

中 国 船 级 社

天然气燃料动力船舶规范

Rules for Natural Gas Fuelled Ships

2017

2017年1月1日生效

人民交通出版社股份有限公司

北 京

中国船级社

天然气燃料动力船舶规范

Rules for Natural Gas Fuelled Ships

2017

人民交通出版社出版发行
(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

武汉楚风印刷有限公司
开本：889×1194　1/16　印张：9.25　字数：230千
2016年12月　第1版
2016年12月　第1版　第1次印刷
印数：0001－2000册　　定价：80.00元
统一书号：15114·2551

出 版 说 明

为适应天然气燃料动力船舶的快速发展，中国船级社在评估国际海事组织（IMO）以 MSC.391（95）号决议通过的《使用气体或低闪点燃料船舶国际安全规则》（简称 IGF 规则）基础上，结合多年来的科研成果和行业发展现状，对 2013 版《天然气燃料动力船舶规范》进行了修订，形成 2017 版《天然气燃料动力船舶规范》（简称本规范）。

本规范中，宋体字内容为引用的 IGF 规则原条款，楷体字内容为中国船级社自身要求，以示区分。

本规范生效后，取代中国船级社 2013 版《天然气燃料动力船舶规范》。

目　　录

第 1 章　通　则 …… 1

第 1 节　一般规定 …… 1

第 2 节　图纸和资料 …… 6

第 3 节　产品检验 …… 8

第 4 节　船舶检验 …… 8

第 2 章　船舶设计与布置 …… 12

第 1 节　一般规定 …… 12

第 2 节　燃料舱布置 …… 12

第 3 节　处所位置和分隔 …… 18

第 3 章　材料和管路设计 …… 21

第 1 节　一般规定 …… 21

第 2 节　管路设计 …… 21

第 3 节　材料 …… 24

第 4 章　燃料围护系统 …… 30

第 1 节　一般规定 …… 30

第 2 节　LNG 燃料围护系统 …… 31

第 3 节　可移式液化气体燃料罐 …… 54

第 4 节　CNG 燃料围护系统 …… 55

第 5 节　压力释放系统 …… 55

第 6 节　燃料舱装载极限 …… 60

第 7 节　燃料储存状态的维持 …… 60

第 8 节　燃料围护系统内的环境控制 …… 61

第 9 节　惰化 …… 62

第 5 章　气体燃料加注 …… 64

第 1 节　一般规定 …… 64

第 2 节　加注站 …… 64

第 3 节　加注系统 …… 65

第 6 章　气体燃料供应 …… 66

第 1 节　一般规定 …… 66

第 2 节　供气阀布置 …… 67

第 3 节　机器处所外的供气系统 …… 70

第 4 节　机器处所内的供气系统 …… 71
第 5 节　压缩机和泵 …… 72
第 7 章　用气设备 …… 73
第 1 节　一般规定 …… 73
第 2 节　活塞式内燃机 …… 73
第 3 节　主锅炉和辅锅炉 …… 75
第 4 节　燃气轮机 …… 76
第 5 节　风险分析 …… 76
第 8 章　消防 …… 79
第 1 节　一般规定 …… 79
第 2 节　防火 …… 79
第 3 节　灭火 …… 82
第 4 节　探火和失火报警系统 …… 83
第 9 章　防爆 …… 84
第 1 节　一般规定 …… 84
第 2 节　危险区域划分 …… 84
第 3 节　危险区域内的电气设备和电缆 …… 86
第 10 章　机械通风 …… 88
第 1 节　一般规定 …… 88
第 2 节　燃料舱接头处所 …… 90
第 3 节　机器处所 …… 90
第 4 节　燃料准备间 …… 90
第 5 节　加注站 …… 91
第 6 节　双壁管 …… 91
第 7 节　气体阀件单元处所 …… 91
第 11 章　电气装置 …… 92
第 1 节　一般规定 …… 92
第 12 章　控制、监测和安全系统 …… 94
第 1 节　一般规定 …… 94
第 2 节　监测与控制 …… 95
第 3 节　气体探测和火灾探测 …… 97
第 4 节　燃料供应系统的控制和安全功能 …… 98
第 13 章　制造、工艺和试验 …… 104
第 1 节　一般规定 …… 104
第 2 节　通用试验要求 …… 104

第 3 节　燃料围护系统的金属材料焊接和无损探伤 …… 106
第 4 节　金属材料构造的其他要求 …… 109
第 5 节　试验 …… 109
第 6 节　焊接、焊后热处理和无损探伤 …… 111
第 7 节　试验要求 …… 112
第 14 章　操作要求 …… 115
第 1 节　一般规定 …… 115
第 2 节　操作要求 …… 115
第 15 章　工程船采用分体供气的补充规定 …… 118
第 1 节　一般规定 …… 118
第 2 节　工程船和水上浮体 …… 118
第 3 节　燃料舱及供气系统 …… 119
附 录 1　风险评估 …… 120
第 1 节　一般规定 …… 120
第 2 节　风险评估要素 …… 120
第 3 节　风险准则 …… 122
第 4 节　风险缓解措施 …… 123
附 录 2　新颖形状的燃料围护系统设计中极限状态方法的使用要求 …… 124
第 1 节　一般规定 …… 124
第 2 节　设计格式 …… 124
第 3 节　要求的分析 …… 125
第 4 节　承载能力极限状态 …… 125
第 5 节　疲劳极限状态 …… 128
第 6 节　事故极限状态 …… 129
第 7 节　试验 …… 129
附 录 3　气体燃料发动机试验技术要求 …… 130
第 1 节　一般规定 …… 130
第 2 节　型式试验 …… 130
第 3 节　工厂试验 …… 133
第 4 节　船上试验 …… 134
附 录 4　电子控制系统 …… 135
第 1 节　一般规定 …… 135
第 2 节　气体燃料发动机电控系统技术要求 …… 135
第 3 节　气体控制系统和气体安全系统 …… 138

第 1 章　通　则

第 1 节　一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 《天然气燃料动力船舶规范》（以下简称本规范）适用于船长20m及以上的使用天然气为燃料的钢质船舶，但液化气体运输船除外。

1.1.1.2 使用天然气为燃料的船舶，除满足本规范外，还应满足本社《钢质海船入级规范》或《国内航行海船建造规范》或《钢质内河船舶建造规范》（以下简称相关规范）的有关要求。此类船舶尚应注意船旗国主管机关的有关要求（如有时）。

1.1.1.3 现有船舶如将柴油机改装为气体燃料发动机，应视为重大改装，需满足船旗国主管机关相关规定、本规范及本社《船舶重大改装实施指南》的相关要求。除主管机关另有规定外，按本社《天然气燃料动力系统船舶预设指南》取得DFDR（m）标志的船舶，将主机改装为双燃料发动机时，可不视为重大改装。

1.1.1.4 除本章明确规定者外，本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和《内河散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的相关定义适用本规范。

1.1.2 定义

1.1.2.1 **事故：**系指可能导致人命丧失、人体伤害、环境破坏或财产和经济利益损失的无法控制的事件。

1.1.2.2 **船宽（*B*）：**系指本社相关规范中所定义的船宽。

1.1.2.3 **加注：**系指从陆基或浮式装置向船上固定燃料舱输送液态或气态燃料，或可移式燃料罐与燃料供应系统连接。

1.1.2.4 **加注站：**系指设有气体燃料加注接头、回气接头（如设有）、相关阀件和控制系统等的位置或处所。

1.1.2.5 **合格防爆型：**系指由本社认可的相关机构按公认的标准[1]核准在易燃环境中为安全型的电气设备。

1.1.2.6 **CNG：**系指压缩天然气。

1.1.2.7 **控制站：**系指船舶无线电设备或主要航行设备或应急电源所在的处所，或火警指示器或消防控制设备集中的处所，以及机舱控制室。火警指示器或消防控制设备集中的处所亦视为消防控制站。

1.1.2.8 **设计温度：**（用于材料选择）系指液化气体燃料在燃料舱中可以被装载或运输的最低温度。

1.1.2.9 **设计蒸气压力（P_0）：**系指燃料舱顶部的最大表压力，用于对燃料舱的设计。

---

1 如 IEC 60079 爆炸性环境，IEC 60092-502 船舶电气设备—专辑—液货船，或 GB 3836 爆炸性环境。

1.1.2.10　**双截止透气阀：**系指管路中的两只串联阀和释放此两阀之间管路中压力的第三只阀的组合。双截止透气阀也可由一只二通阀和一只关断阀组成，替代三只独立阀。

1.1.2.11　**双燃料发动机：**系指既可以以天然气为燃料，又可以燃烧燃油，或者同时燃烧燃油和天然气燃料的内燃机。

1.1.2.12　**双壁管：**系指由内管和外管组成的，主要用于向用气设备供气的管路。内管和外管之间充满压力高于气体燃料压力的惰性气体或按本规范有关要求进行通风。

1.1.2.13　围蔽处所：系指在没有机械通风的情况下，通风受到限制且任何爆炸性环境不能被自然驱散的处所[2]。

1.1.2.14　**ESD：**系指紧急关闭。

1.1.2.15　**爆炸：**系指燃烧无法控制而导致的爆燃事件。

1.1.2.16　**爆炸压力释放：**系指为防止容器或围蔽处所的爆炸压力超过该容器或处所的最大设计超压值而采取的将超压通过指定开口释放的措施。

1.1.2.17　**燃料围护系统：**系指包括燃料舱接头在内的用于燃料储存的装置。它包括所设的一道主屏壁、一道次屏壁、相关绝热层和屏壁间处所，以及必要时用于支撑这些构件的相邻结构。如次屏壁是船体结构的一部分，则其可以为燃料舱处所的限界面。

燃料舱周围的处所定义如下：

(1) **燃料舱处所：**系指由船舶结构所围蔽的、其内设有燃料围护系统的处所。如燃料舱的接头位于燃料舱处所内，则该处所也可视作燃料舱接头处所；

(2) **屏壁间处所：**系指主屏壁和次屏壁之间的处所，不论是其全部还是部分由绝热材料或其他材料所填充；

(3) **燃料舱接头处所：**系指环围燃料舱所有接头和阀门的处所。

以C型独立燃料舱为例，上述术语参见图1.1.2.17。

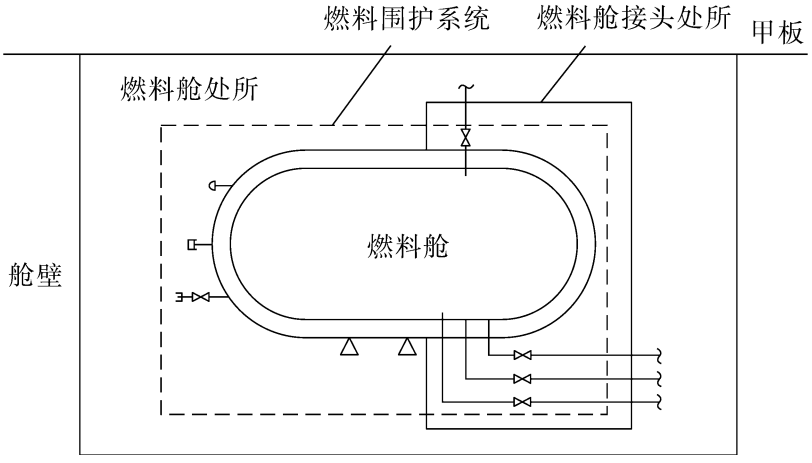


图 1.1.2.17　围蔽处所内燃料围护系统示意图

2 参见 GB/T 22189 船舶电气设备—专辑—液货船或 IEC 60092-502 船舶电气设备—专辑—液货船中的定义。

1.1.2.18 **充装极限（*FL*）：**系指当液体燃料达到基准温度时，燃料舱内最大液体体积与整个燃料舱容积之比。

1.1.2.19 **燃料准备间：**系指包含用于燃料制备目的的泵、压缩机和/或蒸发器的任何处所。

1.1.2.20 **气体：**系指温度为37.8℃时蒸气压力超过0.28MPa绝对压力的流体。

1.1.2.21 **用气设备：**系指船上使用气体作为燃料的任何装置。

1.1.2.22 **气体燃料发动机：**系指单一气体燃料发动机或双燃料发动机。

1.1.2.23 **单一气体燃料发动机：**系指只能依靠气体运转而不能转换到以任何其他类型燃料运转的发动机。

1.1.2.24 **气体阀件单元处所：**系指一个气密处所或阀箱，其内部设有用于控制或调节气体燃料发动机之前的气体供应的阀件。

1.1.2.25 **危险区域：**系指爆炸性气体环境出现或预期可能出现的数量达到足以要求对设备的结构、安装和使用采取特殊预防措施的区域。

危险区域分：

(1) **0区：**系指持续存在或长时间存在爆炸性气体环境的区域 ；

(2) **1区：**系指在正常操作情况下可能出现爆炸性气体环境的区域；

(3) **2区：**系指在正常操作情况下不大可能出现爆炸性气体环境的区域，即使出现，也可能仅偶然发生并且存在时间短。

1.1.2.26 **高压：**系指最大工作压力大于1.0MPa。

1.1.2.27 **独立燃料舱：**系指自身支持的燃料舱，它不构成船体结构的一部分，对船体强度不是必需的。

1.1.2.28 **LEL：**系指爆炸下限。

1.1.2.29 **船长（*L*）：**系指本社相关规范中所定义的船长。

1.1.2.30 **LNG：**系指液化天然气。

1.1.2.31 **装载极限（*LL*）：**系指最大许可的液体体积与燃料舱可装载容积之比。

1.1.2.32 **MARVS：**系指压力释放阀的最大允许调定值。

1.1.2.33 **MAWP：**系指系统组件或燃料舱的最大允许工作压力。

1.1.2.34 **薄膜燃料舱：**系指非自身支持的燃料舱，它由相邻的船体结构通过绝热层支持的一层液密和气密层（薄膜）组成。

1.1.2.35 **主气体燃料阀：**系指一个位于机舱外面的供气管路上的自动截止阀，该阀应为故障关闭（其驱动动力失效时关闭）型，并尽量靠近热交换器（如设有时）。对于多台气体燃料发动机，该阀可位于供气总管上，也可位于每台气体燃料发动机的供气支管上。

1.1.2.36 **非危险区域：**系指爆炸性气体环境预期出现的数量不足以要求对设备的结构、安装和使用采取特殊预防措施的区域。

1.1.2.37 **开敞甲板：**系指无重大火灾风险的甲板，其至少两端/侧开敞，或一端开敞并通过分布在侧壁或上部甲板的固定开口提供遍及整个甲板长度的充分有效的自然通风。

1.1.2.38 **可移式燃料罐：**系指可移动（如吊装或滚装）至船外进行加注的燃料罐。

1.1.2.39 **风险：**系指对后果的可能性和严重程度的综合表述。

1.1.2.40 **基准温度：**系指在压力释放阀（PRVs）调定压力下与燃料舱内燃料蒸气压力所对应的温度。

1.1.2.41 **次屏壁：**系指燃料围护系统中被设计成能暂时容纳可能从主屏壁泄漏的液体燃料的液密外层构件，同时也为了防止船体结构的温度下降至不安全的程度。

1.1.2.42 **半围蔽处所：**系指由于存在顶部、挡风墙或舱壁等结构，且其布置使得气体可能不会扩散以致其自然通风条件与开敞甲板上的处所有显著差异的处所[3]。

1.1.2.43 **释放源：**系指可能将气体、蒸气、雾气或液体释放至空气中，以致形成爆炸性环境的某一点或某一位置。

例如：气体燃料系统内的任何阀件、可拆卸式管接头、管垫圈、压缩机或泵密封装置等。

1.1.2.44 **燃料舱主阀：**系指一个位于燃料舱供气管路上尽量靠近燃料舱出口的遥控截止阀，该阀应为故障关闭（其驱动动力失效时关闭）型。

1.1.2.45 **不可接受的动力损失：**根据SOLAS公约第II-1章第26.3条的规定，系指在某一重要辅机不能工作时，不能维持或恢复推进机械的正常运转。

对国内航行海船和内河船舶，系指动力损失超过维持船舶推进和正常电力供应所需总功率的60%。

1.1.2.46 **蒸气压力：**系指在规定的温度下液体上方饱和蒸气的平衡压力（绝对压力），以MPa计。

1.1.3 目的及功能要求

1.1.3.1 本规范的目的是为天然气燃料动力船舶相关的机械、设备和系统的布置、建造和安装提供标准，并使其对船舶、船员和环境的风险降至最低。

1.1.3.2 为达到上述目的，天然气燃料动力船舶的设计和建造应满足如下功能要求：

(1) 系统的安全性、可用性和可靠性应与常规以石油为燃料的全新同类主机和辅机相同。

(2) 应能通过布置和系统设计（如通风、探测和安全措施）将与燃料相关的危险所发生的概率和后果限制在最低水平。当气体泄漏或风险降低措施失效时，应启动必要的安全措施；

(3) 应确保气体燃料装置的风险降低措施和安全措施不会导致不可接受的动力损失；

(4) 应尽量限制危险区域，将其可能影响船舶、船上人员和设备安全的潜在风险降至最低；

(5) 危险区域内应仅安装操作所必需的设备，且此类设备的性能应与其工作环境相适应并经本社认可；

(6) 应能防止易爆、易燃或有毒气体浓度意外积聚；

(7) 应适当防护气体燃料系统的部件，以免其遭受外部损伤；

(8) 应将危险区域内的着火源减至最少，以降低爆炸发生的概率；

(9) 应设置安全和合适的燃料供应、储存和加注装置，其能够接收和容纳所要求状态下的燃料而不会造成泄漏。除由于安全原因而必须排放外，系统应设计成能在所有正常运行状态（包括闲置状态）下不对外排放天然气；

(10) 应设置经适当设计、构造和安装的气体管系、围护和超压释放装置，以实现其预定用途；

3 参见 GB/T 22189 船舶电气设备—专辑—液货船或 IEC 60092-502 船舶电气设备—专辑—液货船。

(11) 机器、系统和部件的设计、制造、安装、操作、维护和保护应确保其安全和可靠的运行；

(12) 燃料围护系统和包含气体释放源的机器处所的布置和位置，应使其中任何一处发生火灾或爆炸均不会导致不可接受的动力损失或其他舱室的设备无法操作；

(13) 应设置合适的控制、报警、探测和切断系统，以确保气体燃料系统安全和可靠的运行；

(14) 应设置适合所有相关处所和区域的固定气体探测系统；

(15) 应设置适于控制相关危险的防火、探火和灭火措施；

(16) 应确保燃料系统和气体燃料发动机的调试、试验和维护满足在安全性、可靠性和可用性方面的目标；

(17) 技术文件应允许评估系统及其部件与下述之间的符合性：

① 所采用的适用规范、指南、设计标准；和

② 与安全性、可用性、可维护性和可靠性相关的原则。

(18) 某个技术系统或部件的单一故障不应导致不安全或不可靠的状况；

(19) 应在所有低温设备、管系的所在区域设置警示标志和防护措施，以防止人员因无意接近或接触而造成的低温伤害；

1.1.3.3 爆炸后果的限制

在任何含有潜在释放源[4]和潜在着火源的处所内所发生的爆炸不应：

(1) 对位于除该事故发生所在处所以外的任何其他处所内的设备/系统的正常运转造成破坏或干扰；

(2) 损坏船舶从而发生主甲板以下浸水或任何连续浸水；

(3) 破坏工作区域或起居处所以致在该类处所处于正常工作状态下的人员受到伤害；

(4) 扰乱控制站和电力分配所需的配电室的正常运转；

(5) 损害救生设备或相关的降落装置；

(6) 扰乱位于爆炸致损处所外的消防设备的正常运转；

(7) 影响船上的其他区域从而导致可能产生连锁反应，尤其是货物、气体和燃油的连锁反应；或

(8) 妨碍人员通往救生设备或阻碍脱险通道。

1.1.4 附加标志

1.1.4.1 凡符合本规范要求并申请入级的天然气燃料动力船舶，可在本社规定的入级符号后，加注表1.1.4.1中相应的附加标志：

附加标志 表1.1.4.1

附加标志	说 明	
Natural Gas Fuel	使用天然气为燃料	该标志授予其主推进和/或辅助机械使用天然气或使用天然气和燃油为燃料的船舶，但液化气体运输船除外。

4 双壁管不视作潜在释放源。

1.1.5 替代设计

1.1.5.1 对本规范要求船上应装设或配备的特定的附件、材料、仪表、设备的部件或其型号，或应采取的特别措施和任何程序或布置，本社允许采用其他替代设备或措施，但应通过试验或其他方法，确认其至少具有与本规范要求者相等的效能。

1.1.5.2 本社不允许用操作方法或程序替代本规范规定的特定附件、材料、仪表、设备的部件或其型号。

1.1.6 风险评估

1.1.6.1 风险评估的目的是确保对气体燃料所涉及的风险进行必要评估，以消除或减轻对船上人员、环境或船舶的任何不利影响。

1.1.6.2 风险评估仅需在本规范有明确要求的情况下进行。

1.1.6.3 应采用可接受和公认的风险分析技术进行风险分析，并应至少考虑功能丧失、部件损坏、火灾、爆炸和电击。分析应确保尽可能消除各种风险。不能消除的应视需要予以减轻。各种风险的详细情况以及减轻风险的方法应形成文件并提交本社认可。

1.1.6.4 风险评估可参照本规范附录1进行。

第2节 图纸和资料

1.2.1 送审图纸和资料

1.2.1.1 天然气燃料动力船舶除按本社相关规范的要求提交图纸资料外，还应将下列图纸资料一式3份提交本社批准：

(1) 船舶布置

① 机器处所、起居处所、服务处所和控制站布置图；

② 燃料围护系统布置图；

③ 燃料准备间（如设有）布置图；

④ 气体燃料加注系统布置图（含加注接头）；

⑤ 燃料舱处所、燃料舱接头处所的出入口、透气管和其他开口的布置；

⑥ 燃料准备间和其他气体危险区域的通风管、门和开口的布置；

⑦ 起居处所、服务处所和控制站的入口、空气进口和开口的布置；

⑧ 空气闸（如设有）位置和结构图；

⑨ 气密舱壁贯穿图（如设有）；

⑩ 集液盘或其他防护措施的说明；

⑪ 气体危险区域划分图；

(2) 管系

① 气体燃料管系的详细图纸或说明，包括压力释放阀和透气管路；

② 支管、回管、弯头、伸缩接头和波纹管等类似装置的技术文件;

③ 气体管路系统中法兰、阀和其他装置的图纸和说明;

④ 气体管路的材料、焊接、焊后热处理和无损检测试验技术文件;

⑤ 气体管路压力试验（强度和密性试验）技术文件;

⑥ 包括阀件、附件以及气体（液体或蒸气）操作相关设备在内的所有管系的功能试验大纲;

⑦ 管路电气接地技术文件;

⑧ 在切断加注接头之前从燃料加注管中去除燃料的措施的技术文件;

⑨ 与气体燃料系统有关的冷却水系统或热水系统（如设有）;

⑩ 除气和惰性气体吹扫系统布置图和说明;

⑪ 燃料准备间和燃料舱接头处所的舱底和疏排水系统布置图（如设有）;

⑫ 管路压力释放阀的排量计算书。

(3) 通风系统

① 危险区域机械通风系统布置图和说明（排量计算等），包括风扇及其电动机的容量和布置，通风机风扇的转动部分和外罩的图纸和材料的技术文件;

② 双壁管（通风导管）的布置图。

(4) 消防设备和系统

① 水雾系统（包括管路、阀件、喷嘴和附件）布置图和说明（容量计算等）;

② 火灾探测系统图及布置图;

③ 燃料舱处所、燃料舱接头处所及其通风管、加注站（如适用）结构防火布置图;

④ 干粉灭火装置布置图。

(5) 电气系统

① 危险区域电气设备布置图，应包括危险区域内所有电气设备和下述信息:

(a) 防爆类型、防爆类别和温度组别;

(b) 防护等级;

(c) 安装区域的危险类别。

② 本质安全电路的校核资料[5]，包括对电压、电流、电容和电感的校核。

③ 合格防爆型设备清单。

(6) 控制、监测与安全系统

① 气体探测和报警系统图及布置图，包括探头、报警装置和报警点布置图;

② 燃料舱监控系统图及布置图，包括传感器、报警点布置等;

③ 气体压缩机控制和监控系统图及布置图（如设有）;

④ 气体燃料加注和供应系统的电气原理图及监控明细表。

(7) 试验大纲及试验程序

① 与气体燃料有关的系泊与航行试验程序，如所有气体管系及其阀件、附件和相关设备的功

5 本质安全电路的安装应使电路内设备（包括电缆）的电容和电感不超过关联设备标示值，每个本质安全设备允许的输入电压和输入电流应大于或等于各自关联设备的标示值。参见 IEC60079-14 出版物《爆炸性气体环境—第 14 部分：电气设施设计、选择和安装》或与其等效的标准。

能性试验等;

注：实际图纸/文件的名称可以与上述图纸/文件不同，但应反映其内容要求。

1.2.2 备查图纸和资料

1.2.2.1 应将下列图纸和资料一式3份提交本社备查:

(1) 设计温度低于-110℃的管路的热应力分析报告;

(2) 低温管系的隔热布置说明;

(3) 相关风险分析报告（如适用）。

1.2.3 船上保存的图纸和资料

1.2.3.1 除相关规范法规要求的常规资料外，船上还应至少保存如下资料:

(1) 1份气体燃料系统操作手册，该手册应满足本规范第14章14.2.4.1的要求。

(2) 1份说明气体控制、监测和安全系统的仪器、设备定期试验计划。计划中应包括试验间隔期、试验要求和说明等。对于本规范第12章表12.4.2、表12.4.3中规定的用于紧急切断的仪器或设备，其试验间隔期应不超过6个月，其他仪器或设备的试验间隔期应不超过12个月。

第 3 节　产品检验

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 产品检验应满足本社相关规范、规则和产品检验指南对天然气燃料动力船舶相关产品的要求。

第 4 节　船舶检验

1.4.1 一般要求

1.4.1.1 所有检验程序、检验方式、检验种类、检验间隔期、检验条件、检验前准备、检验和试验要求以及船舶图纸、资料、证书、记录和报告等的保存，对于海船应按本社《钢质海船入级规范》或《国内航行海船入级规则》的有关规定执行；对于内河船舶，应按本社《内河船舶入级规则》的有关规定执行。

1.4.2 建造中检验

1.4.2.1 船舶的建造检验除按本社相关规范对建造检验的要求进行检验外，尚应增加下列项目:

(1) 气体燃料发动机、锅炉（如设有）、燃气轮机（如设有）的安装和试验;

(2) 燃料围护系统的安装和试验，可参照本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》、《内河散装运输液化气体船舶构造与设备规范》及入级规则等对液化气体货舱的检验要求;

(3) 燃料加注系统的安装和试验;

(4) 燃料供应系统（含热交换器）的安装和试验;

(5) 气体燃料发动机机器处所、燃料舱处所、双壁管、燃料舱接头处所（如设有）、燃料准备间（如设有）通风系统的安装和试验;

(6) 气体燃料发动机遥控关闭装置的安装和试验;

(7) 检查气体探头的安装位置、数量，并进行气体探测、报警系统的试验;

(8) 燃料加注系统和燃料供应系统安全功能的安装和试验;

(9) 防爆设备或防点燃设备的确认和安全检查，如防爆电气设备的安全性依赖于保护（如过载保护继电器）和/或报警（如正压型设备的失压报警）装置动作，则保护装置和报警装置应作效用试验，验证其动作和报警装置设定值的正确性;

(10) 确认受正压保护处所的正压通风的能力，应测试在最低通风流量下的净化时间，并记录在相关文件中，当压力异常时应采取的安全措施（关断和/或报警）动作值应经过验证;

(11) 危险等级依赖于机械通风的处所，其通风装置应作效用试验，通风量应足够，通风系统故障的报警应正确;

(12) 确认本质安全电路的设备和电缆安装的正确性;

(13) 防火、探火、灭火装置的安装与试验;

(14) 核查气体燃料系统操作手册。

1.4.3 建造后检验

1.4.3.1 年度检验：除应按本社相关规范对年度检验的要求（如适用时）进行检验外，尚应对下列项目进行检验:

(1) 燃料围护系统

① 对C型独立燃料舱，应检查燃料舱铭牌是否清晰、牢固可靠，内容是否齐全;

② 检查燃料舱液位指示仪是否处于工作状态以及高液位报警和高液位自动关闭系统是否处于正常状态;

③ 对燃料舱压力释放阀的最大开启压力调定值进行标定;

④ 检查燃料舱压力、温度（如设有）指示装置和所附连的报警装置是否处于正常状态;

⑤ 对C型独立燃料舱，应检查燃料舱外壁是否有剥蚀、腐蚀，或刮伤、凹陷、变形、焊缝缺陷、外壳结霜、冒汗等现象;

⑥ 目视检查燃料舱本体接口部位焊缝的裂纹等;

⑦ 确认燃料舱安全操作程序（包括燃料舱主阀的安全控制、液位容积对照表、压力释放阀紧急隔离、加注预冷要求等）保存在船上。

(2) 对热交换器进行检查，以确认其运行状态、加热能力等满足技术规格的要求;

(3) 检查燃料舱接头处所、气体阀件单元处所的密封设施是否处于正常状态;

(4) 检查面向危险区域的上层建筑和甲板室端壁上的门、舷窗和窗等是否处于良好状态;

(5) 检查在遇到气体燃料出现泄漏时供保护船员用的任何特殊围蔽处所的关闭装置和其他装置（如设有时）是否处于正常状态;

(6) 检查不经常进入的处所所用的便携式通风设备（如设有）是否处于正常状态;

(7) 检查集液盘及其与甲板之间的隔热是否处于正常状态（如设有时）;

(8) 检查工作处所的通风系统和空气闸（如设有）以及居住处所的通风关闭装置是否处于正常状态;

(9) 检查手动遥控紧急切断装置是否处于正常状态;

(10) 检查气体燃料透气管路系统，包括透气管桅和防护网。对气体燃料管路上的膨胀接头、支架等应特别予以注意;

(11) 检查气体危险区域的电气设备是否处于良好状态，并检查维护及维修记录;

(12) 检查气体燃料探测系统，并对其进行试验，以确认其处于正常工作状态;

(13) 检查燃料舱、加注站、含有发动机的机器处所等相关处所的防火结构和布置是否发生实质性的变动;

(14) 检查探火和灭火装置，并试验起动一台主消防泵;

(15) 检查水雾系统是否处于正常状态;

(16) 检查干粉灭火系统是否处于正常状态;

(17) 核查气体燃料发动机系统的安全操作手册。

(18) 确认管路和燃料舱与船体电气接地;

(19) 检查燃料系统使用维修记录（轮机日志等）。

1.4.3.2 中间检验：除应满足本社相关规范对中间检验的有关要求（如适用时）和本章1.4.3.1的要求外，尚应包括:

(1) 确认用于危险处所通风的机械通风风扇已备有备件;

(2) 燃气系统关于压力、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进行模拟试验。此试验还应包括对报警和安全功能的试验;

(3) 对真空绝热C型独立燃料舱进行真空度测试[6];

(4) 电气设备：危险区域的电气设备应尽实际可能地进行接地保护（接地点检查）、隔爆外壳完整性、电缆外护套损坏情况、正压型设备和相关报警设备的功能试验、空气闸保护处所（如设有）内的非合格防爆型电气设备电源切断系统试验和绝缘电阻测量等方面的检验。

1.4.3.3 特别检验：除应满足本社相关规范中对特别检验的有关要求（如适用时）和本章1.4.3.2的要求外，尚应包括:

(1) 燃料围护系统

① 对于设有人孔的燃料舱必须开舱，进行以下外观检查:

(a) 防波板（如设有）与燃料舱本体的连接情况，连接焊缝处的裂纹、连接固定螺栓的松脱、防波板裂纹、裂开或脱落等;

(b) 燃料舱气相管、液位计固定导架与燃料舱本体连接处的裂纹、裂开或松脱等。

② 燃料舱连同其气、液相接管进行气密性试验，试验介质应为干燥、洁净的氮气或空气。进行气密性试验前，必须经燃料舱内气体成分检测合格，否则严禁用空气作为试验介质;

6 测试方法可参见 GB/T 18443.2 真空绝热深冷设备性能试验方法 第 2 部分：真空度测量。

③ 燃料舱连同其气、液相接管进行液压试验。如果燃料舱支撑处的板、塔结构、支座和管子连接件以及甲板贯通处的密封装置完好，且气体泄漏监测系统的工作情况良好，航行记录表明无任何运行不正常情况，则可不作液压试验;

④ 对所有直接与燃料舱连通的阀和旋塞应打开检查，对连接管应作内部检查（如实际可行）;

⑤ 对燃料舱的压力释放阀和真空释放阀应打开检查,对释放阀的调定值应作校核(如适用时);

⑥ 如燃料舱包有绝缘物时，应拆去足够的绝缘物（特别是位于连接处和支撑处的绝缘物），以确定燃料舱的状况。

(2) 对气体和液体燃料管路上的压力释放阀的压力调定值应作校核;

(3) 对气体燃料管系上的阀进行校核，调整时，可将阀拆下，且可用空气或其他适用气体进行调整;

(4) 对热交换器进行拆检和效用试验。

(5) 对惰性气体发生器进行检查，以确认其所产生的惰性气体是在技术规格范围内且该设备运行正常;

(6) 对惰性气体的分配阀和管路等作总体检查，对贮存惰性气体的压力容器应作内外部检查，对系固装置应作特别检查，应查明压力释放阀是否处于良好工作状态;

(7) 将气密舱壁上的轴封拆开，检查其密封装置;

(8) 将每台压缩机打开检查，检查运动部件、固定部件以及阀、阀座、密封压盖、释放设施、吸入滤器和滑油装置等。如验船师对校中和磨损情况认为满意，则对下轴瓦和曲轴箱轴封压盖可不拆开检查;

(9) 对于包有绝缘物的管子，应拆去足够数量的绝缘物，使能确定管子的情况。对密封状况应作特别检查;

(10) 对气体燃料发动机除按本社相关规范对柴油机的特别检验项目进行外，尚应进行如下检查： 对气体管路的导管或罩壳作总体检验; 对管道的排气或惰化装置应予检查; 气体燃料发动机在工作状态下进行操纵试验。

第 2 章　船舶设计与布置

第 1 节　一般规定

2.1.1 目的

2.1.1.1　本章目的是对动力设备、燃料储存系统、燃料供应设备及加注系统的安全位置、处所布置及机械防护提出技术要求。

2.1.2 功能要求

2.1.2.1　本章与1.1.3.2（1）至（3）、（5）、（6）、（8）、（12）至（15）、（17）和（19）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1) 考虑到船舶的安全操作以及与船舶相关的其他危险，燃料舱应布置成使其在碰撞或搁浅后的受损概率降至最低；

(2) 燃料围护系统、燃料管系及其他燃料释放源的设置和布置应能使释放的气体通向露天的安全位置；

(3) 进入含有燃料释放源的处所的通道或该处所上的其他开口，应布置成可燃气体、窒息性气体或有毒气体不会逸入设计时未考虑存在这些气体的处所；

(4) 燃料管系应予以保护，以防止机械损伤；

(5) 推进系统和燃料供应系统应设计成任何气体泄漏后的安全动作不会导致不可接受的动力损失；

(6) 应将设有用气设备的机器处所内的气体爆炸概率降至最低。

(7) 船舶发动机排气系统应安装适当的爆炸压力释放装置，除非有资料证明排气系统的强度足以承受最恶劣情况下的爆炸。

(8) 对于客船，应采取物理隔离或等效防范措施，以防止营运期间乘客或其它非授权人员进入燃料舱处所和／或加注站。

第 2 节　燃料舱布置

2.2.1 一般要求

2.2.1.1　燃料舱应予以保护，以防止机械损伤。

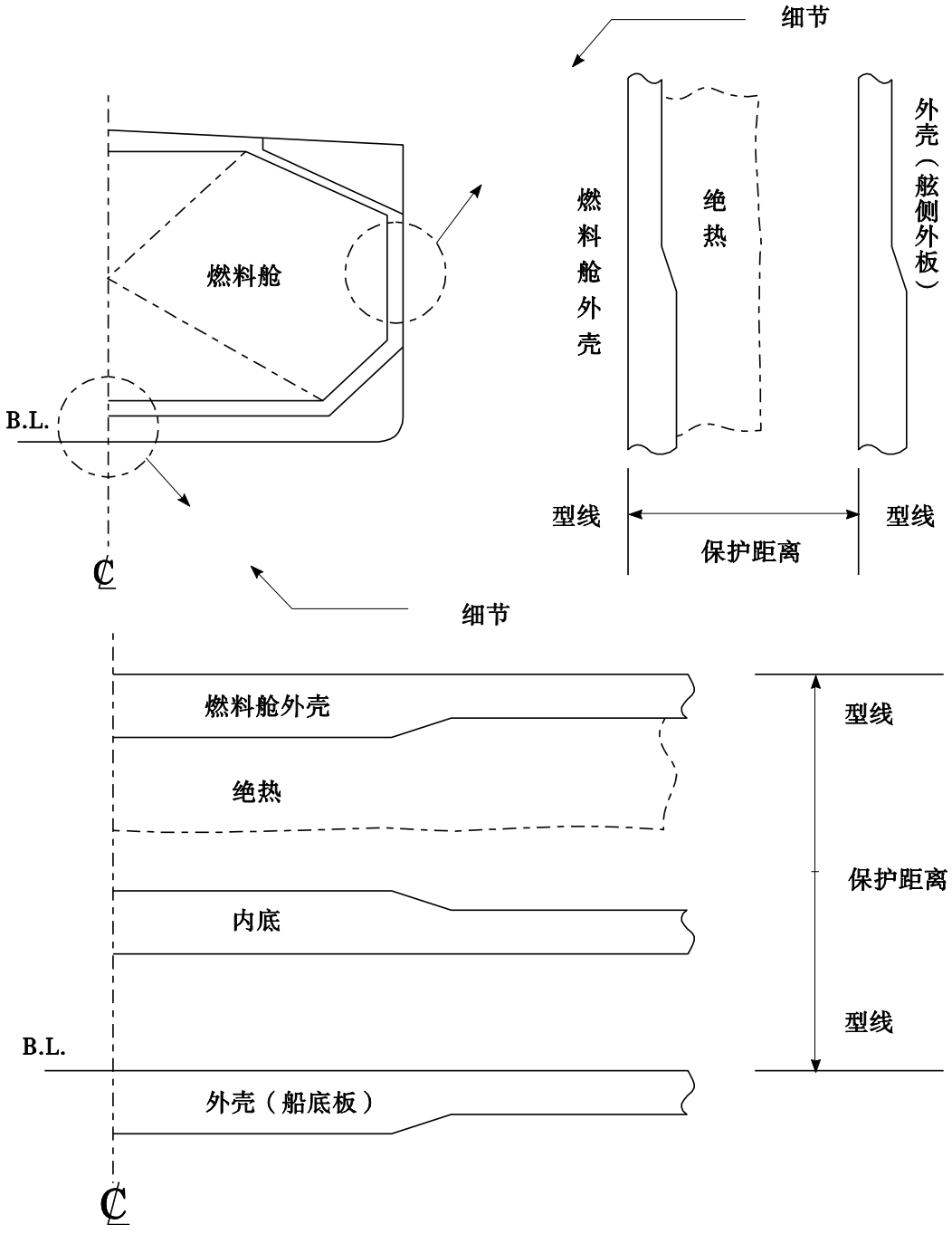
2.2.1.2　位于开敞甲板上的燃料舱和/或设备的设置应确保有足够的自然通风，以防止逸出的气

体积聚。

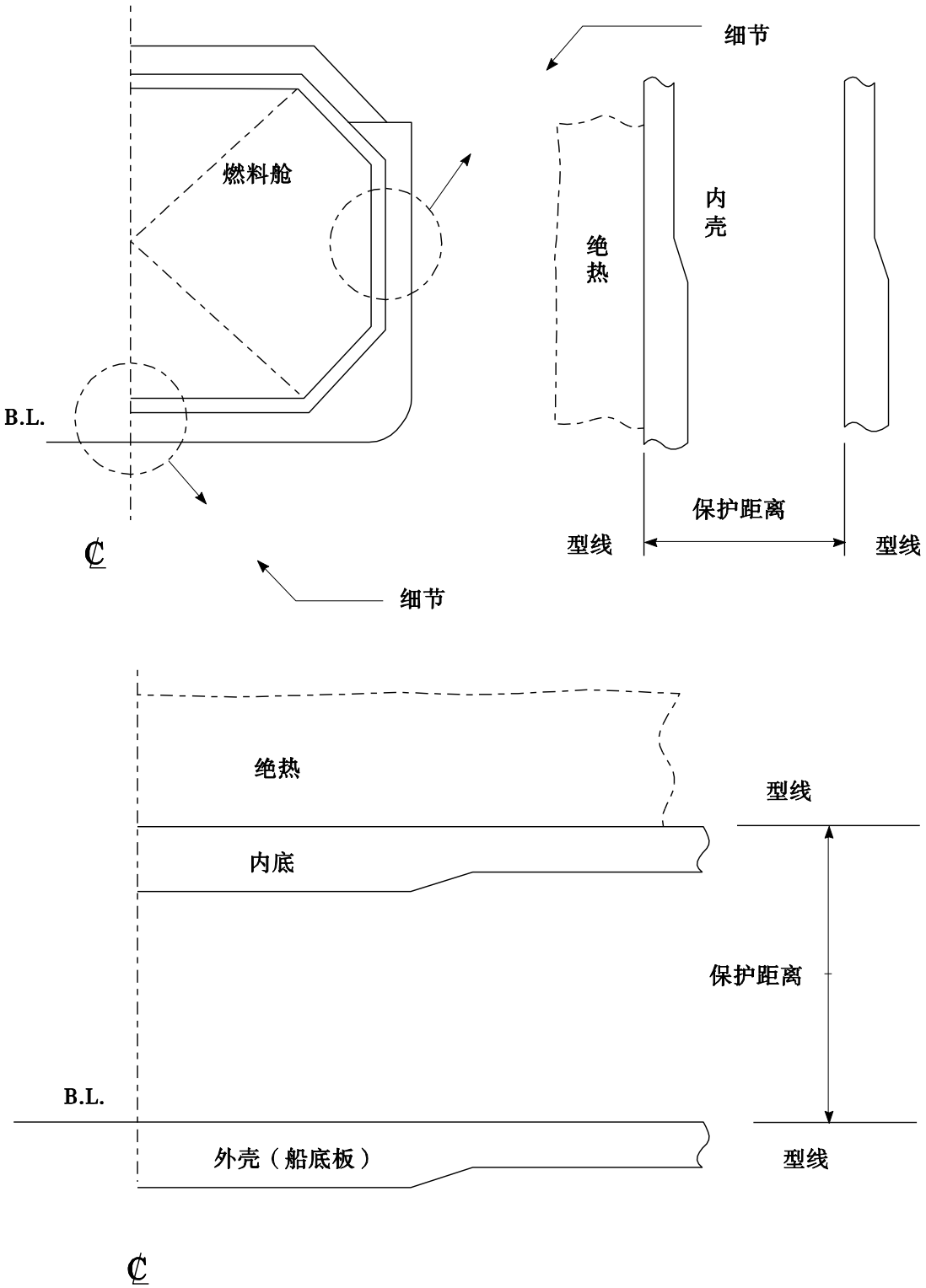
2.2.1.3 燃料舱应采用如下方式予以保护，以防止由于碰撞或搁浅而导致外部损伤：

