



中国船级社

散装运输液化气体船舶 构造与设备规范

RULES FOR CONSTRUCTION AND
EQUIPMENT OF SHIPS CARRYING
LIQUEFIED GASES IN BULK

2018

2018年1月1日生效

北京

目 录

第 1 篇 总则	1
第 A1 章 一般规定	1
第 A2 章 附款	2
第 2 篇 入级检验和船体结构的补充规定	3
第 A1 章 一般规定	3
第 A2 章 入级与检验	4
第 1 节 通 则	4
第 2 节 入级符号与附加标志	4
第 3 节 检 验	6
第 A3 章 图纸和资料的送审	13
第 A4 章 船体结构和液货舱结构	18
附录 1 A 型和 B 型棱形独立液货舱船舶的补充规定	21
第 1 节 一般规定	21
第 2 节 棱形独立舱液化气运输船货舱区的船体构件尺寸	22
第 3 节 棱形独立液货舱结构尺寸	26
第 4 节 直接计算强度评估	32
第 5 节 温度场及热应力计算和钢级选取	45
附录 2 C 型独立液货舱船舶的补充规定	52
第 1 节 一般规定	52
第 2 节 C 型独立液货舱型船体构件尺寸	52
第 3 节 C 型独立液货舱结构尺寸	54
第 4 节 C 型独立液货舱区域结构强度和鞍座支承结构直接计算	64
第 5 节 C 型独立液货舱及其直接相连的支承结构强度直接计算	78
第 6 节 C 型独立舱区域温度场简化计算及热应力计算和钢级选取	87
附录 3 独立液货舱船舶疲劳强度评估的补充规定	99
第 1 节 一般规定	99
第 2 节 独立液货舱船体及其液货舱支撑结构的疲劳强度评估	99
第 3 节 B 型独立液货舱结构疲劳强度评估	100
第 4 节 B 型独立舱断裂裂纹扩展评估和泄漏分析	101
第 5 节 C 型独立液货舱结构疲劳强度评估	106
第 3 篇 国际散装运输液化气体船舶构造与设备规则	115
前 言	115
第 1 章 总则	118
第 2 章 船舶残存能力和液货舱位置	129
第 3 章 船舶布置	142
第 4 章 货物围护	153
A 部分 货物围护	155
B 部分 设计载荷	160

C 部分 结构完整性	164
D 部分 材料和构造	169
E 部分 液货舱类型	175
F 部分 新颖形状的货物围护系统	188
G 部分 指导	189
第 5 章 处理用受压容器及液体、蒸气和压力管系	199
第 6 章 构造材料和质量控制	215
第 7 章 货物压力/温度控制	231
第 8 章 货物围护的透气系统	235
第 9 章 货物围护系统的环境控制	242
第 10 章 电气装置	245
第 11 章 防火与灭火	247
第 12 章 货物区域内的机械通风	253
第 13 章 仪表和自动化系统	256
第 14 章 人员保护	264
第 15 章 液货舱的充装极限	266
第 16 章 用货物作燃料	269
第 17 章 特殊要求	276
第 18 章 操作要求	289
第 19 章 最低要求一览表	297
附录 1 非金属材料	312
附录 2 新颖形状的货物围护系统设计中极限状态方法的使用标准	319
附录 3 缩略语索引	326

第 1 篇 总则

第 A1 章 一般规定

A1.1 本规范以国际海事组织（IMO）海上安全委员会（MSC）以 MSC.5(48)决议通过的《国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则》（简称《IGC 规则》）及其修正案的技术要求为基础，为申请加入 CCS 船级的液化气体运输船满足入级条件而制定，适用于《IGC 规则》定义的所有散装运输液化气体船舶（海船）。

A1.2 除通用要求外，对于不同的液货舱和货物围护系统的适用章节或指向说明如下：

- (1) 本规范第 2 篇附录 1——A 型和 B 型棱形独立舱液化气体运输船的补充规定；
- (2) 本规范第 2 篇附录 2——C 型独立舱液化气体运输船的补充规定；
- (3) 本规范第 2 篇附录 3——独立舱型液化气体运输船的船体结构、液货舱及其支撑结构的疲劳强度的补充规定；
- (4) 对于薄膜型液化天然气运输船的船体和泵塔结构有关要求，见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 20 章“薄膜型液化天然气运输船”。

A1.3 拟入 CCS 船级并取得本规范第 2 篇第 A2 章的附加标志的液化气体运输船，应满足本规范的有关要求。本规范未提及部分，应符合 CCS《钢质海船入级规范》和 CCS《材料与焊接规范》，以及 CCS《法定检验实施指南》（第 3 部分）（适用时）的有关要求，以及 CCS《液化气体运输船检验指南》的有关要求。

A1.4 A 型、B 型棱形独立舱和 C 型独立舱液化气体运输船，以及薄膜型液化天然气运输船的船体结构疲劳强度评估要求见本规范第 2 篇第 A4 章、本规范第 2 篇附录 3，以及 CCS《船体结构疲劳强度指南》。

A1.5 《IGC 规则》中所提及的 SOLAS 第 II-2 章所述条款还应进一步参见经修正的 SOLAS 74 第 II-2 章的内容。

A1.6 规范生效的有关规定，以及适用于新船和建造中的船舶采用新规范等有关要求，按 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇的相关规定。

第 A2 章 附款

A2.1 本规范第 3 篇为《IGC 规则》和相关的 CCS 条款内容。

A2.2 为便于区分《IGC 规则》条款和 CCS 条款，本规范第 3 篇中，属于《IGC 规则》的条款用宋体表示，CCS 的条款用楷体表示。



第2篇 入级检验和船体结构的补充规定

第A1章 一般规定

A1.1 一般要求

A1.1.1 就入级而言，本规范包含的《IGC 规则》相关条款中的“主管机关”一般可视为 CCS。如 CCS 受权签发国际散装运输液化气体适装证书，且授权主管机关与 CCS 在理解含有“主管机关”一词的相关条款出现不一致时，按照主管机关要求。

A1.1.2 当受权签发国际散装运输液化气体适装证书时，如果主管机关根据《IGC 规则》1.3 的要求采取了某些等效措施，或者采取了某些有别于本规范中 CCS 条款的解释，就船舶入级而言，CCS 将对此等效或解释给予个别考虑。

A1.1.3 对未授权签发适装证书检验的船舶，应符合本规范和船旗国主管机关的要求。

A1.1.4 凡符合本规范入级要求的液化气体运输船，均符合《IGC 规则》的规定。如果不是由 CCS 签发法定证书，则船旗国主管机关或授权其他机构签发的《国际散装运输液化气体适装证书》应作为签发入级证书的条件。

第A2章 入级与检验

第1节 通则

A2.1.1 入级条件

A2.1.1.1 申请入CCS船级的散装运输液化气体船舶,应符合本规范的规定, 并符合CCS《钢质海船入级规范》第1篇的相关要求。

A2.1.2 定义

A2.1.2.1 除另有规定外, 本规范定义如下:

新船: 除特别指明外, 指本规范生效之日及以后签订建造合同的新建船舶。

现有船舶: 指除新船以外的船舶。

第2节 入级符号与附加标志

A2.2.1 入级符号

A2.2.1.1 凡船舶的船体(包括设备)与轮机(包括电气设备)经批准入级, 将根据CCS《钢质海船入级规范》第1篇相应规定授予相应的入级符号。

A2.2.2 附加标志

A2.2.2.1 附加标志是船舶不同特点的分级表述, 加注在入级符号之后。

A2.2.2.2 附加标志系由船东申请, 经CCS审查设计图纸、检验, 确认符合本规范的相应规定后, 由CCS授予。

A2.2.2.3 应船东申请, 经CCS同意, 按CCS颁布的有关规范或接受的其他标准建造的船舶和轮机装置, CCS将根据具体情况加注相应的附加标志。

A2.2.2.4 散装运输液化气体船的附加标志如下:

(1) 船舶类型附加标志: 液化气体运输船 Liquefied Gas Carrier

(2) 其它附加标志:

① 根据船舶预防货物漏逸的保护程度以及液货舱与船舶外板之间的距离要求, 在船型附加标志“Liquefied Gas Carrier”后分别加注下述附加标志:

1G型	Type 1G
2G型	Type 2G
2PG型	Type 2PG
3G型	Type 3G

② 对于1986年7月1日以前建造的散装运输液化气体船舶, 若符合IMO A.328(IX)决议案《散装运输液化气体船舶结构与设备规则》(GC规则), 根据船舶预防货物漏逸的保护程度以及液货舱与船舶外板之间的距离要求, 在船型附加标志“Liquefied Gas Carrier”后分别加注下述附加标志:

IG型	Type IG
IIG型	Type IIG
IIPG型	Type IIPG
IIIG型	Type IIIG

③ 液货舱结构件尺寸的设计按最大设计压力确定, 应加注最大允许压力限制的附加标志, 如:

最大蒸气压力 $\times\times\times$ MPa Max. vapour Pressure $\times\times\times$ MPa

④ 对按核定设计货物温度载运的液货舱, 应加注货物最低温度附加标志:

最低货物温度 $\times\times\times$ °C Min. Cargo Temperature $\times\times\times$ °C

⑤ 液货舱结构件尺寸按拟设计的最大货物密度确定, 应加注最大货物密度的附加标志, 如:

最大货物密度 $\times\times\times$ t/m³ Max. Cargo Density $\times\times\times$ t/m³

注: 对于液化天然气运输船, 最大货物设计密度一般均按0.5 t/m³计, 故不标注“最大货物密度”。

⑥ 根据货物围护系统的型式, 分别加注附加标志:

A型独立液货舱	Type A Independent Tank
B型独立液货舱	Type B Independent Tank
C型独立液货舱	Type C Independent Tank
整体液货舱	Integral Tank
薄膜液货舱	Membrane Tank

半薄膜液货舱

Semi-membrane Tank

内部绝热液货舱

Internal insulation Tank

A2.2.2.5 除A2.2.2.4所述散装液化气体船舶加注上述特定附加标志外,当船东申请其他特殊附加标志时,如符合CCS有关规范、规则、指南和接受的其他标准及等效规定,将加注相应的附加标志等。

第3节 检验

A2.3.1 建造中检验

A2.3.1.1 散装运输液化气体船舶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章适用规定及 CCS《法定检验实施指南》(第3部分)中的适用要求。

A2.3.2 建造后检验

A2.3.2.1 一般要求

(1) 建造后各种检验,除满足本规范要求外,尚应符合 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节的适用要求;

(2) 船底外部及有关项目的检验、机械检验、电气设备检验、螺旋桨轴与尾管轴检验和锅炉定期检验应分别满足按 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;

(3) 年度检验通常在装卸货期间进行。因此,液货舱或惰化货舱不需要进行除气,除非规范有专门要求;

(4) 中间检验通常不应在装卸货期间进行,检验应在除气状态下进行;

(5) 特别检验通常应在坞内和除气状态下进行。

A2.3.2.2 年度检验

(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;

(2) 确认所有为破损残存条件下的特殊布置处于满意状态;

(3) 确认驾驶室、上层建筑和甲板室面向货物区域端部的门、舷窗、窗均处于良好状

态；

- (4) 检查货泵舱和货物压缩机室；
- (5) 确认人工操作应急关闭系统，连同液货泵和气压缩机的自动关闭合格；
- (6) 检查液货控制室；
- (7) 检查用于液货控制室的气体探测装置以及为排除那些非气体安全处所的着火源所

采取的措施；

- (8) 确认空气闸布置得到适当维护；
- (9) 尽可能检查舱底水、压载和燃油布置；
- (10) 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；

- (11) 确认气罩上的密封装置合格；
- (12) 确认手提式或固定式滴盘或甲板液货漏泄绝缘装置合格；
- (13) 检查液货和处理管系，包括膨胀装置、与船体结构的绝热、压力释放和泄放装置；
- (14) 确认液货舱以及屏壁间处所的压力和释放阀，包括安全系统和报警装置合格；
- (15) 确认任何液体和蒸气软管适合于预定的用途，并经过型式认可或标识试验日期；
- (16) 检查用于液货压力/温度控制的装置，包括（如设置）所有制冷系统并确认所有

相关报警装置合格；

- (17) 尽可能检查货物、燃料、压载和透气管系统，包括透气管桅和防护屏；
- (18) 确认已进行安排载运足够的惰性气体以补偿正常损耗，且已配备用于舱室监控的

装置；

- (19) 通过检查惰性气体使用记录确认惰性气体使用的增加未超出用以补偿正常损耗

所需的量；

- (20) 确认所有空气干燥系统以及屏壁间和货舱处所的驱气用惰性气体系统合格；
- (21) 确认气体危险处所和区域内的电气设备处于良好状态并得到了适当保养；
- (22) 检查防火和灭火装置，并对一台主消防泵进行遥控起动试验；
- (23) 检查货泵舱的固定式灭火系统，并确认其操作方式已清楚地标明；
- (24) 检查用于冷却、消防和船员防护的水雾系统，并确认其操作方式已清楚地标明；
- (25) 检查用于货物区域的化学干粉灭火系统，并确认其操作方式已清楚地标明；
- (26) 检查用于气体危险处所的固定式装置，并确认其操作方式已清楚地标明；
- (27) 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；

(28) 检查除上述(27)所述处所之外的，通常需进入的处所的机械通风装置，并确认其操作合格；

(29) 检查液位指示器、溢流控制、压力计、高压以及(如适用时)低压报警装置和液货舱的温度指示装置，并在适当时尽可能进行测试；

(30) 检查气体探测设备，并在适当时对其进行测试；

(31) 货物记录簿记录有货物相溶性，货物操作的正确性，每天货物进行液化时间或货物蒸发率；

(32) 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；

(33) 驾驶室门、窗的气密性；所有要求为固定式(非开启型)的窗和舷窗的气密性；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认可的进口的关闭设施；

(34) 货物操作系统：在货物操作期间对货物操作管系和机械装置，如货物管系、货物处理管系、热交换器、蒸发器、货泵、压缩机和货物软管等进行目视检查。

(35) 货物围护透气系统：液货舱、屏壁间处所和货舱处所的透气系统包括防火网进行总体上目视检查，确认液货舱的压力释放阀已铅封，船上备有压力释放阀开启和关闭压力的证明文件。

(36) 仪表和安全系统：

① 货物装置的仪表包括压力表、温度表和液位指示器确认其处于良好工作状态；

② 检查航海日志以确认应急切断装置已进行过试验。

(37) 货物围护系统的环境控制：

① 确认惰性气体/干燥空气装置，包括防止货物蒸气回流至气体安全处所的装置处于满意的工作状态；

② 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处所的氮气控制系统处于正常状况。

(38) 其它：

① 确认货物管路与船体电气接地；

② 尽可能目视检查甲烷蒸气燃烧装置，确认仪表和安全系统处于良好工作状态；确认货物操作计划、充装极限、制冷程序等有关说明和信息资料均在船上；气体危险处所和区域的机械通风机应进行外观检查。

A2.3.2.3 中间检验

(1) CCS《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) 本节A2.3.2.2(2)至(38)项目；

(3) 如适用时，确认管路和独立液货舱与船体电气接地；

(4) 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。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；

(5) 确认用于钢结构的加热装置（如有时）合格；

(6) 仪表和安全系统。

① 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；

② 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管路的完整性尽可能地进行验证，气体探测器应用样气进行校准或验证；

③ 应急切断系统应对管路内没有液流的情况进行试验，以验证该系统将能够停止货泵和压缩机。

(7) 电气设备：危险处所和区域的电气设备应尽实际可能地进行下列检验：

① 接地保护（接地点检查）；

② 隔爆外壳完整性；

③ 电缆外护套损坏情况；

④ 正压型设备和相关报警设备的功能试验；

⑤ 空气闸保护处所（例如电动机室，货物控制站等）内的非合格防爆型电气设备电源切断系统试验；

⑥ 绝缘电阻测量。

(8) 其它：

以货物为燃料的安全系统和仪表应进行检查。

A2.3.2.4 特别检验

(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适用规定；

(2) 本节 A2.3.2.3 (2) 至 (8) 要求的项目;

(3) 货物围护系统:

① 所有液货舱应进行内部检验;

② 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状况,有必要时可能要求去除绝热层;

③ 若不可能对绝热层进行检查时,则应对边舱、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,除非航行记录连同仪器有足够的证据表明绝热系统是完整的。

(4) 无损检查

① 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,但是,对 C 型独立液货舱而言,这并不意味着可完全取消无损检查。下列项目被认为是高应力部件:

(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。

② 对 B 型独立液货舱,无损检测范围应在液货舱设计特别准备的程序中给出。

(5) 对所有液货舱应用适当的程序验证其密性。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。

(6) 如果上述(3)至(5)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。

(7) 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:

① 按(4)①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

② 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。

(8) 尽实际可能对所有货舱、船体绝热层、次屏壁以及液货舱支持构件进行目视检查。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；

(9) 应进行如下试验：

① 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制订的程序进行检验和试验；

② 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维护系统的性能，但不应被接受作为次屏壁的密性试验。

③ 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）。

(10) 屏壁间处所和货舱处所的压力/真空释放阀、保护膜盘和其他压力释放装置应根据其设计情况打开、检查、试验和调整；

(11) 液货舱的压力释放阀应能打开进行检验、调整、功能试验和铅封。若液货舱的压力释放阀的主阀或引导阀设有非金属薄膜，则此非金属薄膜应能更换。如果具有对压力释放阀进行持续检查或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表明已经在上次特别检验时进行过检验和试验；

(12) 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 MARVS 进行压力试验。安装后的整个管系应进行泄漏试验。

② 压力释放阀应进行功能试验，应随机抽查阀进行打开检查和调整。

(13) 部件：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，应按 CCS《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；

(14) 其它

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 所有气密舱壁应进行检查，应确认气密轴封的有效性；

③ 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；

④ 确认所有货物管系与船体电气接地。

A2.3.3 适装证书检验或符合证明检验

A2.3.3.1 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/协议委托以及其提供的标准，检验合格后将签发散装运输液化气体适装证书或符合证明。

A2.3.3.2 加入 CCS 船级的船舶，船舶入级与适装证书或符合证明的检验结合进行。

A2.3.3.3 散装运输液化气体适装证书或符合证明的各种检验，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本节 A2.3.1、A2.3.2.2、A2.3.2.3 和 A2.3.2.4 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。

第 A3 章 图纸和资料的送审

A3.1 入级证书图纸和资料

A3.1.1 拟入 CCS 船级的散装运输液化气体船舶,除应按 CCS《钢质海船入级规范》有关油船的要求提供图纸和资料外,尚应按本规范的要求提供下列图纸和资料 3 份供审查:

(1) 表明下列位置的总布置图或相应的图纸:

① 机舱和锅炉舱,居住、服务处所和控制站,锚链舱、隔离舱、燃油舱,饮用和日用水舱和贮藏室;

② 液货舱和货物围护系统;

③ 货物泵舱和货物压缩机舱;

④ 货物控制室;

⑤ 具有通岸接头的货物管路,包括船首或船尾装卸装置以及应急货物投弃管系(当设有时);

⑥ 液货舱舱口、透气管和其他任何开口;

⑦ 货物泵舱、货物压缩机舱和其他气体危险处所的通风管、门和开口;

⑧ 货物区域内和邻接货物区域的通往气体安全处所,包括首楼内及首楼以下处所的门、空气闸、舱口、通风管和开口,可开启的铰链式舷窗和其他开口;

⑨ 居住处所、服务处所和控制站的入口,空气进口和开口;

⑩ 应明确标出气体安全处所和区域以及气体危险处所和区域。

(2) 具有下列资料的货物围护系统的图纸:

① 包括对焊缝无损探伤试验检查和对液货舱强度和密性试验的液货舱图纸;

② 独立液货舱支承和固定装置的图纸;

③ 独立液货舱防浮装置的图纸;

④ 液货舱和货物管系材料技术文件;

⑤ 液货舱焊接程序技术文件;

⑥ C 型独立液货舱应力消除程序技术文件;

⑦ 液货舱设计载荷和结构分析技术文件;

- ⑧ 对于 B 型和 C 型独立液货舱，应提供完整的应力分析资料；
- ⑨ 对于 B 型独立液货舱，应提交对船体和液货舱系统进行详细分析的计算资料；
- ⑩ 液货舱冷却程序技术文件；
- ⑪ 包括对密性定期检查的方法在内的次屏壁的布置图和技术文件；
- ⑫ 薄膜式液货舱主屏壁和次屏壁模型试验的技术文件；
- ⑬ 液货舱绝热层图纸和技术文件。

(3) 下列管系图纸：

- ① 包括蒸汽管路和安全释放阀透气管路或类似管路，以及包括从货物管系排放货物的释放阀在内的货物管路和处理管路的图纸和技术文件；
- ② 支管、回管、弯头和机械式伸缩接头和波纹管，滑动接头（仅液货舱内部）或货物管路上类似的装置的图纸和技术文件；
- ③ 货物管系中法兰、阀和其他附件的图纸和技术文件；

对于设计温度在 -55°C 以下的管系中的阀，应提交在设计温度下的对其进行渗漏试验和性能试验（型式试验）的技术文件；

- ④ 设计温度在 -110°C 以下的管系的完整应力分析资料；
- ⑤ 货物管系中伸缩部件的型式试验技术文件；
- ⑥ 货物管路的材料、焊接、焊后热处理和无损探伤试验技术文件；
- ⑦ 货物管路和处理管路的耐压试验（结构和密性试验）技术文件；
- ⑧ 包括阀、附件和装卸货物（液体或蒸气）用的相连设备在内的所有管系的功能试验大纲；
- ⑨ 所有速闭截止阀控制系统的技术文件；
- ⑩ 装有绝热层的低温管路绝热层的图纸和技术文件；
- ⑪ 管路电气接地技术文件；
- ⑫ 在切断通岸接头之前从货物装卸转换阀箱和 / 或货物软管中清除液体货物设施的技术文件。

(4) 下列安全释放阀的图纸和资料：

- ① 安全释放阀和压力 / 真空释放阀及相连的透气管路的图纸和技术文件；
- ② 液货舱释放阀所需容量的计算书；
- ③ 改变液货舱安全释放阀设定压力应使用的程序的技术文件。

(5) 下列设备和系统的图纸及资料：

① 当货舱处所、屏壁间处所和货物管路要求设有压力释放系统时，应提交该系统的结构和技术文件；

② 当货物温度在 -20°C 以下时，船体钢材温度梯度的计算书；易出现冷点的区域（如泵的支撑件和管路穿过甲板处）的钢材等级和温度应予指明；

③ 薄膜式液货舱处所密性试验的技术文件；

④ 保持液货舱蒸气压力在 MARVS 之下的装置和技术文件（冷却设施、气体燃烧装置）；

⑤ 空气闸及其报警装置的布置和结构图纸；

⑥ 气密舱壁填料函图纸；

⑦ 货物区域内处所的机械通风系统的布置图纸和技术文件，应标明风扇及其电动机容量和位置；可移式通风机风扇的转动部分和罩壳的图纸和所用材料技术文件；

⑧ 在通岸接头和泵密封处等预计可能渗漏液体的液体管路下面，所采取的对船体钢材的预防保护措施的图纸和技术文件；

⑨ 液货舱的除气和驱气管路的布置图和技术文件；

⑩ 屏壁间处所和货舱处所的惰化用管路的布置图（对 C 型独立液货舱无要求）；

⑪ 为保持屏壁间处所和货舱处所的惰性环境提供干燥惰性气体（对 C 型独立液货舱的货舱处所为干燥空气）的设备的技术文件；

⑫ 测定惰性气体中含氧量的仪器的技术文件；

⑬ 对指示液货舱、屏壁间处所和货舱处所的液位、蒸气压力和温度的所有监测系统 and 设备的布置图和技术文件；

⑭ 液位报警器的技术文件；

⑮ 货泵和货物压缩机的自动停止装置技术文件；

⑯ 气体检测设备的布置图和技术文件；

⑰ 液货舱内气体取样点的位置图；

⑱ 货物泵舱、货物压缩机舱、隔离舱、管隧、货物处所和屏壁间处所内的舱底系统和排放系统图。

(6) 惰性气体装置图纸和技术文件（当装有时）。

(7) 下列消防布置和设备的图纸：

① 包括管路、阀、喷嘴和其他附件在内的水雾系统布置图和技术文件；

② 消防总管与遥控消防泵、货物区域外控制站连接的布置图；

- ③ 化学干粉灭火系统布置图和技术文件；
 - ④ 安装在围蔽气体危险处所内的固定灭火装置的布置图和技术文件。
- (8) 标明下列资料的电气设备的图纸：
- ① 气体危险区域划分图；
 - ② 气体危险区域内所有电气设备布置图；
 - ③ 本质安全电路单线图；
 - ④ 认可防爆设备一览表；
 - ⑤ 发电和配电系统及相关控制系统的 FMEA 报告（参见本规范第 3 篇 10.2.6）。
- (9) 船舶残存能力的计算书和资料。
- (10) CCS 认为需要的其他图纸和资料。

A3.2 适装证书图纸和资料

A3.2.1 由 CCS 签发适装证书，则应提供下述图纸和资料 3 份供审查

（注：本条以下提及的《IGC 规则》等同于本规范第 3 篇）：

- (1) 船舶拟予载运货物清单并注意相应的最低要求（《IGC 规则》第 19 章）；
 - (2) 船型、货物围护系统、液货舱内蒸气空间的控制、蒸气探测、测量、人员保护、液货舱的充装极限的图纸资料以及特殊要求（《IGC 规则》第 2、4、6、13、14、15 和 17 章）；
 - (3) 干舷和完整稳性，舱壁甲板以下的排水口以及残存能力（《IGC 规则》第 2 章）；
 - (4) 船舶布置图（《IGC 规则》第 3 章）；
 - (5) 处理用压力容器以及液体、蒸气和压力管系布置图（《IGC 规则》第 5 章）；
 - (6) 货物压力/温度控制图（《IGC 规则》第 7 章）；
 - (7) 液货舱透气系统布置图（《IGC 规则》第 8 章）；
 - (8) 环境控制布置图（《IGC 规则》第 9 章）；
 - (9) 电气设备布置图（《IGC 规则》第 10 章）；
 - (10) 防火和灭火布置图（《IGC 规则》第 11 章）；
 - (11) 货物区域内机械通风布置图（《IGC 规则》第 12 章）；
 - (12) 仪表（测量、气体探测）布置图（《IGC 规则》第 13 章）；
- 用货物作燃料管路布置图（如设有时）（《IGC 规则》第 16 章）；
- (14) 货物操作手册（《IGC 规则》第 18 章）。

A3.2.2 如适装证书由主管机关签发，则应提供经主管机关批准的上述本节 A3.2.1 要求

的图纸和资料 1 份备查。

A3.2.3 对授权 CCS 签发适装证书的液化气体船, 如上述 A3.2.1 所述签发适装证书所需的图纸资料与入级送审图纸重复, 则可免送。



第 A4 章 船体结构和液货舱结构

A4.1 一般要求

A4.1.1 本章给出本规范第 3 篇第 4 章所定义的液货舱型船舶的船体结构和液货舱结构的一般性要求。

A4.1.2 散装运输液化气体船各类液货舱型船舶的船体结构和液货舱结构适用要求如下：

- (1) A 型和 B 型棱形独立舱液化气体运输船及液货舱结构，见本篇附录 1；
- (2) C 型独立舱液化气体运输船及液货罐结构，见本篇附录 2；
- (3) 液化气体运输船及液货罐结构的疲劳强度要求，见本章 A4.4，其中，对于独立舱型液化气体运输船的船体结构、液货舱及其支撑结构的疲劳强度要求，见本篇附录 3；
- (4) 薄膜型液化天然气运输船结构，见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 20 章“薄膜型液化天然气运输船”。

A4.1.3 本章及本篇附录未规定者，其船体结构的构件尺度和布置及其他要求应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的有关规定。

A4.1.4 船体结构的钢级使用应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇中的有关规定，还应符合本规范第 3 篇第 4 章 4.19 和第 6 章，以及 CCS《材料与焊接规范》的有关要求，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。温度分布一般由传热学分析计算得到，且船舶外界的环境温度由表 A4.1.4 给出（具体应用时，按本篇附录 1 第 5 节 5.3.8 或附录 2 第 6 节 6.3 有关规定）。同一温度场区域上构件的钢材等级应相同，如列板、加强筋和肘板等。

船舶外界的环境温度

表 A4.1.4

所适用的规则 和对应水域	静止海水温度	空气温度	风速
IGC—无限航区	0.0℃	+5℃	0.0
USCG—美国海域（阿拉斯加水	0.0℃	-18℃	5.0 kn

域除外)			
USCG—Alaskan (美国阿拉斯加 水域)	-2.0℃	-29℃	5.0 kn
注: ① 如航行于其他低温水域, 则表中参数应按港口国主管机关或船旗国的有关规定及冰级和设计温度的要求 (如有)。			

A4.1.5 除另有说明外, 下列符号应用于本篇各附录:

L ——船长, m; 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 1 节;

B ——船宽, m; 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 1 节;

D ——型深, m; 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 1 节;

R_{eH} ——材料屈服应力, N/mm^2 ;

K ——材料系数, 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 3 节, 对独立舱结构的

镍钢、碳锰钢、奥氏体钢和铝合金, $K = \frac{235}{\min(R_m/2.66, R_e/1.33)}$;

R_m 、 R_e ——见本规范第 3 篇第 4 章 4.18.1.3;

ρ ——液货或海水密度, t/m^3 , 其中, 海水密度取为 $1.025 t/m^3$ 。

T ——货物设计温度, 取设计载运的液货舱货物最低温度, $^{\circ}C$ 。

A4.2 总纵强度

A4.2.1 总纵强度校核按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章有关规定。

A4.2.2 对于构成货物围护系统一部分的整体和薄膜型液货舱结构, 还应符合经 CCS 认可的满足货物围护系统技术专利公司提出的其他总纵强度衡准有关要求 (如有)。

A4.3 船体结构和液货舱及其支承结构的直接计算

A4.3.1 船长 150m 及以上或按照 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 5 节对于船体的结构类型、尺度和布置有直接计算要求的, 具有独立液货舱/整体液货舱/半薄膜液货舱 (定义见本规范第 3 篇第 4 章 4.1.4 至 4.1.7) 货物围护系统的散装运输液化气体船舶, 应按本规范 (包括本篇附录) 有关要求对货舱区域船体结构和液货舱及其支承结构进行有限元直接计算强度验证, 以及必要时计及温度应力影响 (详见本规范和 CCS《钢质海船入级规

范》第 2 篇第 20 章中对温度应力分析的相关要求)。

A4.3.2 薄膜型液化天然气运输船的直接计算要求, 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 20 章。

A4.3.3 送审方应提交完整的计算资料(参见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇 1.5.1.8、本篇第 A3 章, 以及本篇各附录的直接计算章节中的附加要求)送 CCS 审核。

A4.4 疲劳和断裂裂纹扩展评估

A4.4.1 船长 150 m 及以上的各类液货舱型的散装液化气体船舶, 应按本规范和有关指南要求进行疲劳强度评估。各类液货舱型船舶的船体结构和液货舱结构的疲劳强度有关要求如下:

- (1) 独立舱型液化气体运输船的船体结构、液货舱及其支撑结构, 见本篇附录 3;
- (2) 薄膜型液化天然气运输船结构及其泵塔结构, 见 CCS《船体结构疲劳强度指南》。

A4.4.2 至少对于下列部位, 应实施有限元方法(精细网格)进行疲劳强度校核。其他承受较高动应力和/或高应力集中的位置, CCS 可要求予以审批:

(1) 薄膜型液化天然气运输船的船体结构, 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 20 章;

(2) 双壳独立舱型液化气体运输船的船体结构:

① 横向强框架位置处的底边舱斜板的下折角与内底板连接处(A 型和 B 型独立舱型船舶);

② 横向强框架位置处的底边舱斜板的上折角与内壳纵壁连接处(A 型和 B 型独立舱型船舶);

③ 双层底纵桁位置处的内底板与横舱壁连接处(B 型独立舱型船舶);

④ 双壳间水平纵桁与横舱壁的连接处(B 型独立舱型船舶);

⑤ 液货舱与其支撑结构的连接(A 型和 B 型独立舱型船舶);

⑥ 液货泵和液货立管的连接处(A 型和 B 型独立舱型船舶);

⑦ 液/气室开口和围板与甲板的连接处(B 型独立舱型船舶)。

(3) 单舷侧独立舱型液化气体运输船的船体结构, 按单舷侧散货船的有关规定进行, 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇和 CCS《船体结构疲劳强度指南》有关要求。

附录1 A型和B型棱形独立液货舱船舶的补充规定

第1节 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录适用于本规范第3篇第4章所定义的A型和B型棱形独立舱液化气运输船货舱区的船体结构、液货舱结构以及支承结构，包括构件尺寸和直接计算要求。典型的A型和B型独立舱液化气运输船的横剖面布置如图1.1.1(1)和图1.1.1(2)所示。

1.1.2 船体结构的构件尺寸应符合本附录第2节要求，且应按本附录第4节的要求进行直接计算强度验证。

1.1.3 液货舱结构尺寸应符合本附录第3节要求，且应按本附录第4节的要求进行直接计算强度验证。

1.1.4 液货舱的支承构件（限位/支撑装置及其底座）应按本附录第4节进行直接计算强度校核。

1.1.5 温度场及热应力计算和钢级选取的有关要求应按本附录第5节进行。

1.1.6 B型独立舱断裂力学疲劳强度分析与泄漏分析的有关要求应按本篇附录3进行。

1.1.7 本附录所使用的符号及定义同本篇第A4章A4.1.5。

1.1.8 应提交的图纸资料见本篇第A4章A4.3.3中的相关规定。

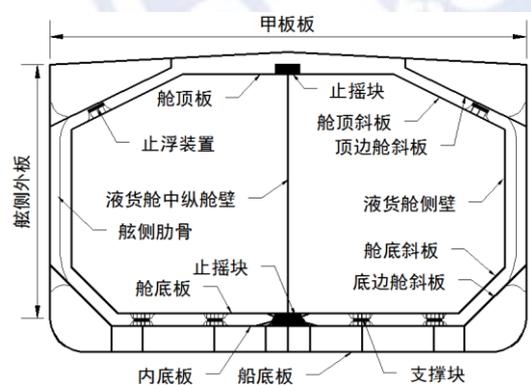


图 1.1.1 (1) 典型的 A 型独立舱横剖面

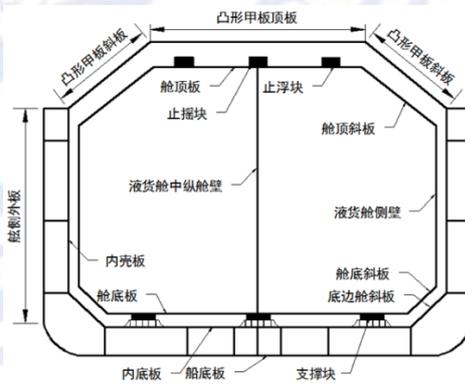


图 1.1.1 (2) 典型的 B 型独立舱横剖面

第2节 棱形独立舱液化气运输船货舱区的船体构件尺寸

2.1 一般要求

2.1.1 本节要求适用于A型和B型棱形独立舱液化气运输船货舱区域的船体构件尺寸。本节未规定者,应符合本篇第A4章和CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章中的有关规定。

2.2 外板

2.2.1 若外板作为构成压载舱的结构,则厚度一般应不小于CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章中对深舱舱壁的要求,但式中 h 用 h_l 代替, h_l 定义见本节2.5.6。

2.3 甲板主要支持构件

2.3.1 甲板纵桁的剖面模数应不小于按CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章的有关适用要求。

2.3.2 纵骨架式甲板强横梁剖面模数 W ,应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 5KShl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中: S ——强横梁间距, m;

l ——强横梁跨距, m;

h ——甲板的计算压头, m,按CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章2.8.1.1的规定,但注①中的 h_0 为干舷甲板计算压头,应不小于按下式计算所得之值:

$$h_0 = 1.2 + \frac{2}{1000} \left(\frac{100 + 3L}{D - d} - 150 \right), \quad \text{m, 且应不小于 1.2 m, 也不必大于 1.5 m.}$$

注:本条不适用于机舱和尾部区域。

2.3.3 对单甲板船,其强横梁剖面模数应在本节2.3.2计算结果的基础上增大15%。

2.3.4 当甲板纵桁和强横梁以交叉梁系布置时,可采用交叉梁系分析方法验证甲板板架的强度。计算时,载荷取甲板计算载荷 $p = 7.06h \text{ kN/m}^2$ (h 见CCS《钢质海船入级规范》第2篇2.8.1.1),许用弯曲应力取为 $0.67R_{eH}$,许用剪切应力取为 $0.39R_{eH}$,但甲板强横梁剖面模数应不小于本节2.3.2计算之值的90%。上述计算时,强横梁跨距以纵壁或内壳间距计(纵桁一般不能作为强横梁跨距点的支点),计算模型范围取到舱壁或强框架处,边界条件为端

部固支。

2.4 横舱壁

2.4.1 舱壁板及其扶强材的尺寸应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章对水密舱壁的要求，且其计算压头 h 应按下述规定确定：

- (1) 对于水密横舱壁板，其计算压头 h 应按下述要求确定（取大者）：
 - ① 由板列下缘量至适用的破舱稳性计算所得到的最深平衡水线的垂直距离；
 - ② 由板列下缘量至假定干舷甲板的垂直距离；
 - ③ 2.5 m。
- (2) 对于扶强材，其计算压头 h 应按下述要求确定（取大者）：
 - ① 由扶强材跨距中点量至适用的破舱稳性计算所得到的最深平衡水线的垂直距离；
 - ② 由扶强材跨距中点量至假定干舷甲板的垂直距离；
 - ③ 2 m。

若舱壁板及其扶强材位于压载舱内，则其尺寸应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章对深舱舱壁的要求。

2.4.2 对于支持横舱壁水平桁材的垂直桁材，其尺寸应由直接计算予以确定。计算时，假定垂直桁材两端为刚性固定，垂直桁材承受由水平桁材传递的集中载荷，其中，计算压头取水平桁材的跨距中点至按相邻舱室最大进水平衡水线或假定干舷甲板垂直距离的大者，m，且不小于 2.5 m，许用弯曲应力取为 $0.67R_{eH}$ N/mm²，许用剪切应力取为 $0.39R_{eH}$ N/mm²。

2.5 顶边舱和舷侧结构

2.5.1 顶边舱和舷侧结构要求一般按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇 8.3.3 至 8.3.6 以及 8.6.2 至 8.6.5。在应用 8.6.2 至 8.6.5 时，横摇角 θ ，应按下式计算取值：

$$\theta = (27.8 - 0.0415L) + 2.361(L/B - 4.2) \quad (^\circ)$$

2.5.2 货舱区的主肋骨与其上、下肘板一般为连续整体结构。

2.5.3 舷侧肋骨腹板的最小厚度 t ，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = (7.0 + 0.03L) \sqrt{K} \text{ mm}$$

式中： L ——船长，m，但取值不必大于 200 m；

2.5.4 舷侧肋骨剖面模数应不小于按下式计算所得之值：

$$W_1 = 1.4cc_1sdI^2K \text{ cm}^3$$

式中: $c = \frac{2 + \frac{0.65d}{D}}{1.45 - \frac{\sqrt{D}}{l}}$;

c_1 ——系数, 当 $L < 90 \text{ m}$ 时, $c_1 = 1.05$; 当 $L \geq 90 \text{ m}$ 时, $c_1 = 1.0$;

s ——肋骨间距, m;

d ——吃水, m;

l ——肋骨跨距, m, 且取值不小于 \sqrt{D} ;

2.5.5 舷侧肋骨的剖面惯性矩 I 应符合 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章对主肋骨的要求。

2.5.6 舷侧纵骨(顶边舱纵骨除外, 参见 2.5.1)的剖面模数 W , 一般按 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章第7节要求。如果舷侧纵骨位于深舱内, 其剖面模数 W 还应不小于下式计算所得之值:

$$W = 8sph_1l^2K \text{ cm}^3$$

式中: s ——纵骨间距, m;

l ——纵骨跨距, m;

ρ ——液货密度, t/m^3 , 取值不小于 1.025;

h_1 ——按下式计算:

$$h_1 = Z/d + h_0 - 0.35d \quad \text{当 } Z < 0.35d$$

$$h_1 = h_0 \quad \text{当 } Z \geq 0.35d$$

其中: h_0 ——由舱壁板下缘(对板的计算)或扶强材跨距中点(对扶强材或加强筋的计算)量至中纵剖面处舱壁顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

Z ——基线至计算点的垂直距离, m;

d ——吃水, m。

2.6 内壳结构

2.6.1 构成液舱周界的内壳板（如有）厚度 t ，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 3.95s\sqrt{K\rho h_0} + 2.5 \text{ mm}$$

式中： s ——内壳纵骨间距，m；

ρ ——液货或海水密度，取值不小于 1.025 t/m^3 ；

h_0 ——由舱壁板下缘（对板的计算）或扶强材跨距中点（对扶强材或加强筋的计算）量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

2.6.2 构成液舱周界的内壳纵骨（如有）剖面模数 W ，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 8K\rho s h_0 l^2 \text{ cm}^3$$

式中： s ——内壳纵骨间距，m；

l ——内壳纵骨跨距，m；

ρ ——液货或海水密度，取值不小于 1.025 t/m^3 ；

h_0 ——由舱壁板下缘（对板的计算）或扶强材跨距中点（对扶强材或加强筋的计算）量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m。

2.7 双层底

2.7.1 双层底的延伸和高度应不小于本规范第3篇第2章的有关要求。结构尺度和布置应符合 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章中对双层底的有关要求，但可不必满足 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第1章 1.12.8 条的要求。

2.7.2 船底纵骨的剖面模数 W 应不小于下式计算所得之值：

$$W = 8s\rho h_1 l^2 K \text{ cm}^3$$

式中符号同 2.5.6。

2.7.3 当双层底兼作压载舱时，其内底板（包括底边舱斜板）及内底纵骨（包括底边舱斜板纵骨）应不小于《钢质海船入级规范》第2篇第2章对深舱的要求。

2.8 支持液货舱支承结构的船体结构

2.8.1 对于支持液货舱支承结构相关船体结构，如：内底板、顶边舱、上甲板、内壳板等，应在这些结构的支承背面进行适当结构加强，并注意结构厚度方向的对齐。

第 3 节 棱形独立液货舱结构尺寸

3.1 一般要求

3.1.1 本节要求适用于 A 型和 B 型棱形独立液货舱的结构尺寸。

3.1.2 液货舱结构尺寸应满足本规范第 3 篇第 4 章 4.21 要求, 包括设计基础、结构分析、极限设计条件、意外设计条件和试验要求等方面。

3.2 液货舱周界结构

3.2.1 构成液货舱周界的板厚 t , 应不小于按下式计算所得之值:

$$t = 39.5s\sqrt{KP_{eq}} + 2.5 \text{ mm}$$

式中: s ——骨材或扶强材间距, m;

P_{eq} ——按照本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.1 和 4.28.1.2 求出的液体内部压力, MPa, 且计算点由列板下缘量起;

当货物不具有腐蚀性时, 按上式计算得到的板厚 t 可减少 3 mm。但如果按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 13 节的深舱要求计算得到的板厚值小于 12.5 mm 时, 其减少量应不大于 20%。

任何情况下, 板厚取值应不小于 7.5 mm。

3.2.2 对可能产生腐蚀的区域, 板厚要求应在 3.2.1 计算之值的基础上再作增加, 如对于舱顶处舱壁, 为 1.0 mm, 止浮装置位置处的舱顶舱壁, 为 2.0 mm。

3.2.3 液货舱周界扶强材的剖面模数 W , 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 800sP_{eq}l^2\xi \text{ cm}^3$$

式中: s ——骨材或扶强材间距, m;

P_{eq} ——按照本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.1 和 4.28.1.2 求出的液体内部压力, MPa, 且计算点由扶强材跨距中点量起;

l ——骨材或扶强材跨距, m;

ξ ——系数, 按表 3.2.3 规定取用;

系数 ξ

表 3.2.3

	镍钢、碳锰钢、奥氏体钢和铝合金
A 型棱形独立液舱	$\frac{235 \eta}{\min(R_m/2.66, R_e/1.33)}$ ，对镍钢、碳锰钢、奥氏体钢和铝合金
B 型棱形独立液舱	$\frac{235 \eta}{\min(R_m/2, R_e/1.2)}$ ，对镍钢和碳锰钢；
	$\frac{235 \eta}{\min(R_m/2.5, R_e/1.2)}$ ，对奥氏体钢；
	$\frac{235 \eta}{\min(R_m/2.5, R_e/1.2)}$ ，对铝合金钢；
注： R_m 、 R_e ——见本规范第3篇第4章4.18.1.3； η ——取为0.435。	

3.2.4 对于液货舱止浮装置和止摇装置位置处的液舱内部结构，以及止摇装置处的舱壁/框架上的扶强材，应在 3.2.3 计算之值基础上增加 25%。

3.2.5 液货舱横向强框架的各个构件（参见图 3.2.5（1）和（2））剖面模数 W ，一般应不小于按表 3.2.5 计算所得之值，但最终尺寸应基于直接计算强度校核结果予以确定，结构分析应计及本规范第3篇第4章4.28.1.1和4.28.1.2定义的液体内部压力和结构试验工况，且结构布置一般应满足图 3.2.5（1）的要求：

液货舱横向强框架的剖面模数要求

表 3.2.5

构件名称	剖面模数 W , cm^3	相关系数
舱顶强横梁	$W = 1170 \eta_1 \eta_2 P_{eq} S l^2 K$	$\eta_f=0.34, \eta_s=1.81, l=l_t$
舱边强横梁		$\eta_f=0.25, \eta_s=1.78, l=l_t$
侧壁垂直桁		$\eta_f=0.34, \eta_s=1.41, l=l_s$
舱底强横梁		$\eta_f=0.48, \eta_s=1.00, l=l_b$
中纵舱壁垂直桁和水平桁		$\eta_f=0.34, \eta_s=1.00, l=l_c$
舱壁前后端垂直桁和水平桁		$\eta_f=0.34, \eta_s=2.13, l=l_c$
式中： η_1 ——折减系数，主要考虑结构布置的实际情况（如梁的非直线或多支座等）与单		

跨模型之间的差异，按不同构件对应取值；

η_2 ——晃动工况或碰撞工况下（对舱壁前后端）的液货载荷冲击效应系数，依位置不同而异，计算时按不同构件对应取值；

l ——主要支撑构件或横向强框架构件跨距，m，计算时按不同构件分别取 l_t 、 l_s 、 l_b 和 l_c ；

S ——主要支撑构件或横向强框架间距，或桁材支持面积的宽度，m；

P_{eq} ——见 3.2.3。

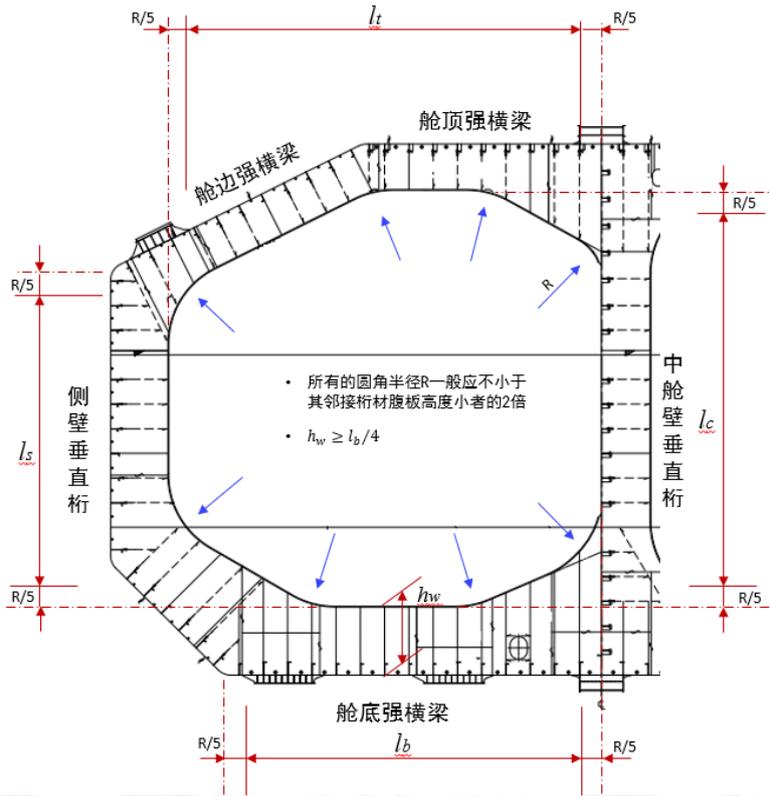


图 3.2.5 (1) 液货舱横向强框架构件

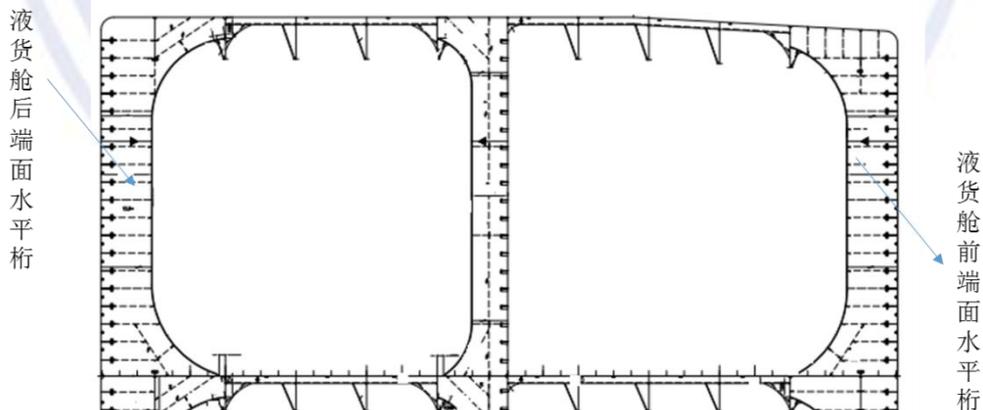


图 3.2.5 (2) 液货舱水平框架示意图

3.2.6 主要支撑构件的腹板加强筋应满足 CCS 《钢质海船入级规范》第 2 篇第 5 章第

12 节的有关要求, 但公式中的 K (如有) 见本篇第 A4 章 A4.1.5。

3.2.7 液货舱制荡舱壁的厚度应不小于 7.5 mm, 且对于液货舱周界的局部高应力处, 上述厚度可要求再予以增加。舱壁板上的扶强材、垂直和水平桁材的剖面模数应符合 CCS 《钢质海船入级规范》第 2 篇第 5 章中对非油密舱壁上的扶强材、垂直和水平桁材的要求, 但公式中的 K (如有) 见本篇第 A4 章 A4.1.5。

3.2.8 对于水密舱壁, 如果可能受到仅一侧内部液压 P_{eq} 的作用, 则舱壁板及其扶强材和主要支撑构件应满足本节 3.2.1 至 3.2.6 的要求。如未有上述载荷作用, 则构件尺寸可按下述规定予以确定: 板厚应不小于所对应的液舱中的计算高度和骨材间距的液货舱周界要求, 再减去 0.5 mm; 扶强材和横向强框架的剖面模数应分别按照本节 3.2.1 和 3.2.2 至 3.2.6 的要求, 但 P_{eg} 取值不必超过下式计算所得之值:

$$\max\left\{\left(0.1P_l + \frac{\rho h}{10^5}\right), \left(\frac{t-1.0}{126.5s\sqrt{K}}\right)^2\right\} \text{ MPa}$$

式中: P_l ——真空释放阀的调定压力, MPa;

ρ ——液货密度, t/m^3 ;

h ——液舱中的计算高度, m;

t ——按 3.2.1 计算所得之值, mm;

s ——扶强材、主要支撑构件或横向强框架间距, m。

3.2.9 当液货舱周界采用最小厚度 (7.5 mm) 时, 其扶强材和横向框架应符合本节 3.2.2 至 3.2.8 要求, 但 P_{eq} 应不小于相当于以最小厚度求得之值, 即:

$$P_{eq_min} = \left(\frac{6.5}{126.5s\sqrt{K}}\right)^2 \text{ MPa}$$

式中符号——见本节 3.2.8。

液舱气室结构的板及其扶强材的强度也应适应于按下列规定所得大者的液体压力:
港口压力释放阀, 或液货舱需采用压水压气方法进行舱室试验时。

3.2.10 为校核意外碰撞工况, 下列载荷情形应予以考虑, 且不应发生危及液舱结构的变形:

(1) 液货舱支座处周界结构及其支座应能承受对应 1/2 的液货舱自重和液体重量的作用于液货舱支座的向前冲力, 以及 1/4 的液货舱自重和液体重量的作用于液货舱支座的向后冲力;

(2) 液货舱前后端部周界和横向制荡舱壁应能承受对应 1/2 的液体重量的向前冲力,

以及 1/4 的液体重量的向后冲力。考虑前后端壁受载时，不考虑横向制荡舱壁对液体运动的阻挡减轻作用。横向制荡舱壁承受的载荷分配，可基于纵向位置，向前冲力工况按照前端从 0.5g 向后到 0.0 之间，向后冲力工况从后端 0.25g 向前到 0.0 之间进行插值确定。

对于上述 (1)，可采用直接计算进行强度校核；对于上述 (2)，板和扶强材的尺寸一般应满足如下要求：

$$\text{舱壁板: } t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{P_{\text{collision}}}{C_a R_{eH}}} + 2.5 \text{ mm}$$

$$\text{垂直/水平扶强材: } W = \frac{1000 f |P_{\text{collision}}| s l^2}{f_{\text{end}} C_s R_{eH}} \text{ cm}^3$$

式中： α_p ——按下式计算：

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}, \text{ 其中, } a \text{ 为板格的长度, mm; } b \text{ 为板格的宽度, mm;}$$

C_a ——取为 1.0;

$P_{\text{collision}}$ ——模拟船舶碰撞时，以整个货舱的 1/2 货物重量作用在前方横舱壁上的压力，
KN/m²，按下式计算：

$$P_{\text{collision}} = 0.5 \rho g l, \text{ 其中:}$$

l ——所计算的液货舱横舱壁至相邻（前/后）横舱壁的长度，m；

ρ ——液货密度，t/m³；

s ——扶强材间距，m；

l ——扶强材跨距，m；

f_{end} ——弯曲端部系数，按以下规定取用：

- (1) 对于端部固定的连续扶强材，不得小于：
 - 12，对水平扶强材和垂直扶强材的上端；
 - 10，对垂直扶强材的下端；
- (2) 对于一端或两端铰支的垂直扶强材，可取为 7.5；
- (3) 对于其他端部条件，可通过直接计算予以确定；

C_s ——取为 0.9；

f ——系数，取为 1.1，反映建造尺寸与净尺寸之间的关系。

3.2.11 槽形舱壁不能用做主屏壁。

3.2.12 连续的次要构件与主要支撑构件相交处的布置应符合 CCS《钢质海船入级规范》第2篇 1.2.6 的有关要求,采用气室结构时,本节 3.2.5 对液货舱中以钢和铝合金为材料的主要支撑构件,如桁材和强框架等,其计及附连带板的剖面模数 W ,应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 1170bP_{eq}l^2K \text{ cm}^3$$

式中: b ——桁材支持面积的宽度, m;

P_{eq} ——按照本规范第3篇第4章 4.28.1.1 和 4.28.1.2 求出的液体内部压力, MPa, 且计算点由桁材跨距中点量起;

其余符号——见本节 3.2.3。

当货物不具有腐蚀性时,上式得到的要求板厚或可以根据 3.2.1 中的要求对腐蚀裕量进行降低。

第 4 节 直接计算强度评估

4.1 一般要求

4.1.1 本节要求适用于船长 150 m 及以上的 A 型和 B 型的棱形独立舱型液化气运输船的独立舱结构及货舱区船体结构强度评估。船长 150 m 以下的上述类型船舶可参照本节要求实施。

4.1.2 本节要求的主要目的是校核独立舱结构主要构件、船体结构主要构件及独立舱限位装置及其支撑结构的强度。

4.1.3 应至少对中部货舱进行分析。若首、尾货舱的舱室布置与中部货舱明显不同，CCS 根据具体情况，也可要求分别对首、尾货舱进行分析。

4.2 有限元模型

4.2.1 舱段有限元的范围如下：

(1) 中部舱段模型纵向范围应覆盖中间的目标舱和前后两个半舱。模型中应包括船体结构、独立舱结构以及独立舱的限位装置（限位垫块+底座）及其支撑结构。

(2) 首部货舱有限元模型应覆盖首部货舱、第 2 货舱的一半及首尖舱。首尖舱部分可中止于强框架处。尾部货舱有限元模型应覆盖尾货舱、机舱的一半及尾货舱前货舱的一半。

4.2.2 舱段有限元采用的单元及网格要求见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.14.6.1。独立舱限位支撑结构限位装置的底座通过板单元来模拟，有限元网格应能模拟实际结构的形状，以准确地进行载荷传递。图 4.2.2（1）至图 4.2.2（6）为舱段有限元模型和独立舱有限元模型示意图。

4.2.3 独立舱的限位装置和支撑结构为承压装置，不承受拉力。因此在用有限元对该类结构进行模拟时，按如下实施：

(1) 用弹簧单元模拟限位装置和支撑结构的刚度，但这些单元中不能出现拉应力。分析时应删除承受拉应力的单元，并通过迭代分析得到最终结果；

(2) 可采用接触单元，或非线性的杆单元（受拉时刚度为零）来模拟限位装置和支撑结构。对于工况 8 和工况 9，当无更详细的数据时，摩擦系数可取为 0.1。

4.2.4 应对结构关键区域进行细化分析，细化区域有限元网格尺寸为 50×50 mm，且一般情况下，细化网格区域的范围在校核区域的所有方向上应不小于 10 个单元。常规情况下，

应对如下位置进行细化分析：

(1) 船体结构细化的关键区域，包括：

- ① 气室开孔区域；
- ② 舷侧肋骨上下肘板趾端；
- ③ 双层底肋板及纵桁上的开孔；
- ④ 横舱壁垂直扶强材的下肘板；
- ⑤ 首尾货舱过渡结构；

(2) 独立液货舱结构细化的关键区域，包括：

- ① 横向强框架端肘板；
- ② 水平桁端肘板；

(3) 限位装置和支撑结构底座细化区域，包括：

- ① 支撑结构的底座肘板；
- ② 限位装置（含防横摇限位装置、防纵摇限位装置及止浮装置）底座肘板。

细化筛选原则为：同一类节点形式（支撑结构）中选取应力最大的进行细化分析，可将该结构的加强方案推广到同一类节点（支撑结构）中。

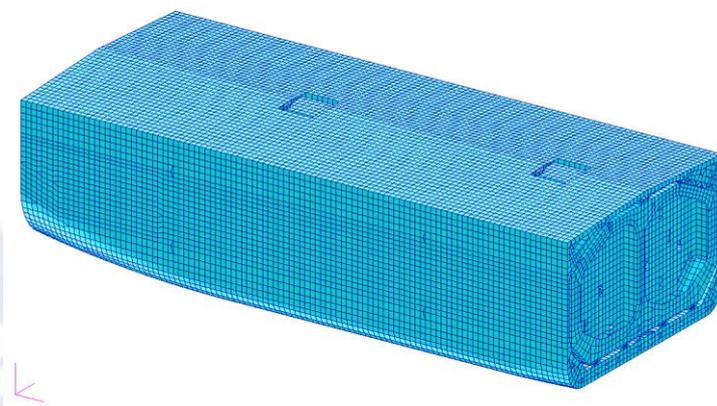


图 4.2.2 (1) 舱段有限元模型

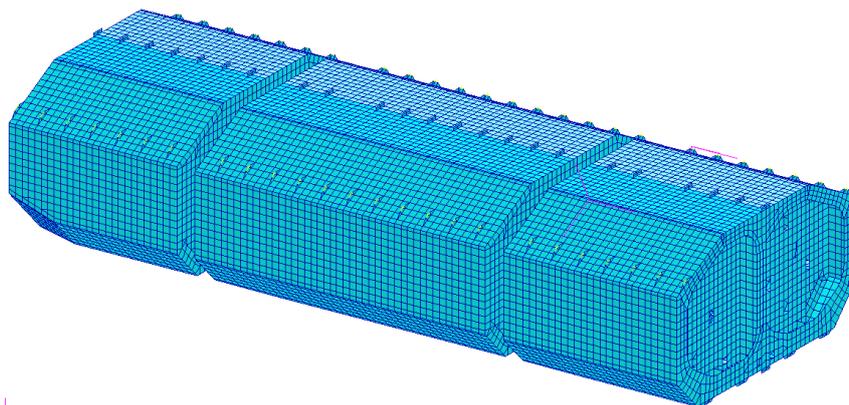


图 4.2.2 (2) 独立舱结构

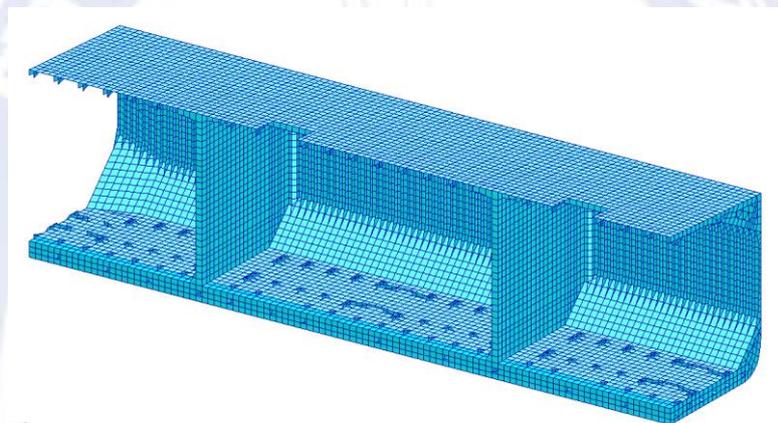


图 4.2.2 (3) 剖视图 (仅船体)

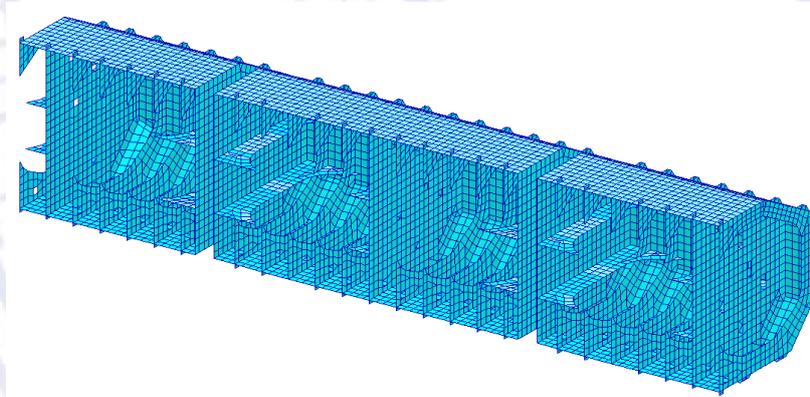


图 4.2.2 (4) 剖视图 (仅独立舱)

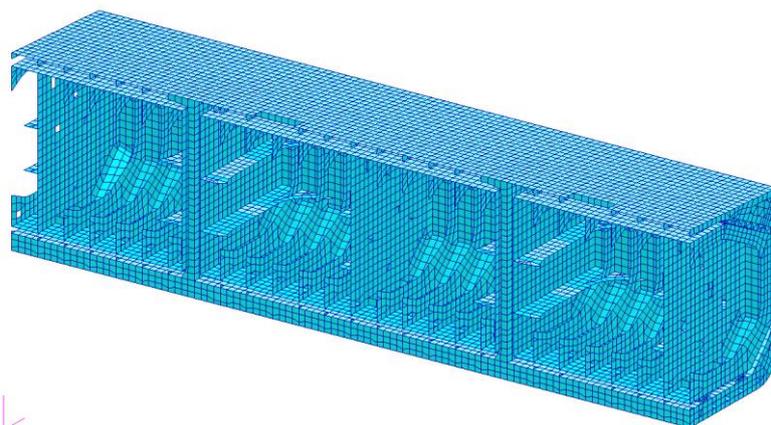


图 4.2.2 (5) 剖视图 (船体+独立舱)

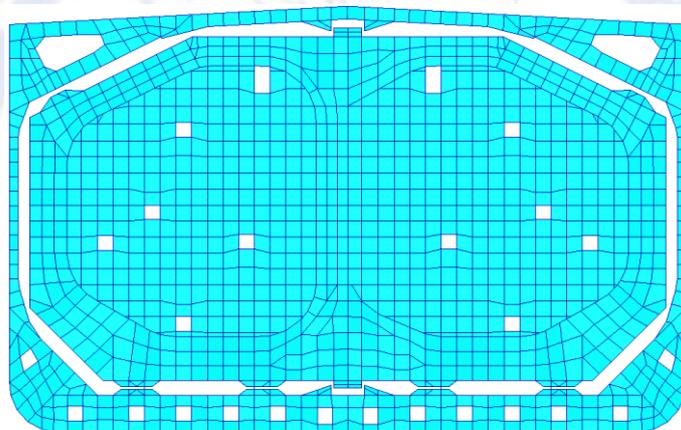


图 4.2.2 (6) 横剖面视图 (止荡舱壁处)

4.3 载荷及工况

4.3.1 载荷中应包括船体梁总纵弯矩、液舱内部压力(包括液体静动压力和液货舱蒸气压力)、舷外水压力等局部载荷,以及船舶运动惯性力和船体和绝缘材料的自重。

4.3.2 船体梁载荷包括:

- (1) 垂向静水弯矩,取目标舱范围内的最大许用静水弯矩;
- (2) 垂向波浪弯矩,按 CCS《钢质海船入级规范》相关要求取值。

4.3.3 舷外水压力包括水动压力和静水压力,但任何情况下合成后的压力取值应不小于零(小于零时取值为零)。舷外水压力计算如下:

(1) 静水压力根据 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第1章 1.5.3.2 计算,但工况 4、6、7、11 还需考虑横倾状态时的水线倾斜引起的压力变化。

(2) 工况 1 中的水动压力根据 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第1章 1.5.3.3 计算,但不考虑作用在甲板上的水动压力载荷。

(3) 工况 3 中的水线以上动压力的计算方法同 (2), 水线以下外板上任何一点的水动压力 p_{pp} 按下式计算:

$$p_{pp} = 4.5f_{nl}C\sqrt{\frac{L + \lambda - 125}{L}}\left(2\frac{|z|}{d_{LC}} + 3\frac{|2y|}{B}\right) \quad \text{当 } y \geq 0$$

$$= 1.5f_{nl}C\sqrt{\frac{L + \lambda - 125}{L}}\left(2\frac{|z|}{d_{LC}} + 3\frac{|2y|}{B}\right) \quad \text{当 } y < 0$$

式中: λ ——波长, m, 按下式计算:

$$\lambda = (0.2 + 0.4\frac{d_{LC}}{d})L \quad \text{m}$$

y ——载荷点的横向坐标, m;

f_{nl} ——非线性系数, 取 0.65;

C ——波浪系数, 见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章 2.2.3.1;

d_{LC} ——相应装载工况下的船中吃水, m;

d ——吃水, m;

L ——船长, m。

4.3.4 液舱内部压力 p_i , N/mm^2 , 根据本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.1(如计入 P_0)或 4.28.1.2 的方法计算得到。计算中使用本规范第 3 篇第 4 章 4.28.2 给出的加速度分量公式。

对于各航行工况, 上述各加速度分量乘以一定的系数后进行合成计算。各工况下的加速度系数(k_x , k_y , k_z)见表 4.3.6 (1)。

对于各非航行工况, 计算中采用的加速度(a_x , a_y , a_z)取值见表 4.3.6 (2)。

4.3.5 计算中应考虑船体及独立舱结构的重量, 可通过设置单元的材料密度并设置加速度场(含重力加速度)来考虑该影响。

4.3.6 计算工况分为航行工况和非航行工况。航行工况的工况号为 LC1~LC4, 见表 4.3.6 (1), 非航行工况的工况号为 LC5~LC12, 见表 4.3.6 (2)。如装载手册中还有比上述所列工况更恶劣的装载工况, 则分析中也应考虑。

各工况主要特点如下:

(1) 工况 1: 校核迎浪工况下外部压力最大时船体及独立舱结构的响应。此时目标舱为空舱, 吃水达到结构吃水, 并考虑舷外水动压力(波峰);

(2) 工况 2: 校核迎浪工况下内部压力最大时船体及独立舱结构的强度。此时目标舱

为满舱，并考虑最大的垂向加速度；吃水取 $0.75d$ ，舷外水压力仅考虑静载荷；

(3) 工况 3：校核横浪工况下外部压力最大时船体及独立舱结构的强度。此时目标舱为空舱，吃水达到结构吃水，并考虑舷外水动压力，计算方法见 4.3.3 (3)，波浪弯矩取其折减值 $0.6M_w (+)$ ；

(4) 工况 4：校核横浪工况下内部压力最大时船体及独立舱结构的强度。此时目标舱为满舱，并考虑最大横向加速度；吃水取 $0.75d$ ，且液舱水线考虑倾斜，以模拟横摇状态时的最大内部压力，横摇角根据 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.2.1 计算。舷外水压力仅考虑静载荷。波浪弯矩取其折减值 $0.6M_w (-)$ ；

(5) 工况 5：考核单侧装载时独立舱及其支撑结构的强度。此时仅考虑局部静载荷；

(6) 工况 6：考核静横倾时独立舱及其支撑结构的强度。此时仅考虑由于静横倾引起的舷外水及舱内压力的变化，不考虑船体梁波浪载荷。此时静水弯矩取许用静水中垂弯矩或此装载工况下的最大静水中垂弯矩，但不应小于许用静水中垂弯矩的一半；

(7) 工况 7：考虑静横倾独立舱及其支撑结构的强度。此时仅考虑由于静横倾引起的舷外水及舱内压力的变化，不考虑船体梁波浪载荷。此时静水弯矩取许用静水中拱弯矩；

(8) 工况 8：考核碰撞工况下独立舱及其支撑结构的强度。此时舷外水压力、总体载荷仅考虑静载荷，液舱压力考虑液体静压力，以及独立舱结构和液货以 $(+)$ $0.5g$ 向前方作用的惯性力；

(9) 工况 9：考核碰撞工况下独立舱及其支撑结构的强度。此时舷外水压力、总体载荷仅考虑静载荷，液舱压力考虑液体静压力，以及独立舱结构和液货以 $(-)$ $0.25g$ 向后方作用的惯性力；

(10) 工况 10：考虑进水情况下独立舱，以及止浮装置及支撑结构的强度。此时仅考虑静载荷，进水高度取结构吃水；

(11) 工况 11：考虑破损进水情况下的横舱壁结构强度，工况中平衡水线位置根据破舱计算得到。如根据初步破舱稳性计算结果，应考虑适当裕度；

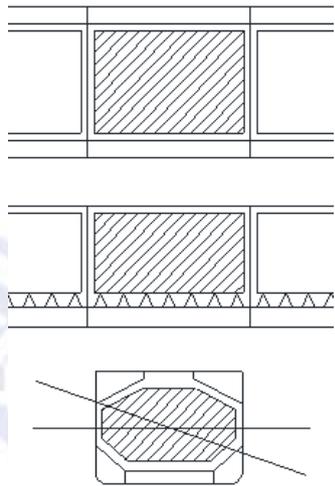
(12) 工况 12：考虑试验工况或失火工况下液舱内压力升高时独立舱的强度。试验工况压力根据空气管高度或设计的试验压力确定。失火工况下的压力根据本规范第 3 篇第 4 章 4.3.4 中的定义，根据本规范第 3 篇第 8 章 8.4.1 确定。结构分析时取二者压力中的大者。

直接计算工况（航行工况）

表 4.3.6 (1)

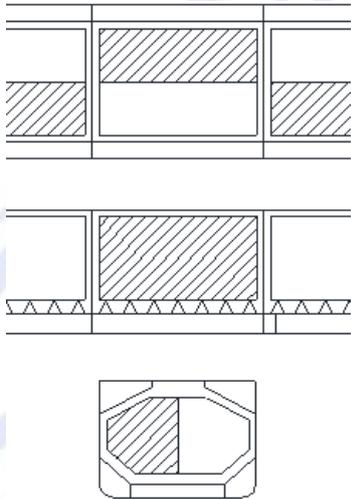
工况	吃水	外部压力 ^[1]	加速度系数 (k_x, k_y, k_z)	静水弯矩	波浪弯矩系数	装载模式
----	----	---------------------	------------------------------	------	--------	------

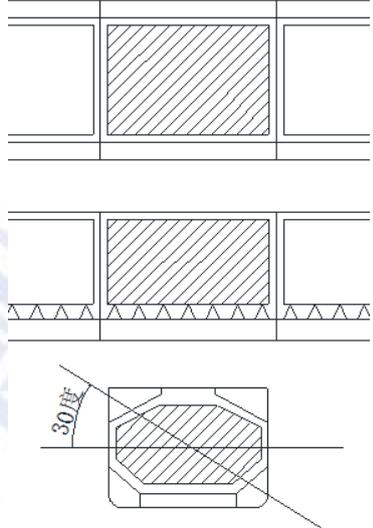
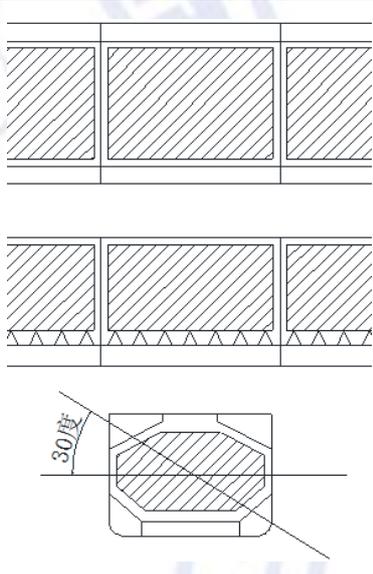
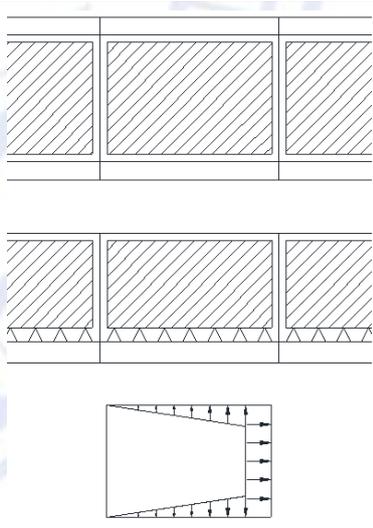
				系数	[2]	
LC1	$1.0d$	S+D	(0,0,0)	1	1	
LC2	$0.75d$	S	(0, 0, 1)	-1	-1	
LC3	d	S+D	(0,0,0)	1	0.6	

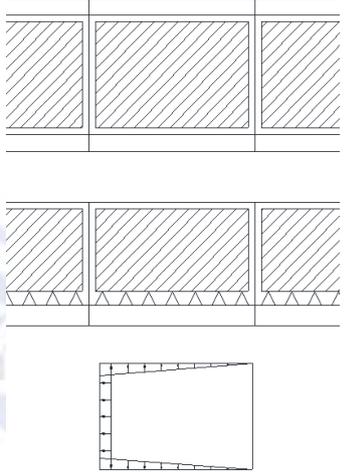
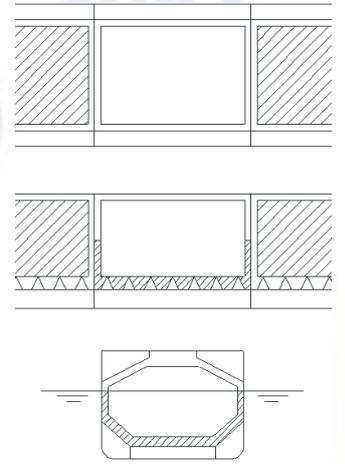
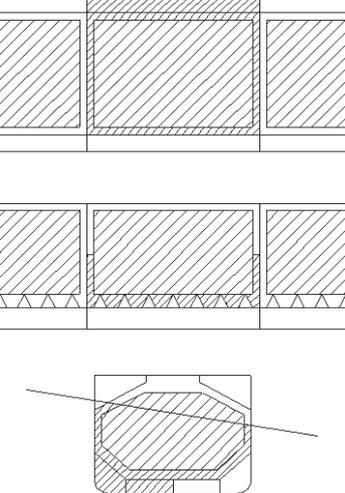
LC4	0.75d	S	(0, 1, 0)	-1	-0.6	
<p>注[1]: S 表示仅考虑静压力, S+D 表示考虑动压力和静压力, 计算方法见 4.3.3; [2]: 该值表示计算中施加的波浪弯矩的比例, 且中拱为正, 中垂为负, 计算方法见 4.3.2。</p>						

直接计算工况 (非航行工况)

表 4.3.6(2)

工况	主载荷	吃水	外部压力	内部压力 (a_x, a_y, a_z)	静水弯矩	波浪弯矩	装载模式
LC5	单侧装载	0.5d	S	(0,0,0)	0	0	

LC 6	静横倾	d_A 单舱 装载时的 最小吃水	S	(0,0.5,0)	-1	0	
LC 7	静横倾	d	S	(0,0.5,0)	1	0	
LC 8	前方碰撞	d	S	(0.5,0,0)	1	0	

LC 9	后方碰撞	d	S	(-0.25,0,0)	1	0	
LC 10	进水	d	S	(0,0,0) 考虑进水对独立舱的浮力	0	0.6	
LC 11	破损	d_{flood}	S	(0,0,0) 考虑破损后海水对横舱壁的静压力	0	0	

LC12	测试/ 失火	<i>d</i>	S	(0,0,0) 考虑测试工况 和失火工况下 的舱内压力增 加, 取大者	0	0	
------	-----------	----------	---	---	---	---	--

4.4 边界条件

4.4.1 计算时, 分别分析结构在局部载荷和总体载荷下的响应, 然后通过应力合成得到结构的工作应力。针对上述两类分析工况, 分别由 4.4.2 和 4.4.3 给出边界条件。

4.4.2 局部载荷工况下的边界条件见表 4.4.2 和图 4.4.2。

局部载荷边界条件

表 4.4.2

位置	边界条件	说明
前端面	$\delta_x = 0, \theta_y = 0, \theta_z = 0$	
后端面	$\delta_x = 0, \theta_y = 0, \theta_z = 0$	
线 AA'、BB'、CC'、 DD'	垂向弹簧单元	还包括顶边舱斜板、底边舱斜板等垂向承剪构件。
线 AB、A'B'、CD、 C'D'	水平弹簧单元	仅适用于非对称工况: LC3, LC4, LC5, LC10。
E 点	$\delta_y = 0$	

注: 弹簧刚度按下式计算:

$$K = \frac{5GA}{6l_H n} \quad N/mm$$

式中: G ——材料的剪切弹性模量, N/mm^2 , 对钢材, $G=0.792 \times 10^5 N/mm^2$;

A ——舷侧板及顶边舱斜板、底边舱斜板的有效剪切面积, mm^2 ;

l_H ——中部货舱长度, mm ;

n ——弹簧约束的节点数量。

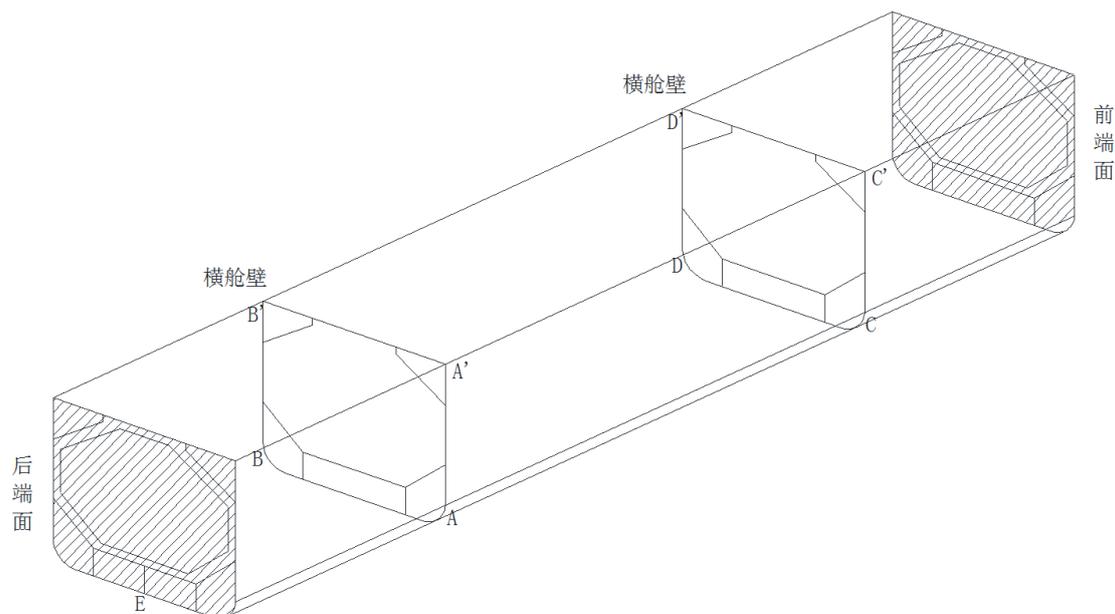


图 4.4.2 边界条件施加位置示意图

4.4.3 整体载荷工况下的边界条件见表 4.4.3 和图 4.4.2。

总体载荷边界条件

表 4.4.3

位置	边界条件	说明
后端面	$\delta_x = 0, \delta_y = 0, \delta_z = 0,$ $\theta_x = 0, \theta_y = 0, \theta_z = 0,$	$\delta_x, \delta_y, \delta_z$ 分别为 x、y 和 z 方向的线位移自由度， $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 分别为 x、y 和 z 轴的角位移自由度。
前端面	中和轴位置建独立点 端面上各节点和独立点建 立刚性连接	
独立点	独立点上施加目标弯矩	

