

附件 1

第 MSC.391(95)号决议 (2015 年 7 月 11 日通过)

通过国际使用气体或其他低闪点燃料船舶安全规则（气体燃料规则）

海上安全委员会，

忆及国际海事组织公约关于本委员会职能的第 28(b)条，

认识到对使用气体或其他低闪点燃料船舶的强制性规则的必要性，

注意到第 MSC.392(95)号决议，经该决议，委员会特别地通过了对《1974 年国际海上人命安全公约》（公约）第 II-1、II-2 章及附件附录的修正案，以使《国际使用气体或其他低闪点燃料船舶安全规则》（气体燃料规则）的规定在公约之下成为强制性，

在其第九十五届会议上，审议了国际使用气体或其他低闪点燃料船舶安全规则草案，

- 1 通过该气体燃料规则，其文本载于本决议附件之中；
- 2 邀请各公约缔约政府注意，该气体燃料规则将自2017年1月1日，在公约第II-1、II-2章和附件附录修正案生效时具有效力；
- 3 还邀请各缔约政府考虑，尽实际可行地对不足500总吨的使用气体或其他低闪点燃料的货船自愿地应用气体燃料规则；
- 4 认识到，对增加的低闪点燃料的要求，将在本组织予以制定后加入该气体燃料规则；
- 5 要求本组织秘书长将本决议和附件中所含气体燃料规则文本的核证无误副本，散发给所有公约缔约政府；
- 6 还要求本组织秘书长将本决议和附件中所含气体燃料规则文本的副本散发给本组织所有非安全公约缔约政府的会员国。

附件

国际使用气体或其他低闪点燃料船舶安全规则（气体燃料规则）

目录

章节	页码
1 前言.....	7
A 部分	8
2 总则.....	8
2.1 适用.....	8
2.2 定义.....	8
2.3 替代设计.....	11
3 目标和功能要求.....	11
3.1 目标.....	11
3.2 功能要求.....	11
4 一般要求.....	12
4.1 目标.....	12
4.2 风险评估.....	12
4.3 爆炸后果限制.....	13
A-1 部分 对使用天然气燃料船舶的特殊要求.....	14
5 船舶的设计和布置.....	14
5.1 目标.....	14
5.2 功能要求.....	14
5.3 一般规定.....	14
5.4 机器处所的概念.....	18
5.5 燃气安全机器处所规定.....	18
5.6 应急切断（ESD）保护机器处所规定.....	18
5.7 燃料管系的位置和保护规定.....	19
5.8 燃料准备舱设计规定.....	19
5.9 舱底系统规定.....	19
5.10 滴盘规定.....	20
5.11 围闭处所入口和其它开口布置规定.....	20
5.12 空气闸规定.....	20
6 燃料围护系统.....	21
6.1 目标.....	21

6.2	功能要求.....	21
6.3	一般规定.....	22
6.4	液化气燃料围护系统规定.....	23
6.5	可移动液化气体燃料舱规定.....	55
6.6	压缩气体燃料围护规定.....	56
6.7	压力释放系统规定.....	56
6.8	液化气燃料舱充装极限规定.....	62
6.9	燃料储存条件的维护规定.....	62
6.10	燃料储存系统内大气控制规定.....	63
6.11	燃料储存舱处所（除 C 型独立液舱外的燃料围护系统）内大气控制规定.....	64
6.12	C 型独立液舱周围处所的大气控制规定.....	64
6.13	惰化规定.....	64
6.14	船上惰性气体的制造和储存规定.....	65
7	材料和总管路设计.....	65
7.1	目标.....	65
7.2	功能要求.....	65
7.3	总管路设计规定.....	66
7.4	材料规定.....	70
8	加注燃料.....	74
8.1	目标.....	74
8.2	功能要求.....	74
8.3	燃料加注站规定.....	74
8.4	集管规定.....	75
8.5	燃料加注系统规定.....	75
9	设备燃料供应.....	76
9.1	目标.....	76
9.2	功能要求.....	76
9.3	燃料供应冗余规定.....	76
9.4	燃气供应系统安全功能规定.....	76
9.5	机器处所外燃料分布规定.....	77
9.6	燃气安全机器处所内设备燃料供应规定.....	78
9.7	应急切断（ESD）保护机器处所内设备气体燃料供应规定.....	78
9.8	通风管道和防止内部管路燃气泄漏的外部管路设计规定.....	78
9.9	压缩机和泵规定.....	79

10	包括推进和其他燃气设备的动力产生	80
10.1	目标	80
10.2	功能要求	80
10.3	活塞式内燃机规定	80
10.4	主辅锅炉规定	82
10.5	燃气轮机规定	82
11	消防安全	83
11.1	目标	83
11.2	功能要求	83
11.3	防火规定	83
11.4	消防总管规定	84
11.5	喷水系统规定	84
11.6	化学干粉灭火系统规定	85
11.7	火灾探测和报警系统规定	85
12	防爆	85
12.1	目标	85
12.2	功能要求	85
12.3	一般规定	85
12.4	区域分级规定	86
12.5	危险区域范围	86
13	通风	87
13.1	目标	87
13.2	功能要求	87
13.3	一般规定	87
13.4	液舱连接处所规定	89
13.5	机器处所规定	89
13.6	燃料准备舱规定	90
13.7	燃料加注站规定	90
13.8	管道和双套管规定	90
14	电气装置	91
14.1	目标	91
14.2	功能要求	91
14.3	一般规定	91

15	控制、监测和安全系统	92
15.1	目标	92
15.2	功能要求	92
15.3	一般规定	92
15.4	加注和液化气体燃料舱监测规定	93
15.5	加注控制规定	94
15.6	燃气压缩机的监测规定	94
15.7	燃气发动机的监测规定	95
15.8	燃气探测规定	95
15.9	失火探测规定	96
15.10	通风规定	96
15.11	燃料供应系统安全功能规定	96
附件	新颖构成燃料围护系统设计中极限状态方法使用标准	100
B-1 部分		107
16	制造、工艺和试验	107
16.1	通则	107
16.2	一般试验规定和规范	107
16.3	燃料围护系统金属材料的焊接和无损探伤	109
16.4	金属材料构造的其他规定	112
16.5	试验	113
16.6	焊接、焊后热处理和无损伤试验	115
16.7	试验要求	116
C-1 部分		119
17	演习和应急演练	119
18	操作	119
18.1	目标	119
18.2	功能要求	119
18.3	维护规定	120
18.4	加注燃料操作规定	120
18.5	围闭处所进入规定	122
18.6	燃料系统的惰化和驱气规定	122
18.7	燃料系统上或附近的热工规定	122

附件 液化天然气交付单.....	123
D 部分	124
19 培训	124
19.1 目标	124
19.2 功能要求	124

1 前言

本规则的目的是为不被国际气体船规则所涵盖的、使用低闪点燃料的船舶提供一个国际标准。

本规则的基本原则是针对所涉及燃料的性质，对使用低闪点燃料的机器、设备和系统的布置、安装、控制和监控提供强制规定，以尽力减少对船舶、船员和环境的风险。

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原理，以及对当前操作经验、现场数据和研发的充分了解。由于新燃料技术的迅速发展，本组织将考虑到经验和技术的发展，定期地对本规则进行审核。

本规则论及使用低闪点燃料需要特殊考虑的所有方面。气体燃料规则以目标型方法制定（MSC.1/Circ.1394 号通函），因此为每章规定有目标和功能要求，以构成设计、建造和操作的基础。

本规则的当前版本包括满足天然气燃料功能要求的规定。对其他低闪点燃料的规定将在本组织制定后纳入本规则。

同时，对于其他低闪点燃料，必须通过替代设计证明其符合本规则的功能要求。

A 部分

2 总则

2.1 适用

除另有明文规定外，本规则适用于《安全公约》第 II-1 章 G 部分所适用的船舶。

2.2 定义

除以下另有说明外，定义与《安全公约》第 II-2 章相同。

2.2.1 *事故*系指可能造成死亡、人身伤害、环境破坏或财产和经济利益损失的失控事件。

2.2.2 *船宽 (B)* 系指在最深吃水处（夏季载重线吃水）或以下的船舶最大宽度（参阅《安全公约》第 II-1/2.8 条）。

2.2.3 *加注燃料*系指将液体或气体燃料从陆上或浮动设备转移到船舶永久舱或将可移动舱与燃料供应系统连接。

2.2.4 *认证安全类型*系指由经主管机关认可的有关当局或代其行事的经认可组织根据认可标准所认证的在易燃气体环境中操作为安全的电气设备。¹

2.2.5 *CNG* 系指压缩天然气（另见 2.2.25）

2.2.6 *控制站*系指《安全公约》第 II-2 章中定义的处所，以及在本规则中，指机舱控制室。

2.2.7 材料选择的 *设计温度*系指可在液化气燃料舱中装载或运输液化气燃料的最低温度。

2.2.8 *设计蒸汽压力 “P₀”*是船舱设计中使用的船舱顶部的最大测量压力。

2.2.9 *双隔断和放气阀*系指管路中一套串联的两个阀门和第三个，使压力能够从这两个阀门之间的管路中释放的阀门。此布置也可由一个两通阀和一个截止阀组成，而不是三个单独的阀门。

2.2.10 *双燃料发动机*系指使用本规则所涵盖燃料（和引燃燃料）和油类燃料的发动机。油类燃料可包括馏分油和渣油。

2.2.11 *围闭处所*系指在没有人工通风时，通风将受到限制及任何爆炸气体将不会自然消散的任何处所²。

2.2.12 *ESD* 系指应急切断。

¹ 参见 IEC 60079 系列，爆炸气体环境和 IEC 60092-502:1999 船上电气安装 — 油轮 — 特殊特征。

² 另见 IEC 60092-502:1999 中的定义。

2.2.13 **爆炸系**指无控燃烧引发的爆燃事件。

2.2.14 **爆炸压力释放系**指通过从指定的开口释放过压，防止容器或围闭处所内的爆炸压力超过容器或处所的最大设计过压的措施。

2.2.15 **燃料围护系统系**指含液舱连接的燃料储存布置，包括所设主屏壁和次屏壁以及附属绝热层和任何间隔处所，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，则其可以是燃料储存舱处所的边界。

燃料舱周围处所定义如下：

- .1 **燃料储存舱处所系**指由船舶结构所围闭、其内部设有燃料围护系统的处所。如果燃料储存舱处所内设有液舱连接，则将也是液舱连接处所；
- .2 **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；和
- .3 **液舱连接处所系**指围闭处所内，设有此类连接管的液舱要求的所有液舱连接管和液舱阀周围的处所。

2.2.16 **灌装限度 (FL)**系指当液体燃料达到参照温度时燃料舱中相对于总仓容的最大液体容量。

2.2.17 **燃料准备舱系**指设有燃料准备目的的泵、压缩机和/或气化器的任何处所。

2.2.18 **燃气系**指当温度为 37.8℃ 时其蒸气压力超过 2.8 bar（绝对压力）的一种液体。

2.2.19 **用气设备系**指船上使用燃气为燃料的任何装置。

2.2.20 **仅用燃气的发动机系**指只能靠燃气运作，不能转换成靠任何其他种类燃料运作的发动机。

2.2.21 **危险区域系**指具有或可预期具有爆炸燃气大气，其数量达到足以要求对设备的构造、安装和使用采取特殊预防措施的区域。

2.2.22 **高压系**指超过 10 bar 的最大工作压力。

2.2.23 **独立舱系**是自身支持的，不构成船体结构的一部分，对船体强度也非必需。

2.2.24 **LEL 系**指最低爆炸极限。

2.2.25 **船长 (L)**系指现行国际载重线公约中定义的船长。

2.2.26 **LNG 系**指液化天然气。

- 2.2.27 **装载限度 (LL)** 系指相对于舱的可装载仓容的最大允许液体容量。
- 2.2.28 **低闪点燃料**系指具有低于《安全公约》第 II-2/4 条 2.1.1 段下所允许闪点的气态或液态燃料。
- 2.2.29 **MARVS** 系指释放阀的最大允许调定值。
- 2.2.30 **MAWP** 系指系统组件或舱的最大允许工作压力。
- 2.2.31 **薄膜舱**系指非自身支持的液舱，由邻接的船体结构通过绝热层支持的一层水密和气密薄膜组成。
- 2.2.32 **多燃料发动机**系指可以使用相互分离的两种或多种不同燃料的发动机。
- 2.2.33 **非危险区域**系指所具有的爆炸燃气大气的数量预期不足以达到要求对设备构造、安装和使用采取特殊预防措施的区域。
- 2.2.34 **露天甲板**系指没有重大火灾风险，至少两端/两边开口或一端开口并有足够的自然通风，通过舷侧外板或甲板上分布的永久开口有效地覆盖甲板全长的甲板。
- 2.2.35 **风险**是后果的可能性和严重性的综合表达。
- 2.2.36 **参照温度**系指与燃料舱中的燃料在压力释放阀的设定压力下的蒸汽压力相应的温度
- 2.2.37 **次屏壁**系指燃料围护系统中设计成能暂时容纳可能从主屏壁泄漏的液态燃料，并防止船体结构的温度下降至不安全的程度的液密外层构件。
- 2.2.38 **半围闭处所**系指由于诸如屋顶、风障和舱壁结构的存在且其布置使燃气消散不会发生，其自然通风条件明显不同于露天甲板条件的处所³。
- 2.2.39 **释放源**系指设备中的燃气、蒸汽、水雾或液体可能释放到大气中并会形成爆炸性大气的点或位置。
- 2.2.40 **不可接受的动力丧失**系指按照《安全公约》第 II-1/26.3 条，在必需的辅助设备之一失灵时，不可能保持或恢复推进机器的正常操作。
- 2.2.41 **蒸气压力**系指在规定温度下以绝对兆帕 (MPa) 表示的液体上方饱和蒸气的平衡压力。

³ 另见 IEC 60092-502:1999 船上电气安装 — 油轮 — 特殊特征。

2.3 替代设计

2.3.1 本规则包括与低闪点燃料使用有关的所有设备和装置的功能要求。

2.3.2 低闪点燃料系统的燃料、设备和装置可能：

- .1 偏离本规则所载的要求，或
- .2 设计成使用本规则未明确述及的燃料。

此类燃料、设备和装置可以使用，但要符合有关目标和功能要求的意图，并能提供与相关章节同等的安全水平。

2.3.3 等效替代设计须如《安全公约》第 II-1/55 条的规定予以证明，并由主管机关认可。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安装、材料、器具、仪器、设备的部件或其类型。

3 目标和功能要求

3.1 目标

本规则的目标是为船舶的安全和环保的设计、建造和操作并特别是使用天然气或其他低闪点燃料作为燃料的推进机械、辅助发电机械和/或其他目的机械系统的安装作出规定。

3.2 功能要求

3.2.1 系统的安全、可靠性和可依赖性须与新的并可比较的常规油类燃料的主辅助机械所达到的相当。

3.2.2 燃料相关危害的可能性和后果须通过诸如通风、探测和安全行动的布置和系统设计限制到最低。在发生燃气泄漏或降低风险措施失效时，需启动必要的安全行动。

3.2.3 设计原理须确保气体燃料装置的降低风险措施和安全行动不会导致不可接受的动力丧失。

3.2.4 须限制危险区域，以尽力减少会影响船舶、船上人员和设备安全的潜在风险。

3.2.5 危险区域中安装的设备须减少至操作目的所要求的最低限度，并须得到适宜和适当发证。

3.2.6 须防止爆炸、易燃和有毒气体浓度的非有意积聚。

3.2.7 须保护系统部件不受外部损害。

3.2.8 须尽力减少危险区域内的着火源，以减少爆炸可能性。

3.2.9 须为能够无泄漏地接收和容纳所要求状态的燃料对安全和合适的燃料供应、存储和加注做出布置。除因安全理由所必须者外，系统须设计成能防止在包括空闲时段的正常操作条件下排泄。

3.2.10 须提供为其预定用途而适当设计、建造和安装的管系、围护和过压释放装置。

3.2.11 须为确保安全可靠的操作而设计、建造、安装、操作、维护和保护机械、系统和组件。

3.2.12 燃料围护系统以及含有可向处所内排放燃气的来源的机器处所，其布置和位置须使两者内的失火或爆炸均将不会导致不可接受的动力丧失，或使舱室内其他设备无法运行。

3.2.13 须提供适合的控制、警报、监测和关闭系统，以确保安全可靠的操作。

3.2.14 须设有适合所有处所和区域的固定燃气探测。

3.2.15 须提供适合于相关危险的失火探测、保护和灭火措施。

3.2.16 燃料系统和用气机械的启用、试验和维护须满足安全性、可用性和可靠性的目标。

3.2.17 技术文件须允许对系统和其组件是否符合适用的规则、导则、所用的设计标准和与安全性、可用性、维护性和可靠性相关的原则进行评估。

3.2.18 技术系统或组件的单项故障不得导致不安全或不可靠状况。

4 一般要求

4.1 目标

本章的目标是确保对所涉及的风险实施必要的评估，以消除或减轻对船上人员、环境或船舶的任何不利影响。

4.2 风险评估

4.2.1 须进行风险评估，以确保解决使用低闪点燃料对船上人员、环境、结构强度或船舶完整性带来的风险。须考虑到在任何可合理预见的故障后，与实体布局、操作和维护相关的危险。

4.2.2 对于 A-1 部分所适用的船舶，4.2.1 中所要求的风险评估仅需要在第 5.10.5、5.12.3、6.4.1.1、6.4.15.4.7.2、8.3.1.1、13.4.1、13.7 和 15.8.1.10 段以及附件第 4.4 或 6.8 段明确要求时进行。

4.2.3 对风险须使用可接受和经认可的风险分析技术进行分析，并须至少考虑到功能丧失、组件损坏、失火、爆炸和电击。分析须确保尽可能消除风险。不能被消除的风险须得到必要的减轻。须记录风险的详情和减轻方法，并使主管机关满意。

4.3 爆炸后果限制

包含任何潜在释放源⁴和潜在着火源的任何处所内的爆炸不得：

- .1 造成除事故发生处所外的任何处所的设备/系统损坏或扰乱其正常功能；
- .2 损坏船舶，导致主甲板下浸水或任何连续浸水发生；
- .3 损坏工作区域或起居区域，导致在正常操作条件下停留在此区域的人员受伤；
- .4 扰乱控制站和配电所需配电室的正常运行；
- .5 损坏救生设备或相关降放装置；
- .6 扰乱位于爆炸损坏处所外的消防设备的正常运行；
- .7 影响船上其他区域，导致涉及到特别是货物、燃气和燃油的连锁反应可能发生；或
- .8 阻碍人员进入救生设备或阻碍脱险通道。

⁴ 双套燃料管不被认为是潜在释放源。

A 部分-1

对使用天然气燃料船舶的特殊要求

就本部分中的规定而言，*燃料*系指液化或气态的天然气。

应认识到天然气的构成会因天然气来源和加工过程而不同。

5 船舶的设计和布置

5.1 目标

本章的目标是为发电设备、燃料储存系统、燃料供应设备和燃料加注系统的安全位置、处所布置和机械保护作出规定。

5.2 功能要求

5.2.1 本章与 3.2.1 至 3.2.3、3.2.5、3.2.6、3.2.8、3.2.12 至 3.2.15 和 3.2.17 中的功能要求有关。尤其是以下所列适用：

- .1 考虑到船舶安全操作和船舶其他有关危险，燃料舱的位置须使碰撞或搁浅后液舱破损的可能性降到最低；
- .2 燃料围护系统、燃料管系和其他燃料释放源的位置和布置须使被释放的燃气通向户外安全位置；
- .3 含燃料释放源处所的入口和其他开口，其布置须防止易燃、窒息或有毒气体逸至未为此类气体的存在所设计的处所；
- .4 燃料管系须受到保护，以防止机械损伤；
- .5 推进和燃料供应系统须设计成任何燃气泄漏后的安全行动不会导致不可接受的动力丧失；及
- .6 须将具有燃气或低闪点燃料机械的处所内气体爆炸的可能性降到最低。

5.3 一般规定

5.3.1 燃料储存容器须受到保护，以防止机械损伤。

5.3.2 露天甲板上的燃料储存仓和/或设备的位置，须确保自然通风充足，以防止逸出燃气积聚。

5.3.3 燃料舱须以下列方式受到保护，以防止碰撞或搁浅造成外部损坏：

- .1 燃料舱与船舷的最短距离为 $B/5$ 或 11.5 米，以较小值为准，在夏季载重线吃水平面上，从船内侧沿垂直于船体中心线方向量取；

其中：

B 为在最深吃水线（夏季载重线吃水）或以下的船舶最大型宽（参见《安全公约》第 II-1/2.8 条）。

- .2 各燃料舱的边界须为包括其仓阀门的仓结构的纵向、横向和垂向限界。
- .3 对于独立仓，保护性距离须从仓壳板（仓维护系统的主屏蔽）量起。对于薄膜仓，该距离须从环绕该舱绝热层的隔舱壁量起。

- .4 燃料舱界限的位置不得比以下所列更靠近舷侧外板或艏端：

- .1 对于客船： $B/10$ 但不得小于 0.8 米。但是，当舷侧外板位于 5.3.3.1 所要求的 $B/5$ 或 11.5 米以内，此距离无需大于 $B/15$ 或 2 米，以小者为准。

- .2 对于货船：

- .1 如果 $V_c \leq 1,000 \text{ m}^3$ ，0.8 m；
- .2 如果 $1,000 \text{ m}^3 < V_c < 5,000 \text{ m}^3$ ， $0.75 + V_c \times 0.2/4,000$ m；
- .3 如果 $5,000 \text{ m}^3 \leq V_c < 30,000 \text{ m}^3$ ， $0.8 + V_c / 25,000$ m；和
- .4 如果 $V_c \geq 30,000 \text{ m}^3$ ，2 m，

式中：

V_c 相当于 20℃时单个燃料舱总设计容积的 100%，包括气室和附属物。

- .5 燃料舱最低界限须位于最小距离 $B/15$ 或 2m 以上，取小者，从中心线的船底外板型线量起。
- .6 对于多体船， B 值可特别考虑。
- .7 对于客船，燃料舱须在按照《安全公约》第 II-1/8.1 条从船首垂线量起的 0.08L 处的横截面之后，对于货船在防撞舱壁之后。

式中：

船长(L)系指国际载重线公约中定义的船长（参见《安全公约》第 II-1/2.5 条）。

- .8 对于具有提供更高碰撞和/或搁浅抗力的船壳结构的船舶，燃料舱位置的规定可按照 2.3 节予以特殊考虑。

5.3.4 作为以上 5.3.3.1 的替代，可使用以下计算方法来确定燃料舱的可接受位置：

- .1 如以下所述计算的 f_{CN} 值，对于客船须小 0.02 对于货船须小于 0.04⁵。
- .2 f_{CN} 由此公式计算得出：

$$f_{CN} = f_l \times f_t \times f_v$$

式中：

f_l 按《安全公约》第 II-1/7-1.1.1.1 条系数 P 公式计算得出。 x_1 的值须符合从艏端到燃料舱最后界限的距离， x_2 的值须符合从艏端到燃料舱最前界限的距离。

f_t 按《安全公约》第 II-1/7-1.1.2 条系数 r 公式计算得出，并反映破损穿透越过燃料舱外界限的可能性。公式为：

$$f_t = 1 - r(x_1, x_2, b)^6$$

f_v 按《安全公约》第 II-1/7-2.6.1.1 条系数 v 公式计算得出，并反映破损不垂直延伸到燃料舱最低界限以上的可能性。公式为：

$$f_v = 1.0 - 0.8 \cdot ((H - d)/7.8), \text{ 如果 } (H - d) \text{ 小于或等于 } 7.8 \text{ m. } f_v \text{ 不得大于 } 1.$$

$$f_v = 0.2 - 0.2 \cdot ((H - d) - 7.8)/4.7 \text{ 在其他情况下, } f_v \text{ 不得小于 } 0.$$

式中：

H 是从基线，到燃料舱最低界限的距离，以 m 计；和

d 是最深吃水（夏季载重线吃水）。

⁵ f_{CN} 值只说明燃料舱纵向投影的界限的限制区域内可能发生的碰撞损坏，不能被视为或用作燃料舱由于碰撞而受损的可能性。当计入包括了燃料舱前后区域的更长的损坏时，实际可能性将更高。

⁶ 当燃料舱最外界限在最深分仓水线所给出的界限之外时， b 的数值应取为 0。

- .3 每一燃料舱的界限须取为包括液舱阀门的液舱结构最外层的纵向、横向和垂直限界。
- .4 对于独立舱，保护距离须测量至液舱壳板（液舱围护系统主屏蔽）。对于薄膜舱，该距离须测量至液舱绝热周围的舱壁。
- .5 燃料舱界限的位置不得比以下所列更靠近舷侧外板或船舶艏端：

- .1 对于客船： $B/10$ 但不得小于 0.8 米。但是，当舷侧外板位于 5.3.3.1 所要求的以小者为准的 $B/5$ 或 11.5 米的舷内，此距离无需大于 $B/15$ 或 2 米，以小者为准。

- .2 对于货船：

- .1 如果 $V_c \leq 1,000 \text{ m}^3$ ，0.8 m；
- .2 如果 $1,000 \text{ m}^3 < V_c < 5,000 \text{ m}^3$ ， $0.75 + V_c \times 0.2/4,000 \text{ m}$ ；
- .3 如果 $5,000 \text{ m}^3 \leq V_c < 30,000 \text{ m}^3$ ， $0.8 + V_c / 25,000 \text{ m}$ ；和
- .4 如果 $V_c \geq 30,000 \text{ m}^3$ ，2 m，

式中：

V_c 相当于 20℃时单个液舱的总设计容积的 100%，包括气室和附属物。

- .6 如果不止一个非重叠燃料舱位于纵向方向，每个燃料舱的 f_{CN} 按照 5.3.4.2 段分别计算得出。用于完整燃料舱布置的值是每个单独液舱得出的所有 f_{CN} 值的总和。
- .7 如果燃料舱布置不以船舶中心线对称，要对左舷和右舷 f_{CN} 分别进行计算，并且用其平均值进行评估。两舷均须满足 5.3.4.5 条规定的最短距离。
- .8 对于具有提供更高碰撞和/或搁浅抗力的船壳结构的船舶，燃料舱位置的规定可按照 2.3 节予以特殊考虑。

5.3.5 当燃料载于需要完整或部分次屏壁的燃料围护系统内时：

- .1 燃料储存舱处所须以双层底与海水分隔；和
- .2 燃料储存舱处所还须设置构成边舱的纵舱壁。

5.4 机器处所的概念

5.4.1 为了将设有气体燃料机械的机器处所内气体爆炸可能性降到最低，以下两个替代概念之一可以适用：

- .1 燃气安全机器处所：机器处所的装置使该处所在所有正常和非正常情况下被视为燃气安全，即固有燃气安全。

燃气安全机器处所内的单项故障不能导致燃料气体释放到机器处所中。

- .2 应急切断保护机器处所：机器处所的装置使该处所被视为在正常情况下不危险，但在某些非正常情况下有可能变成危险。当发生涉及燃气危险的非正常情况时，不安全设备（着火源）和机械的应急切断（ESD）须自动执行，在此种情况下使用或工作的设备或机器须为经认证的安全类型。