(1) 每一燃料舱的限界面应视为燃料舱结构（包括燃料舱阀）的纵、横及竖向最外部边界。

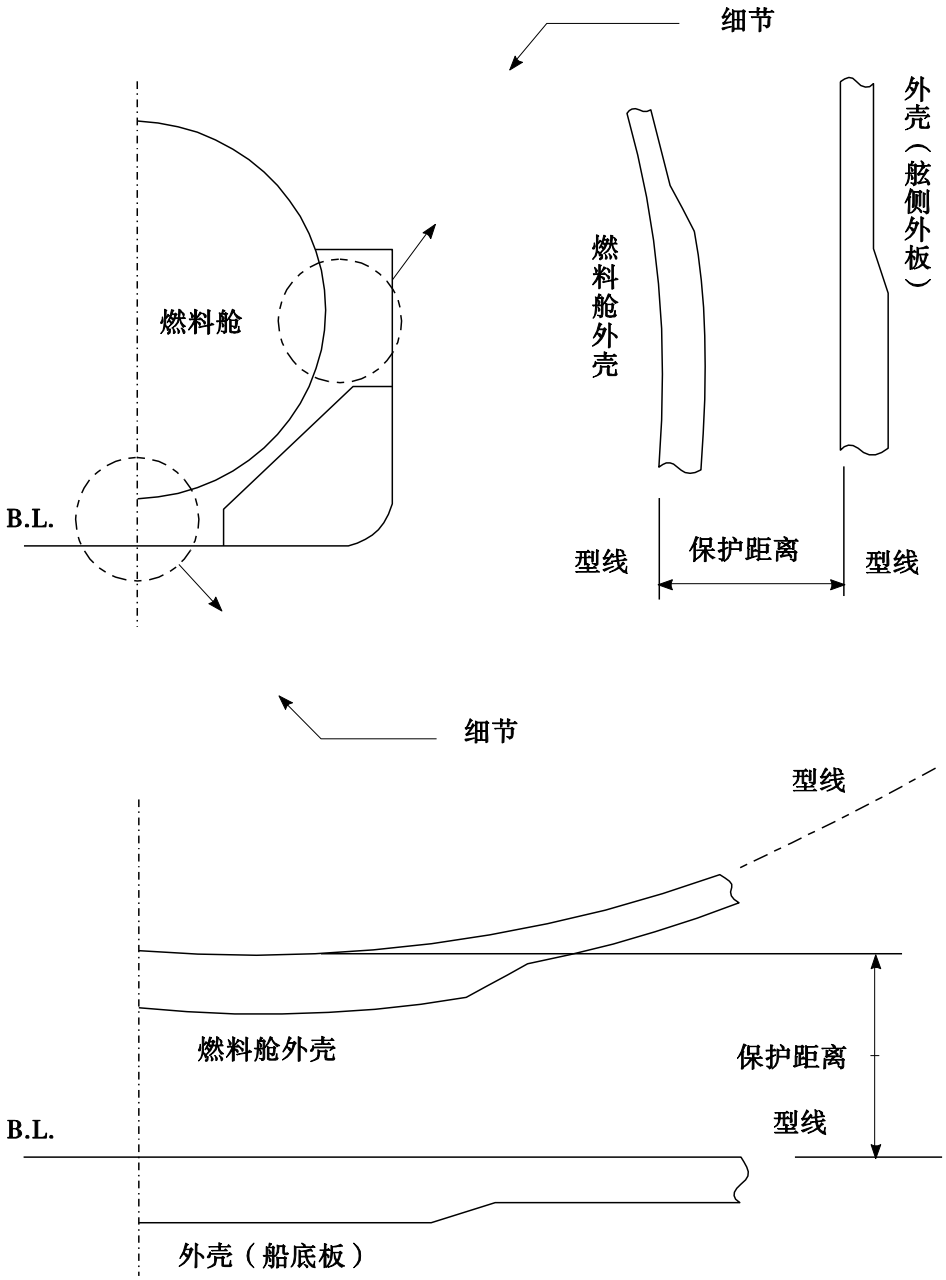
(2) 对于独立燃料舱，保护距离应量至燃料舱壳板（燃料舱围护系统的主屏壁）。对于薄膜燃料舱，保护距离应量至燃料舱绝热层周围的舱壁。不同类型液舱的保护距离见图2.2.1.3(2)。



（a）独立棱形燃料舱



（b）薄膜燃料舱



（c）C 型独立燃料舱

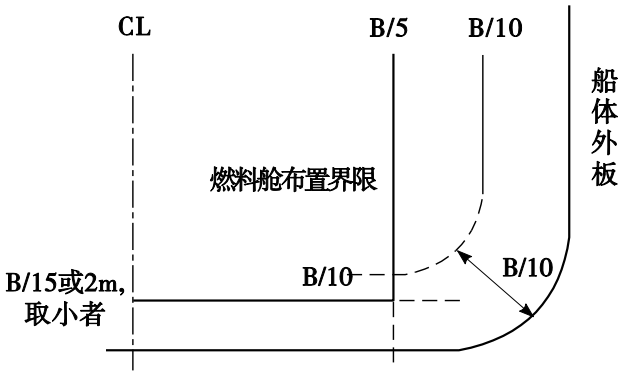
图 2.2.1.3（2） 不同类型液舱的保护距离

(3) 对于海船：

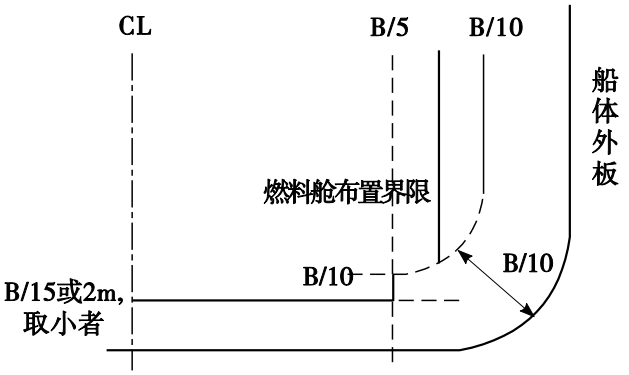
① 燃料舱应位于自舷侧向内沿垂直于夏季载重线处的中线量取至少*B*/5或11.5m处，取小者；其中，*B*系指船舶处于或低于最深吃水（夏季载重线吃水）时的最大型宽。

② 在任何情况下，燃料舱的限界面与船壳外板或艉端点的距离不应小于如下规定：

(a) 对于客船：*B*/10，但无论如何不得小于0.8m。然而，对于船舶中线与①所要求的*B*/5或11.5m（取小者）之间的区域，此距离不必大于*B*/15或2m，取小者（参见图2.2.1.3（3））。



（a）使用确定法时的保护距离



（b）使用概率法时的保护距离

图 2.2.1.3（3） 客船燃料舱的布置要求

(b) 对于货船：

当Vc≤1000m^3，取0.8m；

当1000m^3＜Vc＜5000m^3，取0.75+Vc×0.2/4000m；

当5000m^3≤Vc＜30000m^3，取0.8+Vc/25000m；

当Vc≥30000m^3，取2m。

其中，Vc相当于20℃时单个燃料舱的设计总容积，包含气室和附属物。

③ 燃料舱的底层限界面应位于自船底外板中心线量起至少*B*/15或2m高处，取小者。

(4) 对于内河船舶:

① 燃料舱应位于自舷侧向内沿垂直于满载水线处的中线量取至少*B*/10或1.0m处，取小者;

② 在任何情况下，燃料舱的限界面不应位于距离船壳外板或艉端点小于0.8m;

(5) 对于多体船，*B*值应予特别考虑。

(6) 对于客船，燃料舱应位于距首垂线0.08L的横截面后方；对于货船，燃料舱应位于防撞舱壁后方。

(7) 对于具有较高抗碰撞和/或抗搁浅能力的船体结构的船舶，燃料舱的位置可按照本规范1.1.5的规定予以特别考虑。

2.2.1.4 对于海船，可用下述计算方法替代本节2.2.1.3（3）①的规定：

(1) 按下式计算所得f_{CN}值，对于客船应小于0.02，对于货船应小于0.04。

(2) f_{CN}应按下式计算：

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

式中：

f_l采用SOLAS公约第II-1/7-1.1.1.1条中系数p的公式计算。x_1的值应相当于自船舶艉端点至燃料舱最前端限界面的距离，x_2的值应相当于自船舶艉端点至燃料舱最后端限界面的距离。

f_t采用SOLAS公约第II-1/7-1.1.2条中系数r的公式计算，该值反映破损穿透燃料舱外层限界面的概率。其公式为：

$$f_t=1\text{-}r(x1, x2, b)$$

式中，当燃料舱的最外边界位于由最深分舱载重线给出的边界之外时，b应取0。

f_v采用SOLAS公约第II-1/7-2.6.1.1条中系数v的公式计算，该值反映损伤垂直扩展至燃料舱底部限界面以上的概率。其公式为：

(H-d)≤7.8m 时，$f_v=1.0-0.8\dfrac{H-d}{7.8}$（$f_v$应取不大于 1）

(H-d)>7.8m 时，$f_v=2.0-0.2\dfrac{(H-d)-7.8}{4.7}$（$f_v$应取不小于 0）

式中：H——从船舶基线至燃料舱底部限界面的距离，m；

d——最大吃水（夏季载重线吃水），m。

(3) 当一个以上互不重叠的燃料舱沿纵向布置时，应按照2.2.1.4（2）的规定分别计算各个燃料舱的f_{CN}。用于燃料舱整体布置的f_{CN}值为各个独立燃料舱的f_{CN}值之和。

(4) 如燃料舱关于船舶中心线非对称布置，则应分别计算左、右舷的f_{CN}值，取二者的平均值。

2.2.1.5 对于要求设有完整或部分次屏壁的燃料围护系统，则：

(1) 燃料舱处所与海水之间应设置双层底；

(2) 船舶还应设置构成边舱的纵向舱壁。

2.2.1.6 对于客船，燃料舱布置在开敞甲板时，燃料舱、燃料舱接头处所应距救生艇筏、海上撤离系统的登乘站、集合地点以及脱险通道至少10m以上，如无法保证该距离，应在燃料舱及燃料舱接头处所与上述地点之间采取有效的隔热措施，如水幕、防火分隔或适当的遮挡结构等，以防止发生火灾或泄漏时对上述地点的人员造成伤害。

2.2.1.7 对于包装运输危险品船，各类危险货物与供气系统的距离应满足《国际海运危险货物规则》（《IMDG规则》）中该类危险货物与2.1类危险物质间隔离的要求。

2.2.1.8 对于散装运输危险化学品船舶和载运固体散装运输危险货物的船舶，燃料舱的布置应避免LNG与拟载运货品产生危害性反应。若布置在围蔽处所内，燃料舱与相邻危险货物舱室之间应采用隔离空舱进行分隔；若布置在开敞甲板或半围蔽处所，应设置燃料舱接头处所。

2.2.1.9 对于需满足安全返港要求的客船，其燃料舱布置应满足如下要求：

(1) 若采用单一气体燃料装置，气体应由两个或多个容积大致相同的燃料舱供给。如燃料舱处于围蔽处所，则上述燃料舱应位于独立的舱室，舱室之间应水密分隔，各个燃料舱处所之间采用隔离舱进行隔离，当未设置隔离舱时，各个燃料舱处所之间应采用“A-60”级防火分隔；如燃料舱处于开敞甲板，应尽量远离并采取有效措施以防止一个燃料舱发生火灾时影响其它燃料舱的正常工作。

(2) 若采用双燃料装置，当燃料舱和燃油储存舱/柜处于相邻舱室时，应该采用液舱、空舱、卫生间及类似处所进行隔离，当未设置隔离舱时，燃料舱处所与燃油处所之间应采用“A-60”级防火分隔。

第 3 节　处所位置和分隔

2.3.1 机器处所的设计

2.3.1.1 为了减少设有用气设备的机器处所发生气体爆炸的可能性，可采用下列两种设计：

(1) 气体安全机器处所：机器处所的布置应使该处所在所有情况下，包括正常和异常情况下，均可视为气体安全，即本质气体安全。

气体安全机器处所发生的单一故障不会导致气体燃料泄漏到该机器处所内。

(2) ESD防护型机器处所：机器处所的布置应使该处所在正常情况下可视为非危险处所，但在特定的异常情况下，其可能成为潜在的危险处所。在出现涉及气体危险的异常情况时，应自动关闭（ESD）非安全设备（着火源）和机器，而在这些情况下处于使用或活动状态的设备或机器应为合格防爆型。

ESD防护型机器处所发生的单一故障可能导致气体燃料泄漏到该机器处所内。通风应设计成可适应因技术故障而可能发生的最大泄漏情况。

应设有爆炸压力释放装置和 ESD 设备，以防止发生导致危险气体聚集的故障，如气体管路破断或垫圈破裂。

2.3.2 气体安全机器处所

2.3.2.1 燃料系统中的单一故障不应导致气体泄漏到机器处所内。

2.3.2.2 机器处所限界面以内的所有燃料管路应按照本规范6.4.1.1的规定封闭于气密围阱内。

2.3.3 ESD 防护型机器处所

2.3.3.1 ESD防护应仅限于经认可的周期性无人值班机器处所。

2.3.3.2 应采取适当的爆炸防护措施，避免对机器处所外部造成损害，并确保动力供应的冗余。应采用但不限于下列措施：

(1) 气体探测；

(2) 切断阀；

(3) 冗余；

(4) 有效通风。

2.3.3.3 在下列条件下，机器处所内的供气管路可不设气密外壳：

(1) 除非有文件证明单一事故不会影响两个机器处所，否则产生推进动力和电动力的发动机应设置在两个或两个以上无共同限界面的机器处所内。

(2) 设有用气设备的机器处所内设置的确保用气设备能维持其功能的所必需设备、组件和系统的数量应尽可能少。

(3) 应设置固定式气体探测系统以自动关闭供气管路并切断所有非合格防爆型电气设备或装置。

2.3.3.4 发动机在不同机器处所之间的分布应能使任一机器处所的燃料供应切断后，不会导致不可接受的动力损失。

2.3.3.5 由单舱壁分隔的ESD防护型机器处所应有足够的强度使其中任一处所能够承受气体爆炸，而不会影响邻近处所的完整性及该处所内的设备。

2.3.3.6 ESD防护型机器处所的几何形状应设计成能将气体积聚或形成空气死角的可能性降至最低。

2.3.3.7 ESD防护型机器处所的通风系统应按照本规范10.3.1的规定布置。

2.3.4 燃料管系的位置和防护

2.3.4.1 燃料管路距离舷侧应不少于800mm。

2.3.4.2 燃料管路不应直接通过起居处所、服务处所、电气设备间或控制站。

2.3.4.3 通过滚装处所、特种处所以及开敞甲板上的燃料管路应予以保护，以防止机械损伤。

2.3.4.4 ESD防护型机器处所内的气体燃料管路应尽可能远离电气设备和装有可燃液体的燃料舱。

2.3.4.5 ESD防护型机器处所内的气体燃料管路应予以保护，以防止机械损伤。

2.3.5 燃料准备间

2.3.5.1 除非燃料准备间布置在开敞甲板，否则其应按燃料舱接头处所的要求予以布置和设置。

2.3.6 舱底水系统

2.3.6.1 可能出现LNG泄漏的区域内的舱底水系统，应独立于其他处所的舱底水系统。

2.3.6.2 当燃料储存在需要次屏壁的燃料围护系统中时，应配备适当的排水装置，用于处理通过相邻船体结构进入燃料舱处所或绝热处所的泄漏物。舱底水系统不应引向安全处所内的泵。还应设有能探测此类泄漏的装置。

2.3.6.3 A型独立燃料舱的燃料舱处所或屏壁间处所，应设有适当的排水系统，用于处理燃料舱泄漏或破裂时漏出的液体燃料。

2.3.7 集液盘

2.3.7.1 可能发生导致船体结构损坏的泄漏之处，或需要对泄漏影响区域予以限制之处，应设置集液盘。

2.3.7.2 集液盘及其管系应由合适的材料制成。

2.3.7.3 集液盘与船舶结构之间所采用的连接形式，应使其周围船体或甲板结构在液体燃料泄漏时，不会面临无法承受的低温冷却。

2.3.7.4 每一集液盘均应设置一个排水阀，以将雨水排放至舷外。

排水阀及其管路应采用耐低温材料制成并与船体进行有效的隔热。

2.3.7.5 每一集液盘应具有足够的容量，以确保其能处理根据风险评估所得的最大泄漏量。

2.3.7.6 对于加注接头处的集液盘（固定式或移动式），除满足上述2.3.7.2~2.3.7.5的要求外，应在集液盘侧壁靠近上部的位置设置溢流口，溢流的LNG应能通过一根向下并靠近水面的排放管排出舷外。

2.3.7.7 应安装供水系统，提供低压水幕为加注接头处集液盘排放管附近的船体钢材和舷侧结构提供额外保护。该系统是对本规范第8章8.3.3的要求的补充，并且应在补给作业时工作。

2.3.8 围蔽处所入口和其他开口的布置

2.3.8.1 不允许设置从非危险区域直接通向危险区域的出入口。如果出于操作原因必须设有此类开口，则应设置符合2.3.9要求的空气闸。

2.3.8.2 如果燃料准备间经批准位于甲板以下，则应尽实际可能设有直接从开敞甲板通往该舱室的独立通道。如设置从甲板通向该舱室的独立通道不可行时，则应设置符合2.3.9要求的空气闸。

2.3.8.3 除非通向燃料舱接头处所的出入口是独立的，且直接通往开敞甲板，否则该出入口应设置螺栓连接式舱盖。含有螺栓舱盖的处所应为危险处所。

2.3.8.4 如ESD防护型机器处所设有从其他围蔽处所通向该处所的通道，则其入口应设置符合2.3.9要求的空气闸。

2.3.8.5 对于惰化处所，其通道应布置成能防止人员意外进入。如此类处所的通道不通往开敞甲板，则其密封装置应确保惰性气体不会泄漏至邻近处所。

2.3.9 空气闸

2.3.9.1 空气闸是由气密舱壁所围蔽的处所，该舱壁上设有两扇能确保气密的钢质门，两扇门之间距离至少为1.5m，但不大于2.5m。除非符合《国际载重线公约》的要求，否则空气闸门槛高度应不小于300mm。此类门应为自闭式，无任何门背扣装置。

2.3.9.2 空气闸应在相对邻近的危险区域或处所的正压状态下进行机械通风。

2.3.9.3 空气闸应设计成当其所隔开的气体危险处所内发生最严重的事故时，不会有气体释放至安全处所。此类事故应按照1.1.6的要求通过风险分析进行评估。

2.3.9.4 空气闸应具有简单的几何形状。其应具有方便和无障碍的通道，且其甲板面积应不小于1.5m^2。空气闸不可用作储藏室等其他目的。

2.3.9.5 空气闸的两端应配备声光报警系统，当有多于一扇门从关闭位置上开启时，应发出声光报警。

2.3.9.6 对于设有通向甲板以下危险处所通道的非危险处所，如该通道由空气闸予以保护，当此危险处所内负压失压时，通向该处所的通道应予以限制，直至该处所恢复通风。当空气闸压力损失时，应在有人值守的位置发出声光报警，以显示失压和空气闸门开启。

2.3.9.7 安全所需的关键设备不应断电，且应为合格防爆型，此类设备包括照明、火灾探测、公共广播及通用报警系统。

第 3 章　材料和管路设计

第 1 节　一般规定

3.1.1 目的

3.1.1.1 本章的目的是考虑到所涉及燃料的性质，确保燃料在所有营运状态下安全操作，将其对船舶、人员和环境所造成的风险降至最低。

3.1.2 功能要求

3.1.2.1 本章与1.1.3.2（1）、（5）、（6）、（8）、（9）和（10）中的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1) 燃料管路应能吸收燃料因极端温度引起的热膨胀或收缩，而不会产生过大应力。

(2) 应采取措施保护管路、管系及其部件和燃料舱，使其免受由于热变形及燃料舱和船体构件的位移而引起的过大应力的影响。

(3) 如气体燃料中含有一些会在系统中凝结的较重的成分，则应设有能安全除去凝液的装置。

(4) 应对低温管路与其邻接的船体构件进行热隔离，以防止船体温度降低至船体材料的设计温度以下。

第 2 节　管路设计

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 本节适用于其内部可能与天然气接触的管路。

3.2.1.2 应按照本社接受的标准对燃料管路和所有其他管路进行颜色标识[7]。

3.2.1.3 如在燃料舱或管路与船体结构之间采用热隔离，则管路和燃料舱均应与船舶结构采取电气接地措施。所有具有密封垫片的管接头和软管接头也应进行电气连接。

3.2.1.4 所有可能被隔离且含有液态气体燃料的管路应安装压力释放阀。

3.2.1.5 可能含有低温燃料的管路应予以隔热，将湿气冷凝或结霜降低至最少程度。

3.2.1.6 对于非燃料供应管路和电缆，若其不会成为着火源或破坏双壁管或管道的完整性，则可以设置在双壁管或管道内。双壁管或管道应只包含操作必需的管路和电缆。

3.2.1.7 管路中的阀和附件应按照本规范第13章相关要求进行试验。

3.2.1.8 若管路材料采用本章未涉及的金属或非金属材料，则应经本社认可。

---

7 如 GB3033、EN ISO 14726 船舶和海洋技术—管系内含物的识别颜色等。

3.2.2 管壁厚度

3.2.2.1 最小管壁厚度应按下式计算：

$$t = \frac{t_0 + b + c}{1 - \frac{a}{100}} \quad \text{mm}$$

式中：t_0——理论壁厚，mm，$t_0 = \frac{PD}{2.0Ke + P}$；

其中：P——设计压力，MPa，参见3.2.3的规定；

D——外径，mm；

K——许用应力，N/mm^2，参见3.2.4的规定；

e——有效系数，对于无缝钢管，以及由认可的焊接管制造厂供应的纵向焊或螺旋焊焊接管，在按公认标准进行无损探伤后认为等效于无缝钢管者，则取1.0；在其他情况下，按公认标准并根据制造工艺，可要求有效系数小于1.0；

b——弯曲余量，mm，对b值的选取，应使仅受内压的弯曲部分的计算应力不超过材料的许用应力。如未做出此种证明，则b值应为：$b = D \cdot \frac{t_0}{2.5r}$；

其中：r——平均弯曲半径，mm；

c——腐蚀余量，mm，如果预计受到腐蚀或浸蚀，则管壁厚度应大于其他设计所要求的值。此余量应与管子的预期寿命相一致；和

a——用于壁厚的制造负公差，%。

3.2.2.2 除上述规定外，气体燃料管系的最小壁厚尚应满足本社相关规范的规定。

3.2.3 设计条件

3.2.3.1 对于管路、管系和部件，设计压力应采用下列设计情况中的较大者[8,9]：

(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，应为45℃时的蒸气压力，并假定管系中饱和蒸气的初始状态是处于该系统的工作压力和工作温度；

(2) 燃料舱和燃料处理系统的MARVS；

(3) 相关的泵或压缩机的释放阀的调定压力；

(4) 装卸燃料时燃料管系的最大总压头；或

(5) 管路系统的释放阀调定压力。

3.2.3.2 管路、管系和部件的最小设计压力应为1.0MPa，但对管端敞开的管路，其设计压力应不小于0.5MPa。

---

8 对于3.2.3.1（1）的设计情况，对航行于限制区域的船舶，本社可接受较低的环境温度值。反之，可要求较高的环境温度值。

9 对于在限制时间内航行的船舶，P_0可基于航行期间的实际压力上升进行计算，并考虑燃料舱的任何绝热情况。参见《关于C型液货舱装载极限的气体运输船规则修正案的应用》（SIGTTO/IACS）。

3.2.4 许用应力

3.2.4.1 对于钢制（包括不锈钢）管路，3.2.2.1的厚度公式中须考虑的许用应力应取下列计算值中的较小者：

$$\frac{R_m}{2.7} \text{ 或 } \frac{R_e}{1.8}$$

式中：R_m——室温下材料的规定最低抗拉强度，N/mm^2；和

R_e——室温下材料的规定最低屈服强度，N/mm^2。如在应力-应变曲线上无明显的屈服应力，则可采用0.2%条件的验证应力。

3.2.4.2 为防止附加载荷造成管子损坏、破断、过度下垂或失稳而需要一定的机械强度时，管壁厚度应比3.2.2要求的值有所增加。如增加管壁厚度不现实或反而会使管子产生过大的局部应力，则应采取其他的设计方法，以减小、防止或消除上述附加载荷。此类附加载荷可能是由于支持构件、船舶变形、驳运作业时的液压波动、吊阀的重量、装卸臂连接处的反作用力或其他原因产生。

3.2.4.3 对于非钢制管路，许用应力应经本社同意。

3.2.4.4 高压燃料管系应具有足够的结构强度。应通过应力分析来确定该强度，并考虑下列因素：

(1) 管系重量造成的应力；

(2) 加速度载荷（如其值较大时）；和

(3) 船舶中拱和中垂引起的内部压力和载荷。

3.2.4.5 当设计温度低于或等于-110℃时，管系的每一分支均应进行完整的应力分析，该分析应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。

3.2.5 管路挠性

3.2.5.1 燃气管路的布置和安装应具有必要的挠性，以保持管系在实际工作状况下的完整性，并考虑疲劳存在的可能性。

3.2.6 管路制造和连接细节

3.2.6.1 法兰、阀件和其他附件应符合本社可接受的标准，并应考虑3.2.3.1所规定的设计压力。对于蒸气管路中的波纹管和膨胀接头，可接受采用小于3.2.3.1所规定值的最小设计压力。

3.2.6.2 高压燃料管系中的所有阀件和膨胀接头应按照本社可接受的标准进行认可。

3.2.6.3 管系应采用焊接连接，并尽量减少法兰接头。垫圈应予以保护以防止被吹出。

3.2.6.4 管路制造和连接细节应满足下列要求：

(1) 直接连接

a) 根部完全焊透的对接焊连接均可用于各种用途。当设计温度低于-10℃时，对接焊应为双面焊或与双面焊等效的对接焊，这可以通过采用在第一焊道上加衬垫、自耗嵌补或惰性气体保护焊封

底等方法予以实现。当设计压力超过1.0MPa且设计温度小于等于-10℃时，焊接后应将衬垫除去；

b) 具有符合认可标准尺寸的套筒焊接接头只能用于外径小于等于50mm和设计温度不低于-55℃的仪表管路和端部敞开的管路；

c) 符合认可标准的螺纹连接只能用于外径小于等于25mm的次要管路和仪表管路。

(2) 法兰接头

① 对于法兰接头中的法兰焊接，应采用颈焊、套焊或插入焊等型式；和

② 对于除端部敞开管路以外的所有管路，均应应用以下限制：

a) 设计温度低于-55℃时，只能采用颈焊法兰；和

b) 设计温度低于-10℃时，对于公称尺寸大于 100mm 者，不得采用套焊法兰，而对于公称尺寸大于 50mm 者，不得采用插入焊法兰。

(3) 膨胀接头

如按 3.2.6.1 设置波纹管和膨胀接头，则应满足下列要求：

① 必要时，应采取措施，防止波纹管结冰；

② 除位于液化气体燃料舱内者外，不应采用套筒接头；和

③ 波纹管一般不应布置在围蔽处所内。

(4) 其他接头

管路接头应按照 3.2.6.4（1）至 3.2.6.4（3）的要求连接，但对于其他特殊情况，本社可根据具体情况予以考虑。

3.2.6.5 应防止膨胀接头产生的过度膨胀和压缩，对其邻接管路应予以适当支撑和固定。对于波纹管膨胀接头，应防止其遭受机械损伤；对于法兰接头，应设有防止螺母松动的措施（如防松垫圈等）。

3.2.6.6 供气管路上不应使用滑动式膨胀接头。

第 3 节 材 料

3.3.1 金属材料

3.3.1.1 用于燃料围护系统和管系的材料应满足下表所列最低要求：

表 3.3.1.1（1）：适用于设计温度不低于 0℃的燃料舱和处理用压力容器所用的板材、管材（无缝管和焊接管）、型材和锻件。

表 3.3.1.1（2）：适用于设计温度低于 0℃至-55℃的燃料舱、次屏壁和处理用压力容器所用的板材、型材和锻件。

表 3.3.1.1（3）：适用于设计温度低于-55℃至-165℃的燃料舱、次屏壁和处理用压力容器中作用的板材、型材和锻件。

表 3.3.1.1（4）：适用于设计温度低于 0℃至-165℃的燃料管系和处理用管系所用管材（无缝管和焊接管）、锻件和铸件。

表 3.3.1.1（5）：适用于 4.2.11.1（2）要求的船体结构所用板材和型材。

表3.3.1.1（1）

设计温度不低于0℃的燃料舱和处理用压力容器所用板材、管材(无缝管和焊接管)[注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		
◆ 经本社同意可添加少量的合金元素		
◆ 化学成分的范围应经本社认可		
◆ 正火或淬火加回火[注4]		
强度和韧性（冲击）试验要求		
取样频率		
◆ 板材	按“轧制件”试验	
◆ 型材和锻件	按批试验	
力学性能		
◆ 抗拉性能	规定最低屈服应力不超过410N/mm^2[注5]	
韧性（夏比V型缺口冲击试验）		
◆ 板材	横向试样，最小平均冲击能量值（KV）为27J	
◆ 型材和锻件	纵向试样，最小平均冲击能量值（KV）为41J	
◆ 试验温度	厚度 t（mm）	试验温度（℃）
	$t \leqslant 20$	0
	$20 < t \leqslant 40$[注3]	–20

注：
1. 无缝管和附件应采用正常的制造工艺。纵向焊接和螺旋焊接的管材，应经本社特别认可（见注①）。
2. 管路不要求进行夏比V型缺口冲击试验。
3. 本表适用于厚度不超过40 mm的材料，更大厚度的提议应经本社认可。
4. 可用控制轧制工艺或温度–形变控制轧制（TMCP）代替。
5. 规定最低屈服应力超过410 N/mm^{2}的材料可由本社认可，应对这些材料的焊缝和热影响区的硬度予以特别注意。

注：①焊接压力管、用于燃料舱和处理用压力容器的材料，其化学成分和力学性能应符合本社《材料与焊接规范》第4章的要求。

表3.3.1.1（2）

设计温度低于0℃至–55℃的燃料舱、次屏壁和处理用压力容器所用板材、型材和锻件[注1] 最大厚度为25 mm^2				
化学成分和热处理				
◆ 碳锰钢				
◆ 全镇静、铝处理的细晶粒钢				
◆ 化学成分（炉罐分析）				
C	Mn	Si	S	P
≤0.16%[注3]	0.7~1.60%	0.1~0.50%	≤0.025%	≤0.025%

续表3.3.1.1（2）

<table>
<tr><td colspan="6">选择的添加元素：合金化元素和晶粒细化元素一般按下列要求：</td></tr>
<tr><td>Ni</td><td>Cr</td><td>Mo</td><td>Cu</td><td>Nb</td><td>V</td></tr>
<tr><td>≤0.8%</td><td>≤0.25%</td><td>≤0.08%</td><td>≤0.35%</td><td>≤0.05%</td><td>≤0.1%</td></tr>
<tr><td colspan="6">Al 总含量最少≤0.02%（酸溶性最少 0.015%）</td></tr>
<tr><td colspan="6">◆ 正火或淬火加回火[注4]</td></tr>
<tr><td colspan="6">强度和韧性（冲击）试验要求</td></tr>
<tr><td colspan="6">取样频率</td></tr>
<tr><td colspan="3">◆ 板材</td><td colspan="3">按“轧制件”试验</td></tr>
<tr><td colspan="3">◆ 型材和锻件</td><td colspan="3">按批试验</td></tr>
<tr><td colspan="6">力学性能</td></tr>
<tr><td colspan="3">◆ 抗拉性能</td><td colspan="3">规定最低屈服应力不超过 410N/mm^2[注5]</td></tr>
<tr><td colspan="6">韧性（夏比 V 型缺口冲击试验）</td></tr>
<tr><td colspan="3">◆ 板材</td><td colspan="3">横向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 27J</td></tr>
<tr><td colspan="3">◆ 型材和锻件</td><td colspan="3">纵向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 41J</td></tr>
<tr><td colspan="3">◆ 试验温度</td><td colspan="3">比设计温度低 5℃，或–20℃，取其低者</td></tr>
</table>

注：

1. 对锻件的夏比 V 型缺口冲击试验和化学成分的要求，可由本社予以特别考虑。

2. 对厚度超过 25mm 的材料，夏比 V 型缺口冲击试验应按下列要求进行：

材料厚度（mm）	试验温度（℃）
25<t≤30	比设计温度低 10℃，或–20℃，取其低者
30<t≤35	比设计温度低 15℃，或–20℃，取其低者
35<t≤40	比设计温度低 20℃
40<t	经本社认可的温度

冲击能量值应按所用试样种类符合表列的要求。

用于燃料舱和燃料舱部件的材料，如焊后热应力能完全消除，可在低于设计温度 5℃或–20℃（取其低者）下进行试验。

对于已消除热应力的加强构件和其他构件，试验温度应与邻接燃料舱壳体的厚度所要求的试验温度相同。

3. 如设计温度不低于–40℃，经本社特别同意，材料的含碳量最大可增至 0.18%。

4. 可用控制轧制工艺或 TMCP 代替。

5. 规定最低屈服应力超过 410 N/mm^2 的材料可由本社认可，应对这些材料的焊缝和热影响区的硬度予以特别注意。

厚度超过 25 mm 的材料，若其试验温度为–60℃或更低者，需采用符合本章表 3.3.1.1（3）规定的钢材或经特殊处理的钢材。

表3.3.1.1（3）

设计温度低于–55℃至–165℃[注2]的燃料舱，次屏壁和处理用受压容器所用板材、型材和锻件[注1] 最大厚度为 25 mm [注3,4]		
最低设计温度（℃）	化学成分[注5]和热处理	冲击试验温度（℃）
–60	1.5%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP [注6]	–65
–65	2.25%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP [注6,7]	–70
–90	3.5%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP [注6,7]	–95
–105	5%镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火[注6,7,8]	–110
–165	9%镍钢—二次正火加回火或淬火加回火[注6]	–196
–165	奥氏体钢，如 304、304L、316、316L、321 和 347 等，固溶处理[注9]	–196
–165	铝合金，如 5083，退火	不要求
–165	奥氏体铁—镍合金（含 36%Ni），按经同意的热处理方法	不要求
拉伸和韧性（冲击）试验要求		
取样频率		
◆ 板材	按“轧制件”试验	
◆ 型材和锻件	按批试验	
韧性（夏比 V 型缺口冲击试验）		
◆ 板材	横向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 27J	
◆ 型材和锻件	纵向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 41J	

注：

1. 在临界条件下使用的锻件的冲击试验要求，应由本社予以特别考虑。
2. 设计温度低于–165℃时的要求，应经本社特别同意。
3. 含 1.5%Ni、2.25%Ni、3.5%Ni 和 5%Ni 的材料，厚度超过 25 mm 时，应按下述要求进行冲击试验：

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，应根据所用试样型式按照表列值。厚度超过 40mm 的材料，其夏比 V 型缺口冲击能量值应予以特别考虑。

4. 可采用厚度超过 25 mm 的 9%Ni 钢、奥氏体不锈钢和铝合金。
5. 化学成分的范围应符合公认标准。
6. TMCP 镍钢应经本社接受。
7. 淬火加回火的钢材，经本社特别考虑，可用于较低的最低设计温度。
8. 经特殊热处理的 5%镍钢，例如经三次热处理的 5%镍钢，可被用于最低温度为–165℃的场合，但应在–196℃下对其进行冲击试验。
9. 经本社同意，可免除冲击试验。

表3.3.1.1（4）

设计温度低于 0℃至–165℃[3]的燃料管路和处理用管路所用的管子(无缝管和焊接管)[注1]锻件[注2]和铸件[注2] 最大厚度为 25mm			
最低设计温度（℃）	化学成分[注5]和热处理	冲击试验	
		试验温度（℃）	最小平均冲击能量（KV）
–55	碳锰钢：应为全镇静细晶粒，正火或经同意的热处理方法[注6]	注 4	27
–65	2.25%镍钢，正火，正火加回火或淬火加回火[注6]	–70	34
–90	3.5%镍钢，正火，正火加回火或淬火加回火[注6]	–95	34
–165	9%镍钢[注7]，二次正火加回火或淬火加回火	–196	41
	奥氏体钢，如 304，304L，316，316L，321 和 347。固溶处理[注8]	–196	41
	铝合金，如 5083，退火		不要求
拉伸和韧性（冲击）试验要求			
取样频率			
◆ 应按批试验。			
韧性（夏比 V 型缺口冲击试验）			
◆ 冲击试验：纵向试样			

注：

1. 如使用纵向焊接和螺旋焊接的管子，应经本社特别认可。
2. 对锻件和铸件的要求可由本社予以特别考虑。
3. 设计温度低于–165℃的要求应经本社特别同意。
4. 试验温度应比设计温度低 5℃，或为–20℃，取其低者。
5. 化学成分的范围应符合公认标准。
6. 对于经淬火加回火的材料，经本社特别同意，可采用较低的设计温度。
7. 化学成分不适用于铸件。
8. 经本社同意，可免除冲击试验。

表3.3.1.1（5）

用于按 4.2.11.1（2）要求的船体结构用板材和型材								
船体结构的最低设计温度（℃）	各钢级的最大厚度（mm）							
	A	B	D	E	AH	DH	EH	FH
0℃及以上	按公认标准							
0 至–5℃	15	25	30	50	25	45	50	50
–5 至–10℃	×	20	25	50	20	40	50	50

续表3.3.1.1（5）

–10 至–20℃	×	×	20	50	×	30	50	50
–20 至–30℃	×	×	×	40	×	20	40	50
低于–30℃	按表 3.3.1.1（2）规定，但表 3.3.1.1（2）及该表注 2 中所指的厚度范围不适用							
注： “×”系指不应采用的钢级。								

3.3.1.2 熔点低于925℃的材料不应用于燃料舱以外的管路。

3.3.1.3 对于CNG燃料舱，使用上述规定未涉及的材料应经本社特别考虑。

3.3.1.4 外管或导管，如其内部设有含高压气体的内管，则应至少满足表3.3.1.1（4）中设计温度降至-55℃时对管路材料的要求。

3.3.1.5 液化气体燃料管路周围的外层管或管道应至少满足表3.3.1.1（4）中设计温度为-165℃时对管路材料的要求。

3.3.2 非金属材料

3.3.2.1 非金属材料的选择和使用，可参考本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和《材料与焊接规范》第2篇的相关要求。

第 4 章　燃料围护系统

第 1 节　一般规定

4.1.1 目的

4.1.1.1 本章的目的是确保气体燃料的适当储存，以使其对人员、船舶和环境的风险与常规燃油动力船的风险相当。

4.1.2 功能要求

4.1.2.1 本章与1.1.3.2（1）、（2）、（5）和（8）至（17）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1) 燃料围护系统应设计成燃料舱或其接头泄漏不会危及船舶、船上人员或环境。应避免的潜在危险包括：

① 船体材料遭受不可接受的低温；

② 可燃燃料扩散至存在着火源的位置；

③ 燃料和惰性气体引发的潜在毒性和缺氧风险；

④ 通往集合站、脱险通道和救生设备的通道受限；

⑤ 救生设备的有效性降低。

(2) 燃料舱的压力和温度应保持在围护系统设计限值和气体燃料可能的装运要求范围内。

(3) 燃料围护系统的布置应设计成任何气体泄漏后所采取的安全动作不会导致不可接受的动力损失。

(4) 如果可移式燃料罐用于燃料储存，燃料围护系统的设计应与本章规定的固定式燃料舱相当。

4.1.3 一般要求

4.1.3.1 液化天然气燃料舱的压力释放阀最大允许调定值（MARVS）：对于海船，应不大于1.0MPa；

对于内河船舶，应不大于1.2MPa。

4.1.3.2 气体燃料舱的最大允许工作压力（MAWP）不应超过压力释放阀最大允许调定值（MARVS）的90%。

4.1.3.3 位于甲板下方的燃料围护系统应与邻接处所气密分隔。

4.1.3.4 除非燃料舱接头位于开敞甲板上，否则所有燃料舱接头、附件、法兰和阀应包围在气密的燃料舱接头处所内，该处所应能安全容纳燃料舱接头泄漏的燃料。

4.1.3.5 如LNG燃料舱设置在开敞甲板上，应设置集液盘以保护船体结构免受燃料舱接头和其他潜在泄漏源泄漏造成的低温伤害。集液盘材料的设计温度应与在大气压力下装载的燃料温度相适应。船体结构的低温防护应考虑燃料舱的正常操作压力可能造成的影响。