4.5 接受衡准

4.5.1 屈服强度

应对船体结构、独立舱结构、独立舱限位装置、底座和支撑结构进行屈服强度校核。对于板单元，应校核其相当应力 σ_e ，按下式计算：

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： σ_x ——单元 x 方向的应力，N/mm²；

σ_y ——单元 y 方向的应力，N/mm²；

τ_{xy} ——单元 xy 平面的剪应力，N/mm²。

各工况下，各结构部分的许用应力见表 4.5.1 (1) 和表 4.5.1 (2)。

船体结构的许用应力，N/mm² 表 4.5.1 (1)

工况	船体结构许用应力	
	许用相当应力[σ_e]	许用剪应力[τ]
LC1-4	220/K	115/K
LC11	235/K	—

独立舱及其支撑结构的许用应力，N/mm²

表 4.5.1 (2)

工况	独立舱结构 (A 型)	独立舱结构 (B 型)	
	镍钢、碳锰钢，奥氏体钢，铝合金[σ_e]	镍钢、碳锰钢 [σ_e]	奥氏体钢，铝合金 [σ_e]
LC1-4	Min($R_m/1.7, R_e/1.1$)	Min($R_m/2, R_e/1.2$)	Min($R_m/2.5, R_e/1.2$)
LC5	0.7Min($R_m/1.7, R_e/1.1$)	0.7Min($R_m/2, R_e/1.2$)	0.7Min($R_m/2.5, R_e/1.2$)
LC6-7	Min($R_m/1.7, R_e/1.1$)	Min($R_m/2, R_e/1.2$)	Min($R_m/2.5, R_e/1.2$)
LC8-10	1.1Min($R_m/1.7, R_e/1.1$)	1.1Min($R_m/2, R_e/1.2$)	1.1Min($R_m/2.5, R_e/1.2$)
LC12	1.1Min($R_m/1.7, R_e/1.1$)	1.1Min($R_m/2, R_e/1.2$)	1.1Min($R_m/2.5, R_e/1.2$)

4.5.2 对于船体、独立舱或底座细化节点，细化网格下的许用应力均为其粗网格下许用应力的 1.6 倍。

4.5.3 应对限位装置中的垫块和支撑结构的抗压强度和剪切强度进行校核。校核时，计算压应力取各工况下压应力计算结果的最大值，计算剪应力取计算压力值的 30%。许用应力为安全工作应力除以安全系数得到，其中，限位垫块和支撑结构的抗压和剪切强度校核的安全工作应力可从材料强度相关试验的数据资料中得到，安全系数见表 4.5.3。

限位垫块及支撑结构的安全系数

表 4.5.3

工况	支撑结构	防纵摇限位垫块	防横摇限位垫块	止浮垫块

1-7	3.5	3.5	3.5	N/A
8-9	1.5	1.5	N/A	N/A
10	N/A	N/A	N/A	3.5
注：N/A 表示“无此应用”。				

4.5.4 屈曲强度校核按照 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第1章 1.5.9 的要求进行。各构件的标准减薄厚度见表 4.5.4 (1)。最小屈曲安全因子取值见表 4.5.4 (2)。

标准减薄厚度 (mm) 表 4.5.4 (1)

位置	标准减薄厚度, mm	位置	标准减薄厚度
外壳	1.0	内底	1.0
露天甲板	1.0	实肋板及双层底纵桁	1.0
内壳结构, 顶边舱, 底边舱结构	2.0	独立舱结构	1.0; 0.0 (当货物无腐蚀性时)
底座结构	0.0	其他	0.0

最小屈曲安全因子 表 4.5.4 (2)

工况	船体结构	独立舱及支撑结构
LC1-4	0.9	0.9
LC5	—	1.0
LC6-7	—	0.9
LC8-10	—	0.8
LC11	0.8	—
LC12	—	0.8

第5节 温度场及热应力计算和钢级选取

5.1 一般要求

5.1.1 本节要求适用于 A 型和 B 型棱形独立舱液化气运输船在液货低温作用下的温度场预报分析、热应力计算, 以及低温影响下钢材的级别选取。如采用不同于本节规定的方法

进行上述计算，应经 CCS 同意。

5.1.2 船体温度场计算用于 3 个目的：

- (1) 选取船体钢板的钢级；
- (2) 船体热应力计算；
- (3) 液货舱低周疲劳计算（仅适用于 B 型舱）。

5.1.3 所装载的液货温度低于 -10°C 时，一般应进行船体温度场分析。当液货温度低于 -55°C 时，一般应进行船体热应力分析。

5.1.4 温度场计算应使用公认的有限元分析程序或 CCS 认可的方法。

5.1.5 对于按本节要求的分析计算，应提交如下图纸和计算资料备查：

- (1) 绝热层构造图、布置图及连接详图（如适用）；
- (2) 热工系数；
- (3) 热分析和温度场预报计算报告；
- (4) 与上述计算和结构有限元分析有关的船体结构图纸。

对 B 型舱，应在 AIP（原则认可）和型式认可时，提交上述图纸和资料。

5.2 温度场计算结构模型

5.2.1 温度场计算的有限元模型应包括船体结构、液货舱、绝热层、支撑及限位装置等部分，见图 5.2.1。

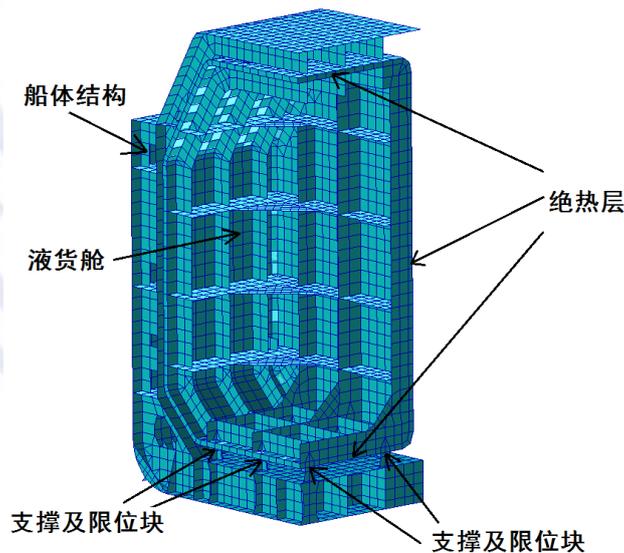


图 5.2.1 温度场计算有限元模型

5.2.2 模型中船体结构有限元模型的范围、单元类型和网格尺度等应满足本附录第 4

节 4.2 的要求。

5.2.3 模型中液货舱绝热层、支撑及限位装置应采用体单元模拟，且一般采用 6 面体单元。此处的支撑及限位装置的体单元仅参与温度场计算，并不参与应力计算。

5.2.4 当采用体单元模拟多层不同材料构成的绝热层时，单元导热系数应采用等效导热系数。对于由 N 层材料组成的绝热层，其等效导热系数按下式计算：

$$k_e = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i}{\sum_{i=1}^N \frac{\delta_i}{k_i}}$$

式中： δ_i ——第 i 层材料厚度，m；

k_i ——第 i 层材料导热系数，W/(m $^{\circ}$ C)。

5.3 船体温度场计算

5.3.1 本节给出的船体温度场计算方法基于如下假定：

(1) 三维空间定常稳态传热，且材料参数和边界条件不随温度变化的线性热传导分析方法；

(2) 仅考虑温度场变化对结构机械场产生的影响，忽略结构机械场变化对温度场的影响。

5.3.2 本节给出的船体温度场计算方法假定存在如下传热方式：

- (1) 船体固体结构内的热传导；
- (2) 船体板与舱内空气之间的对流传热；
- (3) 船体板与外界空气之间的对流传热；
- (4) 船体板与海水之间的对流传热；
- (5) 液货罐与液货之间的接触传热（温度边界条件）；
- (6) 液货罐与液货蒸气之间的对流传热（适用于 B 型舱）；
- (7) 船体板与外界之间的辐射传热。

5.3.3 船体舱室内空气温度一般难以确定，采用迭代方法可以实现计算，计算流程如图 5.3.3 所示。

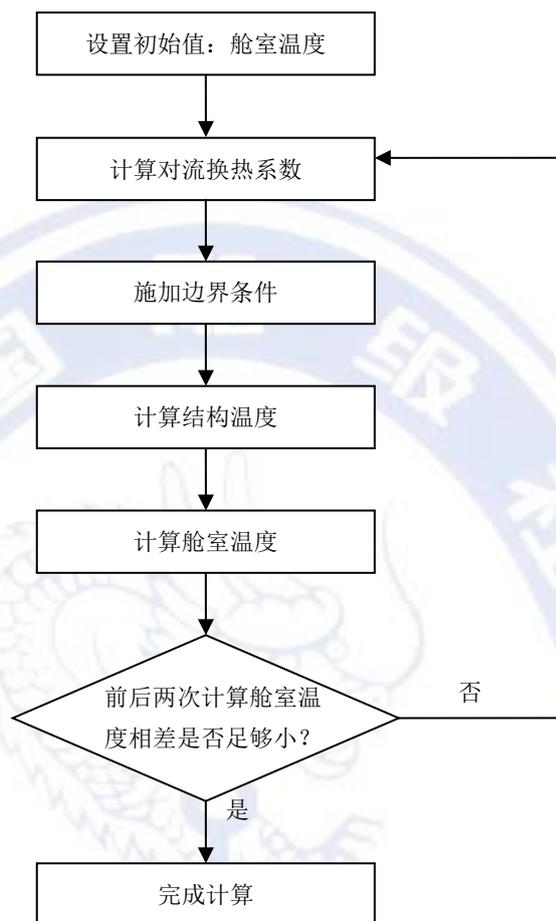


图 5.3.3 舱室内空气温度的计算流程

5.3.4 在迭代过程中，任一舱室内的空气温度按下式计算：

$$T_c = \frac{\sum h_i A_i T_{si}}{\sum h_i A_i}$$

式中： T_c ——舱室空气温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

h_i ——对流系数，按 5.3.12 确定， $\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ ；

A_i ——与此舱室内空气接触的第 i 块板的面积（在计算 A 时，不需要考虑船体骨材所增加的表面积）， m^2 ；

T_{si} ——与此舱室内空气接触的第 i 块板的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.5 当船体温度场是用于钢级选取时，应考虑主屏壁破损，液货泄漏至次屏壁的情况，且为满载。

5.3.6 当船体温度场是用于船体热应力计算时，考虑主屏壁完整，液货仅存在于主屏壁内部的情况，且为满载。

5.3.7 当船体温度场是用于 B 型独立舱液化气运输船液货舱低周疲劳计算时，考虑主

屏壁完整，液货仅存在于液货舱内部的情况，装载情况为 5.4.2 (1) 所述。

5.3.8 当船体温度场是用于钢级选取以及船体热应力计算时，一般按以下原则选取外部环境工况：

(1) 对于全球航行的船舶，一般采用 IGC 环境工况；

(2) 对于在美国海域（除阿拉斯加）航行的船舶，采用 USCG 工况；在阿拉斯加海域航行，采用 USCG（阿拉斯加海域）工况；

(3) 对于在其他寒冷区域航行和/或满足 PC 级（极地船级）的船舶，按港口国主管机关或船旗国的有关规定/极地规范及冰级和设计温度的要求（如有）给出的其它计算工况。

(4) 各外界环境工况的参数见表 5.3.8。

各种环境工况 表 5.3.8

	IGC	USCG	USCG（阿拉斯加海域）	最高环境设计温度 （见本规范第3篇 第7章7.2）
空气温度（℃）	5	-18	-29	45
海水温度（℃）	0	0	-2	32
风速（kn）	0	5	5	0

5.3.9 当船体温度场是用于 B 型棱形液舱低周疲劳计算时，应考虑正常营运航行的最热环境作为环境工况，选取表 5.3.8 中的最高环境设计温度作为环境工况。若船舶在特热或特冷区域营运的环境温度超出表 5.3.8 范围，设计温度应视具体情况予以调整。

5.3.10 计算温度场时，舷外水线位置一般取装货工况下的最小吃水位置，用于确定海水对流边界条件和外界空气对流边界条件的施加区域。

5.3.11 各种应用目的及范围的船体温度场计算环境条件要求一览表见 5.3.11。

船体温度场计算的环境条件规定一览表 表 5.3.11

应用目的	应用范围	主屏壁 是否泄漏	液舱 装载情况	外界环境	水线 位置
选取 钢级	A 型、B 型	是	满载	IGC、 USCG、 USCG（阿拉 斯加海域）、	装货工况下 的最小吃水 位置
船体 热应力计算	A 型、B 型	否			

				最高环境设计温度、自定义	
液货舱 低周疲劳计算	B型	否	液货面接 近于舱顶 (1)	最高环境设计温度	
(1) 见 5.4.2 (1) 的要求					

5.3.12 船体板与空气、船体板与海水之间采用对流换热边界条件，对流换热系数应按实际选取，当缺乏具体数值时，应采用经验公式计算或参考 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章第24节 2.24.5.4 的相关规定。

5.3.13 当采用公式计算船体板与空气之间的对流换热系数时，一般应考虑船体骨材对其附着船体板的影响，将船体骨材作为散热肋片考虑。

5.3.14 船体外板与外界环境之间需要考虑辐射传热。

5.3.15 当液货舱是内部满载时，液货舱/罐内表面施加温度边界条件。

5.3.16 当液货舱是不是满载时，位于液面以下的液货舱/罐内表面施加温度边界条件，液面以上的液货舱内表面施加液货蒸汽对流边界条件。

5.4 用于低周疲劳分析的液货舱温度场计算

5.4.1 由于液货舱进行低周疲劳计算时，需要计算不同装载水平下的液货舱结构的热应力，为了减少计算量，需要根据 5.3.7 和 5.3.9 的规定计算一个船体温度场，作为液货舱的外部边界条件施加（包括液货舱外部空气对流边界条件和支座处温度边界条件）；在此液货舱外部边界条件下，按 5.4.2 给出的液货装载水平施加液货舱内表面边界条件，得到各装载水平下的液货舱温度场。

5.4.2 不同的液货装载水平应包括：

- (1) 最高装载水平，即液货面刚好接近于液货舱内顶板；
- (2) 最低装载水平，即液货刚好覆盖液货舱内底板；
- (3) 液货面与各水平桁平齐的多个装载水平。

5.5 液货舱支持构件及附件的热应力计算

5.5.1 当设计中考虑实施本规范第3篇第4章4.13.4.2时，应基于按本节计算的温度场结果作为温度载荷，施加到相关液货舱支持构件及附件的结构计算模型中进行热应力强度分析。强度校核的有关衡准可参照本附录第4节4.5。

5.6 钢级的选取

5.6.1 液货舱材料的选择按本规范第3篇第6章表6.1、6.2和6.4以及CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第7节的相关规定。

5.6.2 满足本规范第3篇第4章4.19.1.2和4.19.1.3要求的船体材料钢级的选取应按本规范第3篇第6章表6.5选取。

5.6.3 满足本规范第3篇第4章4.19.1.4要求的船体材料还应满足本规范第3篇第6章表6.5和CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第7节的相关规定。

5.6.4 在选取钢级时，不同环境工况的应用范围根据表5.6.4确定。

选取钢级的应用范围

表 5.6.4

	IGC	USCG(除阿拉斯加海域)	USCG(阿拉斯加海域)	最高环境设计温度 (见本规范第3篇第7章7.2)
选取钢级应用范围	货舱区全部范围	货舱区内壳及其相连接构件	货舱区内壳及其相连接构件	N/A

附录 2 C 型独立液货舱船舶的补充规定

第 1 节 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录适用于对本规范第 3 篇第 4 章所定义的 C 型独立液货舱型船舶的船体结构、液货舱结构以及支承结构的构件尺寸和直接计算要求的补充规定。

1.1.2 液货舱结构尺寸应符合本附录第 3 节要求，且应按本附录第 5 节要求，对液货舱与其支承结构连接区域处的壳体，以及其他高应力水平的局部区域（如双体和三体罐 Y 形节点处等），液货舱附属构件（如加强环、舱壁等）进行直接计算强度验证。

1.1.3 应对 C 型独立液货舱的支承构件进行强度校核，其中，如设置为与船体结构直接相连的形式，按本附录第 4 节要求；如设置为与液货舱直接相连的形式，按本附录第 5 节要求。

1.1.4 对于载运液化气体的 C 型独立罐，一般应考虑进行温度场分析，相关要求见本附录第 6 节。但对于传统成熟/常规的小型 C 型独立罐，可不作上述要求。

1.1.5 对于液货罐支持构件及附件的热应力计算及强度校核，以及有关受低温影响的钢级选取，按本附录第 6 节相关要求。

1.1.6 本附录所使用的符号及定义如无特别说明，同本篇第 A4 章 A4.1.5。

1.1.7 应提交的图纸资料见本篇第 A4 章 A4.3.3 中的相关规定。

第 2 节 C 型独立液货舱型船体构件尺寸

2.1 一般要求

2.1.1 本节对 C 型独立液货舱型船舶的船体构件尺寸要求作出补充规定。本节未规定者，其船体结构的构件尺度和布置及其他要求应符合本篇第 A4 章和 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章和第 8 章中的有关规定。

2.1.2 对于单层底的船舶，其船底骨架可按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 6 章的相关要求，并应按本附录第 5 节进行直接计算强度校核。

2.2 甲板主要支持构件

2.2.1 甲板纵桁的剖面模数应不小于按 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章规定和对散货船的有关适用要求。

2.2.2 甲板强横梁剖面模数 W ，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 5KShl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： S ——强横梁间距， m ；

l ——强横梁跨距， m ；

h ——甲板的计算压头， m ，按 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章 2.8.1.1 的规定，且在表 2.8.1.1 中，按“距首垂线 $0.15L$ 以后”的公式计算，但注④中的 h_0 为干舷甲板计算压头，应不小于按下式计算所得之值：

$$h_0 = 2.4 + \frac{2}{1000} \left(\frac{100 + 3L}{D - d} - 150 \right), \quad m, \quad \text{且应不小于 } 2.4 \text{ m, 也不必大于 } 2.7 \text{ m}$$

注：本条不适用于机舱和尾部区域。

2.2.3 对单甲板船，其强横梁剖面模数应在本节 2.2.2 计算结果的基础上增大 15%。

2.2.4 当甲板纵桁和强横梁以交叉梁系布置时，可采用梁系分析方法验证甲板板架的强度。计算时，载荷取甲板计算载荷 $p = 7.06h \text{ KN/m}^2$ （ h 见 CCS《钢质海船入级规范》第2篇 2.8.1.1），许用弯曲应力取为 $0.67R_{eH}$ ，许用剪切应力取为 $0.39R_{eH}$ ，但甲板强横梁剖面模数应不小于本节 2.2.2 计算之值的 90%。计算时，纵桁不能作为横梁跨距点的支点。

2.3 横舱壁

2.3.1 舱壁板及其扶强材的尺寸应符合 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章对水密舱壁的要求，且其计算压头 h 应按下述规定确定：

(1) 对于水密横舱壁板，其计算压头 h 应按下述要求确定（取大者）：

- ① 由列板下缘量至适用的破舱稳性计算所得到的最深平衡水线的垂直距离；
- ② 由列板下缘量至干舷甲板的垂直距离；
- ③ 2.5 m。

(2) 对于扶强材，其计算压头 h 应按下述要求确定（取大者）：

- ① 由扶强材跨距中点量至适用的破舱稳性计算所得到的最深平衡水线的垂直距离；
- ② 由扶强材跨距中点量至干舷甲板的垂直距离；
- ③ 2 m。

2.4 舷侧和船体内壳的主要支持构件

2.4.1 舷侧肋骨剖面模数应不小于按下式计算所得之值：

$$W_1 = 1.6cc_1sdI^2K \quad \text{cm}^3$$

式中： $c = \frac{2 + \frac{0.65d}{D}}{1.45 - \frac{\sqrt{D}}{l}}$ ；

c_1 ——系数，当 $L < 90 \text{ m}$ 时， $c_1 = 1.05$ ；当 $L \geq 90 \text{ m}$ 时， $c_1 = 1.0$ ；

s ——肋骨间距，m；

d ——吃水，m；

l ——肋骨跨距，m，且取值不小于 \sqrt{D} ；

2.4.2 舷侧肋骨腹板的最小厚度 t ，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = (7.0 + 0.03L)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中： L ——船长，m，但取值不必大于 200 m。

2.4.3 舷侧肋骨的剖面惯性矩 I 应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章对主肋骨的要求。

第 3 节 C 型独立液货舱结构尺寸

3.1 一般要求

3.1.1 本节要求适用于 C 型独立液货舱及其支承结构尺寸。

3.1.2 C 型独立液货舱结构尺寸应根据液货舱的压力，按下述规定进行计算：

(1) 对于承受内部压力的受压容器，其受压部件的厚度和形状，包括法兰在内¹，应按 CCS 可接受的标准²予以确定。在所有情况下，应根据通用的压力容器的设计原理进行这些计算。对于压力容器中的受压部件的开口¹，应按 CCS 可接受的标准²予以加强；

(2) 在上述计算中应考虑设计液体压力³。

¹ “受压部件的厚度和形状，包括法兰在内”及“压力容器中受压部件的开口”系指液货舱厚度、液货舱内部结构、液货舱开孔补强及法兰强度评估。

² “CCS 可接受的标准”系指《非直接火焊接压力容器规范 PD5500》、《压力容器规范 AD2000》，以及 GB150《钢制压力容器》等工业标准和/或相关规范要求。

³ “设计液体压力”系指本规范第 3 篇第 4 章 4.13.2.4 所定义的内部压力。

3.2 液货罐壳体

3.2.1 液货罐壳体包括圆柱壳体部分和球形封头部分，如图 3.2.1。

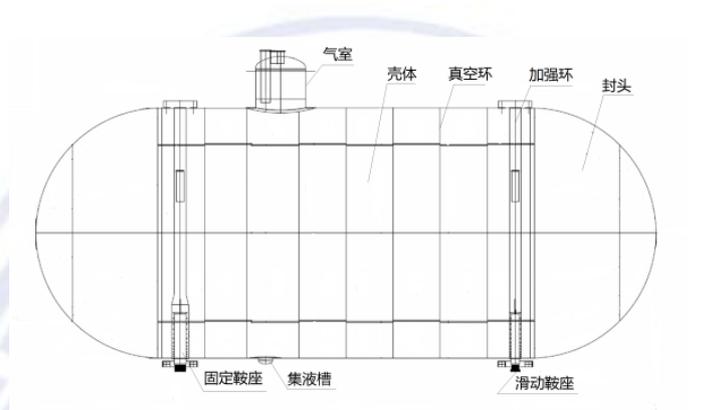


图 3.2.1 液货罐壳体示意图

3.2.2 圆柱壳体板厚和球形封头板厚 t ，应满足下列要求：

$$t \geq \frac{p_{eq} D_i}{2\sigma_m \phi - p_{eq}} + c \quad \text{mm, 对圆柱壳体板厚}$$

$$t \geq \frac{p_{eq} D_i y}{2\sigma_m \phi - 0.5 p_{eq}} + c \quad \text{mm, 对球形封头板厚}$$

除满足以上条件外，任何区域的板厚都应不小于：

$$t_{\min} = 3 + D_i / 1500 \quad \text{mm}$$

式中： p_{eq} ——内部压力，MPa，见本规范第3篇第4章4.28.1和CCS4.28.1.2(1)~(3)，其中，在计算蒸气压力 P_0 （见本规范第3篇第4章4.23.1.2）时，对双体罐和三体罐的宽度 b ，应取（水密）液货罐全宽（典型的双体罐和三体罐的宽度 b 的量取见图3.2.2(1)和(2)），高度 h 应取液货罐全高；

D_i ——容器壳体内径，mm；

σ_m ——许用膜应力，N/mm²，见本规范第3篇第4章4.28.3.3；

c ——腐蚀增量，mm，应按公认的压力容器标准选取，且适用时应满足本规范第3篇4.3.5和CCS4.3.5的相关要求；

y ——形状系数，对球形封头，一般取为0.55；

ϕ ——焊接有效系数，见本规范第3篇第4章4.23.2.1.3和CCS4.23.2。

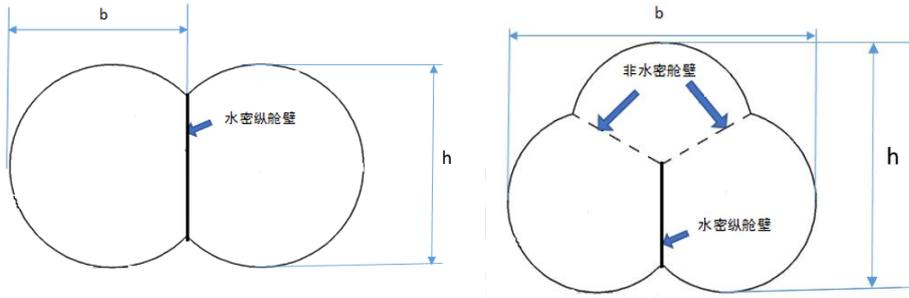


图 3.2.2 (1) 典型双体罐的宽度 b 取法 图 3.2.2 (2) 典型三体罐的宽度 b 取法

3.2.3 对于球形封头以外的封头形式，其板厚计算公式可采用 CCS 可接受的标准和/或相关规范。

3.2.4 壳体与封头之间过渡区域的范围及板厚可采用 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范。

3.2.5 应对液货罐壳体结构在鞍座位置及跨中位置处的纵向应力、鞍座位置处的剪切应力，以及环肋处的壳体环向应力进行校核，其中：

(1) 横倾姿态考虑从横倾角 0° 到 30° 范围内（步长可取为 10° ）；

(2) 纵向应力校核——液货罐纵向应力包括由压力和弯矩产生的跨中位置和鞍座位置处的纵向应力，可采用 PD5500 附录 G.3.3.2.2 和 G.3.3.2.3 的要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范；

(3) 剪切应力校核——液货罐鞍座周围处的剪切应力（包括壳体和/或封头），可采用 PD5500 附录 G.3.3.2.5 的要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范；

(4) 环向应力校核——鞍座处的壳体环向应力，可采用 PD5500 附录 G.3.3.2.6 的要求或其他 CCS 可接受的标准和/或相关规范。

对于双体罐和三体罐，也可按本附录第 5 节对液货罐进行有限元分析的强度校核。

3.3 液货罐附件

3.3.1 液货罐水密纵舱壁板厚度 t ，应满足下式要求：

$$t \geq \frac{2p_{eq} \cdot e}{20\sigma_m \phi - p_{eq}} + c \quad \text{mm}$$

式中： e ——双体罐的轴心距，mm；

其余符号——见 3.2.2。

3.3.2 液货罐水密纵舱壁扶强材的计算工况如下：

(1) 工况 1——装载模式为左右罐均装满，见图 3.3.2 (1)，其中， P_{gd} 计算方法见本规

范第 3 篇第 4 章 4.28.1 和 CCS4.28.1.2.a~CCS4.28.1.2.d。

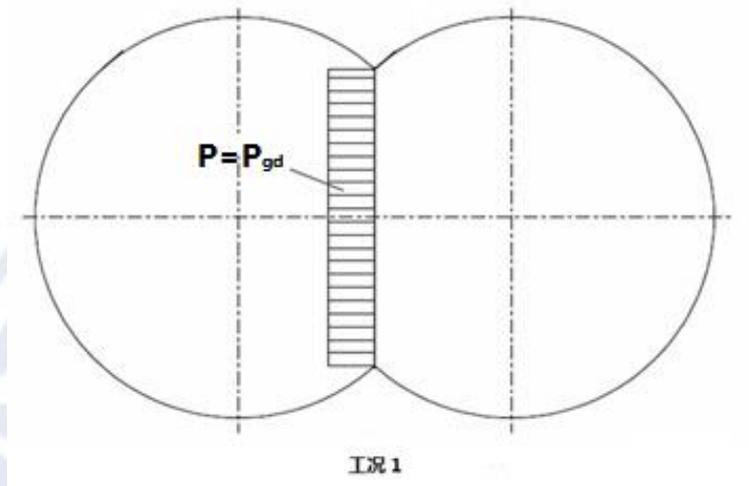
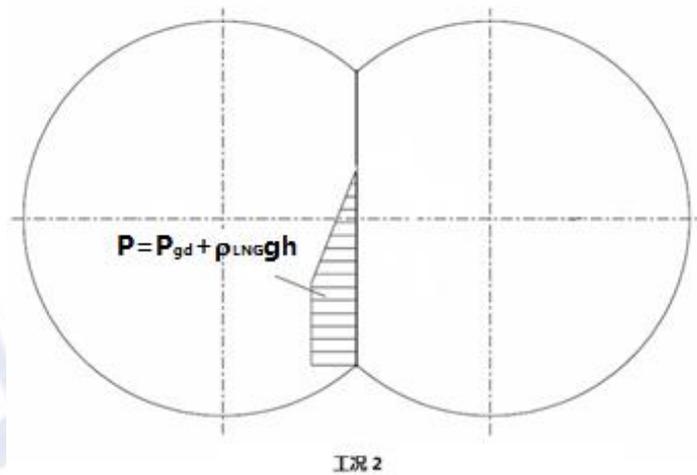


图 3.3.2 (1) 装载模式为左右罐均装满

(2) 工况 2——装载模式为左右罐均为 50% 装载，见图 3.3.2 (2)，其中， P_{gd} 计算方法参见上述 (1)。



(注：按照本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.2，以及 CCS4.28.1.2.a~CCS4.28.1.2.d 进行计算时，相关的 α_β 、 Z_β 以及 h 之值应根据实际情况确定。)

图 3.3.2 (2) 装载模式为左右罐均为 50% 装载

(3) 工况 3——装载模式为一侧满罐，另一侧空罐，见图 3.3.2 (3)，可按照装载手册中给出的左右两侧罐体舱室最大压差的装载情况考虑，但应在操作手册中标明不允许“一侧满罐，另一侧空罐”的装载方式。

对于三体罐水密结构的纵舱壁板校核，可参照上述假定和规定进行。

对于三体罐非水密结构的纵舱壁板，其厚度要求可按本节 3.3.6 的相关规定。

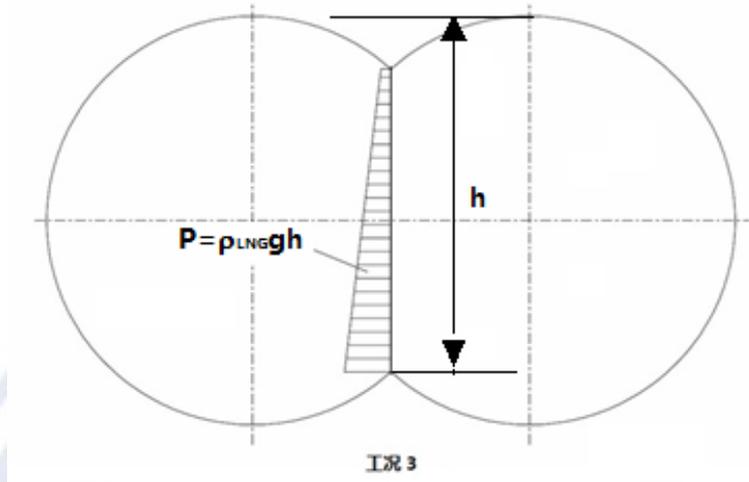


图 3.3.2 (3) 装载模式为一侧满罐，另一侧空罐舱

3.3.3 液货罐水密纵舱壁扶强材弯曲应力 σ_b ，应满足下式要求：

$$\sigma_b \leq [\sigma_b]$$

式中： $\sigma_b = \frac{M}{W} \times 10^3$ MPa；

M ——纵舱壁扶强材弯矩， $\text{kN} \cdot \text{m}$ ，计算时边界条件按实际情况模拟；

W ——纵舱壁扶强材剖面模数， cm^3 ；

$[\sigma_b]$ ——许用弯曲应力，MPa，取 $0.57R_{eH}$ 。

对于三体罐的水密纵舱壁扶强材的校核，可参照上述方法进行。

3.3.4 液货罐水密纵舱壁扶强材剪切应力 τ ，应满足下式要求：

$$\tau \leq [\tau]$$

式中： $\tau = \frac{F}{A_{end}} \times 10^3$ MPa；

F ——纵舱壁扶强材剪力， kN ，计算时边界条件按实际情况模拟；

A_{end} ——纵舱壁扶强材端部的剪切面积， mm^2 ；

$[\tau]$ ——许用剪切应力，MPa，取 $0.32R_{eH}$ 。

3.3.5 液货罐制荡舱壁一般布置在真空环或加强环处，开孔面积应不小于舱壁总面积的10%，如图 3.3.5 (1) 和 (2) 所示。

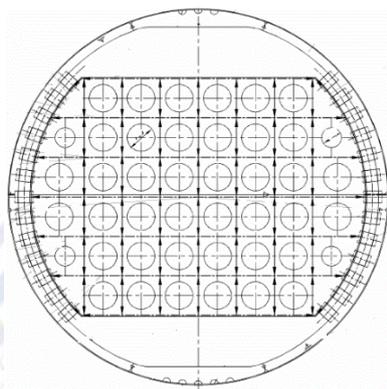


图 3.3.5 (1) 真空环处制荡舱壁结构图

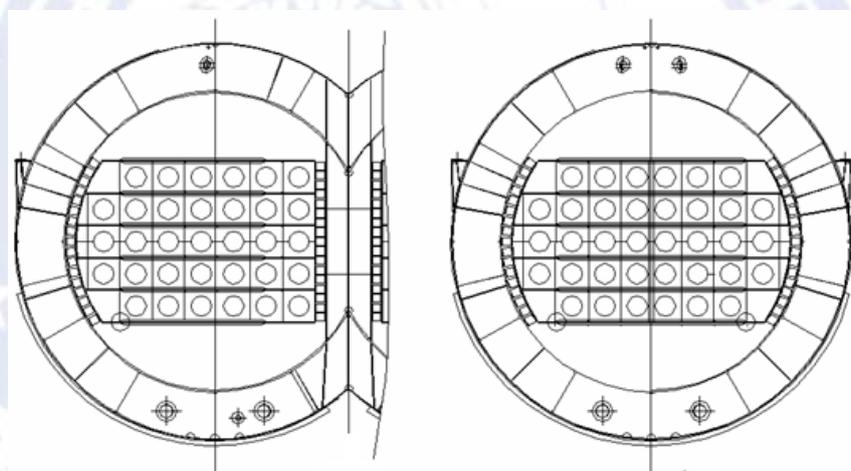


图3.3.5 (2) 加强环处制荡舱壁结构图（双体罐/圆柱罐）

3.3.6 制荡舱壁板厚 t ，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = (6.5 + 0.02L) \sqrt{K} \text{ mm, 但不小于 } 10 \text{ mm}$$

式中： L ——船长，m，且计算时取值不大于 300m。

对于 9 镍钢等合金钢材料，可予特殊考虑。

3.3.7 对于连接螺栓，应对其在预紧状态和操作状态下所受的静载荷（即螺栓力）及螺栓直径等参数进行评估，评估方法可采用 AD-Merkblatt B6 或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范。对于承受静压力及垫片压紧力作用的螺栓法兰，应对法兰的厚度及剖面模数等特性进行评估，评估方法可采用 AD-Merkblatt B7 或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范，法兰的型式及焊接应满足本规范第 3 篇第 4 章 4.20 和第 5 章 5.4.3 的要求。

3.3.8 直接焊装在 C 型独立液罐上的接管，以及人孔盖和检查孔应满足 CCS 《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章附录 6 的有关要求。

3.3.9 C型独立液货罐的屈曲强度要求应满足下列要求:

(1) 液货罐的屈曲设计外部压力 p_e , 应不小于按下式计算所得之值:

$$p_e = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 \quad \text{MPa}$$

式中: p_1 ——真空释放阀的调定压力, MPa。对未配备真空释放阀的容器, 应作特别考虑, 但取值一般不小于 0.025 MPa;

p_2 ——安放压力容器或压力容器部件的全封闭处所的压力释放阀的调定压力, MPa。对其他处所, p_2 取为 0;

p_3 ——由于绝热层的重量和收缩、壳体重量(包括腐蚀增量) 以及压力容器可能承受的其他外部载荷所引起的作用在壳体中的压力, MPa。这些压力还包括(但不限于)气室、塔架和管路的重量、部分充装状态下的货物的作用、加速度和船体变形所引起的压力。此外, 还应考虑外部压力或内部压力或两者的局部作用;

p_4 ——由水压头引起的作用于露天甲板上的压力容器或压力容器部件的外部压力, MPa。对其他处所, p_4 取为 0。

(2) 液货罐圆柱壳体、封头及真空环所能承受的外部压力可采用 PD5500 中 3.6 的相关要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范, 且该压力值应不小于屈曲设计外部压力。

3.3.10 液货罐上的开孔(主要包括气室、人孔和集液槽等)加强应满足有效的加强截面积不小于开孔需加强截面积的要求, 可采用以下 4 种方法:

注: 本条款附图中的主要符号说明简要如下, 并详见 AD-Merkblatt 标准:

d_i ——开孔内径;

D_i ——圆柱壳或圆锥壳内径;

b 、 b_1 ——所要求的加强圈/贴板宽度;

h 、 h_1 ——所要求的加强圈/贴板厚度;

g ——焊脚高度;

S_A ——开孔边缘所要求的壳体厚度;

S_e ——壳体实际厚度;

S_s ——喷嘴壁厚;

l_s ——喷嘴加强长度;

m ——凸出长度。

(1) 增加壳板厚度——开孔的削弱用增加未削弱圆筒壁厚的办法来补偿, 如图 3.3.10

(1) ①和 3.3.10 (1) ②所示, 其开孔加强校核可采用 AD-Merkblatt B9 中 2.4.1 及 4.2 的相

关要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范；

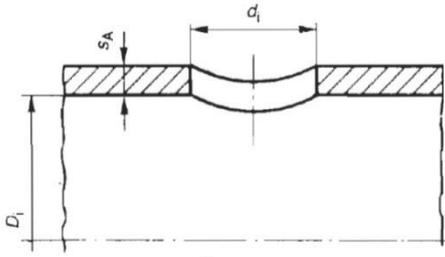


图 3.3.10 (1) ①

增加圆柱板厚

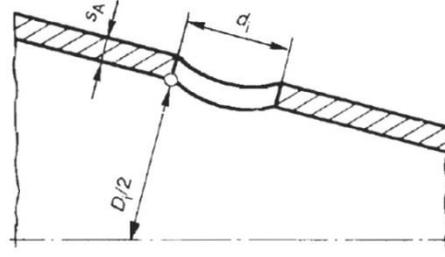


图 3.3.10 (1) ②

增加圆锥板厚

(2) 加强圈加强——开孔的削弱用加强圈加强的办法来补偿，如图 3.3.10 (2) ①、②和③所示，其开孔加强校核可采用 AD-Merkblatt B9 中 2.4.2 及 4.3 的相关要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范。

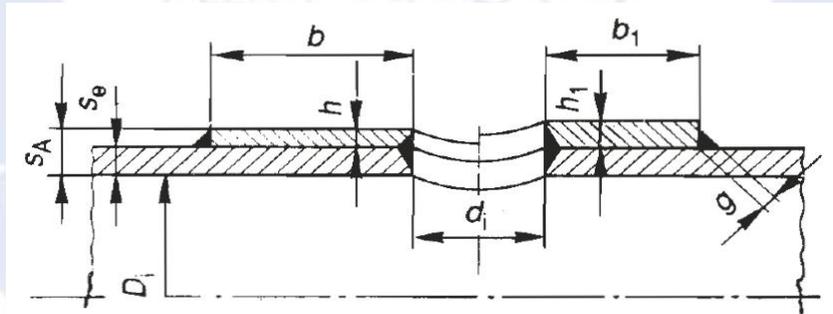


图 3.3.10 (2) ① 加强圈（贴板式）加强

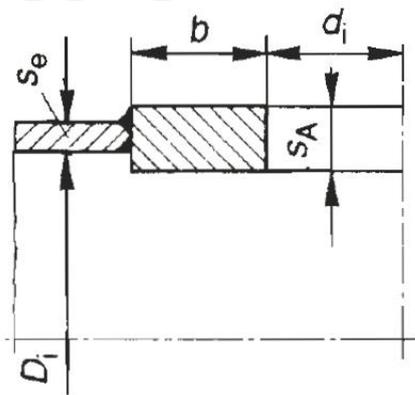


图 3.3.10 (2) ②

加强圈加强（插入式）

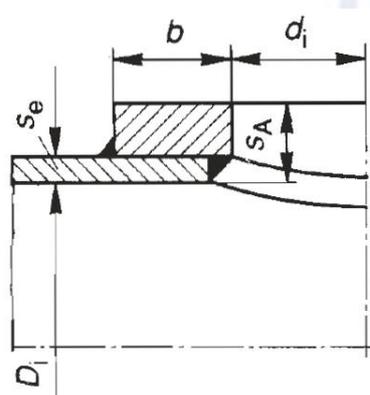


图 3.3.10 (2) ③

加强圈加强（贴板式）

(3) 接管加强——开孔的削弱用接管加强的办法来补偿，如图 3.3.10 (3) ①、②、③和④所示，其开孔加强校核可采用 AD-Merkblatt B9 中 2.4.3 及 4.4 的相关要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范。

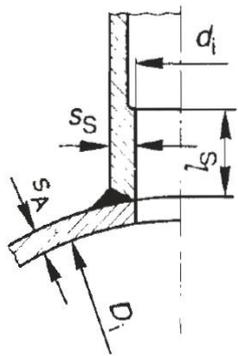


图 3.3.10 (3) ①

接管加强 I

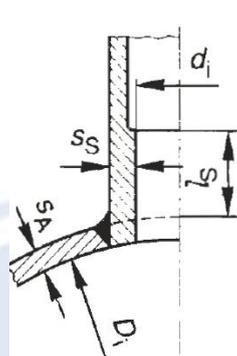


图 3.3.10 (3) ②

接管加强 II

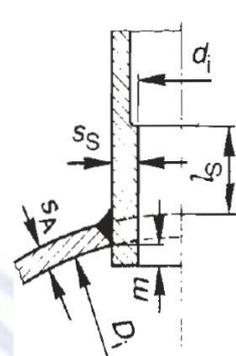


图 3.3.10 (3) ③

接管加强 III

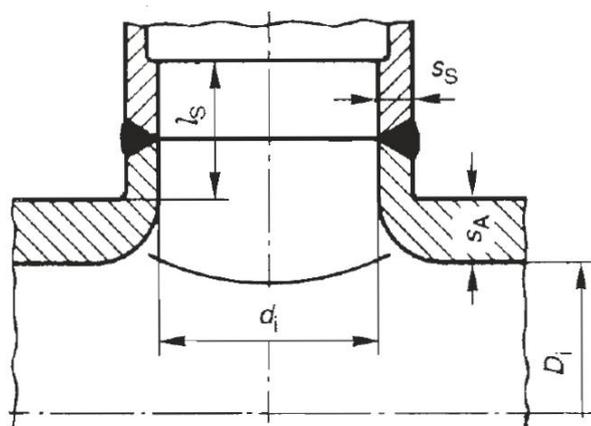


图 3.3.10 (3) ④ 接管加强 IV

(4) 加强圈和接管联合加强——开孔的削弱用加强圈和接管联合加强的办法来补偿，如图 3.3.10 (4) ①和②所示，其开孔加强校核可采用 AD-Merkblatt B9 中 2.4.4 及 4.5 的相关要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范。

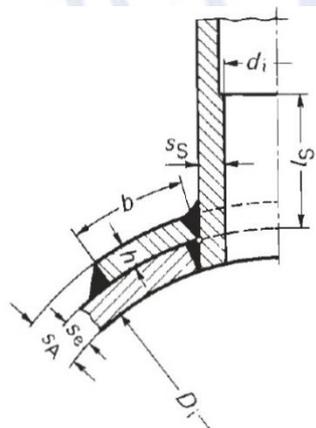


图 3.3.10 (4) ①

贴板和接管加强（未贯穿）

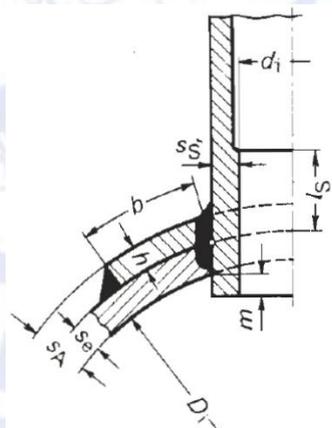


图 3.3.10 (4) ②

贴板和接管加强（贯穿）

3.3.11 对于液货罐的开孔加强，应尽可能使待加强壳体和加强体的材料具有相同的延

性。若加强体的强度指标低于待加强壳体，在计算中应予以考虑。

3.3.12 对于液货罐上的相邻较近的多个开孔，其开孔位置及开孔加强方法和校核应能满足 AD-Merkblatt B9 中 2.4.4 及 4.5 的相关要求或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范。

3.4 晃荡载荷

3.4.1 由于液货罐内部液货的运动，使其在阻碍液体自由运动的封头和/或制荡舱壁上产生动载荷，该动载荷即为液货的晃荡载荷。晃荡载荷应作为附加载荷叠加到内部压力 ($p_0 + p_{gd}$) 中，因此，需对封头/制荡舱壁板的厚度做适当增加（晃荡载荷与液货舱内部压力叠加后，按本节 3.2.2 中的封头厚度公式计算），以抵抗晃荡载荷的作用。（注： p_0 为设计蒸气压力， p_{gd} 为由重力和动力联合作用引起的内部液体压力，详见本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.2）。

3.4.2 晃荡载荷计算中，可采用 CCS 《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》第 2 节的相关公式或 CCS 可接受的其他标准和/或相关规范。

3.5 液货舱止移和止浮结构

3.5.1 对固定鞍座的止移扁钢的强度应予以校核。计算按一端固定在液货舱上的悬臂梁考虑。作用载荷按各工况（见本附录第 4 节表 4.7.1）情况化为等效弯矩 M 和水平集中力 P ，其中， P 为包括液货质量和液舱自重的 $0.5g$ 向前冲力和 $0.25g$ 向后冲力（ g 为重力加速度， m/s^2 ），且不计入滑动鞍座中的层木与钢板之间的摩擦力，见图 3.5.1。弯曲许用应力取 $0.8R_{eH}$ ，剪切许用应力取 $0.53R_{eH}$ 。

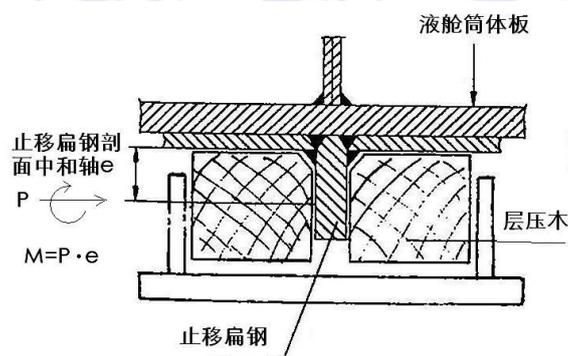


图 3.5.1 止移扁钢的力学计算模型

3.5.2 止浮装置与液货舱筒体连接处的剖面强度校核应按下列规定，并见图 3.5.2：

- (1) 抗弯强度：

$$\sigma = \frac{MY}{I} \leq [\sigma]$$

式中： M ——计算剖面处弯矩， $N \cdot mm$ ；

Y ——腹板计算高度边缘至中和轴距离， mm ；

I ——计算剖面惯性矩， mm^4 ；

$[\sigma]$ ——许用弯曲应力， N/mm^2 ，取 $0.8R_{eH}$ 。

(2) 抗剪强度：

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq [\tau]$$

式中： V ——计算剖面处剪力， N ；

S ——计算剖面静矩， mm^3 ；

I ——计算剖面惯性矩， mm^4 ；

t_w ——计算剖面（腹板）厚度， mm ；

$[\tau]$ ——许用剪切应力， N/mm^2 ，取 $0.53R_{eH}$ 。

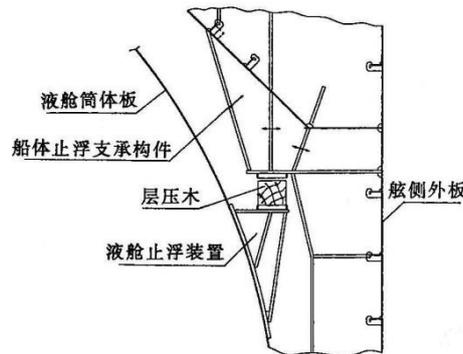


图 3.5.2 止浮装置与液货舱筒体连接处示意图

3.5.3 止浮、止移装置与液货舱筒体连接处的剖面强度也可通过直接计算，按照本附录第4节对鞍座的衡准予以校核，其中，工况为意外工况中的进水/止浮工况。

第4节 C型独立液货舱区域结构强度和鞍座支承结构直接计算

4.1 一般要求

4.1.1 本节要求适用于船长 150 m 及以上的 C 型独立液货舱型运输船货舱区域结构和液货舱鞍座及其支承结构的直接计算强度评估。其中，对 C 型独立液货舱船舶货舱区域舱段结构有限元直接计算的要求，见本节 4.2 至 4.5；对液货舱鞍座及支承结构的直接计算要求，见本节 4.6 至 4.8。

4.1.2 对于船长小于 150 m，但货舱长度超过 30 m，或有特殊要求需进行直接计算的同类船型，可按本节中的适用部分进行有关的直接计算强度评估。

4.1.3 本节未规定者，可视适用情况按本规范第 3 篇第 4 章和 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 8 章附录 1 有关要求进行。

4.2 液货舱区域舱段结构模型

4.2.1 舱段有限元的范围如下：

(1) 中部货舱的模型纵向范围应覆盖中间的目标舱和前后两个半舱。模型中应包括船体结构，为便于施加内部货物载荷，建议在舱段模型中加入独立液货罐模型。

(2) 首部货舱的模型应覆盖首部货舱、第 2 货舱的一半及首尖舱。首尖舱有限元模型部分可终止于防撞舱壁前 2 档的强框架处。尾部货舱有限元模型应覆盖尾货舱、机舱的一半及尾货舱前货舱的一半。

4.2.2 舱段有限元采用的单元及网格要求见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.6。

图 4.2.2 (1) 至图 4.2.2 (2) 为舱段有限元模型示意图。

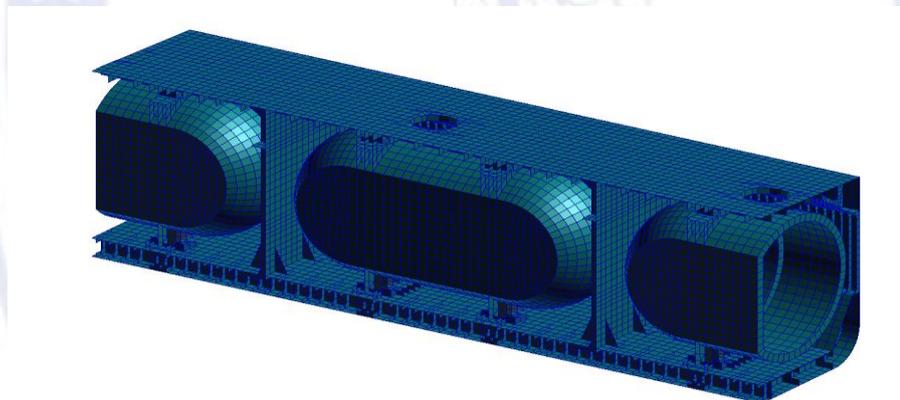


图 4.2.2 (1) 船中区域货舱舱段有限元模型（显示半宽模型）

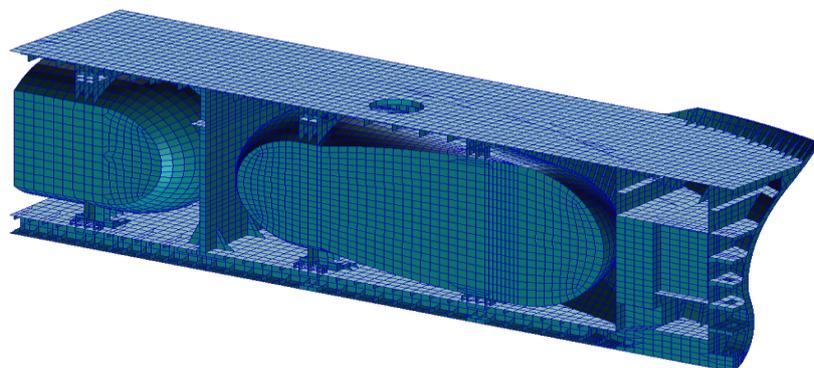


图 4.2.2 (2) 首部区域货舱舱段有限元模型 (显示半宽模型)

4.2.3 独立舱与船体结构之间为接触, 不能承受拉力, 因此在用有限元对船体结构与独立舱接触进行模拟时, 按如下实施:

(1) 用弹簧单元模拟支撑及限位块的刚度, 但这些单元中不能出现拉应力。分析时应删除承受拉应力的单元, 并通过迭代分析得到最终结果, 或:

(2) 可采用接触单元, 或非线性的杆单元 (受拉时刚度为零) 来模拟接触。

4.3 设计载荷及工况

4.3.1 直接计算的设计载荷包括船体梁总纵弯矩、液舱内部压力 (包括液体静动压力和液货罐蒸气压力)、舷外水压力等局部载荷, 以及船舶运动惯性力和船体及液货罐的自重。

各个计算工况 (LC1~LC11) 见表 4.3.6 (1) 和表 4.3.6 (2)。

4.3.2 船体梁载荷包括:

(1) 垂向静水弯矩, 取目标舱范围内的最大许用静水弯矩;

(2) 垂向波浪弯矩, 按 CCS 《钢质海船入级规范》, 且取目标舱范围内的最大值。

4.3.3 舷外水压力包括如下水动压力和静水压力, 但任何情况下合成后的压力取值应不小于零 (小于零时取值为零):

(1) 静水压力根据 CCS 《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.3.2 计算, 但工况 4、6、7 和 11 还需考虑横倾状态时的水线倾斜引起的压力变化。

(2) 工况 1 中的水动压力根据 CCS 《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.3.3 计算, 但不考虑作用在甲板上的水动压力载荷。

(3) 工况 3 中的水线以上动压力的计算方法同 (2), 水线以下外板上任何一点的水动压力 p_{pp} 按下式计算:

$$p_{pp} = 4.5f_{nl}C\sqrt{\frac{L + \lambda - 125}{L}}\left(2\frac{|z|}{d_{LC}} + 3\frac{|2y|}{B}\right) \text{ KN/m}^2 \quad \text{当 } y \geq 0$$
$$= 1.5f_{nl}C\sqrt{\frac{L + \lambda - 125}{L}}\left(2\frac{|z|}{d_{LC}} + 3\frac{|2y|}{B}\right) \text{ KN/m}^2 \quad \text{当 } y < 0$$

式中: λ ——波长, m, 按下式计算:

$$\lambda = (0.2 + 0.4\frac{d_{LC}}{d})L \quad \text{m}$$

y ——载荷点的横向坐标, m;

f_{nl} ——非线性系数，取 0.65；

C ——波浪系数，见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章 2.2.3.1；

d_{LC} ——相应装载工况下的船中吃水，m；

d ——吃水，m；

L ——船长，m；

B ——船宽，m；

z ——计算点至基线的垂向距离，m；

4.3.4 液舱内部压力 p_i ， N/mm^2 ，根据本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.2 的方法计算得到。

计算中使用本规范第 3 篇第 4 章 4.28.2 给出的加速度分量公式。

对于各航行工况，上述各加速度分量乘以一定的系数后进行合成计算。各工况下的加速度系数(k_x , k_y , k_z)见表 4.3.6 (1)。

对于各非航行工况，计算中采用的加速度(a_x , a_y , a_z)取值见表 4.3.6 (2)。

4.3.5 计算中应考虑船体及独立舱结构的重量，可通过设置单元的材料密度并设置加速度场（含重力加速度）来考虑该影响。

4.3.6 计算工况分为航行工况和非航行工况。航行工况的工况号为 LC1~LC4，见表 4.3.6 (1)，非航行工况的工况号为 LC5~LC11，见表 4.3.6 (2)。如装载手册中还有比上述航行工况更恶劣的装载工况，则分析中也应考虑。

各工况主要特点如下：

(1) 工况 1：校核迎浪工况，外部压力最大时船体结构的强度。此时目标舱为空舱，吃水达到结构吃水，并考虑舷外水动压力（波峰）；

(2) 工况 2：校核迎浪工况下内部压力最大时船体结构的强度。此时目标舱为满舱，并考虑最大的垂向加速度；吃水取 $0.75d$ ，舷外水压力仅考虑静载荷；

(3) 工况 3：校核横浪工况下外部压力最大时船体结构的强度。此时目标舱为空舱，吃水达到结构吃水，并考虑舷外水动压力，计算方法见 4.3.3，波浪弯矩取其折减值 $0.6M_w$ (+)；

(4) 工况 4：校核横浪工况下内部压力最大时船体结构的强度。此时目标舱为满舱，并考虑最大横向加速度；吃水取 $0.75d$ ，且液舱水线考虑倾斜，以模拟横摇状态时的最大内部压力。舷外水压力仅考虑静载荷。波浪弯矩取其折减值 $0.6M_w$ (-)；

(5) 工况 5：考核单侧装载时船体结构的强度。此时仅考虑局部静载荷；

(6) 工况 6: 考核静横倾时的船体结构的强度。此时仅考虑由于静横倾引起的舷外水及舱内压力的变化, 不考虑船体梁波浪载荷。此时静水弯矩取许用静水中垂弯矩或此装载工况下的最大静水中垂弯矩, 但不应小于许用静水中垂弯矩的一半;

(7) 工况 7: 考虑静横倾船体结构的强度。此时仅考虑由于静横倾引起的舷外水及舱内压力的变化, 不考虑船体梁波浪载荷。此时静水弯矩取许用静水中拱弯矩;

(8) 工况 8: 考核碰撞工况下船体结构的强度。此时舷外水压力、总体载荷仅考虑静载荷, 液舱压力考虑液体静压力, 以及独立舱结构和液货以 (+) 0.5g 向前方作用的惯性力;

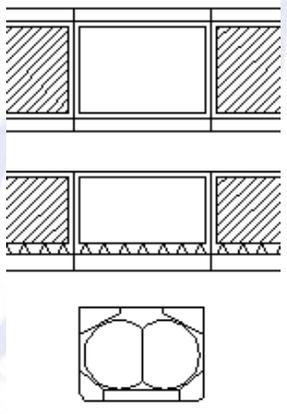
(9) 工况 9: 考核碰撞工况下船体结构的强度。此时舷外水压力、总体载荷仅考虑静载荷, 液舱压力考虑液体静压力, 以及独立舱结构和液货以 (-) 0.25g 向后方作用的惯性力;

(10) 工况 10: 考虑进水情况下止浮装置及其支撑结构的强度。此时仅考虑静载荷, 进水高度取结构吃水;

(11) 工况 11: 考虑破损进水情况下的横舱壁结构强度, 工况中平衡水线位置根据破舱计算得到。如根据初步破舱稳性计算结果, 应考虑适当裕度。

直接计算工况 (航行工况)

表 4.3.6 (1)

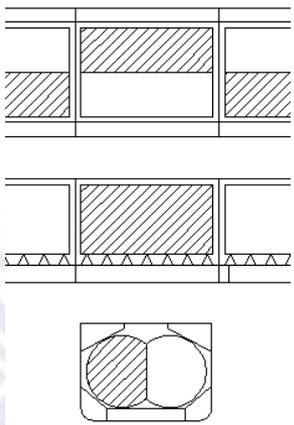
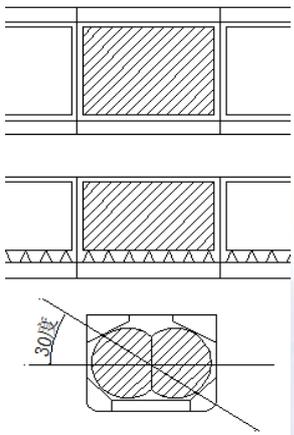
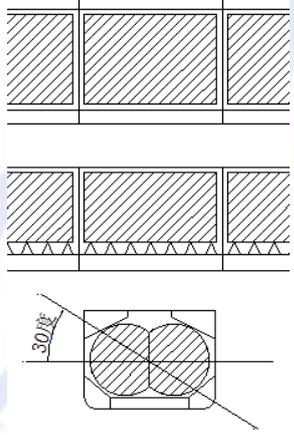
工况	吃水	外部压力 ^[1]	加速度系数 (k_x, k_y, k_z)	静水弯矩系数	波浪弯矩系数 ^[2]	装载模式
LC1	1.0d	S+D	(0, 0, 0)	1	1	

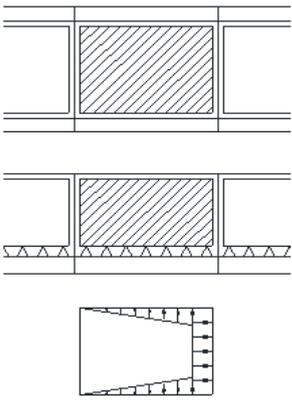
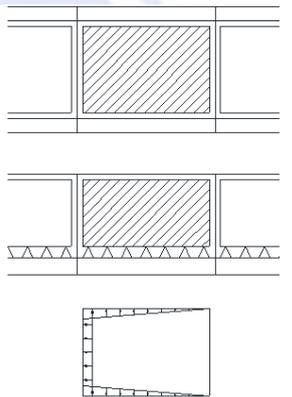
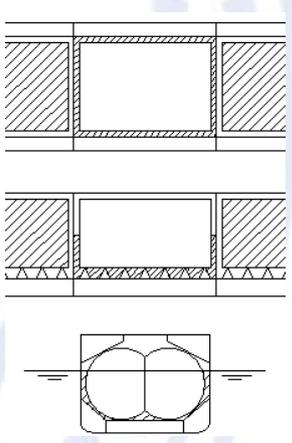
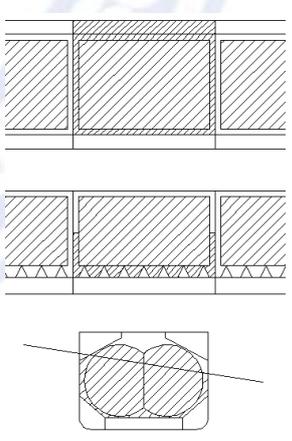
LC2	$0.75d$	S	(0, 0, 1)	-1	-1	
LC3	d	S+D	(0, 0, 0)	1	0.6	
LC4	$0.75d$	S	(0, 1, 0)	-1	-0.6	
<p>注[1]: S 表示仅考虑静压力, S+D 表示考虑动压力和静压力, 计算方法见 4.3.3;</p> <p>[2]: 该值表示计算中施加的波浪弯矩的比例, 且中拱为正, 中垂为负, 计算方法见 4.3.2。</p>						

直接计算工况 (非航行工况)

表 4.3.6(2)

工况	主载 荷	吃水	外部 压力	内部压力 (a_x, a_y, a_z)	静 水 弯 矩	波浪 弯矩	装载模式
----	---------	----	----------	-----------------------------	------------------	----------	------

LC 5	单侧 装载	$0.5d$	S	$(0, 0, 0)$	0	0	
LC 6	静横 倾	d_A 单舱 装载时 的最小 吃水	S	$(0, 0.5, 0)$	-1	0	
LC 7	静横 倾	d	S	$(0, 0.5, 0)$	1	0	

LC 8	前方碰撞	$0.75d$	S	$(0.5, 0, 0)$	1	0	
LC 9	后方碰撞	$0.75d$	S	$(-0.25, 0, 0)$	1	0	
LC 10	进水	d	S	$(0, 0, 0)$ 考虑进水对独立舱的浮力	0	0.6	
LC 11	破损	d_{flood}	S	$(0, 0, 0)$ 考虑破损后海水对横舱壁的静压力	0	0	

4.4 边界条件

4.4.1 计算时，首先分别分析结构在局部载荷和总体载荷下的响应，然后通过应力合成得到结构的工作应力。针对上述两类分析工况，分别由 4.4.2 和 4.4.3 给出边界条件。

4.4.2 局部载荷工况下的边界条件见表 4.4.2 和图 4.4.2。

局部载荷边界条件

表 4.4.2

位置	边界条件	说明
前端面	$\delta_x = 0, \theta_y = 0, \theta_z = 0$	
后端面	$\delta_x = 0, \theta_y = 0, \theta_z = 0$	
线 AA'、BB'、 CC'、DD'	垂向弹簧单元	还包括顶边舱斜板、底边舱斜板等垂向承剪构件。
线 AB、A'B'、 CD、C'D'	水平弹簧单元	仅适用于非对称工况： LC3, LC4, LC5, LC10。
E 点 (中部货舱前 后舱壁处纵中 剖面与船底板 的交点)	$\delta_y = 0$	

注：弹簧刚度按下式计算：

$$K = \frac{5GA}{6l_H n} N/mm$$

式中：G——材料的剪切弹性模量，N/mm²，对钢材，G=0.792×10⁵ N/mm²；

A——舷侧板及顶边舱斜板、底边舱斜板的有效剪切面积，mm²；

l_H——中间目标舱的长度，mm；

n——弹簧约束的节点数量。

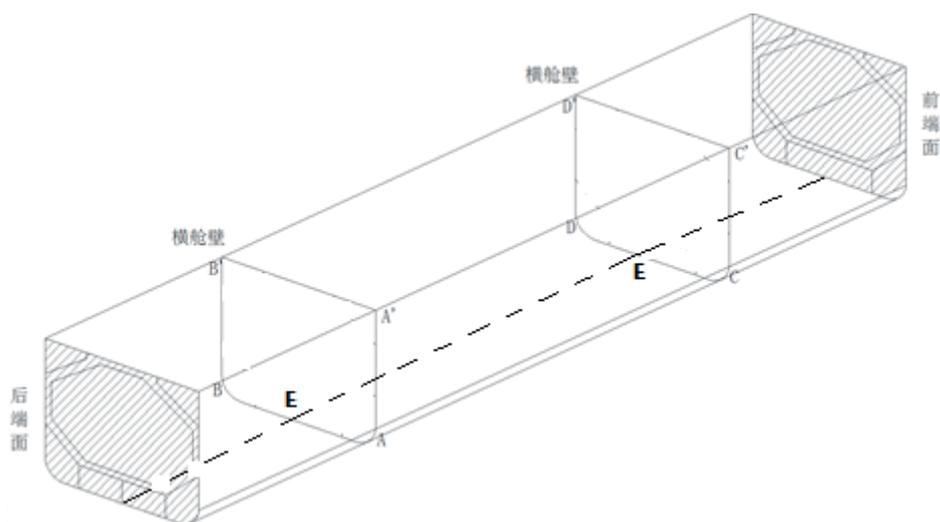


图 4.4.2 边界条件施加位置示意图

4.4.3 整体载荷工况下的边界条件见表 4.4.3 和图 4.4.2。

总体载荷边界条件

表 4.4.3

位置	边界条件	说明
后端面	$\delta_x = 0, \delta_y = 0, \delta_z = 0$ $\theta_x = 0, \theta_y = 0, \theta_z = 0$	$\delta_x, \delta_y, \delta_z$ ——分别为 x、y 和 z 方向的线位移自由 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ ——分别为 x、y 和 z 轴的角位移自由
前端面	中和轴位置建独立点 端面上各节点和独立点建 立刚性连接	
独立点	独立点上施加目标弯矩	

对于首货舱模型，在前端面施加弯矩，后端面施加表 4.4.3 中定义的后端面约束；对于尾货舱模型，在后端面施加弯矩，前端面施加表 4.4.3 中定义的后端面约束。

4.5 接受衡准

4.5.1 屈服强度

- (1) 应对船体结构进行屈服强度校核。
- (2) 对于板单元，应校核其相当应力 σ_e ，对于梁单元，校核其轴向应力 σ_a 。
- (3) 相当应力 σ_e ，按下式计算：

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： σ_x ——单元 x 方向的应力，N/mm²；

σ_y ——单元 y 方向的应力，N/mm²；

τ_{xy} ——单元 xy 平面的剪应力，N/mm²。

各工况下各结构部分的许用应力见表 4.5.1。

船体结构的许用应力，N/mm² 表 4.5.1

工况	船体结构	
	许用相当应力 [σ_e]	许用剪应力 [τ]
LC1-4	220/K	115/K
LC5	180/K	—
LC6-11	235/K	—
K——材料系数 注：对于 LC5 和 LC6-11，不必考虑对于剪应力的校核。		

4.5.2 对于船体结构，细化网格下的许用应力均为其粗网格下许用应力的 1.6 倍。

4.5.3 屈曲强度校核按照 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.9 的要求进行，各构件的标准减薄厚度见表 4.5.3 (1)。最小屈曲安全因子取值见表 4.5.3 (2)。

标准减薄厚度，mm 表 4.5.3 (1)

位置	标准减薄厚度	位置	标准减薄厚度
外壳	1.0	内底	1.0
露天甲板	1.0	实肋板及双层底纵桁	1.0
内壳结构，顶边舱，底边舱结构	2.0		

最小屈曲安全因子 表 4.5.3 (2)

工况	船体结构
LC1-4	1.1
LC5	—
LC6-7	—

LC8-10	—
LC11	—
注：对于 LC1-4 以外的工况，不必考虑屈曲强度校核。	

4.6 C型独立液货舱鞍座结构模型

4.6.1 可采用简化的“鞍座/支承构件+相邻船体结构”的三维局部模型。

4.6.2 局部模型的范围以考察对象（鞍座）为中心，沿船长方向远离鞍座纵向加强肘板端部向前（+X）和向后（-X）各取至少 2 个强框架距离。型深方向（+Z）从基线至底边舱最下平台甲板之上至少的第一个平台甲板。如按上述方法框取的模型边界上未设置结构的主要支撑构件，则模型应再延伸直至边界落在结构的主要支撑构件上，见图 4.6.2。

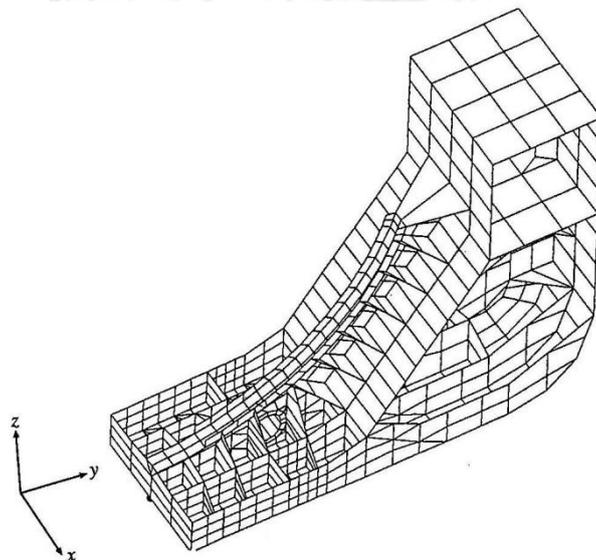


图 4.6.2 “鞍座/支承构件+相邻船体结构”的三维局部模型

4.6.3 局部模型的理想化，包括单元选取、特性及其建模网格划分等原则要求见本节 4.2。

4.6.4 局部模型的边界条件可按表 4.6.4 设置。

局部模型的边界条件设置表

表 4.6.4

自由度 支点位置	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
中纵剖面处	自由	固定	自由	固定	自由	固定
前端面	固定	固定	固定	自由	固定	固定
后端面	自由	固定	固定	自由	自由	自由

4.7 C型独立液货舱鞍座结构计算载荷工况及组合

4.7.1 载荷及组合工况规定如下：

(1) 在分析中应至少包括下列载荷分项：

- ① 货物载荷——液货舱和液货重量，应计及船舶运动引起的惯性力；
- ② 结构自重——模型中的船体结构重量，可由计算程序自动算出；
- ③ 海水压力——见 CCS《钢质海船入级规范》第2篇 1.5.3，可仅计静水压力；
- ④ 调平附加载荷——为货物载荷加上结构自重与浮力之差而设，施与船底板并于浮力叠加；
- ⑤ 液货舱和货物重量的 1/2 向前冲力和 1/4 向后冲力；
- ⑥ 船体静横倾角 30°姿态时，各有效质量沿倾斜面产生的重力分量，取 1/2 重力值；
- ⑦ 压力试验时所施加的载荷。

(2) 液货舱的惯性加速度各个分量，按本规范第3篇第4章 4.28.2 计算，式中 L_0 同本篇第 A4 章 A4.1.5 中定义的 L 。

(3) 载荷组合工况一般按表 4.7.1 取用。

载 荷 工 况 表

表 4.7.1

载荷分项 载荷工况	货物载荷			结构自重	海水压力	调平附加载荷	1/2 (舱+货)向前冲力:纵向惯性力	1/4 (舱+货)向后冲力:垂向惯性力/分力	静横倾30度:横向惯性力/分力	压力试验载荷
	a_x	a_y	a_z							
承载极限状态 (ULS): 纵摇+垂荡	1.0	/	1.0	1.0g	1.0	1.0	/	/	/	/

承载极限状态 (ULS): 横摇+垂荡	/	1.0	1.0	1.0g	1.0	1.0	/	/	/	/
承载极限状态 (ULS): 纵摇+横摇+ 垂荡	0.8	0.8	0.9	1.0g	1.0	1.0	/	/	/	/
意外极限状态 (ALS): 独立工况(1)	/	/	/	1.0g	/	/	0.5g	/	/	/
意外极限状态 (ALS): 独立工况(2)	/	/	/	1.0g	/	/	/	-0.25g	/	/
承载极限状态 (ULS): 独立工况(3)	/	/	/	0.87g	/	/	/	/	0.5g	/
意外极限状态 (ALS): 独立工况(4)	/	/	/	1.0g	/	/	/	/	/	1.0
<p>注: ① a_x、a_y、a_z——分别为按本规范第3篇第4章4.28.2计算所得船舶运动加速度各个分量, 在此, 为简化计, 取其为液货舱和液货的惯性加速度;</p> <p>② 表中数值为载荷工况组合系数(自重和惯性力已计入重力加速度)。</p>										

4.7.2 对于支承构件(鞍座), 应注意每一个固定鞍座和活动鞍座对线位移的约束作用。该作用将影响液货舱(包括液货)载荷水平分量在鞍座上的分配量。

4.7.3 可按正弦/余弦函数的分布形式模拟液货舱向鞍座的施载方式, 见图4.7.3, 其中, P_z 和 P_y 分别为液货舱的垂向和横向力分量。

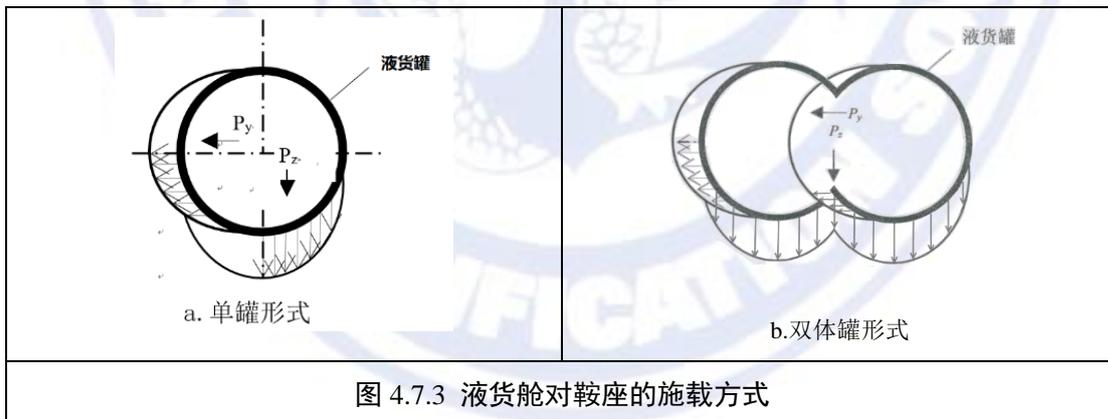


图 4.7.3 液货舱对鞍座的施载方式

4.8 C型独立液货舱鞍座结构强度衡准

4.8.1 强度衡准可按本节4.5。且表4.7.1中的“极限工况”的强度衡准对应于表4.5.1

中的“LC1~LC4”之值，“碰撞工况”和“试验工况”对应于表 4.5.1 中的“LC6- LC 11”之值。

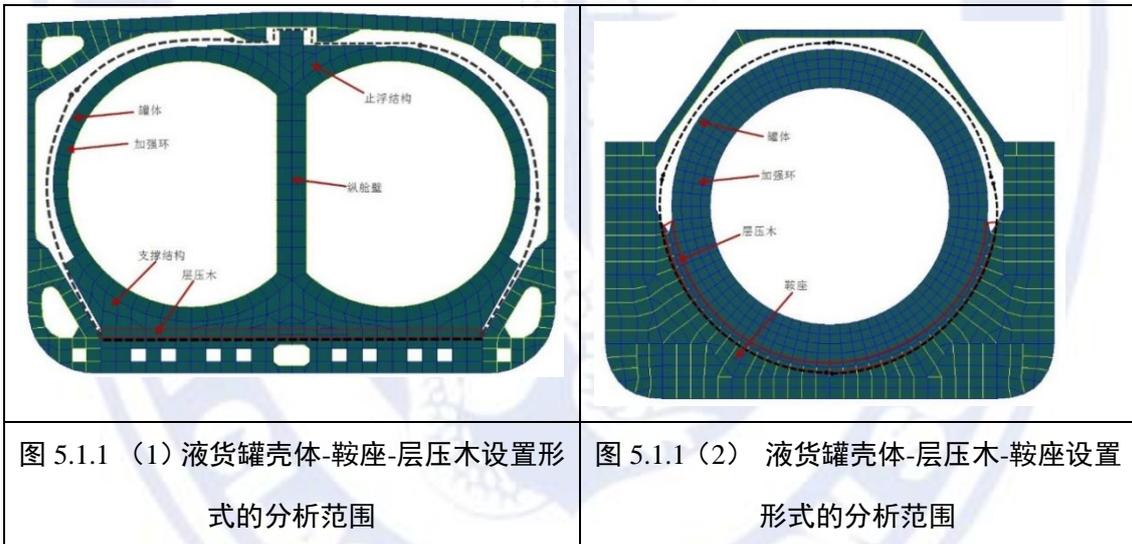
4.8.2 如局部较小范围内区域的应力水平过大，可取所计算单元和与其连接节点所属单元应力的平均值。

4.8.3 鞍座温度场分析要求见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 24 节或本附录第 6 节（如适用）。

第 5 节 C 型独立液货舱及其直接相连的支承结构强度直接计算

5.1 一般要求

5.1.1 本节要求适用于 C 型独立液货罐以及与之直接相连的支承结构和层压木的强度直接计算，主要包括：液货罐壳体、加强环、制荡舱壁（如有时）、纵舱壁（如有时）和液货罐壳体支承结构，包括层压木，见图 5.1.1（1）。对于连接在内底上与液货罐壳体通过层压木隔开的鞍座支承结构，如图 5.1.1（2）所示的虚线之外区域，按本附录第 4 节有关要求进行评估。



5.1.2 本节计算中，对于几何非线性接触分析的计算（见 5.4.1），应采用公认的非线性有限元软件，也可按本附录第 4 节 4.2.3（1）方法进行。

5.2 设计载荷

5.2.1 设计载荷按本规范第 3 篇第 4 章 B 部分“设计载荷”有关要求。

5.2.2 液货罐内部压力按本规范第 3 篇第 4 章 4.13.2 和 4.28.1 要求，其中，对单体、双

体和三体罐式独立液货罐内部压头 P_{gd} 的确定，见本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.2 及 CCS4.28.1.2 (1)、CCS4.28.1.2 (2) 和 CCS4.28.1.2 (3)。

5.2.3 当 C 型独立液货罐可能出现 20%~90% 充装高度的部分装载工况时，应计及不低于计算公式所得的晃荡载荷作用，且规定如下：

- (1) 晃荡载荷的计算见 CCS 《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》第 2 节相关公式；
- (2) 晃荡压力取为各充装高度下“水平二”的最大晃荡动载荷 P_{smax} ，在整个罐深范围内均匀分布，且与最大静载荷 P_{0max} 叠加后施加于液货罐，见图 5.2.3；

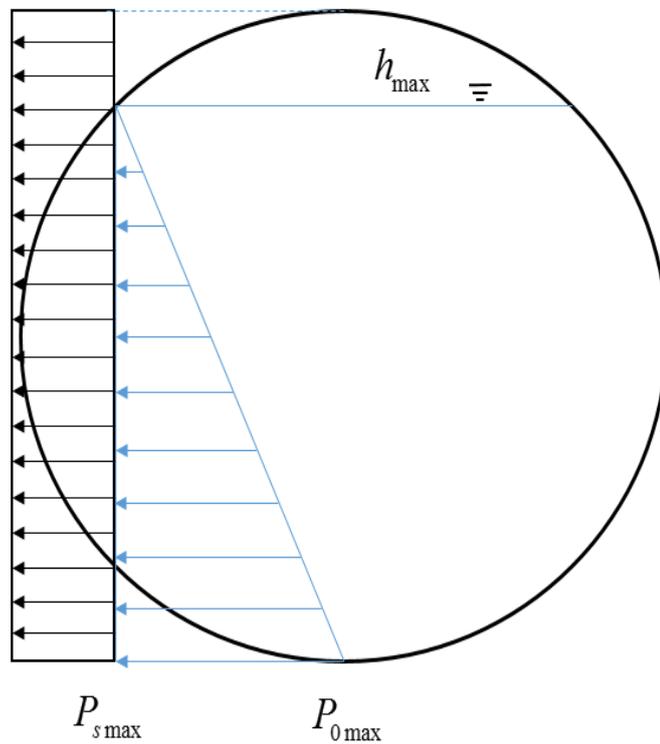


图 5.2.3 晃荡压力的分布假定

- (3) 晃荡分析时，对于单体罐和双体罐，液货罐的计算尺度取为单个罐体的尺度，对于三体罐，液货罐的计算尺度按照上层 1 个罐体与下层 2 个罐体组合形成的空间考虑；
- (4) C 型独立液货罐的晃荡分析不必考虑“水平三”的晃荡运动作用。

