

中 国 船 级 社

散装运输液化气体船舶构造与设备规范

修改通报

2021

2021 年 7 月 1 日生效

目 录

第 2 篇 入级检验和船体结构的补充规定 1
第 A2 章 入级与检验 1
第 2 节 入级符号与附加标志 1
第 3 节 检验 2
第 A3 章 图纸和资料的送审 4
第 A4 章 船体结构和液货舱结构 5
附录 1 A 型和 B 型棱形独立液货舱船舶的补充规定 6
第 3 节 棱形独立液货舱结构尺寸 6
第 4 节 直接计算强度评估 6
第 5 节 温度场计算和钢级选取 33
附录 2 C 型独立液货舱船舶的补充规定 34
第 1 节 一般规定 34
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 34
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 39
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 40
附录 3 独立液货舱船舶疲劳强度评估的补充规定 42
第 2 节 独立~~液货~~舱型液化气体船的船体及其液货舱支撑结构的疲劳强度评估 42
第 3 节 B 型独立液货舱结构疲劳强度评估 42
第 4 节 B 型独立舱断裂裂纹扩展评估和泄漏分析 43
第 3 篇 国际散装运输液化气体船舶构造与设备规则 46
第 4 章 货物围护 46
D 部分 材料和构造 46
第 5 章 处理用受压容器及液体、蒸气和压力管系 47
第 6 章 构造材料和质量控制 50
第 8 章 货物围护的透气系统 51
第 11 章 防火与灭火 53
第 13 章 仪表和自动化系统 55
第 16 章 用货物作燃料 56

第 2 篇　入级检验和船体结构的补充规定

第 A2 章　入级与检验

第 2 节　入级符号与附加标志

A2.2.2　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~~

① 液化气体运输船　　Liquefied Gas Carrier

对于主要载运本规范第3篇第19章所列货品中某一个或几个货品的船舶，可在“Carrier”后加注“for+货品名称”，货品名称见本规范第3篇第19章最低要求一览表中的a栏，如：

液化乙烷运输船　　Liquefied Gas Carrier for Ethane

液化丁烷、丁烷/丙烷混合物运输船　　Liquefied Gas Carrier for Butane, Butane and Propane mixture

② 对专门载运液化天然气的液化气体船舶，可授予以下附加标志：

液化天然气运输船　　LNG Carrier

（2）其他附加标志：

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×××Mpa　　Max. Vapour Pressure　×××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 ×××℃　　Min. Cargo Temperature ×××℃

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××× t/m^3　　Max. Cargo Density　××× t/m^3

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/m^3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

~~⑦ 对于主要载运本规范第3篇第19章所列货品中某一个或几个货品的船舶，可在“Carrier”后加注“for+货品名称”，货品名称按本规范第3篇第19章的最低要求一览表的a栏，如：~~

~~液化乙烷运输船　　Liquefied Gas Carrier for Ethane~~

~~液化丁烷、丁烷/丙烷混合物运输船　　Liquefied Gas Carrier for Butane, Butane and Propane mixture~~

第 3 节　检验

A2.3.2　建造后检验

A2.3.2.2　年度检验

（18）尽可能检查货物、燃料、压载和透气管系统，包括压力释放阀（PRV）、真空释放阀、透气管桅和防护屏，并确认压力释放阀（PRV）已经型式认可或标有检验日期；

A2.3.2.3　中间检验

~~（5）确认干化学粉灭火系统分配管系采用干燥空气进行的畅通试验。~~

（~~6~~5）确认用于钢结构的加热装置（如有时）合格；

（~~7~~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。

（~~8~~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。

（~~9~~8）其他：

以货物为燃料的安全系统和仪表应进行检查。

第 A3 章　图纸和资料的送审

A3.1　入级证书图纸和资料

A3.1.2.1　船体结构

（1）A、B 型独立液货舱型液化气体运输船：

① 液货舱结构图；

② ~~支撑结构（支撑块、止浮、止摇装置）（加强）图（也可包含在液货舱结构图中）；~~液货舱支撑结构（含垂向支座、防横摇装置、防纵摇装置、止浮装置）图（也可包含在液货舱结构图中）；

③ 应急拖带及单点系泊装置布置图（适用于载重量不小于 20000t 的液化气体船）。

A3.1.2.2　机电及其他专业

（49）货物围护系统的检查/检验计划（现场批准）；

~~（49）~~（50）CCS 认为需要的其他图纸和资料。

第 A4 章　船体结构和液货舱结构

A4.1　一般要求

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舱结构，见本篇附录 2；

（3）液化气体运输船及液货罐舱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~~气体运输船结构，见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 20 章“薄膜型液化~~天然气~~气体运输船”。

A4.4　~~疲劳和断裂裂纹扩展评估~~液化气体运输船及独立舱结构的疲劳强度要求

~~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 3 节　棱形独立液货舱结构尺寸

3.2　液货舱周界结构

3.2.4　~~对于液货舱止浮装置和止摇装置及垂直支撑块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~~对于液货舱支撑结构中的垂向支座、防横摇装置、防纵摇装置位置处的液货舱周界扶强材，其剖面模数应在 3.2.3 计算之值基础上增加 25%。

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体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~~独立舱支撑结构（层压木+支承座），含垂向支座、防横摇装置、防纵摇装置、止浮装置（以下统称“支撑结构”）的强度。

4.1.3　应至少对中部货舱结构强度进行分析。若首、尾货舱的~~舱室~~布置与构造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。

4.1.4　本节中涉及的有限元模型结构尺寸应采用建造尺寸。

4.2　舱段有限元模型

4.2.1　舱段有限元模型的范围如下：

（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支撑结构~~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纵向范围应覆盖首部货舱、第 2 货舱的一半及首尖舱。首尖舱部分可~~中止于~~取到强框架处。尾部货舱有限元模型纵向范围应覆盖尾货舱、机舱的一半及尾货舱前货舱的一半。

（3）舱段有限元模型横向范围取整个船宽，垂向范围取整个型深。

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~~1.5.6。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。

