



中国船级社

天然气燃料动力船舶规范

Rules for Natural Gas Fuelled Ships

2013年9月1日 生效

Effective from 1th September, 2013

二〇一三年九月

目 录

第 1 章 通 则	1
第 1 节 一般规定	1
第 2 节 图纸和资料	4
第 3 节 产品检验	6
第 4 节 船舶检验	7
第 2 章 船舶布置	10
第 1 节 一般规定	10
第 2 节 处所位置和分隔	10
第 3 节 出入口和通道	11
第 4 节 气闸	12
第 3 章 系统与管路设计	13
第 1 节 动力系统布置	13
第 2 节 管路设计	14
第 3 节 管系试验	16
第 4 章 气体燃料供应	19
第 1 节 一般规定	19
第 2 节 供气阀	19
第 3 节 机器处所内的供气系统	22
第 4 节 机器处所外的供气系统	23
第 5 章 气体燃料储存	25
第 1 节 一般规定	25
第 2 节 LNG 燃料围护系统	25
第 3 节 CNG 燃料围护系统	27
第 4 节 可移式气罐	27
第 5 节 开敞甲板上的储存	28
第 6 节 围蔽处所内的储存	28

第7节 半围蔽处所内的储存	29
第6章 气体燃料充装	30
第1节 一般规定	30
第2节 充装站	30
第3节 充装系统	30
第4节 充装极限	31
第5节 LNG 标准充装接头	31
第6节 惰性气体管路	31
第7章 机械通风	33
第1节 一般规定	33
第2节 气罐连接处所	34
第3节 机器处所	34
第4节 气体阀件单元处所	34
第5节 泵舱和压缩机舱	35
第6节 双壁管	35
第7节 惰性气体装置舱室	35
第8章 消防	36
第1节 一般规定	36
第2节 耐火结构	36
第3节 灭火	37
第4节 探火和失火报警系统	38
第9章 电气系统	39
第1节 危险区域划分及危险区域内的电气设备	39
第2节 电控系统的供电	40
第10章 控制、监测和安全系统	41
第1节 一般规定	41
第2节 监控	41
第3节 气体探测	41
第4节 气体燃料系统的安全功能	42

第 11 章 气体燃料发动机	46
第 1 节 一般规定	46
第 2 节 功能要求	47
第 3 节 风险分析	48
第 12 章 操作和培训要求	50
第 1 节 一般规定	50
第 2 节 培训	50
第 3 节 维护	50
第 4 节 气体燃料系统操作手册	51
附录 1 LNG 气罐技术要求	52
第 1 节 一般规定	52
第 2 节 设计载荷	52
第 3 节 设计与制造	54
第 4 节 试验	58
附录 2 气体燃料发动机试验技术要求	59
第 1 节 一般规定	59
第 2 节 型式试验	59
第 3 节 工厂试验	63
第 4 节 船上试验	64
附录 3 电子控制系统技术要求	66
第 1 节 一般规定	66
第 2 节 气体燃料发动机电控系统技术要求	66
第 3 节 气体燃料控制系统技术要求	68
附录 4 热交换器技术要求	70
第 1 节 一般规定	70
第 2 节 设计与制造	70
第 3 节 检验与试验	74

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20m及以上的设有气体燃料发动机的钢质船舶，但不适用于客船和危险品运输船。

1.1.1.2 以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）的相关要求。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 船舶发动机可使用单一气体燃料（天然气）或双燃料（天然气和燃油），天然气可以气态或液态形式储存在船上。

1.1.1.4 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，或本规范及本社《船舶重大改装实施指南》的相关要求。

1.1.2 目标及功能性要求

1.1.2.1 本规范的目标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。

1.1.2.2 为达到上述目标，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) 气体燃料动力系统的安全性和可靠性应与新型或类似的常规燃油动力系统所达到的水平相同；
- (2) 应将气体燃料有关危害发生的概率和影响限制至最低；
- (3) 应尽实际可行将危险区域减至最小，以降低可能影响船舶、人员和设备安全的潜在风险；
- (4) 应将安装在危险区域的设备减少至仅为操作所必需的设备，且此类设备的性能应与其工作环境相适应并经本社认可；
- (5) 应防止爆炸性、可燃性气体浓度的意外累积；
- (6) 应适当防护气体燃料系统的部件，以免其遭受外部损伤；
- (7) 应消除危险区域内的着火源，以降低爆炸的概率；
- (8) 应布置安全、合适的气体燃料充装和储存系统，使其能够在船上接收并储存所要求状态下的气体燃料，而不会造成泄漏和超压；
- (9) 应设置经适当设计、构造和安装的气体的管系、围护和超压释放装置，以实现其预定用途；
- (10) 应适当设计、建造、安装、操作和维护相关机械、系统和部件，以确保其安全可靠运行；
- (11) 对于气罐连接处所和机器处所等可能含有气体释放源的处所，其布置应使得任何一处发生火灾均不会导致其他舱室的机器/设备丧失工作能力；
- (12) 应设有适当的控制、报警、监测、切断和气体探测系统，以确保气体燃料系统安全、可靠运行；
- (13) 应针对潜在的火灾风险设置探火、防火和灭火措施；
- (14) 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要求。
- (15) 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 定义

除另有明确规定者外，本规范适用的定义如下：

1.1.3.1 天然气：系指从油气田或页岩矿等产生的可燃气体，常温常压下呈气态，主要成分为甲烷和少量的乙烷、丙烷、丁烷等，天然气的组分可能由于其气源地不同而具有较大差别。其典型组分（体积组分，%）如下：

- 甲烷 (C₁) 94%
- 乙烷 (C₂) 4.7%
- 丙烷 (C₃) 0.8%
- 丁烷 (C₄₊) 0.2%
- 氮气 0.3%
- 气体密度 0.73kg/m³ (1个大气压, 温度20℃)
- 液体密度 450kg/m³
- 低位热值 49.5MJ/kg
- 甲烷值 83

1.1.3.2 压缩天然气 (CNG)：系指通过高压压缩储存在气罐中的天然气。

1.1.3.3 液化天然气 (LNG)：系指经压缩、冷却或专门工艺加工后以液态形式储存在特定容器中的天然气。

1.1.3.4 危险性：系指火灾、爆炸、低温和压力可能对船舶造成的破坏和对人员造成的伤害。

1.1.3.5 合格防爆型：系指由公认的机构按公认的标准^①核准为安全型的电气设备。

1.1.3.6 失效模式及影响分析 (FMEA)：系指产品开发和运行管理中用来确定潜在失效模式及其原因的一种分析方法。它通过对各种可能的风险进行评价、分析，以便在现有技术的基础上消除这些风险或将这些风险减小到可接受的水平。

1.1.3.7 燃料围护系统：系指用于储存燃料的装置（含接头），包括主屏壁和次屏壁（如设有时）以及附属的绝热层和屏壁间空间，包括必要时用于支持这些构件的邻接结构。若次屏壁是船体结构的一部分，则它可以是气罐处所的边界。与燃料围护系统有关的主要术语如下：

(1) 气罐：系指船上用于储存天然气燃料（CNG或LNG）的容器。LNG气罐可分为薄膜型气罐、半薄膜型气罐、独立气罐（包括A型独立气罐、B型独立气罐、C型独立气罐）等；

(2) 气罐处所：系指由船舶结构所围蔽、其内部设有燃料围护系统的处所；

(3) 屏壁间空间：系指主屏壁和次屏壁之间的空间；

(4) 气罐连接处所：系指一个内部设有气罐所有接头和阀件的气密处所。该处所可包围全部气罐，当气罐为双壳结构且外壳由耐低温材料制成时，该处所可仅包围部分气罐。

上述术语参见图1.1.3.7。

^①参见国际电工委员会颁布的标准 IEC 60079 或国家标准 GB 3836。

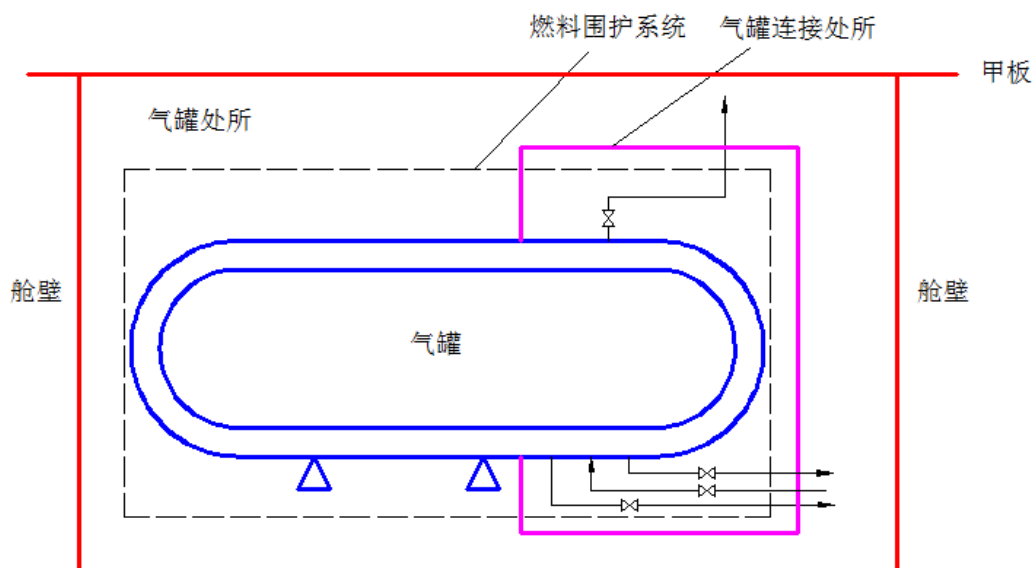


图 1.1.3.7 围蔽处所内燃料围护系统（C型气罐）示意图

1.1.3.8 可移式气罐：系指可移动（如吊装或滚装）至船外进行充装的气罐。

1.1.3.9 气体阀件单元（GVU）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。

1.1.3.10 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。

1.1.3.11 半围蔽处所：系指受甲板和/或舱壁限制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。

1.1.3.12 开敞甲板：系指两端/两侧开口，或一端开口并通过在两侧舱壁或上部甲板固定开口提供遍及整个长度的充分有效的自然通风的甲板。

1.1.3.13 起居处所：系指用作公共处所、走廊、盥洗室、居住舱室、办公室、医务室、电影院、游戏娱乐室、理发室、厕所、无烹调设备的配膳室的处所以及类似的处所。

1.1.3.14 LEL：系指爆炸下限。

1.1.3.15 气体危险区域：系指爆炸性气体环境存在或可能出现的数量足以需要对机械和电气设备在结构、安装和适用上采用特别防护的区域。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。

1.1.3.16 气体安全区域/处所：系指气体危险区域以外的区域或处所。

1.1.3.17 高压管：系指最高工作压力高于1MPa的气体管系。

1.1.3.18 互锁气体阀：系指安装在每台发动机气体燃料供应管路上的1套自动阀（3只），其中2只为截止阀，串接在通向发动机的气体燃料管路上；第3只为透气阀，安装在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。互锁气体阀的功能应满足本规范第4章4.2.1.3的要求。

1.1.3.19 单一气体燃料发动机：系指只能依靠天然气燃料运转且不能转换到燃油运转模式的内燃机。

1.1.3.20 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。

1.1.3.21 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。

1.1.3.22 高压气体燃料发动机：系指气体燃料喷射压力等于或大于1MPa的气体燃料发动机。

1.1.3.23 低压气体燃料发动机：系指气体燃料喷射压力小于1MPa的气体燃料发动机。

1.1.3.24 气罐主阀：系指一个位于气罐供气管路上尽量靠近气罐出口的遥控截止阀，该阀应为故障关闭（其驱动动力失效时关闭）型。

1.1.3.25 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。

1.1.3.26 释放源：系指可能释放出可燃气体、蒸气或液体，形成爆炸性气体环境的部位或地点，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。

1.1.3.27 双壁管：系指由内管和外管组成的，主要用于向气体燃料发动机供气的管路。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要求进行通风。

1.1.3.28 充装站：系指设有气体燃料充装接头、回气接头及相关阀件的位置或处所。

1.1.3.29 危险品运输船：系指油船、化学品液货船、液化气体船及装运包装危险货物的船舶。

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，加注如下一个或多个附加标志：

压缩天然气为燃料：CNG Fuel

液化天然气为燃料：LNG Fuel

双燃料系统：Dual Fuel

1.1.5 材料

1.1.5.1 气罐、气体燃料管路、与气体燃料相关的压力容器、其他同气体接触的部件以及可能遭受低温的船体（如气罐处所的舱壁等）的材料，应满足本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第6章的要求。

1.1.5.2 围蔽处所内的双壁管，如内管内是高压气体，则外管的材料应至少满足本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第6章表6.4中最低设计温度-55℃的材料要求。

1.1.5.3 除非对内管可能的泄漏具有足够的防护，否则环围液体燃料管路的外管或导管应由耐低温钢制成。

1.1.6 等效或替代

1.1.6.1 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。

1.1.6.2 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。

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 机器处所和锅炉间、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 气泵和压缩机室布置图（如设有）；
- ④ 气体燃料充装系统布置图（含充装接头）；
- ⑤ 气罐处所、气罐连接处所的出入口、透气管和其他开口的布置；
- ⑥ 气泵室、压缩机室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 气闸位置和结构图（如设有）；
- 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。

(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 在切断充装接头之前从燃料充装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 气泵室、压缩机室和气罐连接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，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 火灾探测系统布置图；
- ③ 气罐处所、气罐连接处所及其通风管、充装站（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 气体危险区内所有电气设备布置图；
- ② 本质安全电路单线图；
- ③ 合格防爆型设备清单。

(6) 控制和监控系统

- ① 气体探测和报警系统布置图及说明，包括探头、报警装置和报警点布置图；
- ② 气罐监控系统布置图及说明，包括传感器、报警点布置等；
- ③ 气体压缩机控制和监控系统（如设有）布置图及说明；
- ④ 气体燃料发动机控制和监控系统布置图及说明。

(7) 试验或程序文件

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能性试验等；

注：实际图纸的名称可以与上述图纸不同，但应反映其内容要求。

1.2.2 备查图纸和资料

1.2.2.1 下列图纸资料一式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 船上保存图纸和资料

1.2.3.1 除规范法规要求的常规资料外，天然气燃料动力船舶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12章12.4.1.2的要求。
- (2) 1份指明气体控制、监测和安全系统的仪器、设备定期试验的计划。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10章表10.4.1.1（1）、表10.4.1.1（2）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、规则的要求，船上产品应按相关规范法规的要求持有船用产品证书。

1.3.1.2 与气体燃料系统相关的重要产品，如气罐，气体燃料发动机，热交换器，电子控制系统，气体燃料管路上的所有阀件、软管、波纹管，泵和压缩机等，应持有本社船用产品证书，并满足本章1.3.1.3至1.3.1.8的相应要求。

1.3.1.3 气罐应满足如下要求：

(1) 应将下列图纸资料一式三份提交本社审批：

- ① 气罐的详细图纸，包括内部结构、次屏壁（如设有）、隔热、管路、阀件和接头等；
- ② 气罐支承的详细图纸；
- ③ 气罐及连接管路的材料说明书；
- ④ 气罐设计载荷和结构分析（含受压元件强度计算）的技术文件；
- ⑤ B型或C型独立气罐的完整应力分析资料；
- ⑥ 气罐压力释放阀的排量计算书；
- ⑦ 气罐焊缝的无损检测、强度和罐体密性试验的资料；
- ⑧ 气罐隔热性能计算或试验资料；
- ⑨ 气罐焊接工艺说明书；
- ⑩ 气罐连接处所（如设有）的图纸资料。

(2) 含有液态和/或气态气体燃料的压力容器，除应满足本社相关规范对压力容器相应要求外，尚应满足本规范第5章和附录1的适用要求。

1.3.1.4 气体燃料发动机应满足如下要求：

(1) 应将下列图纸资料一式三份提交本社审批：

- ① 本社相关规范对柴油机要求提交的图纸资料；
- ② 气体喷射阀及其驱动、密封系统。对于采用混合器的预混式气体燃料发动机，应提交混合

器的图纸资料：

- ③ 曲轴箱保护布置和详细说明；
- ④ 空气进气总管和排气总管防爆布置和计算书；
- ⑤ 与气体燃料燃烧有关的发动机控制系统原理图，包括监测、报警和安全保护装置；
- ⑥ 与气体燃料燃烧有关的发动机试验程序和试验报告；
- ⑦ 发动机排气系统布置图；
- ⑧ 气体燃料发动机风险分析（如FMEA）报告；
- ⑨ 本社认为必要的其他图纸和资料。

(2) 气体燃料发动机除应满足本社相关规范对柴油机相应要求外，尚应满足本规范第11章和附录2的适用要求。

1.3.1.5 电子控制系统应满足如下要求：

(1) 用于气体燃料发动机或气体燃料供应的电子控制系统，除应满足本社相关规范对柴油机电子控制系统相应要求外，尚应满足本规范第10章和附录3的适用要求。

1.3.1.6 热交换器应满足如下要求：

(1) 用于气体燃料加热或气化的热交换器，除应满足本社相关规范对热交换器相应要求外，尚应满足本规范附录4的要求。

1.3.1.7 阀件、软管、波纹管应满足如下要求：

(1) 本社相关规范的相应要求。

(2) 拟用于工作温度低于-55℃的各种尺寸和各种型式的阀，应满足本规范第3章3.3.1.7的要求。

1.3.1.8 泵和压缩机应满足如下要求：

(1) 泵和压缩机（如设有时）应满足本社相关规范的要求或本社接受的标准的的要求。

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) 气体燃料发动机的安装和试验；

(2) 燃料围护系统的安装和试验；

(3) 燃料充装系统的安装和试验；

(4) 供气系统（含热交换器）的安装和试验。对增强安全型机器处所内供气管路上的每一对接焊接头，均应进行射线检测。

(5) 气体燃料发动机机器处所和气罐处所、气罐连接处所（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) 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) 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。

(9) 确认受正压保护处所的正压通风的能力，在最低通风流量下的净化时间应测试，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。

(10) 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。

(11) 确认本质安全电路的设备和电缆安装的正确性。

(12) 探火、灭火装置的安装与试验；

(13) 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 检查罐体铭牌是否清晰、牢固可靠，内容是否齐全；

② 检查气罐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 对气罐压力释放阀的最大开启压力调定值进行标定；

④ 检查气罐压力、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 检查气罐罐壳是否有剥蚀、腐蚀，或刮伤、凹陷、变形、焊缝缺陷、外壳结霜、冒汗等现象；

⑥ 目视检查罐体接口部位焊缝的裂纹等；

⑦ 确认气罐安全操作程序（包括气罐主阀的安全控制、液位容积对照表、压力释放阀紧急隔离、充装预冷要求等）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) 检查气罐连接处所、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手携式通风设备（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) 检查手动应急关闭系统以及压缩机自动关闭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，必要时应用样气进行校核；

(13) 检查探火和灭火装置，并试验起动一台主消防泵；

(14) 检查水雾系统是否处于正常状态；

(15) 检查干粉灭火系统是否处于正常状态；

(16) 核查气体燃料发动机系统的安全操作手册。

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) 确认管路和气罐与船体电气接地；

(2) 确认用于危险处所通风的机械通风风扇已备有备件；

(3) 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；

(4) 对于真空绝热型气罐，按本规范附录1中4.1.4的有关要求进行真空度测试；

(5) 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、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 对于设有人孔的气罐必须开罐，进行以下外观检查：

(a) 防波板（如设有）与罐体的连接情况，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) 气罐气相管、液位计固定导架与罐体连接处的裂纹、裂开或松脱等。

② 气罐连同其气、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，必须经罐内气体成分检测合格，否则严禁用空气作为试验介质；