5.3 结构模型

5.3.1 有限元模型的范围为一个完整的 C 型独立液货罐壳体以及鞍座/支承结构，如图 5.1.1 (1) 虚线以内的区域。

5.3.2 模型的单元选择和网格划分应遵循以下原则：

- (1) 独立液货罐模型的壳体、加强环腹板，以及与壳体连接的鞍座板件等采用板单元

模拟，加强环面板采用梁单元或板单元模拟，层压木采用实体单元模拟；

(2) 壳体粗网格模型的单元尺寸一般取为 $R/30$ ，其中， R 为独立液货罐的半径，mm，见图 5.3.2 (2) ①和图 5.3.2 (2) ②。层压木网格尺寸一般取 $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 。层压木的弹性模量、泊松比和密度按实际的材料取用；

(3) 对于壳体开口处周围、连接、制荡舱壁处等结构较为复杂的特殊位置，为准确描述该类结构区域的构造细节，应采用细化模型模拟，网格尺寸一般取为 $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 。细化网格区域的范围应由校核区域向各个方向延伸不少于 10 个单元，参见图 5.3.2 (3)；

(4) 液货罐的加强环腹板在高度方向上一般应至少划分 3 个单元；

(5) 模型中的板单元应尽可能使用四节点板单元，且板单元长宽比应不超过 4。在高应力和开孔周围、肘板连接处和折角连接处等应力梯度变化较大的区域，板单元的长宽比应尽可能接近 1。如不得不使用三角形单元，应避免使用钝角三角形单元；

(6) 不同网格密度的边界应保持平缓过渡。

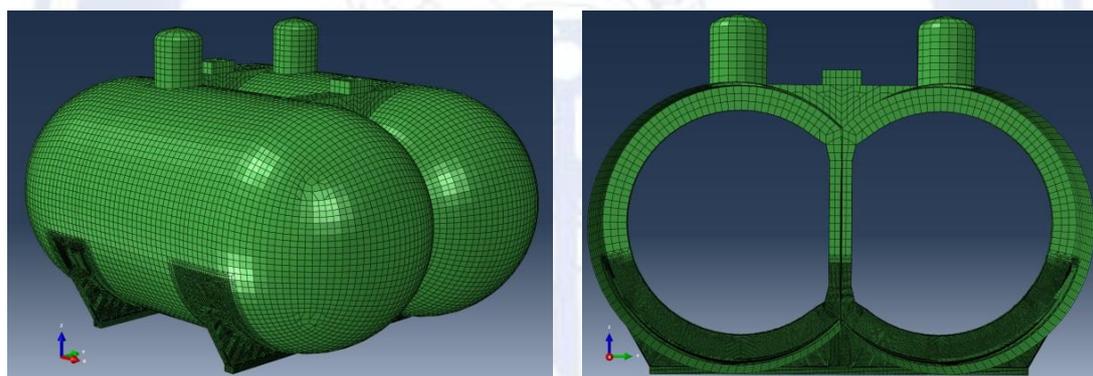


图 5.3.2 (2) ① 双体式独立液罐有限元模型

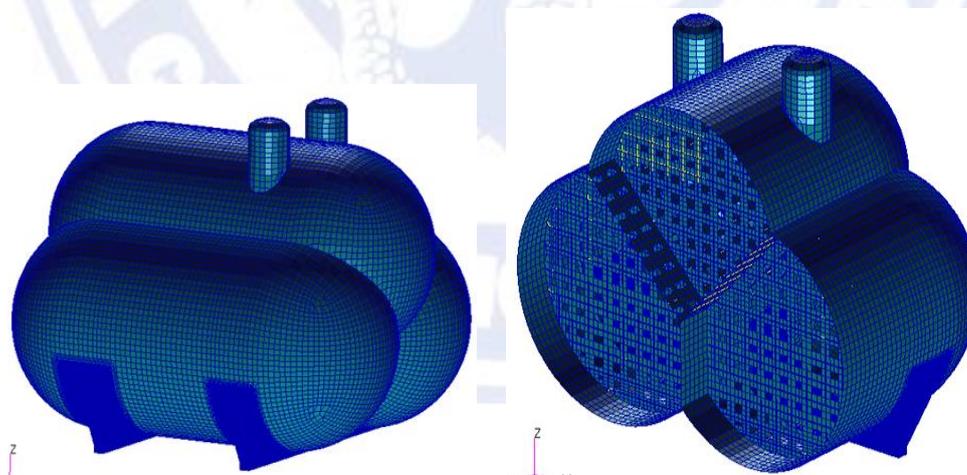


图 5.3.2 (2) ② 三体式独立液罐有限元模型

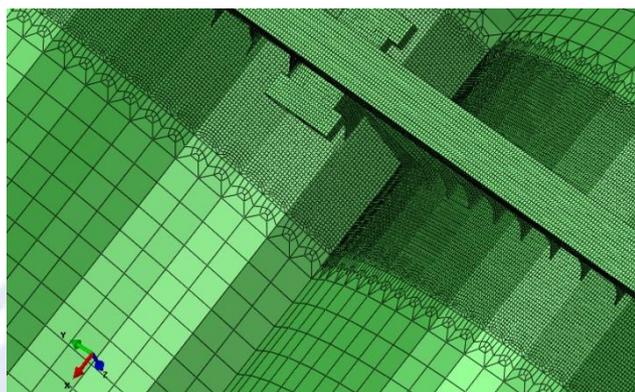


图 5.3.2 (3) 局部细化网格有限元模型

5.3.3 有限元模型的坐标系统取右手坐标系，即：

- (1) x 方向为船长方向，以向船首方向为正；
- (2) y 方向为船宽方向，以向左舷方向为正；
- (3) z 方向为船体的垂向，以基线向上为正。

5.3.4 模型构件尺寸基于建造厚度，但不包括船东自愿增加厚度。

5.4 边界条件

5.4.1 支承结构的边界约束条件分为层压木接触条件（见 5.4.2）和与船体连接处的约束条件（见 5.4.3）。

5.4.2 对于图 5.1.1 (2) 所示的罐体与层压木之间，以及图 5.1.1 (1) 所示的支撑结构与层压木之间的连接应设置接触条件，接触类型为面-面接触。接触切向设置为“无摩擦”，接触法向设置为“不可穿透”。如考虑软件非线性计算求解的稳定性，可将接触切向设置为摩擦系数 0.001。

5.4.3 在与船体的连接处，结构边界条件应设为刚性约束。

5.5 计算工况

5.5.1 C 型独立液货罐结构强度有限元直接计算工况见表 5.5.1。对于可能出现表 5.5.1 以外更严重的其他工况，以及大型罐体的施工吊装工况，还应进行相应的结构强度直接计算。

C 型独立液货罐结构强度有限元直接计算工况

表 5.5.1

序号	计算工况	工况描述
1	承载极限状态：静横倾工况	0°/10°/20°/30°的船舶静横倾姿态、独立液货罐壳体自重、液货自重、蒸气压力和液货罐最低温度 ^[1] 。
2	承载极限状态：横摇工况	0°/10°/20°船舶运动时的最大横摇角、液货罐壳体自重、液货自

		重, 液货动压力、蒸气压力和液货罐最低温度 ^[1] 。
2a	承载极限状态: 纵摇工况	0°船舶运动时的最大纵摇角、液货罐壳体自重、液货自重, 液货动压力、蒸气压力和液货罐最低温度 ^[1] 。
3	意外极限状态: 碰撞工况	(1) 惯性载荷<0.5g, 0, 0>、液货罐壳体自重、液货自重、蒸气压力和液货罐最低温度 ^[1] ; (2) 惯性载荷<-0.25g, 0, 0>、液货罐壳体自重、液货自重、蒸气压力和液货罐最低温度 ^[1] 。 注: 如液货罐与支承结构的前后端对称, 则只需考虑(1)。
4	舱室试验工况: 试验工况	试验载荷(见本规范第3篇第4章4.23.6.1)、液货罐壳体自重、液货自重。
5	承载极限状态: 晃荡工况	晃荡载荷、液货罐壳体自重、液货自重、蒸气压力和液货罐最低温度 ^[1] 。
注[1]: 见本附录第1节对温度分析有关规定。		

5.6 强度衡准

5.6.1 校核目标为: 液货罐与其支承结构连接区域处的壳体, 以及其他高应力水平的局部结构区域(如双体、三体罐的Y形节点处等), 液货罐附属构件(如加强环、舱壁、鞍座支承构件)和鞍座承压木。

5.6.2 各构件的应力衡准规定如下:

(1) 罐体的许用应力, 见本规范第3篇第4章4.23.3.1。基于上述应力校核准则, 对于有限元直接计算方法, 相关应力衡准可按表5.6.2(1);

(2) 罐体附属部件及支撑结构的应力衡准, 见表5.6.2(2)。

罐体应力衡准（适用于有限元直接计算）

表 5.6.2 (1)

校核部位	模型网格	应力衡准
(1) 远离结构不连续处的较大区域	粗网格：单元尺寸： $R/30$ ， R ——为单个液罐半径，mm	(1) $\sigma_e \leq f/S$
(2) 支座/Y 型接头处 S_1 范围内的局部小区域。 S_1 和 S_2 的定义见本规范第 3 篇第 4 章 4.28.3.8。	细网格：单元尺寸： 50×50 mm； 精细网格（仅用于精细实体单元）：单元尺寸： $t \times t/4$ mm	一般情况，按 (2)、(3)；对试验工况，按 (4)； (2) $\sigma_e \leq 1.5f/S$ ，但当 $\sigma_e \geq 1.2f/S$ 时，应考虑采用精细实体单元模型另行校核，并可替代细网格模型计算结果。具体校核方法见本节 5.7； (3) $\sigma_e^{\pm/\mp} \leq 3f$ ，范围符合： $\begin{cases} S_1 \leq 0.5\sqrt{Rt} \\ S_2 \geq 2.5\sqrt{Rt} \end{cases}$ 的条件下； (4) $\sigma_e \leq 0.9R_{eH}$
注：表中符号定义如下： σ_e ——单元中面的相当应力值， N/mm^2 ， $\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$ ， 其中： σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} ——分别为单元 x 方向、y 方向的应力，以及 xy 平面的剪应力， N/mm^2 ； $\sigma_e^{\pm/\mp}$ ——单元上/下表面的相当应力值的大者， N/mm^2 ； f —— R_m/A 和 R_e/B 的小者，其中，A、B 和 R_m 、 R_e ，分别见本规范第 3 篇第 4 章 4.23.3 和 4.18.1.3。 S ——安全系数，对承载极限状态工况， $S=1.00$ ；对意外碰撞工况和试验工况， $S=0.8$ ；		

R_{eH} ——材料屈服应力, N/mm^2 。

罐体附属部件及支撑结构的应力衡准和屈曲要求

表 5.6.2 (2)

校核部位	应力衡准及有关要求
(1) 支座处的加强环筋	<p>(1) 对于用碳锰钢制造, 由鞍座支持的水平筒形罐, 如果采用有限元方法计算, 则加强环筋的相当应力 σ_e, 应满足下式:</p> $\sigma_e \leq [\sigma]$ <p>式中: $[\sigma]$ ——许用相当应力, N/mm^2, $[\sigma] = \min(0.57R_m, 0.85R_e)$;</p> $\sigma_e \text{ ——相当应力, } N/mm^2, \quad \sigma_e = \sqrt{(\sigma_n + \sigma_b)^2 + 3\tau^2};$ <p>其中: σ_n ——加强环筋的环向正应力, N/mm^2;</p> $\sigma_b \text{ ——加强环筋的环向弯曲应力, } N/mm^2;$ $\tau \text{ ——加强环筋中的剪应力, } N/mm^2;$ <p>实际计算时, σ_e 取加强环筋单元的 $\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$, 且校核单元必须包括加强环筋腹板高度方向上的最高和最低一个单元;</p> $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy} \text{ ——分别为单元 } x \text{ 方向、} y \text{ 方向的应力, 以及 } xy \text{ 平面的剪应力, } N/mm^2;$

	<p>R_m、R_e—— 见本规范第3篇第4章4.18.1.3中的定义。</p> <p>(2) 相当应力数值σ_e应采用本节规定的分析流程，对加强环筋整个覆盖范围予以计算。</p> <p>(3) 应对罐体支座处的罐体加强筋腹板板格进行屈曲强度校核，其中，加强筋腹板板格可近似模拟为矩形板格，最小屈曲安全因子取为1.0，其余要求见CCS《钢质海船入级规范》第2篇第1章附录1.5.8。</p>
(2) 鞍座垫木	<p>对于鞍座的层压木，基于50×50×50 mm 实体单元模型的强度衡准如下：</p> $\sigma_c \leq [\sigma_c]$ $\tau_c \leq [\tau_c]$ <p>式中：σ_c——层压木各个工况下的最大压应力值，N/mm²； τ_c——层压木各个工况下的最大剪应力值，N/mm²，计算时取0.3σ_c； $[\sigma_c]$——层压木的许用压应力，N/mm²，$[\sigma_c] = P_s/S$； $[\tau_c]$——层压木的许用剪应力，N/mm²，$[\tau_c] = \tau_s/S$； P_s——层压木的抗压强度安全工作应力，N/mm²，从材料强度相关试验的数据资料中得到； τ_s——层压木的剪切强度安全工作应力，N/mm²，从材料强度相关试验的数据资料中得到； S——安全系数，对承载极限状态工况，S=3.5；对意外碰撞工况和试验工况，S=1.5。</p>
(3) 鞍座处的支撑钢材	<p>对于图5.1.1(2)形式的液货罐鞍座支撑结构的强度衡准，见本附录第4节4.5，且本节中的“极限工况”的强度衡准对应于本附录第4节表4.5.1中的“LC1~LC4”之值，“碰撞工况”和“试验工况”对应于本附录第4节表4.5.1中的“LC6-LC11”之值。</p>
(4) 罐体内的舱壁板结构	<p>参照上述(3)。</p>

5.7 基于应力线性化的有限元强度评估

5.7.1 本小节给出压力容器应力线性化的实体单元分析方法。

5.7.2 基于应力线性化的有限元强度分析的载荷工况同本节 5.5。

5.7.3 实体单元模型基于精细网格尺度。典型的实体单元（4层 20节点）模型的范围和网格尺寸（ $t \times t \times t/4$, t 为罐体厚度）见图 5.7.3（1）和图 5.7.3（2）。

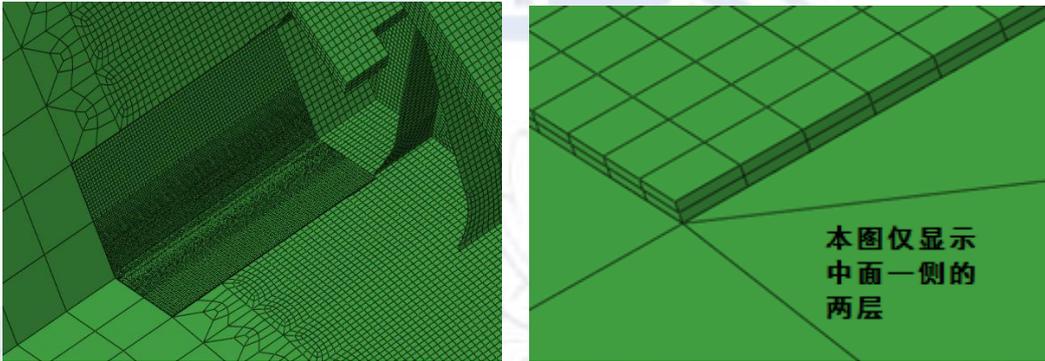


图 5.7.3（1）4层 20 节点实体单元模型图 图 5.7.3（2）4层 20 节点（局部放大）

5.7.4 可采用“子结构”或“嵌入”方法进行实体单元的应力分析。

5.7.5 应力分类及线性化如图 5.7.5 所示。可采用基于应力积分的方法进行应力线性化处理。单元上的薄膜相当应力 σ_m 和薄膜+弯曲的相当应力 $\sigma_{m+b}^{t/2}$ 求解的主要步骤如下：

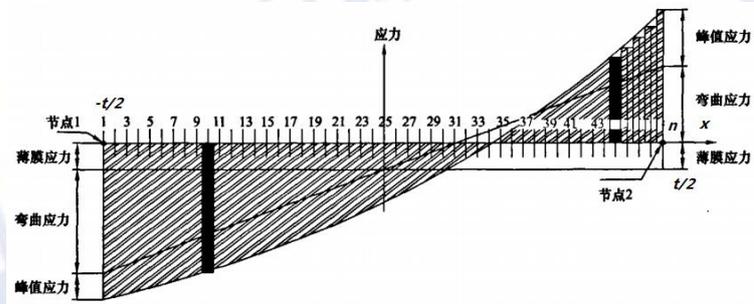


图 5.7.5 应力分类及应力线性化示意

(1) 确定沿厚度方向的应力分类线位置；

(2) 提取应力分类线上节点的 6 个应力分量 σ_{ij} ($i=1,2,3; j=1,2$)，作为应力分类线上的应力分布的插值函数值，然后将应力分类线分为 n (如 $n=40$) 等分，再通过插值方法得到应力分类线上 $(n+1)$ 个等分点的应力张量 $\sigma_{ij,1}, \sigma_{ij,2}, \dots, \sigma_{ij,n}, \sigma_{ij,(n+1)}$ ；

(3) 计算薄膜应力张量 $\sigma_{ij,m}$ ：

$$\sigma_{ij,m} = \frac{1}{t} \int_0^t \sigma_{ij} dx$$

(4) 计算弯曲应力张量 $\sigma_{ij, b}$:

$$\sigma_{ij, b}^{\text{上/下}} = \pm \frac{6}{t^2} \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{ij} \cdot x dx$$

式中: $\sigma_{ij, b}$ ——应力分类线端点的 6 个弯曲应力分量;

t ——厚度,如图 5.7.5 所示;

x ——等分点距离厚度中心线的距离。

(5) 计算薄膜应力分量和弯曲应力分量的合成 $\sigma_{ij, m+b}$:

$$\sigma_{ij, m+b}^{\text{上/下}} = \sigma_{ij, m} + \sigma_{ij, b}^{\text{上/下}}$$

(6) 以薄膜和薄膜+弯曲应力分量为基础, 计算在应力分类线中面和上/下端部处对应的相当应力:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11, m} - \sigma_{22, m})^2 + (\sigma_{22, m} - \sigma_{33, m})^2 + (\sigma_{33, m} - \sigma_{11, m})^2 + 6(\sigma_{12, m}^2 + \sigma_{23, m}^2 + \sigma_{31, m}^2)]}$$

$$\sigma_{m+b}^{\text{上/下}} = \sqrt{\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{11, m+b}^{\text{上/下}} - \sigma_{22, m+b}^{\text{上/下}})^2 + (\sigma_{22, m+b}^{\text{上/下}} - \sigma_{33, m+b}^{\text{上/下}})^2 + (\sigma_{33, m+b}^{\text{上/下}} - \sigma_{11, m+b}^{\text{上/下}})^2 + 6\left[(\sigma_{12, m+b}^{\text{上/下}})^2 + (\sigma_{23, m+b}^{\text{上/下}})^2 + (\sigma_{13, m+b}^{\text{上/下}})^2\right]\right\}}$$

式中: σ_m ——薄膜相当应力, 见图 5.7.5;

$\sigma_{m+b}^{\text{上/下}}$ ——应力分类线上/下端点的薄膜+弯曲相当应力, 见图 5.7.5。

5.7.6 基于应力线性化的有限元强度分析的强度衡准见表 5.6.2(1)的细网格要求, 其中,

σ_m 对应于 σ_e , $\sigma_{m+b}^{\text{上/下}}$ 对应于 $\sigma_e^{\text{上/下}}$ 。个别情况下, 经 CCS 同意, 可做适当调整。

第 6 节 C 型独立舱区域温度场简化计算及热应力计算和钢级选取

6.1 一般要求

6.1.1 对于采用非常规设计的 C 型独立罐 (如双体罐和三体罐), 或对 C 型独立罐区域温度分布及其应力分析有特殊要求 (适用本规范第 3 篇第 4 章 4.23.2.5.3) 时, 可按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 24 节, 或可按本节要求进行 C 型独立舱液化气船在液货低温作用下的液货舱区域温度场预报分析、热应力计算, 以及低温影响下钢材的级别选取。

如采用不同于本节规定的方法进行上述计算, 应经 CCS 同意。

6.1.2 船体温度场计算用于两个目的:

- (1) 选取船体钢板的钢级;
- (2) 船体热应力计算。

6.1.3 温度场计算应采用 6.2 至 6.4 所给出的方法或经 CCS 认可的其它方法。

6.1.4 对于按本节要求的分析计算，应提交如下图纸和计算资料备查：

- (1) 绝热层构造图、布置图及连接详图（如适用）；
- (2) 热工系数；
- (3) 热分析和温度场预报计算报告；
- (4) 与上述计算有关的船体结构图纸。

6.2 温度场计算假定

6.2.1 本节的温度场计算采用简化计算方法，即采用将船体及液货罐系统的三维传热简化为一维传热方式进行温度场计算。

6.2.2 温度场计算考虑的传热方式包括传导、对流和辐射。

6.2.3 对于液货罐基座温度场计算，假定仅以传导方式为主导，忽略对流和辐射传热。

6.3 温度场计算外部环境

6.3.1 一般按以下原则选取外部环境工况：

- (1) 对于全球航行的船舶，一般采用 IGC 环境工况；
- (2) 对于在美国海域（除阿拉斯加）航行的船舶，采用 USCG 工况；在阿拉斯加海域航行，采用 USCG（阿拉斯加海域）工况；
- (3) 对于在其他寒冷区域航行和/或满足 PC 级（极地船级）的船舶，按港口国主管机关或船旗国的有关规定/极地规范及冰级和设计温度的要求（如有）给出的其它计算工况。
- (4) 各外界环境工况的参数见表 6.3.1。

各种环境工况

表 6.3.1

	IGC	USCG (除阿拉斯加海 域)	USCG (阿拉斯加海 域)	最高环境设计温度 (见本规范第 3 篇 第 7 章 7.2)
空气温度 (°C)	5	-18	-29	45
海水温度 (°C)	0	0	-2	32
风速 (kn)	0	5	5	0

6.3.2 若船舶在特热或特冷区域营运的环境温度超出表 6.3.1 范围，设计温度应视具体

情况予以调整。

6.3.3 计算温度场时, 舷外水线位置一般取装货工况下的最小吃水位置, 用于确定海水对流边界条件和外界空气对流边界条件的施加区域。

6.4 温度场计算方法

6.4.1 对于船体及液货罐各部分的温度场简化计算, 按 6.4.2 进行; 对于液货罐基座温度场计算, 按 6.4.3 进行。

6.4.2 船体及液货罐各部分的温度场简化计算模型如表 6.4.2 所示。按表 6.4.2 对未知量进行求解, 即可得到表中所列各部分结构的温度。表中 6.4.2 中的一些计算参量见 6.4.2 (1) ~6.4.2 (4), 有关说明见 6.4.2 (5) ~6.4.2 (6):

(1) 由自由对流引起的空气与板结构之间的传热热流密度 P_{cnv} , 按下式计算:

$$P_{cnv} = \alpha(\Delta T_{cnv})^{\frac{5}{4}} \quad \text{W/(m}^2\text{)}$$

式中: ΔT_{cnv} ——板与空气之间的温度差绝对值, K;

α ——与板方向有关的系数, $\text{W/(m}^2 \text{K}^{5/4}\text{)}$, 按下式选取:

$\alpha = 1.60$	对于垂直板;
$= 2.49$	对于水平板且热流向上时;
$= 1.31$	对于水平板且热流向下时;
$= 1.60 + 0.89\sin\theta$	对于倾斜板且热流斜向上时;
$= 1.60 - 0.29\sin\theta$	对于倾斜板且热流斜向下时;

其中: θ ——倾斜板与垂直面的夹角, ($^{\circ}$);

(2) 两个船体或液货罐结构面之间的辐射换热热流密度 P_{rad} , 按下列各式计算:

$$P_{rad} = C_r(T_1^4 - T_2^4) \quad \text{W/(m}^2\text{)}$$

式中: C_r ——系数, 按下式计算:

$$C_r = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad \text{对于两平行板;}$$
$$= \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2}(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1)} \quad \text{对于大圆柱体包围小圆柱体的情况;}$$

其中: σ ——史蒂芬-波尔茨曼常数, 取为 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{K}^4\text{)}$;

ε_1 、 ε_2 ——分别为小圆柱体和大圆柱体的表面发射率, 对于船体板取 0.7;

A_1 、 A_2 ——分别为小圆柱体和大圆柱体的面积, m^2 ;

T_1 、 T_2 ——两个面的各自热力学绝对温度，K，按下列两式计算：

$$T_1 = t_1 + 273.15$$

$$T_2 = t_2 + 273.15$$

其中： t_1 、 t_2 ——分别为与 T_1 、 T_2 相对应的摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

(3) 船体外板与外界环境之间的辐射换热热流密度 P_{ro} ，按下式计算：

$$P_{ro} = \varepsilon\sigma(T_3^4 - T_4^4) \quad \text{W}/(\text{m}^2)$$

式中： σ ——史蒂芬-波尔茨曼常数，取为： $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$ ；

ε ——船体外板的表面发射率，取 0.7；

T_3 、 T_4 ——外界环境和船体外板的各自热力学绝对温度，K，按下列两式计算：

$$T_3 = t_3 + 273.15$$

$$T_4 = t_4 + 273.15;$$

其中： t_3 、 t_4 ——分别为与 T_3 、 T_4 相对应的摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

(4) 一维热传导热流密度 P_{cnd} ，按下式计算：

$$P_{cnd} = \frac{\lambda}{s} \Delta T_{cnd} \quad \text{W}/(\text{m}^2)$$

式中： λ ——材料的热传导系数， $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；

s ——导热体在热传导方向的长度，m；

ΔT_{cnd} ——导热体两端的温差，K；

(5) 当船体和液货舱钢板的侧面与海水或液化天然气（LNG）等液体直接接触时，钢板温度取为液体的温度；

(6) 舱室内气体温度取为两侧结构温度的平均值。

6.4.3 对于液货罐基座结构的温度场分析，基于热传导方式（假定忽略对流和辐射影响），位于双层底之上典型的鞍座及其支承结构（包括各部分支承垫块）热阻布置及温度场计算模型如图 6.4.3（1）所示。根据热阻和温度的关系，该温度场简化计算模型见图 6.4.3（2），且对于某一部件（“部件 4”），上、下两端点的温度 t_1 和 t_2 ，可按下列两式计算得出：

$$t_1 = t_c + \frac{R_U + R_4}{R_U + R_4 + R_L} (t_{out,w} - t_c), \quad (^{\circ}\text{C})$$

$$t_2 = t_c + \frac{R_U}{R_U + R_4 + R_L} (t_{out,w} - t_c), \quad (^{\circ}\text{C})$$

式中： R_U 、 R_L ——如图 6.4.3（2）中，按串、并联关系分别合成的“部件 4”上、下部虚框中的等效热阻，按下列两式计算：

$$R_U = \frac{1}{2(R_6 + R_7)^{-1} + 2(R_8 + R_{10})^{-1} + (R_5 + R_9 + R_{11})^{-1}}$$

$$R_L = \frac{1}{2(R_2 + R_3)^{-1} + R_1^{-1}}$$

t_c ——液货温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{out,w}$ ——海水温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

其中： $R_i = \frac{L_i}{\lambda_i B_i}$ ， $i=1,2,\dots,11$ ——结构或支承垫块各部分的热阻， $(\text{W/K})^{-1}$ ；

L_i ——热阻 i 在热流方向的长度， m ；

B_i ——热阻 i 在垂直于热流方向的宽度， m^2 ；

λ_i ——热阻 i 的热传导系数， $\text{W}/(\text{m K})$ 。

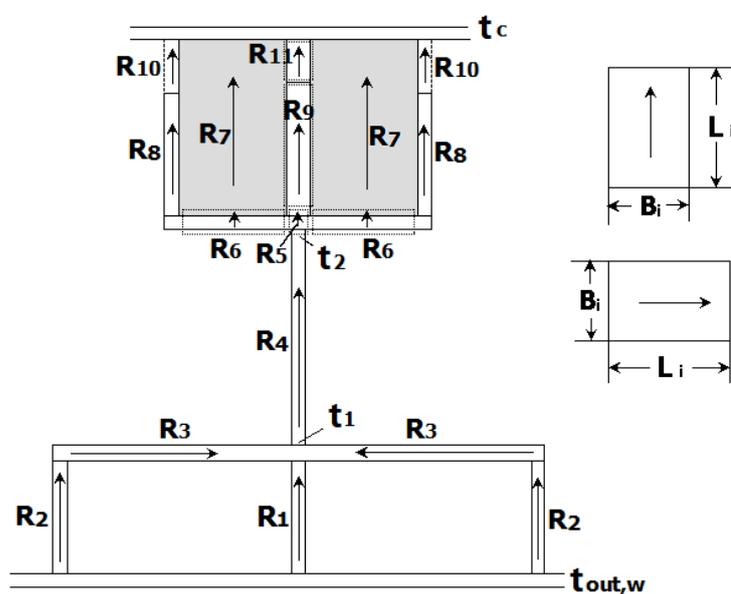


图 6.4.3 (1) 鞍座结构热阻模型 (箭头为热流方向)

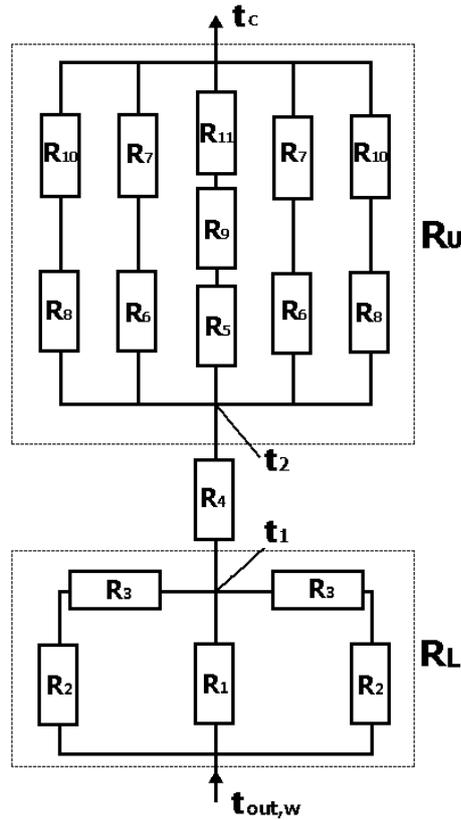


图 6.4.3 (2) 鞍座的温度场简化计算模型 (箭头为热流方向)

6.4.4 对于结构热阻布置形式不同于 6.4.3 中所示的液货罐基座,可参考 6.4.3 中应用的传热学原理进行计算。

6.5 液货罐支持构件及附件的热应力计算

6.5.1 当设计中考虑实施本规范第 3 篇第 4 章 4.13.4.2 时,应基于按本节计算的温度场结果作为温度载荷,施加到相关液货罐支持构件及附件的结构计算模型和相关工况中进行包括热应力的强度分析。强度校核的有关衡准可参考本附录第 5 节 5.5。

6.5.2 进行热应力分析时,应特别注意对结构计算模型的边界约束模拟。

6.6 钢级的选取

6.6.1 液货罐体材料的选择按本规范第 3 篇第 6 章表 6.1、6.2 和 6.4 以及 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 7 节的相关规定。

6.6.2 满足本规范第 3 篇第 4 章 4.19.1.2 和 4.19.1.3 要求的船体材料钢级的选取应按本规范第 3 篇第 6 章表 6.5 选取。

6.6.3 满足本规范第 3 篇第 4 章 4.19.1.4 要求的船体材料还应满足本规范第 3 篇第 6 章

表 6.5 和 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 7 节的相关规定。

6.6.4 在选取钢级时，不同环境工况的应用范围根据表 6.6.4 确定。

选取钢级的应用范围

表 6.6.4

	IGC	USCG (除阿拉斯加海 域)	USCG (阿拉斯加海域)	最高环境设计温度 (见本规范第 3 篇第 7 章 7.2)
选取钢级 应用范围	货舱区 全部范围	货舱区内壳 及其相连接构件	货舱区内壳 及其相连接构件	N/A

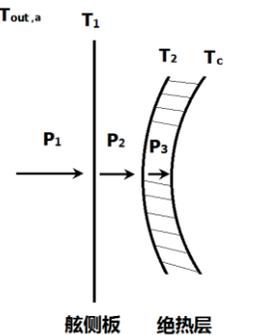
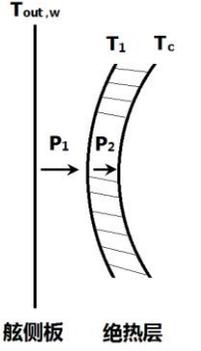
注：N/A 为不适用。

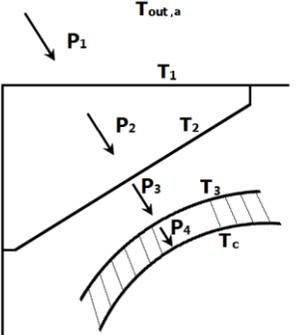
温度场简化模型计算表

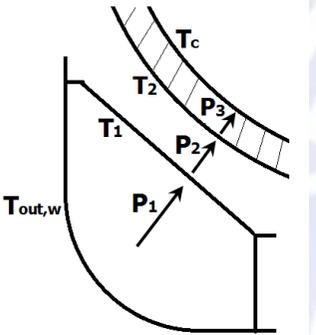
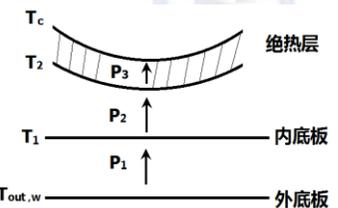
表 6.4.2

注：1. 表中的每组关系式组成一个方程组。未知量需要根据方程组进行数值求解；
2. 表中：
- 带有“*cnv*”下标的符号为对流热密度，计算参数见 6.4.2 (1)；
- 带有“*rad*”下标的符号为船体板之间的辐射热密度，计算参数见 6.4.2 (2)；带有“*ro*”下标的符号为船体外板与外界环境之间的辐射热密度，计算参数见 6.4.2 (3)；
- 带有“*cnd*”下标的符号为热传导热密度，计算参数见 6.4.2 (4)；
3. 表中的温度 *T* 采用的是热力学绝对温度 (K)，与摄氏温度的关系为 $T=273.15+t$ 。其中 *t* 为摄氏温度 (°C)。

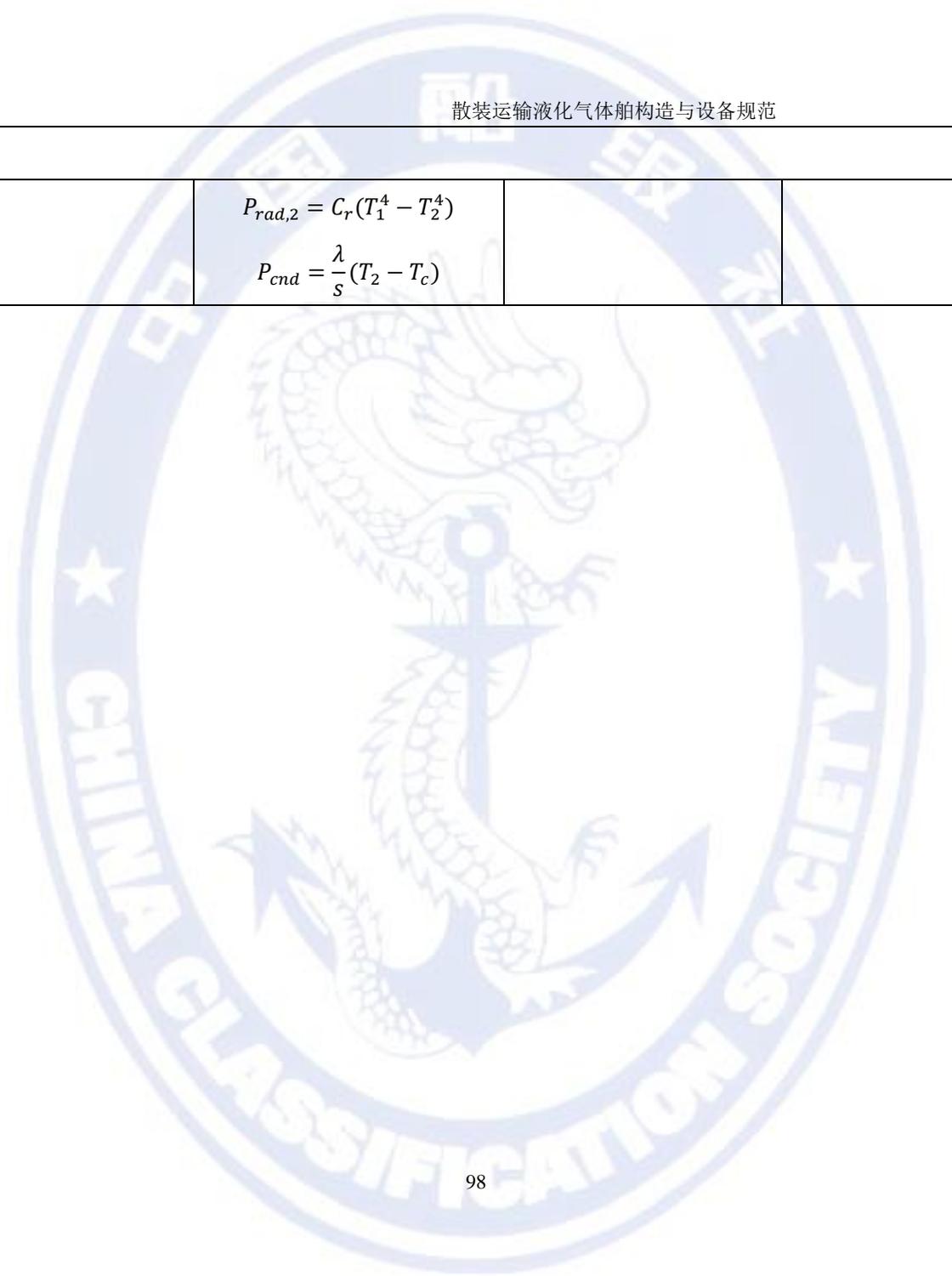
位置	传热图示	关系式	对流与辐射类型	已知量	需要求解的未知量
甲板		$P_1 = P_{cnv,1} + P_{ro}$ $P_2 = P_{cnv,2} + P_{rad,2}$ $P_3 = P_{cnd}$ $P_1 = P_2 = P_3 ;$ $P_{cnv,1} = \alpha(T_{out,a} - T_1)^{\frac{5}{4}}$ $P_{cnv,2} = 0.42\alpha(T_1 - T_2)^{\frac{5}{4}}$ $P_{ro} = \varepsilon\sigma(T_{out,a}^4 - T_1^4)$ $P_{rad,2} = C_r(T_1^4 - T_2^4)$ $P_{cnd} = \frac{\lambda}{s}(T_2 - T_c)$	$P_{cnv,1}$ 、 $P_{cnv,2}$ ： 水平板热流向下 $P_{rad,2}$ ：两平行板	$T_{out,a}$ ：外部空气温度 T_c ：液货温度 λ ：绝热层热传导系数 s ：绝热层厚度	T_1 ：甲板温度 T_2 ：绝热层外部温度

<p>舷侧水线以上 (单舷侧结构)</p>		$P_1 = P_{cnv,1} + P_{ro}$ $P_2 = P_{cnv,2} + P_{rad,2}$ $P_3 = P_{cnd}$ $P_1 = P_2 = P_3 ;$ $P_{cnv,1} = \alpha(T_{out,a} - T_1)^{\frac{5}{4}}$ $P_{cnv,2} = 0.42\alpha(T_1 - T_2)^{\frac{5}{4}}$ $P_{ro} = \varepsilon\sigma(T_{out,a}^4 - T_1^4)$ $P_{rad,2} = C_r(T_1^4 - T_2^4)$ $P_{cnd} = \frac{\lambda}{s}(T_2 - T_c)$	<p>$P_{cnv,1}$、$P_{cnv,2}$:垂直板 $P_{rad,2}$:两平行板</p>	<p>$T_{out,a}$:外部空气温度 T_c:液货温度 λ:绝热层热传导系数 s:绝热层厚度</p>	<p>T_1:舷侧板温度 T_2:绝热层外部温度</p>
<p>舷侧水线以下 (单舷侧结构)</p>		$P_1 = P_{cnv,1} + P_{rad,1}$ $P_2 = P_{cnd}$ $P_1 = P_2 ;$ $P_{cnv,1} = 0.42\alpha(T_{out,w} - T_1)^{\frac{5}{4}}$ $P_{rad,1} = C_r(T_{out,w}^4 - T_1^4)$ $P_{cnd} = \frac{\lambda}{s}(T_1 - T_c)$	<p>$P_{cnv,1}$:垂直板 $P_{rad,1}$:两平行板</p>	<p>$T_{out,w}$:外部海水温度 及 船体舷侧板温度 T_c:液货温度 λ:绝热层热传导系数 s:绝热层厚度</p>	<p>T_1:绝热层外部温度</p>

<p>顶边舱</p>		$P_1 = P_{cnv,1} + P_{ro}$ $P_2 = P_{cnv,2} + P_{rad,2}$ $P_3 = P_{cnv,3} + P_{rad,3}$ $P_4 = P_{cnd}$ $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 ;$ $P_{cnv,1} = \alpha(T_{out,a} - T_1)^{\frac{5}{4}}$ $P_{cnv,2} = 0.42\alpha(T_1 - T_2)^{\frac{5}{4}}$ $P_{cnv,3} = 0.42\alpha(T_2 - T_3)^{\frac{5}{4}}$ $P_{ro} = \varepsilon\sigma(T_{out,a}^4 - T_1^4)$ $P_{rad,2} = C_{r,2}(T_1^4 - T_2^4)$ $P_{rad,3} = C_{r,3}(T_2^4 - T_3^4)$ $P_{cnd} = \frac{\lambda}{s}(T_3 - T_c)$	<p>$P_{cnv,1}$、$P_{cnv,2}$、$P_{cnv,3}$： 倾斜板且热流斜向下</p> <p>$P_{rad,2}$：大圆柱包围小圆柱</p> <p>$P_{rad,3}$：两平行板</p>	<p>$T_{out,a}$：外部空气温度</p> <p>T_c：液货温度</p> <p>λ：绝热层热传导系数</p> <p>s：绝热层厚度</p>	<p>T_1：外板温度</p> <p>T_2：顶边舱斜板温度</p> <p>T_3：绝热层外部温度</p>
------------	---	---	--	--	--

<p>底边舱</p>		$P_1 = P_{cnv,1} + P_{rad,1}$ $P_2 = P_{cnv,2} + P_{rad,2}$ $P_3 = P_{cnd}$ $P_1 = P_2 = P_3 ;$ $P_{cnv,1} = 0.42\alpha(T_{out,w} - T_1)^{\frac{5}{4}}$ $P_{cnv,2} = 0.42\alpha(T_1 - T_2)^{\frac{5}{4}}$ $P_{rad,1} = C_{r,1}(T_{out,w}^4 - T_1^4)$ $P_{rad,2} = C_{r,2}(T_1^4 - T_2^4)$ $P_{cnd} = \frac{\lambda}{s}(T_2 - T_c)$	<p>$P_{cnv,1}$、$P_{cnv,2}$: 倾斜板且热流斜向上</p> <p>$P_{rad,1}$:大圆柱包围小圆柱</p> <p>$P_{rad,2}$:两平行板</p>	<p>$T_{out,w}$:外部海水温度 及船体外板温度</p> <p>T_c:液货温度</p> <p>λ:绝热层热传导系数</p> <p>s:绝热层厚度</p>	<p>T_1:底边舱斜板温度</p> <p>T_2:绝热层外部温度</p>
<p>双层底</p>		$P_1 = P_{cnv,1} + P_{rad,1}$ $P_2 = P_{cnv,2} + P_{rad,2}$ $P_3 = P_{cnd}$ $P_1 = P_2 = P_3 ;$ $P_{cnv,1} = 0.42\alpha(T_{out,w} - T_1)^{\frac{5}{4}}$ $P_{cnv,2} = 0.42\alpha(T_1 - T_2)^{\frac{5}{4}}$ $P_{rad,1} = C_r(T_{out,w}^4 - T_1^4)$	<p>$P_{cnv,1}$、$P_{cnv,2}$: 水平板热流向上</p> <p>$P_{rad,1}$、$P_{rad,2}$:两平行板</p>	<p>$T_{out,w}$:外部海水温度 及船体外板温度</p> <p>T_c:液货温度</p> <p>λ:绝热层热传导系数</p> <p>s:绝热层厚度</p>	<p>T_1:底边舱斜板温度</p> <p>T_2:绝热层外部温度</p>

		$P_{rad,2} = C_r(T_1^4 - T_2^4)$ $P_{cnd} = \frac{\lambda}{s}(T_2 - T_c)$		
--	--	---	--	--



附录 3 独立液货舱船舶疲劳强度评估的补充规定

第 1 节 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录适用于本规范第 3 篇第 4 章所定义的 A、B 和 C 型独立舱型液化气体船的船体结构、液货舱及其支撑结构的疲劳强度评估。

1.1.2 本附录未涵盖之处应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》和本规范第 3 篇第 4 章的相关要求进行。

1.1.3 独立舱型液化气体船的船体结构及其液货舱支撑结构（如有必要）的疲劳评估应按本附录第 2 节的相关要求进行。

1.1.4 对 A 型独立液货舱及其支撑结构，如果液货温度不低于 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则对于传统成熟的设计，通常可不要求疲劳分析。但如为新颖设计和/或液货温度低于 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，液货舱及其支撑结构应按对船体结构的方法进行疲劳分析。

1.1.5 对 B 型独立液货舱，应按本附录第 3 节实施基于线性累积损伤准则的疲劳评估。除此之外，还应按本附录第 4 节实施基于断裂力学的裂纹扩展评估和泄漏分析。

1.1.6 对 C 型独立液货舱，若罐体尺寸的设计满足本附录第 3 节相关要求，一般情况下，可不必进行 C 型罐的疲劳强度评估。对 C 型独立液货舱的双体罐和三体罐 Y 型接头部位的疲劳分析，按本附录第 5 节的相关要求进行。

第 2 节 独立液货舱船体及其液货舱支撑结构的疲劳强度评估

2.1 一般要求

2.1.1 本节要求适用于 A、B 和 C 型独立舱的液化气体船的船体结构及其液货舱支撑结构疲劳强度评估。

2.1.2 对上述类型液化气体船的船体结构及其液货舱支撑结构疲劳强度评估要求，见 CCS《船体结构疲劳强度指南》。

第3节 B型独立液货舱结构疲劳强度评估

3.1 一般要求

3.1.1 本节要求基于线性累积损伤准则，适用B型独立舱结构的疲劳强度评估。

3.1.2 对B型独立舱结构，除本节说明外，应按照CCS《船体结构疲劳强度指南》中对该型液化气体船船体结构疲劳评估的相关要求进行。

3.2 关键区域

3.2.1 应包括如下评估位置处构件的连接部位：

- (1) 液货舱结构，包括支持构件；
- (2) 连接液货舱和内底的垂向支持构件；
- (3) 连接横向强框架和桁材的肘板；
- (4) 连接垂向支持构件和限位装置的肘板；
- (5) 加强筋。

3.3 疲劳损伤

3.3.1 疲劳损伤计算原则基于Palmgren-Miner线性累积损伤模式。

3.3.2 应考虑高周疲劳损伤和低周疲劳损伤。

3.3.3 高周疲劳损伤基于疲劳载荷对应于 10^{-4} 超越概率水平和对应于船舶设计寿命20年。高周疲劳评估基于线性累积损伤模式（Palmgren-Miner准则）。高周累积损伤度 D_h 由下式计算获得：

$$D_h = N_T \int_0^{\infty} \frac{f(S)}{N(S)} ds$$

式中： N_T ——船舶在营运期间结构的应力循环总次数；

S ——设计应力范围；

$f(S)$ ——设计应力范围的长期分布概率密度因子；

$N(S)$ ——对应于设计应力范围 S 的结构失效时的循环次数。

3.3.4 低周疲劳损伤为液货舱装卸货物引起的循环应力所致。液舱的压力水平应为液货和气体压力的之和。液舱的压力包络线应用于整个船体和液舱的有限元模型，以确定每个关键工况下的应力。

3.3.5 高周疲劳和低周疲劳的总疲劳累积损伤度 D ，按下式计算：

$$D = D_h + n_{loading}/N_{loading} \leq C_w$$

式中： D ——总疲劳累积损伤度；

D_h ——高周疲劳损伤度，见 3.3.3；

$n_{Loading}$ ——液货舱使用寿命期间装卸货物的循环次数，不小于 1000。装卸循环周期包括一个完整的压力和温度的循环；

$N_{Loading}$ ——由装卸货物产生的疲劳载荷达到断裂时的循环次数，根据装载工况差产生的应力范围从 S-N 曲线查得，低周部分由 S-N 曲线外插得到。对于其他材料的 S-N 曲线，可参考有关标准；

C_w ——许用最大疲劳累积损伤度。

3.3.6 疲劳损伤评估应不小于 10^8 波浪遭遇时对应的设计寿命。

3.4 接受衡准

3.4.1 按照 3.3.5 计算得出的总疲劳损伤度 D ，应满足如下衡准：

$$D \leq C_w$$

式中： C_w ——许用最大累积损伤度，且对液货舱和支撑结构，取 $C_w=0.5$ 。

第 4 节 B 型独立舱断裂裂纹扩展评估和泄漏分析

4.1 一般要求

4.1.1 本节要求适用 B 型棱形独立舱基于断裂力学的裂纹扩展评估和泄漏分析。疲劳裂纹扩展系指从初始裂纹萌生至扩展到临界裂纹尺寸为止的疲劳裂纹扩展阶段。泄漏量分析基于裂纹扩展分析确定。

4.1.2 评估时，应选择基于最危险的舱内压力工况进行断裂力学疲劳裂纹扩展分析。一般情况下，通常选择最前端的液货舱进行分析。

4.1.3 对于 B 型棱形独立舱，其疲劳裂纹扩展评估部位至少包括：

- (1) 液货舱的外壳板（舱顶板、侧壁板、舱底板）与加强筋、肋板、纵桁连接部位；
- (2) 支撑构件和泵塔基座处的独立舱结构。

泄漏量分析评估部位至少应包括：

(1) 液货舱较低位置的主屏壁板处可能发生的贯穿裂纹，如支撑构件和泵塔基座处的液货舱外壳板可能发生的贯穿裂纹；

(2) 液货舱较高位置的主屏壁板处可能发生的贯穿裂纹，在液货自由面附近的外壳板可能发生的贯穿裂纹。

4.1.4 B型棱形LNG船独立舱断裂力学方法疲劳强度评估流程如图4.1.4所示。

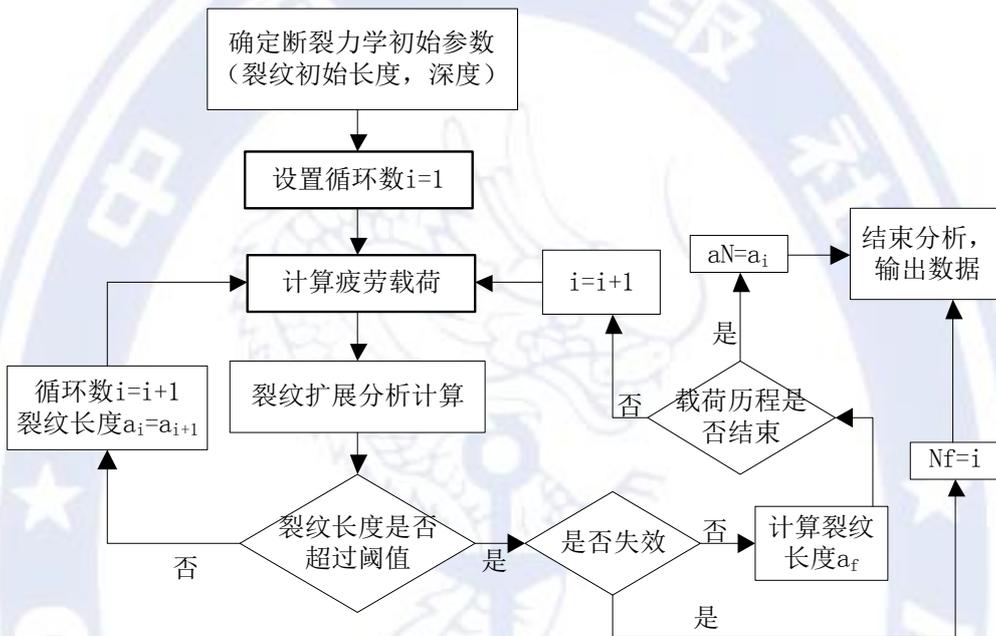


图 4.1.4 B型棱形液货舱断裂力学疲劳强度评估流程图

4.2 疲劳载荷

4.2.1 疲劳裂纹扩展的载荷由动应力驱动，且对于某一给定尺寸的裂纹断裂及结果，在载荷方面由极限状态的载荷幅值（应力范围）决定。

4.2.2 疲劳裂纹扩展分析采用的动载荷谱基于船舶在设计寿命期间北大西洋海浪谱的长期分布，载荷超越概率水平为 10^{-8} 。

4.2.3 用于疲劳裂纹扩展分析的应力长期分布可用修正的 Weibull 形状参数分布描述，20 年（载荷循环次数为 10^8 ）应力范围分布可采用简化的线性载荷谱，如图 4.2.3 所示。

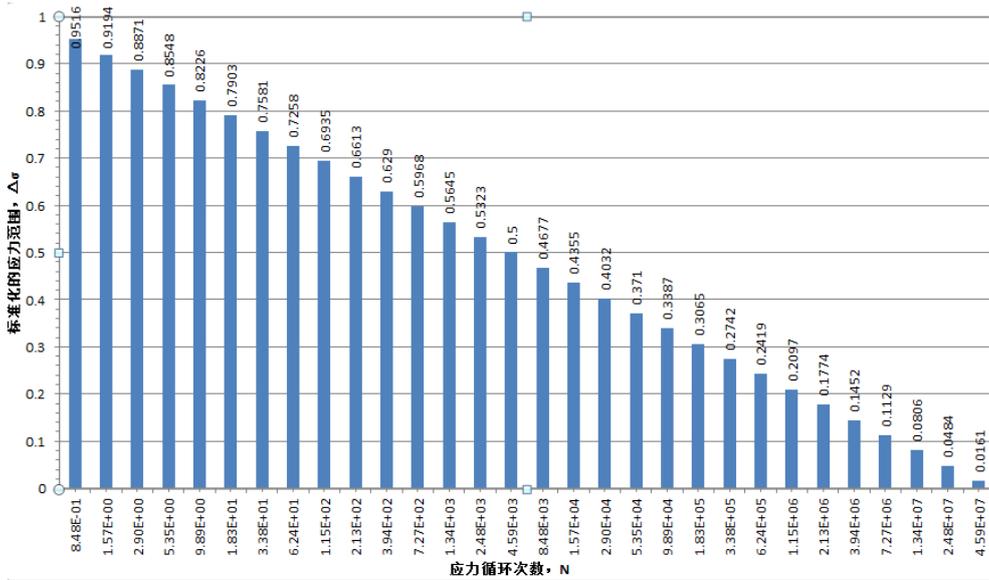


图 4.2.3 20 年应力范围长期分布 (循环次数为 10⁸)

4.2.4 泄漏量分析采用船舶营运过程中遭遇的最恶劣海况的 15 天载荷谱, 15 天 (载荷循环次数为 2×10⁵) 简化应力范围线性分布如图 4.2.4 所示。

4.3 裂纹扩展分析

4.3.1 初始表面裂纹通常发生在液货舱填角焊或者对接焊的结构表面。在计算中, 初始表面裂纹尺寸按如下假定:

对接焊: 深度方向为 1.0 mm, 长度方向为 5 mm;

填角焊: 深度方向为 0.5 mm, 长度方向为 5 mm。

4.3.2 单次载荷循环下的裂纹扩展 da , 应按下式计算:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad \text{当 } \Delta K > \Delta K_{th} \text{ 时;}$$

$$\frac{da}{dN} = 0 \quad \text{当 } \Delta K \leq \Delta K_{th} \text{ 时。}$$

式中: da/dN ——裂纹扩展速率, 其中, N 为应力循环次数, 见图 4.2.4;

C, m ——Paris 常数, 如无确切值时, 按表 4.3.2 选取;

ΔK ——应力强度因子范围, 如无确切值时, 按下式计算

$$\Delta K = Y \cdot \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$$

$\Delta \sigma$ ——应力范围, MPa, 由直接计算确定;

Y ——系数, 由裂纹几何尺寸决定。对于无限边界板的中心裂纹, 受单向正应力

作用，且正应力方向与裂纹方向垂直时， $Y=1$ 。对于各种节点形式，可从相关的应力强度因子手册中查得，也可用有限元方法计算得出；

π ——圆周率，可取为 3.1416；

a ——裂纹深度，mm，见 4.3.1；

ΔK_{th} ——应力强度因子门槛值，如无确切值时，按表 4.3.2 选取

常见材料的断裂力学常数 表 4.3.2

材 料	m	C	ΔK_{th} $MPa\sqrt{m}$
不锈钢	3.0	1.19×10^{-11}	2.0
铝合金	3.0	2.03×10^{-10}	0.7
9%镍合金	3.0	5.14×10^{-12}	2.0

4.3.3 液货舱在设计寿命期间内（ 10^8 次载荷循环），应满足以下衡准：

(1) 由断裂力学分析得出的最终的裂纹长度应小于材料的临界裂纹长度：

$$a_f < a_c$$

式中： a_f ——由断裂力学分析得到的最终裂纹在初始表面的半长度，mm，计算方法见 4.3.1 和 4.3.2；

a_c ——材料的临界裂纹长度，mm。

(2) 或由初始裂纹扩展到贯穿板厚裂纹的时间大于船舶的设计寿命：

$$T_f < T_D$$

式中： T_f ——由初始裂纹扩展到贯穿板厚裂纹的时间，年，计算方法见 4.3.1 和 4.3.2；

T_D ——船舶的设计寿命，年。

4.4 泄漏量分析

4.4.1 泄漏量分析的初始裂纹尺寸由裂纹扩展分析确定。起始面的裂纹长度为形成贯穿裂纹时的裂纹长度。

4.4.2 15 天后起始面裂纹长度由裂纹扩展分析方法所确定，载荷谱采用 4.2.4 中描述的载荷谱。

4.4.3 15天后裂纹贯穿表面的裂纹半长度 a_p ，按下式计算：

$$a_p^2 = a_i^2 - \left(\frac{a_{i0}}{t_0} \right)^2 t^2, \text{ mm}$$

式中： a_i ——15天后贯穿裂纹在初始表面的半长度，mm，计算方法见4.3；

a_{i0} ——裂纹贯穿板厚时，在初始表面的半长度，mm，计算方法见4.3；

t ——板厚，mm；

t_0 ——对应于 a_{i0} 时裂纹的深度，mm，一般取 t 之值。

4.4.4 有效裂纹张开面积 A ，按下式计算：

$$A = \pi a_p \delta \quad \text{mm}^2$$

式中： δ ——最大裂纹张开位移，mm，其中， $\delta = \frac{2\sigma_{eqt} a_p}{E}$ ；

σ_{eqt} ——有效裂纹张开应力，N/mm²，由有限元分析得出；

E ——弹性模量，N/mm²；

a_p ——见4.4.3。

4.4.5 泄漏率 Q ，可按下式计算：

$$Q = 3.6 C_{orifice} A \sqrt{2g \left(h + 100 \frac{p_1 - p_2}{\rho} \right)}, \text{ L/h}$$

式中： $C_{orifice}$ ——孔系数，取0.1；

A ——裂纹有效张开面积，mm²；

h ——液货舱内裂纹部位处的液体压头，m；

ρ ——泄漏液体的密度，t/m³；

p_1, p_2 ——液货舱内外的压力，MPa；

g ——重力加速度，取9.81 m/s²。

第 5 节 C 型独立液货舱结构疲劳强度评估

5.1 一般要求

5.1.1 本节要求依据线性累积损伤准则和《IGC 规则》有关要求,适用基于热点应力法的 C 型独立罐的双体和三体罐 Y 型接头处的结构疲劳强度评估,且应基于不小于 10^8 波浪遭遇。

5.1.2 C 型独立液货罐 Y 型接头处的结构疲劳评估筛分准则如下:

$$\Delta P \leq \frac{1}{27} \left[1.76 \times 10^{13} \frac{C_w}{T_F} \left[\frac{P}{f_t S(P)} \right]^3 - N_T P_0^3 \right]^{\frac{1}{3}} \text{ MPa}$$

式中: ΔP ——液货罐 Y 型接头处垂荡动压力变化范围, MPa, 按下式计算:

$$\Delta P = P_{ed} |_{2}^{\downarrow} - P_{ed} |_{1}^{\downarrow}, \text{ 其中 } P_{ed} |_{2}^{\downarrow} \text{ 和 } P_{ed} |_{1}^{\downarrow} \text{ 按本节 5.4.3 (3) 计算, 且对应 } 10^{-8} \text{ 波浪超}$$

越概率, 即: $f_r = 1$;

P_0 ——液货罐蒸气压力, MPa;

P ——Y 型接头处的总压力, MPa, 取该处的垂荡状态的液货压力加上液货罐蒸气压力, MPa;

$S(P)$ ——压力 P 作用下 Y 型接头垂直于焊缝方向的最大拉应力, 取自罐体 Y 型接头的有限元细网格计算结果, MPa;

f_t ——板厚修正系数, 按下式计算:

$$f_t = 1.0 \quad \text{当 } t \leq 22 \text{ 时;}$$

$$f_t = \left(\frac{t}{22} \right)^{0.25} \quad \text{当 } t > 22 \text{ 时;}$$

C_w ——液货罐疲劳累积损伤允许值, 按本规范第 3 篇第 4 章 4.18.2.7~4.18.2.9 的规定取值, 例如, 对可达处取 0.5, 不可达处取 0.1;

T_F ——液货罐期望寿命, 年;

N_T ——设计寿命期间内装卸货总次数, 如 N_T 小于 1000, 则取 1000。

若不满足上述准则, 则应按本节要求对 C 型液货罐的双体罐和三体罐的 Y 型接头部位进行疲劳评估。

5.1.3 按照本节实施疲劳评估时，本节未及部分应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》的相关要求进行。

5.1.4 基于有限元应力分析的疲劳强度校核基于板壳单元精细网格，可将 Y 型接头的精细网格模型嵌入 C 型独立液货罐体有限元模型中进行分析，参见图 5.1.4，也可采用局部精细网格区域的独立子模型，其边界条件通过罐体有限元模型分析得到。

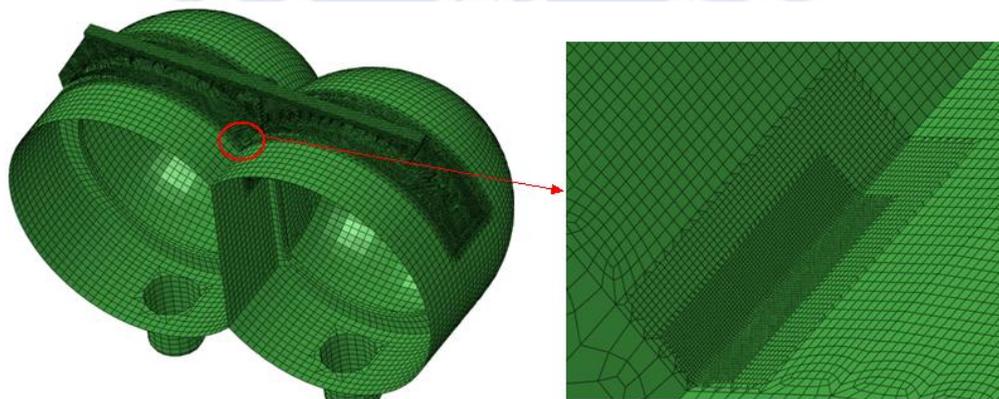


图 5.1.4 嵌入 Y 型接头局部精细网格的罐体有限元模型

5.1.5 C 型独立罐结构的疲劳评估计算流程见图 5.1.5。

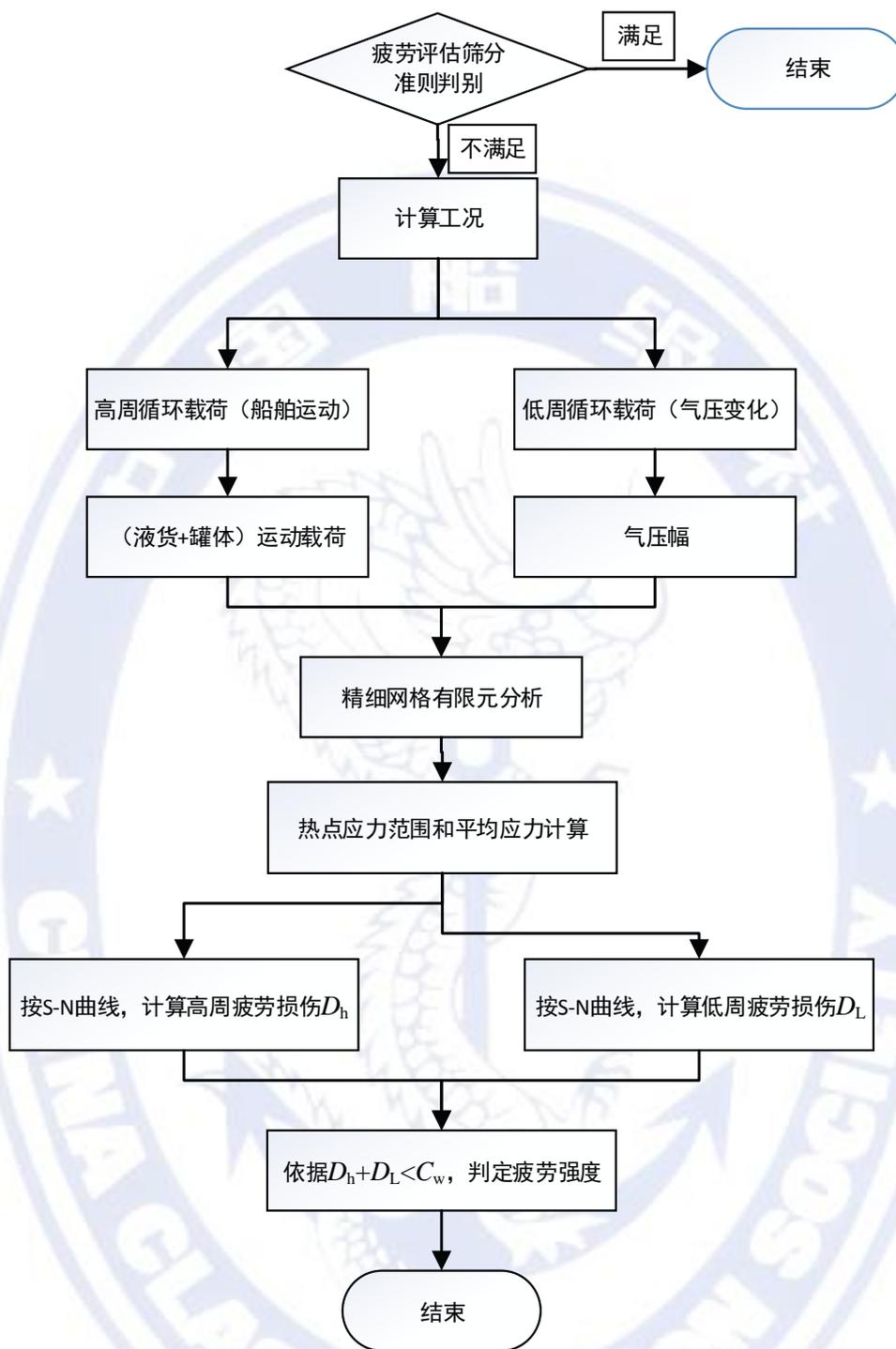


图 5.1.5 C型独立液货罐的疲劳评估计算流程

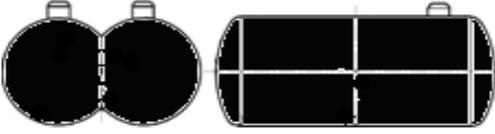
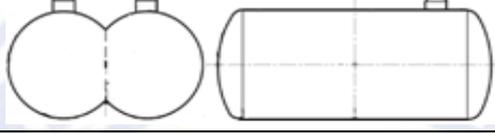
5.2 疲劳评估工况及时间分配系数

5.2.1 C型独立液货罐疲劳评估装载工况为满罐工况和空罐工况，见表 5.2.1。

C型液货罐疲劳评估的装载工况

表5.2.1

装载工况	装载模式	吃水	时间分配系数
------	------	----	--------

			α
满罐		满载 吃水	0.45
空罐		压载 吃水	0.4

5.2.2 对于液货蒸气压力和温度工况，时间分配系数 $\alpha = 1$ 。

5.3 计算工况

5.3.1 C型独立液货罐的疲劳计算工况由满罐工况和空罐工况的载荷工况组合而成，见表5.3.1。一般情况下，不考虑温度应力变化的作用。

C型独立液货罐结构疲劳强度有限元直接计算工况

表 5.3.1

计算工况	工况描述
疲劳极限状态 (FLS): - 垂荡和横摇工况	<ul style="list-style-type: none"> - 0°和疲劳载荷下的最大横摇角 β_m ； - 液货罐壳体自重； - 液货自重； - 液货动压力； - 液货罐最低温度； - 蒸气压力
注：主导载荷工况即为在不同的横摇角（0°疲劳载荷下的最大横摇角 β_m ）的情况下，热点处设计应力范围最大的载荷工况。	

5.4 疲劳载荷

5.4.1 C型独立液货罐疲劳载荷主要为液货罐壳体自重、液货自重，液货动压力和液货罐蒸气压力。

5.4.2 疲劳载荷按照载荷的循环次数分为高周载荷和低周载荷，其中，高周载荷为船舶运动导致罐体和液货产生的动载荷，其循环次数大于 10^5 ；低周载荷为液货蒸气压力，循环次数小于 10^5 。

5.4.3 高周载荷（船舶运动载荷）

(1) 船舶运动加速度：

① 垂向的最大无因次加速度（即相对于重力加速度） a_z ：

$$a_z = C_{z,ij} |a_{z0}|$$

② 横向的最大无因次加速度（即相对于重力加速度） a_y ：

$$a_y = C_{y,ij} |a_{y0}|$$

式中： $C_{z,ij}$ 、 $C_{y,ij}$ ——相应于计算工况 ij 的载荷组合因子，见表5.4.3（1）

a_{z0} 、 a_{y0} ——同本规范第3篇第4章4.28.2.1中的 a_z 、 a_y ，但在其中计算 a_0 时，应在计算结果的基础上，再乘以 $f_r \times f_p$ ，即：

$$a_0 = f_r f_p a_0'$$

a_0' ——同本规范第3篇第4章4.28.2.1中的 a_0 ；

f_r ——航区系数，见CCS《船体结构疲劳强度指南》2.2.1；

f_p ——独立舱型船舶的概率水平系数，见CCS《船体结构疲劳强度指南》2.2.2，且

对于其中的 ξ_I ，按照对应于船舶运动和加速度的公式计算。

载荷组合因子

表5.4.3

计算 工 况	i (不同角度)	1		2	
	j (横摇左右方向)	1	2	1	2
	横摇角度(°)				
	β_m ——疲劳载荷下的最大横摇角	0	0	$-\beta_m$	β_m
	$C_{z,ij}$	1	-1	1	-1
	$C_{y,ij}$	0	0	-1	1

(2) 计算工况中，指定 β 方向上的无因次加速度 α_β ，按下式计算：

$$\alpha_\beta \Big|_{j=1}^i = \frac{a_y^2 \cos \beta_1 - a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_1)^2 + (a_z \sin \beta_1)^2} - (\sin \beta_1)^2}{(a_y \cos \beta_1)^2 + (a_z \sin \beta_1)^2}$$

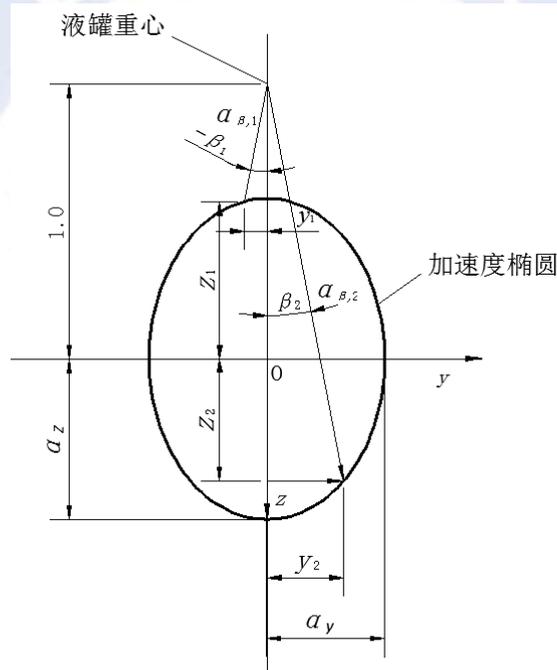
$$\alpha_{\beta} \Big|_{j=2}^i = \frac{a_y^2 \cos \beta_2 + a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_2)^2 + (a_z \sin \beta_2)^2 - (\sin \beta_2)^2}}{(a_y \cos \beta_2)^2 + (a_z \sin \beta_2)^2}$$

式中： β_1 、 β_2 ——横摇计算工况下的左右横摇角，见表 5.4.3 及图 5.4.3 (2)；

i 、 j ——见表 5.4.3 (1)

a_z 、 a_y ——见 5.4.3 (1) ①、②及图 5.4.3 (2)；

y 、 z ——罐体上计算点的横向和垂向坐标，m，见图 5.4.3 (2)；



注：在相关公式中， β 皆取正值，图中正负号表示作用方向

图 5.4.3 (2) 液货加速度椭圆示例

(3) 内部液体压力

内部液体压力 P_{gd} 的计算基于本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.2，且对于双体罐和三体罐的疲劳计算工况，按如下公式计算：

① 双体罐：

$$P_{gd} \Big|_{j=1}^i = \frac{a_y^2 \cos \beta_1 - a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_1)^2 + (a_z \sin \beta_1)^2 - (\sin \beta_1)^2}}{(a_y \cos \beta_1)^2 + (a_z \sin \beta_1)^2} \cdot \left[R + (R - z) \cos \beta_1 + \left(\frac{L}{2} + y \right) \sin \beta_1 \right] \frac{\rho}{1.02 \times 10^5}$$

$$P_{gd} \Big|_{j=2}^i = \frac{a_y^2 \cos \beta_2 + a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_2)^2 + (a_z \sin \beta_2)^2 - (\sin \beta_2)^2}}{(a_y \cos \beta_2)^2 + (a_z \sin \beta_2)^2} \cdot \left[R + (R - z) \cos \beta_2 + \left(\frac{L}{2} - y \right) \sin \beta_2 \right] \frac{\rho}{1.02 \times 10^5}$$

式中： R ——左、右单罐的罐体半径，m；，见图 5.4.3 (3) ①；

L ——左、右罐的圆心距，，见图 5.4.3 (3) ①。

其余符号——见 5.4.3 (2)。

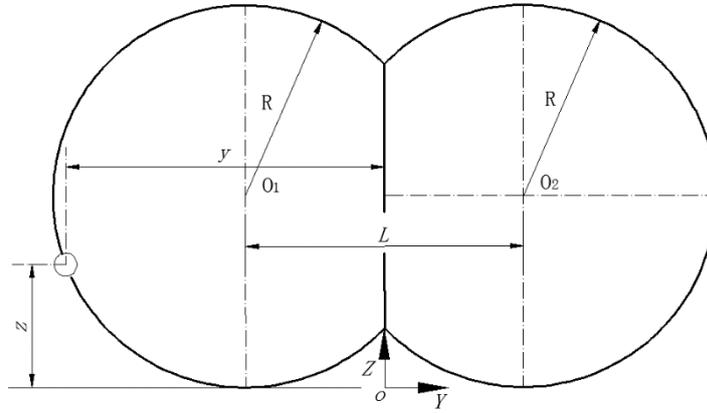


图 5.4.3 (3) ① 双体罐的有关几何参数

② 三体罐:

$$P_{gd} \Big|_{j=1}^i = \frac{a_y^2 \cos \beta_1 - a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_1)^2 + (a_z \sin \beta_1)^2 - (\sin \beta_1)^2}}{(a_y \cos \beta_1)^2 + (a_z \sin \beta_1)^2} \left[R + \frac{L \cos(\frac{\theta}{2} - \beta_1)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} + (R-z) \cdot \cos \beta_1 + (y - \frac{L}{2}) \sin \beta_1 \right] \frac{\rho}{1.02 \times 10^5}$$

$$P_{gd} \Big|_{j=2}^i = \frac{a_y^2 \cos \beta_2 + a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_2)^2 + (a_z \sin \beta_2)^2 - (\sin \beta_2)^2}}{(a_y \cos \beta_2)^2 + (a_z \sin \beta_2)^2} \left[R + \frac{L \cos(\frac{\theta}{2} - \beta_2)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} + (R-z) \cdot \cos \beta_2 - (y + \frac{L}{2}) \sin \beta_2 \right] \frac{\rho}{1.02 \times 10^5}$$

式中： θ ——顶部罐体圆心与底部两罐体圆心连线的夹角，（°）；

其余符号——见 5.4.3 (3) ①，并见图 5.4.3 (3) ②。

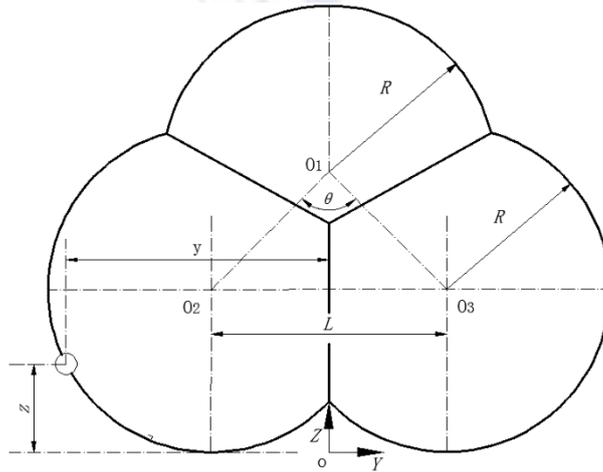


图 5.4.3 (3) ② 三体罐的有关几何参数

(3) 罐体自重的惯性动载荷

船舶运动状态下，罐体和绝缘材料重量引起的单位体积的疲劳动载荷 W ，按下式计算：

$$W = \rho_h \alpha_\beta g \times 10^9 \quad \text{N/mm}^3$$

式中： ρ_h ——罐体加保温材料的密度质量， kg/m^3 ；

α_β ——见 5.4.3 (2)；

g ——重力加速度， m/s^2 ，取 9.81。

5.4.4 低周载荷（蒸气循环压力）

(1) 低周疲劳载荷以液化气运输船一个往返航次为一个循环，期间罐体所经历的最大作用的两个工况见表 5.4.4。

蒸气循环压力作用工况

表 5.4.4

工况	L1	L2
气压 (MPa)	P_0	0
注：L1（满罐）：罐体最大操作压力按设计蒸气压力 P_0 ，MPa 计； L2（空罐）：罐体最小操作压力取为 0.0 MPa。		

(2) 低周疲劳载荷循环次数取 20 年设计寿命期间实际发生的装卸货次数，但应不小于本规范第 3 篇第 4 章 4.18.2 中关于 20 年使用期的装卸货次数不少于 10^3 要求（即平均每 7.3 天循环一次），如图 5.4.4 所示。

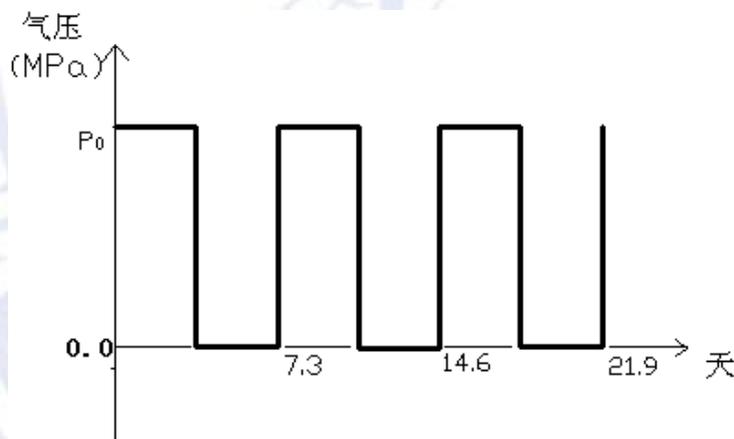


图 5.4.4 低周载荷循环时序示意图

5.5 疲劳累积损伤计算

5.5.1 C型独立液货罐Y型接头的总累积损伤度 D ，应按下式计算：

$$D = D_h + D_L = \sum D_{(k)} + D_L$$

式中： D_h ——结构节点的高周疲劳累积损伤度，计算方法见本附录第3节3.3.3；

$D_{(k)}$ ——结构节点在各装载工况“(k)”下的高周疲劳累积损伤度，见CCS《船体结构疲劳强度指南》3.5.1；

D_L ——蒸气压力导致的低周疲劳累积损伤度，按下式计算：

$$D_L = \frac{n_{Loading}}{N_{pres}}$$

$n_{Loading}$ ——液货罐使用寿命期间装卸货物的循环次数，计算时取值不小于 1000。装卸循环周期包括一个完整的压力循环；

N_{pres} ——按照 5.4.3 所述蒸气压力作用的低周疲劳次数，通过采用与高周载荷相同的模型和方法，计算相应的设计应力范围 S_{DL} ，再从 S-N 曲线（此处应考虑低周疲劳的修正）查得获取。