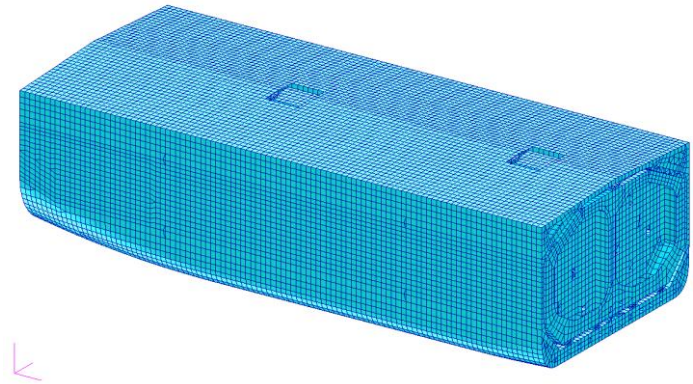


图 4.2.2（1）　舱段有限元模型

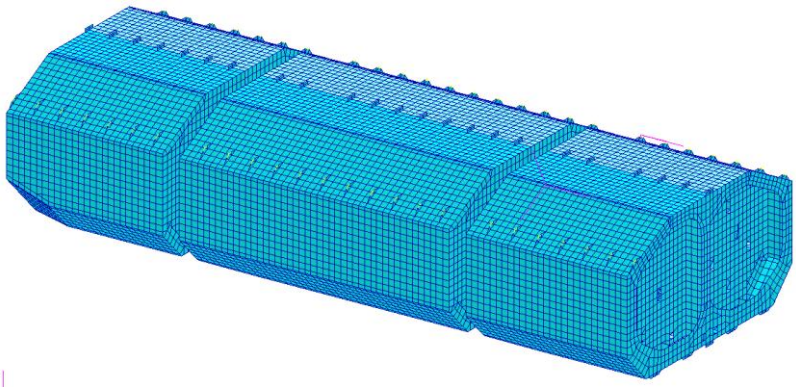


图 4.2.2（2）　独立舱结构

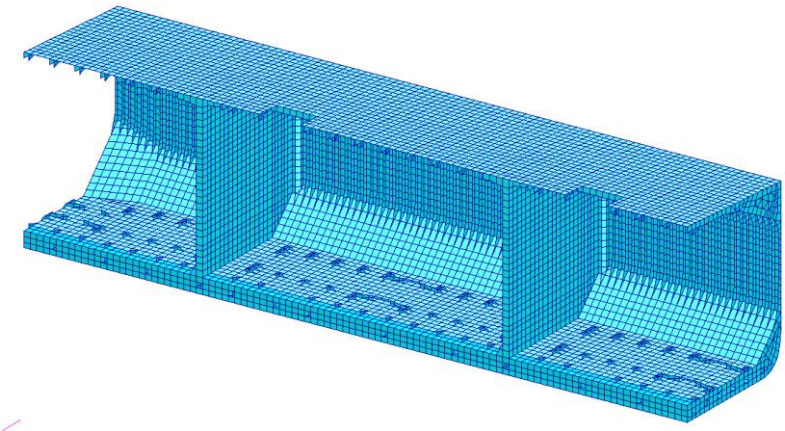


图 4.2.2（3）　纵剖面视图（仅示船体左舷部分）

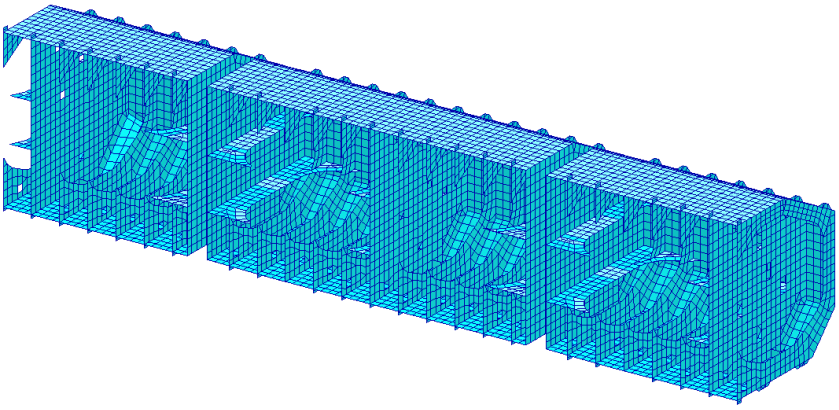


图 4.2.2（4）　纵剖面视图（仅示独立舱左舷部分）

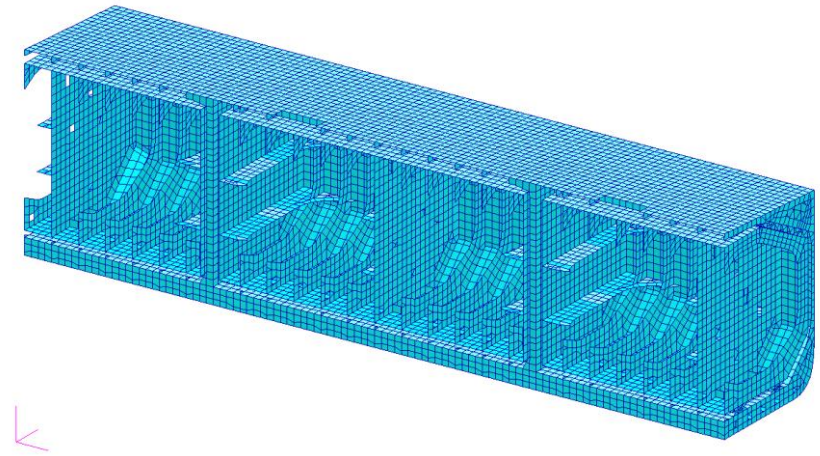


图 4.2.2（5）　纵剖面视图（仅示船体+独立舱左舷部分）

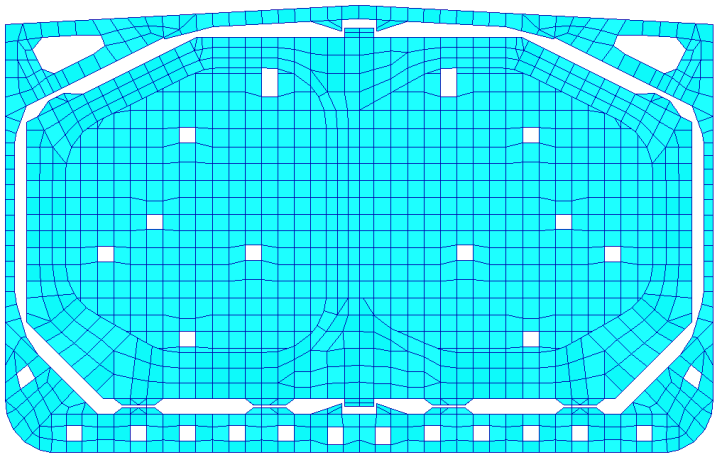


图 4.2.2（6）横剖面视图（制荡舱壁处）

4.2.3　货舱支承座与船体支承座之间通常设有（安装于环氧树脂层之上的）层压木，与上述两

个支承座以接触方式传递载荷，见图 4.2.3（1）。~~独立舱的限位装置和支撑结构~~层压木为承压装置，不承受拉力。~~因此在~~用有限元对该类结构进行模拟时，可按如下实施：

（1）用线性的杆单元或弹簧单元等效模拟~~限位装置和~~支撑结构的层压木刚度，~~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；~~

对于粗网格模型，通常可以在支承座纵、横有效支撑肘板的连接位置处设置杆单元或弹簧单元，其个数取决于层压木范围内其支承座长度。见如下示意图 4.2.3（2）。

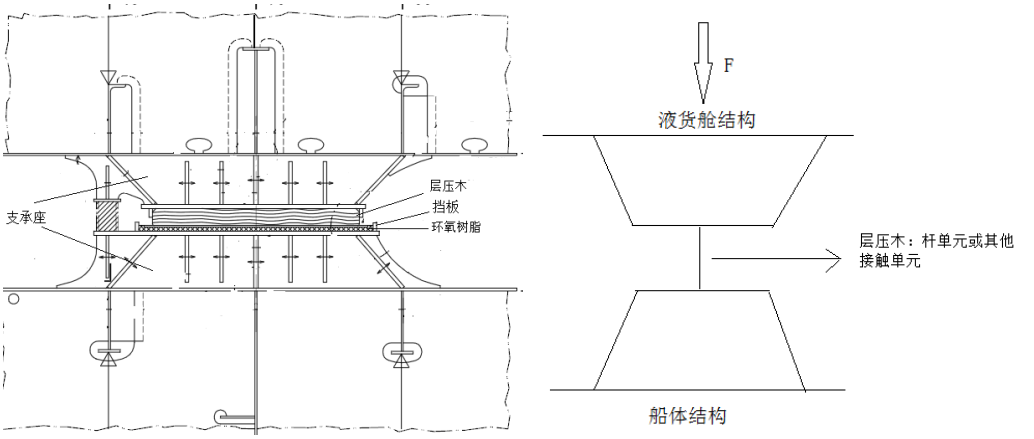


图 4.2.3（1）独立舱支撑结构示意图（支承座+层压木+环氧树脂）

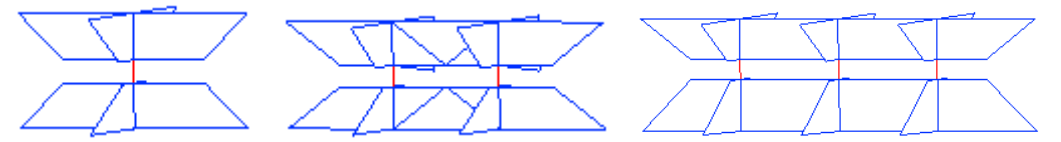


图 4.2.3（2）支撑结构的层压木接触杆单元个数示意图

（2）支撑结构的层压木可采用适用的通用程序中的非线性接触单元，比如间隙单元、实体单元予以模拟。~~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；~~

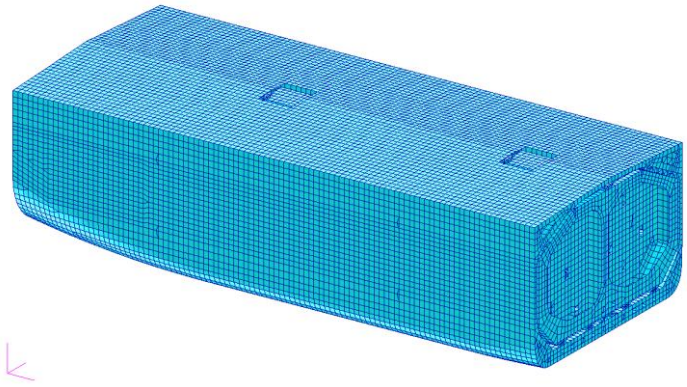
~~② 水平桁端肘板；~~

~~（3）限位装置和支撑结构底座细化区域，包括：~~

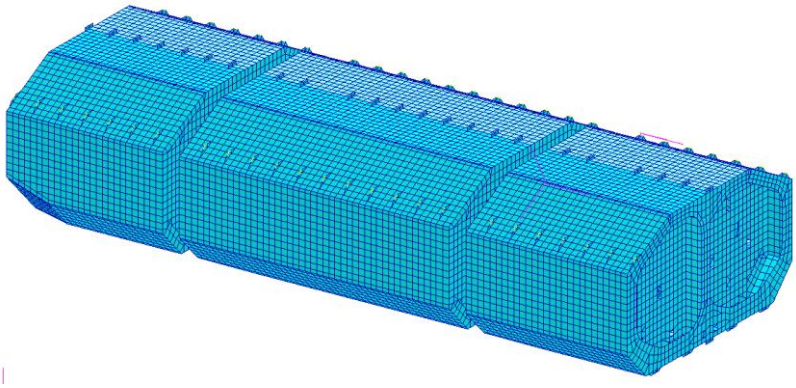
~~① 支撑结构的底座肘板；~~

~~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。~~

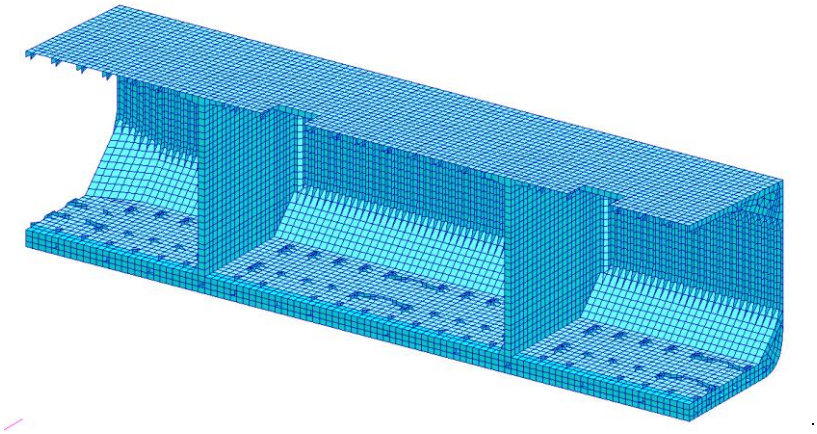
~~细化筛选原则为：同一类节点形式（支撑结构）中选取应力最大的进行细化分析，可将该结构的加强方案推广到同一类节点（支撑结构）中。~~



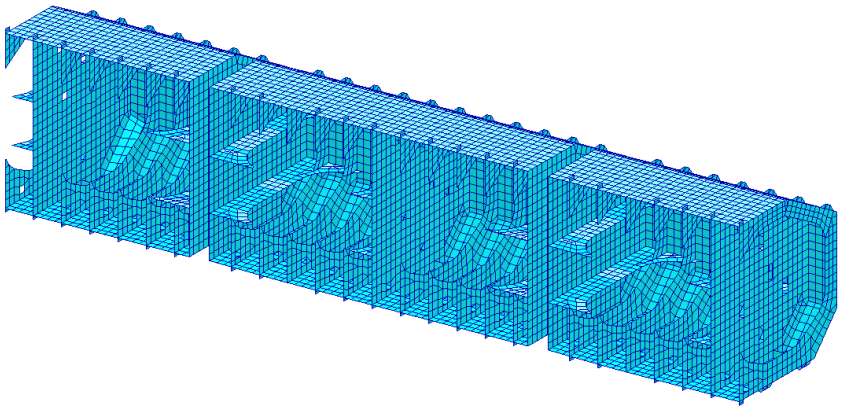
~~**图 4.2.2（1）　舱段有限元模型**~~



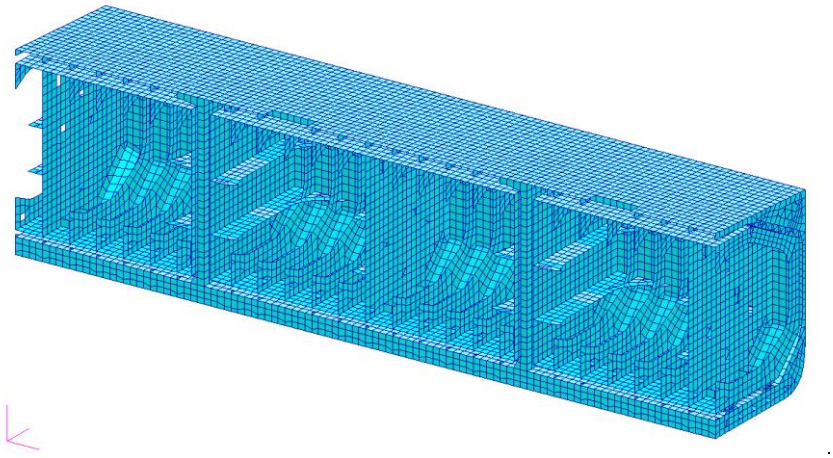
~~**图 4.2.2（2）　独立舱结构**~~



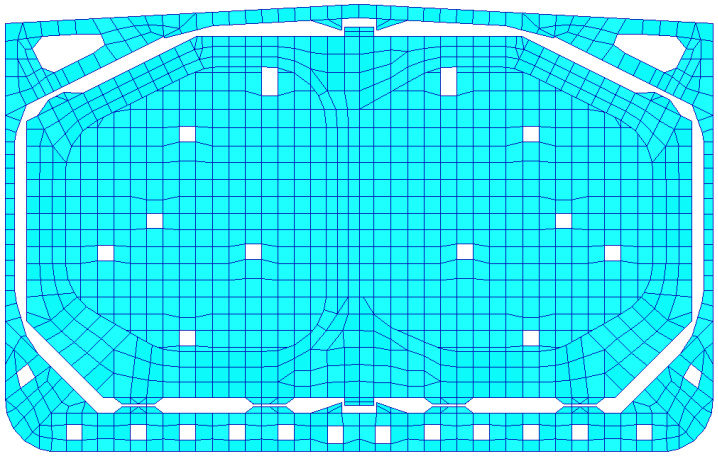
~~图 4.2.2（3）　剖视图（仅船体）~~



~~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~~货静压力、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结构、独立舱结构（包括绝缘材料）、支撑结构~~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~~舱段评估范围内的最大许用静水弯矩，评估范围见本节 4.5.1；