③ 气罐连同其气、液相接管进行液压试验。如果气罐支撑处的板、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满意，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 对所有直接与气罐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 对气罐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 如气罐包有绝缘物时，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），以确定气罐的状况。

(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规范有关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 船舶布置

第1节 一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 天然气燃料动力船舶的布置，应避免含有气体源的处所发生火灾和爆炸造成以下影响：

- (1) 对该处所以外的任何其他处所造成破坏；
- (2) 影响其他区域的正常运转；
- (3) 损坏船舶从而发生主甲板下浸水或任何累积浸水；
- (4) 破坏工作区域或起居处所，以致在该类处所处于正常操作条件下的人员受到伤害；
- (5) 扰乱控制站和配电室的正常运转；
- (6) 损坏救生设备或相关的降落装置；
- (7) 损坏其他处所内的消防设备；
- (8) 影响船上的其他区域，从而导致可能产生货物、气体和燃油的连锁反应。

2.1.1.2 气体燃料系统（含充装、储存、供给和使用等）的布置应使其产生的危险区域尽可能小。

2.1.1.3 含有低温液体管系或设备的处所，应在释放源下方设置耐低温集液盘；对于高压压缩气体，应设有耐低温钢质防护罩，以防止低温压缩气体泄漏后喷射到周围的结构上。在发生液体或压缩气体泄漏的情况下，释放源周围的船体结构或甲板结构不应遭受其不可接受的冷却。

2.1.1.4 气罐连接处所、压缩机室、气泵室及类似处所的舱底水系统（如设有）应独立于船上其他部分的舱底水系统。

第2节 处所位置和分隔

2.2.1 气罐处所及气罐连接处所

2.2.1.1 气罐处所内不应安装可能导致火灾危险的机器和设备。

2.2.1.2 气罐的接头、法兰和阀等附件，如未布置在开敞甲板上，则应封闭在气罐连接处所内。该处所应能安全地容纳气罐接头处可能产生的泄漏，其限界面材料应与气罐有相同的设计温度，且该处所应设计成能经受住最大累积压力，或者可以设置通向一个安全位置（如透气桅）的压力释放装置。该处所应进行隔热，以确保气体燃料泄漏时，其周围船体结构不会面临无法承受的冷却。

2.2.1.3 气罐连接处所内的设备应能承受低温液体的泄漏，而不导致其功能丧失。

2.2.1.4 气罐连接处所的限界面包括出入口（如设有）应为气密型。

2.2.1.5 气罐包括其次屏壁（如设有），以及气罐连接处所不应与机器处所和其他具有较大失火危险的处所相邻。如果通过隔离舱进行隔离，则隔离舱的宽度应至少达到900 mm。对于真空绝热C型气罐，若气罐外壳距舱壁不小于900 mm，则气罐处所可以作为隔离舱，但气罐布置在机器处所和其他可能产生火灾的危险区域的上方的情况除外。

2.2.1.6 气罐连接处所的出入口（如设有）应至少有300 mm高的门槛，或基于LNG泄漏后液位水平的门槛。进入气罐连接处所的通道应尽可能独立且直接通向开敞甲板。如果有舱室与气罐连接处所有通道或舱口盖连接，该舱室的通道也应满足本条要求。

2.2.2 充装站

2.2.2.1 充装站应布置在开敞甲板。如布置在围蔽或半围蔽处所，则应设有防止可燃气体聚积的措施，并经本社认可。

2.2.2.2 充装站和起居处所、货物/工作甲板和控制站应进行分隔或结构防护，需要特别考虑船舶货物装卸作业时可能带来的机械损伤。接头和管路的位置和布置应能保证气体管路的任何损坏不会导致燃料围护系统的损坏，从而导致无法控制的气体排放。

2.2.3 机器处所

2.2.3.1 设有气体燃料发动机的机器处所的几何形状应尽可能简单，避免形成气井。

2.2.3.2 当要求设置多个机舱（ESD防护式机器处所）并且这些机舱采用单舱壁分隔时，舱壁的强度应不低于水密舱壁的强度水平。

2.2.4 气体压缩机室和气泵室

2.2.4.1 气体压缩机室（如设有）一般应布置在开敞甲板之上，除非其按照本规范关于气罐连接处所的要求进行布置和设置。

2.2.4.2 驱动压缩机的原动机应布置在邻近的气体安全处所内，传动轴贯穿舱壁处应气密，并进行温度监测。

2.2.5 含有气体设备的其他处所

2.2.5.1 含有低温液体设备（如阀件、蒸发器、加热器等）的其他处所，一般应满足对气体压缩机室和气泵室的要求。

第3节 出入口和通道

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 一般不应设置从气体安全处所直接通向气体危险处所的门，如果出于操作原因必需设有该类开口，则应设置符合本章第4节要求的气闸。

2.3.1.2 气罐连接处所的通道应尽可能独立且直接通往开敞甲板。如设置从甲板通向该处所的独立通道不可行时，则应设置符合本章第4节要求的气闸。

2.3.1.3 如气罐连接处所的通道既不是直接通往开敞甲板，也没有设置气闸，则对于含有该通道的处所，应满足如下要求：

(1) 独立通风，且每小时至少换气8次；

(2) 在正常情况下，该处所视为气体安全处所；但当需要进入气罐连接处所时，该处所应视为气体危险区域，在此情况下，处所内的非防爆设备应切断电源，需使用的设备应按2区设计，但穿过处所的电缆除外。

2.3.1.4 若气体压缩机室被布置在开敞甲板以下，从甲板上应有独立通道通向该处所，且该独立通道不应与任何其他处所共有。如设置从甲板通向该室的独立通道不可行时，则应设置符合本章第4节要求的气闸。

2.3.1.5 设有气体燃料发动机的机器处所应至少具有2个完全独立的出口。对于船长小于30m内河船舶的机器处所，可仅设一个出口。

2.3.1.6 若ESD防护式机器处所设有经其他围蔽处所进入其内的通道，则入口处应安装自闭式门；若该门持续开启超过1min，则应启动听觉报警，亦可使用2扇串联的自闭门。

2.3.1.7 机器处所的通道不应通至气体危险处所，但允许在机器处所内设置通向气体阀件单元处

所的通道。

第4节 气闸

2.4.1 一般要求

2.4.1.1 气闸是由两扇气密的钢质门和气密舱壁组成的气密空间，两扇钢质门之间距离至少为1.5m，但不大于2.5m。此类门应是自闭式的，且应无任何门背扣装置。

2.4.1.2 气闸应从气体安全处所进行机械通风，且气闸应相对相邻的气体危险区域保持正压状态。

2.4.1.3 气闸应具有简单的几何形状和便捷的通道，其甲板面积不应小于1.5m²。气闸不可用于其他目的（如储藏室等）。

2.4.1.4 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。

2.4.1.5 当气闸内的正压状态消失时，应切断气闸保护处所内非合格防爆型电气设备的供电。用于操纵、锚泊和系泊设备以及应急消防泵的非合格防爆型电气设备不应位于气闸保护处所内。

2.4.1.6 气闸内应设置可燃气体探测器。

第3章 系统与管路设计

第1节 动力系统布置

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 对于本章规定外的任何新型动力系统布置，应进行风险分析。对于因使用气体燃料发动机而产生的影响船舶结构强度和完整性的任何风险，应予以识别，对在安装、操作和维护过程中可能产生的任何故障所造成的危险均应予以考虑。风险评估应采用公认的方法^②，评估报告应经本社认可。

3.1.1.2 含有天然气燃料动力系统（包括双燃料动力系统）的机器处所应按下述要求布置：

(1) 本质安全机器处所：机器处所的布置应使得机器处所在任何情况下（正常和异常情况）均处于气体安全状态。或；

(2) ESD防护式机器处所：机器处所的布置使得该处所在正常情况下被认为处于气体安全状态，但在某种异常情况下可能变为气体危险区域。当出现气体燃料泄漏等异常情况时，非合格防爆设备（着火源）和机械应自动关闭，只允许合格防爆型设备和机械运行。或；

(3) 增强安全机器处所：其主要通过加强机器处所通风、增加可燃气体探测覆盖、机器处所内供气管路采用全焊透对接焊等措施增强机器处所的安全水平。

3.1.2 本质安全机器处所

3.1.2.1 机器处所内的所有供气管路应进行气密环围，如采用双壁管。

3.1.2.2 如果因供气管路内的气体泄漏而必需切断气体供应时，则应有另一套辅助的独立燃料供应系统可用；如果设有多个发动机推进装置，且每台发动机的供气系统独立设置，则可不设辅助的燃料供应系统。

3.1.3 ESD 防护式机器处所

3.1.3.1 机器处所若满足下列要求，其内部的供气管路可不设气密环围：

(1) 产生推进功率和电力的发动机布置在2间或多间机舱内，且任何一间机舱内的燃料供应被切断时，其余机舱应能维持至少40%的推进功率和正常的电力供应以用于航行。

(2) 机器处所内尽可能少地容纳仅为维持气体燃料发动机正常工作所需的设备、部件和系统，焚烧炉、惰性气体发生器和燃油锅炉等不应布置在ESD防护式机器处所内。

(3) 机器处所内供气系统的压力小于1MPa；

(4) 机器处所内供气管路的设计压力不小于1MPa；

(5) 应安装气体探测装置，并能自动切断气体供应（若使用双燃料，还应切断燃油供应）和断开所有非防爆设备或装置。

3.1.4 增强安全型机器处所

3.1.4.1 对于内河航行货船，如采用双燃料气体发动机，则在满足下列要求的情况下，机器处所内供气管路可不设气密环围或机器处所布置可不采用分舱的形式，机器处所内电气设备（除抽风机、可燃气体探测器、火灾探测器、报警器和照明装置外）的安全等级可按一般货船机器处所的电气设备的安全要求配置。

^② 如综合安全评估（FSA）、故障模式与影响分析（FMEA）等。

- (1) 机器处所内供气系统的压力应小于1MPa;
- (2) 机器处所内供气管路的设计压力应不小于1MPa;
- (3) 机器处所内通向发动机的供气管路上所有阀门和可能产生泄漏的部件应布置在气体阀件单元处所内。供气管路的连接应采用对接焊全焊透型式, 并100%进行射线检测, 如确不可行, 本社可允许采用法兰接头, 但接头应布置在气体阀件单元处所内, 该处所内的通风和气体探测应满足本规范第7章第4节和第10章第3节的相关要求;
- (4) 机器处所内的供气管路及气体燃料发动机应能被两套相互独立的固定式气体探测装置覆盖, 气体探测器的安装位置应满足产品性能要求, 并能确保其快速有效地探测可能泄漏的气体;
- (5) 在启动气体燃料发动机之前, 应确认机器处所和气体阀件单元处所内的气体探测装置处于正常工作状态;
- (6) 气体探测必须连续进行, 其听觉和视觉警报应布置在驾驶室或机器处所控制室内。当探测到机器处所和气体阀件单元处所内可燃气体浓度达到20% LEL时, 应有听觉和视觉报警, 且同时切断通往机器处所的气体燃料供应, 双燃料发动机应自动转换为燃油模式;
- (7) 由于控制阀自动关闭而停止气体燃料供应时, 双燃料发动机应自动转换为燃油模式。在确定供气停止的原因并采取必要的措施之后, 方可重新启动气体燃料供应及气体燃料发动机的燃气模式;
- (8) 机器处所应安装有效的抽吸式机械通风系统, 且具有每小时至少换气30次的换气能力, 风机的数量和功率应满足: 无论风机电动机由主配电板或应急配电板设独立线路供电还是由主配电板或应急配电板设公用线路供电, 当其中的一组风机失效时, 其他组风机仍能满足机器处所规定换气能力的要求。抽风机应采用不会产生火花的结构型式;
- (9) 机器处所机械通风应与双燃料发动机实现燃气模式运行联锁, 即当抽风机开启至少10 min以后, 发动机才能采用燃气模式运行, 当风机因故关停时, 发动机应能自动转换为燃油模式。
- (10) 应设有快速探测机器处所内供气管路破裂的措施, 一旦探测到供气管路破裂, 应自动切断通往机器处所的气体燃料供应, 双燃料发动机应自动转换为燃油模式。
- (11) 机器处所内的可燃气体探测器、火灾探测器、报警器和照明装置应为合格防爆型。

第2节 管路设计

3.2.1 一般要求

- 3.2.1.1 管系的布置, 应考虑热变形以及气罐和船体构件的移动而引起过大应力的影响。
- 3.2.1.2 应防止膨胀接头的过度膨胀和压缩, 对其邻接管路应适当支撑和固定。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)。
- 3.2.1.3 当在气罐或管路与船体结构之间采用绝缘隔离时, 则对管路和气罐均需采取电气接地措施。对所有具有密封垫片的管接头和软管接头也均需作电气连接。所有具有填料的管接头和软管接头应有电气接地措施。
- 3.2.1.4 供气管路上应尽量少使用软管、法兰, 不应使用滑动式膨胀接头。
- 3.2.1.5 气体管系距离船体外板应不少于800mm。
- 3.2.1.6 气体管系的安装应有足够的挠性。
- 3.2.1.7 所有气体管系应采用统一的颜色标识。
- 3.2.1.8 如果气体燃料中含有某些会在系统中凝结的较重的成分, 则应安装气液分离罐或收集液体的类似设施。
- 3.2.1.9 对于内河过闸船舶, 被隔离管路内含有液态气体燃料时, 该气体燃料应能被有效回收; 对于其他船舶, 可能被隔离的含有液态气体燃料的所有的管路应安装压力释放阀, 其排出口应通往开敞区域。

3.2.1.10 应设有对气体充装管路和供应管路进行惰性气体吹扫的装置。

3.2.2 管壁厚度

3.2.2.1 管壁厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

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

式中： t_0 ——理论的厚度，mm， $t_0 = \frac{P \cdot D}{2[\sigma] \cdot e + P}$ ；

其中： P ——设计压力，MPa，见本章 3.2.3 的规定；

D ——管子外径，mm；

$[\sigma]$ ——许用应力，N/mm²，见本章 3.2.4 的规定；

e ——效率系数，对无缝钢管，以及由认可制造厂供应的纵向焊或螺旋焊的焊接管子，其焊缝按公认的标准，经无损检测认为与无缝钢管等效者，则此系数为 1.0；其他情况的效率系数，按照认可的标准，根据制造工艺提出具体要求。

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： $b = \frac{Dt_0}{2.5r}$ ；

其中： r ——平均弯曲半径，mm；

c ——腐蚀余量，mm，如预计有腐蚀或浸蚀，则管壁厚度应比其设计要求的值有所增加，此余量应和预计的管子寿命相一致；

a ——厚度制造负公差，%。

3.2.2.2 为防止由于支持构件、船舶变形或其他原因所产生的附加载荷造成管的损坏、破断和过度下垂或失稳，而需要一定的机械强度时，管壁厚度应比本章 3.2.2.1 要求的值有所增加。

3.2.2.3 气体燃料管系的最小壁厚应满足本社相关规范的规定。

3.2.3 设计压力

3.2.3.1 本章 3.2.2 计算式中的设计压力 P 系指该系统中可能承受的最大表压力；

3.2.3.2 对于管路、阀件和附件，当适用时，应采用下列设计情况中的较大压力：

(1) 对于可能与其压力释放阀隔离并可能含有一些液体的气体管系或附件，应为 45℃ 时的饱和蒸气压力。然而，对于航行于限制航区或在限制期限内航行的船舶，考虑其保持在一定环境温度航区内航行，经本社同意，也可为较高或较低的压力；或

(2) 对于可能与其压力释放阀隔离并在任何时候仅含有气体的管系或附件，应为 45℃ 时的过热蒸气压力。对于航行于限制航区或在限制期限内航行的船舶，考虑其保持在一定环境温度航区内航行，经本社同意，也可为较高或较低的压力。此时，假定系统中饱和蒸气的初始状态是处于该系统的工作压力和工作温度；或

(3) 气罐和燃料系统的压力释放阀的最大允许调定值(MARVS)；或

(4) 相关的泵或压缩机的压力释放阀的调定压力；或

(5) 燃料加装管系的总压头；或

(6) 管路系统的压力释放阀的调定压力；

(7) 设计压力应不小于1MPa(表压), 但对管端敞开的管路, 其设计压力应不小于0.5MPa(表压)。

3.2.3.3 法兰、阀件和其他附件等应按本章3.2.3.2 的规定考虑设计压力, 并应符合本社认可的标准; 不能满足本社认可标准要求的法兰, 需经本社同意。

3.2.3.4 管路中的阀和附件, 其型式试验应参照《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》相关要求进行。

3.2.4 许用应力

3.2.4.1 本章3.2.2 计算公式中所考虑的管子的许用应力, 应取下列计算值的较小者:

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

式中: R_m ——室温下材料最低抗拉强度, N/mm^2 ;

R_e ——室温下材料最低屈服应力或0.2%非比例延长屈服应力, N/mm^2 。

3.2.5 应力分析

3.2.5.1 当设计温度为-110℃或更低时, 对管系的每一分支应提交一份完整的应力分析资料。该分析应考虑到由于管的重量(包括较大的加速度载荷)、内部压力、热收缩以及船舶运动引起的载荷等所产生的所有应力。当设计温度高于-110℃时, 应力分析资料的内容可为诸如管系的设计或刚度, 以及材料的选择等。在任何情况下, 即使无需要提交计算书, 也应考虑热应力。

3.2.6 管路连接

3.2.6.1 无法兰管段直接连接可采用下列方式:

(1) 根部完全焊透的对接焊接头, 可适用于各种情况;

(2) 带有套筒的套装焊接接头只能用于外径小于或等于50mm和设计温度不低于-55℃的端部敞开的管路;

(3) 螺纹连接只能用于外径小于或等于25mm 的辅助管路和仪表管路。

3.2.6.2 采用法兰连接时, 法兰接头应为颈焊、套焊或插入焊等型式。对于所有管系(除端部敞开管路以外)应符合下列规定:

(1) 设计温度低于-55℃时, 只能采用颈焊法兰;

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

3.2.7 焊后热处理

3.2.7.1 对碳钢、碳锰钢和低合金钢钢管的所有对接焊缝均应进行焊后热处理。且应满足本社《材料与焊接规范》的有关要求。本社根据管系的设计温度和设计压力可以免除对壁厚小于10mm的管子进行消除热应力的要求。

第3节 管系试验

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 对气体管路应进行焊接工艺试验, 并满足如下试验要求:

(1) 拉力试验: 焊缝金属的抗拉强度一般不应低于相应母材的最低抗拉强度。若焊缝金属的抗拉

强度低于母材的抗拉强度，则本社可要求焊缝的横向抗拉强度应不低于该焊缝金属的抗拉强度。在每种情况下，均应提供试样破断位置报告以供备查。

(2) 弯曲试验：除本社特别要求和特别同意外，试样经直径为4倍试样厚度的弯芯弯曲180°后，不应断裂。

(3) 夏比V型缺口冲击试验：应对连接母材在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(E)应不低于27J。焊缝金属小尺寸试样和单个冲击能量，应按本社《散装运输液化气体船舶结构和设备规范》第6章的相关规定。熔合线和热影响区的冲击试验结果的最小平均冲击能量(E)应符合母材横向或纵向要求(视适用而定)，而小尺寸试样，最小平均冲击能量(E)应满足本社《散装运输液化气体船舶结构和设备规范》第6章的相关要求。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的标准。对于厚度小于6 mm的管路不要求进行冲击试验。

3.3.1.2 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，还应进行下列试验：

(1) 对设计温度低于-10℃且内径大于75 mm或壁厚大于10 mm的管系的对接焊接头，应要求作100%射线检查。对增强安全型机器处所内气体燃料管系的对接焊接头，应要求作100%射线检查；

(2) 当管路截面的此种对接焊接头系在管制造车间用自动焊接程序焊接时，经特别许可，射线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的焊接产品的能力时才能被授予；