应急切断保护机器处所内的单项故障可能造成燃气释放至该处所中。通风设计成能容纳由于技术故障可能出现的最大泄漏情景。

导致危险燃气浓度的故障，如燃气管破裂或气密衬垫爆裂，涵盖于爆炸压力释放装置和应急切断装置之下。

5.5 燃气安全机器处所规定

5.5.1 燃料系统内的单项故障不得导致燃气释放到机器处所中。

5.5.2 机器处所界限内所有燃料管系须按照 9.6 围闭在气密围阱内。

5.6 应急切断保护的机器处所规定

5.6.1 应急切断保护须限于经认证的定期无人操作的机器处所。

5.6.2 须采取措施防护机器处所外部区域的爆炸、损坏，并确保冗余供电。须提供但可能不限于以下装置：

- .1 燃气探测器；
- .2 截止阀；
- .3 冗余；和
- .4 有效通风。

5.6.3 在下列条件下，可接受机器处所内无外部气密围阱的燃气供应管系：

- .1 推进动力发动机和电力发动机须位于两个或以上没有任何共同限界面的机器处所内，除非能够有文件证明一次事故不会同时影响两个处所。
- .2 燃气机器处所须仅含确保燃气机械设备保持其功能所需的最少的必要设备、组件和系统。
- .3 须安装为自动切断燃气供应，和断开所有非经认证安全类型电气设备或装置做出布置的固定燃气探测系统。

5.6.4 不同机器处所之间的发动机分布须使任一机器处所燃料供应的切断不得导致不可接受的动力丧失。

5.6.5 由单一舱壁隔开的应急切断保护机器处所须有足够的强度，来承受任一处所内局部燃气爆炸的影响，而不影响相邻处所和该处所内设备的完整性。

5.6.6 应急切断保护机器处所须设计成能减少燃气积聚和气窝形成的几何形状。

5.6.7 应急切断保护机器处所的通风系统须按照 13.5 条进行布置。

5.7 燃料管系的位置和保护规定

5.7.1 燃料管距离舷侧不得小于 800 mm。

5.7.2 燃料管系不得直接通过《安全公约》中定义的起居处所、服务处所、电气设备舱或控制站。

5.7.3 通过滚装处所、特殊类别处所和露天甲板上的燃料管须受到保护，以防止机械损坏。

5.7.4 应急切断保护机器处所内的气体燃料管系须尽可能远离电气装置和含有易燃液体的液舱。

5.7.5 应急切断保护机器处所内的气体燃料管系须受到保护，以防止机械损伤。

5.8 燃料准备舱设计规定

燃料准备舱，除非其布置和安装符合本规则对液舱连接处所的规定，须设于露天甲板上。

5.9 舱底系统规定

5.9.1 可出现本规则所涵盖燃料的区域内安装的舱底系统须与燃料不会出现的处所中的舱底系统隔开。

5.9.2 如燃料载于需要次屏壁的燃料围护系统中, 则须配备适当的排放装置, 用于处理通过相邻船体结构漏入货舱处所或绝热处所的任何泄漏。舱底系统不得连至安全处所内的泵。须设有能探测此类泄漏的装置。

5.9.3 A 型独立液化气舱的液舱处所或保护层处所, 须设有燃料舱泄漏或破裂时适于处理液态燃料的排放系统。

5.10 滴盘规定

5.10.1 在可能发生泄漏造成船舶结构损害处或需要对受泄漏影响的区域加以限制之处须装设滴盘。

5.10.2 滴盘须用适合的材料制成。

5.10.3 滴盘须与船舶结构绝热, 使周围的船体或甲板结构在液态燃料泄漏时不会暴露于不可接受的冷却环境。

5.10.4 每个滴盘须安装一个排放阀, 使雨水向舷外排出。

5.10.5 每个滴盘须有足够的容量, 使风险评估的最大泄漏量得以处理。

5.11 围闭处所入口和其他开口布置规定

5.11.1 不得设置从非危险处所通往危险处所的直接通道。如果此类开口因操作原因是必要的, 须提供符合 5.12 要求的空气闸。

5.11.2 如果批准燃料准备舱设于甲板下, 须尽可能设有从露天甲板直接通往该舱的独立通道。如果不能设有来自甲板的独立通道, 须提供符合 5.12 规定的空气闸。

5.11.3 如果通往液舱连接管处所的通道为非直接来自露天甲板的独立通道, 须布置为栓闭舱门。具有栓闭舱门的处所将是危险处所。

5.11.4 如果通往应急切断保护机器处所的通道来自船上另一围闭处所, 则入口需布置为符合 5.12 的空气闸。

5.11.5 对于惰化处所, 其通道布置须能防止人员意外进入。如果此处所的通道不是来自露天甲板, 密封装置须确保防止惰化气体泄漏到相邻处所。

5.12 空气闸规定

5.12.1 空气闸是一个气密舱壁围闭的处所, 具有两个气密门, 其间距至少为 1.5 m, 但不大于 2.5 m。除《国际载重线公约》另有要求, 空气闸的门槛高度不得小于 300 mm。门须为自闭式, 且无任何门挡装置。

5.12.2 空气闸须在相对于相邻危险区域或处所的过压状态下进行机械通风。

5.12.3 空气闸须设计成在空气闸所分隔的气体危险处所发生最严重事件时，气体不能被释放到安全处所。事件须按照 4.2 进行风险分析评估。

5.12.4 空气闸须为简单形状。它们须提供自由方便通道，并不小于 1.5 m²的甲板面积。空气闸不得用于其他目的，例如储藏室。

5.12.5 空气闸处所的两侧均须配备声光报警系统，当一门以上移离关闭位置时，发出报警。

5.12.6 对于其来自危险处所的通道受空气闸保护的甲板下非危险处所，在危险处所中失去负压时，该处所的通道须受限直至通风恢复。失压时，须在一处有人处所发出声光警报表明失压和空气闸们开启。

5.12.7 安全所需重要设备不得断电，且须为防爆型。这可包括照明、探火、广播、和通用警报系统。

6 燃料围护系统

6.1 目标

本章的目标是对气体储存作出适当规定，将其对人员、船舶和环境的风险尽力降低至等同于常规油类燃料船舶的水平。

6.2 功能要求

本章与 3.2.1、3.2.2、3.2.5、3.2.8 至 3.2.17 中的功能要求有关，以下尤其适用：

- .1 燃料围护系统须设计成液舱或与液舱连接部分的泄漏不致危及船舶、船上人员或环境。要避免的潜在危险包括：
 - .1 使船舶材料触及允许限度以下的温度；
 - .2 易燃燃料进入有点火源的位置；
 - .3 燃料和惰性气体导致的潜在毒性和缺氧风险；
 - .4 至集合站、逃生路线和救生设备的通道受阻；
 - .5 救生设备的可用性降低。
- .2 燃料舱的压力和温度须控制在围护系统的设计限制和可能的燃料运输要求之内；

- .3 燃料围护系统须设计成任何气体泄漏后的安全行动不会导致不可接受的动力丧失；和
- .4 如果用可移动罐储存燃料，燃料围护系统的设计须与本章所述永久安装的舱等效。

6.3 一般规定

- 6.3.1 液态天然气可在最大允许释放阀设定值（MARVS）最高为 1.0 兆帕下储存。
- 6.3.2 燃气舱最高允许工作压力（MAWP）不得超过最大允许释放阀设定值（MARVS）的 90%。
- 6.3.3 置于甲板下的燃料围护系统对于相邻处所须为气密；
- 6.3.4 所有液舱连接、配件、法兰和液舱阀门，除非液舱连接位于露天甲板上，必须围闭在气密的舱连接处所内。一旦液舱连接处发生泄漏，该气密舱连接处所须能安全容纳液舱的泄漏。
- 6.3.5 除 C 型燃料储存舱外，燃料储存舱管路接头的位置须高于液舱最高液面。但经主管机关特殊考虑后，对于其他类型的液舱，低于最高液面的接头也可予以接受。
- 6.3.6 液舱和管道故障后释放液体的第一个阀门之间的管系，须具备与 C 型液舱相同的安全性，其动态应力不得超过 6.4.15.3.1.2 中规定的限值。
- 6.3.7 液舱连接处所的舱壁材料的设计温度须与可能的最大泄漏状态下可能承受的最低温度相一致。液舱连接处所须设计成能承受此等泄漏期间产生的最大压力。或者，可提供通往安全位置（桅杆）的释压排放。
- 6.3.8 至液舱连接处所的可能的最大泄漏须根据细节设计、探测和关闭系统确定。
- 6.3.9 管系连接如果在液舱液面下，须受次屏壁保护直至第一个阀门。
- 6.3.10 如果液化燃气储存舱位于露天甲板上，则对船舶钢材须使用滴盘对舱连接的潜在泄漏和其他泄漏源予以防护。材料的设计温度与所载燃料在正常大气压力下的温度一致。保护船舶的钢制结构须考虑到液舱的正常操作压力。
- 6.3.11 须提供方法将存储舱内的液化气安全排净。
- 6.3.12 须有可能使用燃料管系对燃料储存舱进行排空、除气和通风。船上须备有实施上述程序的说明。在使用干燥空气通风之前，须使用惰性气体实施惰化，以避免液舱和燃料管道内的爆炸危险大气。具体规定见 6.10。

6.4 液化气燃料围护系统规定

6.4.1 通则

6.4.1.1 4.2 中要求的风险评估须包括对船舶液化气燃料围护系统的评估，并可能会导致融入船舶整体设计的附加安全措施。

6.4.1.2 固定液化气燃料围护系统的设计寿命须不少于船舶的设计寿命或者不少于 20 年，以较大者为准。

6.4.1.3 可移动舱的设计寿命不得少于 20 年。

6.4.1.4 液化气燃料围护系统应根据北大西洋环境条件和相关无限航行长期海况分布图设计。对于专门用于有限航行的液化气燃料围护系统，主管机关可以接受与预期使用相一致的宽松环境条件。对于在比北大西洋环境更恶劣的条件下运营的液化气燃料围护系统，可要求应更为严格的环境条件^{7, 8}。

6.4.1.5 液化气燃料围护系统须设计成具有适当的安全裕度，从而：

- .1 在完整条件下，承受液化气燃料围护系统设计寿命预期的环境条件及其相应装载工况，包括满载均匀和部分装载工况和任何中间层级的部分充装；和
- .2 适于载荷、结构建模、疲劳、腐蚀、热效应、材料可变性、老化和建造公差的不确定性。

6.4.1.6 液化气燃料围护系统的结构强度须按失效模式评定，包括但不限于塑性变形、屈曲和疲劳。每个液化气燃料围护系统设计时须考虑的具体设计条件见 6.4.15。有 3 类主要的设计条件：

- .1 极限设计条件—液化气燃料围护系统结构及其结构件须承受建造、试验和预期投入使用期间可能发生的载荷，而不失结构完整性。设计须考虑下列载荷的适当组合：
 - .1 内部压力；
 - .2 外部压力；
 - .3 在所有装载工况下船舶运动引起的动载荷；
 - .4 热载荷；

⁷ 参见国际船级社协会 Rec 第 034 号。

⁸ 北大西洋环境条件指的是海浪状况。假定温度用于就设计温度确定适当的材料质量，是不拟在 6.4.1.4 中涵盖的另一事宜。

- .5 晃荡载荷；
 - .6 船舶变形引起的载荷；
 - .7 液舱和液化气燃料重量及在支持构件部位的相应的反作用力；
 - .8 绝热层重量；
 - .9 作用在塔架和其他附件处的载荷；和
 - .10 试验载荷。
- .2 疲劳设计条件—液化气燃料围护系统结构及其结构件不得在累积循环载荷下失效。
- .3 事故设计条件——液化气燃料围护系统须满足本规则所述下列各项事故设计条件（事故或异常事件）：
- .1 碰撞—液化气燃料围护系统须承受 6.4.9.5.1 中规定的碰撞载荷，且支持结构或舱结构无可能危及舱及其支持结构的变形。
 - .2 失火—液化气燃料围护系统须在 6.7.3.1 中预期的失火情况下承受该段中所规定的内部压力的增加，且无破裂。
 - .3 浸水舱室造成的液舱上浮力—止浮装置须承受 6.4.9.5.2 中规定的向上的力，且无危及船体的塑性变形。液化气燃料围护系统可以发生塑性变形，但不能危及安全撤离船舶。

6.4.1.7 须采取措施确保所要求的尺寸满足结构强度规定并在整个设计寿命过程中得到保持。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。

6.4.1.8 须制定液化气燃料围护系统的检查/检验计划并由主管机关认可。检查/检验计划须确定在液化气燃料围护系统整个寿命的检验期间要检查和/或验证的各个方面，特别是选择液化气燃料围护系统设计参数时假定的任何必需的营运中检验、维护和试验。检查/检验计划可包括 6.4.12.2.8 或 6.4.12.2.9 中规定的具体关键位置。

6.4.1.9 液化气燃料围护系统的设计、建造和配备须提供进入检查/检验计划中规定的需要检查区域的适当的通道。液化气燃料围护系统（包括所有相关内部设备）的设计和建造须确保操作、检查和维护期间的安全。

6.4.2 液化气燃料围护安全原则

6.4.2.1 围护系统需具备能安全维护透过主屏壁的所有潜在泄漏的完整液密次屏壁，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。

6.4.2.2 如果酌情按照 6.4.2.3 至 6.4.2.5 能够证明同等的安全水平，次屏壁的尺寸和形状或布置可以减小或忽略。

6.4.2.3 已确定结构失效导致临界状态的可能性极低但不能排除透过主屏壁泄漏可能性的液化气燃料围护系统，须具备部分次屏壁和能够安全处理和处置泄漏的小量泄漏保护系统（临界状态系指开裂发展至不稳定状态）。

装置须符合下列要求：

- .1 达到临界状态前能可靠探测到的失效形成（例如通过气体探测或检查）须有足够长的形成时间以采取补救措施；和
- .2 达到临界状态前不能安全探测到的失效形成须有比液舱预计寿命长得多的预计形成时间。

6.4.2.4 对于主屏壁结构失效和泄漏的可能性极低且可忽略不计的液化气燃料围护系统，例如 C 型独立液舱，无次屏壁要求。

6.4.2.5 对于需要完全或部分次屏壁的独立液舱，须设置安全处理液舱泄漏的装置。

6.4.3 与液舱类型相关的次屏壁

6.4.15 中界定的与液舱类型相关的次屏壁须按下表设置。

基本液舱类型	次屏壁要求
薄膜液舱	完整的次屏壁
独立液舱	
-A 型独立液舱	完整的次屏壁
-B 型独立液舱	部分的次屏壁
-C 型独立液舱	不要求次屏壁

6.4.4 次屏壁的设计

次屏壁（包括安装防溅屏的情况）须设计成：

- .1 能在15天的时限内容纳任何预计液化气燃料泄漏，除非虑及6.4.12.2.6中所述的载荷谱，具体航次适用不同衡准；
- .2 液化气燃料舱内能导致主屏壁失效的物理、机械或操作事件不得损害次屏壁的应有功能，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 能以外观检查或以主管机关可接受的其他合适方式定期检查其有效性；
- .5 6.4.4.4中所要求的方法须经主管机关认可，并须至少包括：
 - .1 在液密有效性受损之前，可接受的缺陷尺寸和次屏壁内位置的详细情况；
 - .2 探测以上.1中缺陷的建议方法的各项数值的精度和范围；
 - .3 如不进行全尺度模型试验，在确定接受衡准中使用的比例因数；和
 - .4 热和机械循环载荷对建议试验有效性的影响。
- .6 次屏壁在静横倾角为 30°时须满足其功能要求。

6.4.5 部分次屏壁和主屏壁小量泄漏保护系统

6.4.5.1 6.4.2.3 中允许的部分次屏壁须与小量泄漏保护系统一起使用并满足 6.4.4 中的所有规定。

小量泄漏保护系统须包括探测主屏壁泄漏的装置，诸如防溅屏等使任何液化气燃料向下进入部分次屏壁的设置以及可包括自然蒸发的处置液体的手段。

6.4.5.2 须根据相当于在最初探测到主屏壁泄漏后，从 6.4.12.2.6 所述的载荷谱中得到的破损范围所泄漏的液化气燃料量确定部分次屏壁的容量。可适当考虑液体蒸发、泄漏率、泵的排量以及其他有关因素。

6.4.5.3 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组合进行。

6.4.5.4 独立液舱无法根据几何学的算法计算出泄漏收集的具体位置时，部分次屏壁须在标准静态角时满足其功能要求。

6.4.6 支持装置

6.4.6.1 液化气体燃料舱须由船体以在液舱受到6.4.9.2至6.4.9.5中界定的适用静、动载荷作用时防止液舱本体移动的方式予以支撑，同时允许液舱在温度变化和船体变形时收缩和膨胀，且无对船体和液舱的不当应力。

6.4.6.2 须为独立液舱设置止浮装置，并能承受 6.4.9.5.2 中界定的载荷，且无会危及船体结构的塑性变形。

6.4.6.3 支持构件和支持装置须承受 6.4.9.3.3.8 和 6.4.9.5 中界定的载荷，但这些载荷无需相互组合，或与波浪引起的载荷组合。

6.4.7 相关结构和设备

6.4.7.1 液化气燃料围护系统须设计成能承受相关结构和设备施加的载荷。这包括泵塔、液化气燃料气室、液化气燃料泵和管系、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）。

6.4.8 绝热

6.4.8.1 须按要求设置绝热层以防止船体温度降至许用值以下（见 6.4.13.1.1）并将进入液舱的热流限制在 6.9 中适用的压力和温度围护系统能维持的水平。

6.4.9 设计载荷

6.4.9.1 一般要求

6.4.9.1.1 本节界定了须就 6.4.10 至 6.4.12 中的规定予以考虑的设计载荷。这包括载荷类别（永久、功能、环境和意外）以及对载荷的描述。

6.4.9.1.2 这些载荷须考虑的范围取决于液舱类型，并在下文中更全面地予以详细描述。

6.4.9.1.3 液舱连同其支持结构和其他固定装置，须虑及下述载荷的相关组合予以设计。

6.4.9.2 永久载荷

6.4.9.2.1 重力载荷

液舱重量、绝热层、塔架和其他附件产生的载荷须予以考虑。

6.4.9.2.2 永久外部载荷

外部作用在液舱上的结构和设备的重力载荷须予以考虑。

6.4.9.3 功能载荷

6.4.9.3.1 液舱系统操作使用产生的载荷须归类为功能载荷。

6.4.9.3.2 在所有设计条件下确保液舱系统完整性的所有关键功能载荷须予以考虑。

6.4.9.3.3 在确定功能载荷时，至少须考虑下列适用衡准的影响：

- (a) 内部压力；
- (b) 外部压力；
- (c) 热载荷；
- (d) 振动；
- (e) 相互作用载荷；
- (f) 与结构和安装相关的载荷；
- (g) 试验载荷；
- (h) 静横倾载荷；
- (i) 液化气燃料重量
- (j) 晃荡
- (k) 风击、浪击和绿海效应对安装在露天甲板上的液舱的影响。

6.4.9.3.3.1 内部压力

- .1 在任何情况下，包括 6.4.9.3.3.1.2， P_0 均不得小于释放阀的最大调定值（MARVS）。
- .2 对于无温度控制和液化天然气燃料压力仅由环境温度支配的液舱， P_0 不得低于在温度为 45℃时的液化气燃料蒸气表压，但下列除外：
 - .1 对于在限制区域内航行的船舶，主管机关可接受较低的环境温度值。反之，可要求较高的环境温度值。
 - .2 对于在限制时段内航行的船舶， P_0 可基于航行期间的实际压力上升进行计算，并可顾及任何液舱绝热。
- .3 经主管机关特别考虑，并符合 6.4.15 中给出的对各类液舱的限制条件，在动载荷降低的特定场所条件下（港口或其他场所），可接受高于 P_0 的蒸气压力 P_h 。

.4 用于决定内部压力的压力数值须为:

- .1 $(P_{gd}) \max$ 是使用最大设计加速度确定的相关液体压力。
- .2 $(P_{gd \text{ site}}) \max$ 是使用场所特定加速度确定的相关液体压力。
- .3 P_{eq} 应为如下计算得出的 P_{eq1} 和 P_{eq2} 的大者:

$$P_{eq1} = P_0 + (P_{gd}) \max \text{ (MPa)},$$

$$P_{eq2} = P_h + (P_{gd \text{ site}}) \max \text{ (MPa)}。$$

.5 内部液压是指因发生 6.4.9.4.1.1 中所指船舶运动所导致的液化气燃料重心加速度产生的压力。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} 须如下计算:

$$P_{gd} = \alpha_{\beta} Z_{\beta} \left(p / (1.02 \times 10^5) \right) \text{ (MPa)}$$

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 6.4.1)。

对于大型液舱, 应使用考虑到横向垂向和纵向加速度的加速度椭球。

Z_{β} = 压力确定点以上从液舱壳板沿 β 方向测量的最大液体高度 (见图 6.4.2)。

在确定 Z_{β} 时, 除非液舱气室的总容积 V_d 不超过按下列公式所得值, 否则被视为获接受总仓容一部分的液舱气室应予以考虑:

$$V_d = V_t \left(\frac{100 - FL}{FL} \right)$$

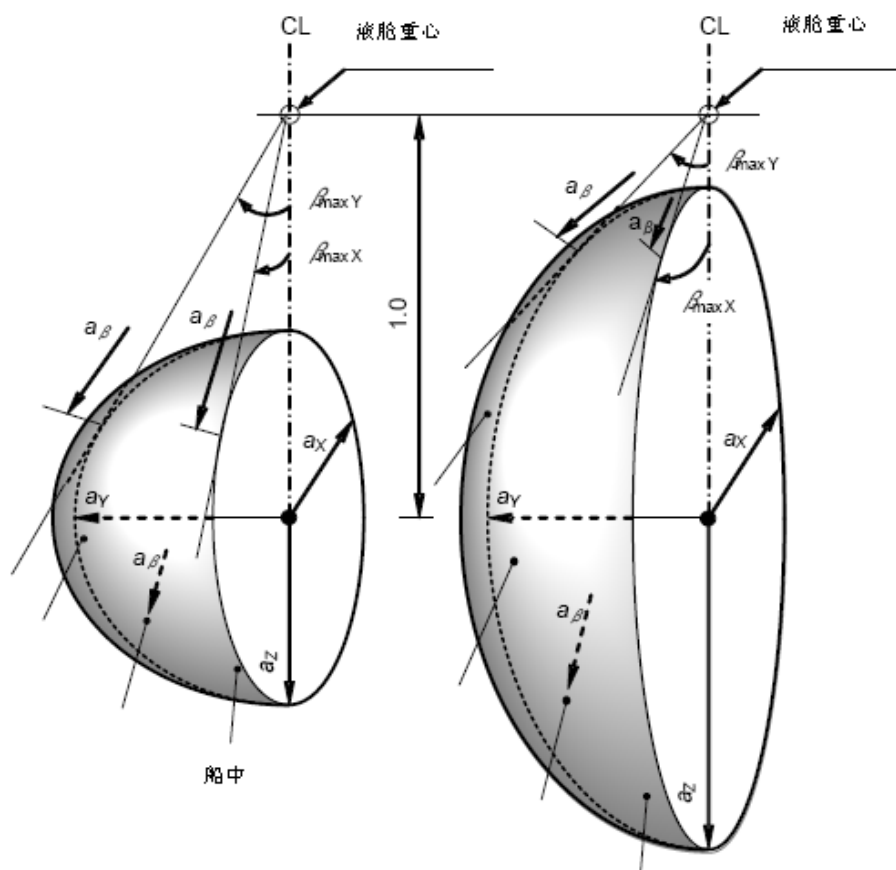
式中:

V_t = 无任何气室的液舱容积; 和

FL = 按 6.8 规定的充装极限

P = 设计温度下的最大液化气燃料密度 (kg/m^3)。

须考虑给出最大值 $(P_{gd})_{max}$ 或 $(P_{gd\ site})_{max}$ 的方向。在需要考虑三个方向的加速度分量时，须适用椭球取代图6.4.1中的椭圆。上述公式仅适用于注满的液舱。



a_β = 在任意 β 方向上的加速度（静态和动态）
 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

距首垂线0.05L处

图 6.4.1 — 加速度椭球

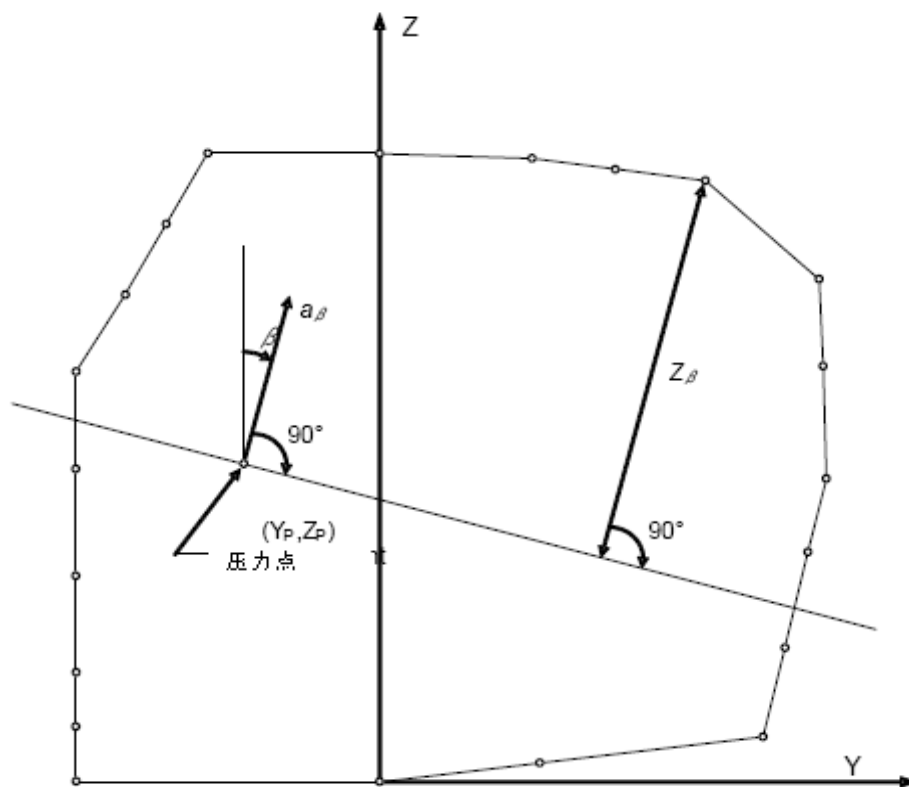


图 6.4.2 — 内部压头的确定

6.4.9.3.3.2 外部压力

外部设计压力载荷须基于液舱任何部分会同时承受的较小内部压力与较大外部压力之差。

6.4.9.3.3.3 热载荷

6.4.9.3.3.3.1 对于拟用于载运温度低于-55℃的液化气体燃料的液舱，须考虑冷却期间的瞬态热载荷。

6.4.9.3.3.3.2 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，对于这类液化气燃料围护系统，须考虑稳态热载荷（见6.9.2）。

