连区域, 以保证所有粘连区域均被打磨, 其余除粘连试样不允许出现气泡和波纹缺陷, 其余要求和以上⑧条要求大致相同;

⑩ 次屏壁修补: 除不需要做污染测试、极限工位和极限环境条件测试, 其余和以上④条和 5) 条要求大致相同。

⑪ 顶桥板和角区连接梁粘连测试: 通过此项工艺评定确定顶桥板和角区连接梁在实船安装时的粘连参数、最大允许的操作时间等, 粘连试验时模拟实际生产中使用的最小和最大的 FSB 粘连剂用量, 用以确定顶桥板和角区连接梁的最小和最大粘连剂用量, 粘连剂固化后检查粘连剂厚度、溢胶和气泡等粘连缺陷。

(3) MARK III 货物围护系统焊接工艺认可主要包括“小螺柱焊接”、“波纹板间搭接焊”、“波纹板与锚固板条和钢制角隅的搭接焊”、“液穹区域特殊部件焊接”, 应对以上不同的焊接方法分别进行焊接工艺认可:

① 小螺柱焊接工艺认可: 根据专利公司相关文件要求, 应将小螺柱焊接的船体构件板材的焊接试样进行焊接工艺认可, 对“小螺柱与不锈钢板焊接”和“小螺柱与货舱内壳板对接焊缝焊接(如适用)”也应分别进行焊接工艺认可。小螺柱与板材焊接后进行焊后检查(外观检查和锤击)和试验(拉伸试验、弯曲试验、宏观和硬度试验), 具体试验方法和标准请参照专利公司相关文件要求;

② 自动焊接工艺认可: 主屏壁波纹板施工的焊接位置分为平焊(F)、搭接面朝上的横搭接焊(Hu)、搭接面朝下的横搭接焊(Hd)、立向上(Vu)、立向下(Vd)、仰焊(OH)六种焊接位置, 在进行波纹板自动焊工艺认可时应分大波纹(L.C.)和小波纹(S.C.)按以上六种焊接位置分别进行焊接试样的焊接, 记录试样焊接过程中波纹板不同焊接部位的焊接参数, 之后对试样进行焊后无损检测(外观检查和渗透探伤);

③ 手工焊工艺认可, 手工焊工艺认可试验可细分为以下几类:

(a) 1.2mm 厚波纹板与 1.2mm 厚波纹板之间的搭接焊: 分别按平焊(F)、搭接面朝上的横搭接焊(Hu)、搭接面朝下的横搭接焊(Hd)、立向上(Vu)、立向下(Vd)、仰焊(OH)六种焊接位置进行焊接试样的焊接, 之后对试样进行焊后无损检测(外观检查和渗透探伤)以及宏观检测和弯曲试验;

(b) 4 块 1.2mm 厚波纹板与 2mm 厚锚固板条的十字交叉区域的焊接: 分平焊(F)、立焊(V)、仰焊(OH)三个位置进行焊接试样的焊接, 之后对试样进行焊后无损检测(外观检查和渗透探伤)和宏观检测;

(c) 1.2mm 厚波纹板与 8mm 厚钢制角隅之间的搭接焊, 分别按平焊(F)、搭接面朝上的横搭接焊(Hu)、搭接面朝下的横搭接焊(Hd)、立向上(Vu)、立向下(Vd)、仰焊(OH)六种焊接位置进行焊接试样的焊接, 之后对试样进行焊后无损检测(外观检查和渗透探伤)以及宏观检测和弯曲试验;

(d) 液穹区域的主屏壁施工需进行 U 型钢与液穹舱口围的搭接焊(焊接位置选 F)、U 型钢与不锈钢封板之间的搭接焊(焊接位置选 Hu 和 Vu)、U 型钢对接焊和不锈钢封板对接焊(焊接位置选 Vu), 液穹区域施工的焊接工艺评定需要按以上的分类分别进行等尺寸和相同焊接位置的焊接试样的焊接, 并对焊接试样进行焊后无损检测(外观检查和渗透探伤)和宏观检测;

(e) 波纹板之间搭接焊缝的修补焊接工艺试验: 分别按平焊(F)、搭接面朝上的横搭接焊(Hu)、搭接面朝下的横搭接焊(Hd)、立向上(Vu)、立向下(Vd)、仰焊(OH)六种焊接位置进行焊接试样的焊接, 并对焊接试样进行焊后无损检测(外观检查和渗透探伤)和宏观检测。

#### 4.1.2.4 MARK III 货物围护系统施工人员资质认可

(1) MARK III 货物围护系统施工人员资质认可分为四类：手工粘连工资质认证、自动粘连工资质认证、手工焊工资质认证和自动焊工资质认证。在资质认证工作开始之前，应向专利公司和 CCS 提交相关的资质认证程序进行批准认可，之后依据批准后的资质认证程序进行粘连工和焊工的资质认可，专利公司和 CCS 验船师需全程见证资质认证考试过程，审核资质认证相关记录表和检查表并进行签字确认，最后在完成对所有过程性文件和拟发放的证书内容审核确认之后，签发资质证书；

(2) 自动粘连工资质认可：参加资质认可人员需完成资质认可程序上的操作任务清单：例如检查 RSB 和 FSB，安装 T-bar（如有），用胶带固定粘连试样，安装和调整自动粘连机，粘连后进行自动粘连机的拆除和粘连接头处等工作，具体如下：

① 参加资质认可人员通常需要粘连若干一定长度的粘连试样（包含一处十字搭接区域），粘连位置和粘连搭接接头的具体要求参照专利公司相关专利文件；

② 对粘连试样进行目视检查，粘连长度范围内需 100%溢胶，FSB 下无异物，FSB 无折叠缺陷，FSB 褶皱等缺陷尺寸应在专利公司专利文件要求的标准范围之内；

③ 剥离试验：FSB 撕除后检查胶水厚度应满足专利公司相关标准、检查有效粘连宽度和气泡尺寸等是否符合专利公司专利文件相关标准要求；

④ 获得资质的自动粘连工需在特定的时间段内进行舱内的实际粘连作业来保持资质，具体要求参照专利公司相关专利文件。

(3) 手工粘连工资质认可：

① 手工粘连工依据粘连时使用的不同类型的粘连剂类型和不同的粘连位置（平面和角区）取得不同的手工粘连资质，对于 FSB 和 RSB 与不锈钢的粘连也需进行单独的资质认可，具体要求参照专利公司相关文件；

② 参加资质认可人员通常需粘连若干一定长度的粘连试样（包含一处十字搭接区域），粘连位置和粘连搭接接头的具体要求参照专利公司相关文件；

③ 资质认可过程需确认环境参数、胶机参数、BPS 满足要求，对粘连前工位、工具准备，胶量和粘连位置进行确认，记录混胶时间和温湿度等信息，粘连剂涂刷结束后记录覆盖时间，安装保护膜和压力装置（加热加压参数满足 BPS 要求），记录开发时间，加温和加压时间需与 BPS 一致，加温加压结束后进行工具的拆除；

④ 对粘连试样进行目视检查，粘连长度范围内需 100%溢胶，FSB 下无异物，FSB 无折叠缺陷，FSB 褶皱缺陷尺寸在专利公司专利文件要求的标准范围之内；

⑤ 剥离试验：FSB 撕除后检查胶水厚度应满足专利公司相关标准、有效粘连宽度和气泡尺寸等是否符合专利公司专利文件相关标准要求；

⑥ 获得资质的手工粘连工需在特定的时间段内进行舱内的实际粘连作业来保持资质，具体要求参照专利公司相关文件。

(4) 自动焊焊工资质认可：

① 自动焊焊工资质需使用在实船上进行焊接的焊机，焊接试样的材料使用与实船一致的材料，焊接环境也与实船建造环境一致，电流、电压、气体流速等焊接参数需要在过程中被记录下来；

② 自动焊焊接试样需包含大波纹和小波纹，每个焊接试样需包含 3 个波纹位置的自动焊接，具体的焊接位置以专利公司的相关文件具体要求为准，焊接开始前需要在试板两端做 25mm 的手工连续焊；

③ 进行大间距的定位焊接，再进行小间距的定位焊接；

④ 开始自动焊接，焊接之后对焊缝进行细致的目视检查，具体焊后检查要求请参照专利公司相关技术文件；

⑤ 金相检查：包含三个波纹位置的试样和一个平面区域位置的试样，具体的取样位置

和金相检查的要求请参照专利公司相关技术文件。

(5) 手工焊焊工资质认可：

① 手工焊焊工的证书类型分为以下几类：波纹板装配焊、波纹板搭接焊、修补焊和特殊区域的焊接；

② 手工焊焊工复证程序：对于持有不同类型的证书的手工焊工需要根据专利公司要求实行复证程序管理；

③ 波纹板搭接焊手工焊焊工的资质认证：

(a) 对焊接试样焊接前先确认焊接环境满足 WPS 的要求，对焊接试样的清洁状况进行检查（无污染和变形等），确认焊接设备的工作状态，检查焊接试样的焊接位置和装配情况，焊工先对试件进行大间距的定位焊装配，然后再进行小间距的定位焊装配，对定位焊质量、定位焊间距以及装配间隙等进行检查；

(b) 按 WPS 的要求进行连续焊接，对焊接试样进行焊后检查和试验，所有焊缝需进行细致的目视检查，焊接试样无裂纹、气孔、夹钨等缺陷，允许焊缝有轻微的咬边；

(c) 焊后目视检查后还需对焊接试样进行 PT 检测、金相检查及弯折试验（除对接焊）。以不锈钢波纹板搭接焊为例，金相检查时对焊缝尺寸的检查要求以专利公司最新版的文件为准。

(d) 对焊接试样进行弯曲试验，将试样绕焊缝弯曲到 90 度之后再弯曲到 180 度，检查焊缝是否有裂纹等焊接缺陷。

④ 手工修补焊焊工资质认证：

(a) 手工修补焊工首先应取得相应焊接类型的手工焊工资质认可，之后再行修补焊工资质认定流程获得修补焊工资质；

(b) 参加手工修补焊工资质认证的焊工应将焊接试样的“小波纹”区域和 100mm 长的水平焊接区域的焊缝切除再用焊丝填充的方式进行修补焊，焊接后对焊缝进行细致的目视检查，还需对修补焊的焊接试样进行金相检测。

⑤ 特殊区域手工焊焊工资质认证：

(a) 特殊区域手工焊主要应用于液穹区域的主屏壁层和次屏壁层的不锈钢构件的焊接，包括 U 型钢与液穹舱口围的搭接焊、U 型钢与不锈钢封板的搭接焊、U 型钢对接焊和不锈钢封板对接焊；

(b) 焊前应对焊接试样的表面缺陷和清洁等进行全面细致的检查，检查装配间隙和定位焊间隙，焊后进行 100% 的目视检查和 100% 的渗透探伤检测，还需对每个焊接试样焊缝长度范围内中间区域取样进行金相检测。

#### 4.1.2.5 MARK III 货物围护系统安装检验

(1) 货舱完整性：在开始货物围护系统施工前，需确认所有涉及货舱内壳区域的船体结构施工已全部完成，确保在围护系统施工开始后内壳区域不会产生动火施工。尤其应关注货舱区域（包括横隔舱）的船体合拢完成情况，原则上所有货舱区域的焊接应完成，以避免因船体焊接变形对围护系统的施工带来影响；

(2) 货舱平整度测量：按专利公司技术标准或其他适用标准的要求进行液货舱内表面的平整度测量，确保平整度满足后续绝缘板安装的要求；

(3) 货舱清洁：清除遗留的焊渣、钢材的边角料、焊条、灰尘等垃圾，清洁完毕后应对液货舱进行通风，保证液货舱干燥清洁；

(4) 内壳油漆状态确认：MARK III 型围护系统货舱内表面使用的是经过特别认可的专用油漆，其绝缘板是完全依靠树脂与内壳油漆粘合后固定在船体上的。因此，在绝缘板安装前需通过树脂拉拔试验来确认内壳油漆的施工质量，拉拔试验点位置的选取应由参与检验的各方共同协商确定，在选取时应注意要覆盖到气穹或泵塔基座等区域的不锈钢非涂装区域。

拉拔点选取的比例、试验方法及接受标准应参考专利公司的要求；

(5) 划线：划线前首先需要测量货舱的整体尺寸满足公差的要求。然后找出各条线的中心基准点。将相应的基准线连接后划出 3 条基准环线，环线在各个面必须保证连续以确保主屏壁波纹的连续性。环线确定后即可以此为基准，根据布置图的间隔数据划出各平面区域绝缘板安装的网格线，要注意每块绝缘板网格线的划线都应以环线为基准，避免累积误差。在划线过程中应尽量避免移动船舶或进行压载。如不可避免，则应在船舶移动或压载结束后进行复查；

(6) 楔块安装与螺柱焊接：楔块使用胶合板粘接固定在内壳板上作为后续绝缘板安装的参考基准。小螺柱焊接在内壳板上，为安装绝缘板提供压紧力及安装过程中的临时固定。这两者在绝缘板安装结束树脂固化后虽然保留但不参与围护系统的整体强度。楔块安装的最终目的是确保绝缘板安装后的层差满足要求。在安装楔块前，需要先确定货舱内每个面的基准平面，将平整度测量数据输入软件计算出每个楔块位置的高度（Dz）值，按照高度（Dz）值将楔块安装好，然后还需要用 3m 直尺进行全面检查，对 Dz 值不满足要求的位置进行调整，调整后每个楔块的高度应在周围的钢板上进行标记，以便楔块粘接不牢脱落后进行恢复。对于角区和三面体区域需要使用专用样板进行检查。在检验中除按上述方式对楔块与 3m 直尺或样板的贴合度进行检验外，还应对所有小螺柱的焊接进行目视检查、敲击试验以及抽查一定比例的拉力试验；

(7) 树脂机：树脂机在正式开始施工前需要完成运行试验。运行试验除常规的制作试样检测配比、硬度和虎纹外，还需要将所有类型的树脂实际涂布在各种类型的绝缘板并检查树脂涂布的状态满足要求，并进行按压试验以检测连接面积是否满足要求。运行试验中涂布的绝缘板类型应由各参与检验的相关方商讨后确定，但至少应包括普通平面绝缘板及直角、135°角绝缘板。运行试验验证合格后可正式开始绝缘板的树脂涂布工作，在连续施工过程中应按要求进行日常监测，并确保树脂机的相关参数满足工艺认可文件的要求；

(8) 绝缘板安装：绝缘板分为平面绝缘板、角区绝缘板（90°/135°）、三面体三种。绝缘板安装的原则顺序为：首先安装三面体，然后安装相应位置两面角绝缘板，再安装边界区域的平面绝缘板：

① 绝缘板开始安装前应确认具备以下条件：

- (a) 相应舱面的基准楔块和小螺柱焊接检验结束；
- (b) 环氧树脂自动涂胶机调试完毕；
- (c) 环境温度 15°C~35°C，相对湿度 70%以下。
- (d) 安装区域应保持清洁，无灰尘、油脂和锈迹等；
- (e) 内壳表面温度应保持在露点以上 3°C，无冷凝。

② 绝缘板在安装前应根据每块板位置处的楔块高度选择树脂涂布的类型，具体对应方式需参考专利公司文件。需要注意的是如果绝缘板安装区域的平整度局部差异较大（即绝缘板对应的多个楔块高度不相同），应视情况将绝缘板上的树脂涂布区域进行详细划分，以避免出现树脂类型偏小导致连接面不足或树脂类型偏大导致无法安装到位的情况。在安装过程中需要注意以下几点：

(a) 下斜面 and 底面安装完成后，需要做好相应的保护措施以避免由于物品掉落造成绝缘板损伤；

(b) 绝缘板紧固过程中严禁扳手超过允许的扭矩值；

(c) 在安装时应确保绝缘板在树脂开放时间内完成安装工作，若安装时间已接近最大工作时间，或者在绝缘板安装后不论如何调整均无法达到安装精度要求，不强行安装，在树脂未固化阶段将其铲掉，调整查明原因后再重新安装；

(d) 在绝缘板安装时，需特别注意避免将次屏壁污染，所有可能接触绝缘板的相关人员

应佩戴经污染试验认可后的专用手套，所有可能接触次屏壁的相关工具或物品也应通过污染试验认可；

(e) 如果绝缘板在树脂固化后发现绝缘板间的层差超标，可根据项目工艺认可中粘连允许的极限情况，在各相关方同意的情况下，采用压力毯测试的方式验证当前状态的压力是否能满足粘连工艺的要求，如可行则无需拆除绝缘板。

③ 绝缘板在安装时需通过机械手或绞车等工具协助将其靠近安装位置并缓慢穿过所有螺柱，保证绝缘板上的树脂与船体贴合，在安装过程中应注意避免树脂过早被挤压。然后使用扭矩扳手对绝缘板进行紧固。绝缘板及相关附件安装完成后应按层进行整体报验，检验中应关注以下几点：

(a) 层差：包括主绝缘层及次绝缘层，重点关注次绝缘层层差，确保满足后续粘连要求；

(b) 相邻绝缘板主层与次层的间距；

(c) 平缝块（Flat joint）/填缝泡沫件（Joint filler）/泡沫柱等附件的安装完整性，应注意填缝泡沫件边缘的溢胶应处理平整、光滑，避免因尖角凸起等缺陷对后续 FSB 粘连造成影响；

(d) 绝缘板 RSB 表面不应有污染、碰伤、分层等缺陷，如有应及时要求施工方按相关工艺要求进行处理；

(e) 绝缘板上锚固条的方向与图纸要求一致。

(9) 温度传感器安装检验：货舱内设置温度传感器，用以测量屏壁层间的温度，安装过程中应关注如下要点：

① 开孔位置应避免与加强结构发生干涉，不允许在船体焊缝上，并应尽可能避开船体结构肘板和其附近的高应力区域；

② 穿舱件电缆管和套管焊接后应进行无损探伤；

③ 电缆敷设应以弯曲或盘圈的型式加放余量（弯曲半径不小于厂家规定的值，通常不小于 6 倍电缆外径），以避免电缆热胀冷缩时造成损伤；

④ 距螺柱位置两侧 130mm 以上的区域为推荐的安装位置，并确保温度传感器安装位置不在两片 FSB 的搭接位置的正下方；

⑤ 安装过程中传感器在套管内插入量应根据专利公司提供数据为准，并应对电缆和传感器做好保护，以免造成损伤。

(10) 自动粘连：在自动粘连开始前，需确认粘连区域平面绝缘板及绝缘材料已安装报验完毕且自动粘连机已完成每日测试。为了提高施工效率，可允许粘连施工在绝缘板全部安装完成之前开始。需要注意的是，无论是手动粘连还是自动粘连开始施工后，直至 TBP 及 EOB 安装完成期间不能改变船舶的进出坞状态，要保证货舱整体受力状态的稳定性。自动粘连的顺序的基本原则是由货舱顶面至货舱底面，同一粘连区域内沿 Z 字路线进行施工。粘连完成后对该区域的溢胶需要进行打磨并破开气泡，在打磨时应小心谨慎，避免损坏次屏壁。对于第二层 FSB 的自动粘连，待胶水固化后只需要对末端盲区进行打磨，十字接头区域部强制要求打磨，但在粘连过程中应注意控制溢胶的厚度，不能影响后续的 TBP 安装。在自动粘连施工的整个过程中，自动粘连机每日施工前都需要进行日检，原则上每天每台自动粘连机日检合格后方可进行正式施工。如果急于施工，也可允许在日检结果确定之前开始施工，但如果日检结果不合格的话，则该自动粘连机当日所有的施工区域需重新返工。对于自动粘连的结果需要进行目视和圆棒测试，施工方需要对全部区域进行测试，但是一般在正式报验中，各检验方仅对十字接头区域进行圆棒测试，验收标准可参考专利方相关文件；

(11) 手工粘连：在施工前需确保粘连区表面保持清洁，施工区域的绝缘板安装完整性交验通过，手动供胶机日检项目合格。对于搭接区域，搭接处的粘连需要提前验收通过，并且将搭接处的溢胶进行打磨，打磨过程中应注意避免损坏已粘连的次屏壁。结合粘连搭接的

原则和实际工况标记处溢胶边界线，并沿溢胶线外围粘贴胶带，确保溢胶合格美观，并按粘连的工位尺寸裁剪 FSB：

- ① 粘连搭接的原则如下：
  - (a) FSB 接头搭接重叠部分长度为  $75\text{mm}\pm 5\text{mm}$ ；
  - (b) 两个搭接之间的最小粘连长度为  $200\text{mm}$ ；
  - (c) 搭接范围超出泡沫柱中心  $55\text{mm}$ ；
  - (d) 搭接之间或搭接与交叉之间最小距离为  $30\text{mm}$ ；
  - (e) FSB 边缘与绝缘板边缘距离为  $0-15\text{mm}$ 。

② 准备工作就绪后，根据粘连的面积计算胶水用量，计算好后按需求打胶，并在胶盘上记录出胶时间等信息。涂胶完成后承胶托盘上的胶水不能有剩余，胶水表面不应有气泡波纹等缺陷。将准备好的 FSB 缓慢展开至粘连区，确保 FSB 四周充分溢胶。最后按要求安装热压板并将压力调到 BPS 指定压力进行加热硬化。加热硬化达到要求时间后，热压板可拆除。如采用常温加压硬化方式，则硬化时间不少于 8 小时。在手工粘连施工中应注意在要求的时间内完成相关作业。PU15 胶水的出胶时间至粘连覆盖时间应  $\leq 10$  分钟，出胶时间至开始热压时间应  $\leq 15$  分钟。PU45 胶水的出胶时间至粘连覆盖时间应  $\leq 25$  分钟，出胶时间至开始热压时间应  $\leq 45$  分钟。粘连完成后应按层整体进行检验，验收标准可参考专利方相关文件。

#### (12) 角区连接梁（EOB）安装：

① 角区连接梁是一种预制件，由硬木组件和钢质角隅组成，粘连于相邻的角区绝缘板之间，以及角区绝缘板与三面体之间的次屏壁上。它使得各平面舱壁的角区主层绝缘完整并为主层薄膜提供固定点。相邻角区绝缘板间的角区连接梁宽度固定，三面体周围的角区连接梁宽度则因各个位置填充填充泡沫件的尺寸差异需要将实际测量的间隙值测量汇总后由产品生产厂家定制；

② 在安装角区连接梁之前，应确认安装区域清洁情况以及次屏壁粘连检验已完成（可接受在整舱次屏壁声音试验前安装角区连接梁或顶桥板，由施工方需要承担因此造成的返工风险），并用安装样板检查其下方涂胶的厚度是否满足要求；

③ 在安装时为便于控制层差，可在角区连接梁底部安装辅助弹性垫块。安装过程需要在胶水最大开放时间内完成。

#### (13) 顶桥板（TBP）安装：

① 顶桥板的施工前提条件与角区连接梁基本一致，但边界区域的顶桥板安装需要在相邻的角区连接梁安装完毕后进行。需要特别关注的是胶水中心区域需保持足够的厚度来填满因相邻绝缘板之间间隙造成的次屏壁的凹陷，因此胶水中心应略高于边缘，胶水用量应根据批准的工艺文件执行；

② 顶桥板的涂胶一般由自动涂胶机完成，特殊情况（如舷侧开口封堵区域）也可采用手工涂胶。涂胶机应完成初次使用前的功能试验（供胶机在同一货舱内不同层之间移动后也应进行功能试验）以及日常检验。为避免 TBP 在安装过程中出现缺胶，应在安装位置 FSB 中间有明显凹陷的区域预先进行手工涂胶，涂布应尽量光滑，无明显凸起或凹陷，且应保证涂布后胶水高度齐平于两侧 FSB 表面；

③ 在安装顶桥板时应仔细核查正面的锚固条、热保护方向和位置。为便于调整层差，应在背面粘贴弹性楔块。顶桥板安装结束后应检查溢胶情况，溢胶区应 100%溢胶，如有缺胶则不合格，但是溢胶超过槽高 50%时需及时清理。顶桥板整体安装完成后应按层进行检验，接受标准可参考专利方相关文件。

#### (14) 主层波纹板及连接件的安装与焊接：

- ① 在安装主层波纹板之前，需保证施工区域的热保护已经安装完成，主层绝缘、氮气

和氨气管路安装和检查完成。波纹板划线工作已经完成。焊接工艺评定已完成并将相关的焊接工艺规程张贴在施工区域处。安装的顺序由舱顶部向下进行安装，起始板应是无压肩的波纹板，然后依照图纸给出的搭接顺序，根据压肩的形式逐次进行安装，最后安装有四个压肩的封闭波纹板；

② 在安装过程中要注意区分波纹板加强的类型，普通波纹板、大波纹表面有肋拱的加强波纹板以及波纹内部带有加强结构的波纹板（需要安装内部加强结构的一定是带有肋拱波纹板）分别需要按照图纸要求进行安装，尤其应注意不能将普通波纹板误装至需要加强的位置。波纹板安装到位后使用点焊将其固定在锚固板条上或者搭接的波纹板上，装配时要重点关注搭接的间隙应尽可能小，如果间隙超差应使用适当的工具（例如橡胶锤子或塑料凿子等）进行调整。过大的间隙会导致无法使用自动焊接设备，且极易出现各种焊接缺陷；

③ 在边界波纹板安装结束后，进行角部连接件的安装。在安装时同样需要关注连接件的安装搭接间隙。根据不同连接件的类型，确定搭接量满足公差要求，具体公差要求需参考专利公司文件；

④ 波纹板与连接件整体焊接完成后，应逐层进行 100%目视检验，常见缺陷及接受标准需参考专利公司文件。考虑到波纹板焊接检验标准中对缺陷的判定精细度要求较高，在检验中必须利用安装平台或适当的辅助工具做到尽可能的近观检验，检验中使用的手电光应柔和和不刺眼，必要时可使用放大镜等工具来协助判定。对于缺陷一般采取的修理方式包括抛光、打磨、重熔、原焊缝打磨清除后加丝补焊等。对于严重的缺陷如电弧击伤、砸伤或母材已严重氧化等情况需采用局部补丁的形式进行修补。

(15) 喷淋管安装检验：喷淋管的制作一般在内场车间内完成，连接方式为套管连接。船上安装时应关注以下要点：

① 套管的装配和焊接应满足相关认可的工艺文件；

② 船上安装时应注意喷嘴方向，液穹下方特殊喷嘴应向斜上方，除液穹区域外，喷嘴方向应向斜下方安装，避免直接喷射到波纹板上；

③ 船上安装时应注意管支架与焊接套管、喷头之间的距离，避免喷淋管在收缩/膨胀时被管支架卡阻；

④ 喷淋管的滑动试验，上紧管支架螺母后，进行滑动试验，验证喷淋管因收缩/膨胀的滑动顺畅无卡阻，以及足够的滑动距离；

⑤ 焊接固定管支架后，对所有螺母进行电焊封固，以免脱落。

(16) 充装透气帽安装检验：充装透气帽液货舱内无隔开的蒸气存留死角的措施，布置在气穹两侧及液穹区域，由管路相连形成互联互通空间，充装透气帽船上安装及检验要点如下：

① 充装透气帽环形板、围板立板与不锈钢嵌板一般为预制件，不锈钢嵌板与船壳内板的焊接应满足认可的工艺，并应对焊缝进行无损探伤；

② 穿舱件一般为预制件由主管、次管、圆板与封板组成，安装前需在封板底部粘连刚性次屏壁。刚性次屏壁粘连前应检查不锈钢封板表面清洁及粗糙度，并根据认可的粘连工艺规程完成刚性次屏壁粘连，粘连结束后使用真空箱进行检查；

③ 将聚氨酯泡沫安装在次管周围后，将穿舱件插入到不锈钢嵌板孔中可使用撑杆临时固定，绝缘板与聚氨酯泡沫之间缝隙填充玻璃棉。对于穿舱件的定位，应保证绝缘板与粘连到封板上的刚性次屏壁之间的最大层差满足工艺要求（一般不超过 1mm）；

④ 围板立板空间内填充玻璃棉，围板盖板套入主管进行焊接，检查穿舱件的位置和角度满足工艺要求后，将围板盖板焊接到环形板上。应注意围板盖板与环形板焊接时填充热保护，以保证在焊接时不损坏玻璃棉。所有焊接结束后应进行着色探伤检查；

⑤ 在主管和围板盖板上焊接肘板；

⑥ 手工粘连保证次屏壁的完整性，施工要点参见本节(11)部分的要求；

⑦ 安装顶桥板，施工要点参见本节(13)部分的要求，应注意安装过程中，确保顶桥板安装的胶水与穿舱件端部不发生接触，并目视检查以确保没有胶水流入穿舱件管路造成堵塞；

⑧ 根据波纹板安装标准工艺流程进行主屏壁不锈钢波纹板的焊接。在穿舱件管路周围的波纹板安装完成后，角部件先定位焊而后连续焊到波纹板和穿舱件上。波纹板焊接及检验参见本节(14)部分的要求。

(17) 气穹安装检验：气穹基座与筒体在厂家完成预制，安装时检验要点如下：

① 不锈钢嵌板和气穹基座的定位安装通常在围护系统划线结束后进行，以保证气穹的安装精度，不锈钢嵌板焊接结束应进行探伤检查；

② 透气装置吊装之前，需要完成透气装置的发泡泡沫的喷涂和修切，同时需完成低温膨胀节固定装置的安装；

③ 借助定位工装确定支撑透气装置的环形胶合板径向的切修量满足专利公司工艺要求；

④ 次层封板与透气装置之间采用连续焊，并在焊后进行染色渗透试验。次层封板需在封板底部粘连刚性次屏壁。刚性次屏壁粘连前应检查不锈钢封板表面清洁及粗糙度，并根据认可的粘连工艺规程完成刚性次屏壁粘连，粘连结束后使用真空箱进行检查；

⑤ 透气装置在吊装前在环形胶合板顶面涂布树脂条或树脂圆饼，而后吊入透气装置，并在第二支撑环板处对透气装置进行焊接，焊后进行染色渗透试验。透气装置安装时应关注安装方向；

⑥ 气穹区域绝缘板的安装可以在透气装置吊入前进行，也可以待吊入完成后再开始，绝缘板的安装过程及检验要点参见本节第(8)部分的要求；

⑦ 气穹区域柔性次屏壁采用手工粘连的方式施工，检验要点参见本节(11)部分的要求；顶桥板的安装参见本节(13)部分的要求，安装过程中需要注意确保顶桥板安装的胶水不会流入顶桥板的预留开孔中；

⑧ 中心不锈钢封板与主屏壁的焊接参见本节(14)部分要求。在中心不锈钢封板与气穹透气装置垂直相交处，安装角部件，角部件与不锈钢封板以及透气装置焊接处均采用连续焊。焊缝需要目视检查，然后在主屏壁密性试验期间再次确认焊缝的密性；

⑨ 气穹盖下方区域发泡泡沫喷涂与切修完成后，气穹盖安装时螺栓应按照垫片供应商规定的扭矩紧固，并使用螺栓供应商规定的润滑剂。

(18) 密性试验：所有货物围护系统相关的密性试验应按照批准的试验大纲进行，所有试验均应有具有资质的人员进行操作。任何试验的过程中要保证次层绝缘空间至主层绝缘空间以及主层绝缘空间至货舱内的压差不能超标，并配有相应的监控及安全措施。试验方法主要包括：主屏壁氨气试验、次屏壁声音试验、次屏壁密性试验(SBTT)、主屏壁整体测试(PBGT)、氨气试验、真空箱试验。各试验的应用范围及检验中注意要点如下：

① 主屏壁氨气试验用于检测主层波纹板的整体密性，其原理是在主层绝缘空间中充入一定浓度的氨氮混合气体，并对货舱内部及次绝缘空间（避免氨气因次屏壁渗漏进入次层绝缘）均保持一定的正压。同时在货舱内喷涂显示液（酸碱指示剂），通过泄漏的氨气与指示剂发生反应来检测泄漏位置。整个过程大致可分为4个阶段：

(a) 首先需要将主、次绝缘空间充入干燥的氮气，避免氨气被水气吸收；

(b) 然后进行3个循环的机械应力试验，目的是检测焊缝薄弱的位置及大的泄漏，确保在注入氨氮混合物气后不会突然产生较大的泄漏；

(c) 再次进行氨氮混合气的注入，在货舱内应按要求预留取样点，在取样点发生反应后证明该区域的氨气浓度满足试验要求，即可开始在货舱内被检测区域喷涂显示剂；

(d) 最后在所有区域检测完毕后将主绝缘空间重新氮化直至氨气浓度小于1000ppm。

所有泄漏点都应被记录并按要求进行修复，如果在测试过程中发现的主层膜泄漏数量高于 4 个/1000 m<sup>2</sup>，则应考虑进行第二次氦气试验。

② 次屏壁声音试验目的是测试次屏壁整体密性。每个货舱需进行两次试验，分别在粘连施工全部完成后和主层绝缘箱（TBP 及 EOB）全部完成后。在粘连完成阶段的试验除特殊情况外，应确保没有遗留的修补工作。试验过程是将次绝缘空间抽真空至-500mbar（相对于货舱内压力）后，停泵关阀，并记录试验期间次层绝缘空间压力上升情况，同时舱内检验人员用耳朵仔细听取舱内所有次屏壁的位置是否有因泄漏产生的声音，具体试验循环的次数和时间应按照批准的大纲进行。对于试验结果的判定，没有听到明显的泄漏声音即可认为试验合格。遇到压力上升过快的情况，一般应首先检查货舱各个管路及阀门的密封情况。次绝缘空间压力上升情况应作为试验的参考，但不应作为判定试验是否合格的因素。但对于压力上升明显异常的情况应予以重视，并仔细分析产生的原因，避免在最终 SBTT 试验中压力上升指标不满足要求；