(3) 对于其他管的对接焊接头，由本社根据其用途、位置 and 材料决定是否应进行抽样射线检查或另外的无损探伤。一般应至少对10%的管对接焊接头进行射线检查。

3.3.1.3 在装船后，应对所有气体管路进行至少为1.5倍设计压力的静水压力试验。但是，当完成对管系或系统部件的制造并对其配齐所有附件时，可在其被装船之前对其进行静水压力试验。对在船上焊接的接头应进行至少为1.5倍设计压力的静水压力试验。如果管路内不允许有水，且在管路被投入使用之前不能对其进行干燥，则应将采用其他试验液体或试验方法的建议提交认可。若采用气压试验，其试验压力应至少为1.25倍的设计压力。

3.3.1.4 对于每一气体管系，在船上将其安装完工之后，均应使用空气、卤化物或其他适当介质进行密性试验。试验压力不低于最高工作压力。

3.3.1.5 在投入正常运行以前，应对所有气体管系，包括用于输送气体的阀，附件和附属设备进行正常工作状态下的功能试验。

3.3.1.6 如果通风导管内设有高压管路，则导管应进行至少为1MPa的压力试验。

3.3.1.7 拟用于工作温度低于-55℃的每种尺寸和每种型式的阀，应在最低设计温度（或更低）和不低于阀的设计压力下进行密性试验。在试验期间，应确认阀具有良好的工作性能。

3.3.1.8 拟用于气体管路的波纹管膨胀接头应进行下述原型试验：

(1) 过压试验。未经预先压缩的波纹管元件应经受不小于5倍设计压力的压力试验而不破裂，试验持续时间应不少于5 min。

(2) 对于带有所有附件（法兰、拉杆、铰接件等）的原型膨胀接头，应在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。试验不应产生永久变形。根据材料可要求在最低设计温度下进行这种试验。

(3) 循环试验（热运动）。对完整的膨胀接头应进行该试验，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良好地承受至少为与实际使用中所遇到的同样多的循环次数。保守情况下允许在室温下进行试验。

(4) 周期性疲劳试验（考虑船体变形）。对完整的膨胀接头应在无内压的情况下进行该试验，即用模拟相当于补偿管段的波纹管运动的方式，在不超过5 Hz的频率下，至少进行 2×10^6 次循环。但

只有当由于管路的布置实际上会经受船体变形载荷作用时，才要求进行这种试验。

3.3.1.9 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，则可不进行本章3.3.1.8中规定的试验。当最大内部压力超过0.1 MPa时，上述文件应包括足够的试验资料，以验证所用设计方法的合理性，特别是关于计算和试验结果之间的相互关系。

3.3.1.10 气体燃料系统中使用的软管，应按本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》中对货物软管的相关要求进行试验。

第4章 气体燃料供应

第1节 一般规定

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 对于单一气体燃料动力系统，从气罐至用气设备的气体燃料供应系统布置应满足如下要求，保证当气体燃料供应系统发生泄漏时，不会导致主推进、发电和其他主要功能的丧失：

- (1) 采用两个或多个尺寸相近的气罐储存燃料，气罐分别布置在不同的处所；
- (2) 对于C型LNG气罐，如果设有两个完全独立的气罐连接处所，则可接受仅设置一个气罐。

4.1.1.2 气罐的每一气体燃料供应出口应设置一个气罐主阀和一个手动截止阀，且应尽量靠近气罐。

4.1.1.3 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。

第2节 供气阀

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 每台或每组气体燃料发动机的主供气管路上应设有1个手动截止阀和1个主气体燃料阀，两阀串联连接，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，并尽可能靠近热交换器（如设有）。

4.2.1.2 主气体燃料阀应能按本规范第10章 表10.4.1.1（2）所规定的情况自动切断供气管路，并能从机舱、驾驶室、控制站等位置对其进行关闭。

4.2.1.3 通往每台气体燃料发动机的供气管路上应安装一套互锁气体阀，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10章 表10.4.1.1（2）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管；

(3) 2只串接阀中的1只阀和透气管的功能可以组合在同一个阀体中，当发生本规范第10章 表10.4.1.1 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，透气管应为故障开启型；

(6) 互锁气体阀还应用于发动机的正常停车。

4.2.1.4 对于高压气体燃料发动机，当主气体燃料阀自动关闭时，主气体燃料阀至互锁气体阀之间的供气管路以及互锁气体阀至发动机气体喷射阀之间的供气管路应能自动透气；当发动机正常停

车时，互锁气体阀至发动机气体喷射阀之间的供气管路应能自动透气。

4.2.1.5 在互锁气体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。

4.2.1.6 如果每台气体燃料发动机设有单独的主气体燃料阀，则主气体燃料阀和互锁气体阀的功能可以进行组合，即主气体燃料阀可以作为互锁气体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4.2.1.6 (1)和图4.2.1.6 (2)所示。

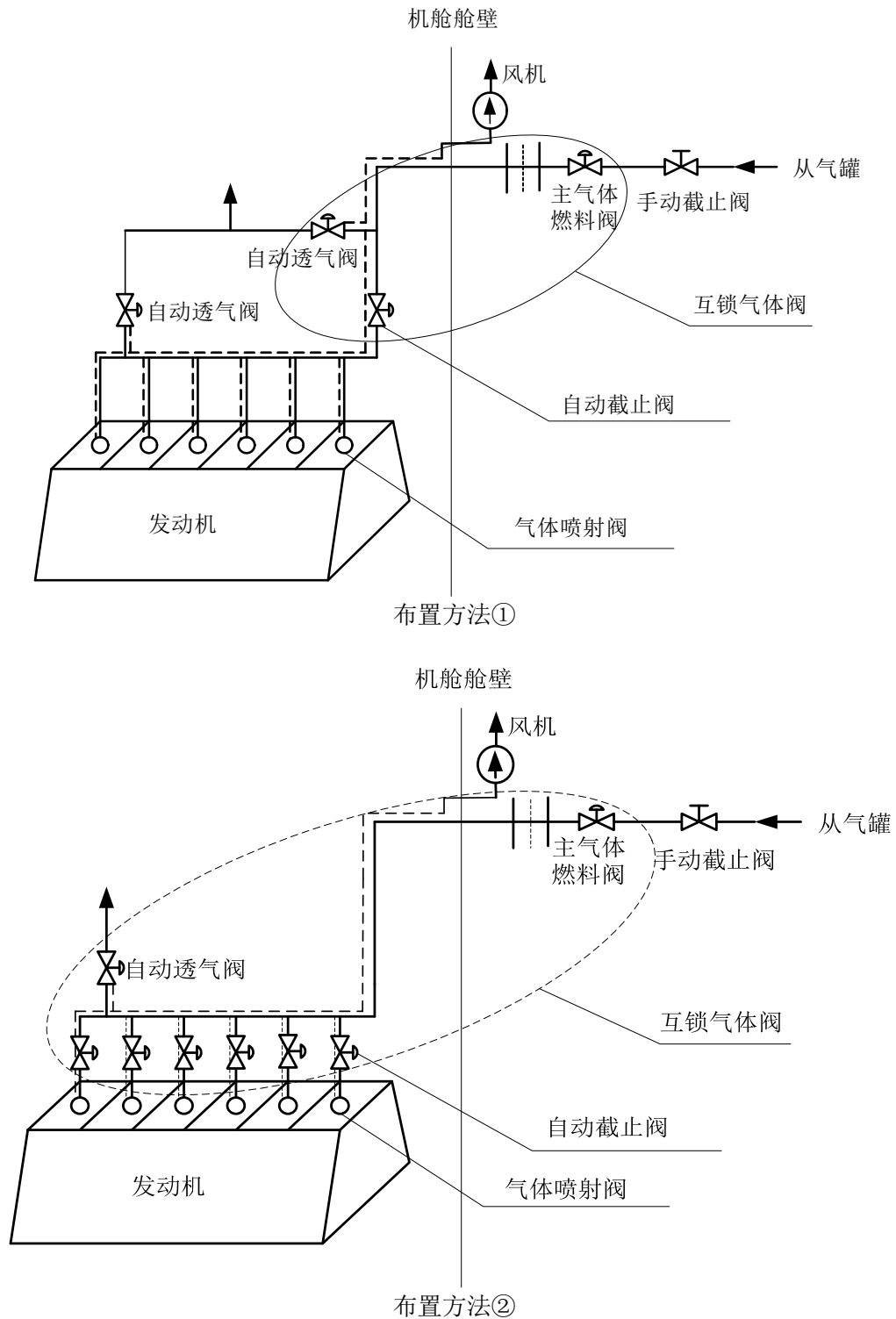
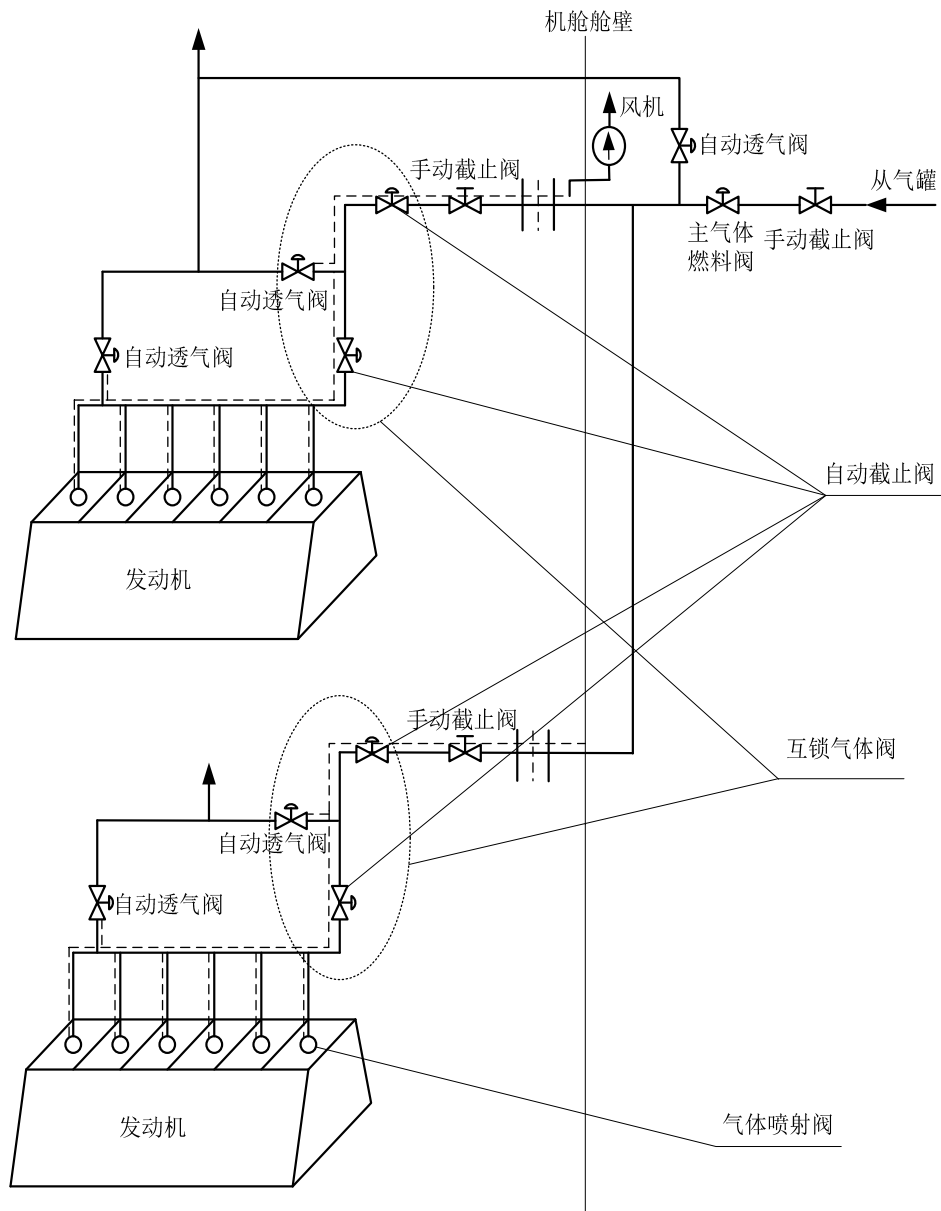
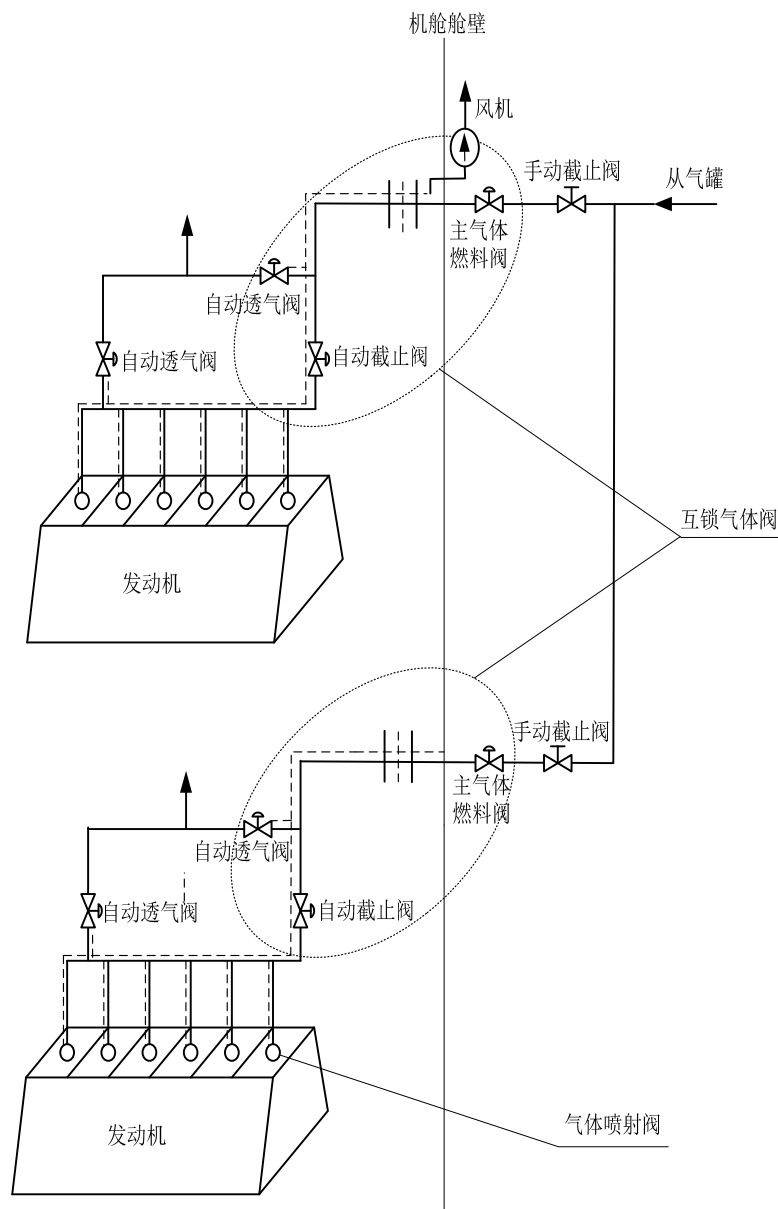


图 4.2.1.6 (1) 单台发动机系统的供气阀布置方法示例



布置方法①



布置方法②

图 4.2.1.6 (2) 多台发动机装置系统的供气阀布置方法示例

第3节 机器处所内的供气系统

4.3.1 本质安全机器处所的供气系统

4.3.1.1 本质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安装独立的机械式抽风机，并满足本规范第7章第6节的要求。

4.3.1.2 供气管路与气体喷射阀的连接应设置双壁管，其布置应能使得方便地对气体喷射阀和气缸盖进行更换和/或检查。发动机本体上的供气管路同样应采用双壁管，直至气体进入气缸。如果气体在低压状态下通过发动机空气进气总管/进气支管进入气缸，且在发动机上方设有至少1个气体探测器，则对发动机空气进气总管/进气支管可免除双壁管的要求。

4.3.1.3 同心管外管的设计压力应不低于内管中气体的最大工作压力。

4.3.1.4 对于高压供气管路，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， $k=C_p/C_v$ ，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。所有其他零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。

对于低压供气管路，通风导管的设计压力应不低于供气管路的最大工作压力，也可通过压力试验验证其可以承受供气管路破裂时通风导管内可能达到的最大累积压力。

4.3.1.5 对于高压供气管路，应设有快速探测机器处所内供气管路破裂的措施，一旦探测到供气管路破裂，应自动切断供气管路上的主气体燃料阀或位于机舱外的专用于供气管路破裂情况下的截止阀。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。

4.3.2 ESD 防护式机器处所的供气系统

4.3.2.1 进入每个ESD防护式机器处所的每条供气管路，应设置快速探测供气管路破裂的措施（可参照本章4.3.1.5的要求）。

4.3.3 增强安全型机器处所的供气系统

4.3.3.1 进入每个增强安全型机器处所的每条供气管路，应设置快速探测供气管路破裂的措施（可参照本章4.3.1.5的要求）。

第4节 机器处所外的供气系统

4.4.1 一般要求

4.4.1.1 供气管路不应穿过起居处所、服务处所或控制站。

4.4.1.2 若供气管路必须穿过除本章4.4.1.1所述之外的围蔽处所时，其应采用双壁管，并应满足本章4.3.1.1、4.3.1.3和4.3.1.4的要求。

4.4.1.3 布置在露天位置的供气管路应避免使其遭受意外的机械损坏。

4.4.1.4 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。

4.4.2 气体燃料加热

4.4.2.1 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听觉、视觉报警，且自动关闭LNG输送泵（如设有）并切断气罐主阀。

4.4.2.2 加热回路膨胀柜的透气口应引至露天区域。

第5章 气体燃料储存

第1节 一般规定

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 LNG燃料的储存可采用薄膜型气罐和独立气罐，CNG燃料的储存应采用压力容器。

5.1.1.2 除本章另有要求外，薄膜型气罐、A型独立气罐、B型独立气罐应分别满足本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》中对薄膜型液货舱、A型独立液货舱、B型独立液货舱的相关要求。C型独立气罐应按本规范附录1的要求进行设计、制造和试验。

5.1.1.3 固定式LNG气罐的设计寿命应不少于20年。

5.1.1.4 可移式LNG气罐的设计寿命应不少于20年。

5.1.1.5 燃料围护系统的设计应避免气罐或其连接附件的泄漏造成下列风险：

- (1) 船舶材料遭受不可接受的低温；
- (2) 可燃燃料泄漏至含有着火源的区域；
- (3) 燃料和惰性气体引发的潜在毒性和缺氧风险；
- (4) 通往集合点、脱险通道和救生设备的通道受限；
- (5) 救生设备有效性降低。

5.1.1.6 燃料围护系统的设计和布置应确保在任何气体泄漏情况下，可用的推进动力和发电量足以维持船舶操纵性并为基本的服务供电。

5.1.1.7 当使用可移式气罐储存燃料时，燃料围护系统的设计应等效于固定式气罐。

5.1.1.8 气罐应有标明其型号、设计温度、设计压力、试验压力、绝热形式（适用时）、有效容积的铭牌。

5.1.1.9 气罐基座应设置在甲板强横梁或甲板纵桁上方。基座腹板两端应做削斜过渡处理。

5.1.1.10 气罐基座面板宽度和长度应分别不小于气罐鞍座面板的宽度和长度，厚度不小于气罐鞍座面板的厚度且不小于所在区域甲板的厚度。气罐基座腹板的高度不小于面板宽度的0.5倍且不小于150mm，厚度不小于面板厚度的0.85倍。

5.1.1.11 气罐基座应在面板下方，沿腹板两侧对称设置与腹板垂直的肘板加强。肘板的厚度不小于0.85倍腹板厚度，肘板间距不应大于1个肋距。肘板应与气罐基座的面板和腹板以及甲板焊接。