5.5.2 疲劳损伤评估应基于液货罐设计寿命，但应不小于 10^8 波浪遭遇。

5.6 接受衡准

5.6.1 按照 5.5.1 计算得出的总疲劳损伤度 D ，应满足如下衡准：

$$D \leq C_w$$

式中： C_w ——许用最大累积损伤度，且对液货罐 Y 型接头，取 $C_w=0.5$ 。

第3篇 国际散装运输液化气体船舶构造与 设备规则

前 言

- 1 本规则的目的是为第19章所列的散装液化气体和某些其他物质的海上安全运输提供一个国际标准；在考虑到所载货品的情况下，规定了相关船舶的设计和建造标准及其所应装配的设备，以便使其对船舶、船员和环境所造成的风险降至最低。
- 2 本规则的基本原则是根据其所涉及货品的危险性，确定运输所需的某种船型。每一种货品可能具有一个或多个危险特性，包括易燃性、毒性、腐蚀性和反应性。由于某些货品在低温或者压力状态下进行运输，有可能进一步产生其他危险。
- 3 严重的碰撞或搁浅可能导致液货舱破损，并导致货品不受控的排放。此种排放可能引起货品的蒸发和扩散，在某些情况下可能导致船体的脆性断裂。本规则的要求是根据现有的知识和技术，尽可能减少这种危险性。
- 4 在制定本规则的整个过程中，认识到本规则必须基于完善的造船和工程学原理，以及对本规则所涉及的货品的危险性的彻底了解。液化气体船舶的设计建造不仅是一门复杂的技术，而且还在迅速发展，故本规则也不应保持不变。本组织持续考虑到经验和技术的进一步发展，将定期地对本规则进行审核。
- 5 对新货品及其运输条件的要求，在IMO海上安全委员会通过后，将根据1974年国际海上人命安全公约第VIII条的规定，在适当的修正案生效前，暂作建议案进行分发。
- 6 本规则主要是针对船舶设计和设备的规定。为确保能安全运输货品，必须对整个系统进行评估。至于保证货品安全运输的其他方面，例如培训、操作、交通控制和港口装卸等，本组织正在进行或将作进一步审核。
- 7 本规则的制定得到许多具有咨询地位的组织的大力协助，例如国际气体运输船和码头经营者协会（SIGTTO）和其他组织，例如国际船级社协会（IACS）成员。

8 本规则第18章涉及液化气体运输船舶的操作，突出了其他章节中属于操作性质的规则，并提到气体运输船安全操作特有的其他重要方面。

9 本规则的编排与海上安全委员会第48届会议通过的《国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则》（IBC规则）相一致。如IGC规则所述，气体运输船也可散装运输IBC规则涉及的液体化学品。

10 设计成装卸散装液化气体的浮式生产储存和卸货（FPSO）设施不列入IGC规则。但是，在IGC规则提供装置操作最适当的风险减轻措施的范围内，该装置的设计者可考虑使用IGC规则。如果确定的更适当的风险减轻措施与本规则不一致，这些措施应优先于本规则。



11 本规则版本包括以下决议通过的修正案：

序号	决议案	通过日期	认为接受	生效日期
1	MSC 30(61)	1992年12月11日	1994年1月1日	1994年7月1日
2	MSC 17(58)	1990年5月24日	-	2000年2月3日
3	MSC 32(63)	1994年5月23日	1998年1月1日	1998年7月1日
4	MSC 59(67)	1996年12月5日	1998年1月1日	1998年7月1日
5	MSC 103(73)	2000年12月5日	2002年1月1日	2002年7月1日
6	MSC. 177(79)	2004年12月10日	2006年1月1日	2006年7月1日
7	MSC. 220(82)	2006年12月8日	2008年1月1日	2008年7月1日
8	MSC. 370(93)	2014年5月22日	2015年7月1日	2016年1月1日
9	MSC. 411(97)	2016年11月25日	2019年7月1日	2020年1月1日

第1章 总则

目的

为散装液化气体的海上安全运输提供一个国际标准；在考虑到货品性质（包括易燃性、毒性、窒息、腐蚀性、反应性以及低温和蒸气压力）的情况下，规定了这类运输船舶的设计和建造标准及其所应装配的设备，以便使其对船舶、船员和环境所造成的危险减至最少。

1.1 适用范围和实施

1.1.1 本规则适用于各种尺度（包括500总吨以下）从事散装运输本规则第19章所列的温度为37.8℃时其蒸气压力超过0.28 MPa（绝对压力）的液化气体和其他货品的船舶。

1.1.2.1 除另有规定外，本规则适用于在2016年7月1日或以后安放龙骨或处于类似建造阶段的船舶。类似建造阶段系指：

- .1 能认定船舶开始建造；和
- .2 该船已完成的结构装配重量至少为50 t，或为所有结构材料估算重量的1%，取其小者。

1.1.2.2 就本规则而言，“建造的船舶”系指安放龙骨或处于类似建造阶段的船舶。

1.1.2.3 除非另有明文规定，对于1986年7月1日或以后和2016年7月1日以前建造的船舶，主管机关应确保符合海安会MSC.5(48)决议通过并经海安会MSC.17(58)、MSC.30(61)、MSC.32(63)、MSC.59(67)、MSC.103(73)、MSC.177(79)和MSC.220(82)决议修正的IGC规则适用要求。

1.1.3 不论何时建造的船舶，凡在2016年7月1日或以后改建成气体运输船，应视作在改建开始之日建造的气体运输船。

1.1.4.1 当液货舱内装有本规则要求用1G型船舶载运的货品时，位于本规则2.4.1.1所述保护区域内的液舱内不应装载闪点为60℃（闭杯试验）或低于60℃的易燃液体，也不应装载本规则第19章中所列的易燃货品。

1.1.4.2 同样，当液货舱内装有本规则要求用2G/2PG型船舶载运的货品时，则位于本规则2.4.1.2所述保护区域内的液舱内不应装载1.1.4.1中所述易燃液体。

1.1.4.3 当液货舱内装有本规则要求用1G或2G/2PG型船舶载运的货品时，在每一种情况下，

上述限制仅适用于货舱处所的纵向范围内的保护区域。

1.1.4.4 当液货舱内装有本规则要求用1G或2G/2PG型船舶载运的货品时，如果其数量仅限于供冷却、循环或作燃料之用，则在这些保护区域内可以载运1.1.4.1中所述易燃液体和货品。

1.1.5 除1.1.7.1的规定外，拟载运IGC规则涉及的货品以及海安会MSC.4(48)决议通过、并可能经IMO修正的《国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则》(IBC规则)涉及的货品的船舶，应符合适于所载货品的两个规则的要求。

1.1.6.1 如果拟载运的货品可能被认为是属于本规则的范围，但在本规则第19章中尚未被列出，则主管机关和涉及这种载运的港口主管当局应根据临时评定制定三方协议，并根据IGC规则的原则制定初步的适当载运条件。

1.1.6.2 对于这类货品的评估，货品制造商应向主管机关提交完成的评定表，包括建议的船舶类型和载运要求。

1.1.6.3 如果纯的货品或技术上纯的货品的临时评定已完成并经其他方同意，主管机关应向IMO相关分委会提交评定表和IGC规则中新增完整条目的建议。

1.1.6.4 已按三方协议进行临时评定并已达成明确的或默认的协议，可签发相关船舶证书的附录。

CCS 1.1.6 对于液氢专用运输船，IMO已制订并发布“散装运输液氢的临时建议案(MSC.420(97))”，以便于制定试点船的三方协议。该临时建议案如应用于试点船以外的船舶，可由三方协议予以评审确认。

1.1.7.1 当船舶设计和建造成载运下列货品时，首先应满足本规则的要求：

- 1 本规则第19章中专门列出的货品；和
- 2 既在IGC规则中又在IBC规则中列出的一种或几种货品。对这些货品，在规则第19章中表的“a”栏内用星号予以标记。

1.1.7.2 当船舶拟专门载运1.1.7.1.2所述的一种或几种货品时，应符合经修正的IBC规则的要求。

1.1.8 当船舶符合IGC规则的要求时，应在本章1.4规定的《国际散装运输液化气体适装证书》中予以注明。如符合IGC规则的修正案，适用时，也应在《国际散装运输液化气体适装证书》中予以注明。

1.1.9 如果本规则提及某段，该段分段的所有规定应适用。

1.1.10 如果船舶拟在固定场所以再气化和排气模式或气体接收、处理、液化和储存模式营运一段时间，营运涉及的主管机关和港口主管当局应采取适当的措施确保IGC规则中适用于

其预定任务安排的相关要求的实施。此外，应基于IGC规则的原则和针对其他未涵盖在IGC规则原则中的特定风险的公认标准来制定附加要求。风险可包括但不限于：

- .1 火灾和爆炸；
- .2 撤离；
- .3 危险区域的延伸；
- .4 受压气体排放至岸上；
- .5 高压气体排放；
- .6 货物处理中的翻滚状况；
- .7 易燃制冷气体的储存和处理；
- .8 货物围护系统外货物液体和蒸气的持续存在；
- .9 液货舱过压和低压；
- .10 液体货物的船至船驳运；和
- .11 停泊期间的碰撞风险。

1.1.11 如在本规则内使用风险评估或类似研究，结果也应包括但不限于下列作为有效证据：

- .1 使用的方法和标准的说明；
- .2 情景分析说明中可能存在的变化或研究中错误的来源；
- .3 独立和适当的第三方风险评估过程的验证；
- .4 制定风险评估依据的质量系统；
- .5 评估中使用的数据的来源、适合性和有效性；
- .6 评估中相关人员的知识基础；
- .7 结果与相关方关联的分布体系；和
- .8 由独立和适当的第三方对结果的验证。

1.1.12 尽管根据SOLAS公约，IGC规则法律上视作强制性文件，但规则4.28和部分附录为建议性。因此，本规则4.28和附录1的规定为建议性或提供信息。

1.2 定义

除另有明文规定者外，下列定义适用于本规则。附加定义见本规则的各章。

1.2.1 起居处所系指公共处所、走廊、盥洗室、居住室、办公室、医务室、电影室、游戏和娱乐室、理发室、没有炊事用具的配膳室及类似处所。

1.2.2 A级分隔系指SOLAS公约第II-2/3.2条中所定义的分隔。

- 1.2.3 主管机关指船旗国政府。对于主管机关（港口），见港口主管当局。
- 1.2.4 周年日系指相应于《国际散装运输液化气体适装证书》到期日期的每年的月和日。
- 1.2.5 沸点系指货品呈现蒸气压力等于大气压力时的温度。
- 1.2.6 船宽(B)系指船舶的最大宽度，对于金属壳体的船舶，在船中部量至肋骨型线，对于壳体为其他任何材料的船舶，量至壳体外表面。船宽(B)应以米(m)计。
- 1.2.7 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。对于在最后一个货舱处所后面或最前一个货舱处所前面所设的隔离舱、压载舱或留空处所，不应算作货物区域。
- 1.2.8 货物围护系统系指用于围护货物的装置，包括主屏壁和次屏壁（如设有时），以及附属的绝热层和屏壁间处所，还包括必要时用于支持这些构件的邻接结构。如果次屏壁是船体结构的一部分，则它可以是货舱处所的边界。
- 1.2.9 货物控制室系指用于控制货物装卸作业的处所。
- 1.2.10 货物机器处所系指货物压缩机或货泵、货物处理装置所在的处所，包括向机舱提供气体燃料的装置所在的处所。
- 1.2.11 货泵系指用于输送液体货物的泵，包括主泵、增压泵、喷洒泵等。
- 1.2.12 货物系指由符合本规则的船舶散装运输的，且在本规则第19章一览表中所列的货品。
- 1.2.13 货物服务处所系指货物区域内的工作间、面积大于2 m²的的储物间和储藏室等处所。
- 1.2.14 液货舱系指被设计成货物的主容器的液密壳体，包括不管其是否具有绝热层或/和次屏壁的所有这类围护系统。
- 1.2.15 闭环取样系指通过在取样期间将货品返回货舱从而将货物蒸气逸入大气降至最少的货物取样系统。
- 1.2.16 隔离舱系指两相邻钢质舱壁或甲板之间的隔离处所。该处所可为留空处所或压载处所。
- 1.2.17 控制站系指设有船舶无线电、主要航行设备或应急电源的处所，或火警记录或失火控制设备集中的处所。其中不包括通常在货物区域内设置的专用失火控制设备。
- 1.2.18 易燃货品系指本规则第19章的表中“F”栏内标有“F”的货品。
- 1.2.19 可燃性极限系指在给定的试验装置中，对燃料氧化剂混合物施以一个足够强的着火源后，使其正好能产生燃烧的条件。
- 1.2.20 FSS规则系指消防安全系统规则，即IMO海上安全委员会MSC.98(73)决议通过并经修正的国际消防安全系统规则。

1.2.21 液化气体船系指建造或改建成用于散装运输本规则第19章表中所列的任何液化气体或其他货品的货船。

1.2.22 气体燃烧装置（GCU）系指通过热氧化处理过量的货物蒸气的装置。

1.2.23 用气设备系指船上使用货物蒸气作为燃料的任何装置。

1.2.24 危险区域系指爆炸性气体环境出现或预期可能出现的数量达到足以要求对电气设备的结构、安装和使用采取特殊预防措施的区域。如果存在气体环境，也可能存在下列危险：毒性、窒息、腐蚀性、反应性和低温。应考虑到这些危险，并考虑采用对处所通风和保护船员的附加预防措施。危险区域包括但不限于下列区域¹：

- .1 货物围护系统内部和液货舱压力释放管路或其他液货舱透气系统，及任何含有货物的管路和设备；
- .2 屏壁间处所；
- .3 要求次屏壁的货物围护系统所在的货舱处所；
- .4 不要求次屏壁的货物围护系统所在的货舱处所；
- .5 以单层钢质气密周界与要求次屏壁的货物围护系统所在的货舱处所相隔离的处所；
- .6 货物机器处所；
- .7 距离气体释放的可能来源（例如货物阀、货物管法兰、货物机器处所通风出口）3 m 以内的开敞甲板区域或开敞甲板上半围蔽处所；
- .8 距离货物机器处所入口、货物机器处所通风入口 1.5 m 以内的开敞甲板区域或开敞甲板上半围蔽处所；
- .9 在货物区域内的开敞甲板上和在开敞甲板上货物区域前后3m内、直至露天甲板上2.4m高度范围内的区域；
- .10 距该货物围护系统露天表面2.4 m范围内的区域；
- .11 内部含有货物管路的围蔽或半围蔽处所，但含有用于蒸发气体燃料燃烧系统的货物管路的处所除外；
- .12 其开口直接通向任何危险区域的围蔽处所或半围蔽处所；
- .13 邻近货物围护系统或直接在货物围护系统之上或之下的留空处所、隔离舱、管隧、通道和围蔽或半围蔽处所；
- .14 在垂直透气管出口向上或附近，以该出口为中心的6 m半径、无限高度的垂直圆柱

¹ 为选择和设计电气装置，单独的危险区域举例和分类清单参见第10章。

内；以及自该出口向下，以6 m为半径的半球面内的开敞甲板区域，或开敞甲板上的半围蔽处所；和

.15 在货物集管阀周围的泄漏承接容器范围内，以及以该范围为界向外水平延伸3 m，且离甲板高度为2.4 m以内的开敞甲板区域。

1.2.25 非危险区域系指危险区域以外的区域。

1.2.26 货舱处所系指由船舶结构所围蔽、其内部设有货物围护系统的处所。

1.2.27 IBC规则系指IMO海上安全委员会MSC.4(48)决议通过并经修正的国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则。

1.2.28 独立系指不以任何方式与其他系统相连接，诸如管系或透气系统，并且也不存在任何可能与其他系统连接的设施。

1.2.29 绝热处所系指其全部或部分由绝热材料所填充的处所，它可以是或不是屏壁间处所。

1.2.30 屏壁间处所系指不论是其全部还是部分由绝热材料或其他材料所填充的主屏壁和次屏壁之间的处所。

1.2.31 船长(L)系指现行的国际载重线公约中定义的船长。

1.2.32 A类机器处所系指装有下列设施的处所以及通往这些处所的围蔽通道：

- .1 用于主推进的内燃机；或
- .2 作其他用途的合计总输出功率不小于375 kW的内燃机；或
- .3 任何燃油锅炉或燃油装置，或锅炉以外的任何燃油设备，例如惰性气体发生器、焚烧炉等。

1.2.33 机器处所系指A类机器处所和其他有推进机械、锅炉、燃油装置、蒸汽机和内燃机、发电机和主要电动机、加油站、制冷机、减摇装置、通风机和空调机的处所，以及类似处所；并连同通往这些处所的围蔽通道。

1.2.34 MARVS系指液货舱释放阀的最大允许调定值（表压力）。

1.2.35 指定的验船师系指主管机关指定/任命用于执行 SOLAS 公约关于检查和检验以及免除规定的验船师。

1.2.36 燃油装置系指被用于为燃油锅炉输送燃油或被用于为内燃机输送加热燃油的设备，并包括被用于处理油压超过0.18 MPa表压力的任何油泵、过滤器和加热器。

1.2.37 本组织系指国际海事组织（IMO）。

1.2.38 渗透率系指在某一处所内假定会被水浸占的容积与该处所总容积之比。

1.2.39 港口主管当局系指船舶装卸港口的国家有关当局。

- 1.2.40 主屏壁系指当货物围护系统含有2层周界时被用于装货的内层构件。
- 1.2.41 货品是用于包含本规则第19章中所述气体清单的集合术语。
- 1.2.42 公共处所系指起居处所中用作大厅、餐室、休息室以及类似的固定围蔽处所的部分。
- 1.2.43 被认可组织系指按照 SOLAS 公约第 XI-1/1 条经主管机关授权的组织。
- 1.2.44 公认标准系指为主管机关所接受的适用国际或国家的标准，或被认可组织制定和维护的标准。
- 1.2.45 相对密度系指一定体积货品的质量与等体积淡水的质量之比。
- 1.2.46 次屏壁系指货物围护系统中被设计成能暂时容纳可能从主屏壁泄漏的液货的液密外层构件，同时也为了防止船体结构的温度会下降至不安全的程度。对于次屏壁的类型，在本规则第4章中有更完整的定义。
- 1.2.47 隔离系统系指不互相固定连接的货物管系和透气系统。
- 1.2.48 服务处所系用作厨房、配有烹调设备的配膳室、储物间、邮件间和贵重物品室、储藏室，不构成机器处所部分的工作间以及类似处所，包括通往这些处所的围蔽通道。
- 1.2.49 SOLAS公约系指经修正的1974年国际海上人命安全公约。
- 1.2.50 液货舱罩系指用于保护突出于露天甲板以上的货物围护系统免受损坏的结构或用来保证甲板的连续性和完整性的防护。
- 1.2.51 液货舱气室系指液货舱的向上延伸部分。如货物围护系统位于甲板以下时，液货舱气室应伸出于露天甲板或液货舱罩之上。
- 1.2.52 热氧化措施系指符合第16章规定的使用货物蒸发气作为船上燃料的系统或作为一个废热回收的系统，或符合本规则的不使用货物蒸发气作为燃料的系统。
- 1.2.53 有毒货品系指本规则第19章表中“f”栏内标有“T”的货品。
- 1.2.54 转塔舱系指包含用于回收和释放可断开的转塔系泊系统、高压液压操作系统、消防装置和货物输送阀的设备和机器的处所和围蔽通道。
- 1.2.55 蒸气压力系指在规定温度下液体上方饱和蒸气的平衡压力（绝对压力），以帕斯卡（Pa）计。
- CCS 1.2.55 设计蒸气压力系指表压力。**
- 1.2.56 留空处所系指在货物区域内的货物围护系统外部的围蔽处所，但不包括货舱处所、压载舱、燃油舱、货泵舱、压缩机舱或人员正常使用的任何处所。

1.3 等效

1.3.1 凡本规则要求船上应装设或配备的特定的附件、材料、器具、仪器、设备的部件或其型号，或应采取的任何特别措施，或应符合的任何程序或布置，主管机关可允许在该船上装设或配备任何其他的附件、材料、器具、仪器、设备的部件或其型号，或采取任何其他措施，或符合任何其他程序或布置，但须通过试验或其他方法，确认其至少与本规则要求者具有同等效能。然而，主管机关不能允许用操作方法或程序替代本规则规定的特定的附件、材料、器具、仪器、设备的部件或其型号，除非该替代经本规则特别准许。

1.3.2 当主管机关准许对任何的附件、材料、器具、仪器、设备的部件或其型号，或措施、程序或布置或新颖设计或适用范围进行替代时，应将其细节连同验证报告送交给IMO，以便本组织能将这些文件分发给SOLAS公约的其他缔约国政府，供其官员参考。

CCS1.3.2 替代装置和附件应与可接受的规范的规定等效，其试验或方法应经CCS认可，若在这些规范中没有规定应由CCS特别考虑。

1.4 检验和发证

CCS1.4 本条所述的检验和发证是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。货物适装证书的签发根据船旗国政府授权的要求，并根据《IGC规则》和船旗国政府的有关要求进行。

1.4.1 检验程序

1.4.1.1 为执行IGC规则规定和给予免除而对船舶进行的检验，应由主管机关的官员进行。但主管机关可将这些检验委托给为此目的而指定的验船师或经其认可的组织。

1.4.1.2 1.2.43中所述的被认可组织应符合SOLAS公约的规定和被认可组织（RO）规则。

1.4.1.3 指定验船师或认可组织执行检验的主管机关，应至少对任何指定的验船师或被认可组织授权，使其能：

1. 要求船舶进行修理；和
2. 应港口国有关当局要求进行检验。

主管机关应将授权给指定的验船师或被认可组织的具体职责和条件通知IMO，以便分发给各缔约国政府。

1.4.1.4 当指定的验船师或被认可组织判定该船舶或其设备的状况与《国际散装运输液化气体适装证书》的内容在实质上不相符或其状况会对船舶或船上人员产生危险或会对海洋环境造成不当的危害威胁，因而该船舶不适于出海航行时，则验船师或被认可组织应能立即确保采取纠正措施并及时通知主管机关。如未采取此种纠正措施，应撤回证书并立即通知主管机

关。如果船舶系在另一缔约国政府的港口内，则亦应立即通知该港口国的有关当局。在主管机关的官员、指定的验船师或被认可组织通知该港口国的有关当局后，有关港口国的政府应向该官员、验船师或被认可组织按本条规定履行义务时向其提供任何所必需的帮助。必要时，有关的港口国政府应采取措施，确保该船在未具备不危及船舶或船上人员、或对海洋环境不造成不当的危害威胁的条件前，不得开航或离港驶往最近的可进行修理的修船厂。

1.4.1.5 在所有情况下，主管机关均应保证检验的完整性和有效性，确保为履行这一职责作出必要安排。

1.4.2 检验要求

液化气体船舶的结构、设备、附件、装置和材料（不包括签发 SOLAS公约要求的货船构造安全证书、货船设备安全证书和货船无线电安全证书或货船安全证书所需检验方面的项目）应进行下述检验：

1. 初次检验。应在船舶投入营运前或在第一次签发《国际散装运输液化气体适装证书》前进行此类检验。该检验应包括对结构、设备、附件、装置和材料的全面检查。该检验应确保结构、设备、附件、布置和材料完全符合IGC规则中适用的规定。
2. 换证检验。对此类检验的间隔期，应由主管机关规定，但除本节1.4.6.2.1、1.4.6.5、1.4.6.6或1.4.6.7的适用者外，不得超过5年。换证检验时应确保结构、设备、附件、装置和材料完全符合IGC规则中适用的规定。
3. 中间检验。应在证书的第2个周年日前或后的3个月内或在此证书的第3个周年日前或后的3个月内进行此类检验，并应取代本节1.4.2.4中规定的其中一次年度检验。中间检验应确保安全设备和其他设备以及附属的泵和管系完全符合IGC规则中适用的规定并处于良好的工作状态。对此种检验，应在按1.4.4或1.4.5签发的证书上签署。
4. 年度检验。应在证书的每个周年日前或后3个月内进行此类检验，包括对本节1.4.2.1中所述的结构、设备、附件、装置和材料的总体检查，以确保按本节1.4.3的规定进行了维护并满足船舶的预定用途。对于此种年度检验，应在按本节1.4.4或1.4.5的规定签发的证书上签署。
5. 附加检验。在经过1.4.3.3规定的调查后有要求时或在任何重大修理或换新后应根据情况进行全面或部分检验。此类检验时应确保必要的修理或换新有效，此种修理或换新的材料和工艺应是令人满意的，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。

1.4.3 检验后状况的维持

1.4.3.1 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。

1.4.3.2 1.4.2中所述的要求对船舶的任何检验完成后，除非经主管机关许可，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。

1.4.3.3 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、指定的验船师或被认可组织报告，此时主管机关、验船师或被认可组织应着手进行调查，以确定是否需要进行1.4.2.5所要求的检验。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，而指定的验船师或被认可组织应查明该报告确已提交。

1.4.4 《国际散装运输液化气体适装证书》的签发或签署

1.4.4.1 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后，应给予签发《国际散装运输液化气体适装证书》。

1.4.4.2 证书应按IGC规则附录所示样本相一致的格式写成。如所用语言既不是英文，又不是法文或西班牙文，则其文本应包括其中一种语言的译文。

1.4.4.3 按本节规定签发的证书应存放在船上，供随时检查。

1.4.4.4 虽有海上安全委员会MSC.17(58)决议通过的IGC规则修正案的任何其他规定，但对在这些修正案生效时正在使用的任何《国际散装运输液化气体适装证书》，在按修正案生效前的本规则规定的证书到期日之前，仍属有效。

1.4.5 由他国政府签发或签署的《国际散装运输液化气体适装证书》

1.4.5.1 SOLAS公约的缔约国政府应另一缔约国政府要求，可有权对悬挂该缔约国国旗的船舶进行检验；如果确认该船符合IGC规则的要求，可向该船签发或授权签发《国际散装运输液化气体适装证书》，并在适当时，也可按IGC规则对船上的证书进行签署或授权签署。在如此所签发的任何证书上应声明：该证书系应船旗国政府要求签发的。

1.4.6 《国际散装运输液化气体适装证书》的有效期限

1.4.6.1 《国际散装运输液化气体适装证书》的有效期限，应由签发证书的主管机关规定，但不得超过5年。

1.4.6.2.1 虽有1.4.6.1的规定，但如果换证检验在现有证书期满之日前3个月内完成，则新证书应从换证检验完成之日起，至现有证书期满之日后不超过5年的日期内有效。

1.4.6.2.2 如果换证检验在现有证书期满之日后完成，则新证书应从换证检验完成之日起，至现有证书期满之日后不超过5年的日期内有效。

1.4.6.2.3 如果换证检验在现有证书期满之日的前3个月前完成,则新证书应从换证检验完成之日起不超过5年的日期内有效。

1.4.6.3 如果所发证书的有效期限少于5年,主管机关可将证书有效期自期满日延长至1.4.6.1规定的最长期限,条件是在签发5年期的证书时进行了1.4.2.3和1.4.2.4所述的相应的检验。

1.4.6.4 如果换证检验已完成,而新证书在现有证书期满之日前不能签发或不能存放船上,主管机关授权的人员或组织可在现有证书上签署,签署后的证书自期满日起不超过5个月的期限内应视为继续有效。

1.4.6.5 如果证书期满时船舶不在应进行检验的港口,主管机关可延长该证书的有效期,但此项展期仅以能使该船完成其驶抵应进行检验的港口的航次为限,并且仅在正当和合理的情况下才能如此办理。

1.4.6.6 签发给短程航行船舶的证书未按本条前述之规定展期时,主管机关可给予自该证书所示的期满之日起至多1个月的宽限期。换证检验完成后,新证书的有效期应自现有证书展期前的期满日起不超过5年。

1.4.6.7 在特殊情况下(由主管机关确定),新证书无需按本节1.4.6.2.2、1.4.6.5或1.4.6.6的要求从现有证书的期满之日起计算日期。在此特殊情况下,新证书的有效期应自换证检验完成之日起不超过5年。

1.4.6.8 如果年度检验或中间检验在1.4.2规定的期限之前完成,则:

- .1 证书上所示的周年日应予以签署修正,修正后的周年日应不多于检验完成之日起3个月;
- .2 按1.4.2要求的其后的年度检验或中间检验应使用新的周年日按该节规定的间隔期完成;和
- .3 如进行一次或多次相应的年度检验或中间检验,以使本节1.4.2规定的最大检验间隔期不被超过,则该期满日可保持不变。

1.4.6.9 对于按1.4.4或1.4.5的规定所签发的证书,在下列任何情况下应终止有效:

- .1 如果相关检验未在1.4.2规定的期限内完成;
- .2 如果证书未按1.4.2.3或1.4.2.4的要求进行签署;和
- .3 船舶变更船旗国。只有当换发新证书的政府确信该船符合1.4.3.1和1.4.3.2的要求时,才能签发新的证书。如果变更船旗系在SOLAS公约缔约国之间进行,则在变更后的3个月内,前船旗国政府如收到申请,应尽快将变更船旗前该船所携证书的副本以及相关的检验报告副本(如备有)送交该船新的主管机关。

第2章 船舶残存能力和液货舱位置

CCS2.0.a 本章涉及船舶残存能力和液货舱位置的要求，作为 CCS 的入级条件，以船旗国主管机关的要求为基础。

目的

在发生较小船体破损时，确保液货舱处于保护位置且船舶能在假定浸水条件下残存。

2.1 通则

2.1.1 适用于本规则的船舶，在船体受到外力作用发生假定破损后引起浸水的静水力作用下应能残存。此外，为了保护船舶和环境，应将液货舱布置于舷内距船舶外板不小于规定的最小距离，以防船舶在与码头、拖船等接触产生较小破损时液货舱被戳穿，或在碰撞或搁浅时引起液货舱破坏。对破损的假定和液货舱与船舶外板间的距离均取决于所载运货品的危险程度。此外，液货舱与船舶外板间的距离应取决于液货舱的容积。

2.1.2 受本规则约束的船舶应按下列标准之一进行设计：

- .1 1G型船舶是用于载运本规则第19章所列要求采取最严格防漏保护措施的气体的气体运输船。
- .2 2G型船舶是用于载运本规则第19章所列要求采取相当严格防漏保护措施的气体的气体运输船。
- .3 2PG型船舶系指长度为150 m及以下用于载运本规则第19章所列要求采取相当严格防漏保护措施的气体的气体运输船，且该类货品是被载运于其释放阀最大调定值(MARVS)至少为0.7 MPa表压力和其货物围护系统的设计温度为-55℃或以上的C型独立液货舱内（见本规范4.23）。如这类船舶的长度超过150 m时，应认为其是2G型船舶。
- .4 3G型船舶是用于载运本规则第19章中所列要求采取中等防漏保护措施的气体的气体运输船。

因此，1G型船舶是用于载运具有最大综合危险性的货品的的气体运输船。2G/2PG以及3G型船舶所载运货品的危险程度则依次减小。相应的1G型船舶应能在最严重的破损标准下残存，并且其液货舱应位于舷内离船体外板具有最大的规定距离之处。

2.1.3 各种货品所要求的船型已被列于本规则第19章的表中“C”栏内。

2.1.4 当某艘船拟载运1种以上的本规则第19章的表列货品时，其破舱标准应与要求最严格船型的那种货品相一致。但对各个液货舱位置的要求，则应按所拟载运的各种货品所要求的船型而定。

2.1.5 就本规则而言，不同围护系统的型线位置见图 2.5(a)至(e)。

2.2 干舷和稳性

2.2.1 适用本规则的船舶，可按现行的《国际载重线公约》核定最小干舷。但是，核定干舷的相关吃水应不大于本规则另行规定的最大吃水。

2.2.2 船舶在其所有航行状态下和装卸货期间的稳性应满足国际完整稳性规则¹的要求。这包括在海上部分装载和装卸货（如适用），压载水操作期间的稳性应满足稳性衡准。

2.2.3 对各种装载工况计算消耗液体自由液面的影响时，应对每种液体假定：至少有1对横向液舱或1个中心线上的液舱存在自由液面，且所考虑的液舱或液舱组合应是自由液面影响最大者。对于未破损液舱内的自由液面影响应按照国际完整稳性规则中的方法计算。

2.2.4 固体压载通常不应用于货物区域的双层底处所。但是，若为了满足稳性要求而必须在这些处所内进行固体压载时，其布置应能确保可进入检查且不致于使船底破损引起的冲击负荷直接传递到液货舱结构。

2.2.5 应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、对估算其他装载工况的规定以及对船舶残存能力的总结等详细资料。该手册也应有充分的资料，使船长能以安全和适航方式装载货物和操纵船舶。

2.2.6 适用本规则的所有船舶应配备能进行完整和破损稳性要求符合性验证、并经主管机关（参照 IMO 建议的性能标准²）认可的稳性仪。

1. 2016年7月1日以前建造的船舶应在2016年7月1日以后但不迟于2021年7月1日的初次计划换证检验时符合本条；
2. 尽管2.2.6.1有规定，对于2016年7月1日以前建造的船上配备的稳性仪，如能验证完整和破损稳性的符合性并使主管机关满意，则不必替换；和
3. 为按照 SOLAS 公约第 XI-1/4 条进行控制，主管机关应签发一份稳性仪的认可文件。

¹ 参见 IMO 海上安全委员会 MSC.267(85)决议通过的 2008 年国际完整稳性规则（2008 年 IS 规则）。

² 参见经修正的 2008 年国际完整稳性规则（2008 年 IS 规则）的 B 部分的第 4 章；经修正的稳性仪认可指南（海安会 MSC.1/Circ.1229 通函）附件第 4 节；和液货船破损稳性要求验证指南（海安会 MSC.1/Circ.1461 通函）第 1 部分中规定的技术标准。

2.2.7 主管机关可对下列船舶免除 2.2.6 的要求，只要用于完整和破损稳性验证的方法与按照批准的工况进行装载保持同等安全程度³。任何此类免除应在 1.4.4 中所述的国际适装证书内加以适当的注明：

- .1 根据经批准的 2.2.5 提供给船长的稳性资料中所有预计的装载工况装载，且其装载改变量有限的从事专用业务的船舶；
- .2 用主管机关认可的方法进行远程稳性验证的船舶；
- .3 在经批准的装载工况范围内进行装载的船舶；或
- .4 2016 年 7 月 1 日以前建造的船舶，具有满足所有适用的完整和破损稳性要求的批准的极限 KG/GM 曲线。

2.2.8 装载工况

应根据提交给主管机关的装载资料，并考虑所有预计的装载工况及吃水和纵倾的变化，对破损残存能力进行审查。这应包括压载和货物横倾（如适用）。

2.3 破损假定

2.3.1 假定的最大破损范围：

.1	舷侧破损		
.1.1	纵向范围：	$L^{2/3}/3$ 或 14.5 m，取小者	
.1.2	横向范围： 在夏季水线平面上，从船体外壳型线沿垂直于船体中心线方向量取	B/5 或 11.5 m，取小者	
.1.3	垂向范围： 从船体外壳型线量取	向上无限制	
.2	船底破损：	距船舶首垂线 0.3L 范围	船舶的其他部位
.2.1	纵向范围：	$L^{2/3}/3$ 或 14.5 m，取小者	$L^{2/3}/3$ 或 14.5 m，取小者
.2.2	横向范围：	B/6 或 10 m，取小者	B/6 或 5 m，取小者
.2.3	垂向范围：	B/15或2 m，取小者，在中心线的船底外板型线量起（见 2.4.3）	B/15 或 2 m，取小者，在中心线的船底外板型线量起（见 2.4.3）

2.3.2 其他破损

2.3.2.1 若任何破损范围虽小于 2.3.1 所规定的最大值，但却将导致更严重状态时，则应考虑此类破损。

2.3.2.2 在货物区域内任何部位的局部破损延伸到舷内从船体外壳型线垂直量起达 2.4.1 中规定的距离“ d ”，则应考虑此类破损。当 2.6.1 的相关要求适用时，应假定舱壁破损。若破损

³ 参见液货船破损稳性要求验证指南（海安会 MSC.1/Circ.1461 通函）第 2 部分中的操作指南。

范围虽小于“ d ”，但却将导致更严重状态时，则应考虑此类破损。

2.4 液货舱位置

CCS2.4.a 对关于液货舱位置的要求应予以特别注意。应根据所拟运载列于本规范第19章的各类货物的危险性考虑每种装载状况的危险性。当在一个处所内设有一个以上的独立液货舱时，应在液货舱之间留有供检查和维修用的足够空隙，见 IACS UI GC6。

2.4.1 液货舱应设在舷内下列位置：

.1 1G型船舶：距船体外壳型线应不小于2.3.1.1.2规定的横向破损范围和在中心线上距船底板型线不小于2.3.1.2.3规定的垂向破损范围，其任何部位都应不小于“ d ”，“ d ”如下：

- .1 如果 $V_c \leq 1000 \text{ m}^3$ ， $d=0.8 \text{ m}$ ；
- .2 如果 $1000 \text{ m}^3 < V_c < 5000 \text{ m}^3$ ， $d=0.75 + V_c \times 0.2/4000 \text{ m}$ ；
- .3 如果 $5000 \text{ m}^3 \leq V_c < 30000 \text{ m}^3$ ， $d=0.8 + V_c / 25000 \text{ m}$ ；和
- .4 如果 $V_c \geq 30000 \text{ m}^3$ ， $d=2 \text{ m}$ ，

式中：

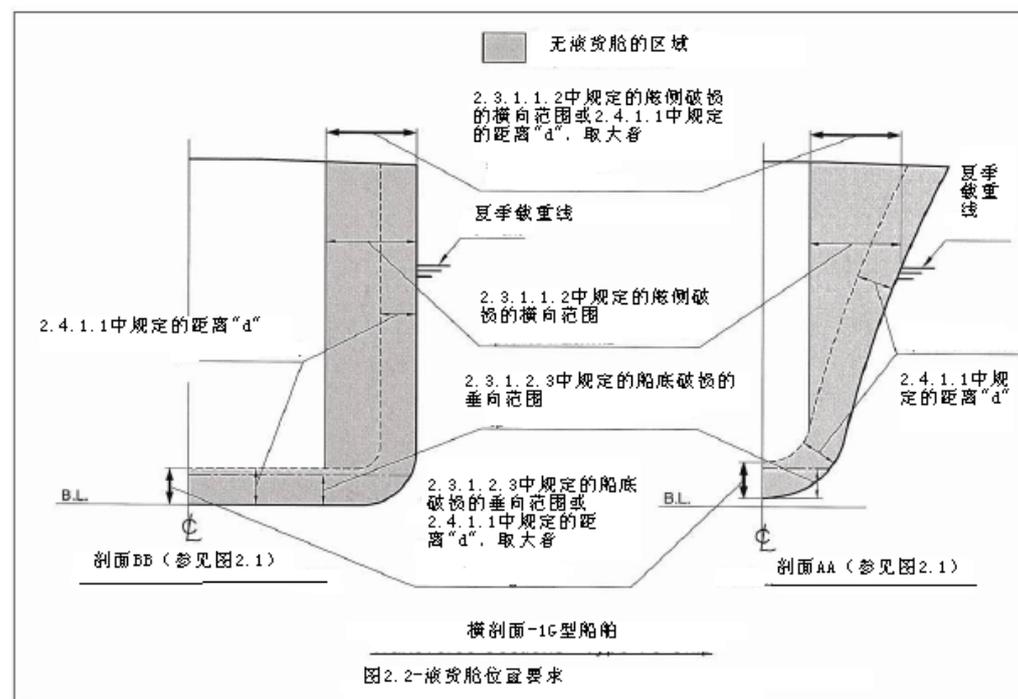
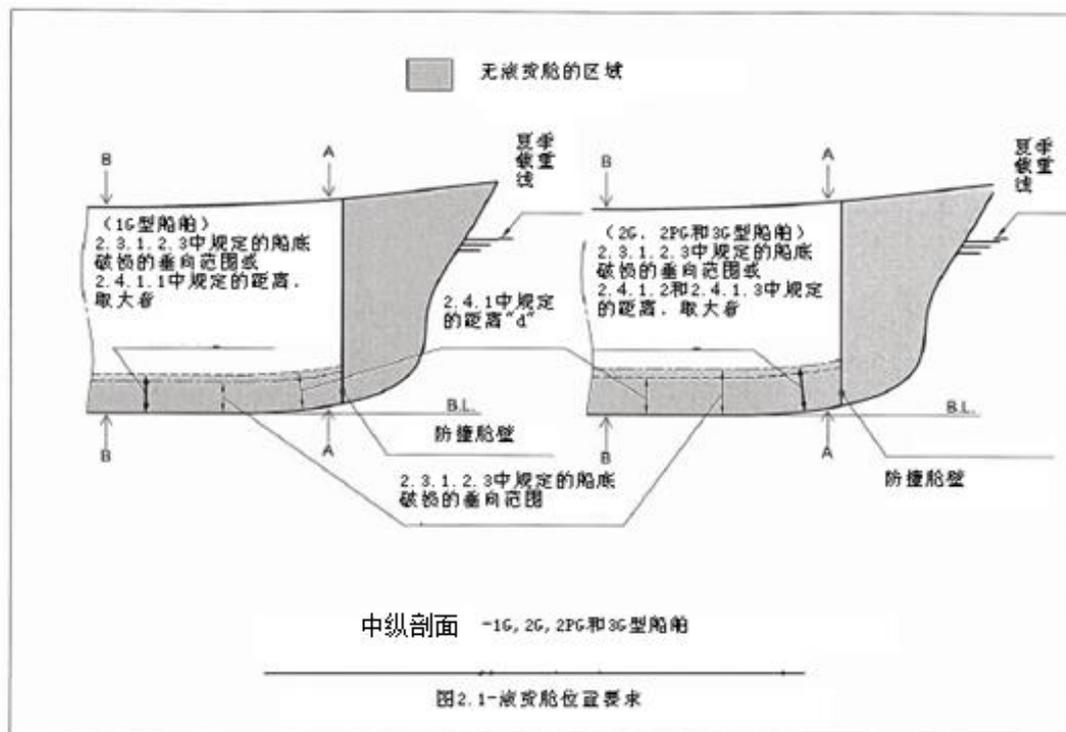
V_c 相当于 20℃时单个液货舱的总设计容积的 100%，包括气室和附属物（见图 2.1 和 2.2）。就液货舱保护距离而言，液货舱容积是具有公共舱壁的液货舱所有部分的总容积；和

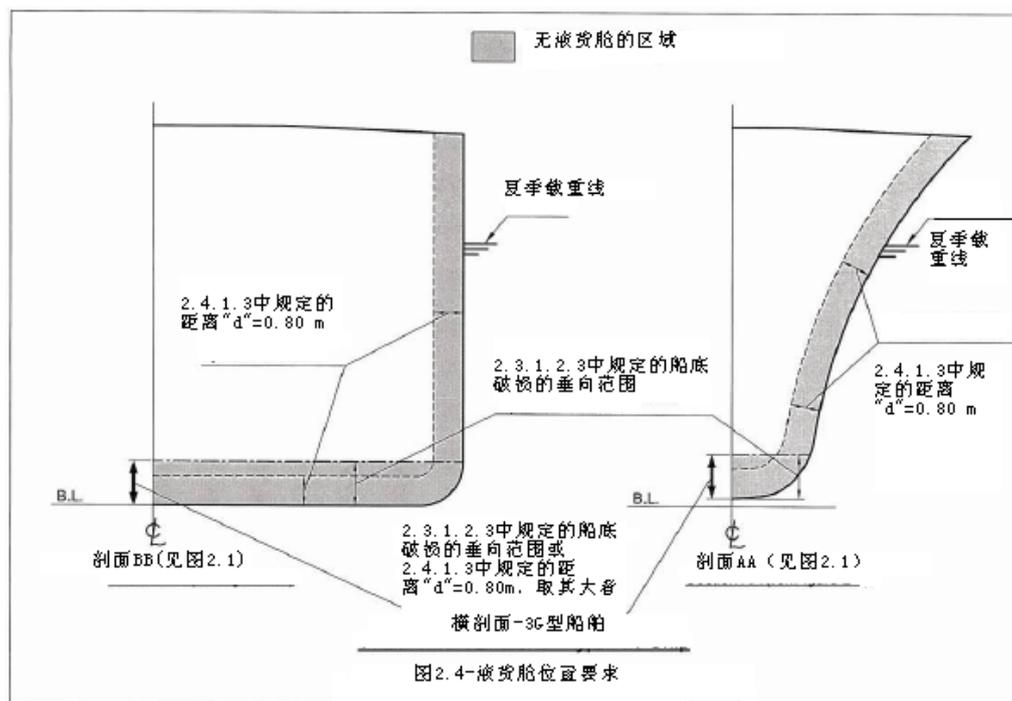
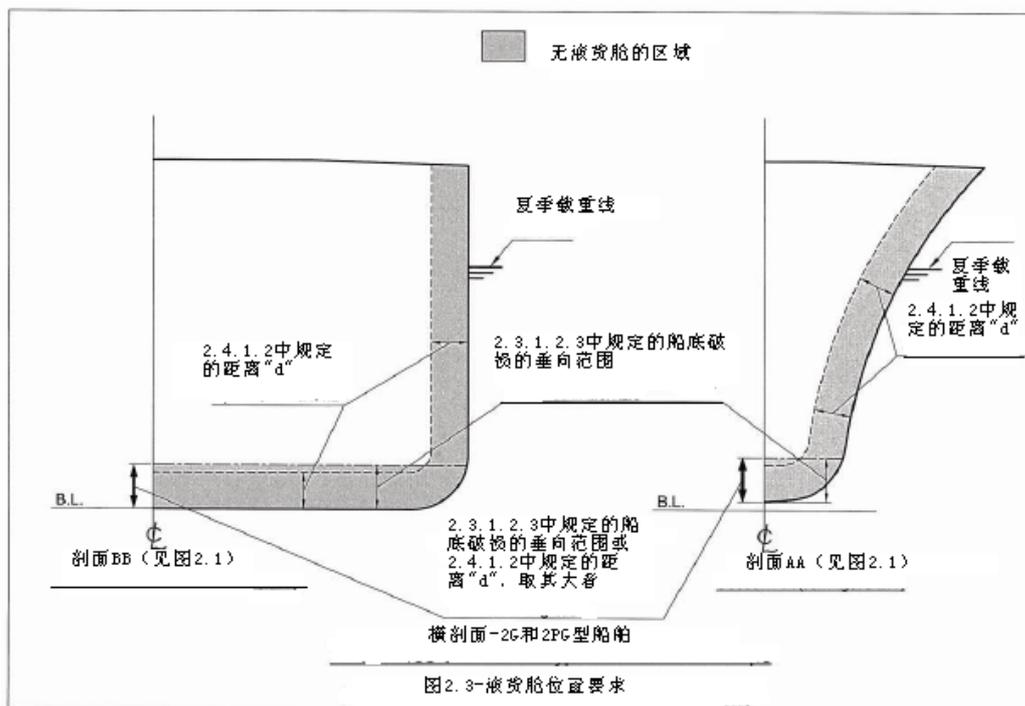
“ d ”在与船体外壳型线成直角的任何剖面处测量。

按照第 17 章，液货舱大小限制可适用于 1G 型船舶货物。

- .2 2G/2PG型船舶：在中心线上距船底板型线应不小于2.3.1.2.3规定的垂向破损范围，其任何部位都应不小于2.4.1.1中所述的“ d ”（见图2.1和2.3）。
- .3 3G型船舶：在中心线上距船底板型线应不小于 2.3.1.2.3 规定的垂向破损范围，其任何部位都应不小于“ d ”，“ d ”=0.8 m，自船底板型线（见图 2.1 和 2.4）。

2.4.2 对液货舱位置而言，若采用薄膜或半薄膜液货舱，船底破损的垂向范围应量至内底，其他情况则量至液货舱底；当采用薄膜或半薄膜液货舱时，舷侧破损的横向破损范围应量至纵舱壁，其他种类液货舱应量至液货舱侧壁。2.3和2.4中所述距离应如图2.5(a)至(e)使用。这些距离应板至板测量，自型线至型线，不包括绝热。





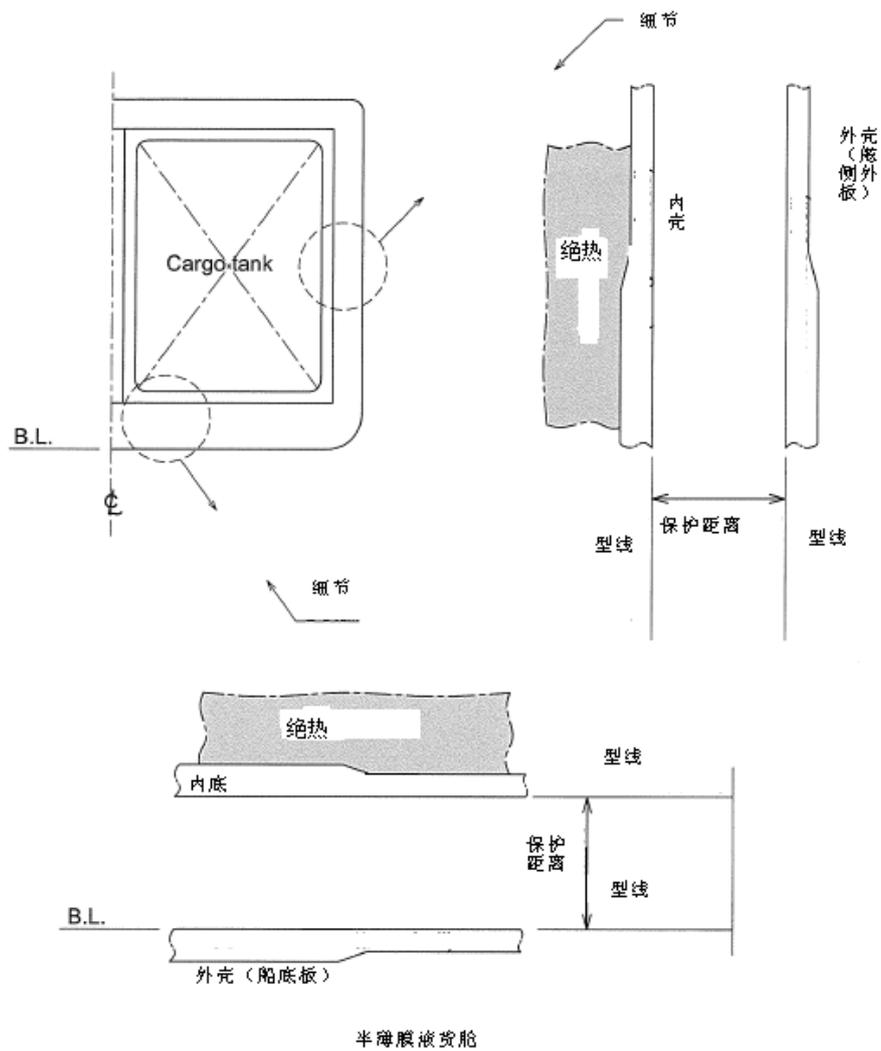


图 2.5(b)—保护距离

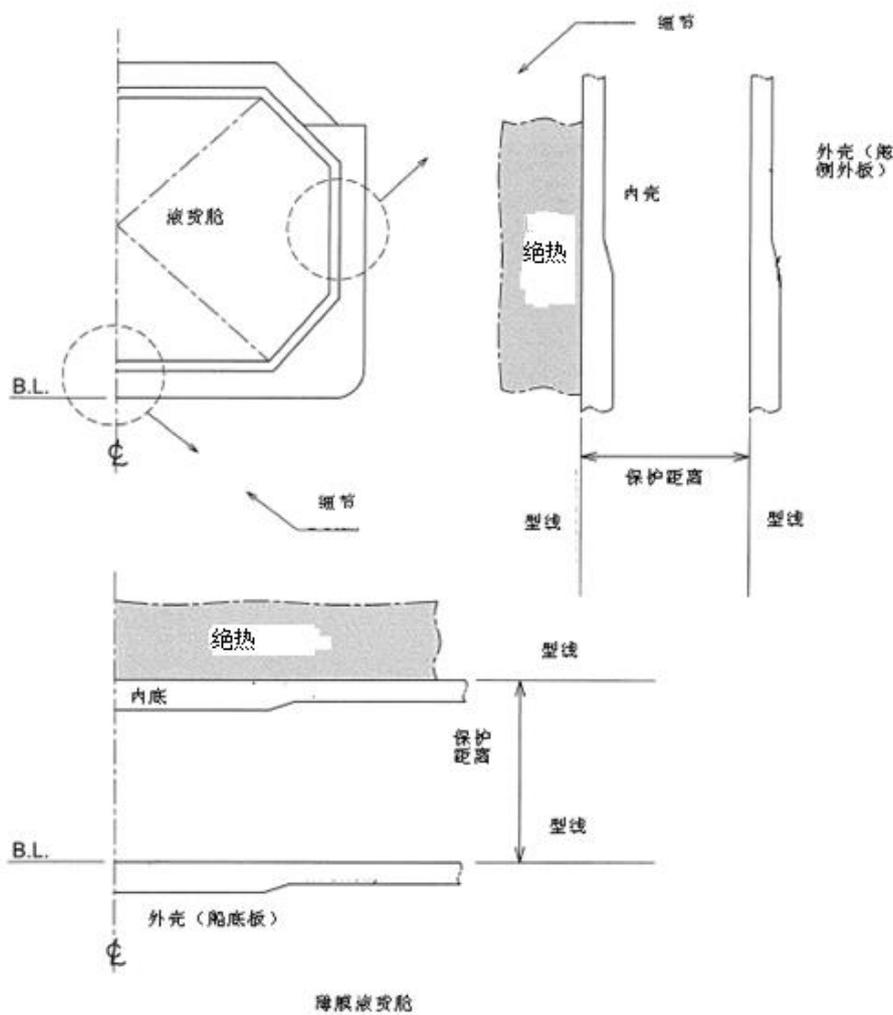


图 2.5(c)—保护距离

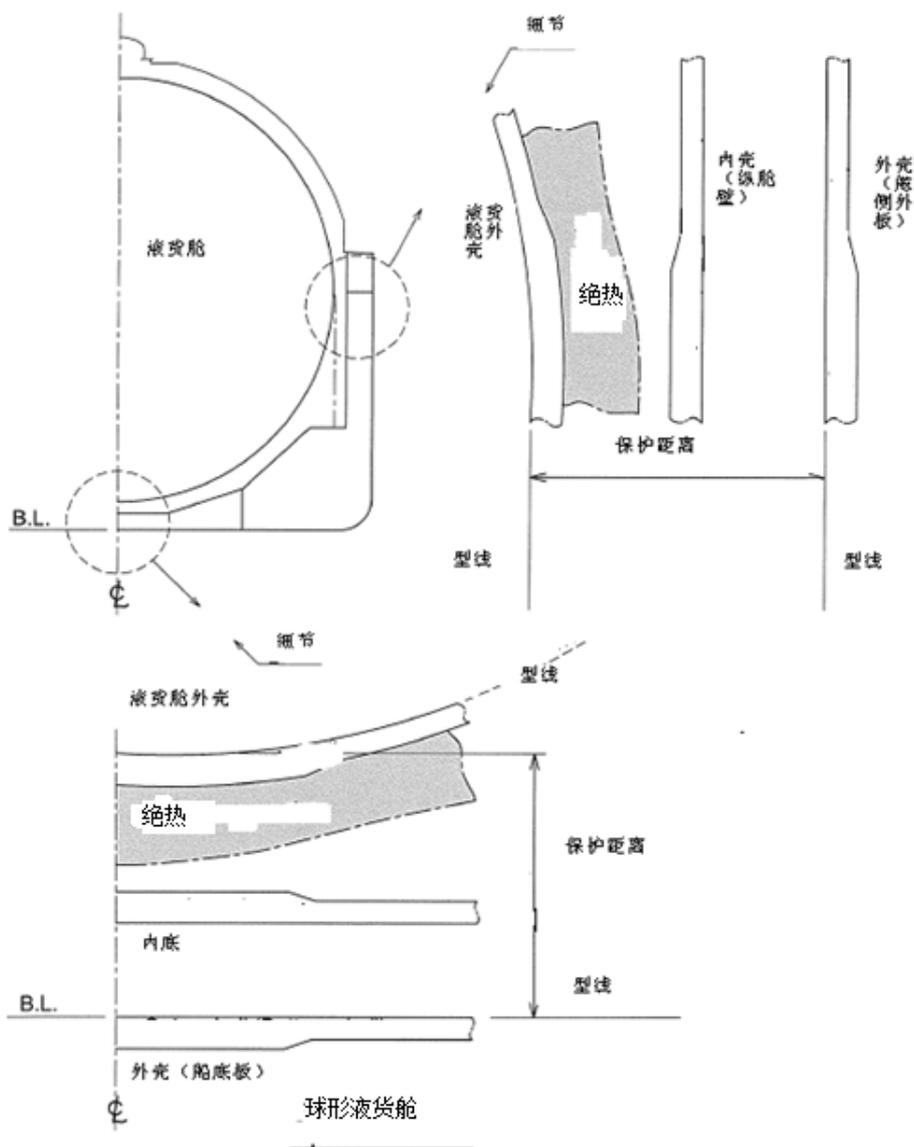


图 2.5(d)—保护距离

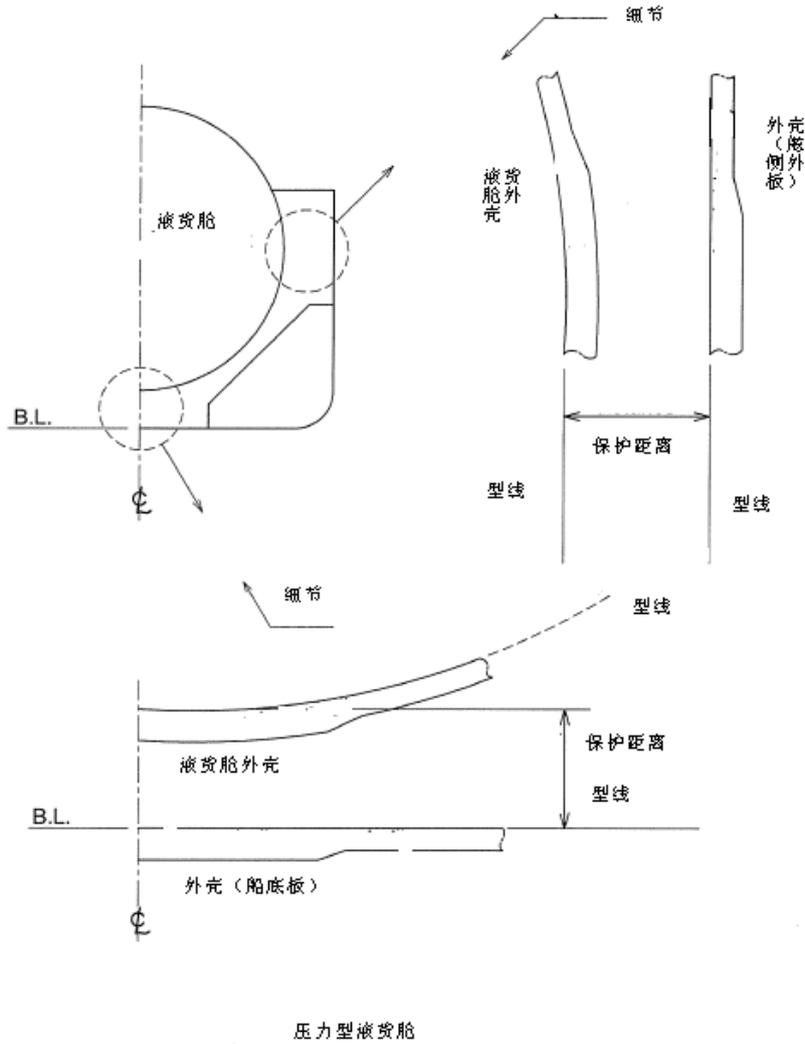


图 2.5(e)—保护距离

2.4.3 除1G型船舶外，液货舱内的吸口阱可以延伸至2.3.1.2.3规定的船底垂向破损范围内，条件是此种阱尽可能小，且伸入内底板以下部分应不超过双层底深度的25%或350 mm，取小者。若无双层底时，吸口阱伸入船底破损上限以下的部分不应超过350 mm。在确定受破损影响的舱室时，按照本条要求所设置的吸口阱，可忽略不计。

2.4.4 液货舱不应位于防撞舱壁前面。

2.5 浸水假定

2.5.1 应通过计算证实2.7的要求已被满足，计算应考虑船舶的设计特征，破损舱室的布置、形状和容量，液体的分布、相对密度和自由液面影响，以及所有装载工况下的吃水和纵倾。

2.5.2 假定破损处所的渗透率应如下：

处所	渗透率
物料贮存处所	0.60
起居处所	0.95
机器处所	0.85
留空处所	0.95
货舱处所	0.95 ¹
消耗液体	0~0.95 ²
其他液体	0~0.95 ²

注1:若基于具体计算渗透率可采用其他值。参见SOLAS公约第II-1章B-1部分的解释(海安会MSC/Circ.651通函)。

注2:部分充装的舱室的渗透率应与舱室所载运的液体量相一致。

2.5.3 当破损穿透装有液体的液货舱,应假设舱内液体从该舱完全流失,并由海水替代直至最终的平衡液面。

2.5.4 若水密横舱壁之间的破损被假定为2.6.1.4、2.6.1.5和2.6.1.6中所指的范围,则横舱壁之间的距离至少应等于2.3.1.1.1规定的纵向破损范围才被认为有效。若横舱壁之间的距离小于上述值,则对在此破损范围内的这种舱壁中的一个或几个,在确定浸水舱室时应假定为不存在。再则,若水密舱壁边界是在2.3所要求的垂向或水平向穿透范围内,则边舱或双层底舱的水密横舱壁边界处的任何部分应被假定破损。若横舱壁上有长度超过3m的台阶或壁龛位于被假定的破损穿透范围内,则该横舱壁亦应被假定破损。由尾尖舱舱壁和尾尖舱舱顶形成的台阶在此处不应被视为台阶。

2.5.5 通过舱有效的布置将船舶设计成能使不对称浸水减至最小程度。

2.5.6 当所设置机械辅助设备如阀或横通调平管作为平衡装置时,则该装置不应认为可用于减小横倾角或达到最小剩余稳性范围以满足2.7.1的要求。如采用平衡装置,则应在所有阶段仍保持有足够的剩余稳性。对处所间用大截面导管连通的,可认为是连通处所。

2.5.7 如果管路、导管、围蔽通道或隧道位于2.3规定的假定破损穿透范围内,它们的布置,应能在每一破损情况下使连续浸水不会扩展到除被假定浸水舱室外的其他舱室。

2.5.8 直接位于舷侧破损范围上方的任何上层建筑的浮力应不予考虑。然而破损范围之外的上层建筑未浸水部分的浮力可予以考虑,条件是:

- 1 它们必须用水密隔壁与破损处所隔开,且应满足2.7.1.1对这些完整处所的要求;和
- 2 这些分隔上的开口,应用能遥控的滑动水密门予以关闭,且在2.7.2.1所要求的最小剩余稳性范围内,未保护的开口不应被浸没,但对于能水密关闭的其他开口,可允许被浸没。

2.6 破损标准

2.6.1 船舶应能在2.5所述的假定浸水情况下经受住2.3所述的破损。对于其假定浸水的范围，根据船型应符合下列标准：

- .1 对于1G型船舶，应假定在其船长范围内的任何部位均能经受破损；
- .2 船长大于150 m的2G型船舶，应假定在其船长范围内的任何部位均能经受破损；
- .3 船长等于或小于150 m的2G型船舶，应假定在其船长范围内的任何部位任一舱壁均能经受破损，但不包括邻接于尾机型机舱边界壁；
- .4 对于2PG型船舶，应假定在其船长范围内的任何部位的均能经受破损，但不包括间距超过2.3.1.1.1规定的纵向破损范围的横向舱壁；
- .5 船长等于或大于80 m的3G型船舶，应假定在其船长范围内的任何部位均能经受破损，但不包括间距超过2.3.1.1.1规定的纵向破损范围的横舱壁；和
- .6 船长小于80 m的3G型船舶，应假定在其船长范围内的任何部位均能经受破损，但不包括间距大于2.3.1.1.1规定的纵向破损范围的横舱壁和尾部机器处所的破损。

2.6.2 对于小型的2G/2PG和3G型船舶不是在所有方面都满足2.6.1.3、2.6.1.4和2.6.1.6的合适要求，可由主管机关考虑予以特别免除，但应提供能保持同等安全程度的替代措施，对此替代措施的性质应进行认可，并清楚地加以说明，且随时可提交给港口主管当局。对任何的此种免除应在IGC规则1.4.4所述的《国际散装运输液化气体适装证书》内加以适当的注明。

2.7 残存要求

适用于本规则的船舶，按2.6规定的破损标准，经受2.3假定的破损范围，在稳定平衡条件下残存能力应能满足下列衡准。

2.7.1 在浸水任何阶段：

- .1 计及下沉、横倾和纵倾的水线应位于可能产生连续进水或向下(注灌)进水的任何开口的下缘。此类开口应包括空气管和用风雨密门或舱口盖关闭的开口，但不包括用水密人孔盖关闭的开口和水密平舱口、能保持甲板高度完整性的小型水密液货舱舱口盖、能遥控操纵的水密滑动门和固定式（非开启）舷窗；
- .2 不对称浸水引起的最大横倾角应不超过30°；和
- .3 浸水中间阶段的剩余稳性不应比2.7.2.1所要求的值小。

2.7.2 在浸水后的最终平衡阶段：

- .1 复原力臂曲线在平衡位置应有20°的最小范围，在20°范围内最大剩余复原力臂至

少应有0.1 m；在此范围内，该曲线下的面积应不小于0.0175 m rad。20°范围可从平衡位置与25°角（或30°，如果未发生甲板浸没）之间开始的任何角度测量。在此范围内未加保护的开口不应被浸没，除非这些处所已被假定浸水的。在此范围内2.7.1.1所列的任何开口及能以风雨密关闭的其他开口可以允许浸没，其中，能够风雨密关闭的其他开口，不包括为使船舶能进行有效操作而必须保持开启以便向机舱或应急发电机舱提供空气的通风筒（符合1966年国际载重线公约第19（4）条的规定），稳性计算中计入浮力或保护通向下方的开口如果也必须保持开启，也不应包括；和

.2 应急电源应能操作。

第3章 船舶布置

目的

确保货物围护和装卸操作系统的位置能将货物任何的泄放的后果降至最低，并提供安全通道进行操作和检查。

3.1 货物区域的分隔

3.1.1 货舱处所应与机器处所、锅炉处所、起居处所、服务处所、控制站、锚链舱、生活用水舱以及储物舱隔开。货舱处所应位于A类机器处所的前方。基于SOLAS公约第II-2/17条，在进一步考虑到相关风险（包括货物泄放风险和减轻措施）后，可接受替代布置，包括使A类机器处所在前方。

3.1.2 若在不要有完整或部分次屏壁的货物围护系统内载运货物，则货舱处所与3.1.1所述处所之间，或与其下面或外侧的处所之间，可用隔离舱、燃油舱或形成A-60级分隔的全焊接结构的单层气密舱壁予以分隔。如果相邻处所内不存在点火源或火灾危险，则可接受气密A-0级分隔。

3.1.3 若在要求有完整或部分次屏壁的货物围护系统内载运货物，则货舱处所与3.1.1所述处所之间，或与其下面或外侧存在点火源或火灾危险的处所之间，应用隔离舱或燃油舱予以分隔。如果相邻处所内不存在点火源或火灾危险，则可接受气密A-0级分隔。

3.1.4 转塔舱与3.1.1中所述处所之间，或与其下面或外侧存在点火源或火灾危险的处所之间，应用隔离舱或A-60级分隔予以分隔。如果相邻处所内不存在点火源或火灾危险，则可

接受气密 A-0 级分隔。

3.1.5 另外，从转塔舱至相邻处所的火灾扩展风险应通过风险分析进行评估（见 1.1.11），并应在需要时提供预防措施，例如在转塔舱周围布置隔离舱。

3.1.6 若在要求设有完整或部分次屏壁的货物围护系统内载运货物，则应符合下列规定：

1. 当货物温度低于 -10°C 时，货物舱处所与海水之间应设置双层底；和
2. 当货物温度低于 -55°C 时，货物舱处所还须设置构成边舱的纵舱壁。

CCS3.1.6 每一液货舱应采用全焊接结构单舱壁彼此分隔，当设计温度低于 -55°C 时，应采用隔离舱进行分隔，除非货物装载在独立液货舱内，且替代措施能确保舱壁温度不会冷却至 -55°C 以下。经 CCS 同意，可用隔离舱作为压载舱。

3.1.7 露天甲板上为货物围护系统所设开口处应设有密封装置。

3.2 起居、服务和机器处所以及控制站

3.2.1 任何起居处所、服务处所或控制站应不位于货物区域内。对货物围护系统要求设置次屏壁的船舶，应将起居处所、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。

3.2.2 为了防止有害蒸气进入起居处所、服务处所、机器处所和控制站，在确定上述处所的空气进口/出口和开口的位置时，应考虑货物管路、货物透气系统以及机器处所内气体燃烧装置排出的废气对上述处所的影响。

CCS3.2.2 符合本规范有关要求，特别是第 3.2.4、3.8、8.2.11 和 12.1.6 条的要求，可认为是考虑了 3.2.2 条预防有害蒸气的要求。

3.2.3 非危险区域到危险区域之间，不允许设置气密或其他型式的门的通道，但当起居处所位于船尾时，通过 3.6.1 规定的空气闸而进出货物区域前面的服务处所所设的通道是允许的。

3.2.4.1 起居处所，服务处所、机器处所和控制站的入口、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，这些开口离面向货物区域上层建筑或甲板室的端壁之间的距离至少为船长(L)的 4%，且不小于 3 m，然而不必超过 5 m。

CCS3.2.4 可准许在面向货物区域的边界舱壁，或在本规范上述 5 m 限制范围内设置通向货物主控制站和诸如食品间、储藏室及物料间这类服务处所的出入口，但是这些出入口不得直接或间接通往包括有或用作起居处所、控制站的任何其他处所，或诸如厨房、配膳室或工作间的服务处所，或含有油气着火源的类似处所。这种处所的限界面应隔热至“A-60”级标准，

但面向货物区域的限界面除外。在上述 3.2.4.1 条规定的限制范围内可设置拆移机器时用的由螺栓紧固的门板。

3.2.4.2 面向货物区域和在上述距离内的上层建筑或甲板室两外侧壁上的窗和舷窗应是固定（非开启）型的。驾驶室的窗可以为非固定型的，而门可位于上述范围内，只要它们设计能确保迅速而有效的气密和蒸气密。

3.2.4.3 对于专用于载运既不易燃又无毒性危害货物的船舶，在执行上述要求时，经主管机关认可后可予以放宽。

3.2.4.4 进入包含点火源的艙楼处所的通道可允许通过面向货物区域的单扇门，但门应位于第10章中定义的危险区域外。

3.2.5 面向货物区域和在 3.2.4 中规定的限制内的上层建筑或甲板室两外侧壁上的窗和舷窗（驾驶室窗除外）应建造成 A-60 级。最上层连续甲板以下外板上的舷窗以及在第 1 层上层建筑或甲板室的舷窗均应为固定（非开启）型的。

3.2.6 起居处所、服务处所和控制站的所有空气进口、出口和其他开口均应设有关闭装置。载运有毒货品时，它们应能在处所内部操作。对于有毒货品，空气进口和开口设置能在处所内部操作的关闭装置的要求不必适用于不经常有人的处所，例如甲板贮存室、艙楼储藏室、工作间。另外，此要求不适用于货物区域内的货物控制室。

CCS3.2.6.a 不必在各处所内操作的关闭装置，可以位于集中控制位置。

CCS3.2.6.b 机舱棚、货物机器处所、电机室和舵机舱通常认为是不必适用 3.2.6 条的处所，因此有关关闭装置的要求不必适用这些处所。

CCS3.2.6.c 防止有毒气体和无毒气体进入的关闭装置应达到一个合理的气密程度，不带垫圈或密封装置的普通钢质防火挡板应视为不合格。

CCS3.2.6.d 尽管有本解释，关闭装置应能从保护处所的外部操作（SOLAS 第 II-2/5.2.1.1 条）。

3.2.7 转塔系统的控制室和机器处所可位于具有这类装置的船上液货舱前后的货物区域。进入包含点火源的此类处所的通道可允许通过面向货物区域的门，条件是门位于危险区域外或通道通过空气间。

3.3 货物机器处所和转塔舱

3.3.1 货物机器处所应位于露天甲板上，且应位于货物区域内。货物机器处所和转塔舱应被视为货泵舱，在防火要求方面按照 SOLAS 公约第 II-2/9.2.4 条的要求；在防止潜在的爆炸方

面按照 SOLAS 公约第 II-2/4.5.10 条的要求。

3.3.2 当货物机器处所位于最后货舱处所的后面或最前货舱处所的前面时，1.2.7 所定义的货物区域的界限应扩展到包括货物机器处所在内的整个船宽和船深的范围以及这些处所上方的甲板区域。

3.3.3 当货物区域的界限按 3.3.2 要求扩展时，货物机器处所与起居处所、服务处所、控制站和 A 类机器处所之间的分隔舱壁应布置成能避免气体通过甲板或舱壁的单一破损进入这些处所。

3.3.4 货物压缩机和货泵可由经舱壁或甲板分隔的相邻非危险处所中的电动机驱动，条件是舱壁贯穿周围的密封能够确保该两个处所的有效气密分隔。作为替代，如果电气装置符合第 10 章的要求，该设备可由相邻的合格防爆型电动机驱动。

3.3.5 货物机器处所和转塔舱应布置成能让穿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 5 m 时，可接受单个脱险通道。

3.3.6 穿防护服的人员应易于接近装卸货物所需的所有阀。在货泵舱和货物压缩机舱内应配备合适的排水装置。

3.3.7 转塔舱应设计成在发生爆炸或不可控的高压气体泄放（过压和/或脆性断裂）时，保持其结构完整性，其特征应基于风险评估予以证明，并适当考虑到压力释放设备的性能。

3.4 货物控制室

3.4.1 任何货物控制室均应位于露天甲板以上，且可位于货物区域内。货物控制室可设于起居处所、服务处所或控制站内，还应满足下列条件：

- .1 货物控制室是非危险区域；
- .2 如果货物控制室的入口符合 3.2.4.1 的要求，则货物控制室可以设置到上述处所的通道；和
- .3 如果货物控制室的入口不符合 3.2.4.1 的要求，则货物控制室不得设置到上述处所的通道，且货物控制室与这些处所之间的周界应达到“A-60”级分隔完整性。

3.4.2 如果货物控制室设计成非危险区域，则货物控制室内的仪表设备应尽可能采用间接读出系统，且仪表设备应设计成在任何情况下能防止气体逸至货物控制室内的空气中。如果气体探测系统是按 13.6.11 规定安装的，则在货物控制室内的气体探测系统设置不应使控制室变成危险区域。

3.4.3 对于载运易燃货物的船舶，如果货物控制室是危险区域，则应排除点火源，且任何电气设备应按照第10章安装。

3.5 通往货物区域内各处所的通道

3.5.1 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，若这种目测检验只能检查内壳的外表面（不管其能否与3.5.2、4.6.2.4或4.20.3.7所要求的检验同时进行），则此船体内壳不应是构成燃油舱周界的舱壁。

3.5.2 应能对货舱处所内任何绝热层的一侧进行检验。若对于绝热系统的完整性，能在液货舱处于营运温度时通过对货舱处所周界外侧的检验予以验证时，则对货舱处所内一侧绝热层的检验可不要求。

3.5.3 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。布置应满足下列要求：

.1 应具备下述通道：

- .1 直接从露天开敞甲板进入所有液货舱；
- .2 水平开口、舱口或人孔应具有足够尺寸，能让携带呼吸器的人员上下梯子无阻碍；且应提供1个无阻碍的开口，以便将受伤人员从处所底向上提升；该开口的最小尺寸应不小于600 mm × 600 mm；
- .3 在这些处所内沿长度和宽度方向通道的垂直开口或提供出入这些处所人孔的最小净开口尺寸应不小于600 mm × 800 mm，其下缘距舱底板的高度应不大于600 mm，否则应设有格栅或其他踏步；和
- .4 至C型舱的圆形通道开口直径应不小于600 mm。

- .2 如满足3.5.3条要求至主管机关满意，3.5.3.1.2和3.5.3.1.3所要求尺寸可予以减小。
- .3 如果货物在要求次屏壁的围护系统中载运，3.5.3.1.2和3.5.3.1.3的要求不适用于以单层钢质气密周界与货舱处所相隔离的处所；此类处所应设置仅能从露天开敞甲板直接或间接进入的通道，不包括任何围蔽的非危险区域。

CCS 3.5.3.a 通常 3.5.3.1.2 和 3.5.3.1.3 给出的最小尺寸要求对于上述 3.5.3.3 所规定的处所也应遵守。对于 3.5.3.1.2，内部梯道平台如隔挡提升路径，则应为可方便拆除或掀开型式，并应在营运期间牢固固定，防止船舶摇晃导致碰撞。

CCS 3.5.3.b 对于 A 型独立液货舱的船舶，人孔不允许穿过次屏壁，除非是穿过位于在假定

液货舱完全损坏和船舶左右横倾 30° 情况下的预测货物表面之上的区域内的上甲板。对于替代结构布置应特别考虑。

CCS3.5.3.c 通过水平开口通道 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 的最小净开孔可具有最大为 100mm 的圆角半径。

如果给定设计的结构分析结果要求减小开孔周围应力，则可采用对 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 的净开孔（圆角半径最大为 100mm ）扩大其圆角半径的方法，如采用圆角半径为 300mm 的 $600\text{mm} \times 800\text{mm}$ 的开孔，以减小应力。

CCS3.5.3.d 通过垂直开口通道不小于 $600\text{mm} \times 800\text{mm}$ 的最小净开口也应具有 300mm 的圆角半径。

在垂向结构上，即双层底液舱内的桁材和肋板，因结构强度上的原因在垂向不能开大孔时，则可接受 600mm （高度） $\times 800\text{mm}$ （宽度）的开孔。若能证实担架上的伤员能方便撤离，则上半部分宽度大于 600mm ，而下半部分宽度可能小于 600mm 的 $850\text{mm} \times 620\text{mm}$ 的垂直孔（总长应不小于 850mm ），可视为传统的 $600\text{mm} \times 800\text{mm}$ （圆角半径为 300mm ）的开孔的替代。

CCS3.5.3.e 如垂直孔位于高度大于 600mm 处，则需设置踏步和把手。对此布置，需要证明伤员能方便撤离。4 检查所需通道应为通过液货舱上方或下方结构的指定通道，应至少有 3.5.3.1.3 要求的横截面。

.5 就 3.5.1 或 3.5.2 而言，应适用下列要求：

.1 如要求通过平的或弯曲的待检查表面和结构（例如甲板梁、加强筋、肋骨、纵桁等）之间，该表面与结构件自由边之间的距离应至少为 380mm 。待检查表面和设置上述结构件的表面（例如甲板、舱壁或外壳）之间的距离，对于弯曲的液货舱表面（例如 C 型舱），应至少为 450mm ，对于平的液货舱表面（例如 A 型舱），应至少为 600mm （见图 3.1）；

.2 如不要求通过待检查表面和结构的任何部分之间，为便于目视检查，结构件的自由边和待检查表面之间的距离应至少为 50mm 或结构面板宽度的一半，取其大者（见图 3.2）；

.3 如为了检查曲面，要求通过该表面和另一个未设置结构件的平的或弯的表面之间，2 个表面之间的距离应至少为 380mm （见图 3.3）。如不要求通过该曲面和另一个表面之间，考虑到曲面的形状，可接受距离小于 380mm ；

.4 如为了检查近似平的表面，要求通过未设置结构件的 2 个近似平的和近似平行的表面，这些表面之间的距离应至少为 600mm 。如设有固定通道梯子，应设有至少 450mm 的间隙供进入（见图 3.4）；

.5 液货舱集液槽和吸口井处相邻双层底结构之间的最小距离不应小于图 3.5 中所

示距离（图 3.5 显示集液槽平面和吸井之间的距离最小为 150 mm，内底板和吸井的垂直边之间的边缘以及球形或圆形表面与液货舱集液槽之间的接合点之间的间隙至少为 380 mm）。如无吸口井，液货舱集液槽和内底之间的距离应不小于 50 mm；

.6 液货舱气室和甲板结构之间的距离应不小于 150 mm（见图 3.6）；

.7 应安装检查液货舱、液货舱支承装置和固定装置（例如抗纵摇、抗横摇和止浮垫块）、液货舱绝热所需的固定式或可携式脚手架。该脚手架不应减少 3.5.3.5.1 至 3.5.3.5.4 中规定的间隙；和

.8 如应安装固定式或可携式通风管道以符合 12.1.2，这类管道不应减少 3.5.3.5.1 至 3.5.3.5.4 要求的距离。

3.5.4 露天开敞甲板至非危险区域的通道应位于第 10 章中规定的危险区域外，除非通道设置是按照 3.6 空气闸的要求。

3.5.5 转塔舱应设有 2 个独立的通道/出口。

3.5.6 不允许设置从露天开敞甲板下的危险区域至非危险区域的通道。

3.6 空气闸

3.6.1 露天开敞甲板上的危险区域与非危险处所之间的通道应依靠空气闸。空气闸应由两扇能确保气密的钢质门组成，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 1.5 m，但不大于 2.5 m。空气闸处所应从非危险区域机械通风并相对露天开敞甲板上的危险区域保持过压状态。