③ 次屏壁密性试验作为次屏壁完整性的最终测试，在整舱完工后（气试前）以及交船前各进行一次，在营运中也需要进行定期测试以确认次屏壁的密性情况。其中在交船前进行的试验所得到的数据将作为船舶在运营中对次屏壁进行评估的参考依据。其试验过程是将次层绝缘空间抽真空至-530mbar，然后记录其压力变化情况，根据记录的相关数据经过相关计算后来判断试验是否满足要求，试验过程中需要记录的数据及最终结果的计算、核定需遵循批准的试验大纲及专利公司技术文件；

④ 主屏壁整体测试在氦气试验结束后开始直至封舱的目的是确保货舱在波纹板整体完工后、安装平台拆除过程中以及舷侧开口封闭这三个阶段内主屏壁的密性能始终保持完整。测试的主要过程是将主、次层绝缘空间抽真空至-800mbar，停泵关阀后记录压力上升的情况，在安装平台拆除的过程中以 24 小时为周期重复进行。注意在抽真空的过程中要注意控制主、次层之间的压差不能超差；

⑤ 真空箱试验主要用于检测主、次屏壁局部的密性，其原理与检测方法与船体结构检验常用的真空试验基本一致，需注意喷涂的检测液需要经过认可；

⑥ 氦气试验与 NO 96 型围护系统中对殷瓦钢检测所使用的方法一致，在 MARK III 型围护系统建造检验中主要应用于液穹 U 型钢的位置。

(19) 泵塔制作及安装检验：泵塔集货物驳运泵、燃料输送泵、扫舱/喷淋泵于一身，并兼具取样、测深等功能，是货物操作系统重要的组成部分。其制作及安装检验要点参考第 5 章第 3 节 5.3.2 的要求；

(20) 舷侧开孔封堵：舷侧开孔区域的施工以氦气试验为界分为两部分。氦气试验之前，完成临时材料的安装。氦气试验之后，首先完成开孔处船体结构的封堵，各项检验完成后将临时封堵材料拆卸，注意在拆卸过程中要避免损坏周边已经施工完成的绝缘板及次屏壁，最终按前序提到的围护系统施工的各个步骤完成开孔处的最终封堵，与普通区域不同的是，该阶段由于自动设备均已移出舱外，所有步骤均需使用手工方式完成，如绝缘板安装和顶桥板安装中，需要手工涂胶，次屏壁粘连和主层波纹板焊接也均采用手工方式。主、次屏壁的密性采用真空箱的方式验证；

(21) 最终检验：在主层薄膜氦气试验结束之后，即可开始安装平台的逐层拆除。在拆除的过程中需要保持 PBGT 监控，以便能及时发现拆除过程中的损伤。每层拆除结束后应进行检验，检验中重点关注主层薄膜清洁状态以及是否有损伤。如在拆除过程中，如发现主层薄膜缺陷，需制定修理方案经各方同意后予以修补。在修补过程中要首先解除 PBGT 监控状态，将主层绝缘空间恢复至常压，修补施工及相关检验结束后继续拆除施工前首先应启动 PBGT 监控；

(22) 巡检：在货物围护系统的施工过程中，除了在必要的停止点进行检验外，还需要

合理的安排日常巡检工作，巡检对整个货物围护系统的质量控制起到非常重要的作用。在巡检的过程中除了按常规要求核查各项施工满足审批图纸及相关工艺文件的要求外，应重点关注环境的温度、湿度等因素满足相关的要求。MARK III 型货物围护系统施工的各个阶段对于货舱内的清洁均提出了较高要求，应随时关注舱内施工区域的清洁状态，发现隐患应及时要求施工方整改。各设备的日常检验结果也应在巡检中予以核查确认，通常需要进行日检的项目可参考如下要求，具体各项目中实际的检验要求应按工艺认可文件及专利公司相关要求

- ① 小螺柱每日试验：螺柱焊机每天施工前需焊接螺柱试样，完成外观、声音、拉力、弯曲试验；
- ② 树脂机每日试验：树脂机每天每次开机时，需要做树脂试样，完成树脂配比、硬度和虎纹试验；
- ③ 树脂机每小时试验：树脂机施工过程中，每小时做一次虎纹试验和折断试验；
- ④ PU45/PU15 胶机每日试验：每天每次开机时，需做试样完成配比、硬度和虎纹试验；
- ⑤ PU45/PU15 胶机每小时试验：使用过程中，每小时做一次虎纹试验；
- ⑥ 粘连产品试验（dummy test）：粘连试样是一块在绝缘板厂家预制的 RSB，随绝缘板产品一起发货至施工现场。在每个区域粘连施工开始前，需使用 FSB 与该试样粘连，固化后进行剥离试验，以证明该区域绝缘板在生产、运输、存储过程中 RSB 未被污染，满足粘连施工的要求；
- ⑦ 自动粘连机每日试验：每天在施工前完成粘连试样的制作，固化后进行剥离试验；
- ⑧ 顶桥板胶机每日试验：每天每次开机前，需做试样完成配比、硬度和虎纹试验；
- ⑨ 顶桥板胶机每小时试验：在使用过程中，每小时做一次虎纹试验；
- ⑩ 自动焊机每日试验：每天施工前，需制作试样并完成外观检验和金相检验（金相检验试验周期在施工过程中在各检验方同意后可按专利公司相关要求进行调整）。

### 4.1.3 NO 96 L03+货物围护系统

4.1.3.1 NO 96 L03+货物围护系统是 NO 96 L03 货物围护系统的升级版，进一步降低蒸发率，蒸发率从 0.105%-0.11%降到 0.1%，NO 96 L03 货物围护系统局部结构，如图 4.1.3.1(1) 所示，NO 96 L03+货物围护系统局部结构，如图 4.1.3.1(2)所示。

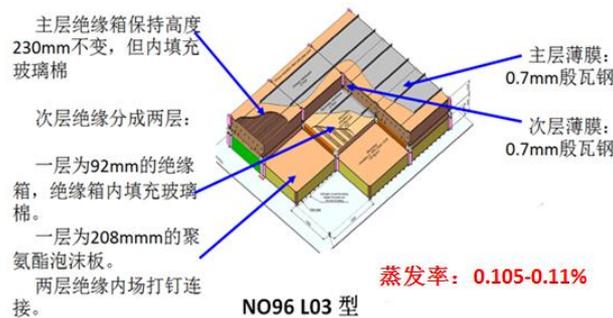
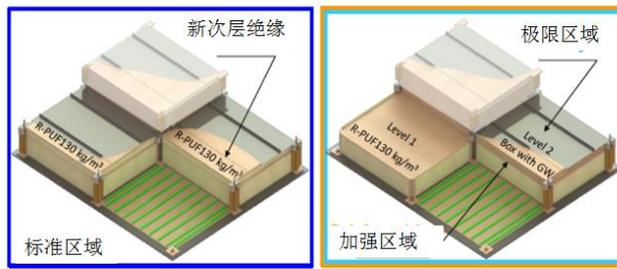


图 4.1.3.1 (1) NO 96 L03 货物围护系统

蒸发率0.1%



NO96 L03+标准箱

NO96 L03+加强箱

图 4.1.3.1 (2) NO 96 L03+货物围护系统

#### 4.1.4 NO 96 MAX 货物围护系统

4.1.4.1 NO 96 MAX 货物围护系统相对于 NO 96、NO 96 L03、NO 96 L03+等货物围护系统，通过结构优化设计，增加结构强度、降低热效率，进一步降低蒸发率到 0.09%。在结构上的主要改变是绝缘箱的结构型式、材料及填充的绝缘材料种类，绝缘箱底板使用了复合材料，顶板使用了中密度木板，绝缘箱内部结构由加强隔板改成了立柱，取消了四面围板，次层绝缘箱在四个角采用标准桦木胶合板加强块，主层绝缘箱在四个角采用低密度板加强块。绝缘箱内填充材料使用玻璃纤维，每层厚度不大于 50mm。NO 96 MAX 货物围护系统如图 4.1.4.1 所示。

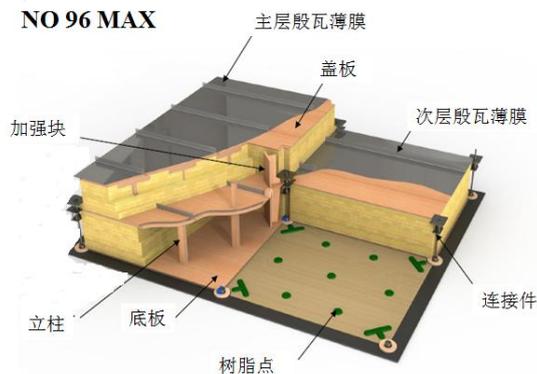


图 4.1.4.1 NO 96 MAX 货物围护系统

#### 4.1.5 NO 96 GW 货物围护系统

4.1.5.1 NO 96 GW 货物围护系统相对于 NO 96 货物围护系统，主要变化是将绝缘箱内填充的珍珠岩改为玻璃棉（Glass Wool），降低蒸发率到 0.125%。

#### 4.1.6 NO 96 Super+货物围护系统

4.1.6.1 NO 96 Super+货物围护系统是新一代货物围护系统，主要由 NO 96 L03+演变而来，重要结构变化是使用双层聚氨酯泡沫绝缘层，绝缘板（Panel）间插入玻璃棉平接头（Glass Wool Flat Joint），将蒸发率进一步降低到 0.08%。NO 96 Super+货物围护系统局部结构，如图 4.1.6.1 所示。

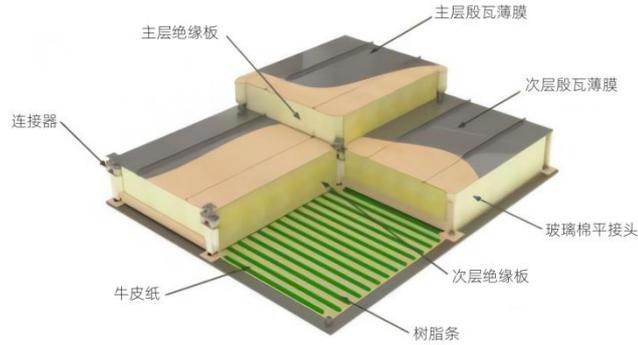


图 4.1.6.1 NO 96 Super+货物围护系统

#### 4.1.7 GTT NEXT1 货物围护系统

4.1.7.1 GTT NEXT1 货物围护系统由一个完全冗余的薄膜和绝缘系统组成，直接由船体的内壳支撑。它包括两层独立的金属薄膜和两层绝缘材料。直接与货物接触的主屏壁是一种波纹不锈钢膜，采用了 GTT 的 Mark III 技术，次屏壁采用了 Fe-36%Ni 合金薄膜(殷瓦钢)，实现了 NO 96 围护系统次屏壁的密封功能。蒸发率降低到 0.07%，是 GTT 最新一代货物围护系统，如图 4.1.7.1 所示。

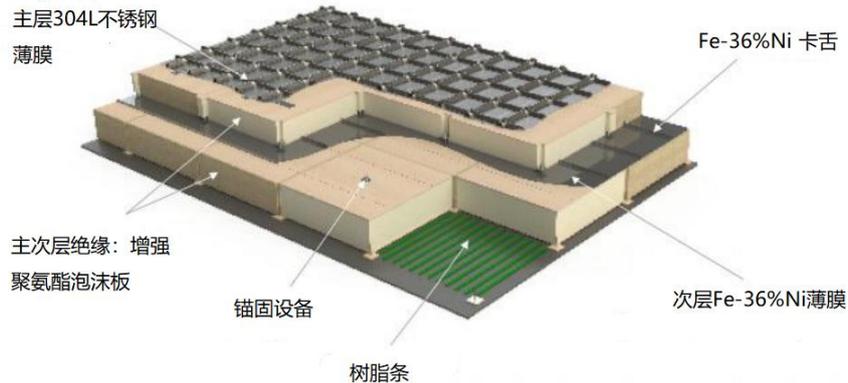


图 4.1.7.1 GTT NEXT1 货物围护系统

## 第 2 节 C 型独立液货舱

### 4.2.1 概述

4.2.1.1 C 型独立液货舱（亦称压力容器）“简称 C 型液罐”系指符合压力容器标准，且设计蒸气压力应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和压力容器相关标准的要求。

### 4.2.2 焊接工艺评定

4.2.2.1 所有 C 型液罐壳体及管路的焊接接头应进行焊接工艺评定，试验按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 6 章的相关要求进行。

4.2.2.2 板材对接焊缝焊接工艺试验项目：

(1) 焊缝横向拉力试验；

(2) 焊接横向弯曲试验（正弯、反弯或侧弯），母材和焊缝金属强度等级不同级，可纵向弯曲代替横向弯曲；

(3) 每组 3 个夏比 V 型缺口冲击试验，其中：

① 焊缝的中心线；

② 熔合线（F.L）；

③ 在热影响区，距熔合线 1mm；

④ 在热影响区，距熔合线 3mm；

⑤ 在热影响区，距熔合线 5mm。

(4) 对接焊缝要做宏观断面、微观断面及硬度测定检验；

(5) 熔敷金属拉力试验；

(6) 母材上还要截取一组 3 个夏比 V 型缺口冲击试验，作为对比。

4.2.2.3 板材对接焊缝焊接工艺试验要求：

(1) 拉力试验：一般焊缝金属的抗拉强度 $\geq$ 母材最低抗拉强度；若焊缝金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度，则 CCS 可要求焊缝的横向抗拉强度 $\geq$ 焊缝金属的最低抗拉强度，且不低于设计规定的强度。上述每种情况应提供试样破断位置报告以备查；

(2) 弯曲试验：除 CCS 特别要求或同意，试样经直径为 4 倍试样厚度的弯芯弯曲 180°后，不应断裂。受拉表面不应出现 3mm 以上的张开型缺陷；

(3) 冲击试验：试验温度-196℃，最小平均冲击值 $\geq$ 27J。如果材料厚度小于 5mm，则试验方法和验收标准应符合公认的标准。

4.2.2.4 管材的焊接工艺试验：管材的焊接工艺试验与板材的规定相似，除 CCS 特别批准外，试验项目及要求同 4.2.2.2、4.2.2.3。

4.2.2.5 经评定的焊接工艺应能代表每种母材、每种焊接材料、每种焊接方法、每种焊接位置等。

4.2.2.6 焊工资格证书

(1) 焊工考试应按照 CCS《材料与焊接规范》第三篇第 4 章的相关规定进行；

(2) C 型液罐焊工考试的类别归为船用锅炉压力容器焊工。

4.2.2.7 主要原材料确认

(1) 核查原材料是否经 CCS 认可；

(2) 审核原材料制造厂的产品质量证明书，确认材料的牌号、技术标准、规格等与审批图纸及技术文件要求一致；

(3) 焊接材料应经过 CCS 认可，现场确认焊接材料质量证明书的符合性。

### 4.2.3 C 型液罐及部件

4.2.3.1 C 型液罐制造过程检验

(1) 下料过程检验：

① 应确认钢材的炉批号和牌号，关注在所有壳体部件上的钢板炉批号等标识移植；

② C 型液罐罐体结构及管系部分均应经过放样，根据图纸尺寸和工艺要求进行展开，并根据加工制造需要，制作各类样板、样棒或样箱；

③ 钢板调运时应考虑不破坏钢板的性能，如 C 型液罐制造壳体材料为 9Ni 钢时，应禁止使用电磁铁吸盘；

④ C 型液罐罐体结构中为控制焊接变形，壳体展开时加放适当的收缩余量，以保证制作完成后 C 型液罐罐体直径满足公差要求；

⑤ C 型液罐封头球瓣展开时直径需加放适当的焊接收缩余量，并在直边段加放一定的余量，以满足与 C 型液罐罐体直径的配合及 C 型液罐罐体总长度；

⑥ 管系部分按放样展开尺寸，在相应部位加放必要的加工余量后再切割。

(2) 加工过程检验

① 封头瓣片的曲面加工，采用压模、冷加工成型，成型后球瓣的径向曲率均用弦长不小于 2500mm 的不变形样板或样箱检查，任何部位的接触间隙应小于 3mm；

② 如封头瓣片需先拼后轧，其连接焊缝应按图开坡口，按相应的工艺进行装配。焊接及检验合格后，磨平再轧曲面；

③ 瓣片加工成形后，在立体胎架上(用激光经纬仪)划线，切割余量和焊接坡口；

④ 壳体轧圆后用样板及对角线来测量；

⑤ 人孔法兰及泵法兰一般采用机加工以保证法兰面精度；

⑥ 人孔及泵管的法兰与其筒节之间的角焊缝若影响到螺栓安装，则应适当机加工去除多余焊缝。

(3) 单件建造过程检验

① 球形封头组装：

(a) 球形封头的球冠（顶圆板部分）分别在碗形胎架上建造；

(b) 球台部分（下部环圆瓣片）分别在平置胎架上建造；

(c) 球形封头的胎架尺寸应与封头放样尺寸一致；

(d) 带有球形封头和分段筒节的小分段在拆离胎架之前，应在开口处设置假隔舱或适当加强以防止变形。

② 壳体：壳圈由弧型板垂直组装，开口处按实际需要（吊运，开孔等情况）设置临时支撑，以防止变形；

③ 气室部分：

(a) 气室由气室封头和两节气室筒节组成，每节气室筒节由一块板轧全圆后组焊；

(b) 气室封头先与上气室筒节组装一体，然后在封头上定位安装人孔、泵管及其他管子；

(c) 通常气室封头应按热处理工艺要求进行整体热处理。

④ 集液井封头与其筒节组成一体后再与 C 型液罐筒节组装。

(4) 整体建造过程

① 分段组装检验：

(a) 壳圈与壳圈、封头与壳圈、壳圈与纵隔舱均采用垂直合拢。在相应的壳圈内，预先吊装真空环及安装支座加强圈等内外结构；

(b) 在平整、坚固场地处的平面胎架上，以壳圈左（或右）截面为基准，垂直吊装纵隔舱、壳圈和封头，形成三个总段，在壳体上定位安装与壳体的局部组合，并安装支承鞍座等结构。

② 大合拢检验：

(a) 组装大接头前，在各总段内可先放入及安装管系附件平台、扶梯、吊入大件；

(b) 在胎架上卧式对接总段。

③ 气室开孔检验：

(a) C 型液罐罐体大合拢接头全部焊接检验合格完毕；C 型液罐分段进行尺寸测量，并全部满足图纸和工艺要求；

(b) C 型液罐分段整体与总装胎架固定完毕，不允许再有调整；分段结构“零度线”应保持固定不变。

(5) 焊前检验要求：

① 产品焊接工艺应严格按照根据工艺评定试验的结果所制定的“焊接工艺规程”执行；

② 对接焊坡口两侧应打磨清洁去除氧化皮油污及其他污物；

- ③ 定位焊、装配点焊等辅助焊接均须采用与正式焊接相同的焊接工艺和焊材；
  - ④ 严禁电弧闪击，应禁止在焊接弧坑和母材表面处引弧。若发现上述情况就应打磨去除；
  - ⑤ 双面对接焊，在反面清根打磨后，需做表面着色探伤，合格后方可继续进行施焊；
  - ⑥ 每层焊道的起弧和熄弧点应仔细打磨、清理，以保证焊缝质量，防止裂纹产生；
  - ⑦ 对接焊所用的焊接辅助材料，如“引弧熄板”、“连接板”、“排”、“马”等应与对应的母材焊材相一致。引弧板、熄弧板具体要求如下：
    - (a) 厚度与相连接的本体板材厚度相当；
    - (b) 材质与相连接的本体板材相同；
    - (c) 坡口与相连接的焊缝要求相同；
    - (d) 当产品焊缝形成 T 字焊缝时，不需加引弧板或熄弧板；当形成封闭焊缝时，不需加引弧板或熄弧板；此外，在试板位置不需加引弧板或熄弧板。
  - ⑧ 第一次焊缝返修应严格按照焊接工艺规程；多次返修前，制造厂应以书面形式告 CCS，视情况解决；
  - ⑨ C 型液罐罐上所有接管补强板、马脚的焊接应预留缺口，待焊缝冷却后封焊完毕；
  - ⑩ 不等厚板对接的削斜要求：当焊接厚度差大于薄板厚度的 25% 或大于 3mm 的钢板时，应将较厚板斜切至较薄板的厚度（从坡口边沿斜切），斜切角最大为 15°。
- (6) 产品焊接试板
- ① 根据 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》及 IGC 规则要求，焊接生产试板的数量原则上为每 50m 长的壳体对接焊缝应布置一副焊接试板，试板宽度：300mm（150×2），试板长度：700mm；试板材料级别与所对应位置的母材相同，厚度相差不得超过母材板厚的 15%，最大不超过 3mm。对全焊透“Y”型节点，每 50m 制作试板并进行试验，按角焊缝的工艺试验进行；
  - ② 试板的分布应能代表各个焊接位置；
  - ③ 产品焊接试板应作为罐体焊缝的一段延长部分，材质应与 C 型液罐罐体母材相同，且与 C 型液罐罐体焊缝采用相同的工艺和位置一次焊好，或装配在尽可能靠近所代表的焊缝位置，在与 C 型液罐罐体焊缝相同的条件下施焊；
  - ④ 试板焊缝的检验要求相同于其所代表的焊缝，经检验合格后且经验船师确认（钢印标记）后，方可与 C 型液罐罐体焊缝分开；
  - ⑤ 经检验认可的合格试板应进行机械性能试验，根据 CCS 规范要求进行：
    - (a) 接头横向拉伸 1 只；
    - (b) 正反弯各 1（采用导向弯曲方法测试）；20mm 以上可用 2 个侧弯代替；
    - (c) 2 组冲击，每组 3 个；焊缝中心 1 组，熔敷线处 1 组；
    - (d) 断面宏观检查 1 只；
    - (e) 熔敷金属拉伸 1 只；
    - (f) 生产试板所有检验及性能试验合格并经 CCS 认可后，方可进行下道工序施工。
  - ⑦ C 型液罐的整体检验，长度和直径应保证正公差，最终交货前 C 型液罐的总容积必须不小于理论规定要求，具体要求如下：
    - ① C 型液罐罐体结构：
      - (a) C 型液罐罐体结构从放样、下料、加工、焊接等各个主要过程均需由制造厂质检人员按图纸及工艺要求检验确认，其中一些关键项目还需经 CCS 验船师及船东代表的认可（详见经确认的液罐质量控制计划）；
      - (b) C 型液罐罐体制造允许公差按 CCS 规范、GB150 及设计公司文件要求，如图 4.2.3.1(1)所示，并且：

a. 封头与筒体接缝处的公差要求：拼缝处  $h_1$  和封头处  $h_2$  应满足设计公司要求，如： $h_1 \leq 2\text{mm}$ ； $h_2 \leq 5\text{mm}$ 。

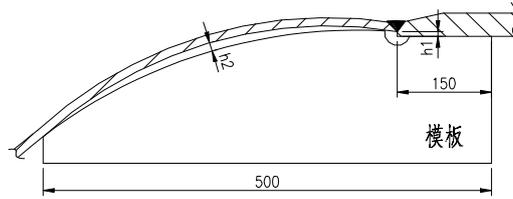


图 4.2.3.1 (1) C 型液罐罐体偏差示意

- b. 对接焊缝错边量检查，错边量  $b$  ( $t$  为最大的板厚) 应满足专利公司要求，如：
- (i) 封头拼缝  $b \leq 0.1t$  且  $b \leq 3 \text{ mm}$ ；
  - (ii) 筒体纵缝  $b \leq 0.1t$  且  $b \leq 3 \text{ mm}$ ；
  - (iii) 筒体环缝  $b \leq 0.1t+1 \text{ mm}$  且  $b \leq 4 \text{ mm}$ ；
- c. 筒体对接焊缝棱角  $E$  检查：
- (i) 对筒体纵缝凹凸棱角的检查采用弦长  $\geq 500\text{mm}$  的内或外样板检查， $E \leq 5\text{mm}$ ，参见图 4.2.3.1(2)：

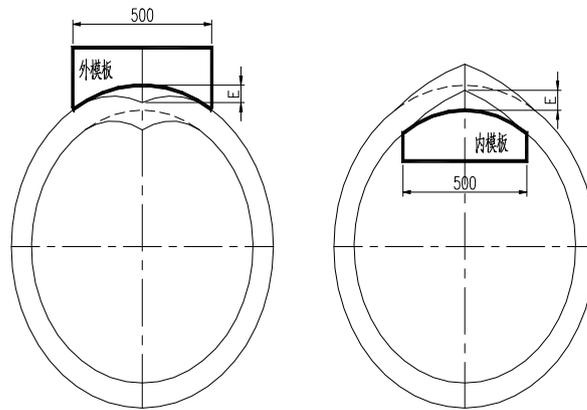


图 4.2.3.1 (2) 筒体对接焊缝偏差

- (ii) 对筒体环缝凹凸棱角的检查采用长度  $\geq 500\text{mm}$  的直尺检查  $E \leq 5\text{mm}$ ，参见图 4.2.3.1(3)：

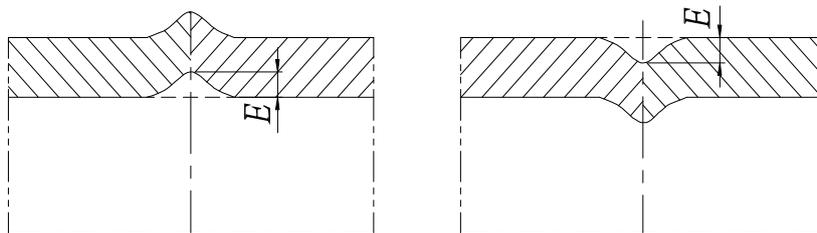


图 4.2.3.1 (3) 筒体环缝棱角

(c) 筒体的直线度，沿液罐长度方向，每米内的直线度不超过  $1\text{mm}$ ，筒体总长的直线度不超过筒体长度的  $0.5\%$ ；

(d) 筒体的圆度，C 型液罐装配完成后，沿筒体长度方向，最大不超过 2 米的间距应测一次筒体的圆度。通过所测得的周长尺寸应满足专利公司要求，如换算出筒体平均外径偏差不应大于理论尺寸的  $\pm 1.0\%$ ，且筒体圆度：

$$U = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \leq 2.0\%$$

(e) 此外，筒体上局部的凸起和凹坑应在公差允许的范围以内，凸起和凹坑与其周围区域应平滑过渡，且凸起和凹坑的深度（即偏离正常曲线的尺寸）应不大于该部位的长度或宽度的 1%；

(f) 气室封头和集液井与筒体之间的连接，在焊后热处理完成后，在气室封头和集液井与筒体连接区域的最大允许变形应符合制造厂的工艺文件规定；

(g) C 型液罐罐体主尺寸建造公差应满足专利公司要求，如：

- a. C 型液罐直径：+15mm/-0mm；
- b. C 型液罐外壁总长：+40mm/-0mm；
- c. 气室中心到尾封头外侧距离±20mm；
- d. 固定支座和活动支座间距离±10mm；
- e. 座架垂直度偏差：
  - (i) 固定座架：±5mm；
  - (ii) 活动座架：±10mm。

② 焊接检验：

- (a) C 型液罐所有焊缝均需通过外观检验；
- (b) C 型液罐焊缝无损探伤位置和抽样比例，见表 4.2.3.1。

C 型液罐无损探伤位置和要求

表 4.2.3.1

序号	焊缝位置	检验方法			
		RT	UT	PT	VT
1	C 型液罐壳体（包括封头）对接焊缝	100%		10%	100%
2	气室，集液井和人孔对接焊缝	100%		10%	
3	泵管对接焊缝（罐外部分）	100%		10%	
4	C 型液罐罐外管系（管子、法兰、弯头、异径管等）的对接焊缝	100%		10%	
5	纵膈舱与壳体的“Y”型全熔透焊缝		100%	10%	
6	纵膈舱壁板的对接焊缝		10%	10%	
7	气室、集液井与筒体的“T”型焊缝；人孔、泵管与气室的“T”型焊缝		100%	10%	
8	甲板罐接管和壳体之间的“T”型焊缝		100%	100%	
9	气室接管和封头之间的“T”型焊缝		100%	100%	
10	加强环腹板对接焊缝		10%	10%	
11	加强环面板对接焊缝		10%	10%	
12	泵法兰与泵管、人孔法兰与筒节的“T”型焊缝		100%	100%	
13	吊码及补强板与壳体的角焊缝			100%	
14	补焊返修、临时卡具马脚的焊缝或其他误操作产生焊缝			100%	
15	开孔或接管处补强板的角焊缝			100%	
16	上述之外的角焊缝			10%	
17	所有全熔透焊缝背面清根			100%	
18	液压试验之后所有壳体板对接焊缝		10%		

注： RT- 射线探伤 UT- 超声波探伤 PT- 着色 VT- 肉眼检查

③ 无损探伤试验标准及焊缝质量评定标准:

(a) 执行标准

a. RT: EN 1435、NB/T47013 等公认的标准;

b. UT: EN ISO 17640、NB/T47013 等公认的标准;

c. PT: ASME 、NB/T47013 等公认的标准;

(b) 评定标准

a. RT: ISO5817-B、NB/T47013 等公认的标准, 另要求不允许存在裂纹、未熔合、未焊透等缺陷;

b. UT: ISO5817-B 级、NB/T47013 等公认的标准, 另要求不允许存在裂纹、未熔合、未焊透等缺陷;

c. PT: ASME-V 第 6 章、NB/T47013 等公认的标准;

(c) C 型液罐焊缝经以上检验不合格, 应及时返修至复探合格;

(d) 对于本指南未提及的尺寸公差应按照 GB/T19804 的“B”级要求执行。

④ 平台、扶梯等附件的安装:

(a) 材料应满足要求;

(b) 平台扶梯可先行拼装成组件后在 C 型液罐罐内安装;

(c) C 型液罐内部所有的铁舾件连接应使用焊接或等效方式固定。

⑤ 管系安装:

(a) 对于较长及直径大管子可在大合拢前放入 C 型液罐罐内待装;

(b) 部分管系及马脚可在大合拢前预装;

(c) 所有管系进 C 型液罐罐前需用三防布进行包扎后方能进罐。罐内进行电焊、碳刨施工时如附近有管子还需用布盖一层;

(d) 气室安装到 C 型液罐罐体上以前, 所有外露管口须用三防布包裹; 法兰面用塑料堵头保护, 以防止损坏或电弧击伤;

(e) 具体要求可参见第四章货物处理系统管系检验要求。

⑥ 支承鞍座及防浮装置的硬木胶粘:

(a) 固定和活动支承鞍座及防浮装置上承压木块, 应在液压试验前胶粘完成;

(b) 承压木块及胶粘剂均应由供应商派员现场指导。

#### 4.2.3.2 C 型液罐容积测量及清洁度检查

(1) C 型液罐制造完工后, 应对 C 型液罐容积进行测量; 并对 C 型液罐清洁度进行检查。上述测量及检查应由具备资质的第三方按要求进行并出具报告。

#### 4.2.3.3 液压试验和机械除应力及应力测定

(1) 液压试验及应力测定应按照批准的试验大纲及方案进行;

(2) 试验前 C 型液罐应坐在专用的试验托架上, 并置重型平台加强区域, 以保证场地对 C 型液罐有足够的承载能力, 以免破坏 C 型液罐罐体结构;

(3) 水压试验前必须鞍座和承压木均安装完毕, 除非在液压试验过程中保证罐体受力尽量与船上受力分布一致;

(4) C 型液罐整体制作完毕, 经检验全部合格后, C 型液罐罐体进行液压试验和机械除应力试验。液压试验时, 在液货舱顶测得的压力应不小于设计压力的 1.5 倍。机械除应力试验是用来消除 C 型液罐罐体建造过程中的残余应力。甲板罐试验结束后, 先将水抽干、干燥, 再用压缩空气 (约 2bar) 对接管与补强板、筒体与补强板的角焊缝进行气密性试验, 并用肥皂水检查。试验的具体操作程序和要求参见制造厂相关工艺文件;

(5) 水压试验和机械除应力试验过程中的安全措施应提前到位。质检部门应派有经验的安全监督员事前布置, 过程管控。设置专门的试验区域, 无关人员禁止入内。试验操作和

检验人员必须持证上岗，并严格按工艺和安全手册操作；

(6) 依据规范要求必须进行机械除应力试验，以消除 C 型液罐罐体建造过程中的残余应力；

(7) 应变测量通常对相继建造的一系列同样 C 型液罐中的第一个 C 型液罐进行(当计算表明主膜应力超过材料屈服强度的 75%时应进行监测)，液压试验前，在 C 型液罐罐体内外指定部位贴应变片，在整个试验过程中检测应变应力，验证计算结果；