4.1.3.6 对半围蔽处所内的燃料舱，一般应设置燃料舱接头处所。如未设置燃料舱接头处所，且半围蔽处所内布置有接头、阀件或其他可能产生泄漏的设备，则半围蔽处所的周围结构应采用耐低温材料，至少设有2套可燃气体探测装置，并满足本规范第12章对燃料舱接头处所的监控要求。对于存在LNG泄漏风险的位置，其下方应设置集液盘。

4.1.3.7 除C型独立燃料舱外，燃料舱管路接头应安装在舱内最高液位的上方。经本社特别考虑，可同意其他型式燃料舱的接头位于最高液位的下方。

4.1.3.8 C型独立燃料舱和与之相连接的第一个截止阀之间的管路，应与C型独立燃料舱安全水平相当，同时应按4.1.3.13或4.1.3.14进行保护。

4.1.3.9 燃料舱接头处所舱壁或限界面材料的设计温度应与其在可能的最大泄漏情景下遭受的最低温度相适应。

4.1.3.10 燃料舱接头处所应设计成能承受4.1.3.9中所述泄漏情景下的最大积聚压力，也可设置通向安全位置（如透气桅）的压力释放装置。

4.1.3.11 如燃料舱接头处所内设有满足本规范10.2.1条要求的抽吸式机械通风，且最大可能的蒸发量不大于换气量时，可不考虑4.1.3.10中所述的积聚压力，但应考虑燃料舱泄漏产生的最大静压头以及对内部设备的有效支撑。

4.1.3.12 应根据详细设计、探测和关闭系统对进入燃料舱接头处所的最大可能泄漏量予以确定。

4.1.3.13 如燃料舱液面下方设置了管路开口，则燃料舱和与之相连的第一个截止阀之间的管路应设置次屏壁予以保护。

4.1.3.14 当4.1.3.13中所述管路位于燃料舱接头处所内时，可不设次屏壁保护。

4.1.3.15 应设有能安全排空燃料舱内液化气体的装置。

4.1.3.16 燃料舱应能通过燃料管系进行排空、吹扫和透气。船上应备有排空、吹扫和透气操作须知。在使用干燥空气进行透气前，应用惰性气体进行惰化，以避免燃料舱和燃料管路中出现爆炸危险环境。

4.1.3.17 应使用有限元方法对燃料舱及燃料舱区域的船体结构进行强度评估。模型的处理、载荷工况、燃料舱支撑结构及船体结构的衡准，应符合本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》或《内河散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的相关要求。燃料舱结构的衡准应符合本规范4.2.14、4.2.15的要求。

第 2 节　LNG 燃料围护系统

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 对于不满足本章要求的新颖设计的LNG燃料围护系统，应对其进行风险评估。

4.2.1.2 固定式围护系统的设计寿命应不小于船舶的设计寿命或20年，取大者。

4.2.1.3 可移式燃料罐的设计寿命应不小于20年。

4.2.1.4 围护系统的设计应与预期航行条件相适应。

4.2.1.5 围护系统的设计应具有适当的安全裕度，从而：

(1) 在完整条件下，经受围护系统设计寿命预期的环境条件及其适当的装载工况，应包括满载工况、部分装载工况和任意高度液位装载工况；

(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。

4.2.1.6 应按失效模式评定围护系统的结构强度，包括但不限于塑性变形、屈曲和疲劳。每个围护系统设计时应考虑的具体设计条件见4.2.13至4.2.16。有3类主要的设计条件：

(1) 极限设计条件——围护系统结构及其结构件应承受建造、试验和预期投入使用期间可能发生的载荷，不损害结构完整性。设计应考虑下列载荷的适当组合：

① 内部压力；

② 外部压力；

③ 所有装载工况下船舶运动引起的动载荷；

④ 热载荷；

⑤ 晃荡载荷；

⑥ 船舶变形引起的载荷；

⑦ 燃料舱和液化气体燃料重量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；

⑩ 试验载荷。

(2) 疲劳设计条件——围护系统结构及其结构件不应在累积循环载荷下失效。

(3) 意外设计条件——围护系统应满足本规范所述的下列任一意外设计条件（意外或异常事件）：

① 碰撞——围护系统应承受4.2.7.5（1）中规定的碰撞载荷，且支撑构件和支撑构件处的燃料舱结构无变形，从而不可能危及燃料舱及其支撑结构。

② 失火——围护系统应在无破裂的情况下，在预期的失火情况时保持4.5.3.1中规定的内部压力的增加。

③ 在燃料舱上形成浮力的浸水舱——止浮装置应能承受4.2.7.5（2）中规定的向上的力，且应无危及船体的塑性变形。如不危及船舶的安全撤离，燃料围护系统中可存在塑性变形。

4.2.1.7 应采取措施确保所要求的尺寸满足结构强度的规定并能够在整个设计寿命中予以保持。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。

4.2.1.8 应制定围护系统的检查/检验计划并由本社认可。检查/检验计划应确定在围护系统整个寿命的检验期间需要检查和/或验证的部分，特别是选择围护系统设计参数时假定的所有必需的营运检验、维护和试验。检查/检验计划可包括4.2.10.2（13）或4.2.10.2（14）规定的特定的关键部位。

4.2.1.9 对于检查/检验计划中规定的需要进行检查的区域，应提供适当的通道。围护系统（包括所有相关内部设备）的设计和建造应确保操作、检查和维护期间的安全。

4.2.2 LNG 燃料围护系统安全原则

4.2.2.1 围护系统应设有能安全容纳主屏壁的所有潜在泄漏的完整的液密次屏壁，并且该次屏壁能与绝热系统一起防止船舶结构的温度下降至不安全的程度。

4.2.2.2 如果按照4.2.2.3至4.2.2.6的适用要求可证明次屏壁具有同等的安全水平，则其尺寸和结

构或布置要求可予降低或不予考虑。

4.2.2.3 已确定结构失效导致临界状态的可能性极低，但不能排除主屏壁泄漏的可能性的围护系统，应设有能安全处理泄漏的部分次屏壁和微量泄漏保护系统（临界状态系指裂纹扩展至不稳定状态），并应符合下列要求：

(1) 达到临界状态前能可靠探测到的失效形成过程（例如通过气体探测或检查）应有足够长的形成时间以采取补救措施；

(2) 达到临界状态前不能安全探测到的失效形成过程应有比燃料舱预计寿命长得多的预计形成时间。

4.2.2.4 如果主屏壁的结构失效和泄漏的可能性很低且可忽略不计，燃料围护系统可不要求设置次屏壁，例如C型独立燃料舱。

4.2.2.5 对于真空绝热C型独立燃料舱，还应满足以下要求：

(1) 外壳应使用耐低温材料，其设计温度应不高于内壳。

(2) 当布置在开敞甲板或半围蔽处所时，如内壳上所有开口均高于燃料舱的最高可能液位，外壳可不必满足上述（1）的要求。

4.2.2.6 对于需要设置完整或部分次屏壁的独立燃料舱，应设有安全处理燃料舱泄漏的装置。

4.2.3 次屏壁的设计

4.2.3.1 次屏壁应按下表设置：

表4.2.3.1

基本燃料舱类型	次屏壁的要求
薄膜燃料舱	完整的次屏壁
独立燃料舱	
A型	完整的次屏壁
B型	部分的次屏壁
C型	不要求次屏壁

4.2.3.2 次屏壁，包括防溅屏障（如设有），应符合下列要求：

(1) 在考虑到4.2.10.2（10）所述的载荷谱后，能使其容纳15天时间的任何预计泄漏的液化气体燃料。但对航行于特殊航线的船舶可应用不同的衡准。

(2) 燃料舱内能导致主屏壁失效的物理、机械或操作事件不应损害次屏壁的功能，反之亦然；

(3) 船体结构支撑构件或附件的失效不会导致主屏壁和次屏壁液密性的丧失；

(4) 能通过外观检查或本社接受的其他合适方式定期检查其有效性；

(5) 上述4.2.3.2（4）中要求的方法应经本社认可，至少应包括：

① 在危及液密有效性之前，可接受的缺陷尺寸及其在次屏壁内位置的详细情况；

② 上述①中探测缺陷的建议方法的数值精度和范围；

③ 确定验收衡准使用的缩减比例因数（如不进行全尺度模型试验）；

④ 热和机械循环载荷对建议试验有效性的影响。

(6) 对于海船，在静横倾角为30°时次屏壁的功能应不受影响；对于内河船舶，对应的静横倾角为20° 。

4.2.3.3 部分次屏壁应与微量泄漏保护系统一起使用并满足4.2.3.2的要求。微量泄漏保护系统应包括探测主屏壁泄漏的装置、使任何液化气体燃料向下进入部分次屏壁的设施（如防溅屏障）和可通过自然蒸发处理液体的装置。

4.2.3.4 应根据相当于在最初探测到主屏壁泄漏后，从裂纹扩展分析得到的破损范围所泄漏的液化气体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，参见本规范4.2.10.2（7）。

4.2.3.5 所要求的液体泄漏探测可通过液体传感器，或压力、温度或气体探测系统，或其任意组合的有效使用来突现。

4.2.3.6 对于几何形状不便收集泄漏燃料的独立燃料舱，其部分次屏壁还应满足名义静纵倾角时的功能要求。

4.2.4 支撑装置

4.2.4.1 燃料舱应由船体予以支撑，在燃料舱受到4.2.7.2至4.2.7.5中规定的静、动载荷作用时（如适用），其支撑方式应能防止燃料舱本体的移动，可以允许燃料舱在温度变化和船体变形时收缩和膨胀，但不能使船体和燃料舱出现过大的应力。

4.2.4.2 应设置用于独立燃料舱的止浮装置，其应能承受4.2.7.5（2）中规定的载荷而不会产生可能危及船体结构的塑性变形。

4.2.4.3 支撑构件和支撑装置应经受4.2.7.3（3）⑧和4.2.7.5中规定的载荷，但无需对这些载荷进行相互叠加，也不必将这些载荷与波浪引起的载荷进行叠加。

4.2.4.4 对于真空绝热C型独立燃料舱，当外壳采用耐低温材料建造时，其鞍座也应采用耐低温材料建造（设计温度至少应与外壳相同），且鞍座与船体基座的连接面应采取有效的绝热措施。

4.2.5 相关结构和设备

4.2.5.1 围护系统应设计成能承受相关结构和设备施加的载荷。这包括泵塔、气室、液化气体燃料泵和管系、扫舱泵和管系、氮气管系、通道舱口、梯子、管系贯穿件、液位计、独立液位报警装置、喷嘴和仪表系统（例如压力、温度和应变计）。

4.2.6 绝热

4.2.6.1 应按要求设置绝热层以防止船体结构温度降至许用值以下，并将进入燃料舱的热流限制在本章第7节中规定的压力和温度控制系统能维持的水平。

4.2.7 设计载荷

4.2.7.1 一般要求

(1) 本节规定了与4.2.8至4.2.10的要求相关的应考虑的设计载荷。这包括载荷种类（永久、功能、环境和意外的）和载荷描述。

(2) 这些载荷应考虑的范围取决于燃料舱类型，并在下文中予以描述。

(3) 燃料舱连同其支撑结构和其他固定装置的设计，应考虑下述载荷的适当组合。

4.2.7.2 永久载荷

(1) 重力载荷

应考虑燃料舱和绝热层的重量，以及塔架和其他附件产生的载荷。

(2) 永久外部载荷

应考虑外部作用在燃料舱上的结构和设备的重力载荷。

4.2.7.3 功能载荷

(1) 燃料舱系统操作使用所产生的载荷应归类为功能载荷。

(2) 应考虑确保在所有设计条件下燃料舱系统完整性所必需的所有功能载荷。

(3) 在确定功能载荷时，至少应考虑下列适用衡准的影响：

① 内部压力；

② 外部压力；

③ 热载荷；

④ 振动；

⑤ 相互作用载荷；

⑥ 与制造和安装相关的载荷；

⑦ 试验载荷；

⑧ 静横倾载荷；

⑨ 液化气体燃料重量；

⑩ 晃荡；

⑪ 风载荷、波浪冲击和甲板上浪对开敞甲板上燃料舱的影响。

(4) 内部压力

① 在任何情况下，包括4.2.7.3（4）②，P_0均不得小于释放阀的最大允许调定值(MARVS)。

② 对于无温度控制装置和其液化气体燃料压力仅由环境温度支配的燃料舱，P_0应不得低于在温度为45℃时的液化气体燃料蒸气表压，但下列情况除外：

(a) 对于航行于限制航区的船舶，本社可接受较低的环境温度值。反之，可要求较高的环境温度值；

(b) 对于在限制期限内航行的船舶，P_0可基于航行期间的实际压力上升进行计算，并考虑燃料舱的任何绝热情况。

③ 如经本社特别考虑，并符合4.2.13至4.2.16规定的对各类燃料舱的限制条件，可接受在动载荷降低的场所特定条件下（港口或其他场所），采用高于P_0的蒸气压力Ph。

④ 用于确定内部压力的压力应为：

(a) $(P_{gd})_{max}$是使用最大设计加速度确定的相关液体压力；

(b) $(P_{gdsite})_{max}$是使用场所特定加速度确定的相关液体压力；

(c) P_{eq}应为如下计算得出的P_{eq1}和P_{eq2}的大者：

$$P_{eq1} = P_o + (P_{gd})_{max} \quad \text{MPa}$$

$$P_{eq2} = P_h + (P_{gdsite})_{max} \quad \text{MPa}$$

⑤ 内部液体压力是由于4.2.7.4（1）所述的船舶运动所引起的液化气体燃料重心加速度所产生的压力。对于由重力和动力加速度的联合作用所引起的内部液体压力P_{gd}，应按下式计算：

$$P_{gd} = \alpha_\beta Z_\beta \frac{\rho}{1.02\times10^5} \qquad \text{MPa}$$

式中：a_β——在任意的β方向上由重力和动载荷引起的无因次加速度（即相对于重力加速度)（见图4.2.7.3（4））；

对于大型燃料舱，考虑到横向垂直和纵向加速度，应使用加速度椭球。

Z_β——从所确定的压力点沿β方向向上量至燃料舱壳板的最大液柱高度（见图4.2.7.3（4）（b））。在确定Z_β时，除非燃料舱气室的总容积V_d不超过按下列公式所得值，否则应将燃料舱气室作为燃料舱的一部分进行考虑：

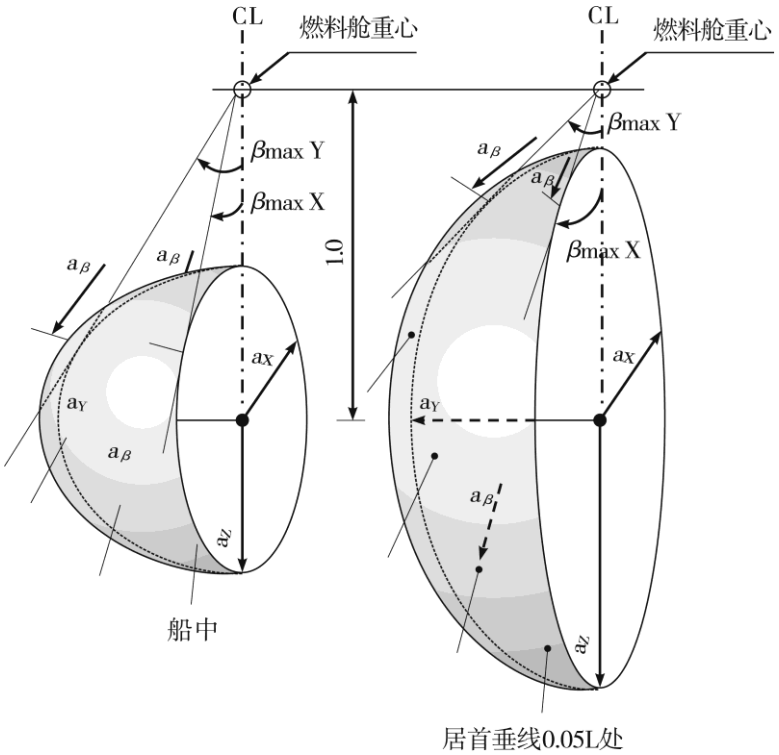
$$V_d = V_t\left(\frac{100-FL}{FL}\right)$$

式中：Vt——无任何气室的燃料舱容积；和

FL——按本章第6节规定的充装极限。

ρ——设计温度时的最大液化气体燃料密度，kg/m^3。

应考虑（P_{gd}）$_{max}$或（P_{gdsite}）$_{max}$的方向。当需要考虑三个方向的加速度分量时，应使用图4.2.7.3（4）（a）中的加速度椭球体代替椭圆。上述公式仅适用于注满的燃料舱。



a_β = 在任意β方向上的合成加速度（静载和动载）

ax = 加速度纵向分量　　a_y = 加速度横向分量　　a_z = 加速度垂向分量

图 4.2.7.3（4）（a） 加速度椭圆

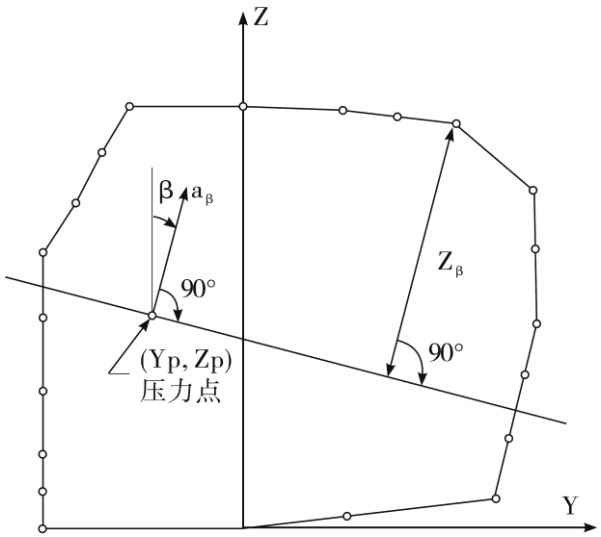


图 4.2.7.3（4）（b） 内部压头的确定

(5) 外部压力

外部压力载荷应根据燃料舱任何部位可能同时承受的最小内部压力和最大外部压力之差确定。

(6) 热载荷

① 应考虑冷却期间的瞬态热载荷。

② 如围护系统的设计支撑装置或附件在操作温度下可能会引起较大的热应力，则应考虑稳态热载荷（应考虑的环境温度见4.7.2）。

(7) 振动

应考虑振动对围护系统的潜在影响。

(8) 相互作用载荷

应考虑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。

(9) 与制造和安装相关的载荷

应考虑与制造和安装相关的载荷或条件，例如起重。

(10) 试验载荷

应考虑对应于第13章第5节中所述的围护系统试验的载荷。

(11) 静横倾载荷

对于海船，应考虑对应于在0°到30°范围内的最不利的静横倾角的载荷；

对于内河船舶，应考虑对应于在0°到20°范围内的最不利的静横倾角的载荷。

(12) 其他载荷

应考虑未特别提及但对围护系统有影响的任何其他载荷。

4.2.7.4 环境载荷

(1) 船舶运动产生的载荷

① 在确定动载荷时应考虑船舶在其使用寿命期间在不规则海浪中船舶运动的长期分布。由于必要的减速和航向的变化，可考虑减小动载荷。船舶运动应包括纵荡、横荡、垂荡、横摇、纵摇和首摇。在估算作用于燃料舱的加速度时，其作用点应在燃料舱的重心处，且包括下列分量：

(a) 垂向加速度：垂荡、纵摇以及横摇(垂直于船舶基线)的运动加速度；

(b) 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；

(c) 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。

② 预测船舶运动引起的加速度的方法应经本社认可。

③ 对于海船，各方向加速度分量的取值可参照本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》4.28.2进行计算。

④ 对于内河船舶，可按如下两种方法之一确定其由于船舶运动引起的加速度分量的最小值：

方法1:

(a) 沿船长方向加速度a_x：本章4.2.7.5（1）的规定值;

(b) 沿船宽方向加速度a_y：应符合本社《钢质内河船舶建造规范》集装箱系固计算过程中对集装箱横向加速度的计算要求;

(c) 垂向加速度a_z：应符合本社《钢质内河船舶建造规范》集装箱系固计算过程中对集装箱垂向加速度的计算要求。

方法2:

(a) 沿船长方向加速度：2g;

(b) 沿船宽方向加速度：1g;

(c) 垂直向上加速度：1g;

(d) 垂直向下加速度：2g（含重力效应）。

⑤ 对于限定航区内营运的船舶，本社可对船舶运动引起的加速度予以特别考虑。

(2) 动态相互作用载荷

应考虑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。

(3) 晃荡载荷

应在预定加注高度的整个范围内对围护系统和内部构件上的晃荡载荷进行评估。

(4) 雪和冰载荷

应考虑雪和结冰（如相关）。

(5) 冰区航行产生的载荷

对于拟在冰区航行的船舶，应考虑冰区航行产生的载荷。

(6) 上浪载荷

应考虑甲板上浪引起的载荷。

(7) 风载荷

应考虑风引起的相关载荷。

4.2.7.5 意外载荷

(1) 碰撞载荷

应基于满载工况下的燃料围护系统确定碰撞载荷，向前惯性力为下表“a”所示，向后惯性力为“a/2”，其中g为重力加速度。

设计加速度 **表4.2.7.5**

船长（L）	设计加速度（a）
L > 100m	0.5g
60 < L≤100m	$\left(2-\frac{3(L-60)}{80}\right)g$
L≤60m	2g

对于弗劳德数（Fn）大于0.4的船舶应予以特别考虑。

(2) 船舶浸水产生的载荷

对于独立燃料舱，在设计邻近船体和燃料舱结构的止浮垫块和支撑结构时，应考虑空舱全部浸水时的浮力产生的载荷。

4.2.8 结构完整性

4.2.8.1 结构设计应确保燃料舱具有足够的承受所有相关载荷的能力和足够的安全裕量。应考虑塑性变形、屈曲、疲劳和丧失液密和气密的可能性。

4.2.8.2 围护系统的结构完整性可视围护系统的类型按照4.2.13至4.2.16的规定予以证明。

4.2.8.3 对于具有新颖设计且与4.2.13至4.2.16中所述显著不同的围护系统，其结构完整性应按照4.2.17的规定予以证明。

4.2.9 结构分析

4.2.9.1 分析

(1) 设计分析应基于公认的静力学、动力学和材料强度原则。

(2) 可使用偏保守的简化方法或简化分析计算载荷影响。模型试验可与理论计算一起使用或代替理论计算。如果理论方法存在不足，可要求进行模型试验或全尺度试验。

(3) 确定燃料舱对动载荷的响应时，应考虑动力影响（如其可能影响结构完整性）。

4.2.9.2 载荷情景

(1) 对于应考虑的围护系统的每个位置或部分，以及应分析的每个可能的失效模式，应考虑可能同时作用的所有相关载荷组合。

(2) 应考虑建造、装卸、试验和营运期间所有相关阶段最不利的情景和条件。

(3) 当分别计算静应力和动应力时，除有其他计算方法能证明其恰当者外，总应力应按下式计算：

$$\sigma_x = \sigma_{x.st} \pm \sqrt{\sum\left(\sigma_{x.dyn}\right)^2}$$

$$\sigma_y = \sigma_{y.st} \pm \sqrt{\sum\left(\sigma_{y.dyn}\right)^2}$$

$$\sigma_z = \sigma_{z.st} \pm \sqrt{\sum \left(\sigma_{z.dyn}\right)^2}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xy.st} \pm \sqrt{\sum \left(\tau_{xy.dyn}\right)^2}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz.st} \pm \sqrt{\sum \left(\tau_{xz.dyn}\right)^2}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{yz.st} \pm \sqrt{\sum \left(\tau_{yz.dyn}\right)^2}$$

式中：$\sigma_{x.st}$、$\sigma_{y.st}$、$\sigma_{z.st}$、$\tau_{xy.st}$、$\tau_{xz.st}$和$\tau_{yz.st}$为静应力；

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

上述各值应通过加速度分量和因挠曲和扭转引起的船体应变分量分别予以确定。

4.2.10 设计条件

对于所有相关载荷情景和设计条件，设计时应考虑所有相关失效模式。设计条件见4.2.1.6，载荷情景见4.2.9.2。

4.2.10.1 极限设计条件

(1) 考虑到弹性和塑料材料特性，结构能力可通过试验或分析、简化线性弹性分析或本规范规定予以确定。

(2) 应考虑塑性变形和屈曲。

(3) 分析应基于的特征载荷值如下：

永久载荷：　　预期值

功能载荷：　　规定值

环境载荷：　　对于波浪载荷：10^8次波浪遭遇时最可能遇到的最大载荷

(4) 下列材料参数适用于极限强度评估：

① *Re*——室温下的规定最小屈服应力，N/mm^2。如在应力-应变曲线上无明显的屈服应力，则可采用0.2%验证应力。

② *Rm*——室温下的规定最小抗拉强度，N/mm^2。

对于不可避免出现低匹配焊缝的焊接接头，即焊接金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度（如铝合金焊接接头），应采用热处理后*Re*或*Rm*的相应值。在这种情况下，横向焊接抗拉强度应不小于母材的实际屈服强度。如无法做到，这类材料的焊接结构不应用于围护系统。

上述性能应与材料标定的机械性能的下限值一致，包括制造状态的焊接金属。经本社特别考虑后，可考虑提高低温下的屈服应力和抗拉强度。

(5) 等效应力σ_c（Von Mises, Huber）应按下式确定：

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

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；

τ_{yz}——*y*-*z*平面的总剪应力。

(6) 除3.3.1所涉及的材料外，任何情况下，用于材料的许用应力应得到本社认可。

(7) 根据疲劳分析、裂纹扩展分析和屈曲标准，可对应力作进一步的限制。

4.2.10.2 疲劳设计条件

(1) 疲劳设计条件是有关累积循环承载的设计条件。

(2) 如要求疲劳分析，疲劳载荷的累积效应应符合：

$$\sum \frac{n_i}{N_I} + \frac{n_{loading}}{N_{loading}} \leqslant C_w$$

式中：n_i——燃料舱的使用寿命期间每一应力水平的应力循环次数；

N_i——按照韦勒（S-N）曲线，相应的应力水平在达到断裂时的循环次数；

$n_{loading}$——燃料舱的使用寿命期间装卸循环次数，不少于1000。装卸循环包括完整的压力和热循环；

$N_{loading}$——由于装卸产生的疲劳载荷达到断裂时的循环次数；

C_w——最大允许疲劳累积损伤率。

疲劳破损应基于燃料舱的设计寿命，但不小于10^8波浪遭遇。

(3) 如要求，考虑到围护系统预期寿命期间所有疲劳载荷及其适当的组合，围护系统应进行疲劳分析。应考虑到各种加注工况。

(4) 分析中使用的设计S-N曲线应适用于材料和焊接件、结构细节、制作程序和预期的适用应力状况。S-N曲线应基于对应于至最终失效的相关实验数据的平均值减去两倍的标准差曲线的97.6%的残存概率。使用通过不同方式得到的S-N曲线需要调整4.2.10.2（12）至4.2.10.2（14）规定的可接受的C_w值。

(5) 分析应基于的特征载荷值如下：

永久载荷：　　预期值

功能载荷：　　规定值或规定的载荷历程

环境载荷：　　预期载荷历程，但不小于10^8次循环

(6) 可使用图4.2.10.2（6）所示的载荷谱评估疲劳寿命。该简化载荷谱包含8个循环载荷水平，每个循环载荷± P_i及其对应的循环次数n_i按下式计算:

$$P_i = \frac{17-2i}{16} P_0$$

$$n_i = 0.9 \times 10^i$$

式中：i——$i=1$，2，3，4，5，6，7，8。

P_0——概率水平为10^{-8}的载荷。

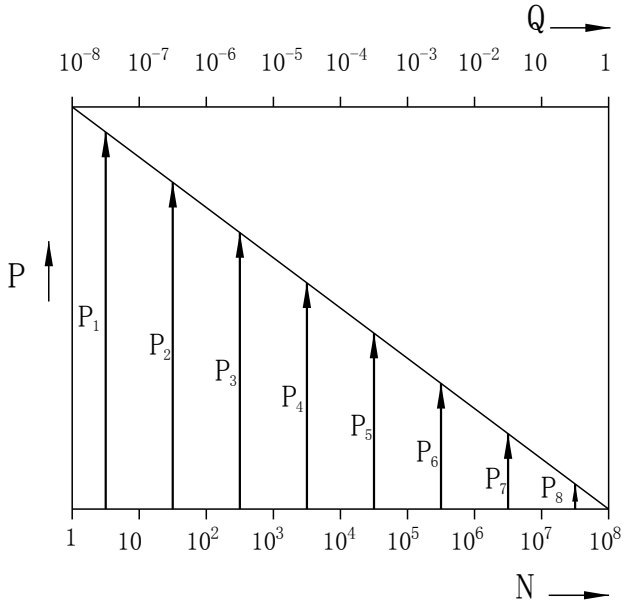


图 4.2.10.2（6） 长期分布载荷谱

如使用简化动力载荷谱评估疲劳寿命，应经本社特别考虑。

(7) 如按4.2.2.3的规定减小次屏壁的尺寸，应进行疲劳裂纹扩展的断裂力学分析以确定：

① 4.2.10.2（12）至4.2.10.2（14）所要求的结构中的裂纹扩展路径（如适用）；

② 裂纹扩展速度；

③ 裂纹扩展导致燃料舱泄漏所要求的时间；

④ 穿透裂纹的尺寸和形状；

⑤ 形成穿透裂纹后，从该裂纹可被探测，到其扩展至临界状态所需要的时间。

断裂力学通常基于试验数据的平均值加上两倍的标准差得到的裂纹扩展数据。

(8) 用于进行裂纹扩展分析和断裂力学的方法应基于公认的标准。

(9) 分析裂纹扩展时，应假定使用的检查方法不能探测到的最大初始裂纹，并考虑到适用的许用无损探伤和目视检查衡准。

(10) 在4.2.10.2（12）规定的条件下进行的裂纹扩展分析，可采用为期15天的简化载荷分布和序列。该分布可由图4.2.10.2（10）所示得到。4.2.10.2（13）和4.2.10.2（14）中更长时间的载荷分布和序列应经本社认可。

(11) 布置应符合4.2.10.2（12）至4.2.10.2（14）的要求（如适用）。

(12) 能通过泄漏探测可靠探测到的失效：

C_w应小于或等于0.5。

从探测到泄漏至达到临界状态，预计剩余失效发展时间应不少于15天，但对航行于特殊航线的船舶可实施不同的要求。

(13) 不能通过泄漏探测到但能在营运检查时可靠探测到的失效：

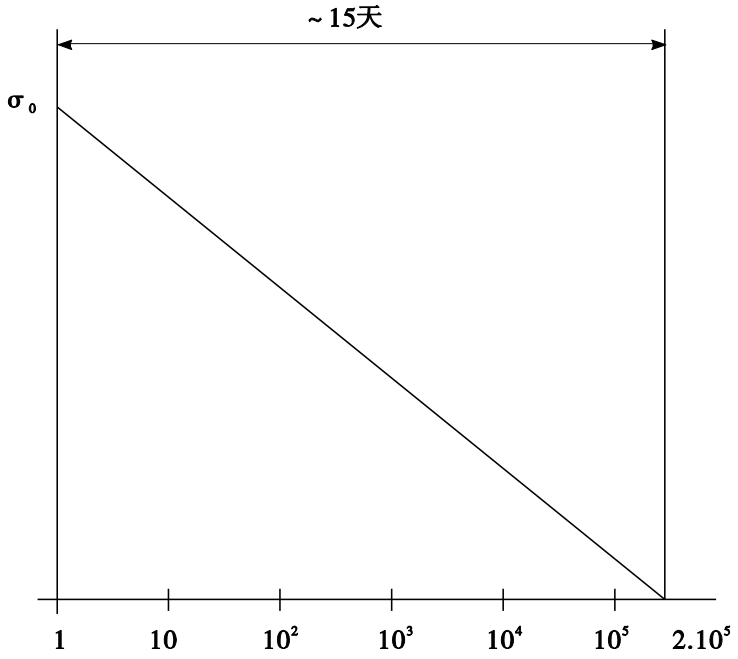
C_w应小于或等于0.5。

从营运检查方法不能探测到的最大裂纹至达到临界状态，预计剩余失效发展时间应不少于检查间隔的3倍。

(14) 在燃料舱的特定位置，如不能确保有效的缺陷或裂纹扩展探测，应至少使用下列更严格的疲劳验收衡准：

C_w应小于或等于0.1。

从假定的初始缺陷至达到临界状态，预计失效发展时间应不少于燃料舱使用寿命的3倍。



响应循环

σ_0 =船舶寿命周期内最可能的最大应力

响应循环为对数坐标；2.10^5为估计值示例。

图 4.2.10.2（10） 简化载荷分布

4.2.10.3 意外设计条件

(1) 意外设计条件是针对发生概率极低的意外载荷的设计条件。

(2) 分析应基于的特征值如下：

永久载荷： 预期值

功能载荷： 规定值

环境载荷： 规定值

意外载荷： 规定值或预期值

不需要将在4.2.7.3（3）⑧和4.2.7.5所述的载荷进行相互叠加，也不必将这些载荷与波浪引起的载荷进行叠加。

4.2.11 材料和构造

4.2.11.1 构成船舶结构的材料

(1) 为确定船体结构中使用的板和型材的等级，所有燃料舱应进行温度计算。计算时应进行下列假定：

① 应假定所有燃料舱的主屏壁处于液化气体燃料的温度；

② 除上述①外，如要求设置完整的或部分的次屏壁，还应对任一燃料舱假定其处于液化气体燃料在大气压力下的温度；

③ 对于国际航行船舶，环境温度应取空气为5℃和海水为0℃。对于航行于限制区域的船舶，本社可接受较高的温度值；反之，对于在冬季时预期会有较低温度区域航行的船舶，本社可规定较低的温度值；

④ 应假定空气和海水为静止状态，即无强制对流调节；

⑤ 应假定船舶整个寿命期间由于热和机械老化、压缩、船舶运动和燃料舱振动等因素而使绝热性能降低；

⑥ 必要时，应考虑泄漏液化气体燃料蒸发所产生的冷却效应；

⑦ 加热装置符合4.2.11.1（4）的要求时，可按照4.2.11.1（3）对船体进行加热；

⑧ 不应采用除4.2.11.1（3）外的其他加热方式；

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。

(2) 由于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的材料应符合表3.3.1.1（5）的规定。这包括支撑燃料舱的船体结构、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。

(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到低于表3.3.1.1（5）规定的材料等级的最低允许值。在进行4.2.11.1（1）要求的计算时，可按照下列原则进行加热：

① 对于任何横向船体结构；

② 如果已规定较低的环境温度，对于4.2.11.1（2）所述的纵向船体结构，但要求这些材料在不进行加热计算时也能适应于空气为5℃和海水为0℃的温度条件；

③ 作为上述②的替代，对于燃料舱之间的纵向舱壁，可进行加热，只要这些材料适应于最低设计温度-30℃，或比4.2.11.1（1）中确定的温度低30℃，取小者。在这种情况下，无论这些舱壁是否视作有效，船舶总纵强度应符合本社《钢质海船入级规范》或《钢质内河船舶建造规范》的相应要求。

(4) 4.2.11.1（3）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％的理论热需求量；

② 应将加热系统视为重要辅助设备。按照4.2.11.1（3）①设置的系统中，应至少有一个系统的所有电气部件由应急电源供电；

4.2.11.2 主屏壁和次屏壁的材料

(1) 用于建造不构成船体的主屏壁和次屏壁的金属材料应适用于其可能经受的设计载荷并符合表3.3.1.1（1）、3.3.1.1（2）或3.3.1.1（3）的规定。

(2) 考虑到可能经受的设计载荷、性能和预定的用途，主屏壁和次屏壁中使用的、但表3.3.1.1（1）、3.3.1.1（2）和3.3.1.1（3）未涉及的非金属或金属材料应经本社认可。

(3) 如果非金属材料（包括复合材料）用于或添加至主屏壁或次屏壁，其应进行下列性能试验（如适用），以确保其适合于预定的用途：

① 与液化气体燃料的相容性；

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；

⑨ 耐疲劳破坏和裂纹扩展。

(4) 如适用时，应在营运中预计出现的最高温度和低于最低设计温度5℃之间的范围内对上述性能进行测试，但不必低于-196℃。

(5) 如果非金属材料（包括复合材料）用于主屏壁和次屏壁，连接工艺也应进行上述试验。

(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，但应设置适当的系统（例如永久惰性气体环境）保护或设有耐火屏壁。

4.2.11.3 围护系统中使用的绝热层和其他材料

(1) 围护系统中使用的承重型绝热层和其他材料应适于设计载荷。

(2) 围护系统中使用的绝热层和其他材料应具有下列性能（如适用），以确保其适合于预定的用途：

① 与液化气体燃料的相容性；

② 在液化气体燃料中的可溶性；

③ 液化气体燃料的吸收作用；

④ 收缩量；

⑤ 抗老化性；

⑥ 封闭气泡含量；

⑦ 密度；

⑧ 机械性能，能经受液化气体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；

⑭ 耐疲劳破坏和裂纹扩展的性能。

(3) 如适用时，应在营运中预计出现的最高温度和低于最低设计温度5℃之间的范围内对上述性能进行测试，但不必低于-196℃。

(4) 由于所处位置或环境条件的不同，如适用时，绝热材料应具有适当的防火和阻止火焰传播

的性能，并应受到足够的保护，以防止水蒸气的渗透和机械损伤。如果绝热层位于露天甲板以上并在燃料舱罩贯穿处，其应有符合公认标准的适当的耐火性能或覆盖具有低播焰性并形成有效认可蒸气密封的材料。

(5) 未永久惰化的燃料储存处所可使用不满足公认耐火标准的绝热层，但其表面应覆盖具有低播焰性并形成有效认可蒸气密封的材料。

(6) 应在适当老化的样品上进行绝热层的热传导性试验。

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

4.2.12 建造过程

4.2.12.1 焊缝设计

(1) 对独立燃料舱壳体的所有焊接接头，均应采用全焊透型的面内对接焊。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，喷管贯穿焊缝也应设计成全焊透型。

(2) C型独立燃料舱和主要以曲面构成的B型独立燃料舱液密主屏壁的焊接接头的细节应满足以下要求：

① 所有纵向和环形接头均应为对接、全焊透、双面V型坡口或单面V型坡口形式。对于全焊透的对接焊缝，应采用双面焊或使用衬垫环。若使用衬垫环，则焊后应除去衬垫环，很小的处理用压力容器除外[10]。根据对焊接工艺认可试验的结果，亦可采用其他的坡口形式。对于C型双耳式燃料舱壳体和纵向壁板的连接，可使用全焊透T型焊接。

② 对于燃料舱本体和气室之间以及气室和有关的附件之间的连接接头的斜坡口，应按本社接受的标准进行设计。容器上连接喷管、气室或其他贯通件的焊缝以及法兰与容器或喷管连接的所有焊缝均应为全焊透型焊缝。

4.2.12.2 粘合和其他连接工艺的设计

(1) 粘合（或用除焊接外的一些其他工艺连接）接头的设计应考虑连接工艺的强度特征。

4.2.13 A 型独立燃料舱

4.2.13.1 设计依据

(1) A型独立燃料舱系指按照公认标准，采用传统的船舶结构分析程序进行设计的燃料舱。如果这种燃料舱主要是由平面构成，则其设计蒸气压力P_0应小于0.07 MPa。

(2) 应按照4.2.3的要求设计完整的次屏壁。

4.2.13.2 结构分析

(1) 结构分析时，应对4.2.7.3（3）①所述的内部压力，燃料舱与支撑系统、键固系统以及船体的适当部分间的相互作用载荷进行考虑。

(2) 对于本规范要求未涉及的某些部件，如支撑结构，在尽可能计及4.2.7.2至4.2.7.5所述的载荷

10 对于未开设人孔的真空绝热型燃料舱，其纵向和环向焊缝则应满足上述要求，但外壳合拢焊缝除外，其可采用带衬垫环的单面焊。

和支撑结构处的船舶变形后，应采用直接计算法确定其应力。

(3) 应将具有支撑构件的燃料舱设计成能承受4.2.7.5规定的意外载荷。无需将这些载荷进行相互间的叠加，也不必将这些载荷与环境载荷进行叠加。

4.2.13.3 极限设计条件

(1) 对于由平面构成主要结构的燃料舱，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，如按经典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，应不超过R_m/2.66或R_e/1.33的较小值，其中，R_m和R_e见4.2.10.1（4）的定义。如对主要构件进行了详细计算，等效应力σ_c可超过上述数值，增加到本社接受的应力值；计算时应考虑到弯曲、剪切、轴向和扭转变形，以及由于双层底和燃料舱底的变形而引起的船体和燃料舱的相互作用力的影响。

(2) 燃料舱限界面的结构尺寸至少应满足本社对深舱的要求，并考虑到4.2.7.3（3）①规定的内部压力和4.2.1.7要求的任何腐蚀裕量。

(3) 燃料舱结构应检查是否存在潜在的屈曲。

4.2.13.4 意外设计条件

(1) 燃料舱和燃料舱支撑构件应设计成能承受4.2.7.5和4.2.1.6（3）规定的相关意外载荷和设计条件。

(2) 经受4.2.7.5规定的意外载荷时，考虑到其较低的发生概率，应力应符合经修订的4.2.13.3规定的验收衡准。

4.2.14 B型独立燃料舱

4.2.14.1 设计依据

(1) B型独立燃料舱系指采用模型试验、精确分析手段和分析方法确定应力水平、疲劳寿命和裂纹扩展特性进行设计的燃料舱。如果这类燃料舱主要由平面构成（棱形燃料舱），则其设计蒸气压力P_0应小于0.07 MPa。