CCS3.6.1 当过压状态消失时，受空气闸所保护处所内的非合格防爆型电气设备应在至少换气 10 次以后才能重新通电。

3.6.2 如果（受空气闸保护）处所受到加压保护，通风应按照公认标准¹设计和安装。

3.6.3 空气闸处所的两端应配备声光报警系统。当一侧门开启时，应发出光报警。当空气闸两侧的门从关闭位置开启时应发出声报警。

3.6.4 载运易燃货品的船上，受空气闸所保护处所内的非合格防爆型电气设备，当处所内的过压状态消失时应能切断其供电。

3.6.5 位于空气闸所保护的处所内用于操纵、锚泊和系泊以及应急消防泵的电气设备应为合

¹ 例如国际电工委员会建议的出版物，特别是 IEC 60092-502:1999。

格防爆型。

3.6.6 空气闸处所内应监测货物蒸气（见13.6.2）。

3.6.7 按照现行《国际载重线公约》的要求，空气闸的门槛高度应不小于300 mm。

3.7 舱底水、压载和燃油布置

3.7.1 如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。

CCS3.7.1.a 对于设有C型独立液舱的货舱处所，货舱处所的舱底水排水装置通常能从露天甲板以上操作。

CCS3.7.1.b 对于设有C型独立液舱的货舱处所，探测货舱处所泄漏的装置应适于确定水的存在。探测泄漏的装置可由电子液位开关组成，相关电气元器件应满足IEC60092-502对其安装位置所属危险区域内的电气设备的防爆要求，并应在驾驶室和货物控制室（如设有）报警。

3.7.2 如设有次屏壁，则应配备适当的排水装置，用于处理通过相邻船体结构漏入货舱处所或绝热处所的泄露。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。

3.7.3 A型独立液货舱的货舱处所或保护层处所，应设有适当的排水系统，以处理在液货舱泄漏或破裂时漏出的液货，这种装置还应提供将漏出的液货返回到液货舱的管路。

3.7.4 上述3.7.3所述的装置应提供可拆短管。

3.7.5 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。

3.8 船首或船尾装卸货物装置

3.8.1 符合本节和第5章的要求时，可允许设置船首或船尾装卸货物管系。

3.8.2 通过起居处所、服务处所或控制站旁通过的船首或船尾装卸管路不得用于输送要求1G型船舶载运的货品。如果设计压力超过2.5 MPa，船首或船尾装卸管路也不得用于输送1.2.53所定义的有毒货品。

3.8.3 不允许采用可携式装置。

3.8.4.1 起居处所、服务处所、机器处所和控制站的进出口、空气进口及开口不应面向船首

或船尾装卸装置的货物通岸接头所在位置。它们应位于上层建筑或甲板室的外侧，离上层建筑或甲板室面向首和尾装卸货物通岸接头的端壁之间的距离至少为船长(L)的4%，但不得小于3 m，也不必超过5 m。

3.8.4.2 面向通岸接头以及上述距离范围内的上层建筑或甲板室两侧的窗和舷窗应是固定(非开启)型的。

3.8.4.3 此外，首尾装卸装置在使用期间，相应的上层建筑或甲板室两侧的所有门、舷门以及其他开口均应保持关闭状态。

3.8.4.4 对于小型船舶，若不可能满足3.2.4.1至3.2.4.4和3.8.4.1至3.8.4.3要求时，主管机关可同意予以放宽上述要求。

3.8.5 首尾装卸装置在使用期间，离货物通岸接头10 m范围内各处所的甲板开口和空气进/出口应保持关闭状态。

3.8.6 首尾装卸区域的消防设备应符合11.3.1.4和11.4.6的要求。

3.8.7 货物控制站与通岸接头处之间应配备用于联络的通信设备，必要时应采用可在危险区域使用的合格防爆型通信设备。

图3.1

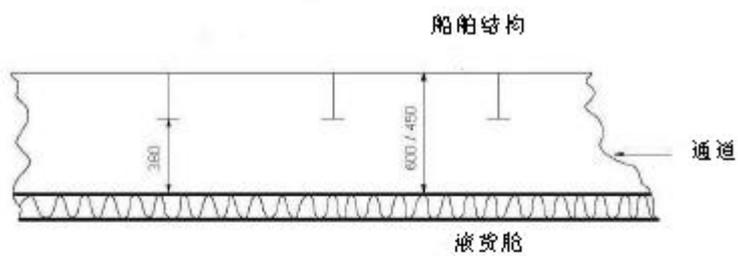


图3.2

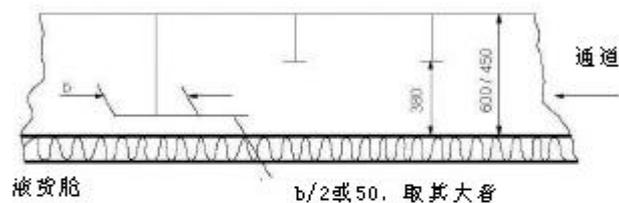


图3.3

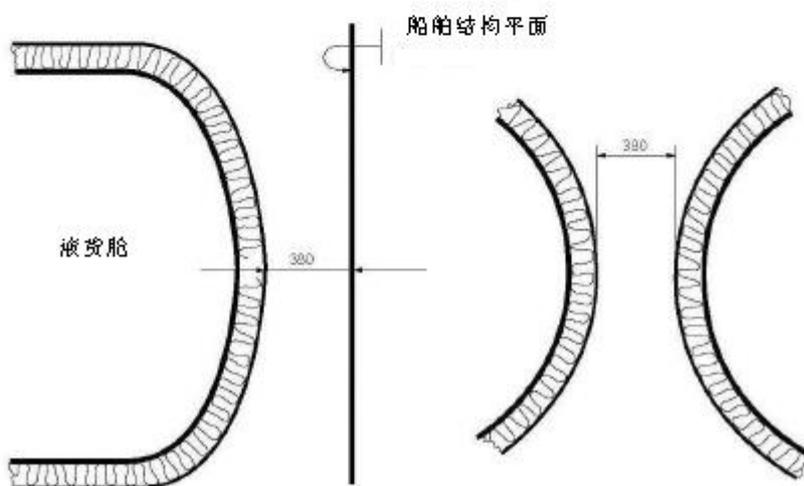


图3.4

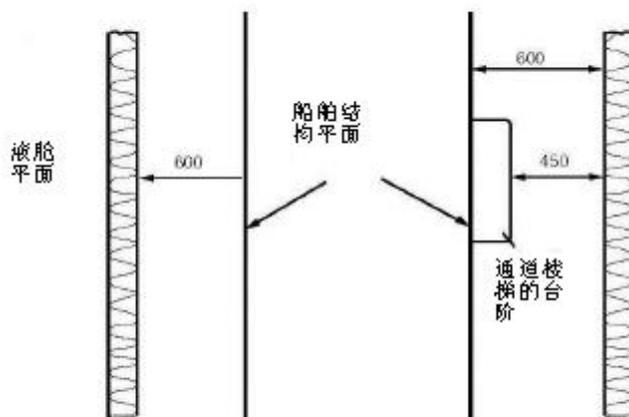


图3.5

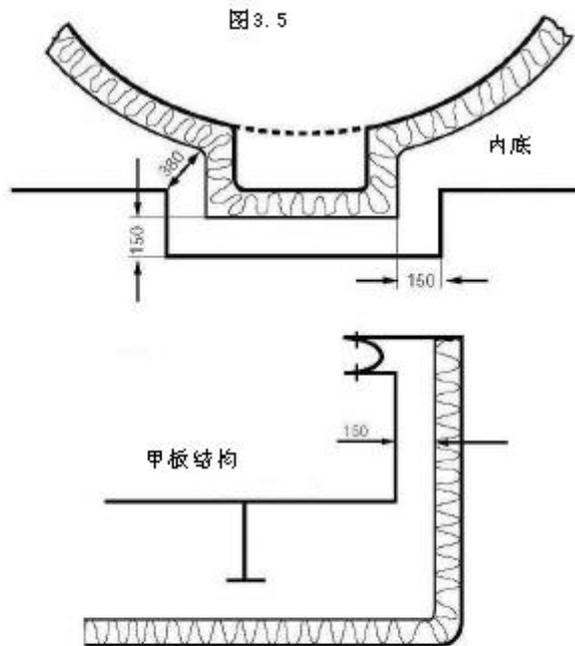


图3.6



第4章 货物围护

目的

确保在所有设计和操作条件下货物的安全围护，并考虑到所载货物的性质。该目的包括下列措施：

1. 具有承受规定载荷的强度；
2. 保持货物处于液体状态；
3. 设计成防止船体结构暴露于低温之中；以及
4. 防止水或空气进入货物围护系统。

4.1 定义

4.1.1 冷点系指对于船体或相邻船体结构的许用最低温度或第7章要求的货物压力/温度控制系统的设计能力而言，船体或绝热表面发生局部温度降低的一部分。

4.1.2 设计蒸气压力 P_0 ，系指用于液货舱设计的液货舱顶部的最大表压。

4.1.3 供选择材料用的设计温度系指可以在液货舱内装载或运输的货物的最低温度。

4.1.4 独立液货舱系指自身支持的液货舱，它不构成船体结构的一部分，对船体强度不是必需的。独立液货舱分为3类，分别在4.21、4.22和4.23中叙述。

4.1.5 薄膜液货舱系指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液密和气密层（薄膜）组成。薄膜液货舱详见4.24。

4.1.6 整体液货舱构成船体结构的一部分，并且以相同方式与相邻船体结构一起受到同样载荷的影响。整体液货舱详见4.25。

4.1.7 半薄膜液货舱系指装载工况下非自身支持的液货舱，它由一层薄膜组成，该薄膜的大部分是由相邻船体结构通过绝热层所支持。半薄膜液货舱详见4.26。

4.1.8 除1.2中的定义外，本章中给出的定义还应适用整个本规则。

4.2 适用范围

除非在E部分中另有规定，A至D部分的要求应适用于所有类型的液货舱，包括F部分涉及的液货舱。



A 部分 货物围护

4.3 功能要求

4.3.1 货物围护系统的设计寿命应不小于船舶的设计寿命。

4.3.2 对于无限航区的航行,货物围护系统应根据北大西洋环境条件和相关的长期海况散布图设计。对于专门用于限制航区航行船舶的货物围护系统,主管机关可接受与预期使用相一致的较小环境条件。对于在比北大西洋环境更恶劣的条件下操作的货物围护系统,可要求较大环境条件。

4.3.3 货物围护系统应设计成具有适当的安全裕度:

- .1 在完整条件下,经受住货物围护系统设计寿命预期的环境条件及其适当的装载工况,包括均匀满载和部分装载工况,规定限制范围内的部分充装和压载航行载荷;以及
- .2 适应于载荷、结构建模、疲劳、腐蚀、热效应、材料多样性、老化和建造公差的不确定性。

4.3.4 应按失效模式评估货物围护系统的结构强度,包括但不限于塑性变形、屈曲和疲劳。对于每个货物围护系统,设计时应考虑的具体设计条件见 4.21 至 4.26。有 3 类主要的设计条件:

- .1 极限设计条件——货物围护系统结构及其结构部件应经受建造、试验和预期投入使用期间可能发生的载荷而不损害结构的完整性。设计应考虑下列载荷的适当组合:
 - .1 内部压力;
 - .2 外部压力;
 - .3 船舶运动引起的动载荷;
 - .4 热载荷;
 - .5 晃荡载荷;
 - .6 船舶变形引起的载荷;
 - .7 液货舱和货物重量在支持构件部位处的相应反作用力;
 - .8 绝热层重量;
 - .9 作用在塔架和其他附件处的载荷;以及

.10 试验载荷。

.2 疲劳设计条件——货物围护系统结构及其结构部件不应在累积循环载荷下失效。

.3 货物围护系统应满足下列衡准：

.1 碰撞——货物围护系统的保护位置应按照 2.4.1，并承受 4.15.1 中规定的碰撞载荷，且支持构件或支持构件处的液货舱结构无变形，从而不可能危及液货舱结构。

.2 失火——货物围护系统应在无破裂的情况下，在预想的失火情形时经受 8.4.1 中规定的内部压力的增加。

.3 舱室由于进水导致液货舱浮起——止浮装置应经受 4.15.2 中规定的向上作用力，且应无危及船体的塑性变形。

4.3.5 应采取措施确保所要求的尺寸满足结构强度规定，并保持在整个设计寿命中。措施可包括但不限于材料选择、涂层、腐蚀增量、阴极保护和惰化。除结构分析结果所要求的厚度外，无要求腐蚀裕量。但是，如果无环境控制，例如液货舱周围的惰化，或货物具有腐蚀性，主管机关可要求适当的腐蚀裕量。

CCS4.3.5 在预计可能发生的腐蚀区域，如未设置保护设施时，则可要求附加腐蚀裕量。对于 C 型罐，如设计时罐体的壳体未考虑腐蚀余量，则船上需对罐体外侧采用防锈处理措施，如在液罐外围空间进行环境控制（惰化或干空气）、罐壳体防锈涂装、或设置防潮包裹层。

4.3.6 应制定货物围护系统的检查/检验计划，并由主管机关认可。检查/检验计划应对货物围护系统整个寿命检验期间需检查区域予以识别，特别是选择货物围护系统设计参数时所假定的所有必需的营运检验和维护。货物围护系统的设计、建造和配备应使其能提供到达检查/检验计划中规定的需要检查区域的适当通道。货物围护系统（包括所有相关内部设备）的设计和建造应确保操作、检查和维护期间的安全（见 3.5）。

4.4 货物围护安全原则

4.4.1 围护系统应设有能安全控制通过主屏壁的所有潜在泄漏的完整的液密次屏壁，并且该次屏壁能与绝热系统一起防止船舶结构的温度下降至不安全的程度。

4.4.2 但如果按照 4.4.3 至 4.4.5 的适用要求证明同等的安全等级，次屏壁的尺寸和形状或布置可予以减小。

4.4.3 已确定结构失效导致临界状态的可能性极低，但不能排除主屏壁泄漏可能性的货物围护系统，应设有能安全处理泄漏的部分次屏壁和小泄漏保护系统。该装置应符合下列要求：

.1 达到临界状态前，能够可靠地探测到的失效形成（例如通过气体探测或检查），应具有足够长的形成时间以采取补救措施；以及

.2 达到临界状态前，不能安全探测到的失效形成应有比液货舱预计寿命长得多的预计形成时间。

4.4.4 如果主屏壁的结构失效和泄漏可能性很低且可忽略不计，则货物围护系统不要求设次屏壁，例如C型独立液货舱。

4.4.5 如果大气压力下的货物温度为-10℃或以上，则不要求设次屏壁。

4.5 与液货舱类型相关的次屏壁

与4.21至4.26中规定的液货舱类型有关的次屏壁应按下表设置。

大气压力下的货物温度	-10℃及以上	-10℃至-55℃	-55℃以下
基本液货舱类型	不要求设次屏壁	船体可作为次屏壁	要求设单独的次屏壁
整体液货舱 薄膜液货舱 半薄膜液货舱 独立液货舱 -A型独立液货舱 -B型独立液货舱 -C型独立液货舱		通常不允许采用此类舱型 ¹ 完整的次屏壁 完整的次屏壁 ² 完整的次屏壁 部分的次屏壁 不要求次屏壁	
注1：如按4.25.1的规定，允许大气压力下货物的温度低于-10℃，则通常应要求设完整的次屏壁。 注2：如半薄膜液货舱在各方面均能符合适用于B型独立液货舱的要求(支持方式除外)，经主管机关特别考虑，可同意设置部分的次屏壁。			

4.6 次屏壁的设计

4.6.1 如在大气压力下货物温度不低于-55℃，则基于下列条件船体结构可作为次屏壁：

- .1 按4.19.1.4的要求，船体材料应能适应于大气压力下的货物温度；以及
- .2 设计时应使得不因温度而产生不能接受的船体应力。

4.6.2 次屏壁应设计成：

- .1 在考虑到4.18.2.6所述的载荷谱后，能使其容纳15天时间的任何预计泄漏的货物。但对航行于特殊航线的船舶可应用不同的衡准；
- .2 液货舱内能导致主屏壁失效的物理、机械或操作事件不应损害次屏壁的功能，反之亦然；
- .3 船体结构支持构件或附件的失效不会导致主屏壁和次屏壁液密的丧失；

- .4 能以主管机关接受的方式定期检查其有效性。这可通过外观检查或压力/真空试验或按照主管机关同意的用文件记录的程序进行的其他合适方式；
- .5 上述.4中要求的方法应经主管机关认可，如适用于试验程序，应包括：
 - .1 在危及液密有效性之前，可接受的缺陷尺寸和次屏壁内位置的详细情况；
 - .2 上述.1中探测缺陷建议方法之值的精度和范围；
 - .3 如未进行全尺度模型试验，确定验收衡准使用的缩尺比因子；以及
 - .4 热和机械循环载荷对建议试验有效性的影响；和
- .6 应在静横倾角为 30° 时，仍能使次屏壁履行其功能要求。

4.7 部分次屏壁和主屏壁小泄漏保护系统

4.7.1 4.4.3中允许的部分次屏壁应与小泄漏保护系统一起使用并满足4.6.2中的所有要求。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。

4.7.2 考虑在主屏壁泄漏的初始探测之后，部分次屏壁的能力应基于从4.18.2.6所述的载荷谱中得到的破损范围所泄漏的货物量予以确定。可适当考虑液体蒸发、泄漏率、泵排量以及其他有关因素。

4.7.3 所要求的液体泄漏探测，可通过液体传感器或有效使用压力、温度或气体探测系统或任何其中的组合进行。

4.8 支持装置

4.8.1 对于液货舱，应由船体予以支持，在液货舱受到4.12至4.15中规定的静、动载荷作用时（如适用），其支持方式应能防止液货舱本体的移动，可以允许液货舱在温度变化和船体变形时收缩和膨胀，但不能使船体和液货舱出现过大的应力。

4.8.2 对于独立液货舱，应设置止浮装置，且使其能经受4.15.2中规定的载荷而不产生可能危及船体结构的塑性变形。

4.8.3 支持构件和支持装置应经受4.13.9和4.15中规定的载荷，但这些载荷无需进行相互组合，也不必将这些载荷与波浪诱导载荷进行组合。

CCS 4.8.3 支持构件的强度应通过直接计算加以验证。

4.9 相关结构和设备

4.9.1 货物围护系统应设计成能承受相关结构和设备施加的载荷。相关结构和设备包括泵塔、货物气室、货泵和管系、清舱泵和管系、氮气管系、通道舱口、梯子、管系贯穿件、液位表、独立液位报警表、喷嘴和仪表系统（例如压力、温度和应力表）。

CCS4.9.1 本条所述的相关结构和设备视具体围护系统类型而定。

4.10 绝热

4.10.1 应按要求设置绝热层，以防止船体温度降至许用值以下（见 4.19.1）并将进入液货舱的热流限制在第7章使用的压力和温度控制系统能维持的水平。

4.10.2 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。

B 部分 设计载荷

4.11 一般规定

本节对与 4.16、4.17 和 4.18 要求有关的应考虑的设计载荷做出规定。规定包括：

- 1 载荷种类（永久、功能、环境和意外）和载荷描述；
- 2 依据液货舱的类型考虑其载荷范围，并在下文中更详细地描述；以及
- 3 液货舱，连同其支持结构和其他固定装置，其设计时应考虑下述载荷的相关组合。

4.12 永久载荷

4.12.1 重力载荷

应考虑液货舱和绝热层的重量，以及塔架和其他附件产生的负荷。

4.12.2 永久外部载荷

应考虑外部作用在液货舱上的结构和设备的重力载荷。

4.13 功能载荷

4.13.1 由于液货舱系统操作使用而产生的载荷应归类为功能载荷。应考虑确保在所有设计条件下液货舱系统完整性所必需的所有功能载荷。在确定功能载荷时，至少应考虑下列适用衡准的影响：

- 1 内部压力；
- 2 外部压力；
- 3 热载荷；
- 4 振动；
- 5 相互作用载荷；
- 6 与建造和安装相关的载荷；
- 7 试验载荷；
- 8 静横倾载荷；以及
- 9 货物重量。

4.13.2 内部压力

- .1 在包括 4.13.2.2 的所有情况下, P_0 均不得小于释放阀的最大调定值(MARVS)。
- .2 对于无温度控制装置和其货物压力仅由环境温度支配的液货舱, P_0 应不得低于在温度为45℃时的货物蒸气表压, 但下列除外:

.1 对于航行于限制航区的船舶, 主管机关可以接受更低的环境温度值。反之, 可要求较高的环境温度值; 以及

.2 对于在限制期限内航行的船舶, P_0 可基于航行期间的实际压力上升进行计算, 并考虑液货舱的任何绝热情况。

- .3 经主管机关特别考虑, 并符合4.21至4.26规定对各类液货舱的限制条件, 可接受在动载荷降低的场所特定条件下(港口或其他场所), 采用高于 P_0 的蒸气压力 P_h 。来自本段落方法的任何释放阀设定应记录在《国际散装运输液化气体适装证书》中。

CCS4.13.2 这种情况通常仅对符合 A 型独立液货舱要求的船舶可予以接受。且应在船舶装载手册中予以清晰标明。

- .4 内部压力 P_{eq} 为蒸气压力 P_0 或 P_h 加最大相关动态液体压力 P_{gd} , 但不包括液体晃荡载荷的影响。对相关动态液体压力 P_{gd} 的指导公式, 见 4.28.1。

4.13.3 外部压力

对于外部压力载荷, 应根据液货舱的任一部位可能同时承受的最小内部压力和最大外部压力的差值予以确定。

4.13.4 热载荷

4.13.4.1 对于拟用于载运温度低于-55℃的货物的液货舱, 应考虑冷却期间的瞬态热载荷。

4.13.4.2 当所设计的支持装置或附件和营运温度可能会引起较大的热应力时, 其货物围护系统应考虑稳态热载荷(见7.2)。

4.13.5 振动

应考虑振动对货物围护系统潜在的损坏影响。

4.13.6 相互作用载荷

应考虑货物围护系统和船体结构之间相互作用产生的静载荷分量以及相关结构和设备产生的载荷。

4.13.7 与建造和安装相关的载荷

应考虑与结构和安装相关的载荷或条件, 例如起重。

4.13.8 试验载荷

应考虑对应于 4.21 至 4.26 中所述的货物围护系统试验的载荷。

4.13.9 静横倾载荷

应考虑对应于在0°到30°范围内的最不利的静横倾角的载荷。

4.13.10 其他载荷

应考虑未特别提及但对货物围护系统有影响的任何其他载荷。

4.14 环境载荷

环境载荷定义为作用在货物围护系统上,由周围环境产生,且未归类为永久、功能或意外载荷的载荷。

4.14.1 船舶运动产生的载荷

4.14.1.1 在确定动载荷时,应考虑船舶在其使用寿命期间在不规则海况中所经历的船舶运动长期分布。对于必要的减速和航向的变化,可考虑动载荷的折减。

4.14.1.2 船舶运动应包括纵荡、横荡、垂荡、横摇、纵摇和首摇。在估算作用于液货舱的加速度时,其作用点应在液货舱的重心处,且包括下列分量:

- 1 垂向加速度:垂荡、纵摇以及可能的横摇(垂直于船舶基线)的运动加速度;
- 2 横向加速度:横荡、首摇和横摇的运动加速度;以及横摇的重力分量;和
- 3 纵向加速度:纵荡和纵摇的运动加速度;以及纵摇的重力分量。

4.14.1.3 应提议由船舶运动引起的加速度预报方法,并经主管机关认可。

4.14.1.4 加速度分量的指导公式见 4.28.2。

4.14.1.5 对于限制航区营运的船舶,可给予特别考虑。

4.14.2 动态相互作用载荷

应考虑货物围护系统和船体结构之间相互作用产生的动载荷分量,包括相关结构和设备产生的载荷。

4.14.3 晃荡载荷

4.14.3.1 货物围护系统和内部构件上的晃荡载荷应基于许用充装高度进行评估。

4.14.3.2 当预计存在较为显著的晃荡诱导载荷时,应要求进行专门的试验和计算,范围覆盖拟定充装高度的整个范围。

CCS4.14.3 当在装载情况中拟有 1 个或多个液货舱部分充装时,则应要求对液货舱进行计算或模型试验,以表明其所承受的载荷和压力系在其结构尺寸所许可的范围内。此外,还应确保在液货舱液体内的结构构件、设备和管路具有足够的强度。

4.14.4 雪和冰载荷

如相关,应考虑雪和结冰情况。

4.14.5 冰区航行引起的载荷

对于拟在冰区航行的船舶,应考虑由于冰区航行而引起的载荷。

4.15 意外载荷

意外载荷定义为在异常和意外情况下,施加在货物围护系统及其支持装置上的载荷。

4.15.1 碰撞载荷

应基于满载工况下的货物围护系统确定碰撞载荷,向前惯性力为 $0.5g$, 向后惯性力为 $0.25g$, 其中 g 为重力加速度。

4.15.2 船舶进水引起的载荷

对于独立液货舱,在设计止浮垫块和支持船体结构时,应考虑进水至夏季载重吃水的货舱处所中,由于空舱的浮力产生的载荷。

C 部分 结构完整性

4.16 一般规定

4.16.1 结构设计应确保液货舱具有足够的承受所有相关载荷的能力和足够的安全裕量。应考虑塑性变形、屈曲、疲劳和丧失液密和气密的可能性。

4.16.2 货物围护系统的结构完整性应针对货物围护系统类型,证明其符合 4.21 至 4.26 的适用要求。

4.16.3 具有新颖设计且与 4.21 至 4.26 中所述显著不同的货物围护系统的结构完整性,应证明其符合 4.27, 以确保保持本章中规定的总体安全等级。

4.17 结构分析

4.17.1 分析

4.17.1.1 设计分析应基于接受的静力学、动力学和材料强度原则。

4.17.1.2 可使用简化方法或简化分析计算载荷影响,只要其是保守的。模型试验可与理论计算一起使用或代替理论计算。如果理论方法不适当,可要求模型或全尺度试验。

4.17.1.3 在确定动载荷的响应时,应考虑动力影响(如其可能影响结构完整性)。

4.17.2 载荷情形

4.17.2.1 对于货物围护系统的每个位置或部分,以及应分析的每个可能的失效模式,应考虑可能同时作用的所有相关载荷组合。

4.17.2.2 应考虑建造、装卸、试验和营运期间所有相关阶段最不利的情形和条件。

4.17.3 当分别计算静应力和动应力时,除非有其他计算方法能证明其恰当,总应力应按下式计算:

$$\sigma_x = \sigma_{x.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{x.dyn})^2}$$

$$\sigma_y = \sigma_{y.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{y.dyn})^2}$$

$$\sigma_z = \sigma_{z.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{z.dyn})^2}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xy.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xy.dyn})^2}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xz.dyn})^2}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{yz.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{yz.dyn})^2}$$

式中： $\sigma_{x.st}$ 、 $\sigma_{y.st}$ 、 $\sigma_{z.st}$ 、 $\tau_{xy.st}$ 、 $\tau_{xz.st}$ 和 $\tau_{yz.st}$ 为静应力；且

$\sigma_{x.dyn}$ 、 $\sigma_{y.dyn}$ 、 $\sigma_{z.dyn}$ 、 $\tau_{xy.dyn}$ 、 $\tau_{xz.dyn}$ 和 $\tau_{yz.dyn}$ 为动应力。

上述各值应从加速度分量和因变形和扭转引起的船体应变分量中分别予以确定。

4.18 设计条件

设计时，对于所有相关载荷情形和设计条件，应考虑所有相关失效模式。设计条件见本章较前部分，载荷情形见 4.17.2。

4.18.1 极限设计条件

结构能力可通过试验或分析确定，或计及弹性和塑料材料特性的简化线弹性分析或本规则规定予以确定。

4.18.1.1 应考虑塑性变形和屈曲。

4.18.1.2 分析应基于的特征载荷值如下：

永久载荷：	预期值
功能载荷：	规定值
环境载荷：	对于波浪载荷： 10^8 波浪遭遇期间所遇到的最可能的最大载荷

4.18.1.3 针对极限强度评估，应使用下列材料参数：

.1.1 R_e = 标定的室温下屈服应力下限值(N/mm²)。如在应力—应变曲线上无明显的屈服应力，则可采用0.2%条件的验证应力。

.1.2 R_m = 标定的室温下抗拉强度下限值(N/mm²)。

若低匹配焊缝（即焊接金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度）不可避免，如一些铝合金焊接接头，应采用热处理后 R_e 或 R_m 的相应值。在这种情况下，横向焊接抗拉强度应不小于母材的实际屈服强度。如不能做到，货物围护系统的焊接结构不能采用该类材料制造而成。

.2 上述性能应与材料标定的机械性能的下限值相一致，包括制造状态的焊缝金属。经主管机关特别考虑后，可考虑提高低温下的屈服应力和抗拉强度。对于作为材料性能依据的温度，应在1.4要求的《国际散装运输液化气体适装证书》内予以注明。

4.18.1.4 相当应力 σ_c (Von Mises, Huber)，应按下式确定：

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

式中： σ_x = x 方向的总正应力；
 σ_y = y 方向的总正应力；
 σ_z = z 方向的总正应力；
 τ_{xy} = x-y 平面的总剪应力；
 τ_{xz} = x-z 平面的总剪应力；以及
 τ_{yz} = y-z 平面的总剪应力。

上述之值应按 4.17.3 所述进行计算。

4.18.1.5 除第6章所涉及的材料外，用于材料的许用应力应得到主管机关的认可。

4.18.1.6 根据疲劳分析、裂纹扩展分析和屈曲准则，可对应力作进一步的限制。

4.18.2 疲劳设计条件

4.18.2.1 疲劳设计条件是与累积循环载荷相关的设计条件。

4.18.2.2 如要求疲劳分析，疲劳载荷的累积效应应满足：

$$\sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{n_{Loading}}{N_{Loading}} \leq C_w$$

式中： n_i = 液货舱的使用寿命期间每一应力水平的应力循环次数；

N_i = 按照韦勒(S-N)曲线，相应的应力水平在达到断裂时的循环次数；

$n_{Loading}$ = 液货舱的使用寿命期间装卸循环次数，不少于1000¹。装卸循环包括完整的压力和热循环；

$N_{Loading}$ = 由于装卸产生的疲劳载荷达到断裂时的循环次数；和

C_w = 最大许用累积疲劳损伤率。

疲劳破损应基于液货舱的设计寿命，但不小于10⁸的波浪遭遇。

4.18.2.3 如有要求，应对货物围护系统进行计及货物围护系统预期寿命期间内所有疲劳载荷及其适当组合的疲劳分析。应对各种充装工况予以考虑。

4.18.2.4.1 分析中使用的设计 S-N 曲线，应适用于材料和焊接件、结构细节、制造程序和预期的适用应力状况。

4.18.2.4.2 S-N 曲线应基于对应于至最终失效的相关实验数据的平均值减去两倍标准差曲线的 97.6% 的幸存概率。使用通过不同方式得到的 S-N 曲线，应要求调整 4.18.2.7 至 4.18.2.9

¹ 1000 次循环通常对应于 20 年的操作。

中规定的可接受的 C_w 值。

4.18.2.5 分析应基于的特征载荷值如下：

永久载荷：	预期值
功能载荷：	规定值或规定的历史值
环境载荷：	预期载荷历史值，但不小于 10^8 循环。

如使用简化的动载谱评估疲劳寿命，则其应经主管机关特别考虑。

4.18.2.6.1 如按 4.4.3 的规定减小次屏壁的尺寸，应进行疲劳裂纹增长的断裂力学分析，以确定：

1. 结构中的裂纹扩展路径；
2. 裂纹增长速度；
3. 裂纹扩展导致液货舱泄漏所要求的时间；
4. 贯穿厚度的裂纹尺寸和形状；以及
5. 可探测到的裂纹达到临界状态所要求的时间。

断裂力学通常基于试验数据的平均值加上两倍标准差得到的裂纹增长数据。

4.18.2.6.2 分析裂纹扩展时，考虑到适用的许用无损探伤和目视检查衡准，应假定使用检查方法所不能探测到的最大初始裂纹。

4.18.2.6.3 在4.18.2.7中规定的条件下进行的裂纹扩展分析：可采用为期15天的简化载荷分布和顺序。该分布可由图4.4所示得到。如同4.18.2.8和4.18.2.9中更长时间的载荷分布和顺序，应经主管机关认可。

4.18.2.6.4 如适用，布置应符合 4.18.2.7 至 4.18.2.9。

4.18.2.7 对于能通过泄漏探测可靠地探测到的失效：

C_w 应小于或等于 0.5。

从泄漏探测点至达到临界状态，预计剩余失效发展时间应不少于 15 天，但对航行于特殊航线的船舶，可实施不同的要求。

4.18.2.8 对于不能通过泄漏探测到，但能在营运检查时可靠地探测到的失效：

C_w 应小于或等于 0.5。

从营运检查方法不能探测到的最大裂纹至达到临界状态，预计剩余失效发展时间应不少于检查间隔的 3 倍。

4.18.2.9 在液货舱的特定位置，如不能确保有效的缺陷或裂纹增长的探测，应至少使用如下更严格的疲劳验收衡准：

C_w 应小于或等于0.1。

从假定的初始缺陷至达到临界状态，预计的失效发展时间应不少于液货舱使用寿命的3倍。

4.18.3 意外设计条件

4.18.3.1 意外设计条件是针对发生概率极低的意外载荷的设计条件。

4.18.3.2 分析应基于的特征值如下：

永久载荷：	预期值
功能载荷：	规定值
环境载荷：	规定值
意外载荷：	规定值或预期值

4.18.3.3 不需要将4.13.9和4.15中所述的载荷进行相互组合，也不必将这些载荷与波浪诱导载荷进行组合。

D 部分 材料和构造

4.19 材料

目的

确保货物围护系统、主屏壁和次屏壁、绝热层、相邻船舶结构和货物围护系统中的其他材料，应在正常作业和主屏壁失效时（如适用），适于其经受的具有适当特性的材料制成。

4.19.1 构成船舶结构的材料

4.19.1.1 为确定船体结构中使用的板和型材的等级，当货物温度低于 -10°C 时，应对所有液货舱进行温度计算。计算时应进行下列假定：

- 1 应假定所有液货舱的主屏壁处于货物温度；
- 2 除1外，如要求设置完整的或部分的次屏壁，仅对任一液货舱假定其处于大气压力下的货物温度；
- 3 对于全球航行，环境温度应取空气为 5°C 和海水为 0°C 。对于在限制航区营运的船舶，主管机关可允许采用较高的环境温度。反之，对于在冬季月份预期会有较低温度的区域航行的船舶，主管机关可规定较低的环境温度；
- 4 应假定空气和海水都是静止的，即无强制对流调节；
- 5 应假定船舶整个寿命期间由于诸如 4.19.3.6 和 4.19.3.7 中规定的热和机械老化、压实、船舶运动和液货舱振动等因素而使绝热性能降低；
- 6 如适用，应考虑泄漏货物蒸发所产生的冷却效应；
- 7 可按照 4.19.1.5 进行船体加热，只要加热装置符合 4.19.1.6；
- 8 除 4.19.1.5 所述外，对于任何加热方式均不予认定；以及
- 9 对于连接内外层壳体的构件，在确定其钢材级别时可取平均温度。

本段所述的设计中所选用的环境温度，应在1.4.4要求的《国际散装运输液化气体适装证书》内予以注明。

4.19.1.2 船体的外板和甲板以及所有与之相连的扶强材应符合公认标准的要求。如果由于货物温度的影响使设计条件下的材料计算温度处于 -5°C 以下，则材料应符合表6.5的规定。

CCS4.19.1 在执行条文 4.19.1.2 时, 假定周围海水和空气的温度分别为 0℃和 5℃。在设计条件下, 应假定完整的或部分的次屏壁处于大气压力下的货物温度状态, 对于没有设置次屏壁的液货舱, 应假定主屏壁处于货物温度状态。

4.19.1.3 由于货物温度的影响使设计条件下的计算温度在 0℃以下且未构成次屏壁的所有其他船体结构的材料也应符合表 6.5 的规定。本要求包括支持液货舱的船体结构、内底板、纵舱壁板、横舱壁板、肋板、强肋骨、桁材以及所有相连的扶强构件。

4.19.1.4 构成次屏壁的船体材料应符合表 6.2 的要求。若次屏壁是由甲板或舷侧外板构成, 则表 6.2 所要求的材料级别应予以延伸到邻接的甲板或舷侧外板的适当范围 (如适用)。

4.19.1.5 可采用对船体结构材料进行加热的方法, 以确保其材料温度不会降至低于表 6.5 规定的材料等级的最低允许值。在进行 4.19.1.1 要求的计算时, 可按下列进行加热:

- .1 对于任何横向船体结构;
- .2 对于 4.19.1.2 和 4.19.1.3 中所述的纵向船体结构, 如果已规定较低的环境温度, 但只要这些材料在不进行加热计算时也能适应于空气为 5℃和海水为 0℃的温度条件; 以及
- .3 作为 .2 的替代, 对于液货舱之间的纵向舱壁, 可进行加热, 只要这些材料适应于最低设计温度 -30℃, 或比 4.19.1.1 中确定的温度低 30℃, 取小者。在此情况下, 无论这些舱壁是否视作有效, 船舶总纵强度应符合 SOLAS 公约第 II-1/3-1 条的要求。

4.19.1.6 在 4.19.1.5 中所述的加热措施应符合下列要求:

- .1 应将加热系统布置成当该系统的任一部分失效时, 备用加热设备仍能保持不低于 100% 的理论热载荷;
- .2 加热系统应认作为一种必需的辅助系统。按照 4.19.1.5.1 设置的系统中, 至少有一套、其所有的电气部件应由应急电源供电; 以及
- .3 加热系统的设计和构造应包括在主管机关进行围护系统的认可中。

4.19.2 主屏壁和次屏壁的材料

4.19.2.1 用于建造不构成船体的主屏壁和次屏壁的金属材料应适于其可能承受的设计载荷, 并按照表 6.1、6.2 或 6.3 的规定。

4.19.2.2 考虑到其可能承受的设计载荷、性能和预定的用途, 主屏壁和次屏壁中使用的, 但表 6.1、6.2 或 6.3 未涉及的非金属或金属材料, 可经主管机关认可。

4.19.2.3 如果非金属材料 (包括复合材料) 用于或纳入主屏壁或次屏壁, 应视适用情况对其进行下列性能试验, 以确保适合于拟定的用途:

- .1 与货物的相容性;
- .2 抗老化性;
- .3 力学性能;
- .4 热膨胀和收缩;
- .5 耐磨性;
- .6 凝聚性;
- .7 抗振性能;
- .8 防火和阻止火焰传播的性能; 以及
- .9 耐疲劳破坏和裂纹扩展性。

4.19.2.4 如适用时,应在营运中预计出现的最高温度和低于最低设计温度5°C之间的范围内对上述性能进行试验,但不低于-196°C。

4.19.2.5.1 如果非金属材料(包括复合材料)用于主屏壁和次屏壁,连接过程也应如上述进行试验。

4.19.2.5.2 使用非金属材料建造主屏壁和次屏壁的指导见附录1。

4.19.2.6 可考虑在主屏壁和次屏壁中使用非防火/阻止火焰传播的材料,只要其受适当的系统,例如永久惰性气体环境,保护或设有耐火屏壁。

4.19.3 货物围护系统中使用的绝热和其他材料

4.19.3.1 货物围护系统中使用的承载绝热和其他材料应适于设计载荷。

4.19.3.2 如适用,货物围护系统中使用的绝热和其他材料应具有下列性能,以确保其适合于拟定的用途:

- .1 与货物的相容性;
- .2 在货物中的可溶性;
- .3 货物的吸收作用;
- .4 收缩量;
- .5 抗老化性;
- .6 封闭气泡含量;
- .7 密度;
- .8 力学性能,能经受货物和其他载荷影响,热膨胀和收缩;
- .9 耐磨性;
- .10 凝聚性;

- .11 热传导性;
- .12 抗振性能;
- .13 防火和阻止火焰传播的性能; 以及
- .14 耐疲劳破坏和裂纹扩展的性能。

4.19.3.3 如适用,应在营运中预计出现的最高温度和低于最低设计温度 5℃ 之间的范围内对上述性能进行试验,但不必低于-196℃。

4.19.3.4 由于所处位置或环境条件的原因,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,以防止水蒸汽的渗透和机械损伤。如果绝热层位于露天甲板或以上并在液货舱罩贯穿处,应具有符合公认标准的适当的耐火性能或覆盖具有低播焰性,并形成有效的认可蒸气密封的材料。

CCS4. 19. 3. a 当在装载情况中拟有 1 个或多个液货舱部分充装时,则应要求对液货舱进行计算或模型试验,以表明其所承受的载荷和压力系在其结构尺寸所许可的范围内。此外,还应确保在液货舱液体内的结构构件、设备和管路具有足够的强度。

4.19.3.5 在未永久惰化的货舱处所中,可使用不满足公认的耐火标准的绝热层,只要其表面覆盖具有低播焰性并形成有效的认可蒸气密封的材料。

4.19.3.6 应在适当老化的样品上进行绝热层的热传导性试验。

4.19.3.7 当采用粉末或颗粒状绝热层时,应采取措施减少营运中的材料压实,保持要求的热传导性,同时防止对货物围护系统增加任何不适当的压力。

CCS4. 19. 3. b 钢结构敷设绝热层前应进行适当的清洗。当采用发泡或现场注入的方法敷设绝热层时,除环境温度以外,钢结构此时的最低温度也应在说明书中标明。

4.20 建造工艺

目的

规定适当的建造工艺和试验程序,以尽实际可能确保货物围护系统按照设计阶段的假定在营运中具有令人满意的性能。

4.20.1 焊缝设计

4.20.1.1 对独立液货舱壳体的所有焊接接头,均采用全焊透型的平面内对接焊。仅对于气室和壳体的连接,可根据焊接工艺认可试验的结果采用全焊透型T型焊接。除气室上的小型贯穿件外,一般也应将喷管焊缝设计成全焊透型。

CCS4. 20. 1 经 CCS 同意,全焊透的 T 型焊可用于双体罐和三体罐壳体与纵壁之间的 Y 型连接。

4.20.1.2 C型独立液货舱和主要以曲面构成的B型独立液货舱液密主屏壁的焊接接头的细节,应满足以下要求:

- 1 所有纵向和环形接头均应为对接、全焊透、双面V型坡口或单面V型坡口形式,对于全焊透的对接焊缝,应采用双面焊或使用衬垫环。若使用衬垫环,除很小的处理用压力容器外,焊后应除去衬垫环。根据对焊接工艺认可试验的结果,亦可采用其他的坡口形式;以及
- 2 对于液货舱本体和气室之间以及气室和有关的附件之间的连接接头的斜坡口,应按主管机关接受的标准进行设计。容器上连接喷管、气室或其他贯通件的焊缝以及法兰与容器或喷管连接的所有焊缝均应为全焊透型焊缝。

4.20.1.3 如适用,除 4.20.3 中之规定,所有建造过程和试验应按照第 6 章的适用规定进行。

4.20.2 粘合和其他连接过程的设计

粘合(或用除焊接外的一些其他过程连接)接头的设计应考虑连接过程的强度特征。

4.20.3 试验

4.20.3.1 所有液货舱和处理用压力容器应按照适用于液货舱类型的 4.21 至 4.26 进行静水压或静水压气动试验。

4.20.3.2 所有液货舱应进行密性试验,该密性试验可与 4.20.3.1 中所述的压力试验一起进行。

4.20.3.3 关于对次屏壁的检查要求,在所有情况下,均由主管机关确定,并考虑到屏壁的可达性(见4.6.2)。

4.20.3.4 对于设有新颖 B 型独立液货舱或按照 4.27 设计的液货舱的船舶,主管机关可要求至少应在一个原型液货舱及其支持结构上使用应变仪或其他适当的设备进行测量,以确认其应力水平。对于 C 型独立液货舱,根据其构造及其支持构件和附件的布置,也可要求作类似的测量。

4.20.3.5 应按照检验程序和1.4的要求以及主管机关的要求,在首次满载及卸货期间验证货物围护系统的整体性能符合设计参数。对于验证设计参数所必要的部件和设备性能的记录,应予以保存,并可供主管机关使用。

CCS4.20.3 在首次装货试验期间,应对货物围护系统的全部性能进行验证其符合设计特性。

CCS 验船师应参加货物围护系统的初次验证试验,以证明该系统以令人满意的方式进行惰化、制冷和装卸,且所有安全装置的功能是良好的。试验温度应为或接近于最低的货物温度。

当设有制冷装置时,应对其操作演示给验船师。该装置在最低温度下第 1 次装载航行期间的性能记录提交 CCS 审查。上述试验通常与船舶运输结合进行。当验船师要求时,应提交船舶

正常营运中的操作记录。

4.20.3.6 如果按4.19.1.5和4.19.1.6的规定设有加热装置，则应对所要求的热量输出和热量分布进行试验。

4.20.3.7 在第1次载货航行时或之后，应立即对货物围护系统冷点进行检查。不能进行目视检查的绝热表面的完整性检查应按照公认标准进行。



E 部分 液货舱类型

4.21 A 型独立液货舱

4.21.1 设计基础

4.21.1.1 A型独立液货舱系指按照公认标准,应用传统的船舶结构分析程序进行设计的液货舱。如果这种液货舱主要是由平面构成,则其设计蒸气压力 P_0 应小于0.07 MPa。

4.21.1.2 如在大气压力下货物温度低于 -10°C ,则应按4.5要求设置完整的次屏壁。次屏壁应按照4.6设计。

4.21.2 结构分析

4.21.2.1 结构分析应考虑到 4.13.2 中所述的内部压力和与支持和键固系统,以及船体的适当部分相互作用的载荷予以进行。

4.21.2.2 对于在本规则要求中没有包括的某些部件,如支持结构,在尽可能计及4.12至4.15所述的载荷和支持结构处的船舶变形后,应采用直接计算法确定其应力。

4.21.2.3 应将具有支持构件的液货舱设计成能承受4.15中规定的意外载荷。无需将这些载荷进行相互组合,也不必将这些载荷与环境载荷进行组合。

4.21.3 极限设计条件

4.21.3.1 对于主要由平面构成的液货舱,主要构件和次要构件(扶强材、强肋骨、纵桁、桁材)的名义薄膜应力,如按经典的分析方法进行计算,对于镍钢、碳锰钢、奥氏体钢和铝合金,应不超过 $R_m/2.66$ 或 $R_e/1.33$ 的较小值,其中, R_m 和 R_e 见4.18.1.3的定义。然而,如对主要构件进行了详细计算,4.18.1.4中定义的等效应力 σ_e 可超过上述数值,增加到主管机关可接受的应力值。计算时应考虑到弯曲、剪切、轴向和扭转变形,以及由于双层底和液货舱底的变形而引起的船体和液货舱的相互作用力影响。

4.21.3.2 对于液货舱周界的结构尺寸,在计及4.13.2规定的内部压力和4.3.5要求的任何腐蚀裕量的情况下,至少应满足主管机关对深舱的要求。

4.21.3.3 应检查液货舱结构是否具有潜在的屈曲。

4.21.4 意外设计条件

4.21.4.1 液货舱和液货舱支持构件应设计成能承受 4.3.4.3 和 4.15 中规定的相关意外载荷和

设计条件。

4.21.4.2 承受 4.15 中规定的意外载荷时，考虑到较低的发生概率，应力应符合 4.21.3 中规定的，且作恰当修正的验收衡准。

4.21.5 试验

所有 A 型独立液货舱均应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。

4.22 B 型独立液货舱

4.22.1 设计基础

4.22.1.1 B 型独立液货舱系指采用模型试验、精确分析手段和分析方法确定应力水平、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 P_0 应小于 0.07 MPa。

4.22.1.2 如在大气压力下货物温度低于 -10°C ，则应按 4.5 要求设置具有小泄漏保护系统的部分次屏壁。小泄漏保护系统应按照 4.7 设计。

4.22.2 结构分析

4.22.2.1 在确定结构对下列情况的适应性时，应考虑所有动、静载荷的影响：

- .1 塑性变形；
- .2 屈曲；
- .3 疲劳破坏；以及
- .4 裂纹扩展。

应进行有限元分析或类似方法的分析和断裂力学分析或其他等效的方法。

4.22.2.2 应采用三维分析法评估应力水平，包括与船体的相互作用。该分析模型应包括液货舱及其支持和键固系统，以及船体的适当部分。

4.22.2.3 对于不规则波浪中特定的船舶加速度和运动，以及船舶及其液货舱对这些力和运动的响应，均应进行完整的分析，除非这些数据可从类似的船舶中获得。

CCS 4.22.2 B 型独立液货舱应采用直接计算程序进行结构分析，对于所作的假定和拟用的计算程序，可采用 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的相关方法。必要时，可要求进行模型试验或其他试验。

4.22.3 极限设计条件

4.22.3.1 塑性变形

4.22.3.1.1 对于由回转体构成主要结构的B型独立液货舱，其许用应力应满足：

$$\sigma_m \leq f$$

$$\sigma_L \leq 1.5f$$

$$\sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_L + \sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0F$$

$$\sigma_L + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0F$$

式中： σ_m = 等效总体主膜应力；

σ_L = 等效局部主膜应力；

σ_b = 等效主弯曲应力；

σ_g = 等效二阶应力；

f = R_m/A 或 R_e/B ，取小者；以及

F = R_m/C 或 R_e/D ，取小者。

R_m 和 R_e 见4.18.1.3中的定义。 σ_m 、 σ_L 、 σ_b 和 σ_g ，参见4.28.3中应力分类的定义。对于A和B值，应在《国际散装运输液化气体适装证书》内予以注明，且至少应为下表中所列的最小值：

	镍钢和碳锰钢	奥氏体钢	铝合金
A	3	3.5	4
B	2	1.6	1.5
C	3	3	3
D	1.5	1.5	1.5

考虑到主管机关接受的设计条件，上述数字可予以变更。

CCS4.22.3 对以9Ni钢制造的B型独立液货舱， R_m 和 R_e 分别取母材和焊接材料的小者，焊接材料的 R_m 和 R_e 可由制造厂提供。

4.22.3.1.2 对于主要由平面构成的B型独立液货舱，用于有限元分析的许用膜相当应力应不超过：

1. 对于镍钢和碳锰钢, $R_m/2$ 或 $R_e/1.2$, 取小者;
2. 对于奥氏体钢, $R_m/2.5$ 或 $R_e/1.2$, 取小者; 以及
3. 对于铝合金, $R_m/2.5$ 或 $R_e/1.2$, 取小者。

考虑到应力的位置、应力分析方法和主管机关接受的设计条件, 上述数字可予以修正。

4.22.3.1.3 壳板的厚度和扶强材的尺寸应不小于对 A 型独立液货舱的要求。

4.22.3.2 屈曲

承受外部压力和引起压应力的其他载荷的液货舱, 应按照公认标准进行屈曲强度分析。方法应充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间的差别; 此差别是由于板边对中失误、缺乏平直、椭圆度以及在规定弧长或弦长范围内存在的失圆度而引起的。

4.22.4 疲劳设计条件

4.22.4.1 应按照 4.18.2 进行疲劳和裂纹扩展评估。根据缺陷的可探测性, 验收衡准应符合 4.18.2.7、4.18.2.8 或 4.18.2.9。

4.22.4.2 疲劳分析应考虑建造公差。

4.22.4.3 如主管机关认为有必要, 可要求做模型试验, 以确定应力集中系数和结构单元的疲劳寿命。

4.22.5 意外设计条件

4.22.5.1 液货舱和液货舱支持构件应设计成能承受 4.3.4.3 和 4.15 中规定的适用意外载荷和设计条件。

4.22.5.2 承受 4.15 中规定的意外载荷时, 考虑其较低的发生概率, 应力应符合 4.22.3 中规定的, 且作恰当修正的验收衡准。

4.22.6 试验

B型独立液货舱应按下列要求进行静水压或静水压气动试验:

1. 应按4.21.5中对A型独立液货舱的要求进行试验; 以及
2. 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 4.23.2.2(制造状态)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。

4.22.7 标记

在对压力容器作任何标记时, 所用的方法应不致于使其产生不能接受的局部应力的升高。

4.23 C型独立液货舱

4.23.1 设计基础

4.23.1.1 C型独立液货舱的设计基础基于经修改的包含断裂力学和裂纹扩展衡准的压力容器准则。4.23.1.2中规定的最小设计压力旨在确保动应力足够低,以使得在液货舱使用寿命期间,初始表面裂纹不会扩展超过外壳厚度的一半。

4.23.1.2 设计蒸气压力应不小于:

$$P_0 = 0.2 + AC(\rho_r)^{1.5} \quad (\text{MPa})$$

式中: $A = 0.00185((\sigma_m/\Delta\sigma_A))^2$

其中: σ_m = 设计主膜应力;

$\Delta\sigma_A$ = 许用动态膜应力(双振幅, 概率水平为 $Q = 10^{-8}$), 且等于:

— 55 N/mm², 对铁素体(珠光体)/马氏体和奥氏体钢;

— 25 N/mm², 对铝合金(5083-O);

C = 液货舱的尺度特性, 取下列各值中的最大值:

h , 0.75 b 或0.45 l

其中: h = 液货舱高度(沿船舶的垂向量取), m;

b = 液货舱宽度(沿船舶的横向量取), m;

l = 液货舱长度(沿船舶的纵向量取), m;

ρ_r = 设计温度下货物的相对密度(对淡水: $\rho_r = 1$)。

当液货舱的规定设计寿命长于 10^8 波浪遭遇时, $\Delta\sigma_A$ 应予以修改, 以得出对应于设计寿命的等效裂纹扩展。

CCS4. 23. 1. 2. a 如果拟实施本规范第3篇第19章未涵盖产品(注: 即相对密度大于1.0)的运输, 则应校核由最大动压力差 ΔP 引起的一次薄膜应力的双幅值 $\Delta\sigma_m$, 应不超过在本章4. 23. 1. 2段落中定义的动态膜应力的许用双幅值 $\Delta\sigma_A$, 即:

$$\Delta\sigma_m \leq \Delta\sigma_A$$

CCS4. 23. 1. 2. b 动压力差 ΔP , MPa, 应按如下计算:

$$\Delta P = \frac{\rho}{1.02 \times 10^5} (\alpha_{\beta 1} Z_{\beta 1} - \alpha_{\beta 2} Z_{\beta 2})$$

式中: ρ ——为设计温度下的最大液货密度, kg/m³;

α_{β} , Z_{β} ——同本章4. 28. 1. 2的定义, 另见图CCS4. 23. 1. 2 (b);

$a_{\beta 1}$, $Z_{\beta 1}$ ——为得到最大货物压力 $(P_{gd})_{max}$ 时的 a_{β} 和 Z_{β} 之值;

$a_{\beta 2}$, $Z_{\beta 2}$ ——为得到最小货物压力 $(P_{gd})_{min}$ 时的 a_{β} 和 Z_{β} 之值;

为得到最大压差 ΔP , 压差评估应覆盖图 CCS4. 23. 1. 2 (b) 所示的加速度椭圆的所有范围。

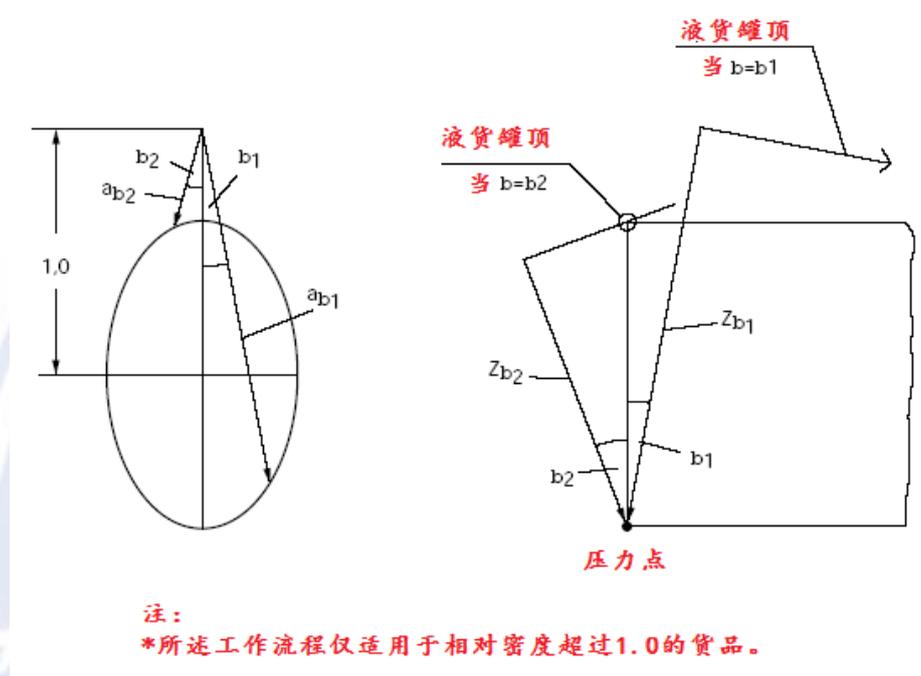


图 CCS4. 23. 1. 2 (b)

4.23.1.3 主管机关可将符合4.23.1.2中C型液货舱最小设计压力标准的液货舱,根据液货舱的形状及其支承装置和附件的布置, 归属为A型或B型。

4.23.2 壳体厚度

4.23.2.1 壳体厚度应如下:

- .1 对压力容器, 按4.23.2.4规定计算得到的压力容器的壳体厚度应视为没有任何负公差的加工成形后的最小厚度。
- .2 对压力容器, 加工成形后的的壳体和封头的最小厚度(包括腐蚀裕量)应为: 对于碳锰钢和镍钢, 应不小于5 mm; 对于奥氏体钢, 应不小于3 mm; 对于铝合金, 应不小于7 mm。
- .3 当进行6.5.6.5所述的检验和无损探伤时, 按4.23.2.4的规定进行的计算中所用的焊接有效系数应为0.95。若考虑了其他因素, 诸如所使用的材料、接头型式、焊接方法以及载荷类型等, 则焊接有效系数可以增大到1。对于处理用压力容器, 主管机关在基于诸如所使用的材料、设计温度、材料制造时的零韧性转变温度、接头型式和焊接方法等因素, 可接受不小于6.5.6.5规定的局部无损探伤。但在此种情况下, 所采用的焊接有效系

数应不大于0.85。对于特殊材料,根据焊接接头的标定机械性能,上述系数应予以减小。

CCS4.23.2 承受内部压力的压力容器的受压部件厚度应符合 CCS《钢质海船入级规范》第3篇第6章中的有关规定,但焊接有效系数、许用应力及腐蚀裕量应分别符合本章4.23.2.1.3, 4.23.3.1 和 4.3.5 的有关规定。

4.23.2.2 在内部压力计算中应考虑4.13.2所定义的设计液体压力。

4.23.2.3 用于验证压力容器屈曲的设计外部压力 P_e 应不小于按下式计算所得值:

$$P_e = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad \text{MPa}$$

式中: P_1 = 真空释放阀的调定压力,对未配备真空释放阀的容器, P_1 之值应作特别考虑,但一般应取不小于0.025 MPa;

P_2 = 安放压力容器或压力容器部件的全封闭处所的压力释放阀(PRV)的调定压力;对其他处所, $P_2 = 0$;

P_3 = 由于绝热层的重量和收缩、壳体重量(包括腐蚀裕量)以及压力容器可能承受的其他外部载荷所引起的作用在壳体中或壳体上的压力。这些压力还包括(但不限于)气室、塔架和管路的重量、部分充装工况下的货物的作用、加速度和船体变形所引起的压力。此外,还应考虑外部压力或内部压力或两者的局部作用;以及

P_4 = 由水压头引起的作用于露天甲板上的压力容器或压力容器部件的外部压力;对其他处所, $P_4 = 0$ 。

4.23.2.4 对于基于液货舱内部压力的液货舱结构尺寸,应按下述规定进行计算:应确定承受4.13.2中所定义的内部压力的压力容器的受压部件的厚度和形状,包括法兰在内。在所有情况下,应根据公认的压力容器的设计原理进行这些计算。对于压力容器中的受压部件的开口,应按公认标准予以加强。

4.23.2.5 对于静、动载荷的应力分析,应按下述规定进行:

- 1 压力容器的结构尺寸应按4.23.2.1至4.23.2.4和4.23.3的规定予以确定。
- 2 应对支持构件及其壳体连接件处的载荷和应力进行计算。适用时,应采用4.12至4.15所述的载荷。支持结构处的应力应符合主管机关所接受的公认标准。在特殊情况下,主管机关可要求作疲劳分析。
- 3 如主管机关有要求,应特别考虑二阶应力和热应力。

4.23.3 极限设计条件

4.23.3.1 塑性变形

对于C型独立液货舱,其许用应力应满足:

$$\sigma_m \leq f$$

$$\sigma_L \leq 1.5f$$

$$\sigma_b \leq 1.5f$$

$$\sigma_L + \sigma_b \leq 1.5f$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq 1.5f$$

$$\sigma_m + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0f$$

$$\sigma_L + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0f$$

式中: σ_m = 等效总体主膜应力;

σ_L = 等效局部主膜应力;

σ_b = 等效主弯曲应力;

σ_g = 等效二阶应力;

f = R_m/A 或 R_e/B , 取小者;

R_m 和 R_e 见4.18.1.3中的定义。 σ_m 、 σ_L 、 σ_b 和 σ_g 参见4.28.3中应力分类的定义。A和B值应在《国际散装运输液化气体适装证书》内予以注明,且至少应为下表中所列的最小值:

	镍钢和碳锰钢	奥氏体钢	铝合金
A	3	3.5	4
B	1.5	1.5	1.5

CCS4.23.3 对以9Ni钢制造的C型独立液货舱, R_m 和 R_e 分别取母材和焊接材料的小者, 焊接材料的 R_m 和 R_e 可由制造厂提供。

4.23.3.2 屈曲衡准如下: 对于承受外部压力和引起压缩应力的其他载荷的压力容器, 其厚度和形状应基于使用公认的的压力容器屈曲理论进行的计算, 并应充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间的差别; 此差别是由于板边对中失误、椭圆度以及在规定弧长(或弦长)范围内存在的失圆度而引起的。

4.23.4 疲劳设计条件

对于大型C型独立液货舱, 如在大气压力下货物温度低于-55℃, 主管机关可要求附加验证以核查其是否符合4.23.1.1关于静应力和动应力的要求。

4.23.5 意外设计条件

4.23.5.1 适用时, 液货舱和液货舱支持构件应设计成能承受4.3.4.3和4.15中规定的适用意外载荷和设计条件。

4.23.5.2 承受4.15中规定的意外载荷时, 考虑到较低的发生概率, 应力应符合经修订的

4.23.3.1 中规定的，作恰当修正的验收衡准。

4.23.6 试验

4.23.6.1 应对每一压力容器进行静水压试验，试验时，在液货舱顶测得的压力应不小于 $1.5P_0$ 。

在压力试验期间的任何情况下，任意舱计算所得的主膜应力应不超过材料屈服应力的90%。

为了确保满足上述条件，若计算表明主膜应力超过屈服强度的75%，则在原型试验时，应采用应变仪或其他合适的设备加以监测，但对于简单的圆柱型或球型的压力容器，可予以除外。

4.23.6.2 试验时所采用的水温至少应比制成的材料的零韧性转变温度高出 30°C 。

4.23.6.3 每25 mm厚度，压力应保持为2小时，但在任何情况下不得少于2小时。

4.23.6.4 如为货物压力容器所需要，可在4.23.6.1至4.23.6.3所述的条件下进行静水压气动试验。

4.23.6.5 当采用较高许用应力，液货舱的试验将根据其工作温度可予以特别考虑。但4.23.6.1的要求应予以完全满足。

4.23.6.6 在装配和完工后，应对每一压力容器及其有关的附件进行适当的密性试验，该试验可与4.23.6.1中所述的压力试验一起进行。

4.23.6.7 对于除液货舱以外的压力容器的气压试验，只能根据各种情况分别予以考虑。仅在下述情况时，才允许对下述容器进行气压试验：容器的设计或其支持结构不能使容器安全地注满水，或不能对容器进行干燥，以及在使用容器时不允许在容器内留有试验介质的痕迹。

4.23.7 标记

对压力容器作标记时，所用的方法应不致于使其产生不能接受的局部应力的升高。

4.24 薄膜液货舱

4.24.1 设计依据

4.24.1.1 薄膜围护系统的设计基础为使热膨胀和其他膨胀或收缩得到补偿，以免出现丧失薄膜密性的不当风险。

4.24.1.2 基于分析和试验的系统方法应用于证明系统将能提供虑及 4.24.2.1 中规定的营运中发生事件的拟定功能要求。

4.24.1.3 如在大气压力下货物温度低于 -10°C ，应按4.5的要求设置完整的次屏壁。次屏壁应按照4.6进行设计。

4.24.1.4 设计蒸气压力 P_0 通常应不超过0.025 MPa。如果船体构件尺寸相应增大并适当考虑

支持绝热层的强度， P_0 可相应增加到一较高值，但应小于0.07 MPa。

4.24.1.5 薄膜液货舱的定义并不排除设计为非金属薄膜或其薄膜包括或合并于绝热层中的液货舱。

4.24.1.6 薄膜厚度一般应不超过10 mm。

4.24.1.7 按照 9.2.1，惰性气体在主要绝热处所和次要绝热处所中的循环应足以允许有效的气体探测。

4.24.2 设计考虑

4.24.2.1 应评估能在薄膜的寿命期间可能导致丧失液密的潜在事件。事件包括但不限于：

.1 极限设计事件：

- .1 薄膜的拉力失效；
- .2 绝热层的压缩破坏；
- .3 老化；
- .4 绝热层和船体结构之间丧失连接；
- .5 薄膜与绝热系统丧失连接；
- .6 内部结构及其支持结构的结构完整性；以及
- .7 支持船体结构的失效。

.2 疲劳设计事件：

- .1 薄膜疲劳，包括船体结构的接头和附件；
- .2 绝热层的疲劳裂纹；
- .3 内部结构及其支持结构的疲劳；以及
- .4 导致压载水进入的内壳的疲劳裂纹。

.3 意外设计事件：

- .1 意外机械损伤（例如营运时液货舱内掉落的物体）；
- .2 绝热处所的意外过压；
- .3 液货舱的意外真空；和
- .4 内壳结构进水。

不接受导致 2 个薄膜同时或连锁失效的单个内部事件的设计。

4.24.2.2 按照 4.24.1.2 进行设计时，应确定建造货物围护系统时使用的材料的物理性能（机械、热、化学等）。

4.24.3 载荷和载荷组合

对于因屏壁间处所的超压、液货舱可能出现真空、液体晃荡的影响、船体振动的影响或这些事件的组合而可能造成液货舱完整性的丧失，应给予特别注意。

4.24.4 结构分析

4.24.4.1 应进行为确定极限强度而进行的货物围护和相关结构（例如 4.9 中定义的结构）的结构分析和/或试验以及疲劳评估。结构分析应提供评估已确定对货物围护系统而言关键的每个失效模式所要求的数据。

4.24.4.2 船体结构分析应计及 4.13.2 中所述的内部压力。应特别注意船体的变形以及船体与薄膜和船体与其相关的绝热层的相容性。

4.24.4.3 在 4.24.4.1 和 4.24.4.2 中所述的分析，应基于船舶和货物围护系统特有的运动、加速度和响应。

CCS 4.24.4 对于支持薄膜型液货舱的船体结构分析，应采用直接计算方法进行屈服、屈曲和疲劳强度的验证，且船体内部构件的尺寸应不小于本规范第 A4 章的有关要求。

4.24.5 极限设计条件

4.24.5.1 应按照 4.24.1.2 确定在营运条件下各关键部件、子系统或组件的结构抗力。

4.24.5.2 货物围护系统、船体结构附件和内部液货舱结构的失效模式的强度验收衡准的选择应反映与所考虑的失效模式相关的结果。

4.24.5.3 内壳尺寸应满足深舱的要求，并考虑到 4.13.2 中所述的内部压力和 4.14.3 中规定的晃荡载荷的适当要求。

4.24.6 疲劳设计条件

4.24.6.1 对于液货舱内的结构，即泵塔以及部分薄膜和泵塔附件，如果实施连续监测不能可靠地探测到其失效发展，则应进行疲劳分析。

4.24.6.2 应按照 4.18.2 进行疲劳计算，并根据下列相关要求：

- .1 关于结构部件与结构完整性相关的重要性；以及
- .2 检查的有效性。

4.24.6.3 对于可经试验和/或分析证明裂纹不会导致 2 个薄膜同时或连锁失效的结构单元， C_w 应小于或等于 0.5。

4.24.6.4 周期检验下的结构单元，且如果疲劳裂纹无人监看并会造成 2 个薄膜同时或连锁失效，则其应满足 4.18.2.8 中所述的疲劳和断裂力学要求。

4.24.6.5 营运检验中的不可达结构单元，且如果疲劳裂纹会在无预兆的情况下造成 2 个薄膜同时或连锁失效，则其应满足 4.18.2.9 中所述的疲劳和断裂力学要求。

4.24.7 意外设计条件

4.24.7.1 围护系统和支持船体结构应设计成能承受 4.15 中规定的意外载荷。无需将这些载荷进行相互组合，也不必将这些载荷与环境载荷进行组合。

4.24.7.2 应基于风险评估确定附加相关的意外情形。应特别考虑液货舱内的系固设备。

4.24.8 设计开发试验

4.24.8.1 在 4.24.1.2 中要求的设计开发试验应包括主屏壁和次屏壁两者的一系列分析和物理模型(包括角和接头),经试验以验证其能承受由静、动和热载荷引起的预期的组合应变。

上述应完成在货物围护系统原型模型的建造中。分析和物理模型中考虑的试验条件应表征货物围护系统在其使用寿命中可能遇到的最极端的营运状态。4.6.2 中要求的次屏壁的定期试验的建议验收衡准可基于原型模型的试验结果。

4.24.8.2 薄膜材料和薄膜中有代表性的焊接或连接接头的疲劳性能应通过试验确定。对于绝热系统系固至船体结构的装置,其极限强度和疲劳性能应通过分析或试验确定。

4.24.9 试验

4.24.9.1 当船上设有薄膜货物围护系统时,所有液舱和在正常情况下可能装有液体并邻接于支持薄膜的船体结构的其他处所,均应进行静水压试验。

4.24.9.2 安装货物围护系统前,支持薄膜的所有货舱结构应进行密性试验。

4.24.9.3 对管隧和在通常情况下不装液体的其他舱室,则不必进行静水压试验。

4.25 整体液货舱

4.25.1 设计基础

构成船体结构的一部分并与相邻船体结构一起受到载荷影响的整体液货舱,应符合下列要求:

- 1 按4.1.2所确定的设计蒸气压力 P_0 通常应不超过0.025 MPa。如果船体构件尺寸相应增大, P_0 亦可相应增加到一较高值,但应小于0.07 MPa;
- 2 整体液货舱可用于载运沸点不低于-10℃的货品。经主管机关或代表主管机关的的认可组织特别考虑,也可同意更低的温度,但在这种情况下,应设有完整的次屏壁;以及
- 3 第19章要求的1G型船舶载运的货品不能载于整体液货舱。

4.25.2 结构分析

整体液货舱的结构分析应按照公认标准。

CCS 4.25.2.a 对整体液货舱的设计和建造应按 CCS《钢质海船入级规范》的有关要求。液货

舱壁板和扶强材的结构尺寸应不小于 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章中对深舱的要求,所用的计算压头可为该章所规定的压头或按4.3.2的规定求出的压头,取其大者。

CCS4.25.2.b 若在船体结构分析中采用直接计算方法,则其包括计算假定的详细计算报告应送 CCS 审查。

4.25.3 极限设计条件

4.25.3.1 对于液货舱周界的结构尺寸,应满足计及4.13.2规定的内部压力的深舱要求。

4.25.3.2 对于整体液货舱,其许用应力通常应为按照主管机关或代表主管机关的被认可组织对船体结构的要求。

4.25.4 意外设计条件

4.25.4.1 液货舱和液货舱支持构件应设计成能承受4.3.4.3和4.15中规定的相关意外载荷。

4.25.4.2 承受4.15中规定的意外载荷时,考虑较低的发生概率,应力应符合经修订的4.25.3中规定的,且作恰当修正的验收衡准。

4.25.5 试验

应对整体液货舱进行静水压或静水压气动试验。此试验应尽可能使其应力接近设计应力,并使液货舱顶的压力至少相当于释放阀的最大调定值(MARVS)。

4.26 半薄膜液货舱

4.26.1 设计基础

4.26.1.1 半薄膜液货舱系指装载工况下非自身支持的液货舱,它由一层薄膜组成,该薄膜的大部分是由相邻船体结构通过绝热层所支持,但对与上述受支持部分相连接的薄膜层圆形部分应设计成能承受热膨胀和其他膨胀或收缩。

4.26.1.2 设计蒸气压力 P_0 通常应不超过0.025 MPa。若船体构件尺寸相应增大,并且对支持绝热层的强度作了适当考虑,则 P_0 可相应增加到一较高值,但应小于0.07 MPa。

4.26.1.3 用于独立液货舱或薄膜液货舱的有关要求,如合适时,亦适用于半薄膜液货舱。

4.26.1.4 如半薄膜液货舱在各方面均能符合适用于B型独立液货舱的要求(支持方式除外),经主管机关特别考虑,可同意设置部分的次屏壁。

F 部分 新颖形状的货物围护系统

4.27 新颖概念的极限状态设计

4.27.1 不能使用4.21至4.26节进行设计的新颖构造的货物围护系统,应使用本节以及本章的A部分和B部分,以及适用的C部分和D部分进行设计。按照本节进行的货物围护系统的设计应基于极限状态设计的原则,该结构设计方法可用于确定设计解决方案和新颖设计。此更为通用的方法保持的安全等级,与使用4.21至4.26进行设计的已知围护系统达到的安全等级相似。

4.27.2.1 极限状态设计为一系统方法,实施对每个结构单元进行与4.3.4中确定的设计条件相关的可能失效模式的评估。极限状态可定义为一种超出后结构或部分结构不再满足要求的状态。

4.27.2.2 对于每个失效模式,可能相关于一个或多个极限状态。考虑到所有相关极限状态,结构单元的极限载荷为所有相关极限状态得到的最小极限载荷。极限状态分为以下3类:

- .1 承载极限状态 (ULS), 在完整 (无破损) 条件下, 对应于最大承载能力或在某些情况下, 对应于最大适用应变或变形;
- .2 疲劳极限状态 (FLS), 对应于由于随时间变化 (循环) 载荷的影响造成的降级; 以及
- .3 意外极限状态 (ALS), 与结构的抵抗意外状况的能力有关。

4.27.3 极限状态设计的工作流程和相关设计参数,应符合附录2中所载的新颖构造的货物围护系统设计中极限状态方法的使用标准 (LSD标准)。

G 部分 指导

4.28 第4章的指导性说明

4.28.1 静载设计的内部压力详细计算指导

4.28.1.1 本节为静态设计的相关动态液体压力的计算提供指导。该压力可用于确定4.13.2.4中所述的内部压力，其中：

1. $(P_{gd})_{max}$ 系指使用最大设计加速度确定的相关液体压力。
2. $(P_{gd\ site})_{max}$ 系指使用场所特定加速度确定的相关液体压力。
3. P_{eq} 系为如下计算得出的 P_{eq1} 和 P_{eq2} 的大者：

$$P_{eq1} = P_0 + (P_{gd})_{max} \quad MPa$$

$$P_{eq2} = P_h + (P_{gd\ site})_{max} \quad MPa$$

4.28.1.2 内部液体压力系指由于4.14.1所述的船舶运动所引起的货物重心加速度所产生的压力。对于由重力和动力加速度的联合作用所引起的内部液体压力 P_{gd} ，应按下式计算：

$$P_{gd} = \alpha_{\beta} Z_{\beta} (\rho / (1.02 \times 10^5)) \quad MPa$$

式中： α_{β} = 在任意的 β 方向上，由重力和动载荷引起的无因次加速度(即相对于重力加速度)(见图4.1)。

对于大型液货船，应使用计及横向垂直和纵向加速度的加速度椭球。

Z_{β} = 从所决定的压力点沿 β 方向向上量至液货舱壳板的最大液柱高度(见图4.2)。

在确定 Z_{β} 时，除非液货舱气室的总容积 V_d 不超过下列公式计算之值，否则液货舱气室应考虑作为所接受的液货舱总容积的一部分：

$$V_d = V_t \left(\frac{100 - FL}{FL} \right)$$

式中： V_t = 任何气室的液货舱容积；及 FL = 按第15章规定的充装极限。

ρ = 设计温度时的最大货物密度， kg/m^3 。

应考虑给出最大值 $(P_{gd})_{max}$ 或 $(P_{gd\ site})_{max}$ 的方向。上述公式仅适用于注满的液货舱。

CCS4.28.1.2.a 一般应按表 CCS4.28.1.2.a，进行计及“纵向+横向+垂向”的三向加速度椭球法或计及“横向+垂向”和/或“纵向+垂向”的二向加速度椭圆法计算液货舱的内部液体压力：

加速度椭球法和加速度椭圆法适用的计算类别 表 CCS4. 28. 1. 2. a

计算类别	三向加速度椭球法	二向加速度椭圆法
	计及“纵向+横向+垂向”的加速度椭球法, 计算对应于 $(P_{gd})_{max}$ 或 $(P_{gdsite})_{max}$ 的合成加速度。	计及“纵向+横向”的二向加速度椭圆法, 计算对应于 $(P_{gd})_{max}$ 或 $(P_{gdsite})_{max}$ 的合成加速度。对于首部第1货舱, 还应采用计及“纵向+垂向”的加速度椭圆法。
一般类型的液货舱规范尺寸要求	适用	适用
大型的液货舱规范尺寸要求	适用	不适用
C型独立舱直接计算要求	适用	适用 采用计及“横向+垂向”的椭圆法计算对应于横摇设计工况所规定的横摇角 β_i 状态下的合成加速度。对于大型液货船的液货罐两端封头和罐体的横截面突变处(如水平罐体的圆锥体与圆柱体的交界处), 还应在纵摇设计工况中采用计及“纵向+垂向”的加速度椭圆法, 对于水平圆锥罐体, 内部液体压力计算值应取罐体内部在纵向分布上的计算最大值(如罐体直径和两罐圆心距(如有时)的最大位置处等)。

CCS4. 28. 1. 2. b 对于“横向+垂向”的二向加速度椭圆法, 基于图 4. 1, 可按式计算合成

加速度 $a_{\beta i}$:

$$a_{\beta i} = \frac{a_y^2 \cos^2 \beta_i + a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2} - (\sin \beta_i)^2}{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2}$$

式中: a_y 、 a_z ——见 4. 28. 2. 1;

β_i ——“横向/纵向+垂向”的合成加速度矢量角, ($^\circ$), 范围为 $0^\circ \sim \beta_{max}$, 其中, 最大值 β_{max} 可按式计算:

$$\beta_{max} = \arctan\left(\frac{a_y}{\sqrt{1-a_z^2}}\right)$$

对于“纵向+垂向”的二向加速度椭圆法, a_{β_i} 和 β_{max} 可用 a_x 代入以上两式求得, a_x 见见 4.28.2.1;

$(P_{gd})_{max}$ 或 $(P_{gd,site})_{max}$ 可通过对 4.28.1.2 的计算公式, 在 $0^\circ \sim \beta_{max}$ 范围内进行迭代试算求得。

CCS4.28.1.2.c 对 C 型独立液货舱, 基于椭圆法的适用于单体、双体和三体罐的内部压头 $P_{gd,i}$ 确定, 可按以下方法进行 (适用于“横向+垂向”平面, 单位: MPa):

(a) 单体罐:

$$P_{gd,i} = \frac{a_y^2 \cos \beta_i + a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2 - (\sin \beta_i)^2}}{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2} \cdot [R + (R - z) \cos \beta_i - y \sin \beta_i] \frac{\rho}{1.02 \times 10^5}$$

式中: a_y 、 a_z ——见 4.28.2.1;

β_i ——见 CCS4.28.1.2.b;

ρ ——见 4.28.1.2;

g ——重力加速度, m/s^2 , 取 9.81;

R ——罐体半径, m, 见图 CCS4.28.1.2.c (1);

y 、 z ——罐体上计算点的横向和垂向坐标, m, 且坐标原点见图 CCS4.28.1.2(3)(a)。

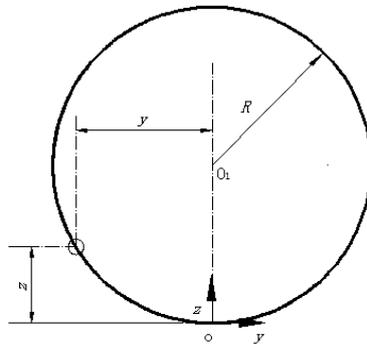


图 CCS4.28.1.2.c (1) 单体罐的几何参数

(2) 双体罐:

$$P_{gd,i} = \frac{a_y^2 \cos \beta_i + a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2 - (\sin \beta_i)^2}}{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2} \cdot \left[R + (R - z) \cos \beta_i + \left(\frac{L}{2} - y \right) \sin \beta_i \right] \frac{\rho}{1.02 \times 10^5}$$

式中: R ——罐体半径, m, 见图 CCS4.28.1.2.c (2);

L ——左、右两罐的圆心距, m, 见图 CCS4.28.1.2.c (2);

y 、 z ——罐体上计算点的横向和垂向坐标, m, 且坐标原点见图 CCS4.28.1.2.c (2);

其余符号——见 CCS4. 28. 1. 2. c (1)。

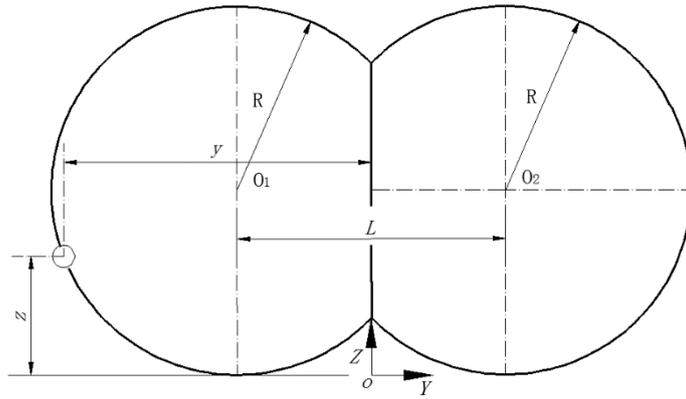


图 CCS4. 28. 1. 2. c (2) 双体罐的几何参数

(3) 三体罐:

$$P_{gd,i} = \frac{a_y^2 \cos \beta_i + a_y a_z \sqrt{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2 - (\sin \beta_i)^2}}{(a_y \cos \beta_i)^2 + (a_z \sin \beta_i)^2} \cdot \left[R + \frac{L \cos(\frac{\theta}{2} - \beta_i)}{2 \sin \frac{\theta}{2}} + (R-z) \cdot \cos \beta_i - (y + \frac{L}{2}) \sin \beta_i \right] \frac{\rho}{1.02 \times 10^5}$$