6.4.9.3.3.4 振动

6.4.9.3.3.4.1 须考虑振动对液化气燃料围护系统的潜在破坏影响。

6.4.9.3.3.5 相互作用载荷

须考虑液化气燃料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。

6.4.9.3.3.6 与结构和安装相关的载荷

须考虑与结构和安装相关的载荷或条件，例如起重。

6.4.9.3.3.7 试验载荷

须考虑 16.5 中所述液化气燃料围护系统实验的相应载荷。

6.4.9.3.3.8 静横倾载荷

须考虑在0°到30°范围内最不利静横倾角的相应载荷。

6.4.9.3.3.9 其他载荷

须考虑未特别提及但对液化气燃料围护系统有影响的任何其他载荷。

6.4.9.4 环境载荷

6.4.9.4.1 环境载荷系定义为液化气燃料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。

6.4.9.4.1.1 船舶运动产生的载荷

确定动载荷须考虑船舶在其使用寿命期间将经历的在不规则海浪中船舶运动的长期分布。对由于必要的减速和改变航向导致的动载荷降低，可以予以考虑。船舶运动将包括纵荡、横荡、垂荡、横摇、纵摇和首摇。作用于液舱的加速度，需在液舱的重心予以估算并包括下列分量：

- .1 垂向加速度：垂荡、纵摇以及可能还有横摇（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。

预测船舶运动引起的加速度的方法须由主管机关提议并认可⁹。

对于限定航区营运的船舶，可予以特别考虑。

⁹ 关于加速度分量公式导则，参见《国际散装运输液化气船舶构造和设备规则》第 4.28.2.1 节。

6.4.9.4.1.2 动态相互作用载荷

须考虑液化气燃料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。

6.4.9.4.1.3 晃荡载荷

液化气燃料系统和内部构件上的晃荡载荷须对预定充装水平的整个范围予以估算。

6.4.9.4.1.4 雪和冰载荷

雪和结冰，如相关，须予考虑。

6.4.9.4.1.5 冰中航行产生的载荷

对于拟在冰中航行的船舶，须考虑冰中区航行产生的载荷。

6.4.9.4.1.6 绿海载荷（Green sea loading）

须考虑甲板积水的载荷。

6.4.9.4.1.7 风载荷

须考虑相关的风产生的载荷。

6.4.9.5 意外载荷

意外载荷定义为在异常和意外情况下施加在液化气燃料围护系统及其支持装置上的载荷。

6.4.9.5.1 碰撞载荷

确定碰撞载荷须基于满载工况下的液化气燃料围护系统，及向前惯性力相应于下表中的 a ，向后惯性力相应于 $a/2$ ，其中 g 为重力加速度。

船长(L)	设计加速度(a)
$L > 100\text{ m}$	$0,5\text{ g}$
$60 < L \leq 100\text{ m}$	$\left(2 - \frac{3(L - 60)}{80}\right)g$
$L \leq 60\text{ m}$	$2g$

对于弗劳德数（Fn）>0.4 的船舶须予以特殊考虑。

6.4.9.5.2 船舶浸水产生的载荷

对于独立液舱，在设计止浮垫块和相邻船体和舱结构的支持结构中，须考虑空液舱完全浸入水中所产生的浮力。

6.4.10 结构完整性

6.4.10.1 一般要求

6.4.10.1.1 结构设计须确保液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。须考虑塑性变形、屈曲、疲劳和丧失液密和气密的可能性。

6.4.10.1.2 液化气燃料围护系统的结构完整性可由符合有关液化气燃料围护系统类型的 6.4.15 予以证明。

6.4.10.1.3 对于那些设计新颖或者与 6.4.15 规定所涵盖者有显著不同的液化气燃料围护系统类型，其结构完整性须由符合 6.4.16 予以证明。

6.4.11 结构分析

6.4.11.1 分析

6.4.11.1.1 设计分析须基于获接受的静力学、动力学和材料强度原则。

6.4.11.1.2 简化方法或简化分析，但凡是保守的，可用于计算载荷影响。模型试验可与理论计算共用或代替理论计算。如果理论方法不适当，可要求模型或全尺度试验。

6.4.11.1.3 确定对动载荷的响应时，须考虑会影响结构完整性的动力影响。

6.4.11.2 载荷情景

6.4.11.2.1 对于要考虑的液化气燃料围护系统的每个位置或部分和要分析的每个可能的失效模式，须考虑可能同时作用的所有相关载荷组合。

6.4.11.2.2 须考虑建造、装卸、试验和营运条件下的所有相关阶段最不利的情景。

6.4.11.2.3 当分别计算静应力和动应力时，除有正当理由的其他计算方法外，总应力须按下式计算：

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_{x,st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{x,dyn})^2} \\ \sigma_y &= \sigma_{y,st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{y,dyn})^2} \\ \sigma_z &= \sigma_{z,st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{z,dyn})^2} \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy,st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xy,dyn})^2} \\ \tau_{xz} &= \tau_{xz,st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xz,dyn})^2} \\ \tau_{yz} &= \tau_{yz,st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{yz,dyn})^2}\end{aligned}$$

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；和
 $\sigma_{x.dyn}$, $\sigma_{y.dyn}$, $\sigma_{z.dyn}$, $\tau_{xy.dyn}$, $\tau_{xz.dyn}$ 和 $\tau_{yz.dyn}$ 为动应力，

上述各值须从加速度分量和因挠曲和扭转引起的船体应变分量中分别予以确定。

6.4.12 设计条件

对于所有相关载荷情景和设计条件，设计中须考虑所有相关失效模式。设计条件见本章前面部分，载荷情景见 6.4.11.2。

6.4.12.1 极限设计条件

6.4.12.1.1 结构能力可通过试验、或虑及材料弹性和塑性特性的分析、简化线性弹性分析或本规则的规定予以确定：

- .1 须考虑塑性变形和屈曲。
- .2 分析须基于如下特征载荷值：

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 波浪遭遇时遇到的最可能的最大载荷
- .3 下列材料参数适用于极限强度评估：
 - .1 R_e = 室温下特定材料最低屈服应力（N/mm²）。如在应力—应变曲线上未显示出明确的屈服应力，则0.2%的验证应力适用。
 - .2 R_m = 室温下特定材料最低抗拉强度（N/mm²）。

对于诸如一些铝合金中的无法避免低匹配焊接（即焊接金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度）的焊接，须采用热处理后的相应 R_e 或 R_m 值。在这种情况下，横向焊接抗拉强度不得小于母材的实际屈服强度。如无法做到，这类材料制成的焊接结构不得用于液化气燃料围护系统中。

上述性能应与材料标定的机械性能的下限值相一致，包括制成状态的焊缝金属。经主管机关特别考虑后，可考虑低温下经提高的屈服应力和抗拉强度。

- .4 等效应力 σ_c (Von Mises, Huber) 须按下式确定:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_x \sigma_z - \sigma_y \sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

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; 和
 τ_{yz} = y-z 平面的总剪应力。

以上数值须按 6.4.11.2.3 中的规定计算。

- .5 7.4所涵盖者之外的其他材料的允许应力须在各情况下经主管机关认可。

- .6 各应力可由疲劳分析、裂纹扩展分析和屈曲标准进一步予以限制。

6.4.12.2 疲劳设计条件

- .1 疲劳设计条件是有关累积循环装载的设计条件。
.2 如要求疲劳分析, 疲劳载荷的累积效应须符合:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{n_{Loading}}{N_{Loading}} \leq C_w$$

式中:

- n_i = 液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, 相应的应力水平导致断裂的循环次数;
 $n_{\text{装载}}$ = 液舱的使用寿命期间装卸循环次数, 不少于1,000。装卸循环包括完整的压力和热循环;
 $N_{\text{装载}}$ = 由于装卸产生的疲劳载荷导致断裂的循环次数; 和
 C_w = 许用最大疲劳累积损伤比。

疲劳损伤须基于液舱的设计寿命, 但不小于 10^8 波浪遭遇。

.3 如要求，须考虑到液化气燃料围护系统预期寿命期间所有疲劳载荷及其适当的组合，对液化气燃料围护系统进行疲劳分析。须考虑各种充装工况。

.4 分析中使用的设计 S-N 曲线须适用于材料和焊接件、结构细节、制作程序和预期的适用应力状况。

S-N 曲线须基于对应于至终失效的相关实验数据的平均值减去两倍的标准差曲线的 97.6%的残存概率。使用通过不同方式得到的 S-N 曲线要求调整 6.4.12.2.7 至 6.4.12.2.9 中规定的可接受 Cw 值。

.5 分析须基于以下特征载荷值：

永久载荷：	预期值
功能载荷：	规定值或规定的过去值
环境载荷：	预期载荷过去值，但不小于 10^8 循环。

如使用简化动力装载谱评估疲劳寿命，该谱须经主管机关特别审议。

.6 如按 6.4.2.3 的规定减小次屏壁的尺寸，须进行疲劳裂纹扩大的断裂力学分析以确定：

- .1 6.4.12.2.7 至 6.4.12.2.9 中酌情要求的，结构中的裂纹扩展路径；
- .2 裂纹扩大速度；
- .3 裂纹扩展至导致液舱泄漏所需时间；
- .4 全厚度裂纹的尺寸和形状；和
- .5 可探测到的裂纹穿透全厚度后达到临界状态所需时间。

断裂力学通常基于作为试验数据平均值加上两倍的标准差得出的裂纹扩大数据。疲劳裂纹扩大分析和断裂力学的方法须基于公认的标准。

分析裂纹扩展时，须酌情虑及许用无损试验和目力检查衡准，假定所用检查方法不能探测到的最大初始裂纹。

6.4.12.2.7中规定的裂纹扩展分析可采用为期15天内的简化载荷分布和顺序。该分布可案图6.4.3所示获得。诸如6.4.12.2.8和6.4.12.2.9中的更长时间的载荷分布和顺序须经主管机关认可。

安排须酌情符合 6.4.12.2.7 至 6.4.12.2.9。

- .7 对于能通过泄漏探测可靠探测到的失效：

C_w 须小于或等于 0.5。

从发现泄漏至达到临界状态，除对从事特殊航行的船舶适用不同规定，预计失效发展剩余时间不得少于 15 天。

- .8 不能通过泄漏探测到但能在营运中检查时可靠探测到的失效：

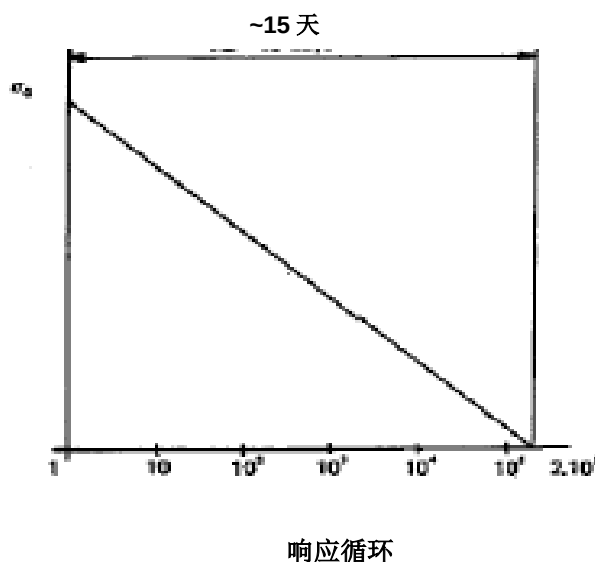
C_w 须小于或等于 0.5。

从营运检查方法不能探测到的最大裂纹至达到临界状态，预计失效发展剩余时间不得少于检查间隔的 3 倍。

- .9 在液舱中有效的缺陷探测或裂纹扩大探测无法保证的特定位置，须至少使用下列更严格的疲劳验收衡准：

C_w 须小于或等于 0.1。

从假定的初始缺陷至达到临界状态，预计失效发展时间不得少于液舱使用寿命的 3 倍。



σ_0 = 船舶使用寿命中最可能的最大应力

响应循环比例为对数的；数值 2.10^5 系作为估算算例给出。

图 6.4.3 — 简化载荷分布

6.4.12.3 意外设计条件

6.4.12.3.1 意外设计条件是发生概率极低的意外载荷的设计条件。

6.4.12.3.2 分析须基于以下特征值：

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

6.4.9.3.3.8和6.4.9.5中所述载荷无需进行相互或与波浪引起的载荷合成。

6.4.13 材料和构造

6.4.13.1 材料

6.4.13.1.1 构成船舶结构的材料

6.4.13.1.1.1 为确定船体结构中使用的板和型材的等级，需对所有类型的液舱进行温度计算。计算中须做出下列假定：

- .1 须假定所有液舱的主屏壁处于液化气燃料温度。
- .2 除以上.1 外，如要求设置完整的或部分的次屏壁，须对任一舱假定其处于大气压力下的液化气燃料温度。
- .3 对环球航行，环境温度须取空气为5℃和海水为0℃。主管机关，对航行于限制区域的船舶可接受较高的温度值，反之，对在冬季月份预期会有较低温度的区域航行的船舶可规定较低的温度值。
- .4 须假定空气和海水为静止状态，即无强制对流调节。
- .5 须假定船舶整个寿命期间由于诸如 6.4.13.3.6 和 6.4.13.3.7 中规定的热和机械老化、压缩、船舶运动和液舱振动等因素造成的绝热性能降低。
- .6 须考虑泄漏的液化气燃料蒸发所产生的冷却效应，如适用。
- .7 可按照 6.4.13.1.1.3 对船体加热予以认定但加热布置要符合 6.4.13.1.1.4。
- .8 除6.4.13.1.1.4中所述者外，对于任何加热方式，均不予认定。
- .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。

6.4.13.1.1.2 由于液化气燃料温度的影响使设计条件下的计算温度在0℃以下的所有船体结构材料须符合表7.5。这包括支持液化气体燃料液舱的船体结构、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。

6.4.13.1.1.3 可采用对船体结构材料进行加热的方法，以确保这些材料的温度不会降低到低于表7.5规定的材料等级的最低允许值。在进行6.4.13.1.1.1要求的计算时，可按照下列原则对加热予以计入：

- .1 对于任何横向船体结构；
- .2 在规定了较低的环境温度时，对于 6.4.13.1.1.2 中所述的纵向船体结构，但这些材料在加热计算中不予计入时要仍适于空气为 5℃和海水为 0℃的环境条件；和
- .3 作为 6.4.13.1.1.4.2 的替代，对于液舱之间的纵向舱壁，可对加热予以计入，但这些材料要仍适于-30℃的最低设计温度，或在虑及加热时，比按 6.4.13.1.1.1 确定的温度低 30℃，取小者。在这种情况下，无论这些舱壁被视为有效与否，船舶总纵强度须符合《安全公约》第 II-1/3-1 条。

6.4.13.1.1.4 6.4.13.1.1.3 中所述的加热措施须符合下列要求：

- .1 加热系统须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%的理论热要求；
- .2 加热系统须被视为关键辅助。至少一个按照 6.4.13.1.3.1 设置的系统的所有电气部件须由应急电源供电；和
- .3 主管机关对围护系统认可须包括加热系统的设计和构造。

6.4.13.2 主屏壁和次屏壁的材料

6.4.13.2.1 用于建造不构成船体的主屏壁和次屏壁的金属材料须适于其可能经受的设计载荷并符合表7.1、7.2或7.3的规定。

6.4.13.2.2 主屏壁和次屏壁中使用的、但表 7.1、7.2 和 7.3 中未涵盖的非金属或金属材料可由主管机关虑及其可能承受的设计载荷、性能和预定的用途，予以认可。

6.4.13.2.3 如果主屏壁或次屏壁使用或包含了非金属材料（包括复合材料）¹⁰，须对其酌情进行下列性能试验，以确保其适合于预定用途：

- .1 与液化气燃料的相容性；
- .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性能；和
- .9 耐疲劳破坏和裂纹扩展性能。

6.4.13.2.4 对上述性能，如适用，须在营运中预计最高温度和低于最低设计温度 5℃度，但不低于-196℃之间的范围内进行试验。

6.4.13.2.5 如主屏壁和次屏壁使用了非金属材料（包括复合材料），连接过程也须如上述进行试验。

6.4.13.2.6 可考虑在主屏壁和次屏壁中使用非防火和阻止火焰传播的材料，但要受到适当系统（诸如永久惰性气体环境）的保护或设有阻燃屏壁。

6.4.13.3 液化气燃料围护系统中使用的绝热和其他材料

6.4.13.3.1 液化气燃料围护系统中使用的承载绝热和其他材料须适于设计载荷。

6.4.13.3.2 液化气燃料围护系统中使用的绝热和其他材料须酌情具有下列性能，以确保适于其预定的用途：

- .1 与液化气燃料的相容性；
- .2 在液化气燃料中的可溶性；
- .3 对液化气燃料的吸收；
- .4 收缩性；
- .5 抗老化性；

¹⁰ 参见 6.4.16 节。

- .6 封闭气泡含量；
- .7 密度；
- .8 机械性能，能承受液化气燃料和其他载荷影响，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性能；和
- .14 耐疲劳破坏和裂纹扩展性能。

6.4.13.3.3 对上述性能，如适用，须在营运中预计最高温度和低于最低设计温度 5℃度，但不低于-196℃之间的范围内进行试验。

6.4.13.3.4 由于所处位置或环境条件，绝热材料须具有适当的防火和阻止火焰传播的性能，并须得到充分的防止水蒸汽渗透和机械损伤保护。绝热层如位于露天甲板或以上并在液舱罩贯穿处，须具有符合公认标准的适当耐火性能或由具有低播焰性并形成有效经认可蒸气密封的材料所覆盖。

6.4.13.3.5 不满足公认耐火标准的绝热层，只要其表面由具有低播焰性并形成有效经认可蒸气密封的材料所覆盖，可在不保持永久惰化的货舱处所中使用。

6.4.13.3.6 须在适当老化的样品上进行绝热层的热传导性试验。

6.4.13.3.7 当采用粉末或颗粒状绝热层时，须采取措施减少营运中的材料压实，保持要求的热传导性，同时防止对液化气燃料围护系统增加任何不适当的压力。

6.4.14 建造过程

6.4.14.1 焊缝设计

6.4.14.1.1 对独立液舱壳体的所有焊接接头，均须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，喷管焊缝也要设计成全焊透型。

6.4.14.1.2 C型独立液舱和主要以曲面构成的B型独立液舱液密主屏壁的焊接接头的细节须满足以下要求：

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。须采用双面焊或使用衬垫环获得全焊透的对接焊缝。如使用衬垫环，则除很小的处理用压力容器外，焊后须予以去除¹¹。根据对焊接工艺认可试验的结果，可允许其他边缘制备。液舱壳与C型双瓣液舱纵向舱壁的连接，可接受全焊透型T型焊接。
2. 对于液舱本体和气室之间以及气室和有关的附件之间的连接坡口制备，须按主管机关可接受的标准设计。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须为全焊透型焊缝。

6.4.14.2 粘合和其他连接过程的设计

6.4.14.2.1 粘合（或用除焊接外的一些其他过程连接）接头的设计须考虑连接过程的强度特征。

6.4.15 舱的类型

6.4.15.1 A型独立液舱

6.4.15.1.1 设计依据

6.4.15.1.1.1 A型独立液舱系指按照主管机关的要求，主要应用传统的船舶结构分析程序设计的液舱。如果这种液舱主要是由平面构成，则其设计蒸气压力 P_0 须小于0.07 MPa。

6.4.15.1.1.2 要求有6.4.3中界定的完整次屏壁。次屏壁须按照6.4.4设计。

6.4.15.1.2 结构分析

6.4.15.1.2.1 须虑及 6.4.9.3.3.1 中所述的内部压力和与支持和关键系统以及船体的适当部分相互作用的载荷，进行结构分析。

6.4.15.1.2.2 对于在本规则要求中没有包括的部件，如支持结构，在尽可能计及6.4.9.2至6.4.9.5中所述载荷和支持结构处的船舶变形后，须采用直接算法确定其应力。

6.4.15.1.2.3 具有支持构件的液舱须为6.4.9.5中规定的意外载荷予以设计。这些载荷无需相互合成或与环境载荷合成。

¹¹ 对于不具备人孔的真空绝缘液舱，纵向和环形接头应满足上述要求，可能使用单面衬垫环的外壁安装焊缝除外。

6.4.15.1.3 极限设计条件

6.4.15.1.3.1 对于主要由平面构成的液舱，主要构件和次要构件（扶强材、强肋骨、纵桁、桁材）的公称薄膜应力，如按传统的分析方法进行计算，采用镍钢、碳锰钢、奥氏体钢和铝合金时，不得超过 $R_m/2.66$ 或 $R_e/1.33$ 值的较小者， R_m 和 R_e 的定义在6.4.12.1.1.3中。但是，如对主要构件进行了详细计算，6.4.12.1.1.4中界定的等效应力 σ_c 可超过上述数值，增加到主管机关可接受的应力值。计算须虑及弯曲、剪切、轴向和扭转变形，以及由于船壳结构和液化气体燃料液舱底的变形而引起的船体和液化气燃料液舱的相互作用力的影响。

6.4.15.1.3.2 液舱界限的结构尺寸至少须满足主管机关对深舱的要求，并考虑到6.4.9.3.3.1中规定的内部压力和6.4.1.7所要求的任何腐蚀裕量。

6.4.15.1.3.3 须审查液化气燃料液舱结构是否有潜在的屈曲。

6.4.15.1.4 意外设计条件

6.4.15.1.4.1 液舱和液舱支持构件须为 6.4.9.5 和 6.4.1.6.3 中规定的相关意外载荷和设计条件予以设计。

6.4.15.1.4.2 在承受 6.4.9.5 中规定的意外载荷时，应力须符合酌情计及其较低的发生概率加以修正的 6.4.15.1.3 中规定的验收衡准。

6.4.15.2 B 型独立液舱

6.4.15.2.1 设计依据

6.4.15.2.1.1 B型独立液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所设计的液舱。如果这类液舱主要由平面构成（棱形液舱），则其设计蒸气压力 P_0 须小于0.07 MPa。

6.4.15.2.1.2 要求有 6.4.3 中界定的带有保护系统的部分次屏壁。小量泄漏保护系统须按照 6.4.5 设计。

6.4.15.2.2 结构分析

6.4.15.2.2.1 在确定结构对下列情况的适应性时，须考虑所有动、静载荷的影响：

- .1 塑性变形；
- .2 屈曲；
- .3 疲劳破坏；和
- .4 裂纹扩展。

须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分析。

6.4.15.2.2.2 须进行三维分析对应力水平，包括与船体的相互作用进行评估。该分析模型须包括液化气燃料液舱及其支持和关键系统以及船体的适当部分。

6.4.15.2.2.3 对在不规则波浪中特定的船舶加速度和运动以及船舶及其液化气燃料液舱对这些力和运动的响应须进行完整的分析，除非这些数据可得自类似船舶。

6.4.15.2.3 极限设计条件

6.4.15.2.3.1 塑性变形

对于主要由回转体构成的B型独立液舱，其许用应力不得超过：

σ_m	$\leq f$
σ_L	$\leq 1.5f$
σ_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 ，取其小者；和

$F = R_m/C$ 或 R_e/D ，取其小者。

R_m 和 R_e 见 6.4.12.1.1.3 中的定义。对于应力 σ_m 、 σ_L 和 σ_b ，另见 6.4.15.2.3.6 中的应力类别定义。

A 和 B 的数值须至少为下列最小值：

	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

上述数字可虑及主管机关接受中所审议的设计条件予以更改。对于由主要平面构成的 B 型独立液舱，用于有限元分析的许用膜等效应力不得超过：

- .1 对于镍钢和碳锰钢， $R_m/2$ 或 $R_e/1.2$ ，取其小者；
- .2 对于奥氏体钢， $R_m/2.5$ 或 $R_e/1.2$ ，取其小者；和
- .3 对于铝合金， $R_m/2.5$ 或 $R_e/1.2$ ，取其小者。

上述数字可虑及主管机关接受中所审议的应力位置、应力分析方法和设计条件予以修正。

壳板的厚度和扶强材的尺寸不得小于对 A 型独立液舱所要求者。

6.4.15.2.3.2 屈曲

对承受外部压力和引起压缩应力的其他载荷的液化气燃料液舱的屈曲强度分析须按照公认标准进行。方法须充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间因板边不对中、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差别。

6.4.15.2.3.3 疲劳设计条件

6.4.15.2.3.3.1 须按照 6.4.12.2 的规定进行疲劳和裂纹扩展评估。根据缺陷的可探测性，验收衡准须符合 6.4.12.2.7、6.4.12.2.8 或 6.4.12.2.9。

6.4.15.2.3.3.2 疲劳分析须考虑建造公差。

6.4.15.2.3.3.3 主管机关认为必要时，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。

6.4.15.2.3.4 意外设计条件

6.4.15.2.3.4.1 液舱和液舱支持构件须为 6.4.9.5 和 6.4.1.6.3 中规定的相关意外载荷和设计条件而设计。

6.4.15.2.3.4.2 在经受 6.4.9.5 中规定的意外载荷时，应力须符合在虑及其较低的发生概率而经酌情修正的 6.4.15.2.3 中规定的验收衡准。

6.4.15.2.3.5 标记

压力容器的任何标记，须以不致产生不可接受的局部应力升高的方法做出。

6.4.15.2.3.6 应力类别

对于应力评估，应力类别在本节中界定如下：

- .1 正应力系指对参照平面的正交应力的分量。
- .2 膜应力系指平均分布的及等于所审议部件全厚度应力平均值的正应力分量。
- .3 弯曲应力系指所审议部件全厚度的可变应力减去膜应力。
- .4 剪应力系指作用于参照平面的应力分量。
- .5 初应力系指平衡外力和力矩所需的外加载荷产生的应力。初应力的基本特点是非自限制性。显著超出屈服强度的初应力将导致失稳或至少严重变形。
- .6 总体主膜应力系指分布于构件中而无因屈服产生导致载荷重新分布的主膜应力。
- .7 局部主膜应力在压力或其他机械载荷产生膜应力时发生并相关于造成结构其他部分载荷转移过渡变形的初或不连续影响。此应力分类为局部主膜应力，虽然具有一些次应力的特点。应力区域可被视为使局部的，如果：

$$S_1 \leq 0.5\sqrt{Rt}; \text{ 和}$$

$$S_1 \geq 2.5\sqrt{Rt}$$

式中：

S_1 = 子午线方向之上等效应力超过 $1.1f$ 上的距离；

S_2 = 子午线方向上至初总膜应力限值被超出区域的距离；

R = 容器的平均半径；

t = 总体主膜应力限值被超出处的容器壁厚度；和

f = 允许总体主膜应力。

- .8 次应力系指相邻构件限制或结构自我限制所产生的正应力或剪应力。次应力的基本特点是其自限制性。局部屈服和小的变形可满足造成应力产生的条件。

6.4.15.3 C 型独立液舱

6.4.15.3.1 设计依据

6.4.15.3.1.1 C 型独立液舱的设计依据为经修订纳入断裂力学和裂纹扩展衡准的压力容器衡准。6.4.15.3.1.2 中规定的最小设计压力旨在确保动应力足够低，从而在液舱使用寿命期间，初始表面裂纹不会扩展超过外壳厚度的一半。

6.4.15.3.1.2 设计蒸气压力不得小于：

$$P_0 = 0.2 + AC(\rho_r)^{1.5} \text{ (MPa)}$$

式中：

$$A = 0.00185 \left(\frac{\sigma_m}{\Delta\sigma_A} \right)^2,$$

其中：

σ_m = 设计主膜应力；

$\Delta\sigma_A$ = 许用动态膜应力（双振幅，当概率水平为 $Q = 10^{-8}$ ）并等于：

- 对于铁素体（珠光体）/马氏体和奥氏体钢，55 N/mm²；
- 对于铝合金（5083-0），25 N/mm²；

C = 液舱的特性尺度，取下列各值中的最大者：

$$h, 0.75b \text{ 或 } 0.45\ell,$$

其中：

H = 液舱高度（沿船舶的垂向量取），m；

B = 液舱宽度（沿船舶的横向量取），m；

ℓ = 液舱长度（沿船舶的纵向量取），m；

ρ_r = 设计温度下货物的相对密度（淡水： $\rho_r = 1$ ）。

6.4.15.3.2 壳体厚度

6.4.15.3.2.1 在考虑壳体厚度时，以下所列适用：

- .1 对于压力容器，按6.4.15.3.2.4计算出的厚度须被视为加工成形后没有任何负公差的最小厚度；
- .2 对于压力容器，加工成形后壳体和封头的最小厚度（包括腐蚀裕量）须为：对于碳锰钢和镍钢，不小于5 mm；对于奥氏体钢不小于3 mm；对于铝合金，不小于7 mm。
- .3 当进行6.4.15.3.2.4所述的检验和无损探伤时，按16.3.6.4计算中所用的焊接有效系数须为0.95。如虑及其他因素，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1.0。对于处理用压力容器，主管机关在考虑了诸如所使用的材料、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，可以接受不小于16.3.6.4中的局部无损探伤，但在这种情况下，所采用的焊接有效系数不得大于0.85。对于特殊材料，上述系数须根据焊接接头的标定机械性能减小。