(2) 应设置具有小量泄漏保护系统的部分次屏壁。小量泄漏保护系统应按照4.2.3设计。

4.2.14.2 结构分析

(1) 在确定结构对下列情况的适应性时，应考虑所有动、静载荷的影响：

① 塑性变形；

② 屈曲；

③ 疲劳破坏；

④ 裂纹扩展。

(2) 应进行有限元分析或类似方法的分析和断裂力学分析或其他等效的分析。

(3) 应采用三维分析法评估应力水平，包括与船体的相互作用。该分析模型应包括燃料舱及其支撑系统和键固系统以及船体的适当部分。

(4) 对在不规则波浪中的特定船舶加速度和运动以及船舶及其燃料舱对这些力和运动的响应均应进行完整的分析，除非这些数据可从类似的船舶中获得。

4.2.14.3 极限设计条件

(1) 对于由回转体构成主要结构的B型独立燃料舱，其许用应力应满足：

$\sigma_m \leqslant f$

$\sigma_L \leqslant 1.5f$

$\sigma_b \leqslant 1.5F$

$\sigma_L + \sigma_b \leqslant 1.5F$

$\sigma_m + \sigma_b \leqslant 1.5F$

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

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

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；

F——R_m/C或R_e/D，取其小者

R_m 和R_e定义同前。σ_m、σ_L、σ_b和σ_g参见4.2.14.7中应力分类的定义。

(2) 对于A和B值，至少应为下表中所列的最小值：

表4.2.14.3（2）

	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

(3) 考虑到主管机关接受的设计条件，上述数字可进行修正。

(4) 对于主要由平面构成的B型独立燃料舱，用于有限元分析的许用膜等效应力应不超过：

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；

③ 对于铝合金，R_m /2.5或R_e/1.2，取其小者。

(5) 考虑到应力位置、应力分析方法和主管机关接受的设计条件，上述数字可经修正。

(6) 壳板的厚度和扶强材的尺寸应不小于对A型独立燃料舱的要求。

(7) 承受外部压力和引起压缩应力的其他载荷的燃料舱应按照公认标准进行屈曲强度分析。分析方法应充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间的差别；此差别是由于板边不对中、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。

4.2.14.4 疲劳设计条件

(1) 应按照4.2.10.2进行疲劳和裂纹扩展评估。根据缺陷的可探测性，验收衡准应符合4.2.10.2（12）、4.2.10.2（13）或4.2.10.2（14）的要求。

(2) 疲劳分析应考虑建造公差。

(3) 本社认为必要时，可要求进行模型试验，以确定应力集中系数和结构单元的疲劳寿命。

4.2.14.5 意外设计条件

(1) 燃料舱和燃料舱支撑构件应设计成能承受4.2.7.5和4.2.1.6（3）规定的适用意外载荷和设计条件。

(2) 经受4.2.7.5规定的意外载荷时，考虑到其较低的发生概率，应力应符合经修订的4.2.14.3规定的验收衡准。

4.2.14.6 标记

对压力容器进行任何标记时，所用的方法应不致于使其产生不可接受的局部应力的升高。

4.2.14.7 应力分类

(1) 就应力评估而言，本节对应力分类定义如下：

① 正应力系指垂直于基准平面的应力分量。

② 膜应力系指在考虑的截面厚度范围内，均匀分布且等于应力平均值的正应力的分量。

③ 弯曲应力系指在所考虑的截面厚度范围内，减去膜应力后的变应力。

④ 剪切应力系指作用在基准平面内的应力分量。

⑤ 主应力系指由施加的载荷所产生的应力，它必需与外力和外力矩相平衡。主应力的基本特性系呈非自限性。明显超过屈服强度的主应力将导致构件破坏或至少出现严重变形。

⑥ 总体主膜应力系指这样一种主膜应力，即当结构发生屈服时，在结构中分布的主膜应力不会导致载荷的重新分布。

⑦ 局部主膜应力系指由于压力或其他机械载荷及有关的初始的或不连续的效应所形成的膜应力的载荷的传递中对结构的其他部位所产生的过度变形而引起的应力。这种应力虽具有二阶应力的特性，但仍应将其归类于局部主膜应力。如果满足下列条件，则可视为局部应力区域：

$$S_1 \leqslant 0.5\sqrt{Rt}\text{；和}$$

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

式中：S_1——在子午线方向内，等效应力超过 $1.1f$ 的距离；

S_2——在子午线方向内，到超过总体主膜应力极限的另一区域的距离；

R——容器的平均半径；

t——超过总体主膜应力极限处的容器壁厚；

f——许用总体主膜应力。

⑧ 二阶应力系指由相邻部件的约束或由结构自身约束产生的正应力或剪应力。二阶应力的基本特性系呈自限性。导致产生这种应力的条件是局部屈服和较小的变形。

4.2.15 C型独立燃料舱

4.2.15.1 设计依据

(1) C型独立燃料舱应依据包含断裂力学和裂纹扩展衡准的压力容器标准进行设计。4.2.15.1（2）规定的最小设计压力旨在确保动应力足够低，使得在燃料舱使用寿命期间，初始表面裂纹的扩展不会超过壳体厚度的一半。

(2) 设计蒸气压力应不小于：

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

式中：

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

其中：σ_m——设计主膜应力；

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

对于铁素体-珠光体、马氏体和奥氏体钢：$\Delta\sigma_A$ =55 N/mm^2；

对于铝合金（5083-O）：$\Delta\sigma_A$ =25 N/mm^2；

C——燃料舱的特性尺度，取下列各值中的最大者：

h，0.75b 或 0.45l

其中：h——燃料舱高度（沿船舶的垂向量取），m；

b——燃料舱宽度（沿船舶的横向量取），m；

l——燃料舱长度（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：ρ_r = 1）

4.2.15.2 壳体厚度

(1) 壳体厚度应符合下列要求：

① 按4.2.15.2（4）计算得到的压力容器的壳体厚度应视为没有任何负公差的加工成形后的最小厚度。

② 加工成形后的压力容器的壳体和封头的最小厚度（包括腐蚀裕量）应为：

对于碳锰钢和镍钢，应不小于5 mm；

对于奥氏体钢，应不小于3 mm；

对于铝合金，应不小于7 mm。

③ 当进行13.3.6.4所述的检验和无损探伤时，按4.2.15.2（4）进行的计算中所用的焊接有效系数应为0.95。若考虑了其他因素，诸如所使用的材料、接头型式、焊接方法以及载荷类型等，则焊接有效系数可以增大到1.0。对于处理用压力容器，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13.3.6.4规定的局部无损探伤，但在这种情况下，所采用的焊接有效系数应不大于0.85。对于特殊材料，根据焊接接头的标定机械性能，上述系数应减小。

(2) 在内部压力计算中应考虑4.2.7.3（4）所定义的设计液体压力。

(3) 用于验证压力容器屈曲的设计外部压力P_e 应不小于按下式计算所得值：

$$P_e = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad \text{MPa}$$

式中：P_1——真空释放阀的调定压力，对未配备真空释放阀的容器，应予特别考虑，但一般应取不小于0.025 MPa；

P_2——安放压力容器或压力容器部件的全封闭处所的压力释放阀（PRVs）的调定压力；对其他处所，P_2 = 0；

P_3——由于绝热层的重量和收缩、壳体重量（包括腐蚀裕量）以及压力容器可能承受的其他外

部载荷所引起的作用在壳体中或壳体上的压力。这些压力还包括（但不限于）气室、塔架和管路的重量、部分加注工况下的燃料的作用、加速度和船体变形所引起的压力。此外，还应考虑外部压力或内部压力或两者的局部作用；

P_4——由水压头引起的作用于露天甲板上的压力容器或压力容器部件的外部压力；对其他处所， $P_4 = 0$。

(4) 对于燃料舱的结构尺寸，应确定承受4.2.7.3（3）①定义的内部压力的压力容器的受压部件的厚度和形状，包括法兰在内。在所有情况下，应根据公认的压力容器设计原理进行这些计算。对于压力容器中的受压部件的开口，应按公认标准予以加强。

(5) 对于静、动载荷的应力分析，应按下述规定进行：

(a) 对于压力容器的结构尺寸，应按4.2.15.2（1）至4.2.15.2（4）和4.2.15.3的规定予以确定。

(b) 应对支撑构件及其壳体连接件处的载荷和应力进行计算。如适用时，应采用4.2.7.2至4.2.7.5所述的载荷。在特殊情况下，本社可要求进行疲劳分析。

(c) 应特别考虑二阶应力和热应力。

4.2.15.3 极限设计条件

(1) 对于C型独立燃料舱，其许用应力应不超过：

$$\sigma_m \leqslant f$$

$$\sigma_L \leqslant 1.5f$$

$$\sigma_b \leqslant 1.5f$$

$$\sigma_L+\sigma_b \leqslant 1.5f$$

$$\sigma_m+\sigma_b \leqslant 1.5f$$

$$\sigma_m+\sigma_b+\sigma_g \leqslant 3.0f$$

$$\sigma_L+\sigma_b+\sigma_g \leqslant 3.0f$$

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。

R_m 和R_e定义同前。σ_m、σ_L、σ_g和σ_b应力分类的定义同前。A和B值至少应为下表中所列的最小值。

表4.2.15.3（1）

	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

(2) 对于承受外部压力和引起压缩应力的其他载荷的压力容器，其厚度和形状应基于使用公认的压力容器屈曲理论进行的计算，并应充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间的差别；此差别是由于板边不对中、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。

4.2.15.4 疲劳设计条件

(1) 对于C型独立燃料舱，本社可根据燃料舱尺寸、形状及其支撑构件和附件的布置，要求附加验证以核查其是否符合4.2.15.1（1）关于静应力和动应力的要求。

(2) 对于真空绝热型燃料舱，应特别注意其支撑设计的疲劳强度，还应特别考虑对其内外壳间进行检验的局限性。

4.2.15.5 意外设计条件

(1) 燃料舱和燃料舱支撑构件应设计成能承受4.2.7.5和4.2.1.6（3）规定的适用意外载荷和设计条件。

(2) 经受4.2.7.5规定的意外载荷时，考虑到其较低的发生概率，应力应符合经修订的4.2.15.3（1）规定的验收衡准。

4.2.15.6 标记

对压力容器进行标记时，所用的方法应不致于使其产生不能接受的局部应力的升高。

4.2.16 薄膜燃料舱

4.2.16.1 设计依据

① 薄膜围护系统的设计依据为使热膨胀和其他膨胀或收缩得到补偿，以免出现丧失薄膜密性的不当风险。

② 应采用基于分析和试验的系统方法，以证明系统在4.2.16.2（1）规定的潜在事件的情况下，可提供预期功能。

③ 应设置完整的次屏壁。次屏壁应按照4.2.3进行设计。

④ 设计蒸气压力P_0通常应不超过0.025 MPa。如果船体构件尺寸相应加大并适当考虑支撑绝热层的强度，P_0亦可相应增加到一较高值，但应小于0.07 MPa。

⑤ 薄膜燃料舱的定义并不排除设计非金属薄膜或其薄膜被包括或被合并在绝热层中的燃料舱。

⑥ 薄膜厚度一般应不超过10 mm。

⑦ 按照4.8.2，惰性气体在主要绝热处所和次要绝热处所中的循环应足以允许进行有效的气体探测。

4.2.16.2 设计考虑

(1) 应评估能在薄膜寿命期间导致丧失液密的潜在事件。这些包括但不限于：

① 极限设计事件：

(a) 薄膜的拉力失效；

(b) 绝热层的压缩破坏；

(c) 热老化；

(d) 绝热层和船体结构之间丧失连接；

(e) 薄膜与绝热系统丧失连接；

(f) 内部结构及其支撑结构的结构完整性；和

(g) 支撑船体结构的破损。

② 疲劳设计事件：

(a) 薄膜疲劳，包括船体结构的接头和附件；

(b) 绝热层的疲劳裂纹；

(c) 内部结构及其支撑结构的疲劳；和

(d) 导致压载水进入的内壳的疲劳裂纹。

③ 意外设计事件：

(a) 意外机械破损（例如营运时燃料舱内掉落的物体）；

(b) 绝热处所的意外过压；

(c) 燃料舱的意外真空；和

(d) 内壳结构进水。

(2) 不接受会导致2个薄膜同时或级联失效的单个内部事件的设计。

(3) 按照4.2.16.1②进行设计时，应确定建造围护系统时使用的材料的物理性能（机械的、热的、化学的等）。

4.2.16.3 载荷和载荷组合

对于因屏壁间处所的超压、燃料舱可能出现真空、液体晃荡的影响、船体振动的影响或这些事件的组合而可能造成燃料舱完整性的丧失，应予以特别注意。

4.2.16.4 结构分析

(1) 应进行为确定极限强度而进行的围护和4.2.5定义的相关结构和设备的结构分析和/或试验以及疲劳评估。结构分析应提供评估已确定对围护系统而言关键的每个失效模式所要求的数据。

(2) 船体结构分析应计及4.2.7.3（3）①所述的内部压力。应特别注意船体的变形以及船体与薄膜和船体与其相关的绝热层的相容性。

(3) 4.2.16.4（1）和4.2.16.4（2）所述的分析应基于船舶和围护系统特有的运动、加速度和响应。

4.2.16.5 极限设计条件

(1) 应按照4.2.16.1②确定在营运条件下各关键部件、子系统或组件的结构抗力。

(2) 围护系统、船体结构附件和内部燃料舱结构的失效模式的强度验收衡准的选择应反映与所考虑的失效模式相关的结果。

(3) 内壳尺寸应满足深舱的要求，并考虑到4.2.7.3（3）①所述的内部压力和4.2.7.4（3）规定的晃荡载荷的适当要求。

4.2.16.6 疲劳设计条件

(1) 如果连续监测不能可靠地探测到失效发展，燃料舱内的结构（即泵塔）以及部分薄膜和泵塔附件应进行疲劳分析。

(2) 应根据下列相关要求，按照4.2.10.2进行疲劳计算。

① 结构部件关于结构完整性的重要性；

② 检查的有效性。

(3) 对于可经试验和/或分析证明裂纹不会导致2个薄膜同时或级联失效的结构单元，C_w应小于或等于0.5。

(4) 如果未被注意的疲劳裂纹会造成2个薄膜同时或级联失效，经定期检查的结构单元应满足4.2.10.2（13）所述的疲劳和断裂力学要求。

(5) 如果疲劳裂纹会在无预兆的情况下造成2个薄膜同时或级联失效，不能进行营运检查的结构单元应满足4.2.10.2（14）所述的疲劳和断裂力学要求。

4.2.16.7 意外设计条件

(1) 围护系统和支撑船体结构应设计成能承受4.2.7.5规定的意外载荷。无需将这些载荷进行相互叠加，也不必将这些载荷与环境载荷进行叠加。

(2) 应基于风险评估确定附加的相关意外情景。应特别考虑燃料舱内的系固设备。

4.2.17 新颖概念的极限状态设计

4.2.17.1 不能按照4.2.13至4.2.16进行设计的新颖形状的燃料围护系统应按照本节以及4.2.1至4.2.12的适用规定进行设计。按照本节进行的燃料围护系统的设计应基于极限状态设计的原则，该结构设计方法可用于确定设计解决方案和新颖设计。此种更通用的方法所保持的安全水平与按照4.2.13至4.2.16进行设计的已知围护系统达到的安全水平类似。

4.2.17.2 极限状态设计是一种系统方法，其对每个结构单元进行与4.2.1.6所确定的设计条件相关的可能的失效模式评估。极限状态可定义为超出后结构或部分结构不再满足要求的状态。

4.2.17.3 对于每个失效模式，一个或多个极限状态可能与之相关。考虑到所有相关极限状态，结构单元的极限载荷为所有相关极限状态产生的最小极限载荷。极限状态分为以下3类：

(1) 承载能力极限状态（ULS），指完整（无破损）条件下，相应于最大载荷承受能力的极限状态，或在某些情况下，相应于最大适用应变或变形的极限状态；

(2) 疲劳极限状态（FLS），指由于时变（交变）载荷而引起的失效；

(3) 事故极限状态（ALS），指结构抵抗事故情况的能力。

4.2.17.4 极限状态设计的程序和相关设计参数应符合附录2所载的新颖形状的燃料围护系统设计中极限状态方法的使用标准（LSD标准）。

第 3 节 可移式液化气体燃料罐

4.3.1 一般规定

4.3.1.1 燃料罐的设计应符合4.2.15的规定。燃料罐支撑构件（罐箱框架或卡车底盘）的设计应满足其预定的用途。

4.3.1.2 可移式燃料罐应布置在指定区域内，该区域应：

(1) 根据燃料罐的布置位置和货物操作设置机械防护；

(2) 如燃料罐布置在开敞甲板上，设置用于冷却的泄漏保护和水雾系统；

(3) 如燃料罐布置在围蔽处所内，该处所应视为燃料舱接头处所。

4.3.1.3 可移式燃料罐与船舶系统连接时，其应固定在甲板上。燃料罐支撑和固定装置应根据最大预期静态和动态倾角以及最大加速度预期值进行设计，并考虑船舶特性和燃料罐位置。

4.3.1.4 应对可移式燃料罐的强度及其对船舶稳性的影响予以考虑。

4.3.1.5 连接至船舶燃料管系的连接管应使用经认可的软管或其他设计为具有足够柔性的合适设备。

4.3.1.6 应提供在非固定式连接管意外断开或破裂时可限制燃料泄漏量的装置。

4.3.1.7 可移式燃料罐的压力释放系统应与固定式透气系统连接。

4.3.1.8 可移式燃料罐的控制和监测系统应集成到船舶的控制和监测系统中。可移式燃料罐的安全系统应集成到船舶的安全系统中（例如，燃料罐阀件关闭系统、泄漏/气体探测系统）。

4.3.1.9 应确保设有供燃料舱连接管进行检验和维护的安全通道。

4.3.1.10 与船舶燃料管系连接后，应符合下列要求：

(1) 除4.3.1.7规定的压力释放系统外，每一可移式燃料罐均应能在任何时候予以隔离；

(2) 任一燃料罐被隔离应不会影响其他燃料罐的可用性；

(3) 燃料罐不应超过本章第6节规定的装载极限。

4.3.1.11 可移式燃料罐如使用LNG罐式集装箱，还应满足下列要求：

(1) LNG罐式集装箱的设计、构造和试验等，应满足本社《集装箱检验规范》及本社接受的公认标准[11]的相关要求。

(2) LNG罐式集装箱如采用堆码方式布置，应对所有可能影响其安全使用的风险进行风险评估，相关风险评估报告应经本社认可。

第 4 节 CNG 燃料围护系统

4.4.1 一般规定

4.4.1.1 用以储存CNG的燃料舱应经本社批准和认可。

4.4.1.2 CNG燃料舱应安装调定值低于燃料舱设计压力，且出口位置满足4.5.2.7和4.5.2.8要求的压力释放阀。

4.4.1.3 在发生影响燃料舱的火灾时，应有足够的设施对燃料舱进行减压。

4.4.1.4 CNG通常不应储存在围蔽处所内，但在满足4.1.3.4、4.1.3.7、4.1.3.8及下列要求的前提下，经本社特别考虑并认可后可储存在围蔽处所内。

(1) 在发生影响燃料舱的火灾时，应有适当的措施降低燃料舱的压力并将其惰化；

(2) 除非舱壁设计成能够承受气体膨胀泄漏时会达到的最低温度，否则储存CNG的围蔽处所的所有表面应针对任何泄漏的高压气体和随之带来的冷凝采取适当的隔热保护措施。

(3) 储存CNG的围蔽处所应安装一个固定式灭火系统。应对喷射火灭火予以特别考虑。

第 5 节 压力释放系统

4.5.1 一般规定

4.5.1.1 所有燃料舱均应具有与燃料围护系统的设计及其所装载的燃料相适应的压力释放系统。

11 如 JB/T 4784：低温液体罐式集装箱和《国际海运危险货物规则》等。

对于所承受的压力可能超过其设计能力的燃料舱处所、屏壁间处所、燃料舱接头处所和隔离舱，也应具有合适的压力释放系统。

4.5.1.2 燃料舱压力释放系统应独立于本章第7节规定的压力控制系统和其他功能管系。

4.5.1.3 燃料舱可能承受超过其设计压力的外压时，应设置真空保护系统。

4.5.2 LNG 燃料舱的压力释放系统

4.5.2.1 如燃料泄漏至真空绝热型燃料舱真空层内的可能性不能被排除，则真空层应由压力释放装置予以保护，且应满足如下要求：

（1）如燃料舱位于甲板以下，该压力释放装置还应连接至透气系统；

（2）如燃料舱位于开敞甲板，对于外壳尺寸未超过40英尺集装箱框架范围的燃料舱，如其释放的气体不会进入安全区域，则主管机关可以接受气体直接从开敞甲板排放至大气中。

4.5.2.2 燃料舱应至少设置2个/组压力释放阀（PRVs），其中一个／组压力释放阀可在发生故障或泄漏时断开。

4.5.2.3 屏壁间处所应设有压力释放装置。对于薄膜系统，设计方应证明屏壁间处所压力释放阀具有足够的尺寸。

4.5.2.4 压力释放阀的调定压力应不高于设计该燃料舱时所采用的最大蒸气压力。具有不超过总释放能力50%的阀，可调至MARVS以上5%的压力，以允许后续的开启，尽量减少不必要的蒸气释放。

4.5.2.5 下列温度要求适用于安装在压力释放系统上的压力释放阀：

(1) 设计温度低于0℃的燃料舱上的压力释放阀，其设计和布置应能防止由于结冰而造成阀失灵；

(2) 对于压力释放阀的结构和布置，应考虑由于环境温度结冰带来的影响；

(3) 压力释放阀应由熔点高于925℃的材料构成。如不会影响压力释放阀的故障安全操作，则其内部结构和密封件可使用低熔点材料；

(4) 先导式压力释放阀上的感应管道和排放管应足够坚固以防止破损。

4.5.2.6 当燃料舱的一个压力释放阀发生故障时，应有紧急隔离安全装置，且满足下列要求：

(1) 应有隔离程序并包括在操作手册中；

(2) 隔离程序应设计成只对一个压力释放阀进行隔离，为此应设置物理互锁；

(3) 压力释放阀的隔离应在船长的监督下进行。该行动应记录在船舶航行日志内和压力释放阀旁。

4.5.2.7 安装在燃料舱上的每个压力释放阀应与透气系统相连接，且满足下列要求：

(1) 此系统的构造应能使气体排放不受阻碍且通常垂直引向上方出口；

(2) 布置成能使水或雪进入透气系统的可能性减少至最低限度；

(3) 透气管出口的高度应高出露天甲板通常不小于*B*/3或6 m，取其大者，并高出工作区域和走道6 m。

对于内河船舶，如布置困难，经评估，透气管出口应高出露天甲板及其所在位置的工作区域和步道（如适用）3m。

4.5.2.8 压力释放阀的透气出口通常应位于距离下列位置至少10m处：

(1) 最近的通向起居处所、服务处所和控制站或其他非危险区域的空气进口、出口或开口；

(2) 最近的机器设备的废气出口。

对于内河船舶，如布置困难，经评估，上述距离可由10m降至5m。

4.5.2.9 所有其他燃料透气管的出口布置亦应满足4.5.2.7和4.5.2.8的规定。应设有防止由于相连处所的静水压力造成液体从透气管桅出口溢流的装置。

4.5.2.10 在透气管系中，应设有能从可积聚液体的地方排放液体的装置。应将压力释放阀和管路布置成在任何情况下不会使液体积聚在压力释放阀内或其附近。

4.5.2.11 在透气管出口端，应装设方形网孔不大于13 mm的防护网以防异物进入，且不会对流量造成不利影响。

4.5.2.12 所有透气管路的设计和布置应不会因其受到温度的变化、流产生的力或船体的运动而致其损坏。

4.5.2.13 应将压力释放阀连接至燃料舱最高部分。压力释放阀在燃料舱上的位置应使得充装极限（FL）下，当船舶处于横倾15°和纵倾0.015L（L为船长）的情况下，压力释放阀仍保持处于气相空间内。

4.5.3 压力释放系统的排量

4.5.3.1 压力释放阀的排量

(1) 每个燃料舱的压力释放阀应具有一个总的排放量，以便能排放下列情况中较大数量的蒸气，使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％。

① 如果燃料舱惰化系统的最大工作压力超过燃料舱的MARVS，则取燃料舱惰化系统的最大排量；

② 用下式算得的在火灾环境下的蒸气生成量：

$$Q = FGA^{0.82} \quad m^3/s$$

式中：*Q*——在 273.15 K 和 0.1013 MPa 的标准状态下所要求的空气最小排放率；

F——用于不同类型燃料舱的火灾环境影响系数：

F=1.0，对于甲板上无绝热层的燃料舱；

F=0.5，对于甲板以上其绝热层经本社认可的燃料舱（根据所使用的防火材料、绝热层的热传导性能及其在火灾波及时的稳定性进行此项认可）；

F=0.5，对于安装在燃料舱处所内非绝热的独立燃料舱；

F=0.2，对于安装在燃料舱处所内绝热的独立燃料舱（或安装在绝热燃料舱处所内的非绝热独立燃料舱）；

F=0.1，对于惰化燃料舱处所内的绝热独立燃料舱（或惰化、绝热燃料舱处所内绝热独立燃料舱）；

F=0.1，对于薄膜燃料舱。

对于部分突出于露天甲板上的独立燃料舱的火灾环境影响系数，应根据甲板上、下部分的表面积予以确定。

G——气体系数，按下式计算：

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

式中：*T*——在释放状态下的绝对温度（K），即在 120％的释放阀调定压力下的温度；

L——在释放状态下，物质被气化时的潜热，kJ／kg；

D——根据比热 *k* 决定的常数，按下式计算：

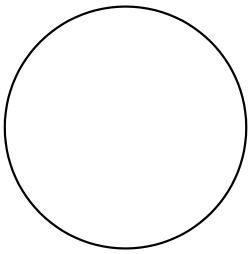
$$D=\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

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，应取 *D* = 0.606；

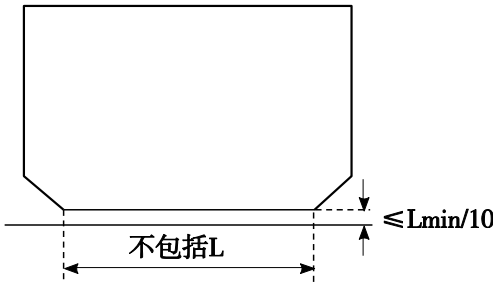
Z——在释放状态下，气体的压缩系数；如此系数为未知数，则取 *Z* =1.0；

M——燃料分子量。

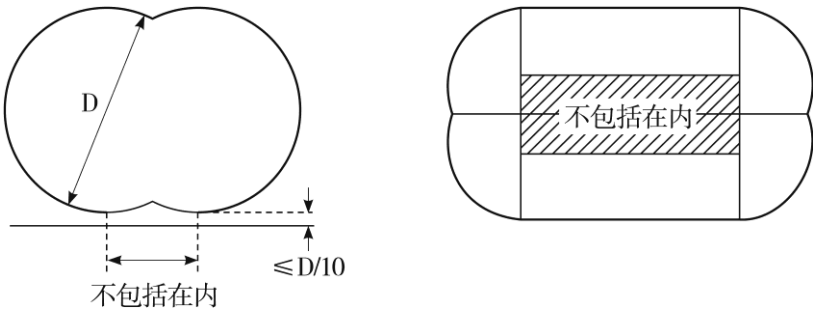
A——燃料舱外表面面积，m^2。对于不同类型的燃料舱，如图4.5.3.1（1）所示。



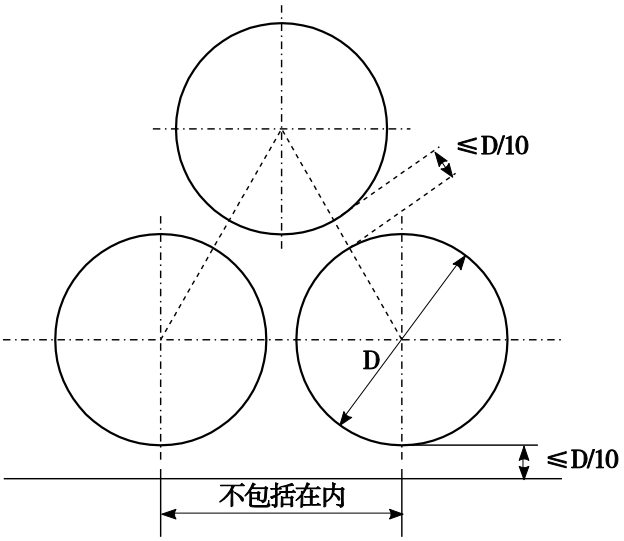
具有球形、半球或半椭圆形封头的圆柱形燃料舱或球形燃料舱



棱形燃料舱



双耳式燃料舱



水平圆柱形燃料舱布置

图 4.5.3.1（1）

③ 对于安装在燃料舱处所内的真空绝缘燃料舱，和安装在燃料舱处所内、通过隔离空舱与潜在火载荷进行隔离或被无火载荷的船舶处所围隔的燃料舱，应符合下列要求：

如压力释放阀的排量须根据火载荷确定，则相应的火灾环境影响系数 F 可减小至下列数值：

F=0.5 减至 F=0.25

F=0.2 减至 F=0.1

最小火灾环境影响系数为F=0.1。

④ 释放状态下要求的空气质量流由下式求得：

$$M_{\text{air}} = Q \cdot \rho_{air} \qquad \text{kg/s}$$

式中：ρ_{air}——空气密度，ρ_{air}=1.293 kg/m^3（在273.15 K、0.1013 MPa时的空气）。

4.5.3.2 透气管系统排量

(1) 确定压力释放阀的排量时，应考虑压力释放阀上游和下游的压力损失以确保4.5.3.1要求的流量。

(2) 上游压力损失

① 透气管路中从燃料舱到压力释放阀入口处的压降，在按4.5.3.1确定的计算流量下，应不超过压力释放阀调定压力的3%；

② 如先导式压力释放阀的感应管道直接引自燃料舱气室，则该压力释放阀应不受进入管压力损失的影响；

③ 对于流动式感应管道，应考虑远程感应管道中的压力损失。

(3) 下游压力损失

① 如设有共用透气总管和透气管桅，计算应包括所有相关压力释放阀的流量。

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，包括任何透气管与其他燃料舱之

间的互连，应不超过下列值：

(a) 对非平衡压力释放阀： MARVS的10%；

(b) 对平衡压力释放阀： MARVS的30%；

(c) 对先导式压力释放阀： MARVS的50%。

可接受压力释放阀制造商提供的替代值。

(4) 为确保压力释放阀的稳定运作，其回座压力应不少于进口压力损失和额定排量时0.02倍MARVS的总和。

第 6 节 燃料舱装载极限

4.6.1 一般要求

4.6.1.1 LNG燃料舱在实际装载温度下的装载极限不应超过下式计算值：

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

式中：LL——装载极限，定义见1.1.2.31，用百分数表示；

FL——充装极限，定义见1.1.2.18，用百分数表示，此处为98%；

ρ_R——在基准温度下燃料的相对密度；

ρ_L——在装载温度下燃料的相对密度。

4.6.1.2 如燃料舱的绝热和位置使得外部失火导致舱内液化气被加热的概率极小，则经本社特别考虑后可允许装载极限大于使用基准温度计算得出的值，但不得超过95%。此规定同样适用于安装了第二套压力维持系统的情况（参见本章第7节）。但是，如压力仅由用气设备维持/控制，则应使用按4.6.1.1计算所得的装载极限。

第 7 节 燃料储存状态的维持

4.7.1 燃料舱压力和温度控制

4.7.1.1 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燃料舱外，燃料舱的压力和温度应通过本社接受的方法保持在设计范围内，例如下列方法中的一种：

(1) 蒸气的再液化；

(2) 蒸气的热氧化；

(3) 压力积聚；

(4) 液化气体燃料冷却。

所选择的方法应能使燃料舱的压力在燃料舱压力释放阀的设定压力以下维持15天，并假定在正常工作压力下和船舶怠速工况下（即仅提供生活负载用电）燃料舱处于满载状态。

4.7.1.2 除紧急情况外，不应排放燃料蒸气以保持燃料舱的压力。

4.7.2 系统设计

4.7.2.1 对于国际航行船舶，其最高的环境设计温度应为海水32℃、空气45℃。对于在特热或特冷区域营运的船舶，这些设计温度应进行适当的增减并得到本社认可。

4.7.2.2 系统的总容量应使其在不向大气排放的情况下将压力控制在设计条件内。

4.7.3 再液化系统

4.7.3.1 再液化系统应按照4.7.3.2进行设计和计算。再液化系统还应在不消耗或低消耗情况下具有足够的容量。

4.7.3.2 应按下列方式之一对再液化系统进行布置：

(1) 直接冷却系统：对气化的燃料进行压缩、冷凝并将其输回至燃料舱；

(2) 间接冷却系统：用制冷剂对燃料或气化的燃料进行冷却或冷凝，而不对其进行压缩；

(3) 混合系统：将气化的燃料压缩后，在燃料／制冷剂的热交换器中加以冷凝，然后再将其输回至燃料舱；

4.7.3.3 如果在压力控制操作期间并在设计条件范围内，再液化系统产生包含甲烷的废气，这些废气尽实际可行在不向大气排放的情况下进行处理。

4.7.4 热氧化系统

4.7.4.1 热氧化可按照本规范对用气设备的规定以蒸气消耗的方式进行，也可在专用的气体燃耗装置（GCU）内进行。应证明热氧化系统的容量足够消耗所要求的蒸气量。在此情况下，应考虑船舶的减速航行时间和/或无因推进产生的消耗或其他营运状态。

4.7.5 相容性

4.7.5.1 用于燃料再液化或冷却的制冷剂或助剂应与其相接触的燃料相容（不会引起有害反应或产生过度腐蚀性物质）。此外，在使用多种制冷剂或助剂时，其应彼此相容。

4.7.6 系统可用性

4.7.6.1 系统及其配套辅助设施的可用性应使得当机械非静止部件或控制系统部件发生单一故障时，燃料舱的压力和温度可通过另一设施/系统予以维持。

4.7.6.2 用于燃料舱的压力和温度保持在其设计范围内的热交换器，应有备用热交换器。如果热交换器换热能力比压力控制所需最大换热能力大25%，并能在无外部帮助的条件下在船上进行修理，则可免设备用热交换器。

第8节 燃料围护系统内的环境控制

4.8.1 一般要求

4.8.1.1 应设有一个管路系统，以便能对每个燃料舱安全地除气以及在除气后的状态下安全加注

燃料。应将系统布置成能在气体环境改变后使气体或空气存留死角的可能性降至最低。

4.8.1.2 系统应设计成在利用惰性介质改变燃料舱气体环境的整个过程中，确保燃料舱内不会存在易燃气体混合物。

4.8.1.3 每个燃料舱均应设置采样点，以监测气体环境改变的进程。

4.8.1.4 用于燃料舱除气的惰性气体可由船外供给。

4.8.2 燃料舱处所（除C型独立燃料舱以外的燃料围护系统）内的环境控制

4.8.2.1 对于要求全部或部分设置次屏壁的燃料围护系统的屏壁间处所和燃料舱处所，均应使用适当的干燥惰性气体进行惰化，并用船上惰性气体发生系统或用船上储存的惰性气体提供补充的惰性气体以保持惰化。船上储存的惰性气体应至少能满足30天的正常消耗。

4.8.2.2 作为替代，可用干燥空气充填4.8.2.1所述的只要求部分次屏壁的处所，但船上仍应保持有一定贮量的惰性气体或在船上设有足以惰化上述处所中最大处所的惰性气体发生系统。同时，对于上述处所的形状以及有关的蒸气探测系统连同惰化装置的能力，应确保能迅速探测到燃料舱的任何泄漏以及在可能发展成危险状态之前能完成惰化。应设有能产生足够的合适质量的干燥空气的设备，以满足预期的需要。

4.8.3 C型独立燃料舱周围处所的环境控制

4.8.3.1 燃料舱周围处所应充填适当的干燥空气，并应用合适的空气干燥设备提供干燥空气以保持此环境。本要求仅适用于因寒冷的表面造成冷凝和结冰问题的液化气体燃料舱。

第9节 惰 化

4.9.1 一般要求

4.9.1.1 应按照下述要求设置防止燃料蒸气倒流至惰性气体系统的装置。

4.9.1.2 为防止可燃气体回流至任何非危险处所，惰性气体供应管路应设置两个串联的截止阀，并在此两阀之间设置一个透气阀（构成双截止透气阀）。此外，应在双截止透气阀和燃料系统之间设置一个可关闭的止回阀。这些阀应位于非危险处所之外。

4.9.1.3 如连接至燃料管系的连接管为非固定式，可用两个止回阀替代4.9.1.2中要求的阀。

4.9.1.4 所设置的装置应使每个被惰化的处所均能被隔离，并应设置必要的压力控制和释放阀等，以控制这些处所内的压力。

4.9.1.5 如果泄漏监测系统需要对绝热处所持续供应惰性气体，则应设有监测各处所惰性气体供应量的措施。

4.9.1.6 对于使用惰性气体保护的客船的燃料舱处所，应有警示及适当措施限制乘客随意进入该处所，如果该处所进口不是来自开敞甲板，那么应有封闭布置以阻止惰性气体泄漏进入相邻处所。

4.9.2 船上惰性气体的制造和储存

4.9.2.1 制造惰性气体的设备应能产生含氧量（按容积计）在任何时间均不超过5%的惰性气体。从惰性气体制造设备引出的惰性供气管路上应安装1个能连续读数的含氧量测定表和1个调定在最高含氧量（按容积计）为5%时报警的报警装置。应设置1个低氧报警装置。

4.9.2.2 惰性气体系统应具有适合于燃料围护系统的压力控制和探测装置。

4.9.2.3 如氮气发生器或氮气储存设施安装在机器处所外的单独舱室内，该舱室应设置1个独立的机械抽吸式通风系统，每小时换气次数不小于6次。应设置1个低氧报警装置。

4.9.2.4 氮气管路应仅通过通风良好的处所。围蔽处所内的氮气管路应：

(1) 全焊接连接；

(2) 仅具有安装阀所必需的最少法兰接头；和

(3) 尽可能短。

第 5 章　气体燃料加注

第 1 节　一般规定

5.1.1 目的

5.1.1.1　本章的目的是规定合适的船上系统，以确保加注作业不会对人员、环境或船舶造成危险。

5.1.2 功能要求

5.1.2.1　本章与1.1.3.2（1）至（11）和（13）至（17）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

（1）用于向储存舱驳运燃料的管系应设计成该管系的任何泄漏均不会对人员、环境或船舶造成危险。

5.1.3 一般要求

5.1.3.1　船舶应配有安全可靠的便携式通信措施，用于在加注作业时与加注方之间的通讯，如配备适当数量、防爆等级与其所使用的环境相适应的便携式甚高频无线电话等。

第 2 节　加注站

5.2.1 一般要求

5.2.1.1　加注站应位于露天甲板上，以使其具有足够的自然通风。围蔽或半围蔽加注站应进行风险评估，评估报告应经本社同意。

5.2.1.2　加注接头和管路的位置和布置，应使得燃料管路受到的任何损坏，都不会造成船舶燃料围护系统损坏，从而导致气体的不受控排放。

5.2.1.3　应有对任何溢出的燃料进行安全处置的措施。

5.2.1.4　在LNG加注接头和任何可能泄漏的位置的下方应设置集液盘，集液盘应设有安全处置泄漏的措施，如通过一根向下并靠近水面的排放管排出舷外。集液盘的设置应满足本规范2.3.7的有关要求。

5.2.1.5　应有适当措施释放管路中的压力并排空泵的吸口和加注管路中的液体。液体应被排放至燃料舱或其他适当的位置。

5.2.1.6　在发生燃料泄漏时，周围船体或甲板结构应不会遭受不可接受的冷却。

5.2.1.7　对于LNG加注，应设有防止在加注过程中LNG泄漏到周围船体或甲板上使其遭受低温损伤的措施，如水幕、防护罩等。

5.2.1.8　对于CNG加注站，如可能有逸出的冷气喷射到周围的船体结构，应考虑采取低温钢材防

护措施。

5.2.2 船用燃料软管

5.2.2.1 用于燃料驳运的液体和蒸气软管，应能与燃料相容并与燃料温度相适应。

5.2.2.2 对于承受燃料舱压力或承受燃料泵或蒸气压缩机排放压力的软管，应按其爆破压力进行设计，此压力应不小于燃料加注期间软管可能承受的最大压力的5倍。

5.2.3 燃料加注总管

5.2.3.1 燃料加注总管应设计成能承受加注期间的外部载荷。加注站的接头应为干式断开型，并配备附加的安全干式拉断阀/自封式快速释放装置。接头应为标准型。

5.2.3.2 加注接头应满足本社《液化天然气燃料加注船舶规范》的有关要求。

第3节 加注系统

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 应设有用惰性气体吹扫燃料加注管路的装置。

5.3.1.2 燃料加注系统的布置应确保加注时不会有气体燃料排放至空气中。

5.3.1.3 每一加注管路靠近通岸接头处应串联安装1个手动截止阀和1个遥控截止阀，或1个手动操作和遥控的组合阀。应能在燃料加注作业的控制位置和/或其他安全位置操作遥控阀。

5.3.1.4 应设有在加注完成后排空加注管路内燃料的设备。

5.3.1.5 加注管路应能进行惰化和除气。加注管路未进行加注作业时，应一直处于除气状态，除非不除气的影响业经评估并经本社批准。

5.3.1.6 如加注管路的布置存在交叉情况，则应设置适当的隔离装置以确保不会有燃料被意外驳运至未用于加注作业的船舶一侧。

5.3.1.7 对于海船，应设置1套船岸通讯线路（SSL）或等效设施，用于与加注方进行自动和手动ESD通信。

5.3.1.8 如未经证实出于压力波动考虑而需要一个较高值时，则应对按13.7.3.8计算所得的自警报触发至5.3.1.3要求配备的遥控操作阀完全关闭的默认时间进行调整。