(8) 机械除应力时的最大压力值超过液压试验的压力值，故液压试验与机械除应力试验连续进行；

(9) C 型液罐罐体所有附件安装完成后应进行整体密性试验。

#### 4.2.3.4 除锈、涂装

(1) 钢板表面应符合标准 GB/T14977 中的 B 级质量要求；

(2) 由于 C 型液罐不进行整体冲砂,因此钢板须进行预处理达到 Sa2.5 级(ISO 8501-1)；

(3) 液压试验结束，C 型液罐罐内表面按 ISO 8501-1 标准 ST2 级要求打磨除锈，使钢板表面显示微弱金属光泽，经船东代表认可后，用 5mbar 压力的干燥空气充满 C 型液罐，在相对湿度  $u < 30\%$ ，温度 15℃时，C 型液罐罐内不允许有积水；

(4) 水压试验后，C 型液罐罐外表面需打磨除锈达到 ST3 级，经认可后，涂底漆，该油漆应适合胶粘聚苯乙烯绝层；

(5) C 型液罐罐外油漆干膜厚度及涂层质量均应满足以上要求，需船东方、CCS 验船师（必要时）的认可；

(6) C 型液罐最后提交时，所有外部钢结构（包括气室、集液井、人孔、泵管、管支架等）的外表面均需油漆。人孔及泵管的法兰（除法兰面外）也需油漆；所有接管的临时法兰盖（除法兰面外）需表面油漆；C 型液罐罐外不锈钢接管油漆到与法兰相接的焊缝为止（包括焊缝）。

#### 4.2.3.5 C 型液罐罐外绝缘

(1) C 型液罐罐外需包绝缘材料，目前包绝缘材料的方式主要有板块式、喷涂式等；

(2) 绝缘材料的技术要求应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》4.9 及 IGC 规则相关规定的要求。

### 4.2.4 C 型液罐安装检验

#### 4.2.4.1 C 型液罐吊装方式

(1) C 型液罐吊装基本可以分为龙门吊吊装或浮吊吊装两种方式。吊装准备阶段根据流程一般由吊装设备及索具、吊马布置及受力分析、吊装许可及工作安全分析表组成，由船厂进行控制。

#### 4.2.4.2 C 型液罐落座安装检验

(1) C 型液罐吊装进舱前，船厂应提交 C 型液罐的落座、环氧浇筑的工艺方案交验船师审查。C 型液罐作为一个大型集中载荷（一般约大于 300 吨重）吊装进入货舱并落位于鞍座上时，应充分考虑到鞍座面板的均布受力情况，故应严格控制 C 型液罐罐体在舱内的落位准确度，主要指对中、水平方向的控制，一般对中精度控制在  $\pm 15\text{mm}$ ；

(2) C 型液罐落座后，C 型液罐本体层压木应落坐于鞍座前后挡板内，并确保环氧溢出，验船师应见证环氧胶泥硬度试块的测试。如图 4.2.4.2(1) C 型液罐吊装前的定位，图 4.2.4.2(2) 为 C 型液罐吊装到位后，浇筑环氧后的状态图；



图 4.2.4.2 (1) C 型液罐吊装前



图 4.2.4.2 (2) 环氧浇筑后

(3) C 型液罐罐体落位于平底式鞍座面板上后, 验船师应对 C 型液罐罐体与横向限位装置层压木的贴合情况进行验证, 在敷设完环氧胶泥后, 验船师应见证环氧胶泥硬度试块的测试。C 型液罐吊装定位时, 在保证鞍座准确落入固定端和滑动端的挡板内同时, 需尽量控制 C 型液罐中心线与船体中心线重合, 以保证液罐与两边的横向限位装置的间隙均等。层压木与环氧胶泥的间隙应符合 C 型液罐系统设计厂商的要求;

(4) C 型液罐罐体落座后, 验船师应对 C 型液罐罐体与止浮装置层压木的贴合情况进行验证, 如图 4.2.4.2(3)和图 4.2.4.2(4)所示。在敷设完环氧胶泥后, 验船师应见证环氧胶泥硬度试块的测试。层压木与环氧胶泥的间隙应符合 C 型液灌系统设计厂商的要求;

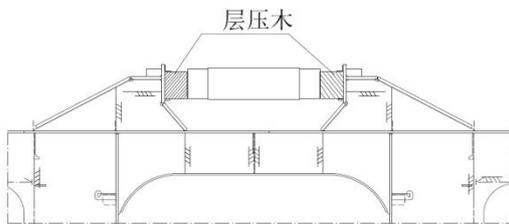


图 4.2.4.2 (3) 底部横向限位装置图

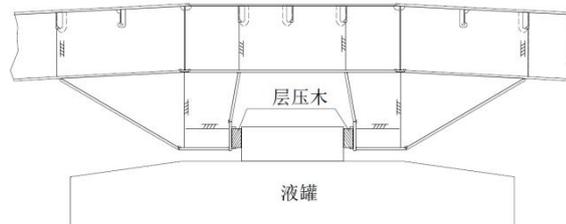


图 4.2.4.2 (4) 顶部横向限位装置

(5) 如采用螺栓连接, C 型液罐罐体落位完成后, 防浮装置座板与鞍座顶板的配钻开孔应经验船师确认, 防浮螺栓的强度等级及 CCS 产品证书应经验船师确认;

(6) 防浮螺栓安装完工后, 应向验船师提交报验, 且防浮装置的环氧垫片证书及环氧垫片硬度试块也应一并提交验船师验收确认;

(7) C 型液罐在船上安装后, 检查气室与主甲板之间的密封;

(8) C 型液罐吊装完成后, 需对 C 型液罐罐体和船体结构之间进行电气接地, 树脂浇筑的一般需要敷设单独的足够横截导电面积的接地线, 使绝缘电阻不小于  $1M\Omega$ 。

### 第 3 节 B 型棱形独立液货舱

#### 4.3.1 概述

B 型独立液货舱系指采用模型试验、精确分析手段和分析计算方法确定其应力水平、疲劳寿命和裂纹扩展特性进行设计的液货舱。如果这类液货舱主要由平面构成(棱柱形液货舱), 则其设计蒸气压力应小于  $0.07MPa$ 。

#### 4.3.2 焊接工艺评定

4.3.2.1 所有 B 型棱形独立液货舱和管路的对接焊缝应进行焊接工艺评定, 试验按《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 6 章的相关要求进行。

4.3.2.2 板材对接焊缝焊接工艺试验项目同本章第 4.2.2.2 节和 4.2.2.3 节。

4.3.2.3 管材对接焊缝焊接工艺试验：管材的焊接工艺试验与板材的规定相似，除 CCS 特别批准外，试验项目及要求同本章第 4.2.2.2 节和 4.2.2.3 节。

4.3.2.4 经评定的焊接工艺应能涵盖所有涉及的母材、焊接材料、焊接方法、焊接位置等。

4.3.2.5 填角焊的工艺试验应符合《材料与焊接规范》要求，应选择具有良好冲击性能的焊接材料。

4.3.2.6 焊工资质认证：

(1) 焊工考试应按《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章的相关规定进行；

(2) 焊工经历记录表应按相应的签发依据规范时间间隔要求进行，焊工需在最近 6 个月内从事与所持证书相符的焊接工作记录。

4.3.2.7 主要原材料确认：

(1) 核查原材料是否经 CCS 认可；

(2) 审核原材料制造厂的产品质量证明书，确认材料的牌号、技术标准、规格等与审批图纸及技术文件要求一致；

(3) 焊接材料应经过 CCS 认可，现场确认焊接材料质量证明书的符合性。

### 4.3.3 B 型棱形独立液货舱及部件

#### 4.3.3.1 B 型棱形独立液货舱制造过程检验

(1) 下料过程检验：

① 检查原材料，包括钢材、焊材、管系、绝缘和油漆的产品证书，所有金属材料与非金属材料应满足《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 6 章、《材料与焊接规范》第 1 和 2 篇的相关要求；

② 应确认钢材的炉批号和牌号，关注在所有壳体部件上的钢板炉批号等标识移植；

③ 检查结构板材和型材的表面质量，在进货验证时关注是否存在表面初始裂纹，表面瑕疵、缺陷及修补方法参照《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章要求；

④ 结构板材和型材的外形尺寸、重量及允许偏差应符合 GB/T709(2006)的相关规定；

⑤ 结构板材和型材的化学成分、交货状态和力学性能等应符合《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章中对应材质的相关规定。如采用 9Ni 钢，基于 9Ni 钢的特殊性，防止因磁性设备运输钢板或其他增加磁性风险的动作，还需关注其钢板的剩磁情况。应禁止使用电磁铁吸盘，对于 9Ni 钢不建议采用火工矫正；

⑥ 结构板材和型材应经 CCS 认可，并审核材料的制造厂的产品质量证明书，确认材料的等级、炉号、钢板号等标识与证书相符；

⑦ B 型棱形独立液货舱的管路材料一般为奥氏体不锈钢，如采用其它材料，应满足《材料与焊接规范》中的相关要求；

⑧ 环境温度在 5 度以上时，采用火焰或等离子切割方法无需预热；低于 5 度时，火焰切割时需对钢板进行加头火焰预热，等离子切割时需对钢板采用电热板预热。

(2) 加工过程检验：

① 壳体圆弧板采用冷弯成型；球面采用压模、冷加工成型，加工前每边余量，加工后再进行划线切割，成型后圆角的径向曲率均用弦长不小于 400mm 的不变形样板或样箱检查，任何部位的接触间隙应小于 3mm；

② 人孔法兰及泵法兰一般采用机加工以保证法兰面精度；

③ 人孔及泵管的法兰与其筒节之间的角焊缝若影响到螺栓安装，则应适当机加工去除多余焊缝。

(3) 分段预制过程检验：

① 按照 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和设计技术规格书批准的检验项目表和建造工艺文件，对 B 型棱形独立液货舱壳体圆弧板压制，壳体板拼板、纵骨装配焊接，肋板、水平桁等组立，中纵、横向制荡壁组立，分段合拢，穹顶、泵井、支座的制作以及管口的焊接进行检验。

(4) 分段预制精度检验：建造过程中精度按《中国造船质量标准》CSQS(GB/T34000-2016)和《钢质海船入级规范》相关要求执行；

(5) 产品焊接试板：

① 根据 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》6.5.5 的规定：每 50m 壳体对接焊缝布置一块产品试板，并应能代表各个焊接位置。全焊透“Y”型节点，每 50m 制作试板并进行试验，按角焊缝的工艺试验进行。尺寸 150×800mm，每副 2 块。试板厚度应相同于所对应位置的母材，牌号母材相同，试板下料的长度方向应与钢板轧制方向一致，且应做好钢板标记移植（敲钢印）；

② 生产试板作为 B 型棱形独立液货舱罐体焊缝的一段延长部分，应与 B 型棱形独立液货舱罐体焊缝采用相同的工艺和位置一次焊好，或装配在尽可能靠近所代表的焊缝位置，与 B 型棱形独立液货舱罐体焊缝相同的条件下施焊；

③ 生产试板焊缝的检验要求与其所代表的焊缝相同，经检验(外观检测和射线探伤)合格且经检验确认(钢印标记)后，方可与 B 型棱形独立液货舱焊缝分开；

④ 经检验认可的合格试板应进行机械性能试验，根据《材料与焊接规范》要求进行。

(6) 焊接检验：

① 焊前检验要求：

(a) 坡口两侧各 30mm 宽度内，打磨清洁去除氧化皮、铁锈、油污、水分及其它污物，坡口表面应光洁、匀整，且无毛刺、裂纹等缺陷；

(b) 角焊缝接头两侧各 30mm 宽度内的车间底漆需打磨去除；切割端面的氧化皮等杂质需打磨去除；

(c) 对接焊所用的焊接辅助材料，如“引弧熄板”、“连接板”、“排”、“马”等应与对应的母材焊材相一致。引弧板、熄弧板要求同板厚、同材质、同坡口；

(d) 当产品焊缝形成 T 字焊缝时，不需加引弧板或熄弧板；当形成封闭焊缝时，不需加引弧板或熄弧板；此外，在试板位置不需加引弧板或熄弧板。

② 焊接过程检验要求：

(a) 焊条和焊剂使用：焊条和焊剂应严格按照焊接材料控制程序进行处理。焊条和焊剂应密封包装，并贮藏于相对湿度不大于 45% 的干燥处，使用前根据制造厂的说明书进行烘干；

(b) 焊接环境：环境温度低于-20℃或钢板表面温度低于 0℃时禁止焊接，应将钢板加热至 20℃以上后才可焊接。当使用焊条电弧焊时周围风速大于 10m/s 时，需要在焊缝周围布置挡风板；

(c) 定位焊：定位焊、装配点焊等辅助焊接均须采用与正式焊接相同的焊接工艺和焊材。双面需焊透坡口焊缝的定位焊必须在其背面坡口进行。对于厚板构件的定位焊，应适当加大密度以保证足够的强度，以防止定位焊缝开裂；

(d) 起弧、收弧和运弧：起弧避免产生气孔，收弧尽量减小熔池尺寸，把电弧引向坡口边缘或引回焊道外缘，注意填满弧坑，尽量弧坑裂纹出现，并进行适当的打磨处理；

(e) 为减小焊接应力和变形，产品焊接时注意焊接顺序；

(f) 应严格按照根据工艺评定试验的结果所制定的“焊接工艺规程”执行。

③ 焊后检验：

(a) 完工的焊道上严禁有焊渣、焊丝残物、飞溅、锈、油污等；

- (b) 严禁出现裂纹。任何裂纹，不论尺寸大小和位置，都不能接受；
- (c) 焊缝的相邻焊层之间以及焊缝金属与母材之间必须完全熔合；
- (d) 对接焊缝不能出现凸度过大、厚度不足等缺陷，焊缝的余高一般不超过 3mm，两侧的盖面焊道要求向母材外延 2~3mm，以保证良好熔合；
- (e) 焊瘤不能过分凸起，否则过量的焊缝金属必须清除；
- (f) 角焊缝表面可以稍稍突起、平坦或稍稍下凹，焊缝宽度和焊缝凸度不得超过批准图纸要求。

(7) 无损探伤

① 从事无损检测的人员必须经过严格培训和考核，按照《船舶焊接检验指南》第 7 章 7.1.3 要求进行；

② 原则上认可的超声波检查可替代射线检查，但应增选部分位置进行射线检查以验证结果。应保存射线和超声波检查结果。9Ni 钢或 9Ni 钢与奥氏体不锈钢焊缝的无损检验须在焊后至少 24 小时后进行，奥氏体不锈钢的焊缝无损检验在冷却至环境温度即可进行。验收标准按照《船舶焊接检验指南》第 7 章 7.1.7 要求进行，对于 B 型独立液货舱的全焊透焊缝，当采用 CB 或 JIS 标准时，其验收等级均应为 I 级。当采用 ISO 标准时，船体结构验收等级按重要区域要求。结构焊缝位置探伤比例见表 4.3.3.1(1)，管系接头位置探伤比例见表 4.3.3.1(2)。

**结构焊缝位置探伤比例** **表 4.3.3.1(1)**

序号	焊缝位置	检测方法		
		RT	UT	PT
1	液货舱壳体的所有全熔透对接焊缝	100%		10%
2	穹顶、泵井所有全熔透对接焊缝	100%		10%
3	管口的所有全熔透对接焊缝（法兰、弯头、异径、接管）	100%		10%
4	中纵舱壁对接焊缝	20%		10%
5	壳体纵骨扁铁的对接焊缝		20%	10%
6	横向制荡舱壁、肋板、水平桁的面板及腹板对接焊缝		20%	10%
7	穹顶、泵井与壳体的全熔透角焊缝		100%	100%
8	穹顶顶板与管子、附件等角焊缝			100%
9	泵井围板与封板的全熔透角焊缝		100%	100%
10	人孔、泵管（壳体外）的所有全熔透对接焊缝	100%		10%
11	人孔、泵管、接管与穹顶顶板的角焊缝		100%	100%
12	人孔、泵管与法兰的角焊缝		100%	100%
13	卡具、马脚、补焊处表面焊痕、焊缝反面清根后			100%
14	附件与壳体连接的角焊缝（支架垫板等）			100%
15	壳体和肋板、制荡舱壁、水平桁、纵桁的角焊缝			10%
16	温度传感器保护套管的所有全熔透对接焊缝（如果有）	100%		
17	除了温度传感器保护套管的所有内部全熔透对接焊缝（如果有）	10%		
18	支座内部及支座与壳体板所有部分熔透焊缝		100%	
19	以上没有提及的所有其他角焊缝和部分熔透焊缝			10%
20	水压试验结束后，壳体所有对接焊缝		10%	

管系接头位置探伤比例

表 4.3.3.1(2)

序号	管系接头	检测方法		
		RT	UT	PT
1	设计温度 $\leq -10^{\circ}$ ，内径 $>75\text{mm}$ 或壁厚 $>10\text{mm}$ 对接接头	100%	或 100%	
2	设计温度 $\geq -10^{\circ}$ ，内径 $\leq 75\text{mm}$ 或壁厚 $\leq 10\text{mm}$ 对接接头	10%		90%
3	经自动焊接工艺认可的对对接头	10%	或 10%	
4	上述位置以外的其他对接接头	10%	或 10%	
5	填角焊接			100%

## (8) 结构检验注意事项

① B 型棱形独立液货舱壳体上下折角由于采用压模、冷加工成型的方式导致线形较大，设计常用多块板的拼接。检验注意拼板的尺寸，且避免焊缝产生尖角；

② 骨材贯穿 T 型材节点需参考《中国造船质量标准》CSQS(GB/T34000-2016)中要求，尽量避免采用小尺寸嵌板带来的现场焊接位置、焊接收缩量等问题；

③ 支撑座反面全焊透筋板应注意装配顺序，保证在开设坡口后再行装配；

④ B 型棱形独立液货舱壳体目前多采用薄板的设计，且填角焊设计焊脚较小，现场多出现焊脚较大，板材拼接变形较大问题。对于除 9Ni 钢等温度、磁性非敏感材料，可采用火工或机械操作调整变形；对于 9Ni 钢材料不建议采用火工方式，建议采取小范围机械操作调整，或在设计重量允许范围内在变形位置采用增加结构的方式进行调整；对于现场焊接脚较大问题，应调整焊接速度、摆弧角度、装配间隙等以符合设计要求；

⑤ T 型材面板开孔问题参照《钢质海船入级规范》第 2 篇中开孔规则，对于贯穿位置进行结构补强。

## (9) 平台、扶梯等附件的安装：

① 材料应满足要求；

② 平台扶梯可先行拼装成组件后在罐内安装；

③ 液舱内部所有的铁舾件连接应使用焊接或等效方式固定。

## (10) 管系安装：

① 对于较长及直径大管子可在大合拢前放入罐内待装；

② 部分管系及马脚可在大合拢前预装；

③ 所有管系进舱前需用三防布进行包扎后方能进罐。舱内进行电焊、碳刨施工时如附近有管子还需用布盖一层；

④ 气室安装到舱体上以前，所有外露管口需用三防布包裹；法兰面用塑料堵头保护，以防止损坏或电弧击伤；

⑤ 具体要求可参见第 5 章货物处理系统管系检验要求。

## 4.3.3.2 B 型棱形独立液货舱完工测量

(1) B 型棱形独立液货舱罐体主尺寸建造公差应满足设计文件要求。

## 4.3.3.3 承压木块安装

(1) 固定和活动支承座及防浮装置上承压木块，应在液压试验前胶粘完成；

(2) 承压木块及胶粘剂均应由供应商派员现场指导。

## 4.3.3.4 水压及密性试验

(1) B 型棱形独立液货舱应按下列要求进行静水压或静水压气动试验，该试验应使其应力尽可能接近设计应力，并使液货舱顶的压力至少相当于释放阀的最大调定值。当进行静水压气动试验时，其试验条件应尽可能模拟液货舱及其支持结构的设计载荷情况，包括动态分量，同时避免引起永久变形的应力水平。此外，在试验条件下，主要构件中的最大主膜应

力或最大弯曲应力应不超过材料在试验温度下的屈服强度的 90%。为确保满足上述条件，当计算表明此应力超过材料屈服强度的 75%时，应采用应变仪或其他合适的设备对原型试验加以监测；

(2) 液货舱采用应变片对试验加以监测时，应根据批准的计算结果，设置应变片监测位置，当应力超过材料屈服强度 75%时，需时刻关注应力监测点，确保应力大小不超过材料屈服强度的 90%，如出现超出情况应立即停止加水，直至该问题解决；

(3) 试验前所有在液货舱壳体上的焊接工作必须完成，液货舱检验数据核实无误，相关的 NDT 记录应已提交检验；

(4) 密性试验时，舱内加压至 0.02MPa（表压），并保持此压力 60min，检测密性前将试验压力降到 0.015MPa(表压)，用肥皂水试验检查所有壳体焊缝、人孔及管口（包括管子和穹顶的接缝）密封性；

(5) 管系压力试验时将管路系统加压至设计压力的 1.5 倍，保压 30min。压降低于 5%，即为合格；然后将管路系统降压至 0.02MPa，用肥皂水对所有的焊缝进行检查。若未发现泄漏，即试验合格。

#### 4.3.3.5 清洁度检查

(1) 液货舱封舱前，建造方应对内部进行彻底清扫，保持良好的清洁度。

#### 4.3.3.6 绝缘层安装

(1) B 型棱形独立液货舱一般采用模块式绝缘，绝缘模块通过焊接在壳体上的螺栓固定，最外层覆盖铝皮/丁基胶带或其他材质，绝缘模块间空隙用聚氨酯或其他材料充泡；

(2) 绝缘层安装工艺应提交船级社批准；

(3) 核查绝缘材料的证书，进行外观检查；

(4) 检查绝缘模块螺栓点标记满足设计要求，检查螺栓焊接质量；

(5) 抽查螺栓预焊接测试结果；

(6) 检查底漆修补以及螺栓的修补和更换；

(7) 核查胶水混合的记录，必要时见证；

(8) 确认 B 型棱形独立液货舱表面已清洁且底漆已涂好；

(9) 按照批准的绝缘层安装工艺进行安装质量监控和验收，重点关注绝缘板的间隙、表面缺陷、相邻绝缘板高度差；

(10) 按照批准的绝缘层安装工艺对接缝处进行聚氨酯或其他材料的预充泡试验、充泡固化后厚度及固化质量进行验收；

(11) 绝缘板接缝表面应去除多余的聚氨酯材料或其他材料，将调好的胶水均匀涂抹，厚度在 2mm 以下，表面粘贴丁基胶带或其他材料，丁基胶带或其他材料与铝皮重叠最少为 20mm，丁基胶带或其他材料之间相互重叠最少为 25mm；

(12) 气室顶部的绝缘使用喷涂聚氨酯或其他材料的方式,表面喷涂涂层作为水汽和机械防护，网格布使用在聚氨酯或其他材料中间防止聚氨酯或其他材料开裂，使用硅胶或其他材料涂抹在绝缘的边缘防止水汽进入。

### 4.3.4 B 型棱形独立液货舱安装检验

#### 4.3.4.1 B 型棱形独立液货舱吊装要求如下：

(1) 吊装前施工方应检查吊索具、专用吊装工装、液货舱壳体吊环的状态，吊环焊接处应做探伤确保吊装工装完好性；

(2) 连续吊装期间，在每次吊装后，需检查专用吊装工装状态，吊环焊接处应做探伤确保吊装工装完好；

(3) 吊装过程中宜采用适当的导向装置或保护措施，以防止下落过程中的保温绝缘损伤；

(4) 吊装进舱前，船厂应提交落座、环氧浇筑工艺方案交验船师审查。B 型棱形独立液货舱作为一个大型集中载荷吊装进入货舱并落位于支撑座上时，应充分考虑到支撑座面板的均布受力情况，故应严格控制 B 型棱形独立液货舱在舱内的落位准确度，主要指对中、水平方向的控制，一般对中精度控制在 $\pm 15\text{mm}$ ，如图 4.3.4.1(1)和图 4.3.4.1(2)所示。

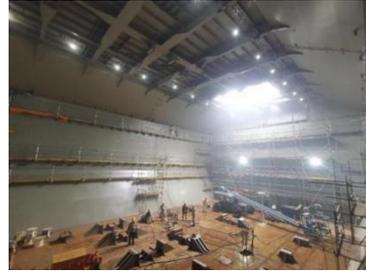


图 4.3.4.1 (1) B 型棱形独立液货舱吊装图 图 4.3.4.1 (2) 支撑座布置

4.3.4.2 B 型棱形独立液货舱落座安装检验要求如下：

(1) 落座后，B 型棱形独立液货舱本体承压木块应落坐于支撑座前后限位挡块内，如图 4.3.4.2(1)所示，确保环氧溢出，核查环氧硬度试块测试结果；



图 4.3.4.2 (1) B 型棱形独立液货舱落座图

(2) 核查 B 型棱形独立液货舱与横向限位装置承压木块的贴合情况，如图 4.3.4.2(2)所示。承压木块与环氧的间隙应符合 B 型棱形独立液货舱设计厂商的要求；



图 4.3.4.2 (2) 环氧浇筑

(3) 核查对 B 型棱形独立液货舱与止浮装置层压木的贴合情况；

(4) 如采用螺栓连接，B 型棱形独立液货舱落位完成后，止浮装置座板与支撑座顶板的配钻开孔应经验船师确认；

(5) 吊装完成后，对 B 型棱形独立液货舱和船体结构之间进行电气接地，使用环氧浇

筑形式一般需要敷设单独的足够横截导电面积的接地线，使绝缘电阻不小于  $1\text{M}\Omega$ ；

(6) 在船上安装后，核查气室与主甲板之间的密封。

## 第 4 节 A 型棱形独立液货舱

### 4.4.1 一般要求

4.4.1.1 A 型棱形独立液货舱液化气体运输船货舱区的船体结构、液货舱结构及支承结构的相关要求参照 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇附录 1 及附录 3 和本指南第 4 章第 3 节的相关要求。

## 第 5 章 货物驳运与处理系统

### 第 1 节 货物驳运与处理系统综述

#### 5.1.1 货物驳运与处理系统组成

5.1.1.1 系统布置在顶甲板、货物机械室、货舱内部和机舱等。主要由浸没式液货泵、扫舱/喷淋泵、辅助（应急）液货泵、天然气压缩机、真空泵、气化器和加热器、湿气分离器、压力释放阀、惰性气体发生器、氮气发生器、气体燃烧装置（如有）、再液化装置（如有）、管路和阀件等组成。

#### 5.1.2 货物驳运与处理系统作用

5.1.2.1 货物驳运与处理系统的作用：

- (1) 货物装卸、驳运；
- (2) 货舱的干燥、惰化和扫残；
- (3) 在没有基站的情况下，完成对任一货舱进行上述两个操作等。

5.1.2.2 由于液化天然气的液态温度达到 $-163^{\circ}\text{C}$ ，所以与液化天然气相接触的货物管路一般采用奥氏体不锈钢制作。

5.1.2.3 液货通过船中的两根横跨管进行装卸，并通过位于顶甲板上的、连接各个货舱液穹的液相总管（沿船长方向布置）进行前、后驳运。

5.1.2.4 货舱气穹通过沿顶甲板前后布置的气相总管保持着相互间的连接。气相总管通过回气压缩机与设在船中的横跨管相连接，以便在装卸货时控制货舱压力。

5.1.2.5 装货时，通过气相总管和横跨管，以及回气货物压缩机将从货舱置换出的气体回收至基站。卸货时，气相总管和横跨管或蒸发器共同使用，向货舱补给气体以补充液货外流导致的货舱压力降低。这样，装卸货过程中，货舱压力可以控制在一个合理的范围内。

5.1.2.6 扫舱/喷淋管与液相横跨管相连，用于各货舱的扫残或冷却，也可以在卸货时，当回流蒸气不足的情况下用于喷淋（补充气体）。各液货舱的喷淋装置安装在货舱气穹内部，用于将液体分散到各个喷嘴，以起到帮助蒸发从而加快冷却速度的目的。

5.1.2.7 气相总管将各个气穹顶部相连，以便蒸发气体的排放，多余蒸气在紧急情况下通过 1 号透气桅（应离上层建筑最远）向大气排放。气相总管还通过燃气压缩机和燃气加热器（或升温加热器），将蒸发气（Boil Off Gas，简称 BOG）送入机舱燃烧。

### 第 2 节 货物驳运与处理系统设备检验

#### 5.2.1 液货设备检验

5.2.1.1 主液货泵用于将液货舱内的液货卸载到岸站或液货舱之间的液货驳运。泵的绝缘值应符合设计要求，低温电缆相位连接要正确，泵和主启动箱之间的电缆绝缘要满足要求，排放管路的止回阀安装符合设计图纸要求，泵的安装满足工艺文件要求。

5.2.1.2 喷淋扫舱泵用于货舱冷却、扫舱，也可以用于将液货送入强制气化器。燃气泵用于将液货送入强制气化器。泵的绝缘值应符合设计要求，低温电缆相位连接要正确，泵和主启动箱之间的电缆绝缘要满足要求，排放管路的止回阀安装符合设计图纸要求，泵的安装满足工艺文件要求。

5.2.1.3 应急液货泵是在主液货泵和喷淋泵等不能使用时，将应急液货泵按程序放入应急排出管内，使用应急液货泵卸载货物。泵的绝缘值应符合设计要求，低温电缆相位连接要正确，泵和主启动箱之间的电缆绝缘要满足要求，泵的临时安装调试满足专利公司工艺文件要求，现场张贴应急液货泵的安装操作须知，平时储存时要注意防护。

5.2.1.4 压缩机马达驱动轴与压缩机轴的对中度符合工艺文件要求。所有报警点功能试验合格。氮气轴封状态良好，阻止可燃气体挥发出来。自动防喘振系统防止压缩机流量低于最小设计值。详细功能试验按照经批准的试验大纲进行。

5.2.1.5 升温加热器用于加热液化天然气，用于货舱升温操作。燃气加热器将蒸发的液化天然气进行加热，然后送入机舱作为燃料使用。蒸汽管的隔热包扎质量需保证；低温部件的绝缘包扎质量需要保证，满足设计要求；管路及设备的密性试验，确保可燃气体或蒸汽不外泄。

5.2.1.6 液化天然气主气化器基站提供的液化天然气经过扫舱/喷淋总管进入液化天然气气化器，液化天然气气化器出来的天然气通过气相总管由气穹进入货舱顶部，驱除货舱内的惰性气体，降低货舱二氧化碳的含量。强制气化器当蒸发气体（BOG）量不够时，扫舱/喷淋泵将液化天然气驳至强制气化器，再进入燃气加热器后，作为燃料使用。蒸汽管的隔热包扎质量需保证；低温部件的绝缘包扎质量需要保证，满足设计要求；管路及设备的密性试验，确保可燃气体或蒸汽不外泄。

## 5.2.2 辅助设备检验

### 5.2.2.1 氮气发生器

(1) 氮气发生器所产生氮气的用途主要有：

① 惰化液货舱绝缘空间；

② 充填液货舱绝热保温层并维持主次绝缘空间适当的正压。由于氮气是干燥低露点的，可防止绝热材料结露，保证保温绝热材料的性能，保护货舱免受腐蚀；

③ 惰化货物系统，防止天然气与空气形成爆炸性混合气体；

④ 作为货物压缩机的轴封气体；

⑤ 吹洗锅炉燃气系统和货物管路系统（包括透气桅）；

⑥ 货物装卸臂连接后和拆卸前吹洗货物总管末端。

(2) 氮气发生器的检验要点：

① 氮气发生器系统包括一个供气处理系统和任意数目的薄膜或吸附件，这些薄膜或吸附件所必须达到的额定容量应至少为以体积表示的船的最大排气量的 125%；

② 空压机和氮气发生器可以安装在机舱或一个独立的舱室中。在防火方面，该独立舱室可视为“其他机器处所”之一；

③ 如设有独立的舱室，该舱室应位于货油区域外，并且应装有一套独立的能每小时换气 6 次的机械通风系统。此外，还应装有一套低氧报警装置；

④ 该舱室应无直接通向起居处所、服务处所和控制站的通道；

⑤ 氮气发生器应能生成高纯度的氮气，其中 O<sub>2</sub> 含量不超过 5% 的体积；

⑥ 该系统还应装有自动装置以便在起动和非正常操作时能将有害气体排放到大气中；

⑦ 该系统应配有 2 个空压机。系统的总容量要求建议由该两空压机平均负担，且在任何时候其中一个空压机的容量不应小于总容量的 1/3；

⑧ 应装有供气处理系统，以便能够除去压缩空气中的水分、颗粒和油滴，并保证达到所要求的温度；

⑨ 如合适时，可在设有空压机和发生器的专用舱室或独立舱室中，或者货物区域内装设氮气存储装置或缓冲柜。如氮气存储装置或缓冲柜安装在闭式处所，该处所的通道只能通

往开敞甲板，且该通道的门只能向外开启。应设有永久通风和报警装置；

⑩ 由氮气发生器产生的高浓度氧以及由氮气储存器保护装置排出的高浓度氮气产品，应能排放到开敞甲板的安全位置；

⑪ 为便于维护保养，应在发生器与储存装置之间设有分隔措施；

⑫ 在惰性气体供给总管处应至少装有两个止回装置，其中之一应是双截止透气装置。另一个是能够直接关闭的止回装置；

⑬ 应在下述位置设有可连续显示空气温度和压力的仪器设备：空压机的排气口；氮气发生器的进气口；

⑭ 当惰性气体产生时，应在氮气发生器的惰性气体排气口设有可连续显示和永久记录氧含量的仪器设备。应安装在货油控制站和机器控制站或机器处所；

⑮ 应设有视觉和听觉报警信号以指示：空压机的低供气压力；高空气温度；油水分离器自动泄水管的高冷凝水水位；电加热器故障（如有时）；氧气含量高；供给仪器设备的电源故障，上述报警条件下，系统应能自动关闭；