6.4.15.3.2.2 在内部压力计算中须考虑6.4.9.3.3.1中界定的设计液体压力。

6.4.15.3.2.3 用于验证压力容器屈曲的设计外部压力 P_e 不得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，须作特别考虑，但一般须取为不小于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品、加速度和船体变形的影响。此外,还须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一部分的外部压力；对其他处所， $P_4 = 0$ 。

6.4.15.3.2.4 基于内部压力的结构尺寸，须如下计算：

须确定承受6.4.9.3.3.1中界定的内部压力的压力容器承压部件，包括法兰，的厚度和形状。在所有情况下，须根据获接受的压力容器设计原理进行这些计算。压力容器承压部件的开口，须按主管机关可接受的公认标准予以加强。

6.4.15.3.2.5 对于静、动载荷的应力分析，须如下进行：

- .1 压力容器的结构尺寸，须按6.4.15.3.2.1至6.4.15.3.2.4和6.4.15.3.3予以确定；
- .2 须对支持构件及其壳体连接件处的载荷和应力进行计算。如适用，须采用6.4.9.2至6.4.9.5中所述载荷。支持结构处的应力须符合主管机关可接受的公认标准。在特殊情况下，主管机关可要求作疲劳分析；和
- .3 如主管机关要求，须对二阶应力和热应力予以特别考虑。

6.4.15.3.3 极限设计条件

6.4.15.3.3.1 塑性变形

对于C型独立液舱，许用应力不得超过：

$$\begin{aligned}
 \sigma_m &\leq f \\
 \sigma_L &\leq 1.5f \\
 \sigma_b &\leq 1.5f \\
 \sigma_L + \sigma_b &\leq 1.5f \\
 \sigma_m + \sigma_b &\leq 1.5f \\
 \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3.0f \\
 \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3.0f
 \end{aligned}$$

式中：

$$\begin{aligned}
 \sigma_m &= \text{等效总体主膜应力；} \\
 \sigma_L &= \text{等效局部主膜应力；} \\
 \sigma_b &= \text{等效主弯曲应力；} \\
 \sigma_g &= \text{等效二阶应力；和} \\
 f &= R_m/A \text{ 或 } R_e/B, \text{ 的小者；}
 \end{aligned}$$

R_m 和 R_e 见6.4.12.1.1.3中的定义。对于应力 σ_m , σ_L , σ_g 和 σ_b ，另见6.4.15.2.3.6中的应力类别定义。A和B值须至少具有下列最小值：

	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

6.4.15.3.3.2 屈曲衡准须如以下所列：

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，其厚度和形状须基于使用获接受的压力容器屈曲理论的计算，并须充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间因板边不对中、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差别。

6.4.15.3.4. 疲劳设计条件

6.4.15.3.4.1 对于C型独立液舱，如在大气压力下液化气燃料温度低于-55℃，主管机关可要求附加验证以依据同液舱的尺寸、形状、支持结构和连接件，核查其是否符合6.4.15.3.1.1对静应力和动应力的要求。

6.4.15.3.4.2 真空绝缘液舱支持构件的疲劳强度设计须特别注意，对液舱内外壁之间的有限检查可能性也须特殊考虑。

6.4.15.3.5 意外设计条件

6.4.15.3.5.1 液舱和液舱支持构件须为6.4.9.5和6.4.1.6.3中规定的相关意外载荷和设计条件而设计。

6.4.15.3.5.2 在承受6.4.9.5中规定的意外载荷时，在计及其较低的同时，应力须符合酌情虑及其较低的发生概率而经修订的6.4.15.3.3.1中规定的验收衡准。

6.4.15.3.6 标记

压力容器的任何标记，须以不致产生不可接受的局部应力升高的方法做出。

6.4.15.4 薄膜液舱

6.4.15.4.1 设计依据

6.4.15.4.1.1 薄膜围护系统的设计依据为使热和其他的膨胀或收缩得到补偿，且无丧失薄膜密性的不当风险。

6.4.15.4.1.2 在考虑6.4.15.4.2.1中列明的营运事件中，须使用基于分析和试验的系统方法证明该系统将提供其预期功能。

6.4.15.4.1.3 要求具备6.4.3中界定的完整次屏壁。次屏壁须按照6.4.4进行设计。

6.4.15.4.1.4 设计蒸气压力 P_0 通常不得超过0.025 MPa。如果船体构材尺寸相应加大并适当考虑支持绝热层的强度， P_0 可增加到一较高、但小于0.07 MPa的数值。

6.4.15.4.1.5 薄膜液舱的定义并不排除使用非金属薄膜或将薄膜包括或合并并在绝热层内的设计。

6.4.15.4.1.6 薄膜厚度一般不得超过10 mm。

6.4.15.4.1.7 按照 6.11.1, 惰性气体在主要绝热处所和次要绝热处所中的循环须足以允许有效的气体探测。

6.4.15.4.2 设计考虑

6.4.15.4.2.1 须评估在薄膜寿命期间可能导致液密丧失的潜在事件。这包括但不限于:

.1 极限设计事件:

- .1 薄膜拉力失效;
- .2 绝热层的压缩破坏;
- .3 热老化;
- .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; 和
- .7 支持船体结构的破损。

.2 疲劳设计事件:

- .1 薄膜, 包括与船体结构的接头和附件, 疲劳;
- .2 绝热层的疲劳裂纹;
- .3 内部结构及其支持结构的疲劳; 和
- .4 导致压载水进入的内壳疲劳裂纹。

.3 意外设计事件:

- .1 意外机械破损 (例如营运时液舱内掉落的物体);
- .2 绝热处所的意外过压;
- .3 液舱的意外真空; 和
- .4 内壳结构进水。

单个内部事件会导致 2 个薄膜同时或级联失效的设计不可接受。

6.4.15.4.2.2 按照 6.4.15.4.1.2 进行设计时，须确定建造液化气燃料围护系统时使用的材料的物理性能（机械的、热的、化学的等）。

6.4.15.4.3 载荷和载荷组合

对于因屏壁间处所的超压、液化气体燃料液舱中可能出现的真空、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的液舱完整性丧失，须予以特别注意。

6.4.15.4.4 结构分析

6.4.15.4.4.1 须进行旨在确定极限强度的结构分析和/或试验和液化气燃料围护和相关结构（例如 6.4.7 中定义的泵及其支持结构）的疲劳评估。结构分析须提供对已确定的对液化气燃料围护系统为关键性的各失效模式进行评估所需的数据。

6.4.15.4.4.2 船体结构分析须计及 6.4.9.3.3.1 中所述的内部压力。须特别注意船体的变形及其与薄膜和相关绝热层的相容性。

6.4.15.4.4.3 6.4.15.4.4.1 和 6.4.15.4.4.2 中所述的分析须基于船舶和液化气燃料围护系统特有的运动、加速度和响应。

6.4.15.4.5 极限设计条件

6.4.15.4.5.1 须按照 6.4.15.4.1.2 确定在营运条件下各关键部件、子系统或组件的结构抗力。

6.4.15.4.5.2 液化气燃料围护系统、其与船体结构的连接件和内部液舱结构失效模式强度验收衡准的选择须反映与所考虑的失效模式相关的后果。

6.4.15.4.5.3 内壳用材尺寸须满足对深舱的要求，并虑及 6.4.9.3.3.1 中所述的内部压力和 6.4.9.4.1.3 中界定的对晃荡载荷的适当规定。

6.4.15.4.6 疲劳设计条件

6.4.15.4.6.1 对液舱内无法通过连续监测可靠探测到失效发展的结构（即泵塔）以及部分薄膜和泵塔附件，须进行疲劳分析。

6.4.15.4.6.2 须按照 6.4.12.2 及依据以下所列的相关规定进行疲劳计算：

- .1 结构部件对于结构完整性的重要性；和
- .2 检查的有效性。

6.4.15.4.6.3 对于可经试验和/或分析证明裂纹将不会发展至造成 2 个薄膜同时或级联失效的结构单元, C_w 须小于或等于 0.5。

6.4.15.4.6.4 要定期检查, 及未处理的疲劳裂纹会发展至造成 2 个薄膜同时或级联失效的结构单元, 须满足 6.4.12.2.8 中所述的疲劳和断裂力学规定。

6.4.15.4.6.5 无法触及进行营运中检查且疲劳裂纹会无预兆地发展至造成 2 个薄膜同时或级联失效的结构单元, 须应满足 6.4.12.2.9 中所述的疲劳和断裂力学规定。

6.4.15.4.7 意外设计条件

6.4.15.4.7.1 围护系统和支持船体结构须为 6.4.9.5 中规定的意外载荷而设计。这些载荷无需相互或与环境载荷合成。

6.4.15.4.7.2 附加相关意外情景须基于风险评估予以确定。须特别考虑液舱内的系固设备。

6.4.16 新颖概念的极限状态设计

6.4.16.1 不能使用 6.4.15 进行设计的新颖构造的燃料围护系统须酌情使用本节以及 6.4.1 至 6.4.14 进行设计。按照本节进行的燃料围护系统设计须基于极限状态设计的原则, 该极限状态设计是一种可适用于已确定设计方案又适用于新颖设计的设计途径。此更通用的方法所保持的安全水平与使用 6.4.15 设计的已知围护系统所达到的安全水平类似。

6.4.16.2.1 极限状态设计是系统性方法, 对每个结构单元就与 4.3.4 中确定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规定的状态。

6.4.16.2.2 对于每个失效模式, 一个或多个极限状态可能相关。考虑到所有相关极限状态, 结构单元的极限载荷为从所有相关极限状态中得出的最小极限载荷。极限状态分为以下 3 类:

- .1 终极极限状态 (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) 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。

6.4.16.3 极限状态设计的程序和相关设计参数须符合第 A-1 部分附录中所载的《新颖构造燃料围护系统设计中极限状态方法使用标准》(LSD 标准)。

6.5 可移动液化气燃料液舱规定

6.5.1 液舱的设计须符合 6.4.15.3。液舱支持（集装箱框架或卡车底盘）须为预定用途而设计。

6.5.2 可移动燃料液舱须置于设有以下所列的专门区域：

- .1 取决于所在位置和货物操作的液舱机械保护；
- .2 若处于开放甲板：泄漏保护和水喷雾冷却系统；和
- .3 若处于围闭处所：要将该处所视为液舱连接处所。

6.5.3 可移动燃料舱在与船舶系统相连时，须固定在甲板上。设计液舱的支撑和固定布置，须虑及船舶特性和液舱位置，为最大预期静态和动态倾斜、最大预期加速度值而设计。

6.5.4 须考虑到可移动燃料舱的强度及其对船舶稳性的影响。

6.5.5 须使用经认可的软管或其他为提供足够灵活性而设计的适当方法与船舶燃料管道系统连接。

6.5.6 须为非永久性连接意外断开或断裂情况提供限制燃料泄漏量的布置。

6.5.7 可移动燃料舱减压系统须连接至固定排气系统。

6.5.8 可移动燃料舱控制和监测系统须与船舶控制和检测系统融合。可移动燃料舱安全系统须与船舶安全系统融合（如液舱阀门关闭系统，泄漏/气体探测系统）。

6.5.9 须确保检查和维护液舱连接的安全通道。

6.5.10 与船舶燃油管道系统连接后，

- .1 除 6.5.6 所述的减压系统，须确保能随时隔离每一个可移动液舱；
- .2 对一个可移动液舱的隔离不得妨碍其余可移动液舱的可用性；和
- .3 液舱不得超过 6.8 中给出的灌装极限。

6.6 压缩天然气燃料围护规定

6.6.1 用于压缩天然气的储存液舱须经主管机关认证并批准。

6.6.2 压缩天然气舱须装有设定点低于舱设计压力的压力释放阀，且排放口的位置须符合 6.7.2.7 与 6.7.2.8 中的要求。

6.6.3 须提供在发生可能影响到液舱的失火时释放液舱压力的适当手段。

6.6.4 通常不允许在围闭处所内存储压缩天然气，但经特殊考虑并经主管机关认可，可以允许，但除要满足 6.3.4 至 6.3.6 外，要满足以下所列：

- .1 须提供在发生可能影响到液舱的失火时释放液舱压力并使液舱惰化的适当手段；
- .2 包含压缩天然气存储的围闭处所内的所有表面须具有防止任何高压气体损失及所导致的凝结的隔热保护，除非舱壁系为气体碰撞渗漏会产生的最低温度而设计；及可随气体膨胀泄漏而上升；
- .3 包含压缩天然气存储的围闭处所内设有固定灭火系统。对扑灭喷射状火焰应特别予以考虑。

6.7 压力释放系统规定

6.7.1 通则

6.7.1.1 所有燃料储存舱均须具有与燃料围护系统的设计以及其所装载的燃料相适应的压力释放系统。所承受的压力可能超过其设计承受能力的燃料存储舱处所，屏壁间处所，液舱连接处所和液舱围堰，也须具备合适的压力释放系统。6.9中规定的压力控制系统须独立于压力释放系统。

6.7.1.2 可能承受超过其设计压力的燃料储存液舱须配备真空保护系统。

6.7.2 液化气燃料舱的压力释放系统

6.7.2.1 如果不能排除向真空绝缘液舱的真空处所中释放燃料，在液舱位于甲板之下时，真空处所须由连接到通风系统的减压装置予以保护。在露天甲板上，对于尺寸不超过 40 英尺集装箱的液舱，若所释放的气体不会进入安全区域，主管机关可接受直接向大气中释放。

6.7.2.2 液化气燃料舱须设有最少 2 个压力释放阀（PRV），以允许在出现故障或泄漏时断开一个压力释放阀。

6.7.2.3 屏壁间处所须设有压力释放装置¹²。对于薄膜系统，设计方须证明屏壁间处所压力释放阀具有足够的尺寸。

6.7.2.4 压力释放阀的调定压力须不高于设计该液舱时所采用的蒸气压力。具有不超过总释放能力50%的阀可调至MARVS以上5%的压力以允许顺序开启，将不必要的蒸气释放降至最低。

6.7.2.5 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 设计温度低于 0℃的液化气燃料舱上的压力释放阀的设计和布置须能防止由于结冰而造成阀失灵；
- .2 压力释放阀的结构和布置，须虑及因环境温度结冰的影响；
- .3 压力释放阀须由熔点高于 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-安全运作；和
- .4 先导式压力释放阀上的感应导管和排气管须足够坚固以防止破损。

6.7.2.6 须有燃料舱的压力释放阀发生故障时的紧急隔离安全装置：

- .1 须提供程序并纳入操作手册（见第 18 章）；
- .2 程序须只允许隔离一个液化天然气燃料液舱所安装的减压阀，为此须包含物理连锁；和
- .3 压力释放阀的隔离须在船长的监督下进行。该行动须在船舶航行日志内，及在压力释放阀处记录。

6.7.2.7 安装在液化气燃料液舱上的每个压力释放阀须与透气系统相连接，该系统须为：

- .1 其建造使气体将不受阻碍且通常在出口处直接垂直向上排放；
- .2 其布置使水或雪进入透气系统的可能性减至最低；和
- .3 其布置须使透气管出口的高度通常高出露天甲板不小于 B/3 或 6 m，取其大者，并高出工作区域和步桥 6 m。然而，通风杆高度可依据主管机关的特殊考虑限制至较低高度。

¹² 参见国际船级社协会统一解释 GC9 “屏壁间处所压力释放系统的尺寸测定导则”，1988。

6.7.2.8 压力释放阀的出口与最近的以下设备通常须至少间隔 10 米：

- .1 进气口、排气口或居住区、服务和控制区，或其他气体安全区的开口；和
- .2 机械装置排气口。

6.7.2.9 所有其他燃气透气管出口均须按照 6.7.2.7 和 6.7.2.8 布置。须设有防止因与其相连处所的静液压力造成液体从透气管桅出口溢出的措施。

6.7.2.10 在透气管系中，须设有能从可积聚液体的地方排放液体的措施。须将压力释放阀和管路布置成在任何情况下液体不会积聚在压力释放阀内或其附近。

6.7.2.11 在透气管出口端，须装设网孔不大于 13 mm² 的适当的防护网以防异物进入，且不会对流量造成不利影响。

6.7.2.12 所有透气管路须设计和布置成不会因承受外界温度的变化、流产生的力或船体的运动而受损。

6.7.2.13 须将压力释放阀连接至液舱最高部分。压力释放阀在液舱上的位置须使其在船舶处于横倾 15° 和纵倾 0.015L（L 界定于 2.2.25 中）的情况下，在 6.8 中给出的充装极限（FL）下仍保持在气相中。

6.7.3 压力释放系统的尺寸确定

6.7.3.1 压力释放阀的尺寸确定

6.7.3.1.1 每个液化气燃料舱的各压力释放阀的综合释放能力须在使液化气燃料舱中的压力升高不超过释放阀的最大允许调定值（MARVS）的 20% 时，释放以下所列之大者：

- .1 如果液化气燃料舱惰化系统的最大可达到的工作压力超过液化气燃料舱的 MARVS，则取液化气燃料舱惰化系统的最大能力；或
- .2 用下式算得的火灾波及时的蒸气生成量：

$$Q = FGA^{0.82}(\text{m}^3/\text{s})$$

式中：

Q = 在 273.15K 和 0.1013MPa 的标准状态下所需的最小空气排放率；

F = 用于不同类型液化气燃料舱的火灾波及系数：

F = 1.0，对于甲板上无绝热层的液舱；

F = 0.5，对于甲板以上其绝热层系经主管机关认可的液舱。（认可将基于所使用的防火材料、绝热层的热传导性能及其在火灾波及时的稳定性）；

$F = 0.5$, 对于安装在货舱处所内的无绝热独立液舱;

$F = 0.2$, 对于货物处所有绝热的独立液舱 (或绝热货舱处所内的非绝热独立液舱);

$F = 0.1$, 对于惰化货舱处所内的绝热独立液舱 (或惰化、绝热货舱处所内的非绝热独立液舱); 和

$F = 0.1$, 对于薄膜液舱。

对于部分突出于露天甲板上的独立液舱, 其火灾波及系数, 须根据甲板上、下方的表面面积予以确定。

$G =$ 按照公式的气体系数:

$$G = \frac{12.4}{LD} \sqrt{\frac{ZT}{M}}$$

其中:

$T =$ 在释放状态下, 即在120%的释放阀调定压力下的绝对温度 (K);

$L =$ 在释放状态下, 物质被气化时的潜热, kJ/kg;

$D =$ 根据比热 k 确定的常数, 用下列公式计算:

$$D = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

式中:

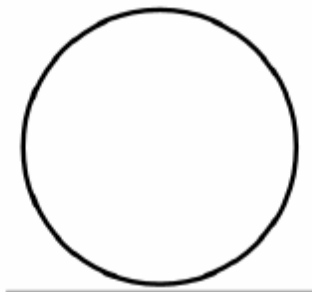
$k =$ 释放状态下的比热率, 其值在1.0和2.2之间。如果 k 为未知数时, 须取 $D = 0.606$;

$Z =$ 在释放状态下, 气体的压缩系数; 如此系数为未知数, 须取 $Z = 1.0$;

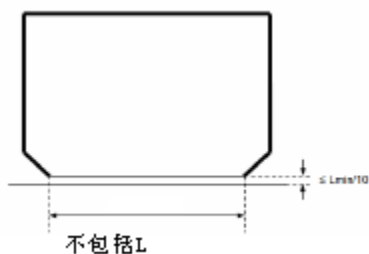
$M =$ 产品分子量。

须确定拟载运的每一液化气燃料的气体系数，其最高值须用于PRV尺寸确定。

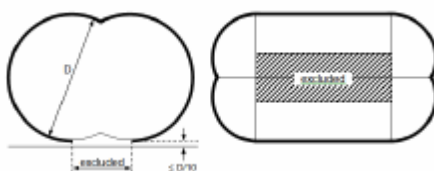
A = 不同舱型的液舱外表面面积 (m^2)，如图6.7.1所示。



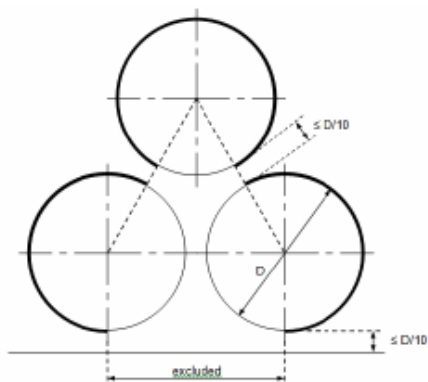
具有球形、半球或半椭圆形封头的圆柱形液舱或球形液舱



棱形液舱



双耳式液舱



水平圆柱形液舱布置

图6.7.1

6.7.3.1.2 对于燃料存储货舱处所内的真空绝缘液舱和燃料存储货舱处所内由空仓与潜在火灾荷载隔离或被无火灾荷载的船舶处所围绕的液舱，以下所列适用：

如须为火灾荷载确定减压阀尺寸，相应的火灾因数可简化为以下值：

$$F = 0.5 \text{ 至 } F = 0.25$$

$$F = 0.2 \text{ 至 } F = 0.1$$

最小火灾因数 $F = 0.1$

6.7.3.1.3 释放状态下要求的空气质量流由下列公式得出：

$$M_{\text{空气}} = Q \rho_{\text{空气}} \text{ (kg/s)}$$

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）。

6.7.3.2 通风管道系统尺寸测定

6.7.3.2.1 确定压力释放阀的尺寸时，须考虑压力释放阀上游和下游的压力损失以确保6.7.3.1要求的流量。

6.7.3.2.2 上游压力损失

- .1 透气管路中从液舱到压力释放阀入口处的压降，须不超过按照 6.7.3.1 计算的流率下该释放阀调定压力的 3%；
- .2 先导式压力释放阀感应导管直接引自液舱气室时，该压力释放阀须不受进入管压力损失的影响；和
- .3 对于流量式导管，须考虑远程感应导管中的压力损失。

6.7.3.2.3 下游压力损失

- .1 如设有共用透气总管和透气管桅，计算须包括所有关联压力释放阀的流量。
- .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，包括任何与其他液舱相连的透气管连接，须不超过下列值：
 - .1 非平衡压力释放阀： MARVS的10%；
 - .2 平衡压力释放阀： 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。

6.7.3.2.4 为确保压力释放阀的稳定运作，泄放须不少于进口压力损失和额定排量时0.02倍MARVS的总和。

6.8 液化气燃料舱的充装极限规定

6.8.1 液化气存储液舱在 2.2.36 中界定的参照温度下不得充装超过液舱容量的 98%。

实际燃料填充温度的填充极限曲线须由以下公式得出：

$$LL = FL \rho_R / \rho_L$$

式中：

LL = 2.2.27 中界定的装载极限，以百分数表达；

FL = 2.2.16 中界定的以百分数表示的充装极限，此处为 98%；

ρ_R = 参照温度下燃料的相对密度；和

ρ_L = 装载温度下燃料的相对密度。

6.8.2 液舱的绝热和液舱位置使舱中内容因外部失火而加热的概率非常小时，可做出特殊考虑，允许高于使用参照温度计算出的充装极限，但不得超过 95%。这也适用安装了第二个压力维护系统的情况（见 6.9）。但是，如压力仅由燃料使用设备维持/控制，则须使用 6.8.1 中计算出的充装极限。

6.9 燃料储存条件的维护规定

6.9.1 液舱压力和温度控制

6.9.1.1 除设计成在最高设计环境温度条件下能承受燃料的最大蒸气表压力的液化气燃料舱外，液化气燃料液舱的压力和温度须通过主管机关可接受的方法，诸如下列方法之一，始终保持在设计范围内：

- .1 蒸气的再液化；
- .2 蒸气的热氧化；
- .3 压力积聚；和
- .4 液化气燃料冷却。

所选择的方法，假设液舱处于满舱正常工作压力以及船舶处在空闲状态，即，产生生活用电，须能将液舱压力保持在液舱压力释放阀的设定压力以下达 15 天。

6.9.1.2 除紧急情况外，为控制液舱压力而排放燃料蒸汽是不可接受的。

6.9.2 系统设计

6.9.2.1 对于全球营运，其最高的环境设计温度须为海水 32℃，空气 45℃。对于在特热或特冷区域中的营运，这些设计温度须令主管机关满意地予以增减。

6.9.2.2 系统的总体能力须使其在不向大气排放的情况下将压力控制在设计条件内。

6.9.3 再液化系统

6.9.3.1 再液化系统须按照 6.9.3.2 设计与计算。该系统还要为无或低消耗的情况充分确定其大小。

6.9.3.2 须按下列方式之一布置再液化系统：

- .1 直接系统：对气化的燃料进行压缩、冷凝并输回燃料舱；
- .2 间接系统：用制冷剂对燃料或气化的燃料进行冷却或冷凝，而不压缩；
- .3 混合系统：将气化的燃料压缩并在燃料 / 制冷剂的热交换器中加以冷凝，及输回燃料舱；或
- .4 如果在设计条件内的压力控制操作期间，再液化系统产生包含甲烷的废气流，这些废气须尽实际可行地在不向大气排放的情况下予以处置。

6.9.4 热氧化系统

6.9.4.1 热氧化可按照本规则中所述对用气设备的规定对蒸气予以消耗或在专用的气体燃烧器（GCU）中对蒸气予以消耗而实现。必须证明氧化系统的能力足以消耗所需数量的蒸汽。对此，需考虑推进或其他服务的慢速运行和/或无耗时段。

6.9.5 相容性

6.9.5.1 用于燃料制冷或冷却的制冷剂或辅助介质须与其可能接触的燃料相容（不能产生任何危险反应或过度腐蚀性产品）。此外，在使用多种制冷剂或介质时，须相互相容。