（2）垂向波浪弯矩，按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1 相关要求取值。

4.3.3　舷外水压力包括海水动压力和海水静~~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）海水静~~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 LC4、LC6、LC7~~、11 还~~需考虑横倾 30°，LC11 需考虑最大横倾角且不大于 30°状态时的水线倾斜引起的压力变化。

（2）工况 LC1 中的海水动压力根据 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海水动压力载荷。

（3）工况 LC3 中的水线以上海水动压力的计算方法同（2），水线以下外板上任何一点的海水动压力 p_{pp} 按下式计算：

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

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

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

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

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_{corr}——船形修正系数，取 $0.97C_b$+0.08；

z——计算点至基线的垂向距离，m；

f_{nl}——非线性系数，取 ~~0.65~~0.64；

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；

B——船宽，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 给出的加速度分量指导公式。

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)~~加速度系数(k_x，k_y，k_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~~自重和惯性力，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。舱段分析中，对于工况 LC8 和工况 LC9 应考虑垂向支座的摩擦力，当设计方未提供摩擦系数时，摩擦系数可取为 0.1。

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 LC1：校核迎浪工况下外部压力最大时船体~~及~~、独立舱及支撑结构的响应。此时目标舱为空舱，吃水达到结构吃水，并考虑舷外海水动压力（波峰）；

（2）工况 LC2：校核迎浪工况下内部压力最大时船体~~及~~、独立舱及支撑结构的强度。此时目标舱为满舱，并考虑最大的垂向加速度；吃水取 0.75d，舷外海水压力仅考虑海水静载荷；

（3）工况 LC3：校核横浪工况下外部压力最大时船体~~及~~、独立舱及支撑结构的强度。此时目标舱为空舱，吃水达到结构吃水，并考虑舷外海水动压力，计算方法见 4.3.3（3），波浪弯矩取其折减值 ~~0.6~~0.3M_w（+）；

（4）工况 LC4：校核横浪工况下内部压力最大时船体~~及~~、独立舱及支撑结构的强度。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 ~~0.6~~0.3M_w（-）；

（5）工况 LC5：考核单侧装载时独立舱纵舱壁及其舱壁支撑结构~~及其支撑结构~~的强度。此时仅考虑局部静载荷；

（6）工况 LC6：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 LC7：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 LC8：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~~货静压力，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 LC9：考核碰撞工况下独立舱及其支撑结构的强度。此时时舷外水压力、总体载荷仅考虑静载荷，液舱压力考虑液~~体~~货静压力，以及独立舱结构和液货以（-）0.25g 向后方作用的惯性力；

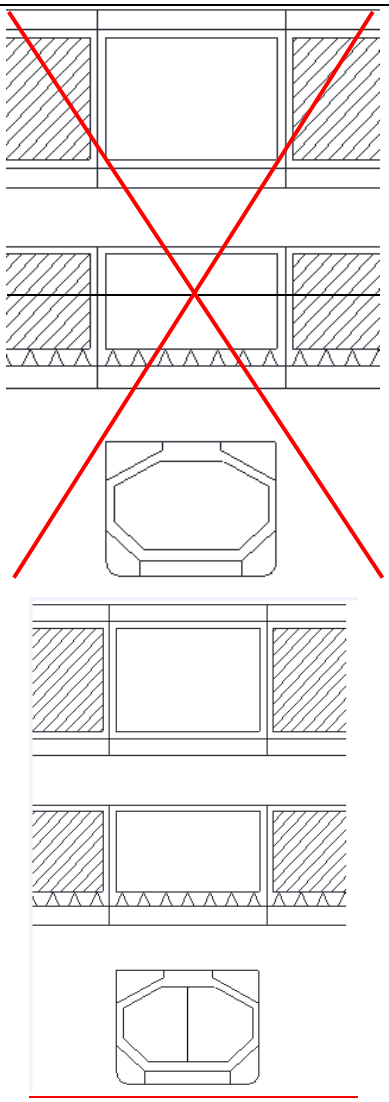
（10）工况 LC10：考虑进水情况下~~独立舱，以及~~止浮装置及其附近船体支撑结构的强度。此时仅考虑静载荷，进水高度取结构吃水；

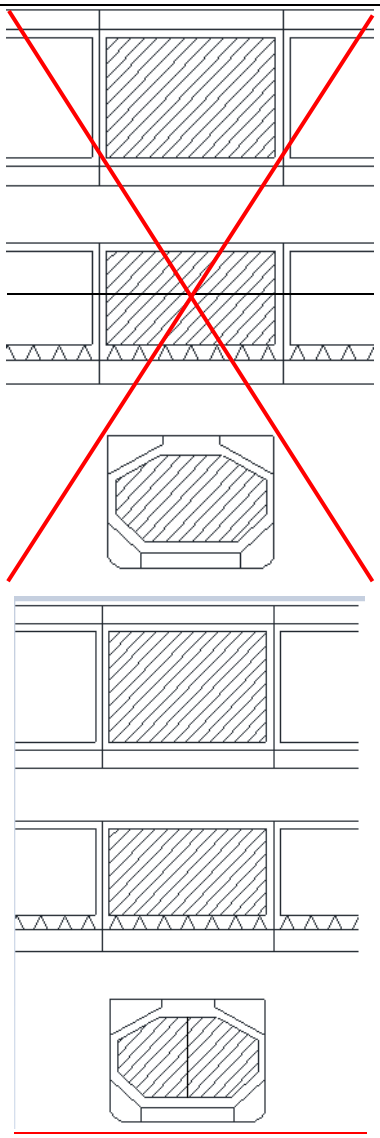
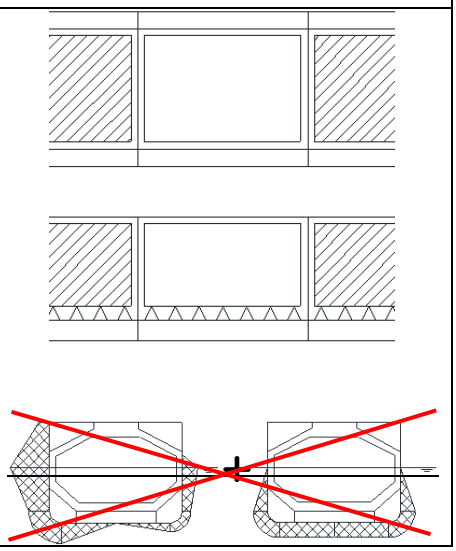
（11）工况 LC11：考虑破损进水情况下的横舱壁结构强度~~，~~。评估时假设船体与独立舱之间的空舱及双层底区域进水但独立舱液货无泄漏。工况中~~平衡~~水线位置~~根据~~取破舱稳性计算得到的最深平衡水线位置，同时最大横摇角按照 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.2.1 计算且不大于 30°~~。如根据初步破舱稳性计算结果，应考虑适当裕度~~；

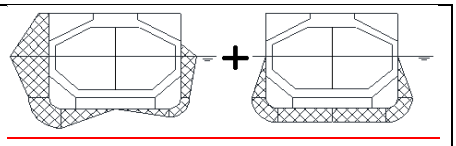
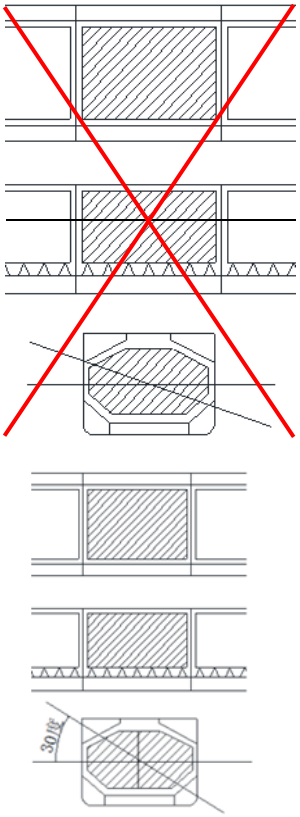
（12）工况 LC12：考虑试验工况或失火工况下液舱内压力升高时独立舱的强度。试验工况压力

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	校核范围	吃水	~~外部压力~~舷外水压[1]	加速度系数 (k_x, k_y, k_z)	静水弯矩系数[4]	波浪弯矩系数[2]	装载模式
LC1	船体结构、独立舱及其支撑结构	~~1.0~~*d*	S+D	（0,0,0）	1	1	

LC2	船体结构、独立舱及其支撑结构	0.75*d*	S	(0，0，1)	-1	-1	
LC3	船体结构、独立舱及其支撑结构	*d*[3]	S+D	（0,0,0）	1	~~0.6~~ 0.3	