5.3.1.9 加注总管应设有过滤装置，其与燃料供应方的连接应满足本规范第3章3.2.1.3的要求。

5.3.1.10 如加注管路穿过围蔽处所，则其应被环围在通风导管内，通风导管的设置应满足本规范对供气管路通风导管的要求。加注过程中应进行持续通风和气体探测，如通风失效或在通风导管中探测到气体，则应在加注控制位置发出声光报警。

第 6 章　气体燃料供应

第 1 节　一般规定

6.1.1 目的

6.1.1.1 本章的目的是确保燃料安全可靠地输送至用气设备。

6.1.2 功能要求

6.1.2.1 本章与1.1.3.2(1)至 (6)、1.1.3.2(8)至 (11)和1.1.3.2(13)至 (17)的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1) 燃料供应系统应布置成能将任何燃料泄漏的后果降至最低，并提供安全通道进行操作和检查；

(2) 用于向用气设备驳运燃料的管系的设计，应使得某一道屏壁发生的故障不会导致燃料从管系泄漏到周边区域而对船上人员、环境或船舶造成危害；和

(3) 机器处所外的燃料管路的安装和防护，应使得在发生气体泄漏时能将造成人员伤害和船舶受损的风险降至最低。

6.1.3 一般要求

6.1.3.1 对于单一气体燃料动力系统，燃料供应系统的布置应使其自燃料舱直至用气设备具有足够冗余并进行充分隔离，以使某一系统中的泄漏不会导致不可接受的动力损失。

6.1.3.2 对于单一气体燃料动力系统，燃料应分别储存在两个或以上的燃料舱内。各燃料舱应分开布置在不同舱室内。

6.1.3.3 对于C型独立燃料舱，如果设有两个完全独立的燃料舱接头处所，则可接受仅设置一个燃料舱。

6.1.3.4 对于C型独立燃料舱，如果设有两个或多个C型独立燃料舱，且每个燃料舱均设有独立的燃料舱接头处所，则可布置在一个舱室内。

6.1.3.5 警示牌

(1) 当气体燃料供应由于自动截止阀动作而中断时，应在查明原因并采取相关措施之后方可重新恢复气体燃料供应。应在供气管路控制处所的显见位置张贴有关警示牌;

(2) 当气体燃料供应由于气体泄漏而中断时，应在查明泄漏源并进行处理后方可重新恢复气体燃料供应。应在气体燃料发动机机舱的显见位置张贴警示牌;

(3) 当发动机运行时，不应进行可能损害供气管路的任何操作。应在气体燃料发动机机舱内的显见位置张贴有关警示牌。

6.1.3.6 对于需满足安全返港要求的客船，相同动力系统的供气系统或燃油供应系统应保持独立，当任一舱室发生火灾或浸水事故时能保证该动力系统的气体或燃油供应正常。

第 2 节　供气阀布置

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 燃料舱进口和出口应设置阀件，这些阀应尽可能地靠近燃料舱。在船舶正常营运期间[12]需要操作的阀件，如其不能接近，则应遥控操作。本规范第12章表12.4.3所要求的安全系统被触发时，需要动作的燃料舱阀件无论是否能够接近，均应自动操作。

6.2.1.2 燃料舱的每一气体燃料供应出口应设置一个手动截止阀和一个燃料舱主阀，两阀串联连接，或设置1个手动和自动操作组合阀，且应尽量靠近燃料舱。

6.2.1.3 通往每台或每套用气设备的供气总管上应串联安装1个手动截止阀和1个主气体燃料阀，或设置1个自动和手动操作组合阀。主气体燃料阀应位于机器处所外，并尽可能靠近加热器（如设有）或热交换器。

6.2.1.4 主气体燃料阀应能按本规范第12章表12.4.3所规定的情况自动切断供气管路，并能从机舱内脱险通道上的安全位置、机舱集控室（如适用）、机器处所外和驾驶室等位置对其进行操作。

6.2.1.5 通往每台气体燃料发动机的供气管路上应安装一套双截止透气阀，其布置应能满足如下要求：

(1) 3只阀中的2只串接在通向发动机的气体燃料管路上，第3只安装在处于2只串接阀之间的气体燃料透气管上，该透气管应通向露天的安全位置；

(2) 当发生本规范第12章表12.4.3所述的有关故障时，能自动关闭2只串接阀并自动打开透气阀；

(3) 2只串接阀中的1只阀和透气阀的功能可以组合在同一个阀体中，当发生本规范第12章表12.4.2和表12.4.3所述的有关故障时，应能自动切断气体燃料供应，并自动进行透气；

(4) 上述3只阀应能人工复位；

(5) 串接的2只气体燃料阀应为故障关闭型，透气阀应为故障开启型；

(6) 当发动机停车后，能自动关闭2只串接阀并自动打开透气阀。

6.2.1.6 当主气体燃料阀自动关闭时，如气体从发动机向管路逆流，则双截止透气阀下游的整个供气支路应自动透气。

6.2.1.7 对于喷射压力大于1MPa的气体燃料发动机，当主气体燃料阀自动关闭时，主气体燃料阀至双截止透气阀之间的供气管路以及双截止透气阀至发动机气体喷射阀之间的供气管路应能自动透气。

6.2.1.8 在双截止透气阀上游通向每台气体燃料发动机的供气管路上应设有1个手动操作的截止阀，以确保在发动机维修期间能进行安全有效的隔离。

6.2.1.9 如果每台气体燃料发动机设有单独的主气体燃料阀，则主气体燃料阀和双截止透气阀的功能可以进行组合，即主气体燃料阀可以作为双截止透气阀中的一个截止阀用于切断气体燃料供应。单台发动机系统和多台发动机系统的供气阀布置示例如图6.2.1.9 (a)和图6.2.1.9 (b)所示。

6.2.1.10 进入ESD防护型机器处所的每条主供气管路和通向高压装置的每条供气管路，应设置快速探测机舱内供气管路破裂的设施。当探测到气体管路破裂时，应有1只阀能自动关闭[13]。该阀应

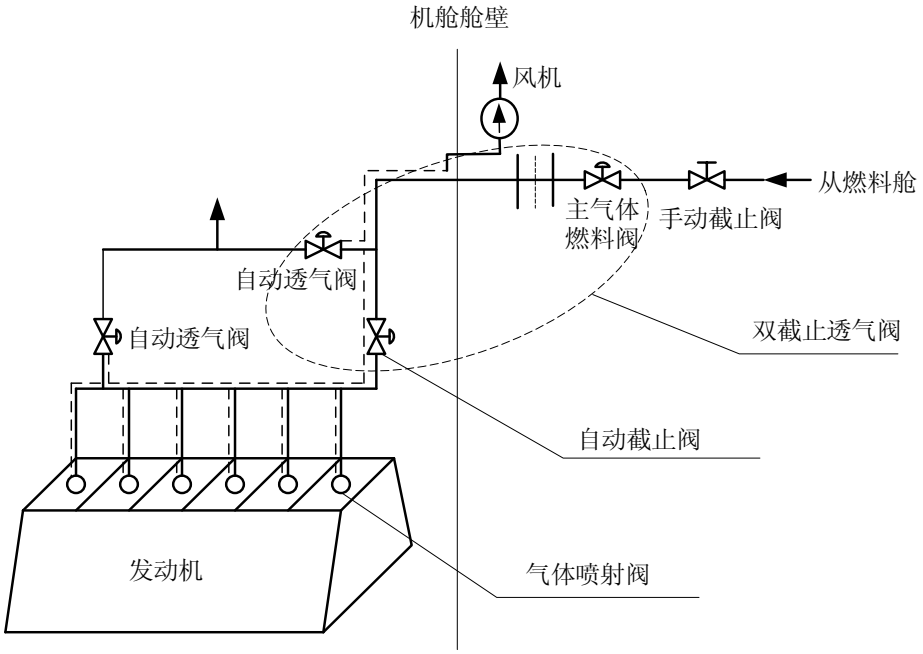
12 船舶正常营运期间是指向用气设备供气和燃料加注期间。

13 应为延时关闭，防止因瞬时负荷变化引起的关闭。

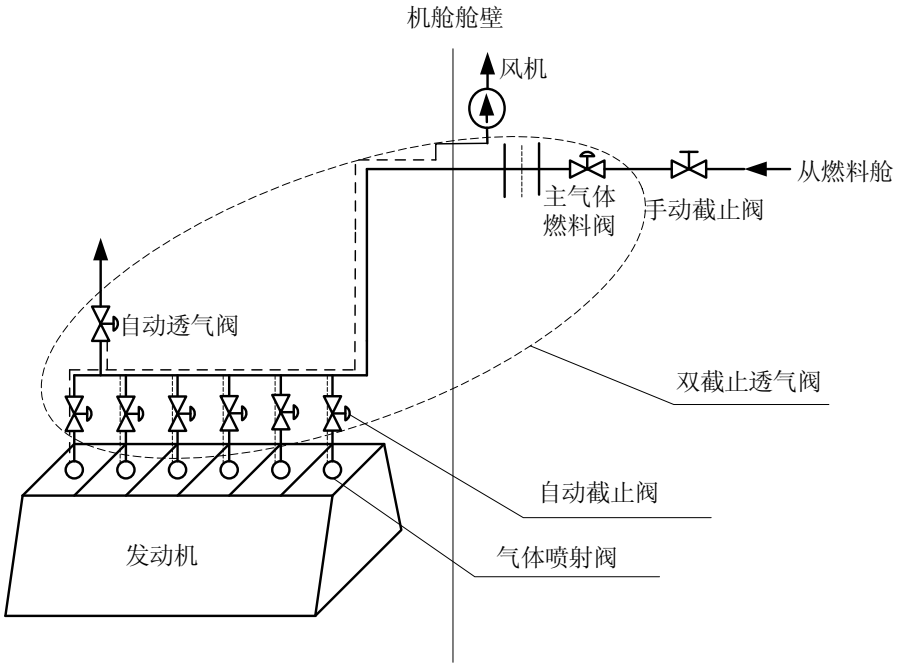
位于机舱前进入机舱的供气管路上或机舱内尽可能靠近供气管路入口点的位置。它可以是1个独立的阀，也可以是1个组合有其他功能的阀，如主气体燃料阀。本社可接受的探测措施包括但不限于：

(1) 在供气管路上靠近机舱进入点的自动截止阀上安装超流量探测器；或

(2) 在气体燃料发动机的气体进口处设置低压探测器。

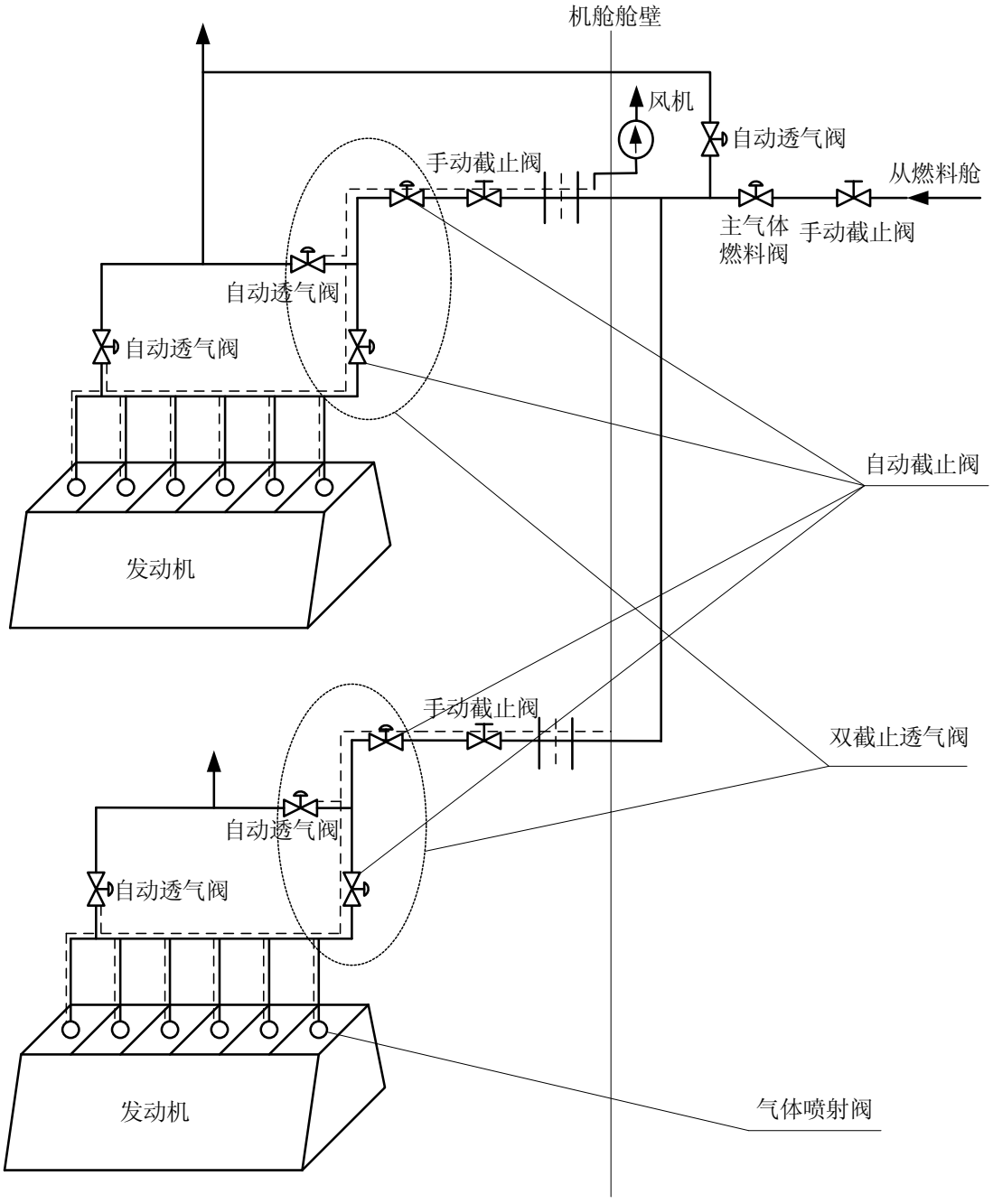


布置方法 ①

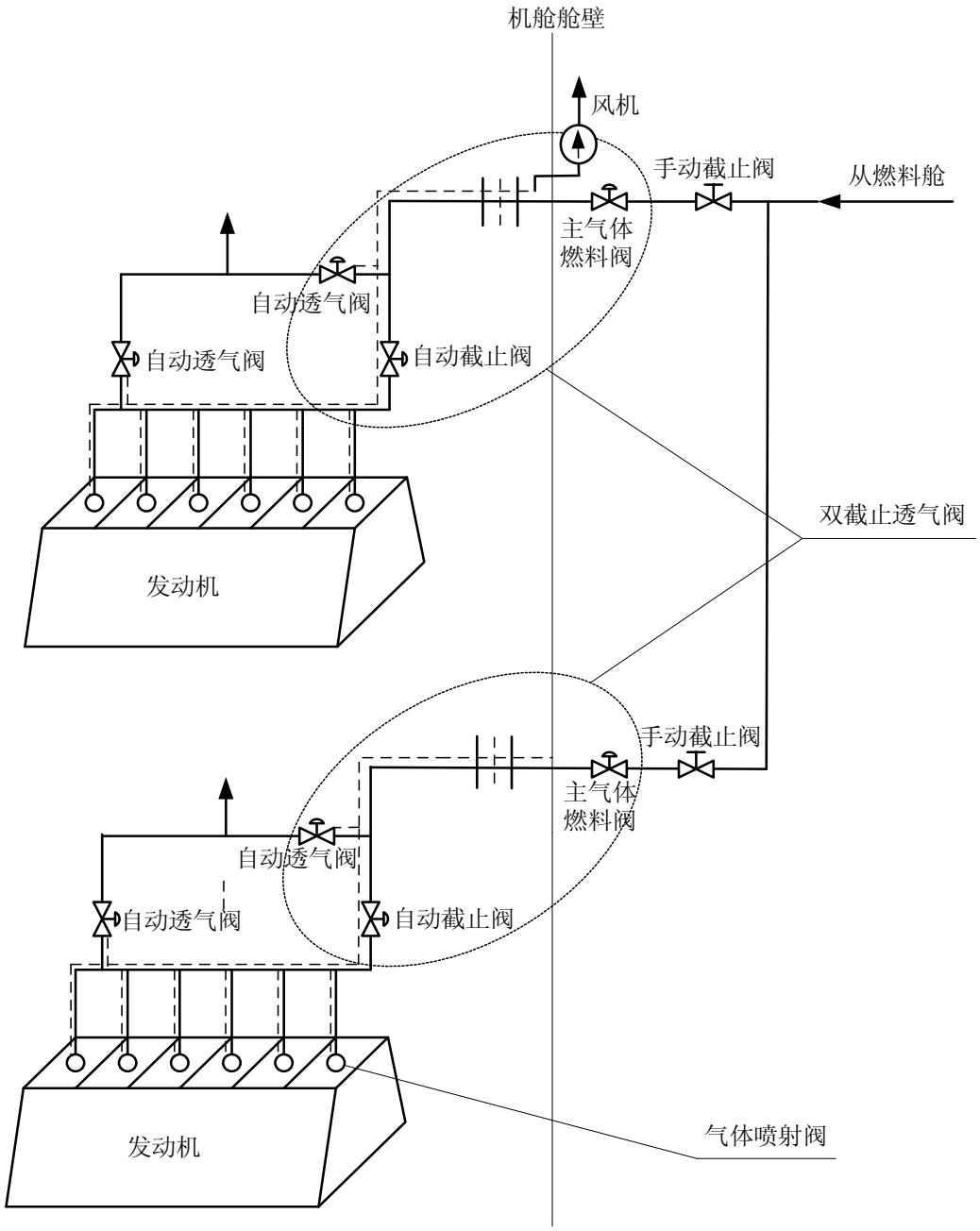


布置方法②

图 6.2.1.9 (a)　单台发动机系统的供气阀布置方法示例


机舱舱壁
风机
自动透气阀
手动截止阀
从燃料舱
主气体
燃料阀
手动截止阀
自动透气阀
自动透气阀
自动截止阀
发动机
手动截止阀
双截止透气阀
自动透气阀
自动透气阀
发动机
气体喷射阀

布置方法①



布置方法②

图 6.2.1.9 (b)　多台发动机装置系统的供气阀布置方法示例

第 3 节　机器处所外的供气系统

6.3.1　一般要求

6.3.1.1　若供气管路必须穿过除本规范2.3.4.2所述之外的围蔽处所时，则应采用双壁管。双壁管应设置机械式负压通风系统，通风能力为每小时换气30次，且设有满足本规范第12章12.3.1要求的气

体探测装置。本社也可接受其他具有同等安全水平的措施。

6.3.1.2 穿过机械通风处所的全焊透式气体燃料透气管不必满足6.3.1.1的要求。

6.3.1.3 围蔽处所内双壁管的设计压力应满足6.4.1.3和6.4.1.4的适用要求。

6.3.1.4 安装在机舱外的高压供气管路应予以保护，使其破裂时造成人员伤害的风险减至最小。

6.3.1.5 供气管路不应从特种处所、滚装处所和车辆处所通过。如布置时不可避免从上述处所通过，应采用双壁管，并采取有效防护措施确保车辆碰撞不会对供气管路造成损伤。

6.3.1.6 对于散装运输危险化学品船，供气管路不应穿过液货舱和货泵舱。

6.3.2 气体燃料加热

6.3.2.1 应对热交换器气体燃料出口处的温度进行监测，当气体燃料出口处温度过低时，应在驾驶室或机舱有人值班的位置发出声光报警，且自动关闭LNG输送泵（如设有）并切断燃料舱主阀。

6.3.2.2 热交换器的加热介质所在回路应设置膨胀罐/柜或具有同等效用的设施。若设置膨胀罐/柜，则膨胀罐/柜应满足下列条件:

（1）膨胀罐/柜应设有液位计、温度计和透气管;

（2）膨胀罐/柜应设有高、低液位报警;

（3）膨胀罐/柜内应有探测可燃气体的措施;

（4）加热回路膨胀柜的透气口应引至露天区域。

6.3.2.3 对于散装运输危险化学品船，气体燃料加热回路与液货舱的加热回路保持相互独立。

第 4 节 机器处所内的供气系统

6.4.1 气体安全机器处所的供气系统

6.4.1.1 气体安全机器处所内的供气管路应采用双壁管，双壁管可设计成如下两种形式之一：

(1) 由内管和外管组成的同心管，内管含有气体燃料，内、外管之间的空腔充满压力高于内管气体压力的惰性气体。当此空腔内惰性气体压力降低时，应有适当的报警予以警示。当内管中含有高压气体时，此管路系统应布置成当主气体燃料阀关闭时，位于主气体燃料阀和发动机之间的管路可自动进行惰性气体吹扫。

(2) 供气管路安装在通风导管内，供气管路和通风导管之间的空间应设置负压机械通风系统，通风能力应为每小时至少换气30次。如设有探测到气体后导管内自动冲注氮气的装置，则此通风能力可减至每小时换气10次。风机应符合安装区域的防爆保护要求，通风出口应覆有防火网，并应设置在不会点燃易燃气体-空气混合物的位置。

6.4.1.2 供气管路与气体喷射阀的连接应设置成双壁管形式，其布置应便于更换和/或检查气体喷射阀和气缸盖。发动机本体上的供气管路也应采用双壁管，直至气体喷射至燃烧室。但：

(1) 如果气体在低压状态下直接喷入至各个气缸的进气支管或进气道，则发动机空气进气管可免设双壁管；或

(2) 对于国内航行船舶，如果气体在低压状态下吸入或喷入发动机空气进气总管，且在发动机上方设有至少1个气体探测器，则发动机空气进气管可免设双壁管。

6.4.1.3 燃料系统的外管或通风导管的设计压力应不小于内管的最大工作压力。或者，对于高压气体燃料管系，通风导管的设计压力应为下列压力中的大者：

(1) 最大累积压力：供气管路破裂时，气体在通风导管内流动产生的静压；

(2) 管路破裂时局部瞬时峰值压力p^*，按下式计算：

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

式中：p_0——内管最大工作压力；

k——定压比热和定容比热的比值，对 CH_4，$k = 1.31$；

当直管承受上述压力时，其切向膜应力应不超过抗拉强度除以1.5(R_m/1.5)得到的值。所有其他管件的压力等级所反映的强度水平应和直管相同。根据上式计算的峰值压力可用试验得到的峰值压力代替，但应提交试验报告。

6.4.1.4 应基于通风管道或管路完整性的计算来进行强度验证。作为该计算的替代措施，可采用代表性试验验证强度。

6.4.2 ESD 防护型机器处所的供气系统

6.4.2.1 气体燃料供应系统的压力应不超过1.0MPa。

6.4.2.2 气体燃料供应管路的设计压力应不低于1.0MPa。

第 5 节 压缩机和泵

6.5.1 一般要求

6.5.1.1 如果压缩机或泵由穿过舱壁或甲板的轴驱动，则舱壁贯穿件应为气密型。

6.5.1.2 压缩机和泵应适合其预期用途。所有设备和机器应进行充分试验以确保其在船用环境下的适用性。须考虑的因素包括但不限于：

(1) 环境因素；

(2) 船舶振动和加速度；

(3) 船舶纵摇、垂荡和横摇运动等的影响；

(4) 气体成分。

6.5.1.3 应配备合适装置以确保在任何情况下，液化气体不会进入气体控制单元或用气设备内，除非该设备是设计成直接燃用液化气体。

6.5.1.4 压缩机和泵应配备有效和可靠运行所需的附件和仪表。

第 7 章　用气设备

第 1 节　一般规定

7.1.1 目的

7.1.1.1 本章的目的是保证机械能、电能或热能安全、可靠地输送。

7.1.2 功能要求

7.1.2.1 本章与1.1.3.2（1）、（11）、（13）、（16）和（17）条中所述的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1) 排气系统的构造应能避免产生未燃气体的积聚；

(2) 含有或可能含有可燃混合气的发动机部件或系统应布置合适的压力释放系统，除非其强度设计为可承受最恶劣情况下由于泄漏气体被点燃后产生的超压；取决于发动机的具体设计，这些部件或系统可包括空气进气总管和扫气空间；

(3) 爆炸释放出口不应通往正常情况下有人员出现的位置；

(4) 所有用气设备应具有独立的排气系统。

7.1.3 一般要求

7.1.3.1 气体燃料发动机除应满足本社相关规范的要求外，尚应满足本规范第7、12章和附录3的有关规定，并取得船用产品证书。

7.1.3.2 采用电子控制的发动机，其电控系统应满足本规范附录4的有关规定。

7.1.3.3 发动机制造厂应指明发动机适用的天然气甲烷值和低热值波动范围。

7.1.3.4 应对所有可能影响发动机安全运行的故障进行风险分析，并根据分析结果确定所需的发动机监测项目，相关分析报告应提交本社。风险分析应满足本章第5节的要求。

7.1.3.5 对于采用气体燃料起动的发动机，如气体燃料供应装置开启后一定时间内，发动机监测系统未监测到燃烧，气体燃料供应装置应能自动切断，并应采取措施将排气系统中未燃的可燃混合物驱除。

第 2 节　活塞式内燃机

7.2.1 一般要求

7.2.1.1 如采用将压缩空气直接通入气缸的方式进行起动，起动空气管路上应安装火焰消除器。对于可直接换向发动机，装于每一起动空气支管上；对于不可直接换向发动机，可装于起动空气总

管上。

7.2.1.2 对于气体燃料在增压器之前与空气混合的发动机，如布置在气体安全机器处所内，则其空气进口应位于机器处所外；如布置在ESD防护型机器处所内，则可接受其空气进口位于机器处所内。

7.2.1.3 发动机空气进口如位于机舱内，其应尽可能远离供气管路以降低泄漏的气体燃料被吸入空气进口的危险；如空气进口位于机舱外，其应距离任一危险区域边界至少1.5米。

7.2.1.4 如气体燃料通过进气总管进入气缸，应在进气总管上安装防爆安全阀或采取其他防爆措施，除非有资料证明该系统的强度足以承受最恶劣情况下的爆炸；如气体燃料在增压器之前与空气混合，还应在增压器或中冷器上安装防爆安全阀，除非有资料证明增压器和中冷器的强度足以承受最恶劣情况下的爆炸。

7.2.1.5 发动机曲轴箱应安装具有足够释放面积的防爆安全阀，除非有资料证明该系统的强度足以承受最恶劣情况下的爆炸。曲轴箱上所设防爆安全阀的总流通面积，按曲轴箱总容积计算，每1m^3曲轴箱容积应不小于115cm^2，且每个安全阀的流通面积应不小于45cm^2。曲轴箱防爆安全阀应按如下要求进行设置：当缸径小于200mm时，应至少安装1个防爆安全阀；当缸径等于和大于200mm时，应在靠近曲轴箱的两端至少各装1个防爆安全阀，但如曲拐数超过8，则应在曲轴箱中部附近另设1个防爆安全阀；当缸径大于250mm时，每一曲拐至少应装1个防爆安全阀。对总容积超过0.6m^3的曲轴箱分隔空间（如驱动凸轮轴的齿轮室或链条箱或其他类似装置）也应设置防爆安全阀。

7.2.1.6 对于活塞下部空间与曲轴箱直接相通的发动机，应对曲轴箱内发生气体积聚的潜在风险进行详细评估。

如不能证明在任何情况下曲轴箱内的气体浓度均不会超过LEL，则应满足如下要求：

(1) 曲轴箱内安装油雾探测器或等效设备（如轴承温度探测器），对曲轴箱内的热点进行监测；

(2) 安装在曲轴箱内的电气设备和仪器（包括油雾探测器）应为经认可的安全型式。

7.2.1.7 除二冲程十字头式发动机外，每台发动机的曲轴箱应设有独立于其他发动机的透气系统。

透气口应通往开敞区域的安全位置，其末端应安装火焰消除器；曲轴箱应提供接口（或其他措施）进行惰化以便于维修。

7.2.1.8 排气管应安装防爆安全阀，其设计应足以防止一缸点火失败情况下，排气管内未燃气体被点燃而产生过高的爆炸压力。

7.2.1.9 如有资料证明排气管的强度足以承受最恶劣情况下的爆炸，则可免设7.2.1.8要求的防爆安全阀。

7.2.1.10 当发动机在燃气模式下停车后，应采取措施扫除排气管内可能存在的可燃气体。

7.2.1.11 防爆安全阀动作后如需进行拆除或更换，从而影响发动机的连续运行，则其不能安装在单一主机的推进装置上，除非配有辅助推进系统。

7.2.1.12 如气体可能直接泄漏到发动机辅助系统介质（润滑油、冷却水）中，则应在这些介质的出口后面采取适当措施对气体进行收集以避免扩散。从辅助系统介质中收集的气体应释放到一个露天的安全位置。

7.2.1.13 应采取措施对发动机的不良燃烧或失火进行监测和探测。当探测到不良燃烧或失火时，

如能切断相应气缸的气体燃料供应，并且发动机在考虑扭转振动的影响下能在一缸熄火时正常工作，则可允许发动机继续维持燃气模式。

7.2.2 双燃料发动机

7.2.2.1 当气体燃料供应切断时，发动机应能仅使用燃油保持连续正常运转。

7.2.2.2 发动机启动、正常停车、空载怠速运行、低负荷运行、高负荷运行和超负荷运行时应仅使用燃油，除非有资料证明发动机能在燃气模式下安全启动和正常停车，并能在空载、低负荷、高负荷和超负荷工况下安全运行。

7.2.2.3 发动机燃料模式转换（从燃气模式转换为燃油模式和从燃油模式转换为燃气模式）应通过一套自动系统来实现，并保证功率波动最小，应通过试验证明燃料模式转换的可靠性。如在燃气模式下发动机出现不稳定运转，应自动切换至燃油模式。在任何情况下均应能通过手动方式切断气体燃料供应。

7.2.2.4 正常停车及紧急停车时，气体燃料供应的切断不应迟于点火源的切断。切断点火源时，应确保提前或同时切断每个气缸或整台发动机的气体燃料供应。

7.2.2.5 气缸内的燃气-空气混合气应通过燃油引燃。喷入各气缸的燃油量应足以保证燃气-空气混合气的强制点火。

7.2.3 单一气体燃料发动机

7.2.3.1 对于装有点火系统的发动机，应在气体燃料供应装置开启前验证每一台点火装置是否正常工作。

7.2.3.2 发动机起动时，气体燃料供应系统应确保提供足够的发动机初始起动所需用气。

7.2.3.3 发动机起动过程中，达到最低点火转速时方可开启点火系统，开始点火后，方可开启气体燃料供应装置。

7.2.3.4 当发动机起动失败后，应采取措施将排气管中未燃烧的可燃混合气排出。当排气管中未燃烧的可燃混合气排净后，方可重新起动发动机。

7.2.3.5 正常停车及紧急停车时，气体燃料供应的切断不应迟于点火源的切断。切断点火源时，应确保提前或同时切断每个气缸或整台发动机的气体燃料供应。

7.2.3.6 对于恒速发动机，停车时，气体燃料供应装置应在怠速时关闭，点火系统应保持工作直至发动机停止。

第 3 节　主锅炉和辅锅炉

7.3.1 一般要求

7.3.1.1 每台锅炉应布置专用的强制通风系统。如任何相关安全功能可以维持，则锅炉强制通风系统之间可设置交叉，以供紧急情况下使用。

7.3.1.2 锅炉燃烧室和烟道的设计应能避免气体燃料的积聚。

7.3.1.3 燃烧器的设计应能保证在所有点火条件下维持稳定燃烧。

7.3.1.4 主/推进锅炉应能在不中断燃烧的情况下从燃气模式自动转换至燃油模式。

7.3.1.5 气体喷嘴和燃烧器控制系统的设计应使得气体燃料仅能被已形成的燃油火焰点燃，除非锅炉和燃烧装置设计为由气体燃料点火，并经本社批准。

7.3.1.6 应采取措施确保流向燃烧器的气体燃料能被自动切断，除非燃烧器内已经建立并维持稳定的点火。

7.3.1.7 每个气体燃料燃烧器的供气管路上应安装一个手动操作的截止阀。

7.3.1.8 当燃烧器熄火后，应采取措施利用惰性气体自动对燃烧器供气管路进行驱气。

7.3.1.9 第7.3.1.4条要求的燃料自动转换系统应设有监测与报警系统，以确保其持续可用性。

7.3.1.10 当所有工作燃烧器熄火后，应采取措施确保在再次点火前对锅炉燃烧器进行自动吹扫。

7.3.1.11 应能手动启动锅炉吹扫程序。

第 4 节 燃气轮机

7.4.1 一般要求

7.4.1.1 排气系统应布置合适的压力释放系统，除非其强度设计为可承受最恶劣情况下由于气体泄漏爆炸产生的超压。排气出口应通往远离人员的安全位置。

7.4.1.2 燃气轮机可安装在根据2.3.3条和6.4.2条要求的ESD原理设计的气密空间内，但也允许该气密空间内供气管路内的压力超过1MPa。

7.4.1.3 应按照ESD防护型机器处所的要求设计气体探测系统和关闭功能。

7.4.1.4 应按照第10章ESD防护型机器处所的要求配置通风系统，并应具备完全冗余（2个100%容量的风机，并由不同线路供电）。

7.4.1.5 对于非单一燃料燃气轮机，应安装燃料转换自动控制系统，从燃气模式向燃油模式的转换应容易且快速地完成，反之亦然，并确保功率波动最小。

7.4.1.6 应采取措施对不良燃烧进行监测和探测，以防止工作过程中未燃气体泄漏到排气系统内。一旦监测到不良燃烧，应切断燃气供应。

7.4.1.7 每台燃气轮机应安装一个自动停机装置，用于排气温度高时关闭机器。

第 5 节 风险分析

7.5.1 风险分析的范围

7.5.1.1 风险分析应至少包括:

(1) 发动机在燃气模式下任何系统或部件的一个故障;

(2) 气体阀件单元下游的一次气体泄漏;

(3) 发动机在燃气模式运行时，应急停车或停电情况下的安全性;

(4) 供气系统与发动机之间的相互影响。

7.5.1.2 风险分析还应考虑到发动机外部系统（如燃料围护系统或燃料供应系统）的故障可能要求发动机的控制与监测系统在报警或失效状态下采取措施。

7.5.2 风险分析的形式

7.5.2.1 风险分析应按照公认的标准进行[14]。

7.5.2.2 风险分析应基于“单一故障”理念，即在同一时间只需考虑一个故障。可检测的和不可检测的故障均应予以考虑。对于连带故障，即由某一部件单一故障直接引起的另一部件的故障，也应予以考虑。

7.5.3 风险分析的程序

7.5.3.1 风险分析的程序包括:

(1) 识别出相关设备和系统中所有可能导致以下后果的故障:

① 气体出现在其按设计不应出现的部件或处所内；和/或

② 点燃、着火或爆炸。

(2) 评估后果

(3) 识别故障检测方法（如必要）

(4) 识别改进措施（如风险不能被消除）:

① 在系统设计中，改进措施可为:

(a) 冗余设计;

(b) 通过设置安全装置、监测或报警，允许系统在限制条件下运行。

② 在系统运行中，改进措施可为:

(a) 启用冗余;

(b) 激活备用运行模式。

7.5.3.2 风险分析的结果应形成文档，并通过实测进行确认。

7.5.4 设备与系统分析

7.5.4.1 发动机风险分析至少应包括以下方面:

(1) 与气体有关的系统或部件的故障，尤其是:

① 气体管路及其环围（如适用）;

② 气缸供应阀[15]。

(2) 点火系统故障（引燃油或火花塞）;

(3) 空燃比控制系统故障（增压空气旁通管，气体压力控制阀等）;

14 参见 ISO 31010 风险管理—风险评估技术

15 发动机本体外的供气部件（如位于气体阀件单元处所内的双截止透气阀及其他部件）发生的故障可不作分析。

(4) 对于增压器前端进气的发动机，可能会导致产生着火源（热点）的部件的故障;

(5) 气体燃烧故障或非正常燃烧（如熄火，爆燃）;

(6) 发动机监测、控制和安全系统故障[16];

(7) 在发动机部件（如空气进气总管和排气总管）和连接到发动机的外部系统（如排气管）内有气体异常出现;

(8) 双燃料发动机运行模式的切换。

16 当发动机装有电控系统时，应通过风险分析证明电控系统的故障不会导致对发动机正常运行最基本的伺服丧失，也不会导致发动机停止运行或其性能降低到可接受范围之外。

第 8 章　消　防

第 1 节　一般规定

8.1.1 目的

8.1.1.1　本章的目的是规定与船舶天然气燃料的储存、整备、输送及使用有关的所有系统部件的防火、探火和灭火。

8.1.2 功能要求

8.1.2.1　本章与1.1.3.2（2）、（4）、（5）、（7）、（12）、（14）、（15）及（17）的功能要求相关。

第 2 节　防　火

8.2.1 一般要求

8.2.1.1　任何含有泵、压缩机、热交换器、蒸发器或压力容器等燃料制备设备的处所，就防火而言，应视为A类机器处所。

8.2.1.2　穿过滚装处所的燃料管路的防火应由本社根据其使用情况和管内预期压力予以特别考虑。

8.2.2 燃料舱

8.2.2.1　燃料舱位于开敞甲板时，面向燃料舱的起居处所、服务处所、控制站、脱险通道和机器处所的限界面应采用A-60级防火分隔。此种隔热应延伸至驾驶室甲板底面，或舱壁实际高度，位于驾驶室甲板以上的上述限界面（包括驾驶室窗）应采用A-0级防火分隔。此外，位于开敞甲板上的燃料舱应按IMDG规则视为散货包装，并应满足IMDG规则关于2.1类包装危险货物的积载和隔离要求。

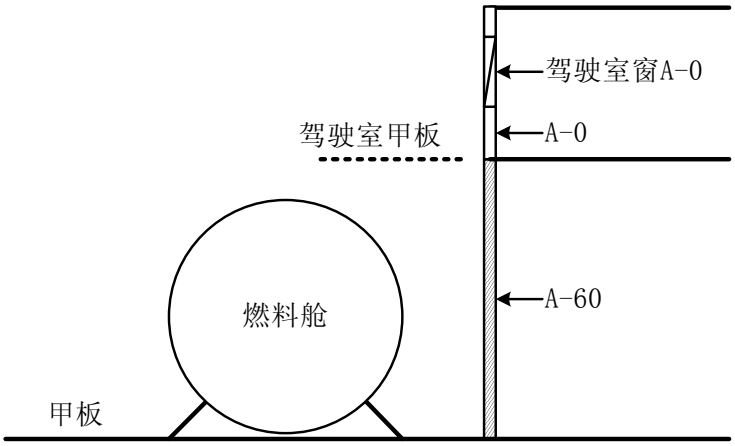
8.2.2.2　燃料舱处所应与A类机器处所/重要机器处所或其他有较大失火危险处所隔离，此种隔离应为1个至少900mm隔离空舱，且应在A类机器处所/重要机器处所或其他有较大失火危险处所内靠近隔离空舱一侧采用“A-60”级防火分隔。在确定燃料舱处所与其他具有较小失火危险处所之间的防火分隔时，燃料舱处所应视作A类机器处所/重要机器处所。燃料舱处所与燃料舱处所之间应设置1个至少900mm的隔离空舱或采用“A-60”级防火分隔。

8.2.2.3　对于C型独立燃料舱，燃料舱外壳距离燃料舱处所舱壁不小于900mm时，燃料舱处所可视作隔离空舱。但C型独立燃料舱直接布置在A类机器处所/重要机器处所或其他具有较大失火危险处

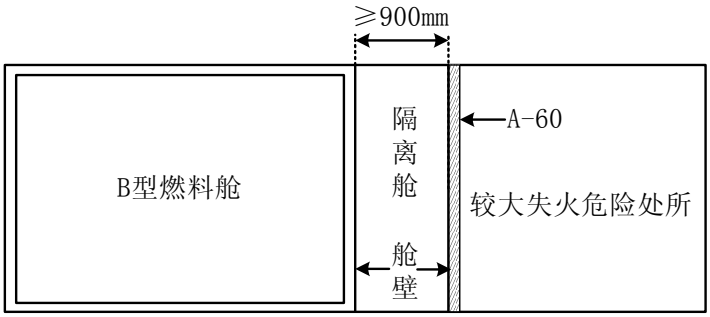
所上方时，燃料舱处所或燃料舱与上述处所之间仍应设置1个至少900mm的隔离空舱（ 对于内河船舶，如布置困难，经评估后该距离可小于900mm，但不应小于500mm），且应在A类机器处所/重要机器处所或其他有较大失火危险处所内靠近隔离空舱一侧采用“A-60”级防火分隔。

8.2.2.4 燃料舱处所内不应设置可能具有失火危险的机器或设备。

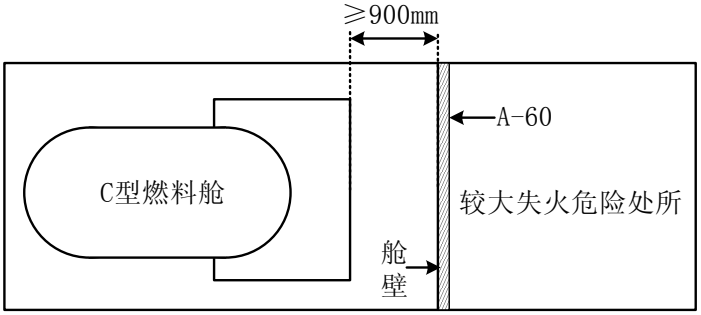
8.2.2.5 上述8.2.2.2与8.2.2.3要求见图8.2.2所示。



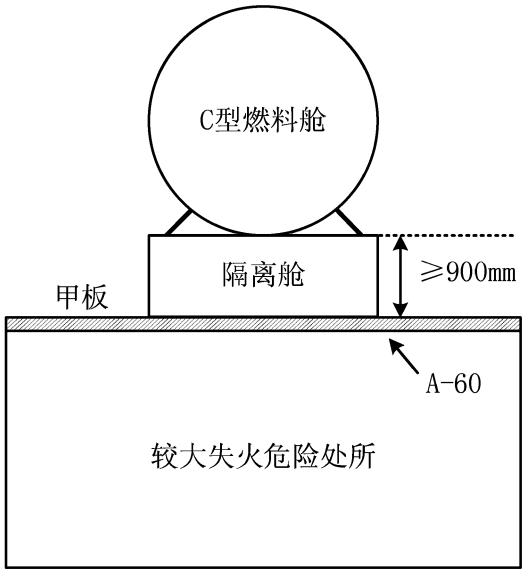
① 燃料舱布置于开敞甲板



② 燃料舱布置于围蔽处所



③ 燃料舱布置于围蔽处所（C型独立燃料舱）



④ 燃料舱布置于较大失火危险处所上方

图 8.2.2 燃料舱防火分隔示意图

8.2.3 加注站

8.2.3.1 面向加注站的A类机器处所/重要机器处所、起居处所、控制站和较大失火危险处所的限界面应采用“A-60”级防火分隔，但具有较小失火危险的液舱、空舱、辅机处所以及卫生间和其它类似处所的该类限界面可降至“A-0”级。