6.9.6 系统的可用性

6.9.6.1 系统及其支持辅助服务的可用性须为：在（机械非静止部件或控制系统部件）发生单项故障时，可由另一个服务/系统保持燃料舱的压力和温度；

6.9.6.2 使燃料舱的压力和温度保持在其设计范围内所必需的热交换器须设有备用热交换器，除非其所具备的能力超过保持压力所需最大要求能力的 25%并能在无外部帮助的条件下在船上进行修理。

6.10 燃料储存系统内大气控制规定

6.10.1 须设有，使各燃料舱能够安全除气，并从除气状态安全充装燃料的管路系统。该系统的布置须尽力减少大气变换后气体或空气穴留存的可能性。

6.10.2 须将系统设计成利用惰性介质作为中间步骤消除大气变换作业任何部分期间燃料舱内易燃混合物存在的可能性。

6.10.3 须为每个燃料舱提供气体采样点以监测大气变换进程。

6.10.4 用于液舱除气的惰性气体可由船舶外部供给。

6.11 燃料存储货舱处所（除 C 型独立液舱外的燃料围护系统）内大气控制规定

6.11.1 要求全部或部分次屏壁的燃料围护系统的相关屏壁间处所和燃料存储舱处所货舱处所，须使用适当的干燥惰性气体惰化，并用船上惰性气体发生系统或用船上储存提供补充惰性气体以保持惰化。船上储存的惰性气体须足以满足至少 30 天的正常消耗。主管机关可依据船舶的运营考虑较短时间。

6.11.2 或者，6.11.1 中所述只要求部分次屏壁的处所可用干燥空气充填，但船上要保持惰性气体存储或设有足以惰化上述处所中最大处所的惰性气体发生系统，及，上述处所和相关蒸气探测系统的构成以及惰化装置的能力，要确保能迅速探测到燃料舱的任何泄漏并在可能发展成危险状态之前完成惰化。须设有提供足够的适当质量干燥空气的设备，以满足预期的需要。

6.12 C 型独立液舱周围处所环境控制规定

6.12.1 燃料舱周围处所，须充填适当的干燥空气，并用合适的干燥空气设备提供的干燥空气，保持该状态。这只适用于因低温表面有冷凝和结冰问题的燃料舱。

6.13 惰化规定

6.13.1 须设有如下规定的用以防止燃料蒸气倒流至惰性气体系统的布置。

6.13.2 为防止可燃气体回流至任何非危险处所，惰性气体供应管线须串联配备两个关闭阀并在两关闭阀门之间安装一个通风阀（双阻断和排放阀）。另外，须在双阻断和排放阀布置与燃料系统之间安装一个可关闭的止回阀。这些阀门须位于非危险处所之外。

6.13.3 当至燃料管路系统的连接为非永久性时，可用两个止回阀代替 6.13.2 中要求的阀门组。

6.13.4 所采用的布置须使每个被惰化的处所都能被隔离，并为控制这些处所中的压力设置必要的控制和释放阀等。

6.13.5 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，须设有装置监测各处所获得的气体数量。

6.14 船上惰性气体制造和储存规定

6.14.1 制造惰性气体的设备须能产生在任何时间含氧量都不超过容积的 5%的惰性气体。惰性气体制造设备的惰性气体供应管路上须安装一个连续读取含氧量计和一个调定在最高含氧量为容积的 5%的报警装置。

6.14.2 惰性气体系统须具有适合于燃料围护系统的压力控制和监测装置。

6.14.3 如氮气发生器或氮储存设施安装在机舱外的单独隔间中，该单独隔间须配备每小时能至少提供 6 次换气的独立机械抽排通风系统。须安装低氧警报。

6.14.4 氮气管道须只能通过通风良好处所。围闭处所内的氮气管道须：

- 完全焊接；
- 只在需要安装阀门处使用最少的法兰连接；和
- 尽可能短。

7 材料和总管路设计

7.1 目标

7.1.1 本章的目标是确保燃料在所有营运状态下的安全装卸，针对所涉及产品的性质，尽力减少对船舶、船员和环境的风险。

7.2 功能要求

7.2.1 本章与 3.2.1、3.2.5、3.2.6、3.2.8、3.2.9 以及 3.2.10 中的功能要求相关，特别是以下所列适用：

7.2.1.1 燃料管道须能够吸收燃料极端温度造成的热膨胀或收缩而不产生重大应力。

7.2.1.2 须采取措施保护管路、管系和部件和燃料舱免受因热变形及燃料舱和船体构件的移动而引起的过大应力的影响。

7.2.1.3 若燃气包含可能在系统里凝结的重成分，则须安装安全移除液体的设备。

7.2.1.4 必要时，须对低温管路与其邻接的船体构件进行热隔离，以防止船体温度降至船体材料设计温度之下。

7.3 总管路设计规定

7.3.1 总则

7.3.1.1 安全且可靠营运及维护所需的燃料管道和所有其他管道须按照至少与国际海事组织可接受标准等效的标准用颜色标记¹³。

7.3.1.2 当液舱或管路与船体结构热隔离时，须为管路和液舱与船体的电气接地作出安排。所有具有密封垫片的管接头和软管接头均须电气接地连接。

7.3.1.3 所有可在充满液体的情况下被隔绝的管线或部件，均须设有释放阀。

7.3.1.4 须对可能包含低温燃料的管路进行热绝缘以尽可能减少湿气凝结。

7.3.1.5 除燃料供给管道外的管线和电缆，若不产生点火源或有损于双层壁管或导管的完整性，可布置在双层壁管或导管内。双层壁管或导管须只包含营运目的所必须的管线或电缆。

7.3.2 壁厚

7.3.2.1 最小壁厚须按照下列公式计算：

$$t = (t_0 + b + c) / (1 - a/100) \text{ (mm)}$$

式中：

$$t_0 = \text{理论厚度}$$

$$t_0 = PD / (20Ke + P) \text{ (mm)}$$

其中：

$$P = \text{7.3.3 中所述设计压力 (bar) ;}$$

$$D = \text{外径 (mm) ;}$$

$$K = \text{7.3.4 中所述许用应力 (N/mm}^2\text{) ; 和}$$

$$e = \text{有效系数。对于无缝钢管以及由经认可的焊接管制造厂供应的，按经认可标准进行无损探伤后认为等效于无缝钢管的纵向焊或螺旋焊焊接管，取 1.0。在其他情况下，按经认可标准，可根据制造工艺要求有效系数小于 1.0;}$$

¹³ 参见 EN ISO 14726:2008 船舶和海上技术 — 管道系统内容的颜色标识。

b = 弯曲余量, mm。对 b 值的选取, 须使仅受内压的弯曲部分的计算应力不超过许用应力。如未做出此种证明, 则 b 值须为:

$$b = Dt_0 / 2.5r \text{ (mm)}$$

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, 则管系的壁厚须比其他设计规定所要求的值有所增加。此余量须与管道的预期寿命相一致; 和

a = 壁厚制造负公差 (%)。

7.3.2.2 绝对最小壁厚须符合主管机关可接受的标准。

7.3.3 设计条件

7.3.3.1 对于管路、管系和部件, 须取下列设计条件中的较大者¹⁴、¹⁵:

- .1 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, 45°C 的蒸气压力, 假定系统中处于该系统的工作压力和工作温度下的饱和蒸气初始状态; 或
- .2 燃料舱和燃料处理系统的 MARVS; 或
- .3 相关泵或压缩机的释放阀的调定压力; 或
- .4 燃料管系的最大装卸总压头; 或
- .5 管路系统的释放阀调定压力。

7.3.3.2 管道、管系和部件须设定最小设计压力为 1.0MPa, 但管端敞开的管路则不少于 0.5MPa。

¹⁴ 对于在限制区域中运营的船舶, 主管机关可就 7.3.3.1.1 中的设计条件接受较低的环境温度值。

¹⁵ 对于在限制时段内航行的船舶, P_0 可基于航行期间的实际压力上升进行计算, 并可考虑液舱的任何绝热状况。参见《关于 C 型液舱充装极限的气体运输规则修正案的应用》(SIGTTO/IACS)。

7.3.4 许用应力

7.3.4.1 对于包括不锈钢的钢制管道，7.3.2.1 中的强度厚度公式中要考虑的许用应力须是下列值中较小者：

$$R_m/2.7 \text{ 或 } R_e/1.8$$

式中：

R_m = 室温下材料最低抗张强度（N/mm²）；和

R_e = 室温下材料最低屈服应力（N/mm²）。如在应力应变曲线上未显示出确定的屈服应力，则 0.2%的验证应力适用。

7.3.4.2 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，管壁厚度须比 7.3.2 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，则须采用其他的设计方法，以减小、防止或消除上述载荷。此类附加载荷会因支撑、船舶变形、转输作业时的液压喘振、悬挂阀的重量、对充装臂连接的反作用力或其他原因而产生。

7.3.4.3 非钢制管道的许用应力须由主管机关考虑。

7.3.4.4 高压燃料管系须有足够的建造强度。须通过应力分析予以确认并虑及：

- .1 管系重量引起的应力；
- .2 有意义时的加速度荷载；和
- .3 船舶中拱和中垂引起的内压和载荷。

7.3.4.5 当设计温度为-110℃或更低时，须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，对管系的每一分支进行完整应力分析。

7.3.5 管路的柔性

7.3.5.1 燃料管道的布置和安装须提供必要的灵活性以保持管道系统在实际运营状态下的完整性，并考虑到疲劳损坏的可能性。

7.3.6 管路制造和连接细节

7.3.6.1 法兰、阀件和其他附件，须符合主管机关可接受的标准并要虑及 7.3.3.1 中界定的设计压力。对于蒸气管路中使用的波纹管 and 膨胀接头，可接受低于 7.3.3.1 中界定的最小设计压力。

7.3.6.2 用于高压燃料管系中的所有阀门和膨胀接头须按照主管机关可接受的标准予以认可。

7.3.6.3 管道系统须焊接并使用最少的法兰接头连接。须防止密封垫片爆裂。

7.3.6.4 管路制造与连接细节须符合以下所列:

7.3.6.4.1 直接连接

- .1 根部完全焊透的对接焊连接可用于各种用途。当设计温度低于-10℃时，对接焊须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 1.0 MPa 及设计温度为-10℃或更低时，须除去衬垫。
- .2 具有符合公认标准尺寸的套筒焊接接头和相关焊接，须仅用于外径小于或等于 50 mm 和设计温度不低于-55℃的设备管路和端部开敞管路。
- .3 符合公认标准的螺纹连接须仅用于外径小于或等于 25 mm 的次要管路和仪表管路。

7.3.6.4.2 法兰接头

- .1 法兰接头中的法兰，须为颈焊、套焊或插入焊等类型；及
- .2 对于除端部敞开管路以外的所有管路，下列限制适用：
 - .1 设计温度低于-55℃时，须仅采用颈焊法兰；及
 - .2 设计温度低于-10℃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。

7.3.6.4.3 膨胀接头

如按7.3.6.1设置波纹管 and 膨胀接头，下列要求适用：

- .1 如果需要，须保护波纹管防止结冰；
- .2 除液化气燃料存储舱内，不得采用套筒接头；和
- .3 波纹管通常不得布置在围闭处所内。

7.3.6.4.4 其他接头

管路接头须按 7.3.6.4.1 至 7.3.6.4.3 连接，但对于其他特殊情况，主管机关可考虑替代布置。

7.4 材料规定

7.4.1 金属材料

7.4.1.1 燃料围护和管道系统的材料须符合以下列表中给出的最低规定：

表 7.1：适用于设计温度不低于 0℃ 的燃料舱和处理用压力容器的板材、管材（无缝管和焊接管）、型材和锻件。

表 7.2：适用于设计温度低于 0℃ 和低至 -55℃ 的燃料舱、次屏壁和处理用压力容器的板材、型材和锻件。

表 7.3：适用于设计温度低于 -55℃ 和低至 -165℃ 的燃料舱、次屏壁和处理用压力容器的板材、型材和锻件。

表 7.4：适用于设计温度低于 0℃ 和低至 -165℃ 的燃料管系和处理用管系的管材（无缝管和焊接管）、锻件和铸件。

表 7.5：适用于 6.4.13.1.1.2 要求的船体结构的板材和型材。

表 7.1

设计温度不低于0℃的燃料舱和处理用压力容器的板材、 管材（无缝管和焊接管） ^{1、2} 、型材和锻件		
化学成分和热处理		
◆ 碳锰钢		
◆ 全镇静细晶粒钢		
◆ 经主管机关同意的少量合金元素添加		
◆ 构成极限由主管机关认可		
◆ 正火或淬火和回火的 ⁴		
张力和韧性（冲击）试验规定		
取样频率		
◆ 板材	按“件”试验	
◆ 型材和锻件	按批试验	
力学性能		
◆ 张力性能	规定最低屈服应力不超过410 N/mm ^{2 5}	
韧性（夏比V型缺口冲击试验）		
◆ 板材	横向试样，最小平均能量值（KV）27J	
◆ 型材和锻件	纵向试样，最小平均能量值（KV）41J	
◆ 试验温度	厚度t（mm）	试验温度（℃）
	T ≤ 20	0
	20 < t ≤ 40 ³	-20
注：		
1. 对于无缝管和附件，常规做法适用。使用纵向焊接和螺旋焊接的管材，须经主管机关特别认可。		
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。更大厚度的建议须经主管机关认可。		
4. 可使用控制轧制工艺或热-力控制工艺（T M C P）作为替代。		
5. 规定的最低屈服应力超过410 N/mm ² 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。		

表 7.3

设计温度低于-55℃和低至-165℃ ² 的燃料舱，次屏壁和处理用受压容器的板材、型材和锻件 ¹										
最大厚度25mm ^{3, 4}										
最低设计温度（℃）	化学成分 ⁵ 和热处理	冲击试验温度（℃）								
-60	1.5%镍钢 — 正火或正火和回火或淬火和回火或TMCP ^{见注释 6}	-65								
-65	2.25%镍钢 — 正火或正火和回火或淬火和回火或TMCP ^{6, 7}	-70								
-90	3.5%镍钢 — 正火或正火和回火或淬火和回火或TMCP ^{6, 7}	-95								
-105	5%镍钢 — 正火或正火和回火或淬火和回火 ^{6, 7, 8}	-110								
-165	9%镍钢 —二次正火和回火或淬火和回火 ⁶	-196								
-165	奥氏体钢，如304，304L，316，316L，321和347等，固溶处理 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								
张力和韧性（冲击）试验要求										
取样频率										
◆ 板材	按“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，最小平均能量值(KV)27J									
◆ 型材和锻件	纵向试样，最小平均能量值(KV)41J									
注：										
1. 对于临界条件的锻件所要求的冲击试验，须提交主管机关特别考虑。										
2. 设计温度低于-165℃时的规定，须经主管机关特别同意。										
3. 对于含1.5% Ni、2.25% Ni、3.5% Ni和5% Ni且厚度超过25 mm的材料，冲击试验须如下进行：										
<table><tr><td>材料厚度（mm）</td><td>试验温度（℃）</td></tr><tr><td>25 < t ≤ 30</td><td>比设计温度低10℃</td></tr><tr><td>30 < t ≤ 35</td><td>比设计温度低15℃</td></tr><tr><td>35 < t ≤ 40</td><td>比设计温度低20℃</td></tr></table>			材料厚度（mm）	试验温度（℃）	25 < t ≤ 30	比设计温度低10℃	30 < t ≤ 35	比设计温度低15℃	35 < t ≤ 40	比设计温度低20℃
材料厚度（mm）	试验温度（℃）									
25 < t ≤ 30	比设计温度低10℃									
30 < t ≤ 35	比设计温度低15℃									
35 < t ≤ 40	比设计温度低20℃									
冲击能量值须按所用试样种类符合表列的要求。对与厚度超过40 mm的材料，夏比V型缺口冲击能量值须予以特别考虑。										
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. 化学成分限制须符合公认标准。										
6. TMCP镍钢将由主管机关接受。										
7. 淬火和回火的钢材，可与主管机关商定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，可用于低至-165℃，但要在-196℃下进行冲击试验。										
9. 经主管机关同意，可免除冲击试验。										

表 7.4

设计温度低于0℃和低至-165℃ ³ 的燃料管系和处理用管系的管材（无缝管和焊接管） ¹ 锻件 ² 和铸件 ² 最大厚度为25 mm			
最低设计温度 (℃)	化学成分 ⁵ 和热处理	冲击试验	
		试验温度 (℃)	最小平均能量 (KV)
-55	碳锰钢。为全镇静细晶粒，正火或经同意的热处理方法 ⁶	见注4	27
-65	2.25%镍钢。正火，正火和回火或淬火和回火 ⁶	-70	34
-90	3.5%镍钢。正火，正火和回火或淬火和回火 ⁶	-95	34
-165	9%镍钢 ⁷ 。二次正火加和火或淬火和回火	-196	41
	奥氏体钢，如304，304L，316，316L，321和347。固溶处理 ⁸	-196	41
	铝合金，如5083，退火		不要求
张力和韧性（冲击）试验要求			
取样频率			
◆ 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.	使用纵向焊接和螺旋焊接管，须经主管机关特别认可。		
2.	对锻件和铸件的规定可由主管机关特别考虑。		
3.	对设计温度低于-165℃的规定须经主管机关特别同意。		
4.	试验温度须比设计温度低5℃，或为-20℃，取其低者。		
5.	化学成分的限制须符合公认标准。		
6.	对于经淬火和回火的材料，可与主管机关商定采用较低的设计温度。		
7.	此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。		

表 7.5

6.4.13.1.1.2所要求的船体结构板材和型材								
船体结构最低设计温度 (°C)	各钢级的最大厚度 (mm)							
	A	B	D	E	AH	DH	EH	FH
0°C及以上	公认标准							
低至-5°C	15	25	30	50	25	45	50	50
低至-10°C	×	20	25	50	20	40	50	50
低至-20°C	×	×	20	50	×	30	50	50
低至-30°C	×	×	×	40	×	20	40	50
低于-30°C	按表7.2, 但表7.2及该表脚注2中给出的厚度限度不适用。							

注:
“x”系指不使用钢级。

7.4.1.2 气体燃料舱之外的管路不得使用熔点低于 925℃的材料。

7.4.1.3 对于压缩天然气液舱，以上未做规定的材料的使用须经主管机关特别考虑。

7.4.1.4 内有高压气体的内管，所要求的外管道或导管须至少满足表 7.4 中对设计温度低至零下 55℃的管材的材料规定。

7.4.1.5 液化气体燃料管道的外管道或导管，须至少满足表 7.4 中对设计温度低至零下 165℃的管材的材料规定。

8 加注燃料

8.1 目标

8.1.1 本章的目标是为船上提供适合的系统，以确保加注燃料不对人员，环境以及船舶造成任何危险。

8.2 功能要求

8.2.1 本章与 3.2.1 至 3.2.11 以及 3.2.13 至 3.2.17 中的功能要求有关。特别是以下所列适用：

8.2.1.1 将燃料输送至存储舱的管路系统须设计成，管路系统的任何泄露不会对人员、环境或船舶造成任何危险。

8.3 燃料加注站规定

8.3.1 通则

8.3.1.1 加注站须位于开敞甲板上以获得充足的自然通风。围闭或半围闭式加注站须在风险评估内得到特别考虑。

8.3.1.3 对于任何溢漏燃料的安全管理须作出布置。

8.3.1.4 须有适当措施，从泵吸口及加注管线中释放压力并清除液体内含。液体要排入液化气燃料舱或其他适当的位置。

8.3.1.5 在发生燃料泄漏时，周围船体或甲板结构不得受到不可接受的冷却。

8.3.1.6 对于压缩天然气加注站，须考虑低温钢质防护层，以确定逃逸冷射流冲击周围船体结构的可能性。

8.3.2 船舶燃料软管

8.3.2.1 用于燃料驳运的液体和蒸气软管，须与燃料相容并适于燃料的温度。

8.3.2.2 承受燃料舱压力或泵或蒸气压缩机排放压力的软管，须按照不小于软管在燃料加注期间承受的最大压力五倍的爆破压力进行设计。

8.4 集管规定

8.4.1 加注集管须设计成能经受加注时的外部载荷。加注站的连接须为配备有附加安全干脱离耦合/自封的干断开式连接。连接器须为标准类型。

8.5 燃料加注系统规定

8.5.1 须提供有加注管道惰性气体驱气布置。

8.5.2 加注系统的布置须在充装存储舱期间不让任何气体排入大气。

8.5.3 任何加注管路连接处附近均须串联设置一个手动截止阀和一个遥控截止阀或一个手动遥控结合截止阀。遥控截止阀须能够在加注操作控制处及/或其他安全地点操作。

8.5.4 须提供操作完成后将燃料从加注管路中排空的措施。

8.5.5 加注管路须为惰化和除气做出布置。加注管路在未加注时，除不除气后果业经评估并经认可，须处于除气状态。

8.5.6 若加注管路有交叉布置，须由适当的隔离装置确保不将燃料意外地转输至船舶未用于加注燃料的一侧。

8.5.7 船-岸连接或等效的自动或手动的紧急切断（应急切断）通讯手段，须予以设置。

8.5.8 如未证明因压力喘振的考虑需要一个更高值，8.5.3所要求的按照 16.7.3.7 计算的由触发报警器到遥控操作阀完全闭合的默认时间须经调整。

9 设备燃料供应

9.1 目标

本章的目标是确保向各燃料使用设备安全有效地分配燃料。

9.2 功能要求

本章与 3.2.1 至 3.2.6, 3.2.8 至 3.2.11 以及 3.2.13 至 3.2.17 中的功能要求有关, 特别是, 以下所列适用:

- .1 在提供有安全通道进行操作和检查时, 燃料供应系统须布置成将任何燃料释放的后果降至最低, 同时为操作和检查提供安全通道。
- .2 将燃料驳运至燃料使用设备的管路须设计成一个屏壁的失效不会导致管系至周围区域的泄漏而对船上人员, 环境或船舶造成危险; 和
- .3 机器处所外燃料管线的安装与保护须将泄漏造成的对人员的伤害和对船舶的损坏降至最低。

9.3 燃料供应冗余规定

9.3.1 对于单燃料装置, 由燃料舱到燃料使用设备的燃料供应系统须全部冗余和分隔布置, 使一个系统的泄漏不致导致不可接受的动力损失。

9.3.2 对于单燃料装置, 燃料储存须分置在两个或更多的液舱中。这些液舱须位于不同的舱室中。

9.3.3 仅对于 C 类舱, 如为一个液舱装设两个完全独立的液舱连接处所, 可接受单一液舱。

9.4 供气系统安全功能规定

9.4.1 燃料存储舱的入口和出口须在尽可能靠近燃料存储舱的位置设置阀门。需要在常规作业¹⁶期间操作的阀门, 若无法触及, 须遥控操作。当触发 15.2.2 中要求的安全系统时, 液舱阀门无论可触及与否, 均须自动操作。

9.4.2 至各用气设备或各组用气设备的主供气管线须串联配置一个手动截止阀和一个自动操作的主气体燃料阀或手动自动结合操作阀。这些阀门须位于含用气设备的机器处之外的管路部分中, 且尽可能靠近气体加热装置(如装有)之处。当触发 15.2.2 中要求的安全系统后, 主燃气阀们须自动切断燃气供应。

¹⁶ 本文中常规作业系指为用气设备供气和加注作业期间的操作。

9.4.3 自动主燃气阀们须能够从含用气设备的机器处所内脱险通道上、机舱集控室（如适用）、机器处所外的安全位置及驾驶室进行操作。

9.4.4 各用气设备须配备“双截断和排放”阀门布置。这些阀门须按.1 或.2 中所述予以布置，以在触发 15.2.2 中要求的安全系统时，将自动关闭串联的截止阀门并自动开启排放阀，和：

- .1 至用气设备的燃气管中的两个截止阀须串联。排放阀须位于燃气管路两个串联的阀门之间的向安全的露天环境排气的管路上；或
- .2 可将串联截止阀之一和排放阀的功能集中在一个阀体上，布置成将阻断至用气设备的流动并打开排放。

9.4.5 两截止阀须为故障关闭型，排放阀须为故障开启型。

9.4.6 双截断和排放阀门组须同样用于发动机正常停机。

9.4.7 如果气体燃料总阀自动关闭，双截断和排放阀门组下游的整个供气分支须假定发动机至管系的反流而自动通风。

9.4.8 至各发动机燃气供应管线上，在双截断和排放阀门组的上游须配有一个手动操作的截止阀，以确保发动机维护期间的安全隔离。

9.4.9 对单发动机设备和多发动机设备，在为各发动机各设有主阀时，主燃气阀和双截断和排放阀们组的功能可以组合。

9.4.10 对进入应急切断保护机器处所的各主燃气供应管线和至高压设备的各燃气供应管线，须提供能迅速探测机舱内燃气管线破裂的装置。当探测到破裂时，须自动关闭一个阀门¹⁷，该阀门须位于机舱外部的或机舱内尽可能靠近机舱入口的燃气供应管之上。此阀门可为独立阀门或兼有其他功能，例如：主阀门。

9.5 机器处所外燃料分配规定

9.5.1 穿过船舶围闭处所的燃料管路须有二次围闭保护。此围闭可为有通风的导管或双管壁管系。该导管或双管壁管系须有每小时换气 30 次的机械负压通风并须具备 15.8 中要求的燃气探测。主管机关也可接受提供同等安全水平的其他方案。

9.5.2 9.5.1 中的要求无需适用于穿过机械通风处所的全焊接燃气透气管道。

¹⁷ 关闭须有时间延迟，以防止因瞬间负荷变化造成关闭。

9.6 气体安全机器处所内用气设备燃料供应规定

9.6.1 气体安全机器处所内的燃料管路须被符合下列要求的双套管或通风管完全围闭：

- .1 燃气管路须为内管包含燃气的双管壁管系。同心管之间的空间须以大于燃气压力的压力用惰性气体加压。须提供指示管道间惰性气体失压的报警装置。当内管含有高压燃气时，该系统须布置成在主燃气阀关闭后，主燃气阀至发动机之间的管路须自动驱气；或
- .2 燃气管路须装置于有通风的管道或导管之中。燃气管和外管或导管管壁之间的空气空间须具有能力为每小时至少换气 30 次的机械负压通风。但若设有探测到燃气即自动灌充氮气的布置，此通风能力可降至每小时 10 次。风机马达须符合对装设区域所要求的爆炸保护规定。通风出口须用保护网覆盖并位于易燃气体-空气混合物不能被点燃的位置；或
- .3 主管机关也可接受提供同等安全水平的其他方案。

9.6.2 燃气管和导管与注入阀门的连接须由导管完全覆盖。其布置须便利注入阀门和气罐盖的更换和/或检修。发动机上的所有燃气管直至将燃气注入燃烧室内¹⁸，也要求为双导管。

9.7 至应急关闭（应急切断）保护机器处所内用气设备的燃气供应规定

9.7.1 燃气供应系统内的压力不得超过 1.0 MPa。

9.7.2 燃气供应管线的设计压力须不低于 1.0MPa。

9.8 通风导管和外管防止内管燃气泄漏的设计规定

9.8.1 燃料系统的外管或导管的设计压力不得小于内管的最大工作压力。或者，对于工作压力大于 1.0 MPa 的燃料管系，外管或导管的设计压力，虑及任何破裂和通风布置的局部瞬间峰压，不得小于环状空间内出现的最大积聚压力。