							
LC4	船体结构、独立舱及其支撑结构	0.75*d*	S	（0，1，0）	-1	~~-0.6~~ -0.3	

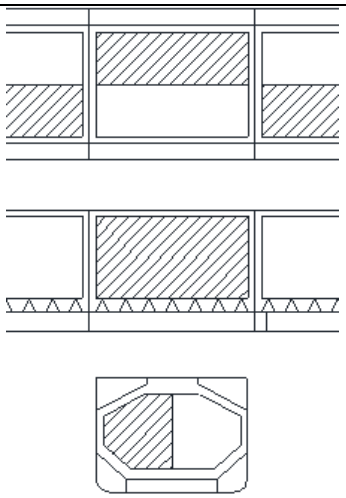
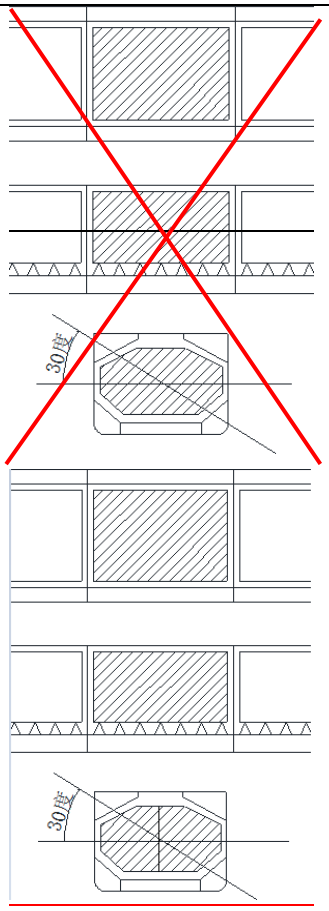
注[1]：S 表示仅考虑海水静压力，S+D 表示考虑海水动压力和海水静压力，计算方法见 4.3.3；

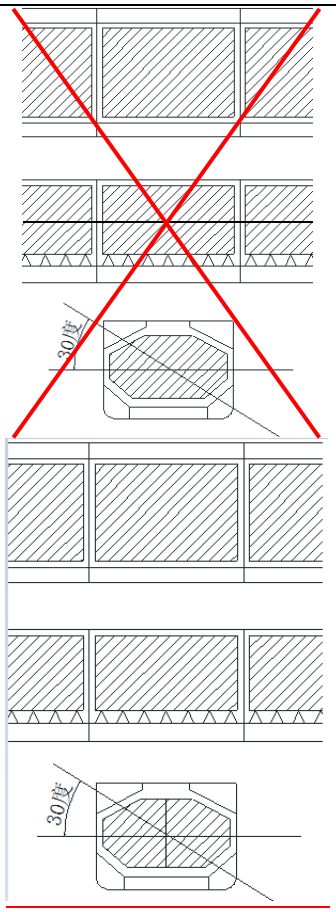
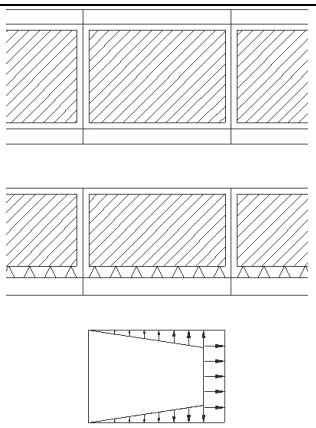
[2]：该值表示计算中施加的波浪弯矩的比例，且中拱为正，中垂为负，计算方法见 4.3.2~~.~~；

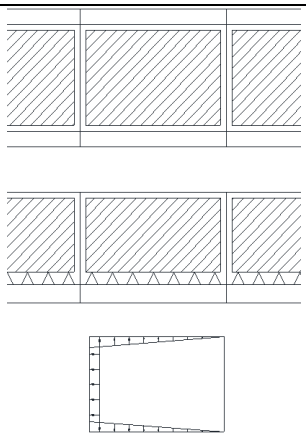
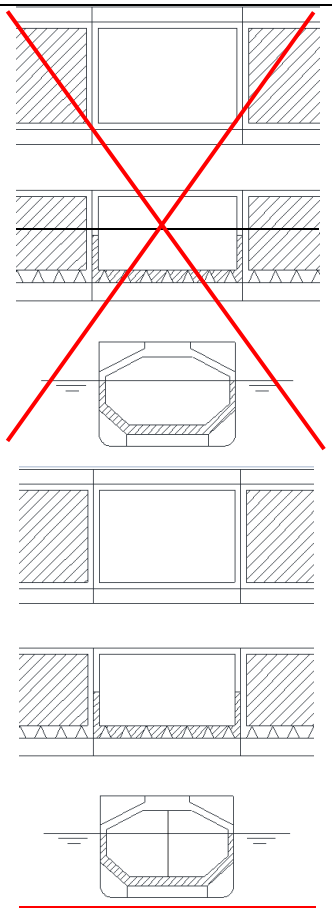
[3]：可取装载手册中该工况出港/到港船中处最大吃水；

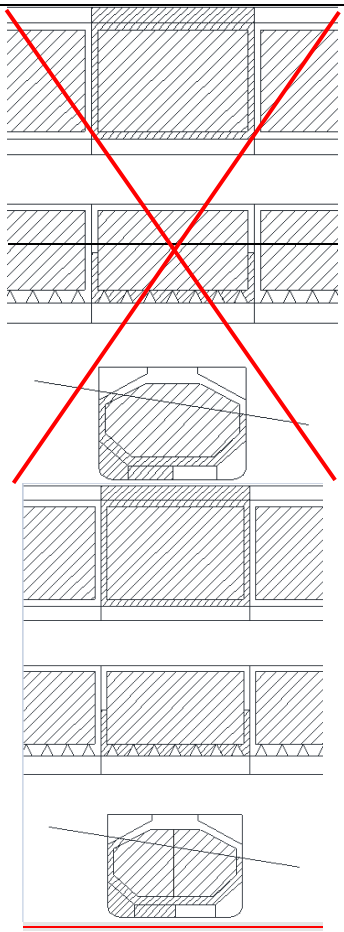
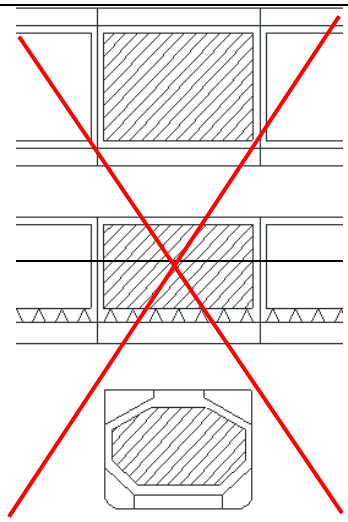
[4]：静水弯矩系数，中拱为正，中垂为负。

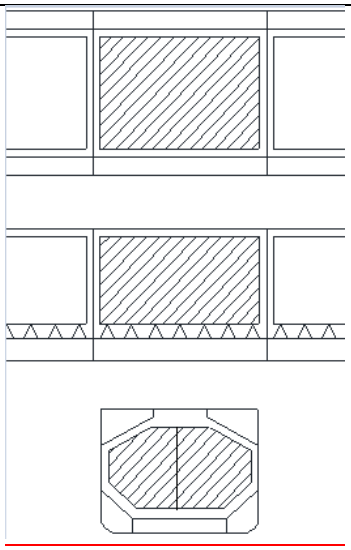
直接计算工况（非航行工况）　　表 4.3.6(2)

工况	校核范围	主载荷	吃水	舷外水压 ~~外部压力~~	~~内部压力~~ ~~(a_x, a_y, a_z)~~ 加速度系数 (k_x, k_y, k_z)	静水弯矩系数[1]	波浪弯矩系数	装载模式
LC 5	独立舱纵舱壁及其舱壁支撑结构	单侧装载	0.5d	S	（0,0,0）	0	0	
LC 6	独立舱及其支撑结构	静横倾	d_A 单舱装载时的最小吃水	S	（0,0.5,0）	-1	0	

LC 7	独立舱及其支撑结构	静横倾	*d*	S	（0,0.5,0）	1	0	
LC 8	独立舱及其支撑结构	~~前方~~向前碰撞	*d*	S	（0.5,0,0）	1	0	

LC 9	独立舱及其支撑结构	~~后方~~向后碰撞	*d*	S	（-0.25,0,0）	1	0	
LC 10	止浮装置及其附近船体支撑结构	进水	*d*	S	（0,0,0） ~~考虑进水对独立舱的浮力~~	0	~~0.6~~ 0	

LC 11	船体横舱壁结构	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	独立舱及其支撑结构	测试/失火	~~D~~ *0.75d*	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	

								
注[1]：静水弯矩系数，中拱为正，中垂为负。								

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　单舷侧独立舱型液化气体运输船局部载荷工况下的边界条件见表 4.4.2（1）和图 4.4.2（1）。双舷侧独立舱型液化气体运输船局部载荷工况下的边界条件见表 4.4.2（2）和图 4.4.2（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：

4.4.2.1　前端面与后端面施加对称面边界条件，端面内节点的纵向线位移、绕端面内两个坐标轴的角位移约束，即：$\delta_x=\theta_y=\theta_z=0$。

4.4.2.2　舷侧外板、内壳板、顶边舱斜板、底边舱斜板（包括底边舱斜板下的旁纵桁）与中部货舱前后舱壁交线上应设置垂向弹簧单元；主甲板、内底板（包括底边舱斜板和相连的水平桁）、外底板与中部货舱前后舱壁交线上应设置水平弹簧单元。弹簧单元均匀分布，弹性系数按下式计算：

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

式中：G——材料的剪切弹性模量，N/mm^2，对钢材，$G = 0.792\times10^5$ 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；~~对于垂向弹簧，为前后舱壁处舷侧外板、内壳板、顶边舱斜板、底边舱斜板（包括底边舱斜板下的旁纵桁）的垂向投影面积；对于水平弹簧，为主甲板、内底板（包括底边舱斜板和相连的水平桁）、外底板的水平方向投影面积，mm^2；

l_H——中部货舱长度，mm；

n——~~弹簧约束的节点数量~~构件上施加弹簧单元的节点数目。

单舷侧独立舱型液化气体运输船局部载荷边界条件　　表 4.4.2（1）

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
前端面	固定	—	—	—	固定	固定
后端面	固定	—	—	—	固定	固定
线 AA’、BB’、CC’、DD’	—	—	弹簧	—	—	—
线 AB、A’B’、CD、C’D’	—	弹簧	—	—	—	—