⑯ 报警器应安装在机器处所和货物控制站，但是在每一种情况下，这些位置都应是值班船员能即刻收到报警信号的处所；

⑰ 氮气缓存柜/罐应设置安全阀，安全阀的透气管应延伸至烟囱区域。

#### 5.2.2.2 惰性气体发生装置

(1) 液化天然气运输船使用的惰性气体发生装置使用自带的燃烧器制造惰性气体。与其他船上安装的惰性气体发生器不同的是，液化天然气船还配有空气干燥装置，制造的干燥空气在常压下的露点为-45℃，惰性气体和干燥空气通过同一根总管接入货物压缩机室。两个装置本身与其他船舶没有重大区别。惰性气体发生系统需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 6 篇第 4 章相关要求。

### 5.2.3 蒸发气体处理设备检验

5.2.3.1 液化天然气的蒸气或蒸发气体一般有四种处理方式：直接在气体燃烧装置（GCU）中燃烧掉；经过再液化装置被液化后送回货舱；直接用作燃料；通过透气桅排空（除紧急情况外，不被允许）。

5.2.3.2 气体燃烧装置（GCU）能够燃烧来不及处理或处理后残余的甲烷蒸发气，详见本指南 7.1.4.3 条款。

5.2.3.3 再液化设备主要在产品阶段检验，安装上船的调试按照批准的调试大纲进行，详见本指南 7.1.4.2 条款。

5.2.3.4 蒸发气用作燃料时，A 类机器处所的布置要求详见 IGC 规则第 16 章 16.3 的要求，气体燃料供应的要求详见 IGC 规则第 16 章 16.4 的要求，气体补给装置和相关储存容器的要求详见 IGC 规则第 16 章 16.5 的要求。

5.2.3.5 蒸发气通过透气桅排空是在其他处理方式都无法有效处理多余蒸发气体时采用，透气桅按照批准的图纸及工艺进行制造。

## 第 3 节 货物驳运与处理系统低温管系与泵塔检验

### 5.3.1 低温管系

5.3.1.1 低温管线一般都是薄壁管（壁厚比直径），设计温度低于零下 110℃的所有蒸气管线和液货管线都应提交一份完整的应力分析资料至审图部门审查，至少包括管子的重量、加速度载荷（如较大）、内部压力、热收缩以及船舶中拱和中垂引起的载荷等所产生的所有

应力。具体要求参见 CCS《低温管路应力分析指南》的相关要求。

5.3.1.2 设计温度低于零下 110°C 的所有蒸气管线和液货管线，其管路的实际布置及管路支架的型号等应与经审核的图纸保持一致，建造过程中的局部改动应获得货物系统供应方的认可，并对改动部分重新核算应力同时向审图中心提交。

5.3.1.3 液化天然气低温管系的温度变化范围很大，从常温到-163°C，营运中易发生问题，因此低温管采用奥氏体不锈钢制作，制作过程采用过程控制方法。一般分为以下步骤：

- (1) 焊接工艺的認可；
- (2) 进货控制；
- (3) 内场焊接前组对定位；
- (4) 焊接后焊缝表面检查和 PT；
- (5) 设计温度低于-10°C 且内径大于 75mm 或壁厚大于 10mm 的管系对接焊接头 100%RT 或 UT 检查；
- (6) 液压试验；
- (7) 清洁检查；
- (8) 合拢焊缝的定位/焊缝表面/RT；
- (9) 支架的定位；
- (10) 系统完成后的完整性；
- (11) 系统密性及清洁；
- (12) 绝热。

5.3.1.4 管线的无损检测一般采用 RT（如 JISZ-3104）和 PT（如 JISZ-2343），角焊缝处采用 UT（如 JISZ-3060），无损检测工艺需提交认可，验船师需对探伤片进行评判。

5.3.1.5 所有液货管线上均应设置释放阀，释放阀能够防止液货管线超压，该阀需取得 CCS 产品证书。阀门大小应根据船舶设计规格书选取。

5.3.1.6 为防止液体货物泄漏破坏船体结构，在船舶易发生液体货物泄漏的地方设置承滴盘，该承滴盘的布置和大小应能够承载可预见的泄漏量，该承滴盘的材料应能承受液货温度，一般使用 316L 不锈钢，若使用其他替代材料，应提供该材料在-163°C 以下不失效的证明资料。

5.3.1.7 货舱内外的所有管线都应该进行液压试验，若试压介质是水，则管线试压的排水和吹干工艺文件需提交认可，对于不锈钢管尽量使用低氯离子水。一般若使用高压氮气对低温管进行试压，则必须做好一切安全防护措施。

5.3.1.8 低温管线除阀门、法兰处外，都需进行绝缘包扎，防止外界温度传递到低温管线内，同时也可防止人员不慎接触低温管线造成冻伤。绝热材料应具有适当的防火和阻止火焰传播的性能，并应受到足够的保护，以防止水蒸气的渗透和机械损伤。绝缘材料一般采用聚氨酯泡沫，判断绝缘包扎是否合格的标准是在低温管液氮打冷试验或者气体试航时，低温管线绝缘层表面不出现结冰出霜现象。

5.3.1.9 低温管大量采用滑动式支架。这样变形时，有利于管路在其长度方向上变形、移动。同时，在任何工况下，支架需在管子上的抱箍的区域，支架应按照批准的工艺文件进行安装检验。

5.3.1.10 当在液货舱或货物管路和管路设备与船体结构之间采用热隔离时，则对管路和液货舱均需采取电气接地措施。对所有具有密封垫片的管接头和软管接头也均需作电气连接。除使用搭接片的情况外，应证明每一接头或连接处的电阻小于 1MΩ。

5.3.1.11 不应将熔点低于 925°C 的材料用于液货舱以外的管路（包括液货软管），但与液货舱连接的短管除外。此时，应设置耐火绝热层。

5.3.1.12 货物区域以外的货物管路应使用焊接型式连接。货物区域以外的管系应敷设

在露天甲板上，且应位于舷侧以内至少为 0.8m，但横贯船宽的通岸连接管系除外。此种管系应能被明显地识别，并在货物区域内的货物管系连接处应设置截止阀。当不使用时，此位置还应采用可拆的短管和盲板法兰进行隔离。

5.3.1.13 管系应采用全焊透对接焊，不论其管径和设计温度如何，均应进行全部射线或超声波探伤。只允许在货物区域内以及通岸接头处的管路采用法兰连接。

5.3.1.14 气体燃料管路应尽可能采用焊接接头。对于未被包围在双壁管/具有机械通风功能的通风管或管道内的气体燃料管路，以及位于货物区域以外的露天甲板上的气体燃料管路，均应采用全焊透对接焊接头并应进行全部的射线或超声波检查。

5.3.1.15 双壁管的内外管应分别进行强度试验，并以适当结构进行支撑。

5.3.1.16 用于货物驳运的液体和蒸气软管，应能与货物相容并能与货物温度相适应。

5.3.1.17 对于承受液货舱压力的软管，或承受货泵或蒸气压缩机排放压力的软管，应按其爆破压力进行设计，此压力应不小于货物驳动期间软管可能承受的最大压力的 5 倍。

5.3.1.18 配有端部附件的每一新型货物软管，应进行原型试验，该试验应在正常环境温度和从零到至少两倍于规定的最大工作压力下，进行 200 次压力循环。经循环压力试验后，还应进行爆破试验以确认爆破压力在最高和最低极端营运温度下至少为 5 倍于规定的最大工作压力。原型试验用过的软管应不再用于输送货物。然而，在每段新制成的货物软管被投入使用之前，均应在环境温度下对其进行静水压力试验，试验压力应不小于 1.5 倍的规定的最大工作压力，但不大于其爆破压力的 2/5。根据适用情况，软管应用模板喷刷或其他方法标出试验日期和规定的最大工作压力。对于不是在环境温度下使用的软管，还应标出其最高和最低使用温度。软管规定的最大工作压力应不小于 1MPa（表压）。

5.3.1.19 使用适当的流体对所有货物管路和处理用的管路进行强度试验。液体管路的试验压力应至少为 1.5 倍设计压力（当试验流体可压缩时，1.25 倍设计压力），蒸气管路的试验压力应至少为 1.5 倍系统最大工作压力（当试验流体可压缩时，1.25 倍系统最大工作压力）。

5.3.1.20 对于每一货物管系和处理用管系，在船上将其安装完工之后，均应使用空气或其他适当介质进行泄漏试验。

5.3.1.21 在首次装载作业之前，应按公认标准（如 SIGTTO 组织关于 LNG 船气试导则），对用于货物或蒸气操作的所有管系，包括阀，附件及附属设备进行正常工作状态下的功能试验。

### 5.3.2 薄膜型液化天然气运输船泵塔检验

5.3.2.1 泵塔的检验可以作为产品检验，也可以作为建造检验中的节点检验。同时，泵塔作为一个相对独立且十分重要的设备，制造方一般在生产前，应提交 CTI 计划（结构制作、试验及检验计划）供验船师审核并批准。泵塔是一个三角桅，由不锈钢管系构成（304L），悬挂在液体室。顶部作为液穹盖与船体结构固定，底部设泵塔基座，对泵塔起到导向及固定作用，使泵塔热胀冷缩时在高度方向上可以自由滑动。三角桅包括主卸货管路和应急泵井，形状是三角格架结构，用于支承液舱进出梯子、其他管系和仪器设备。

5.3.2.2 泵塔建造需提交的图纸清单如下：

- (1) 液舱穹顶穿舱件详图；
- (2) 泵塔布置总图；
- (3) 泵塔管结构图；
- (4) 泵塔底部结构图；
- (5) 泵塔扶梯、平台详图；
- (6) 泵塔电缆导架详图；

- (7) 泵塔其他设施详图；
- (8) 泵塔导向装置图；
- (9) 泵塔货泵支座；
- (10) 泵塔货泵的搬移流程图。

5.3.2.3 泵塔的内场建造检验根据专门的技术标准和经批准的工艺文件的要求进行。泵塔建造流程如下：

- (1) 管子检查与校正；
- (2) 开坡口并对接；
- (3) 主泵支管安装；
- (4) 平立面支撑管安装；
- (5) 底板制作；
- (6) 导向系统上部装焊检查；
- (7) 底板整体酸洗钝化；
- (8) 底板吊装；
- (9) 8片散装零件；
- (10) 底板焊接及减小焊接变形措施；
- (11) 吊环安装；
- (12) 附件总装；
- (13) 吊装注入管和扫舱管；
- (14) Hs 值切割及上贯穿件安装；
- (15) 液位管和应急泵管通过试验；
- (16) 水压试验；
- (17) 氦气试验；
- (18) 完工检验；
- (19) 泵塔整体酸洗钝化。

5.3.2.4 泵塔制作检验要点如下：

(1) 泵塔基座是泵塔在液货舱内的导向结构。对泵塔基座的检验应关注泵塔基座的制作材料、泵塔基座尺寸、泵塔基座内部绝缘材料、泵塔基座焊缝的外观及着色探伤等，以及导向机构的表面粗糙度（一般制造方应提供表面粗糙度检查记录供验船师审核（达到 Ra3.2））；

(2) 泵塔管系材料为 304L，管件的对接一般采用带填充金属的 TIG 焊或者 MIG 焊，焊接过程中的层间温度应进行检查和控制；背面保护气体（比如氩气）浓度应始终保持在 99% 以上，并在整个焊接过程中进行浓度监控；

(3) 管件的装配精度要求较高。一般采用激光进行直线校准，检查管壁对接错位量；

(4) 管件对接焊缝的变形量应进行严格的检查和控制，以及焊缝余高的磨平工作；

(5) 所有内径大于 70mm 或壁厚大于 10mm 的管系对接焊缝需要 100% 的射线或超声波检查；其余焊缝应进行抽样射线或超声波检查或其他无损探伤，通常，至少 10% 的管子对接焊缝接头进行射线检查；

(6) 所有紧固件的拧紧及螺母的点焊的检查，一般应要求制作厂提供此项工作记录；

(7) 泵塔整体尺寸检查，尤其是泵塔直线度的检查；

(8) 平整度检查，尤其是泵塔底板及其上的泵塔支撑架的平面度检查；

(9) 泵塔上的管路应进行通球试验，保证内部无卡阻现象；

(10) 泵塔完工后需对所有管路进行水压试验。试验时应采用清洁淡水，水中氯离子含量不超过 50ppm 清水，压力一般为 1.5 倍的设计压力，并至少保持压力一小时后，进行检查。

#### 5.3.2.5 泵塔船上安装检验要点如下：

- (1) 泵塔基座在该区域绝缘箱安装前进行与舱底板的焊接，安装焊接时，一般应进行焊前的装配检查，以及焊后 100%PT 检查；
- (2) 泵塔吊装前拆除该区域脚手架，脚手架拆除过程中应逐层检查主屏蔽情况，确认主屏蔽是否被脚手架划伤及损坏。并在吊装泵塔前对泵塔所有紧固件的拧紧及螺母的点焊情况进行检查，避免吊装过程中散落的部件对屏蔽层造成损坏；
- (3) 泵塔按照预先做好的定位标记吊装在液穹上方，按照认可的焊接工艺进行焊接；
- (4) 泵塔距主屏蔽层的高度应按照专利方提供的技术要求予以确认；
- (5) 泵塔滑动机构止动块固定螺栓应按设定的扭矩予以把紧，滑动机构与导向机构的间隙应严格控制；
- (6) 货泵、扫舱/喷淋泵、燃料泵等安装后应对固定螺栓/螺母点焊情况进行检查，避免散落对屏蔽层造成损坏。

## 第 4 节 货物驳运与处理系统辅助系统检验

### 5.4.1 薄膜型液化天然气运输船货物驳运与处理系统辅助系统检验

#### 5.4.1.1 主、次层绝缘层空间的增压和惰化系统

(1) 在船舶正常营运期间，其主、次层绝缘层空间需进行充入氮气进行增压和惰化，氮气经氮气发生器制造后进入缓冲储存罐，之后经分配阀组进入氮气增压总管，此时主、次层绝缘层空间的空气经真空泵抽出后，氮气进入相应的主、次层绝缘层空间，保证主层绝缘层压力高于次层绝缘层压力，多余氮气经过压力调节阀后，主层绝缘层空间的氮气通过透气桅排出，次层绝缘层空间的氮气经释放阀释放到甲板上；

(2) 管路和阀门按照批准的图纸和工艺进行安装和试验，特别注意穿过货舱内表面和次层绝缘层的氮气管检验。

#### 5.4.1.2 主、次层绝缘层空间的保护

(1) 主、次层绝缘层空间均设有压力释放阀，对 NO 96 围护系统，当主层绝缘层空间压力高于表压 35mbar，次层绝缘层空间压力高于表压 30mbar 时，压力释放阀开启泄压；对 MARK III FLEX 围护系统，当主层绝缘层空间压力高于表压 30mbar，次层绝缘层空间压力高于表压 35mbar 时，压力释放阀开启泄压。如需要，手动旁通球阀可用于本地放气。

#### 5.4.1.3 隔离空舱加热系统

(1) 相对于货舱内的低温液化天然气来说，外界的空气、海水相对温度较高，可以源源不断地向船体结构传递热量，以保持船体钢板不至于温度过低。而货舱间的横隔内则始终处于较低的工作温度之中。在 IGC 规则和 USCG 规则中，通过计算得出的货舱之间的横隔舱内的温度一般为-65°C，这已经远远超过了 E 级钢的安全工作条件（-30°C）。根据 IGC 规则（2016）4.8.4，船舶应安装加热系统，以维持这些空间的工作温度。加热系统是利用乙二醇和水的混合液，通过布置在横隔舱内的加热盘管进行加温。在液化天然气船舶整个生命周期内，加热系统应始终处于正常地工作状态；

(2) 隔离空舱加热系统检验要求：泵的功能试验满足要求；管路全部采用焊接连接，强度试验合格系统报警点试验状态良好；管路温度探测系统工作良好，能准确反应各点的实际温度状态，维持系统处于正常工作温度范围内。

#### 5.4.1.4 货舱保护

(1) 货舱在相应的温度下装载应不超过货舱容积的 98%，但主管机关在考虑到货舱形状、压力释放阀布置、液位及温度测量精确度、装载温度及蒸发气温度等情况，可能会允许

更高的装载极限，但不超过 99.5%；

(2) 压力释放阀应进行原型试验，验船师要全程参与检验，每个压力释放阀都应进行试验已确保能在设定的压力下开启，对于起跳压力在 0~1.5bar 之间时误差不超过±10%，在 1.5~3.0bar 之间时误差不超过±6%，在 3.0bar 及以上时误差不超过±3%。压力释放阀的设置和铅封应以主管机关认可的方式进行，此项工作的记录，包括阀门的设定压力要保存在船上。压力释放阀在液货舱上的位置应使得在最大许可充装极限下当船舶处于横倾 15°和纵倾 0.015L(L 为规范船长)的情况下，压力释放阀处仍保持蒸气状态。

#### 5.4.1.5 货物区域通风

(1) 正常装卸货物作业时需要有人进出的处所，每小时至少需要换气 30 次。气体安全处所，如压缩机电动马达间，应保持正压，气体危险处所，如货物压缩机间，应保持负压。在营运中通常不进入的处所，如在装卸货操作时需要进入时，每小时至少换气 8 次。

#### 5.4.1.6 应急切断系统 (Emergency Shutdown System, 简称“ESD”)

(1) 船舶在遇到紧急情况或者触发 ESD 逻辑信号时，应急关断系统将会开启对船舶和相关的管路系统进行保护；

(2) 弹簧承压式单作用执行器作为应急关断系统的执行器时，加压开启，失压关闭，是一种失效-安全型执行器。如果配置了双作用执行器，则每个阀门都应设置一个蓄能器，在没有补偿的情况下，可以执行应急关断系统发出的关闭信号。如果 ESD 阀门位于同一个区域，则一个蓄能器可为多个阀门服务；

(3) 验船师应验证每个 ESD 阀门的 30 秒关闭时间，该时间是从手动或自动开启激活 ESD 系统至阀门最终关闭的时间，包括 ESD 系统的信号响应时间和阀门关闭时间。阀门的关闭过程中应避免管系压力波动，平稳的切断管内货物。

#### 5.4.1.7 货物自动化控制平台

(1) 液化天然气运输船采用集成自动化系统 (英文简称“IAS”)。采用集成自动化系统的目的是使各控制系统尽量采用相同的硬件和软件平台，增加系统的稳定性，减少系统备件，简化系统维护，并使船员易于学习和使用。在对各种系统进行试验期间对 IAS 进行功能验证。IAS 应持有 CCS 产品证书。

#### 5.4.1.8 货舱测量系统

(1) 液化天然气船货舱测量系统 (Custody Transfer System, 简称“CTS”) 用于对货舱的液货进行高精度的液位、温度和压力测量和记录。检查低温电缆的铺设和连接质量，传感器的实验室校核和现场模拟试验，产品使用的型号和性能符合设计文件要求，持有 CCS 产品证书，功能试验按照批准的系泊试验大纲进行。

#### 5.4.1.9 气体探测系统

(1) 应提供永久性气体探测系统检测危险区和危险区比邻区域，参见 IGC 规则第 13.6.2 的要求，下述区域应安装气体探测装置和听觉和视觉报警，如：

- ① 货物压缩机室；
- ② 货物处理设备马达间；
- ③ 除定义为气体安全处所的货物控制室；
- ④ 其他容易聚集货物蒸气的围蔽处所；
- ⑤ 通风罩和蒸发气道；
- ⑥ 气锁；
- ⑦ 货物冷却/加热管路；
- ⑧ 惰气发生器供应总管。

(2) 路经安全处所的取样管应尽可能短，穿舱件应是认可的型式且耐火完整性应等效于舱壁，手动截止阀应安装在气体安全处所一侧。当气体探测装置箱体内存气体浓度达到 30%

爆炸下限时，气体分析装置应自动切断。具体要求详见 IGC 规则第 13.6 节。

#### 5.4.1.10 消防系统

(1) 可能会安装在液化天然气运输船上的消防系统：水消防，CO<sub>2</sub> 系统、便携式或半便携式灭火器、固定局部水基灭火系统、厨房灭火系统、固定式干粉灭火系统、高倍泡沫灭火系统和甲板喷水系统；

(2) 液化天然气运输船上的消防系统按照 IGC 规则、SOLAS 公约相关章节和 FSS 规则的原则进行配置和检验。

#### 5.4.1.11 喷水系统

(1) 运输液化气体的船上，应安装用于冷却、防火以及船员防护的喷水系统，参见 IGC 规则 11.3 条款相关要求。喷水系统的作用是：保护货物处所和船员生活处所在船上失火时免遭热量的辐射，同时避免低温液化天然气液体接触到钢板导致钢板脆裂。为了隔断损坏的管段，在喷水系统总管上应每隔一段距离安装 1 个截止阀，或者将系统分成 2 个或多个区段；

(2) 喷水系统的检验要求：

① 核查每个区域的喷头数量是否同审批图纸一致，也要核查喷头型式是否同审批的图纸一致。如喷头数量或喷头型式不一致，可能会导致水泵的流量有变化；

② 核查防护垂直面的水喷嘴行之间垂直距离；

③ 核查每个区段进行独立操作的阀必须集中安装在货物区域外易于到达的位置；

④ 核查喷水系统中的所有管子、阀、喷嘴和其他附件均应能耐海水腐蚀。货物区域内管路、附件和相关构件（衬垫除外）应设计成能经受 925°C。喷水系统应布置成具有管线过滤器以防止管道和喷嘴堵塞。另外，应设有用淡水冲洗系统的措施；

⑤ 核查如果 1 个舱失火会使 2 个消防泵失效，经常有人的上层建筑和甲板室的限界面和面向货物区域的救生艇、救生筏和集合区域，不管喷水系统供水泵是否由消防泵兼用，均要求提供额外的 1 台消防泵或应急消防泵对喷水系统供水，对该条所述处所提供保护；

⑥ 喷水系统的功能性试验，主要核查喷头是否能覆盖到所要求的设备和区域。

#### 5.4.1.12 水幕

(1) 如货物温度低于 -110°C，应在通岸接头下的船体处安装供水系统，提供低压水幕为船体钢材和舷侧结构提供额外保护，在货物驳运时工作；

(2) 应对水幕做实效试验，核查保护范围符合批准的图纸要求。

#### 5.4.1.13 电缆敷设

(1) 液化天然气船上的低温电缆用于液货舱内和液货舱绝缘层区域；

(2) 为监测液货舱的液化天然气是否有泄漏、绝热性能是否正常、每个液货舱的绝缘层区域都均匀分布了温度传感器。由于低温传感器安装在主绝缘层和次绝缘层中，所以电缆必须从绝缘箱的间隙中穿行，每个内平面都需提供一份专门的传感器和电缆布置图。检查低温电缆的敷设质量及穿舱件安装质量；

(3) 高压电缆敷设要求：

① 高压电缆不应路径居住处所，若无法避免则应采取相应的保护措施；

② 高压电缆必须于低压电缆分隔开，特别是他们不应敷设在同一电缆束、或同一电缆糙、同一管道中、或者同一箱（盒）中；

③ 高压电缆外表选用红色，电缆导架涂红色油漆以区别于常规电压电缆。

④ 高压电缆耐压试验：根据规范以及 IEC-60502 要求，采用 Alternative-1 试验型式，对高压电缆每相电缆对电缆外壳进行耐压试验，测试电压采用直流 36kV 的 70% 及 25.2kV。

(4) 本安电缆分隔：

① 本安电缆和非本安电缆不可以绑扎在一起，且间距应大于 50mm；

② 本安电缆和非本安电缆不应使用同一个电缆管；

- ③ Exia, Exib 的电路不应使用同一电缆的不同芯线;
- ④ 本安电路不应与非本安电路使用同一电缆的不同芯线;
- ⑤ 本安与非本安的接线端子排应大于 50mm 的距离, 且分别标识清楚;
- ⑥ 无屏壁的本安与非本安芯线不应位于同一线槽/线束内。
- (5) 本安电路接地:
  - ① 电缆的编织/铠装应在两端接地, 除了要求单端接地的传感器;
  - ② 若对线有单独的内屏壁层, 则此屏壁应在隔离栅处接地, 在危险区域作绝缘处理;
  - ③ 若设备提供了单独的保护接地, 仪表接地和本安接地, 则应相对应单独连接;
  - ④ 电缆的接地应按照设备商提供的安装手册施工;
  - ⑤ 本安电路的接地布置应和其他接地系统分开, 并单独与船体连接。

#### 5.4.1.14 防爆电气设备

##### (1) 防爆区域的检验流程:

- ① 应按照工艺流程和厂家要求对防爆设备进行正确的安装;
- ② 应按设计部门提供的防爆设备清册对各设备进行专项检查;
- ③ 专项检查时要包括对各防爆设备的安装, 位置、数量、序列号、防爆等级以及证书等逐一核对;

- ④ 防爆证书正本应在船上保留, 以备港口当局检查。

##### (2) 防爆区域的设备电缆敷设验收要求:

- ① 连接防爆设备的本安电缆应与信号电缆区分开, 尽量避免在同一导架上敷设; 无法避免的, 间距应大于 50mm;

- ② 电缆在贯穿件处应有密性处理, 还应达到防火要求 (要求时);

- ③ 电缆中不应有转接头或接线盒, 除非系统有特殊要求或规定允许 (例如照明, 广播系统等);

- ④ 电缆的敷设应注重完整性, 检查电缆表面是否有破损, 应避免接触油漆, 电缆应有效保护;

- ⑤ 防爆区域电缆的弯曲余量应符合规范要求;

- ⑥ 电缆进设备控制箱填料函处应垂直, 不应倾斜;

- ⑦ 电缆或电缆管穿越分隔危险与非危险区域或所处的气密舱壁和甲板时, 其布置不应破坏舱壁或甲板的气密完整性。

##### (3) 防爆区域照明系统的验收要求:

- ① 核对防爆区域照明灯具的防爆证书;

- ② 防爆区域照明设施的开关及保护装置应置于非危险区域, 若开关拥有危险区域安全类型证书, 则可以安装;

- ③ 检查照明系统涉及的电缆按防爆区域的设备电缆进行检验;

- ④ 检查灯具填料函的密性及灯具固定螺丝的紧固, 按设计部门提供的防爆设备清册确定各灯具型号、数量、安装位置;

- ⑤ 照明灯具应保持清洁, 检查安装过程中 (包括灯罩、灯壳、接线盒) 是否损坏;

- ⑥ 检查灯具的外壳接地线是否安装正确、紧固。

##### (4) 防爆区域传感器的安装检查:

- ① 按照防爆设备清册核对防爆区域传感器的防爆证书、型号、数量;

- ② 检查传感器的电缆, 按防爆区域的设备电缆进行检验;

- ③ 防爆区域传感器在货舱装有液化天然气气体时所涉及的调试与报验中使用的设备如压力矫正器、过程测试仪等, 应是防爆的并有 Ex 标记;

- ④ 安装在隔离空舱内的传感器应避免碰触管子支架, 检查传感器的进线口紧固情况,

不应松动。

(5) 防爆区域隔离栅控制箱的验收：

- ① 控制箱的安装应布局合理，固定牢固；
- ② 检查控制箱的接地线是否安装正确；
- ③ 控制箱内隔离栅应保持清洁，接线完整；
- ④ 按照防爆设备清册核对隔离栅的证书、数量和型号；
- ⑤ 检查控制箱内电缆，按防爆区域的设备电缆进行检验；
- ⑥ 检查控制箱贯穿件的密性完整。

(6) 防爆区域各阀和液货泵过渡箱的检验：

- ① 按照防爆设备清册核对各阀和过渡箱的防爆证书、型号、数量；
- ② 检查各阀和过渡箱的安装是否固定好；
- ③ 电缆进过渡箱内部接线后，应检查接头的上紧力矩（测力力矩的数值按接头螺丝的标准决定）；
- ④ 完成测力后应对过渡箱内清洁并浇注密性，同时检查密性是否填满；
- ⑤ 检查过渡箱填料函紧固，电缆安装固定，以及热缩套管对填料函的塑封。

#### 5.4.2 C 型液化天然气运输船货物驳运与处理系统辅助系统检验

##### 5.4.2.1 压力释放阀的检验要求：

(1) 对每一个液货舱至少应设置两个排量大致相等的压力释放阀，常用的压力释放阀的结构型式有两种：导阀控制式（使用场所较多）和弹簧式两种；

(2) 压力释放阀的安装检验要求参见 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》8.2 条款相关要求。

##### 5.4.2.2 液货监测系统及装载限制的检验要求：

(1) 核查液位、压力和温度装置的检验布置要求：每个液货舱都应设有显示货物的液位、压力和温度的装置，这些压力表和温度指示器一般布置在液罐的气室顶部位置；货物处理管系中的液体和蒸气管系以及惰性气体系统也应装设压力表和温度指示器；船舶的装卸货是通过遥控的阀和泵等设施予以实现的，则该液货舱有关的所有控制装置和指示器集中在一个控制位置。对上述仪表应进行试验，以保证其在工作条件下的可靠性，并应对其进行定期校准。对于仪表的试验方法和重新校准的时间间隔，应经 CCS 认可；

(2) 液位计、液位报警装置及安保动作在系泊试验时应逐个模拟功能试验；

(3) 压力表数值在系泊试验时均应逐个模拟整定数值的，对压力报警装置也应予以逐个进行模拟动能试验；

(4) 温度表在系泊试验时均应逐个模拟整定数值的效用试验；

(5) 核查液位、压力、温度的货物监测系统是否同退审图纸一致，并要注意核查这些电气设备是否满足防爆要求；

(6) 核查液位计的型式是否满足图纸和 IGC 规则的要求，液位计一般分为间接式、闭式装置（不穿透液货舱）、闭式装置（需穿透液货舱）、限制式。液位计型式的选择根据该船拟装货品查 IGC 规则的第 19 章的最低要求一览表中的“g”栏；

(7) 核查溢流报警（高液位报警）的传感器应独立与液位指示的传感器，并独立于溢流报警（高液位报警）的传感器应能触动应急截止阀及停止液泵、货物压缩机等设备，以避免装货管路中产生过大的液体压力，及防止液货舱内被注满液体。一般设有 2 套完全独立的雷达式液位计，分为主雷达和副雷达。主雷达全程显示液舱的液位；

(8) 核查溢流报警是否有越控操作，如果进行了越控操作，在货控台、驾驶室有连续的视觉指示；

(9) 核查液舱温度指示装置的数量（不少于2个），一个位于液货舱底部。另一个接近液货舱顶部且低于最高允许液面。应在温度指示器上或附近标记货舱最低设计温度；温度指示器的量程应能越过预计货物操作温度；

(10) 核查驾驶室液罐的高压报警，规范要求液货舱最大允许（设计）压力的 90%时触发高压报警，当设置真空保护时，核查低压报警，在至少高于最小调定压力 5KPa 时触发低压报警。

#### 5.4.2.3 应急关断系统

(1) 货物系统的应急截止阀的结构布置及功能检验要求：

① 核查 C 型球罐在其所有液体和蒸气的连接管上（管径大于 50mm）设置有 1 个能手动操作的截止阀和 1 个应急截止阀。或 1 个单独的阀又能对其就地手动操作并将管路完全关闭，则可用 1 个单独的阀代替 2 个分开的阀。这些阀布置位置尽可能地靠近液货舱；

② 当管径不超过 50mm 时，可用超流量阀代替应急截止阀；

③ 对于液货舱上的仪表或测量装置上不超过通过直径为 1.5mm 圆孔的流量的连接管，不须设置超流量阀或应急截止阀；

④ 如上述①所要求的应急截止阀是通过应急截止系统进行关闭时，则应将货泵和压缩机布置成使他们能自动关闭；

⑤ 如在液体和蒸气管路上在所用的每根货物软管的接头处，则均应设置 1 个遥控应急截止阀。对于在驳运作业中不使用的接头，可用盲板法兰予以盲断，以代替截止阀；

⑥ 应核查应急切断阀是否满足公约规定的故障关闭型（动力故障关闭）型，并能就地手动操作关闭；

⑦ 对应急切断阀进行动作试验，应急截止阀关闭时应考察：在所有工作情况下，应急截止阀应能在 30s 内完全关断管路中的液体。关断时间应自手动或自动操作开始到完全关闭，这称为总关闭时间，包括信号反映时间和阀关闭时间；这种阀的关闭时间应能避免管路的压力波动，不要出现异常声响等情况；阀的关闭应能做到平稳地切断流动。在检验完后应将各阀的关闭时间及其工作特性的资料保存在船上，以便随时查用。应进行 ESD 阀液压泵站的相关试验；