¹⁸ 如在低压发动机进气期间对各个气缸的进气口直接供应燃气，且单一故障将不导致燃气在机器处所内释放，则进气管可不用双导管。

9.8.2 对于高压燃料管路，导管的设计压力须为以下所列的较高者：

- .1 最大积聚压力：破裂导致的环状空间内燃气流的静压力；
- .2 破裂的瞬间峰压：此压力须取下式给出的临界压力：

$$p = p_0 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

式中：

p_0 = 内管最大工作压力

K = C_p/C_v 等压比热除以等容比热

K = 1.31（对于 CH₄ 甲烷）

当承受以上压力时，直管的切向薄膜应力不得超过抗拉强度除以 1.5 ($R_m/1.5$)。所有其他管路部件的额定压力须反映出与直管相同的强度。

可用代表性试验中的峰值压力替代以上公式中峰值压力，但须提交试验报告。

9.8.3 强度验证须基于证明导管或管道完整性的计算。作为计算的替代，强度可用代表性试验验证。

9.8.4 对于低压燃料管路，导管尺度须为设计压力不低于燃料管的最大工作压力而设定。对导管须进行压力试验，证明其可承受燃料管道破断时的预计最大压力。

9.9 压缩机和泵规定

9.9.1 如压缩机或泵由穿过舱壁或甲板的轴驱动，舱壁贯穿须为气密型。

9.9.2 压缩机和泵须符合其预期用途。所有设备和机械须经适当试验确保其在海洋环境中使用的适合性。要考虑的项目包括但不限于：

- .1 环境；
- .2 船上震动和加速度；
- .3 纵摇、垂荡和横摇等的影响；和
- .4 气体成分。

9.9.3 须做出布置确保在任何情况下均不能将液化气体注入气体控制区或气体燃料机器，除非该机器设计为可使用液态气体运作。

9.9.4 压缩机和泵须安装高效和可靠运作所需的附件和仪表。

10 包括推进和其他燃气设备的动力产生

10.1 目标

10.1.1 本章目标是为安全和可靠的提供机械能，电能或热能作出规定。

10.2 功能要求

本章与 3.2.1、3.2.11、3.2.13、3.2.16 和 3.2.17 中的功能要求有关，特别是，以下所列适用：

- .1 排气系统须设置成防止任何未燃气体燃料积聚；
- .2 除非设计强度可以承受最恶劣情况下泄漏气体点燃造成的超压，否则发动机部件或系统，若含有或可能含有可被点燃的气体或空气混合物，须安装合适的压力释放系统。依照具体发动机的设计，这可包括空气进气集管和扫气箱；
- .3 爆炸排放须引导至通常无人处；和
- .4 所有用气设备须有独立的排气系统。

10.3 活塞式内燃机规定

10.3.1 一般要求

10.3.1.1 排气系统须配备尺度足以防止在一缸点火失效后未燃燃气在系统内点燃时的过度爆炸压力的爆炸释放通风。

10.3.1.2 对于活塞下空间直接与曲轴箱相连的发动机，须对燃气在曲轴箱内积聚的潜在危险进行详细评估并体现在发动机的安全理念中。

10.3.1.3 每一非二冲程十字头式柴油机的发动机须为扫气箱和集油槽安装独立于其他发动机的透气系统。

10.3.1.4 如气体能直接泄漏进入辅助系统介质（润滑油，冷却水），须在发动机排气口安装合适装置以收集气体，防止气体扩散。从辅助系统介质中收集的气体须向大气中的安全位置排放。

10.3.1.5 对于装有点火系统的发动机，接受气体燃料前，须对每一装置上的点火系统的正确运作进行验证。

10.3.1.6 须设有监控设施，对燃料燃烧不良或缺火进行监测和探测。在探测到时，只要发动机关闭一缸运行就扭振而言可以接受，可以允许燃气作业。

10.3.1.7 对于用本规则所涵盖燃气启动的发动机，若在燃料供应阀开启后的规定时间内发动机监测系统未探测到燃烧，该燃料供应阀须自动关闭。须提供确保将任何未燃燃料混合物从排气系统中驱除的装置。

10.3.2 双燃料发动机规定

10.3.2.1 在燃气供应中断时，发动机须能够仅使用燃油不间断地继续运行。

10.3.2.2 须设有自动系统，在发动机动力波动最小的情况下从燃气运行转换至燃油运行及反之亦然。可接受的可靠性须经试验证明。如燃烧燃气时发动机运转不稳定，发动机须自动转换成燃油模式，须总能手动启动燃气系统关闭。

10.3.2.3 在正常停止或紧急停止时，须在停止点火前切断燃气供应。不提前或同时切断对各缸或整个发动机的燃气供应，须不可能停止点火。

10.3.3 燃气发动机规定

在正常停止或紧急停止时，须在停止点火前切断燃气供应。不提前或同时切断对各缸或整个发动机的燃气供应，须不可能停止点火。

10.3.4 多燃料发动机规定

10.3.4.1 在切断一种燃料供应时，发动机须能在发动机动力波动最小的情况下使用另一燃料继续运行。

10.3.4.2 须设有自动系统，在发动机动力波动最小的情况下从一种燃料运行转换至另一种燃料运行。可接受的可靠性须经试验证明。如燃烧某一种燃料时发动机运转不稳定，发动机须自动转换成另一种燃料模式，须总能手动启动。

	仅燃气		双燃料	多燃料
引燃介质	火花	引燃燃料	引燃燃料	N/A
主燃料	燃气	燃气	燃气和/或燃油	燃气和/或燃液

10.4 主和辅锅炉规定

10.4.1 每台锅炉须具有专门的强制排气系统。如能保证相关的安全功能，锅炉强制排气系统之间可设有联通装置供应急使用。

10.4.2 锅炉燃烧室和烟道设计须防止任何气体燃料积聚。

10.4.3 燃烧器须设计成在所有点火条件下保持稳定燃烧。

10.4.4 主推进锅炉，须设有自动系统，在不中断锅炉燃烧的情况下从燃气操作自动转换至燃油操作。

10.4.5 气体喷嘴和燃烧器控制系统的构成须使燃气只能由已建立的燃油火焰点燃，除非锅炉和燃烧设备系为使用燃气点燃而设计并经主管机关认可。

10.4.6 须做出布置，除非已确立并保持满意的点火，确保自动切断至燃烧器的燃气流。

10.4.7 每个气体燃烧器的燃料管路上须设置一个手动截止阀。

10.4.8 须为燃烧器熄火后使用惰性气体对至燃烧器的燃气供应管路自动除气做出布置。

10.4.9 对 10.4.4 所要求的燃料自动转换系统须进行监测并由有报警，以确保其持续可用。

10.4.10 须采取措施确保在所有燃烧器熄灭时，再次点火前对锅炉燃料室自动除气。

10.4.11 须做出布置使锅炉除气程序能够人工启动。

10.5 燃气轮机规定

10.5.1 除非以承受因泄漏燃气点燃产生的最恶劣超压的强度而设计，须虑及燃气泄漏引发的爆炸，适当设计压力释放系统并安装在排气系统上。排气系统烟道内的压力释放系统须通往安全位置，且远离人员。

10.5.2 燃气轮机可安装在按照 5.6 和 9.7 中概述的紧急切断原则所布置的燃气密围闭处所内，但在该围闭内，可接受压力在 1.0 MPa 以上的燃气供应管道。

10.5.3 气体探测系统和切断功能须和对应急切断保护机器处所述者相同。

10.5.4 该围闭的通风须和 13 章中对应急切断保护机器处所述者相同，但须另外安排完全冗余（2 x 100%风机容量，来自不同电路）。

10.5.5 除单燃料燃气轮机外，须设有自动系统，在发动机功率最小波动情况下，快速和便捷地从燃气操作转换至燃油操作及反之亦然。

10.5.6 须设有监控装置，监测和探测运行期间会导致未燃燃气进入排气系统的不良燃烧。如探测到，须切断燃气供应。

10.5.7 每台涡轮机须设有排气温度高时自动停机装置。

11 消防安全

11.1 目标

本章的目标是为涉及存储，制备，输送和使用天然气为船舶燃料的所有系统部件做出防火，探火及灭火规定。

11.2 功能要求

本章与 3.2.2、3.2.4、3.2.5、3.2.7、3.2.12、3.2.14、3.2.15 和 3.2.17 中的功能要求有关。

11.3 防火要求

11.3.1 任何处所但凡含有燃料制备设备诸如泵，压缩机，热交换器，气化器和压力容器，须被视为 A 类防火机器处所。

11.3.2 任何面向开敞甲板上气体存储舱的起居处所，服务处所，控制站，脱险通道，机器处所，其边界须被 A-60 级分隔屏蔽。A-60 级分隔须向上延伸至驾驶室甲板下部，及之上的任何边界，包括驾驶室窗，须有 A-0 级分隔。另，气体存储舱须按照《国际海运危险货物规则》的要求与货物隔离，在该规则中燃料舱被视为散货包装。对于《危规》的装载和隔离要求，在开敞甲板上的燃料舱须被视为 2.1 级包装。

11.3.3 包含燃料维护系统的处所须与 A 类机器处所或其他高失火风险舱室隔离。须用至少 900 mm 的有 A-60 级绝热层的隔离舱进行隔离。在确定包含燃料维护系统的处所与其他低失火风险处所之间的绝热时，燃料维护系统须按照《安全公约》规则第 11-2/9 条，被视为 A 类机器处所。各包含燃料维护系统的处所之间的边界须或者是至少 900 mm 的隔离舱或者是 A-60 分隔。对于 C 类舱，燃料存储货舱处所可被视为隔离舱。

11.3.4 燃料存储货舱处所不得用于机械或其它有火险的设备。

11.3.5 通入滚装处所的燃料管路，根据其应用和预期管内压力，其防火须由主管机关予以特殊考虑。

11.3.6 加注站须使用 A-60 级分隔与 A 类机器处所，起居处所，控制站及高火险处所隔离，但诸如液舱，留空处所，无或低失火风险辅助机器处所、卫浴和类似处所的隔热标准可降至 A-0 级。

11.3.7 如紧急关闭（应急切断）保护机器处所由单独边界分隔，则此边界须为 A-60 级分隔。

11.4 消防总管规定

11.4.1 以下所要求的水雾系统可为消防总管系统的一部分，但所要求的消防泵的容量和工作压力要足以同时运作规定数量的消防栓和水龙带以及水雾系统。

11.4.2 当燃料存储舱位于开敞甲板，须在消防总管上安装隔离阀以隔离消防总管上的毁坏部分。对消防总管的部分隔离不得停止隔离部分之前的消防管路供水。

11.5 水雾系统规定

11.5.1 须安装水雾系统覆盖开敞甲板上燃料存储舱的暴露部分以降温 and 防火。

11.5.2 该水雾系统须覆盖面向开敞甲板上存储舱的上层建筑、压缩机舱、泵舱、货物控制室、加注控制站、加注站及其他通常有人甲板室的边界，除非该边界距离存储舱 10 米或更远。

11.5.3 该水雾系统须设计成覆盖以上规定的所有区域，最大水平投影面喷射率为 10 l/min/m^2 ；垂直表面为 4 l/min/m^2 。

11.5.4 为隔断损坏的管段，在水雾系统总管上须每隔不超过 40 m 安装 1 个截止阀。或者将系统分成 2 个或以上的可独立操作的区段，但须将必要的控制装置集中安装在易于接近且在受保护区域失火时不会无法接近的位置。

11.5.5 水雾泵容量须足以输送规定水量至上述受保护区域中液压要求最高的位置。

11.5.6 若水雾系统非消防总管的一部分，则须通过一个截止阀提供与船舶消防总管的连接。

11.5.7 须将水雾系统遥控启动装置和对常规状态下关闭的阀门的远程操作系统集中安装在易于接近且在受保护区域失火时不会无法接近的位置。

11.5.8 喷嘴须为经认可的直流型，且须布置成确保将水有效分布至全部受保护区域。

11.6 化学干粉灭火系统规定

11.6.1 须在加注站区域安装固定的化学干粉灭火系统以覆盖所有可能的泄漏点。其排量须在最短 45 秒内为至少 3.5kg/s。该系统须为在被保护区域外便于人工释放而布置。

11.6.2 除国际海事组织文书中其他处所要求的任何其他便携式灭火器外，须在加注站附近配备一个排量至少 5 kg 的便携干粉灭火器。

11.7 失火探测和报警系统规定

11.7.1 须为燃料存储货舱，甲板下燃料维护系统通风管隧及其他所有不能排除失火的气体燃料系统舱室，安装符合消防安全系统规则的固定失火探测和报警系统。

11.7.2 仅烟雾探测装置不得被视为足以快速探测失火。

12 爆炸预防

12.1 目标

本章的目的是对防爆和限制爆炸影响做出规定。

12.2 功能要求

本章与 3.2.2 至 3.2.5、3.2.7、3.2.8、3.2.12 至 3.2.14 及 3.2.17 中的功能要求有关，尤其是，以下所列适用：

须通过以下所列将爆炸的可能性降至最低：

- .1 减少点火源的数量；和
- .2 降低可燃混合物形成的可能性。

12.3 规定 – 通则

12.3.1 开敞甲板上和本章未述及的其他处所内的危险区域须依据公认的标准予以确定。危险区域内安装的电气设备须符合同一标准¹⁹。

12.3.2 除根据公认标准²⁰为作业目的所必需者外，电气设备或电缆通常不得安装在危险区域内。

¹⁹ 参见 IEC 标准 60092-502，4.4 部分：载运易燃液化气体的液货船，如适用。

²⁰ 参见 IEC 标准 60092-502：IEC60092-502：1999 船舶电气装置 – 液货船 – 特征和 IEC60079-10-1:2008 爆炸气体 – 10-1 部分：区域划分 – 爆炸气体，依据区域划分。

12.3.3 装置在应急切断（ESD）保护机器处所内的电气设备须满足以下条件：

- .1 除失火与气体碳氢探测装置和失火和瓦斯报警外，照明和通风风扇须经发证为危险区域 1 区安全型；和
- .2 含有燃气发动机的机器处所中的所有且未经发证为 1 区安全型的电气设备，若该含有燃气设备的处所中的两个探测器探测到可燃气体浓度超过最低可燃性极限的 40%时，须自动断开连接。

12.4 区域分级规定

12.4.1 区域分级是一个对可能出现爆炸性气体环境的区域进行分析和分级的方法。分级的目的是允许选择能够在这些区域中安全运行的电器装置。

12.4.2 为便于选择适当的电气设备和设计合适的电气装置，危险区域划分为 0 区，1 区和 2 区²¹，另见以下 12.5。

12.4.3 通风管须和所通风的处所有相同的分级。

12.5 危险区域分区

12.5.1 危险区域 0 区

12.5.1.1 该区包括，但不限于以下区域，燃料舱内部，任何压力释放管路或其他燃料舱透气系统，含有燃料的管路和设备。

12.5.2 危险区域 1 区²²

该区域包括，但不限于：

- .1 液舱连接处所，燃料存储货舱处所²³和屏壁间处所；
- .2 按照 13.6 布置通风系统的燃料准备舱室；
- .3 开敞甲板上或甲板上半围闭处所的距燃料舱出口，燃气或蒸汽出口²⁴，加注集管总阀，其他燃料阀，燃料管法兰，燃料准备舱室的通风出口和用于释放热量变化引起的少量的气体或蒸汽混合物的流动的燃料舱压力释放开口 3 米范围之内内的区域；
- .4 开敞甲板上或甲板上半围闭处所的距燃料准备舱室入口，燃料准备舱室通风入口及所有 1 区处所的其他开口 1.5 米范围之内内的区域；

²¹ 参见标准 IEC60079-10-1:2008 爆炸气体 10-1 部分：区域划分 — 爆炸气体、指导和指示性案例在 IEC60092-502: 1999 中给出，船舶电气装置 — 液货船 — 液货船特征。

²² 安装在这些区域的仪表和电气设备应适合于 1 区。

²³ C 型液舱的燃料存储处所通常不视为 1 区。

²⁴ 例如，这些区域是燃料液舱舱口、空距开口或位于开敞甲板的燃料舱的测深管和瓦斯蒸汽开口 3 米范围之内内的区域。

- .5 开敞甲板上燃气加注集管阀周围的泄漏围板内，以及该范围外 3 米、上至甲板以上 2.4 m 的区域；
- .6 含燃料管路所在的围闭或半围闭处所，如燃料管路周围的导管，半围闭加注站；
- .7 应急切断保护机器处所在常规运作期间被视为非危险区域，但要求在探测到瓦斯泄漏后需要运作的设备经认证适于 1 区；
- .8 由空气闸保护的处所在常规运作期间须视为非危险区域，但要求在被保护区域和危险区域之间失去压差后需要运作的设备经认证适于 1 区；和
- .9 除 C 类舱外，燃料围护处所外暴露于风雨下的外表面 2.4 m 以内的区域。

12.5.3 危险区域 2 区²⁵

12.5.3.1 该区包含，但不限于 1 区的开敞或半围闭处所周围 1.5 m 内的区域。

12.5.3.2 含有至液舱连接处所的栓闭舱口的处所。

13 通风

13.1 目标

本章的目的是为燃气机器和设备安全运行所需的通风做出规定。

13.2 功能要求

本章涉及 3.2.2、3.2.5、3.2.8、3.2.10、3.2.12 至 3.2.14 和 3.2.17 中的功能要求。

13.3 规定 — 通则

13.3.1 任何用于危险处所的通风管道须与用于非危险处所的通风管道隔离。通风设备须在船舶将运营的所有温度和环境条件下运行。

13.3.2 通风机风扇的电动机不得设置于危险处所的通风管道内，除非电机经认证可在与所服务的处所相同的危险区内使用。

²⁵ 此区域内安装的仪表和电气设备须为适合 2 区的类型。

13.3.3 为包含瓦斯源的处所服务的通风机风扇的设计须满足以下条件：

- .1 通风风扇不得在通风处所内或与该处所相连的通风系统内产生蒸气点火源。
通风风扇和风扇管道仅面对风扇的一面，须为如下界定的无火花构造：
 - .1 非金属材料叶轮或机壳，对消除静电予以适当注意；
 - .2 有色金属叶轮和机壳；
 - .3 奥氏体不锈钢叶轮和机壳；
 - .4 铝合金或镁合金叶轮和铁质（包括奥氏体不锈钢）机壳上面对叶轮的适宜厚度的环形非铁质材料，并对该环形和机壳之间的静电腐蚀予以适当注意；或
 - .5 铁质（包括奥氏体不锈钢）叶轮和机壳的叶梢设计间隙不小于 13 毫米的任何组合。
- .2 在任何情况下，叶轮和套管之间的径向气隙不得小于叶轮轴承轴直径的 0.1，但不得小于 2 毫米。该间隙无需大于 13 毫米。
- .3 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，不论其叶梢间隙大小，均视为有产生火花危险，故不能用于这些处所。

13.3.4 为避免任何气体积聚所要求的通风系统，除本规则内另有规定，须由各风扇具有足够能力的数个独立风扇组成。

13.3.5 危险围闭处所的空气吸入须取自，在无所考虑的进口时，将是无危险的区域。非危险围闭处所的空气吸入须取自离任何危险区域的边界至少 1.5 米的非危险区域。当进口管道通过更危险的处所时，管道须为气密，并有相对于该处所的过压。

13.3.6 非危险区域的空气出口须设在危险区域外。

13.3.7 危险围闭区域的空气出口须设在露天的，在无所考虑的空气出口时，将是与所通风处所危险相同或更低的区域。

13.3.8 所要求的通风装置的能力通常基于舱室的总容积。形状复杂的舱室可能需要增加所要求的通风能力。

13.3.9 非危险区域若设有至危险区域的入口，须装置空气闸，并保持在相对于外部危险区域的超压状态。超压通风须按以下要求设置：

- .1 初次启动期间或失去超压通风后，须要求未经认证为无加压处所使用安全的任何电气装置在通电之前：
 - .1 进行驱气（至少 5 次换气）或通过测量确认该处所无危险；和
 - .2 对该处所加压。
- .2 须监测超压通风的运行，在超压通风故障时：
 - .1 须在有人的位置发出声光报警；和
 - .2 如果超压状态不能立即恢复，须要求按照公认标准²⁶自动或按程序断开电气装置的连接。

13.3.10 非危险处所若设有至危险围闭处所的入口，须设置空气闸，并且危险处所须保持相对于无危险处所的负压。须监测危险处所抽吸通风的运行，在抽吸通风故障时：

- .1 须在有人的位置发出声光报警；和
- .2 如果负压状态不能立即恢复，须要求按照公认标准自动或按程序断开电气装置的连接。

13.4 液舱连接处所规定

13.4.1 液舱连接处所须提供有效的抽吸式机械强制通风系统。须提供每小时至少换气 30 次的通风能力。如果设有其他适当防爆手段，换气率可以降低。替代安装的等效性须经风险评估证明。

13.4.2 液舱连接处所的通风管道中须安装经认可的自动故障安全防火风门。

13.5 机器处所规定

13.5.1 包含燃气设备的机器处所，其通风系统须独立于所有其他通风系统。

²⁶ 参见 IEC 60092-502:1999 船上电气安装 — 液货船 — 特殊特征，表 5。

13.5.2 应急切断（ESD）保护机器处所须设有换气能力每小时至少 30 次的通风设备。通风系统须确保所有处所空气流动良好，并特别确保探测到舱室内任何瓦斯气窝的形成。作为替代，可以接受在正常运行中机器处所每小时至少换气 15 次，但一旦在机器处所内探测到瓦斯，换气次数将自动增至每小时 30 次的布置。

13.5.3 对于应急切断保护机器处所，通风装置须提供充足的冗余，以确保本组织可接受的标准²⁷中界定的高度水平可用通风能力。

13.5.4 应急切断保护机舱的和燃气安全机舱双套管通风系统的通风风扇和数量和功率须为：若主配电板或应急配电板的独立电路供电的一台风扇或主配电板或应急配电板的通用电路供电的一组风扇失灵，通风能力的下降不超过总通风能力的 50%。

13.6 燃料准备舱规定

13.6.1 燃料准备舱须安装有效的负压机械通风系统，提供每小时至少换气 30 次的通风能力。

13.6.2 通风风扇和数量和功率须为：若主配电板或应急配电板的独立电路供电的一台风扇或主配电板或应急配电板的通用电路供电的一组风扇失灵，通风能力的下降不超过 50%。

13.6.3 燃料准备舱的通风系统须在泵或压缩机工作时运转。

13.7 燃料加注站规定

不在露天甲板上的燃料加注站须有适当通风，以确保将燃料加注操作过程中释放的任何蒸汽向外排除。如果自然通风不够充足，须按照 8.3.1.1 条中要求的风险评估提供机械通风。

13.8 导管和双套管规定

13.8.1 包含燃料管系的导管和双套管须安装有效的抽吸式机械通风系统，提供每小时至少换气 30 次的通风能力。这不适用于满足 9.6.1.1 条要求的机舱内的双套管。

13.8.2 双套管和气体安全机舱内气体阀门装置处所的通风系统须独立于所有其他通风系统。

13.8.3 双套管路或导管的通风入口须始终位于远离着火源的非危险区域。入口开口须安装适合的金属丝防护网和防止进水的装置。

13.8.4 管道导管或双套管的通风能力，如确保最小每秒 3 米的流速，可少于每小时换气 30 次。导管须在安装有燃料管道和其他部件后计算流速。

²⁷ 参见 IEC 60079-10-1。

14 电气装置

14.1 目标

本章的目标是为电气装置作出规定，以在有易燃大气时将起火的风险降至最低。

14.2 功能要求

本章与 3.2.1、3.2.2、3.2.4、3.2.7、3.2.8、3.2.11、3.2.13 和 3.2.16 至 3.2.18 中的功能要求相关。特别是，以下所列适用：

发电和配电系统及相关控制系统须设计成单个故障不会导致把燃料舱存储压力及船体结构温度保持在正常运作限制内的能力丧失。

14.3 总则

14.3.1 电气装置须符合至少与本组织可接受标准²⁸等效的标准。

14.3.2 电气设备或电缆，除作业或提高安全所必需者外，不得安装在危险区域内。

14.3.3 电气设备，如按照 14.3.2 的规定安装在危险区域内，须按照至少与本组织可接受标准等效的标准予以选择、安装和维护²⁹。

危险区域的设备须由经认证的测试机构或主管机关认可的通报机构评估和发证或登记。

14.3.4 对 14.2 中发电和配电系统的单一故障的模式和影响须按照至少与本组织可接受的标准等效的标准³⁰进行分析和记录。

14.3.5 危险区域内的照明系统须分成至少 2 个分路。所有开关和保护装置须分断全部的极或相，并须位于非危险区域内。

14.3.6 船上电气设备装置的安装须确保装置外壳与船体的安全接地连接。

14.3.7 须设有在低液位时报警和在低液位发生时自动停止电动机的布置。自动关闭可通过探测泵的低排放压力、电动机的低电流或低液位予以实现。关闭时须在驾驶室、持续有人中央控制站或船上安全中心发出声光报警。

14.3.8 潜式燃料泵电动机及其供电电缆可安装在液化气燃料围护系统内。在除气作业期间，须能切断燃料泵电动机的供电电源。

²⁸ 参见 IEC60092 系列标准，如适用。

²⁹ 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。

³⁰ 参见 IEC60812。

14.3.9 对于具有来自危险开舱甲板的通道，且该通道由空气闸予以保护的处所，非经认证为安全类型的电气设备，在该处所失去超压时，须切断其电力供应。

14.3.10 位于受空气闸保护的处所内的推进、发电、操纵、操锚和系泊用电气设备，以及应急泵，须为经认证的安全类型。

15 控制、监测和安全系统

15.1 目标

本章的目的是为支持本规则其他章节中所涵盖的燃气装置的有效和安全运作的控制、检测和安全系统的布置，作出规定。

15.2 功能要求

本章与 3.2.1、3.2.2、3.2.11、3.2.13 至 3.2.15，3.2.17 和 3.2.18 中的功能要求相关。特别是以下所列适用：

- .1 燃气装置的控制、检测和安全系统须布置成，在发生单一故障时，仍有的推进力和发电力符合 9.3.1 的要求；
- .2 须设有在发生表 1 所述的系统故障或其他对于人工介入发展过快的故障状态时自动切断燃气供应的燃气安全系统；
- .3 对于应急切断保护机械配置，安全系统须在燃气泄漏时关闭燃气供应，此外并断开该机器处所内所有非经认证为安全型的电气设备；
- .4 安全功能须布置在独立于燃气控制系统的专用燃气安全系统内，以避免可能的同源故障。这包含电力供应及输入和输出信号；
- .5 含现场仪表的安全系统的布置须避免诸如因燃气探测器故障或传感器回路断线导致的虚假关闭；和
- .6 当满足规定需要两个或更多的燃气供应系统时，每个系统均须装设其自身的独立燃气控制和燃气安全系统。