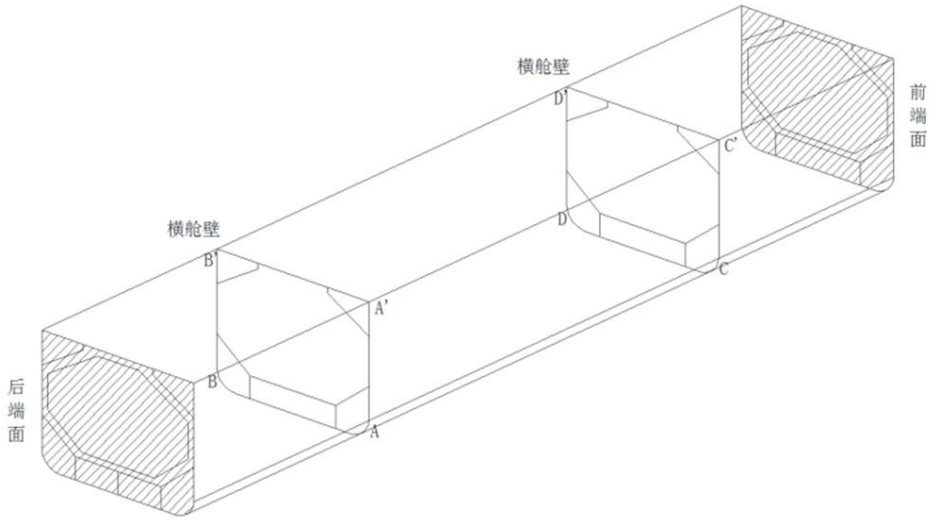


图 4.4.2（1）　单舷侧独立舱型液化气体运输船边界条件施加位置示意图

双舷侧独立舱型液化气体运输船局部载荷边界条件　　表 4.4.2（2）

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
前端面	固定	—	—	—	固定	固定
后端面	固定	—	—	—	固定	固定
线 ABCD、GHIE、A'B'C'D''、G'H'I'E'	—	—	弹簧	—	—	—
线 KGA、JIHB、FEDC、K'G'A'、J'I'H'B'、F'E'D'C'	—	弹簧	—	—	—	—

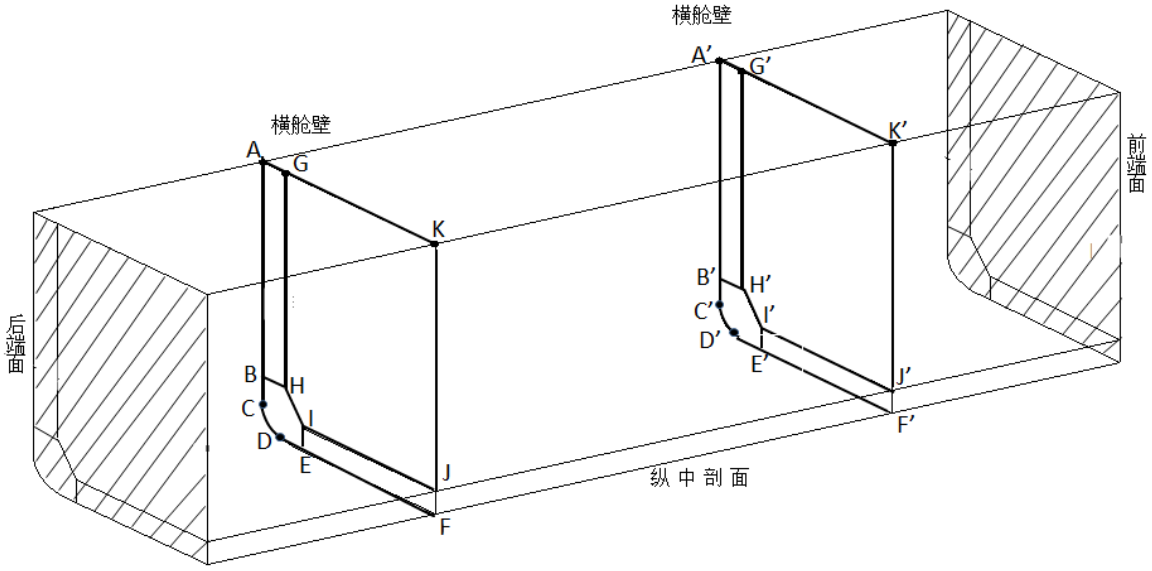


图 4.4.2（2）　双舷侧独立舱型液化气体运输船边界条件施加位置示意图（仅示左舷部分）

4.4.3　~~整体~~总体载荷工况下的边界条件见表 4.4.3 和图 4.4.2（1）与 4.4.2（2）。

4.4.3.1　前端面内中和轴与纵中剖面相交处建立一个独立点，在独立点上施加总纵弯矩，端面各纵向构件节点自由度 δ_x、δ_y、δ_z 与独立点相关。后端面刚固，6 个自由度约束，即 $\delta_x=\delta_y=\delta_z=\theta_x=\theta_y=\theta_z=0$。

~~**总体载荷边界条件　　表 4.4.3**~~

位置	边界条件	说明
后端面	$\delta_x=0$、$\delta_y=0$、$\delta_z=0$， $\theta_x=0$、$\theta_y=0$、$\theta_z=0$，	δ_x、δ_y、δ_z分别为 x、y 和 z 方向的线位移自由度， θ_x、θ_y、θ_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	

总体载荷边界条件　　表 4.4.3

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	ϑ_x	ϑ_y	ϑ_z
后端面	固定	固定	固定	固定	固定	固定
前端面	相关	相关	相关	—	—	—
前端面独立点	—	—	—	—	弯矩	—

4.5　接受衡准屈服强度评估

~~4.5.1　屈服强度~~

4.5.1　应对舱段模型纵向范围内中间货舱（含前后横舱壁并向前后各延伸一个强框距离）的主要构件，含船体结构、独立舱结构、~~独立舱限位装置、底座和~~独立舱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：

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

式中：σ_x——单元 x 方向的应力，N/mm^2；

σ_y——单元 y 方向的应力，N/mm^2；

τ_{xy}——单元 xy 平面的剪应力，N/mm^2。

对于主要构件面板的梁单元或杆单元，应校核其轴向应力 σ_{rod}，N/mm^2。

各工况下，~~各结构部分~~船体结构，独立舱及其支撑结构的许用应力见表 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~~	~~—~~

船体结构的许用应力，N/mm²　　表 4.5.1（1）

工况	板单元许用相当应力[σ_e] 和梁单元、杆单元许用轴向应力[σ_{rod}]
LC1- LC4	220/K
LC10- 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]和[σ_{rod}]	镍钢、碳锰钢[σ_e]和[σ_{rod}]	奥氏体钢，铝合金[σ_e]和[σ_{rod}]
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~~ 4.5.2　应对~~限位装置~~独立舱支撑结构中的~~垫块~~层压木~~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，层压木~~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 4.5.2 ~~表 4.5.3~~。

限位垫块及支撑结构层压木的安全系数　　表 4.5.2 ~~表 4.5.3~~

工况	~~支撑结构~~垂向支座	~~防纵摇限位垫块~~装置	~~防横摇限位垫块~~装置	~~止浮垫块~~装置
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~~不适用”。				

~~4.5.4~~4.6　屈曲强度评估

4.6.1　构件的标准减薄厚度

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。评估中临界屈曲应力应考虑适当的标准减薄厚度，各构件的标准减薄厚度见~~表 4.5.4（1）~~表 4.6.1。~~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~~

标准减薄厚度（mm）　表 4.6.1

位置		标准减薄厚度
船体结构：露天甲板下 1.5m 内的压载水舱	一面与压载水相连	1
	两面与压载水相连	2
独立舱结构		1（液货有腐蚀） 0（液货无腐蚀）
独立舱支撑结构		0
其余构件		1

4.6.2　板格屈曲安全因子 λ 应不小于表 4.6.2 中的最小屈曲安全因子。

~~**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~~

最小屈曲安全因子　表 4.6.2

工况	船体结构		独立舱及支撑结构
LC1- LC 4	主要构件[1] 0.9	其他 0.8	0.9
LC5	—		0.9
LC6- LC 7	—		0.9
LC8- LC 9	—		0.8
LC10	0.8		0.8
LC11	0.8		—
LC12	—		0.8
注[1]：底边舱斜板下的旁纵桁除外。			

4.7　细化模型及评估

4.7.1　一般要求

应对 4.5.1 要求的评估区域船体结构、独立舱结构及支撑结构的高应力关键区域进行细化网格分析。对于细化网格分析，应沿着支撑结构支承座面板长度方向的中线每个节点均设一个杆单元模拟支撑结构的层压木。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。如采用更小的网格尺寸，可采用面积加权平均法进行评估，见表 4.7.7.1 的相关要求。

4.7.2　评估位置

通常情况下，应对如下位置进行细化网格分析，细化模型示意图见图 4.7.3.1~图 4.7.3.3 及图 4.7.4.1~图 4.7.4.4。

（1）船体结构细化网格分析的关键区域，包括：

①气室开孔；

②舷侧肋骨上、下肘板趾端；

③横舱壁垂直扶强材的下肘板与内底板的连接；

（2）独立舱的支撑结构细化网格分析的关键区域，包括：

①垂向支座结构及其附近的船体结构与独立舱结构；

②防横摇装置及其附近的船体结构与独立舱结构；

③防纵摇装置及其附近的船体结构与独立舱结构；

④止浮装置及其附近的船体结构与独立舱结构。

独立舱支撑结构细化网格分析筛选原则为：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应用到同一类节点（支撑结构）中。对于独立舱的各种支撑结构，如果设计形式或尺寸不同时，应分别校核。