⑧ 取样系统需设置两道阀，其中之一应为多回转阀门以防止意外开启，并且两道阀之间距离足够远；仅用于蒸气取样的管路上可用单阀；取样管需配备封堵塞或法兰，在不用时封闭取样接头。

(2) 对货物驳运与处理系统的所有应急截止阀的控制装置的布置检验要求，具体参见 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》5.13.3 条款相关要求；

(3) 对货物处理系统的 ESD 的控制系统的检验：检验控制系统中还应设有能在温度为 98°C 至 104°C 之间熔化的易熔元件或电子感温元件。这些设备所在位置应包括液货舱气室和装货站；

(4) 船上 ESD 的系统布置功能试验检验要求：系统在火灾或其他紧急情况下，整个货物系统、货物压缩机和供给机舱双燃料发动机的燃料总阀等应产生切断动作。这种应急切断应能够手动和在着火情况下自动触发动作，因此 ESD 动作可由以下条件产生：手动、自动、着火、液货舱高高液位报警、电源故障；

① 对上述手动应急切断按钮的进行逐个功能动作试验：货控室、消防控制室、驾驶室、加气站平台、货物甲板的前部区域和后部区域、货物压缩机间。

② 对如下几种情况，按照 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》表 18.1 的要求进行功能模拟试验：

(a) 货舱液位一般高高位大约 99.5%，货舱高高液位报警同时产生 ESD 动作；

(b) 货物蒸气总管压力低；

- (c) 船、岸管线故障；
- (d) 着火（易熔塞融化）；
- (e) 液压阀液压单元故障；
- (f) 电源故障；
- (g) 手动按钮。

#### 5.4.2.4 危险气体探测系统

##### (1) 气体探测配备要求：

① 核查对每艘船舶应至少设有 2 套经 CCS 认可的并适合于所载运货品的可携式测甲烷及测氧设备仪器。同时应设有一台能测量惰性气体中含氧量的合适仪器；

② 核查在每个液罐上的气室部位均应设置了就地取样管，从取样器引出的管子不得穿过气体安全处所，一般在就地的取样管上均设置有截止阀。

##### (2) 对货物安全保护区域的气体探测进行位置布置检验要求：

① 需要安装气体探测处所内应设有固定的气体探测系统和声、光报警装置，对这些气体探测设备的各级报警及动作进行校准及功能试验，如下：

- (a) 货泵舱；
- (b) 货物压缩机舱；
- (c) 用于货物装卸机械的电动机舱；
- (d) 货物控制室，被指定为气体安全处所者除外；
- (e) 货物区域内可能积聚蒸气的其他围蔽处所，包括货舱处所；
- (f) 双燃料发动机的燃气管外层的通风罩和气体管道；
- (g) 空气闸。

② 当气体探测设置在气体安全处所，应注意核查设备布置满足下列技术要求：

- (a) 气体取样管应设有截止阀或等效装置，以防止其与气体危险处所相互连通；
- (b) 从探测器排放的气体应在安全位置排向大气。当可燃气体探测设备，包括采样管路、采样泵、电磁阀和分析单元等位于气体安全处所时，上述设备均应安放在一适当气密，并由其自身的采样点监视的钢质箱（例如具有密封门的全封闭钢质箱）中。

③ 气体探测设备的功能试验：

(a) 对上述①提到的探测设备逐个进行功能试验，上述①要求设置的气体探测设备中引出的声、光报警装置应位于驾驶室、货物控制室以及气体探测器的读数装置所在的位置；

(b) 气体探测设备应能在不超过 30min 的时间间隔期内，依次从每个取样点取样和分析，但上述主机双燃料系统燃气管中所述的通风罩和气体管道进行气体探测时，应连续取样。该取样管路应与其他气体探测的取样管路分开；

(c) 上述所列的处所，当蒸气浓度达到最低可燃性极限的 30%时，用于易燃货品的报警装置应被触发；

(d) 当本条(b)中提到探测装置位于气体安全区域时：当该钢质箱中的可燃气体的聚集达到最低可燃性极限的 30%时，整个可燃气体分析设备应自动关断。

#### 5.4.2.5 水-乙二醇系统

(1) 根据设计方要求，调整水和乙二醇比例，使水-乙二醇溶液凝固点达到设计要求后，进行至少以下试验项目：

##### ① 功能试验：

- (a) 遥控/就地启动/停止泵组电机，并在所有控制给予指示；
- (b) 自动控制功能，根据设定温度、压力自动启停水-乙二醇输送泵；
- (c) 各阀门效用试验；
- (d) 系统的电气设备防爆是否符合要求；

(e) 在运行期间检查电流电压等参数是否在设计范围内。

② 报警项目检验：

(a) 自蒸发器、强制蒸发器出口压力高报警；

(b) 自蒸发器、强制蒸发器出口温度低报警；

(c) 水-乙二醇膨胀水柜液位低报警；

(d) 水-乙二醇输送泵进口温度低报警；

(e) 水-乙二醇加热器出口温度高报警；

(f) 水-乙二醇输送泵压力低报警；

(g) 水-乙二醇输送泵故障报警。

5.4.2.6 喷水系统

(1) 参见5.4.1.11相关要求

5.4.2.7 水幕

(1) 参见5.4.1.12相关要求。

## 第 6 章 推进方式和轴系布置

### 第 1 节 推进方式

#### 6.1.1 蒸汽轮机推进

6.1.1.1 在再液化装置和双燃料发动机研制成功之前，为了处理货舱蒸发气，液化天然气运输船需要安装能够燃烧蒸发气的双燃料锅炉，2008 年之前建造的船舶大部分都采用了双燃料主锅炉和蒸汽轮机这一组合进行船舶推进。锅炉需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章相关要求，蒸汽轮机需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 7 章相关要求，天然气燃料供应管路需满足 IGC 规则第 5 章和 16 章要求以及 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 5 章和 16 章要求。

#### 6.1.2 低速柴油机推进

6.1.2.1 液化天然气运输船采用常规低速柴油机推进，同时需要配合安装再液化装置和/或 GCU 装置，以便处理货舱蒸发气。柴油机需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章相关要求。

#### 6.1.3 双燃料发动机电力推进

6.1.3.1 液化天然气运输船采用双燃料发动机电力推进，除配备 GCU 装置外，可选择配备再液化装置。双燃料发动机需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章相关要求和 CCS《液化气体运输船气体燃料发动机系统设计与安装指南》相关要求。天然气燃料供应管路需满足 IGC 规则第 5 章和 16 章要求以及 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 5 章和 16 章要求。

#### 6.1.4 双燃料低速机推进

6.1.4.1 液化天然气运输船采用双燃料低速机推进，除配备 GCU 装置外，可选择配备再液化装置。双燃料发动机需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章相关要求和 CCS《液化气体运输船气体燃料发动机系统设计与安装指南》相关要求。天然气燃料供应管路需满足 IGC 规则第 5 章和 16 章要求以及 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 5 章和 16 章要求。

### 第 2 节 轴系布置

#### 6.2.1 使用蒸汽轮机的轴系布置

6.2.1.1 轴系有一定的倾斜，根据设备情况一般倾斜度为 55 mm/m，如图 6.2.1.1 所示。因主透平布置在主冷凝器之上，使得动力输出端垂直位置较高，且为了保证推进效率，要求螺旋桨在满载时能完全浸没在水中，因此，用蒸汽轮机作为主动力机械的液化天然气船轴系一般布置成斜轴系。轴系布置需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 11 章和 12 章相关要求。

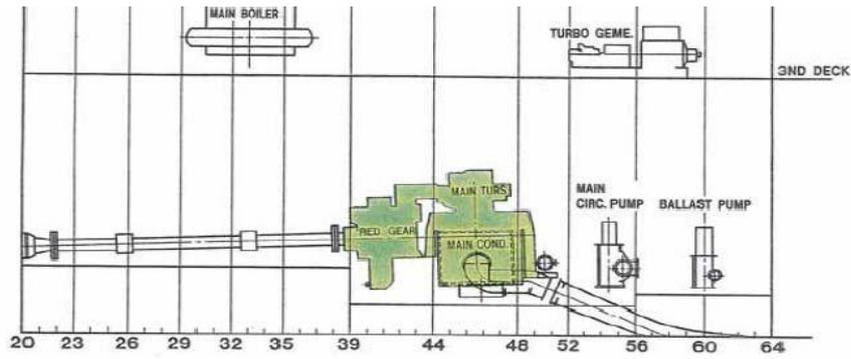


图 6.2.1.1 机舱纵剖面示意图

## 6.2.2 高效双轴系外倾布置

6.2.2.1 目前大型薄膜型液化天然气运输船多采用双桨（双轴系）、双尾鳍的设计，从船艏向船艉看，左桨顺时针旋转，右桨逆时针旋转。为使尾部伴流场更加均匀，并增加螺旋桨盘面处来流，因此在设计船体线型时，考虑将双轴系设计成具有一定的倾斜角度，从船艏向船艉看，左右轴系向外水平倾斜，具有提高推进效率的作用，如图 6.2.2.1 所示。

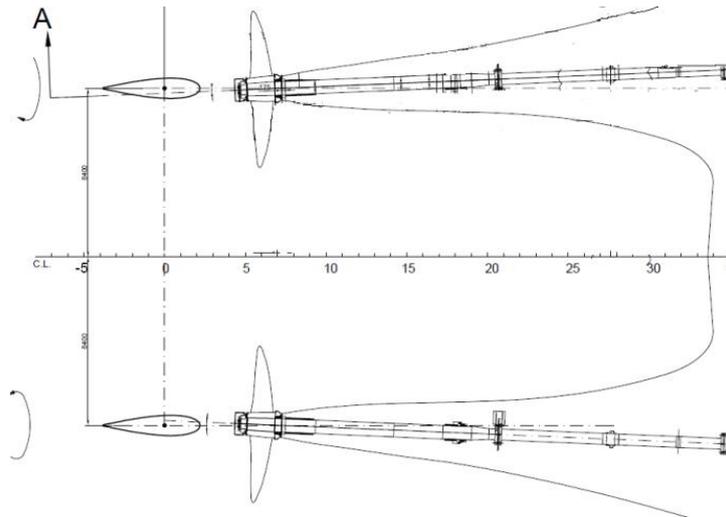


图 6.2.2.1 双轴系外倾布置图

6.2.2.2 双轴系外倾布置需满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 11 章和 12 章相关要求。

## 第 7 章 气体航行试验和首次装货与卸货操作

### 第 1 节 薄膜型液化天然气运输船气体航行试验

#### 7.1.1 总则

7.1.1.1 薄膜型液化天然气运输船除了进行常规试航，在正式营运之前还需进行气体试航，目的是验证所有涉及货物操作设备和气体管理系统（包括仪表，监测控制和报警系统）的功能和完整的效用，从而保证液化天然气船的所有系统和设备在液化天然气船营运和装卸过程中可靠良好的运行。一般来说，气体试航需进行下列操作试验：

- (1) 绝缘层空间的氮气注入；
- (2) 液货舱和管系的惰化；
- (3) 与岸站通讯及装载臂连接；
- (4) 气体置换；
- (5) 液货舱和管系冷却；
- (6) 装载液化天然气；
- (7) 液货泵、扫舱泵及应急液货泵的运行；
- (8) 卸载液化天然气；
- (9) 液货舱升温；
- (10) 液货舱的惰化及通风。

7.1.1.2 薄膜型液化天然气船气体试航一般分为下列三个步骤：

- (1) 冷态试验：在船厂码头进行，主要包括绝缘层空间氮气注入、液货舱和管系干燥、惰化、液货管路冷却；
- (2) 货物驳运与处理系统运行试验：当液化天然气船到达气站时进行，主要包括与岸站通讯及装载臂连接、气体置换、液货舱和管系冷却、装载液化天然气、液货泵和扫舱泵及应急液货泵的运行、卸载液化天然气、液货舱升温、液货舱的惰化、液货舱通风；
- (3) 气体管理系统的运行试验：主要包括 BOG 的操作验证试验，如主锅炉燃烧试验，双燃料发电机运行试验，再液化效用试验，GCU 效用验证，其他试验等。

7.1.1.3 验船师应遵守气体航行试验安全规定，确认货物操作设备和气体管理系统（包括仪表，监测控制和报警系统）的功能和效用试验满足相关要求。

#### 7.1.2 气体试航前冷态试验

##### 7.1.2.1 绝缘层内注入氮气

(1) 向绝缘层内注入氮气的目的是清除绝缘层内的空气，降低绝缘层空间的含氧量（使之小于 3%）。每个舱的主层和次层绝缘层空间是由船上一个或两个氮气发生装置通过吸入空气通过薄膜过滤而产生的氮气来调节绝缘层空间的压力。氮气发生装置产生氮气（含氧量为 3%），目的是惰化绝缘层间空间，并去除水蒸气，主层与次层绝缘层空间是由两根独立的氮气总管分别注入氮气。每根管路上有两只控制阀门分别控制注入压力和排出压力，管路压力过高时，氮气排至透气桅。每个绝缘层空间均设有安全阀，其中次层绝缘层空间安全阀直接排至大气，主层绝缘层空间安全阀排至透气桅。每个主层绝缘层的安全阀也能够直接旁通排至大气；

(2) 在注入氮气之前，首先要将绝缘层空间内的空气排出，利用两台真空泵对所有液

货舱的主、次绝缘层抽真空进行减压，将排出的废气通过透气桅释放至空气中。主、次绝缘层抽真空可以同时进行，最终液货舱的主层与次层绝缘层须达到规定的真空状态；

(3) 气体试航时，第一次对绝缘层空间注入氮气时，NO 96 型围护系统绝缘层空间与液货舱压力关系：液货舱>主层绝缘层>次层绝缘层，MARK III 型货围系统中，次层绝缘层>主层绝缘层压力（注：压力不可升高太快，压力值通过货控室内的操作屏显示，并附有报警点）。当绝缘层空间达到注入氮气的要求之后，通过液化天然气气化器把岸上的液态氮气化成气态，并调整液化天然气气化器的流量，使氮气通过管系注入到绝缘层空间；

(4) 检验时需测量货舱，主、次绝缘层的压力以及绝缘层空间内氧气的浓度。

#### 7.1.2.2 货舱和管系干燥处理

(1) 液货舱和管系进行干燥目的是将湿空气排出，降低货舱露点，保证货舱在冷却时下不会结冰。液货舱要由惰气发生器产生的干空气来干燥，使露点降低到 $-20^{\circ}\text{C}$ 或更低；

(2) 惰气发生器产生的干空气由液货管送到各舱，置换出的气体通过蒸气管通过 1 号透气桅排出。由于干空气密度会随温度的变化而变化，根据货舱内空气和干空气的相对密度：

① 在冬季，干空气比环境空气轻，干空气从蒸气主管和气穹注入以获得好的活塞效应，环境空气从底部注入管排出；

② 在夏季，干空气比环境空气重，干空气从底部注入，环境空气从蒸气主管排出。

(3) 货舱干燥目标：货舱露点 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ ，单货舱干燥完成，关闭透气阀使舱内压力上升到 120 mbar，然后关闭注入阀并停止惰性气体发生器；

(4) 在检验时，首先要确认蒸气总管、液货管、扫舱管的干空气吹洗试验，保证管系内的清洁；在干燥过程时，每小时需测量：

① 大气压力和温度；

② 货舱的露点；

③ 货舱温度和压力；

④ 主次绝缘层内的压力。

(5) 对惰性气体发生器干空气模式下的功能进行验证。

#### 7.1.2.3 液货舱及管系惰化

(1) 液货舱及管系惰化的目的是将液货舱内的含氧量降低至小于 2%，露点进一步降低至 $-40^{\circ}\text{C}$ 。液货舱惰化一般是由惰性气体发生器产生的惰性气体（由 85%的  $\text{N}_2$  和 14%的  $\text{CO}_2$  构成）进行空气的置换。或由岸上的液氮对液货舱及管系进行惰化，此时在操作之前，液货管、扫舱管、液化天然气气化器均需要进行冷却；

(2) 根据货舱内惰性气体和干空气的相对密度，采用惰性气体进行惰化时，惰性气体从货舱底部注入，空气由气穹排出；采用氮气进行惰化时，氮气从货舱气穹注入，空气由底部排出，最终空气经由 1 号透气桅排出。检验时需注意每小时进行一次测量，主要有：

① 大气压力和空气温度；

② 货舱的露点，氧气含量和温度、压力；

③ 主次绝缘层的温度和压力；

④ 货舱和绝缘层的压差；

⑤ 1 号透气桅的流量；

⑥ 管系的压力和温度。

(3) 注意货舱露点及氧气含量的测量的最终确认点，当使用惰性气体时，在货舱的顶部；当使用氮气时，在货舱的底部。

#### 7.1.2.4 液货管路冷却

(1) 管系冷却主要是对扫舱总管、液货总管、蒸气总管进行冷却；

(2) 扫舱总管：是指用作液货舱扫舱、冷却、液货主泵排出管注入及向蒸发器提供液

化天然气的纵向管路，通过集管区域的阀门与液货主管连接：

(3) 液货总管是指用作液货舱注入和排出的纵向管路。液货总管与岸站管路连接的跨越管称为集管，通过集管区域的阀门与扫舱主管连接；

(4) 蒸气总管是指用作液货舱自然挥发的收集纵向管路，与蒸气返岸压缩机连接；

(5) 对管系进行低温冷却试验主要目的是验证：

- ① 管路在低温情况下的性能；
- ② 管路绝缘在低温情况下的性能；
- ③ 根据计算管路在低温情况下的位移；
- ④ 管夹的抗力。

(6) 管系冷却是通过码头上的液氮通过临时接头与集管连接进行，冷却之前应利用氮气对管系进行吹洗，吹洗完成之后应对所有管系包括临时管系进行 0.5bar 的密性试验，然后进行冷却，冷却的最终结果是管系的温度降至-100℃以下。在检验时需进行巡检，时刻关注管系及其附件的工作状态，主要有：

- ① 膨胀弯头和膨胀接头处于好的工作状态；
- ② 管夹处于好的工作状态、没有永久变形；
- ③ 阀件的密封性，法兰的密封性；
- ④ 测量管系的移动及变形数据；
- ⑤ 测量管系温度、压力。

### 7.1.3 货物驳运与处理系统试验

#### 7.1.3.1 连接岸站和 ESD 试验

(1) 在液化天然气船到达气站之前，应对船岸通讯设备（SSL 系统）、甲板喷淋系统、机舱通风系统、ECR 空气闸功能、ESD 功能进行验证，确保其正常运行；

(2) 船岸通讯系统：通过模拟信号对电气、光纤连接功能验证，船岸电话功能正常，气动 ESD 上的管系通畅，功能良好；

(3) 甲板喷水系统：连接到甲板喷水的临时管系（位于消防控制站），启动甲板水泵，确认穹顶甲板上各喷淋区域的喷水效果；

(4) 机舱通风系统：在到达气站之前需将上建区域端壁及舷侧的门窗关严，通过送风机使空气进行内循环并形成一定的正压，以免泄漏的液化天然气气体进入舱室房间；

(5) 空气闸功能：验证空气闸的听觉和视觉报警系统、通风系统功能；

(6) ESD 功能：通过模拟信号进行 ESD，验证各阀及泵的动作；

(7) 根据气站要求，达到气站之前还应切断船上阴极保护系统；

(8) 到达岸站之后，完成船岸通讯系统的船岸连接，检查电气、光纤的通讯正常、船岸的声力电话联系正常、船上公共电话与岸站联系；

(9) 气体装载臂的连接：对气体装载臂进行连接之后，由岸站提供氮气对气体管路和装载臂进行吹洗，氮气从岸站装载臂注入，在气体管泄放阀排出。目标使管内含氧量小于 2%，露点低于-25℃。然后进行接头密性试验；

(10) ESD 系统的测试应按如下过程进行：

- ① 将 ESD 系统进行船岸连接（通过船岸通讯系统）；
- ② 涉及 ESD 系统的所有阀打开；
- ③ 确认 ESD 系统的电源供应和气动管系内压力供应正常；
- ④ 货控室将 ESD 按钮复位；
- ⑤ 由货控室和岸站对 ESD 系统进行操作；
- ⑥ 测量 ESD 系统阀的关闭时间（30s 内完全关闭）；

⑦ 将 ESD 按钮复位。

#### 7.1.3.2 气体置换

(1) 气体置换主要目的是利用岸站上的液化天然气接入船上液化天然气气化器，产生的气化天然气（温度在-70°C-20°C之间）将液货舱内的惰性气体排出。因此，在靠岸站前应确保液货舱、液体和气体管路及集管，以及加热器、气化器、压缩机、至 GCU 燃气管均惰化结束（惰化目标：露点低于-40°C，含氧量低于 2%）；

(2) 气体置换前考虑到安全的需要，集管区域内的水幕喷淋应开启，消防软管放置在甲板上和货物机械室内，甲板上的干粉灭火系统随时开启状态，手提式灭火枪敷设在甲板上，以便随时取用；

(3) 在检验气体置换过程中，需对下列状态和参数进行确认及测量：

- ① 测试液货泵、扫舱/喷淋泵和应急泵的绝缘电阻；
- ② 集管冷却足够之后进行冷态的 ESD 测试（检查结霜情况）；
- ③ 从每舱的采样点（顶部，中部，底部）逐一检查液货舱的气体含量；
- ④ 大气压力和温度；
- ⑤ 货舱、主、次绝缘层内的压力和温度；
- ⑥ 液化天然气气化器出口压力温度及流量以及排岸的压力温度及流量；
- ⑦ 液货舱内 CO<sub>2</sub> 含量小于 1%时，CH<sub>4</sub> 含量大于 99%时，气体置换结束。

#### 7.1.3.3 货舱冷却

(1) 气体置换结束之后，应对货舱进行冷却而不是直接装载液化天然气的作用是降低热应力对泵塔及货舱边界产生冲击作用，并减少在装载初期产生的蒸发气体。货舱冷却的目标是使货舱内的温度一般需每个温度传感器达到-130°C以下。货舱冷却工作进行之前，应对下列设备进行检查：

- ① 一台乙二醇加热系统处于工作状态，另一台处于备用状态；
- ② 氮气发生器处于自动模式状态，并检查氮气缓冲罐的压力；
- ③ 主、次绝缘层内的压力，确保液货舱压力>主层>次层绝缘层；
- ④ 确认可燃气体探测系统正常运行；
- ⑤ 回气压缩机正常运行。

(2) 货舱冷却过程主要是由岸站提供的液化天然气通过扫舱管经由位于气穹内的喷淋头喷洒在货舱内对货舱进行冷却，产生的蒸气经由回气压缩机通过蒸气总管排到岸站；

(3) 货舱冷却过程中应对如下状态和参数进行确认和测量：

- ① 测试液货泵、扫舱/喷淋泵和应急泵的绝缘电阻；
- ② 大气压力和温度；
- ③ 货舱、主、次绝缘层内的压力；
- ④ 隔离空舱内温度。

(4) 逐一检查液货舱的温度，液货舱内温度梯度曲线，如图 7.1.3.3 所示，舱内的平均温度可参考此曲线，误差为±10°C，具体以专利公司给出的计算数据为准。

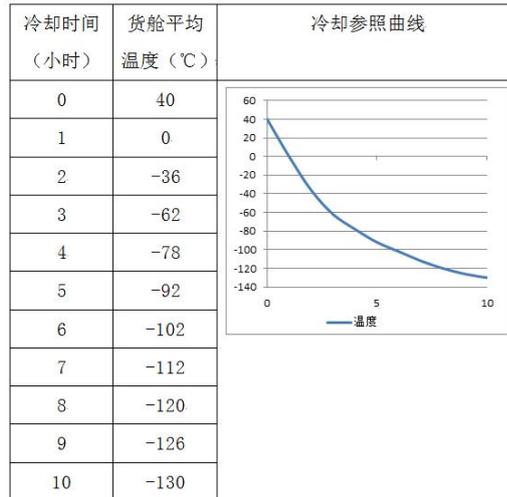


图7.1.3.3 货舱冷却曲线

#### 7.1.3.4 液货装载

(1) 一旦冷却完成就可以进行货物转载，首次装载一般单舱装载少量的液化天然气，在装载的过程中要密切注意货舱内的压力，一般通过流量阀控制，舱内压力保持在 10KPa 左右，但如果压力较大，需启动一台回气压缩机控制舱内压力在 14KPa 以内，同时应根据舱内液位记录扫舱泵、液货泵的浸没时间；

(2) 在检验时还应对下列状态及参数进行确认和记录：

- ① 大气压力和温度；
- ② 货舱、主、次绝缘层内的压力；
- ③ 隔离空舱内温度；
- ④ 货舱压力、温度、液位；
- ⑤ 到岸站蒸气的流量；

⑥ 对液货管系进行巡检，检查是否存在结冰现象，附件是否有泄漏以及管系支撑处的位移是否在正常范围内；

⑦ 检查 CTS 上的流量表的指示。

(3) 装载结束后，对液货泵和扫舱泵进行绝缘测量，关闭进口阀件，由岸站提供的氮气对装载臂和管系进行吹洗，使管系内排放到的大气的 CH 小于 5%，然后对装载臂进行拆卸并安装船侧连接管的盲板法兰，将 ESD 系统岸船连接切断，岸船通讯系统关闭，随后船舶离岸。

#### 7.1.3.5 航行期间货舱气体置换（可选）

(1) 如果其他货舱在岸站没有进行气体置换，那么在海上也进行气体置换，置换过程与在岸站类似，有一点不同的是货舱内混合的惰性气体和液化天然气蒸气需由 1 号透气桅排出，所以需密切注意一号透气桅内液化天然气蒸气的浓度。

#### 7.1.3.6 航行期间液货泵运行及货舱冷却

(1) 航行期间需对货舱内的扫舱泵、液货泵和应急液货泵的效用进行验证，目的是确保其在随后的货舱冷却和驳运过程中正常运行。验证试验通常是在一个货舱内进行液化天然气的自循环驳运，试验前先确认如下状态：

- ① 发电机正常工作；
- ② 整船电网剩余负荷满足运行液货泵的容量；
- ③ 液货泵的绝缘测量；
- ④ 液货泵在启动前一般需浸没 1 至 1.5 小时，应急液货泵一般需浸没 2 小时，具体以

制造商的要求为准；

- ⑤ 货舱的排出阀和注入阀工作正常；
- ⑥ 液货舱内液化天然气的液位。

(2) 上述状态确认后，进行扫舱泵、液货泵和应急液货泵的运行试验，试验过程中需记录下列参数：

- ① 货舱的温度及压力；
- ② 泵浦的遥控操作和就地操作；
- ③ 泵浦的马达启动和运行电流；
- ④ 泵浦的转向，如发生逆转，需在货物配电板上改变电缆的相序；
- ⑤ 泵浦的运行时间；
- ⑥ 应急液货泵运行时还需注意应急货泵管上部需要有防泄漏的方式，如环绕法兰等。

(3) 货舱冷却的过程和在岸站类似，主要是由扫舱泵向其他需要冷却的货舱通过喷淋管进行冷却，不同的是液化天然气蒸气的处理，需根据船舶的特点处理，可以送至主锅炉、或双燃料发动机、或 GCU 直接燃烧。

#### 7.1.3.7 货物驳运操作

(1) 当其他货舱冷却过程结束之后，就可以进行各个货舱之间液货的驳运操作，主要目的是验证每个货舱内的液货泵及扫舱泵的运行状况，液货驳运过程应确保每个货舱进行轮换。

#### 7.1.3.8 卸货

(1) 船舶再次抵达岸站进行液货卸载，卸载货物前应确保下列过程操作完成：

- ① 尽可能将液货驳运到一个舱；
- ② 液货管路应进行再次冷却；
- ③ 冷态的 ESD 效用，检查阀件的结霜情况；
- ④ 岸船通讯及装载臂连接。

(2) 货物卸载时，货舱内部压力会因为抽吸效应而降低，所以要从气穹补充天然气以平衡压力，天然气一般由岸站提供，如岸站不提供，需使用液化天然气气化器产生。在检验时应应对下列状态及参数进行确认和记录：

- ① 主次绝缘层的压力及温度；
- ② 隔离空舱的温度及压力；
- ③ 乙二醇系统的运行状态；
- ④ 液化天然气气化器备用状态；
- ⑤ 船舶的吃水及横纵倾状态；
- ⑥ 液货泵及扫舱泵出口压力和运行电流；
- ⑦ 液货舱的液位。

#### 7.1.3.9 货舱升温

(1) 在货舱惰化和空气化之前，货舱要升到室温，目的是防止惰气内的 CO<sub>2</sub> 变成干冰，并防止惰气和空气中的水凝结。货舱升温原理是通过回气压缩机和回气加热器对气体进行循环加热，货舱内冷的天然气通过气穹抽出，经回气加热器加热后由注入管从货舱底部注入，完成一个循环；

(2) 货舱升温分成两步，首先是将货舱内残余的液化天然气挥发成气体，然后才是货舱正式开始加热。热的天然气的注入会使残余的液体挥发，并且舱内的温度和压力升高，多余的液化天然气蒸气通过 1 号透气桅排放到大气或 GCU 燃烧，通常都是经 GCU 燃烧，透气桅只在应急时使用。如使用透气桅进行排气，特别注意上层建筑的可燃气体探测和船舶首部及通道内的可燃气体探测；

(3) 在检验时应应对下列状态和参数进行确认和记录:

- ① 货舱压力及温度;
- ② 主、次绝缘层空间的压力及温度;
- ③ 隔离空舱内的温度;
- ④ 回气压缩机的出口温度及流量;
- ⑤ 回气加热器的出口温度及压力;
- ⑥ 液化天然气蒸气到透气桅或 GCU 的流量。

(4) 货舱升温过程一般持续 48 小时左右,控制回气加热器的出口温度不要超过 80°C,可参考次绝缘层的温升曲线,具体以专利公司的计算数据为准,如图 7.1.3.9 所示,检测次绝缘层的温度 $\geq -10^{\circ}\text{C}$ (如用热的惰气惰化)或 $+5^{\circ}\text{C}$ (如用常温的惰气惰化,大舱温度约 25°C),此时货舱自循环升温过程结束。

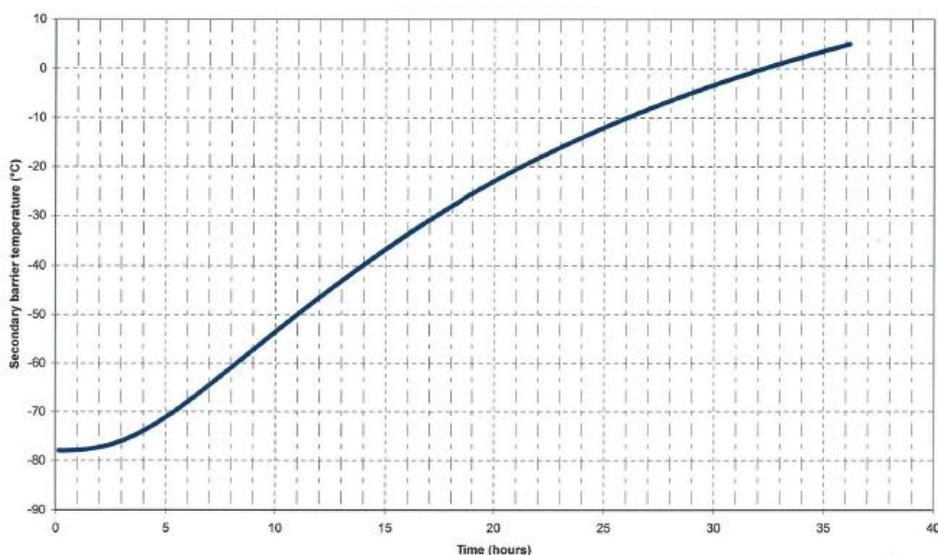


图7.1.3.9 货舱温升曲线

#### 7.1.3.10 惰化和通风

(1) 当次绝缘层温度达到指定温度之后,就可以进行货舱惰化,惰化的目的是防止天然气和空气形成混合爆炸气体。惰性气体由 IGG 产生,密度较天然气重,由注入管注入至舱底,天然气由气穹排出至 GCU 或者 1 号透气桅,由于会产生大量的天然气,所以通过 1 号透气桅排至大气时,需注意 1 号透气桅附近的天然气浓度。货舱惰化的目标是使每个舱内的 CH 含量低于 2%。惰化操作也一并包括所有管系及辅助设备的惰化:

(2) 检验时应应对下列状态及参数进行巡检和记录:

- ① 货舱的温度和压力;
- ② 主、次绝缘层的温度和压力;
- ③ 主、次氮气总管内压力;
- ④ 惰性气体发生器出口含氧量,温度,压力及流量;
- ⑤ 货舱内 CH 含量;
- ⑥ 通往 GCU 的流量或透气桅的流量;
- ⑦ GCU 的运行状态;
- ⑧ 危险气体探测结果:主绝缘层、透气桅、隔离空舱、液穹空间、次绝缘层和货物机械室。

(3) 液货舱惰化之后,就可以进行通风,原理和货舱惰化类似,IGG 产生的干空气对货舱内的惰性气体进行置换,干空气密度比惰性气体低,由气穹注入货舱,惰性气体有注入

管通过 1 号透气桅排至大气，货舱通风过程要一直持续到货舱内含氧量达到 20%，次绝缘层温度达到+5℃，同时 CO 含量<50ppm，CO<sub>2</sub> 含量<0.5%，CH 含量<0.2%；

(4) 检验时应应对下列状态及参数进行巡检和记录：

- ① 货舱的温度和压力；
- ② 主、次绝缘层的温度和压力；
- ③ 惰性气体发生器出口含氧量，温度，压力及流量；
- ④ 货舱 O<sub>2</sub>，CH，CO，CO<sub>2</sub> 的含量。

#### 7.1.4 气体试航期间的气体管理系统试验

7.1.4.1 气体管理系统是针对液化天然气蒸发气（Boil Off Gas，简称 BOG）进行处理利用的系统，目前液化天然气船舶主要采用二种方式对 BOG 进行处理利用，第一种是用 BOG 做燃料，如主锅炉（蒸汽透平涡轮发动机）、双燃料发电机（电力推进）以及即将应用的双燃料低速发动机等；第二种是将 BOG 进行再液化后注入货舱的再液化系统。另外，如果 BOG 蒸发量比较大的情况下，由 GCU 燃烧或者通过透气桅排入大气（除紧急情况外，不被允许）。

##### 7.1.4.2 再液化系统运行试验

(1) 再液化属于低温过程，在理论上是利用等熵膨胀制冷的循环，一般采用逆布雷顿循环制冷机原理，布雷顿循环是由等熵压缩、等压冷却、等熵膨胀和等压吸热四个过程组成，如图 7.1.4.2 所示，是其单级循环的系统图和 T-S 图：在室温下工质被压缩，并经冷却达到 3 点，然后高压气体在逆流换热器中被返流的冷气体冷却到 4 点，再流入膨胀机，绝热膨胀并输出外功，工质温度降低，制得冷量，该过程理论上为等熵膨胀(4-5')，实际上为 4-5 过程，在 5-6 过程中向外界输出冷量。随后进入逆流换热器用来冷却正流高压热气体(6-1)回收冷量，最后在接近室温下进入压缩机，至此完成一个冷却介质的封闭循环；

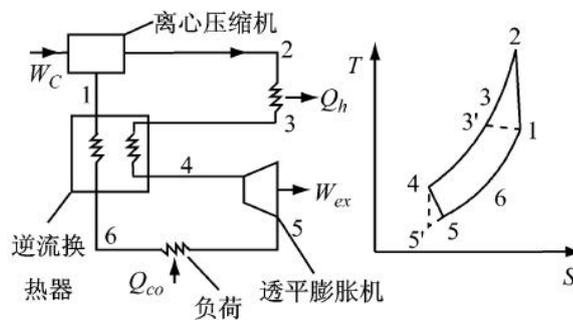


图 7.1.4.2 单级逆布雷顿循环系统图和 T-S 图

(2) 由于天然气的露点为-163℃，所以一般采用氮气作为冷却介质，液化天然气船再液化装置的原理可简单归结为：氮气在压缩机中被压缩，然后在膨胀过程得到低温，通过热换热器来液化 BOG，氮气的循环量的变化与再液化装置的热负荷相对应。再液化系统的安装和试验根据批准的工艺文件进行检验。

##### 7.1.4.3 GCU 运行试验

(1) GCU 系统主要用在 BOG 挥发量较大无法被利用的情况，GCU 中天然气的压力及含量并不均匀，所以设置有专门的点火油泵及油柜针对不同压力及含量的 BOG 气体进行燃烧，保证燃烧连续；

(2) 检验时，应注意对 GCU 的安保系统进行检验，各阀件及设备功能运行正常，在各个负荷下进行 GCU 的负荷试验，100%负荷应根据实际情况进行耐久试验。由于阀组房间存在天然气泄漏的潜在隐患，属于危险区域，房间内各电气设备均为防爆型，并应设置可燃气体

体探测探头，房间内应有抽风使之形成负压，避免可燃气向机舱扩散，所以要注意抽风机的出口附近电气设备（如有时）的防爆类型。

## 第 2 节 C 型独立液货舱液化天然气运输船气体航行试验

### 7.2.1 总则

7.2.1.1 召开装卸货会议，对安全消防系统进行检查，确认装卸货操作细节，进行船岸之间通讯及安全检查等。

7.2.1.2 船舶气体航行试验大纲应经过审批。

### 7.2.2 气体试验应用系统与准备

7.2.2.1 C 型独立液货舱（以下简称“液罐”）干燥与惰化

(1) 液罐封罐检查：在液罐内部安装工作完成并提交结束，液罐舱容测量完成，液罐清洁第三方提交完成后，由船厂进行封罐交验，液罐封罐前应检查确认内部没有存水、积水现象；

(2) 液罐干燥与惰化检验：首先测量液罐的压力、温度，然后使用露点仪、氧气浓度探测器从液罐的气体取样接口进行气体取样探测，从液罐内上、中、下取样点分别取样。确认液罐内露点及氧气浓度是否满足设计要求。液罐内气体露点不高于 $-45^{\circ}\text{C}$ ，罐内氧气体积浓度低于 2%（罐内氮气气体体积浓度高于 97%）、温度和压力，具体验收参数需依据液罐设计要求确定；

(3) 当罐内干燥惰化达到要求后，闭罐充压气密检验：利用罐内氮气对整个液化气管系进行完整密性检查，检查液罐气室法兰对接处密性。

7.2.2.2 液货管系干燥与惰化

(1) 确认露点、氧含量达到设计要求。

7.2.2.3 液货空舱干燥

(1) 使用便携式露点仪定期在排气口取样，空舱干燥空气的露点应达到：在标准大气压下，货舱空舱内干燥空气露点不高于 $-40^{\circ}\text{C}$ ；

(2) 空舱内保持正压，压力维持在 100mbar 以上。

7.2.2.4 连接岸站通讯和 ESD 试验

(1) 热态 ESD 测试：在所有卸料臂连接好和吹扫以及卸前会议后，应进行热态 ESD 测试。ESD 测试检验的具体步骤：

- ① 连接用于码头与船舶的 ESD 的船/岸通讯连接（SSL）；
- ② 确认与 ESD 系统的所有阀及液货设备均打开；
- ③ 确认 ESD 系统的电源和气动管系内压力供应正常；
- ④ 分别在船上货控室和岸站对 ESD 系统进行操作；
- ⑤ 应测试阀门的关断时间（不超过 30s 内完全关闭）。

### 7.2.3 船岸连接

7.2.3.1 具体要求参见 ISO 28460:2010 石油和天然气工业-液化天然气用设备和设施-自船至岸上的分界面和港口作业。

7.2.3.2 卸料臂的连接和吹扫：排放至大气直到氧气浓度 $<2\%$ ；露点温度 $<-25^{\circ}\text{C}$ （泄放阀处取样检测）。

7.2.3.3 应对岸臂与船管连接的气密性进行试验，卸料臂与装卸总管根据管路设计压

力进行气密性试验，压力表读数稳定，检查无泄漏，持续保压 5min。

#### 7.2.4 气体置换

7.2.4.1 罐内各气体取样点（液罐的上、中、下）分别取样气态液化天然气气体溶度要求大于 95%，应定期予以观察记录，同时测试液罐内的压力和温度。当液罐内液化天然气气体溶度大于 95%时，方可进行冷罐操作，具体浓度按操作说明书要求进行。

7.2.4.2 液货管系吹扫置换，不要遗漏仪表管等吹扫，遗留的惰性气体可能导致错误数据显示。

7.2.4.3 船方提交惰化测量报告给岸站确认，或根据岸站要求就地取样，监控测量。岸站提交液化天然气组分报告，包括密度、甲烷值及低热值等。

#### 7.2.5 液罐冷却

7.2.5.1 液罐喷淋冷却流程的检验要求如下：

- (1) 预冷液化天然气供液低于最大允许流量及压力；
- (2) 冷却技术要求：罐底温度达到设计要求，一般为-140℃；上下温差不超过 50℃；
- (3) 检查液罐温度变化梯度，冷却温度一般控制在 10℃/h 以内；
- (4) 检查液罐的压力及温度并定期记录，当检测罐底温度达到-140℃时冷却完毕；
- (5) 进入液货空舱，各液罐冷罐前鞍座滑动侧位移量。注意：各液罐冷罐前鞍座滑动侧位置预先做好标记；
- (6) 进入液货空舱，检查液罐隔热。

7.2.5.2 岸站确认卸料臂预冷结果，进行冷态 ESD 测试。在卸料臂冷却后，船岸双方做冷态 ESD 测试。遥控阀门将在船方或岸方触发紧急关断信号后关断，船岸双方应确认双方 ESD 正常。测试完成后恢复遥控阀处于打开状态。

#### 7.2.6 装货

7.2.6.1 在装货过程中液罐的压力满足液货设计资料要求。靠岸期间同一液罐左右舷液位相差最大允许 1m，航行期间要求液位基本相等。

7.2.6.2 装货装货过程中巡检项目：

- (1) 定期检查液罐注入阀开度、液位、压力、温度、体积等并予以记录；
- (2) 检查液货管位移情况及支架位移是否正常；
- (3) 检查液货管无冷点及泄漏；
- (4) 检查管路隔热包覆情况。

#### 7.2.7 液货泵实效试验

7.2.7.1 深井泵运转试验：

- (1) 检查泵的排除压力是否满足要求；
- (2) 运行时间大约半小时；
- (3) 深井泵出口液压调节阀应缓慢开启、调节，调整排放阀直到达到要求的工作压力；

(4) 运行 30 分钟后检查轴封温度；轴填料箱的升温取决于实际的舱压和轴尺寸。具体的轴填料箱的升温以深井泵说明书规定的要求为准。如轴填料箱的升温超过设计值，应停泵。检查增压器顶部的观察窗充满空气或蒸气，以确保轴密封系统充满液体；

- (5) 自动停泵试验：逐步关闭出口遥控阀，泵自动停止时，记录电流、电压等。

7.2.7.2 对深井泵检验注意点：

(1) 当从接近环境温度时冷却液舱时，泵缸内可能会有结冰的风险。通过在冷却时转动泵轴，可减少转动的泵部件的结冰风险；

(2) 对新造船首次启动和冷却至-50°C以下。新泵尚未试运转，热收缩减少了泵缸的间隙，这可能导致高摩擦和很难转动轴。如出现高摩擦，应在冷却阶段进行试运转。转动泵轴以确认未堵塞（例如结冰）。

7.2.7.3 货物驳运试验：当其他货舱冷却过程结束之后，就可以进行各个货舱之间液货的驳运操作功能是否正常，主要目的是验证每个货舱内的液货泵的运行状况。

## 7.2.8 BOG 压缩机供气系统试验

### 7.2.8.1 BOG 供气系统组成：

(1) 用于 BOG 处理的设备组合：BOG 压缩机、吸鼓、燃料气体中间冷却器、燃料气体后冷却器；

(2) 用于强制液化天然气蒸发的设备组合：浸没式燃料气体泵、强制液化天然气蒸发器（位于压缩机室内）；

(3) 用于燃料气体供应的设备：燃料气体缓冲罐、燃料气体流量计、主气体燃料阀（每台燃料发动机对应一台）。

7.2.8.2 BOG 压缩机设有：润滑系统、吸入和排放侧的关闭阀、安全释放阀、油、气体和冷却水的压力和温度表、安全关闭开关和警报等。

### 7.2.8.3 BOG 压缩机启动前的工况条件的确认检查：

(1) 在启动前复查所有管路、短管和阀的设置；

(2) 在启动压缩机前启动至压缩机和冷却器的冷却水，以避免过热；

(3) 操作 BOG 压缩机时不可关闭排放阀，其必须完全打开；

(4) 启动时观察压缩机的油、吸入和排放压力（如压力未按预期发展，阀的设置可能不正确；例如，打开的旁通或排气连接）；

(5) 易燃蒸气/空气混合物不可通过货物压缩机。为避免此情况，用货物蒸气驱气前，使用氮气对货物系统完全驱气；

(6) 定期检查装置的仪表、控制和关闭设备；

(7) 为避免严重损坏，在任何情况下不允许液体液化天然气进入压缩机的。

### 7.2.8.4 BOG 压缩机运转功能试验检查：

(1) 货物压缩机维持燃气缓冲罐的压力稳定试验；

(2) 当燃气缓冲罐压力稳定后，并可以向机舱提供连续供气；

(3) BOG 压缩机应根据实际的双燃料发动机的燃料气体需求自动选择所需的压缩机容量，检验系统连续供气能力要求；

(4) 对于设计有 2 台及以上的 BOG 压缩机的船舶，如一台 BOG 压缩机的容量不足以保持燃料气体缓冲罐的压力，即燃料气体需求高于压缩机容量，在该种情况下，应验证系统将显示警报信息，要求启动第二台或其他 BOG 压缩机。如两台压缩机均运行且燃料气体缓冲罐的压力高，即燃料气体需求低于压缩机容量，系统将显示警报信息，要求关闭第二台 BOG 压缩机。作为启动第二台 BOG 压缩机的替代，可验证启动燃料气体泵和强制蒸发器（如不需要进一步降低液货舱的压力）。

### 7.2.8.5 燃气缓冲罐多余气体回收的功能试验：

(1) 如压力超过 7.5 bar（按设备说明书的要求），多余气体将通过压力释放阀回收至 BOG 压缩机的吸鼓；

(2) 如压力进一步上升，相关压力释放阀如将在 9.5 bar 时打开，使多余气体释放进入蒸气集管。当压力如低于 9.3 bar 时，该压力释放阀会关闭，具体参数以设备说明书要求为

准。

### 7.2.9 强制蒸发器供气系统试验

7.2.9.1 强制蒸发供气系统试验将结合双燃料发电机组气体试验程序进行。

7.2.9.2 功能试验要求：

(1) 启动燃气泵，通过流量控制阀监控直达压力流量稳定，开启遥控阀门供液：当启动燃料气体泵时，需要采取相应的预防措施。检验应特别注意：刚开始启动燃料气体泵时应先关闭排放阀并使相关流量控制阀处于手动模式，在启动时电动机不会过载。启动泵时打开相关流量控制阀，并当泵加压时增加流量；

(2) 检查强制蒸发器的容量、出口温度、出口压力满足设备说明书要求：如强制蒸发器的需求低于燃料气体泵的最小持续流量，最小流量控制阀应能将打开，将泵排放流量的差量返回相关液舱；

(3) 稳定供气：注意检查至强制蒸发器的流量受燃料气体缓冲罐的压力控制。如压力降低，相关压力控制器将打开蒸发器供给阀。如压力升高，压力控制器将关闭供给阀，通过这些功能从而实现强制蒸发器的稳定供气。

### 7.2.10 强制蒸发器与 BOG 压缩机组合供气试验

7.2.10.1 如强制蒸发器与 BOG 压缩机中的一台一起运行，不会显示要求关闭多余机械的信息，供给蒸发器的燃料气体泵通过将液化天然气回收至液舱从而进入“待机”运行。强制蒸发加 BOG 压缩机组合供气系统试验将结合双燃料发电机组气体试验程序进行。

7.2.10.2 功能试验要求：

(1) 启动燃气泵，通过流量控制阀监控直达压力流量稳定，开启遥控阀门供液，具体验证见 7.2.9.2(1)条款的要求；

(2) 流量稳定后，开启遥控阀门供液，具体验证见 7.2.9.2(2)条款的要求；

(3) 检查强制蒸发器的运行情况，检查压力控制阀的工况，具体验证见 7.2.9.2(2)条款的要求；

(4) 当燃气缓冲罐压力稳定后，开始向机舱提供连续供气，观察记录相关参数，具体验证见 7.2.9.2(3)条款的要求。

### 7.2.11 岸站卸货

7.2.11.1 船舶靠气站码头卸货的准备工作及检查工作要求同装货的要求。采用标准回气流程卸货，岸站回气。

7.2.11.2 检验要求如下：

(1) 泵的压力、排量及电流达到设备说明书的要求；

(2) 液罐各舱的液位要求同装货时液位要求；

(3) 液罐压力和温度同装货时的要求。

### 7.2.12 应急卸货

7.2.12.1 根据 IGC 规则第 5 章第 5.8 条款的要求，液化天然气气体运输船在功能上还需满足应急卸货的功能：即系统应满足成当 1 台货泵或驳运装置发生故障时，应能使用另外 1 台泵或泵组来驳运，或其他货物驳运装置来驳运货物。对 C 型独立液货舱，多采用气体加压（如 BOG 压缩机进行气体加压方式）驳运货物来实现货物处理系统的应急卸货功能。但在气体航行试验时，根据 SIGTTO 建议导致要求：如应急卸货采用液罐气体加压的方式来实现时，在气体试验时通常不需要操作试验应急卸货，除非是原型液罐舱的试验的情况下。

### 7.2.13 液罐升温

#### 7.2.13.1 检验要求:

- (1) 检查液罐的压力在允许范围内;
- (2) 检查液罐温度, 但液罐内温度高于惰化氮气露点时 ( $-40^{\circ}\text{C}$ ), 可以停止暖罐。具体参数以说明书为准。

### 7.2.14 惰化和通风

7.2.14.1 若由于特殊原因需要暖罐后进行惰化操作, 基本流程为利用干燥的  $\text{N}_2$  将液罐中的天然气置换出来, 惰化过程中定时从液罐内上、中、下取样点取样, 取样气体露点不高于  $-45^{\circ}\text{C}$ 、氧气体积浓度低于 2%、氮气气体积浓度高于 95%时惰化完成。

### 7.2.15 双燃料发动机的气体试验

7.2.15.1 以下仅适用在用液化天然气燃料气体供应发电机 (柴油机原动机为低压液化天然气做气体燃料情况下的气体试验)。

7.2.15.2 气体模式运行前状态检查: 甲板燃气缓冲罐持续稳定向机舱供应天然气, 双燃料发电机气体模式各参数特性调整完成。

7.2.15.3 检查启动闭锁试验: 检查启动闭锁试验, 项目包括“排烟管鼓风单元”、“双壁管抽风单元”和“燃气阀组单元 (GVU)”。当发电机运行在气体模式下的时候, 发电机停车以检查启动闭锁。

7.2.15.4 气体泄漏检测测试。

7.2.15.5 扫气试验: 检验各个条件下的启动扫气功能, 如燃气模式转燃油模式, 燃气模式停车, 发动机气体脱扣等。

7.2.15.6 氮气吹扫试验: 在满足一些特定条件下, 如燃气供给主阀故障、气体泄漏等故障下, 双燃料发动机应由燃气模式转为燃油模式并实现氮气的自动吹扫。当氮气吹扫时, 氮气进 GVU 压力小于厂商说明书设定的标准应会导致报警。

7.2.15.7 GVU 报警试验: 检查 GVU 的报警功能, 主要有液化天然气供气压力过高、过低, 供气温度过高、过低, 氮气吹扫压力低, 气体泄漏检测失败, 驱气风机报警等, 需要对每一个报警点进行检测。具体按厂家说明书要求进行。

7.2.15.8 GVU 引起的“GAS TRIPS”试验: GVU 引起的“GAS TRIPS”主要有 GVU 封闭压力高、供气系统故障等, 当出现这些问题时, 会产生“GAS TRIPS”, 具体按设备厂家说明书规定的要求进行。

7.2.15.9 排烟管鼓风单元及双壁管抽风单元试验: 当发电机运行在气体模式下的时候, 发电机停车以检查启动闭锁。通过驱气风机的流量开关来检测驱气风机在气体模式停机的情况下正常工作的稳定性。

7.2.15.10 双燃料发电机组两种模式下的手动操作转换: 燃气模式与柴油模式按要求在任何工况下都可进行转换。在某工况下切换, 如柴油模式转换到燃气模式必须要在 20%~80% 发电机最大持续功率下完成。柴油机必须要在高于其最低 10% 最大持续功率下持续运转, 否则会在 5 分钟之后自动脱扣回到柴油模式。具体以柴油机厂家要求在何种状态下转换。

7.2.15.11 在双燃料发电机控制系统下的燃料模式的自动切换试验 (模拟): 由机舱火警、气体泄漏及抽风系统等燃气系统的某些故障报警所触发, 在任何工况下发生上述故障须立刻进行切换, 确认模式转换动作正常。

7.2.15.12 双燃料发电机燃气模式下的单机负荷试验:

- (1) 采用主推进的负载作为负荷对发电机组进行单机负荷试验, 单机负荷试验时, 测量相关性能参数是否在规定范围内。双燃料发电机在相应负荷试验时应平稳, 无异常发热,

发电机频率调整到额定值。双燃料发电机组负荷试验的工况及试验时间按下列规定：25%~50%~75%~100%，时间分别为 0.5 小时，0.5 小时，0.5 小时，2 小时；

(2) 在 100%负载试验完成后，适当增加推进输出功率，使发电机的功率>100%额定功率，但<110%。这时发电机的工作模式应由气体模式转为柴油模式。该试验要求具体按相关厂家发电机说明书的进行。

7.2.15.13 双燃料发电机燃气模式下的特性试验。

7.2.15.14 静态特性试验及动态特性试验应满足 CCS《钢质海船入级规范》的相关要求。

7.2.15.15 燃气模式下的失电试验应满足 CCS《钢质海船入级规范》的相关要求。

### 第 3 节 B 型棱形独立液货舱液化天然气运输船气体航行试验

#### 7.3.1 总则

7.3.1.1 召开准备会议，对安全消防系统进行检查，确认装卸货操作细节，进行船岸之间通讯及安全检查等。

7.3.1.2 船舶气体航行试验大纲应经过审批。

#### 7.3.2 气体试验应用系统与准备

##### 7.3.2.1 货物处所干燥与惰化

(1) 液货舱封舱检查：在液货舱内部安装工作完成并提交结束，液货舱舱容测量完成，液货舱清洁第三方提交完成后，由船厂进行封舱，液货舱封舱前应检查确认内部没有存水、积水、杂物等现象；

(2) 液货舱干燥检验：液货舱空气由干空气置换（如需要）。首先测量液货舱的压力、温度，然后使用露点仪从液货舱的气体取样接口进行气体取样探测，从复合穹顶的取样点以及液货舱内上、中、下取样点分别取样。确认液货舱内露点是否满足设计要求。液货舱内气体露点不高于-20℃、温度和压力具体验收参数需依据液货舱设计要求确定。所有操作前应检查货物处所和环形空间压力，货物处所压力与环形空间压力应相等；

(3) 液货舱惰化检验：液货舱干空气由氮气置换。首先测量液货舱的压力、温度，然后使用露点仪、氧气浓度检测仪从注入管顶部取样管以及液货舱的气体取样接口进行气体取样探测，液货舱内上、中、下取样点分别取样。确认液货舱内露点及氧气浓度是否满足设计要求。液货舱内气体露点不高于-40℃、舱内氧气体积浓度低于 2%。所有操作前应检查货物处所和环形空间压力，货物处所压力与环形空间压力应相等；

(4) 当舱内干燥惰化达到要求后，闭舱充压气密检验：利用舱内氮气对整个液化气管系进行完整密性检查，检查液货舱和所有外部相关连接的密性，如复合穹顶穿舱件焊接和法兰处密性、复合穹顶人孔密性、泵出口管路密性、CTS 安装法兰密性等。

##### 7.3.2.2 液货管系干燥与惰化

(1) 确认露点、氧含量达到设计要求。

##### 7.3.2.3 液货空舱干燥

(1) 使用便携式露点仪定期在排气口取样，空舱干燥空气的露点应达到：在标准大气压下，货舱空舱内干燥空气露点不高于-40℃；

(2) 空舱内保持正压，货物处所压力应与之相等。

##### 7.3.2.4 连接岸站通讯和 ESD 试验

(1) ESD 测试：在所有卸料臂连接好和吹扫以及卸前会议后，应进行 ESD 测试。ESD 测试检验的具体步骤：

- ① 连接用于码头与船舶的 ESD 的船/岸通讯连接（SSL）；
- ② 确认与 ESD 系统的所有阀及液货设备均打开；
- ③ 确认 ESD 系统的电源和气动管系内压力供应正常；
- ④ 分别在船上货控室和岸站对 ESD 系统进行操作；
- ⑤ 应测试阀门的关断时间（不超过 30s 内完全关闭）。

### 7.3.3 船岸连接

7.3.3.1 具体要求参见 ISO 28460:2010 石油和天然气工业-液化天然气用设备和设施-自船至岸上的分界面和港口作业。

7.3.3.2 卸料臂的连接和吹扫：排放至大气直到氧气浓度 $<4\%$ ；露点温度 $<-25^{\circ}\text{C}$ （泄放阀处取样检测）。

7.3.3.3 应对岸臂与船管连接的气密性进行试验，卸料臂与装卸总管根据管路设计压力进行气密性试验，压力表读数稳定，检查无泄漏，持续保压 5min。

### 7.3.4 气体置换

7.3.4.1 舱内各气体取样点（液货舱的上、中、下）分别取样气态液化天然气气体浓度要求大于 99%，应定期予以观察记录，同时测试液货舱内的压力和温度。当液货舱内液化天然气含量大于 99%，氮气含量小于 1%时，方可进行冷舱操作，具体浓度按操作说明书要求进行。

7.3.4.2 液货管系吹扫置换，不要遗漏仪表管等吹扫，遗留的惰性气体可能导致错误数据显示。

7.3.4.3 船方提交惰化测量报告给岸站确认，或根据岸站要求就地取样，监控测量。岸站提交液化天然气组分报告，包括密度、甲烷值及低热值等。

### 7.3.5 液舱冷却

7.3.5.1 液舱喷淋冷却曲线如图 7.3.5.1，检验要求如下：

- (1) 预冷液化天然气供液低于最大允许流量及压力；
- (2) 冷却技术要求：液舱温度达到设计要求，一般为 $-130^{\circ}\text{C}$ ；上下温差不超过  $50^{\circ}\text{C}$ ；
- (3) 检查液舱温度变化梯度，冷却温度一般控制在  $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$  以内，按照冷舱曲线来进行冷舱；
- (4) 检查液舱的压力及温度并定期记录，当检测最低点的温度传感器（靠近舱底）温度同液态 LNG 的温度相同时，冷却完毕；
- (5) 进入液货空舱，各液舱冷舱前鞍座滑动侧位移量。注意：各液舱冷舱前鞍座滑动侧位置预先做好标记；
- (6) 进入液货空舱，检查液舱隔热。

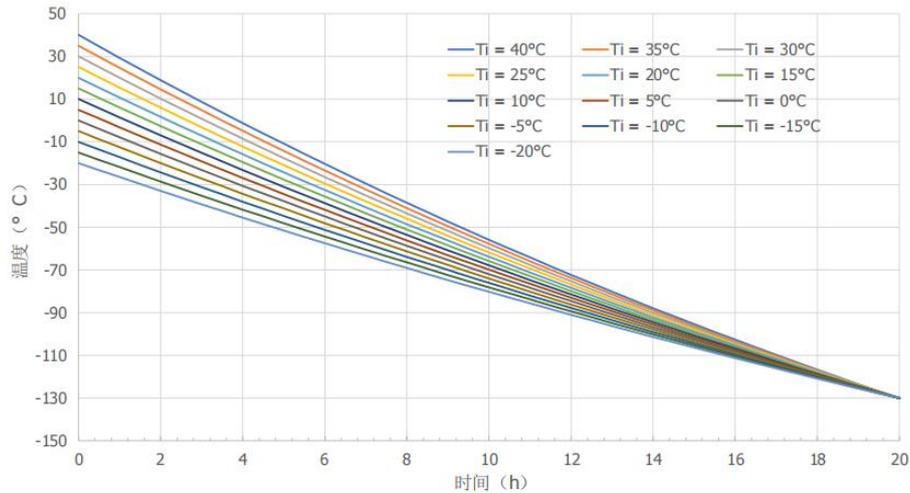


图 7.3.5.1 冷却曲线示意图

7.3.5.2 岸站确认卸料臂预冷结果，进行冷态 ESD 测试。在卸料臂冷却后，船岸双方做冷态 ESD 测试。遥控阀门将在船方或岸方触发紧急关断信号后关断，船岸双方应确认双方 ESD 正常。测试完成后恢复遥控阀处于打开状态。

### 7.3.6 装货

7.3.6.1 在装货过程中液货舱的压力满足液货设计资料要求。靠岸期间同一液货舱左右舷液位相差最大允许 1m，航行期间要求液位基本相等。

7.3.6.2 装货装货过程中巡检项目：

- (1) 定期检查液货舱注入阀开度、液位、压力、温度、体积等并予以记录；
- (2) 检查液货管位移情况及支架位移是否正常；
- (3) 检查液货管无冷点及泄漏；
- (4) 检查管路隔热包覆情况。

### 7.3.7 液货泵实效试验

(1) 航行期间需对货舱内的喷淋/扫舱泵、液货泵和燃气泵的效用进行验证，目的是确保其在随后的货舱冷却和驳运过程中正常运行。验证试验通常是在一个货舱内进行液化天然气的自循环驳运，试验前先确认如下状态：

- ① 发电机正常工作；
- ② 整船电网剩余负荷满足运行液货泵的容量；
- ③ 液货泵的绝缘测量；
- ④ 液货泵在启动前需浸没 1.5 小时；
- ⑤ 货舱的排出阀和注入阀工作正常；
- ⑥ 液货舱内液化天然气的液位。

(2) 上述状态确认后，进行喷淋/扫舱泵、液货泵和燃气泵的运行试验，试验过程中需记录下列参数：

- ① 货舱的温度及压力；
- ② 泵的遥控操作和就地操作；
- ③ 泵的马达启动和运行电流；
- ④ 泵的转向；
- ⑤ 泵的运行时间。

### 7.3.8 液货舱之间货物驳运试验

7.3.8.1 货物驳运试验：按照批准的试验大纲要求，当其他货舱冷却过程结束之后，进行各个货舱之间液货的驳运操作，以验证每个货舱内的液货泵及相关管路的运行状况。

7.3.8.2 货物驳运试验需要测量和检查的内容如下：

- (1) 液货管绝缘上的冷点情况；
- (2) 泵的运行电流及排出压力；
- (3) 泵排出阀的开度；
- (4) 测量货舱液位、温度和压力；
- (5) 压缩机、加热器等数据；
- (6) 复合穹顶和内甲板的温度；
- (7) 货舱处所内的压力和温度。

### 7.3.9 岸站卸货

7.3.9.1 船舶靠气站码头卸货的准备工作及检查工作要求同装货的要求。采用标准回气流程卸货，岸站回气。

7.3.9.2 检验要求如下：

- (1) 泵的压力、排量及电流达到设备说明书的要求；
- (2) 各液货舱的液位要求同装货时液位要求；
- (3) 液货舱压力和温度同装货时的要求。

### 7.3.10 岸臂拆卸

7.3.10.1 检验要求如下：

- (1) 由岸站提供氮气对连接管路和装载臂进行吹洗，确认排放至大气的 CH 含量低于 2%；
- (2) 安装船侧连接管的盲板法兰并进行密性试验。

### 7.3.11 液货舱升温

7.3.11.1 检验要求如下：

- (1) 检查液货舱的压力在允许范围内；
- (2) 液货舱升温前，可拆弯头应按图纸安装完毕，拆装前均需用氮气惰化相关管路。拆弯头前，应确保 CH 含量低于 2%，拆弯头后，应确保 O<sub>2</sub> 含量低于 4%；
- (3) 检查液货舱温度，当液货舱内温度高于 20℃时可以停止暖舱。具体参数以说明书为准。

### 7.3.12 惰化和通风

7.3.12.1 若由于特殊原因需要暖舱后进行惰化操作，基本流程为利用干燥的 N<sub>2</sub> 将液货舱中的天然气置换出来。测量液货舱温度，当温度达到 25℃时，货舱内的天然气可由氮气进行置换。惰化过程中定时从复合穹顶采样点和液货舱内上、中、下取样点取样，取样气体 CH 容积含量不高于 2%时，惰化完成。

7.3.12.2 液货舱惰化完成后进行货舱通风，通风过程中定时从复合穹顶采样点和液货舱内上、中、下取样点取样，氧气体积浓度不低于 20%、CH 体积浓度不高于 0.2%、CO<sub>2</sub> 体积浓度低于 0.5%、CO 体积浓度低于 50ppm 时，通风完成。