8.2.3.2 对于国内航行船舶，当加注站位于开敞甲板且加注接头与8.2.3.1中所述处所舱壁的距离大于10m时，其防火分隔可降至“A-0”级；当加注接头位于上层建筑和甲板室的凹陷部位时，若凹陷深度不超过1m，仍视为开敞甲板布置。具体见图8.2.3所示。

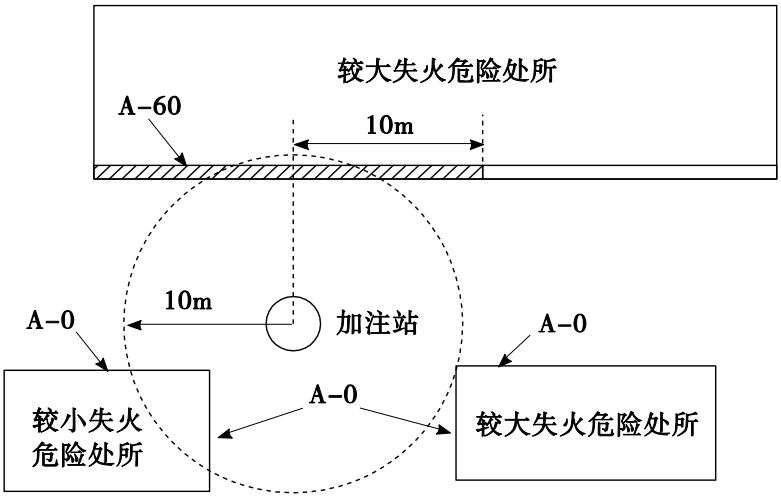


图 8.2.3 加注站防火分隔示意图（对于国内航行船舶）

8.2.4 ESD 防护型机器处所

8.2.4.1 如ESD防护型机器处所采用单限界面进行隔离，则该限界面应为“A-60”级分隔。

第 3 节 灭 火

8.3.1 一般要求

8.3.1.1 燃料准备间、气体压缩机室和气泵室（如设有）应满足本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》中对货物压缩机舱和货泵舱的灭火要求。

8.3.2 消防总管

8.3.2.1 应至少安装两台消防泵，每台消防泵的排量和压力应确保在任何消火栓处维持至少2股水柱，并保证每股水柱的射程应不小于12m。

8.3.2.2 若消防泵的排量和压力足以同时操作所需数目的消火栓和本章8.3.3所述的水雾系统，则水雾系统可以是消防总管的一部分。

8.3.2.3 布置在开敞甲板的消防总管经过开敞甲板上的燃料舱区域时，消防总管应安装隔离阀以隔离管内损坏区域。对消防总管破损部分的隔离不应影响被隔离的管段前面的消防管路的供水。

8.3.2.4 所有的消防水枪应为带开关的两用型（水柱/水雾型）。

8.3.3 水雾系统

8.3.3.1 应安装水雾系统用于冷却、防火以及船员防护，水雾系统应覆盖位于甲板上方的燃料舱的暴露部分。

8.3.3.2 水雾系统还应覆盖面向燃料舱的上层建筑、压缩机室、泵舱、货物控制室、加注装控制站、加注站和其他通常有人的甲板室的限界面，但当这些限界面与燃料舱的距离大于或等于10m时，可不必覆盖。

8.3.3.3 对内河船舶，当8.3.3.2所述限界面与燃料舱的距离大于或等于5m时，可不必覆盖。

8.3.3.4 水雾系统应能覆盖上述所有区域，其喷水率对水平防护表面为10 L/min·m^2，对垂直防护表面为4L/min·m^2。

8.3.3.5 为隔离损坏的管段，水雾系统总管上应每隔不超过40m安装1个截止阀。或者将系统分成2个或以上区段，可以对每个区段进行独立操作，但应将必要的控制装置集中安装在一个易于到达的位置，且该位置不会在被保护区域发生火灾时无法靠近。

8.3.3.6 水雾泵的排量应足以将所要求的水量输送至上述被保护区域内对水力要求最大的区域。

8.3.3.7 如水雾系统不是消防总管系统的一部分，则应通过截止阀与船舶消防总管相连。

8.3.3.8 水雾系统供给泵的起动和水雾系统主要控制阀的操作位置，应位于易到达之处，该位置不会在被保护区域发生火灾时无法靠近。

8.3.3.9 应配备经认可的水雾喷嘴，其布置应保证其所喷射的水在被保护区域内均匀有效分布。

8.3.4 化学干粉灭火系统

8.3.4.1 燃料舱位于开敞甲板时，在燃料舱附近应至少设置2具容量不少于5 kg的手提式干粉灭火器。

8.3.4.2 LNG燃料舱位于围蔽或半围蔽处所内时，在燃料舱处所入口处应至少设置1具容量不少于5 kg的手提式干粉灭火器。

8.3.4.3 加注站应设置固定式干粉灭火系统或大型推车式干粉灭火设备，其应覆盖所有可能的泄漏点。其灭火能力应至少确保能以不低于3.5kg/s的速率释放45s。固定式干粉灭火系统应布置为能在被保护区域外的安全位置手动释放。

8.3.4.4 加注站附近还应至少设置1具容量不少于5 kg的手提式干粉灭火器。

8.3.4.5 在气体燃料发动机附近及其所在机器处所的入口处，应至少各设置1具容量不小于5 kg的手提式干粉灭火器。

第 4 节　探火和失火报警系统

8.4.1 探火

8.4.1.1 甲板下方的燃料舱处所和用于燃料围护系统的通风围阱内，以及不能排除火灾的所有其他气体燃料系统舱室，应设置1个满足《消防安全系统规则》的固定式探火和失火报警系统。

8.4.1.2 仅设有烟雾探测器不应视为具有足够的快速探火能力。

8.4.1.3 当系统不具备识别单个探测器的功能时，每个探测器应设置成独立的环路。

8.4.2 报警和安全措施

8.4.2.1 当8.4.1.1所述处所探测到火灾后，应采取本规范第12章表12.4.3中所列出的安全措施，且应自动停止通风。

第 9 章　防　爆

第 1 节　一般规定

9.1.1 目的

9.1.1.1　本章的目的是预防爆炸和限制爆炸后果。

9.1.2 功能要求

9.1.2.1　本章与1.1.3.2（2）至（5）、（7）、（8）、（12）至（14）和（17）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

应通过下述方式将爆炸的可能性降至最低：

(1) 减少点火源的数量；和

(2) 降低可燃性混合物形成的可能性。

9.1.3 一般要求

9.1.3.1　开敞甲板上的危险区域和本章中未作规定的其他处所应基于经认可的标准[17]进行确定，危险区域内安装的电气设备应符合同一标准的要求。

9.1.3.2　电气设备和布线通常不应安装在危险区域内，除非是出于必不可少的作业需求，并符合公认的标准[18]。

9.1.3.3　安装在ESD防护型机器处所内的电气设备应满足下列要求：

(1) 失火和烃类气体探测器，失火和气体报警器，以及照明装置和风机应为适用于1类危险区域的合格防爆型设备；和

(2) 如果在气体燃料发动机机器处所内有2个探测器探测到气体浓度超过40%LEL，则该处所内所有不适用于1类危险区域的电气设备（包括气体燃料发动机）都应自动切断。

第 2 节　危险区域划分

9.2.1 区域分级

9.2.1.1　区域分级是一种用来对可能出现爆炸性气体环境的区域进行分析和分类的方法。分级的

17 参见 IEC60092-502 标准第 4.4 部分：运载可燃液化气体的液货船（如适用）。

18 参见 IEC60092-502 标准：IEC 60092-502 船舶电气设备—专辑—液货船和 IEC60079-10-1 爆炸性环境-第 10-1 部分：区域分级-按区域等级的爆炸性气体环境。

目的是为了选择能够在这些区域内安全运行的电气设备。

9.2.1.2 为便于选择适当的电气设备和设计合适的电气装置，将危险区域分为0区，1区和2区[19]。见下述9.2.2 。

9.2.1.3 通风管道的区域分级应与被通风处所相同。

9.2.1.4 具有开口通向临近危险区域的处所，可通过采取2.3.8.1条所述措施，使之成为安全区域。

9.2.2 危险区域

9.2.2.1 0类危险区域

该区域包括但不限于：燃料舱内部，用于燃料舱压力释放或其他透气系统的任何管路，内部含有气体燃料的管路和设备。

9.2.2.2 1类危险区域[20]

该区域包括但不限于：

(1) 燃料舱接头处所，燃料舱处所[21]及屏壁间处所；

(2) 按10.4.1要求设置通风的燃料准备间；

(3) 距离任何燃料舱出口，气体或蒸气出口[22]，气体燃料发动机曲轴箱透气口出口，加注总管阀门，其他燃料阀，燃料管法兰，燃料准备间通风出口、1区通风出口，以及为让温度变化产生的少量气体或蒸气混合物流动而设置的燃料舱压力释放口3m以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所；

(4) 距离燃料准备间入口、燃料准备间通风进口以及通向1类危险区域处所的其他开口1.5m以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所；

(5) 开敞甲板上的包括加注总管阀门的集液盘以内及挡板向外延伸3m、并不高于集液盘底部以上2.4m的处所；

(6) 燃料管路所在的围蔽和半围蔽处所，例如燃料管路周围的双壁管、半围蔽的燃料加注站；

(7) 在正常运行情况下ESD防护型机器处所视为非危险区域，但当探测到气体泄漏后仍需要继续工作的电气设备应为适用于1类危险区域的合格设备；

(8) 在正常运行情况下被空气闸所保护的处所视为非危险区域，但当被保护处所与危险区域之间的压差失效时仍需要继续工作的电气设备应为适用于1类危险区域的合格设备；和

(9) 除C型独立燃料舱外，燃料围护系统外表面位于露天时，距离其外表面2.4m的区域。

9.2.2.3 2类危险区域[23]

该区域包括但不限于：

(1) 距离1类危险区域的开敞或半围蔽处所1.5m的区域；

---

19 参见 IEC60079-10-1 爆炸性环境-第 10-1 部分：区域分级-爆炸性气体环境，以及 IEC 60092-502 船舶电气设备—专辑—液货船中给出的导则和资料性实例。

20 安装在此类区域的仪表和电气设备的类型应适合 1 区。

21 C 型独立燃料舱处所通常不视为 1 类危险区域。

22 该类区域为距离开敞甲板上的燃料舱舱口，燃料舱液位测量孔或测深管，以及距离气体蒸气出口 3m 以内的所有区域。

23 安装在此类区域的仪表和电气设备的类型应适合 2 区。

(2) 含有通向燃料舱接头处所的螺栓舱盖的处所。

第 3 节　危险区域内的电气设备和电缆

9.3.1 根据危险区域选取电气设备

9.3.1.1 用于可能出现混有天然气的爆炸性气体环境的防爆设备的防爆类别和温度组别应不低于ⅡA，T2。各类不同危险区域内允许安装的电气设备如下:

(1) 可用于0区的设备

a) 本质安全型设备“ia”；

b) 包含在本质安全“ia”电路中的简单电气设备和元件（如热电偶、光电管、压力计、接线盒、开关等），但储存和产生电能不超过IEC60079-14所规定的极限值;

注: 应考虑对地绝缘的完整性，组合在设备或元件结构内的塑料或轻金属的适应性以及设备（开关、插头插座、接线端子除外）任何部位的最高表面温度等。依靠限制装置将剩余电压和电流限制在IEC60079-14所规定的范围内的设备不应界定为简单设备;

c) 其他经主管机关认可的特别设计的适合0区的设备;

d) 潜液式燃料泵，至少设有两种独立的在出现低液位时能自动切断供电的方式。泵的构造和安装及其相连电缆以及采取的其它措施，应能使其在未潜入或在爆炸性气体环境中时不予通电。

(2) 可用于1区的设备

a) 可在0区使用的设备;

b) 本质安全型设备“ib”；

c) 包含在本质安全“ib”电路中的简单电气设备和元件（如热电偶、光电管、压力计、接线盒、开关等），但储存和产生电能不超过IEC60079-14所规定的极限值;

d) 隔爆型设备“d”；

e) 正压型设备“p”；

f) 增安型设备“e”；

g) 浇封型设备“m”；

h) 充砂型设备“q”；

i) 特别认可型设备“s”；

j) 测深仪或计程仪的传感器、外加电流阴极保护系统的阳极或电极，这些设备均应安装于气密围蔽处所，并且不应毗邻燃料舱舱壁;

k) 路经敷设电缆。

(3) 可用于2区的设备

a) 可在1区使用的设备;

b) “n”型设备;

c) 正常操作不产生火花、电弧和热点的设备。

9.3.1.2 危险区域的设备应由本社认可的有关权威机构进行评估并发证或登记。不合格易燃气体

探测设备的自动隔离不能替代合格设备的使用。

9.3.2 电缆的选择和敷设

9.3.2.1 对于电缆的制造和试验应满足经认可的标准中的有关要求。

9.3.2.2 电缆及其附件应适用于安装的危险区域，并应考虑机械、化学和腐蚀等因素。

9.3.2.3 电缆穿越气体危险区域的甲板或舱壁时，应保持甲板或舱壁原有的密性。

第 10 章　机械通风

第 1 节　一般规定

10.1.1 目的

10.1.1.1 本章的目的是通过规定通风要求以确保气体燃料机械和设备安全运行。

10.1.2 功能要求

10.1.2.1 本章与1.1.3.2（2），1.1.3.2（5），1.1.3.2（8），1.1.3.2（10），1.1.3.2（12）至1.1.3.2（14）和1.1.3.2（17）的功能要求相关。

10.1.3 一般要求

10.1.3.1 任何用于危险处所的通风管道应与用于非危险处所的通风管道分开。船舶拟营运的所有温度和环境条件下均应能通风。

10.1.3.2 除非风机电机经核准可用于与所服务处所同样的危险区域，否则其不应位于该危险处所的通风管道内。

10.1.3.3 用于含有气体源处所的风机应满足下列要求：

(1) 风机在通风处所或与该处所相连的通风系统内不应产生着火源。风机的风扇和通风管道（仅指风扇处）应为满足下述要求的非火花结构：

① 非金属材料的叶轮或机壳，对消除静电应予以适当注意；

② 有色金属材料的叶轮和机壳；

③ 奥氏体不锈钢的叶轮和机壳；

④ 铝合金或镁合金叶轮，铁质（包括奥氏体不锈钢）机壳，机壳上位于叶轮处装有一个厚度适当的非铁材料环，对环和机壳之间的静电和腐蚀应予以适当注意；或

⑤ 铁质（包括奥氏体不锈钢）叶轮和机壳，其叶梢设计间隙不小于13mm。

(2) 叶轮和机壳之间的径向空隙不得小于轴承处叶轮轴直径的0.1倍，且不得小于2mm，但不必大于13mm。

(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，无论其叶梢间隙多大，均认为有产生火花的危险，故不能用于气体危险处所。

10.1.3.4 为避免气体积聚而要求设置的通风系统应由多个独立的风机组成，除本规范另有规定外，每个风机都应具有足够的通风能力。

10.1.3.5 气体危险处所的空气进口所在的区域，在没有设置该空气进口时，应为非危险区域。气体安全处所的空气进口应设置在安全区域，距离任一危险区域的边界应至少1.5m。进气管通过一个更危险的处所时，该管道应气密且具有高于所通过处所的压力。

10.1.3.6 气体安全处所的空气出口应位于危险区域外。

10.1.3.7 气体危险处所的空气出口应位于露天区域，此区域在没有设置该空气出口时，其危险性应等同于或小于被通风的处所。

10.1.3.8 通风系统所要求的通风能力通常基于舱室的总容积确定。对于形状复杂的舱室，应适当考虑增加通风能力。

10.1.3.9 开口通向危险区域的非危险处所应设置空气闸，并且相对外部危险区域保持正压状态。正压通风应按下述要求进行布置：

(1) 在初次启动时或正压通风状态丧失后，并在向该处所非合格防爆型的电气装置供电之前，通风装置应：

① 进行通风（至少换气5次）或通过检测确认该处所为非危险处所；和

② 对该处所加压。

(2) 应对正压通风装置的运行进行监测，并在正压通风失效时：

① 应在有人值班的位置发出声光报警；和

② 如不能立刻恢复到正压状态，应按经认可的标准[24]自动或按程序切断电气装置。

10.1.3.10 设有通向危险处所出入口的非危险处所，应设置空气闸，且该危险处所应相对该非危险处所应保持负压状态。应对危险处所内负压通风装置的运行进行监测，并在负压通风失效时：

(1) 应在有人值班的位置发出声光报警；和

(2) 如不能立刻恢复到负压状态，应按经认可的标准[25]自动或按程序切断非危险处所内的电气装置。

10.1.3.11 通风系统应确保其所服务的处所内具有良好的空气环流，特别是确保处所内不会形成气井。

10.1.3.12 危险处所的通风管道不应穿过起居处所、服务处所或其他类似处所。

10.1.3.13 气体危险区域内人员不经常进入的空舱及类似处所，可采用移动式通风装置，在进入此类舱室或处所前，应对其进行通风，且此类舱室或处所外应设有“需要进行通风”的警告牌。移动式通风装置的防爆等级应与气体危险区域的等级相匹配，且持有船用产品证书。

10.1.3.14 危险处所使用的风机，均应配有备件。

10.1.3.15 风机的外壳应接地。

10.1.3.16 危险处所通风管的外部开口处，应设置单个方形网孔边长不大于13mm的防护网。

10.1.3.17 当通风系统失效时，应在有人值班的位置发出声光报警。

10.1.3.18 应采取适当措施防止通风系统中1个或1组风机失效时，该风机所在的管路与其他风机所在管路形成通风回路。

10.1.3.19 危险处所的机械抽风系统，抽风机的每根进风管的风口应根据气体燃料可能聚集的区域进行布置，一般应布置在舱室的上部。

10.1.3.20 对于需满足安全返港要求的客船，客船安全区域[26]的任何开口处不应位于气体危险区

24 参见 IEC 60092-502 船舶电气装置—液货船—特征，表 5。

25 参见 IEC 60092-502 船舶电气装置—液货船—特征，表 5。

26 参见 SOLAS 第Ⅱ-2 章第 21 条。

域内，客船安全区域的通风进口应距气体危险区域的边界至少1.5米。

第 2 节　燃料舱接头处所

10.2.1　一般要求

10.2.1.1　燃料舱接头处所应设置有效的抽吸式机械通风系统。通风能力应为每小时至少换气30次。如安装了其他合适的防爆装置，则可以降低换气率。替代装置的等效性应通过风险评估予以证明。

10.2.1.2　燃料舱接头处所的通风围阱内内应设有经认可的故障安全型自动挡火闸。

10.2.1.3　当发动机处于燃气模式时，通风系统应持续运转。

10.2.1.4　风机的数量和功率应满足: 从主配电板或应急配电板由独立线路供电的一个风机失效，或者从主配电板或应急配电板由公用线路供电的一组风机失效时，通风能力不应下降超过总通风能力的50%。

第 3 节　机器处所

10.3.1　一般要求

10.3.1.1　含有气体燃料设备的机器处所的通风系统应独立于其它通风系统。

10.3.1.2　发动机处于燃气模式时，所要求的通风系统应持续运转。

10.3.1.3　ESD防护型机器处所的通风能力应为每小时至少换气30次。该通风系统应确保所有处所内的空气循环良好，特别是确保能探测到舱室内任何形式的空气死角。作为替代，可接受在正常操作下机器处所的通风能力为每小时至少换气15次，前提是如在机器处所内探测到气体，换气次数将自动增加到每小时30次。

10.3.1.4　ESD防护型机器处所的通风布置应具有足够的冗余，以确保达到本社所接受标准[27]中所定义的高水平要求的通风有效性。

10.3.1.5　ESD防护型机器处所和气体安全机器处所双层壁管通风系统的风机数量和功率应能确保当由主配电板或应急配电板的一路独立线路供电的一台风机或由主配电板或应急配电板的共用线路供电的一组风机停止运转时，通风能力的降低不会超过总通风能力的50%。

第 4 节　燃料准备间

10.4.1　一般要求

10.4.1.1　燃料准备间应设置有效的抽吸式机械通风系统，其通风能力应为每小时至少换气30次。

27 参见 IEC 60079-10-1 爆炸性环境—第 10-1 部分：区域分级—爆炸性气体环境

10.4.1.2 风机的数量和功率应满足：从主配电板或应急配电板由独立线路供电的一个风机失效，或者从主配电板或应急配电板由公用线路供电的一组风机失效时，通风能力不应下降超过50%。

10.4.1.3 在泵或压缩机工作时，燃料准备间的通风系统应保持运转。

10.4.1.4 通风系统运行10min后泵和压缩机方可启动。

第 5 节 加注站

10.5.1 一般要求

10.5.1.1 加注站未布置在开敞甲板时，其应进行适当通风，以确保在加注作业期间泄漏的任何气体能被移除至站外。如自然通风不足，则应按照5.2.1.1所要求的风险评估设置机械通风装置。

第 6 节 双壁管

10.6.1 一般要求

10.6.1.1 含有燃料管系的双壁管应设置有效的抽吸式机械通风系统，其通风能力应为每小时至少换气30次。如机舱内的双壁管符合6.4.1.1（1）的规定，则本条要求不适用。

10.6.1.2 双壁管和气体安全机器处所内气体阀件单元处所的通风系统应独立于所有其他通风系统。

10.6.1.3 双壁管的通风进口应始终位于远离着火源的非危险区域内。通风进口处应设有合适的金属丝网保护，并应防止进水。

10.6.1.4 如能确保双壁管或管道内的空气流速不低于3m/s，则其通风系统的能力可低于每小时换气30次。对管道空气流速的计算应连带考虑燃料管路和其他所安装的部件。

10.6.1.5 风机的数量和功率应满足：从主配电板或应急配电板由独立线路供电的一个风机失效，或者从主配电板或应急配电板由公用线路供电的一组风机失效时，通风能力不应下降超过50%。

第 7 节 气体阀件单元处所

10.7.1 一般要求

10.7.1.1 气体阀件单元处所的通风系统应满足本章第6节对通风系统的要求。

第 11 章　电气装置

第 1 节　一般规定

11.1.1 目的

11.1.1.1　本章的目的是将电气装置点燃可燃性气体环境的可能性降至最低。

11.1.2 功能要求

11.1.2.1　本章与1.1.3.2（1）、（2）、（4）、（7）、（8）、（11）、（13）和（16）至（18）中的功能要求相关，特别应满足如下要求：

发电、配电及其相关的控制系统，应设计为单个故障不会导致维持燃料舱压力和船体结构温度保持在正常营运限制内的能力丧失。

11.1.3 一般要求

11.1.3.1　电气设备符合的标准应至少等效于本社所接受的标准[28]。

11.1.3.2　除非出于操作目的或提高安全性而必须安装，否则电气设备或电缆应避免安装在危险区域内。

11.1.3.3　电气设备安装在11.1.3.2 所指的危险区域时，其选型、安装和维护所符合的标准应至少等效于本社所接受的标准[29]。

在危险区域中使用的设备应经本社认可机构的评估、认证和登记。

11.1.3.4　用于维持燃料舱压力和船体结构温度在正常营运限制内的发配电系统，应按本社接受的标准[30]对其进行单个故障的失效模式及影响分析（FMEA）并予以记录。

11.1.3.5　危险区域的照明系统（如设有）至少应有2个分路。所有的开关及保护装置应能断开全部的极或相，并应位于非危险区域内。

11.1.3.6　电气设备在船舶上的安装应确保其自身与船体的安全连接。

11.1.3.7　潜液泵应设有在低液位时发出报警并自动关停电动机的装置。自动关停可以通过检测泵排出压力低，电动机电流低，或液位低来实现。上述关停应在驾驶室，连续有人值班的集控室或船舶安全中心发出声光报警。

11.1.3.8　燃料的潜液泵电机及其供电电缆可安装在燃料围护系统中。燃料泵电机应能在除气操作时与其供电电源断开。

---

28 参考 IEC60092 系列标准，如适用。

29 参考国际电工委员会所发布的建议，特别是 IEC60092-502 出版物。

30 参考 IEC60812。

11.1.3.9 对于设有通道通向露天甲板危险区域，且此通道由空气闸保护的非危险处所，其内部的非合格防爆电气设备在该处所失去正压保护时应断电。

11.1.3.10 用于推进、发电、操纵、锚泊、系泊及应急消防泵的电气设备，如位于被空气闸保护的处所，其应为合格防爆型设备。

11.1.3.11 加注站附近应设有应急照明或临时应急照明。

11.1.3.12 气体燃料发动机电控系统、气体控制系统、气体安全系统均应由两路电源供电，其中，一路为主电源供电，一路为蓄电池电源或不间断电源UPS（后备式UPS除外）供电。当主电源失效时，应能自动转换为蓄电池或UPS电源供电，并能在就地和驾驶室进行报警显示。蓄电池电源的供电时间应不低于30min。当船舶仅以蓄电池作主电源时，上述系统应由两路主电源供电。

11.1.3.13 应考虑与加注船舶、设施和岸站之间的相互影响，布置在舷边的电气设备宜为合格防爆型。

第 12 章　控制、监测和安全系统

第 1 节　一般规定

12.1.1 目的

12.1.1.1 本章目的是规定控制、监测和安全系统的布置要求，为本规范其他章节中所涵盖的用气设备有效和安全运行提供支持。

12.1.2 功能要求

12.1.2.1 本章与1.1.3.2（1）、（2）、（11）、（13）至（15）、（17）、（18）中的功能要求相关，特别应满足下述要求：

(1) 用气设备的控制、监测和安全系统应布置成，在单一故障情况下，推进和发电系统的剩余功率满足6.1.3.1的规定；

(2) 气体安全系统应布置成，在发生表12.4.3所述系统故障以及其它发展速度过快以致来不及人工干预的故障时，能自动关闭气体燃料供应系统；

(3) 对于ESD防护型机器处所，气体安全系统应在气体泄漏时关闭气体燃料供应，并应断开机器处所内的所有非合格防爆型电气设备；

(4) 为避免可能的共因故障，安全功能应布置在一个专用气体安全系统中，该系统应独立于气体控制系统，这包括供电以及输入和输出信号；

(5) 气体安全系统包括现场仪表，应布置成能够避免误切断，例如，由于气体探测器故障或传感器线路断线而误切断；和

(6) 当需设置两套或多套气体供应系统来满足要求时，每套系统均应设有其自身的独立气体控制和安全系统。

12.1.3 一般要求

12.1.3.1 应设置合适的仪表设备，能够就地或远程对重要参数进行读数，以确保对整个气体燃料系统（包括加注）的安全管理。

12.1.3.2 独立燃料舱的每个燃料舱接头处所内的污水阱，应设有液位指示器和温度传感器。污水井高液位时应发出报警，低温指示应触发安全系统。

12.1.3.3 对于船上安装的非固定式燃料舱，应按固定式燃料舱的要求配备1套监测系统。

12.1.3.4 监测、控制和安全的有关要求见表12.4.2和表12.4.3。其中，表12.4.2的内容应由气体控制系统进行处理，表12.4.3的内容应由气体安全系统进行处理。如有报警同时出现在表12.4.2和表12.4.3中，则其应由气体控制系统和气体安全系统采用彼此独立的传感器加以实现。

12.1.3.5 有关气体探测的报警，可由气体安全系统进行报警，也可由独立的气体探测系统进行

报警，并触发气体安全系统。

12.1.3.6 气体安全系统的输出信号应为电信号，并不依赖于气体控制系统执行相关报警和保护动作。

第 2 节　监测与控制

12.2.1 加注和燃料舱

12.2.1.1 燃料舱液位指示

(1) 每一燃料舱应安装液位测量装置，其布置应确保燃料舱处于使用状态时，始终可获得液位读数。测量装置应设计成能在燃料舱的设计压力范围内以及在燃料操作温度范围内进行工作。

(2) 如仅安装一个液位表，则其应布置成能在燃料舱使用时仍能对其进行必要的维修，而无需清空燃料舱或对燃料舱进行除气。

(3) 液化气燃料舱的液位测量装置可为下列型式：

.1 间接式装置，即采用诸如称重或在线流量测量的方法确定液位；或

.2 不伸入燃料舱的闭式装置，例如使用放射性同位素或超声波装置等；或

.3 伸入燃料舱的闭式装置（仅适用于国内航行海船和内河船舶），其为封闭系统的组成部分，并能防止燃料溢出，如浮筒式系统、电子探头、磁性探头和气泡管式指示器等。如果闭式测量装置不是直接装在燃料舱上，则应在尽可能靠近燃料舱的位置设一个截止阀。

(4) 在驾驶室、连续有人值班的集控站或船舶安全中心应有燃料舱液位的间接指示。

12.2.1.2 溢流监控

(1) 每个燃料舱均应设有一个独立于其他液位指示器的高液位报警装置，并在动作时发出听觉和视觉报警。

(2) 每个燃料舱还应设有另一传感器，在燃料舱处于高高液位时，其应能自动启动1个截止阀，以避免燃料加注管路中产生过大的液体压力及防止燃料舱内被充满燃料。该传感器应与12.2.1.2（1）要求的液位传感器相互独立。

(3) 燃料舱中传感器的位置应能在交付使用前确认。在交船后和每次干坞后第一次满载时，应通过提升燃料舱内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）应能进行功能试验。在按照14.2.5进行燃料操作之前应进行系统试验。

(5) 如设有越控溢流控制系统的装置，其应能防止不当操作。如进行越控，应在驾驶室、连续有人值班的集控站或船舶安全中心给出连续视觉指示。

12.2.1.3 每个燃料舱的气相空间均应设有1个直接读数压力表，此外，在驾驶室、连续有人值班的集控室或船舶安全中心应设有间接指示。

12.2.1.4 燃料舱压力表上应清晰标记燃料舱内的最高和最低允许压力。

12.2.1.5 在驾驶室、连续有人值班的集控室或船舶安全中心应设有燃料舱的高压报警，以及低压报警（如需真空保护时）。在达到安全阀的设定压力之前，应触发报警。

12.2.1.6 每个燃料泵或压缩机出口管路上和每个液体和蒸气燃料总管上，应至少各安装1个就地显示的压力表。

12.2.1.7 应设有就地读数的总管压力表，以指示船舶加注总管截止阀和软管通岸接头之间的压力。

12.2.1.8 未设有通向大气开口的燃料舱处所和屏壁间处所均应设置压力表。

12.2.1.9 至少1个压力表应能在整个操作压力范围内进行指示。

12.2.1.10 对于潜液式燃料泵电动机及其供电电缆，应设有能在低液位时发出报警并自动关停电动机的装置。自动关停电动机可通过探测泵出口压力低，电动机低电流或低液位予以实现。此关停应在驾驶室、连续有人值班的集控室或船舶安全中心发出声光报警。

12.2.1.11 每个燃料舱应至少在如下3个位置设置燃料温度测量及指示装置：

(1) 燃料舱底部；

(2) 燃料舱中部；

(3) 最高允许液位下方的燃料舱顶部。

但对于设有真空绝热系统和增压燃料排放装置的C型独立燃料舱，只需要装设（1）、（3）两个位置的温度测量及指示装置，如C型独立燃料舱高度低于2m，则只需装设（1）位置的温度测量及指示装置。

12.2.2 加注

12.2.2.1 应可从一个远离加注站的安全位置对加注进行控制。在此位置，应对燃料舱压力、燃料舱温度（如12.2.1.11 要求）和液位进行监测，并能对5.3.1.3和8.3.3.8所要求的遥控阀进行操作。此位置还应指示溢流报警和自动切断。

12.2.2.2 如果加注管路的双壁管内通风失效，则应在加注控制位置发出声光报警。

12.2.2.3 如果加注管路的双壁管内探测到可燃气体，则应在加注控制位置发出声光报警，并紧急切断气体燃料加注。

12.2.3 气体压缩机

12.2.3.1 应在驾驶室和机舱集控室设有气体燃料压缩机的声光报警。报警项目应至少包括进气压力低，排气压力低，排气压力高和压缩机运行故障。

12.2.3.2 应对舱壁轴填料函和轴承进行温度监控，并在驾驶室或连续有人值班的集中控制站发出连续的声光报警。

12.2.4 热交换器

12.2.4.1 应对热交换器传热介质温度和循环流量进行监测，当传热介质实际温度低于设计允许值时应提供低温报警。当传热介质停止循环时应自动关闭相应燃料舱主阀并停止燃料泵运行，以避免传热介质结冰。

12.2.4.2 应对热交换器出口温度进行监测，并提供低温报警。当热交换器出口温度过低时，应自动切断向热交换器供应燃料的管路上的截止阀。

12.2.5 气体燃料发动机

12.2.5.1 除满足SOLAS II-1章C部分和《钢质海船入级规范》（对于国际航行船舶）或《国内航行海船建造规范》或《钢质内河船舶建造规范》对柴油机监测（对于国内航行船舶）的适用要求外，还应在驾驶室、集控室和机旁设置指示器，以指示：

(1) 发动机运行状态（对单一气体燃料发动机）；或

(2) 发动机运行状态和运行模式（对双燃料发动机）。

12.2.6 通风监测

12.2.6.1 所要求的通风能力发生任何损失时，应在驾驶室或连续有人值班的集控室或船舶安全中心发出声光报警。

12.2.6.2 不应采用风机电动机的运行信号作为通风监测措施。

12.2.6.3 对于ESD防护型机器处所，机舱内通风失效时应触发安全系统。

12.2.6.4 对于燃料舱接头处所、燃料准备间，双壁管（通风管道），其内部通风失效时应触发安全系统。

12.2.7 污水阱

12.2.7.1 燃料舱接头处所、燃料准备间的污水阱应装设液位传感器，当出现高液位时应发出报警，并在出现低温时应通过安全系统自动关闭所有相关阀件以隔绝低温泄漏。

第 3 节　气体探测和火灾探测

12.3.1 对气体探测的要求

12.3.1.1 在下述位置应安装固定式气体探测器：

(1) 燃料舱接头处所内；

(2) 双壁管内外层管之间；

(3) 含有气体燃料管路、气体设备或者用气设备的机器处所内（气体安全机器处所除外）；

(4) 压缩机室和燃料准备间内；

(5) 其它含有燃料管路或燃料设备，但未设置双壁管的围蔽处所内；

(6) 其它可能产生气体积聚的围蔽/半围蔽处所内，包含屏壁间处所和除C型独立燃料舱以外独立燃料舱的燃料舱处所；

(7) 空气闸内；

(8) 加热回路膨胀柜；

(9) 与气体燃料系统相关的电动机处所内；

(10) 围蔽/半围蔽加注站；

(11) 气体阀件单元处所(气体阀件单元处所与通风导管连通且气体阀件单元处所内部空间不大于2m^3时，气体阀件单元处所可视为通风导管的一部分）；和

(12) 经1.1.6所要求的风险分析后，可能存在可燃气体的起居处所和机器处所的通风进口。

12.3.1.2 基于冗余的考虑，12.3.1.1 中所述的固定式气体探测器应为两个相互靠近且独立的探测器。如探测器具备自检功能，则允许仅使用一个探测器，并应备有备件以便及时更换。

12.3.1.3 如采用带自检功能的气体探测器，检测到自身故障时，气体安全系统或气体探测系统应将其等同于探测到气体浓度高。

12.3.1.4 在每个ESD防护型机器处所内，应设置冗余的气体探测系统。

12.3.1.5 每个处所内气体探测器的数量应根据该处所的大小、布置和通风情况予以考虑。

12.3.1.6 探测装置应位于气体可能积聚处或通风出口处。可采用气体扩散分析或物理烟雾试验的方法来确定最佳安装位置。

12.3.1.7 应依据公认的标准[31]进行气体探测设备的设计、安装和试验。

12.3.1.8 可燃气体浓度达到20%LEL时，应触发声光报警。两个探测器（见表12.4.3脚注1）探测可燃气体浓度达到40%LEL时，应触发安全系统。

12.3.1.9 对于含有气体燃料发动机的机器处所内的双壁管（通风管道），报警限值可设定在30%LEL，两个探测器（见表12.4.3脚注1）探测可燃气体浓度达到60%LEL时，应触发安全系统。

12.3.1.10 可燃气体探测装置的声光报警应布置在驾驶室或连续有人值班的集控室。

12.3.1.11 本节所要求的可燃气体探测应连续进行无延迟。

12.3.1.12 屏壁间处所和除C型独立燃料舱以外独立燃料舱的燃料舱处所设置的气体探测设备应能测量0至100%的气体浓度（按容积计）。

12.3.1.13 应配置1套便携式可燃气体探测器供船员对舱室可燃气体的检查。

12.3.1.14 在气体燃料发动机机器处所和独立燃料舱的燃料舱处所内，应按如下表12.4.3要求设置火灾探测的安全动作。

第 4 节　燃料供应系统的控制和安全功能

12.4.1 一般要求

12.4.1.1 如自动截止阀启动导致燃料供应被切断，则在确定断开原因并采取必要措施之前不得开启燃料供应。为此，应在燃料供应管路截止阀的控制位置，张贴显见的指示牌。

12.4.1.2 如燃料泄漏导致燃料供应被切断，则在找到泄漏处并进行处理之前不得开启燃料供应。为此，应在机器处所的显见位置张贴指示牌。

12.4.1.3 气体燃料发动机机器处所内应固定安装一块警告牌或告示板，上面写明在发动机使用气体运转时，不得进行暗含破坏燃料管路危险的起重作业。

12.4.1.4 对于压缩机、泵和燃料供应，应在下述位置（如适用）布置能进行手动遥控紧急切断的装置：

(1) 驾驶室；

31 参考 IEC 60079-29-1 爆炸性气体环境—第 29-1 部分：气体探测器—易燃气体探测器的性能要求

(2) 货物控制室；

(3) 船舶安全中心；

(4) 机舱集控室；

(5) 消防控制站；和

(6) 燃料准备间出口附近。

对于压缩机还应布置就地手动紧急切断。

12.4.1.5 对于本章表12.4.2和表12.4.3中要求的安全措施，如涉及燃料加注，其指示、报警和安全动作应布置在加注操作控制位置和/或其他安全位置；对于本章表12.4.3中的报警应布置在驾驶室或连续有人值班的集控室或船舶安全中心。

12.4.1.6 对于单一气体燃料系统，当机器处所内的通风失效时，除了应进行本章表12.4.3所示的动作外，还应有以下措施:

(1) 对于多机舱的电力推进系统：应起动另一台发动机。当第2台发动机与汇流排连接时，第1台发动机应自动关闭。

(2) 对于多机舱的直接推进系统：如果采用手动停车后仍有至少40%的有效推进功率和正常的电力供应以用于航行，则通风失效的机器处所内的发动机应手动停车。

(3) 对于单一机舱，当气体燃料管路双壁管的通风失效或惰性气体失压时，若另一供气管路已准备好，则该供气管路上的主气体燃料阀和互锁气体阀应自动关闭。

12.4.1.7 对于需满足安全返港要求的客船，气体燃料供应系统的监控功能应在客船的安全中心[32]具有相应布置和实现。

12.4.2 对气体控制系统的监控要求

气体控制系统的监控 **表12.4.2**

参　　数	报警	燃料舱主阀自动关闭[1)]	主气体燃料阀和互锁气体阀自动关闭，自动透气阀开启	加注总管截止阀自动关闭	备　注
压缩机和热交换器					
压缩机气体燃料进口压力低	×				
压缩机气体燃料出口压力低	×				
压缩机气体燃料出口压力高	×				
压缩机运行故障	×				
热交换器传热介质温度低	×				

32 参见 SOLAS 第Ⅱ-2 章第 23 条。

续表12.4.2

参　　数	报警	燃料舱主阀自动关闭[1)]	主气体燃料阀和互锁气体阀自动关闭，自动透气阀开启	加注总管截止阀自动关闭	备　注
热交换器传热介质停止循环	×	×			同时停止燃料泵
热交换器出口气体燃料温度低	×				
热交换器出口气体燃料温度低低	×	×	×		
1）指6.2.1.1所述的阀。					

12.4.3 对气体安全系统的监控要求

气体安全系统的监控　　表12.4.3

参　数	报警	燃料舱主阀自动关闭[6)]	主气体燃料阀和互锁气体阀关闭，自动透气阀开启	加注总管截止阀自动关闭	备　注
燃料舱、加注站及加注管路					
燃料舱液位高	×				
燃料舱压力高	×				
燃料舱压力低	×				见12.2.1.5
燃料舱高高液位	×			×	非加注工况时仅提供报警
潜液泵电机电缆低液位	×				停止燃料泵运行
围蔽或半围蔽加注站内探测到气体浓度高于20%LEL	×				
围蔽或半围蔽加注站内两个探测器[1)]探测到气体浓度高于40%LEL	×			×	
加注管路双壁管（通风导管）通风失效	×				
加注管路双壁管（通风导管）内探测到气体浓度高于20%LEL	×				
加注管路双壁管（通风导管）内两个探测器[1)]探测到气体浓度高于40%LEL	×			×	
燃料舱处所、燃料舱接头处所和屏壁间处所					
燃料舱接头处所内探测到气体浓度达到20%LEL	×				