4.7.3　船体结构细化网格分析模型

4.7.3.1　气室开孔

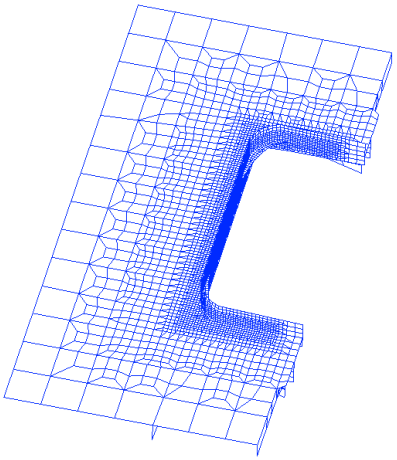


图 4.7.3.1　气室开孔示意图

4.7.3.2　舷侧肋骨上、下肘板趾端

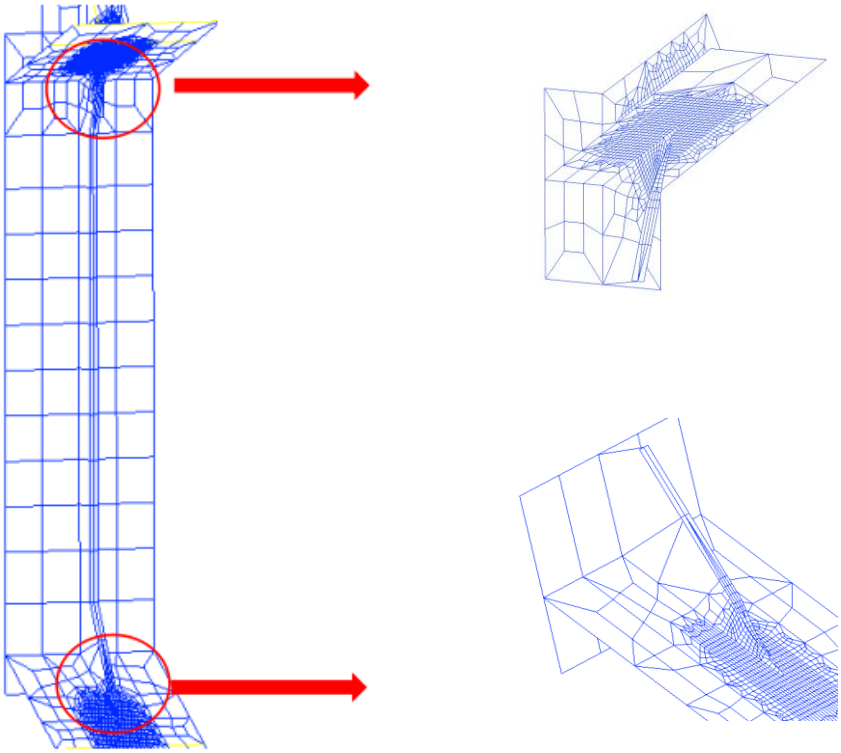


图 4.7.3.2　舷侧肋骨上下肘板趾端示意图

4.7.3.3　横舱壁垂直扶强材的下肘板与内底板的连接

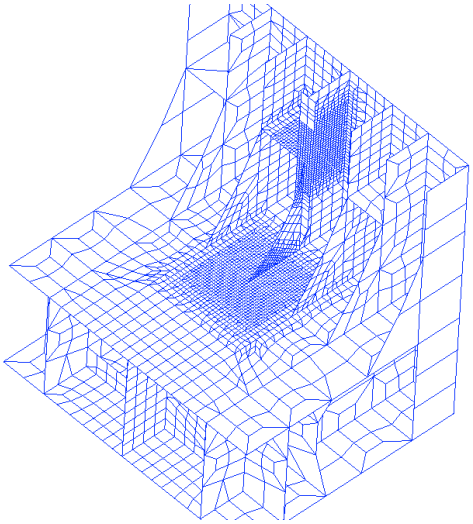


图 4.7.3.3　横舱壁垂直扶强材的下肘板与内底板的连接示意图

4.7.4　独立舱的支撑结构细化网格分析模型

4.7.4.1　垂向支座结构及其附近的船体结构与独立舱结构

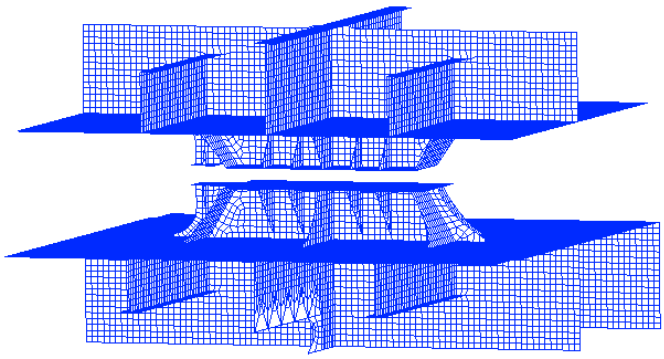


图 4.7.4.1　垂向支座结构及其附近的船体结构与独立舱结构示意图

4.7.4.2　防横摇装置及其附近的船体结构与独立舱结构

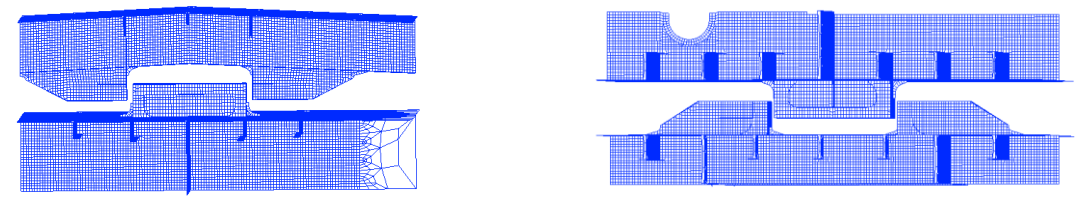


图 4.7.4.2　上、下防横摇装置及其附近的船体结构与独立舱结构示意图

4.7.4.3　防纵摇装置及其附近的船体结构与独立舱结构

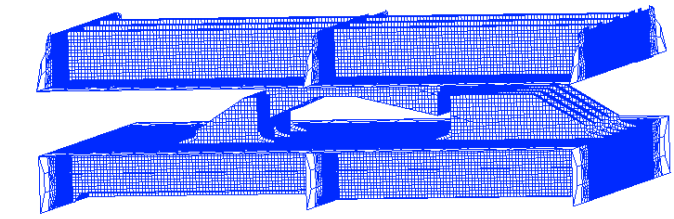


图 4.7.4.3　防纵摇装置及其附近的船体结构与独立舱结构示意图

4.7.4.4　止浮装置及其附近的船体结构与独立舱结构

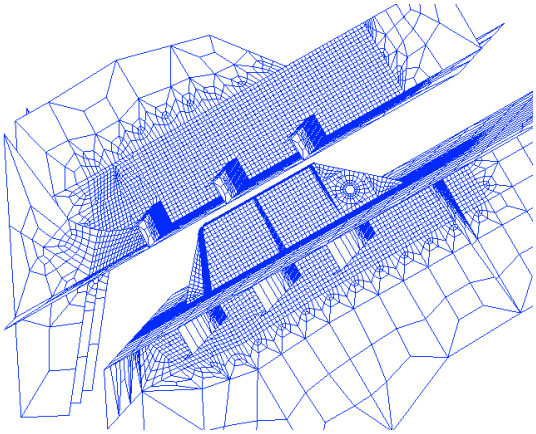


图 4.7.4.4　止浮装置及其附近的船体结构与独立舱结构示意图

4.7.5　计算工况

细化网格分析按照本节 4.3.6 的工况进行。对于独立舱各种类型的支撑结构，其适用的工况如表 4.7.5 所示。

独立舱支撑结构适用工况　　表 4.7.5

独立舱支撑结构	工况
垂向支座	LC1–LC4，LC6–LC9
防横摇装置	LC1–LC4，LC6–LC7
防纵摇装置	LC8-LC9
止浮装置	LC10

4.7.6　边界条件

细化网格分析边界条件见本节 4.4。

4.7.7　屈服强度应力衡准

4.7.7.1　对于船体结构细化网格分析模型，细化网格分析的应力衡准及校核方法见表 4.7.7.1。

细化网格分析的最大许用膜应力　　表 4. 7. 7. 1

单元应力	屈服利用系数
非邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.7$
邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.5$

表中：（1）λ_y——屈服利用系数

$$= \frac{K\sigma_e}{235}$$，板单元；

（2）舱段有限元模型中，如果位于应进行细化网格校核区域的单元的Von Mises应力超出本节4.5.1规定的许用值，则由细化网格分析得到的，面积相当于舱段有限元模型网格大小的细化网格Von Mises应力计算结果的平均值应不超过本节4.5.1规定的许用值；

（3）最大许用应力基于 50 mm×50 mm 的网格尺寸。如使用更小的网格尺寸，可使用等效于要求的网格尺寸的范围内使用面积加权 Von Mises 应力方法计算所得的应力与许用应力作比较。计算平均应力时，仅当单元的所有边界都在上述网格尺寸区域内才计入。

平均Von Mises应力应基于单元面积进行加权计算：

$$\sigma_{e-av} = \frac{\sum_1^n A_i \sigma_{e-i}}{\sum_1^n A_i}$$

式中：σ_{e-av}——Von Mises平均应力；

σ_{e-i}——考虑区域的第 i 个板单元的Von Mises应力；

A_i——考虑区域内的第 i 个板单元的面积；

n——考虑区域内的单元的个数。

注 1：平均应力的计算基于单元形心处应力，不使用内插法和/或外推法得到应力值；

注 2：对结构不连续处和竖板结构处不得采用应力平均方法进行评估。

4.7.7.2　对于独立舱的支撑结构，主要由意外工况决定，细化网格下板单元的许用应力取为其粗网格下许用应力的 1.7 倍。

第 5 节　温度场计算和钢级选取

5.6　钢级的选取

5.6.7　对于 USCG（除阿拉斯加海域）和 USCG（阿拉斯加海域）环境工况，甲板边板和舷顶列板钢级应不低于 E 级，舭列板应为 D 级或 E 级。

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货舱区的船体结构、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。

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

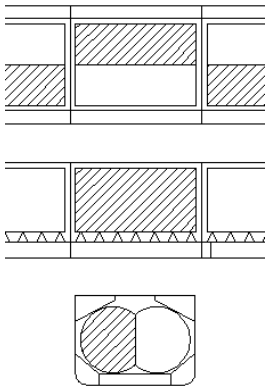
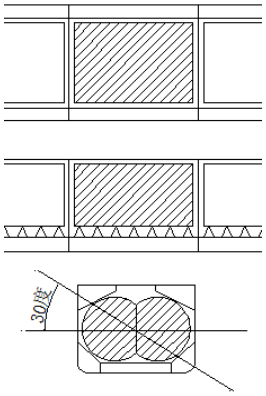
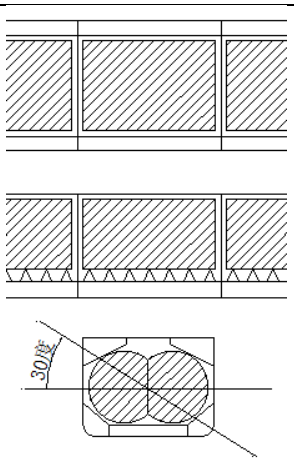
4.3　设计载荷及工况

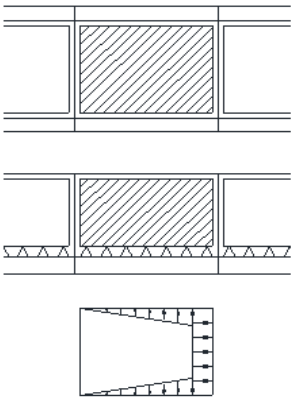
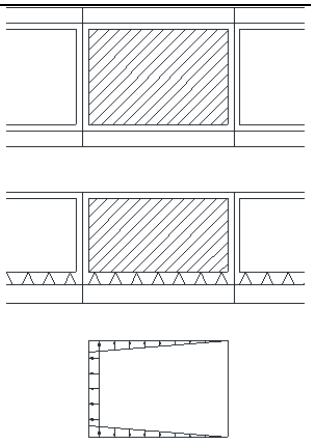
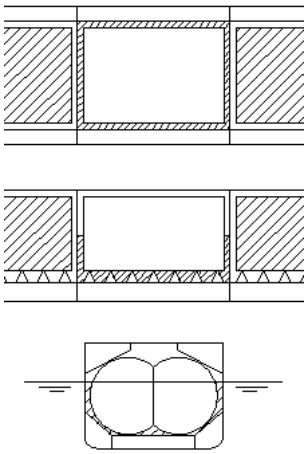
4.3.4　液舱内部压力p_i，N/mm^2，根据本规范第 3 篇第 4 章 4.28.1.2 的方法计算得到。计算中使用本规范第 3 篇第 4 章 4.28.2 给出的加速度分量公式。