### 7.3.13 双燃料发动机的气体试验

7.3.13.1 双燃料发动机的气体试验要求参照 7.2.15 的相关要求。

#### 7.3.14 气体燃烧装置（GCU）试验

7.3.14.1 气体燃烧装置（GCU）的运行试验要求参照 7.1.4.3 的相关要求。

#### 7.3.15 深冷再液化装置试验

7.3.15.1 深冷再液化装置将液态 LNG 从液货舱中抽出，在冷箱中将液态 LNG 继续深冷到-175℃左右，然后再将过冷的 LNG 注入液货舱内，一般有两种注入方式，一种是使用喷淋装置，降低 BOG 温度使其液化，另一种是注入到液货舱底部，对液货舱整体降温。

7.3.15.2 深冷再液化装置试验时需要测量和检查的内容如下：

(1) 按照厂家的试验程序做好试验准备，做好制冷剂参数、液态 LNG 进出口温度测量等深冷装置数据的采集和记录；

(2) 记录液货舱的平均液体温度、平均气体温度、压力；

(3) 记录喷淋/扫舱泵、压缩机、加热器等设备参数；

(4) 测量并记录复合穹顶和内甲板的温度；

(5) 测量并货舱处所内的压力和温度。

## 第 4 节 首次装货和卸货验证

### 7.4.1 首次装货和卸货操作

7.4.1.1 液化天然气运输船在运营中，验船师应按照 IGC 规则第 4 章、第 5 章和第 13 章的相关要求对装货和卸货的操作进行验证，具体验证内容和方式参照 MSC.1/Circ.1669 的要求。

### 7.4.2 装载限制验证

7.4.2.1 根据 IGC 规则第 15 章要求，应对液货舱的充装极限进行验证；所以在首次运营的过程中，对一个货舱装货完成时，需要从一个货舱连续驳运液货到另一个货舱，测试高液位报警和装载阀关闭功能。通过比对不同液位计来检测液位计的精度（如果每个货舱装有多种类型的液位计），比较高液位报警的设计触发点和实际触发点，测试时应该将液位计的相对位置、船舶吃水差或倾斜因素考虑在内，测试的结果与审批图纸核对，确认其满足规则要求。

### 7.4.3 冷点测量

7.4.3.1 液化天然气运输船在首次载货航行时，应对船体冷点进行检查，验证船体表面结构的温度状况，找到船体平均温度的最低点。使用相关的仪器仪表对绝缘层和内部船体的温度进行监控；主要对边舱、双层底舱和隔离舱的周围结构进行检查确认在液货舱冷态情况是否有冷点；如有必要，可以对货舱绝缘层常温面或者顶边舱和隔舱隔热区域进行实地检查，确认是否存在低温点。

7.4.3.2 在船舶装卸货过程中也应持续密切的监测船体表面温度，如果可行，在装货完成 72 小时后对内壳和隔舱的温度进行定期检查。

## 第 8 章 液化天然气运输船安全管理体系审核

### 第 1 节 总则

#### 8.1.1 适用范围

8.1.1.1 本章适用于国际航行液化天然气运输船（包括薄膜型液化天然气船舶与独立 A、B 和 C 型独立液货舱液化天然气船舶）安全管理体系审核，包括船舶管理公司和液化天然气船。非国际航行液化天然气运输船安全管理体系审核可参照执行。

8.1.1.2 本章针对液化天然气运输船相对其他种类船舶独有的特征，为审核员在液化天然气船 ISM 审核制定的附加要求。除本章要求外，还应满足船旗国主管机关及 CCS《船舶安全管理体系认证规范》有关船舶安全管理体系认证的要求。

8.1.1.3 本章的内容是基于 ISM 规则、IGC 规则、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》等要求，同时参考了相关操作手册、有关培训教材、油公司检查(SIRE)和审核经验编制而成。

### 第 2 节 安全管理体系审核内容和要点

#### 8.2.1 概述

8.2.1.1 对于液化天然气船舶审核而言，薄膜型液化天然气船舶与 C 型独立液货舱液化天然气船舶安全管理体系审核主要内容是相同的，主要在以下要素与其他种类船舶有所不同：

- (1) 资源与人员(ISM 要素 6)；
- (2) 船上操作(ISM 要素 7)；
- (3) 应急部署(ISM 要素 8)；
- (4) 船舶与设备的维护(ISM 要素 10)；
- (5) 文件管理(ISM 要素 11)。

8.2.1.2 审核员在审核液化天然气船舶时应重点关注船上人员的资质、培训以及对液化天然气船关键性操作和应急准备的熟悉情况。

#### 8.2.2 审核内容和审核要点

8.2.2.1 安全管理体系应保证：符合强制性的规范及规则（ISM 要素 1.2.3.1）。

(1) 核查国际散装运输气体适装证书（或“符合证明”）有效性；  
(2) 审核要点：船舶应持有根据 IGC 规则及其修正案签发的国际散装运输液化气体适装证书。

8.2.2.2 资源与人员：公司应保证船长有适当的指挥资格（ISM 要素 6）。

- (1) 核查船长的适任证书、特殊培训证明及适任资格要求；
- (2) 审核要点：
  - ① 船长应持有满足 STCW 公约要求的适任证书；
  - ② 并应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）和液化气船货物操作高级培训（5 年更新）培训证明；
  - ③ 一般船公司会参照 SIGTTO 制定的《LNG AND LPG EXPERIENCE MATRIX》要求，

对本公司聘用船长时提出经历要求。

8.2.2.3 公司应保证每一艘船舶配备符合国家及国际要求的适任、持证，并且身体健康的船员(ISM 要素 6.2.1)。

(1) 核查大副的适任证书、特殊培训证明及适任资格要求；

① 大副应持有满足 STCW 公约要求的适任证书；

② 并应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）和液化气船货物操作高级培训（5年更新）培训证明；

③ 一般船公司会参照 SIGTTO 制定的《LNG AND LPG EXPERIENCE MATRIX》要求，对本公司聘用时大副提出经历要求。

(2) 核查轮机长的适任证书、特殊培训证明及适任资格要求。

① 轮机长应持有满足 STCW 公约要求的适任证书；蒸汽轮机培训及证书（和大证一起更新），适用于蒸汽轮机船舶的轮机长；

② 并应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）和液化气船货物操作高级培训（5年更新）培训证明；

③ 一般船公司会参照 SIGTTO 制定的《LNG AND LPG EXPERIENCE MATRIX》要求，对本公司聘用时轮机长提出经历要求。

(3) 核查驾驶员（二副、三副）的适任证书、特殊培训证明及适任资格要求。

① 驾驶员（二副、三副）应持有满足 STCW 公约要求的适任证书；

② 并应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）和液化气船货物操作高级培训（5年更新）培训证明；

③ 一般船公司会参照 SIGTTO 制定的《LNG AND LPG EXPERIENCE MATRIX》要求，对本公司聘用时驾驶员提出经历要求。

(4) 核查轮机员（大管轮、二管轮、三管轮及气管轮）的适任证书、特殊培训证明及适任资格要求。

① 轮机员（大管轮、二管轮、三管轮及气管轮）应持有满足 STCW 公约要求的适任证书；蒸汽轮机培训及证书（和大证一起更新），适用于蒸汽轮机船舶的轮机员；

② 并应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）和液化气船货物操作高级培训（5年更新）培训证明；

③ 一般船公司会参照 SIGTTO 制定的《LNG AND LPG EXPERIENCE MATRIX》要求，对本公司聘用时轮机员提出经历要求。

(5) 抽查值班水手（AB）的适任证书、特殊培训证明及适任资格要求。

① 值班水手（AB）应持有满足 STCW 公约要求的适任证书；

② 并应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）和液化气船货物操作高级培训（5年更新）培训证明；

③ 一般船公司会对本公司聘用时值班水手提出经历要求。

(6) 抽查值班机工（Oiler）的适任证书、特殊培训证明及适任资格要求。

① 值班机工（Oiler）应持有满足 STCW 公约要求的适任证书；

② 并应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）和液化气船货物操作高级培训（5年更新）培训证明；

③ 一般船公司会对本公司聘用时值班机工提出经历要求。

(7) 抽查其他船员特殊培训证明。

① 所有在液化天然气船工作的船员应持有液化气船货物基本操作培训（长期有效）培训证明。

8.2.2.4 公司应建立程序，以保证与安全 and 环境保护有关的新聘人员及调至新岗位人员

适当熟悉其任务。在开航前要提供的主要须知应给予标识，形成文件，并发予有关人员（ISM 要素 6.3）。

8.2.2.5 公司应保证与公司 SMS 有关的所有人员能充分理解有关规范、条例、规则及导则（ISM 要素 6.4）。

8.2.2.6 公司应建立和保持程序，以标识实施 SMS 可能需要的培训，并保证这种培训提供给所有有关人员（ISM 要素 6.5）。

8.2.2.7 抽查液化天然气船高级船员熟悉和培训了以下内容：

- (1) 船舶操作和货物操作；
- (2) 气体燃烧系统；
- (3) IGC 规则/GC 规则（适用时）；
- (4) 国际气体运输船及码头经营人协会和国际航运公会发布的有关指南如 ICS 直升机/船舶操作指南；ICS/OCIMF/SIGTTO 1995 年船对船驳运指南；OCIMF/SIGTTO 1994 年冷冻液化天然气（液化天然气）运输船管线建议书；

- (5) 货物再液化程序（适用时）；
- (6) 最低货物温度；
- (7) 暴露在液化天然气下的医疗处理要求；
- (8) 货物溢出反应；
- (9) 船岸联络程序；
- (10) 应急切断程序，包括 ESD 效用；
- (11) 晃动载荷效果。

8.2.2.8 船上操作（ISM 要素 7）核查：

- (1) 核查货物操作手册是否包括所有的日常货物操作，货物操作应包含通气、冷却、货物装载、装载航行、货物卸载、压载、压载航行、货舱管理、除气、换气和货舱管理等操作；

- (2) 抽查高级船员货物系统和货物操作手册的熟悉记录和熟悉情况；
- (3) 确认可获得货物装载限制的有关信息：
  - ① 在货物控制区应显示货物装载限制信息和每个管线装卸速率；
  - ② 任何货舱在基准温度下充装不得超过 98%(IGC 规则 15.3)；
  - ③ 每个货舱允许装载的限制应显示(IGC 规则 15.4)。
- (4) 确认货物操作计划包括装舱顺序和压载水驳运顺序。货物操作计划一般应包括：
  - ① 装载操作全部阶段；
  - ② 货物温度和其他状况包括装卸限制；
  - ③ 货物分配计划、数量、剩余量、管线和所使用的泵；
  - ④ 驳运速率和最高允许温度；
  - ⑤ 操作的关键阶段；
  - ⑥ 速率变化注意事项；
  - ⑦ 稳性和应力信息；
  - ⑧ 前后吃水；
  - ⑨ 应急切断程序；
  - ⑩ 当货物溢出所采取的措施；
  - ⑪ 货物易燃性和毒性数据；
  - ⑫ 压载水操作；
  - ⑬ 保护设备要求；
  - ⑭ 货物危害；

- ⑮ 冷却要求包括冷却速度；
- ⑯ 使用货物加热器或蒸发器；
- ⑰ 完成卸货后的后续要求；
- ⑱ 舱底货物限制；
- ⑲ 燃料情况；
- ⑳ 必要的特别预防措施详细操作。

(5) 值班驾驶员对货物操作计划理解并签名确认。货物操作计划由责任驾驶员编制并在实施前由船长检查认可，操作计划应详细并易于理解；

(6) 核查按货物操作计划执行并记录在日志。日志应包含全部主要事件，包括主货泵起停、压载泵和货舱工作状态；

(7) 确认船长知道装载手册中的破舱稳性。确认向船长提供装载和稳性资料手册。该手册应包括典型的营运状态、装卸货和压载操作、对估算其他装载状态的规定以及对船舶残存能力的总结等详细资料（IGC 规则 2.2.5）。

#### 8.2.2.9 应急部署（ISM 要素 8）确认：

(1) 确认高级船员知道处理与货物有关的泄漏、溢出或火灾应急程序；

(2) 确认船岸间有效的沟通；

(3) 确认可用的应急抛货方式(IGC 规则 5.8.1 和 5.8.2)，除极少数情况外，液化天然气船配备二台主货泵和一台应急货泵用于紧急情况下抛货；MOSS 型船一般应急货泵为增压泵，薄膜型船辅助应急货泵安装在货舱底部；

(4) 确认货物蒸气中毒和接触液体货物等伤害的应急部署；

(5) 确认已开展针对与货物有关的泄漏、溢出或火灾、应急抛货、货物蒸气中毒和接触液体货物等伤害等应急情况定期训练演习。

#### 8.2.2.10 船舶与设备的维护（ISM 要素 10）：

(1) 确认货泵和压载泵及其关联的仪表和控制元件工作正常，并有进行定期测试证据；

(2) 确认货物、蒸气和惰性气体管系正常，货物管系根据 IGC 规则要求进行压力试验和试验记录保存在船上；

(3) 确认货物系统货舱压力、温度和液位等仪表正常，并有进行定期测试证据；

(4) 确认货泵应急切断系统正常，并有进行定期测试证据；

(5) 确认远程和就地的温度和压力传感器和测量仪表正常，并有进行定期测试证据；

(6) 确认货舱高位报警系统独立于测量装置和溢出报警系统；

(7) 确认关键货物测量仪器的校准记录，包括温度和压力测量仪表；

(8) 确认压缩机间和电动机间的舱壁密封气密，并能有效操纵；

(9) 确认电动深井货泵，除气作业时切断电源；

(10) 货物机器处所有良好的照明，电气设备防护等级适合于相应的危险区域并正常；

(11) 确认货物压缩机间通风系统保持负压状态；

(12) 如电动机间位于危险区域内，确认配备当空气闸两侧门同时开启时的报警装置且空气闸和报警装置正常：

① 该类门应为自闭式并无任何背扣装置；

② 空气闸处所应从非危险区域机械通风并相对露天甲板上得危险区域保持过压状态(IGC 规则 3.6.1)。

(13) 确认气体探测设备正常，气体探测系统应能在不超过 30min 时间间隔内依次从每个取样点取样和分析，在下列处所内应设固定式气体探测系统和听觉和视觉报警系统：

① 货物压缩机间；

② 用于货舱装卸机械的电动机舱；

- ③ 货物控制室, 指定为气体安全处所者除外;
- ④ 在货物区域内可能集聚气体的其他围蔽或半围蔽处所包括除 C 型独立液货舱之外的独立液货舱的屏壁间处所和货舱处所;
- ⑤ 液化天然气船所要求的通风罩和气体导管;
- ⑥ 空气闸(IGC 规则 13.6.7);
- ⑦ 气体燃料内燃机的处所;
- ⑧ 惰性气体发生器供应总管。
- (14) 确认液化天然气气体应急切断系统正常并定期测试(IGC 规则 16.3.6);
- (15) 确认对屏壁间处所的氧含量和碳氢化合物含量定期检测并记录测量结果;
- (16) 如设有惰性气体系统, 确认惰性气体系统和/或惰性气体存储及相关的管系正常;
- (17) 确认安全泄放阀试验、船上保存试验证明以及高级船员熟悉这些装置;
- (18) 如桅屋设有灭火系统, 确认该系统正常操作;
- (19) 确认前桅泄放系统自动操作方式;
- (20) 确认 ESD 处于完全可操作状态;
- (21) 确认 IGC 规则要求的安全设备由专业机构每年检测且记录保存, 安全设备由船员每月检测且记录保存;
- (22) 确认配备船员个人防护设备、急救设备, 并定期检查;
- (23) 确认固定式化学干粉系统处于随时可用状态;
- (24) 确认喷水系统正常;
- (25) 确认货物处所灭火系统正常。

#### 8.2.2.11 文件管理 (ISM 要素 11)

- (1) 确认公司根据船舶适用的公约、规范、规则和指南为船舶配备相关的文件, 并最新有效;
- (2) 确认公司根据船舶配置编写并为船舶配备了必要的用于船上操作 (ISM 要素 7) 的程序和指导性文件;
- (3) 确认公司根据船舶的技术特点拟定并为船舶配备了适用于本轮应急部署 (ISM 要素 8) 的计划和指导性文件;
- (4) 确认公司按照船舶配备, 根据说明书及强制性要求和建议, 编写并为船舶配备了有效的用于船舶与设备维护 (ISM 要素 10) 的程序性文件。

# 附录 1 船体结构和货物围护系统的营运检验和修理

## 第 1 节 船体结构的检验要点和修理原则

### 1.1.1 船体结构的检验要点

1.1.1.1 船体结构检查是船舶营运检查的重要环节，一般通过目视检查和测厚来确定结构强度的可靠性。舱室检查要求和测厚范围应依据 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章 5.16 节。

### 1.1.2 独立液货舱液化天然气运输船体结构关键区域

1.1.2.1 独立液货舱液化天然气运输船需重点关注的区域和位置如图 1.1.2.1 所示，具体如下：

- (1) 顶边舱横向强框架与甲板强横梁相交处趾端；
- (2) 液货舱主肋骨与顶边舱斜板的连接的趾端（强框架处）；
- (3) 液货舱主肋骨与底边舱斜板的连接的趾端（强框架处）；
- (4) 底边舱斜板与内底板的连接处；
- (5) 横舱壁强肋板在内底板上的趾端。

1.1.2.2 以上为位置均为高应力区域，即易发生裂纹、屈曲和变形等结构破坏的位置，营运期间应重点检查，此外如船上有审图中心批准的关键结构区域图，营运检验中还需对相应的关键结构区域进行重点检查。

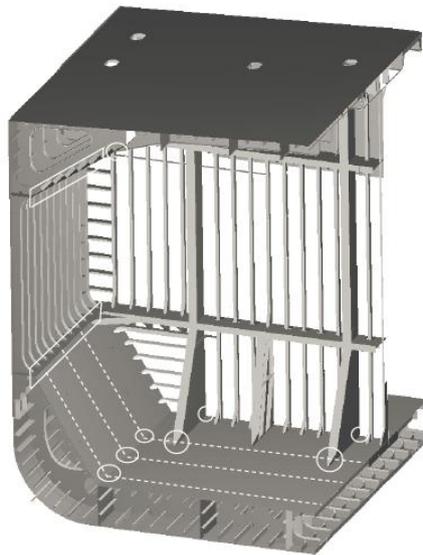


图 1.1.2.1 独立液货舱液化天然气运输船关键节点示意图

1.1.2.3 支撑座面板、腹板的对接焊缝，腹板与面板、内底板、内壳板的角焊缝均为高应力区域；支撑座腹板对应的水密实肋板与内底板的角焊缝、双壳内的横隔板与内壳的角焊缝均为高应力区域；固定支撑座、滑动支撑座面板与腹板之间的角焊缝，支撑座腹板与支撑座端板之间的角焊缝也为高应力区域。该区域焊缝容易开裂，因此应重点检查独立液货舱的支撑结构和支撑结构处船体结构的状况，该区域各加强结构的延续性、连接节点的结构腐蚀情况也要加强检查。

1.1.2.4 止浮装置和横向限位装置（如有）也经常承受强应力，容易产生疲劳裂纹，应

检查其结构状态和腐蚀情况。

1.1.2.5 舱壁根部附近的内底板在舱壁反复拉动的作用下容易出现开裂，应检查其结构状态和腐蚀情况。

1.1.2.6 应对独立舱与上甲板贯穿部件的风雨密设施检查，由于密封胶条容易老化，液货舱的膨胀收缩位移，以及船体的变形等，胶条与液货舱舱壁之间容易出现缝隙，水流可能沿舱壁渗入货舱处所。特别是在密封胶条以下至主甲板面这一水平环带腐蚀尤为严重，必要时应作冲水试验。

1.1.2.7 甲板面气室开口处的围板状况和气密状况应检查，包括密封圈以及固定螺栓的状况，平时应加强保养。

### 1.1.3 薄膜型液化天然气运输船体结构关键区域

1.1.3.1 薄膜型液化天然气运输船需重点检验的区域和位置如表 1.1.3.1 所示，具体如下：

薄膜型液化天然气运输船关键节点 表 1.1.3.1

	<p>1 为内壳斜底板与内底板连接处；</p> <p>2 为内壳斜底板与内壳纵舱壁板相交处；</p> <p>3 为内甲板斜板与内壳纵舱壁板连接处；</p> <p>4 为内甲板斜板与内甲板顶板连接处。</p>
	<p>1 为横舱壁之间的双层底纵桁板与内底板连接处以及垂直桁材板与双层底纵桁板连接处；</p> <p>2 为甲板纵桁与内甲板板连接处以及垂直桁材板与双层底纵桁板连接处。</p>
	<p>1 为双层底纵骨与间断纵桁连接处；</p> <p>2 为双层甲板上的甲板纵骨与间断甲板纵桁连接处。</p>

	<p>1 为双壳内纵向水平桁材板与内壳纵壁板连接处以及水平桁材板与内壳水平纵桁板连接处。</p>
	<p>1 为间断水平桁材板与内壳水平纵桁板连接处。</p>
	<p>1 为横舱壁板与内底板板连接处； 2 为横舱壁板与内壳板连接处。</p>
	<p>1 为内甲板板与气穹开口挡板连接处； 2 为凸形甲板板与气穹开口挡板连接处。</p>

1.1.3.2 以上为位置均为特殊节点，往往承受着较大的交变应力的影响，在多次的应力变化过程中，极易发生裂纹、屈曲和变形等状况，营运期间检查应重点检查。此外如船上有审图中心批准的关键结构区域图，营运检验中还需对相应的关键结构区域进行重点检查。

1.1.3.3 内壳的甲板由于温度变化，容易出现较为严重的点腐蚀，应重点检查。

1.1.3.4 泵塔在液货舱的底部是可以自由滑动的设计，因此它的顶端和液穹的连接容易出现应力变化和集中，需要加强检查。同时加强对气穹位置的检查。

#### 1.1.4 船体结构修理

1.1.4.1 船体结构修理原则如下：

(1) 液化天然气运输船的船体结构的缺陷和其他常规船型无异，一般为腐蚀，变形，裂纹等。判定和修理原则也和常规船型一样，如需要进行修理，遵循按照原样恢复的原则进

行, 但如发现部分结构重复损坏, 也可考虑在原有结构上进行节点优化和构件增强, 但修改方案必须得到验船师的认可, 修理过程中有如下几点需要特别注意:

① 按照原状恢复的原则, 按图施工, 施工方案和工艺需得到验船师的批准;

② 船体修理所使用的钢板材料及焊接材料均应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关要求, 船厂出示相应的产品证书;

③ 焊工必须经过严格有效培训并具有相应的资质, 施工过程严格按照批准的焊接工艺和焊接规格表施工, 尤其全焊透/深熔焊填角焊等区域的加强焊接质量, 区别对待低温材料的焊接缺陷, 严格控制;

④ 加强精度和平整度控制, 对于具有船体结构建造监控计划的船舶, 涉及其中关键位置修理, 应该严格按照其中要求, 控制精度;

⑤ 无损检测操作员使用设备对焊缝进行探伤, 评估焊缝质量, 操作员需获得由 CCS 依据其材料与焊接规范或相关国内或国际行业协会或组织依据适当的规范签发的资质证书。无损检测工艺应由二级及以上资质的操作员制作和评定。按照要求对修理区域进行探伤核查, 并视情况增加探伤范围;

⑥ 根据实际情况进行密性试验, 如压载水舱修理需要进行水压试验, 如低温管路的修理, 为了防止管路内液体残留, 导致装货时结冰情况出现, 一般采用气密;

⑦ 除表面极细微的裂纹外, 船体结构的裂纹不允许直接补焊。

1.1.4.2 船体结构修理难点如下:

(1) 薄膜型液化天然气运输船的货物围护系统的薄膜和绝缘直接敷设在内壳板上, 因此当内壳的船体构件出现缺陷而需要修理时, 这会直接影响到货物围护系统里的薄膜和绝缘材料, 使得修理会非常困难。而 C 型独立液货舱 LNG 船由于内置罐体为独立结构, 则不会出现上述难题;

(2) 薄膜型液化天然气运输船的船体结构, 除了在建造期间的制作质量要求较高外, 船员平时需要加强监控和检查, 尤其对内壳结构, 及时除锈保养, 避免缺陷扩大, 如结构出现变形超标或者裂纹需要修理, 可能会影响到绝缘或者薄膜时, 往往首先需联系货物围护系统的专利公司以获得必要的指导和帮助, 结合实际情况形成切实可行的修理方案, 待验船师认可后方可开展修理工作。当然如果经过专利公司评估认可, 某些微小的缺陷的修理也可以用某些特别措施来替代, 也是可以接受的, 但需要经过验船师的同意。

## 第 2 节 货物围护系统的检验要点和修理原则

### 1.2.1 货物围护系统的检验要点

1.2.1.1 年度检验中一般不应要求检查液货舱, 除非航海日志或其他检验结论证实有存在问题的嫌疑, 因此不需要进入货物围护系统。

1.2.1.2 对于薄膜型船舶, 除了查看船上仪表来确认是否存在冷点外, 可以视实际可行, 检查液货舱周围处所是否存在冷点, 来确定货物围护系统的完整性。需要注意的是, 对于局部冷点, 有时如果感应器远离冷点的位置, 则不容易被仪表查明。

1.2.1.3 液体天然气运输船的操作手册建议船员至少每月检查一次冷点, 如果检验中确认船员已按要求执行并已记入相关日志, 则可接受将其作为验船师检验周围区域冷点的替代方法。

1.2.1.4 特别检验根据专利公司的技术标准, 需要进行整体密性试验来确定货物围护系统的完整性。

## 1.2.2 货物围护系统的修理原则

### 1.2.2.1 独立液货舱的修理原则如下：

(1) 独立液货舱的修理主要依据为 IGC 规则第 4、6 和 17 章以及 CCS《材料与焊接规范》，修理时需注意如下几点：

① 如独立液货舱是以产品的形式供船，任何修理施工方案和工艺需要独立液货舱厂家的认可并得到验船师的批准，按图施工；

② 修理所涉及的钢材和焊接材料均应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关要求，并有相应的产品证书；

③ 修理区域覆盖的焊接工艺应认可，尤其针对 9Ni 钢，同时焊接人员需有相应的资质；

④ 根据 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》及 IGC 规则要求，应设置焊接生产试板，试板焊缝的施工和检验要求相同于其所代表的焊缝，合格后且经验船师确认（钢印标记）后，方可与独立液货舱焊缝分开。经检验认可的合格试板应进行机械性能试验，根据 CCS 规范要求进行修理区域需无损探伤；

⑤ 修理区域需要经过无损探伤，由具备资质的人员使用合格的设备和仪器；

⑥ 独立液货舱进行液压试验。试验时在舱顶测得的压力应不小于设计压力的 1.5 倍；具体工艺和要求可参照建造时期要求；

⑦ 如修理范围较大，依据规范要求必须进行机械除应力试验，以消除独立液货舱修理过程中的残余应力；

⑧ 结束后，修理区域外表面需打磨除锈达到 ST3 级，经认可后，涂底漆，该油漆的厚度质量以及兼容性应满足要求；

⑨ 按原独立液货舱同样型式进行修理区域的外绝缘敷设，如板块式或者喷涂式。

### 1.2.2.2 薄膜型货物围护系统的修理原则如下：

(1) 薄膜型货物围护系统建造是在严格的质量保证程序下进行，经过专利公司和船级社的验证，日常高标准维护保养，加之装载的甲烷也是一种非腐蚀性物质，使得货物围护系统被腐蚀的可能性被最大限度地降低；

(2) 如因疲劳或者海损等特殊情况，导致货物围护系统出现了缺陷，使得液化天然气泄漏到船体上，带来的危害将是巨大的。同时修理的代价也将是非常昂贵的。修理前首先货物排放、货舱加热、货舱惰化、货舱通风拆卸受损处的部分薄膜和绝热层，然后重新安装绝热层和薄膜及其试验和冷却等。被检测出液货舱出现泄漏时，应根据具体情况判断是否需要立即停航进行修理，如在装载极限以上的气体泄漏，可考虑继续运营；

(3) 在航行中探测出泄漏后，所考虑的第一步安全措施是立即向泄漏舱邻近的舱室注水，尽可能提高温度，第二步是通过抛货，迅速排除液货舱内的货物。这就意味着在其他类型船舶上，比如散货船，可以暂缓或推迟修理的小缺陷，就可能引起 LNG 船上全部货物大约损失 1/4，即至少损失一个货舱的货物；

(4) 对于薄膜型货物围护系统的任何修理方案和工艺，必须在所属专利公司的指导和帮助下形成，并经过它的认可，同时还需要经过验船师的批准；

(5) 修理检验时，主要依据为 IGC 规则第 4、6 和 17 章以及 CCS《材料与焊接规范》；

(6) 从事修理薄膜（殷瓦钢）修理的焊工都需要按照专利公司文件要求进行焊工资质考试，并需要得到专利公司和船级社的认可，焊接工作应按照专利公司要求和其他适用标准进行；

(7) 修理所涉及的钢材和焊接材料均应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关要求或专利公司的要求，并有相应的产品证书；

(8) 批准的焊接工艺需覆盖所要修理的范围，施工过程中还需要避免薄膜后的绝热层受损，考虑绝热处所是否需惰化以及薄膜反面是否需隔热，避免薄膜扭曲，避免电弧穿刺等，

避免施工影响其他完好绝缘和薄膜区域。需要注意，殷瓦钢在常温下接触到水和油，8小时内就会生锈，因此在修理殷瓦钢时环境应保持足够干燥；

(9) 如涉及绝热箱的修理，绝热木箱的安装检查需要根据专利公司操作手册中给出的安装精度标准严格执行，应包括对每一个木箱的安装位置的检查并保留记录。注意安装的精度，第二层木箱底部树脂绳与木箱和内壳表面的贴合程度也是重点关注；

(10) 对于殷瓦钢薄膜的焊接质量严格控制，并且在目视检查中，如下事项需注意：

① 殷瓦钢板列的电阻焊焊缝。电阻焊焊缝为宽度均匀的焊道，焊花的外观为连续覆盖的椭圆形。焊缝上每一点均应有3个椭圆形焊道连续覆盖。检查时如果发现任一点处覆盖的焊道数小于3个，即焊道局部中断时，就认为其存在缺陷，需返工；

② 在横向和纵向两面角处殷瓦钢板列端板的搭接焊缝。包括纵向两面角处殷瓦钢板列与桥板上殷瓦钢板的搭接焊缝、横向两面角处殷瓦钢列板与殷瓦管之间搭接板的焊缝，这些焊缝大部分采用TIG自动焊完成，但折边升高部分附近焊缝必须采用手工TIG焊接。焊缝断面形状需要在焊接工艺认可试验时检查，实船检查时，一般可以根据焊道宽度及焊缝成形的形状来判断焊缝是否存在缺陷；

③ 殷瓦钢板列末端与殷瓦管之间搭接板的折边升高部分板缝的封焊焊缝。这部分焊缝完全由手工TIG完成，焊接质量不稳定，也是需要严格控制的区域。该焊缝的正确形状如图1.2.2.2中左图方框处。

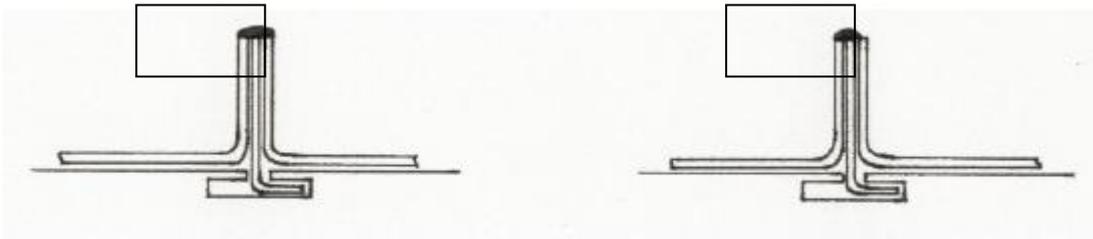


图 1.2.2.2 封焊焊缝示意图

(11) 最常出现的焊接缺陷如图1.2.2.2中右图方框处，即封焊焊道焊偏。这种缺陷的危险性很大，因为在进行焊道的密性试验时，上述缺陷位置不会发生渗漏而被检测出来。但在以后营运过程中载货时，由于受到货物载荷的交变作用以及船体纵向应力的作用，该处极易产生疲劳裂纹，从而导致液货渗漏；

(12) 修理薄膜区域所有焊缝需要经过无损探伤（着色渗透探伤），由具备资质的人员使用合格的设备和仪器；

(13) 修理完好的薄膜区域视实际情况和专利公司的建议进行薄膜试验，至少应进行氦气试验和整体试验；

(14) 经过专利公司的同意和验船师的批准，极小的缺陷可暂不处理，仅做标识。

## 附录2 B型棱形独立液货舱及货舱处所内的营运检验和修理

### 第1节 检验、维护和保养的通道设置

#### 2.1.1 通往货物区域各处所的通道

2.1.1.1 通往货物区域各处所的通道应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第3篇第3章3.5的适用要求。