5.1.1.12 气罐基座区域甲板的敷设宽度应不小于2个肋距、长度不小于1.5倍鞍座长度、厚度不小于鞍座腹板厚度的复板加强。

第2节 LNG 燃料围护系统

5.2.1 气罐

5.2.1.1 LNG气罐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。

5.2.1.2 气罐的最大允许工作压力（MAWP）应不大于MARVS的90%。

5.2.1.3 应有效控制燃料气罐内的压力和温度，以符合燃料围护系统的设计限制和燃料储运的可能要求。

5.2.1.4 气罐内应安装多孔管及喷嘴，用于LNG喷淋预冷。

5.2.1.5 C型气罐和与之相连接的第一个截止阀之间的管路应与气罐作为一个整体进行设计、制

造和试验。

5.2.1.6 气罐及其管路应能实施吹扫和惰化。

5.2.1.7 应通过本社接受的方式，气罐在正常工作压力和额定充装率，且主推进的气体燃料供应停止状态下，使得将其内部压力维持在压力释放阀调定压力之下，并至少持续15天。本社接受的方式包括：

- (1) 气罐绝热；或
- (2) 蒸气再液化；或
- (3) 设置BOG储存罐；或
- (4) 气体燃料冷却；或
- (5) 设置气体燃料燃烧装置。

上述方式可单独或组合使用。

5.2.2 支撑

5.2.2.1 气罐应由船体予以支撑，在受到本规范附录1第2节所定义的静、动态载荷时，其支撑方式应能防止气罐的整体移动。气罐在温度变化和船体变形时的收缩或膨胀不应使气罐和船体出现过大的应力。

5.2.2.2 A型、B型、C型独立气罐应设有止浮装置，该装置应能承受本规范附录1中2.13所定义的载荷而不会产生可能危及船体结构的塑性变形。

5.2.2.3 支撑构件及其布置应能承受本规范附录1中2.4、2.10、2.11、2.12、2.13所定义的适用载荷，这些载荷不必相互组合或与波浪载荷进行组合。

5.2.2.4 当气罐外壳采用耐低温材料建造时，气罐鞍座也应采用耐低温材料建造，且鞍座与船体基座的连接面应采取有效的绝热措施。

5.2.3 绝热

5.2.3.1 燃料围护系统应设置有效绝热，以防止邻近船体结构遭受不可接受的低温。

5.2.4 压力释放系统

5.2.4.1 所有的气罐都应设置适当的压力释放系统，其排量应满足本规范附录1中3.10的要求。

5.2.4.2 当气罐可能承受大于其设计压力的外压时，应设置真空保护系统。

5.2.4.3 对于双层真空绝热气罐，外壳上应设置防爆装置，防爆装置应位于气罐连接处所（如设有）内。

5.2.4.4 LNG气罐应至少设置两个完全独立的压力释放阀。

5.2.4.5 压力释放阀最大允许调定值（MARVS）应不高于气罐设计时所采用的最大蒸气压力。对于调定压力为0~0.15MPa者，开启压力的允许偏差应不超过±10%；对于调定压力为0.15~0.3MPa者，开启压力的允许偏差应不超过±6%；对于调定压力为0.3MPa及以上者，开启压力偏差应不超过±3%。

5.2.4.6 压力释放阀应满足下列温度要求：

(1) 设计温度低于0℃的压力释放阀在设计和布置时应防止因结冰而导致其失效；

(2) 阀体应由熔点高于925℃的材料制成。当压力释放阀有耐火防护时，内部结构和密封可使用低熔点材料；

5.2.4.7 应设有当气罐的一个压力释放阀失效时能够紧急隔离该阀的安全措施，隔离的程序应设计成只对一个压力释放阀进行隔离，为此，可设计适当的互锁。

5.2.4.8 气罐上的每个压力释放阀应与透气总管相连，且应满足下列要求：

(1) 其构造应能使气体排放不受阻碍且垂直引向上方出口；

(2) 其布置应尽可能防止水或雪进入透气系统；

(3) 对于海船：透气管出口高度应高出露天甲板不小于 $B/3$ （ B 为船宽，m）或6m，取其大者，并应高出工作区域和步道以上6m。对于内河船舶，如布置困难，透气管出口高出露天甲板的距离可降低至3m。

(4) 对于海船：透气管出口与下列位置的距离应至少为10m：

① 通向起居处所、服务处所和控制站及其他气体安全处所最近的空气进口、空气出口或开口；
和

② 机器或炉装置最近的废气出口。

对于内河船舶，如布置困难，上述距离可由10m降至5m。

5.2.4.9 压力释放阀和管路的布置，应确保在任何情况下不会使液体积聚在压力释放阀内或其附近。

5.2.4.10 透气总管出口应设置方形网孔不大于13mm的防护网。

5.2.4.11 透气管路的设计和布置应考虑温度变化、气流产生的力和船体的运动等因素。

5.2.4.12 气罐压力释放阀的位置，应使得在本规范第6章第4节所述的充装极限下，当船舶处于横倾 15° 和纵倾 5° 的情况下，压力释放阀的位置仍处于气相空间内。

第3节 CNG 燃料围护系统

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 CNG气罐的支撑应符合本章5.2.2.1和5.2.2.3的规定。

5.3.1.2 CNG气罐压力释放阀的最大允许调定值（MARVS）应不高于气罐的设计压力，压力释放阀的出口设置应满足本章5.2.4.8的要求。

5.3.1.3 当有影响气罐的火灾发生时，应有措施使气罐降压。

第4节 可移式气罐

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 可移式气罐应有效固定在甲板上。

5.4.1.2 放置可移式LNG气罐的区域应进行必要的溢流保护，放置可移式CNG气罐的区域应进行必要的低温防护。

5.4.1.3 应对可移式气罐进行有效防护，以防止机械损伤。

5.4.1.4 可移式气罐放置于开敞甲板时，应设置水雾系统；放置于围蔽处所时，应设置气罐连接处所。

5.4.1.5 可移式气罐与船舶系统间的连接应进行特别考虑，包括气罐阀件的关闭系统和压力释放阀的透气出口。

5.4.1.6 任何情况下，除压力释放系统外，每一气罐应能与燃料管系之间有效隔断，且不会对其他气罐的有效性造成影响。

5.4.1.7 可移式气罐的充装极限应满足本规范第6章第4节的相关要求。

5.4.1.8 可移式燃料气罐的监测和控制系统应集成于船舶的气体监测和控制系统。

第5节 开敞甲板上的储存

5.5.1 一般要求

5.5.1.1 LNG和CNG气罐均可布置在开敞甲板上，但应远离货物区域。

5.5.1.2 气罐及其附件的布置应满足以下要求：

(1)对于海船，气罐及其附件应布置在距离舷侧不少于 $B/5$ （ B 为船宽，m）的位置。对于除多体船以外的船舶，气罐及其附件距离舷侧可少于 $B/5$ 。任何情况下，气罐及其附件与舷侧距离不应少于0.8m；

(2)对于内河船舶，气罐及其附件应布置在距离舷侧不少于 $B/10$ （ B 为船宽，m）的位置。对于除多体船以外的船舶，气罐位置距离舷侧可少于 $B/10$ 。任何情况下，气罐及其附件与舷侧距离不应少于0.8m。

5.5.1.3 气罐及其附件的布置应确保足够的自然通风，以防止逸出的气体积聚。

5.5.1.4 气罐应进行有效防护，以防止机械损伤。

5.5.1.5 对于双层真空绝热型气罐，外壳应使用耐低温材料，其设计温度至少应与内壳相同，防止LNG泄漏对气罐外壳可能造成的破坏。

5.5.1.6 对于双层真空绝热型气罐，当内壳上所有开口均高于气罐的最高可能液位时，外壳可不必满足本章5.5.1.5的要求。

5.5.1.7 对于存在LNG泄漏风险的位置，应在其下方设置集液盘。集液盘应采用耐低温材料制成，其所在位置应进行有效的隔热，以保证LNG泄漏时，船体或甲板结构不会遭受过冷。

5.5.1.8 可用气罐连接处所替代集液盘。

5.5.1.9 如气罐布置在船体尾部甲板上，应采取适当的保护措施，以防止船舶追尾对气罐造成损坏。

第6节 围蔽处所内的储存

5.6.1 一般要求

5.6.1.1 当燃料围护系统位于围蔽处所时，除非能够排除燃料围护系统泄漏的可能，否则气罐处所与邻接处所间应为气密。

5.6.1.2 气罐所在处所的舱壁材料应与气罐有相同的设计温度，且该处所应能承受燃料泄漏时的最大累积压力，或者可以设置通向一个安全位置（如透气桅）的压力释放装置。该处所应能容纳可能泄漏的燃料，并进行隔热以保证燃料泄漏时周围船体不会遭受不可接受的低温。

5.6.1.3 对于双层真空绝热型气罐，当气罐的外壳为耐低温材料（设计温度至少与内壳相同），并设置符合本规范第2章2.2.1.2所要求的气罐连接处所时，气罐所在处所不必满足本章5.6.1.2的要求。

5.6.1.4 CNG气罐一般不应储存在围蔽处所内，但符合本规范第2章2.2.1.2及下列要求时，可储存在围蔽处所内：

(1)当发生火灾会影响到气罐时，有足够的设施对气罐进行减压；和

(2)除非气罐处所和气罐连接处所的舱壁设计成能够承受气体燃料泄漏时会达到的最低温度，否则对气罐处所和气罐连接处所内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用适当的隔热保护措施；和

(3)气罐处所和气罐连接处所内应安装固定式灭火系统。

5.6.1.5 气罐位置应尽可能靠近船体中线，同时还应满足以下要求：

(1) 对于海船:

① 气罐及其附件距离舷侧不少于 $B/5$ (B 为船宽, m) 或11.5m, 取小者 (在夏季载重水线平面上, 从舷侧沿垂直于船体中心线方向量取); 对于除多体船以外的船舶, 气罐及其附件距离舷侧可少于 $B/5$ 。

② 气罐及其附件距离船底不少于 $B/15$ (B 为船宽, m) 或2m, 取小者 (在中心线的船底外板型线量起);

③ 在任何位置, 气罐及其附件距离船体外板不少于0.8m。

(2) 对于内河船舶:

① 气罐及其附件距离舷侧不少于 $B/10$ (B 为船宽, m) 或1.0m, 取小者 (在满载水线平面上, 自舷侧向舷内垂直于纵中剖面量取);

② 气罐及其附件距离船底不少于 $B/15$ (B 为船宽, m) 或0.8m, 取小者 (在中心线的船底外板型线量起);

③ 在任何位置, 气罐及其附件距离船体外板不少于0.8m。

第7节 半围蔽处所内的储存

5.7.1 一般要求

5.7.1.1 气罐及其附件的布置应满足以下要求:

(1) 对于海船, 气罐及其附件应布置在距离舷侧不少于 $B/5$ (B 为船宽, m) 的位置。对于除多体船以外的船舶, 气罐及其附件距离舷侧可少于 $B/5$ 。任何情况下, 气罐及其附件与舷侧距离不应少于0.8m;

(2) 对于内河船舶, 气罐及其附件应布置在距离舷侧不少于 $B/10$ (B 为船宽, m) 的位置。对于除多体船以外的船舶, 气罐位置距离舷侧可少于 $B/10$ 。任何情况下, 气罐及其附件与舷侧距离不应少于0.8m。

5.7.1.2 布置在半围蔽处所的气罐应进行有效防护, 以防止机械损伤。

5.7.1.3 对于双层真空绝热型气罐, 外壳应使用耐低温材料, 其设计温度至少应与内壳相同, 防止LNG泄漏对气罐外壳可能造成的破坏。

5.7.1.4 对于双层真空绝热型气罐, 当内壳上所有开口均高于气罐的最高可能液位时, 外壳可不必满足本章5.7.1.3的要求。

5.7.1.5 对半围蔽处所内的气罐, 一般应设置气罐连接处所, 并满足气罐连接处所的相应要求。

5.7.1.6 如果未设置气罐连接处所, 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10章对气罐连接处所的监控要求。对于存在LNG泄漏风险的位置, 其下方应设有耐低温集液盘。

第6章 气体燃料充装

第1节 一般规定

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 船舶应至少配备两台便携式甚高频无线电话，用于充装作业时与加注方之间的通讯。甚高频无线电话的防爆等级应与其所使用的环境相适应。

第2节 充装站

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 在LNG充装接头和任何可能泄漏的位置的下方应安装集液盘，集液盘应由耐低温制成，并应通过一根向下并靠近水面的排放管排出舷外；该管可在充装操作时临时设置。

6.2.1.2 对于LNG充装，应设有防止在充装过程中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；对于CNG充装，应采取低温钢材防护措施，以防止逸出的气体喷射到周围的船体结构。

6.2.1.3 在充装操作时，应能从安全位置对其进行控制。在此位置，应能对气罐压力、温度和液位进行监测，且应能进行高液位报警和自动切断。

第3节 充装系统

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 燃料充装系统的布置应使充装时不会有气体燃料排放至空气中。

6.3.1.2 充装总管应设有过滤装置和LNG回气管路接头。回气管路主要用于蒸发气体返回充装站和可能的转移装置，该转移装置用来平衡气罐压力。

6.3.1.3 充装总管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。

6.3.1.4 每一充装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。应能在燃料充装作业的控制位置和/或其他安全位置操作遥控阀。

6.3.1.5 如充装管路穿过围蔽处所，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。充装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，则应在充装控制位置发出视觉和听觉报警。

6.3.1.6 应设有充装结束后将液体或气体燃料从充装管路中排出的措施。

6.3.1.7 应设有对充装管路进行除气和惰性气体吹扫的措施。

6.3.1.8 起居处所、服务处所、机器处所和控制站的入口、空气进口及其他开口不应面向充装接头所在位置。

6.3.1.9 充装过程中，相应的上层建筑或甲板室两侧的所有门、窗及其他开口和空气进口均应保持关闭状态。

第4节 充装极限

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 对C型气罐，LNG气罐的额定充满率应不大于90%。对其他型式的气罐，其充装极限应满足本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的相关要求。

6.4.1.2 CNG气罐的充装压力应满足气罐制造厂的要求。

第5节 LNG 标准充装接头

6.5.1 一般要求

6.5.1.1 天然气燃料动力船舶应配有LNG标准充装接头，以与LNG加注设施的加注法兰连接。

6.5.1.2 在不进行充装时，LNG标准充装接头应采用盲板法兰进行盲断，该法兰应具有和管路相同的设计压力。

6.5.2 型式与尺寸

6.5.2.1 LNG标准充装接头法兰密封面型式应为突面，法兰的连接尺寸见图6.5.2.1 (1)，密封面的尺寸见图6.5.2.1 (2)，LNG标准充装接头的尺寸应满足表6.5.2.1 的要求。

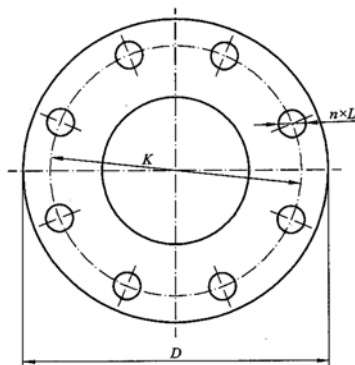


图 6.5.2.1(1) 法兰的连接尺寸

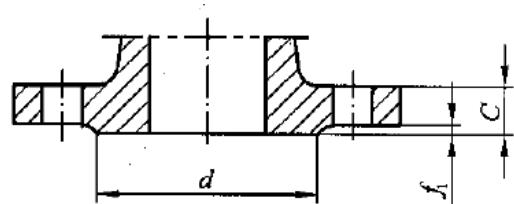


图 6.5.2.1(2) 密封面的尺寸

LNG 标准充装接头的尺寸

表 6.5.2.1

项 目	外径 D	内径	突面直径 d	螺栓圈直 径 K	突面厚 度 f_1	法兰厚 度 C	螺栓和螺帽：数 量 n 和直径 L
尺寸 (mm)	210	100	148	170	2	20	8 个， $\phi 18\text{mm}$
注：法兰、螺栓螺母以及紧固件应设计为以不锈钢或其他同等材料制成，应能承受设计温度和设计压力。密封圈材料应能承受设计温度和设计压力，且能绝缘。							

第6节 惰性气体管路

6.6.1 一般要求

6.6.1.1 为防止可燃气体通过惰性气体管路回流至任何气体安全区域/处所，惰性气体供应管路上应设置互锁阀，在互锁阀与气体燃料系统之间还应设置1只可关闭止回阀。当惰性气体管路与气体燃料管路非固定连接时，可用2只止回阀替代互锁阀和可关闭止回阀。

6.6.1.2 惰性气体管路仅能穿过通风良好的处所，围蔽处所内的惰性气体管路应：

- (1) 全焊透；
- (2) 只具有仅为装设阀件所必需的，最小数量的法兰接头；
- (3) 尽量短。

第7章 机械通风

第1节 一般规定

7.1.1 一般要求

7.1.1.1 任何用于危险处所的通风管道应与用于气体安全处所的通风管道分开，船舶营运的所有环境条件下都应能进行通风。除非电动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。

7.1.1.2 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，应考虑增加通风能力。

7.1.1.3 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。

7.1.1.4 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。

7.1.1.5 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。

7.1.1.6 危险处所使用的风机风扇和通风管(仅指风扇处)应为按如下规定的非火花结构：

(1) 非金属结构的叶轮或机壳，对消除静电应予以适当注意；

(2) 有色金属材料的叶轮和机壳；

(3) 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；

(4) 铁质（包括奥氏体不锈钢）叶轮和机壳，其设计的叶梢间隙不小于13mm。

7.1.1.7 危险处所使用的风机，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。间隙无需大于13mm。

7.1.1.8 对于铝合金或镁合金的固定或旋转部件与铁质的固定或旋转部件的任何组合，不论其叶梢间隙多大，均认为有产生火花危险，故不能用于气体危险处所。

7.1.1.9 危险处所使用的风机，均应配有备件。

7.1.1.10 风机的外壳应接地。

7.1.1.11 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。

7.1.1.12 当通风系统失效时，在有人值班的位置必须有相应的听觉和视觉报警。

7.1.1.13 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，除另有规定外，每个风机都应具有足够的通风能力。

7.1.1.14 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。

7.1.1.15 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，应为安全区域。

7.1.1.16 危险处所的空气出口应位于露天区域，露天区域在没有设置该空气出口时，其危险性应等同于或小于该危险围蔽处所。

7.1.1.17 气体安全处所的空气进口应设置在安全区域，其距离任一危险区域的边界至少1.5m。进气管贯穿一个更危险的处所时，其应具有高于所贯穿处所的压力，除非进气管道的机械完整性和气密性可确保气体不会渗入其内。

7.1.1.18 气体安全处所的空气出口应布置在危险区域外。

第2节 气罐连接处所

7.2.1 一般要求

7.2.1.1 气罐连接处所应安装有效的抽吸式机械通风系统，应具有每小时换气至少30次的通风能力。当发动机处于燃气模式时，通风系统应持续运转。

7.2.1.2 风机的数量和功率应满足：无论风机电动机由主配电板或应急配电板设独立线路供电还是由主配电板或应急配电板设公用线路供电，当其中的一组风机失效时，其能力降低不应超过50%。

7.2.1.3 气罐连接处所的风道内应设有经认可的故障安全型自动防火风闸。

第3节 机器处所

7.3.1 本质安全型机器处所

7.3.1.1 机器处所内供气管路双壁管的通风系统应满足本章第6节对通风系统的要求。

7.3.1.2 机器处所内的供气管路双壁管和气体阀件单元处所的通风系统应独立于其他通风系统。

7.3.2 ESD 防护式机器处所

7.3.2.1 通风系统应独立于其他通风系统。

7.3.2.2 机器处所应安装有效的抽吸式机械通风系统，应具有每小时换气至少30次的通风能力。如在探测到可燃气体时换气量能自动增加至每小时30次，则可接受在正常操作下该处所的通风能力为每小时换气至少15次。当发动机处于燃气模式时，通风系统应持续运转。