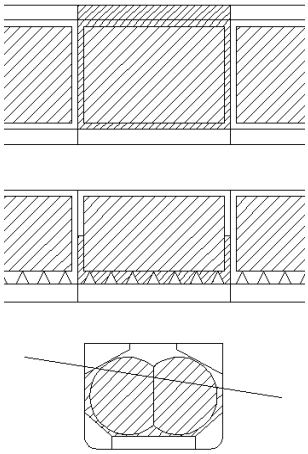
对于各航行工况，上述各加速度分量乘以一定的系数后进行合成计算。各工况下的加速度系数$(k_x，k_y，k_z)$见表 4.3.6（1）。

对于各非航行工况，计算中采用的~~加速度$(a_x，a_y，a_z)$~~加速度系数（k_x，k_y，k_z）取值见表 4.3.6（2）。

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)~~ 加速度系数 (k_x, k_y, k_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	0.75*d*	S	（0.5, 0, 0）	1	0	
LC 9	后方碰撞	0.75*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	

4.4　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：

4.4.2.1　前端面与后端面施加对称面边界条件，端面内节点的纵向线位移、绕端面内两个坐标轴的角位移约束，即：$\delta_x=\theta_y=\theta_z=0$

4.4.2.2　舷侧外板、内壳板、顶边舱斜板、底边舱斜板与中部货舱前后舱壁交线上应设置垂向弹簧单元；主甲板、内底板（包括底边舱斜板和相连的水平桁）、外底板与中部货舱前后舱壁交线上应设置水平弹簧单元。弹簧单元均匀分布，弹性系数按下式计算：

$$K=\frac{5GA}{6l_Hn}\quad \mathrm{N/mm}$$

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

A——舷侧板及顶边舱斜板、底边舱斜板等的有效剪切面积，mm^2；对于垂向弹簧，为前后舱壁处舷侧外板、内壳板、顶边舱斜板、底边舱斜板的有效剪切面积；对于水平弹簧，

为主甲板、内底板（包括底边舱斜板和相连的水平桁）、外底板的有效剪切面积 mm^2；

l_H——中间目标舱的长度，mm；

n——~~弹簧约束的节点数量~~构件上施加弹簧单元的节点数目。

局部载荷边界条件　　表 4.4.2

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
前端面	固定	—	—	—	固定	固定
后端面	固定	—	—	—	固定	固定
线 AA’、BB’、CC’、DD’	—	—	弹簧	—	—	—
线 AB、A’B’、CD、C’D’	—	弹簧	—	—	—	—

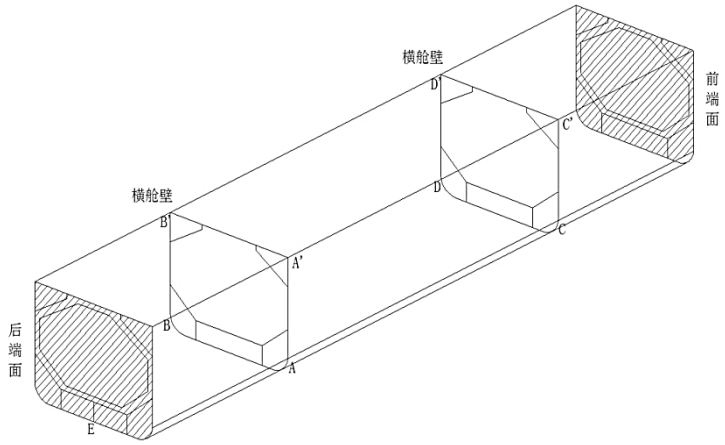


图 4.4.2 边界条件施加位置示意图

4.4.3　整总体载荷工况下的边界条件见表 4.4.3 和图 4.4.2。

4.4.3.1　前端面内中和轴与纵中剖面相交处建立一个独立点，在独立点上施加总纵弯矩，端面各纵向构件节点自由度 δ_x、δ_y、δ_z 与独立点相关。后端面刚固，6 个自由度约束，即 $\delta_x=\delta_y=\delta_z=\theta_x=\theta_y=\theta_z=0$。

~~**总体载荷边界条件　　表 4.4.3**~~

~~位置~~	~~边界条件~~	~~说明~~
~~后端面~~	~~$\delta_x=0,\delta_y=0,\delta_z=0$~~ ~~$\theta_x=0,\theta_y=0,\theta_z=0$~~	~~δ_x、δ_y、δ_z——分别为 x、y 和 z 方向的线位移自由度；~~ ~~θ_x、θ_y、θ_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~~	

总体载荷边界条件　　表 4.4.3

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	ϑ_x	ϑ_y	ϑ_z
后端面	固定	固定	固定	固定	固定	固定
前端面	相关	相关	相关	—	—	—
前端面独立点	—	—	—	—	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。

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

5.1.2　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~~。

5.4　边界条件

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。对于层压木开槽处与其支承结构之间以及液货罐顶部和底部的支承结构与层压木之间，亦应设置接触条件（如有时）。

5.4.3　在与船体的连接处，结构边界条件~~应~~设为刚性约束（包括层压木下表面及液货罐顶部和底部的支承结构（如有时））。

5.6　强度衡准

5.6.2　各构件的应力衡准规定如下：

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
（2）鞍座垫木	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： $\sigma_{cpress} \le R_m/S$ 式中：σ_{cpress}——层压木在各工况下的接触压力，N/mm^2； R_m——层压木的抗压强度，N/mm^2； 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。 ~~$\sigma_c \le [\sigma_c]$~~ ~~$\tau_c \le [\tau_c]$~~ ~~式中：σ_c——层压木各个工况下的最大压应力值，N/mm^2；~~ ~~τ_c——层压木各个工况下的最大剪应力值，N/mm^2，计算时取 $0.3\sigma_c$；~~ ~~$[\sigma_c]$——层压木的许用压应力，N/mm^2，$[\sigma_c]=P_s/S$；~~ ~~$[\tau_c]$——层压木的许用剪应力，N/mm^2，$[\tau_c]=\tau_s/S$~~ ~~P_s——层压木的抗压强度安全工作应力，N/mm^2，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/mm^2，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。~~

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　当 C 型独立舱所装载的液货温度低于-10℃时，按本节要求进行温度场预报分析以及低温影响下的钢级选取。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。

附录 3　独立液货舱船舶疲劳强度评估的补充规定

第 2 节　独立液货舱型液化气体船的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》。

2.2　关键区域

2.2.1　纵骨与横向构件的连接部位：

（1）纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳（如有时））与横向强框架的连接部位；

（2）纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳（如有时））与横舱壁的连接部位；

2.2.2　应至少对于下列部位，采用精细网格有限元方法进行疲劳强度校核。其他承受较高动应力和/或高应力集中的位置，CCS 可视情况要求予以审批。

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与内底板连接处；

（2）横向强框架位置处的底边舱斜板与内壳纵壁连接处（如有时）；

（3）双层底纵桁位置处的内底板与横舱壁连接处；

（4）双壳间水平纵桁与横舱壁的连接处（如有时）；

（5）舷侧肋骨与顶边舱和底边舱的连接处（如有时）；

（6）内底与支撑结构的连接；

（7）气室开口处，甲板与围板的连接处。

第 3 节　B 型独立液货舱结构疲劳强度评估

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。~~

（1）支撑结构与液货舱连接处；

（2）其他高应力区。

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。B 型球罐型独立舱可参照本节进行裂纹扩展评估和泄漏分析。

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。~~

（2）液货舱外壳板其他高应力区。

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~~液货舱外壳板连接处~~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~~液化气体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。

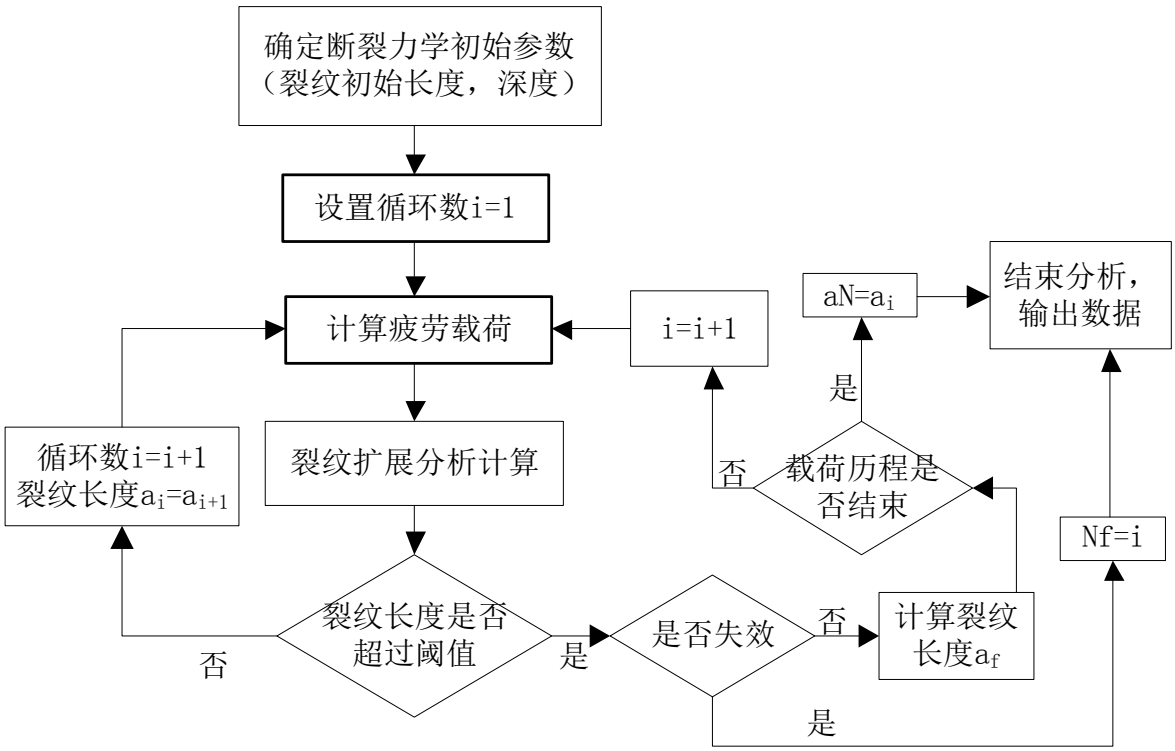


图 4.1.4　B 型棱形液货舱断裂力学疲劳强度评估流程图

4.3　裂纹扩展分析

4.3.2　单次载荷循环下的裂纹扩展 *da*，应按下式计算：

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

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

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，与应力范围、裂纹形状、尺寸以及几何相关，可根据 IIW 或 BS7910 的相关规定进行表面裂纹的应力强度因子计算，计算时应力范围应基于最大主应力范围，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：