2.1.1.2 从底部提升伤员的无障碍开口如图 2.1.1.1 所示，对此布置，需要证明伤员能方便撤离。

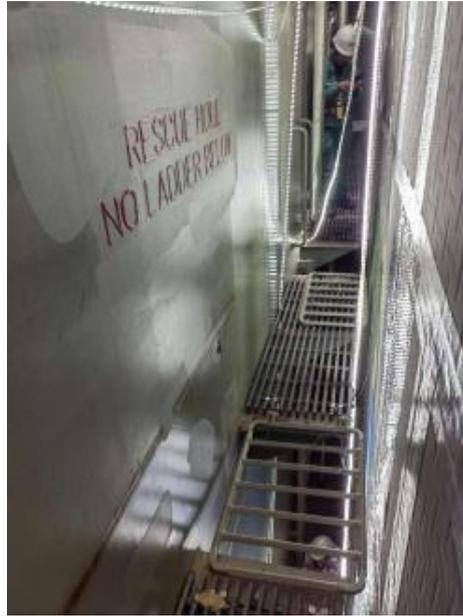


图 2.1.1.1 从底部提升伤员的无障碍开口

#### 2.1.2 进入液货舱处所的通道

2.1.2.1 B型棱形独立液货舱有2个出入口分别位于穹顶和舱顶，如图 2.1.2.1 所示，通过直梯进入到液货舱内，舱内共有上下2层检修通道，覆盖舱内的前舱壁、中横舱壁和后舱壁，覆盖舱内整圈舱壁以及中横舱壁和中纵舱壁。

2.1.2.2 内部通道检验要求如下：

- (1) 检查通道上的扶手、栏杆、休息平台与舱壁结构的焊接有效性；
- (2) 检查梯子踏步的方钢双面角焊缝有效性；
- (3) 检查检修通道的宽度，应不低于 0.6m，栏杆高度应不低于 1m，栏杆每 3 档应有 2 个斜撑；
- (4) 检查直梯、斜梯、通道斜撑等与液货舱结构件相连接时应有复板加强。

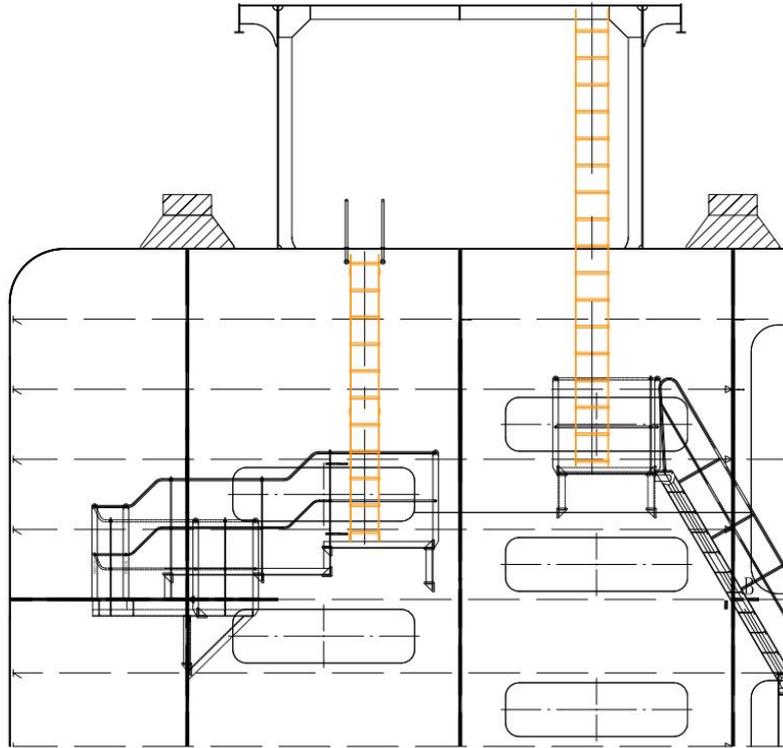


图 2.1.2.1 液货舱内部检验通道

## 第 2 节 舾装及附件

### 2.2.1 支撑座及止浮块

2.2.1.1 B 型棱形独立液货舱应具有支撑座，分别布置在 B 型棱形独立液货舱底部和顶部与货舱内壁相连接固定，其中底部支撑座应具有顶升平台、垂向支撑、抗横摇的功能；顶部支撑座具有抗浮支撑、抗横摇、抗纵摇的功能。针对支撑座维修，B 型棱形独立液货舱安装后，如有承压木损坏的情况，需要进行维修更换。更换承压木时，需要确保 B 型棱形独立液货舱处于空舱状态。

2.2.1.2 支撑座分为支撑座 A 和支撑座 B 两部分，其中支撑座 A 焊接在货舱内表面，支撑座 A 表面依次安装有环氧树脂垫片、不锈钢垫片、承压木；支撑座 B 焊接在 B 型棱形独立液货舱的外表面，支撑表面依次安装有环氧树脂垫片、不锈钢垫片、承压木。

2.2.1.2 检验要求如下：

- (1) 检查支撑座 A 的材质；
- (2) 检查支撑座 A 十字肘板与船体结构件板厚中线对齐；
- (3) 检查支撑座 A 的“部分熔透焊”位置的焊前装配情况；
- (4) 检查支撑座 B 的材质；
- (5) 检查支撑座 B 十字肘板与船体结构件板厚中线对齐；
- (6) 检查支撑座 B 的“部分熔透焊”位置的焊前装配情况；
- (7) 止浮块的材料应符合 CCS《材料和焊接规范》的相关要求；
- (8) 检查止浮块的外形尺寸；
- (9) 核查止浮块的垂直方向安装间隙。

## 2.2.2 接地

2.2.2.1 B型棱形独立液货舱应配有接地电缆，接地电缆一端紧固在支撑座的鞍座上的接地柱，另一端紧固在支撑上的接地柱，接地电缆芯线截面积应按审批图纸要求进行核查。

2.2.2.2 电缆检验要点如下：

- (1) 检查接地电缆两端的紧固件需点焊或树脂固定；
- (2) 检查接地电缆芯线截面积，确认电阻应小于  $1M\Omega$ 。

## 2.2.3 舱底水排水装置

2.2.3.1 货物载运在不要求设有次屏壁的货物围护系统，则在货舱处所内应配备不与机器处所相连的合适的排水装置，还应设有探测任何泄漏的装置，且应为防爆型。

2.2.3.2 压载处所（包括用作压载水管路的湿箱形龙骨）、燃油舱和非危险处所可与机器处所内的泵相连接。有压载水管通过的干箱形龙骨可与机器处所内的泵相连接，条件是连接管直接同泵连接，并从泵直接排出舷外，且从箱形龙骨连至泵以及从泵排出舷外的管路不应与服务于非危险处所的管路连接。泵的透气管的开口不应通向机器处所。

# 第 3 节 绝热层修复

## 2.3.1 绝缘板的修复

2.3.1.1 发泡聚苯乙烯（EPS）绝缘板修复要求如下：

(1) EPS 保温板最外层表面由铝皮等表面层包覆，因外部施工、吊装等影响，外表面可能会有凹坑等碰伤，通常铝皮等表面层表面深度小于 10mm 的凹坑不应被认为是损坏，当凹坑深度超过 10mm 时，可以使用聚氨酯（PU）胶水填平，当凹坑深度更深的时候，按照批准的修补程序进行维修；

(2) 如果很明显的已经伤及 EPS 绝缘材料本身且损坏的深度小于 25mm，可以使用 PU 胶水和丁基胶带进行修补；

(3) 如果很明显的已经伤及 EPS 绝缘材料本身且损坏的深度超过 25mm 且长度小于 200mm，可以使用 PU 填充和丁基胶带进行修补；

(4) 损伤区域长度超过 200mm，认为是 EPS 保温板的严重损坏，损坏的区域需要切除再用 EPS 绝缘块和胶水重新粘接，再用丁基胶带覆盖。

2.3.1.2 其他材质绝缘板：

- (1) 其他材质的绝缘板修复可参考 2.3.1.1 的相关要求，最终以厂家的修复工艺为准。

## 2.3.2 绝缘上冷点的修复

2.3.2.1 在船舶正常运营的情况下，绝缘基本不会出现明显的质量问题。在特殊情况下，板缝之间的绝缘缺陷（如充泡不完整）会导致绝缘表面出现冷点。

2.3.2.2 因绝缘系统的整体设计原因，在某些特殊的区域会自然的比周围的温度更低，在这些区域出现的冷点不认为是绝缘失效，包括：穿透绝缘的金属管件、支座金属加强筋、支座承压木块和穿透绝缘的线缆等。在这些区域内，限定尺寸内的冷点是不可避免的，不需要维修。

2.3.2.3 密封带表面出现冷点，无冷气从绝缘板泄漏。处理措施：标记冷点位置，在航行中对冷点区域进行临时修补，在下次船进干船坞的时候进行最终修补。

2.3.2.4 保温板缝隙之间的绝缘填充开裂导致冷气泄漏在绝缘表面结冰。处理措施：标记泄漏位置，在航行中对泄漏区域进行临时修补，在下次船进干船坞的时候进行

最终修补。

2.3.2.5 航行中冷点的修补：移除泄漏位置冰霜和密封带，使用玻璃棉混合胶水覆盖在冷点表面，使用密封带覆盖。

2.3.2.6 航行中冷气泄漏的修补：移除泄漏位置冰霜和密封带，在绝缘层的盖板内侧涂抹胶水覆盖在泄漏位置然后使用塑料钉固定盖板，使用胶水固定绝缘层盖板并使用木板等支撑盖板，在盖板之间充入绝缘材料。

2.3.2.7 干船坞中的维修：移除冷点区域的绝缘层，打磨移除区域并涂抹胶水，重新充入绝缘材料再贴密封带。

### 2.3.3 密封带的修复

2.3.3.1 正常运行条件下密封带是牢牢粘贴在保温板表面的，在出现密封带脱落、翘边、表面损坏的情况下，在密封带表面做出标记并且记录位置，更换密封带，通常可在航行中或者干船坞内进行。

### 2.3.4 绝缘材料易燃性

2.3.4.1 绝缘材料一般属于易燃物质，在检验和修复过程中，应避免接触明火和热源，做好防火工作。如发生火灾，受影响的绝缘应全部移除并重新敷设，临近的液货舱和船体结构受影响程度应由建造方进行评估，必要时更换。

## 第 4 节 部分次屏壁检查与修理

### 2.4.1 部分次屏壁检查

2.4.1.1 检查部分次屏壁的承接盘，确认不存在塑性变形、开裂、断开和无法集液等情况。

2.4.1.2 检查承接盘支撑座承压木，确认不存在塑性变形、开裂、断开和紧固件失效等情况。

2.4.1.3 检查隔断装置（如爆破片），确认不存在破损和固定螺丝脱落等情况。

2.4.1.4 部分次屏壁检查一般每 5 年进行一次目视检查，如发生泄漏情况除外。

### 2.4.2 部分次屏壁修理

2.4.4.1 发现部分次屏壁的承接盘、支撑座、隔断装置（如爆破片）和温度传感器等损坏后，及时修复或换新。

## 第 5 节 B 型棱形独立液货舱的检查/检验

### 2.5.1 B 型棱形独立液货舱内部检查

2.5.1.1 B 型棱形独立液货舱内部检查前确认货舱通风，安全后方可进入。过程中应确保检验通道满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和 IGC 规则对货舱处所通道的要求。

2.5.1.2 检查 B 型棱形独立液货舱主体结构（包括气室、内部结构平台、纵桁、内壁板、内壁骨材、横向强框、横向和纵向制荡舱壁，泵井及支撑座，梯子，泵基座等液货舱内部舾装件和加强结构）破损情况和焊缝情况。

2.5.1.3 检查 B 型棱形独立液货舱内管系和穹顶穿舱管系(包括液货泵出口管系、燃气泵出口管系、扫舱泵出口管系、注入管、惰化管、喷淋管、深冷回舱管、穹顶穿舱管系、管系与设备连接处、管系与阀门连接处)位移变形情况、泄漏或冻堵情况、连接处松动或脱落情况, 支架变形情况等。

## 2.5.2 绝热层检查

2.5.2.1 应对绝热层进行目视检查, 确认绝热层结构完整, 无泄漏报警。外部密封带应完好, 绝热层最外侧无变形。应注意绝热层的疲劳裂纹及是否与船体结构间丧失连接。在确定绝热性能时, 应适当注意与船上的再液化装置、主推进机械或其他温度控制系统有关的可接受的蒸发量。

## 2.5.3 小泄漏保护和部分次屏壁检查

2.5.3.1 小泄漏保护系统应包括探测主屏壁泄漏的手段, 诸如任何液体货物向下进入部分次屏壁的防溅屏障规定, 以及通过自然蒸发处理液体的装置。

2.5.3.2 部分次屏壁中集液盘及吸口间间距应满足 IGC 中的最小距离要求。

## 2.5.4 气体探测传感器检查

2.5.4.1 检验传感器在线情况, 确保功能正常, 显示无异常报警。

2.5.4.2 固定安装的气体探测应为连续探测型, 能立即响应。

2.5.4.3 取样型气体探测设备, 应满足下列要求:

(1) 气体探测设备应能在不超过 30 min 的时间间隔期内, 依次从每个取样点取样和分析;

(2) 应设置从取样点通向探测设备的单个取样管路;

(3) 气体探测设备可位于非危险处所, 只要气体探测设备(例如采样管路、采样泵、电磁阀和分析单元)位于一个具有密封门的全封闭钢质箱中。应连续监测全封闭钢质箱内的气体。当该钢质箱中的可燃气体的聚集达到最低可燃性极限的 30%时, 整个可燃气体分析设备应自动关断。否则, 从取样器引出的管子不得穿过非危险处所。

2.5.4.4 气体探测系统内的任何报警状况须在驾驶室、记录连续监测气体水平的相关控制站和气体探测器的读数装置所在的位置发出听觉和视觉报警。

## 附录3 B型棱形独立液货舱的应急处置操作

### 第1节 一般规定

#### 3.1.1 一般要求

3.1.1.1 本附录提供了B型棱形独立液货舱应急处置预案编制的风险识别方法、风险控制措施和常见应急情况处置的建议方案，供参考使用。

3.1.1.2 其他类型的货物围护系统应急处置预案编制可参考本附录。

#### 3.1.2 风险识别

3.1.2.1 风险识别是发现、认可并记录风险的过程，其目的是确定可能影响系统或组织目标得以实现的事件或情况，即可能对目标产生重大影响的风险源、影响范围、事件及其原因和潜在后果。

3.1.2.2 常用的分析方法包括检查表法（Check-lists）、假设分析技术（What-If）、危险与可操作性研究（HAZOP）、故障模式和影响分析（FMEA）等。

3.1.2.3 检查表（Check-lists）是危险、风险或控制故障的清单，这些清单通常凭专家经验（根据以前的风险评估结果或过去发生的故障）进行编制。检查表法可用于识别危险或者评估风险控制效果，可用于系统生命周期的任何阶段，可以结合其他风险评估技术同时使用，其最主要的用途是检查在运用了旨在识别新问题的相关技术之后，是否还有遗漏问题。

3.1.2.4 假设分析技术（What-If）是一种分析可能导致不利结果的意外事件的非结构化方法，该方法通过“如果-则”的方式，来得到可能发生的后果。在运用该方法时，提出的假设（引导词）要有一定的实际性，应建立在专家们丰富的实际经验上，否则会导致一些实际不可能发生的场景出现。假设分析技术（What-If）主要应用于概念设计及初步设计阶段，同时也可以结合其他方法一并使用，作为其他方法的辅助。

3.1.2.5 故障模式和影响分析（FMEA）是一种以系统中的组成部分为分析对象的风险分析方法，目的是识别工艺系统中各个组成部件的故障模式及其原因，记录故障模式下可能导致的所有后果（包括对其他部件及整个系统的影响）。该方法专注于工艺流程中的设备本身，假设组建的典型功能失效，列出失效模式，究其失效原因，评估对系统中其他组件带来的影响。故障模式和影响分析（FMEA）主要应用于后期的详细设计及具体设备或系统的功能分析。

3.1.2.6 危险与可操作性研究（HAZOP）目的是减少因工艺流程设计中的考虑不周而引起的事故。该方法通过综合多位专家的意见找寻系统过程或状态的偏差，分析原因及可能的后果，从而提出具有针对性的预防措施。该方法用来分析系统由概念到实施，不断发展的各个阶段中存在的危险。其目标是将潜在危险消除或减到最少。

3.1.2.7 根据分析问题的类型选择适当的危险识别方法，分析危险的潜在原因、发展过程、影响因素、最终后果等。一般情况下，当可利用的数据和信息不多时，可采用假设分析技术（What-If）；当有较详细的设计信息等可利用时，可采用故障模式和影响分析（FMEA）、危险与可操作性研究（HAZOP）。

3.1.2.8 船厂和船东应对B型棱形独立液货舱围护系统开展风险识别，编制风险点及风险控制措施文件。

3.1.2.9 在进行风险识别之前应明确分析范围，确定空间、时间或工艺流程等的界限，明确分析目标及需重点考虑的问题。

3.1.2.10 在风险识别阶段应组织召集有关方面专家参加风险识别会（或以调研、座谈等其他形式），确定一种风险识别方法系统地对风险进行识别，确定可能存在的所有风险，找出事故发生的原因和有可能导致的后果。

3.1.2.11 应对识别出的风险进行等级划分并将风险进行排序，以便在后续步骤中对主要风险作进一步筛选和提出风险控制方案。

3.1.2.12 对风险进行排序时，应根据所考虑的风险类型，如人员、结构安全、财产、环境等，分别列出每种风险类别下的风险排序。

3.1.2.13 风险矩阵是最为常用和典型的一种风险排序方法。在定义风险矩阵之前，先定义风险值与事故发生频率和事故后果的运算关系，可以是相加或相乘等形式：

$$\text{风险} = \text{频率} \times / + \text{后果}$$

3.1.2.14 将发生频率和严重程度分为几个等级，随后将频率和相应的后果置于一个矩阵中，该矩阵即为风险矩阵。风险矩阵可分为三个安全区域：高风险区域（数字 7、8、9），低风险区域（数字 2、3、4），以及两者之间的临界区域（数字 5 和 6）。

3.1.2.15 在具体应用中可以根据相关标准或船东需求对失效频率、失效后果、风险等级进行划分，频率和后果的定义和取值可参考表 3.1.2(1)和表 3.1.2(2)，风险矩阵可参考表 3.1.2(3)。

频率等级划分 表 3.1.2 (1)

PI	频率 (f)	定义
5	10 <sup>-1</sup>	经常发生
4	10 <sup>-2</sup>	有时发生-在运营周期内可能发生几次
3	10 <sup>-3</sup>	偶尔发生-在运营周期内的某一时间可能发生
2	10 <sup>-4</sup>	很少发生-不太可能发生但有可能性
1	10 <sup>-5</sup>	极少发生-完全不太可能发生

后果严重程度等级划分 表 3.1.2 (2)

SI	严重度	定义
4	灾难	事故后果会导致灾难性的人员伤亡、结构损坏、财产损失、环境破坏，影响范围超出可控区域，后果不可接受
3	严重	事故后果会导致严重的人员伤亡、结构损坏、财产损失、环境破坏，影响范围未超出可控区域，后果不可接受
2	中等	事故后果会导致人员受伤、一定的结构损坏或财产损失或环境破坏，影响范围有限，应综合考虑费效比，采取相应的控制措施
1	轻微	该类型后果可忽略不计

风险等级划分 表 3.1.2 (3)

	PI	1	2	3	4	5
SI		极少	很少	偶尔	有时	经常
4	灾难	5	6	7	8	9
3	严重	4	5	6	7	8
2	中等	3	4	5	6	7
1	轻微	2	3	4	5	6

### 3.1.3 风险控制

#### 3.1.3.1 事前预防：

(1) 在风险发生之前采取措施控制预防事故发生。主要包括科学确定风险点、辨识危险源，评价风险，界定风险等级，制定危险源辨识清单或风险点排查清单、隐患排查清单、风险告知与危害告知清单，绘制风险预警图；

(2) 采用措施规避和转移风险；

(3) 制定风险应对方案和危机处理方案。

#### 3.1.3.2 事中控制：

(1) 风险发生时采取管理或应急措施降低事故的严重性。主要任务是采用“安全三区”与“安全红区”科学管控法，管控灾难性风险，遏制重特大事故；

(2) 选择和实施风险应对预案；

(3) 采取适当的权宜措施缓解风险；

(4) 采取补救措施抵消风险损失。

#### 3.1.3.3 事后处理：

(1) 风险发生后采取管理或后处理措施降低事故的严重后果，恢复原状。主要是管控致命性风险，控制较大、一般事故；

(2) 选择和实施危机处理预案；

(3) 实施风险救助措施或后处理措施，恢复原状；

(4) 总结经验教训，进一步完善风险控制流程。

## 第 2 节 应急处置建议方案

### 3.2.1 主屏壁泄漏

3.2.1.1 当 B 型棱形独立液货舱主屏壁发生泄漏时，通过部分次屏壁低温传感器数值及货舱处所可燃气体探测系统，确定泄漏位置和程度。必要时，可打开通道舱口盖，人员进行安全防护后进入检修通道，查看绝缘层、主屏壁及部分次屏壁的情况，评估部分次屏壁的承载能力，在最大横摇和纵摇情况下，不会溢出部分次屏壁，监控船体结构冷点情况。

3.2.1.2 如泄漏不影响船体结构安全，可到港卸货后，采用单舱操作措施，排空泄漏的液货舱，按照批准的工艺修复主屏壁泄漏处的结构，如涉及绝缘层的移除，也应按照批准的工艺或厂商的工艺来恢复原状。

3.2.1.3 如泄漏影响船体结构安全，应按照预定程序进行液货舱海上抛货处理，后续根据情况可采用单舱操作措施或所有液货舱完全除气后，对泄漏的液货舱进行结构修复，具体修复流程参考 3.2.1.2 的要求。

3.2.1.4 当 B 型棱形独立液货舱主屏壁发生泄漏，部分次屏壁也有泄漏时，应向部分次屏壁下方注水，同时按照预定程序进行液货舱海上抛货处理，后续根据情况可采用单舱操作措施或所有液货舱完全除气后，对泄漏的液货舱进行结构修复，具体修复流程参考 3.2.1.2 的要求。

3.2.1.5 当 B 型棱形独立液货舱发生泄漏后，还应同步采取下列措施：

(1) 马上报告值班驾驶员或船厂，并发出警报；

(2) 控制组到货控室集合，船员按应变部署表就位；

(3) 全船禁止吸烟，禁止任何热工作业和任何具有产生火花潜在可能的工作；

(4) 关闭生活区通风口和门窗，关闭甲板所有舱室和艏尖舱的门窗和风口，关闭机舱天窗；生活区空调或通风系统改为内循环；

- (5) 必要时, 按程序启动 ESD;
- (6) 使用水幕、消防皮龙和积水盘等保护船体结构免受低温液货的破坏。

### 3.2.2 主屏壁结构变形

3.2.2.1 当 B 型棱形独立液货舱主屏壁发生结构变形时, 评估结构变形的程度, 如变形量小, 未与绝缘层脱离, 不影响保温效果, 该结构变形可不做处理。

3.2.2.2 如 3.2.2.1 所述的结构变形量大, 对液货舱强度产生较大影响, 与绝缘层脱离且影响保温效果, 该结构变形应在卸货后, 采用单舱操作措施或全船液货舱除气后, 根据变形的具体情况, 采用火工矫正或割除换板, 9Ni 钢应避免火工矫正, 具体修理措施由修理厂提出, 经批准后实施。采用火工矫正和换板焊接时应充分评估绝缘层火灾风险, 如涉及绝缘层的移除, 应按照批准的工艺或厂商的工艺来恢复原状。采用换板修复后, 应进行探伤和强度试验。

### 3.2.3 主屏壁结构疲劳裂纹扩展

3.2.3.1 B 型棱形独立液货舱主屏壁在营运过程中, 结构疲劳区域可能会发生结构疲劳, 产生裂纹, 随着液货舱冷热交变的频率不断增加, 裂纹会进行扩展直到产生泄漏。在裂纹扩展的过程中, 因主屏壁外部敷设绝缘层无法发现, 液货舱内部因装货无法进入, 一般在坞检期间经目视检查有可能发现由内向外发展的疲劳裂纹。

3.2.3.2 如发现疲劳裂纹, 并导致液货泄漏, 按照 3.2.1 的要求进行修复。

3.2.3.3 如发现疲劳裂纹, 并未导致液货泄漏, 应评估裂纹大小和深度, 根据疲劳裂纹扩展分析报告中的方法来处理疲劳裂纹。

### 3.2.4 绝缘保温失效

3.2.4.1 B 型棱形独立液货舱主屏壁绝缘层在货舱处所内, 正常受外力破坏的概率极小, 因破坏而导致保温失效的概率极低。

3.2.4.2 绝缘层受长时间的交变冷热应力的影响, 材料老化导致保温性能降低, 可监测货舱处所内的温度来确定绝缘保温性能, 如保温性能低于设计要求, 应及时进行更换。

3.2.4.3 如因船体结构损坏后导致绝缘层损坏从而影响保温性能, 应对损坏的绝缘层进行修复或更换。

3.2.4.4 应尽可能确保湿气或水分不进入绝缘层, 避免增加导热因素, 影响保温效果。

### 3.2.5 单舱操作

#### 3.2.5.1 总体概述:

(1) 当船舶处于运行状态时进行舱内修理, 其中一个单舱可以被加热、置入惰化状态、通风, 并且可以进入并进行舱内工作, 例如更换液货泵、检查和处理舱内测量系统等。不预期只有一个单舱被加热的情况下进行舱壁修理;

(2) 加热、惰化和通风可以通过保持其余的冷藏舱提供挥发气为发动机或气体燃烧装置提供燃料来进行;

(3) 在单舱操作期间, 连接舱内与系统其余部分的任何管道都应隔离, 以确保不会与含有液化天然气蒸汽/液体的系统发生交叉连接。

#### 3.2.5.2 操作过程:

(1) 在卸货港, 要进行单舱工作的液货舱应排出至最低可测量水平, 并在完成卸货后, 尽可能多地使用扫舱/喷淋泵将其排入另一个液货舱。为航行保留足够的货物, 以及额外的量以用于修理完成后的液货舱冷却, 这些都保留在其他液货舱中;

## (2) 液货舱加热:

① 单舱加热的程序是通过使用高负荷压缩机和高负荷加热器,通过充装管道向舱底引入热液化天然气蒸汽,以促进舱内任何残留液体的蒸发;

② 在加热过程中产生的多余蒸汽在海上时被引导至发电机发动机,如果在港口,则被返回岸上。如果舱内产生的蒸汽对船舶的发电机发动机或气体燃烧装置过多,维护总管将被用于通过 1 号透气桅将多余压力释放到大气中;

③ 加热操作持续到液货舱绝缘空间温度达到+5°C;

④ 在液货舱加热期间,可以继续通过使用一个低负荷压缩机为发电机发动机提供蒸汽来进行燃烧。如果发动机室需要额外的燃料气体,可以使用未加热液货舱的燃气泵、强制汽化器和燃气加热器供应额外的燃料气体;

⑤ 加热过程中,检查液货舱/绝缘空间的压力和温度;

⑥ 加热过程中,按货物操作手册的要求进行加热程序操作,有序开关压缩机、阀门、加热器和气体燃烧装置等设备。

## (3) 液货舱驱气:

① 在液货舱加热完成后,液化天然气蒸汽被惰性气体(氮气)置换,以去除所有存在的碳氢化合物,然后用空气清扫以准备进入。惰性气体从 PSA 发生器系统通过 LNG 注入管道引入液货舱底部。液货舱的蒸汽从液货舱顶部气室通过高负荷压缩机旁通管线和高负荷加热器送至气体燃烧装置进行燃烧;

② 释放气体以防止通风过程中出现可燃范围内的蒸汽混合物;

③ 驱气过程中,在气穹顶和液货舱内部取样管线处进行取样,检测碳氢化合物的含量降低到体积小于 2%;

④ 驱气过程中,按货物操作手册的要求进行驱气程序操作,有序开关 PSA 发生器、阀门、加热器和气体燃烧装置等设备;

⑤ PSA 发生器产生的惰性气体的氧含量低于 1% 且露点为-45°C 才可向液货舱输气;

⑥ 监控液货舱压力,确保液货舱压力始终比绝缘空间压力高至少 2KPa,但液货舱压力不超过大气压的 18KPa。在任何情况下,在驱气过程中,必须保持液货舱内的压力低以最大化活塞效应;

⑦ PSA 发生器产生的惰性气体不能维持生命。在使用任何形式的惰性气体进行任何操作时,必须确保所有人员的安全,以避免因氧耗竭而窒息。

## (4) 液货舱通风:

① 通风是在驱气完成后,使用 PSA 发生器生产的干燥空气清扫液货舱,以确保液货舱内的大气适合进入并且对于进行任何维修工作都是安全的;

② 通风过程中,在注入管路顶部和液货舱内部取样管线处进行取样,检测液货舱的氧气含量超过 20%,二氧化碳含量少于 0.5%,一氧化碳含量少于 50 ppm,露点低于-40°C;

③ 通风过程中,按货物操作手册的要求进行通风程序操作,有序开关 PSA 发生器、阀门等设备;

④ 监测液货舱压力,确保液货舱压力始终比绝缘空间的压力高出至少 1KPa,但液货舱压力不超过大气压上方 18KPa。在通风过程中,液货舱内的压力必须保持较低,以最大限度地提高活塞效应;

## (5) 液货舱维修:

① 液货舱通风完成,持续供应空气,在确认氧气含量满足要求后,打开液货舱,进入液货舱内开展维修工作,维修期间应定期检查舱内氧气水平;

② 维修期间,应按照液货舱进入程序配备所有救援设备;

③ 维修完成后，应检查液货舱并确保其清洁。封舱后，供应干燥空气，将液货舱压力增加到 20KPa 以检查液货舱是否无泄漏。之后，液货舱压力降低到 6KPa，并检查露点。

(6) 液货舱干燥、惰化、气体置换和冷却：

① 液货舱完成维修并封舱后，按照货物操作手册的要求，对液货舱进行干燥、惰化、气体置换和冷却等过程操作，最终使液货舱重新达到装货状态；

② 干燥和惰化的气体来自 PSA 发生器，气体置换的 LNG 蒸气来自其他未维修的液货舱，进行液货舱冷却的 LNG 来自其他未维修的液货舱；

③ 液货舱的干燥和惰化过程使液货舱的氧气含量体积小于 2%，露点小于 -40℃；

④ 液货舱的气体置换过程使液货舱的碳氢化合物含量体积大于 99%，露点小于 -40℃；

⑤ 液货舱的冷却过程使液货舱的平均温度低于 -130℃。

### 3.2.6 液货舱海上抛货

3.2.6.1 当一个或多个液货舱存在屏壁或绝缘层故障而无法使用，对船舶结构造成严重影响时，船舶应考虑在海上对液货舱进行抛货处理。

3.2.6.2 从特定液货舱向海洋倾倒液货是使用单个主液货泵，通过安装在船舶集管区的便携式喷嘴，将液货排放到海上，如图 3.2.6.2 所示。

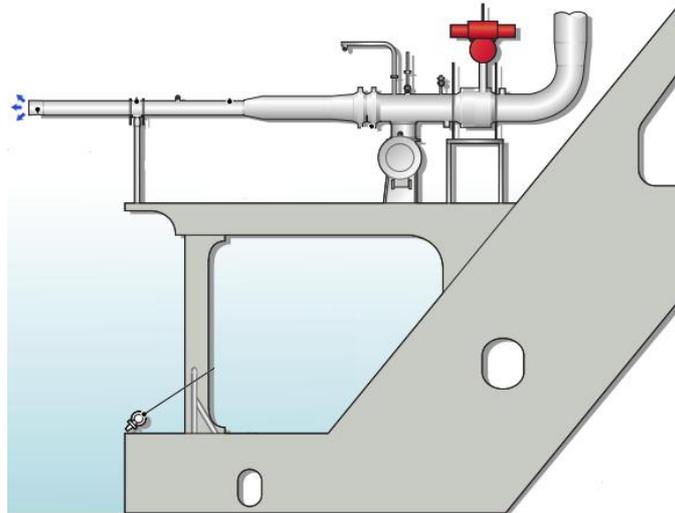


图 3.2.6.2 液货舱海上抛货示意图

3.2.6.3 由于倾倒液货会产生危险情况，重点关注如下内容：

(1) 在做出倾倒液货决定之前，必须仔细评估所有故障情况；

(2) 所有相关的消防设备处于可用状态，人员在岗，并在整个操作过程中保持此状态；

(3) 所有住宿和其他开口，以及所有排气风扇，必须被关闭和固定；

(4) 必须严格执行禁止吸烟规定；

(5) 开启并保持倾倒一侧的水幕，以保护船体结构；

(6) 必须考虑天气条件和船舶相对于风向的航向，以确保倾倒的液体和产生的蒸汽云被带离船舶。此外，如果可能的话，应避免用烟囱的废气覆盖蒸汽。

3.2.6.4 排放速率必须限制在仅一个液货泵的容量范围内，并在必要时必须降低以在当前天气条件的限制内实现可接受的扩散。

3.2.6.5 海上抛货是一项紧急操作，只有在需要避免对液货舱和/或内壳钢结构造成严重损坏时才能执行。