式中：R——罐体半径,m，见图 CCS4. 28. 1. 2. c (3)；

L——左、右两罐的圆心距,m，见图 CCS4. 28. 1. 2. c (3)；

y、z——罐体上计算点的横向和垂向坐标，m，且坐标原点见图 CCS4. 28. 1. 2. c (3)；

θ——顶部罐体圆心与底部两罐体圆心连线的夹角，(°)，见图 CCS4. 28. 1. 2. c (3)；

其余符号——见 CCS4. 28. 1. 2. c (1)。

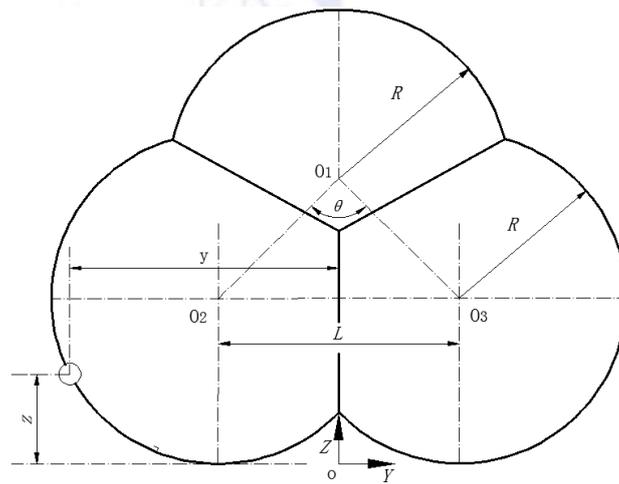


图 CCS4. 28. 1. 2. c (3) 三体罐的几何参数

CCS4. 28. 1. 2. d 对加速度椭球法，应按照本章图 4.1 进行。

对应于图 CCS4. 28. 1. 2. d 的椭球方程为：

$$\frac{x^2}{a_x^2} + \frac{y^2}{a_y^2} + \frac{z^2}{a_z^2} = 1$$

对应于某一纵倾角 α 的最大横倾角 $\theta_{\max}(\alpha)$ ：

$$\theta_{\max}(\alpha) = \arctan \left(\frac{a_y}{a_z} \sqrt{\frac{a_x^2}{1-a_z^2} - \tan^2 \alpha} \right)$$

对应于某一横倾角 θ 的最大纵倾角 $\alpha_{\max}(\theta)$ ：

$$\alpha_{\max}(\theta) = \arctan \left(\frac{a_x}{a_y} \sqrt{\frac{a_y^2}{1-a_z^2} - \tan^2 \theta} \right)$$

式中： a_x 、 a_y 、 a_z ——见 4.28.2.1。

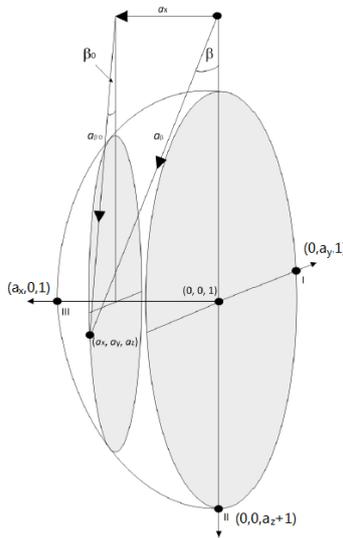


图 CCS4.28.1.2.d 加速度椭球示意图

加速度椭球面上的任一加速度与重力加速度的合成无因次加速度 $\vec{\alpha}_\beta$ ：

$$\vec{\alpha}_\beta(\alpha, \theta) = \overrightarrow{(a_{x0}, a_{y0}, 1+a_{z0})}$$

且 Z_β （见 4.28.1.2）计算如下：

$$Z_\beta = \frac{a_{x0}\Delta x + a_{y0}\Delta y + (1+a_{z0})\Delta z}{\sqrt{a_{x0}^2 + a_{y0}^2 + (1+a_{z0})^2}}$$

或：
$$\alpha_\beta Z_\beta = a_{x0}\Delta x + a_{y0}\Delta y + (1+a_{z0})\Delta z$$

式中： a_{x0} 、 a_{y0} 、 a_{z0} ——满足上述椭球方程和最大纵/横倾角公式的加速度椭球面上的交点坐标；

$$\Delta x = x_2 - x_1; \quad \Delta y = y_2 - y_1; \quad \Delta z = z_2 - z_1;$$

其中: x_1 、 y_1 、 z_1 ——计算压力点的 x 、 y 、 z 坐标。

x_2 、 y_2 、 z_2 ——某一液货舱边界点的 x 、 y 、 z 坐标。

4.28.1.3 也可以采用等效的计算流程。

4.28.2 加速度分量的指导公式

4.28.2.1 下列公式给出船舶对应于北大西洋 10^{-8} 概率水平船舶运动而产生的加速度分量指导公式, 且适用于船长超过 50 m, 并以此或接近营运速度航行的船舶。

- 4.14.1 中定义的垂向加速度:

$$a_z = \pm a_0 \sqrt{1 + \left(5.3 - \frac{45}{L_0}\right)^2 \left(\frac{x}{L_0} + 0.05\right)^2 \left(\frac{0.6}{C_B}\right)^{1.5} + \left(\frac{0.6yK^{1.5}}{B}\right)^2}$$

- 4.14.1 中定义的横向加速度:

$$a_y = \pm a_0 \sqrt{0.6 + 2.5 \left(\frac{x}{L_0} + 0.05\right)^2 + K \left(1 + 0.6K \frac{z}{B}\right)^2}$$

- 4.14.1 中定义的纵向加速度:

$$a_x = \pm a_0 \sqrt{0.06 + A^2 - 0.25A}$$

$$\text{式中: } a_0 = 0.2 \frac{V}{\sqrt{L_0}} + \frac{34 - \left(\frac{600}{L_0}\right)}{L_0}$$

L_0 = 公认标准中用于确定结构尺寸的船长, m;

C_B = 方形系数;

B = 船舶最大型宽, m;

x = 船中到装货的液货舱重心之间的纵向距离, m; 船中前, x 为正值, 船中后, x 为负值;

y = 中纵线到装货的液货舱重心之间的横向距离, m;

z = 船舶的实际水线到装货的液货舱重心之间的垂向距离, m; 水线以上, z 为正值, 水线以下, z 为负值;

K = 通常为1。对于特殊的装载工况和船型, K 值可按下式确定:

$K = 13 GM/B$, 其中:

$K \geq 1$ 及 GM = 静稳心高度, m;

$$A = \left(0.7 - \frac{L_0}{1200} + 5 \frac{z}{L_0} \right) \left(\frac{0.6}{C_B} \right); \text{ 以及}$$

V = 营运速度, kn;

a_x 、 a_y 和 a_z = 为相应方向上的最大无因次加速度(即相对于重力加速度)。

计算时, 可以认为它们是分别作用的, a_z 不包括静重力分量, a_y 包括横摇在横方向上引起静重力分量, a_x 包括纵摇在纵方向上引起静重力分量。上述公式得出的加速度只适用于以或接近营运速度航行的船舶, 而不是锚泊或在暴露场所几乎静止的船舶。

4.28.3 应力分类

4.28.3.1 为了评估应力, 在本节中, 对应力分类作如下定义。

4.28.3.2 正应力系指垂直于参考平面的应力分量。

4.28.3.3 膜应力系指在考虑的截面厚度范围内, 均匀分布且等于应力平均值的正应力的分量。

4.28.3.4 弯曲应力系指在所考虑的截面厚度范围内, 减去膜应力后的变应力。

4.28.3.5 剪切应力系指作用在参考平面内的应力分量。

4.28.3.6 一阶应力系指由施加的载荷所产生的应力, 它必需与外力和外力矩相平衡。主应力的基本特性系呈非自身限制的(自身无平衡能力的)。明显超过屈服强度的主应力将导致构件破坏或至少出现总体变形。

4.28.3.7 一阶总体膜应力系指这样一种一阶膜应力, 即当结构发生屈服时, 在结构中分布的主膜应力不会导致载荷的重新分布。

4.28.3.8 一阶局部膜应力系指由于压力或其他机械载荷, 以及与在载荷传递到结构其他部位中, 初始的或不连续的效应所产生的过度变形有关的膜应力。这种应力虽具有二阶应力的特性, 但仍应将其归类于一阶局部膜应力。如果满足下列条件, 则可认为应力区域是局部的:

$$S_1 \leq 0.5\sqrt{Rt} \text{ 以及}$$

$$S_2 \geq 2.5\sqrt{Rt}$$

式中: S_1 = 在子午线方向内, 等值应力超过 $1.1f$ 的距离;

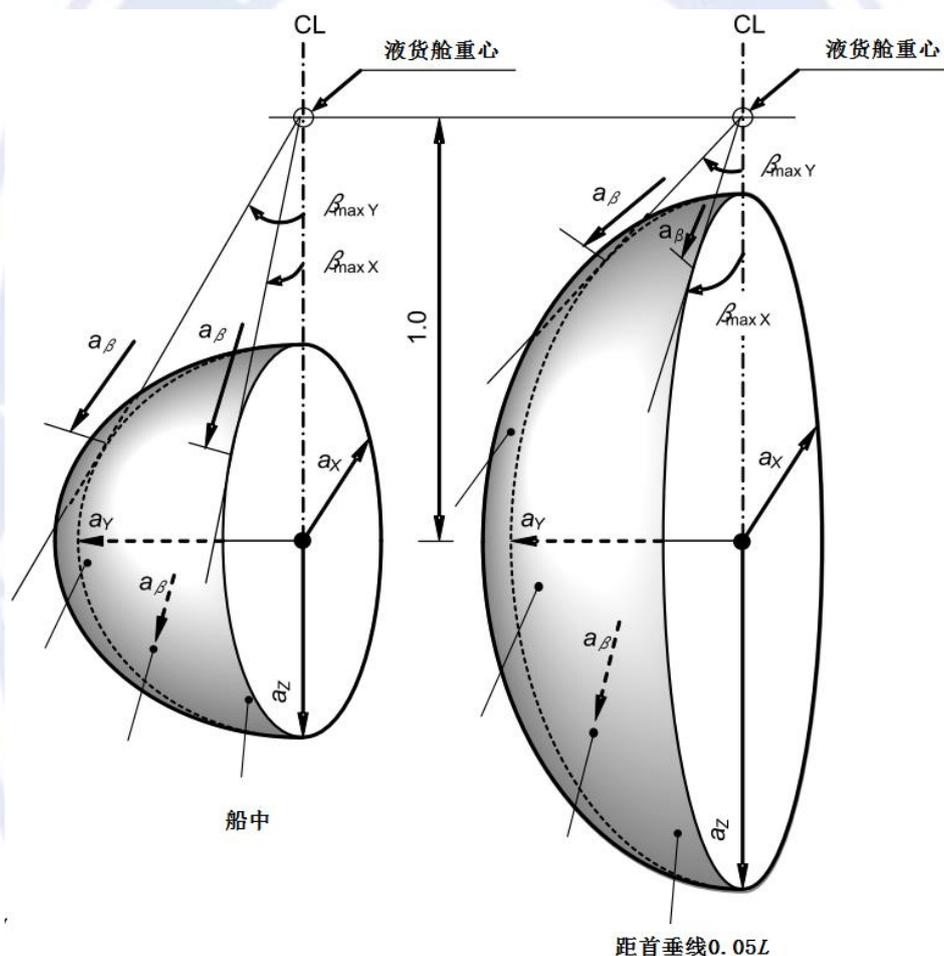
S_2 = 在子午线方向内，到超过一阶总体膜应力极限的另一区域的距离；

R = 容器的平均直径；

t = 超过一阶总体膜应力极限处的容器壁厚；以及

f = 许用一阶总体膜应力。

4.28.3.9 二阶应力系指由相邻部件的约束或由结构自身约束产生的正应力或剪应力。二阶应力的基本特性是呈自身限制（自身有平衡能力）。局部屈服和较小的扭曲能满足导致此应力产生的条件。



α_β = 在任意 β 方向上的合成加速度（静力和动力）

a_x = 加速度纵向分量

a_y = 加速度横向分量

a_z = 加速度垂向分量

图4.1 — 加速度椭球

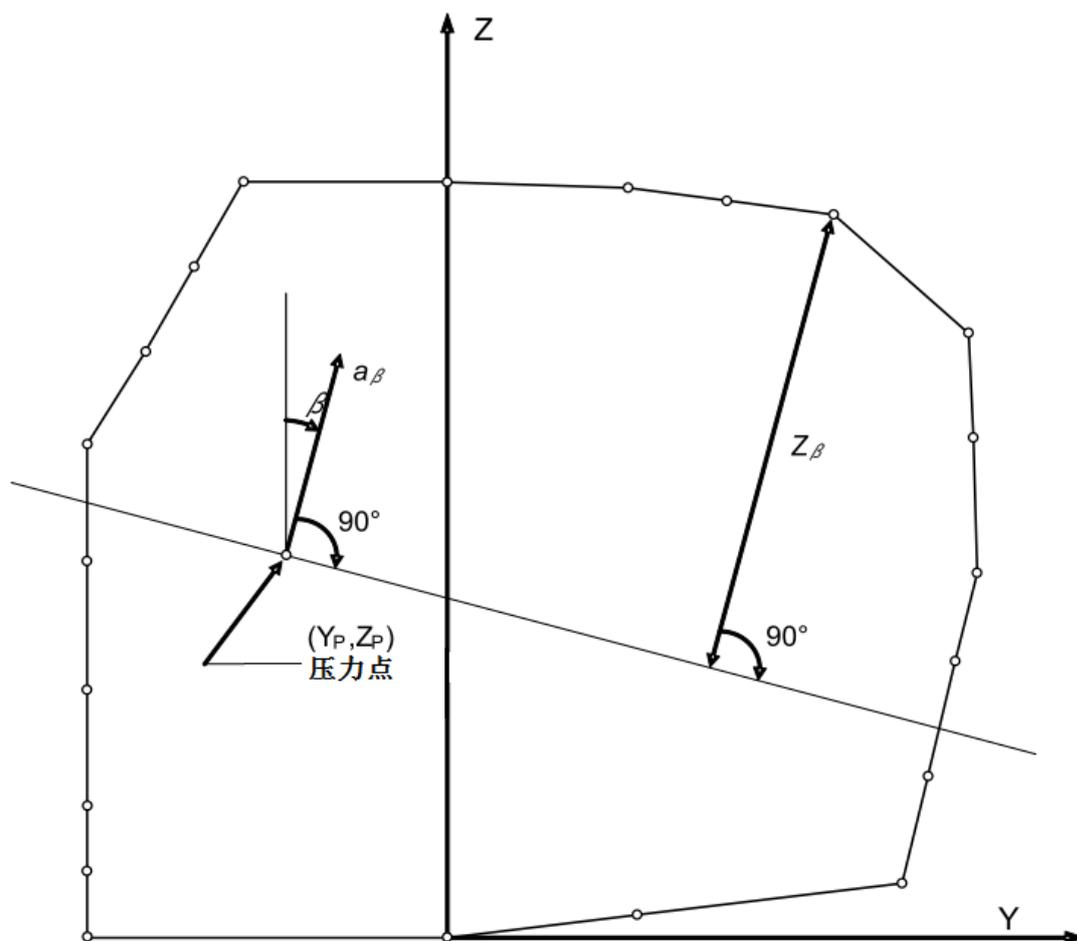


图4.2 — 内部压头的确定

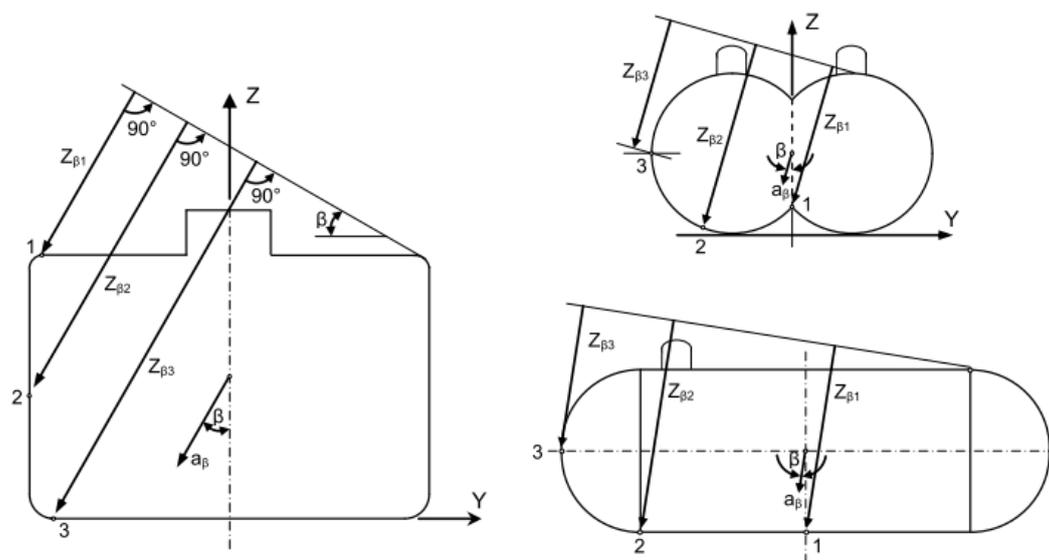
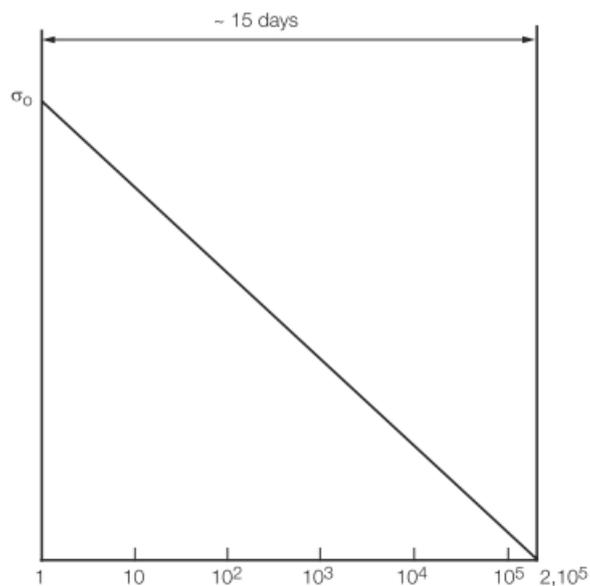


图4.3 — 点1、2和3的液体高度 Z_β 的确定



响应循环次数

σ_c = 船舶使用寿命中最可能出现的最大应力响应循环次数，以对数计；给出的 2×10^5 值作为一个估算算例。

图4.4 — 简化的载荷分布

第5章 处理用压力容器及液体、蒸气和压力管系

目的

确保所有货物和处理用液体和蒸气在所有营运状态下的安全装卸,考虑到所涉及货品的性质,将对船舶、船员和环境的风险降至最低。这将:

1. 确保处理用压力容器,管系和货物软管的完整性;
2. 防止货物的不受控驳运;
3. 确保注入和排空围护系统的方式可靠;和
4. 防止货物围护系统的压力或真空变化范围在货物过驳作业中超过设计参数。

5.1 一般要求

5.1.1 本章要求应适用于货物管系和包括蒸气管系,气体燃料管系和安全阀透气管路或类似管路在内的处理管系。对不含有货物的辅助管系免除本章的一般要求。

CCS5.1.1 本章要求是液化气体运输船受压力容器及液体、蒸气和压力管系试验和检验的一般要求,并未全部涵盖本社其他相关规范对受压力容器及液体、蒸气和压力管系的所有认可及检验的程序及要求。

5.1.2 第4章中对C型独立液货舱的要求也可适用于处理用压力容器。按此要求,第4章中所使用的“压力容器”一词可包括C型独立液货舱和处理用压力容器。

CCS5.1.2 对于C型独立液货舱液化气体船,所有处理用压力容器按CCS《钢质海船入级规范》第3篇第6章中I级压力容器考虑。除另有规定外,货物和处理管路应符合《钢质海船入级规范》第3篇第2章中对I级管路的使用要求。

5.1.3 处理用压力容器包括收集或处理液相货物或气相货物的稳压罐、热交换器和蓄压装置。

5.2 系统要求

5.2.1 货物装卸系统和货物控制系统的设计应考虑到下列方面:

1. 防止异常状态导致货物液体或蒸气泄漏;
2. 泄漏货物液体的安全回收和处理;
3. 防止易燃混合物的形成;

- .4 防止泄漏的易燃液体或气体和蒸气的点燃；和
- .5 限制人员暴露于火灾和其他危险中。

5.2.2 布置：一般要求

5.2.2.1 可能含有货物液体或蒸气的任何管系应符合下列规定：

- .1 该类管系应与其他管系隔离，与货物有关的作业如驱气、除气或惰化要求的内部连接管除外。对于防止货物的回流，应考虑9.4.4的要求。在此情况下，应采取预防措施，确保货物或货物蒸气不会通过内部连接管进入其他管系；
- .2 除第16章中的规定以外，此类管系不得通过任何起居处所、服务处所、控制站或除货物机器处所以外的机器处所；
- .3 除安装在垂向围壁通道或等效装置内的管路穿过货物围护系统上面的留空处所外，以及除排水、透气或驱气用的管路穿过隔离舱外，该类管系应从露天甲板直接通至货物围护系统；
- .4 除3.8规定的船首或船尾装卸装置，5.3.1规定的货物应急投弃管系，5.3.3规定的转塔舱系统以及除第16章的规定以外，上述管系应位于货物区域内露天开敞甲板上；和
- .5 除在航行中不受内部压力的横向接岸管路或货物应急投弃管系外，上述管系应位于2.4.1所规定的液货舱的横向位置以内。

5.2.2.2 应有适当设施，在断开连接前，释放管路中的压力并排空装卸用横向货物集管（同样地，最外端的货物集管阀和装卸臂或货物软管之间的任何管路）中的液货至液货舱或其他适当的处所。

5.2.2.3 输送用于直接加热或冷却货物的液体的管系不应通向货物区域以外，除非有适当设施，防止或探测货物蒸气向货物区域外扩散（参见13.6.2.6）。

5.2.2.4 应将从管系的释放阀排出的液货排入液货舱内；或者，如果设有能探测和处理可能流入透气系统中的任何液货的设施，则也可将液货排入透气总管内。如要求防止下游管路过压，货泵的释放阀排出的液货应排至泵的吸口。

CCS5.2.2.a 对于能够产生大于系统设计压力的所有液货泵，应在其闭路回路上装设释放阀。

CCS5.2.2.b 释放阀应设定到在不大于设计压力的情况下卸压，使在卸压期间压力不超过设计压力的110%，与货舱连接的释放管路上不应设置截止阀，但应在货舱附近设置单向阀。

5.3 货物区域外货物管系的布置

5.3.1 货物应急投弃

货物应急投弃管系（如设置）应符合5.2.2的有关规定，可以引至起居处所、服务处所、控制站或机器处所后部的外面，但不应穿过这些处所。若货物应急投弃管系是固定设置的，则应在货物区域内提供合适的设施将投弃管系与货物管系隔离。

5.3.2 船首或船尾装载布置

5.3.2.1 符合3.8、本段和5.10.1的要求时，可允许设置船首或船尾装卸货物管系。

5.3.2.2 应配备能对使用后的管系进行驱气和除气的装置。当不使用时，应拆去可拆短管，管端用盲板法兰封住。与驱气管相连接的透气管应位于货物区域内。

5.3.3 转塔舱驳运系统

对于通过位于货物区域外的内转塔装置驳运的液相或气相货物，用于该目的的管路应符合5.2.2（如适用），5.10.2和如下规定：

- .1 除与转塔的连接处，管系应位于露天甲板上方；
- .2 不允许采用可携式装置；和
- .3 应配备能对使用后的管系进行驱气和除气装置。当不使用时，应拆去用于隔离货物管系的可拆短管，管端用盲板法兰封住。与驱气管相连接的透气管应位于货物区域内。

5.3.4 气体燃料管系

机器处所内的气体燃料管路除应符合第16章的要求外，还应符合本章所有适用部分。

5.4 设计压力

5.4.1 用于确定管路和管系部件最小尺寸的设计压力 P_0 应不小于系统中可能承受的最大表压。最小设计压力应不小于 1 MPa（表压），但对管端敞开的管路或压力释放阀的排放管路，其设计压力应不小于 0.5 MPa（表压）或压力阀调定压力的 10 倍（取较小者）。

5.4.2 对于管路、管系和部件，根据所载运的货物，应取下列设计情况中的较大者：

- .1 对于可能与其释放阀隔离并可能含有一些液体的蒸气管系或部件，应为设计温度45℃时的饱和蒸气压力。可使用较高或较低的值（参见4.13.2.2）；或
- .2 对于可能与其释放阀隔离并在任何时候仅含有蒸气的管系或部件，应为45℃时的过热蒸气压力。可使用较高或较低的值（参见4.13.2.2），此时，假定系统中饱和蒸气的初始状态是处于该系统的工作压力和工作温度；或
- .3 液货舱和货物处理系统的MARVS；或
- .4 相关的泵或压缩机的释放阀的调定压力；或
- .5 考虑到所有可能的泵布置，在装卸货时货物管系的最大总压头，或管路系统的释放

阀的调定压力。

5.4.3 液体管系中可能承受冲击压力的部位应设计为能承受这种压力。

5.4.4 气体燃料系统的外层管或通风管道的设计压力应不小于气体内层管的最大工作压力。或者，对于工作压力大于 1 MPa 的气体燃料管系，考虑到破裂处的局部即时峰值压力和通风布置，外部通风管道的设计压力应不小于环形处所内的最大积聚压力。

5.5 货物系统阀门要求

5.5.1.1 每一液货舱和管系应设有本节规定的用于隔离的手动操作阀。

5.5.1.2 此外，还应视情况设置遥控阀作为紧急切断（ESD）系统的一部分，ESD 系统的目的是当货物液体或蒸气在驳运时出现紧急情况时，停止货物流动或泄漏。ESD 系统旨在将货物系统回归到安全的静态状态，以便可以采取补救行动。ESD 系统的设计应对避免货物驳运管路内产生冲击压力给予充分考虑。ESD 启动时切断的设备包括装卸货时的汇管阀，任何在船舶内部或外部（如至岸上或另一船舶/驳船）驳运货物的泵或压缩机等和液货舱阀（如 MARVS 超过 0.07 MPa）。

5.5.2 液货舱连接管

5.5.2.1 除安全释放阀和液位测量装置以外，在所有液体和蒸气的连接管上均应设切断阀。应将这些阀尽可能地靠近液货舱。这些阀应能完全关闭并应能就地手动操作。这些阀还可被遥控操作。

5.5.2.2 对 MARVS 超过 0.07 MPa 的液货舱，上述连接管上还应设有遥控 ESD 阀。应将这些阀尽可能地靠近液货舱。若 1 个单独的阀符合本节 18.10.2 的要求，并能将管路完全关闭，则可用 1 个单独的阀代替 2 个分开的阀。

5.5.3 货物总管连接管

5.5.3.1 应为在使用的每一货物通岸驳运连接处设置 1 个遥控 ESD 阀，以停止液相或气相货物装入或驳出船舶。对于不使用的通岸驳运连接接头，应用合适的盲板法兰予以隔断。

5.5.3.2 如液货舱 MARVS 超过 0.07 MPa，应为在使用的每一通岸驳运连接接头设置一个额外的手动阀，该阀可在 ESD 阀的内侧或外侧以适应船舶的设计。

5.5.4 当受保护管路的直径不超过 50 mm 时，可用超流量阀代替 ESD 阀。超流量阀在达到制造厂设定的蒸气或液体的额定关闭流量时应自动关闭。包括附件、阀和由超流量阀保护的附属设备的管路应具有比超流量阀的额定关闭流量大的容量。应将超流量阀设计成具有 1 个直径不超过 1 mm 的圆形旁通孔，以便在超流量阀关闭后能使压力保持平衡。

5.5.5 对于仪表或测量装置的液货舱连接管，不必设置超流量阀或 ESD 阀，但这些装置的结构应能保证液货舱内货物的外流量不超过通过直径为 1.5 mm 圆孔的流量。

5.5.6 在管路充满液体情况下，对可能被隔断的所有管路或部件均应装设释放阀以应对热膨胀和蒸发。

CCS 5.5.6 对容积不超过 50 l 的管路段可考虑免设释放阀。

5.5.7 对于可能由于火灾被自动隔断的所有管路或部件，如其内部的液体容积超过 0.05 m³，释放阀（PRV）的排量应适应火情。

5.6 货物驳运布置

5.6.1 当使用货泵驳运货物，且在液货舱处于使用状态又不能接近货泵进行修理时，则至少应设有 2 套独立装置，以便能从每个液货舱驳运货物，同时应设计成当 1 台货泵或驳运装置发生故障时，不致妨碍使用另外 1 台泵或泵组，或其他货物驳运装置驳运货物。

5.6.2 采用气体加压驳运货物时，在驳运过程中应防止释放阀开启。气体加压可以被作为用于液货舱驳运货物的一种方法。但在设计这些液货舱时，应考虑使其在货物驳运作业期间不致降低液货舱的设计安全系数。如为此改变液货舱释放阀或设定压力（8.2.7 和 8.2.8 允许这种作法），新的设定压力不应超过 4.13.2 所定义的 P_h 。

5.6.3 蒸气回路接头

应设置通向岸上装置的蒸气回路接头。

5.6.4 液货舱透气管系

应将压力释放系统与透气管系相连接，对透气管系的设计应使货物蒸气积聚在甲板上或进入居住处所、服务处所和控制站以及机器处所或可能造成危险状态的其他处所的可能性减少至最低限度。

5.6.5 货物取样连接管

5.6.5.1 连接至货物管系并用于货物液体取样的连接管应清晰标记，其设计应将货物蒸气的释放降至最低。对于允许载运有毒货品的船舶，取样系统应为闭环设计，以确保货物液体和蒸气不挥发至大气。

5.6.5.2 液体取样系统应在取样入口设有两个阀，其中之一应为多回转阀门以防止意外开启，并且两者之间的距离应足够远以确保如遇诸如冰或水合物造成堵塞时可隔断管路。

5.6.5.3 在闭环系统中，回流管上的阀还应符合 5.6.5.2。

5.6.5.4 取样容器的连接管应符合公认标准，并应有支撑，以能承受取样容器的重量。螺纹

接头应为点焊，或采用其他方式锁闭，以防止其在取样容器的正常连接和断开时被拧开。取样连接管应设有封闭塞或法兰以防止连接管不用时发生泄漏。

5.6.5.5 仅用于蒸气取样的取样连接管可按 5.5, 5.8 和 5.13 设有单阀，并且还应有封闭塞或法兰。

5.6.5.6 取样作业应按 18.9 规定的程序进行。

CCS5.6.5.a 除直径等于或小于 25 mm 的小直径管路外，取样接头应尽量避免采用螺纹接头。如采用螺纹接头，应防止螺纹接头滑脱。船上应对连接接头的密性定期检查并进行记录。

CCS5.6.5.b 对于取样时仅有少量非有毒气体逸出的情况，可采用开环方式进行取样。否则，应采用合理的布置，使得取样时多余的逸出气体以安全的方式回到液货舱。

5.6.6 货物滤器

货物液体和蒸气系统应能设置滤器以免受异物损坏。此类滤器可以是固定或临时的，过滤标准应与碎片等进入货物系统的风险相适应。应设有设施能够显示滤器正被堵住，另还应设有能将滤器隔断、减压和安全地清洁的措施。

CCS5.6.6 滤器阻塞可通过压力指示器来显示。

5.7 安装要求

5.7.1 膨胀和收缩设计

应采取措施保护管路、管系和部件和液货舱免受由于热变形及液货舱和船体构件的移动而引起的过大应力的影响。液货舱外宜使用补偿管、弯管或环形管，但如补偿管、弯管或环形管不可行，可使用多层波纹管。

CCS5.7.1 应防止膨胀接头的过度膨胀和压缩，对其邻接管子应适当加以支撑和固定。对于波纹管膨胀接头，应防止其机械损伤。

5.7.2 防低温措施

必要时，应对低温管路与其邻接的船体构件进行热隔离。以防止船体温度降低到船体材料的设计温度以下。当液体管路需经常被拆开或预计其可能有液体泄漏时（如通岸接头处和货泵轴封处等），则应对其下方的船体部分提供保护措施。

CCS5.7.2.a 对于存在泄漏风险的位置（如通岸接头、货泵轴封处和法兰处等），应在其下方设置承滴盘，承滴盘应采用耐低温材料制成并通过一根向下并靠近水面的排放管排出舷外，承滴盘处应进行有效的隔热，以保证 LNG 泄漏时，船体或甲板结构不会遭受过冷。

CCS5.7.2.b 必要时，还应应对高温管路与其邻接的构件进行热隔离，在气体危险区域管路温

度一般不超过 220°C。

5.7.3 水幕

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。该系统是对 11.3.1.4 的要求的补充，并且应在货物驳运时工作。

5.7.4 电气连接

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 1 MΩ。

5.8 管路制造和连接细节

5.8.1 一般要求

本节要求适用于液货舱的内、外管路。但是，对于液货舱内部管路以及端部敞开的管路，按照认可的标准可同意放宽这些要求。

CCS 5.8 尽量采用焊接型式，而尽量少使用法兰连接；应采用防吹出型垫片（不锈钢螺旋缠绕带凸台型）。

5.8.2 直接连接

可以考虑采用下列无法兰的管段直接连接：

- 1 根部完全焊透的对接焊连接均可被用于各种用途。当设计温度低于-10°C时，对接焊应为双面焊或与双面焊等效的对接焊，这可以通过采用在第一焊道上加衬垫、自耗嵌补或惰性气体封底等方法予以实现，当设计压力超过1 MPa及设计温度为-10°C或更低时，焊接后应将衬垫除去；
- 2 具有符合认可标准尺寸的套管焊接接头只能被用于外径小于或等于50 mm和设计温度不低于-55°C的设备管路和端部敞开的管路；和
- 3 符合认可标准的螺纹连接只能被用于外径小于或等于 25 mm 的次要管路和仪表管路。

5.8.3 法兰接头

5.8.3.1 对于法兰接头中的法兰焊接，应采用颈焊、套焊或插入焊等型式。

5.8.3.2 法兰的型式及其制造和试验均应符合公认标准。对于除端部敞开管路以外的所有管路，均应遵守下列限制：

- 1 设计温度低于-55°C时，只应采用颈焊法兰；和
- 2 设计温度低于-10°C时，对于公称尺寸大于100 mm者，不得采用套焊法兰，而对于公

称尺寸大于50 mm者，不得采用插入焊法兰。

CCS 5.8.3 经 CCS 同意，对于其他特殊情况可给予特别考虑。

5.8.4 膨胀接头

如按5.7.1设置波纹管 and 膨胀接头，下列要求适用：

- 1 如果需要，应采取措施，防止波纹管结冰；和
- 2 除位于液货舱内者外，不应采用套筒接头。

5.8.5 其他接头

管路接头应按 5.8.2 至 5.8.4 连接，但对于其他特殊情况，主管机关可考虑替代布置。

5.9 焊接、焊后热处理和无损探伤

5.9.1 一般要求

应按 6.5 进行焊接。

5.9.2 焊后热处理

对碳钢、碳锰钢和低合金钢钢管的所有对接焊缝均应进行焊后热处理。主管机关根据相关管系的设计温度 and 设计压力可以免除对壁厚小于 10 mm 的管子进行消除热应力的要求。

CCS 5.9.2 载运高纯度无水氨或载运含有硫化氢的液化石油气 (LPG) 的管路，当采用抗拉强度下限大于 410 N/mm^2 的钢建造时，管路上的所有对接焊缝应进行焊后热处理。

5.9.3 无损探伤

除在焊接前 and 焊接期间进行正常控制以及对完工焊缝进行目视检查以外，为了证明已按本节要求正确地进行焊接，还应进行下列试验：

- 1 对设计温度低于 -10°C 且内径大于 75 mm 或壁厚大于 10 mm 的管系的对接焊接头应作 100% 射线或超声波检查；
- 2 当管路截面的此种对接焊接头系用主管机关认可的自动焊接工艺焊接时，射线或超声波检查的范围可逐渐减少，但在任何情况下，均不能小于所有接头的 10%。如发现有缺陷，则应进行 100% 检查，其中还应包括以前已经被认可的焊缝。只能在具备合适的质量保证程序文件和记录以评估制造商生产合格的焊接产品的能力时才能授予该许可；和
- 3 对于 5.9.3.1 和 5.9.3.2 中未包括的其他管子的对接焊接头，根据其用途、位置 and 材料决定是否应进行抽样射线或超声波检查或另外的无损探伤。一般，至少应对 10% 的管子对接焊接头进行射线或超声波检查。

5.10 货物区域外货物管系的安装要求

5.10.1 船首或船尾装载装置

下列要求适用于货物区域以外的货物管系及有关的管系设备：

- 1 货物区域以外的货物管系及有关的管系设备只准采用焊接连接。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0.8 m，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；和
- 2 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。

5.10.2 转塔舱驳运系统

如液体和蒸气货物管系位于货物区域以外，下列要求对其适用：

- 1 货物区域以外的货物管系及有关的管系设备只准采用焊接连接；和
- 2 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货物软管接头处和转塔接头处的管路采用法兰连接。

5.10.3 气体燃料管路

气体燃料管路应尽可能采用焊接接头。对于未被包围在 16.4.3 条所要求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。

5.11 管系部件要求

5.11.1 管路尺寸。管系应按公认标准设计。

5.11.2.1 应使用下列衡准确定管壁厚度。

5.11.2.2 管壁厚度应不小于：

$$t = (t_o + b + c) / (1 - a/100) \quad (\text{mm})$$

式中：

t_o —理论壁厚，由下式确定：

$$t_o = PD / (2Ke + P) \quad (\text{mm})$$

其中：

P —设计压力，MPa，参见 5.4 的规定；

D —外径, mm;

K —许用应力, N/mm^2 , 参见 5.11.3 的规定;

e —有效系数。对于无缝钢管以及由认可的焊接管制造厂供应的纵向焊或螺旋焊焊接管(在按认可的标准进行无损探伤后, 认为等效于无缝钢管者)则取 1; 在其他情况下, 按照公认标准并根据制造工艺, 可要求有效系数小于 1;

b —弯曲余量, mm。对 b 值的选取, 应使仅受内压的弯曲部分的计算应力不超过材料的许用应力。如未做出此种证明, 则 b 值应为:

$$b = D t_o / 2.5 r \quad (\text{mm})$$

其中:

r —平均弯曲半径, mm;

c —腐蚀余量, mm。如果预计受到腐蚀或浸蚀, 则管壁厚度应比其他设计要求的值有所增加。此余量应与管子的预期寿命相一致; 和

a —用于壁厚的制造负公差, %。

5.11.2.3 最小壁厚应符合公认标准。

CCS 5.11.2 钢管的公称壁厚应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章表 2.2.2.6(1) 的规定。

5.11.2.4 为防止附加载荷造成管子的损坏、破断和过度下垂或失稳, 而需要一定的机械强度时, 管壁厚度应比 5.11.2.2 要求的值有所增加。如增加管壁厚度不现实或反而会使管子产生过大的局部应力, 则应采取其他的设计方法, 以减小、防止或消除上述载荷。此类附加载荷可能是由于支撑结构、船舶变形、驳运作业时的液压升高、悬挂阀的重量、对装卸臂连接处的反作用力或其他原因产生的。

5.11.3 许用应力

5.11.3.1 对于管子, 5.11.2 的公式中的许用应力 K 是下列值中的较小者:

$$R_m/A \text{ 或 } R_e/B$$

式中:

R_m —室温下材料最低抗拉强度, N/mm^2 ; 和

R_e —室温下材料最低屈服强度, N/mm^2 。如在应力—应变曲线上无明显的屈服应力, 则可采用 0.2% 条件验证应力。

对于 A 和 B 的值, 应在 1.4.4 中规定的《国际散装运输液化气体适装证书》内予以注明, 且 A 值至少为 2.7, B 值至少为 1.8。

5.11.4 高压气体燃料外管或管道尺寸

如气体燃料管路的设计压力大于临界压力，当承受 5.4 规定的设计压力时，管子或管道的直管段的切向薄膜应力应不超过抗拉强度除以 1.5 ($R_m/1.5$)。所有其他管路部件的额定压力应反映出与直管段同一水平的强度。

5.11.5 应力分析

当设计温度为-110℃或更低时，对管系的每一分支，应向主管机关提交一份考虑到由于管子的重量，包括加速度载荷（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的完整的应力分析资料。当设计温度高于-110℃时，主管机关所要求的应力分析资料的内容可为诸如管系的设计或刚度，以及材料的选择等。在任何情况下，即使不提交计算书，也应考虑热应力。对上述的应力分析可按主管机关所接受的常用规则进行。

CCS 5.11.5 应力分析应符合 CCS《低温管系应力分析指南》的要求。

5.11.6 法兰、阀件和附件

5.11.6.1 对于法兰、阀件和其他附件，应考虑到所选的材料和 5.4 规定的设计压力符合公认标准。对于蒸气管路中的波纹管膨胀接头，可同意采用较低的设计压力。

5.11.6.2 对于不符合认可标准的法兰，其尺寸和其螺栓的尺寸均应使主管机关满意。

5.11.6.3 所有应急截止阀应为“遇火关闭”型（参见 5.13.1.1 和 18.10.2）。

5.11.6.4 波纹管膨胀接头的设计和安装应符合公认标准，并设有装置防止过度拉伸或压缩造成的损坏。

5.11.7 船用货物软管

5.11.7.1 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。

5.11.7.2 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。

5.11.7.3 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 and 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 1 MPa（表压）。

CCS. 5.11.7.a 货物软管的评估可参考国际航海联盟(ICS)与石油公司国际海事论坛(OCIMF)出版的液化气体船与船之间驳运指南。货物软管的设计和制造及试验可按主管机关和港口当局的规定。

CCS. 5.11.7.b 5.12.2 所示的温度限制表明任何用于船上货物系统的软管应采用熔点高于925℃的合适材料制造。

5.12 材料

5.12.1 对于管系中所用材料,应按其最低的设计温度进行选择 and 试验并应符合第6章的要求。但是,当货物在压力释放阀调定值时的温度为不低于-55℃,以及当不会发生液体流至透气管路的情况时,对于端部敞开的透气管路的材料质量,可予以放宽。在相同温度条件下,对于液货舱内的端部敞开的管路,也可允许予以同样的放宽,但排放管路及薄膜液货舱和半薄膜液货舱内的所有管路除外。

5.12.2 不应将熔点低于925℃的材料用于液货舱以外的管路,但与液货舱连接的短管除外。此时,应设置耐火绝热层。

5.12.3 货物管系绝热系统

5.12.3.1 货物管系应设有要求的绝热系统以在驳运作业中将泄漏至货物的热量降至最低并保护人员避免直接接触寒冷的表面。

5.12.3.2 由于所处位置或环境条件的不同,如适用时,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。

CCS 5.12.3 本条所述绝热材料至少达到“低播焰性”。

5.12.4 如货物管系所用的材料在含盐大气易受应力腐蚀开裂,应采取充分措施(选择材料、避免暴露于盐水和/或经常检查)避免此类情况发生。

5.13 试验要求

5.13.1 管路部件的型式试验

5.13.1.1 阀¹

应对拟用于工作温度低于-55℃的每种型式的阀进行下列型式试验:

- 1 每种尺寸和每种型式的阀应每隔一段时间双流向在不超过阀的额定设计压力的全部

¹ 参见 SIGTTO 出版物《用于 LNG 阀门的选择与试验》。

作业压力和温度范围下进行阀座密性试验。允许的泄漏率应满足主管机关的要求。在试验期间，应验证阀具有良好的工作性能；

- .2 每种尺寸和每种型式的阀应按公认标准对流量进行确认；
- .3 受压部件应至少按额定压力的 1.5 倍进行压力试验；和
- .4 对于熔点低于 925℃ 的应急截止阀，型式试验应包括按主管机关接受的标准进行的防火试验。

CCS 5.13.1.a 阀的试验

(1) 型式试验

① 用于工作温度-55℃以下的每种型式和尺寸的阀，应经设计评估和型式试验进行认可。型式试验应有CCS验船师在场见证，所有的阀应经受最低设计温度或更低温度和不低于其预计的最大设计压力。型式试验应包括阀体1.5倍设计压力的液压试验，包括阀操作或安全阀设定压力的低温试验，以及泄漏试验。此外，对于安全阀之外的其他阀，阀座和阀杆应进行1.1倍设计压力的泄漏试验。

② 用于工作温度高于-55℃的阀，不要求型式试验。

(2) 产品试验

① 所有阀在产品制造厂应由 CCS 验船师见证进行试验。对所有的阀，阀体应进行 1.5 倍设计压力的液压试验；对安全阀之外的其他阀，阀座和阀杆应进行 1.1 倍设计压力的泄漏试验。另外，用于工作温度-55℃以下的每种型式和尺寸的阀（安全阀除外），最少以 10% 的产品比例，进行包括阀的操作和泄漏验证的低温试验。安全阀设定压力的试验应在环境温度下进行。对于直径不大于 25mm 管路上的仪表隔离阀¹，产品试验不必由 CCS 验船师见证，试验记录应可供检查。

② 如果生产商要求替代上述试验，阀的发证检验可按如下要求：

- i. 用于工作温度-55℃以下的阀，已按照上述CCS5.13.1 a (1) 进行型式认可试验。
和
- ii. 生产商有经认可的质量体系，该体系得到CCS评估和发证，并定期审核。和
- iii. 质量控制计划中包括：对于所有的阀，每个阀体应进行1.5倍设计压力的液压试验；对于安全阀之外的其他阀，阀座和阀杆应进行1.1倍设计压力的泄漏试验。安全阀设定压力的试验应在环境温度下进行。生产商应保持试验记录。和
- iv. 用于工作温度-55℃以下的每种类型和尺寸的阀（安全阀除外），最少以10%产

¹适用于2017年1月1日及以后申请试验的阀；或安装在2017年1月1日或之后签订建造合同的新船上的阀。

品比例,由CCS验船师在场见证下进行包括阀的操作和泄漏验证的低温试验。

(3) 压力释放阀的试验同时还应满足8.2.5的要求。

CCS 5.13.1.b 液货泵的试验

(1) 型式试验

① 每种型式和尺寸的液货泵,应经设计评估和型式试验进行认可。型式试验应有CCS验船师在场见证。如根据生产商提交资料,现有液货泵的设计已经过船级社认可,且该型泵具有良好的营运使用记录,则CCS可考虑作为型式试验的替代。

② 型式试验应包括泵体1.5倍设计压力的液压试验和泵排量试验。电动机驱动的浸没式液货泵,泵排量试验应使用设计介质,或使用低于最低工作温度的介质进行试验。轴驱动的深井泵,泵排量试验的介质可用水。另外,轴驱动的深井泵,应在最低设计温度下进行旋转试验,以验证轴承间隙、耐磨环和密封装置令人满意。旋转试验不需要采用全部长度传动轴进行试验,但应选择足够长度的传动轴,其至少应包括一个轴承和密封装置。试验完毕后,泵应打开进行检查。

(2) 产品试验

① 所有液货泵应在产品制造厂由CCS验船师见证进行试验。试验应包括泵体1.5倍设计压力的液压试验和泵排量试验。电动机驱动的浸没式液货泵,泵排量试验应使用设计介质或使用低于最低工作温度的介质进行试验。轴驱动的深井泵,泵排量试验可使用水作为试验介质。

② 如果生产商要求替代上述试验,泵的发证可按如下要求:

- i. 泵已按CCS5.13.1b (1)要求进行型式认可试验。和
- ii. 生产商有经认可的质量体系,该体系得到CCS的评估和发证并定期审核。和
- iii. 质量控制计划包括每个泵泵体1.5倍设计压力的液压试验和泵排量试验的内容。生产商应保持试验记录。

5.13.1.2 波纹管膨胀接头

对于拟用于液货舱以外的货物管路上的每种波纹管膨胀接头进行下列型式的试验,如主管机关有要求时,还应对设置在液货舱内的波纹管膨胀接头也进行下列型式的试验:

- .1 未经预先压缩的波纹管元件应经受不小于5倍设计压力的压力试验而不破裂,试验持续时间应不少于5 min;
- .2 对于带有所有附件如法兰、拉杆和铰接件等的原型膨胀接头,应在最低设计温度和制造厂推荐的最大位移条件下,使其经受2倍设计压力的压力试验而不产生永久变形;

.3 对完整的膨胀接头应进行循环试验（热运动），在压力、温度、轴向运动、旋转运动和横向运动等条件下，完整的膨胀接头应能承受至少为与实际使用中所遇到的同样多的循环次数。当这些试验与在营运温度下的试验一样严格时，则允许在室温下进行试验；和

.4 对完整的膨胀接头应在无内压的情况下进行循环疲劳试验（船体变形），即用模拟相当于补偿管段的波纹管运动的方式，在不高于 5 Hz（循环次数/秒）的频率下，至少进行 2,000,000 次循环。但只有当由于管路的布置实际上会经受船体变形载荷作用时，才要求进行这种试验。

CCS 5.13.1.c 如能提供完整的文件，并确认膨胀接头是适合于承受预计的工作条件的，则 CCS 可以不要求进行本条中所述的试验。当最大内部压力超过 0.1MPa 时，上述文件应包括足够的试验资料，以验证所用设计方法的合理性，特别是关于计算和试验结果之间的相互关系。

5.13.2 系统试验要求

5.13.2.1 本节要求适用于液货舱内、外管路。

5.13.2.2 在装配后，应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）。当完成对管系或系统部件的制造并对其配齐所有附件时，可在其被装船之前对其进行试验。对在船上焊接的接头应进行至少为 1.5 倍设计压力的试验。

5.13.2.3 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，其试验压力取决于所采用的检测泄漏的方法。

5.13.2.4 在双层壁气体燃料管系中，外管或管道也应进行压力试验，以证明其可承受气体管路破断时预计的最大压力。

5.13.2.5 在首次装载作业之前，应按公认标准，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。

5.13.3 应急截止阀

应对用于液货管系的应急截止阀的关闭特性进行试验以证明其符合 18.10.2.1.3。该试验可在阀门安装后在船上进行。

CCS 5.13.3.a 应急截止 (ESD) 阀除了能遥控关闭外，还应能够就地关闭。当 ESD 阀就地手动操作时，其关闭方式不应为开启动力消失关闭，应能够直接机械控制，使阀回坐到关闭状态。

CCS5.13.3.b 应对应急截止(ESD)阀的开闭状态进行清晰地标示。



第6章 构造材料和质量控制

目的

确定金属和非金属材料要求的特性, 试验标准和稳性以及货物围护和管路系统建造中使用的制造工艺以确保其具有第4章和第5章中要求的功能。

CCS6.0 所有液化气体船上不应新安装含石棉材料。

6.1 定义

6.1.1 本章涉及的A、B、D、E、AH、DH、EH和FH级的船体结构钢均为CCS船体结构钢的等级。

6.1.2 轧制件系指从单板或坯或从单锭轧制而成的产品(如果直接轧制成板、条、型材或块)。

6.1.3 批系指基于取样试验一起接受或拒绝的件数。批的大小见公认标准。

6.1.4 控制轧制(CR)系指在正火温度范围内进行最终变形, 并导致材料状况等效于正火获得的材料状况的轧制程序。

6.1.5 温度-形变控制轧制(TMCP)系指包括对钢的温度和轧制变形均严格控制的程序。不像CR, TMCP的性能不能通过随后的正火或其他热处理进行复制。经主管机关批准, 也可接受TMCP完成后加速冷却。同样适用于TMCP完成后进行回火。

6.1.6 加速冷却(AcC)系指在最终TMCP操作后立即通过比在空气中冷却速度快的速度进行控制冷却以改善力学性能的工艺过程。加速冷却不包括直接淬火。经TMCP和AcC后获得的材料性能不能通过随后的正火或其他热处理进行复制。

6.2 范围和一般要求

6.2.1 本章给出用于货物系统构造的金属和非金属材料的要求。这包括连接工艺、生产工艺、人员资格、无损检测、检查和试验(包括生产试验)的要求。对轧制材料、锻件和铸件的要求见6.4和表6.1至6.5。对焊接件的要求见6.5, 非金属材料的指导见附录1。应执行质量保证/质量控制计划以确保符合6.2的要求。

6.2.2 有关制造、试验、检查以及文件应按照公认标准和本规则的特殊要求。

CCS6.2.2 制造、试验、检查以及文件主要按本章规定，本章没有涉及的内容参考 CCS《材料与焊接规范》要求。

6.2.3 如规定或要求作焊后热处理，其母材性能应在热处理条件下按照本章适用的表列要求予以确定，而焊缝性能应按照6.5的规定的热处理条件予以确定。如果采用焊后热处理，则上述试验的要求，可由主管机关酌情修改。

6.3 一般试验要求和说明

6.3.1 拉伸试验

6.3.1.1 拉伸试验应按照公认标准（即CCS规范）进行。

CCS6.3.1.a 拉伸试验的试样和试验程序应按照CCS《材料与焊接规范》要求。

6.3.1.2 抗拉强度、屈服强度和伸长率应使主管机关满意。对具有明显屈服点的碳锰钢和其他材料，应考虑其屈强比的限制。

CCS6.3.1.b 塑性良好的材料可不作屈强比限制。

6.3.2 冲击韧性试验

6.3.2.1 除主管机关另有规定外，金属材料的验收试验应包括夏比V型缺口冲击韧性试验。规定的夏比V型缺口冲击能量值的要求为3个全尺寸（10 mm×10 mm）试样的最小平均冲击能量值和对最小的单个试样冲击能量。夏比V型缺口试样的尺寸和公差应符合公认标准。对尺寸小于5 mm的试样的试验和要求应符合公认标准。小尺寸试样的最小平均值见下表：

夏比V型缺口试样尺寸 (mm)	3个试样的最小平均冲击能量 (J)
10 ×10	KV
10 ×7.5	5/6KV
10 ×5	2/3KV

表中：KV——表6.1至表6.4中规定的冲击能量值（J）。

仅允许有1个试样的冲击能量可低于规定的平均值，但不得低于该平均值的70%。

6.3.2.2 对于母材，应尽可能按材料厚度截取最大尺寸的夏比V型缺口试样，应尽量使试样位于材料表面和其厚度中心之间的中点位置，并使缺口的长度方向垂直于材料表面(见图6.1)。

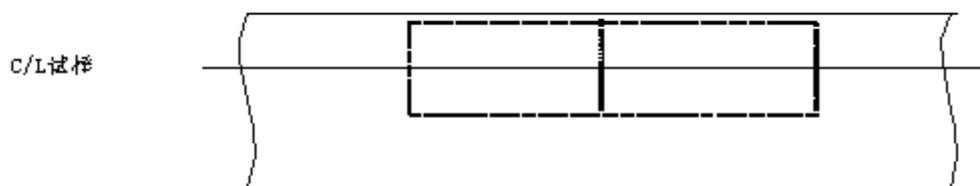
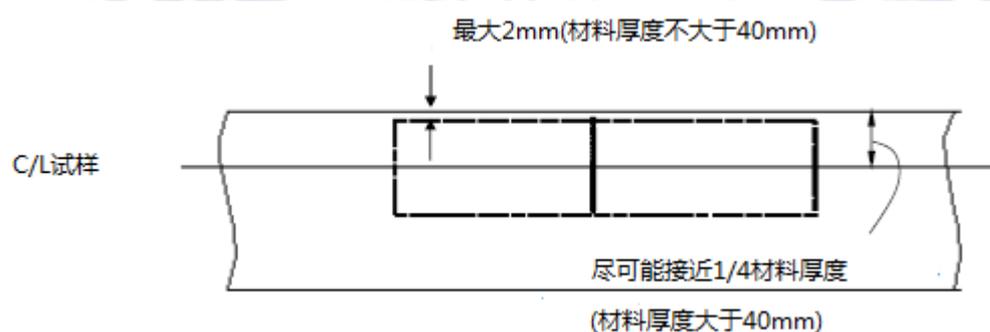


图6.1—母材试样的方向性

CCS6.3.2.a 当材料厚度不大于40mm时，冲击试样应使其纵轴平行或垂直于材料的终轧方向，且在试样边缘距轧制面小于2mm以内处截取（见图CCS6.3.2.a）。



图CCS6.3.2.a 夏比V型缺口冲击试样取样位置（母材金属）

6.3.2.3 对于焊接试验试样，尽可能按材料厚度截取最大尺寸的夏比V型缺口试样，应尽量使试样接近材料表面和其厚度中心之间的中点位置，在各种情况下，从材料表面至试样边的距离应不小于1 mm。此外，对于双V型坡口的对接焊缝，应在接近于第2个焊接面处截取试样。试样一般应取在下列位置，即焊缝的中线上、熔合线上和距离熔合线1 mm、3 mm和5 mm处，见图6.2。

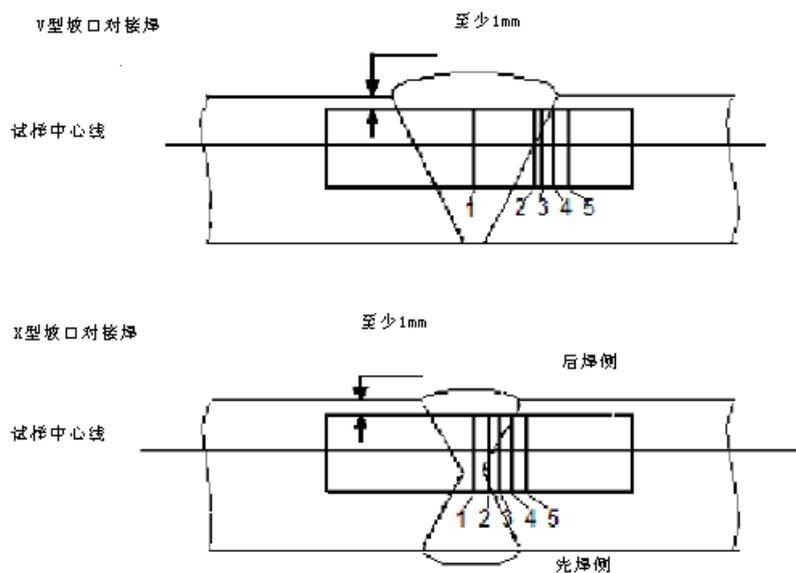
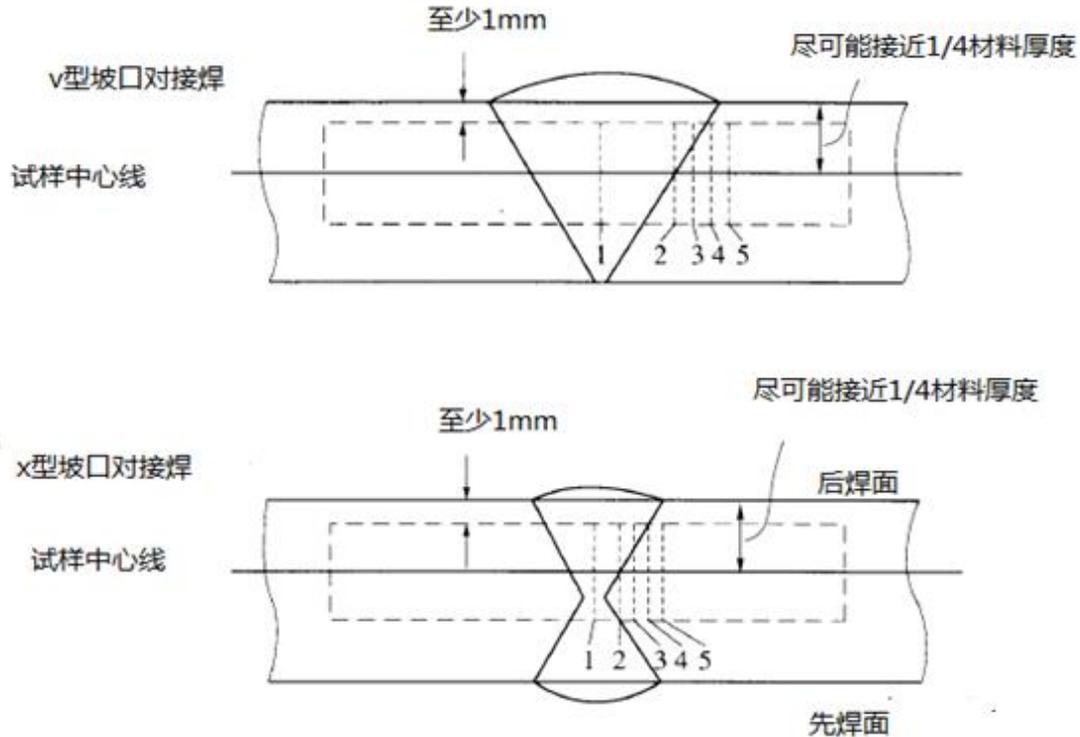


图6.2—焊接试样的方向性

图6.2中的缺口位置:

- .1 位于焊缝中心。
- .2 位于熔合线上。
- .3 在热影响区 (HAZ)，距熔合线1 mm。
- .4 在热影响区 (HAZ)，距熔合线3 mm。
- .5 在热影响区 (HAZ)，距熔合线5 mm。

CCS 6.3.2.b 上述条文夏比V型缺口冲击试样取样位置见图CCS 6.3.2.b。夏比V型缺口冲击试验的复试应按CCS《材料与焊接规范》第1篇相关要求。



图CCS6.3.2.b 夏比V型缺口冲击试样取样位置(焊缝)

6.3.2.4 如果3个最初的夏比V型缺口试样的平均冲击能量没有达到规定的要求，或多于1个试样的冲击能量低于规定的平均值，或者仅有1个试样的冲击能量低于所允许的单个试样的最小冲击能量值时，则可以从同一材料中再取3个附加试样进行试验。将所得的结果与原先获得的试验结果组成1个新的平均值。如果这个新的平均值符合要求，而且，低于要求的平均值的个别结果不多于2个且低于单个试样要求值的试样结果不多于1个，则可以接受此件或这批材料。

6.3.3 弯曲试验

6.3.3.1 作为材料验收试验，弯曲试验可予以免除，但对焊接试验仍要求弯曲试验。如进行弯曲试验，应按CCS规范进行。

6.3.3.2 焊接试验应为横向弯曲试验，主管机关可决定进行正弯、反弯或侧弯试验。若母材和焊缝金属具有不同的强度级，则可要求以纵向弯曲试验替代横向弯曲试验。

6.3.4 断面观察和其他试验

主管机关也可要求对焊缝做宏观断面、微观断面观察以及硬度试验。

CCS6.3.4 上述试验应按照CCS规范执行。

6.4 对金属材料的要求

6.4.1 对金属材料的一般要求

6.4.1.1 构造材料要求见下列各表：

- .1 表6.1：适用于设计温度不低于0℃的液货舱和处理用压力容器所用的板材、管材(无缝管和焊接管)、型材和锻件。
- .2 表6.2：适用于设计温度低于0℃至-55℃的液货舱、次屏壁和处理用压力容器所用板材、型材和锻件。
- .3 表6.3：适用于设计温度低于-55℃至-165℃的液货舱、次屏壁和处理用压力容器中所用板材、型材和锻件。
- .4 表6.4：适用于设计温度低于0℃至-165℃的货物管系和处理用管系所用管材(无缝管和焊接管)、锻件和铸件。
- .5 表6.5：适用于4.19.1.2和4.19.1.3要求的船体结构所用板材和型材。

CCS6.4.1.a 设计温度在0℃以上用于货物和处理管系的铸件和锻件的要求，按照CCS规范执行。

CCS6.4.1.b 不同于条文6.4.1.1所要求的化学成分或力学性能的材料可通过与船级社签署特别协议而被接受。

CCS6.4.1.c 本章船体结构钢按CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章相应的等级要求。

表6.1

设计温度不低于0℃的液货舱和处理用压力容器所用板材、管材(无缝管和焊接管) ^{见注1和2} 、型材和锻件		
化学成分和热处理		
碳锰钢		
全镇静细晶粒钢		
经主管机关同意可添加少量的合金元素		
化学成分的范围应经主管机关认可		
正火或淬火加回火 ^{见注4}		
强度和韧性（冲击）试验要求		
取样频率		
板材	按“轧制件”试验	
型材和锻件	按批试验	
力学性能		
抗拉性能	规定最低屈服应力不超过410N/mm ² ^{见注5}	
韧性（夏比V型缺口冲击试验）		
板材	横向试样，最小平均冲击能量值（KV）为27J	
型材和锻件	纵向试样，最小平均冲击能量值（KV）为41J	
试验温度	厚度t（mm）	试验温度（℃）
	t ≤ 20	0
	20 < t ≤ 40 ^{见注3}	-20

注:

- 1 无缝管和附件,应采用正常的制造工艺。纵向焊接和螺旋焊接的管材,应经主管机关特别认可。(见CCS①)
- 2 管道不要求进行夏比V型缺口冲击试验。
- 3 本表一般适用于厚度不超过40 mm的材料。如使用更大厚度的材料应经主管机关认可。
- 4 控制轧制工艺或TMCP可用于替代。
- 5 规定的最低屈服应力超过410 N/mm²的材料可由主管机关认可。这些材料的焊缝和热影响区的硬度应予以特别注意。见CCS②

注: CCS①焊接压力管,用于液货舱和处理用压力容器的材料化学成分和力学性能应符合CCS《材料与焊接规范》第3章的要求。

CCS②若载运的货品有可能造成液货舱或处理用压力容器产生应力腐蚀裂缝时,建议对整个液货舱或处理用压力容器进行适当的消除残余应力的热处理。以使焊接金属和热影响区的硬度不超过250HV。

表6.2

设计温度低于0℃和至-55℃的液货舱,次屏壁和处理用压力容器所用板材、型材和锻件 ^{见注1}					
最大厚度为25 mm ^{见注2}					
化学成分和热处理					
◆ 碳锰钢					
◆ 全镇静、铝处理的细晶粒钢					
◆ 化学成分(炉罐分析)					
C	Mn	Si	S	P	
≤0.16% ^{见注3}	0.7~1.60%	0.1~0.50%	≤0.025%	≤0.025%	
选择的添加元素:合金化元素和晶粒细化元素一般按下列要求:					
Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	V
≤0.8%	≤0.25%	≤0.08%	≤0.35%	≤0.05%	≤0.1%
Al总含量最少0.02%(酸溶性最少0.015%)					
◆ 正火或淬火加回火 ^{见注4}					
强度和韧性(冲击)试验要求					
取样频率					
◆ 板材		按“轧制件”试验			
◆ 型材和锻件		按批试验			
力学性能					
◆ 抗拉性能		规定最低屈服应力不超过410 N/mm ^{2见注5}			
韧性(夏比V型缺口冲击试验)					
◆ 板材		横向试样,最小平均冲击能量值(KV)为27 J			
◆ 型材和锻件		纵向试样,最小平均冲击能量值(KV)为41 J			
◆ 试验温度		比设计温度低5℃,或-20℃,取其低者			
注:					
1 对锻件的夏比V型缺口冲击试验和化学成分的要求,可由主管机关特别考虑。					
2 对厚度超过25 mm的材料,夏比V型缺口冲击试验应按下列要求进行:					

材料厚度 (mm)	试验温度 (°C)
25<t≤30	比设计温度低10°C,或-20°C, 取其低者
30<t≤35	比设计温度低15°C,或-20°C, 取其低者
35<t≤40	比设计温度低20°C
40<t	经主管机关或代表主管机关的被认可组织认可的温度

冲击能量值应按所用试样种类符合表列的要求。

用于液货舱和液货舱部件的材料,如焊后热应力完全消除,可在比设计温度低5°C或-20°C(取其低者)的温度进行试验。

对于已消除热应力的加强构件和其他构件,其试验温度应与邻接液货舱壳体厚度所要求的试验温度相同。

3 如设计温度不高于-40°C,经主管机关特别同意,材料的含碳量最大可增至0.18%。

4 控制轧制工艺或TMCP可用作替代。

5 规定的最低屈服应力超过410 N/mm²的材料可由主管机关认可。这些材料的焊缝和热影响区的硬度应予以特别注意。

指导:
厚度超过25 mm的材料,若其试验温度为-60°C或更低者,需采用符合本章表6.3规定钢材或经特殊处理的钢材。

CCS①若载运的货品有可能造成液货舱或处理用压力容器产生应力腐蚀裂缝时,建议对整个液货舱或处理用压力容器进行适当的消除残余应力的热处理。以使焊接金属和热影响区的硬度不超过250 HV。

表6.3

设计温度低于-55°C至-165°C ^{见注2} 的液货舱,次屏壁和处理用压力容器所用板材、型材和锻件 ^{见注1} 最大厚度为25 mm ^{见注3和4}		
最低设计温度 (°C)	化学成分 ^{见注5} 和热处理	冲击试验温度 (°C)
-60	1.5%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或TMCP, 见注6	-65
-65	2.25%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或TMCP, 见注6和7	-70
-90	3.5%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或TMCP, 见注6和7	-95
-105	5%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火, 见注6、7和8	-110
-165	9%镍钢—二次正火加回火或淬火加回火, 见注6	-196
-165	奥氏体钢, 如304, 304L, 316, 316L, 321和347, 固溶处理, 见注9	-196
-165	铝合金, 如5083, 退火	不要求
-165	奥氏体铁—镍合金 (含36%Ni) 按经同意的热处理方法	不要求
抗拉和韧性 (冲击) 试验要求		
取样频率		
◆ 板材	按“轧制件”试验	
◆ 型材和锻件	按批试验	
韧性 (夏比V型缺口冲击试验)		

◆ 板材	横向试样, 最小平均冲击能量值 (KV) 为27 J
◆ 型材和锻件	纵向试样, 最小平均冲击能量值 (KV) 为41 J
注:	
1 使用在临界条件锻件的冲击试验的要求, 须提交主管机关特别考虑。	
2 设计温度低于-165℃时的要求, 应经主管机关同意。	
3 含1.5%Ni、2.25%Ni、3.5%Ni和5%Ni的材料厚度超过25 mm, 应按下述要求进行冲击试验:	
材料厚度 (mm)	试验温度 (°C)
25<t≤30	比设计温度低10°C
30<t≤35	比设计温度低15°C
35<t≤40	比设计温度低20°C
冲击能量值, 应根据所用试样型式按照表列值。对厚度超过40mm的材料的夏比V型缺口冲击能量值应予以特别考虑。	
4 可采用厚度超过25 mm的9%Ni钢、奥氏体不锈钢*和铝合金。	
5 化学成分的范围应按照公认标准。	
6 TMCP镍钢应经主管机关接受。	
7 淬火加回火的钢材, 经主管机关特别考虑, 可用于较低的最低设计温度。	
8 经特殊热处理的5%镍钢, 例如经三级热处理的5%镍钢, 可被用于最低温度为-165°C的场合, 但应在-196°C下对其进行冲击试验。	
9 经主管机关同意, 可免除冲击试验。	

*CCS① CCS要求可采用奥氏体钢

表6.4

设计温度低于0°C和至-165°C ^{见注3} 的货物管系和处理用管系所用的管子(无缝管和焊接管) ^{见注1} 锻件 ^{见注2} 和铸件 ^{见注2} 最大厚度为25 mm			
最低设计温度 (°C)	化学成分 ^{见注5} 和热处理	冲击试验	
		试验温度 (°C)	最小平均冲击能量 (KV)
-55	碳锰钢: 应为全镇静细晶粒 正火或经同意的热处理方法 ^{见注6}	见注4	27
-65	2.25%镍钢。正火, 正火加回火或淬火加回火 ^{见注6}	-70	34
-90	3.5%镍钢。正火, 正火加回火或淬火加回火 ^{见注6}	-95	34
-165	9%镍钢 ^{见注7} 。二次正火加回火或淬火加回火	-196	41
	奥氏体钢, 如304, 304L, 316, 316L, 321和347。 固溶处理 ^{见注8}	-196	41
	铝合金, 如5083, 退火		不要求
抗拉和韧性(冲击)试验要求			
取样频率			
应按批试验。			
韧性(夏比V型缺口冲击试验)			
冲击试验: 纵向试样			
注:			
1 如使用纵向焊接和螺旋焊接的管子, 应经主管机关特别认可。			
2 对锻件和铸件的要求可由主管机关特别考虑。			

- 3 设计温度低于-165℃的要求应经主管机关同意。
- 4 试验温度应比设计温度低5℃，或为-20℃，取其低者。
- 5 化学成分的范围应按照公认标准。
- 6 对于经淬火加回火的材料，经主管机关特别同意，可采用较低的设计温度。
- 7 化学成分不适用于铸件。
- 8 经主管机关同意，可免除冲击试验。（见CCS注）
- CCS注：拟用于设计温度低于-55℃的奥氏体铸钢件应做冲击试验。

表6.5

用于按4.19.1.2和4.19.1.3要求的船体结构用板材和型材								
船体结构的最低设计温度（℃）	各钢级的最大厚度（mm）							
	A	B	D	E	AH	DH	EH	FH
0℃及以上 ^{见注1}	按公认标准							
-5℃及以上 ^{见注2}	按公认标准							
0至-5℃	15	25	30	50	25	45	50	50
-5至-10℃	x	20	25	50	20	40	50	50
-10至-20℃	x	x	20	50	x	30	50	50
-20至-30℃	x	x	x	40	x	20	40	50
低于-30℃	按表6.2规定，但表6.2及该表注2中所指的厚度范围不适用							
注： “×”系指不应采用的钢级。 1 适用于4.19.1.3。 2 适用于4.19.1.2。								

6.5 金属材料的焊接和无损探伤

6.5.1 通则

6.5.1.1 本节应只适用于主屏壁和次屏壁，包括构成次屏壁的内壳。碳钢、碳锰钢、镍合金钢和不锈钢应进行验收试验，同时可作为其他材料验收试验的基础。主管机关可决定对不锈钢和铝合金的焊接件免做冲击试验，也可对任何材料特别要求做其他的试验。

CCS 6.5.1 针对条文6.5.1.1中验收试验的材料要求，CCS接受不锈钢改为奥氏体钢并应增加铝合金材质。同时CCS可决定对奥氏体钢和铝合金的焊接件免做夏比V型缺口冲击试验，也可对任何材料特别要求做其他的试验。

6.5.2 焊接材料

6.5.2.1 用于液货舱的焊接材料应符合公认标准。所有焊接材料应要求进行熔敷金属试验和对接焊缝试验。拉伸试验和夏比V型缺口冲击试验中所得的结果应符合公认标准。熔敷金属的化学成分应作记录以供查询。

CCS 6.5.2.a 对所有焊接材料，应按CCS《材料与焊接规范》中的有关规定认可。

CCS6.5.2.b 除特别同意外，所有焊接材料应要求进行熔敷金属试验和对接焊缝试验。

6.5.3 液货舱和处理用压力容器的焊接工艺试验

CCS6.5.3.a 次屏壁焊接工艺试验应按照CCS规范要求。

6.5.3.1 所有液货舱和处理用压力容器的对接焊缝要求作焊接工艺试验。

6.5.3.2 焊接试件应能代表：

- .1 每种母材；
- .2 每种焊接材料和焊接方法；和
- .3 每种焊接位置。

6.5.3.3 板材的对接焊试验，试板的制备应使板材轧制方向平行于焊接方向。每种焊接工艺试验所规定的材料厚度范围应符合公认标准。射线检查或超声波检查可由制造厂选择决定。

6.5.3.4 液货舱和处理用压力容器的以下焊接工艺试验应按 6.3 进行(从每个试件制作试样)：

- .1 焊缝横向拉伸试验；
- .2 公认标准要求的纵向全焊缝试验；
- .3 焊接横向弯曲试验，可进行正弯、反弯或侧弯试验。若母材和焊缝金属具有不同的强度级，则可要求以纵向弯曲试验替代横向弯曲试验；
- .4 一组3个的夏比V型缺口冲击试验，一般应在下列每个位置上截取，如图6.2所示：
 - .1 焊缝的中心线；
 - .2 熔合线；
 - .3 距熔合线1 mm；
 - .4 距熔合线3 mm；和
 - .5 距熔合线5 mm；和
- .5 也可要求对焊缝做宏观断面、微观断面以及硬度进行测定的检验。

6.5.3.5 每个试验应满足下列要求：

.1 拉伸试验：焊缝横向抗拉强度应不低于相应母材的最低抗拉强度。对于铝合金，应参见4.18.1.3关于低匹配焊缝的焊缝金属强度要求（若焊缝金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度）。在每种情况下，应提供试样破断位置报告以供备查；

CCS6.5.3.b 若焊缝金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度，则与CCS签订协议后也可接受横向焊缝抗拉强度不低于熔敷金属规定的最小抗拉强度。

CCS6.5.3.c 焊缝纵向拉伸试验，熔敷金属的屈服强度应不低于母材的规定最低屈服强度或设计时所考虑的最低屈服强度。

.2 弯曲试验：试样经直径为4倍试样厚度的弯芯弯曲180°后，不应断裂；和

CCS6.5.3.d 按6.3.4.2中要求，牌号5083铝合金的弯曲试验，材质厚度不大于12.5mm时应以直径为5倍试样厚度弯芯进行弯曲；厚度大于12.5mm时应以直径为6倍试样厚度弯芯进行弯曲。

CCS6.5.3.e 弯曲试验试样受拉表面不应出现3mm以上的张开型缺陷。

.3 夏比V型缺口冲击试验：应在对连接母材规定的温度下进行冲击试验。焊缝金属冲击试验的结果，其最小平均冲击能量(KV)应不低于27J。焊缝金属小尺寸试样和单个冲击能量的要求应按6.3.2的规定。熔合线和热影响区的冲击试验结果的最小平均冲击能量(KV)应符合母材横向或纵向要求(视适用而定)，而小尺寸试样，最小平均冲击能量(KV)应符合6.3.2的规定。如果材料的厚度不允许截取全尺寸试样或标准小尺寸试样，则试验方法和验收标准应符合公认标准。

6.5.3.6 用于填角焊的工艺试验应符合公认标准(CCS《材料与焊接规范》)。在这种情况下，应选择具有良好冲击性能的焊接材料。

6.5.4 管材的焊接工艺试验

管材焊接工艺试验应与6.5.3对液货舱规定的细节相似。

6.5.5 产品焊缝试验

6.5.5.1 除整体液货舱和薄膜液货舱外，所有液货舱和处理用压力容器通常按每50m左右的对接焊缝进行一次产品焊缝试验，并能代表各个焊接位置。对次屏壁应按主屏壁的要求进行相同型式的产品焊缝试验，但经主管机关同意后可减少试验数量。除6.5.5.2至6.5.5.5规定的试验外，主管机关认为有必要还可要求对液货舱或次屏壁进行其他试验。

CCS6.5.5.a 参照上述6.5.5.1要求，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。

CCS6.5.5.b 上述6.5.5.1条文中的试验按6.5.3.5要求执行。

6.5.5.2 对A型和B型独立液货舱以及半薄膜液货舱的产品焊缝试验应包括：

每50m的焊缝进行弯曲试验，以及当要求时还应进行以一组3个夏比V型缺口的冲击试验。夏比V型缺口冲击试验试样的缺口应分别位于焊缝中心或热影响区(根据焊接工艺试验的结果来确定的最危险的位置)。对于奥氏体不锈钢，所有的缺口应位于焊缝的中心处。

CCS6.5.5.c 上述条文中的“奥氏体不锈钢”可接受“奥氏体钢”，即“对于奥氏体钢，所有的缺口应位于焊缝的中心处”。

6.5.5.3 对于C型独立液货舱和处理用压力容器，除6.5.5.2所列的试验外，还要求进行焊缝

横向拉伸试验。拉伸试验应满足 6.5.3.5 的要求。

CCS6.5.5.d 液货舱和处理用受压容器都要进行焊缝纵向拉伸试验，熔敷金属的屈服强度应不低于母材的规定最低屈服强度或设计时所考虑的最低屈服强度。

6.5.5.4 质量保证/质量控制计划应确保材料制造商的质量手册中规定的产品焊缝持续符合性。

6.5.5.5 整体液货舱和薄膜液货舱的试验要求与6.5.3中所列的适用试验要求一致。

6.5.6 无损探伤试验

CCS6.5.6.a 关于整体液货舱和薄膜液货舱，特别焊缝检测工艺和接受标准应由整体液货舱和薄膜液货舱的设计师提交CCS予以认可。

6.5.6.1 所有试验程序和验收标准应按公认标准，除非设计方规定更高的标准以满足设计假定。原则上应使用射线检查发现内部缺陷。但是，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。

CCS6.5.6.b 无损探伤应满足 CCS《船舶焊接检验指南》第7章7.1.7.2中要求，即：对于整体液货舱或独立液货舱的全焊透焊缝（不包括薄膜舱），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。

6.5.6.2 设计温度为-20℃以下的 A 型独立液货舱和半薄膜液货舱以及任何设计温度下的 B 型独立液货舱，所有液货舱壳板的全焊透对接焊缝应进行适于在其整个长度范围内发现内部缺陷的无损探伤试验。在与 6.5.6.1 中规定的相同条件下，超声波检查可替代射线检查。

6.5.6.3 若设计温度高于-20℃的液货舱，在结构焊缝交叉处的所有全焊透对接焊缝和剩余的全焊透对接焊缝至少10%应在与6.5.6.1中规定的相同条件下进行射线检查或超声波检查。

CCS6.5.6.c 条文 6.5.6.3 中的无损检测要求可不包括 B 型独立舱。

6.5.6.4 在所有情况下，液货舱结构的其余焊缝，包括扶强材以及其他附件和连接件的焊缝应在必要时用磁粉或着色渗透法进行检查。

6.5.6.5 对于C型独立液货舱，无损探伤的范围应按公认标准定其为全部的或部分的，但检验范围应不少于如下的规定：

.1 有关4.23.2.1.3中的全部无损探伤：

射线检查：

.1 整个长度范围内的所有对接焊缝；

用于表面裂纹检查的无损探伤：

.2 10%长度范围内的所有焊缝；

.3 整个长度范围内的开孔和喷管等周围的加强环。

可以用6.5.6.1中所述的超声波检查代替部分射线检查。此外,主管机关可要求对开孔周围的加强环和喷嘴焊缝进行全部超声波检查。

.2 部分无损探伤按4.23.2.1.3规定:

射线检查:

.1 所有对接焊交叉处的接头和对接焊缝全部长度上均匀选取至少10%的长度;

用于表面裂纹检查的无损探伤:

.2 整个长度范围内的开孔和喷管等周围的加强环;

超声波检查

.3 主管机关可根据每一具体情况提出要求。

CCS 6.5.6.d 条文6.5.6.5中的无损检测要求,除C型独立液货舱外,还适用于处理用压力容器。

6.5.6.6 质量保证/质量控制计划应确保材料制造商的质量手册中规定的焊缝无损探伤的持续符合性。

6.5.6.7 管道检查应按照第5章的要求进行。

6.5.6.8 当认为必要时,次屏壁应进行无损探伤以发现内部缺陷。若船体外壳为次屏壁部分,则对所有舷侧顶列板的对接焊缝以及舷侧外板上的所有环缝和纵缝的交叉处应进行射线检查。

6.6 金属材料构造的其他要求

6.6.1 通则

6.6.1.1 焊缝的检查和无损探伤应按照6.5.5和6.5.6的要求。如在设计中假定更高的标准或公差,其也应能满足。

6.6.2 独立液货舱

6.6.2.1 对于由回转体构成主要结构的C型和B型液货舱,关于制造的公差,例如失圆、局部偏离正确形状、焊接接头的对中以及不同厚度板的削斜等,均应符合公认标准。这些公差都是与4.22.3.2和4.23.3.2所述的屈曲分析有关的。

6.6.2.2 对于用碳钢和碳锰钢制造的C型独立液货舱,如设计温度低于-10℃,则应在焊接后进行焊后热处理。其他各种情况下的焊后处理以及当所用材料不同于上述材料时的焊后热处理均应符合公认标准。热处理的加热温度和保温时间也应符合公认标准。

CCS6.6.2 用除 6.6.2.2 以外材料的 C 型独立液货舱的焊后热处理和对于用碳钢或碳锰钢制成的液货舱, CCS 均要求进行焊后热处理。

6.6.2.3 对用碳钢或碳锰钢制成的 C 型液货舱和大型受压容器进行热处理有困难时, 在下列条件下, 可以采用充压方法进行机械应力消除, 以替代热处理:

- .1 对于受压容器的复杂焊接部件, 如带有喷管的贮槽或气室连同其相邻的壳板, 应在将它们焊接到受压容器的更大部件上以前进行热处理;
- .2 对于机械应力消除方法, 最好应在 4.23.6 所要求的静水压力试验期间采用施加一个高于 4.23.6.1 所要求的试验压力的方式进行, 加压的介质应是水;
- .3 对于水温, 可采用 4.23.6.2 的要求;
- .4 当液货舱由其常规的鞍座或支承结构支持时, 应对其进行应力消除。当不能在船上对其进行应力消除时, 液货舱的支持方式应能达到与由常规的鞍座或支承结构支持时同样的应力和应力分布;
- .5 每 25 mm 厚度, 应保持最大应力消除的压力为 2 h, 但在任何情况下均不能少于 2 h;
- .6 在应力消除期间, 计算所得的应力水平上限应为:
 - .1 等效总体主膜应力: $0.9Re$;
 - .2 主弯曲应力加上膜应力的合成相同应力: $1.35Re$, 其中 Re 是在用于液货舱的钢材的试验温度下标定的最低屈服应力的下限或 0.2% 条件验证应力;
- .7 为了验证这些限度, 通常要求至少对相继建造的一系列同样液货舱中的第一个液货舱进行应变测量。在按照 6.6.2.3 的要求需提交的机械应力消除的程度中应包括应变测量仪的位置;
- .8 试验程度应证明: 在应力消除过程结束后, 当压力再次升高到设计压力时, 在压力和应变之间应达到一种线性关系;
- .9 在进行了机械应力消除后, 应采用染色渗透剂或磁粉检验对几何形状不连续处(如喷管和其他开口)的高应力区域进行有关裂纹的检查。应特别注意厚度超过 30 mm 的板材;
- .10 对屈服应力与极限抗拉强度之比大于 0.8 的钢材, 通常不进行机械应力消除。如果采用一种提高钢材延展性的方法, 以提高钢材屈服应力, 则在对具体情况进行考虑后可接受略高的比值;
- .11 如果冷成形度超出要求作热处理的限度, 则不能用对液货舱冷成形部件的热处理替代机械应力消除;

- .12 液货舱壳板和封头的厚度不超过40 mm。进行过热应力消除的部件，可接受较高的厚度；
- .13 当液货舱和气室的封头为准球形时，应特别注意防止局部屈曲；和
- .14 机械应力消除程序应符合公认标准。

6.6.3 次屏壁

建造期间，次屏壁的试验和检查要求应经主管机关或代表主管机关的被认可组织认可或接受（见4.6.2.5和4.6.2.6）。

6.6.4 半薄膜液货舱

6.6中用于独立液货舱或薄膜液货舱的有关要求，如合适时，亦适用于半薄膜液货舱。

6.6.5 薄膜液货舱

质量保证/质量控制计划应确保焊接工艺条件、设计细节、材料、结构、检验和部件的生产试验的持续符合性。这些标准和工艺应在实施原型试验计划期间制定。

6.7 非金属材料

6.7.1 通则

基于目前的经验对这些材料的选择和使用的指导见附录1中的信息。

第7章 货物压力/温度控制

目的

使液货舱压力和温度保持在围护系统设计限制和/或货物载运要求范围内。

7.1 控制方法

7.1.1 除设计成在最高设计环境温度条件下能承受货物的最大蒸气表压力的液货舱外，液货舱的压力和温度应通过下列一种或几种方法一直保持在设计范围内：

- 1 货物蒸发气的再液化；
- 2 货物蒸发气的热氧化（燃烧）；
- 3 压力积聚（蓄压）；和
- 4 液相货物的制冷。

7.1.2 对于第17章要求的某些货物，不论是否设有能处理货物蒸发气的任何系统，其货物围护系统应能承受在最高环境设计温度条件下的货物最大蒸气压力。

7.1.3 除非在紧急情况下，不应接受排放货物以保持液货舱的压力和温度。主管机关可允许在海上将货物蒸气排放至大气中以达到控制某些货物的目的。经港口主管当局准许，此方法也可在港内采用。

7.2 系统设计

对于正常的营运，其最高的环境设计温度应为：

海水： 32℃

空气： 45℃

对于在特热或特冷区域营运的船舶，这些设计温度应作适当的增减并使主管机关满意。系统的总体能力应使得在不向大气排放的情况下将压力控制在设计条件内。

7.3 货物蒸发气的再液化

7.3.1 通则

可以按下列方式之一对再液化系统进行布置：

- .1 直接冷却系统：对气化的货物进行压缩、冷凝并将其输回到液货舱；
- .2 间接冷却系统：用制冷剂对货物或气化的货物进行冷却或冷凝，而不对其压缩；
- .3 混合系统：将气化的货物压缩后，在货物 / 制冷剂的热交换器中加以冷凝，然后再将其输回到液货舱；和
- .4 如果在压力控制操作期间并在设计条件范围内，再液化系统产生包含甲烷的废气流，这些废气尽实际可行在不向大气排放的情况下进行处理。

注：第17和19章的要求可排除使用1个或多个系统或可规定使用特定系统。

CCS 7.3.1 机械制冷系统应按照CCS《钢质海船入级规范》第5篇第2章有关要求要求进行制造检验和试验。

7.3.2 相容性

用于再液化的制冷剂应与其相接触的货物相容。另外，如使用多种制冷剂并可能互相接触，其应彼此相容。

7.4 蒸气的热氧化（燃烧）

7.4.1 通则

按1.2.52和16.2的规定通过货物蒸气的热氧化以保持液货舱压力和温度应只适用于LNG货物。一般来说：

- .1 热氧化系统应呈现无外部可见火焰，并应保持烟道排气温度低于535℃；
- .2 氧化系统所在处所的布置应符合16.3，供气系统应符合16.4；和
- .3 如果用于燃烧来自任何其他系统产生的废气，热氧化系统应设计成能适应所有预计的原料气体成分。

7.4.2 热氧化系统

热氧化系统应符合下列要求：

- .1 每个热氧化系统应具有一个独立的上烟道；
- .2 每个热氧化系统应具有专门的强制通风系统；和
- .3 热氧化系统的燃烧室和排气烟道应设计成能防止气体的任何积聚。

7.4.3 燃烧器

燃烧器应设计成能在所有设计着火条件下保持稳定的燃烧。

7.4.4 安全

7.4.4.1 应装有适当的设备,对其布置应确保在没有实现和保持良好的点火时,能切断流向燃烧器的气体。

7.4.4.2 每个热氧化系统应能从安全可达到的位置手动隔断气体燃料供应。

7.4.4.3 应设有在燃烧器熄火后能使用惰性气体对燃烧器的供气管路进行自动驱气的布置。

7.4.4.4 所有运行中的气体、燃油或油和气燃烧器在火焰熄灭的情况下,应能自动对氧化系统燃烧室进行再次点火前的驱气。

7.4.4.5 应采取能对燃烧室进行人工驱气的措施。

7.5 压力积聚(蓄压)系统

围护系统绝热层、设计压力或两者均应足以为所涉及的操作时间和温度提供适当的余量。不要求附加压力和温度控制系统。接受条件应在1.4.4中要求的《国际散装运输液化气体适装证书》中予以记录。

7.6 液相货物的制冷

散装货物液体可由通过安装在液货舱内部或液货舱外表面上的盘管中循环流通的冷却剂进行制冷。

7.7 隔离

如果同时载运2种或2种以上能起危险化学反应的货物时,对于每种货物,均应设有1.2.47中规定的独立系统,每个系统符合7.8中规定的可用衡准。如果同时载运2种或2种以上不互相反应但由于其蒸气的特性而需要单独系统的货物时,可通过隔离阀进行隔离。

7.8 可用性

系统的可用性及其支持辅助服务应满足:

- 1 如果机械非静止部件或控制系统部件发生单项故障,能使液货舱的压力和温度保持在其设计范围内而不影响其他必需的服务;

CCS 7.8.1.a 如采用制冷装置作为7.1.1.1规定的控制货物压力/温度的措施时,考虑制冷装置发生故障但不设置备用机组的替代措施是:能燃烧蒸发气和处理所产生蒸发气的辅助锅炉或本船级社认可的替代废热处理装置。如果在21天(或经特别申请)的周期内不会达到安全阀最大许用设定值,那么也可考虑只燃烧部分蒸发气的系统。

CCS7.8.1.b 如仅采用GCU作为控制货物压力/温度的措施,则一般情况下运动部件如鼓风机、监控系统中的重要电控元件应为双套冗余,以确保部件在出现单个故障情况下,能够保持或恢复其处理能力。对于液货舱为C型独立液货舱的船舶,如满足如下条件可允许设置单套:可在短期内更换备件,GCU处理能力的恢复时间与GCU预期的自身操作特性和液货舱压力增长速率相一致。

.2 不要求冗余管系;

.3 使液货舱的压力和温度保持在其设计范围内所必需的热交换器应设有备用热交换器,除非其超过最大要求的压力控制能力的25%并能在无外部帮助的条件下在船上进行修理。如液货舱压力和温度控制设有另外的单独方式且不依靠单独的热交换器,则不要求设有备用热交换器;和

CCS7.8.3 从热交换器出来含有货物的水不得引至主机舱。

.4 对于任何货物加热或冷却介质,应设有按照13.6条要求的探测有毒或易燃蒸气泄漏至其他安全区域或舷外的装置。泄漏探测装置的任何透气出口应至安全位置并设有防火网。

第8章 货物围护的透气系统

目的

避免货物围护系统受到过压或欠压造成的损坏。

8.1 通则

所有液货舱均应具有与货物围护系统的设计以及其所装载的货物相适应的压力释放系统。对于所承受的压力可能超过其设计承受能力的货舱处所和屏壁间处所,也应具有合适的压力释放系统。本规则第7章所规定的压力控制系统应独立于压力释放系统。

8.2 压力释放系统

8.2.1 液货舱(包括甲板液货舱)应设有最少2个压力释放阀(PRV),每个阀均为相同尺寸且偏差在制造商的公差范围之内,其设计和制造能够满足预定的用途。

8.2.2 屏壁间处所应设有压力释放装置¹。对于薄膜系统,设计方应证明屏壁间处所压力释放阀具有足够的尺寸。

8.2.3 压力释放阀的调定压力应不高于设计该液货舱时所采用的蒸气压力。当安装两个以上压力释放阀时,具有不超过总释放能力50%的阀可调到MARVS以上5%的压力以允许后续的开启,将不必要的蒸气释放降至最低。

8.2.4 下列温度要求适用于安装至压力释放系统的压力释放阀:

- 1 应将设计温度低于0℃的液货舱上的压力释放阀设计和布置成能防止由于结冰而造成阀失灵;
- 2 对于压力释放阀的结构和布置,应考虑由于环境温度结冰的影响;
- 3 压力释放阀应由熔点高于925℃的材料构成。可接受内部结构和密封使用低熔点材料,只要不损害压力释放阀的故障安全操作;和
- 4 先导式压力释放阀上的感应导管和排气管应足够坚固以防止破损。

8.2.5 阀试验

8.2.5.1 压力释放阀应进行型式试验。型式试验应包括:

¹ 参见 IACS 统一解释 GC9 “评定屏壁间处所压力释放系统的尺寸导则”

- .1 释放能力的验证；
- .2 在设计温度低于-55℃情况下操作的低温试验；
- .3 阀座密性试验；和
- .4 受压部件按至少为设计压力的1.5倍进行压力试验。

压力释放阀应按照认可标准⁵进行测试。

8.2.5.2 每个压力释放阀应经试验以确保：

- .1 在规定的调定压力下能开启。对于0~0.15 MPa者，开启压力的允许偏差不超过±10%；对于0.15~0.3 MPa者，允许偏差不超过±6%；对于0.3 MPa及以上者，允许偏差不超过±3%；
- .2 阀座密性可接受；和
- .3 受压部件能承受至少1.5倍的设计压力。

8.2.6 对于压力释放阀，应由主管机关或代表主管机关的被认可组织进行调定和铅封，而此项工作的记录，包括阀的调定压力，应被保存在船上。

8.2.7 在下列情况下，允许液货舱有1个以上的释放阀调定压力：

- .1 安装2个或2个以上经正确调定并被铅封的压力释放阀，并设有必要的装置，将不用的阀与液货舱隔离；或
- .2 安装可以改变调定压力的释放阀。对于其调定压力，可以通过使用预先认可的不要进行压力试验即能验证新的调定压力的设备予以改变。所有其他的阀调节机构均须铅封。

8.2.8 按8.2.7的规定改变调定压力和相应地重新设定13.4.2所述的报警，应在船长的监督下，按照认可程序和船舶操作手册的规定进行。应将改变后的调定压力记录在船舶航行日志内，并在货物控制室内(如设有时)张贴标记，然后在每个释放阀上标明其调定压力。

8.2.9 如果液货舱安装的压力释放阀发生故障，应有紧急隔离安全装置：

- .1 应规定相应操作程序并纳入货物操作手册（见18.2）。
- .2 程序应只允许隔离液货舱安装的1个压力释放阀。
- .3 压力释放阀的隔离应在船长的监督下进行。该行动应记录在船舶航行日志内，并在货物控制室内（如设有时）和压力释放阀上张贴标记。
- .4 在总释放能力恢复前，液货舱不应载货。

⁵ ISO 21013-1:2008-低温容器—低温设备用卸压附件—第1部分：可重新盖紧的压力释放阀；ISO 4126-1:2004 过压保护安全装置—第1部分和第4部分：安全阀。

8.2.10 安装在液货舱上的每个压力释放阀应与透气系统相连接。

- 1 此系统的构造应能使气体排放不受阻碍且垂直引向上方出口；
- 2 并布置成能使水或雪进入透气系统的可能性减少至最低限度；
- 3 透气管出口的高度应高出露天甲板不小于 $B/3$ 或6 m，取其大者；和
- 4 高出工作区域和步桥6 m。

8.2.11.1 应将液货舱压力释放阀排气管出口布置成使其与最近的通向起居处所、服务处所和控制站或其他非危险区域空气进口、出口或开口之间的距离至少为 B 或25 m，取其小者。对船长小于90 m的船舶，可允许采用较小的距离。

8.2.11.2 应将所有与货物围护系统相连的其他透气管出口布置成使其与最近的通向起居处所、服务处所和控制站或其他非危险区域的空气进口、出口或开口之间的距离至少为10 m。

CCS 8.2.11 在货物/压载操作期间有大量货物蒸气、空气或惰化气体与货物蒸气混合物排出的排出口的半径6 m范围内应采用合格防爆型的电气设备，而半径6 m至10 m范围内应采用无火花型电气设备（参见 IEC 60079—15）。

8.2.12 对在其他各章中的所有其他的货物透气出口没有明确的布置要求时，均应按照8.2.10、8.2.11.1和8.2.11.2的规定。应设有防止由于相连处所的静水压力造成液体从透气管桅出口溢流的措施。

8.2.13 如果同时载运几种相互间会起危险反应的货物，则对所载运的每种货物均应设置一个独立的压力释放系统。

8.2.14 在透气管系中，应设有能从可积聚液体的地方排放液体的措施。应将压力释放阀和管路布置成在任何情况下不会使液体积聚在压力释放阀内或其附近。

8.2.15 在透气管出口端，应装设正方形网孔宽度不大于13 mm的适当的防护网以防异物进入，且不会对流动造成不利影响。载运特定货物时，应按照防护网的其他要求（见17.9和17.21）。

8.2.16 应将所有透气管路设计和布置成不致于因其受到外界温度的变化、流产生的力或船体的运动而致其损坏。

8.2.17 应将压力释放阀连接至甲板平面以上的液货舱最高部分。压力释放阀在液货舱上的位置应使得在第15章中规定的充装极限（ FL ）下当船舶处于横倾15°和纵倾0.015 L （对于 L 的定义，见1.2.31）的情况下，压力释放阀处仍保持处于蒸气空间内。

CCS 8.2.1.7 为防止意外情况下，液货舱内形成“气穴”并产生严重后果，建议船东/经营人联合货物围护系统及货物操作系统设计方，共同制订减小“气穴”风险的应急程序。可参见 IACS Rec. 150.

8.2.18 按照15.5.2的要求装载的液货舱上的透气系统，应验证其适用性，并考虑到IMO制定的建议案¹。有关的证书应永久保留在船上。就本条而言，透气系统系指：

1. 液货舱出口和通向压力释放阀的管路；
2. 压力释放阀；和
3. 从压力释放阀到排向大气位置的管路，并包括与其他液货舱相通的连接和管路。

8.3 真空保护系统

8.3.1 对于未设计成能承受最大外压差为0.025 MPa的液货舱，或不能承受在最大卸货速率下无蒸气返回液货舱时，或由于货物制冷系统工作时或热氧化时可能产生的最大外压差，则均应设置：

1. 两个独立的压力开关，以能在足够低于液货舱的最大设计外压差时的压力下，采取适当的措施，按顺序报警并随后停止从液货舱内抽吸货物液体或蒸气，同时关闭制冷设备（如设有时）；或
2. 真空释放阀，其气体流量至少等于每个液货舱的最大卸货速率，且调定在足够低于液货舱的设计外压差时的压力下能开启。

8.3.2 按照第17章的要求，真空释放阀应能允许惰性气体、货物蒸气或空气进入液货舱，同时应布置成使水或雪进入液货舱的可能性为最小。如果允许货物蒸气进入液货舱，则所进入的货物蒸气应为来自除货物蒸气管路以外的蒸气源。

CCS8.3.2 真空释放阀通常不允许空气进入液货舱，除非设有满意的控制、低压报警、货泵和压缩机的自动停止装置，并调定使得液货舱的压力不能低于预先设定的最低安全水平。

8.3.3 应能对真空保护系统进行试验，以保证其在达到规定的压力时能动作。

8.4 压力释放系统的排量

8.4.1 压力释放阀的排量

每个液货舱的压力释放阀应具有一个联合的释放量，以便能排放下列情况中较大数量的蒸气，使液货舱中的压力升高不超过释放阀的最大允许调定值（MARVS）的20%：

8.4.1.1 如果液货舱惰化系统最大可达到的工作压力超过液货舱的MARVS，则取液货舱惰化系统的最大排量；或

¹ 参见《C型舱透气系统适用性的评估导则》（IMO大会A.829(19)决议）。

8.4.1.2 用下式算得的火灾波及时的蒸气生成量:

$$Q = FGA^{0.82} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

式中: Q —在273.15 K和0.1013 MPa的标准状态下所要求的空气最小排放率;

F —用于不同类型液货舱的火灾波及系数:

$F = 1$, 对于甲板上无绝热层的液货舱;

$F = 0.5$, 对于甲板以上其绝热层系经主管机关认可的液货舱。应根据所使用的防火材料、绝热层的热传导性能及其在火灾波及时的稳定性进行此项认可;

$F = 0.5$, 对于安装在货舱处所内的非绝热独立液货舱;

$F = 0.2$, 对于安装在货物处所内的独立液货舱(或安装在绝热货舱处所内的非绝热独立液货舱);

$F = 0.1$, 对于惰化货舱处所内的绝热独立液货舱(或惰化、绝热货舱处所内的非绝热独立液货舱);

$F = 0.1$, 对于薄膜或半薄膜液货舱。对于部分突出于开敞甲板上的独立液货舱的火灾波及系数, 应根据甲板上、下方的液货舱表面积予以决定。

G —气体系数:

$$G = \frac{12.4}{L \cdot D} \sqrt{\frac{Z \cdot T}{M}}$$

其中: T —在释放状态下的绝对温度(K), 即在120%的释放阀调定压力下的温度;

L —在释放状态下, 物质被气化时的潜热, kJ / kg;

D —根据比热 k 决定的常数, 用下列公式计算:

$$D = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

式中: k = 释放状态下的比热率, 其值在1和2.2之间。如果 k 为未知数时, 应取 $D = 0.606$;

Z —在释放状态下, 气体的压缩系数; 如此系数为未知数, 则取 $Z = 1$; 和

M —货品分子量。

应确定拟载运的每个货物的气体系数, 其最高值应用于PRV排量。

A —1.2.14中规定的液货舱外表面面积, m^2 。对于不同类型的液货舱, 如图8.1所示。

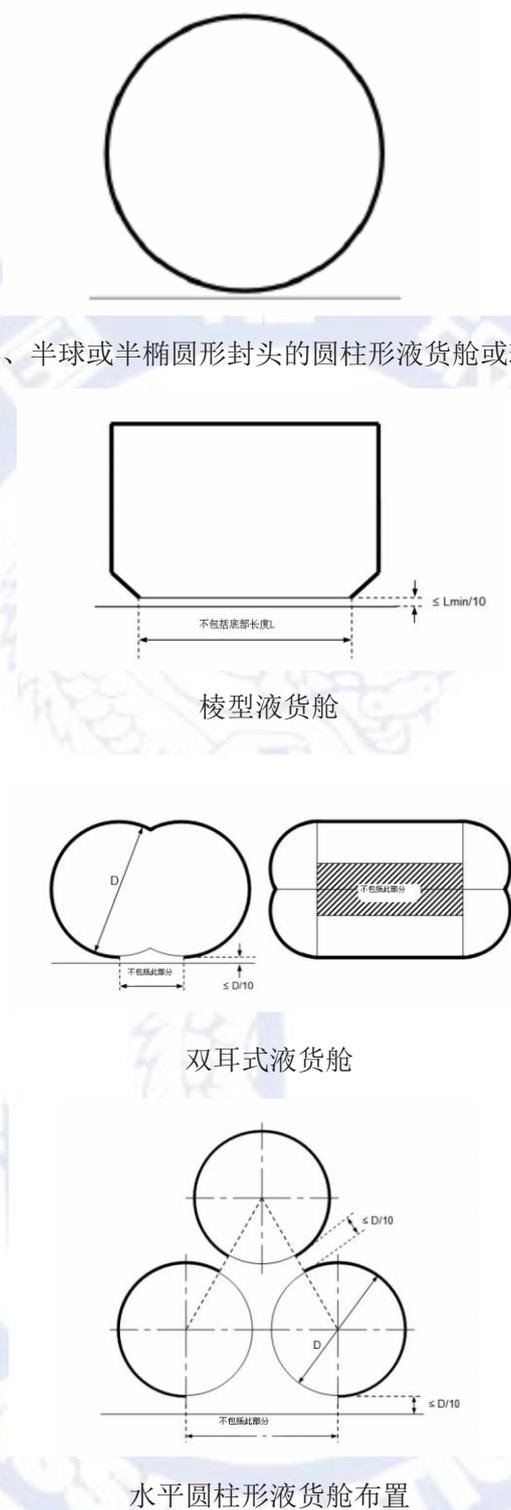


图8.1

8.4.1.3 释放状态下要求的空气质量流由下列公式得出：

$$M_{\text{空气}} = Q \rho_{\text{空气}} \quad (\text{kg/s})$$

式中：空气密度（ $\rho_{\text{空气}}$ ）=1.293 kg/m³（在273.15 K，0.1013 MPa时的空气）。

8.4.2 透气管系统排量

确定压力释放阀的排量时,应考虑压力释放阀上游和下游的压力损失以确保8.4.1要求的流量。

8.4.3 上游压力损失

8.4.3.1 按照8.4.1,透气管路中从液货舱到压力释放阀入口处的压降,应不超过计算流速下该释放阀调定压力的3%。

8.4.3.2 如果先导式压力释放阀的先导压力直接传感自液货舱气室,则压力释放阀应不受进气管压力损失的影响。

8.4.3.3 对于可移动导阀,应考虑感应导管中的压力损失。

8.4.4 下游压力损失

8.4.4.1 如设有共用透气总管和透气管桅,计算应包括所有关联压力释放阀的流量。

8.4.4.2 透气管中从压力释放阀出口至排放至大气的位置的背压,包括任何与其他液货舱相连的透气管,应不超过下列值:

- .1 对非背压平衡式释放阀: MARVS的10%;
- .2 对背压平衡式压力释放阀: MARVS的30%; 和
- .3 先导式压力释放阀: MARVS的50%。

可接受压力释放阀制造商提供的替代值。

8.4.5 为确保压力释放阀的稳定运作,其回座压差应不少于进口压力损失和额定排量时0.02 MARVS的总和。

第9章 货物围护系统的环境控制

目的

监控围护系统的完整性并确保货物围护系统和货舱处所内的气体环境在船舶营运期间一直处于安全状态。

9.1 货物围护系统内的环境控制

9.1.1 应设有一个管路系统,以便能对每个液货舱安全地除气以及在除气后的状态下安全地充入货物蒸气。应将系统布置成能在气体环境改变后使气体或空气存留死角的可能性降至最低限度。

9.1.2 对于易燃货物,应将系统设计成在利用惰性的介质对液货舱进行气体环境改变作业的中间步骤时,消除易燃气体混合物存在于液货舱内的可能性。

9.1.3 可能含有易燃货物的管路系统应符合9.1.1和9.1.2。

9.1.4 应对每个液货舱和货物管路系统设置足够数量的气体采样点,以能充分地监测气体环境改变的进程。气体采样连接管应在主甲板以上设有单个阀,并用适当的盖板或盲板密封(见5.6.5.5)。

9.1.5 在上述作业过程中所使用的惰性气体,可由岸上或船上供给。

9.2 货舱处所(除C型独立液货舱以外的货物围护系统)内的环境控制

9.2.1 对于要求全部或部分设置次屏壁的用于易燃气体的货物围护系统的屏壁间处所和货舱处所,均应使用适当的干燥惰性气体进行惰化,并用船上惰性气体发生系统或用船上储存的惰性气体提供补充的惰性气体以保持惰化。船上储存的惰性气体应至少能满足30天的正常消耗。

9.2.2 另一方面,因受第17章规定的限制,可用干燥空气充填9.2.1所述的只要求部分次屏壁的处所,但船上仍应保持有一定贮量的惰性气体或在船上设有足以惰化上述处所中最大处所的惰性气体发生系统。同时,对于上述处所的形状以及有关的蒸气探测系统连同惰化装置的能力,应保证能迅速探测到液货舱的任何泄漏以及在可能发展成危险状态之前能完成惰化。

应设有能产生足够的合适质量的干燥空气的设备，以满足预期的需要。

9.2.3 当载运非易燃气体时，9.2.1和9.2.2所述的处所可用合适的干燥空气或惰性气体予以保持。

9.3 C型独立液货舱周围处所的环境控制

对于未设置次屏壁的液货舱周围处所，应充填适当的干燥惰性气体或干燥空气，并应用船上惰性气体发生系统或贮存的惰性气体提供补充的惰性气体或用合适的干燥空气设备提供的干燥空气，以保持上述处所的环境。如果货物在环境温度下载运，干燥空气或惰性气体的要求不适用。

9.4 惰化

9.4.1 惰化是指提供一个不燃环境的过程。在处所内所有可能出现的温度下，此惰性气体与货物在化学性质方面和操作方面均应是相容的。应考虑惰性气体的露点。

CCS 9.4.1 对惰性气体露点的考虑，应按照下列规定：

- .1 当货舱绝缘是本船级社认可的不能防止水蒸汽渗透的有效保护层时，露点的最大值应小于设计温度。
- .2 当货舱绝缘是本船级社认可的有效保护层时，露点的最大值应小于充满干燥惰性气体或干燥空气的舱室内任何表面上具有的最低温度。
- .3 惰性气体装置容量应经车间试验确定。
- .4 船上应设有测量货舱处所空气湿度的设施，该设施若为可携式，通常应能与货舱处所固定的取样管路相连接。

9.4.2 如果船上还储存用于灭火的惰性气体，则应将其储存在独立的容器内，且不得用于货物作业。

9.4.3 当惰性气体在0℃以下储存时，无论其是液体还是蒸气，均应将储存和供应系统设计成使船舶构件的温度不致下降到其所能承受的极限值以下。

9.4.4 应设有用以防止货物蒸气倒流至适合于所载运货物的惰性气体系统的布置。如果将该惰性气体装置设于机器处所或货物区域之外的其他处所时，应在货物区域内的惰性气体总管上安装2个止回阀或等效装置以及1个可拆短管。除了与货舱处所或屏壁层处所的连接外，惰性气体系统在不使用时应与货物区域的货物系统分隔开。

9.4.5 所采用的布置应使得每个被惰化的处所都能被隔离，并在这些处所设置必要的压力控

制和释放阀等，以控制这些处所内的压力。

9.4.6 如果绝热处所持续获得惰性气体作为泄漏检查系统的一部分，应设有装置监测各处所获得的气体量。

CCS9.4.6 应将惰性气体系统设计成能使系统本身产生静电着火的危险降至最小程度。

9.5 船上惰性气体的制造

9.5.1 制造惰性气体的设备应能产生含氧量(按体积)在任何时间都不超过5%的惰性气体，且应符合第17章的特殊要求。从惰性气体制造设备引出的惰性气体供应管路上应安装一个能连续读数的含氧量测定表和一个调定在最高含氧量(按体积)为5%时报警的报警装置，且也应满足第17章的要求。

CCS9.5.1 惰性气体系统应满足 CCS《钢质海船入级规范》第6篇第4章的适用要求。

9.5.2 惰性气体系统应具有适合于货物围护系统的压力控制和监测装置。

9.5.3 装有惰性气体发生装置的处所不得有通往起居处所、服务处所或控制站的直接通道，但惰性气体发生装置可位于机器处所内。惰性气体管路不得通过起居处所、服务处所或控制站。

9.5.4 制造惰性气体用的燃烧设备不得位于货物区域内。对于使用催化燃烧方法的惰性气体发生设备的安装位置，可给予特别考虑。

第10章 电气装置

目的

确保电气装置设计成能使易燃货品失火和爆炸的危险降至最低程度,且设有与货物液体和蒸气的安全载运、装卸和调节相关的发电和配电系统。

10.1 定义

就本章而言,除另有规定外,下列定义应适用。

10.1.1 危险区域系指爆炸性气体环境出现或预期可能出现的数量达到足以要求对电气设备的结构、安装和使用采取特殊预防措施的区域¹。

10.1.1.1 0区危险区域系指持续或长期存在爆炸性气体环境的区域。

10.1.1.2 1区危险区域系指正常运行时可能出现爆炸性气体环境的区域。

10.1.1.3 2区危险区域系指正常运行时不可能出现爆炸性气体环境(如出现,也只是偶尔或短时间出现)的区域。

10.1.2 非危险区域系指爆炸性气体环境预期出现的数量不足以要求对电气设备的结构、安装和使用采取特殊预防措施的区域。

10.2 一般要求

10.2.1 所配备的电气装置应能使易燃货品失火和爆炸的危险降至最低程度。

10.2.2 电气装置应满足公认标准²。

CCS10.2.2 对于本章未涉及者,均应按CCS《钢质海船入级规范》第4篇中可适用的有关规定。

10.2.3 电气设备或电缆不得安装在危险区域内,除非是为了作业目的或提高安全而必需时。

10.2.4 当电气设备安装在10.2.3所规定的危险区域内时,其应按照不低于IMO接受的标准选择、安装和维护。危险区域的设备应由经主管机关进行评估和发证或登记。不合格易燃气体探测设备的自动隔离不能替代合格设备的使用。

10.2.5 为便于选择适当的电气设备和设计合适的电气装置,危险区域按照公认标准分区。

10.2.6 发电和配电系统及相关控制系统应设计成单个故障不会导致7.8.1要求的液货舱压力

¹ 危险区域的划分可参见国际电工委员会出版物 IEC 60092-502:1999 液货船上的电气装置。

² 参见国际电工委员会出版的建议书,特别是 IEC 60092-502:1999 号出版物。

和4.19.1.6要求的船体结构温度保持在正常营运限制内的能力丧失。应按照不低于主管机关接受的标准³对故障模式和影响进行分析和记录。

10.2.7 危险区域内的照明系统至少应有2个分支线路。所有开关和保护电器均应能分断全部的极或相，并应位于非危险区域内。

CCS10.2.7 对危险区域内的照明设备、开关和保护电器应作适当的标志以便加以区别。

10.2.8 电测深仪或计程仪和外加电流阴极保护系统的阳极或电极应置于气密围阱内。

10.2.9 可将深潜式货泵电动机及其供电电缆安装在货物围护系统内。应设有能在低液位时自动停止电动机运转的装置。这可通过检测泵的低排放压力、电动机的低电流或低液位予以实现。电动机停止运转时，应在货物控制站进行报警。在除气作业期间，应能切断货泵电动机的供电电源。

³ IEC 60812 2.0 版 2006-01 系统可靠性的分析技术—故障模式和影响分析（FMEA）程序。

第 11 章 防火与灭火

CCS11.0.a 本章所涉及的防火和灭火要求，作为CCS的入级条件，以船旗国主管机关的要求为基础。

目的

确保设有合适的系统在货物区域发生火灾时保护船舶和船员。

11.1 防火安全要求

11.1.1 SOLAS公约第II-2章中对液货船的要求应适用于本规则所涉及的船舶不论其吨位大小，包括小于500总吨的船舶，但是：

1. 第4.5.1.6条和第4.5.10条的规定不适用；
2. 第10.4条和第10.5条应适用于2000总吨及以上的液货船；
3. 第10.5.6条应适用于2000总吨及以上的船舶；
4. SOLAS公约第II-2章中有关对液货船的下列规定不适用，由本规则的有关章节替代，

详细如下：

公约条文：	由本规则替代的条文号：
10.10	11.6
4.5.1.1和4.5.1.2	第3章
4.5.5	本规则的相关章节
10.8	11.3和11.4
10.9	11.5
10.2	11.2.1至11.2.4

5. 第13.3.4条和第13.4.3条应适用于500总吨及以上的船舶。

11.1.2 除本规则第10章和第16章另有规定外，所有点火源应从可能存在易燃蒸气的处所排除。

11.1.3 本条规定应与本规则第3章一起适用。

11.1.4 为了灭火,应将在最后部货舱处所之后端处或在最前部货舱处所之前端处的隔离舱、压载舱或留空处所上方的任何露天甲板区域都包括在货物区域内。

11.2 消防总管和消防栓

11.2.1 对于载运受本规则约束的货品的船舶,不论其尺度大小,均应满足SOLAS公约第II-2/10.2条对货船的要求。但是,当消防泵用于供给本规则11.3.3规定的水雾系统时,则所要求的消防泵的排量以及消防总管和消防水管的直径应不受SOLAS公约第II-2/10.2.2.4.1条和第II-2/10.2.1.3条规定的限制。消防泵的排量应在具有船上使用的最大尺寸水枪的消防水带在至少0.5 MPa(表压)的压力下同时提供2股水柱时使这些区域得到保护。

11.2.2 对水灭火系统的布置,应至少使2股水柱能喷射到货物区域内甲板的任何部分以及甲板以上的货物围护系统和液货舱舱口盖等部位。应设置必要数量的消火栓,以满足上述布置的需要并满足SOLAS公约第II-2/10.2.1.5.1条和第II-2/10.2.3.3条的要求,消火栓所配备的消防水带的长度按第II-2/10.2.3.1.1条的规定。此外,SOLAS公约第II-2/10.2.1.6条所要求的压力至少应达到0.5 MPa(表压)。

11.2.3 在进入货物区域前并以一定的间隔确保能隔断总管上任何损坏的单个管段,应在所设任何管路的交叉处和消防总管或总管组上受保护位置的设置截止阀,以从最近的消防栓使用不超过2个水带长度来满足11.2.2的要求。向服务于货物区域的消防总管供水应为主消防泵供水的环状总管或由位于货物区域前后的消防泵供水的单个总管,其中一个应独立驱动。

11.2.4 水枪应为经认可的设有关闭装置的两用型(水雾/水柱型)。

CCS 11.2.4 对于无人值班机舱,至少应将1台消防泵布置成能从驾驶室或货物区域以外的其他控制站对其进行遥控起动,并能与消防总管相连接。

11.2.5 安装后,管子、阀、附件和组装系统应进行密性和功能试验。

11.3 水雾系统

11.3.1 在载运易燃和/或有毒货品的船上,应安装用于冷却、防火以及船员防护的水雾系统,其范围应包括:

- 1 暴露的液货舱气室、液货舱的任何暴露部分和含有货物的相邻设备着火时暴露于热的液货舱盖的任何部分(例如暴露的增压泵/加热器/再气化或再液化装置,以下称为露天甲板上的气体处理装置);
- 2 在甲板上暴露的用于易燃或有毒货品的储存容器;

- .3 甲板上的气体处理装置；
- .4 货物液体和蒸气的装卸连接，包括法兰及其控制阀所在的区域，其范围至少等于所设滴盘的区域；
- .5 货物液体和蒸气管中所有暴露的应急关闭(ESD)阀，包括向用气装置供气的总阀；
- .6 面向货物区域的暴露限界面，例如经常有人的上层建筑和甲板室的舱壁、货物机器处所、装有高度失火危险物品的储藏室和货物控制室。这些区域暴露的水平限界面不要保护，除非在其上面或下面布置可拆卸的货物管路连接。对不存放高度失火危险物品或设备的无人首楼结构的限界面，不要求水雾保护；

CCS11.3.1 水雾系统也应覆盖安装有内燃机和/或燃料处理装置的舱室、闪点不大于60°C易燃液体储藏室和油漆间面向货物区域的边界。

- .7 面向货物区域的暴露救生艇、救生筏和集合站，不论至货物区域的距离；和
- .8 任何半围蔽货物机器处所和半围蔽货物机舱。

应特别考虑拟按1.1.10所述进行营运的船舶（见11.3.3.2）。

11.3.2.1 水雾系统应能覆盖11.3.1.1至11.3.1.8所述的所有区域，用于最大水平投影面的喷射率应至少为每分钟10 L/m²的均匀分布水雾；用于垂直表面，应至少为每分钟4 L/m²。对于不能明确划分水平面或垂直面的结构，水雾系统的排量应不小于水平投影面积乘以每分钟10 L/m²。

CCS11.3.2 防护垂直面的水喷嘴行之间垂直距离一般不超过3.7 m。

11.3.2.2 在垂直表面上，确定用于保护较低区域的喷嘴的间距时，可估算从较高区域流下的水量。为了隔断损坏的管段，在水雾系统总管上应每隔不超过40 m安装1个截止阀。或者将系统分成2个或多个区段，可以对每个区段进行独立操作，但应将必要的控制装置集中安装在货物区域外易于到达的位置。用于保护包括11.3.1.1和.2在内的任何区域的1个区段应能至少覆盖该区域的整个横向液货舱群。11.3.1.3中包括的任何气体处理装置可由1个独立的区段服务。

11.3.3 除11.3.1.4至11.3.1.8所述的表面之外，水雾泵排量应能同时保护下列的大者：

- .1 任何2个完整的横向液货舱群，包括该区域内的任何气体处理装置；或
- .2 对于按1.1.10所述进行营运的船舶，按照11.3.1需特别考虑任何附加失火危险的必要保护和相邻横向液货舱群。

作为替代，也可将主消防泵用作水雾系统供水泵，但其总排量中应增加水雾喷淋系统所需水量。不论在哪种情况下，在货物区域外的消防总管和水雾喷淋系统总管之间，都应设有带截

止阀的连接管。

11.3.4 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、救生筏和集合区域也应能由 1 个消防泵或应急消防泵提供保护。

CCS11.3.4 不管水雾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水雾系统供水,对上述 11.3.4 条所述处所提供保护。

11.3.5 经 CCS 认可,通常被用作其他用途的水泵也可向水雾喷淋系统总管供水。

11.3.6 水雾系统中的所有管子、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(垫圈除外)应设计成能经受 925℃。水雾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。

11.3.7 对于水雾系统供水泵的遥控起动装置和该系统中任何常闭阀门的遥控操作装置,应将其布置在货物区域外邻近起居处所的合适位置,并能在被保护区域发生火灾时易于进入和对其操作。

11.3.8 安装后,管道、阀、附件和组装系统应进行密性和功能试验。

11.4 化学干粉灭火系统

11.4.1 对凡拟载运易燃货品的船舶,均应安装经主管机关认可¹的固定式化学干粉灭火系统,以使用其扑灭货物区域甲板上的火灾(包括甲板上任何货物液体和蒸气排放和装载连接),如适用时,也可用其扑灭首尾货物装卸区域的火灾。

11.4.2 该系统具有至少能用 2 个手持软管或干粉炮与手持软管的联合装置将干粉喷洒到暴露货物液体和蒸气管路、装卸连接和暴露气体处理装置的任何部分。

11.4.3 化学干粉灭火系统应设计成具有不少于 2 个独立装置。11.4.2 要求的任何被保护部分应能从不少于 2 个独立装置及其控制装置、加压介质的固定管路、干粉炮或手持软管达到。对于其液货舱容量小于 1000 m³的船舶,经 CCS 同意,可设一套上述装置。干粉炮应布置成能保护任何装卸连接区域,且能对其进行就地和遥控启动和喷洒。如果干粉炮能从一个位置将所需的干粉喷洒到整个所需覆盖的区域,则不要求干粉炮具有遥控瞄准的能力。面向起居处所并随时可进入的货物区域末端左舷和右舷处应设有 1 个软管。

11.4.4 干粉炮的排量不得小于 10 kg/s。对于手持软管,不应扭结,并应设有个能够开和关的喷嘴,其喷射速率不小于 3.5 kg/s。当喷嘴以最大喷射速率喷射时,应能允许由人进行操

¹ 参见《保护载运散装液化气体船舶的固定式化学干粉灭火系统认可指南》(海安会 MSC.1/Circ.1315 通函)。

作，手持软管的长度不应超过33 m。如果干粉容器与手持软管或干粉炮之间设有固定管路，则对管路的长度，应以不超过其在持续使用或间断使用中能使干粉保持流动状态所需的长度为限，而且在系统关闭之后，应能驱除管路中的干粉。对于手持软管和喷嘴，应为耐风雨结构或储存在耐风雨的箱子内或罩盖下，并应易于取用。

11.4.5 应认为手持软管的最大有效覆盖距离是等于软管本身的长度。如果被保护区显著地高于干粉炮或手持软管卷筒所在位置，则应予以特别考虑。

11.4.6 对于设有首尾装卸连接的船舶，应在货物区域前后设有独立的干粉装置，通过符合11.4.1至11.4.5要求的覆盖船首/船尾装卸的软管和1个干粉炮保护货物液体和蒸气管路。

11.4.7 应特别考虑按1.1.10所述进行营运的船舶。

11.4.8 安装后，管子、阀、附件和组装系统应进行遥控和就地释放释放站的密性试验和功能试验。初次试验也应包括排放足够数量的化学干粉以验证系统处于适当的工作状态。所有分配管道应采用干燥空气吹气以确保管道无障碍物。

11.5 设有货物装卸设备的围蔽处所

11.5.1 满足1.2.10中货物机器处所衡准的围蔽处所和任何船舶货物区域内的货物机房应设有符合FSS规则规定的固定灭火系统，并考虑到气体灭火所要求的必要的浓缩/施放比率。

CCS11.5.1 在货泵舱和货物压缩机舱内至少应布置两只适用的手提式灭火器。

11.5.2 位于专门从事运载有限数量货物船舶的货物区域内并满足第3.3章中货物机器处所衡准的围蔽处所，应由合适的针对所载运货物的灭火系统予以保护。

11.5.3 任何船舶的转塔舱应由最大被保护水平面施放率不小于 $10 \text{ l/m}^2/\text{min}$ 的内部水雾予以保护。如果通过转塔的气流压力超过4 MPa，施放率应增至 $20 \text{ l/m}^2/\text{min}$ 。系统应设计成保护所有内表面。

11.6 消防员装备

11.6.1 对于载运易燃货品的每艘船舶，均应按下述规定配备符合SOLAS公约第II-2/10.10条要求的消防员装备：

货舱总容量	装备的数量
5000 m ³ 及以下	4
5000 m ³ 以上	5

11.6.2 对于安全设备的附加要求，见第14章的规定。

11.6.3 对于作为消防员装备组成部分所必需的任何呼吸器，均应为至少具有 1200 l 自由空气容量的自给式压缩空气呼吸器。



第12章 货物区域内的机械通风

目的

确保货物区域内的围蔽处所设有控制易燃和/或有毒蒸气积聚的装置。

范围

本章要求替代经修正的SOLAS公约第II-2/4.5.2.6条和第4.5.4.1条的要求。

12.1 正常装卸货物作业中需要进入的处所

12.1.1 对于电动机舱、货物压缩机舱和货泵舱、装有货物装卸设备的处所以及货物蒸气可能积聚的其他围蔽处所，均应安装能在上述处所外面进行控制的固定式机械通风系统。应持续通风以防止有毒和/或易燃蒸气积聚，并设有主管机关接受的监控措施。在此类舱室外面设有“进入前需要进行通风”的警告牌。

CCS12.1.1 应在装卸货作业时有人值班的处所和上述要求通风的舱室内设有通风故障声光报警装置。

12.1.2 应将机械通风的进风口和出风口布置成能保证有足够的空气流经该处所，以避免易燃、有毒或窒息蒸气的积聚，同时保证有一个安全的工作环境。

12.1.3 根据该处所的总容积，通风系统的换气次数应不少于30次/h。作为例外，非危险货物控制室的换气次数可为8次/h。

12.1.4 如果处所设有进入相邻更危险处所或区域的开口，该处所应保持在过压状态。其可按照公认标准由过压保护进入较少危险处所或非危险处所。

12.1.5 用于机械通风系统的通风管道、空气进口和废气出口的位置应按照公认标准¹。

CCS12.1.5 进气口应位于非危险区域。进气口的布置应在距离起居处所、控制站和其它气体安全处所的进气口、排气口和开口水平距离至少3m的位置。

12.1.6 服务于危险区域的通风管道，除本规则第16章中所允许的情况外，均不得通过起居处所、服务处所和机器处所或控制站。

12.1.7 应将驱动风机的电动机安装在可能含有易燃蒸气的通风管之外。不能使风机在通风

¹ 参见国际电工委员会出版的建议书，特别是出版物 IEC 60092-502:1999。

处所内或与该处所相连的通风系统内产生着火源。对于危险区域，通风机风扇和邻近风扇的通风管道应为按如下规定的非火花结构：

1. 非金属结构的叶轮或机壳，对消除静电应予以适当注意；
2. 有色金属材料的叶轮和机壳；
3. 奥氏体不锈钢叶轮和机壳；和
4. 铁质叶轮和机壳，其设计的叶梢间隙不小于3 mm。

对于铝合金或镁合金的固定或旋转部件与铁质的固定或旋转部件的任何组合，不论其叶梢间隙多大，均认为有产生火花的危险，故不能用于这些处所。

12.1.8 对于本章要求的风机，在任何1个风机发生故障后，仍能对每个处所提供本章要求的全部通风量，或应设有由电动机、起动装置备件和完整的转动部件（包括各种轴承）组成的备件。

12.1.9 在通风管的外部开口处，应设置**正方形网孔宽度不大于13 mm的防护网**。

12.1.10 如通过增压保护处所，通风应按照公认标准¹进行设计和安装。

12.2 通常不进入的处所

12.2.1 可能积聚货物蒸气的围蔽处所应能进行通风，以便需要进入该处所时，保证有一个安全的环境。可在无需人员预先进入的情况下进行该处所的通风。

CCS12.2.1.a 在货物区域的围蔽处所，如化验室、工作室、净化室或类似围蔽处所，均应安装能在上述处所外面进行控制的固定式机械通风系统，在此类舱室外面设有“进入前需要进行通风”的警告牌，并满足 CCS12.1.1 条规定。

CCS12.2.1.b 通风系统应能在人员进入前和进入期间使用。

12.2.2 对于固定式通风装置，换气次数应为8次/h，对于便携式通风系统，换气次数应为16次/h。

CCS12.2.2.a 应提供便携式机械通风机的类型和数量、其布置及附属装置的细节，以根据相关处所内外部布置予以审核。

CCS12.2.2.b 对于独立液货舱处所，如可在小于5小时之内将对应货舱处所满意地完成换风，则可以允许低于本条要求的换风次数。或换风次数2次/小时。也可接受被惰化处所内所有位置处的氧含量在5小时内从0%增至20%。

¹ 参见国际电工委员会出版的建议书，特别是出版物 IEC 60092-502:1999。

12.2.3 风扇或风机应远离人员的通道口，并应符合本章 12.1.7 的规定。



第13章 仪表和自动化系统

目的

确保仪表和自动化系统提供货物液体和蒸气的安全载运、装卸和调节。

13.1 通则

13.1.1 对每个液货舱都应设有显示货物的液位、压力和温度的装置。在液体和蒸汽管系以及货物制冷装置中均应装设压力表和温度指示器。

13.1.2 如果船舶的装卸货是通过遥控的阀和泵等设施予以实现的，则应将与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。

13.1.3 对仪表应进行试验，以保证其在工作条件下的可靠性，并应对其进行定期校准。仪表的试验方法和重新校准的时间间隔，应按照制造商的建议并经CCS认可。

CCS13.1.a 下列信号应送至本规范第3篇3.4.1中定义的“货控室”和本章13.1.2条中定义的“操纵部位”：

货舱或保护层间处所中水和/或液货存在的信号显示。

本规范第3篇5.2.2.4要求的透气总管中存在液货的报警信号。

本章13.7.2.2中要求的船体温度和船体结构低温信号显示。

本规范第3篇10.2.9中要求的电动潜水泵自动切断报警信号。

本章13.3.1中要求的液货液位和液舱高液位报警显示。

本章13.4.1、13.4.2和13.4.3中要求的每个货舱蒸气压力和蒸气处所压力表及其附属的高、低压报警显示。

本章13.6.13中要求的气体探测设备报警信号。

如本规范第3篇17.16.4.4中要求的货物压缩机高压或高温自动切断报警信号。

当货物系统为非遥控的因而不要求上述“操纵部位”时，上述控制装置、信息和报警器应布置在合适的、易于进入的位置。如果该位置为遮蔽处所，则应符合本规范3.4的要求。该位置最好在驾驶室中。

CCS13.1.b 除CCS13.1.a以外，下列信号还应送至驾驶室：

货舱或保护层间处所中水和/或液货存在的报警信号。

本规范第3篇5.2.2.4要求的透气总管中存在液货的报警信号。

本章13.4.1中提到的在每个货舱蒸气处所的压力值显示；这种显示给出该货舱中安全阀设定压力值和最小许用压力值。

本章13.4.2要求的货舱高压报警信号以及如设真空保护时的货舱低压报警信号。

本章13.7.2.2中要求的船体结构低温报警信号。

本章13.6.13中要求的气体探测设备报警信号。

如本规范第3篇17.16.4.4中要求的货物压缩机高压或高温自动切断报警信号。

13.2 用于液货舱的液位指示器

13.2.1 每个液货舱应安装液位测量装置，其布置应确保只要液货舱处于运作状态，一直能获得液位读数。设备应设计成能在液货舱的设计压力范围内以及在货物操作温度范围内的温度下进行工作。

13.2.2 如果仅安装1个液位表，则应将其布置成能一直处于操作状态而无需清空液货舱或对液货舱进行除气。

13.2.3 按照第19章表“g”栏中所列特种货物的任何特殊要求，其液货舱的液位表可为下列型式：

- 1 间接式装置，即用诸如称重或在线流量测量的方法确定货物的数量；
- 2 闭式装置，此种装置不穿透液货舱，例如使用放射性同位素的装置或超声波装置等；
- 3 闭式装置，此种装置需穿透液货舱，而且是封闭系统的组成部分，并能防止货物溢出，如浮筒式系统、电子探头、磁性探头和气泡管式指示器等。如果闭式测量装置不是直接装在液货舱上，则应在尽可能靠近液货舱的位置设一个截止阀；和
- 4 限制式装置，此种装置需穿透液货舱，而且在使用时允许有少量货物蒸气或液体逸入大气，如固定管式和滑动管式液位表即属此类装置。在不使用时，这种装置应被保持完全关闭。对此种装置的设计和安装，应能保证在打开装置时，不致发生货物外溢的危险。除非设有超流量阀，否则，设计此种装置时其最大开口的直径应不超过1.5 mm或等量的面积。

CCS13.2 安装在液货舱外部含有液货的液位表，应布置成其发生失效时能给予隔离。

13.3 溢流控制

13.3.1 除13.3.4的规定外，对每个液货舱均应装设一个独立于其他液位指示器的高液位报警

装置，并在动作时发出声、光报警信号。

13.3.2 对于独立于高液位报警装置的附加传感器，应能自动启动1个截止阀，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。

13.3.3 在5.5和18.10中所述的应急截止阀可被用于这一目的。如果将另一阀用于此目的，则在船上应备有18.10.2.1.3所述的相同资料。在装货期间，每当应急截止阀的使用可能在装货系统中产生潜在的过大压力波动时，应使用替代措施，例如限制装货的速率。

CCS13.3.3 对于应急截止阀的关闭时间，应能加以调节。

13.3.4 当液货舱属于下述两种情况之一时，不要求在液货舱中设高液位报警装置和液货舱充注的自动关闭装置：

1. 容积不超过200 m³的压力舱；或
2. 将液货舱设计成能经受在装货作业期间可能出现的最大压力，但该压力应低于液货舱释放阀的设定压力。

13.3.5 液货舱中传感器的位置应能在交付使用前确认。在交船后和每次干坞后满载的第一种情况，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。

CCS13.3.5 “每次干坞”系指货船构造安全证书和/或货船安全证书换证所要求的船底外板检验。

13.3.6 高位报警和溢出报警的所有构件（包括电路和传感器）应能进行功能试验。在按照18.6.2进行货物操作前应进行系统试验。

13.3.7 如设有装置越控溢流控制系统，其应能防止不当操作。如进行越控，应在相关控制站和驾驶室给出连续视觉指示。

13.4 压力监控

13.4.1 每一液货舱的蒸气空间均应设有一个直接读数压力表。另外，在13.1.2要求的控制位置应设有间接指示。应清晰标出最高和最低的允许压力。

CCS13.4.1 在驾驶室内可以允许设置压力传感器的共用读数装置。

13.4.2 应在驾驶室内设一个高压报警装置。如需要真空保护时，在驾驶室和13.1.2要求的控制位置还要设一个低压报警装置。在达到调定压力之前，应触发报警。

CCS13.4.2 建议在液货舱最大允许（设计）压力的90%时触发高压报警，在至少高于最小调定压力5 kPa时触发低压报警。

13.4.3 对按照8.2.7设有按一个以上调定压力进行调定的压力释放阀的液货舱，每个调定压

力应设有高压报警。

13.4.4 在每一货泵排放管路上和每个液体和蒸气货物的集合管上,应至少各设1个压力指示器。

13.4.5 应设有就地读数的集合管压力指示,以指示船舶分配阀和通岸软管之间的压力。

13.4.6 未设通向大气开口的货舱处所和屏壁间处所均应设置压力指示。

13.4.7 所有压力指示应能在操作压力范围内进行指示。

13.5 温度指示装置

13.5.1 每个液货舱应至少设2个货物温度指示装置,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。1.4.4要求的《国际散装运输液化气体适装证书》上显示的液货舱的设计最低温度应通过温度指示设备上或温度指示设备附近的标记清晰指示。

13.5.2 温度指示装置应能提供超出液货舱预计货物操作温度范围的温度指示。

13.5.3 如设有热电偶,其应设计成能将正常作业中的疲劳导致的故障降至最低。

13.6 气体探测

13.6.1 应按本节安装气体探测设备监测货物围护、货物装卸和辅助系统的完整性。

13.6.2 下列处所/空间内应设有固定安装的气体探测系统以及视觉和听觉报警:

1. 包含气体管道、气体设备或用气设备的所有围蔽货物和货物机器处所(包括转塔舱);
2. 可能积聚货物蒸气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;
3. 空气闸;
4. 16.7.3.3中所述的气体燃料内燃机中的处所;
5. 第16章要求的通风罩和气体管道;
6. 7.8.4要求的冷却介质/加热介质环路;
7. 惰性气体发生器供应联箱;和
8. 用于货物装卸机械的电动机舱。

13.6.3 气体探测设备应按照公认标准¹进行设计、安装和试验并应按照第19章表中“f”栏适于所载货物。

¹ IEC 60079-29-1—爆炸气体—气体探测器—易燃气体探测器的性能要求。

13.6.4 如第19章表中“f”栏中指出船舶适于载运不燃货品，应在货物机器处所和液货舱货舱处所设有缺氧监控。此外，缺氧监控设备应安装在含有可能导致缺氧环境的设备（例如氮气发生器、惰性气体发生器或氮气循环制冷系统）的围蔽或半围蔽处所。

13.6.5 在载运有毒或既有毒又易燃的货品的情况下，除第19章表中“i”栏内涉及到17.5.3者以外，经CCS批准，在对有毒气体进行探测时，可以使用可携式设备以替代固定式安装的系统。在人员进入13.6.2中所列的处所之前以及人员在处所内停留期间的每隔30 min均应使用可携式设备进行探测。

13.6.6 在有毒气体的情况下，应对货舱处所或屏壁间处所设置能从该类处所得到气体样品的固定安装的管系。应对这些处所内的气体进行取样和分析（对每个取样点）。

13.6.7 固定安装的气体探测应为连续探测型，能立即响应。如不用于启动13.6.9和第16章要求的安全关闭功能，可接受取样型探测。

13.6.8 如使用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；和
3. 除13.6.9所允许者外，从取样器引出的管子不得穿过非危险处所。

13.6.9 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。

13.6.10 如全封闭钢质箱不能直接安装在前舱壁上，取样管应用钢或等效材料制成，并设定最短路线。不允许可拆连接，但13.6.11中要求的隔离阀的连接点和分析装置除外。

13.6.11 如气体取样设备位于非危险处所，每个气体取样管应设置火焰清除器和手动隔离阀。隔离阀应在非危险侧。危险和安全区域之间取样管的舱壁穿透部位应保持穿透分隔的完整性。废气应排至安全位置的开敞空间。

13.6.12 对于每套探测设备，在确定探测点的数量和位置时，应考虑舱室的大小和布局、拟载运货品的成分和密度、由于舱室内换气或通风所造成的稀释度以及不流动区域。

CCS13.6.12 货舱处所中探测器采样头不应布置在舱底水积聚的位置。

13.6.13 本节要求的气体探测系统内的任何报警状况应在下列位置发出声光报警：

1. 驾驶室；
2. 记录连续监测气体水平的相关控制站；和

3 气体探测器的读数装置所在的位置。

13.6.14 对于易燃货品,要求惰化的货舱处所或屏壁间处所设置的气体探测设备应能测量从0至100%的气体浓度(按容积)。

13.6.15 当蒸气浓度达到在空气中的可燃下限的30%等效值时,报警装置应被触发。

13.6.16 对于薄膜围护系统,主绝热处所和次绝热处所应能惰化并单独分析其气体含量¹。次绝热处所的报警按照13.6.15设定,主绝热处所设定为主管机关认可的值。

13.6.17 对于13.6.2所述的其他处所,当蒸气浓度达到最低可燃性极限的30%时,报警装置应被触发,第16章要求的安全功能应在蒸气浓度达到最低可燃性极限的60%前被触发。使用气体燃料的内燃机的曲轴箱应布置成在达到最低可燃性极限的100%前报警。

13.6.18 气体探测设备应设计成能易于试验。应能定期进行试验和校准。为此,船上应备有适当的设备并按照制造商的建议使用。应对这些设备设固定连接管。

13.6.19 对每艘船舶应至少设有2套满足13.6.3或可接受的国家或国际标准要求的可携式气体探测设备。

13.6.20 应设有一台能测量惰性气体中含氧量的合适仪器。

13.7 要求次屏壁的围护系统的附加要求

13.7.1 屏壁的完整性

如果要求设有次屏壁,则应配备固定式安装的仪表,以监测主屏壁的任何部位的液密失效或次屏壁的任何部位接触液货。这种仪表应为符合13.6中规定的合适的气体监测装置。但是,不要求该仪表能确定出主屏壁泄露液货的区域或次屏壁接触液货的区域。

13.7.2 温度指示装置

13.7.2.1 温度指示装置的数量和位置应适合围护系统的设计和货物操作要求。

CCS13.7.2.1 在驾驶室内可以允许设置温度传感器的共用读数装置。

13.7.2.2 当货物以低于-55℃的温度装运在具有次屏壁的货物围护系统内,在绝热层内或货物围护系统邻接船体的结构上应设置温度指示装置。此装置应定期显示读数。如合适时,在温度达到船体钢材许可的最低温度时还应发出报警。

CCS13.7.2.2 上述13.7.2.2要求的报警装置应能在本章13.1.2所规定的货物控制位置和驾驶室内报警。

¹ 薄膜型液化天然气船绝热处所的气体浓度,2007年3月(SIGTTO出版)。

13.7.2.3 如果应在温度低于-55℃的状态下载运货物且对货物围护系统的设计仍是合适的,则应安装足够数量的温度指示装置证实未出现不良的温度梯度。

13.7.2.4 为了设计验证和确定单个或系列船上初始变冷程序的有效性,1个液货舱应设有超过13.7.2.1要求的设备。这些设备可为临时设备或固定设备,对于系列船,只需装在第1艘船上。

13.8 自动化系统

13.8.1 如使用自动化系统进行控制、监控/报警或本规则要求的安全功能,本节要求应适用。

13.8.2 自动化系统应按照公认标准²进行设计、安装和试验。

13.8.3 硬件应能经证明通过型式认可或其他方式适合在海上环境使用。

13.8.4 软件应设计成并经证明易于使用,包括试验、操作和维护。

13.8.5 用户界面应设计成控制的设备能一直以安全有效的方式操作。

13.8.6 自动化系统应布置成硬件故障或操作员的失误不会导致不安全的状况。应提供足够的安全措施防止不正确的操作。

13.8.7 控制、监控/报警和安全功能之间应保持适当的分隔以限制单个故障的影响。这应包括要求提供指定功能的自动化系统的所有部分,包括连接设备和供电。

13.8.8 自动化系统应布置成保护软件配置和参数免受未经授权或非预期的改变。

13.8.9 变更过程的管理应用于防护修改未预期的后果。结构变化和认可的记录应保持在船上。

13.8.10 综合系统的制定和维护过程应按照公认标准¹。这些过程应包括适当的风险标识和管理。

13.9 系统综合

13.9.1 必要的安全功能应设计成在正常营运和故障情况下,对人员伤害或对设备或环境破坏的风险降至主管机关可接受的程度。功能应设计成具有故障安全性。系统综合的作用和职责应清晰定义并经相关方同意。

13.9.2 每个组件子系统的功能要求应清晰定义以确保综合系统满足功能和规定的安全要求,

² 参见国际电工委员会出版的标准 IEC 60092-504:2001 中包含的基于计算机系统的建议案“船上电气装置—特征—控制和测量”。

¹ 参见国际电工委员会标准 ISO/IEC 15288:2008 系统和软件工程—系统生活周期过程,和 ISO 17894:2005 船舶和海上技术—计算机应用—制定和使用海上应用的可编程电子系统的一般原则。

并考虑到受控设备的任何限制。

13.9.3 应使用适当的风险技术确定综合系统关键的危险。

13.9.4 综合系统应有适当的反向控制设备。

13.9.5 综合系统一部分的故障不应影响其他部分的功能，直接依靠缺陷部分的功能除外。

13.9.6 综合系统的操作应至少与与单个设备或系统一起使用一样有效，

13.9.7 应证明正常操作和故障情况下必要的机器或系统的完整性。



第 14 章 人员保护

CCS14.0.a 本章所涉及的人员保护要求,作为 CCS 的入级条件,以船旗国主管机关的要求为基础。

目的

确保为船上人员提供保护设备,并考虑到日常操作或紧急情况 and 装卸货品可能的短期或长期影响。

14.1 保护设备

14.1.1 为了保护从事正常货物作业的船员,在考虑了所载货品的特性后,应为船员提供包括符合公认国家或国际标准的眼睛保护在内的合适的保护设备。

14.1.2 应将本章要求的个人保护和安全设备适当地保存在位于易于接近的处所且具有明显标志的柜子内。

14.1.3 对于压缩空气设备,应由负责的高级船员至少每月进行1次检查。并将检查结果记录在航行日志内。该设备也应由适任人员至少每年进行1次检查和试验。

14.2 急救设备

14.2.1 应在易于接近之处放置一副担架,以便能从甲板以下的处所用其抬起受伤人员。

14.2.2 应基于医疗急救指南(MFAG)对《国际散装运输液化气体适装证书》中所列的货物的要求,在船上配备医疗急救设备,包括氧气复苏设备。

14.3 安全设备

14.3.1 除按11.6.1所要求的消防人员的装备以外,还应提供足够的且不少于3整套的安全设备。每套应提供足够的人员保护以允许进入充满气体的处所内工作。该设备应考虑到《国际散装运输液化气体适装证书》中所列的货物的性质。

14.3.2 每整套安全设备应包括:

- 1 具自给式正压空气呼吸器(包含整个面罩),但不使用存储的氧气,其容量至少

为1200l 的自由空气。每套应与11.6.1中的要求相容；

- .2 符合公认标准的防护服、长靴和手套；
- .3 配有腰带的钢芯援救绳；和
- .4 防爆灯。

14.3.3 应配备能提供足量压缩空气的设施，并应由下列设备组成：

- .1 每1具14.3.1要求的呼吸器至少配备1个充满空气的备用空气瓶；
- .2 1台适于供应所需纯度的高压空气并具有足够容量且能连续操作的空气压缩机；和
- .3 1个能对用于14.3.1所要求呼吸器的备用空气瓶进行充气的充气阀箱。

14.4 用于各种货品的人员保护要求

14.4.1 本节的要求适用于载运在第19章表中“i”栏内列有本节段落货品的船舶。

14.4.2 应对船上每一人员提供适宜于在应急逃生时用的呼吸防毒面具和眼睛保护设备，但需符合下列要求：

- .1 不能接受过滤式呼吸防毒面具；
- .2 自给式呼吸器应具有至少能持续工作15 min的能力；和
- .3 应急逃生呼吸防毒面具不应用于灭火或货物装卸，且这一要求应予以标注。

14.4.3 应在甲板上设置1个或多个标有适当标志的洗除污染的喷淋头和眼睛冲洗设备，并考虑到船舶的大小和布置。喷淋头和眼睛冲洗设备应在所有环境条件下均可以使用。

14.4.4 14.3.2.2 所要求的防护服应气密。

第 15 章 液货舱的充装极限

目的

确定能装载的货物的最大数量。

15.1 定义

15.1.1 充装极限 (FL) 系指当液体货物达到基准温度时, 液货舱内的最大液体体积与整个液货舱容积之比。

CCS15.1.1 液货舱总容积包括气穹/气室、液穹的容积。甲板罐也应满足此章要求。

15.1.2 装载极限 (LL) 系指最大许可的液体体积与液货舱可装载体积之比。

15.1.3 就本章而言, 基准温度系指:

- .1 当未配备第7章所述的货物蒸气压力/温度控制设施时, 在压力释放阀调定压力下与货物蒸气压力所对应的温度; 和
- .2 当配备第7章所述的货物蒸气压力/温度控制设施时, 可以是在装货终止时、运输期间或卸货时的温度, 取最高者。

CCS15.1.3 上述 15.1.3.1 要求适用于采用 7.1.1.3 的蒸气压力/温度控制方式的货物围护系统; 15.1.3.2 适用于采用 7.1.1.1、7.1.1.2 或 7.1.1.4 的蒸气压力/温度控制方式的货物围护系统。

15.1.4 无限航区的环境设计温度系指海水温度32℃和空气温度45℃。然而, 对于航行于限定航区或在有限时间内航行的船舶, 并且在考虑了其液货舱的任何绝热情况后, 主管机关可接受更低的温度值。反之, 对于一直在较高环境温度区域航行的船舶, 可要求较高的温度值。

15.2 一般要求

液货舱的最大充装极限应被确定为蒸气空间在基准温度下具有最小体积以允许:

- .1 仪器的公差, 例如液位和温度测量仪;
- .2 压力释放阀调定压力和8.4中所述的最大允许上升压力之间的货物体积膨胀; 和
- .3 操作裕量, 该裕量应考虑到装载完成后回流至液货舱的液体、操作员的反应时间和

阀的关闭时间，见5.5和18.10.2.1.4。

15.3 默认充装极限

液货舱充装极限（FL）的默认值应为在基准温度下98%。例外值应符合15.4的要求。

15.4 增加的充装极限的确定

CCS15.4.a 对本条15.4.1.2和15.4.1.3的实施，参见IACS Rec. 149。

CCS15.4.b 对2016年7月1日前安放龙骨的船舶，充装极限超过98%的可接受衡准参见IACS Rec. 109。

15.4.1 在8.2.17规定的横倾和纵倾条件下可允许大于15.3中规定的98%极限的充装极限，只要：

1. 在液货舱内无隔开的蒸气存留死角；
2. 压力释放阀进口应保持处于蒸气空间；和
3. 下列各项需有裕量：
 1. 液体货物由于压力从MARVS增加至8.4.1所述的最大流量释放压力而形成的体积膨胀；
 2. 最小0.1%液货舱体积的操作裕度；和
 3. 仪器（例如液位和温度测量仪）的公差。

15.4.2 不允许充装极限在基准温度下超过99.5%。

15.5 最大装载极限

15.5.1 液货舱的最大装载极限（LL）由下式确定：

$$LL = FL \frac{\rho_R}{\rho_L}$$

式中：LL—15.1.2中规定的装载极限，用百分数表示；

FL—15.3或15.4中规定的充装极限，用百分数表示；

ρ_R —在基准温度下货物的相对密度；和

ρ_L —在装载温度下货物的相对密度。

15.5.2 如果液货舱的透气系统已按8.2.18批准，则主管机关可允许C型独立液货舱按15.5.1中的公式装载，相对密度 ρ_R 定义如下：

ρ_R —货物在装货终止、运输期间或卸货时，在15.1.4的环境设计温度状态下，可能达到的最高温度下的货物相对密度。

本条不适用于要求用1G型船舶运输的货品。

CCS15.5.2 C型独立液货舱可按照15.5.1的规定装载，或按照15.5.2的规定装载。

15.6 向船长提供的资料

15.6.1 应向船舶提供一份文件，规定每个液货舱和货品在每种适用的装载温度以及最高基准温度下的最大许可装载极限。该文件中的信息应该经主管机关或代表主管机关的被认可组织认可。

15.6.2 压力释放阀已经调定的压力也应列于文件中。

15.6.3 上述文件的副本应由船长负责长期保存在船上。

第16章 用货物作燃料

目的

确保安全使用货物作燃料。

16.1 通则

16.1.1 除16.9的规定外，甲烷（LNG蒸气或蒸发气体）是可用于A类机器处所的唯一货物，且仅限用于这些处所内的锅炉、惰性气体发生器、内燃机、气体燃烧装置（GCU）和燃气轮机系统。

CCS16.1.1 采用甲烷（LNG蒸气或蒸发气体）为燃料的双燃料发动机动力系统，还应满足CCS《钢质海船入级规范》、《双燃料发动机系统设计与安装指南》的有关要求。

CCS16.1.2 ESD保护机舱设计的应用应经主管机关同意。

16.2 用货物蒸气作燃料

本节涉及了锅炉、惰性气体发生器、内燃机、气体燃烧装置和燃气轮机系统采用货物蒸气作燃料。

16.2.1 对于气化的液化天然气，燃料供应系统应符合16.4.1、16.4.2和16.4.3的要求。

16.2.2 对于气化的液化天然气，用气设备应无可见火焰并维持烟道排气温度低于535℃。

16.3 用气设备处所的布置

16.3.1 用气设备所在处所应设有机械通风系统，其布置应考虑蒸气密度和潜在的点火源，防止处所内可能的气体积聚。通风系统应与其他处所的通风系统分开。

16.3.2 在这些处所内，特别是空气流动较差的区域，应安装气体探测器。气体探测系统应满足第13章的要求。

16.3.3 16.4.3中所述双层壁管或管道内安装的电气设备应满足第10章的要求。

16.3.4 所有可能含有气体燃料或被气体燃料污染透气管和放气管应引至机器处所外的安全位置，并装设防火网。

16.4 气体燃料供应

16.4.1 一般要求

16.4.1.1 本节要求适用于货物区域外的气体燃料供应管路。气体燃料管路不应通过起居处所、服务处所、电气设备间或控制站。物料间或机器装卸区等区域内的管线布置应考虑潜在的机械破坏危险。

16.4.1.2 应设有对机器处所内的气体燃料管系进行惰化和除气的设施。

16.4.2 泄漏探测

16.4.2.1 应设有探测和指示围蔽处所内燃料管系气体泄漏的连续监测及报警设施，并切断相关的气体燃料供应。

16.4.3 燃料供应管路的布置

燃料管路如满足以下条件之一，则可通过或延伸至除16.4.1中所述处所以外的其他围蔽处所：燃料管采用双层壁设计，同心管之间的空间采用惰性气体加压保护，惰性气体压力大于内管气体燃料的压力。惰性气体失压时，16.4.6要求的主气体燃料阀自动关闭；或燃料管安装在设有机械抽风的通风管或管道内，通风量至少为30次/h，并保持管道内压力低于大气压。机械通风应满足第12章的适用要求。当管路内有燃料时，通风系统应始终保持运转，如抽风系统不能产生和维持所要求的空气流量，16.4.6要求的主气体燃料阀应自动关闭。通风进口或管道可来自非危险机器处所，通风出口应引至安全位置。

16.4.4 气体燃料压力大于1 MPa的要求

16.4.4.1 高压燃料泵/压缩机和用气设备之间的燃料输送管应采用双层壁管予以保护，该双层壁系统的设计应考虑压力和低温的影响，且能容纳高压燃料管破裂时的泄露气体。主气体燃料阀之前处于货物区域的燃料管，允许采用单层壁管。

16.4.4.2 如通风管或管道满足16.4.7的要求，考虑了压力和可能的低温影响，可容纳高压燃料管破裂时的泄露气体，且通风管或管道的进口和排气口位于货物区域，也可接受16.4.3.2规定的布置。

16.4.5 用气设备的隔离

每个用气设备的气体燃料供应管路应设有连锁气体阀，在正常和紧急操作情况下，将管内气体燃料排放至安全位置。自动阀中2只串接的气体燃料阀应布置成失电时处于关闭位置，透气阀布置成失电时处于开启位置。在包含多个用气设备的处所，一个用气设备停机不应影响其他设备的气体燃料供应。

16.4.6 设有用气设备的处所

16.4.6.1 每个设有用气设备或气体燃料供应管路通过的单独处所，应能通过位于货物区域内的单独主气体燃料阀切断其气体燃料供应。切断一个处所的气体燃料供应不应影响其他处所用气设备的气体燃料供应（如用气设备位于两个或两个以上处所内），也不会造成推进动力或电力丧失。

16.4.6.2 如因空气进口或其他开口原因，环绕供气系统的双屏壁不是连续的，或存在任何单个故障即导致气体泄漏至处所内的点，则该处所的单独主气体燃料阀应在以下情况操作：

.1 自动动作：

- .1 处所内探测到气体；
- .2 双层壁管环形空间内探测到气体泄漏；
- .3 处所内其他包含单层壁气体管路的舱室探测到气体泄漏；
- .4 双层壁管环形空间通风失效；和
- .5 处所内其他包含单层壁气体管路的舱室通风失效；和

.2 在处所内和至少一个远程位置手动操作。

16.4.6.3 如环绕供气系统的双屏壁是连续的，处所内每个用气设备可配备1个位于货物区域的单独主气体燃料阀，则该单独主气体燃料阀应在以下情况操作：

.1 自动动作：

- .1 单独主气体燃料阀服务的双层壁管环形空间探测到气体泄漏；
- .2 单层壁气体管路作为单独主气体燃料阀服务的供应系统一部分，则含有单层壁气体管路的其他舱室探测到泄漏；和
- .3 双层壁管的环形空间通风失效或失压；和

.2 在处所内和至少一个远程位置手动操作。

16.4.7 管路和管道构造

机器处所内的气体燃料管路应满足本规则第5章5.1-5.9的适用要求。管路应尽可能采用焊接接头。位于货物区域以外开敞甲板上且没有围闭在16.4.3要求的通风管或管道内的气体燃料管路，均采用全焊透对接焊接头，并进行100%射线检查。

16.4.8 气体探测

按本章要求设置的气体探测系统，应在气体浓度达到爆炸下限的30%时发出报警，并在不超过爆炸下限60%时关闭16.4.6要求的主气体燃料阀（见本规则第13章13.6.17）。

16.5 气体燃料装置和相关储存容器

16.5.1 气体燃料的供应

所有用来调节货物和/或货物蒸气状态以用作燃料的设备（如加热器、压缩机、气化器、滤器等）及任何有关的储存容器均应位于货物区域内。如设备设在围蔽处所内，则处所应按本规则第12章12.1的要求进行通风，并按本规则第11章11.5的要求配备固定灭火系统，按本规则第13章13.6的要求配备气体探测系统（如适用）。

CCS16.5.1 如16.5.1规定的设备布置在开敞甲板上，则应进行适当保护防止受到机械破坏；如设备安装在围蔽处所内，则除满足16.5.1的要求外，处所内的电气设备还应满足第10章的要求。

16.5.2 远程制动

16.5.2.1 所有用来调节货物状态以用作燃料的旋转设备，应能在机舱处进行手动远程制动。其他的远程制动应位于易于接近的区域，如货物控制室、驾驶室和消防控制站。

16.5.2.2 吸入压力低或探测到火灾时，燃料供应设备应自动停止。除非另有明确规定，为用气设备供应气体燃料的压缩机或泵不必满足本规则第18章18.10的要求。

CCS16.5.2.a 气体压缩机的原动机应能进行调节以维持正的吸入压力，当压缩机吸入压力低于3.5 Kpa 或者低于其他适于液货舱系统的许可压力时，能自动停机。

CCS16.5.2.b 压缩机进口和出口均应安装截止阀。

16.5.3 加热和冷却介质

如气体燃料调节系统用的加热或冷却介质返回至货物区域外的处所，则应配备能对介质中可能存在的货物/货物蒸气进行探测和报警的设施。任何透气管出口应通至安全位置并安装认可的防火网。

16.5.4 管路和压力容器

气体燃料供应系统中装设的管路或压力容器应符合第5章的规定。

16.6 对主锅炉的特殊要求

16.6.1 布置

16.6.1.1 每台锅炉应具有单独的排气烟道。

16.6.1.2 每台锅炉应具有专门的强制通风系统。如能保证相关的安全功能，锅炉强制通风系统之间可设有联通装置以便于应急使用。

16.6.1.3 锅炉燃烧室和烟道设计应能防止气体燃料的积聚。

16.6.2 燃烧装置

16.6.2.1 燃烧器系统应为双燃料型，既适合于单独燃烧燃油或气体燃料，或者同时燃烧燃油和气体燃料。

16.6.2.2 燃烧器设计应保证在各种点火条件下能保持稳定的燃烧。

16.6.2.3 应设有自动控制系统，当气体燃料供应中断时，能在不中断锅炉点火的情况下从气体燃料运行模式自动转换到燃油运行模式。

16.6.2.4 气体喷嘴和燃烧器控制系统的设计应确保气体燃料只能由已建立的燃油火焰点燃，除非锅炉和燃烧设备设计成气体燃料点火，并经公认的组织机构认可。

16.6.3 安全

16.6.3.1 应采取措施确保当无法建立和保持满意的点火时，能自动切断供给燃烧器的气体燃料。

16.6.3.2 每个气体燃烧器的管路上应设置1个手动截止阀。

16.6.3.3 应设有当燃烧器熄火后，能使用惰性气体自动吹扫燃烧器供气管路的装置。

16.6.3.4 16.6.2.3要求的燃料自动转换系统应进行监测（故障时发出报警），以确保系统持续可用。

16.6.3.5 应采取措施确保当所有燃烧器熄灭时，再次点火前能自动对锅炉燃料室进行吹扫。

16.6.3.6 应设有能对锅炉进行手动吹扫的措施。

CCS16.6.3.a 锅炉水位过低时，应能自动切断燃料供应并发出报警。

CCS16.6.3.b 锅炉点火平台应设立警告标牌，标明：如燃烧器点火失败，重新点火前燃烧室应进行彻底吹扫以清除可燃性气体。

16.7 气体燃料内燃机的特殊要求

双燃料发动机系指使用气体燃料（引燃油点火）和燃油为燃料的发动机，燃油可包括船用柴油和重油。单气体发动机系指只使用气体燃料的发动机。

16.7.1 布置

16.7.1.1 如气体和空气混合物通过一根共用总管供应，则在每个气缸前应安装阻火器。

16.7.1.2 每台发动机应设有单独的排气系统。

16.7.1.3 排气系统的设计应能防止未燃气体燃料的积聚。

16.7.1.4 除非设计的强度可以承受最恶劣情况下泄漏气体点燃造成的超压，否则空气进气总管、扫气箱、排气系统和曲轴箱应设有合适的压力释放系统。压力释放系统应通往安全位置，