续表 12.4.3

参　数	报警	燃料舱主阀自动关闭[6)]	主气体燃料阀和互锁气体阀关闭，自动透气阀开启	加注总管截止阀自动关闭	备　注
两个探测器[1)]探测到燃料舱接头处所内气体浓度达到40%LEL	×	×			
燃料舱处所内探测到火灾	×				
甲板以下的燃料围护系统通风围阱内探测到火灾	×				
燃料舱接头处所内的污水阱液位高	×				
燃料舱接头处所内的污水阱温度低	×	×			
燃料舱接头处所内通风能力降低	×				
燃料舱接头处所内通风失效	×	×			同时停止燃料泵
屏壁间处所内探测到气体浓度达到20%LEL	×				见12.3.1.1 （6）
燃料舱处所内探测到气体浓度达到20%LEL	×				见12.3.1.1 （6）
燃料准备间					
燃料准备间内探测到气体浓度达到20%LEL	×				
两个探测器[1)]探测到燃料准备间气体浓度达到40%LEL	×	×[2)]			
燃料准备间内的污水阱液位高	×				
燃料准备间内的污水阱温度低	×	×			
燃料准备间内通风能力降低	×				
燃料准备间内通风失效	×	×			
舱壁轴填料函和轴承温度高	×				见12.2.3.2
位于燃料舱和机器处所之间的供气管路					
燃料舱和机器处所之间的双壁管内探测到气体浓度达到20%LEL	×				
两个探测器[1)]探测到燃料舱和机器处所之间的双壁管内气体浓度高于40%LEL	×	×[2)]			

续表 12.4.3

参　数	报警	燃料舱主阀自动关闭[6)]	主气体燃料阀和互锁气体阀关闭，自动透气阀开启	加注总管截止阀自动关闭	备　注
燃料舱和含有气体燃料发动机的机器处所之间的双壁管内通风能力降低	×				
燃料舱和含有气体燃料发动机的机器处所之间的双壁管内通风失效[5)]	×		×[2)]		
气体阀件单元处所					
一个探测器探测到气体阀件单元处所内气体浓度高于20%LEL	×				
两个探测器[1)]探测到气体阀件单元处所内气体浓度高于40%LEL	×		×[3)]		
气体阀件单元处所内通风失效	×		×[3)]		
气体燃料发动机机器处所					
含有气体燃料发动机的机器处所内探测到火灾	×				
探测到机器处所内供气管路破裂	×		×[8)]		仅适用于6.2.1.10和6.4.1.3条所述情形
含有气体燃料发动机的机器处所内的双壁管（通风管道）中探测到气体浓度达到30%LEL	×				如含有气体燃料发动机的机器处所内设有双壁管
两个探测器[1)]探测到含有气体燃料发动机的机器处所内的双壁管（通风管道）中气体浓度达到60%LEL	×		×[3)]		如机器处所内设有双壁管
气体安全机器处所发动机上方探测到气体浓度高于20%LEL	×				见6.4.1.2（2）
两个探测器[1)]探测到气体安全机器处所发动机上方气体浓度高于40%LEL	×		×[7)]		见6.4.1.2（2）
含有气体燃料发动机的ESD防护型机器处所内探测到气体浓度达到20%LEL	×				
两个探测器[1)]探测到含有气体燃料发动机的ESD防护型机器处所气体浓度达到40%LEL	×		×		还应断开机器处所内非合格防爆型电气设备

续表 12.4.3

参　数	报警	燃料舱主阀自动关闭[6)]	主气体燃料阀和互锁气体阀关闭，自动透气阀开启	加注总管截止阀自动关闭	备　注
含有气体燃料发动机的机器处所内的双壁管（通风管道）内通风能力降低[5)]	×				
含有气体燃料发动机的机器处所内的双壁管（通风管道）内通风失效[5)]	×		×[3)]		如含有气体燃料发动机的机器处所内设有双壁管
含有气体燃料发动机的ESD防护型机器处所内通风能力下降	×				
含有气体燃料发动机的ESD防护型机器处所内通风失效	×		×		
其他					
气体供应管路内压力异常	×				
控制阀门的工作介质失效	×		×[4)]		视需要可延迟
发动机自动停车（发动机故障）	×		×[4)]		
发动机手动紧急停车	×		×		
人工紧急关闭燃料供应	×		×		见12.4.1.4
人工紧急关闭燃料加注	×			×	见12.2.2.1
其它可能产生气体积聚的围蔽/半围蔽处所内探测到气体浓度达到20%	×				见12.3.1.1（6）
空气闸内探测到气体浓度达到20%	×				见12.3.1.1（7）
加热回路膨胀柜内探测到气体浓度达到20%LEL	×				见12.3.1.1（8）
与气体燃料系统相关的电动机处所内探测到气体浓度达到20%	×				见12.3.1.1（9）

1) 基于冗余的考虑应安装两个相互靠近且独立的探测器，如探测器具备自检功能，则允许仅安装一个探测器。

2）如果燃料舱向一台以上发动机供气，并且不同的供气管路完全独立并安装在独立的管道内，同时每条管路上的主气体燃料阀位于管道外部，则仅关闭通往探测到可燃气体或通风失效的管道的供气管路上的主气体燃料阀。

3)如果气体燃料供至一台以上发动机，并且不同的供气管路完全独立并安装在独立的管道内，同时每条管路上的主气体燃料阀位于管道外部和机器处所之外，则仅关闭通往探测到可燃气体或通风失效的管道的供气管路上的主气体燃料阀。

4）仅双截止透气阀关闭。

5）如果管道由惰性气体进行保护（见6.4.1.1（1）），则惰性气体失压应引起本表所述相同的动作。

6）指6.2.1.1所述的阀。

7）仅适用于双燃料发动机。

8）也可以是切断一个专用于供气管路破裂情况下的截止阀。

第 13 章　制造、工艺和试验

第 1 节　一般规定

13.1.1　一般要求

13.1.1.1　制造、工艺、试验、检查以及文件，除满足本章规定外，还应符合本社《材料与焊接规范》和《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》等相关规范/指南或公认标准的相关要求。

13.1.1.2　如规定或要求作焊后热处理，其母材性能应在热处理条件下按照本规范第3章适用的表列要求予以确定，焊缝性能应在热处理条件下根据本章第3节的规定予以确定。如果采用焊后热处理，则上述试验要求经本社同意后可适当修改。

第 2 节　通用试验要求

13.2.1　拉伸试验

13.2.1.1　拉伸试验应按本社《材料与焊接规范》进行。

13.2.1.2　抗拉强度、屈服应力和延伸率应使本社满意。对具有明显屈服点的碳锰钢和其他材料，应考虑其屈强比的限制。

13.2.2　韧性试验

13.2.2.1　除本社另有规定外，金属材料的验收试验应包括夏比V型缺口冲击韧性试验。规定的夏比V型缺口冲击能量值的要求为3个全尺寸（10 mm×10 mm）试样的最小平均冲击能量值和对最小的单个试样冲击能量。夏比V型缺口试样的尺寸和公差应符合本社《材料与焊接规范》的相关要求。尺寸小于5 mm的试样的试验和要求应符合公认标准。小尺寸试样的最小平均值见表13.2.2.1所示。

夏比V型缺口小尺寸试样的最小平均冲击能量　　**表13.2.2.1**

夏比 V 型缺口试样尺寸 (mm)	3 个试样的最小平均冲击能量 （J）
10×10	KV
10×7.5	5/6KV
10×5	2/3KV

注： KV——本规范表3.3.1.1（1）至表3.3.1.1（4）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%。

13.2.2.2 对于母材，应尽可能按材料厚度截取最大尺寸的夏比V型缺口试样，应尽量使试样位于材料表面和其厚度中心之间的中点位置，并使缺口的长度方向垂直于材料表面(见图13.2.2.2所示)。

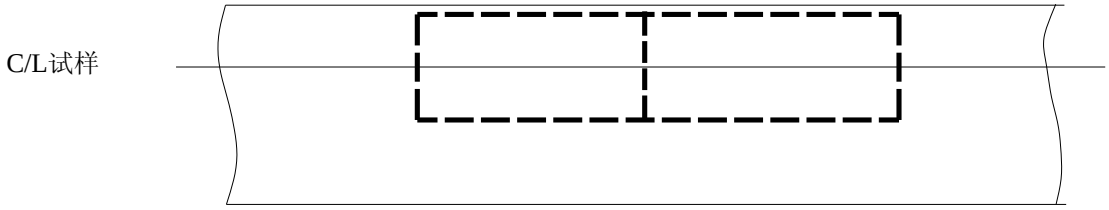
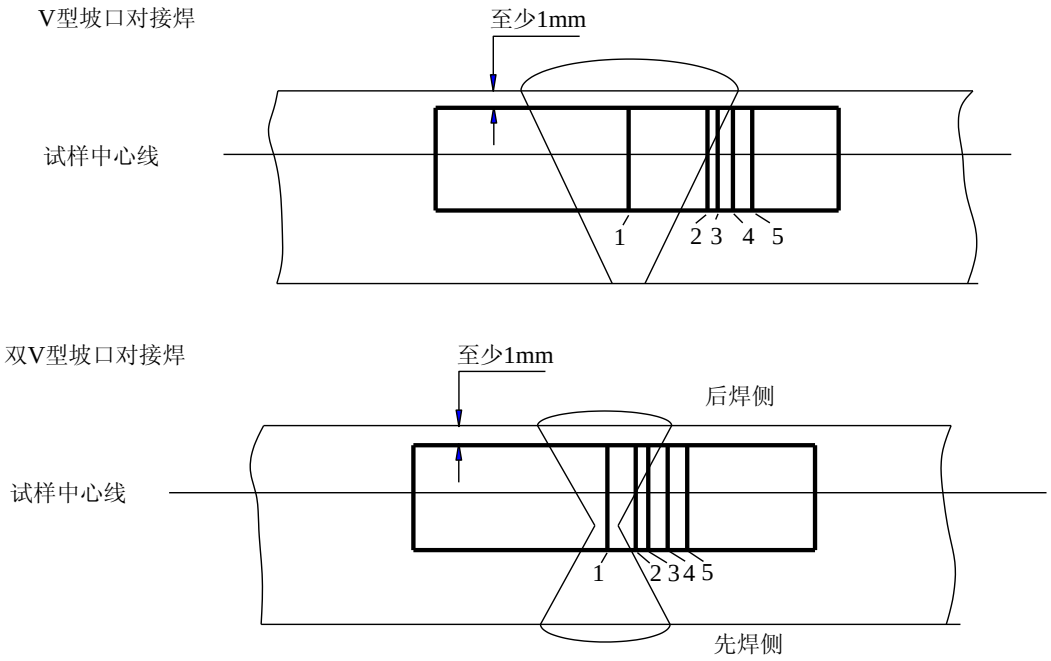


图 13.2.2.2 母材试样的方向性

13.2.2.3 对于焊接试验试样，尽可能按材料厚度截取最大尺寸的夏比V型缺口试样，应尽量使试样接近材料表面和其厚度中心之间的中点位置，在各种情况下，从材料表面至试样边的距离应不小于1 mm。此外，对于双V型坡口的对接焊缝，应在接近于第2个焊接面处截取试样。试样一般应取在下列位置，即焊缝的中线上、熔合线上和距离熔合线1 mm、3 mm和5 mm处，见图13.2.2.3所示。



图中的缺口位置表示如下：

.1 位于焊缝中心。

.2 位于熔合线上。

.3 在热影响区（HAZ），距熔合线1 mm。

.4 在热影响区（HAZ），距熔合线3 mm。

.5 在热影响区（HAZ），距熔合线5 mm。

图 13.2.2.3 焊接试样的方向性

13.2.2.4 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规定的要求，或1个以上试样的冲击能量低于规定的平均值，或者仅有1个试样的冲击能量低于所允许的单个试样的最小冲击能

量值，则可以从同一材料中再取3个附加试样进行试验。将所得的结果与原先获得的试验结果组成1个新的平均值。如新的平均值符合要求，并且低于要求的平均值的个别结果不多于2个且低于单个试样要求值的试样结果不多于1个，则可以接受此件或该批材料。

13.2.3 弯曲试验

13.2.3.1 对于材料验收试验，可不要求弯曲试验，但对焊接试验仍要求弯曲试验。如进行弯曲试验，应按本社《材料与焊接规范》进行。

13.2.3.2 弯曲试验应为横向弯曲试验，经本社同意可进行正弯、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。

13.2.4 断面观察和其他试验

13.2.4.1 本社可要求按照公认标准对焊缝进行宏观断面、微观断面观察以及硬度试验。

第 3 节　燃料围护系统的金属材料焊接和无损探伤

13.3.1 一般规定

13.3.1.1 本节仅适用于主屏壁和次屏壁，包括构成次屏壁的内壳。碳钢、碳锰钢、镍合金钢和不锈钢应进行验收试验，但这些试验也可适用于其他材料。经本社同意可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试验。

13.3.2 焊接材料

13.3.2.1 用于燃料舱的焊接材料应符合本社《材料与焊接规范》的相关要求。所有焊接材料应进行熔敷金属试验和对接焊缝试验。拉伸试验和夏比V型缺口冲击试验中所得的结果应符合公认标准的要求。熔敷金属的化学成分应作记录以供查询。

13.3.3 燃料舱和处理用压力容器的焊接工艺试验

13.3.3.1 所有燃料舱和处理用压力容器的对接焊缝，应作焊接工艺试验。

13.3.3.2 焊接试件应能代表：

(1) 每种母材；

(2) 每种焊接材料和焊接方法；和

(3) 每种焊接位置。

13.3.3.3 对于板材的对接焊试验，试板的制备应使板材轧制方向平行于焊接方向。每种焊接工艺试验所规定的材料厚度范围应符合公认标准。射线检查或超声波检查可由制造厂选择决定。

13.3.3.4 燃料舱和处理用压力容器，应按本章第2节进行下列焊接工艺试验（试样取自各个试件）：

(1) 焊缝横向拉伸试验；

(2) 公认标准要求的纵向全焊缝试验；

(3) 焊缝横向弯曲试验，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，一般应在图13.2.2.3所示的5个缺口位置分别截取试样；

(5) 也可要求对焊缝做宏观断面、微观断面以及硬度检验。

13.3.3.5 每个试验应满足下列要求：

(1) 拉伸试验：焊缝横向抗拉强度应不低于相应母材的最低抗拉强度。对于铝合金，应满足本规范4.2.10.1（4）关于低匹配焊缝的焊缝金属强度要求（如焊缝金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度）。在每种情况下，应提供试样破断位置报告以供备查；

焊缝纵向拉伸试验，熔敷金属的屈服强度应不低于母材的规定最低屈服强度或设计时所考虑的最低屈服强度。

(2) 弯曲试验：试样经直径为4倍试样厚度的弯芯弯曲180°后，不应断裂；

牌号5083铝合金的弯曲试验，材质厚度不大于12.5mm时应以直径为5倍试样厚度弯芯进行弯曲；厚度大于12.5mm时应以直径为6倍试样厚度弯芯进行弯曲。

弯曲试验试样受拉表面不应出现3mm以上的张开型缺陷。

(3) 夏比V型缺口冲击试验：应在对连接母材规定的温度下进行冲击试验。焊缝金属冲击试验的结果，其最小平均冲击能量（KV）应不低于27J。焊缝金属小尺寸试样和单个冲击能量的要求应符合本章13.2.2的规定。熔合线和热影响区的冲击试验结果的最小平均冲击能量（KV）应符合母材横向或纵向要求(视适用而定)，而小尺寸试样的最小平均冲击能量（KV）应符合本章13.2.2的规定。如果材料的厚度不允许截取全尺寸试样或标准小尺寸试样，则试验方法和验收标准应符合公认标准的要求。

13.3.3.6 用于角接焊的工艺试验应符合本社《材料与焊接规范》的相关要求。在该情况下，应选择具有良好冲击性能的焊接材料。

13.3.4 管材的焊接工艺试验

13.3.4.1 管材应进行焊接工艺试验，其要求与本章13.3.3对燃料舱的规定类似。

13.3.5 产品焊缝试验

13.3.5.1 除薄膜燃料舱外，所有燃料舱和处理用压力容器通常按每50 m左右的对接焊缝进行一次产品焊缝试验，并应能代表各个焊接位置。对次屏壁应作相同型式的产品焊缝试验，但经本社同意可减少试验数量。除本章13.3.5.2至13.3.5.5规定的试验外，可要求对燃料舱或次屏壁进行其他试验。

13.3.5.2 A型和B型独立燃料舱的产品焊缝试验应包括弯曲试验，以及一组3个夏比V型缺口的冲击试验（如有要求时）。夏比V型缺口冲击试验试样的缺口应分别位于焊缝中心或热影响区（根据焊接工艺试验的结果来确定的最危险的位置）。对于奥氏体不锈钢，所有的缺口应位于焊缝的中心处。

13.3.5.3 对于C型独立燃料舱和处理用压力容器，除本章13.3.5.2所列的试验外，还应进行焊缝横向拉伸试验。拉伸试验应满足13.3.3.5的要求。

燃料舱和处理用受压容器都要进行焊缝纵向拉伸试验，熔敷金属的屈服强度应不低于母材的规

定最低屈服强度或设计时所考虑的最低屈服强度。

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

13.3.5.5 薄膜燃料舱的试验要求，应与本章13.3.3中所列的适用试验要求一致。

13.3.6 无损探伤试验

13.3.6.1 所有试验程序和验收标准应符合公认标准，除非设计方规定更高的标准以满足设计要求。原则上应使用射线检查发现内部缺陷。但是，经认可的超声波探伤程序可替代射线检查，但应增选部分位置进行射线检查以验证结果。射线和超声波检查记录应予留存。

无损探伤应满足本社《船舶焊接检验指南》第7章相关要求。对于燃料舱的全焊透焊缝（不包括薄膜舱），当采用CB或JIS标准时，其验收等级均应为I级。当采用ISO 标准时，船体结构验收等级按重要区域要求。

13.3.6.2 设计温度为-20℃以下的A型独立燃料舱以及任何设计温度的B型独立燃料舱，所有燃料舱壳板的全焊透对接焊缝应进行适于在其整个长度范围内发现内部缺陷的无损探伤试验。在与本章13.3.6.1规定的相同条件下，超声波检查可替代射线检查。

13.3.6.3 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），应在必要时用磁粉或着色渗透法进行检查。

13.3.6.4 对于C型独立燃料舱，无损探伤的范围应按照公认标准确定其为全部或部分，但检验范围应不少于本章13.3.6.5和13.3.6.6的规定。

13.3.6.5 有关本规范4.2.15.2（1）③中的全部无损探伤范围如下：

射线检查：

(1) 整个长度范围内的所有对接焊缝；

用于表面裂纹检查的无损探伤：

(1) 10%长度范围内的所有焊缝；

(2) 整个长度范围内的开孔和喷管等周围的加强环。

作为替代，本章13.3.6.1规定的超声波检查可代替部分射线检查。此外，本社可要求对开孔周围的加强环和喷嘴等焊缝进行全部超声波检查。

13.3.6.6 部分无损探伤按本规范4.2.15.2（1）③规定进行，检验范围如下：

射线检查：所有对接焊交叉处的接头和对接焊缝全部长度上均匀选取至少10%的长度；

用于表面裂纹检查的无损探伤：整个长度范围内的开孔和喷管等周围的加强环；

超声波检查：本社可根据每一具体情况提出要求。

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

13.3.6.8 管路检查应按照本规范第3章和本社《材料与焊接规范》的相关要求进行。

13.3.6.9 当认为必要时，次屏壁应进行无损探伤以发现其内部缺陷。若船体外壳为次屏壁部分，

则对所有舷侧顶列板的对接焊缝以及舷侧外板上的所有环缝和纵缝的交叉处应进行射线检查。

第 4 节　金属材料构造的其他要求

13.4.1　一般规定

13.4.1.1　焊缝检查和无损探伤应满足本规范13.3.5和13.3.6的要求，以及设计中所规定的更高标准或公差。

13.4.2　独立燃料舱

13.4.2.1　对于由回转体构成主要结构的C型和B型燃料舱，关于制造的公差，例如失圆、局部偏离正确形状、焊接接头的对中以及不同厚度板的削斜等，均应符合公认标准。上述公差均与本规范4.2.14.3规定的屈曲分析有关。

13.4.3　次屏壁

13.4.3.1　建造期间，次屏壁的试验和检查要求应经本社认可或接受（见本规范4.2.3.2（5）和4.2.3.2（6））。

13.4.4　薄膜燃料舱

13.4.4.1　质量保证/质量控制（QA/QC）计划，应确保焊接工艺条件、设计细节、材料、结构、检验和部件生产试验的持续符合性。上述标准和工艺应在实施原型试验计划期间制定。

第 5 节　试　验

13.5.1　建造期间试验和检查

13.5.1.1　所有液化天然气燃料舱和处理用压力容器应根据本章13.5.2至13.5.5所适用的燃料舱类型进行水压或水压-气动压力试验。

13.5.1.2　所有燃料舱应进行密性试验，该密性试验可与本章13.5.1.1规定的压力试验一起进行。

13.5.1.3　应进行本规范4.1.3.3规定的燃料围护系统的气密试验。

13.5.1.4　所有情况下对次屏壁的检查要求，均应由本社确定，并考虑到屏壁的可达性（见本规范4.2.3.2）。

13.5.1.5　对于设有新颖B型独立燃料舱或按照本规范4.2.17设计的燃料舱的船舶，本社可要求至少应在一个原型燃料舱及其支撑结构上使用应变测试仪或其他适当设备进行测量，以确定其在本章13.5.1.1规定的试验期间的应力水平。对于C型独立燃料舱，根据其形状及其支撑构件和附件的布置，也可要求作类似的测量。

13.5.1.6　应按照本社的要求，在液化气体燃料达到稳态热力状态的首次加注期间，验证燃料围

护系统的整体性能符合设计参数。对于验证设计参数所必需的部件和设备，其性能应记录并保存在船上，并可供本社使用。

13.5.1.7　在LNG首次加注期间或紧接其后，应对燃料围护系统的冷点进行检查。绝热表面的完整性检查若不能进行目视检查，则应按照公认标准进行。

13.5.1.8　若按本规范4.2.11.1（3）和4.2.11.1（4）的规定设有加热装置，则应对所要求的热量输出和热量分布进行试验。

13.5.2　A 型独立燃料舱

13.5.2.1　应对所有A型独立燃料舱进行水压或水压-气动试验。试验期间，应使其应力尽可能接近设计应力，并使燃料舱顶的压力至少相当于释放阀的最大调定值。当进行水压-气动试验时，其试验条件应尽可能模拟燃料舱及其支撑结构的设计载荷情况，包括动态分量，同时避免应力水平引起永久变形。

13.5.3　B 型独立燃料舱

13.5.3.1　B型独立燃料舱应按本章13.5.2对A型独立燃料舱的要求进行水压或水压-气动试验。

13.5.3.2　在试验条件下，主要构件中的最大主膜应力或最大弯曲应力应不超过材料 (制造状态)在试验温度下屈服强度的90%。为确保满足上述条件，当计算表明此应力超过材料屈服强度的75%时，应采用应变测试仪或其他合适设备对原型试验加以监测。

13.5.4　C 型独立燃料舱和其他压力容器

13.5.4.1　每一压力容器应进行水压试验，试验时在燃料舱顶测得的压力应不小于1.5 P_0（P_0为设计蒸气压力）。在压力试验期间的任何情况下，对任意点计算所得的主膜应力应不超过试验温度下材料屈服应力的90%。为了确保满足上述条件，若计算表明主膜应力超过屈服强度的75%，则在原型试验时，应采用应变测试仪或其他合适的设备加以监测，但对于简单的圆柱型或球型的压力容器，可予以除外。

13.5.4.2　试验时所采用的水温至少应比制造材料的零韧性转变温度高出30℃。

13.5.4.3　每25 mm厚度，压力应保持2h，但在任何情况下不得少于2h。

13.5.4.4　若需要，液化气体燃料压力容器可在本章13.5.4.1至13.5.4.2规定的条件下进行水压-气动试验。

13.5.4.5　采用较高许用应力燃料舱的试验，将根据其工作温度可予以特别考虑。但本章13.5.4.1的要求应完全满足。

13.5.4.6　在装配和完工后，应对每一压力容器及其有关的附件进行适当的密性试验，该试验可与本章13.5.4.1或13.5.4.4规定的压力试验一起进行。

13.5.4.7　对于除燃料舱以外的压力容器的气压试验，只能根据各种情况分别予以考虑。仅在下述情况时，才允许对上述容器进行气压试验：容器的设计或其支撑结构不能使容器被安全地注满水，或不能对容器进行干燥，以及在使用容器时不允许在容器内留有试验介质的痕迹。

13.5.5 薄膜燃料舱

13.5.5.1 本规范4.2.16.1②中要求的设计开发试验，应包括既有主屏壁又有次屏壁的一系列分析和物理模型（包括角和接头），经试验以验证其能承受在所有充装率下由静、动和热载荷引起的预期的组合应变，以用于建造完整的围护系统的原型模型。分析和物理模型中考虑的试验条件，应代表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。本规范4.2.3.2中要求的次屏壁的定期试验的建议验收衡准，可基于原型模型的试验结果。

13.5.5.2 薄膜材料和薄膜中有代表性的焊接或连接接头的疲劳性能应通过试验确定。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应通过分析或试验确定。

13.5.5.3 当船上设有薄膜围护系统时，所有燃料舱和在正常情况下可能装有液体并邻接于支撑薄膜的船体结构的其他处所，均应进行水压试验。

13.5.5.4 安装燃料围护系统前，支撑薄膜的所有货舱结构应进行密性试验。

13.5.5.5 不必对管隧和在通常情况下不装液体的其他舱室进行水压试验。

第 6 节 焊接、焊后热处理和无损探伤

13.6.1 焊接

13.6.1.1 应按本章13.3的相关要求进行焊接。

13.6.2 焊后热处理

13.6.2.1 对于碳钢、碳锰钢和低合金钢制成的钢管，其所有对接焊缝均应进行焊后热处理，且应满足本社《材料与焊接规范》的相关要求。本社根据相关管系的设计温度和设计压力，可免除对壁厚小于10 mm的管子进行消除热应力的要求。

13.6.3 无损探伤

13.6.3.1 除在焊接前和焊接期间进行正常控制以及对完工焊缝进行目视检查以外，为了证明已按本节要求正确地进行焊接，还应进行本章13.6.3.2至13.6.3.5规定的试验。

13.6.3.2 下列管系的对接焊接头应进行100％射线或超声波检查：

(1) 设计温度低于-10℃；或

(2) 设计压力高于1.0MPa；或

(3) ESD防护式机器处所内的供气管路；或

(4) 内径大于75 mm的管系；或

(5) 壁厚大于10 mm的管系。

13.6.3.3 当管路截面的对接焊接头在制造车间用自动焊接工艺焊接时，经本社特别许可，射线或超声波检查的范围可逐渐减少，但在任何情况下，均不能小于所有接头的10％。如发现有缺陷，则应进行100％检查，其中还应包括以前已经被认可的焊缝。关于本社特别许可，只能在证明制造商通过质量保证体系，具备生产合格焊接产品的能力时才能被授予。

13.6.3.4 对于燃料管系中双壁管外管的对接焊接头，射线或超声波检查范围可减少至10%。

13.6.3.5 对于本章13.6.3.2和13.6.3.4中未包括的其他管系对接焊接头，由本社根据其用途、位置和材料，决定是否进行抽样射线或超声波检查或其他的无损探伤。一般应至少对10%的管对接焊接头进行射线或超声波检查。

第 7 节 试验要求

13.7.1 管路部件的型式试验

13.7.1.1 应对拟用于工作温度低于-55℃的每种型式的阀，进行本章13.7.1.2至13.7.1.5规定的型式试验。

13.7.1.2 每种尺寸和每种型式的阀，应在阀的整个工作压力和温度范围内分段进行阀座密性试验，直至达到额定设计压力。允许的泄漏率应满足本社的要求。在试验期间，应验证阀具有良好的工作性能。

13.7.1.3 每种尺寸和每种型式的阀，应按公认标准对流量进行认证。

13.7.1.4 受压部件应至少按设计压力的1.5倍进行压力试验。

13.7.1.5 对于熔点低于925℃的紧急切断阀，型式试验应包括按本社接受的标准[33]进行的防火试验。

13.7.1.6 阀的型式试验

（1）拟用于工作温度低于-55℃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。型式试验应有本社验船师在场见证，所有的阀应经受最低设计温度或更低温度，且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）拟用于工作温度高于-55℃的阀，不要求进行型式试验。

13.7.1.7 阀的产品试验

（1）所有阀在产品制造厂应由本社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，拟用于工作温度-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;

（2）如果生产商要求替代上述试验，则阀的发证检验可按如下要求进行:

① 拟用于工作温度-55℃以下的阀，已按照本章 13.7.1.6 进行型式认可试验;

② 生产商有经认可的质量体系，该体系得到本社评估和发证，并定期审核;

③ 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

33 如 GB/T 22218/ ISO 19921：船舶与海上技术—配有弹性密封件的金属管路附件耐火性能试验方法、GB/T 22219/ISO 19922：船舶与海上技术—配有弹性密封件的金属管路附件耐火性能试验台要求等。

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

④ 拟用于工作温度-55℃以下的每种类型和尺寸的阀（安全阀除外），最少以 10%产品比例，由本社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。

13.7.2 波纹管膨胀接头

13.7.2.1 拟用于燃料舱外部的燃料管路上的每种波纹管膨胀接头（如满足本规范3.2.6.4（3）的要求），以及设置在燃料舱内的波纹管膨胀接头（当本社有要求时），均应进行本章13.7.2.2至13.7.2.5规定的型式试验。

13.7.2.2 未经预先压缩但轴向固定的波纹管元件，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。

13.7.2.3 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。

13.7.2.4 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。当上述试验条件与在营运温度下的试验条件一样严格时，则允许在室温下进行该试验。

13.7.2.5 完整的膨胀接头应在无内压的情况下进行循环疲劳试验（考虑船体变形），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的频率下，至少进行2×10^6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，才要求进行该试验。

13.7.2.6 如能提供完整的文件以确认膨胀接头适于承受预计的工作条件，则可不必进行本章13.7.2.2至13.7.2.5规定的型式试验。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关关系。

13.7.3 系统试验要求

13.7.3.1 本节要求适用于燃料舱内、外管路。但是，本社可接受放宽对燃料舱内部管路和端部敞开管路的要求。

13.7.3.2 装配后应使用适当的流体对所有燃料管路进行压力试验。液体管路的试验压力应至少为1.5倍设计压力，蒸气管路的试验压力应至少为1.5倍系统最大工作压力。当完成对管系或系统部件的制造并配齐其所有附件时，可在其被装船之前对其进行试验。对在船上焊接的接头，应进行压力至少为1.5倍设计压力的试验。

13.7.3.3 对燃料管系中双壁管，其外管或通风导管应进行压力试验，以证明其可承受气体管路破断时预计的最大压力。

外管或通风导管的试验压力一般不低于最大压力值的1.5倍，该最大压力值可取设计压力（见本规范6.4.1.3），或者考虑气体管路破断时的最不利情况计算得出。当完成对管系或系统部件的制造并配齐其所有附件时，可在其被装船之前对其进行试验。如果外管或通风导管内设有高压管路，则外管或通风导管应进行至少为1MPa的压力试验。

13.7.3.4 对于每一燃料管系，在船上将其安装完工之后，均应使用空气或其他适当介质进行泄

漏试验，试验压力取决于所采用的检测泄漏的方法。

13.7.3.5 对于燃料舱接头处所和双壁管的外管或通风导管，在船上安装完工之后，应使用空气或其他适当介质进行泄漏试验，除所采用的泄漏检测方法另有要求外，试验压力一般不低于0.02MPa。

13.7.3.6 在首次加注作业之前，应按本社的要求，对所有管系（包括用于处理燃料或蒸气的阀、附件及附属设备）进行正常工作状态下的功能试验。

13.7.3.7 液体管系中的紧急切断阀，应在启动后30秒内平稳完全紧闭。船上应备有关于阀关闭时间及其操作特征的资料，并且关闭时间应能予以验证和可重复。

13.7.3.8 本规范5.3.1.8和12.2.1.2（2）规定的阀的关闭时间（即从开始激发关闭信号至阀完全关闭的时间）应不大于：

$$\frac{3600U}{BR}\ （秒）$$

式中：U——发出操作信号时舱内液面以上的空档容积，（m^3）；

BR——船和岸上设备之间相互约定的最大加注速率，（m^3/h）；或5秒的加注量，取小者。

应考虑加注软管或吊臂以及船上和岸上的有关管路系统情况，对加注速率进行调整，以使阀关闭时的冲击压力被限制在一个可以承受的水平。

第 14 章　操作要求

第 1 节　一般规定

14.1.1 目的

14.1.1.1 本章的目的是确保用于天然气燃料系统装载、储存、运行、维护和检验的操作程序能尽量降低对人员、船舶和环境的风险，并确保操作程序与常规燃油燃料船的操作一致。

14.1.2 功能要求

14.1.2.1 本章与1.1.3.2中规定的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1) 船上应备有所有与气体相关的装置的维护程序和资料；

(2) 船上应备有操作程序，其中应包含一份详细的燃料操作手册，以使经培训的人员能安全操作燃料加注、储存和输送系统；和

(3) 船上应备有适当的应急响应程序。

第 2 节　操作要求

14.2.1 一般要求

14.2.1.1 与天然气燃料有关的操作可参照本社《液化天然气燃料加注作业指南》中的相关要求。

14.2.2 维护

14.2.2.1 维护和修理程序应包括本规范第2章对燃料舱位置和邻近处所的规定。

14.2.2.2 燃料围护系统的营运检验、维护和试验应按照4.2.1.8所要求的检查/检验计划进行。

14.2.2.3 维护和修理程序应包括爆炸危险处所和区域内所安装的电气设备的维护。爆炸危险处所内电气装置的检验和维护应按照公认的标准[34]进行。

14.2.3 加注责任

14.2.3.1 任何加注作业开始前，受注船船长或其代表和加注方代表（负责人）应：

（1）书面同意驳运程序，包括冷却、驱气（如需要）、各阶段最大驳运速度及拟驳运量；

（2）书面同意在紧急情况下应采取的行动；和

（3）填写并签署加注安全检查清单。

34 参见 IEC6007917 爆炸性环境—第 17 部分：电气装置的检查和维护。

14.2.3.2 在加注作业完成后，船舶负责人应领取一份所加注燃料的燃料供应通知单并签收，该通知单至少包含本社《液化天然气燃料加注作业指南》附录3加注交付单规定的、由加注方代表填写并签署的信息。

14.2.4 燃料操作手册

14.2.4.1 14.1.2.1（2）所要求的燃料操作手册应包括但不限于：

（1）船舶从干坞至干坞的整个操作，包括系统的冷却和预热、燃料装载和排放（适用时）、取样、惰化和除气；

（2）燃料温度和压力控制、报警和安全系统；

（3）系统限制、冷却速度和加注前燃料舱最高温度，包括燃料最低温度、燃料舱最大压力、驳运速度、充装极限和晃荡限制；

（4）惰性气体系统的操作；

（5）灭火和应急程序：灭火系统的操作和维护以及灭火剂的使用；

（6）用于特种燃料安全操作所需的特殊设备；

（7）固定和可携式气体探测设备的操作和维修；

（8）紧急关闭和紧急释放系统（如设有）；和

（9）紧急情况下所采取的操作程序说明，如泄漏、火灾或潜在的燃料分层导致翻滚。

14.2.4.2 应复制一份燃料系统原理图/管系和测试仪表图，并固定张贴在船舶加注控制站和加注站。

14.2.5 加注前检查

14.2.5.1 在进行加注前应进行加注前检查并记录在加注安全检查表中，加注前检查包括但不限于：

（1）所有通信方式，包括船岸连接（SSL）（如设有）；

（2）固定式气体和火灾探测设备的操作；

（3）可携式气体探测设备的操作；

（4）遥控阀的操作；和

（5）软管和接头的检查。

14.2.5.2 经检查合格的项目应在加注安全检查表中标明，该检查表须由双方负责人签署并共同同意和执行。

14.2.6 船舶加注方通信

14.2.6.1 船舶负责人和加注方负责人之间应在加注作业期间随时保持通信。如通信无法保持，则在通信恢复前应停止加注作业。

14.2.6.2 加注作业中所使用的通信设备应符合本社可接受的此种设备的认可标准。

14.2.6.3 负责人应能与参与加注作业的所有人员进行直接和即时地通信。

14.2.6.4 用于加注方自动ESD通信的船岸连接（SSL）或等效措施，应与受注船和输送设施的

ESD系统兼容[35]。

14.2.7 电气屏蔽接地

14.2.7.1 输送设施用于加注作业的软管、燃料输送臂、管系和附件，应连续导电，适当绝缘，且其安全水平应符合公认标准[36]。

14.2.8 燃料输送条件

14.2.8.1 应在加注作业区入口处张贴警示标志，列明燃料输送期间的消防安全预防措施。

14.2.8.2 在燃料输送操作期间，加注总管区域内的人员应仅限于必要的工作人员。所有从事职务活动或在作业区附近工作的人员应穿戴合适的个人防护装备（PPE）。如无法维持燃料输送所需的条件，则应停止输送作业，且在未达到所要求的条件前不得恢复燃料输送。

14.2.8.3 如通过安装可移式燃料罐进行加注，则其加注程序应具有与整体式燃料舱和系统相同的安全水平。可移式燃料罐应在上船前进行加注，且在与燃料系统连接前予以适当固定。

14.2.8.4 对于非固定安装在船上的燃料舱，所有必需的燃料舱系统（管系、控制、安全系统、释放系统等）与船舶燃料系统之间的连接均为加注过程的一部分，并应在船舶驶离加注方之前完成。船舶在航行中或操纵时，不允许进行可移式燃料罐的连接和断开。

14.2.9 进入围蔽处所

14.2.9.1 在正常操作情况下，人员不得进入可能有气体或易燃蒸气积聚的燃料舱、燃料舱处所、留空处所、燃料舱接头处所或其他围蔽处所，除非采用固定式或便携式设备确定该处所内具有足够的氧气且不存在爆炸性气体[37]。

14.2.9.2 人员在进入被指定为危险区域的任何区域时，不得带入任何潜在的点火源，除非经验证已对该处所进行除气且仍保持这种状态。

14.2.10 燃料系统的惰化和吹扫

14.2.10.1 燃料系统惰化和吹扫的主要目的是防止在燃料系统管系、燃料舱、设备和临近处所内、附近或周围形成可燃气体。

14.2.10.2 燃料系统惰化和吹扫程序应确保空气不会被引入含有可燃气体环境的管系或燃料舱内，且气体燃料不会被引入邻近燃料系统的围阱或处所内。

14.2.11 燃料系统上或附近的热工

14.2.11.1 对于在燃料舱、燃料管系和易燃的或受碳氢化合物污染的或由于燃烧可能释放有毒烟气的绝热系统附近的热工，只有在该区域已予以保护，经证明能安全用于热工，并获得所有许可时才能进行。

---

35 参见 ISO28460：船岸界面和港口操作。

36 参见 API RP2003， SIGOTT：油轮和油码头国际安全指南。

37 参见《经修订的进入船上围蔽处所的建议案》（A.1050（27））。

第 15 章　工程船采用分体供气的补充规定

第 1 节　一般规定

15.1.1　一般要求

15.1.1.1　本章适用于采用LNG分体供气方式的内河工程船，LNG分体供气方式是指工程船采用水上浮体提供燃料舱、热交换器、控制系统、阀件和管路等向工程船发动机供气的方式（以下简称“LNG分体供气”）。本章相关要求是基本原则要求，如需要，可要求按照适用船型实际作业工况进行个例评估。

15.1.1.2　水上浮体的船体结构应满足本社《钢质内河船舶建造规范》对相应船型的要求。

15.1.1.3　LNG分体供气方式只适合工程船与水上浮体系泊和锚泊后固定在某水域作业时采用，工程船航行过程中不可采用LNG分体供气。

15.1.1.4　采用分体供气方式的工程船，其配备的水上浮体应视为工程船的附属设备，水上浮体仅服务于对应的工程船或其姐妹船，图纸资料审查时应将工程船和水上浮体的相关资料同时送审。

第 2 节　工程船和水上浮体

15.2.1　一般要求

15.2.1.1　工程船和水上浮体应根据本社《钢质内河船舶建造规范》的相关要求分别计算舾装数，按各自舾装数的相加和配备有效系泊设备，系泊设备的设计和布置应适合作业水域条件及靠泊操作，并考虑船舶相对运动和干舷变化带来的作业期间缆绳承受过度张力，系泊缆绳应采用合成纤维制成。

15.2.1.2　工程船和水上浮体应根据本社《钢质内河船舶建造规范》的相关要求分别计算的舾装数配备锚和锚链，水上浮体应使用非靠泊一侧来抛锚，禁止在未抛锚状态下向工程船进行供气。

15.2.1.3　水上浮体靠泊一边的舷侧均应设置钢质护舷材，护舷材采用加厚板或其他等效设施。护舷材应沿甲板边线连续设置，其表面应设置橡胶垫片或等效材料，以防止因船舶摩擦而产生火花，护舷设施应与靠泊的工程船绝缘。

15.2.1.4　水上浮体与工程船之间应配置至少850mm宽的人员专门通道，并根据水上浮体上最大操作人数配备救生设备，严禁非操作人员登上水上浮体。

15.2.1.5　除水上浮体与工程船供气管路连接处的危险区域外，水上浮体和工程船的其他危险区域范围应不超出各自船壳外板。

15.2.1.6　在工程船或水上浮体上应配置当水上浮体发生火灾时能对其进行有效灭火的灭火设施。灭火设施的配置不应低于本社《液化天然气燃料加注趸船规范》的相关要求。