7.3.2.3 风机的数量和功率应满足：无论风机电动机由主配电板或应急配电板设独立线路供电还是由主配电板或应急配电板设公用线路供电，当其中的一组风机失效时，其能力降低不应超过50%。

7.3.3 增强安全型机器处所

7.3.3.1 通风系统应独立于其他通风系统。

7.3.3.2 机器处所应安装有效的抽吸式机械通风系统，应具有每小时换气至少30次的通风能力。

7.3.3.3 风机的数量和功率应满足：无论风机电动机由主配电板或应急配电板设独立线路供电还是由主配电板或应急配电板设公用线路供电，当其中的一组风机失效时，其他组风机仍能满足机器处所规定通风能力的要求。

7.3.3.4 通风系统应与发动机实现燃气模式运行联锁，即当通风机开启至少10min以后，发动机才能采用燃气模式运行，当风机因故关停时，发动机应能自动转换为燃油模式。

第4节 气体阀件单元处所

7.4.1 一般要求

7.4.1.1 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5节 泵舱和压缩机舱

7.5.1 一般要求

7.5.1.1 泵舱和压缩机舱应安装有效的抽吸式机械通风系统，应具有每小时换气至少30次的通风能力。

7.5.1.2 风机的数量和功率应满足：无论风机电动机由主配电板或应急配电板设独立线路供电还是由主配电板或应急配电板设公用线路供电，当其中的一组风机失效时，其能力降低不应超过50%。

7.5.1.3 通风系统运行10min后泵和压缩机方可启动；当泵或压缩机工作时，泵舱和压缩机舱的通风系统应持续运转。

7.5.1.4 如该处所的危险等级依赖于机械通风时，应满足：

(1) 初次启动时和通风停止后，在连接仅适用于通风环境下的电气设备前，应对处所进行扫气，扫气量应至少为5次换气；

(2) 对机械通风的运行情况进行监测；

(3) 一旦通风失效，应：

① 在有人值班的位置发出声光报警；

② 立即采取措施，恢复通风；

③ 如果通风不能立即恢复，则应从危险区域外切断电气设备（适用于0区的本安型电气设备除外），并设有防止误连接保护装置，如带锁开关等。

第6节 双壁管

7.6.1 一般要求

7.6.1.1 双壁管内的通风系统应为抽吸式机械通风系统，应具有每小时换气至少30次的通风能力。若探测到双壁管内发生气体泄漏时，内外管之间自动充灌氮气，则通风能力可减至每小时换气10次。当发动机处于燃气模式时，通风系统应持续运转。

7.6.1.2 风机的数量和功率应满足：无论风机电动机由主配电板或应急配电板设独立线路供电还是由主配电板或应急配电板设公用线路供电，当其中的一组风机失效时，其能力降低不应超过50%。

第7节 惰性气体装置舱室

7.7.1 一般要求

7.7.1.1 如在机舱外设有独立的惰性气体发生器舱室或惰性气体储存设备舱室，则此类独立舱室应设有独立的抽吸式机械通风系统，应具有每小时换气至少6次的通风能力。

第8章 消防

第1节 一般规定

8.1.1 一般要求

8.1.1.1 本章提及的A类机器处所，对内河船舶而言，指设有主机、辅机、锅炉、燃油装置等设备的机器处所。

8.1.1.2 就防火而言，气体压缩机室和气泵室（如设有）应视为A类机器处所，满足相应的防火要求。

8.1.1.3 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。

第2节 耐火结构

8.2.1 气罐

8.2.1.1 气罐位于开敞甲板时，面向气罐的起居处所、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。

8.2.1.2 围蔽/半围蔽处所内的气罐

(1) 当气罐处所、气罐连接处所与A类机器处所及其他具有较大失火危险的处所之间采用隔离舱进行隔离时，则应在靠近A类机器处所及其他较大失火危险处所的一侧采用“A-60”级防火分隔。对于真空绝热C型气罐，当未设置隔离舱时，气罐连接处所及其通风管道、气罐处所与A类机器处所及其他具有较大失火危险的处所之间应采用“A-60”级防火分隔。

(2) 气罐连接处所及其通风管道、气罐处所与本章8.2.1.2（1）中所述处所以外的其他处所相邻时，应采用“A-60”级防火分隔。但与空舱、卫生间及类似处所相邻时，其防火分隔可降至“A-0”级。

8.2.2 充装站

8.2.2.1 围蔽/半围蔽的充装站与其他相邻处所之间的限界面应采用“A-60”级防火分隔，但与空舱、卫生间及类似处所相邻时，其防火分隔可降至“A-0”级。

8.2.2.2 位于开敞甲板的充装接头

(1) 面向充装接头的起居处所、服务处所、货物处所、机器处所和控制站，沿充装接头左右方向至少10m距离内的限界面应采用“A-60”级防火分隔，该范围内舱壁的隔热沿高度应延伸至驾驶室甲板底面，或舱壁实际高度。

(2) 当沿充装接头左右方向的舱壁实际长度不足10m时，“A-60”级防火分隔可以舱壁实际长度为限。

(3) 当充装接头与上述处所舱壁的垂向间距大于10m时，其防火分隔可降至“A-0”级。

(4) 当不同朝向的舱壁均面向充装接头时，以上要求仍然适用。

(5) 当充装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。

8.2.3 发动机机器处所

8.2.3.1 当布置为多个含有发动机的机器处所，且处所间采用单舱壁进行分隔时，该舱壁应采用“A-60”级防火分隔。

第3节 灭火

8.3.1 水灭火系统

8.3.1.1 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。

8.3.1.2 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8.3.2所述的水雾系统，则水雾系统可以是消防总管的一部分。

8.3.1.3 气罐布置在开敞甲板时，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。

8.3.1.4 所有的消防水枪应为带开关的两用型（水柱/水雾型）。

8.3.2 水雾系统

8.3.2.1 应安装水雾系统用于冷却、防火以及船员防护，水雾系统除应覆盖位于甲板上方的气罐的暴露部分外，还应覆盖面向该气罐的上层建筑和其他甲板室的限界面，但当这些限界面与气罐的距离大于或等于5m时，可不必覆盖。

8.3.2.2 水雾系统应设计成可覆盖上述所有区域，其喷水率对水平防护表面为 $10 \text{ L/min} \cdot \text{m}^2$ ，对垂直防护表面为 $4 \text{ L/min} \cdot \text{m}^2$ 。

8.3.2.3 为了隔离破损区域，水雾总管上应每隔一段合适的距离安装一个截止阀，或者将该系统分为两个或多个区域，并将控制阀设在安全且易到达的位置，该位置不会因火灾而切断。

8.3.2.4 水雾系统供给泵的排量应足以能将所要求的水量输送到所有被保护的区域。

8.3.2.5 管路连接到船舶消防总管前应设置截止阀。

8.3.2.6 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，该位置不会因被保护区域内发生火灾而被阻断。

8.3.2.7 应配备认可型的水雾喷嘴，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。

8.3.3 干粉灭火系统及灭火器

8.3.3.1 气罐位于开敞甲板时，在气罐附近应至少设置2具容量不少于5 kg的手提式干粉灭火器。

8.3.3.2 LNG气罐位于围蔽或半围蔽处所内时，在气罐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。

8.3.3.3 充装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 3.5 kg/s 的速率释放45s。系统的布置应使其能从安全位置手动释放。

对两舷均设有充装站的船舶，固定式干粉灭火系统或大型推车式干粉灭火设备应能覆盖左右两舷的充装站。

8.3.3.4 充装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。

8.3.3.5 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 在气罐处所、设有气体燃料发动机的机器处所及气体压缩机室和气泵室应安装认可型的固定式自动探火和失火报警系统。

8.4.1.2 固定式自动探火和失火报警系统中不应仅设置烟雾探测器。

8.4.1.3 当不具备识别单个探测器的功能时，每个探测器应设置成单个的环路。

8.4.2 报警和安全措施

8.4.2.1 以上处所探测到火灾后，应采取本规范第10章 表10.4.1.1 (2)中所列出的安全措施，且应自动停止通风并关闭挡火闸。

第9章 电气系统

第1节 危险区域划分及危险区域内的电气设备

9.1.1 危险区域划分

9.1.1.1 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。本章未作定义的开敞甲板和其他处所的气体危险区域应按本社接受的标准^③确定。

9.1.1.2 0区包括：气罐的内部、用于气罐压力释放或其他透气系统的任何管路的内部、内含气体燃料的管路和设备的内部。

9.1.1.3 1区包括：

(1) 气罐连接处所；

(2) 气体燃料压缩机室、气泵室；

(3) 距离气罐连接处所出口、气体或蒸气出口、主气体燃料阀、其他气体阀、气体管法兰、1区通风出口、因温度变化产生的少量气体或蒸气混合物的气罐压力释放口等3m以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所；

(4) 距离气体燃料压缩机室和气泵室入口、气体燃料泵和压缩机舱通风进口以及通向1区的其他开口1.5m以内的开敞甲板上的区域或半围蔽处所；

(5) 开敞甲板上的包括气体燃料充装总管阀的防溢挡板以内及挡板向外延伸3m、并不高于甲板以上2.4m的处所；

(6) 气体燃料管路所在的围蔽或半围蔽处所，例如气体燃料管路周围的管道、半围蔽的充装站；

(7) 在正常操作情况下ESD防护式机器处所视为气体安全处所，但当出现气体泄漏时，该处所变为1区。

9.1.1.4 2区包括：1区外1.5m范围内所包含的开敞区域或半围蔽处所、气闸内部区域，布置在开敞区域的单层气罐外表面2.4m范围的区域。

9.1.1.5 开敞甲板上具有开口通向邻近危险区域的处所，可通过采取过压措施使之成为较低等级的危险区域或安全区域。

9.1.1.6 通风管道的危险等级应与通风处所相同。

9.1.2 危险区域内电气设备和电缆

9.1.2.1 电气设备、电缆不应安装在危险处所内。由于操作需要不可避免时，则应根据本社可接受的标准^④选择合格防爆电气设备。防爆设备的防爆类别和温度组别应不低于II A，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：应考虑设备绝缘的完整性，塑料和轻金属制作的装置和元件的适宜性和设备（开关、插头

^③ 国际电工委员会颁布的标准，IEC60092-502。

^④ 国际电工委员会颁布的标准，IEC60079 或国家标准 GB3836《爆炸性气体环境用电气设备》。

插座、接线端子除外)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区的其他设备;

d) 潜入式燃料泵(电机至少有两种在低液位时自动停机的手段)。泵的构造和安装应能使其在不潜入或在空气中时不能带电工作。

(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”;

注:当保护气体和/或正压值低于规定值时,应满足IEC60079-2的要求,自动切断设备。

f) 增安型设备“e”;

注:3KV及以上的感应式电动机应设置附加保护(如启动前先净化),防止产生间隙火花。

g) 浇封型设备“m”;

h) 充沙型设备“q”;

i) 油浸型设备“o”,仅在需要并经过主管机关批准时使用;

j) 特别认可型设备“s”;

k) 电测深仪或计程仪传感器、外加阴极保护系统的阳极或电极,这些设备均应安装于气密的外壳内,气密性应经本社认可;

l) 路经电缆。

(3) 可用于2区的设备

a) 可在1区使用的设备;

b) 经特别测试证明适合2区的设备,如“n”型设备;

c) 正常操作不产生火花、电弧和热点的设备。

9.1.2.2 安装在ESD防护式机器处所内的电气设备应满足下列要求:

(1) 安装在1区的火灾探测及报警设备、碳氢化合物探测器探测及报警装置、照明装置和风机均应为合格防爆型。

(2) 如果在机器处所内探测到可燃气体浓度超过40%LEL时,该处所内所有不适用于1区的电气设备(包括气体燃料发动机)均应自动切断。

9.1.2.3 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2节 电控系统的供电

9.2.1 一般要求

9.2.1.1 气体燃料发动机电控系统 & 气体燃料控制系统均应由两路电源供电,其中,一路为主电源供电,一路为蓄电池电源供电。当主电源失效时,应能自动转换为蓄电池电源供电。蓄电池电源的供电时间应不低于本社相关规范要求应急电源供电的时间。当船舶仅以蓄电池作主电源时,气体燃料发动机电控系统 & 气体燃料控制系统应由两路主电源供电

第10章 控制、监测和安全系统

第1节 一般规定

10.1.1 一般要求

10.1.1.1 在燃料充装总管的截止阀和通岸接头之间、气泵或压缩机排放管路和燃料管路上均应安装就地显示的压力表。

10.1.1.2 气罐连接处所内的污水阱（如设有）应装有液位指示器和温度传感器；且应设置高液位报警装置。当监测到污水阱低温时应自动关闭气罐主阀。

第2节 监控

10.2.1 气罐

10.2.1.1 气罐应按照本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的相关要求进行液位监测和溢流控制。

10.2.1.2 每一气罐至少应设置就地显示的压力表、液位表，以及在驾驶室或控制室或有人值班的位置显示的压力表、液位表。压力表上应清晰标明气罐允许的最高压力和最低压力。此外，高压报警、低压报警（如适用）、高液位报警、低液位报警应安装在驾驶室或控制室或有人值班的位置。高压报警在达到压力释放阀调定压力之前警报应鸣响。

10.2.1.3 在充装控制位置应设有显示气罐内LNG燃料温度的仪表。

10.2.2 气体燃料压缩机

10.2.2.1 应在驾驶室和机舱设有针对气体燃料压缩机进气低压、排气低压、排气高压和运行故障的听觉和视觉报警。

10.2.3 热交换器

10.2.3.1 当发生本规范第4章4.4.2所述的故障时，应在驾驶室和机舱有人值班的位置发出听觉、视觉报警。

10.2.4 气体燃料发动机

10.2.4.1 除应满足本社相关规范对柴油机监控系统的要求外，还应在驾驶室、机舱集控室和操纵台为如下操作设置指示器：

- (1) 发动机工作状态（单一气体燃料发动机）；
- (2) 发动机工作状态和工作模式（双燃料发动机）。

第3节 气体探测

10.3.1 一般要求

10.3.1.1 增强安全型机器处所应符合本规范第3章3.1.4的相关要求，其余处所应符合下述要求：

- (1) 固定式可燃气体探测器应根据气体燃料系统的实际布置，按照本章表10.3.1.1所规定的处所

进行安装。各处所内探测器的数量应根据处所的尺寸、布置以及通风予以考虑，但应不少于本章表10.3.1.1规定的最低要求。如所使用的固定式可燃气体探测器具有自检功能，各单独处所内所安装的独立探测器最小数目可降为1套。

固定式可燃气体探测器的最小安装数量 表10.3.1.1

处 所	各单独处所内所安装的独立探测器最小数目(套)
围蔽/半围蔽充装站	2
气罐连接处所	2
双壁管(通风导管)的内外管之间	2
每一ESD防护式机舱	2
气体燃料压缩机室	2
气体阀件单元处所 ¹⁾	2
其他设有气体相关设备的围蔽处所	2

¹⁾ 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2m³时，气体阀件单元处所可视为通风导管的一部分。

(2) 除另有明确规定外，可燃气体浓度达到20%LEL时，应有听觉和视觉报警。对于机器处所内双壁管（通风导管）内外管之间气体浓度报警极限可设定在30%LEL，保护系统动作可设定在40%LEL。

- 10.3.1.2 探测装置应布置在气体可能积聚的地方或布置在通风出口处。
- 10.3.1.3 可燃气体探测装置的听觉和视觉警报应布置在驾驶室和机舱控制室。
- 10.3.1.4 可燃气体探测应连续进行。
- 10.3.1.5 应配置一套便携式可燃气体探测器供船员对舱室可燃气体的检查。
- 10.3.1.6 对于可能产生可燃气体泄漏和聚集的其他处所，也应安装可燃气体探测器。

第4节 气体燃料系统的安全功能

10.4.1 一般要求

10.4.1.1 当发生本章表10.4.1.1（1）和表10.4.1.1（2）中的有关故障时，应按规定采取相应的安全措施。对于本章表10.4.1.1（1）中的报警应布置在驾驶室和充装控制位置；对于表本章10.4.1.1（2）中的报警应布置在驾驶室和机舱有人值班的位置。

10.4.1.2 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10.4.1.1（2）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。

气体燃料充装系统的监控

表 10.4.1.1 (1)

参 数	报 警	充装总管上的遥控截止阀自动关闭	备注
围蔽或半围蔽充装站内探测到气体浓度高于20%LEL	×		
围蔽或半围蔽充装站内探测到气体浓度高于40%LEL	×	×	
充装管路双壁管（通风导管）通风失效	×		见6.3.1.5
充装管路双壁管（通风导管）内探测到气体浓度高于20%LEL	×		见6.3.1.5
充装管路双壁管（通风导管）内探测到气体浓度高于40%LEL	×	×	见6.3.1.5
气罐液位高	×	×	
气罐压力高	×	×	
充装总管上的手动截止阀关闭		×	
充装总管上的遥控截止阀失去驱动动力	×		

气体燃料供应系统的监控

表 10.4.1.1 (2)

参 数	报 警	气罐主阀自动关闭	主气体燃料阀和互锁气体阀自动关闭，自动透气阀开启	备注
气罐				
气罐压力高	×			
气罐压力低	×			如适用
气罐液位低	×			
气罐处所和气罐连接处所				
一个探测器探测到气罐连接处所内气体浓度高于20%LEL	×			
两个 ⁷⁾ 探测器探测到气罐连接处所内气体浓度高于40%LEL	×	×		
气罐处所内探测到火灾	×	×		
气罐连接处所内污水阱高液位	×			

气罐连接处所内污水阱低温	×	×		
热交换器				
热交换器气体燃料出口温度低	×	×		见4.4.2.1，同时应关闭LNG输送泵（如设有）
压缩机室				
一个探测器探测到压缩机室内气体浓度高于20%LEL	×			
两个 ⁷⁾ 探测器探测到压缩机室内气体浓度高于40%LEL	×	x ¹⁾		
位于气罐连接处所和机器处所之间的供气管路				
一个探测器探测到通风导管内气体浓度高于20%LEL	×			
两个 ⁷⁾ 探测器探测到通风导管内气体浓度高于40%LEL	×	x ¹⁾		
通风导管内通风失效 ⁵⁾	×	x ^{1) 3)}		
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 ⁷⁾ 探测器探测到气体阀件单元处所内气体浓度高于40%LEL	×		x ²⁾	
气体阀件单元处所内通风失效	×		x ^{2) 3)}	
气体燃料发动机机器处所一般要求				
探测到机器处所内失火	×		x ⁸⁾	
探测到机器处所内供气管路破裂	×		x ⁶⁾	见4.3.1.5、4.3.2.1和4.3.3.1
本质安全型机器处所				
一个探测器探测到机器处所内的双壁管（通风导管）内外管之间的气体浓度高于30%LEL	×			
两个 ⁷⁾ 探测器探测到位于机器处所内的双壁管（通风导管）的内外管之间的气体浓度高于40%LEL	×		x ²⁾	
机器处所内双壁管（通风导管）内外管之间的通风失效 ⁵⁾	×		x ^{2) 3)}	
机器处所内探测到气体浓度高于20%LEL	×			仅适用于4.3.1.2所述情况