15.3 通则

15.3.1 须配备允许当地和远程读取关键参数的适当仪器，以确保对包含燃料加注的全部燃气设备的安全管理。

15.3.2 独立液化气贮藏液舱的每个液舱连接处所的舱底井须配备一个液位表和温度传感器。舱底井达到高水位时须发出报警。低温显示须触发安全系统。

15.3.3 对于非永久装在船上的液舱，须如永久安装的液舱一样配备监测系统。

15.4 燃料加注和液化气燃料液舱监测规定

15.4.1 液化气燃料液舱的液位指示器

- .1 每个液化气燃料液舱须安装液位测量装置，其布置要确保液化气燃料液舱在处于运作状态时始终可获得液位读数。该装置须设计成在液化气燃料液舱的整个设计压力范围内以及在燃料操作温度范围内运作。
- .2 在仅安装一个液位表时，须布置成能始终处于操作状态而无需对液化气燃料液舱进行清空或除气。
- .3 液化气燃料液舱的液位表可为下列类型：
 - .1 间接式装置，即通过用诸如称重或在线流量测量确定燃料量；或
 - .2 不伸入液化气燃料液舱的闭式装置，诸如使用放射性同位素的装置或超声波装置；

15.4.2 溢流控制

- .1 每个液化气燃料液舱均须装设一个独立于其他液位指示器的高液位报警器，并在触发时发出声光报警。
- .2 另一个独立于高液位报警器的传感器，须以一种即避免加注管路中产生过大的液体压力，又防止液化气燃料液舱内被注满液体的方式，自动启动一个截止阀。
- .3 液化天然气燃料液舱中传感器的位置须能在交付使用前确认。交付后和每次进干坞后第一次满载，须通过提升液化气燃料液舱中的燃料液位至报警点进行高位报警试验。
- .4 高位报警和溢出报警的所有构件（包括电路和传感器）须能进行功能试验。在进行燃料操作前须按照 18.4.3 进行系统试验。
- .5 如设有溢流控制系统越控装置，该装置须能防止不当操作。如进行越控，须在驾驶室、不间断人工操纵中央控制站或船上安全中心给出连续视觉显示。

15.4.3 每一液化气燃料液舱的蒸汽空间均须设有一个直接读数测量表。此外，应为驾驶室、不间断人工操纵中央控制站或船上安全中心提供间接显示。

15.4.4 压力显示器须清晰标注液化气燃料液舱内最高和最低允许压力。

15.4.5 驾驶室、不间断人工操纵中央控制站或船上安全中心内须设有一个高压报警器，及如需要真空保护，一个低压报警器。须在达到设定安全阀压力之前，触发报警。

15.4.6 每一燃料泵排放管路上和每个液体和蒸气燃料的集合管上，须至少装设一个局部压力显示器。

15.4.7 须设有就地读数的集合管压力显示器，以显示船舶集管阀和通岸软管之间的压力。

15.4.8 未设通向大气开口的燃料存储舱处所和屏壁间处所均须设置压力显示器。

15.4.9 所设置的压力显示器中须至少有一个能在整个的操作压力范围内进行显示。

15.4.10 对于深潜式燃气泵发动机及其供电电缆，须设有在低液位报警和在低液位时自动停止电动机的布置。自动停机可通过检测到泵的低排放压力、电动机的低电流或低液位予以实现。停机须在驾驶室、不间断人工操纵中央控制站或船上安全中心发出声光报警。

15.4.11 除设有真空隔热系统和压力升高燃料排放装置的独立 C 型液舱外，各燃料舱须至少在三处设有测量和显示燃料温度的装置；在舱的底部和中部以及舱的顶部低于允许液面之处。

15.5 燃料加注控制规定

15.5.1 燃料加注须有可能在远离加注站的安全位置予以控制。在此位置须能够检测到舱压、舱温，如 15.4.11 有要求，和舱的液位。8.5.3 和 11.5.7 中要求的遥控控制阀须能在此位置操纵。满溢警报和自动关闭也须在此位置显示。

15.5.2 如果加注管路的围闭导管内的通风停机，须在燃料加注控制位置发出声光警报。另见 15.8。

15.5.3 如果在加注管路的围闭导管内检测到瓦斯，须在加注控制位置提供声光警报和紧急关闭。

15.6 燃气压缩机监测规定

15.6.1 须在驾驶室和机舱控制室装设燃气压缩机声光警报。警报至少须包含瓦斯输入低压，瓦斯输出低压，瓦斯输出高压和压缩机运行。

15.6.2 须设有舱壁轴封盖和轴承的温度监测及在驾驶室和不间断人工操纵中央控制站自动发出持续的声光警报。

15.7 燃气发动机的监测规定

除按照《安全公约》第 II-1 章 C 部分提供的仪表外，须为以下所列，在驾驶室，发动机控制室和操纵平台上装设显示器：

- .1 燃气发动机的发动机运行；或
- .2 双燃料发动机的发动机运行和运行模式。

15.8 瓦斯探测规定

15.8.1 固定瓦斯探测器须安装在以下所列之中：

- .1 液舱连接处所；
- .2 围绕燃料管道的所有导管；
- .3 含燃气管道，燃气设备或用气设备的机器处所；
- .4 压缩机舱和燃料准备舱；
- .5 含燃料管道或其他无导管燃料设备的其他围闭处所；
- .6 可能积聚燃料蒸气的其他围闭或半围闭处所，包括屏壁间处所和除 C 型之外的独立燃料舱的燃料存储处所；
- .7 空气闸；
- .8 燃气加热回路膨胀舱；
- .9 与燃料系统相关的发动机舱；和
- .10 或，如根据 4.2 要求的风险评估所需，起居和机器处所的通风进口。

15.8.2 每个应急切断保护机器处所中须提供冗余瓦斯探测系统。

15.8.3 每个处所内探测器的数量须虑及处所的尺寸，布局和通风予以考虑。

15.8.4 探测设备须位于瓦斯可能聚集处及通风出口内。须运用气体分散分析或物理烟雾试验来找出最佳布置。

15.8.5 气体探测设备须按照公认标准³¹设计、安装和测试。

³¹ 参阅 IEC 60079-29-1 — 爆炸气体 — 瓦斯探测器 — 易燃气体探测器的性能要求。

15.8.6 在气体蒸气达到最低爆炸性极限的 20%时，须触发声光警报。两个探测器处达到最低爆炸性极限的 40%时，须触发安全系统（见表 1 中的脚注 1）。

15.8.7 对于含燃气发动机的机器处所中围绕燃气管路的有通风导管，其警报极限可设在最低爆炸性极限的 30%。两个探测器处达到最低爆炸性极限的 60%时，须触发安全系统（见表格 1 中的注脚 1）。

15.8.8 气体探测设备的声光警报器须位于驾驶室或不间断人工操纵中央控制站中。

15.8.9 本节要求的气体探测须持续不间断，没有延迟。

15.9 失火探测规定

含燃气发动机的机器处所和含燃料存储处所的独立液舱内探到失火时所要求的安全行动在以下表 1 中给出。

15.10 通风规定

15.10.1 任何所要求通风能力的丧失须在驾驶室或不间断人工操纵中央控制站或安全中心发出声光报警。

15.10.2 对于应急切断保护机器处所，机舱通风丧失须触发安全系统。

15.11 燃料供应系统安全功能规定

15.11.1 如果由于触发自动阀导致燃料供应中断，在确定中断原因和采取必要的预防措施前不得开启燃料供应系统。一份做出如此指示的显而易见的通知须放置在燃料供应管线截止阀的操作站。

15.11.2 如发生燃料泄漏导致的燃料供应中断，在发现泄漏并处理妥当之前，燃料供应不得运作。如此指示须放置在机器处所的明显位置。

15.11.3 含燃气发动机的机器处所中须永久设置警告牌或表示板，表明，在发动机使用燃气运行时，不得进行带有损坏燃料管路危险的起重作业。

15.11.4 须酌情在以下位置为手动远程紧急停止压缩机，泵和燃料供应做出布置：

- .1 驾驶室；
- .2 货物控制室；
- .3 船上安全中心；
- .4 发动机控制室；
- .5 消防控制站；和
- .6 临近燃料准备室出口处。

瓦斯压缩机也须为当地紧急停止做出布置。

表 1：发动机燃气供应系统监测

参数	警报	自动关闭 液舱的阀门 ⁶⁾	自动关闭 含燃气发动机机器 处所的燃气供应	备注
液舱连接处所内探测到瓦斯最低爆炸性极限的 20% 时	X			
液舱连接处所内两个探测器 ¹⁾ 探测到瓦斯最低爆炸性极限的 40% 时	X	X		
燃料存储处所探测到失火	X			
甲板下燃料围护系统通风干道中探测到失火	X			
液舱连接处所舱底井高液位	X			
液舱连接处所舱底井低温	X	X		
液舱与含燃气发动机机器处所之间的导管内检测到瓦斯最低爆炸性极限的 20% 时	X			
液舱与含燃气发动机机器处所之间的导管内两个检测器 ¹⁾ 探测到瓦斯最低爆炸性极限的 40% 时	X	X ²⁾		
燃料准备室内探测到瓦斯最低爆炸性极限的 20% 时	X			
两个检测器在燃料准备室内探测到瓦斯最低爆炸性极限的 40% 时	X	X ²⁾		
含燃气发动机机器处所中的导管内探测到瓦斯最低爆炸性极限的 30% 时	X			如含燃气发动机机器处所装设双套管
含燃气发动机机器处所中的导管内两个检测器探测到瓦斯最低爆炸性极限的 60% 时	X		X ³⁾	如含燃气发动机机器处所装设双套管

参数	警报	自动关闭 液舱的阀门 ⁶⁾	自动关闭 含燃气发动机机器 处所的燃气供应	备注
含燃气发动机的应急切断保护机器处所内探测到瓦斯最低爆炸性极限的 20%时	X			
含燃气发动机的应急切断保护机器处所内两个探测器探测到瓦斯最低爆炸性极限的 40%时	X		X	并须断开非经认证为含燃气发动机机器处所内安全的电子设备
液舱与含燃气发动机机器处所之间的导管内通风丧失	X		X ²⁾	
含燃气发动机机器处所中的导管内通风丧失 ⁵⁾	X		X ³⁾	如果包含燃气发动机的机器处所配备双管道
含燃气发动机的应急切断保护机器处所内通风丧失	X		X	
含燃气发动机机器处所内探测到失火	X			
燃气供应管道内燃气压力异常	X			
阀门控制驱动介质故障	X		X ⁴⁾	有必要的时间延迟
发动机自动关闭（发动机故障）	X		X ⁴⁾	

参数	警报	自动关闭 液 舱 的 阀 门 ⁶⁾	自动关闭 含燃气发 动机机器 处所的燃 气供应	备注
手动触发发动机紧急 关闭	X		X	
1) 因冗余原因要求两个独立的气体探测器紧挨着放置。如瓦斯探测器是自我监测型，可允许装置单一瓦斯探测器。 2) 如果燃料舱为多个发动机供气，及不同的供应管路完全分隔并处于分隔的导管中，且各主阀配置在导管之外，则仅须关闭进入探测到瓦斯或通风丧失的导管的供应管道主阀。 3) 如果为多个发动机供应燃气，及不同供应管路完全分隔处于分隔的导管中，且主阀配置在导管和含燃气发动机机器处所之外，则仅须关闭进入探测到瓦斯或通风丧失的导管的供应管道主阀。 4) 仅关闭双截断和排放阀门组。 5) 如导管受惰性气体保护（见 9.6.1.1），则惰性气体过压丧失须导致本表中给出的同样行动。 6) 9.4.1 中所指阀门。				

附录

新颖构造燃料围护系统设计中极限状态方法使用标准

1 通则

1.1 本标准的目标是为符合 6.4.16 节的新颖构造燃料围护系统极限状态设计提供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 6.4.16 中列明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规定的状态。

1.3 极限状态分为以下 3 类：

- .1 最终极限状态（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劣化；和
- .3 意外极限状态（ALS），与结构的抗意外状况能力有关。

1.4 须依据燃料围护系统概念酌情符合 6.4.1 至 6.4.14 节。

2 设计格式

2.1 本标准中的设计格式基于载荷和抗力因数设计格式。载荷和抗力因数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} 通过特征载荷与给出的载荷种类相关的载荷系数的乘积获得：

$$F_{db} = \gamma_f \cdot F_k$$

式中：

γ_f 是载荷系数；和

F_k 是 6.4.9 至 6.4.12 节中规定的特征载荷。

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，可用下列公式表达：

$$L_d = q(F_{d1}, F_{d2}, \dots, F_{dN})$$

式中： q 表示由结构分析确定的载荷和载荷响应之间的函数关系。

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 系指特性抗力。对于第 7 章涵盖的材料，这可为但不限于规定的最小屈服应力、规定的最小抗拉强度、横截面的塑性抗力力和极限屈曲强度；
- γ_R 系指界定为 $\gamma_R = \gamma_m \cdot \gamma_s$ 抗力因数；
- γ_m 系指考虑到材料特性（材料系数）概率分布的分项抗力系数；
- γ_s 系指考虑到结构能力不确定性的分项抗力系数，例如建造质量，确定能力包括精度分析所考虑的方法；和
- γ_C 系指后果等级系数，说明有关燃料泄放和可能的人员受伤的故障的潜在后果。

2.2 燃料围护设计须考虑到可能的故障结果。后果等级界定于表 1 中，以列明故障模式在与最终极限状态、疲劳极限状态或意外极限状态有关时的故障后果。

表 1：后果等级

后果等级	定义
低	故障意味着少量燃料泄放。
中	故障意味着燃料泄放和可能造成人员受伤。
高	故障意味着大量燃料泄放和极有可能造成人员伤亡。

3 要求的分析

3.1 三维有限元分析须作为液舱和船体的组合模型进行，包括适用的支持件和关键系统。须确定所有失效模式以避免意想不到的失效。须进行流体力学分析确定在不规则波中的特定船舶加速度和运动，以及船舶及其燃料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缩应力的其他载荷的液舱须按照公认标准进行屈曲强度分析。方法须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须按照本标准 5.1 段进行。

4 承载极限状态

4.1 结构抗力可通过试验或完整分析确定，并考虑到弹性和塑性材料特性。极限强度的安全裕量须以部分安全因数引入，并考虑到载荷和抗力（动载荷、压力载荷、重力载荷、材料强度和屈曲能力）的随机性。

4.2 分析中须考虑永久载荷、功能载荷和环境载荷包括晃荡载荷的适当组合。评估承载极限状态须至少使用 2 个具有表 2 中给出的分项载荷系数的载荷组合。

表 2：分项载荷系数

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系数与适用于燃料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、燃料重量、系统自重等。更高的载荷系数会相关于预测模型中固有可变性和/或不确定性更高的永久和功能载荷。

4.3 对于晃荡载荷，主管机关可根据估算方法的可靠性，要求较大的载荷系数。

4.4 如燃料围护系统的结构失效被视为极有可能造成人员受伤和大量燃料泄放，后果等级系数需须取作 $\gamma_c = 1.2$ 。如经风险评估证明并经主管机关认可，该值可降低。风险评估须考虑的因素包括但不限于设有完整或部分次屏壁以对船体结构提供泄漏保护及与拟载燃料相关的较小的危险。相反时，主管机关可确定较高值，例如，对于载运更危险或更高压力燃料的船舶。在任何情况下，后果等级系数不得小于 1.0。

4.5 所用的载荷因数和抗力因数须使安全水平等于 6.4.2.1 至 6.4.2.6 节中所述的燃料围护系统的安全水平。这可通过按已知的成功设计校准因数进行。

4.6 材料系数 γ_m 一般须反映材料力学性能的统计分布，并需要与特定的力学特性一起解释。对于第 6 章中界定的材料，材料系数 γ_m 可取作：

- 1.1 当主管机关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 当主管机关规定的特有力学性能代表一个足够小的分位数，使力学性能比规定值低的概率极低并可忽略不计。

4.7 分项抗力系数 γ_{si} 一般须根据基于结构能力的不确定性予以确定，并考虑到建造公差、建造质量、所用分析方法的精度。

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，分项抗力系数 γ_{si} 须取：

$$\gamma_{s1} = 0.76 \cdot \frac{B}{\kappa_1}$$

$$\gamma_{s2} = 0.76 \cdot \frac{D}{\kappa_2}$$

$$\kappa_1 = \text{Min} \left(\frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{B}{A}; 1.0 \right)$$

$$\kappa_2 = \text{Min} \left(\frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{D}{C}; 1.0 \right)$$

系数 A、B、C 和 D 的定义见 6.4.15.2.3.1。 R_m 和 R_e 的定义见 6.4.12.1.1.3。

以上给出的分项抗力系数是校准至常规 B 型独立液舱的结果。

4.8 针对过度塑性变形的的设计

4.8.1 以下给出的应力验收衡准涉及弹性应力分析。

4.8.2 燃料围护系统的主要由结构中膜响应承受载荷的部分，须满足下列极限状态衡准：

$$\sigma_m \leq f$$

$$\sigma_L \leq 1.5f$$

$$\sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_L + \sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0F$$

$$\sigma_L + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0F$$

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

$$f = \frac{R_e}{\gamma_{s1} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_C}$$

$$F = \frac{R_e}{\gamma_{s2} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_C}$$

指导性说明：

须通过合计各应力分量（ σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} ）求出上述应力总和，并之后须如下例中所示，基于得出的各应力分量计算出等效应力。

$$\sigma_L + \sigma_b = \sqrt{(\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})^2 - (\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})(\sigma_{Ly} + \sigma_{by}) + (\sigma_{Ly} + \sigma_{by})^2 + 3(\tau_{Lxy} + \tau_{bxy})^2}$$

4.8.3 燃料围护系统的主要由纵桁、扶强材和板的弯曲承受载荷的部分，须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（ $\sigma_{ms} + \sigma_{bp}$ ）通常将直接从三维有限元分析获得。

注 2： 考虑到设计概念、结构构成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。

指导性说明：

须通过合计各应力分量（ σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} ）求出上述应力总和，并之后须基于得出的各应力分量计算出等效应力。

壳板须按照主管机关的要求设计。当膜应力较大，另须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，该截面膜应力等于本标准 4.8.2 中界定的膜应力。

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。

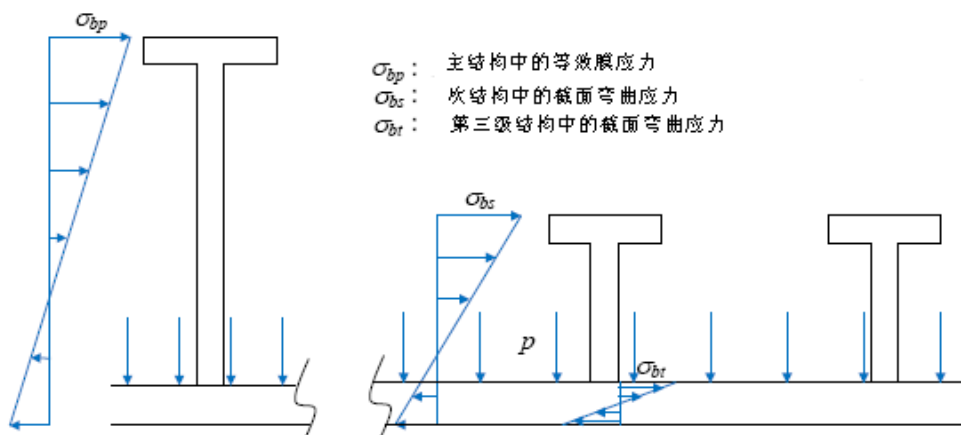


图 1: 三种截面应力的定义
(应力 σ_{bp} 和 σ_{bs} 垂直于所示的横截面)

4.9 除所应用的公认屈曲标准中另有规定外，防屈曲设计须采用相同的系数 γ_c 、 γ_m 、 γ_{si} 。在任何情况下，整体安全水平须不低于这些系数所给出安全水平。

5 疲劳极限状态

5.1 6.4.12.2 中所述的疲劳设计条件，须依据燃料围护系统概念，酌情予以遵守。对于按 6.4.16 和本标准设计的燃料围护系统，需要进行疲劳分析。

- 5.2 对于所有载荷种类，疲劳极限状态的载荷系数须取 1.0。
- 5.3 后果等级系数 γ_C 和抗力系数 γ_R 须取 1.0。
- 5.4 疲劳损坏须按 6.4.12.2.2 至 6.4.12.2.5 中所述进行计算。计算出的燃料围护系统累积疲劳损坏比须小于或等于表 3 中给出的值。

表 3：许用最大累积疲劳损坏比

C_w	后果等级		
	低	中	高
	1.0	0.5	0.5*

注*：须依据缺陷或裂痕等的可发现度等，按照 6.4.12.2.7 至 6.4.12.2.9 取较低值。

- 5.5 主管机关可确定较低值。
- 5.6 需按 6.4.12.2.6 至 6.4.12.2.9 的要求进行裂纹扩展分析。分析须按经主管机关认可的标准中规定的方法进行。

6 意外极限状态

- 6.1 6.4.12.3 中所述的意外设计条件，须依据燃料围护系统概念，酌情予以遵守。
- 6.2 虑及只要破损和变形不导致意外状况升级则可接受该破损和变形，与最终极限状态相比载荷系数和抗力系数可以放宽。
- 6.3 意外极限状态的永久载荷、功能载荷和环境载荷的载荷系数须取 1.0。
- 6.4 6.4.9.3.3.8 和 6.4.9.5 中所述载荷无需相互合成，或与 6.4.9.4 中界定的环境载荷合成。
- 6.5 抗力系数 γ_R 一般须取 1.0。
- 6.6 后果等级系数 γ_C 一般须按本标准 4.4 的规定选取，但可虑及意外事故的性质而适当放宽。
- 6.7 特性抗力 R_k 一般须按最终极限状态选取，但可虑及意外事故的性质而适当放宽。
- 6.8 附加相关意外情景须根据风险评估确定。

7 试验

- 7.1 按本标准设计的燃料围护系统须依据燃料围护系统的概念，酌情按 16.2 中所述的相同程度进行试验。

B-1 部分

燃料就本部分中的规定而言，系指呈液态或气态的天然气。

16 制造，工艺和试验

16.1 通则

16.1.1 制造、试验、检查以及文件须符合公认标准和本规则中给出的规定。

16.1.2 如规定或要求作焊后热处理，其母材性能须在热处理后的条件下按照第 7 章中适用列表予以确定，而焊缝性能须在热处理后的条件下按照 16.3 予以确定。如果采用焊后热处理，试验规定可由主管机关酌情修改。

16.2 一般试验规定和说明

16.2.1 拉伸试验

16.2.1.1 拉伸试验须按公认标准进行。

16.2.1.2 抗拉强度、屈服应力和伸长率须使主管机关满意。对具有确定屈服点的碳锰钢和其他材料，须考虑其屈强比的限制。

16.2.2 韧性试验

16.2.2.1 除主管机关另有规定外，金属材料的验收试验须包括夏比 V 型缺口冲击韧性试验。所述夏比 V 型规定是 3 个全尺寸(10mm × 10mm)试样的最小平均冲击能量值和对各式样的最小单个冲击能量值。夏比 V 型缺口试样的尺寸和公差须符合公认标准。对尺寸小于 5.0 mm 的试样的试验和规定须符合公认标准。小尺寸试样的最小平均值须为：

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 × 5.0	2/3KV

表中：

KV = 表7.1至表7.4中规定的冲击能量值(J)。

仅一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%。

16.2.2.2 对于母材，须尽可能按材料厚度截取最大尺寸的夏比V型缺口试样，并使试样位于尽实际可行地接近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16.1）。

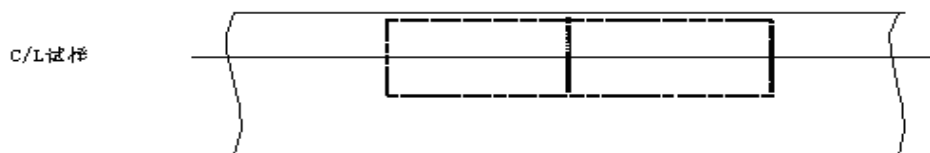


图16.1 — 母材试样的取向

16.2.2.3 对于焊接试验试样，须尽可能按材料厚度截取最大尺寸的夏比V型缺口试样，并尽量使试样位于尽实际可行地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缘的距离，须约为1mm或更大。此外，对于双V型坡口对接焊缝，须在更接近第2个焊接面处截取试样。试样一般须如图16.2中所示，在各下列位置，在焊缝的中线上、在熔合线上和距离熔合线1mm、3mm和5mm处截取。

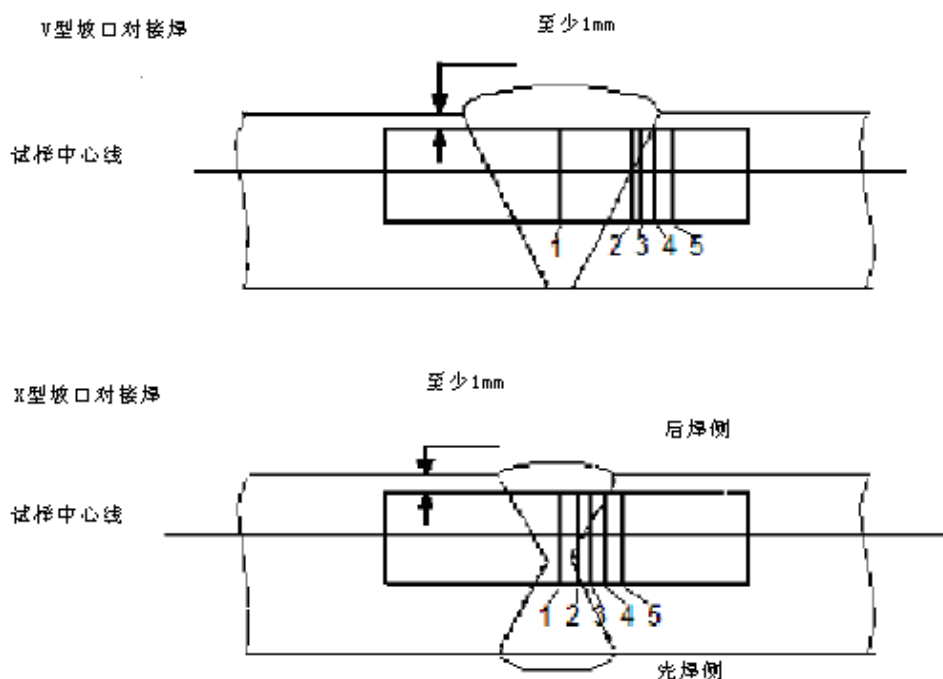


图16.2 — 焊接试样的取向

图16.2中的缺口位置：

- .1 焊缝中心线；
- .2 位于熔合线上；
- .3 热影响区（HAZ）中，距熔合线1 mm；
- .4 热影响区（HAZ）中，距熔合线3 mm；和
- .5 热影响区（HAZ）中，距熔合线5 mm。

16.2.2.4 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所述规定，或1个以上试样的值低于所要求的平均值，或者1个试样的值低于所允许的单个试样最小值时，则可以从同一材料中再取3个附加试样进行试验并将所得的结果与原先获得的试验结果组合以形成1个新的平均值。如果这个新的平均值符合规定，及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。