且远离人员。

16.7.1.5 每台发动机的曲轴箱、油底壳和冷却系统，应设有独立于其他发动机的透气系统。

16.7.2 燃烧装置

16.7.2.1 气体燃料喷射前，应验证每台装置上的引燃油喷射系统能准确动作。

16.7.2.2 对于火花塞点火的发动机，如气体燃料供应阀打开后，在规定的时间内发动机检测系统未探测到点火，应自动切断气体燃料供应并终止起动程序。排气系统内的未燃烧气体混合物应确保进行了彻底吹扫。

16.7.2.3 对于设有引燃油喷射系统的双燃料发动机，应设有从气体燃料模式自动转换到燃油模式的控制系统，燃料转换时发动机功率波动尽可能小。

16.7.2.4 按 16.7.2.3 的布置，如发动机气体燃料模式工作不稳定，应自动转换至燃油模式。

16.7.3 安全

16.7.3.1 发动机停机时，应在停止点火前自动切断气体燃料。

16.7.3.2 应采取措施，确保点火前排气系统中不会有未燃烧的气体燃料。

16.7.3.3 曲轴箱、油底壳、扫气箱和冷却系统的透气管应设有气体探测装置（见本规则第 13 章 13.6.17）。

16.7.3.4 发动机设计应允许连续监测曲轴箱内可能的点火源。曲轴箱内安装的仪表应满足本规则第 10 章的要求。

16.7.3.5 应采取措施，监测和探测发动机运转时可能导致排气系统中存在未燃气体燃料的燃烧不良或死火故障。如果探测到死火或燃烧不良故障，应切断气体燃料供应。排气系统内安装的仪表应满足本规则第 10 章的要求。

16.8 燃气轮机的特殊要求

16.8.1 布置

16.8.1.1 每台涡轮机应设有单独的排气系统。

16.8.1.2 排气系统的设计应能防止未燃气体燃料的积聚。

16.8.1.3 除非设计强度能承受最恶劣情况下泄漏气体点燃造成的超压，否则排气系统应安装合适的压力释放系统，并考虑到气体泄漏引起的爆炸。排气烟道内的压力释放系统应通至非危险位置，且远离人员。

16.8.2 燃烧装置

应设有自动控制系统,可方便快速地从气体燃料运行模式转换到燃油运行模式,转换时燃气轮机功率波动尽可能小。

16.8.3 安全

16.8.3.1 应设有监控设施,监测和探测燃气轮机运转期间可能导致排气系统中存在未燃气体燃料的燃烧不充分故障。如探测到燃烧不充分故障,应切断气体燃料供应。

16.8.3.2 每台涡轮机应设有排气温度高时自动停机设施。

16.9 替代燃料与技术

16.9.1 如能达到天然气燃料同样的安全水平,经主管机关同意,其他货物蒸气也可用作燃料。

16.9.2 已标识有毒货物的货物不允许用作燃料。

16.9.3 除液化天然气以外的货物,燃料供应系统应满足 16.4.1、16.4.2、16.4.3 和 16.5 的适用要求,并设有防止系统中蒸气冷凝的设施。

16.9.4 液化气体燃料供应系统应满足 16.4.5 的要求。

16.9.5 除 16.4.3.2 的要求外,通风进口和出口均应位于机器处所之外。进口应位于安全区域内,出口应位于安全位置内。

第17章 特殊要求

目的

制定关于具体货物的附加要求。

17.1 通则

本章的要求适用于本规则第19章表中的“i”栏引述到本章的货物。这些规定是对本规则一般要求的补充。

17.2 结构材料

在正常操作期间，可能与货物接触的材料应能抵抗气体的腐蚀作用。另外，用于液货舱及其所属管路、阀、附件和与货物液体或蒸气直接接触的其他设备的下述结构材料不得用于在本规则第19章表中的“i”栏所引述的某些货品：

1. 汞、铜和含铜合金及锌；
2. 铜、银、汞、镁和其他乙炔化合物组成的金属；
3. 铝和含铝合金；
4. 铜、铜合金、锌和镀锌钢；
5. 铝、铜和两者中任何一种合金；和
6. 铜和含铜量大于1%的铜合金。

17.3 独立液货舱

17.3.1 只能在独立液货舱内载运货品。

17.3.2 应采用C型独立液货舱载运货品，且应满足7.1.2的规定。确定液货舱的设计压力时应考虑各种充填压力或蒸气卸载压力。

17.4 制冷系统

17.4.1 只能采用7.3.1.2所述的间接系统。

17.4.2 对于载运易形成危险过氧化物的货品的船舶，不允许使重新冷凝的货物形成无法抑

制的液体滞积囊，这可用下述任一方法予以实现：

1. 采用7.3.1.2所述的在液货舱内装设冷凝器的间接系统；或
2. 分别采用7.3.1.1和3中所述的直接系统或混合系统，或采用7.3.1.2中所述的在液货舱外设有冷凝器的间接系统。而冷凝系统的设计应避免在任何地方积聚和滞留液体。如不可能，则应在容易积聚和滞留液体的位置的上方添加抑制液体。

17.4.3 如果船舶将连续地以17.4.2方式载运货物，且航行期间有一次压载航行，则在进行压载航行前应除去所有非抑制液体。如果在连续载运这些货物的航行之间需载运第2种货物，则在装载第2种货物前对再液化系统应进行彻底排放和驱气。驱气时应使用惰性气体或使用第2种货物的蒸气（如与原货物相容时）。应采取切实的步骤确保货物系统中不积聚聚合物或过氧化物。

17.5 要求 1G 型船舶载运的货物

- 17.5.1 应对直径超过75 mm的货物管路上的所有对接焊接头进行100%的射线检查。
- 17.5.2 不应将气体取样管路引至或通过非危险区域。当蒸气浓度达到限制值时，应能触发13.6.2所述的报警器。
- 17.5.3 不允许按13.6.5的规定将可携式气体探测设备作为替代措施。
- 17.5.4 货物控制室应位于非危险区域，另外，所有仪器应为间接型。
- 17.5.5 为防止人员受到严重的货物释放的影响，应在居住区域内提供一个安全处所，对其设计和配备应使主管机关满意。
- 17.5.6 尽管 3.2.4.3 有规定，不应允许通过面向货物区域的门进入首楼处所，除非设有按照 3.6 要求的空气闸。
- 17.5.7 尽管 3.2.7 有规定，不应允许通过面向货物区域的门进入转塔系统的控制室和机器处所。

17.6 排除蒸气处所中的空气

装载前应除去液货舱及有关管系中的空气，随后依次应用下述方法驱除空气：

1. 输入惰性气体以保持正压力。惰性气体的储存或生产量应足以满足正常操作的要求以及补偿释放阀的泄漏。惰性气体中的含氧量在任何时候均不得超过0.2%（按容积计）；
或
2. 控制货物温度，使其在任何时候保持正压力。

17.7 湿度控制

应对不易燃且具有腐蚀性或与水会起危险反应的气体进行湿度控制,以确保液货舱在装载前是干燥的,同时,在卸载期间,应输入干燥空气或货物蒸气以防止出现负压力。就本条而言,干燥空气系指在大气压力下具有-45℃或更低温度的露点的空气。

17.8 抑制

在整个航行期间,为了防止货物发生自身反应(例如聚合或二聚),应确保使货物受到充分的抑制。船上应备有生产商提供的证书,证书上应表明:

- .1 所加入的抑制剂的名称和数量;
- .2 加入抑制剂的日期和在正常情况下预计的有效期;
- .3 影响抑制剂的温度限制;和
- .4 当航行期超过抑制剂的有效期时应采取的措施。

17.9 透气出口处的防火网

当载运本节所涉及的货物时,应在液货舱的透气出口处配备易于更换的有效防火网或认可型的安全罩。设计防火网和安全罩时,应适当注意其在恶劣气候条件下由于货物蒸气的凝聚或结冰而引起阻塞的可能性。当载运本节未涉及的货物时,应取下防火网并以8.2.15要求的防护网替代。

17.10 每个液货舱的最大允许装货量

如载运本节所涉及的货物时,任一液货舱的装货量应不超过3000 m³。

17.11 货泵和排放装置

17.11.1 在装载易燃液体之前以及在载运和卸载期间,应对设有深潜式电动泵的液货舱的蒸气空间进行惰化直至其达到正压力。

17.11.2 货物只能采用深井泵或由液压驱动的潜液泵卸货。这些泵应设计成能避免液压力作用于轴填料函上的型式。

17.11.3 若对货物系统是按预计压力设计的,则惰性气体置换法可用于C型独立液货舱的卸货。

17.12 氨

17.12.1 无水氨可能会使用碳锰钢或镍钢制造的容器和处理系统产生应力腐蚀裂纹。为使产生这种危险的可能性降至最小，应采取17.12.2至17.12.8所述的适当措施。

17.12.2 当采用碳锰钢时，对于液货舱、处理用压力容器和货物管路，应用细晶粒钢制造，其标定最低屈服强度应不超过 355 N/mm^2 ，而其实际屈服强度不超过 440 N/mm^2 。还应采取下列之一的有关结构或操作方面的措施：

1. 应使用标定的最低抗拉强度不超过 410 N/mm^2 的较低强度材料；或
2. 应对液货舱等进行焊后消除应力的热处理；或
3. 运载温度最好保持在接近货物的沸点 -33°C ，但不能高于 -20°C ；或
4. 氨中应含有不少于0.1%的水（按重量比），并向船长提供文件证明。

CCS 17.12.2 上述 17.12.2 规定不适用于 A 型 LPG 船的次屏壁。

17.12.3 如果使用17.12.2规定的那些钢材以外的具有更高屈服性能的碳锰钢，则应对已完工的液货舱和管路等进行焊后消除应力的热处理。

17.12.4 对于处理用压力容器和冷却泵系统中冷凝部分的管路，如是用17.12.1中所述的材料制造，则应对其进行焊后消除应力的热处理。

17.12.5 焊接材料的抗拉和屈服性能应超过液货舱或管路材料的抗拉和屈服性能中一个最小的实际数值。

17.12.6 含有高于5%镍的镍钢和不符合17.12.2和17.12.3的要求的碳锰钢，因为其特别容易受氨应力腐蚀裂纹的影响，故不应将其作为制造运载此种货物的容器和管路系统的材料。

17.12.7 当载运温度符合17.12.2.3中的规定时，可以使用含镍不超过5%的镍钢。

17.12.8 为了使氨应力腐蚀裂纹的危险降至最小，最好能将溶解的氧含量保持在 2.5 ppm （按重量计）以下。达到这个目的的最好办法是在液态氨被注入前，将液货舱中的平均含氧量降至下表中根据载运温度 T 所得到的函数值以下：

$T(^{\circ}\text{C})$	$\text{O}_2(\%, \text{按容积计})$
-30 及以下	0.9
-20	0.5
-10	0.28
0	0.16

10	0.1
20	0.05
30	0.03

对于中间温度的含氧量，可用内插法直接求得。

17.13 氯

17.13.1 货物围护系统

17.13.1.1 每一液货舱的容积应不超过600 m³，而所有液货舱的总容积应不超过1200 m³。

17.13.1.2 液货舱的设计蒸气压力应不低于1.35 MPa（参见7.1.2和17.3.2）。

17.13.1.3 应对在上甲板以上的液货舱突出部分配备保护设施，以防在被火焰包围时所产生的热辐射。

17.13.1.4 每一液货舱应配置2只压力释放阀。在液货舱和压力释放阀之间应安装用合适材料制成的安全膜片。安全膜片的破裂压力应比压力释放阀的开启压力低0.1 MPa，应将释放阀的开启压力设定为液货舱的设计蒸气压力，但不低于1.35 MPa（表压）。应通过超流量阀使安全膜片与释放阀之间的空隙与压力表和气体探测系统相连接。应采取措施以保持这一空隙的压力在正常作业时保持或接近大气压力。

17.13.1.5 应将压力释放阀出口布置成能使船上以及周围环境的危险降至最低限度。释放阀的渗漏应全部引至吸收装置，以尽可能降低气体的浓度。应将释放阀的排放管布置在船的前端，能在甲板平面上向舷外排放，并设有能选择向左或右舷排放的装置，同时还应有一个机械连锁装置，以确保有一根排放管始终是开通的。

17.13.1.6 主管机关和港口主管当局可要求在规定的最大压力下以冷冻状态载运氯。

17.13.2 货物管系

17.13.2.1 进行货物卸载时应采用岸上的压缩氯气、干燥空气或其他可接受的气体或全潜液泵。船上的货物卸货压缩机不应用于此用途。在卸货期间，液货舱蒸气空间的压力应不超过1.05 MPa表压力。

17.13.2.2 货物管系的设计压力应不小于2.1 MPa表压力。货物管的内径应不超过100 mm。对于管系热变形的补偿只能采用弯管。应尽量限制使用法兰接头，如要使用法兰，则应采用带有槽和舌片的焊颈型法兰。

17.13.2.3 应将货物管系的释放阀的排放管接至吸收装置，设计释放阀系统时，应考虑该装

置产生的流量限制（参见8.4.3和8.4.4）。

17.13.3 材料

17.13.3.1 对于液货舱和货物管系，应采用适合于货物和温度为-40℃的钢材进行制造，即使拟采用较高的运输温度，也应如此。

17.13.3.2 应消除液货舱的热应力，不允许以消除机械应力作为其等效措施。

17.13.4 仪器：安全装置

17.13.4.1 船上应设有与货物管系和液货舱相连接的氯吸收装置。吸收装置应具有按合理的吸收率至少能中和货舱总容量的2%的能力。

17.13.4.2 在对液货舱进行除气期间，不应将蒸气排向大气。

17.13.4.3 应配备能探测氯浓度至少为1 ppm（按容积计）的气体探测系统。吸气点应位于：

1. 接近货舱处所底部；
2. 从安全释放阀引出的管子内；
3. 气体吸收装置的出口处；
4. 起居、服务和机器处所以及控制站的通风系统的进口处；和
5. 甲板上货物区域的前端、船中和后端。仅要求在货物操作和除气作业期间使用。

应对气体探测系统配备声光报警器，其调定点为5 ppm。

CCS 17.13.4 气体探测系统应固定安装。

17.13.4.4 应对每一液货舱配备1个高压报警器，在压力达到1.05 MPa表压力时，报警器应能发出声响报警。

17.13.5 人员保护

17.5.5 要求的围蔽处所应满足下列要求：

1. 应能从开敞甲板和起居处所通过空气闸方便而迅速地进入处所，并能快速关闭处所并保证其气密性；
2. 在按14.4.3的要求设置的能消除污染的喷淋设备中应有1套位于进入该处所的露天甲板空气闸附近；
3. 该处所应设计成能容纳船上的全部船员，并能提供维持不少于4 h的未受污染的空气源；和
4. 处所内应配备1套氧气医治疗设备。

17.13.6 液货舱的充装极限

17.13.6.1 当拟载运氯气时，15.1.3.2的要求不适用。

17.13.6.2 装载后，液货舱蒸气空间内氯气含量应大于80%（按容积计）。

17.14 环氧乙烷

17.14.1 载运环氧乙烷时，应符合17.18的要求，并应满足本节附加的和修改的要求。

17.14.2 甲板液货舱不应用于载运环氧乙烷。

17.14.3 环氧乙烷的货物围护系统和管系不能使用416型和442型的不锈钢及铸铁。

17.14.4 装载前，应对液货舱进行彻底有效地清洗，以除去液货舱内及有关管路中前次所装货物的痕迹，除非前次所装货物是环氧乙烷、环氧丙烷或是这些货物的混合物。应予特别注意非不锈钢液货舱装载氨的情况。

17.14.5 环氧乙烷只能采用深井泵或惰性气体置换法卸货。泵的布置应符合17.18.15的规定。

17.14.6 环氧乙烷只能在冷却状态下载运，并保持其温度低于30℃。

17.14.7 压力释放阀的调定压力应不低于0.55 MPa表压力。最大调定压力应经主管机关特别批准。

17.14.8 对于17.18.27所要求的氮气保护气垫，应能在任何时候使液货舱蒸气空间内的氮浓度不低于45%（按容积计）。

17.14.9 在装载前及当液货舱内含有环氧乙烷液体或蒸气的任何时间，应用氮气对液货舱进行惰化。

17.14.10 在火焰包围货物围护系统的情况下，17.18.29和11.3所要求的水雾系统应能自动喷洒。

17.14.11 应设有货物投弃装置，以便在发生不可控制的环氧乙烷自反应时，紧急排放环氧乙烷。

17.15 独立的管路系统

应设置1.2.47规定的独立的管路系统。

17.16 甲基乙炔—丙二烯混合物

17.16.1 应对甲基乙炔—丙二烯混合物适当地进行稳定性处理以便于运输。另外，对混合物进行制冷期间，应规定其温度和压力的上限。

17.16.2 可接受的具有稳定组合的货物的举例如下：

- .1 组合1：

- .1 甲基乙炔对丙二烯的最大摩尔比为3:1;
 - .2 甲基乙炔和丙二烯的最大组合浓度为65摩尔百分数;
 - .3 丙烷、丁烷和异丁烷的最小组合浓度为24摩尔百分数, 其中, 至少1/3(以摩尔为基准)应为丁烷以及1/3为丙烷;
 - .4 丙烯和丁二烯的最大组合浓度为10摩尔百分数。
- .2 组合2:
- .1 甲基乙炔和丙二烯的最大组合浓度为30摩尔百分数;
 - .2 甲基乙炔的最大浓度为20摩尔百分数;
 - .3 丙二烯的最大浓度为20摩尔百分数;
 - .4 丙烯的最大浓度为45摩尔百分数;
 - .5 丁二烯和丁烯的最大组合浓度为2摩尔百分数;
 - .6 饱和C4碳氢化合物的最小浓度为4摩尔百分数; 和
 - .7 丙烷的最小浓度为25摩尔百分数。

17.16.3 只要所提供的混合物的稳定性经验证能使主管机关满意, 也可接受其他的组合。

17.16.4 如果船舶具有直接蒸气压缩制冷系统, 根据货物组合成分确定的压力和温度的界限, 该系统应满足下列要求。对于17.16.2中所列货物组合的举例, 应配备下列设备:

- .1 1台蒸气压缩机, 在其运行期间, 温度升高不应超过60°C, 压力增加不应大于1.75 MPa表压力, 且在连续运行期间, 不允许蒸气滞留在压缩机内;
- .2 压缩机的每一级排放管路或往复式压缩机同一级内的每只气缸均应具有:
 - .1 2只被设定在60°C或60°C以下温度时动作的温度激励关闭开关;
 - .2 1只被设定在压力为1.75 MPa或以下表压力时动作的压力激励关闭开关; 和
 - .3 1只被调定在压力为1.8 MPa或以下表压力时释放的安全释放阀;
- .3 应将2.3所要求的释放阀通向至符合8.2.10、8.2.11和8.2.15要求的透气桅处, 且不应将气体释放至压缩机的吸入管内; 和
- .4 1个报警器, 当高压开关或高温开关动作时, 应能在货物控制处所和驾驶室发出声响警报。

17.16.5 对于装载甲基乙炔-丙二烯混合物的液货舱, 其管路系统包括货物制冷系统应是独立的(如1.2.28中的规定)或应与其他液货舱的管系和制冷系统隔离(如1.2.47中的规定)。此种隔离适用于所有液体和蒸气的透气管路以及其他可能的连接管路, 诸如公用的惰性气体供应管路。

17.17 氮

结构材料和附属设备（诸如绝热材料）应能承受低温时由于货物系统各部分氧冷凝和浓缩而产生的高浓度氧的作用。应适当考虑对这些可能产生冷凝的区域进行通风，以避免形成富氧气体空间。

17.18 环氧丙烷和含有环氧乙烷不超过30%（按重量计）的环氧乙烷-环氧丙烷混合物

17.18.1 按本节规定运输的货物应不含有乙炔。

17.18.2 除非液货舱已经适当清洗，否则不应用曾经储存已知有催化聚合作用的下列3种货物之一的液货舱载运本节所述货物：

1. 无水氨和氨溶液；
2. 胺和胺溶液；和
3. 氧化剂（例如氯）。

17.18.3 装载前，应对液货舱进行彻底有效的清洗，以除去舱内及有关管路中的前次所装货物的痕迹，除非前次所装的货物是环氧丙烷或环氧乙烷—环氧丙烷的混合物。对于非不锈钢的钢质液货舱，在其装有氨的情况下应予特别注意。

17.18.4 任何情况下，应通过适当的试验或检验，对用于液货舱及有关管路的清洗方法的有效性进行校核，以查明确无酸性或碱性物质的痕迹，因由于这些物质的存在，可能会出现危险情况。

17.18.5 初次装载这些货物之前，应进入液货舱进行检查，以保证液货舱内无污染物，无大量铁锈沉积以及无明显的结构缺陷。如这些液货舱连续装运上述货物，则此种检查的间隔期应不超过2年。

17.18.6 载运这些货物的液货舱应为钢质或不锈钢结构。

17.18.7 采用冲洗或驱气方法对装运过这些货品的液货舱及有关管路系统进行彻底的清洗后，该液货舱仍可载运其他货物。

17.18.8 所有的阀、法兰、附件和辅助设备均应为适合于在载运这些货品中使用的型式，且制造材料应为钢质或不锈钢或符合公认标准。应采用含铬量不低于11%的不锈钢制造阀盘或阀盘面。阀座和阀的其他易磨损的部件。

17.18.9 对于在阀、法兰、附件和辅助设备中所用的气密衬垫，应由不与这些货品起反应，不溶解于这些货品，不会降低这些货品的自燃温度，且能耐火和具有合适的机械性能的材料

予以制造。对于接触货物的气密衬垫的表面，应为聚四氟乙烯（PTFE）或因其惰性而能达到同样安全程度的其他材料。如经主管机关批准，可以接受用PTFE或类似氟化聚合物的垫料成螺旋形地缠绕的不锈钢。

17.18.10 如果使用绝热材料和填料，则应采用不与这些货物起反应、不溶解于这些货物或不会降低这些货物的自燃温度的材料。

17.18.11 下列材料通常认为不适用于这些货物的围护系统中的气密衬垫、填料和作类似用途的物件，因此，在取得认可前，要求对这些材料进行试验：

1. 氯丁橡胶或天然橡胶（当与这些货物接触时）；
2. 石棉或石棉的粘合剂；和
3. 含有镁氧化物的材料，例如矿棉。

CCS 17.18.11 所有液化气体船上不应新安装含石棉材料。

17.18.12 装卸管应延伸至液货舱底部或任何集液槽底100 mm范围内。

17.18.13 应以适当方式装卸货品，以不致使液货舱中的气体排到大气中去。在液货舱装载期间，如由岸上回收货物蒸气，则与该货品的围护系统相连接的蒸气回收系统应独立于所有其他的围护系统。

17.18.14 在卸货作业期间，应将液货舱内的压力保持在0.007 MPa表压力以上。

17.18.15 对这种货物进行卸载时，只能采用深井泵，液压驱动的潜液泵或惰性气体置换法。应将每台货物泵布置成能确保当泵的排放管路被截止或阻塞时，不会使该货品明显发热。

17.18.16 载运这些货物的液货舱透气系统应独立于载运其他货物液货舱透气系统。应配备能在液货舱不与空气相通的情况下对液货舱内货物进行取样的设施。

17.18.17 应在用于驳运这些货物的软管上标明：“驳运环氧烷类专用”。

17.18.18 应对载运这些货品的货舱处所进行监测。对A型和B型独立液货舱周围的货舱处所也应进行惰化，并应监测氧的含量，这些处所的含氧量（以体积计）应低于2%。可以采用可携式的取样设备。

17.18.19 在断开通岸管路之前，应通过安装在装载集流管上的合适的阀释放液体和蒸气管路中的压力，不应将这些管路中的液体和蒸气排到大气中去。

17.18.20 对于液货舱，应按其在货物的装载、载运或卸载过程中可能遇到的最大压力进行设计。

17.18.21 对于载运环氧丙烷且设计蒸气压力低于0.06 MPa的液货舱以及载运环氧乙烷-环氧丙烷混合物且设计蒸气压力低于0.12 MPa的液货舱，均应设有冷却系统，以保持货物的温

度能低于基准温度。对于基准温度，见15.1.3。

17.18.22 压力释放阀的调定值应不小于0.02 MPa表压力；而对于C型独立液货舱，在载运环氧丙烷时，其压力释放阀的调定值应不大于0.7 MPa表压力，在载运环氧乙烷-环氧丙烷混合物时，其压力释放阀的调定值应不大于0.53 MPa表压力。

17.18.23 对装有这些货品的液货舱，其管系应与所有其他液货舱(包括空载液货舱)的管系以及所有货物压缩机完全隔离。如果装有这些货品的液货舱管系没有被设计成1.2.28所定义的那种“独立”，则应采用拆卸短管、阀或其他管段并在这些位置安装盲板法兰的方法，以达到所要求的管系分隔。上述所要求的分隔也适用于所有液体和蒸气管路、液体和蒸气的透气管路以及任何其他可能的连接管路，诸如共用的惰性气体供应管路。

17.18.24 对于这些货品，只能按主管机关批准的货物装卸图进行运输。对于所拟定的每一种装载布置方案，均应在单独的装卸图中予以表明。在货物装卸图中应标明全部货物管路系统以及为满足上述管路分隔要求所需盲板法兰的安装位置。经批准的每份货物装卸图的副本应被存放在船上。在对《国际散装运输液化气体适装证书》进行签署时应包括查阅经批准的货物装卸图。

17.18.25 在首次装载这些货物及以后每次重新装载这些货物之前，应从港口主管当局承认的负责人员处取得证明该船已达到所要求的管系分隔的证书，并应将证书放在船上。盲板法兰和管路法兰之间的每一连接处应由负责人员装上金属丝并给予铅封，以保证不致于因疏忽拆卸盲板法兰。

17.18.26 按照15.5，应注明在所采用的每一装载温度下每一液货舱的最大许可装载极限。

17.18.27 载运这些货物时，应在液货舱内充以适当的氮气作为保护气垫。还应设有氮气的自动补给系统，以防万一由于环境条件变化或制冷系统失灵而造成货物温度下降致使液货舱压力下降至0.007 MPa表压力以下。船上应配备足量的氮气以满足自动压力控制的需要。应采用商业纯度为99.9%（按容积计）的氮气作为液货舱的保护气垫。一组氮气瓶通过减压阀与液货舱连接可以达到有关“自动”的目的。

17.18.28 液货舱的蒸气空间在装载前后应进行试验，以保证含氧量为2%或以下(按容积计)。

17.18.29 应设置足够容量的水雾系统，以能有效地覆盖货物集管及与装卸货物有关的露天甲板管系和液货舱气室周围的区域。管路和喷嘴应布置成能使水雾的均匀分布率达到每分钟为10 l/m²。布置应保证能使任何溢出的货物被冲洗干净。

17.18.30 在发生涉及货物围护系统的火灾时，水雾系统应既能就地手动操作又能遥控操作。遥控手动操作应布置成能从货物区域外邻近居住处所的合适位置遥控启动水雾系统的供水

泵和遥控操作系统中任何通常关闭的阀，并在被保护区发生火灾时能易于进入和操作。

17.18.31 除上述水雾要求外，在装卸作业期间，若环境温度许可时，应有随时可用的加压输水软管。

17.19 氯乙烯

当添加抑制剂能防止氯乙烯的聚合反应时，则17.8的规定是适用的。在此情况下，如未添加抑制剂或抑制剂的添加量不足，则按17.6规定使用的任何惰性气体的含氧量应不超过0.1%（以体积计）。在开始装载前，还应对液货舱和管路的惰性气体进行取样分析。当载运氯乙烯时，液货舱内应始终保持正压，甚至在连续运载这些货物之间的压载航行时，也应如此。

17.20 混合 C4 货物

17.20.1 按照本节的规定，按本规则要求单独载运的货物（主要是丁烷、丁烯和丁二烯）可作为混合物载运。这些货物可被称为“粗制C4”(Crude C4)、“粗制丁二烯(Crude Butadiene)”、“粗制的蒸气裂解C4(Crude steam-cracked C4)”、“已使用过蒸气裂解C4(Spent steam-cracked C4)”、“C4 蒸气(C4 stream)”和“C4残液(C4 raffinate)”或在其他不同的产品描述下进行运输。对所有这些情况，其MSDS数据应作为参考，且由于丁二烯具有潜在毒性和反应性，因此混合物中以丁二烯含量作为主要考虑因素。同时考虑到丁二烯的蒸气压力相对较低，如果该混合物包含丁二烯，则应视作有毒并采取适当的预防措施。

17.20.2 如果按本节规定载运的混合 C4 货物包含 50%以上的丁二烯，应采用 17.8 中的抑制剂预防措施。

17.20.3 除非装载的具体混合物给出液体膨胀系数的具体数据，否则在按照第15章进行充装极限计算时，应将货物视为100%的具有最高膨胀率的那一种组成物质来计算。

17.21 二氧化碳：高纯度

17.21.1 货物不受控的压力丧失会造成“升华”且货物会从液体变成固体状态。装载货物前，应提供该二氧化碳货物的准确“三相点”温度，这取决于货物纯度，并应考虑到何时调节货物仪器。对于载运的具体货物，本节中所述的报警和自动控制动作的设定压力应设为至少三相点压力以上 0.05 MPa。纯二氧化碳的“三相点”出现在 0.5 MPa（表压）和-54.4℃。

17.21.2 如果按照 8.2 设置的液货舱释放阀在打开位置失效（即不能关闭），货物可能固化。为避免这种情况，应设有隔离液货舱安全阀的设施，且当载运该二氧化碳时，8.2.9.2 的要求

不适用。安全释放阀的排放管道应设计成不受异物影响而形成堵塞。防护网不应设在释放阀排放管道的出口，所以 8.2.15 的要求不适用。

17.21.3 安全释放阀的排放管道不要求符合 8.2.10，但应设计成不受异物影响而形成堵塞。防护网不应设在释放阀排放管道的出口，所以 8.2.15 的要求不适用。

17.21.4 载运二氧化碳货物时，应连续监控液货舱的低压。货物控制位置和驾驶室应设有声光报警。如果液货舱压力持续降至货物“三相点”的 0.05 MPa 范围内，监控系统应自动关闭所有货物总管、液体和蒸气阀并停止所有货物压缩机和货泵。18.10 要求的应急关闭系统可用于此目的。

17.21.5 液货舱和货物管系使用的所有材料应适于营运期间可能出现的最低温度，其可被定义为 17.21.1 中所述的自动安全系统设定压力下二氧化碳货物的饱和温度。

17.21.6 货舱处所、货物压缩机室和二氧化碳会积聚的其他围蔽处所应连续监控二氧化碳浓度。该固定气体探测系统替代 13.6 的要求，即使对于具有 C 型货物围护系统的船舶，也应一直对货舱处所进行监测。

17.22 二氧化碳：再利用品质

17.22.1 17.21 的要求也适用于本货物。此外，如果再利用品质的二氧化碳货物包含杂质（例如水、二氧化硫等），会造成酸腐蚀或其他问题，货物系统中使用的构造材料也应考虑到被腐蚀的可能性。

第 18 章 操作要求

CCS18.0.a 本章涉及的操作要求以及人员培训等要求，不作为 CCS 入级要求，当由 CCS 签发适装证书时，这些内容以及船旗国主管机关的其他相关要求才适用。

目的

确保所有涉及货物作业的船上人员有足够的关于货物性质和操作货物系统的资料，以使其能安全进行货物操作。

18.1 通则

18.1.1 涉及液化气体运输船舶操作的人员应意识到与其安全操作相关的特殊要求和安全操作必需的预防措施。

18.1.2 适用IGC规则的每艘船上应备有IGC规则的副本或纳入IGC规则规定的国家法规。

18.2 货物操作手册

18.2.1 船舶应配备经主管机关批准的详细的货物系统操作手册副本，以使经培训人员能安全操作船舶，并适当考虑到允许载运的货物的危险和特性。

18.2.2 手册内容应包括但不限于：

- .1 货物从干坞至干坞的整个操作，包括液货舱冷却和暖舱、驳运（包括船至船驳运）、货物取样、除气、压载、清洗液货舱和更换货物的程序；
- .2 货物温度和压力控制系统；
- .3 货物系统限制，包括最低温度（货物系统和船体内壳）、最大压力、驳运速度、充装极限和晃荡限制；
- .4 氮气和惰性气体系统；
- .5 灭火程序：灭火系统的操作和维护以及灭火剂的使用；
- .6 用于特种货物安全操作所需的特殊设备；
- .7 固定和可携式气体探测；
- .8 控制、报警和安全系统；

- .9 应急关闭系统;
- .10 按照 8.2.8 和 4.13.2.3 变更液货舱压力释放阀设定压力的程序; 和
- .11 应急程序, 包括液货舱释放阀隔离、单舱除气、进入和应急船至船驳运操作。

18.3 货物资料

18.3.1 船上应备有可供所有相关方使用并以货物资料数据单形式的资料, 这些资料能为安全载运货物提供必要的资料。这些资料应包括所载运的每一种货品。其具体项目如下:

- .1 一份货物安全载运和围护所必需的物理和化学性能的详细说明;
- .2 与其他按照《国际散装运输液化气体适装证书》能够在船上载运的货物的反应特性;
- .3 当发生货物溢出或泄漏时所需要采取的措施;
- .4 防备人员意外与货物接触的防范措施;
- .5 灭火程序和灭火剂;
- .6 用于特种货物安全操作所需的特殊设备; 和
- .7 应急程序。

18.3.2 按照 18.3.1.1 向船长提供的物理数据应包括关于不同温度下相对货物密度的信息以能按照第 15 章的要求计算液货舱充装极限。

18.3.3 按照 18.3.1.3 要求的对环境温度下载运货物溢出的应急计划应考虑潜在的局部温度降低(例如当逃逸的货物已降至环境压力)和船体钢冷却的潜在影响。

18.4 载运的适合性

18.4.1 船长应确认船上所装载的每一货品的数量和特性是在 1.4 段所要求的《国际散装运输液化气体适装证书》和 2.2.5 段所要求的《装载和稳性资料手册》所述的范围内, 且按《国际散装运输液化气体适装证书》第 4 项的要求, 这些货品已列入其中。

18.4.2 当货物被混合时应注意避免发生危险的化学反应, 下列方面特别重要:

- .1 在同一液货舱内连续装货之间所需要的液货舱清洗程序; 和
- .2 只有当整个货物系统, 包括(但并不限于)货物管路、液货舱、透气系统和制冷系统, 均按 1.2.47 规定予以隔离时, 才能允许同时载运混合时会起化学反应的货物。

18.4.3 如要求抑制货物, 在开航前应提供 17.8 要求的证书, 否则不得载运该货物。

18.5 在低温下载运货物

在低温下载运货物时，应注意下列事项：

- .1 应严格遵守为特定液货舱、管系和附属设备所规定的冷却程序；
- .2 所采用的装载方式应能确保在任何液货舱、管系或其他附属设备中未超过其设计温度梯度；和
- .3 如设有与货物围护系统相关的加热装置，对于加热装置的操作，应能确保船体结构的温度不致下降到低于材料的设计温度。

18.6 货物驳运操作

18.6.1 船上人员和负责驳运设施的人员应在货物操作前召开会议。交换的信息应包括拟定货物驳运操作和应急程序的详细情况。对于拟定的货物驳运，应填写行业公认的检查表，并在整个操作期间保持有效的通信联系。

18.6.2 货物驳运操作前，应对必要的货物操作控制和报警装置进行检查和试验。

18.7 人员培训

18.7.1 人员应进行经修正的 1978 年国际海员培训、发证和值班标准公约、国际安全管理规则和医疗急救指南（MFAG）要求的液化气船操作和安全的适当培训。至少：

- .1 应对所有人员在使用船上备有的保护设备方面进行适当培训，同时还应对他们进行与其职务相适应的、在紧急情况下所必需的程序的基本培训；和
- .2 应对高级船员进行应急程序培训，以处理货物泄漏、溢出或火灾事故，并应对其中足够数量的人员进行适用于所载货物的必要急救措施的讲授和训练。

18.8 进入围蔽处所¹

18.8.1 在正常操作情况下，人员不得进入可能有气体聚集的液货舱、货舱处所、留空处所或其他围蔽处所，除非用固定式或便携式设备确定上述处所的空气中具有足够的氧气且不存在有毒气体。

18.8.2 如果在日常检查中必须对 A 类液货舱周围的货舱处所进行除气和通气，且该液货舱载运易燃货物，检查应在液货舱只包含最少数量的货物“残液”以保持液货舱冷却时进行。检查结束后，货舱处所应重新惰化。

¹ 参见本组织大会 A.1050(27)决议通过的经修订的进入船上围蔽处所的建议案。

18.8.3 人员在进入载有可燃货物船舶的任何被确定的危险区域时，均不得带入任何潜在的着火源，除非经验证，已对该处所进行了除气，且一直保持这种状态。

18.9 货物取样

18.9.1 任何货物取样应在高级船员的监督下进行，其应确保操作人员使用适合货物危险的防护服。

18.9.2 对液体货物取样时，高级船员应确保取样设备适合相应的温度和压力，包括货泵排放压力（如相关）。

18.9.3 高级船员应确保使用的任何货物样品设备适当连接以避免任何货物泄漏。

18.9.4 如果取样货物为有毒货品，高级船员应确保使用 1.2.15 中规定的“闭环”取样系统以使得逸出至大气的任何货物量降至最少。

18.9.5 取样操作完成后，高级船员应确保使用的任何取样阀适当关闭，且使用的连接正确隔断。

18.10 货物应急关断（ESD）系统

18.10.1 通则

18.10.1.1 应设有货物应急关断系统以在紧急情况下（船舶内部或货物驳运至船上或岸上时）停止货物流动。ESD 系统的设计应避免货物驳运管内可能产生冲击压力（见 18.10.2.1.4）。

18.10.1.2 就 ESD 而言，使用有毒或易燃液体或蒸气调节货物状态的辅助系统应视作货物系统。使用惰性介质（例如氮）的间接制冷系统无需纳入 ESD 功能要求。

18.10.1.3 ESD 系统应可按表 18.1 中所列进行手动和自动启动。对于任何附加的启动项，如能表明其纳入不会降低整个系统的完整性和可靠性，才可纳入 ESD 系统。

18.10.1.4 船舶 ESD 系统按照公认标准²应包含船岸连接。

18.10.1.5 货物控制室和驾驶室中应有 ESD 系统和其关联系统的功能流程图。

18.10.2 ESD 阀要求

18.10.2.1 一般要求

18.10.2.1.1 ESD 阀系指 ESD 系统操作的任何阀。

² 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。

18.10.2.1.2 ESD 阀应为遥控操作、故障关闭（动力消失关闭）型、能就地手动关闭并可指示阀的实际位置。作为就地手动关闭 ESD 阀的替代，可允许采用一个手动操作截止阀与 ESD 阀串联的使用的方式。手动阀的位置应邻近 ESD 阀。一旦 ESD 阀关闭，而手动阀也关闭时，应有处理截留液体的措施。

18.10.2.1.3 液体管系中的 ESD 阀应在启动后 30 秒内平稳完全紧闭。船上应备有关于阀关闭时间及其操作特征的资料，并且关闭时间应能予以验证和可重复。

18.10.2.1.4 13.3.1 至 13.3.3 中所述的阀的关闭时间（即从开始激发关闭信号至阀完全关闭的时间）应不大于：

$$\frac{3600U}{LR} \quad (\text{秒})$$

式中： U —发出操作信号时舱内液面以上的空挡容积，（ m^3 ）；

LR —船和岸上设备之间相互约定的最大装载速率，（ m^3/h ）。

应考虑装载软管或装卸臂以及船上和岸上的有关管路系统的情况，对装载速率进行调整，以使阀关闭时的冲击压力被限制在一个可以承受的水平。

18.10.2.2 船至岸和船至船总管连接

每个总管连接处应设有 1 个 ESD 阀。不用于驳运作业的货物总管连接处应采用能承受管系设计压力的盲板法兰予以隔断。

18.10.2.3 货物系统阀

如果 5.5 中规定的货物系统阀也是 18.10 中规定的 ESD 阀，18.10 的要求应适用。

18.10.3 ESD 系统控制

18.10.3.1 ESD 系统至少应能在驾驶室和 13.1.2 要求的控制位置或货物控制室（如设有）以及货物区域中不少于 2 个位置，进行单独手动操作控制。

18.10.3.2 探测到货物区域露天甲板 and/或货物机器处所的失火时，ESD 系统应自动启动。露天甲板上使用的探测方法应至少覆盖液货舱的液体和蒸气气室、货物总管和液体管路经常被拆开的区域。探测可采用设置设计成在温度 98°C 和 104°C 之间熔化的易熔元件的方式，或通过区域失火探测的方法。

18.10.3.3 按照表 18.1 中的原因和动作矩阵，应通过启动 ESD 系统停止正在运行的货物机器。

18.10.3.4 ESD 控制系统应能以安全受控的方式进行 13.3.5 中要求的高液位试验。就试验而言，当溢流控制系统越控时，可操作货泵。液位报警试验程序和高位报警试验结束后 ESD 系统重新设定的程序应纳入 18.2.1 要求的操作手册。

表 18.1—ESD 功能布置

	泵		压缩机系统				阀	连接
	货泵/ 货物增 压泵	货物喷 洒/吹扫 泵	蒸气返 回压缩 机	气体燃料 压缩机	再液化装 置***，包 括冷凝返 回泵（如 有）	气体燃 烧装置		
关闭动作→ 启动↓							ESD 阀	至船/ 岸连 接的 信号 连接 ****
应急按钮（见 18.10.3.1）	√	√	√	注 2	√	√	√	√
甲板上或压缩机室中 的探火*（见 18.10.3.2）	√	√	√	√	√	√	√	√
液货舱高液位（见 13.3.2 和 13.3.3）	√	√	√	注 1 注 2	注 1 注 3	注 1	注 6	√
来自船/岸连接的信号 （见 18.10.1.4）	√	√	√	注 2	注 3	n/a	√	n/a
丧失至 ESD 阀的动力 **	√	√	√	注 2	注 3	n/a	√	√
主电源故障（“断 电”）	注 7	注 7	注 7	注 7	注 7	注 7	√	√
液位报警越控（见 13.3.7）	注 4	注 4 注 5	√	注 1	注 1	注 1	√	√

注 1：设备的这些动作项能从这些具体的自动关闭的启动原因中忽略，只要设备进口无货物液体进入。

注 2：如果气体燃料压缩机用于将货物蒸气返回岸上，其应纳入 ESD 系统（在该模式操作时）。

注 3：如果再液化装置压缩机用于蒸气返回/岸上管线清洗，其应纳入 ESD 系统（在该模式操作时）。

注 4: 13.3.7 允许的越控系统可在海上使用以防止错误报警或关闭。当液位报警越控, 应禁止货泵作业以及总管 ESD 阀的开启操作, 按照 13.3.5 进行高液位报警试验除外 (见 18.10.3.4)。

注 5: 用于向强制蒸发器输送货物的喷洒泵或扫舱泵可不包括在 ESD 系统中。(仅在该模式下操作时)

注 6: 作为关闭 18.10.2.2 中所述的 ESD 阀的替代, 13.3.2 中所述的传感器可用于自动关闭装有传感器的单个液货舱的液货舱注入管路上的阀。如采用该选项, 当所有拟装载的液货舱的高液位传感器已被激发时, 应开始启动整个 ESD 系统。

注 7: 设备的这些动作项应设计成不在主电源断电恢复后重新启动, 且无需确认安全条件。

*可在甲板上使用易熔塞、电子式温度点监测或区域探火用于此目的。

**遥控操作 ESD 阀的驱动装置的液压、电动或气压动力失效。

***构成再液化装置一部分的间接制冷系统无需纳入 ESD 功能, 如果其在制冷循环中使用惰性介质 (例如氮)。

****信号无需显示启动 ESD 的事项。

√-功能要求。

n/a -不适用。

18.10.4 附加关闭

18.10.4.1 实现 8.3.1.1 中使液货舱免受外压差的要求可通过使用的一个独立的低压信号来启动 ESD 系统或至少停止任何货泵或压缩机。

18.10.4.2 当探测到高液位时, 13.3 要求的溢流控制系统可向 ESD 系统提供输入信号以停止任何货泵或压缩机运行, 因为该报警可能是无意中造成的舱至舱内部驳运所致。

18.10.5 操作前试验

在货物操作作业开始前, 应对货物驳运中涉及的货物应急关断和报警系统进行检查和试验。

CCS18.10.a 船上应定期验证应急截止 (ESD) 阀的有效性, 并对试验结果进行记录。当进行货物维护系统完整性检查时, 应急截止 (ESD) 阀的检查应作为该检查的一部分, 应急截止 (ESD) 阀应进行压力试验, 并在适当时进行内部检查。压力试验应每 5 年进行一次, 试验压力为其工作压力。

CCS18.10.b 船上应备有应急截止 (ESD) 阀生产厂商提供的含有安装、使用、维修等内容的指导说明书。

18.11 货物围护系统上或附近的热工作业

18.11.1 在液货舱,特别是易燃的或受碳氢化合物污染或由于燃烧可能释放有毒烟气的绝热系统附近,应采取特殊的防火措施。

18.12 附加操作要求

本规则下列段落为附加的操作要求:

2.2.2, 2.2.5, 2.2.8, 3.8.4, 3.8.5, 5.3.2, 5.3.3.3, 5.7.3, 7.1, 8.2.7, 8.2.8, 8.2.9, 9.2, 9.3, 9.4.4, 12.1.1, 13.1.3, 13.3.6, 13.6.18, 14.3.3, 15.3, 15.6, 16.6.3, 17.4.2, 17.6, 17.7, 17.9, 17.10, 17.11, 17.12, 17.13, 17.14, 17.16, 17.18, 17.19, 17.21 和 17.22。



第 19 章 最低要求一览表

对最低要求一览表的注释:

货品名称 (a 栏)	任何被提供用于散装货物运输的运输文件中所使用货品名称。任何附加的名称可放在货品名称后的括号内。货品名称有时可能与以前颁发的 IGC 规则中所提供的名称不一致。
(b 栏)	删除
船型 (c 栏)	1 1G 型船舶 (2.1.2.1) 2 2G 型船舶 (2.1.2.2) 3 2PG 型船舶 (2.1.2.3) 4 3G 型船舶 (2.1.2.4)
要求的 C 型独立液货舱 (d 栏)	C 型独立液货舱 (4.23)
液货舱环境控制 (e 栏)	Inert: 惰化 (9.4) Dry: 干燥 (17.7) -: 本规则无特殊要求
蒸气探测 (f 栏)	F: 易燃蒸气的探测 T: 有毒蒸气的探测 F+T: 易燃和有毒蒸气的探测 A: 窒息
测量 (g 栏)	I: 间接型或封闭型 (13.2.3.1 和.2) R: 间接型、封闭型或限制型 (13.2.3.1、.2、.3 和.4) C: 间接型或封闭型 (13.2.3.1、.2 和.3)
(h 栏)	删除
特殊要求 (i 栏)	当引用第 14 章和/或第 17 章条款, 这些条款中的要求应作为任何其他栏的附加要求
制冷气体	无毒和不易燃气体

除另有规定外, 对于运输含乙炔总量低于5%的气体混合物, 除满足对气体混合物中主要成

分的要求外，无进一步要求。

相对密度 K (CCS j 栏、CCS k 栏)：给出数值表示货物液态或蒸气可能相对水或空气的最大相对密度参考值。没有给出指表示货物资料附件中还没有提供相对密度值。在所有情况下，应依制造厂提供的货物相对水或空气的相对密度资料为准。

沸点 °C (CCS l 栏)：给出数值表示货物可能的最低沸点温度参考值。没有给出者表示货物资料中沸点温度不确定。有些货物的沸点温度可能低于-45°C。通常货物沸点低于-45°C较少采用全压式货物围护系统，而更多采用半冷式或全冷式。在所有情况下，应依制造厂提供的货物沸点资料和载运要求为准。

临界温度 °C (CCS m 栏)：给出数值表示货物可能的最高临界温度参考值，没有给出者表示货物资料中临界温度不确定。有些货物的临界温度可能在45°C以上。通常临界温度45°C以上较多采用全压式货物围护系统。在所有情况下，应依制造厂提供的货物临界温度资料和载运要求为准。

电气设备 (CCS n 栏)：根据 IEC60079 《爆炸性气体环境中使用的电气设备》或 GB3836 《爆炸性环境用电气设备》的有关规定，给出液化气体货品的电气防爆等级要求。

温度组别 (CCS n' 栏) T1-T6 -无要求

防爆类别 (CCS n'' 栏) IIA, IIB或IIC -无要求

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
乙醛 Acetaldehyde		2G/2PG	-	Inert	F+T	C		14.4.3, 14.3.3.1, 17.4.1, 17.6.1	0.7827	1.52	2.08		T4	II A
氨-无水的 Ammonia, anhydrous		2G/2PG	-	-	T	C		14.4, 17.2.1, 17.12	0.683	0.597	-33.4	132.4	T1	II A
丁二烯(所有异构体) Butadiene (all isomers)		2G/2PG	-	-	F+T	C		14.4, 17.2.2, 17.4.2, 17.4.3, 17.6, 17.8	0.653	1.88	-5.0	161.8	T2	II B
丁烷(所有异构体) Butane (all isomers)		2G/2PG	-	-	F	R			0.600	2.09	-0.5	153	T2	II A

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
丁烷/丙烷混合物 Butane-propane mixture		2G/2PG	-	-	F	R							T2	II A
丁烯（所有异构体） Butylenes (all isomers)		2G/2PG	-	-	F	R			0.624	1.94	-6.1	146.4	T3	II A
二氧化碳（高纯度）** Carbon Dioxide (high purity)**		3G	-	-	A	R		17.21					—	—
二氧化碳（再利用品质）**		3G	-	-	A	R		17.22					—	—

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
Carbon Dioxide (Reclaimed quality)**														
氯 Chlorine		1G	Yes	Dry	T	I		14.4, 17.3.2, 17.4.1, 17.5, 17.7, 17.9, 17.13	1.56	2.49	-34	144	—	—
二乙醚* Diethyl ether*		2G/2PG	-	Inert	F+T	C		14.4.2, 14.4.3, 17.2.6, 17.3.1, 17.6.1, 17.9, 17.10, 17.11.2,					T4	II B

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
								17.11.3						
二甲基胺 Dimethylamine		2G/2PG	-	-	F+T	C		14.4, 17.2.1	0.6615	1.55	6.8		T2	II A
二甲醚 Dimethyl Ether		2G/2PG			F+T	C							T3	II B
乙烷 Ethane		2G	-	-	F	R			0.540	1.048	-88.6	32.1	T1	II A
氯乙烷 Ethyl Chloride		2G/2PG	-	-	F+T	C			0.9	2.2	12.3		T2	II A
乙烯		2G	-	-	F	R			0.570	0.975	-103.9	9.9	T2	II B

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
Ethylene														
环氧乙烯 Ethylene oxide		1G	Yes	Inert	F+T	C		14.4, 17.2.2, 17.3.2, 17.4.1, 17.5, 17.6.1, 17.14	0.896	1.52	10.73	195.7	T2	II B
环氧乙烷/环氧丙烷混合物, 但环氧乙烷含量按重量计不 超过 30%* Ethylene oxide-propylene oxide mixtures with		2G/2PG	-	Inert	F+T	C		14.4.3, 17.3.1, 17.4.1, 17.6.1, 17.9, 17.10, 17.18					T2	II B

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
ethylene oxide content of not more than 30% by weight*														
异戊二烯* (所有异构体) Isoprene* (all isomers)		2G/2PG	-	-	F	R		14.4.3, 17.8, 17.9, 17.11.1	0.67	2.3	34	211	T3	II B
异戊二烯 (部分精炼*) Isoprene (part refined)*		2G/2PG	-	-	F	R		14.4.3, 17.8, 17.9, 17.11.1					T3	II B

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
异丙胺* Isopropylamine*		2G/2PG	-	-	F+T	C		14.4.2, 14.4.3, 17.2.4, 17.9, 17.10, 17.11.1, 17.15					T2	II A
甲烷 (液化天然气) Methane (LNG)		2G	-	-	F	C			0.427	0.554	-161.5	-82.5	T1	II A
甲基乙炔丙二烯混合物 Methyl acetylene-propadiene mixtures		2G/2PG	-	-	F	R		17.16					T4	II A

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
溴甲烷 Methyl bromide		1G	Yes	-	F+T	C		14.4, 17.2.3, 17.3.2, 17.4.1, 17.5	1.732	3.3	4.6		T3	II A
氯甲烷 Methyl chloride		2G/2PG	-	-	F+T	C		17.2.3	0.918	1.78	-23.7		T1	II A
混合 C4 货物 Mixed C4 Cargoes		2G/2PG	-	-	F+T	C		14.4, 17.2.2, 17.4.2, 17.4.3, 17.6, 17.20					T2	II B
乙胺* Monoethylamine*		2G/2PG	-	-	F+T	C		14.4, 17.2.1, 17.3.1, 17.9,	0.69	1.56	16.6		T2	II A

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
								17.10, 17.11.1, 17.15						
氮 Nitrogen		3G	-	-	A	C		17.17	0.9	0.967	-195		—	—
戊烷（所有异构体）* Pentane (all isomers)*		2G/2PG	-	-	F	R		17.9, 17.11					T2	II A
戊烯（所有异构体）* Pentene (all isomers)*		2G/2PG	-	-	F	R		17.9, 17.11					T3	II B

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
丙烷 Propane		2G/2PG	-	-	F	R			0.583	1.55	-42.3	96.8	T1	II A
丙烯 Propylene		2G/2PG	-	-	F	R			0.613	1.48	-47.7	92.1	T2	II B
环氧丙烷* Propylene oxide*		2G/2PG	-	Inert	F+T	C		14.4.3, 17.3.1, 17.4.1, 17.6.1, 17.9, 17.10, 17.18	0.8304	2.00	34.2	209.1	T2	II B
制冷气体 Refrigerant gases		3G	-	-	-	R							—	—

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
二氧化硫 Sulphur dioxide		1G	Yes	Dry	T	C		14.4, 17.3.2, 17.4.1, 17.5, 17.7	1.38	2.3	-10		T3	II B
氯乙烯 Vinyl chloride		2G/2PG	-	-	F+T	C		14.4.2, 14.4.3, 17.2.2, 17.2.3, 17.3.1, 17.6, 17.19	0.965	2.15	-13.8	158.4	T2	II A
乙烯基乙基醚* Vinyl ethyl ether*		2G/2PG	-	Inert	F+T	C		14.4.2, 14.4.3, 17.2.2, 17.3.1, 17.6.1, 17.8, 17.9, 17.10, 17.11.2,					T3	II B

a 货品名称	b	c 船型	d 要求的 C 型独立液货 舱	e 液货舱 内蒸气 空间的 控制	f 气体探 测	g 测量	h	i 特殊要求	CCSj 液体相对 密度 在大气 压力沸 点下(水 =1)	CCSk 气体相 对密度 (空气 =1)	CCSl 沸点(°C)	CCSm 临界温 度 (°C)	CCS n' 温度 组别	CCS n'' 防爆 类别
								17.11.3						
二氯乙烯* Vinylidene chloride*		2G/2PG	-	Inert	F+T	C		14.4.2, 14.4.3, 17.2.5, 17.6.1, 17.8, 17.9, 17.10					T2	II A

*此货物也包括在 IBC 规则内。

**CCS 对于专门从事散装运输二氧化碳的液化气体船，见本章附录 1 的规定。

CCS 附录 1 CO₂ 专用运输船适用要求

- 第 19 章最低要求一览表包含散装运输二氧化碳的最低载运要求,本附录适用于专门从事散装运输二氧化碳的船舶(简称 CO₂ 运输船)。
- 本规范应用于 CO₂ 运输船时,下表左栏所列的规范条款的要求可按照右边栏解释执行:

章节	解释/适用性
3.1.2	采用单层 A-0 级分隔,即可满足 3.1.2 条的分隔要求。
5.7.4	管路和液货舱,不要求电气接地措施。
18.10.3.2	应急切断系统,不要求使用易熔元件。
第 10 章	不要求使用合格防爆型电气设备。
第 11 章	本章要求不适用。
12.1.7	对驱动风机的电动机的位置和防爆等级不作要求。
12.1.9	通风管的外部开口处,不需要设防护网。
13.6	仅适用 13.6.19 和 13.6.20 的要求。

附录1 非金属材料

1 通则

- 1.1 本附录中的指导作为4.19要求的补充,适用于非金属材料。
- 1.2 非金属材料的制造、试验、检查和文件记录通常应符合公认标准和本规则的具体要求(如适用)。
- 1.3 选择非金属材料时,设计方应确保材料特性适合系统要求的分析和说明。可选择材料满足一个或多个要求。
- 1.4 非金属材料的选择范围很宽,因此,以下有关材料选择的衡准不能包括每种可能性且应视作指导。

2 材料选择衡准

- 2.1 考虑到下列基本特性,非金属材料可用于液化气体船舶货物系统的不同部分:
 - 1 绝热—限制热流的能力;
 - 2 承载—维持围护系统强度的能力;
 - 3 密性—提供液体和蒸气密性屏壁的能力;
 - 4 连接—连接能力(例如通过粘接、焊接或紧固)。
- 2.2 对特定的系统设计,可进行附加考虑。

3 材料特性

- 3.1 绝热材料的柔性系指绝热材料易于弯曲或成形而无破损或断裂的能力。
- 3.2 松散填充材料系指均质固体,通常以细颗粒的形式,例如粉或珠,一般用于填充难以到达处所中的空隙以提供有效绝热。
- 3.3 纳米材料系指特性源自其具体细微结构的材料。
- 3.4 微孔材料系指各处含有开式、闭式或两者兼具的微孔材料。
- 3.5 粘结剂材料系指通过粘合工艺连接或粘接两个相邻表面的产品。
- 3.6 其他材料系指本规则的本节中未描述并应标识和列出的材料。用于评估材料是否适于在货物系统中使用的相关试验应标识并用文件记录。

4 材料选择和试验要求

4.1 材料说明

4.1.1 如已进行材料的初始选择，应进行试验以证明该材料适于拟定用途。

4.1.2 使用的材料应清晰标识，相关试验应有文件完整记录。

4.1.3 应按照拟定用途选择材料。材料应：

- .1 与所载运的所有货品相容；
- .2 不被任何货物污染也不与其反应；
- .3 不具有受到货物影响的特征或特性；和
- .4 能在操作温度范围内经受热冲击。

4.2 材料试验

特定材料的试验要求取决于设计分析，技术参数和拟用用途。下列试验清单用于说明。要求的任何附加试验（例如关于滑动、制动和电绝缘）应清晰标识并用文件记录。按本附录的 4.1 选择的材料应进一步按照下表进行试验：

功能	绝热	承载结构	密性	连接
力学试验		X		X
密性试验			X	
热试验	X			

热冲击试验应提交材料和/或组件对应的操作期间会经历的最极端热梯度。表中 X 代表需进行该项试验。

4.2.1 材料的固有特性

4.2.1.1 应进行试验以确保所选材料的固有特性对拟定用途无任何负面影响。

4.2.1.2 对所有选定的材料，应评估下列特性：

- .1 密度；举例标准 ISO845；
- .2 线性热膨胀系数（LCTE）： 举例标准 ISO11359，在规定的最广泛操作温度范围内。但是，对于松散填充材料，用体积热膨胀系数（VCTE）评价更为恰当。

4.2.1.3 无论其固有特性和拟定功能，所选的所有材料应进行试验，试验温度应为设计服务温度范围中最低设计温度以下 5℃，但不低于-196℃。。

4.2.1.4 每个特性评估试验应按照公认标准进行。如无这类标准，建议的试验程序应详述并提交主管机关认可。取样应足以确保真实体现所选材料的性能。

4.2.2 力学试验

4.2.2.1 力学试验应按下表进行：

力学试验	承载结构
拉伸	ISO 527 ISO 1421 ISO 3346 ISO 1926
剪切	ISO 4587 ISO 3347 ISO 1922 ISO 6237
压缩	ISO 604 ISO 844 ISO 3132
弯曲	ISO 3133 ISO 14679
蠕变	ISO 7850

4.2.2.2 如果所选材料功能取决于特定性能，例如拉伸、压缩和剪切强度、屈服应力、模量或延伸性，这些特性应按照公认标准进行试验。如果要求的性能按照高阶行为定律通过数字模拟进行评估，试验应使主管机关满意。

4.2.2.3 蠕变可由持续载荷造成，例如货物压力或结构载荷。蠕变试验应基于围护系统设计寿命期间预期会遇到的载荷。

4.2.3 密性试验

4.2.3.1 材料密性要求应与其操作功能相关。

4.2.3.2 密性试验可通过使用留存液体（例如货物、水蒸气或追踪气体），在对应于预计用途的布置（例如厚度和应力条件）中测量材料的渗透率

4.2.3.3 密性试验应基于下表中所述的试验：

密性试验	密性
孔隙率/渗透率	ISO 15106

	ISO 2528
	ISO 2782

4.2.4 热传导性试验

4.2.4.1 热传导性试验应代表绝热材料的生命周期，以能评估货物系统设计寿命期间的特性。如果这些特性可能随时间退化，材料应尽可能在对应于其生命周期的环境下老化，例如操作温度、光、蒸气和安装（例如包装、袋、箱等）。

4.2.4.2 应选择热传导性和热容量的绝对值和可接受范围的要求，应作为对货物围护系统操作效率影响的考虑。还应特别注意相关货物装卸系统和部件（如安全释放阀以及蒸气回流和处理设备）的排量。

4.2.4.3 热试验应基于下表中所述的试验或等效试验：

热试验	绝热
热传导性	ISO 8301 ISO 8302
热容量	X

注：表中 X 代表需进行该项试验。

4.2.5 物理试验

4.2.5.1 除 4.19.2.3 和 4.19.3.2 的要求外，下表还提供关于可考虑的一些附加物理性能试验的指导和信息。

物理试验	弹性绝热	松散填充	纳米材料	微孔	粘合剂
粒径		x			
闭孔量				ISO 4590	
吸收/吸附	ISO 12571	x	x	ISO 2896	
粘度					ISO 2555 ISO 2431
适用期					ISO 10364
触变性					x
硬度					ISO 868

注：表中 X 代表需进行该项试验。

4.2.5.2 松散填充材料的分隔要求，应考虑到其在环境变化（例如热循环和振动）时对材料性能（密度、热传导性）潜在的不利影响。

4.2.5.3 对闭孔结构材料的要求应基于其在瞬态热相期间的气流冲击和缓冲能力。

4.2.5.4 同样，吸附和吸收要求应考虑到不受控的液体或气体缓冲可能对系统存在的潜在的不利影响。

5 质量保证和质量控制 (QA/QC)

5.1 通则

5.1.1 一旦选择某种材料，在进行本附录中所述的试验后，应有详细的质量保证/质量控制 (QA/QC) 程序以确保在安装和服务期间材料持续符合要求。该计划应从制造商的质量手册 (QM) 开始考虑材料，然后在货物系统建造期间遵循手册。

5.1.2 QA/QC 程序应包括加工、贮存、处理和防止材料暴露而受到有害影响的程序。这可包括，例如，阳光对某些绝热材料的影响或与个人产品（例如护手霜）接触造成材料表面污染。应规定 QA/QC 计划中的取样方法和检测频率以确保所选材料在其生产和安装期间持续符合要求。

5.1.3 当采用粉末或颗粒状绝热材料时，应采用能防止由于振动而使材料压实的布置。

5.2 部件制造期间的 QA/QC

用于部件制造的 QA/QC 程序应至少包括但不限于下列各项。

5.2.1 部件标识

5.2.1.1 对于每种材料，制造商应实施标记系统以清晰标识生产批号。标记系统决不能妨碍产品的特性。

5.2.1.2 标记系统应确保部件的可追溯性并应包括：

- 1 生产日期和可能的失效日期；
- 2 制造商的说明；
- 3 参考技术指标；
- 4 参考指令；和
- 5 如必需，运输和储存期间应保持的任何可能的环境参数。

5.2.2 生产取样和审核方法

5.2.2.1 生产期间要求定期取样以确保所选材料的质量水准和持续符合性。

5.2.2.2 在 QA/QC 程序中应规定频率、方法和应进行的试验，例如，这些试验通常包括原材料、过程参数和部件校核。

5.2.2.3 对于所选材料，生产 QC 试验的过程参数和结果应严格按照 QM 中的具体要求。

5.2.2.4 QM 中所述的审核方法的目的是确保过程的重复性和 QA/QC 计划的效力。

5.2.2.5 审核期间，审核员应能自由出入所有生产和 QC 区域。审核结果应按照相关 QM 中所述的值和公差。

6 粘接和连接过程的要求和试验

6.1 粘接工艺认证

6.1.1 粘接工艺和认证测试应按照公认标准规定。

6.1.2 工作开始前，应有完整粘接工艺以确保粘接性能可接受。

6.1.3 制定粘接工艺说明时，应考虑下列参数：

- 1 表面处理；
- 2 安装前材料的储存和处理；
- 3 覆盖时间；
- 4 适用期；
- 5 混合率，储存量；
- 6 环境参数（温度、湿度）；和
- 7 固化压力、温度和时间。

6.1.4 必要时可纳入附加要求以确保可接受的结果。

6.1.5 粘接工艺说明应通过适当的程序质量试验计划验证。

6.2 人员资质

6.2.1 粘接过程涉及的人员应经培训并符合公认标准的要求。

6.2.2 应定期进行试验以保持进行粘接作业的人员的水平，确保粘接质量的一致性。

7 生产中的粘接检测和控制

7.1 有损检测

生产期间，应选取有代表性的样品并进行检测以核查其符合设计要求的强度水平。

7.2 无损检测

7.2.1 生产期间，应进行对粘接完整性无害的检测，并使用适当的方法，例如：

- .1 目视检查；
- .2 内部缺陷探测（例如声音、超声波或剪切试验）；和
- .3 局部密性试验。

7.2.2 如果粘接必须提供密性作为其设计功能的一部分，按照设计方要求和 QA/QC 程序，安装结束后应完成货物围护系统整体密性试验。

7.2.3 QA/QC 标准应包括在建造及围护系统生命周期内的粘接部件的密性验收标准。



附录2 新颖形状的货物围护系统设计中极限状态方法的使用标准

1 通则

1.1 本标准的目的是按本规则 4.27 提供新颖形状的货物围护系统的极限状态设计的程序和相关设计参数。

1.2 极限状态设计是一种系统方法,对每个结构件按与本规则 4.3.4 中标识的设计条件相关的可能失效模式进行评估。极限状态可定义为超出后结构或部分结构不再满足要求的状态。

1.3 极限状态分为以下3类:

- .1 承载极限状态 (ULS),在完整(无破损)条件下,对应于最大承载能力,或在某些情况下,对应于最大适用应变、变形或屈曲和塑性破坏引起的结构不稳定;
- .2 疲劳极限状态 (FLS),对应于由于循环装载的影响造成的降级;和
- .3 意外极限状态 (ALS),与结构的抗意外状况能力有关。

1.4 根据货物围护系统概念,应符合本规则第4章A部分至D部分(如适用)。

2 设计格式

2.1 本标准中的设计格式基于载荷和抗力因子设计格式。载荷和抗力因子设计格式的基本原则是验证在任何情景下,对于任何所考虑的失效模式,设计载荷作用 L_d 不超过设计抗力 R_d :

$$L_d \leq R_d$$

设计载荷 F_{dk} 通过特征载荷乘以与给出的载荷种类相关的载荷因子获得:

$$F_{dk} = \gamma_f F_k$$

式中: γ_f 是载荷因子; 和

F_k 是本规则第4章的B部分和C部分中规定的特征载荷。

设计载荷作用 L_d (例如应力、应变、位移和振动) 是从设计载荷导出的最不利组合载荷作用,可从下列公式获得:

$$L_d = q(F_{d1}, F_{d2}, \dots, F_{dN})$$

式中: q 表示由结构分析确定的载荷和载荷效应之间的函数关系。

设计抗力 R_d 由下式获得：

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R \cdot \gamma_C}$$

式中：

R_k 系指抗力特征值。对于本规则第 6 章涉及的材料，其可为但不限于规定的最小屈服应力、规定的最小抗拉强度、横截面的塑性抗力和极限屈曲强度；

γ_R 系指抗力因子，定义为 $\gamma_R = \gamma_m \gamma_s$ ；

γ_m 系指考虑到材料特性（材料因子）概率分布的分项抗力因子；

γ_s 系指考虑到结构承载不确定性的分项抗力因子，例如建造质量，确定能力的方法的精度；和

γ_C 系指后果等级因子，说明故障可能造成的后果，包括货物泄放和可能的人员受伤。

2.2 货物围护设计应考虑到可能的失效后果。后果等级见表 1，规定在失效模式与承载极限状态、疲劳极限状态或意外极限状态有关时的失效后果。

表 1：后果等级

后果等级	定义
低	失效意味着较少货物泄放。
中	失效意味着货物泄放和人员受伤的可能性。
高	失效意味着大量货物泄放和极有可能造成人员伤亡。

3 要求的分析

3.1 三维有限元分析应作为液货舱和船体的组合模型进行，包括适用的支持件和键固系统。应确定所有失效模式以避免意想不到的失效。应进行水动力分析确定在不规则波中的特定船舶加速度和运动，以及船舶及其货物围护系统对这些力和运动的响应。

3.2 承受外部压力和引起压应力的其他载荷的液货舱应按照公认标准进行屈曲强度分析。方法应充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间的差别；此差别是因板不平整、板边不对中、平直性、椭圆度以及在规定弧长或弦长范围内存在的失圆度而引起。

3.3 疲劳和裂纹扩展分析应按照本标准的 5.1 进行。

4 承载极限状态

4.1 结构抗力可通过试验或完整的分析确定，并考虑到弹性和塑性材料特性。极限强度的安全裕量应根据分项安全因子，并考虑到载荷和抗力的随机性（动载荷、压力载荷、重力载荷、材料强度和屈曲能力）。

4.2 分析中应考虑永久载荷、功能载荷和环境载荷（包括晃荡载荷）的适当组合。至少 2 个具有表 2 中给出的分项载荷因子的载荷组合应用于评估承载极限状态。

表 2：分项载荷因子

载荷组合	永久载荷	功能载荷	环境载荷
'a'	1.1	1.1	0.7
'b'	1.0	1.0	1.3

载荷组合 'a' 中的永久和功能载荷的载荷因子与适用于货物围护系统的通常良好受控和/或规定的载荷有关，例如蒸气压力、货物重量、系统自重等。如预测模型中固有可变性和/或不确定性更高，高载荷因子可能与永久和功能载荷有关。

4.3 对于晃荡载荷，主管机关可根据计算方法的可靠性，要求较大的载荷因子。

4.4 如货物围护系统的结构失效极有可能造成人员受伤和大量货物泄放，后果等级因子应取作 $\gamma_c=1.2$ 。如果通过风险评估证明并经主管机关认可，该值可降低。风险评估应考虑的因素包括但不限于设有完整或部分次屏壁，以保护船体结构免于遭受与拟载运货物相关的泄漏和较小的危险。相反，主管机关可确定较高值，例如，对于载运更危险或更高压力货物的船舶。后果等级因子不得小于 1.0。

4.5 使用的载荷因子和抗力因子应使安全水平等于本规则 4.21 至 4.26 中所述的货物围护系统的安全水平。这可通过按已知的成功设计校准因子进行。

4.6 材料因子 γ_m 一般应反映材料力学性能的统计分布，并需要与规定的特有力学性能一起解释。对于本规则第 6 章中规定的材料，材料因子 γ_m 可取作：

1.1 当被认可组织规定的特有力学性能在力学性能的统计分布中代表较低的 2.5% 分位数；或

1.0 当被认可组织规定的特有力学性能代表足够小的分位数以使力学性能比规定值低的概率极低并可忽略不计。

4.7 分项抗力因子 γ_{st} 的确定一般应基于结构抗力的不确定性，并考虑到建造公差、建造质量、使用的分析方法的精度。

4.7.1 对于使用本标准 4.8 中给出的极限状态衡准针对过度塑性变形的的设计, 分项抗力因子

γ_{si} 应取:

$$\begin{aligned}\gamma_{s1} &= 0.76 \cdot \frac{B}{\kappa_1} \\ \gamma_{s2} &= 0.76 \cdot \frac{D}{\kappa_2} \\ \kappa_1 &= \text{Min} \left(\frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{B}{A}; 1.0 \right) \\ \kappa_2 &= \text{Min} \left(\frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{D}{C}; 1.0 \right)\end{aligned}$$

系数 A、B、C 和 D 的定义见本规则 4.22.3.1。 R_m 和 R_e 的定义见本规则 4.18.1.3。

上述给出的分项抗力因子是校准至传统 B 型独立液货舱的结果。

4.8 针对过度塑性变形的的设计

4.8.1 下列给出的应力验收衡准适用于弹性应力分析。

4.8.2 主要承受由结构中膜响应的承载货物围护系统部分应满足下列极限状态衡准:

$$\begin{aligned}\sigma_m &\leq f \\ \sigma_L &\leq 1.5f \\ \sigma_b &\leq 1.5F \\ \sigma_L + \sigma_b &\leq 1.5F \\ \sigma_m + \sigma_b &\leq 1.5F \\ \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3.0F \\ \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3.0F\end{aligned}$$

式中:

σ_m = 等效总体一阶膜应力

σ_L = 等效局部一阶膜应力

σ_b = 等效一阶弯曲应力

σ_g = 等效二阶应力

$$f = \frac{R_e}{\gamma_{s1} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_C}$$

$$F = \frac{R_e}{\gamma_{s2} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_C}$$

σ_m 、 σ_L 、 σ_b 和 σ_g 参见本规则 4.28.3 中应力分类的定义。

指导性说明:

上述应力总和应通过合成每个应力分量 (σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy})，随后应基于下列所示的合成应力分量计算等效应力。

$$\sigma_L + \sigma_b = \sqrt{(\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})^2 - (\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})(\sigma_{Ly} + \sigma_{by}) + (\sigma_{Ly} + \sigma_{by})^2 + 3(\tau_{Lxy} + \tau_{bxy})^2}$$

4.8.3 主要由纵桁、扶强材和板弯曲承载的货物围护系统部分应满足下列极限状态衡准:

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} \leq 1.25F \quad (\text{见注 1 和 2})$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} \leq 1.25F \quad (\text{见注 2})$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} + \sigma_{bt} + \sigma_g \leq 3.0F$$

注 1: 等效截面膜应力和主结构等效膜应力之和 ($\sigma_{ms} + \sigma_{bp}$) 通常可直接从三维有限元分析获得。

注 2: 考虑到设计概念、结构形状和应力计算所使用的方法, 主管机关可修改系数 1.25。

式中:

σ_{ms} = 主结构的等效截面膜应力

σ_{bp} = 主结构的等效膜应力以及主结构弯曲造成的次结构和第三级结构中的应力

σ_{bs} = 次结构中的截面弯曲应力和次结构弯曲造成的第三级结构中的应力

σ_{bt} = 第三级结构中的截面弯曲应力

σ_g = 等效二阶应力

$$f = \frac{R_e}{\gamma_{s1} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_C}$$

$$F = \frac{R_e}{\gamma_{s2} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_C}$$

应力 σ_{ms} 、 σ_{bp} 、 σ_{bs} 和 σ_{bt} 的定义见 4.8.4。 σ_g 的定义见本规则 4.28.3。

指导性说明:

上述应力总和应通过合成每个应力分量 (σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy})，随后应基于合成应力分量计算等效应力。

壳板应按照主管机关的要求进行设计。当膜应力较大, 应另外适当考虑膜应力对板弯曲能力的影响。

4.8.4 截面应力种类

正应力是垂直于基准平面的应力分量。

等效截面膜应力系指在被考察结构横截面范围内,均匀分布且等于应力平均值的正应力的分量。对于简单形状的结构截面,该截面膜应力可等于本标准 4.8.2 中规定的膜应力。

截面弯曲应力系指弯曲作用下结构截面上线性分布的正应力分量,如图 1 所示。

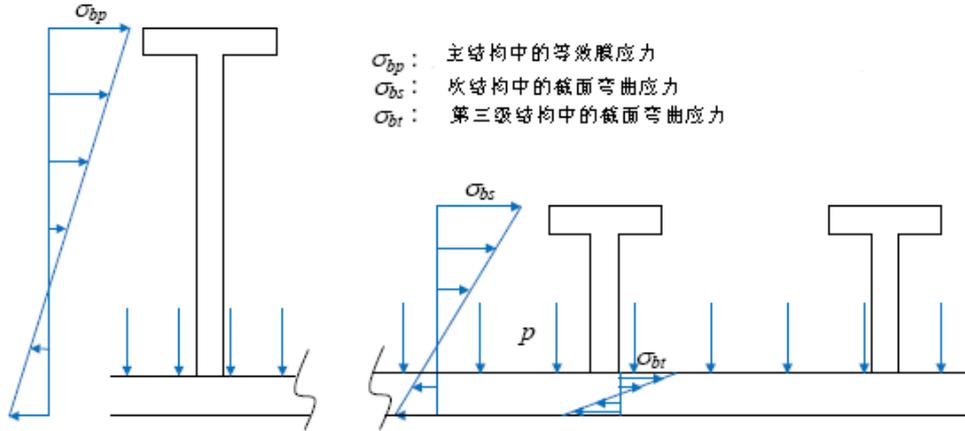


图 1: 3 种截面应力的定义

(应力 σ_{bp} 和 σ_{bs} 垂直于所示的横截面)

4.9 除公认的屈曲标准中另有规定外,防屈曲设计可采用相同的因子 γ_C 、 γ_m 、 γ_{si} 。在任何情况下,整体安全水平应不低于这些因子得到的安全水平。

5 疲劳极限状态

5.1 按照货物围护系统概念,应符合本规则 4.18.2 中所述的疲劳设计条件(如适用)。对于按本规则 4.27 和本标准进行设计的货物围护系统,应进行疲劳分析。

5.2 对于所有载荷种类,疲劳极限状态的载荷因子应取 1.0。

5.3 后果等级因子 γ_C 和抗力因子 γ_R 应取 1.0。

5.4 疲劳破损应按本规则 4.18.2.2 至 4.18.2.5 的要求进行计算。货物围护系统的计算疲劳累积损伤度应不大于表 3 中给出的值。

表 3: 许用最大疲劳累积损伤度

C_w	后果等级		
	低	中	高
	1.0	0.5	0.5*

注*: 根据缺陷或裂纹的可探测性,按本规则 4.18.2.7 至 4.18.2.9 的要求应采用更低值。

5.5 主管机关可确定低值，例如对于不能确保有效探测缺陷或裂纹的液货舱结构或载运更危险货物的船舶。

5.6 应按本规则 4.18.2.6 至 4.18.2.9 的要求进行裂纹扩展分析。分析应按标准的方法进行，该方法应经主管机关的认可。

6 意外极限状态

6.1 根据货物围护系统概念，应符合本规则 4.18.3 中所述的意外设计条件（如适用）。

6.2 对于破损和变形不致意外事故升级，可接受该破损和变形，载荷因子和抗力因子可较之承载极限状态放宽。

6.3 永久载荷、功能载荷和环境载荷，意外极限状态的载荷因子应取 1.0。

6.4 本规则 4.13.9（静横倾载荷）和 4.15（碰撞和船舶浸水引起的载荷）中所述的载荷无需进行相互间的合成，也无需与本规则 4.14 中规定的环境载荷进行合成。

6.5 抗力因子 γ_R 一般应取 1.0。

6.6 后果等级因子 γ_C 一般应按本标准 4.4 的规定选取，但考虑到意外事故的性质，可予适当放宽。

6.7 抗力 R_k 一般按承载极限状态选取，但考虑到意外事故的性质，可适当放宽。

6.8 附加相关的意外事故应基于风险评估确定。

7 试验

7.1 根据货物围护系统的概念，按本标准设计的货物围护系统应按本规则 4.20.3 的要求进行试验。

附录3 缩略语索引

缩略语	中文名称
AcC	加速冷却
AD2000	德国《压力容器规范 AD2000》
ALS	意外极限状态
ASME	美国机械工程师学会
CR	控制轧制
FLS	疲劳极限状态
FMEA	故障模式和影响分析
FSS	消防安全系统规则
GCU	气体燃烧装置
IACS	国际船级社协会
IBC	国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则
IEC	国际电工委员会
IMO	国际海事组织
IS Code	国际完整稳性规则
ISO	国际标准化组织
JIS	日本工业标准
MARVS	液货舱释放阀的最大允许调定值
MFAG	医疗急救指南
NDT	无损检测
PD5500	欧盟《非直接火焊接压力容器规范 PD5500》
PRV	压力释放阀
SIGTTO	国际气体运输船和码头经营者协会
SOLAS	经修正的 1974 年国际海上人命安全公约
TMCP	温度-形变控制轧制
ULS	承载极限状态
CCS	中国船级社