机器处所内探测到气体浓度高于40%LEL	×		x ⁸⁾	仅适用于4.3.1.2所述情况
ESD防护式机器处所				
一个探测器探测到机器处所内气体浓度高于20%LEL	×			
两个 ⁷⁾ 探测器探测到机器处所内气体浓度高于40%LEL	×		×	同时应断开机舱内非防爆型电气设备。若使用双燃料,同时还应切断燃油供应。
机器处所内通风失效	×		×	
增强安全型机器处所				
一个探测器探测到机器处所内探测到气体浓度高于20%LEL	×		×	在切断气体燃料供应的同时,应自动转换为燃油模式。
机器处所内通风失效	×		×	在切断气体燃料供应的同时,应自动转换为燃油模式。
其他				
供气管路内压力异常	×		x ³⁾	
控制阀门的工作介质失效	×		x ⁴⁾	视需要可延迟
发动机自动停车(发动机故障)	×		x ⁴⁾	
发动机紧急停车	×		×	
<p>1) 如果气罐向多台发动机供气,并且不同的供应管路完全独立并安装在独立的导管内,每条管路上的导管外部均安装有主气体燃料阀,则仅通往探测有可燃气体存在的导管的供气管路上的主气体燃料阀关闭。</p> <p>2) 如果气体燃料供至一台以上发动机,不同供气管路完全隔离并安装在独立的管道内,同时主气体燃料阀设在管道外面,则仅关闭通向探测到可燃气体或通风失效的管道内的供气管路上的主气体燃料阀。</p> <p>3) 仅适用于双燃料发动机。</p> <p>4) 仅互锁气体阀关闭。</p> <p>5) 如果管道由惰性气体进行保护,则惰性气体失压将引起与表中所述相同的动作。</p> <p>6) 也可以是切断一个专用于供气管路破裂情况下的截止阀。</p> <p>7) 当探测器带有自检功能时,一个探测器探测到气体泄漏时应视同两个探测器探测到气体泄漏。</p> <p>8) 仅适用于ESD防护式机器处所或双燃料发动机。</p>				

第11章 气体燃料发动机

第1节 一般规定

11.1.1 一般要求

11.1.1.1 本章规定适用于主推进气体燃料发动机及驱动发电机或重要辅助设备的气体燃料发动机。

11.1.1.2 气体燃料发动机的设计、制造、安装和试验要求除应满足本社相关规范对柴油机的要求外，尚应满足本章和本规范第10章及附录2的有关规定，并应取得船用产品证书。

11.1.1.3 采用电子控制的气体燃料发动机，其电控系统应满足本规范附录3的有关规定。

11.1.1.4 气体燃料发动机天然气的进气方式包括：

- (1) 在增压器前与空气混合，通过进气总管进入气缸；或
- (2) 在增压器后与空气混合，通过进气总管进入气缸；或
- (3) 从进气支管或进气道与空气混合进入气缸；或
- (4) 直接喷入气缸。

11.1.1.5 气体燃料发动机应能使用甲烷值和低热值处于一定范围内的天然气，发动机制造厂应指明其适用的天然气甲烷值和低热值波动范围。

11.1.1.6 应对所有可能影响气体燃料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3节的要求。

11.1.2 安全保护

11.1.2.1 气体燃料发动机上所有含有或可能含有可燃气体混合物的部件、系统及子系统的设计均应：

(1) 避免在所有可能位置造成爆炸；或

(2) 允许不会产生有害影响的爆炸发生，但其燃烧产物应能释放到远离人员、设备或系统的安全位置，且爆炸不会影响发动机的正常工作，除非其他安全措施允许关闭受影响的发动机。

11.1.2.2 气体燃料发动机上供气管路的设计和布置应满足本规范第3章和第4章的有关要求。

11.1.2.3 气体燃料发动机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，则可装于起动空气总管上。

11.1.2.4 对于气体燃料在增压器之前与空气混合的发动机，如布置在本质安全型机舱内，则其空气进口应位于机舱外；如布置在ESD防护式机舱或增强安全型机舱内，则可接受其空气进口位于机舱内。

11.1.2.5 气体燃料发动机的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。

11.1.2.6 对于气体燃料通过进气总管进入气缸的发动机，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，则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。

11.1.2.7 气体燃料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：

(1) 对于低压气体燃料发动机，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0.6m³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。

(2) 对于高压气体燃料发动机，每一曲拐至少应装1个防爆安全阀。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。

11.1.2.8 气体燃料发动机曲轴箱应通过如下措施进行保护：

(1) 对于筒形活塞式发动机，曲轴箱应设有单独的透气系统，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；曲轴箱内应安装气体探测设备，气体探测设备可位于曲轴箱透气管内，其布置应能防止被油雾污染。对于十字头式发动机，活塞下部空间应安装气体探测设备。

(2) 对于低压气体燃料发动机，当缸径等于和大于200mm时，曲轴箱内应安装油雾探测器（或轴承温度探测器）；对于高压气体燃料发动机，曲轴箱内均应安装油雾探测器（或轴承温度探测器）；安装在曲轴箱内的电气设备和仪器应为经认可的安全型式。

11.1.2.9 气体燃料发动机的排气管应安装防爆安全阀或其他防爆措施，其尺寸应足以防止未燃烧的可燃气体在排气管中引起爆炸后带来严重损坏，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。

11.1.2.10 当气体燃料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。

11.1.2.11 气体燃料发动机的排气管不应与其他发动机或系统的排气管相连。

11.1.2.12 防爆安全阀的安装和布置应保证将从阀中排出的气体造成人身伤害的可能性降至最低。

11.1.2.13 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。

11.1.2.14 对于气体燃料可能直接漏入其介质（润滑油、冷却水）的辅助系统，应设置独立的透气管，保证从该系统泄漏的气体能通过火焰消除器排至机舱外的安全位置。

11.1.2.15 应通过监测废气或燃烧室温度对气体燃料发动机气缸内可燃混合气的燃烧进行监测。对于缸径大于200mm的气体燃料发动机，应对每一气缸的燃烧均进行监测，避免出现爆燃和失火。当监测到爆燃或失火时，应根据发动机的安全控制策略切断发动机气体燃料供应，或者仅切断出现爆燃或失火的气缸的气体燃料供应，但应保证在考虑扭转振动的影响下，发动机在一缸熄火时仍能正常工作。

第2节 功能要求

11.2.1 双燃料发动机的功能要求

11.2.1.1 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。

11.2.1.2 发动机燃料模式的转换（从燃油模式转换为燃气和从燃气转换为燃油模式）应仅在一定的功率范围内实现，且实现此转换的可靠性应通过试验进行证明。发动机燃料模式转换的准备工作，包括对此转换的所有必要条件的检查工作完毕后，转换过程应能自动进行。发动机负荷减小时如转换为燃油模式，则这种转换应能自动进行。在任何情况下均应能通过手动方式中断上述转换过

程。

11.2.1.3 正常停车及紧急停车时，气体燃料供应的切断不应迟于燃油供应的切断。气体燃料供应的切断应不依赖于燃油供应的切断。

11.2.1.4 气缸内的燃气-空气混合气应通过喷射燃油压燃的方式引燃。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。在停止供应燃油之前，应提前或同时切断发动机整机或各气缸的燃气供应。燃油供应中断时，应确保燃气不会喷入气缸。

11.2.2 单一气体燃料发动机的功能要求

11.2.2.1 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。

11.2.2.2 当气体燃料供应装置开启后，如发动机监测系统在规定时间内尚未监测到燃烧，应自动切断气体燃料供应，并终止发动机起动程序。

11.2.2.3 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，方可重新启动发动机。

11.2.2.4 正常停车和紧急停车时，气体燃料供应的切断不应迟于点火关闭。在未提前或同时切断各气缸或发动机整机的燃气供应时，应确保点火系统不被关闭。

11.2.2.5 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 风险分析

11.3.1 风险分析的范围

11.3.1.1 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) 来自发动机的一次气体泄漏；
- (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。

11.3.1.2 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。

11.3.2 风险分析的形式

11.3.2.1 风险分析的形式可以是故障模式与影响分析（FMEA）或其他能够提供等效信息的分析形式。FMEA应按本社接受的相关国家标准或国际标准（如IEC 60812）进行。

11.3.2.2 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，即由某一部件故障直接引起的另一部件的单一故障，也应予以考虑。

11.3.3 风险分析的程序

11.3.3.1 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 指定功能丧失。
- (2) 评估后果
- (3) 识别故障检测方法（如必要）

(4) 识别改进措施（如必要）：

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。

11.3.3.2 风险分析的结果应形成文档，并通过实测进行确认。

11.3.4 设备与系统分析

11.3.4.1 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 气体供应阀^⑤。

(2) 点火系统故障（燃油喷射或火花塞）；

(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）；

(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^⑥；

(7) 在发动机部件（如空气进气总管和排气总管）或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。

^⑤ 发动机本体外的供气部件（如位于气体阀件单元处所内的互锁气体阀及其他部件）发生的故障可不作分析。

^⑥ 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12章 操作和培训要求

第1节 一般规定

12.1.1 一般要求

12.1.1.1 天然气燃料动力船舶的全体船员，应在开始船上工作以前接受与气体燃料相关的安全、操作和维护等方面的培训。

12.1.1.2 直接负责操作船上与气体燃料相关设备的船员应接受操作培训，公司应有文件记录相关人员已获得必要的知识并一直保持对该知识的掌握。

12.1.1.3 培训应作为船公司规范化管理体系的一部分，由公司和船上高级管理层定期检查。应强调风险分析，并在培训期间，将所有进行的风险分析资料提供给参加培训的学员。

12.1.1.4 应定期进行与气体燃料相关的应急演练，检查和试验用于处理特定危险和事故的安全和响应系统。

12.1.1.5 应制定培训手册，并根据每艘船舶及其气体燃料系统专门设计培训大纲和演习方案。

第2节 培训

12.2.1 基础培训

12.2.1.1 基础培训旨在为负责基本安全的船员提供对作为燃料的气态、液态的技术属性、爆炸限值、着火源、风险降低和相应降低措施、以及在正常操作和紧急情况下必须遵守的规则和程序的基本了解。

12.2.1.2 基础培训应包括与气体燃料、相关系统以及液体和压缩气体操作时个人防护有关的理论培训和实践操作培训。熄灭可燃气体火灾的实际操作也应为培训的一部分。

12.2.2 操作培训

12.2.2.1 驾驶员和轮机员应接受超出一般基础培训范围以外的气体燃料系统相关培训。

12.2.2.2 除应包括基础培训的内容外，船上所有与气体燃料有关的系统、船舶的维护手册、供气系统手册和爆炸危险处所和区域的电气设备手册应用作该部分培训的内容。

第3节 维护

12.3.1 一般要求

12.3.1.1 应对船上的气体燃料系统制定专门的维护手册。

12.3.1.2 维护手册中应包括与气体燃料相关的所有设备的维护程序，并应符合设备供应商的建议。应规定气体管路上的阀件更换/验收的时间间隔和范围，维护程序中应规定何人有资格实施维护。

12.3.1.3 应对安装在危险区域的电气设备制定专门的维护手册。应按公认的标准对危险区域的电气设备进行检查和维护^⑦。

12.3.1.4 对危险区域的电气设备进行检查和维护的任何人员都应具备相应资质。

^⑦ 参见国际电工委员会颁布的 IEC60079-17:2007 爆炸性环境-第 17 部分：电气装置的检查和维护。

第4节 气体燃料系统操作手册

12.4.1 一般要求

12.4.1.1 船上应备有可供船上人员随时使用的气体燃料系统操作手册，以作为正常情况和可预见紧急情况下安全操作的指南。

12.4.1.2 气体燃料系统操作手册至少应包括以下方面的内容：

- (1) 开航前安全检查；
- (2) 发动机起动操作程序；
- (3) 航行期间和停机后的注意事项；
- (4) 燃料充装程序；
- (5) 保养与维修；
- (6) 应急情况操作程序；
- (7) 除气和惰化程序。

附录1 LNG 气罐技术要求

第1节 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本附录适用于C型独立LNG气罐的设计。

1.1.2 本附录关于管路和阀件的相关要求适用于附连于气罐的管路接头及阀件。

1.1.3 气罐除满足本附录要求外，还应满足公认的压力容器标准[®]的要求。

第2节 设计载荷

2.1 应考虑的设计载荷

2.1.1 气罐包括其支撑结构及其他固定设备在设计时，应考虑下述载荷的合理组合：

- (1) 气罐、燃料、绝热层及其他附件的重力载荷；
- (2) 内部压力；
- (3) 外部压力；
- (4) 船舶运动引起的载荷；
- (5) 热载荷；
- (6) 振动；
- (7) 相互作用载荷；
- (8) 建造装配相关的载荷；
- (9) 试验载荷；
- (10) 静态横倾载荷；
- (11) 晃荡；
- (12) 布置在开敞甲板上气罐的波浪冲击载荷；
- (13) 风载荷。

2.2 内部压力 P_i

2.2.1 内部压力应由设计蒸气压力 P_0 和由船舶运动引起的LNG燃料加速度所产生的压力合成。

2.2.2 设计蒸气压力 P_0 应不小于下式计算之值：

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

式中： $A = 0.00185(\sigma_m / \Delta\sigma_A)^2$

其中： σ_m ——设计主膜应力，N/mm²；

$\Delta\sigma_A$ ——许用动态膜应力（双振幅，当概率水平为 $Q=10^{-8}$ ），N/mm²；

[®] 如 GB150、JB 4732、ASME 《锅炉与压力容器规则》、EN13530 等。

$\Delta\sigma_A=55\text{ N/mm}^2$ ，对铁素体（珠光体）/马氏体和奥氏体钢；

$\Delta\sigma_A=25\text{ N/mm}^2$ ，对铝合金（5083-0）；

C ——气罐的特征尺度，取下列各值中的最大者： h ； $0.75b$ ；或 $0.45l$ ；

其中： h ——气罐高度（沿船舶的垂向量取）， m ；

b ——气罐宽度（沿船舶的横向量取）， m ；

l ——气罐长度（沿船舶的纵向量取）， m ；

ρ_r ——设计温度下燃料的相对密度（淡水： $\rho_r=1$ ）。

当气罐的设计寿命长于 10^8 次波浪遭遇时， $\Delta\sigma_A$ 应根据设计寿命进行调整。

2.2.3 任何情况下， P_0 应不小于压力释放阀的最大允许调定值。

2.3 外部压力

2.3.1 外部压力载荷应根据气罐任何部位可同时承受的最小内部压力和最大外部压力之间的差值予以确定。

2.4 船舶运动引起的载荷

2.4.1 确定船舶运动引起的载荷时，可使用下述计算工况的运动惯性力（ R ——最大额定质量； g 取 9.81m/s^2 ）：

(1) 运动方向：最大额定质量乘以2倍的重力加速度（ $2Rg$ ）；

(2) 同运动方向成直角的水平方向：对于内河船舶，最大额定质量乘以重力加速度（ Rg ），对于海船，则为最大额定质量乘以1.5倍的重力加速度（ $1.5Rg$ ）；

(3) 垂直向上：最大额定质量乘以重力加速度（ Rg ）；

(4) 垂直向下：最大额定质量（总载荷包括重力作用）乘以2倍的重力加速度（ $2Rg$ ）

2.4.2 本附录2.4.1所述的惯性力（对应于货物的惯性力）应均匀分布在气罐对应运动方向的投影面上。

2.5 热载荷

2.5.1 LNG气罐及低温管路在设计时，应考虑热效应影响。

2.6 振动

2.6.1 应考虑振动对LNG燃料围护系统的潜在破坏效应。

2.7 相互作用载荷

2.7.1 应考虑LNG燃料围护系统与船体结构间的静、动态相互作用及附属结构和装置产生的载荷。

2.8 建造和装配相关的载荷

2.8.1 应考虑建造和装配过程相关的载荷，如起吊载荷。

2.9 试验载荷

2.9.1 应考虑本附录4.1.1中要求的试验载荷。

2.10 静态横倾载荷

2.10.1 0~30° 范围内最不利的横倾角所对应的载荷。

2.11 晃荡载荷

2.11.1 应通过覆盖所有充装水平的特别试验和计算对作用在气罐和内部组件的晃荡载荷进行估算。

2.12 碰撞

2.12.1 气罐及其支撑构件应能承受沿船舶运动方向向前及向后的碰撞力载荷，且不产生任何影响正常使用的结构变形。

2.12.2 碰撞载荷应基于气罐满载状况确定。沿船舶运动方向向前和向后的碰撞力可根据船长 L 按下列要求进行确定（ g 取 9.81m/s^2 ）：

(1) 当 $L > 100\text{m}$ 时，设计加速度： $0.5g$ ；

(2) 当 $60 < L \leq 100\text{m}$ 时，设计加速度： $\left[2 - \frac{3}{80}(L - 60)\right]g$ ；

(3) 当 $L < 60\text{m}$ 时，设计加速度： $2g$ 。

2.13 船舶进水产生的载荷

2.13.1 在设计储存系统、止浮装置和船体支撑结构时应考虑因空罐完全浸没在水中或舱室进水至主甲板（更为危险者）而产生的浮力。

第3节 设计与制造

3.1 一般要求

3.1.1 设计分析时，应对可能同时作用的适用载荷进行考虑。

3.1.2 应考虑建造、操作、测试、使用过程中的最不利状况。

3.1.3 气罐罐体的设计应按公认的压力容器标准（见本附录1.1.3）进行。罐体的设计应充分考虑载荷对整体结构、局部加强结构、内外罐体连接件及罐体附件的影响。

3.1.4 在按本附录3.1.3所述容器标准进行罐体设计时，还应考虑本附录2.4.1 所述的运动惯性力。

3.1.5 LNG气罐（包括支撑附件）应作为整体模型进行结构强度评估，在考虑自重、设计内外压力以及本附录2.4.1 所要求惯性力的情况下，应力分析计算结果应满足下述要求：

(1) 罐体部分应依据公认的压力容器标准进行校核（采用GB150进行设计时，应依据JB4732进行校核；采用ASME《锅炉与压力容器规则》或EN13530设计时，应分别依据ASME《锅炉与压力容器规则》或EN13530的相关规定进行校核。对于屈服点不明确的金属材料和奥氏体不锈钢，取0.2%标定非比例伸长对应的应力作为屈服强度指标）。

(2) 罐体支撑附件的Von Mises合成应力 σ 应不大于下式计算之值：

$$\sigma \leq 0.9R_e$$

式中： R_e ——支撑附件的屈服强度。对于屈服点不明确的金属材料和奥氏体不锈钢，取 0.2% 标定非比例伸长对应的应力作为屈服强度指标。

3.1.6 与气罐支撑附件相连的船体结构应满足本社相关规范的要求。

3.2 结构构造

3.2.1 卧式LNG燃料气罐的支撑附件应采用双鞍座形式。

3.2.2 在横截面上设置内部防波板，对于有效容积不大于 25m^3 的LNG气罐，每个防波段容积一般不大于 7.5m^3 ；对于有效容积大于 25m^3 的LNG气罐，防波板间距应不大于4m。

3.2.3 不锈钢材料应考虑厚度负偏差，可不考虑腐蚀余量。

3.2.4 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5mm；对于奥氏体不锈钢，应不小于3mm；对于铝合金，应不小于7mm。

3.2.5 对于压力容器，按照本附录3.1.3、3.8计算的厚度应被视为不包括任何负公差的最小厚度。

3.3 管阀系统

3.3.1 紧急切断阀、截止阀等低温阀件应持有本社产品证书，并应在装配后进行效用试验，具体控制要求应列入到该产品的《操作说明书》中。

3.3.2 LNG气罐附属设备的设置应符合下列要求：

(1) 除装设压力释放阀和液位测量装置外，气罐的所有液相和气相连接管上应设有可就地操作的手动截止阀，该阀的位置应尽可能靠近气罐。同时，在手动截止阀之后还应串联设置一个紧急切断阀，该阀的位置应尽可能靠近手动截止阀。