16.2.3 弯曲试验

16.2.3.1 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，须按照公认标准进行。

16.2.3.2 弯曲试验须为横向弯曲试验，主管机关可酌情决定进行正弯、反弯或侧弯试验。如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。

16.2.4 断面观察和其他试验

16.2.4.1 主管机关也可要求按照公认标准对焊缝做宏观断面、微观断面观察以及硬度试验。

16.3 燃料围护系统金属材料的焊接和无损探伤

16.3.1 通则

16.3.1.1 本节须仅适用于主屏壁和次屏壁，包括构成次屏壁的内壳。验收试验系为碳钢、碳锰钢、镍合金钢和不锈钢规定的，但可为其他材料加以调整。主管机关可酌情决定免除对不锈钢和铝合金焊接件的冲击试验，也可对任何材料特别要求做其他的试验。

16.3.2 焊接耗材

16.3.2.1 用于燃料舱焊接的耗材须符合公认标准。对所有焊接耗材均须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须符合公认标准。熔敷金属的化学成分须作记录以供查询。

16.3.3 燃料舱和处理用压力容器的焊接工艺试验

16.3.3.1 对所有燃料舱和处理用压力容器的对接焊缝均要求作焊接工艺试验。

16.3.3.2 焊接试件须能代表：

- .1 每种母材；
- .2 每种焊接耗材和焊接方法；和
- .3 每种焊接位置。

16.3.3.3 对于板材的对接焊，试件的制备须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须符合公认标准。制造厂可选择进行射线检查或超声波检查。

16.3.3.4 须使用从每个试件制作的试样按16.2对燃料舱和处理用压力容器进行以下焊接工艺试验：

- .1 焊缝横向拉力试验；
- .2 公认标准要求的纵向全焊接试验；
- .3 横向弯曲试验，可进行正弯、反弯或侧弯试验。如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，一般在如图16.2所示的下列各个位置上：
 - .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；
- .5 也可要求对焊缝做宏观断面、微观断面以及硬度检验。

16.3.3.5 每个试验须满足下列要求：

- .1 拉力试验：焊缝横向抗拉强度不低于对相应母材规定的最低抗拉强度。对于铝合金，须就低匹配焊缝的焊缝金属强度（焊缝金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度）规定参照6.4.12.1.1.3。在每种情况下，须记录试样破断位置以供查询；
- .2 弯曲试验：不接受试样经直径为4倍试样厚度的弯芯弯曲180°后的任何断裂；和
- .3 夏比V型缺口冲击试验：夏比V型缺口冲击试验须在对被连接母材所规定的温度下进行。焊缝金属冲击试验的结果，其最小平均冲击能量（KV）须不低于27J。对焊缝金属小尺寸试样和单个冲击能量值的规定须符合16.2.2。熔合线和热影响区冲击试验结果须显示出符合对母材所适用的横向或纵向规定的最小平均冲击能量（KV），对于小尺寸试样，最小平均冲击能量（KV）须符合16.2.2。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须符合公认标准。

16.3.3.6 用于填角焊的工艺试验须符合公认标准。在这种情况下，须选择具有良好冲击性能的焊接耗材。

16.3.4 管材的焊接工艺试验

对管材须进行焊接工艺试验，该试验须与16.3.3中对燃料舱规定的细节相似。

16.3.5 产品焊缝试验

16.3.5.1 除薄膜舱外，所有燃料舱和处理用压力容器通常需对每50m左右的对接焊缝进行一次产品焊缝试验，并须能代表各个焊接位置。对次屏壁须作与对注液舱所要求者相同类型的产品焊缝试验，但经主管机关同意可减少试验次数。除16.3.5.2至16.3.5.5规定的试验外，可要求对燃料舱或次屏壁进行其他试验。

16.3.5.2 对A型和B型独立舱的产品焊缝试验须包括弯曲试验，及，如要求，一组3个夏比V型缺口的冲击试验。试验须对每50m焊缝进行一次。夏比V型缺口冲击试验须使用缺口交替位于焊缝中心或热影响区(基于工艺合格试验结果的最危险位置)的试样进行。对于奥氏体不锈钢，所有的缺口须位于焊缝的中心处。

16.3.5.3 对于C型独立舱和处理用压力容器，除16.3.5.2所列的试验外，还要求进行焊缝横向拉力试验。拉力试验须满足16.3.3.5的规定。

16.3.5.4 质量保证/质量控制(QA/QC)计划须确保材料制造商的质量手册(QM)中规定的产品焊缝持续符合性。

16.3.5.5 薄膜舱的试验规定与16.3.3中所列的适用试验规定相同。

16.3.6 无损探伤试验

16.3.6.1 所有试验程序和验收标准须符合公认标准，除非设计方规定更高的标准以满足设计假定。原则上须使用射线检查以发现内部缺陷。但是，可进行经认可的超声波试验程序替代射线检查，但须选部分位置进行射线检查以验证其结果。射线和超声波检查记录须予留存。

16.3.6.2 对于设计温度为-20℃以下的A型独立舱以及不论设计温度如何的B型独立舱，所有燃料舱壳板的全焊透对接焊缝须经受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16.3.6.1所述的相同条件下，可进行超声波替代射线检查。

16.3.6.3 在所有情况下，燃料舱结构的其余焊缝，包括扶强材以及其他附件和连接件的焊缝须在必要时用磁粉或着色渗透法进行检查。

16.3.6.4 对于C型独立舱，无损探伤的范围须按公认标准为全部或部分，但要进行的控制须不少于以下所列：

.1 6.4.15.3.2.1.3中所述全部无损探伤：

射线检查：

.1 所有对接焊缝整个长度；

表面裂纹探测的无损探伤试验：

.2 所有焊缝的10%长度；

.3 整个长度内的开孔和喷管等周围的加强环。

作为替代，16.3.6.1中所述的超声波检查可代替部分射线检查。此外，主管机关可要求对开孔周围的加强环和喷嘴等焊缝全部进行超声波检查。

.2 6.4.15.3.2.1.3中所述部分无损探伤：

射线检查：

.1 所有对接焊交叉处的接头和在对接焊缝全部长度上均匀选取至少10%的长度；

表面裂纹探测的无损探伤试验：

.2 整个长度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。

16.3.6.5 质量保证/质量控制（QA/QC）计划须确保材料制造商的质量手册（QM）中规定的焊缝无损探伤的持续符合性。

16.3.6.6 管道检查须按第7章的规定进行。

16.3.6.7 在认为必要时，须对次屏壁进行无损探伤以发现内部缺陷。如船体外壳为次屏壁的一部分，则须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进行射线检查。

16.4 金属材料构造的其他规定

16.4.1 通则

焊缝的检查和无损探伤须符合 16.3.5 和 16.3.6 中的规定。如在设计中假定更高的标准或公差，也须予以满足。

16.4.2 独立舱

对于主要由回转体构成的 C 型和 B 型舱，有关制造的公差，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，须符合公认标准。这些公差还须与 6.4.15.2.3.1 和 6.4.15.3.3.2 中所述屈曲分析相关。

16.4.3 次屏壁

建造期间，次屏壁的试验和检查规定须经主管机关认可或接受（另见 6.4.4.2.5 和 6.4.4.2.6）。

16.4.4 薄膜舱

质量保证/质量控制（QA/QC）计划须确保焊接工艺条件、设计细节、材料、建造、检验和部件的生产试验的持续符合性。这些标准和工艺须在原型试验计划期间制定。

16.5 试验

16.5.1 建造期间的试验与检查

16.5.1.1 所有液化气燃料液舱和处理压力容器须按 16.5.2 至 16.5.5 对所适用的液舱类型进行水压或液压气动试验。

16.5.1.2 所有液舱须进行密性试验，该密性试验可结合 16.5.1.1 中所述压力试验一起进行。

16.5.1.3 关于 6.3.3 的燃料围护系统的气密性须予以测试。

16.5.1.4 关于对次屏壁的检查规定，须由主管机关虑及该次屏壁的可接触性，在每一情况下予以确定（另见 6.4.4.2）。

16.5.1.5 对于设有新颖 B 型独立液舱或按照 6.4.16 设计的液舱的船舶，主管机关可要求至少在一个原型液舱及其支持结构上须使用应变仪或其他适当的设备进行测量，以在 16.5.1.1 中所要求的试验期间确认其应力水平。对于 C 型独立液舱，依据其构型及其支持构件和附件的布置，可要求使用类似设备。

16.5.1.6 须按照主管机关的要求，在首次液化天然气燃料加注期间，当液化气燃料达到稳定热工工况时，验证燃料围护系统的整体性能是否符合设计参数。需在船上保持验证设计参数所必需的部件和设备的性能记录，并可供主管机关使用。

16.5.1.7 第一次液化气加注期间或刚刚完成之后，当达到热工工况时，须对燃料围护系统进行冷点检查。无法目视检查的绝热表面完整性检查，须按照主管机关的要求进行。

16.5.1.8 加热装置，如按 6.4.13.1.1.3 和 6.4.13.1.1.4 装设，须对所要求的热量输出和热量分布进行测试。

16.5.2 A 型独立液舱

须对所有 A 型独立液舱进行水压或液压气动试验。进行这种试验时，须使其应力尽可能接近设计应力，并使液舱顶的压力至少相当于释放阀的最大调定值。进行水压-气动试验时，试验条件须尽可能模拟液舱及其支持结构的设计载荷，包括动态分量，同时避免应力水平引起永久变形。

16.5.3 B 型独立液舱

16.5.3.1 B型独立液舱须按下列要求进行水压或水压—气动试验：

- .1 须按16.5.2.1中对A型独立液舱的要求进行试验。
- .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须不超过材料（制成状态）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该屈服强度的75%时，须采用应变仪或其他合适的设备对一系列同样液舱中的第一个液舱试验加以监测。

16.5.4 C 型独立液舱和其他压力容器

16.5.4.1 每一压力容器须以在液舱顶测得的不小于 $1.5P_0$ 的压力进行水压试验。在压力试验期间的任何情况下，任何一点上计算所得的主膜应力不超过该材料在试验温度下的屈服应力的90%。为确保满足上述条件，如计算表明主膜应力超过屈服强度的75%，则须采用应变仪或其他合适的设备对一系列同样液舱中的第一个液舱试验加以监测，但简单的圆柱型或球型压力容器除外。

16.5.4.2 试验时所采用的水温至少须比制成的材料的无延性转变温度高出30℃。

16.5.4.3 对每25 mm的厚度，压力须保持为2小时，但在任何情况下不得少于2小时。

16.5.4.4 如必要，可在16.5.4.1至16.5.4.3中所述条件下对液化气燃料压力容器进行水压-气动试验。

16.5.4.5 测试采用较高许用应力的液舱，可依据工作温度予以特别考虑。但需完全满足16.5.4.1中的规定。

16.5.4.6 在装配和完工后，须对每一压力容器及其有关的部件进行适当的密性试验，该试验可酌情与16.5.4.1或16.5.4.4中所述压力试验一起进行。

16.5.4.7 对除液化气燃料舱外的压力容器的气压试验，须根据个案予以考虑。仅在下述情况下，才允许进行气压试验：容器的设计或其支持结构无法安全注满水，或容器无法干燥或使用后不允许试验介质痕迹残留。

16.5.5 薄膜液舱

16.5.5.1 设计开发试验

16.5.5.1.1 在 6.4.15.4.1.2 中要求的设计开发试验须包括对主屏壁及次屏壁的一系列分析和物理模型（包括角和接头）的试验以验证其能够承受在所有灌注水平下由静、动和热载荷引起的预期组合应变。这将以建造完整的液化燃料围护系统的原型模型告终。分析和物理模型中考虑的试验条件须代表液化燃料围护系统在其使用寿命中可能遇到的最极端的营运状态。6.4.4.2 中要求的次屏壁定期试验的建议接受衡准可基于原型模型的试验结果。

16.5.5.1.2 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须通过试验确定。将绝热系统系固至船体结构的装置的极限强度和疲劳性能须通过分析或试验确定。

16.5.5.2 测试

- .1 当船上设有薄膜液化气燃料围护系统时，对所有液舱和通常可能装有液体并邻接于支持薄膜的船体结构的其他处所，均须进行水压试验。
- .2 安装液化气燃料围护系统前，对支持薄膜的所有液舱结构须进行密性试验。
- .3 对管隧和通常不装液体的其他舱室无需进行水压试验。

16.6 焊接、焊后热处理和无损测试

16.6.1 通则

焊接须按 16.3 进行。

16.6.2 焊后热处理

对碳钢、碳锰钢和低合金钢制管道的所有对接焊缝均须进行焊后热处理。主管机关可就相关管系的设计温度和设计压力，对壁厚小于 10 mm 的管道免除消除热应力的规定。

16.6.3 无损探测

除焊接前和焊接期间的正常控制以及为证明已按本段中的规定正确地进行焊接所需的对完工焊缝的目视检查外，，还须要求下列试验：

- .1 对下列管系的对接焊缝作 100%射线或超声波检查；
 - .1 设计温度低于-10℃；或
 - .2 设计压力大于 10 MPa；或
 - .3 应急切断保护机器处所内的燃气供应管道；或
 - .4 内径大于 75 mm；或
 - .5 壁厚大于 10 mm。
- .2 当该段管路的对接焊缝是用主管机关认可的自动焊接工艺焊成时，可同意逐渐减少射线或超声波检查的范围，但在任何情况下，不得小于每一接缝的 10%。如发现缺陷，检查范围须增至 100%，并须包括检查以前已接受的焊缝。仅在具备良好成文的质量保证程序和记录可供对制造商一贯地制造合格焊缝的能力予以评估时，方可批准此认可。
- .3 对双套燃料管外管中的对接焊缝的射线或超声波检查规定可减少至 10%。
- .4 对于 16.6.3.1 和 16.6.3.3 中未包括的其他管道的对接焊缝，须根据其用途、位置 and 材料进行射线或超声波抽查或其他的无损伤测试。通常，至少须对 10% 的管道对接焊缝进行射线或超声波检查。

16.7 试验规定

16.7.1 管路部件的型式试验

阀门

须对工作温度低于-55℃的每种型式的管路部件进行下列型式试验：

- .1 每种尺寸和型式的阀门须在全部作业压力和温度范围内，以一定的间隔并直至额定设计压力，进行阀座密性试验。允许的泄漏率须满足主管机关的要求。试验期间，须对阀门的良好运作进行验证。
- .2 每种尺寸和型式的阀门须按公认标准对流量进行认证。

- .3 承压部件须至少以设计压力的 1.5 倍进行压力试验。
- .4 应急截止阀, 如具有熔点低于 925℃的材料, 其型式试验须包括按至少与本组织可接受标准等效的标准进行的防火试验³²。

16.7.2 波纹管膨胀接头

对按7.3.6.4.3.1.3可用于燃料舱以外的燃料管路上的每种波纹管膨胀接头须进行下列型式试验, 如主管机关要求, 对设置在燃料舱内的波纹管膨胀接头也须进行下列型式试验:

- .1 未经预先压缩但有轴向限制的波纹管元件须经受不小于 5 倍设计压力的压力试验而不破裂。试验持续时间不得少于 5 分钟。
- .2 须对原型膨胀接头及其所有附件如法兰、拉杆和铰接件等, 在制造商建议的最大位移条件下, 以最低设计温度和两倍设计压力经受测试而不产生永久变形。
- .3 对完整的膨胀接头须进行循环试验(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, 完整的膨胀接头须能承受至少与实际使用中遇到的同样多的循环次数。当这些试验与在营运温度下的条件至少一样严格时, 允许在室温下进行试验。
- .4 对完整的膨胀接头须在无内压的情况下进行循环疲劳试验(船体变形, 船体加速和管道振动), 即模拟相当于补偿管段的波纹管运动的方式, 在不高于 5 Hz 的频率下, 至少循环 2,000,000 次。仅在因管路的布置实际经受船舶变形载荷时, 方要求进行这种试验。

16.7.3 系统试验规定

16.7.3.1 本节中的试验规定适用于燃料液舱内外的管路。但主管机关可接受对燃料液舱内管路和开放管路放宽要求。

16.7.3.2 在装配后, 须使用适当的流体对所有燃料管路进行强度试验。液体管路的试验压力须至少为 1.5 倍设计压力, 蒸气管路的试验压力须至少为 1.5 倍最大系统工作压力。当完成对管系或系统部件的制造并配齐所有附件时, 试验可在船上安装之前进行。对在船上焊接的接头须至少以 1.5 倍设计压力进行试验。

³² 参见国际标准化组织的建议, 尤其是以下出版物:

ISO 19921:2005, 船舶和海上技术—弹性密封金属管件的耐火度—试验方法

ISO 19922:2005, 船舶和海上技术—弹性密封金属管件的耐火度—对试验台的要求。

16.7.3.3 燃料管系在船上组装完工后，须使用空气或其他适当介质进行泄漏试验，试验压力取决于所采用的泄漏检测方法。

16.7.3.4 在双套燃料管系中，外管或导管也须进行压力试验，以证明其在管道破裂下可承受预计最大压力。

16.7.3.5 对用于燃料或蒸气操作的所有管系，包括阀、附件及附属设备，需在首次燃料灌注作业之前，按照主管机关的要求，在正常工作状态下进行试验。

16.7.3.6 液化气管系中的应急截止阀须在启动后 30 秒内完全平稳关闭。船上须备阀门关闭时间及其操作特征的资料，且关闭时间须能验证并可重复。

16.7.3.7 8.5.8 和 15.4.2.2 中所述的阀门关闭时间（即从关闭信号启动至阀完全关闭的时间）须不大于：

$$\frac{3600U}{BR} \text{ (秒)}$$

其中：

U = 发出操作信号时舱内液面以上的空距容积，（ m^3 ）；

BR = 船和岸上设施之间所同意的最大加注速率（ m^3/h ）；或

5 秒以最小值为准。

须虑及软管或装卸臂以及船上和岸上的相关管路系统，调整加注速率，以将阀关闭时的冲击压力限制在一个可承受的水平。

C-1 部分

就本部分中的规定而言，燃料系指处于液态或气态的天然气。

17 演习和应急演练

船上演习和演练要定期进行。例如气体相关演习可包括：

- .1 桌面演习；
- .2 根据 18.2.3 所要求的燃料作业手册审核加注燃料程序；
- .3 应对潜在的意外事件；
- .4 应急响应设备测试；和
- .5 检查所指派的海员经过履行加燃料和应急响应期间所指派任务的培训。

有关瓦斯的演习可纳入《安全公约》所要求的定期演习中。

危险和事故控制的响应和安全系统须经检查和测试。

18 操作

18.1 目标

本章的目标是确保气体或低闪点燃料系统的装载、储存、操作、维护和检查操作程序最大限度地降低对人员、船舶和环境的风险，并与常规油类燃料船舶的做法相一致，同时考虑到液体或气体燃料的性质。

18.2 功能要求

本章涉及 3.2.1 至 3.2.3、3.2.9、3.2.11、3.2.15、3.2.16 和 3.2.17 中的功能要求。尤其是以下所列适用：

- .1 本规则所适用的所有船舶须备有本规则的副本或纳入本规则规定的国家条例；
- .2 船上须备有所有与气体相关的装置的保养程序和信息；
- .3 须向船舶提供操作程序，包括一份适当详细的燃料作业手册，使业经培训人员能够安全地操作燃料加注、存储和输送系统；及
- .4 须向船舶提供适当的应急程序。

18.3 维护规定

18.3.1 维护和修理程序须包括对液舱位置和相邻处所的考虑（见第五章）。

18.3.2 燃料维护系统的营运检验，维护和测试要根据 6.4.1.8 所要求的检查/检验计划进行。

18.3.3 程序和atory信息须包括安装在爆炸危险处所和区域的电气设备的维护。对爆炸危险处所内电气装置的检查和维护须按照公认标准进行³³。

18.4 加注燃料操作规定

18.4.1 职责

18.4.1.1 任何加注燃料作业开始前，接收船的船长或其代表和燃料供应方代表（负责人，PIC）须：

- .1 书面同意输送程序，包括冷却和如必要，放气；输送中所有阶段的最大传输速率和传输量。
- .2 书面同意紧急情况下要采取的行动。
- .3 完成并签署燃料安全检查表。

18.4.1.2 完成燃料加注作业后，船舶负责人须接收并签署燃料供应方负责人填妥并签署的所交付燃料的燃料交付单，其中至少包含 C-1 部分附件中规定的信息。

18.4.2 控制、自动化和安全系统概述

18.4.2.1 18.2.3 所要求的燃料作业手册须包括但不限于：

- .1 船舶从干坞至干坞的全部操作，包括系统冷却和预热、燃料加注，如适用，还包括卸载、取样、惰化和驱气程序；
- .2 燃料温度和压力控制，报警和安全系统；
- .3 系统限制，冷却速率和加注前燃料存储舱最高温度，包括最低燃料温度、最大液舱压力、输送速率、充装极限和晃荡限制；
- .4 惰性气体系统操作；
- .5 消防和应急程序：消防系统的操作和维护以及灭火剂的使用；
- .6 特殊的燃料特性和特定燃料安全作业所需的特殊设备；

³³ 参见 IEC 60079 17:2007 爆炸气体环境 — 17 部分：电气装置检查和维护。

- .7 固定和便携式气体探测设备的操作和维护；
- .8 应急切断系统和应急释放系统，如安装；和
- .9 对诸如泄漏、失火或潜在燃料层化导致翻转的紧急情况中要采取的程序行动的说明。

18.4.2.2 燃料系统示意图/管路和仪表图（P&ID）须予以复制并永久张贴在船舶燃料控制站和燃料加注站中。

18.4.3 燃料加注前验证

18.4.3.1 进行燃料加注操作前，须进行包括但不限于以下所列的燃料加注前验证并在燃料加注安全检查表中记录：

- .1 所有通信方法，包括船岸连接（SSL），如安装；
- .2 固定瓦斯和失火探测设备的操作；
- .3 便携式气体探测设备的操作；
- .4 远程控制阀的操作：和
- .5 软管和接头的检查。

18.4.3.2 成功验证的文件须以双方负责人签署的业经相互认可并执行的燃料加注安全检查表所表明。

18.4.4 船舶燃料加注源通信

18.4.4.1 船上负责人和燃料供应方负责人在加注操作期间须始终保持通信。一旦不能保持通信，须停止燃料加注，并在通信恢复前不得继续。

18.4.4.2 燃料加注中所用通讯设备须符合主管机关可接受的此种设备的公认标准。

18.4.4.3 负责人须有与参与燃料加注操作的所有人员的直接和即时通讯。

18.4.4.4 船岸连接（SSL）或为自动紧急关闭通讯所提供的至燃料供应源的等效方法须与接收船和交付设施的应急切断（ESD）系统相匹配³⁴。

18.4.5 电气连接

交付设施所提供的用于燃料加注的软管、输送臂、管系和配件须电气连通、适当绝缘，并须提供符合公认标准的安全水平³⁵。

³⁴ 参见 ISO 28460，船-岸界面和港口操作。

³⁵ 参见 API RP 2003，ISGOTT：《油轮和码头国际安全指南》。

18.4.6 输送条件

18.4.6.1 燃料输送期间，须在燃料加注区入口处张贴警告标志，列明消防安全防范措施。

18.4.6.2 输送操作时，燃料加注集管区域中的人员须仅限于必要人员。在该作业区附近当值或工作所有职员须穿着适当的个人防护装备。不能维持输送所需条件时须停止操作，在满足所有必要条件前不得恢复输送。

18.4.6.3 若通过安装移动液舱加注燃料，其程序须提供与一体化燃料液舱和系统等效的安全水平。移动液舱须在装船前灌注并需在与燃料系统连接之前予以适当系固。

18.4.6.4 对于不是永久性安装在船上的液舱，所有必要的液舱系统（管系、控制、安全系统、释放系统等）与船舶燃料系统的连接均为“燃料加注”过程的组成部分并须在船舶驶离燃料方之前完成。海上航行或操纵期间不允许连接和断开可移动舱。

18.5 围闭处所进入规定

18.5.1 在正常操作情况下，工作人员不得进入燃料液舱，燃料储存处所，留空处所，液舱连接处所或其它瓦斯或易燃蒸气会积聚的围闭处所，除非此等处所内空气中的瓦斯含量经固定或移动设备确定，保证氧气充足和没有爆炸性气体³⁶。

18.5.2 进入任何被指定为危险区域处所的人员不得将任何潜在火源引入此等处所，除非已证实该处所业经除气并保持在除气状态下。

18.6 燃料系统的惰化和驱气规定

18.6.1 燃料系统惰化和驱气的主要目的是防止在燃料系统的管系、液舱、设备和相邻处所中、附近或周围形成易燃大气。

18.6.2 燃料系统的惰化和驱气程序须确保不将空气引入含有瓦斯气体的管系或液舱，和不将瓦斯引入围闭处所或燃料系统的相邻处所内所含的空气中。

18.7 燃料系统上或附近的热工规定

18.7.1 易燃的、受碳氢化合物污染或由于燃烧可能释放有毒烟气的燃料舱、燃料管系和绝缘系统附近的热工，须仅在此区域得到保护并证明可以安全进行热工，且得到所有批准之后方进行。

³⁶ 参见《经修订的进入船上围蔽处所建议案》（A.1050(27)）。

附件

液化天然气燃料交付单*

液化天然气燃料供给

船名: _____ 国际海事组织编号: _____

交付日期:

1. 液化天然气-特性

甲烷数 **	--	
低卡 (热) 值	MJ/kg	
高卡 (热) 值	MJ/kg	
沃泊指数 W_s / W_i	MJ/m ³	
密度	kg/m ³	
压力	MPa (abs)	
交付时液化天然气温度	°C	
存储液舱中液化天然气温度	°C	
存储液舱内压力	MPa (abs)	

2. 液化天然气-成分

甲烷, CH ₄	% (kg/kg)	
乙烷, C ₂ H ₆	% (kg/kg)	
丙烷, C ₃ H ₈	% (kg/kg)	
异丁烷, i C ₄ H ₁₀	% (kg/kg)	
N-丁烷, n C ₄ H ₁₀	% (kg/kg)	
戊烷, C ₅ H ₁₂	% (kg/kg)	
己烷, C ₆ H ₁₄	% (kg/kg)	
庚烷, C ₇ H ₁₆	% (kg/kg)	
氮气, N ₂	% (kg/kg)	
硫, S	% (kg/kg)	
可忽略不计<5ppm 硫化氢, 氢, 氨, 氯, 氟, 水		

3. 交付总净值: _____ t, _____ MJ _____ m³

净液体交付: _____ GJ

4. 签字:

供应公司名称, 联系细节: _____

签字: _____ 地点/港口 _____ 日期: _____

接收方: _____

* 液化天然气特性和成分使运作人能够按照瓦斯的已知特性和与其相关的任何操作限制采取行动。

** 最好在 70 以上并参阅 DIN EN 16726 中所使用的甲烷数计算方法。这并不必然地反映出进入发动机的甲烷数。

D 部分

19 培训

19.1 目标

本章的目标是确保本规则所适用的船舶上的海员具备适当资质、业经培训并具有经验。

19.2 功能要求

各公司须确保使用气体或其他低闪点燃料的船舶上的海员须已完成培训，获得与要承担的职务和职责与责任相应的能力，并虑及经修正的培训公约和规则中给出的规定。