~~$T_f < T_D$~~

$$T_f > T_D$$

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。

第 3 篇　国际散装运输液化气体船舶构造与设备规则

第 4 章　货物围护

D 部分　材料和构造

4.19　材料

4.19.1　构成船舶结构的材料

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。

CCS4.19.1.6.1　应将 4.19.1.6.1 所述的加热系统布置成当该系统任一部分的任一机械或电气部件发生单一故障时，加热设备仍能保持不低于 100%的理论热载荷。

CCS4.19.1.6.2　如采用双套设备（譬如加热器、乙二醇循环泵、电气控制板、辅锅炉等）来满足上述第 1 条的要求，则至少其中一套系统的所有电气部件均应由应急配电板供电。

CCS4.19.1.6.3　如主热源（譬如燃油锅炉）冗余布置不可行，则应设置譬如可提供 100%理论热载荷并由应急配电板独立馈电线路供电的电加热器作为替代方案。~~可考虑采用其他经过风险评估的方案来满足 4.19.1.6.1 条的要求并应得到主管机关的认可。此解释第 2 段的要求同样适用于系统中其它所有电气部件。~~为满足 4.19.1.6.1 条要求，也可考虑采用其他经过风险评估的方案并应得到主管机关的认可，这种方式同样适用于系统中其它所有电气部件。

第 5 章　处理用受压容器及液体、蒸气和压力管系

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和试验并应符合第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。

CCS 5.12.1　对于设有机械抽风且通风量不小于 30 次/h 的外层管或通风管，应考虑高压内管发生故障时产生的压力和可能的低温影响。

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。

CCS5.12.3.a　在计算围护系统热平衡和压力/温度控制能力时，应考虑管系绝热性能的影响。

CCS5.12.3.b　在正常情况下，人员可能接触到的货物管系表面，应进行绝热保护，但以下示例除外：

（1）采用了物理隔离措施保护以避免这种直接接触的货物管系的表面；

（2）为保护操作员免受货物温度的影响而安装了延长操作手柄的手动阀的表面；和

（3）设计温度（由内部流体温度确定）高于-10℃的货物管系的表面。

CCS5.12.3.c　本条所述绝热材料至少达到“低播焰性”。

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；

[①] 参见 SIGTTO 出版物《用于 LNG 阀门的选择与试验》。

.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。

CCS5.13.1.1.2　上述 5.13.1.1.2 表示：

（1）对于符合本篇第 8 章 8.2.5 要求的压力释放阀，应由主管机关或代表主管机关的被认可组织对流量进行确认；

（2）对于其他型式的阀，制造商应按公认的标准进行试验来验证阀的流量特性。

CCS5.13.1.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）~~（1）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）~~5.13.1.1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

[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。

iv. 用于工作温度-55°C以下的每种类型和尺寸的阀（安全阀除外），最少以10%产品比例，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)~~（2）压力释放阀的试验同时还应满足8.2.5的要求。

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 次循次。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。~~

第 6 章　构造材料和质量控制

6.6.2.3　波纹管膨胀接头

...

.10　对屈服应力与极限抗拉强度之比大于0.8的钢材，通常不应进行机械应力消除。但如~~果~~采用一种使钢材具有~~提高钢材~~高延展性的方法~~，以~~提高了钢材屈服应力，则在对各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~~作热处理要求的限度，则不能用机械应力消除来~~不能用~~代替对液货舱冷成形部件的热处理~~替代机械应力消除~~；

第 8 章　货物围护的透气系统

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。

CCS8.1a　通则

（1）本章第2节中给出的用以确定释放能力的公式，用于绝缘敷设在液舱上时的A型独立液货舱周围的屏壁间处所。

（2）对于B型独立液货舱周围屏壁间处所的压力释放装置的释放能力，可基于本章第2节给出的方法予以确定，然而，泄漏速率应按本篇第4章4.7.2确定。

（3）对于薄膜型和半薄膜型液货舱，其屏壁间处所压力释放装置的释放能力应基于特定的薄膜/半薄膜舱设计予以评估。

（4）对于毗邻于整体式液货舱的屏壁间处所压力释放装置的释放能力，适用时，可按A型独立液货舱相关要求予以确定。

CCS8.1b　压力释放装置的排量

绝缘敷设在液舱上时的A型独立液货舱周围的屏壁间处所，其压力释放装置的组合排量可按下式确定：

$$Q_{sa} = 3.4 \times A_c \frac{\rho}{\rho_v} \sqrt{h} \qquad (m^3/s)$$

式中：Q_{sa}——在273K和1.013bar的标准状态下所要求的空气最小排放率；

A_c——设计裂纹开口面积，m^2；

$$A_c = \frac{\pi}{4} \delta \cdot l \qquad (m^2)$$

δ ——最大裂纹开口宽度，m；

δ =0.2t　m

t——液舱底板厚度，m；

l——设计裂纹长度，m，等于液舱底部最大板格对角长，见图8.1b；

h——液舱底面以上最高液位高加10 MARVS，m；

ρ ——屏壁间处所压力释放装置调定压力对应的货品液相密度，kg/m^3；

ρ_v——屏壁间处所压力释放装置调定压力以及温度273K对应的货品气相密度，kg/m^3；

MARVS=货舱压力释放阀的最大允许调定值，bar。

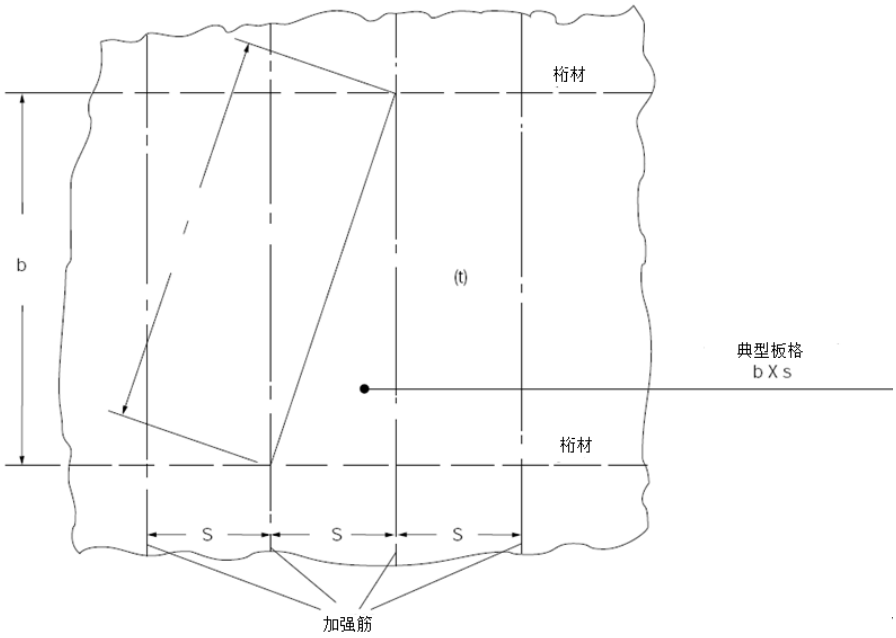


图8.1b　液舱底部板格

第 11 章　防火与灭火

11.3 条的标题修订如下：

11.3　~~水雾~~喷水系统

CCS 11.3.4 条序号修订如下，并新增 CCS 11.3.4.b 和 CCS 11.3.4.c。

CCS11.3.4.a　不管喷水系统供水泵是否由消防泵兼用，均要求提供额外的 1 台消防泵或应急消防泵对喷水系统供水，对上述 11.3.4 条所述处所提供保护。

CCS11.3.4.b　当使用应急消防泵满足此要求时，在能够保持 FSS 规则第 12 章第 2.2.1.1 条所要求的两股水柱以外，应根据 11.3.2.1 所要求的喷射率额外增加排量，但仅限于覆盖通常有人的上层建筑和甲板室的限界面，救生艇筏及其集合区域。

其中：

“1 个消防泵或应急消防泵”系指位于喷水泵所在处所以外，SOLAS 公约第 II-2/10.2.2 所要求的消防泵；

“1 舱失火”系指按照 11.3.3 条要求为喷水系统供水的消防泵或消防泵动力源所在 A 级限界面构成的处所；

CCS11.3.4.c

（1）11.3.4 条中除应急消防泵以外的“消防泵”，系指按照 SOLAS 公约第 II-2/10.2.2.2.2 所要求的消防泵。

（2）如果任何单一处所失效导致（1）中所提为喷水系统供水的所有消防泵（用于覆盖上层建筑和甲板室）失效，则应急消防泵的参数应满足以下供水需求：

（a）11.3.4 条要求用于保护上层建筑和甲板室的限界面和面向货物区域的救生艇、救生筏和集合区域的喷水系统；和

（b）11.2 条要求的两股水柱。

（3）如果船上也安装了保护机舱的全淹没高倍泡沫系统（以满足 SOLAS 公约第 II-2/10.4.1.1.2 和 10.5.1.1 条的要求），并且应急消防泵会为该系统供应海水，则应急消防泵的参数（排量和压力）还应满足主消防泵失效时针对机舱火灾的泡沫系统的供水需求。

（4）基于同一时间处理单一火灾事故的原则，应急消防泵参数（排量和压力）无需同时满足以上（2）和（3）中所有 3 个系统（如喷水、水柱和泡沫）的供水需求，只需满足需求最高的区域和所要求的系统，如：

（a）泡沫系统+两股水柱；或

（b）喷水系统+两股水柱

取大值。

11.4.8 条之后增加如下内容：

CCS11.4.8　试验应包括使用干粉从船上所有干粉炮和手持软管的释放测试，但无需完全释放船上安装的干粉总量。本试验也可用于满足管路无堵塞的试验需求，而不是使用干燥空气吹通所有管路。但完成试验后，整个系统包括所有干粉炮和手持式软管应使用干燥空气吹通，其目的仅用于清除系统中化学干粉的任何残留。

第 13 章　仪表和自动化系统

13.2　用于液货舱的液位指示器

13.2.2　如果仅安装1个液位表，则应将其布置成能~~一直处于在操作状态~~在操作状态下进行维修，而无需清空液货舱或对液货舱进行除气。

CCS13.2.2　对于仅安装 1 个液位表的情况，在使用液货舱时，对液位表的任何部件（包括被动部件）均能进行维修。被动部件是假定在正常工作状态下不会发生故障的部件。

13.9　系统综合

13.9.3　应使用适当的风险技术确定综合系统关键的危险。

CCS13.9.3　综合系统[①]系指用于实现液货和蒸气输送、处理及调节所需的控制、监测/报警和安全功能的计算机集成系统。综合系统之间互相连接，以实现计算机系统之间的通信，以及对监测/报警和安全信息和/或命令/控制的集中访问。

[①] 参考 MSC/Circ.891-船载计算机使用和应用指南。

第 16 章　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~~气体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》~~《液化气体运输船气体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~~机器处所设计的应用应经主管机关同意。