(2) 上述(1)中的手动截止阀和紧急切断阀可以用一只具备手动操作和自动切断功能的组合阀代替。

(3) 压力释放阀与气罐之间应设手动截止阀，该阀在正常操作时应处于铅封开启状态；

(4) 与气罐气相空间相连的管道上应设置手动泄压阀。

3.4 仪表设置

3.4.1 气罐的仪表设置应能满足本规范第6章和第10章对气罐充装和监控的要求。

3.4.2 对于真空绝热型气罐，其内容器和外壳间应设置监测内外壳间绝对压力的仪器或检测接口。

3.5 绝热材料

3.5.1 用于LNG燃料围护系统的绝热材料和其他材料，应适用于设计载荷并满足其预定用途。

3.5.2 适用时，应在营运中预计出现的最高温度和低于最低设计温度 5°C 之间的范围内对上述性能进行试验，但不必低于 -196°C 。

3.5.3 由于所处位置或环境条件的不同，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。位于开敞甲板之上的绝热材料应依照公认标准具备适当的防火特性，或在其上覆盖一层低火焰传播特性的材料并形成经认可的汽封。

3.5.4 当绝热材料不具备公认标准要求的防火特性，且被用于未被永久惰化的储存处所时，其上应覆盖一层低火焰传播特性的材料并形成经认可的汽封。

3.5.5 当采用粉末或颗粒状绝热材料时，应采取减少其在营运过程中的压紧程度，且保持其绝热性能，同时又能防止对LNG燃料围护系统增加任何不适当的压力。

3.6 焊接接头

3.6.1 气罐的焊接接头的细节应满足下列要求：

(1) 所有纵向和环向接头均应为对接接头、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。根据认可的焊接工艺试验的结果，亦可采用其他坡口形式。

(2) 对于无人孔的真空绝热型气罐，内容器、除筒体与封头连接的最后一道环向接头允许使用衬垫环的单面焊对接接头外，其余的环向接头和所有的纵向接头应采用双面焊或相当于双面焊的全焊透对接接头；外筒体与外封头的连接允许采用衬垫环的单面焊对接焊缝，其余的环向和纵向接头应采用双面焊全焊透的对接焊缝。

3.6.2 气罐承压部件的厚度计算用焊接系数，应按照本附录3.1.3 中相关压力容器标准执行。

3.7 制造工艺与无损探伤

3.7.1 关于制造和工艺质量的公差，例如失圆、局部偏差、焊接接头的对中以及不同厚度板的削斜等，均应符合本社认可的标准。

3.7.2 对焊接接头的无损探伤的方法和范围，应按本社认可的标准进行。

3.8 屈曲分析

3.8.1 对于承受外部压力和其他引起压缩应力载荷的压力容器，在确定其厚度和形状时，应根据公认的压力容器的屈曲理论进行计算，并应充分考虑到理论和实际屈曲应力值之间的差别；此差别是由于板边对中偏差、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。

3.8.2 用于验算气罐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，应作特别考虑，但一般应取不小于 0.025MPa；

P_2 ——安放压力容器或压力容器部件的全封闭处所的压力释放阀的调定压力；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引起的作用在壳体中或表面的压力。这些压力还包括（但不限于）气室和管路的重量、部分充装状态下的燃料的作用、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 ——全部或部分位于露天甲板上的由水压头引起的外部压力；对其他处所， $P_4=0$ 。

3.9 疲劳分析

3.9.1 应对燃料围护系统进行疲劳分析，分析时应考虑燃料围护系统预期寿命期间的所有疲劳载荷及它们的适当组合，应对典型的充装情况进行考虑。

3.9.2 进行疲劳分析时，疲劳载荷的累积效应应符合：

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

式中， n_i ——船舶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；

$n_{loading}$ ——气罐寿命周期内的装卸循环次数，一般取 1000。装卸循环包括一个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 ——最大允许累积疲劳损伤比，应小于或等于 0.5；损伤后有泄漏风险，且无法进行

有效检验的部位，应不大于 0.1。

3.9.3 应基于气罐设计寿命（但不低于 10^8 次波浪遭遇）确定疲劳损伤。可使用图3.9.3所示的载荷谱。该简化载荷谱包含8个循环载荷水平，每个循环载荷 $\pm P_i$ 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。

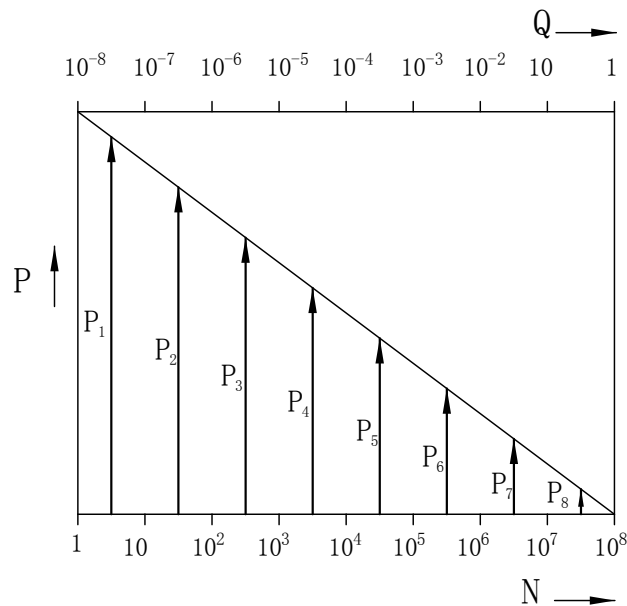


图 3.9.3 长期分布载荷谱

3.9.4 分析中使用的设计S-N曲线应适用于材料、焊接件、构造细节、装配过程和预期应力状态，可使用本社《船体结构疲劳强度指南》第2章2.2中的S-N曲线。

3.9.5 应基于97.6%存活率（相关试验数均值减去两倍标准差）确定S-N曲线。若使用其他方法确定出的S-N曲线，应经本社认可。

3.10 压力释放系统的排量

3.10.1 对于具有标准封头和圆柱形筒体的真空绝热型LNG气罐，其压力释放阀排量的计算应按GB/T 18442。

3.10.2 压力损失应不超过制造厂允许值。如制造厂无可用数据，可使用下列数值：

(1) 不带波纹管背压平衡的弹簧式压力释放阀：上游压力损失为3% MARVS，下游压力损失为10% MARVS；

(2) 带波纹管背压平衡的弹簧式压力释放阀：上游压力损失为3% MARVS，下游压力损失为30% MARVS；

(3) 先导式压力释放阀：上游压力损失为3% MARVS（如感应管路未设置在气罐顶部），下游压力损失为30% MARVS。

3.10.3 上游压力损失

(1) 透气管路中从气罐到压力释放阀入口处的压降，应不超过该阀在计算流量下调定压力的3%。

(2) 当先导式压力释放阀的先导压力直接感应自气罐顶部时，该阀应不受进气管压力损失的影响。

(3) 可移动导阀应考虑遥感先导管线中的压力损失。

3.10.4 下游压力损失

(1) 当使用共同的透气集管和透气桅时，计算时应包括所有相连压力释放阀的流量。

(2) 从压力释放阀出口至排向大气处的透气管路中所产生的排放背压，包括任何透气管路与其他气罐相连的部分，应不超过以下值：

① 对非背压平衡式压力释放阀：10% MARVS；

② 对背压平衡式压力释放阀：30% MARVS；

③ 对先导式压力释放阀：50% MARVS；

④ 可接受压力释放阀制造厂提供的其他可选数值。

(3) 为确保压力释放阀的稳定工作，其回座压差应不小于额定容量时入口压力降与0.02倍MARVS之和。

第4节 试验

4.1 一般要求

4.1.1 应对气罐进行液压试验，试验时在气罐顶部测得的压力应不小于 $1.5 P_0$ （对于双层真空绝热型气罐，试验时在气罐顶部测得的压力应不小于 $1.3 P_0$ ）。

4.1.2 装配和完工之后，应对每一受压容器及其附件进行密性试验。

4.1.3 试验时所采用的液体温度至少应比制成的材料的零韧性转变温度高出 30°C 。

4.1.4 对真空绝热型气罐，应对气罐的低温性能（封结真空度、夹层真空度、漏率、漏放气速率、静态蒸发率等）进行测试，试验方法应满足GB/T 18443《真空绝热深冷设备性能试验方法》的相关要求。

附录2 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 气体燃料发动机应按本附录要求进行型式试验、工厂试验、船上试验。

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。

第2节 型式试验

2.1 一般要求

2.1.1 下列所有项目均相同的发动机可认为同类型气体燃料发动机：

- (1) 工作循环（2冲程或4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) 燃料类型（液体、双燃料、气体）；
- (8) 涡轮增压系统（脉冲系统或定压系统）；
- (9) 增压空气冷却系统（有或没有中冷器）；
- (10) 气缸排列方式（直列或V型）；
- (11) 额定转速和/或平均有效压力下的单缸额定功率；
- (12) 推进或辅助用途，包括电力推进的发电机。

2.1.2 型式试验分为如下3个阶段：

(1) 阶段A——内部试验

阶段B开始之前，内部试验期间进行的一些研发试验、功能性试验、采集的测量参数和记录的运行时间，及满足本社要求或制造厂规定的试验结果应提交本社。

(2) 阶段B——正式试验

正式试验应在验船师在场时进行。

(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。

2.1.3 完整的型式试验大纲应提交本社认可，在不同情况下现场检验的范围应征得验船师同意，但至少包含阶段B和阶段C。在正式试验（阶段B）之前的试验，也作为整个型式试验的一部分。

2.1.4 气体燃料发动机所使用的天然气成分报告应提交本社备查，天然气甲烷值和低位热值应符合制造厂规定的波动范围。

2.1.5 应记录试验时所有的环境状态（包括大气压力、空气温度和湿度等）。

2.1.6 至少应测量和记录发动机以下数据：

- (1) 转速；
- (2) 功率或扭矩；
- (3) 燃料类型，天然气和燃油两者（或等效标明）；
- (4) 每缸最高燃烧压力；
- (5) 天然气供气压力；
- (6) 进气温度；
- (7) 进气压力；
- (8) 排气温度；
- (9) 增压器转速；
- (10) 各种用途（推进、辅助、应急）发动机的控制和监测系统所要求的所有参数。

2.1.7 用于采集上述数据的仪表校准记录应提交现场验船师检查。

2.1.8 试验测量只有当发动机达到了稳定的运转工况后才能进行，在各负荷工况下运行时间足以让验船师进行目视检查。

2.1.9 发动机在最大持续转速（100%额定功率）下运行时，应至少以30min时间间隔做两次有效测量。

2.1.10 整个型式试验（阶段A—C）过程中，应测量并记录与操作有关的数值，所有的试验结果应由发动机制造厂整理填入型式检验报告中，并应提交现场验船师。型式检验报告应至少包含以下内容：

- (1) 总体描述阶段A试验完成情况，包括制造厂保存的质量评估管理记录；
- (2) 详细描述阶段B负荷试验和功能试验的实施情况；
- (3) 阶段C的检查结果；
- (4) 发动机表面温度检测情况；
- (5) 曲轴臂距差数据（若需要）。

2.2 阶段 A——内部试验

2.2.1 内部试验期间，发动机应在制造厂商认为重要的各负荷点运行，有关的运行数据应予以记录。对负荷工况进行试验，应包括经认可的型式试验大纲中规定的试验。

2.2.2 正常工况：

- (1) 发动机起动和停车试验，应满足本规范第11章相关要求；
- (2) 根据下列两种用途，分别以发动机额定功率25%、50%、75%、100%和110%作为负荷点：
 - ① 做为推进用主机，沿螺旋桨名义（理论上的）特性曲线和恒定转速；
 - ② 用于发电机组的发动机，应包括空载和全负荷在内的恒定转速。
- (3) 双燃料发动机应在燃气模式和燃油模式下进行上述负荷试验；
- (4) 发动机允许工作范围的极限工作点，这些极限点由发动机制造厂商规定；
- (5) 根据设计和评估需要，批量生产发动机应进行100h全负荷试验；
- (6) 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^⑨；
- (7) 本社要求或制造厂商规定的发动机零部件特殊试验；
- (8) 点火提前角检验（如适用）；
- (9) 空燃比调整试验（如适用）；
- (10) 掺烧比调整试验（如适用）。

^⑨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。

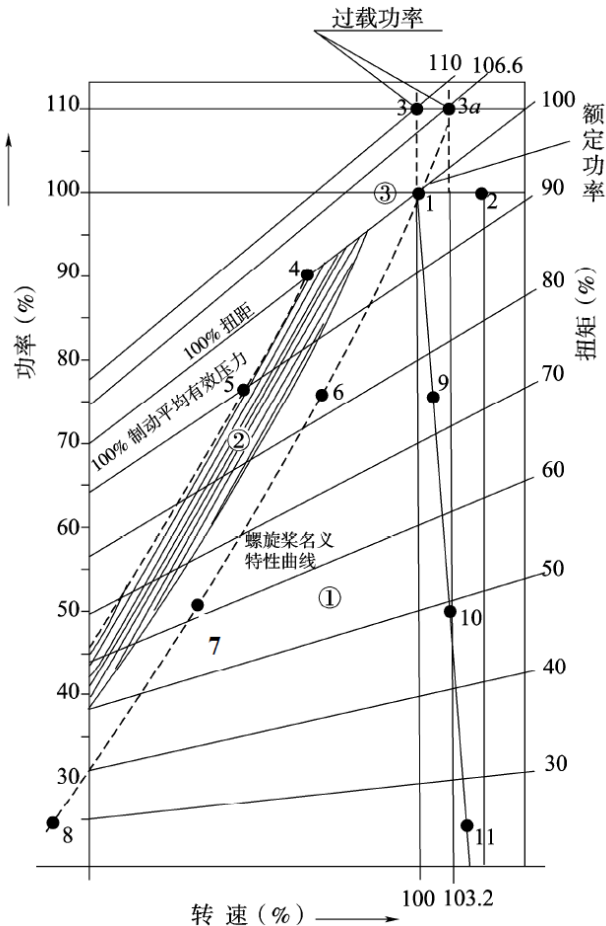
2.3 阶段 B——正式试验

2.3.1 正式试验应在验船师在场的情况下进行，记录获得的结果，并由各方代表签字。如有与本要求不一致处，则应由发动机制造厂商与验船师协商一致。

2.3.2 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。试验期间燃气模式和燃油模式的转换应同时带有报警显示。

2.3.3 工作负荷点

(1) 发动机应按本附录图2.3.3所对应的负荷点进行运行试验。



① 连续运行区间② 间歇运行区间③ 短时间过载运行区间

图 2.3.3 功率和转速图

(2) 在各负荷点试验时测量并记录的数据，应包括本附录2.1.6中所有参数。在每个负荷点的运行时间，取决于发动机的规格（达到稳定状态）和采集运转参数所需的时间。每个负荷点的运转时间一般可设定为0.5h，但应有充足的时间让验船师进行目视检查。

① 额定功率（MCR），即在100%扭矩和100%转速情况下的100%输出功率，对应于负荷点1，额定负荷点运行的时间应达到2h，且以时间间隔不小于1h采集两组数据；

② 最大允许转速下的100%功率，对应于负荷点2；

③ 100%转速下的最大允许扭矩（通常为110%额定功率），对应于负荷点3；或者是最大允许功率（通常为110%额定功率）和对应于螺旋桨名义特性曲线的转速，对应于负荷点3a；负荷点3a仅适用于驱动定距桨或喷水推进器的发动机；负荷点3适用于所有其他用途的发动机；

④ 对于允许间歇性超负荷的发动机，如果超负荷点功率大于110%最大持续功率，则应采用该超负荷点功率及其持续时间所对应的负荷替代负荷点3（或3a，如适用）；如果超负荷点功率小于110%

最大持续功率,则应采用该超负荷点替代100%最大持续功率负荷点,但110%最大持续功率下的负荷点应保持不变。

⑤ 100%扭矩时的最小许用转速,对应于负荷点4;

⑥ 90%扭矩时的最小转速,对应于负荷点5;

⑦ 部分负荷工况,如75%、50%、25%额定功率和对应螺旋桨名义特性曲线的转速,对应于负荷点6、7、8,以及在75%、50%和25%额定功率和调速器设置不变时的额定转速,对应于负荷点9、10和11。

(3) 应急运行工况

对于涡轮增压气体燃料发动机,应确定在一个涡轮增压器停止工作情况下仍能实现连续输出功率(试验可以将增压器转子锁紧或将转子拆除)。

(4) 功能试验

① 根据发动机制造厂规定的名义上螺旋桨特性曲线,对推进发动机最低稳定转速或驱动发电机的发动机空载转速进行验证,运行期间应没有任何报警发生;

② 对不可反转发动机进行起动试验,对可反转发动机进行起动试验和换向试验,确定发动机最低起动压力和每次启动所需要的空气量;发动机起动和停车应满足本规范第11章相关要求;

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的转换试验;

④ 调速器应满足本社《钢质海船入级规范》第3分册第9章或《钢质内河船舶建造规范》第2分册第2篇第6章的相关规定;

⑤ 通风型双壁管应进行通风效用试验;

⑥ 安全保护装置试验,尤其是超速和润滑油低压。

(5) 用于驱动发电机的发动机还应满足以下要求:

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切换到燃油模式。

② 发电机应能从额定功率满负荷突减到零负荷。超速保护装置应能确保发动机无损害,且在任何情况下不准许发动机的转速变化率超过10%额定转速。

(6) 完整性试验

电控气体燃料发动机应通过完整性试验确认在各种工作模式下,整个机械、液压、电子系统的反应与预计工作模式一致,试验范围应根据风险分析的要求确定,并征得本社的同意。以下试验项目供参考:

① 点火失败(电火花点火或引燃油喷射系统),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、排气温差大等);

④ 气体压力异常;

⑤ 气体温度异常。

2.4 阶段 C——部件检查

2.4.1 对发动机曲轴臂距差进行测量,满足制造厂相关要求。

2.4.2 运行试验结束后,应将直列式发动机的一个气缸或V型发动机的两个气缸的下列部件送交检查:

(1) 活塞吊出并拆开;

(2) 连杆轴承(大小端)拆开;

(3) 主轴承拆开;

(4) 处于安装状态下的气缸套;

(5) 气缸头、阀件拆开;

- (6) 供气阀，包括预燃室（如适用）；
- (7) 凸轮驱动的齿轮和链条、凸轮轴和曲轴箱的门打开。

2.4.3 如验船师认为必要，可要求对发动机作进一步的拆检。经本社同意，对能够提交成功使用经验和历史证明的非船用发动机，可以适当减少拆开检查。

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 试验的范围取决于发动机的应用、使用经验、或其他相关因素，经本社同意的范围除外。例如：发动机安装在需要与残余或其他特殊燃料结合燃烧时，应对发动机符合燃烧该燃料进行验证试验。

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下列试验。

3.2 试验范围

3.2.1 驱动螺旋桨或叶轮的推进发动机

- (1) 在发动机额定转速 n_0 下的100%功率（额定功率）：达到稳态运转后至少持续60min；
- (2) 在发动机转速 $n=1.032 n_0$ 下的110%功率：达到稳态运转后至少持续30min[®]；
- (3) 认可的间歇超负荷功率：按认可的时间试验；
- (4) 沿螺旋桨名义特性曲线下，90%（或正常持续功率）、75%、50%、25%功率及最低稳定转速工况试验，由发动机制造厂选取试验顺序；
- (5) 起动和换向操纵试验（如适用），起动和停车应满足本规范第11章相关要求；
- (6) 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；
- (7) 通风型双壁管应进行通风效用试验；
- (8) 调速器和超速保护装置试验。

3.2.2 驱动推进用发电机的发动机

- (1) 在发动机额定转速 n_0 下的100%功率（额定功率）：达到稳态运转后至少持续60min；
- (2) 在发动机110%功率：达到稳态运转后至少持续30min¹¹；
- (3) 75%、50%、25%功率及空载工况试验；
- (4) 同本附录3.2.1（5）-（8）。