15.2.1.7 水上浮体的配电系统、主电源、照明应按本社《液化天然气燃料加注趸船规范》的相关要求配置。

15.2.1.8 水上浮体防雷、防静电及杂散电流的措施应满足本社《液化天然气燃料加注趸船规范》的相关要求。

第 3 节 燃料舱及供气系统

15.3.1 一般要求

15.3.1.1 燃料舱安装区域应进行适当船体结构加强，燃料舱基座及其与水上浮体船体结构连接部位的强度应进行有限元分析评估。进行有限元分析评估时，结构模型、边界条件和考虑的载荷工况应符合本社《内河散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的相关要求。

15.3.1.2 燃料舱及供气系统等应布置在开敞甲板上，其距水上浮体船体外板距离应满足本规范的相关要求，并在水上浮体上设有醒目警示标志。

15.3.1.3 应设置燃料舱接头处所，燃料舱的接头、法兰和阀等附件应封闭在燃料舱接头处所内。

15.3.1.4 应设置防护结构对燃料舱及其附件、管系进行有效保护，以防止工程船作业时对燃料舱及其附件等可能带来的损害；

15.3.1.5 水上浮体与工程船之间管系应采用软管连接，软管应符合本社《液化天然气燃料加注趸船规范》的相关要求。供气管路的连接管路上应设有对天然气燃料供气管路进行除气和惰化的措施。

15.3.1.6 水上浮体所有应急截止阀在工程船上应能有效控制，两船脱开状态下，水上浮体上燃料舱主阀应能自动关闭。

15.3.1.7 供气管路的连接软管应配有符合本社《液化天然气燃料加注趸船规范》相关要求的拉断阀，能够有效保证在紧急情况下拉断而不会产生大量可燃气体泄漏。拉断阀应设有合适的支撑保护，防止两船相对运动产生的疲劳损伤。

15.3.1.8 水上浮体上隔离液化气体的管路及组件应安装压力释放阀。所有压力释放阀的出口以及可能含有天然气释放到大气中的其他管路出口都应连接到透气总管，透气总管的布置应满足本规范的相关要求。

15.3.1.9 燃料舱和供气系统所有监控的设置应参照本规范相关要求。并应能在水上浮体和工程船上均可显示与操作。

15.3.1.10 燃料舱位于水上浮体开敞甲板上时，工程船上面向燃料舱的起居处所、服务处所、货物处所、机器处所和控制站的限界面应采用“A-60”级防火分隔。此种隔热应延伸至驾驶室甲板底面，或舱壁实际高度。

附录1　风险评估

第 1 节　一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录适用于LNG加注、储存、供气及使用环节。

1.1.2 风险评估可采用定性、半定量或定量方法，所采用的方法应经本社同意。

第 2 节　风险评估要素

2.1 风险评估步骤

2.1.1 风险评估应至少包括以下步骤:

(1) 准备;

(2) 资料数据收集;

(3) 危险辨识;

(4) 泄漏场景定义;

(5) 失效频率分析;

(6) 后果分析

(7) 风险计算;

(8) 风险评价;

(9) 提出风险减缓措施。

2.2 泄漏场景

2.2.1 应采用全面的、系统的方法进行危险辨识，如：预先危险分析（PHA）、“如果-怎么样”（What-if）分析、危险与可操作性分析（HAZOP）、故障类型和影响分析（FMEA）、故障树分析（FTA）和事件树分析（ETA）等。

2.2.2 泄漏场景的定义应考虑液态、气态或两相天然气释放的泄漏速率、持续时间及泄漏量。

2.2.3 应考虑LNG暴露于环境中的热特性和物理特性，与船舶结构、设备、水面等相互作用产生的有害行为，包括但不限于：蒸气云扩散、闪火、池火、爆炸等。

2.3 失效频率分析

2.3.1 失效频率可使用以下数据来源:

(1) 适用于LNG行业的失效数据库;

(2) 企业历史统计数据;

(3) 基于可靠性的失效概率模型;

(4) 其他数据来源。

2.3.2 应确保使用的失效数据与泄漏场景内在的基本假设相一致，并考虑船舶安全管理水平对场景概率的影响，可采用SY/T 6714（或API 581）标准的规定进行修正。

2.3.3 在计算设备泄漏频率时，应充分考虑各种天气和其他环境条件参数的发生概率。这些环境参数应包括风速、风向、大气温度、大气相对湿度和基质温度等。

2.3.4 在评估危害时应考虑船舶布置和结构特点，包括影响液体或气体泄漏扩散路径的所有因素。

2.3.5 应对泄漏后遇到立即点燃、延迟点燃和未点燃3种可能性建立事件树分析。

2.3.6 应通过有效的计算方法或认可的数据库获取灾害发生后的死亡概率。

2.3.7 当某泄漏场景发生的概率小于10^{-8}/年或事故场景造成的死亡概率小于1％时，在定量风险评估时可不考虑这种场景。

2.4 后果分析

2.4.1 应使用本社认可的分析模型或软件（推荐采用CFD方法）计算后果的影响程度，通常至少应包括以下危害类型和危害程度计算:

(1) 火灾热辐射强度;

(2) 蒸气云扩散浓度;

(3) 爆炸冲击波的压力。

2.4.2 池火热辐射热通量和热剂量的接受准则应符合表1的规定。

表1 池火热辐射的接受准则

	热辐射强度最大值（kW/m^2）	热辐射剂量最大值 $[kW/m^2]^{4/3}t$	备 注
火灾	5.0	500	不少于10%的皮肤暴露于火中30秒的情况下，则至少10人二等烧伤。
	5.0	300	不少于10%的皮肤暴露于火中30秒的情况下，建筑物中至少一人二等烧伤。
	32	不适用	在火持续燃烧期间，暴露于火中的钢结构强度损失（承载能力显著降低）。

2.4.3 蒸气云扩散体积浓度的接受准则应符合表2的规定。

表2 蒸气云扩散浓度的接受准则

	体积浓度	备 注
蒸气云扩散	2.5%	甲烷燃烧下限的50%

2.4.4 爆炸灾害的冲击波压力的接受准则应符合表3的规定。

表3　爆炸冲击波压力的接受准则

	损伤对应超压值（N/m^2）		超压损坏类别
	下限	上限	
爆炸	250	4000	玻璃窗损坏
	5000	10000	门、覆盖层和人员损伤
	15000	20000	结构严重损坏
	25000	50000	人员严重伤亡

第 3 节　风险准则

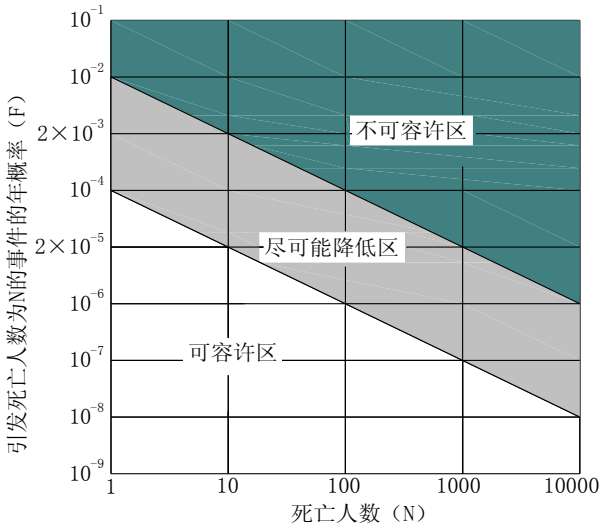
3.1 定义

3.1.1 个体风险系指个体在危险区域可能受到危险因素某种程度伤害的频发程度，通常表示为个体死亡的发生频率，单位为 /年。个体风险可容许准则应符合表4中的规定。

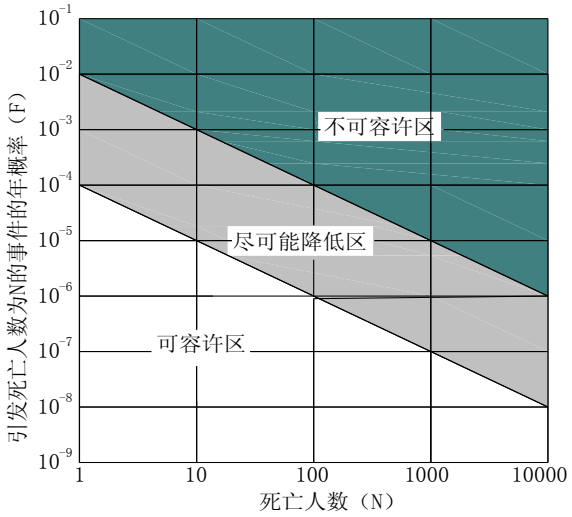
3.1.2 社会风险系指群体（包括职工和公众）在危险区域承受某种程度伤害的频发程度，通常表示为大于等于N人死亡的事故累计频率（F），通常以累积频率和死亡人数之间关系的曲线图（F-N曲线）来表示。社会风险可容许准则应符合图3.1.2中的规定。

表4　个体风险（IR）可容许标准

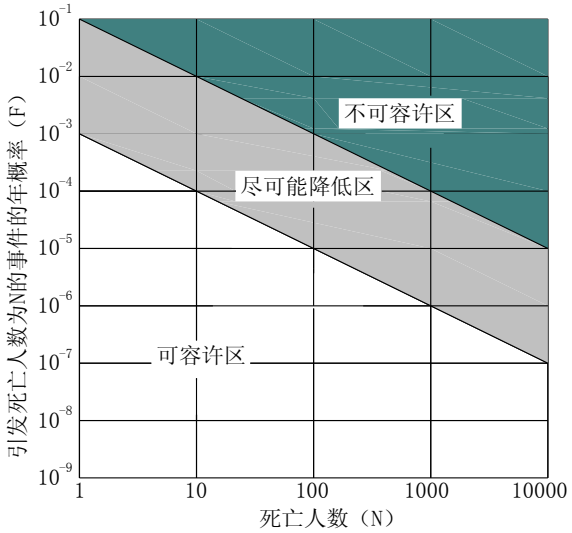
	风险值（死亡频率/船/年）	
	现有船	新造船
船员可接受的最大风险	1.0E-3	1.0E-4
船上乘客或岸上人员可接受的最大风险	1.0E-4	1.0E-5
广泛接受的风险	1.0E-6	1.0E-6



a)油船、化学品船社会风险（SR）可容许准则



b)散货船、集装箱船、滚装船社会风险（SR）可容许准则



c)客船社会风险（SR）可容许准则

图 3.1.2　社会风险（SR）可容许标准

第 4 节　风险缓解措施

4.1　一般要求

4.1.1　当所计算的风险处于不可容许区或处于尽可能降低区边界时，应通过实行附加缓解措施把风险减低到可容许区域。

4.1.2　缓解措施包括但不限于：在设计中结合最新技术和仪器、优化设备布置设计、使用升级设备、改善泄漏报警装置、应急响应程序和操作步骤等。

4.1.3　所采用的缓解措施应经本社同意。

附录2 新颖形状的燃料围护系统设计中极限状态方法的使用要求

第 1 节 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录的目的是按本规范4.2.17提供新颖形状的燃料围护系统极限状态设计的程序和相关设计参数。

1.1.2 极限状态设计是一种系统方法，对每个结构件按与本规范4.2.1.6中标识的设计条件相关的可能失效模式进行评估。极限状态可定义为超出后结构或部分结构不再满足规范要求的状态。

1.1.3 极限状态分为以下3类：

(1) 承载能力极限状态（ULS），在完整（无破损）条件下，对应于最大承载能力，或在某些情况下，对应于最大适用应变、变形或屈曲和塑性破坏引起的结构不稳定；

(2) 疲劳极限状态（FLS），对应于由于循环装载的影响造成的降级；和

(3) 事故极限状态（ALS），与结构的抗意外状况能力有关。

1.1.4 根据燃料围护系统概念，应符合本规范4.2.1至4.2.12的相关要求（如适用）。

第 2 节 设计格式

2.1 一般要求

2.1.1 本附录中的设计格式基于载荷和能力系数设计格式。载荷和能力系数设计格式的基本原则是验证在任何情景下，对于所有考虑的失效模式，设计载荷作用L_d不超过设计能力R_d：

$$L_d \leqslant R_d$$

2.1.2 设计载荷F_{dk}通过特征载荷乘以与给出的载荷种类相关的载荷系数获得：

$$F_{dk}=\gamma_f F_k$$

式中：γ_f——载荷系数；和

F_k——本规范 4.2.7 至 4.2.9 中规定的特征载荷。

2.1.3 设计载荷作用L_d（例如应力、应变、位移和振动）是从设计载荷导出的最不利组合载荷作用，可从下列公式获得：

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

式中：q——由结构分析确定的载荷和载荷效应之间的函数关系。

2.1.4 设计能力R_d由下式获得：

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R \gamma_C}$$

式中：R_k——特性能力。对于本规范第 3 章涉及的材料，其可为但不限于规定的最小屈服应力、规定的最小抗拉强度、横截面的塑性能力和极限屈曲强度；

γ_R——能力系数，$\gamma_R = \gamma_m \cdot \gamma_s$；

γ_m——考虑到材料特性（材料系数）概率分布的分项能力系数；

γ_s——考虑到结构承载不确定性的分项能力系数，例如建造质量、确定能力所考虑的方法的精度；和

γ_C——结果等级系数，说明故障可能造成的后果，包括燃料泄漏和可能的人员伤害。

2.2 失效后果

2.2.1 燃料围护设计应考虑到可能的失效后果。结果等级见表2.2.1，规定当失效模式与承载能力极限状态、疲劳极限状态或事故极限状态有关时的失效后果。

结果等级 表2.2.1

结果等级	定　义
低	失效意味着较少燃料泄漏。
中	失效意味着燃料泄漏和人员受伤的可能性。
高	失效意味着大量燃料泄漏和极有可能造成人员伤亡。

第 3 节　要求的分析

3.1 一般要求

3.1.1 三维有限元分析应作为液货舱和船体的组合模型进行，包括适用的支撑件和关键系统。应确定所有失效模式以避免意想不到的失效。应进行水动力分析确定在不规则波中的特定船舶加速度和运动，以及船舶及其燃料围护系统对这些力和运动的响应。

3.1.2 承受外部压力和引起压缩应力的其他载荷的燃料舱应按照公认标准进行屈曲强度分析。方法应充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间的差别；此差别是因板不平整、板边不对中、平直性、椭圆度以及在规定弧长或弦长范围内存在的失圆度而引起。

3.1.3 疲劳和裂纹扩展分析应按照本附录5.1进行。

第 4 节　承载能力极限状态

4.1 一般要求

4.1.1 结构能力可通过试验或完整的分析确定，并考虑弹性和塑性材料特性。极限强度的安全

裕量应根据部分安全因数，并考虑载荷和能力的随机性的影响（动载荷、压力载荷、重力载荷、材料强度和屈曲能力）。

4.1.2 分析中应考虑永久载荷、功能载荷和环境载荷（包括晃荡载荷）的适当组合。至少2个具有表4.1.2中给出的分项载荷系数的载荷组合应用于评估承载能力极限状态。

分项载荷因数 **表4.1.2**

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。如预测模型中固有可变性和/或不确定性更高，高载荷系数可能与永久载荷和功能载荷有关。

4.1.3 对于晃荡载荷，本社可根据计算方法的可靠性，要求较大的载荷系数。

4.1.4 如燃料围护系统的结构失效极有可能造成人员受伤和大量燃料泄漏，则结果等级系数应取作γ_C =1.2。如果通过风险评估证明并经本社认可，该值可降低。风险评估应考虑的因素包括但不限于设有完整或部分次屏壁以保护船体结构免于遭受与拟使用燃料相关的泄漏和较小的危险。相反，本社可确定较高值，例如，对于使用更危险或更高压力燃料的船舶。结果等级系数不得小于1.0。

4.1.5 使用的载荷系数和能力系数应使安全水平与本规范4.2.2.1至4.2.2.6所述燃料围护系统的安全水平相当。这可通过按已知的成功设计校准系数进行。

4.1.6 材料系数γ_m一般应反映材料力学性能的统计分布，并需要与规定的特有力学性能一起解释。对于本规范第4章中规定的材料，材料系数γ_m可取作：

γ_m=1.1 当本社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

γ_m=1.0 当本社规定的特有力学性能代表足够小的分位数以使力学性能比规定值低的概率极低并可忽略不计。

4.1.7 分项能力系数γ_{si}的确定一般应基于结构能力的不确定性，同时应考虑建造公差、建造质量、所使用分析方法的精度。

4.1.8 对于按照本附录4.8中给出的极限状态衡准针对过度塑性变形的设计，分项能力系数γ_{si}应取：

$$\gamma_{s1}=0.76\frac{B}{k_1}$$

$$\gamma_{s2}=0.76\frac{D}{k_2}$$

$$k_1=\mathrm{Min}\left(\frac{R_m}{R_e}\cdot\frac{B}{A};1.0\right)$$

$$k_2=\mathrm{Min}\left(\frac{R_m}{R_e}\cdot\frac{D}{C};1.0\right)$$

系数 A、B、C 和 D 的定义见本规范 4.2.14.3。R_m 和 R_e 的定义见本规范 4.2.10.1（4）。
以上给出的分项能力系数是校准至传统 B 型独立燃料舱的结果。

4.2 针对过度塑性变形的设计

4.2.1 以下给出的应力验收衡准参见弹性应力分析。

4.2.2 主要承受由结构膜响应引起的载荷的燃料围护系统部分应满足下列极限状态衡准：

$$\sigma_m \leqslant f$$
$$\sigma_L \leqslant 1.5f$$
$$\sigma_b \leqslant 1.5F$$
$$\sigma_L + \sigma_b \leqslant 1.5F$$
$$\sigma_m + \sigma_b \leqslant 1.5F$$
$$\sigma_m + \sigma_b + \sigma_g \leqslant 3.0F$$
$$\sigma_L + \sigma_b + \sigma_g \leqslant 3.0F$$

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

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

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

应力 σ_m、σ_L、σ_b 和 σ_g 的定义见本规范 4.2.14.7。

指导性说明：

上述应力总和应通过合成每个应力分量（σ_x、σ_y、τ_{xy}），随后应基于以下所示的合成应力分量计算等效应力。

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

4.2.3 主要由纵桁、扶强材和板弯曲承载的燃料围护系统部分应满足下列极限状态衡准：

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} \leqslant 1.25F \quad （见注 1 和 2）$$
$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} \leqslant 1.25F \quad （见注 2）$$
$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} + \sigma_{bt} + \sigma_g \leqslant 3.0F$$

注 1：等效截面膜应力和主结构等效膜应力之和（$\sigma_{ms} + \sigma_{bp}$）通常可直接从三维有限元分析获得。

注 2：考虑到设计概念、结构形状和应力计算所使用的方法，本社可对系数 1.25 进行修改。

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} 的定义见本附录 4.3，σ_g 的定义见本规范 4.2.14.7。

指导性说明：

上述应力总和应通过合成每个应力分量（σ_x、σ_y、τ_{xy}），随后应基于合成应力分量计算等效应力。

4.2.4 壳板应按照本社的要求进行设计。如膜应力较大，应另外适当考虑膜应力对板弯曲能力的影响。

4.3 截面应力种类

4.3.1 正应力是垂直于基准平面的应力分量。

4.3.2 等效截面膜应力系指在被考虑的结构横截面范围内，均匀分布且等于应力平均值的正应力的分量。对于简单形状的结构截面，该截面膜应力可等于本附录4.2.2中规定的膜应力。

4.3.3 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4.3.3所示。

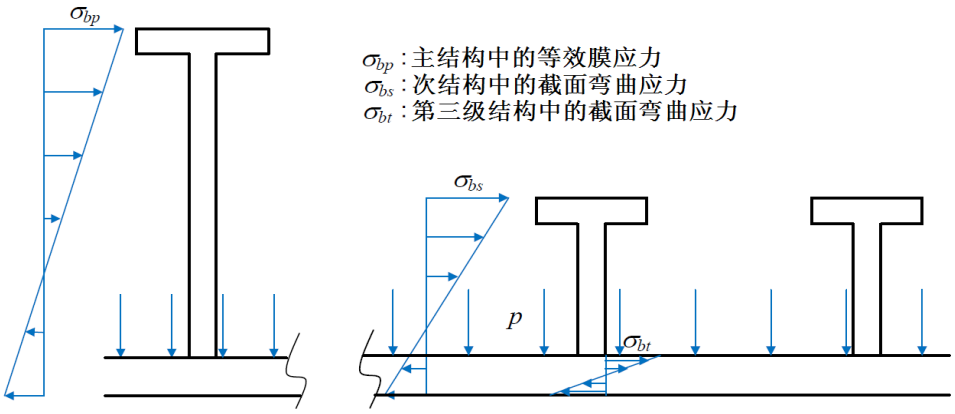


图 4.3.3 三种截面应力的定义

（应力 σ_{bp} 和 σ_{bs} 垂直于所示的横截面）

4.3.1 除公认的屈曲标准中另有规定外，防屈曲设计可采用相同的系数γ_C、γ_m、γ_{si}。在任何情况下，整体安全水平应不低于由这些系数得到的安全水平。

第 5 节　疲劳极限状态

5.1 一般要求

5.1.1 根据燃料围护系统的概念，燃料围护系统应符合本规范4.2.10.2中所述的疲劳设计条件（如适用）。对于按本规范4.2.17和本附录设计的燃料围护系统，应进行疲劳分析。

5.1.2 对于所有载荷种类，疲劳极限状态的载荷系数应取1.0。

5.1.3 结果等级系数γ_C和能力系数γ_R应取1.0。

5.1.4 疲劳破损应按本规范4.2.10.2（2）至4.2.10.2（5）的要求进行计算。燃料围护系统的计算疲劳累积损伤度应不大于表5.1.4中给出的值。

许用最大累积疲劳破损率 **表5.1.4**

	结果等级		
C_W	低	中	高
	1.0	0.5	0.5*

注*：根据缺陷或裂纹的可探测性，按本规范 4.2.10.2（12）至 4.2.10.2（14）的要求应采用更低值。

5.1.5 更低值可由本社予以确定。

5.1.6 应按本规范4.2.10.2（7）至4.2.10.2（14）的要求进行裂纹扩展分析。分析应按照经本社认可的标准的方法进行。

第6节 事故极限状态

6.1 一般要求

6.1.1 根据燃料围护系统的概念，燃料围护系统应符合本规范4.2.10.3中所述的意外设计条件（如适用）。

6.1.2 如破损和变形不使意外事故升级，可接受该破损和变形，载荷系数和能力系数可较之最终极限状态放宽。

6.1.3 对于永久载荷、功能载荷和环境载荷，事故极限状态的载荷系数应取1.0。

6.1.4 本规范4.2.7.3（3）⑧和4.2.7.5中所述的载荷无需进行相互叠加，也无需与本规范4.2.7.4中规定的环境载荷进行叠加。

6.1.5 能力因数γ_R一般应取1.0。

6.1.6 结果等级因数γ_C一般应按本附录4.1.4的规定选取，但考虑到意外事故的性质，可适当放宽。

6.1.7 能力R_k一般按承载能力极限状态选取，但考虑到意外事故的性质，可适当放宽。

6.1.8 附加相关的意外事故应基于风险评估确定。

第7节 试 验

7.1 一般要求

7.1.1 根据燃料围护系统的概念，按本附录设计的燃料围护系统应按本规范第13章第2节的相关要求进行试验（如适用）。

附录3 气体燃料发动机试验技术要求

第1节 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录适用于主推进、驱动发电机或重要辅助设备的气体燃料发动机。

1.1.2 气体燃料发动机的型式试验、工厂试验及船上试验除应符合本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章相关规定外，还应符合本附录的规定。

1.1.3 每一新类型非批量生产和批量生产的船用气体燃料发动机应按本附录第2节要求对一台发动机进行型式试验。该机型型式试验完毕后批量生产的发动机可不做或简化型式试验，但应征得验船师同意。

1.1.4 在型式试验和工厂试验中，启动发动机之前，应采取措施对发动机气体燃料管路的气密性进行验证。

第2节 型式试验

2.1 发动机型式

2.1.1 下列所有项目均相同的发动机可认为是同类型气体燃料发动机:

(1) 工作循环（二冲程或四冲程）;

(2) 缸径与行程;

(3) 天然气进气方式（缸内直喷、增压器前或增压器后混合通过进气总管进入气缸、从进气支管或进气道混合进入气缸）;

(4) 双燃料发动机主燃油和引燃油（如适用）喷油方式（直接或间接喷射）;

(5) 燃气直接进入气缸或支管的进气阀操作方式（凸轮驱动或电子控制）;

(6) 燃气到进气总管的进气阀操作方式，及进气总管到气缸的气阀操作方式（凸轮驱动或电子控制）;

(7) 点火系统（微量柴油引燃，火花塞引燃，电热塞引燃，燃气自燃）;

(8) 燃料类型（液体、双燃料、气体）;

(9) 涡轮增压系统（脉冲系统或定压系统）;

(10) 增压空气冷却系统（有或没有中冷器）;

(11) 气缸排列方式（直列或V型）;

(12) 单缸额定功率、转速和平均有效压力。

2.2 试验程序

2.2.1 阶段A——内部试验

内部试验包括开发性和功能性试验，试验期间应采集相关测量参数并记录试验时间。在阶段B开始之前，应将满足本社要求或设计者规定的试验结果提交至本社。

2.2.2 阶段B——正式试验

正式试验应在验船师在场时进行。

2.2.3 阶段C——部件检查

根据验船师要求对发动机部件进行拆开检查。

2.2.4 燃气的甲烷值和低位热值的影响并未要求在型式试验中进行验证，但应由发动机设计者通过内部试验或计算进行验证，并在型式认可试验报告中记录。

2.3 测量与记录

2.3.1 除本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录5规定的参数外，还应测量和记录以下参数:

(1) 每缸平均有效压力;

(2) 增压空气压力和温度;

(3) 天然气压力和温度;

(4) 表征燃油或燃气消耗量大小的参数（或其它等效参数）。

与设计评估有关的附加参数也可要求进行测量和记录。

2.4 阶段 A——内部试验

2.4.1 内部试验除应符合本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录4的相关规定外，还应符合本节相关规定。

2.4.2 至少应进行如下试验:

(1) 双燃料发动机应在燃气模式和燃油模式下分别进行本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录4规定的相关试验。

(2) 对于油气掺烧比可调节的双燃料发动机，在掺烧比允许范围内的不同比值下均应进行负荷试验。

(3) 双燃料发动机应在一定的功率范围内进行燃气模式与燃油模式转换试验[38]。气体燃料甲烷值与低位热值的影响应进行试验。

2.5 阶段 B——正式试验

2.5.1 正式试验除应符合本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录4的相关规定外，还应符合本节相关规定。

---

38 双燃料发动机在任何负荷工况下都能从燃气模式快速转换到燃油模式，在一定的功率范围内能从燃油模式转换到燃气模式，并保持转速和输出功率稳定。

2.5.2 双燃料发动机应根据制造厂商申请的发动机类型，在燃气模式和燃油模式下进行负荷点和功能试验，包括超速试验。

2.5.3 对于油气掺烧比可调节的双燃料发动机，在掺烧比允许范围内的不同比值下均应进行负荷试验。

2.5.4 负荷点

负荷点应符合本社《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 4 的相关规定。

2.5.5 功能试验

功能试验除应符合本社《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 4 的相关规定外，还应符合以下规定:

(1) 推进用发动机

① 双燃料发动机的最低稳定转速试验应在燃油模式下进行;

② 双燃料发动机应在一定的功率范围内进行燃气模式与燃油模式的转换试验;

③ 通风型双壁管应进行通风效用试验;

④ 气缸燃气供应阀燃气泄漏模拟试验。

(2) 驱动发电机的发动机

① 对发动机承受突加和突减负荷能力进行试验，并对最大加载分级进行验证，双燃料发动机在试验中允许自动转换到燃油模式;

② 对于单一气体燃料发动机或燃气预混合进气发动机，低位热值、甲烷值及环境条件对动态响应试验结果的影响应从理论上确定，并在试验报告中说明。满足负载动态响应的裕量应进行确定。

2.5.6 整合试验

气体燃料发动机应通过整合试验，以确认整个机械、液压、电子系统在各种工作模式下的响应与预计一致。试验范围应根据本规范第 7 章第 5 节风险分析的要求确定，并征得本社的同意，且至少应在试验项目中包括如下故障事件:

① 点火失败（火花塞点燃或引燃油喷射系统），包括单缸和公共系统故障;

② 单缸气体供应阀故障;

③ 燃烧故障（失火、爆震、排温异常等）;

④ 气体压力异常;

⑤ 气体温度异常。

2.6 阶段 C——部件检查

2.6.1 除本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录4规定的部件外，试验结束后还应对下列部件进行检查:

(1) 供气阀，包括预燃室（如适用）;

(2) 火花塞点火器（适用于单一气体燃料发动机）;

(3) 引燃油喷射阀（适用于双燃料发动机）。

第 3 节　工厂试验

3.1 一般要求

3.1.1 在任何正式试验之前，发动机应按照制造厂规定的要求进行磨合试验，台架试验设施和试验条件应符合相关应用规定。

3.1.2 试验范围可根据发动机的应用、使用经验或其他相关因素进行扩展。

3.1.3 双燃料发动机应根据应用情况，分别在燃气模式和燃油模式下进行工厂试验。

3.2 测量与记录

3.2.1 除本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录6规定的参数外，还应记录以下参数：

(1) 大气压力、空气温度和湿度；

(2) 功率和转速；

(3) 最大燃烧压力（适用于气缸盖型式可进行该项测量的机型）；

(4) 涡前排温和各气缸排温；

(5) 进气温度；

(6) 进气压力；

(7) 涡轮增压器转速；

(8) 表征燃油或燃气消耗量大小的参数（或其它等效参数）；

(9) 燃气压力和温度。

3.3 试验范围

3.3.1 除应进行本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录6规定的试验项目外，还应至少进行以下试验:

(1) 双燃料发动机应在一定的功率范围内进行燃气模式与燃油模式的转换试验;

(2) 通风型双壁管应进行通风效用试验。

3.4 整合试验

气体燃料发动机应通过整合试验，以确认整个机械、液压、电子系统在各种工作模式下的响应与预计一致。试验范围应根据本规范第 7 章第 5 节风险分析的要求确定，并征得本社同意，且至少应包括以下试验项目:

(1) 点火失败（火花塞点燃或引燃油喷射系统），包括单缸和公共系统故障;

(2) 单缸气体供应阀故障;

(3) 燃烧故障（失火、爆震、排温异常等）;

(4) 气体压力异常;

(5) 气体温度异常。

第 4 节　船上试验

4.1 一般要求

4.1.1 双燃料发动机应根据应用情况，分别在燃气模式和燃油模式下进行船上试验。

4.2 试验范围

4.2.1 除应进行本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录6规定的试验项目外，还应至少进行如下试验:

(1) 双燃料发动机应在一定的功率范围内进行燃气模式与燃油模式的转换试验;

(2) 通风型双壁管应进行通风效用试验;

(3) 监测、报警及安全系统试验。

附录4 电子控制系统

第 1 节 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录中电子控制系统包括气体燃料发动机的电控系统、气体控制系统和气体安全系统。

1.1.2 电子控制系统的供电应符合本规范11.1.3.12的相关要求。

第 2 节 气体燃料发动机电控系统技术要求

2.1 一般要求

2.1.1 电控系统电子设备的设计、制造、检验，包括软件设计，应满足本社《钢质海船入级规范》第7篇或《钢质内河船舶建造规范》第4篇，以及本社《电气电子设备型式认可试验指南》的有关规定。

2.2 功能要求

2.2.1 气体燃料发动机电控系统系指电子控制的燃气和燃油（如有时）系统。它控制喷气量、空燃比、点火时刻、喷油量（如有时）等参数，能柔性调节气体燃料发动机各系统参数，对外进行数据交换。气体燃料发动机电控系统由传感器、电子控制器（ECU）、执行机构、机旁控制器以及对外接口组成。

2.2.2 电控系统对气体燃料发动机的监测功能及控制功能设计，应满足本规范第10章和第11章的相关要求。

2.2.3 电控系统主电源失效时，应能在机旁控制和遥控控制地点均进行声光报警。

2.2.4 电控系统应具有故障自诊断和安全保护功能，当出现故障时，系统应立即进行故障诊断，启动相应的安全保护功能，以维持气体燃料发动机工作。

2.2.5 应具备机旁控制功能，以及供集控室或驾驶室远程控制系统使用的对外接口。

2.2.6 电控系统的监测功能，应能对系统的传感器、电子控制器（ECU）及执行机构的主要功能故障进行报警。机旁控制和遥控控制地点均应设有声光报警。

2.2.7 电控系统应具有检测发动机燃烧状况的能力，包括但不限于爆燃、燃烧失火、缸内燃烧压力（如适用）等，并在上述故障及异常发生时进行报警。有资料证明发动机不存在上述风险者除外。

2.2.8 当检测到爆燃或失火时，应判断爆燃或失火的严重程度，根据发动机的安全控制策略进

行调整，尽可能保证发动机运行，可采用包括但不限于以下的措施:

(1) 发生轻微的爆燃，优先改变点火提前角，保障发动机继续运行;

(2) 发生中度爆燃，可降低发动机负荷，并进行报警;

(3) 发生严重爆燃，可停止发动机运行，并发出故障停机指示;

(4) 发生失火，可根据失火率改变点火能量，保障发动机继续运行。

2.2.9 电控系统应具有空燃比闭环控制或近似功能，使发动机运行在合理的范围之内。电控系统应能自动调整燃气和空气流量，并对异常情况进行报警。报警应包括但不限于空燃比过浓、过稀。

2.2.10 电控系统的点火、燃油、燃气喷射模块应具有自检及故障诊断功能。点火、燃气和燃油喷射模块应能实时反馈高压点火线圈、燃油和燃气喷射电磁阀的状态，并有相应的短路和断路报警。

2.2.11 电控系统应设有检查端口，方便监测和维修。

2.2.12 电控系统应能够将发动机状态及报警通过对外接口输出给船舶的监控系统。这些状态及报警应包含但不限于本附录表2.2.12所列项目。

对外输出项目表 表2.2.12

类 别	功 能	备 注
状态输出	发动机运行指示	
	发动机停机指示	
	纯燃油运行模式指示	
	纯燃气运行模式指示	
	双燃料混烧运行模式指示	仅适用于混合燃烧模式发动机
	发动机运行正常指示	
	机旁操作模式指示	
	遥控操作模式指示	
报警输出	电控系统综合报警/故障	需提供具体故障名称查询功能
	发动机综合报警/故障	需提供具体故障名称查询功能
停机状态输出	正常停机指示	
	紧急停机指示	
	故障停车指示	

2.3 设计要求

2.3.1 电控系统中因功能故障可能影响主推进气体燃料发动机正常运转的设备，应具有双套系统，如电子控制器（ECU）、曲轴转角测量装置。两套系统的类型与功能应完全相同，当其中之一出现故障时，另一套系统能自动替换前一套继续工作，以维持气体燃料发动机正常运转，并同时发出相关报警。对于双燃料发动机，当发生燃气模式下ECU故障，如设计成采用备用的机械调速器或燃油模式ECU自动替换原燃气模式ECU，维持发动机继续正常运转，则此种设计也可接受。

2.3.2 如2.3.1 实施确有困难，则该气体燃料发动机不适用于仅设有1台此类发动机,且其为唯一动力源的船舶，并应在气体燃料发动机产品证书中予以注明。

2.3.3 电子控制器（ECU）如由多个控制模块组成且依靠外部总线通讯，宜采取总线冗余措施保证单一通讯线路的故障不会导致控制功能的丧失。

2.3.4 点火线圈和高压导线的设计间隙应确保不会发生高压漏电。

2.3.5 电控系统的零部件在功能特性和结构尺寸上应具有可换性，在结构上应能快速拆卸、更换和安装。

2.3.6 对于易腐蚀损坏的材料，应采用表面防护措施。不同金属材料直接接触，一般应采取防电解腐蚀措施。

2.3.7 电控系统各部件的安装，应满足其在柴油机上的安装位置、界面尺寸、接头、屏蔽、耐热、抗振等要求。各部件要便于在气体燃料发动机上安装固定；所有电子电路接线应牢固可靠，以防止在机器运转时松脱。

2.3.8 安装带有减振器的电控系统部件时，其周围应留有足够的空隙，以避免与相邻的部件或结构发生碰撞。

2.4 试验要求

2.4.1 型式试验

(1) 电控系统的型式试验除满足本社《电气电子产品型式认可试验指南》的相关要求外，还应满足本节的要求。

(2) 电控系统的型式试验，应对本规范中要求的气体燃料发动机的控制和监控功能进行效用试验，效用试验应配合发动机进行，效用试验的内容应涵盖本规范附录3中所规定气体燃料发动机的型式试验。

(3) 电控系统的型式试验，应对电控系统本身的故障和功能进行最大程度的试验。试验中验证的项目应包含但不限于以下内容:

① 软件版本证明;

② 1个曲轴转角传感器故障，后备传感器的有效性[39];

③ 1个控制模块故障，后备控制模块的有效性[39];

④ 遥控控制故障，验证就地控制的有效性;

⑤ 就地控制故障，验证遥控控制的有效性;

⑥ 运行状态及故障记录功能有效性;

⑦ 供电电源中的一路电源失效时，系统能自动切换使用另一路电源，且控制系统功能的有效性不应受到影响;

⑧ 检查端口对电控系统内部参数监测功能的有效性。

2.4.2 与气体燃料发动机联合出厂试验

(1) 电控系统与气体燃料发动机的联合出厂试验应满足本规范对气体燃料发动机的相关控制和监控要求，配合发动机完成出厂试验。

(2) 电控系统自身功能的有效性应在试验中验证，一般应包括下列验证项目（如适用）:

① 软件版本证明;

② 燃气喷射控制阀功能;

③ 点火/引燃控制模块功能;

④ 1个控制模块故障，后备控制模块的功能[39];

⑤ 1个曲轴转角传感器故障，后备传感器的有效性[39];

⑥ 对外接口功能的有效性;

⑦ 其他适用的故障与功能试验。

2.4.3 船上试验

(1) 除配合气体燃料发动机完成附录3中所规定的船上试验外,气体燃料发动机电控系统还应进行如下试验项目（如适用）:

① 与船舶的驾控系统、监控系统和气体控制系统数据交换功能的验证;

② 供电电源中的一路电源失效时，系统能自动切换使用另一路电源;

③ 进行故障模拟，对涉及电控系统的报警及监控的相关功能进行最大程度的试验。

第 3 节　气体控制系统和气体安全系统

3.1 一般要求

3.1.1 本节气体控制系统和气体安全系统中的电子设备的设计、制造、检验，包括软件设计，应满足本社《钢质海船入级规范》第7篇或《钢质内河船舶建造规范》第4篇，以及本社《电气电子设备型式认可试验指南》的有关规定。

3.2 功能要求

3.2.1 在正常工况下，气体控制系统应能安全、可靠地操作使用。

3.2.2 气体控制系统应能遥控每一燃料舱气体燃料出口管路上的燃料舱主阀以及每一供气管路上的主气体燃料阀、互锁气体阀、管路透气阀。

3.2.3 除本规范表12.4.2中的监测、报警及保护功能外，气体控制系统还应根据燃气供应系统自身的需要，合理监控燃气供应系统各部件（如燃料泵、加热器、压缩机等），应使整个燃气供应安全、平稳，避免燃气管内出现冲击压力和不适宜的温度。

3.2.4 气体安全系统应实现本规范表12.4.3中的监测、报警及保护功能。对于任何附加的功能，如能表明其纳入应符合气体安全系统的设计原则、完整性和可靠性，才可纳入气体安全系统。

3.2.5 本节中气体控制系统和气体安全系统的警报应布置在驾驶室或连续有人值班的集控室或船舶安全中心。

3.2.6 本节中气体控制系统和气体安全系统的主用电源失效时，应发出声光报警。

39 如发动机设计为当其电控系统故障时，自动切换到纯燃油模式下工作，则应验证电控系统故障时，这一自动转换功能的有效性。

3.2.7 气体安全系统应具备自检功能，并能对系统自身的传感器、控制设备的主要功能故障进行报警。

3.3 设计要求

3.3.1 传感器应能长期稳定地正常工作,其量程及频率特性(必要时)应与被测参数的最大变化范围及变化速率相适应，并应具有适当的精度和灵敏度。

3.3.2 所使用的传感器应坚固耐用或具有良好的机械保护，并应有良好的电气绝缘性能和可靠的电气连接端子。

3.3.3 所使用的传感器的布置应能真实地反映出被监测参数，并应易于接近和检修。在难以更换传感器的位置，还应加装一个备用传感器。

3.3.4 用于显示和报警的仪表应设置在照明充足、便于观察示值、操作和维护方便的位置。

3.3.5 仪表不应安装在有振动、易受机械损伤、有强电磁场干扰、高温、温度剧烈变化的位置。

3.3.6 气动及液动执行机构的连接管道和线路应有伸缩余度，不妨碍执行机构的动作。

3.4 型式试验

3.4.1 本节中气体控制系统和气体安全系统的型式试验应满足本社《电气电子产品型式认可试验指南》的相关要求。

3.4.2 本节中气体控制系统和气体安全系统自身功能的有效性也应在型式试验中验证，如不易实现，应模拟相应每一监测点的故障信号，验证系统动作的有效性。

3.5 船上试验

3.5.1 试验前应编制试验大纲，并经本社审查同意。

3.5.2 应在船上试验中验证气体控制系统和气体安全系统设备是否已正确安装以及整个系统能否正常工作。

3.5.3 应进行如下试验项目（如适用）：

(1) 供电电源中的一路电源失效时，系统能自动切换使用另一路电源;

(2) 分散控制系统和现场总线控制系统，应进行通信线路检查和通信功能检查;

(3) 模拟输入条件，检验逻辑控制输出;

(4) 有模拟量控制的系统，应进行模拟量输入和输出试验，同时应进行运算、控制功能试验;

(5) 模拟输入进行运算、控制、报警连锁功能检查试验，进行操作画面功能试验，同时应测量相应控制输出。