3.2.3 驱动辅助发电机的发动机

试验应按照本附录3.2.2进行。

3.2.4 驱动带有轴带发电机的推进发动机

- (1) 在发动机额定转速 n_0 下的100%功率（额定功率）：达到稳态运转后至少持续60min；
- (2) 在发动机转速 n_0 下的110%功率：达到稳态运转后至少持续30min¹²；
- (3) 沿螺旋桨名义特性曲线或在持续转速 n_0 下，90%（或正常持续功率）、75%、50%、25%功

[®]试验台上运转后，通常发动机燃料供给系统应进行调整，使得在运行时不会发生功率过载。

¹¹试验台上运转后，驱动发电机的发动机燃油供给系统应进行调整，使得发动机装船后在超载（110%额定功率）时能正常运行，使得调速特性，包括发电机的保护装置触发，均能在任何时候执行。

¹²试验台上运转后，带有轴带发电机的推进发动机的燃油供给系统应进行调整，使得发动机装船后在适当的超载范围内能正常运行，且其调速特性，包括发电机的保护装置触发，均能在任何时候执行。超负荷边界范围可为10%发动机额定功率，但至少为10%轴带发电机功率。

率工况试验，由发动机制造厂选取试验顺序。

(4) 同本附录3.2.1 (5) - (8)。

3.2.5 驱动辅机的发动机

- (1) 在发动机额定转速 n_0 下的100%功率（额定功率）：达到稳态运转后至少持续30min；
- (2) 认可的间歇超负荷功率：按认可的时间试验；
- (3) 同本附录3.2.2 (2) - (4)。

3.3 整合试验

3.3.1 电控气体燃料发动机，应通过完整性试验确认在各种工作模式下，整个机械、液压、电子系统的反应与预计工作模式一致，试验范围应根据风险分析的要求确定，并征得本社的同意。

3.4 部件检查

3.4.1 试验运行结束后，应将直列式发动机的一个气缸或V型发动机的两个气缸拆开检查。如验船师认为必要，可要求对发动机作进一步的拆检。

第4节 船上试验

4.1 一般要求

4.1.1 双燃料发动机根据应用情况，分别在燃气模式和燃油模式下进行船上试验。

4.1.2 驱动主推进双燃料发动机在额定转速和正常持续运行转速下的运行时间可适当缩短，驱动发电机的双燃料发动机在额定功率和正常持续运行功率下的运行时间可适当缩短，但应征得现场验船师同意。

4.2 试验范围

4.2.1 驱动定螺距螺旋桨或叶轮的主推进发动机

(1) 在发动机额定转速 n_0 下：达到稳态运转后至少持续4h；发动机在对应于正常持续功率下的转速：达到稳态运转后至少持续2h；

(2) 在发动机转速 $n=1.032n_0$ 下：达到稳态运转后至少持续30min¹³；

(3) 认可的间歇超负荷功率：按认可的时间试验；

(4) 最低工作稳定转速试验；

(5) 在系泊或航行试验期间，在发动机最小转速 $n=0.7 n_0$ 下，螺旋桨反向运转：10min；

(6) 起动和换向操纵试验（如适用），起动和停车应满足本规范第11章相关要求；

(7) 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；

(8) 通风型双壁管应进行通风效用试验；

(9) 监测、报警及安全系统。

4.2.2 驱动可调螺距螺旋桨或换向齿轮箱装置的主推进发动机

可调螺距螺旋桨应在各种螺距下按照本附录4.2.1要求进行试验。

4.2.3 驱动推进用发电机的发动机，试验应在调速器恒定设定的情况下，在额定转速下进行：

(1) 100%功率（额定推进功率）：至少4h；正常持续推进功率：至少2h；

(2) 110%功率（额定推进功率）：30min；

(3) 最低空载转速试验；

(4) 同本附录4.2.1 (5) - (9)。

¹³ 试验台上运转后，通常发动机燃料供给系统应进行调整，使得在运行时不会发生功率过载。

4.2.4 驱动带有轴带发电机的推进发动机

- (1) 在发动机额定转速 n_0 下的100%功率（额定功率）：达到稳态运转后至少持续4h；
- (2) 在发动机转速 n_0 下的100%螺旋桨分支功率（除非上述（1）已经覆盖）：至少持续2h；
- (3) 在发动机转速 n_0 下的100%轴带发电机分支功率：至少持续1h；
- (4) 同本附录4.2.1（6） - （9）。

4.2.5 驱动辅助发电机和/或辅机的发动机

(1) 在发动机额定转速 n_0 下的100%功率（额定功率）：达到稳态运转后至少持续4h，试验期间，关注的机组可要求延长在额定功率下运行的时间。

- (2) 认可的间歇超负荷功率：按认可的时间试验；
- (3) 最低空载转速试验；
- (4) 同本附录4.2.1（6） - （9）。

应证明发动机能输出100%额定功率，以及发电机组装船情况下，发电机的过载保护系统触发所需要的时间。

4.2.6 应证明发动机燃烧残油或特殊燃料的适应能力（如适用）。

4.2.7 此外，因考虑到特殊的运行条件，例如拖带、拖网作业等，试验的范围可加以开展。

4.3 部件检查

4.3.1 试验结束后，应至少打开发动机1个气缸进行检查。

附录3 电子控制系统技术要求

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系指气体燃料发动机的电控系统以及气体燃料控制系统。
- 1.1.2 本附录中电子控制系统的设备和装置的设计和制造，应向本社申请检验。
- 1.1.3 本附录中涉及的电控系统的供电应符合本规范第9章第3节的相关要求。

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《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的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 电控系统应能监视气体燃料发动机工作情况，自动调整气体燃料发动机各系统参数，并对系统及部件故障进行检测和报警。

2.2.8 电控系统应设有检查端口，使监测和维修方便。

2.2.9 电控系统应具有数据记录功能，应能自动记录气体燃料发动机一定数量的最新运行数据，对运行过程中的报警及故障等异常状态进行存储，异常状态的存储记录只能被手动清除。

2.2.10 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2.2.10所列项目。

对外输出项目表

表2.2.10

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	
报警输出	遥控操作模式指示	
	控制系统综合报警/故障	需提供具体故障名称查询功能
停机状态输出	发动机综合报警/故障	需提供具体故障名称查询功能
	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。

2.3.2 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。

2.3.3 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。

2.3.4 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。

2.3.5 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2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系统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¹³；
- ③ 1个控制模块故障，后备控制模块的功能的有效性¹³；
- 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，配合发动机完成本规范附录2中所规定的出厂试验。

(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¹³；
- ⑤ 1个曲轴转角传感器故障，后备传感器的有效性¹⁴；
- 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2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、监控系统和气体燃料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 气体燃料控制系统技术要求

3.1 一般要求

3.1.1 气体燃料控制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《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，气体燃料控制系统应能安全、可靠地操作使用。

3.2.2 气体燃料控制系统应能遥控每一气罐的气体燃料出口管路上的气罐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 气体燃料控制系统应监测的内容包含但不限于以下内容，并在异常状况下按照本规范第10章表10.4.1.1（2）采取相应的保护动作：

- (1) 气罐连接处所和机器处所之间的双壁管（通风导管）内外管之间的通风或惰性气体保护有效性；
- (2) 位于本质安全型机器处所内双壁管（通风导管）内外管之间的通风或惰性气体保护有效性；
- (3) 机器处所内通风（如设有）有效性；
- (4) 气体阀件单元处所内通风有效性；

¹⁴ 如发动机设计为电控系统故障时，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。

- (5) 气罐连接处所内的火灾情况；
- (6) 气体燃料发动机机器处所内的火灾情况；
- (7) 气罐连接处所内的气体浓度；
- (8) 气罐连接处所和机器处所之间的双壁管（通风导管）内外管之间的气体浓度；
- (9) 位于本质安全型机器处所内的双壁管（通风导管）的内外管之间的气体浓度；
- (10) 机器处所内的气体浓度；
- (11) 气体阀件单元处所内的气体浓度；
- (12) 压缩机室内的气体浓度；
- (13) 热交换器气体燃料出口温度；
- (14) 供气管路内的气体压力；
- (15) 阀门控制工作介质的有效性；
- (16) 由发动机故障造成的发动机自动停车；
- (17) 发动机的紧急停车；
- (18) 气罐处所内污水井液位；
- (19) 气罐处所内污水井温度；
- (20) 气罐压力；
- (21) 气罐液位；
- (22) 机器处所内供气管路破裂快速探测。

3.2.4 气体燃料控制系统的警报应布置在驾驶室以及机舱控制室（或有人值班位置）。

3.2.5 气体燃料控制系统的主用电源失效时，应进行听觉和视觉报警。

3.2.6 气体燃料控制系统应具备自检功能，应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 气体燃料控制系统所使用的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。

3.4 型式试验

3.4.1 气体燃料控制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 气体燃料控制系统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，验证气体燃料控制系统动作的有效性。

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燃料控制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 试验应进行如下试验项目（如适用）：

- (1) 主电源故障，系统自动切换使用应急电源；
- (2) 模拟每一监测传感器故障，系统应能识别并进行报警；
- (3) 模拟每一监测点探测到故障时，系统动作的正确性及有效性。

附录4 热交换器技术要求

第1节 一般规定

1.1 适用范围

1.1.1 本附录适用于固定管板式、浮头式、U形管式和填料函式热交换器。

1.1.2 热交换器适用的设计温度范围按金属材料允许的使用温度确定。

1.1.3 热交换器的设计、制造、试验除必须符合本规定外，还应遵守GB 150《压力容器》、GB151《管壳式换热器》和国家颁布的有关规定。

1.1.4 特定结构形式的热交换器，其设计、制造、检验和验收应满足下述标准的相应要求：

- (1) JB/T4751《螺旋板式换热器》；
- (2) NB/T47004《板式热交换器》；
- (3) NB/T47006《铝制板翅式热交换器》；
- (4) NB/T47007《空冷式热交换器》。

1.2 图纸资料

1.2.1 应将下列图纸资料提交本社批准：

- (1) 总图；
- (2) 本体结构图(包括构件连接结构)；
- (3) 受压部件结构图；
- (4) 附件布置图；
- (5) 压力释放阀通径计算书；
- (6) 强度计算书；
- (7) 构件的热处理工艺说明书；
- (8) 压力试验的技术文件；
- (9) 系统原理图(热源流量、温度监测及被加热LNG温度监控)；
- (10) 换热量计算书。

1.3 定义

1.3.1 设计压力：系指热交换器的最大许用工作压力，热交换器的强度计算应以设计压力为依据，并应不小于任一压力释放阀的最高设定压力。

1.3.2 设计温度：系指热交换器在正常工作情况下，设定的元件金属温度(沿元件金属横截面的温度平均值)，设计温度与设计压力一起作为设计载荷条件。在任何情况下，元件金属的表面温度不得超过材料的允许使用温度。

第2节 设计与制造

2.1 一般要求

2.1.1 设计时主要应考虑以下载荷：

- (1) 内压、外压或最大压差；
- (2) 膨胀量不同引起的作用力；

- (3) 液柱静压力；
- (4) 热交换器自重及正常工作条件下或试验条件下内装物料的重力载荷；
- (5) 附属设备及隔热材料等的重力载荷；
- (6) 支座及其他型式支撑件的反作用力；
- (7) 连接管道和其他部件的作用力；
- (8) 温度梯度引起的作用力；
- (9) 压力急剧波动引起的冲击载荷；
- (10) 运输或吊装时的作用力。

2.1.2 设计压力的确定

- (1) 热交换器上装有超压泄放装置时，应按GB150.1附录B的规定确定设计压力；
- (2) 热交换器各程的设计压力应按各自最苛刻的工况分别确定，必要时还应考虑不同工况的组合，并且应在设计文件中注明各工况操作条件下的压力和温度值；
- (3) 热交换器存在负压操作时，确定元件计算压力时应考虑在正常工作情况下可能出现的最大内外压力差；

(4) 真空侧的设计压力按承受外压考虑，当装有压力释放阀时，设计压力取1.25倍最大内外压力差，或0.1MPa两者中的较低值；当无安全控制装置时，取0.1MPa；

(5) 对于同时受两程压力作用的元件，仅在全寿命期内均能保证不超过设定压差时，才可以按压差设计。否则应分别按各程设计压力确定计算压力，并应考虑可能存在的最苛刻的压力组合。按压差设计时，压差的取值还应考虑在压力试验过程中可能出现的最大压差值，应在设计文件中明确设计压差，同时应提出压力试验中保证压差的要求。

2.1.3 设计温度的确定

(1) 设计温度不得低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度。对于0℃以下的金属温度，设计温度不得高于元件金属可能达到的最低温度。

(2) 热交换器的各程设计温度应按各自最苛刻的工况分别确定。对于同时受两程介质温度作用的元件应按金属温度确定设计温度。

(3) 元件的金属温度通过以下方法确定：

- ① 传热计算求得；
- ② 在已使用的同类设备上测定；
- ③ 根据介质温度并结合外部条件确定。

2.2 许用应力

2.2.1 热交换器及其构件材料的许用应力按照本附录表2.2.1 (1) 和表2.2.1 (2) 确定。

钢材（螺栓材料除外）许用应力的取值 表 2.2.1 (1)

材 料	许用应用 (MPa)，取下列各值中的最小值
碳素钢、低合金钢	$\frac{R_m}{2.7}, \frac{R_{eL}}{1.5}, \frac{R'_{eL}}{1.5}, \frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_n}{1.0}$
高合金钢	$\frac{R_m}{2.7}, \frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}, \frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{1.5}, \frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_n}{1.0}$

钛及钛合金	$\frac{R_m}{2.7}, \frac{R_{p0.2}}{1.5}, \frac{R'_{p0.2}}{1.5}, \frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_n}{1.0}$
镍及镍合金	$\frac{R_m}{2.7}, \frac{R_{p0.2}}{1.5}, \frac{R'_{p0.2}}{1.5}, \frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_n}{1.0}$
铝及铝合金	$\frac{R_m}{3.0}, \frac{R_{p0.2}}{1.5}, \frac{R'_{p0.2}}{1.5}$
铜及铜合金	$\frac{R_m}{3.0}, \frac{R_{p0.2}}{1.5}, \frac{R'_{p0.2}}{1.5}$

注：

① 对奥氏体高合金钢制受压元件，当设计温度低于蠕变范围，且允许有微量的永久变形时，可适当提高许用应力至 $0.9R_{p0.2}$ ，但不超过 $R_{p0.2}/1.5$ 。此规定不适用于法兰或其他有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合；

② 如果引用标准规定了 $R_{p0.1}$ 或 $R'_{p1.0}$ ，则可以选择该值计算其许用应力；

③ 根据设计使用年限选用 1.0×10^5 h、 1.5×10^5 h、 2.0×10^5 h 等持久强度极限值。

钢制螺栓材料许用应力的取值

表 2.2.1 (2)

材料	螺栓直径/mm	热处理状态	许用应力 (MPa)，取下列各值中的最小值	
碳素钢	$\leq M22$	热轧、正火	$\frac{R'_{eL}}{2.7}$	$\frac{R'_D}{1.5}$
	M24~M48		$\frac{R'_{eL}}{2.5}$	
低合金钢、 马氏体高合金钢	$\leq M22$	调质	$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{3.5}$	
	M24~M48		$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{3.5}$	
	$\geq M52$		$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{2.7}$	
奥氏体高合金钢	$\leq M22$	固溶	$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{1.6}$	
	M24~M48		$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{1.5}$	

表中： R_m ——材料标准抗拉强度下限值，MPa；

R_{eL} ($R_{p0.2}$ 、 $R_{p1.0}$)——材料标准室温屈服强度（或0.2%、1.0%非比例延伸强度），MPa；

R_{eL}^t ($R_{p0.2}^t$ 、 $R_{p1.0}^t$)——材料在设计温度下的屈服强度（或0.2%、1.0%非比例延伸强度）MPa；

R_D^t ——材料在设计温度下经10万小时断裂的持久强度的平均值，MPa；

R_n^t ——材料在设计温度下经10万小时蠕变率为1%的蠕变极限平均值，MPa。

2.2.2 设计温度低于20℃时，取20℃时的许用应力。

2.3 焊接接头系数

2.3.1 钢制热交换器焊接接头系数按本附录表2.3.1选取。

钢制热交换器焊接接头系数

表 2.3.1

焊接接头型式	焊接接头系数	
	全部无损检测	局部无损检测
双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头	$\phi = 1.00$	$\phi = 0.85$
单面焊对接接头 (沿焊接接头根部全长有紧贴基本金属的垫板)	$\phi = 0.90$	$\phi = 0.80$

注：

① 对于无法进行无损检测的固定管板式热交换器壳程圆筒的环向焊接接头，当采用氩弧焊打底或沿焊接接头根部全长有紧贴基本金属的垫板时，其焊接接头系数 $\phi = 0.60$ 。

② 铝、铜、钛及其合金的焊接接头系数按应满足相关标准的规定。

2.4 材料

2.4.1 选材原则

(1) 热交换器用钢的标准、冶炼方法、热处理状态、许用应力、无损检测标准及检测项目均按GB 150.2附录A、D的规定。

(2) 碳素钢、低合金钢和高合金钢钢材的使用温度下限应按GB150.2第4章至第7章相关条文的规定。

(3) 熔点低于925℃的材料不得用于制造热交换器中与LNG燃料接触的管、壳和附件。

2.4.2 圆筒及封头

(1) 用于制造热交换器圆筒或封头的钢板应符合GB150.1引用标准和GB150.2的有关规定。

2.4.3 管板、平盖、法兰

(1) 用于制造管板、平盖、法兰的钢锻件应符合GB150.2中第6章的规定，且合格级别不得低于II级。

(2) 用于制造管板、管箱平盖、容器法兰的板材应符合GB150.1引用标准和GB150.2的有关规定。

2.4.4 换热管

(1) 换热管应符合GB150.2和GB151引用标准的规定。

2.4.5 螺柱、螺栓、螺母

(1) 螺柱、螺栓用钢的标准、使用状态、许用应力按GB150.2第7章及表12、表13、表14、表16和表18的有关规定。

(2) 螺母用钢的标准、使用状态应满足GB150.2第7章及表15和表17的有关规定。

(3) 螺柱、螺栓的硬度宜比螺母稍高。

2.5 结构设计和计算

2.5.1 热交换器的结构设计和计算应满足GB151的相关要求。

第3节 检验与试验

3.1 一般规定

3.1.1 热交换器的制造、检验除应满足本附录要求外，还应满足GB150.1、GB150.4和GB151的有关规定。

3.2 无损检测

3.2.1 热交换器焊接接头无损检测的检查要求和评定标准，应根据热交换器管、壳程不同的设计条件，按GB 150.4中的规定和图样要求执行。

3.3 压力试验

3.3.1 热交换器制成或装配完毕后，应按照以下规定进行压力试验：

(1) 内压力容器：

液压试验：

$$p_T = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^I}$$

气压试验：

$$p_T = 1.1p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^I}$$

式中： p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

$[\sigma]$ ——热交换器元件材料在试验温度下的许用应力，MPa；

$[\sigma]^I$ ——热交换器元件材料在设计温度下的许用应力，MPa。

注：

① 容器铭牌上规定有最大允许工作压力时，公式中应以最大允许工作压力代替设计压力 p 。

② 容器各元件（圆筒、封头、接管、法兰、及紧固件等）所用材料不同时，应取各元件材料的 $[\sigma]/[\sigma]^I$ 比值中最小者。

(2) 外压力容器

液压试验:

$$p_T = 1.25p$$

气压试验:

$$p_T = 1.1p$$

式中: p_T —— 试验压力, MPa;

p —— 设计压力, MPa

3.4 安装

3.4.1 应根据热交换器的结构型式,在热交换器的两端留有足够的空间来满足拆装、维修的需要。

3.4.2 应在不受力的状态下连接管线,避免强力装配。