指导性文件
GD023-2026

中　国　船　级　社

船舶应用氢燃料指南

2026

2026 年 10 月 1 日生效

北　京

简 要 说 明

为适应船舶应用氢燃料的快速发展趋势，中国船级社基于国际海事组织（IMO）2019年7月8日通过的海安会通函MSC.1/Circ.1394/Rev.2《制定国际海事组织目标型标准的一般性指南》，同时结合国家重点研发计划“氢能驱动典型船舶关键技术”项目的科研成果以及行业发展现状，在全面评估船舶应用氢燃料的目标功能要求与潜在风险的基础上，为氢能船舶的设计、建造和运营构建了基础性规范框架，并制定了氢燃料船舶设计、建造与运营的安全技术措施，形成新版《船舶应用氢燃料指南》。

《船舶应用氢燃料指南》第1篇旨在为以氢气作为燃料的船舶确立安全标准，对机械、设备及系统的布置、安装、控制和监测等方面作出规定，以期将氢能船舶、船员以及环境所面临的风险降至最低限度。

《船舶应用氢燃料指南》第2篇旨在对燃料电池发电装置在船舶上的布置和安装作出规定，以期通过燃料电池技术为船舶提供安全可靠的电能和/或热能。

总 目 录

第 1 篇 船舶应用氢燃料技术要求 I

第 2 篇 船舶应用燃料电池发电装置技术要求 II



中　国　船　级　社

船舶应用氢燃料指南

2026

第 1 篇　船舶应用氢燃料技术要求

2026 年 10 月 1 日生效

北　京

目录

第 1 章 通则 1

第 1 节 一般规定 1
第 2 节 图纸和资料 7
第 3 节 产品检验 9
第 4 节 船舶检验 10

第 2 章 船舶设计与布置 15

第 1 节 一般规定 15
第 2 节 处所位置和分隔 15
第 3 节 燃料罐布置 18

第 3 章 燃料围护系统 23

第 1 节 一般规定 23
第 2 节 压缩氢气燃料围护系统 24
第 3 节 金属合金储氢燃料围护系统 24
第 4 节 液化氢燃料围护系统 25
第 5 节 可移式压缩氢气燃料罐 25
第 6 节 可移式液化氢燃料罐 26
第 7 节 压力释放系统 27
第 8 节 液化氢燃料罐装载极限 30
第 9 节 液化氢燃料储存状态的维持 31
第 10 节 燃料围护系统内的环境控制 32
第 11 节 惰化 32
第 12 节 船上惰性气体的制造和储存 33
第 13 节 真空系统 33

第 4 章 材料和管路设计 34

第 1 节 一般规定 34
第 2 节 管路设计 34
第 3 节 材料 37

第 5 章 加注 41

第 1 节 一般规定 41
第 2 节 加注站 41
第 3 节 加注系统 42

第 6 章 燃料供应系统 44

第 1 节 一般规定 44
第 2 节 供气阀布置 44
第 3 节 用气设备处所外的燃料管系 45
第 4 节 气体安全机器处所内的燃料供应 46
第 5 节 液化氢和低温氢蒸气燃料管系 46

第 6 节 气态氢燃料管系 47
第 7 章 用气设备 48
第 1 节 一般规定 48
第 2 节 活塞式内燃机 48
第 3 节 其他用气设备 50
第 4 节 燃料重整设备 50
第 8 章 消防 51
第 1 节 一般规定 51
第 2 节 防火 51
第 3 节 灭火 52
第 4 节 探火和失火报警系统 53
第 9 章 防爆 55
第 1 节 一般规定 55
第 2 节 危险区域划分 55
第 10 章 通风 57
第 1 节 一般规定 57
第 2 节 燃料罐接头处所 58
第 3 节 机器处所 59
第 4 节 燃料准备间 59
第 5 节 加注站 59
第 6 节 双壁管 59
第 11 章 电气装置 60
第 1 节 一般规定 60
第 12 章 控制、监测和安全系统 62
第 1 节 一般规定 62
第 2 节 监测与控制 63
第 3 节 气体探测 65
第 4 节 监测、控制和安全系统功能 66
第 13 章 氢燃料动力船舶自动化要求 70
第 1 节 一般规定 70
第 2 节 周期无人值班机器处所 AUT-0 附加标志的要求 70
第 14 章 操作、演练、培训及人员保护 73
第 1 节 操作要求 73
第 2 节 操作演练 76
第 3 节 培训 76
第 4 节 人员保护 77
第 15 章 氢燃料动力系统预设技术要求 78
第 1 节 一般规定 78

第 2 节 预设技术要求 78
第 3 节 图纸和资料 81
第 4 节 检验 81

第1章 通则

第1节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇适用于船长20m及以上的使用氢（压缩氢、液化氢和金属合金储氢）为燃料或预设氢燃料动力系统的钢质或其他等效材料[①]建造的船舶（以下简称氢燃料动力船舶）。船长小于20m的钢或其他等效材料船舶应用氢燃料，可参照本篇相关规定执行。

1.1.1.2 氢燃料动力船舶除应满足本篇的要求之外，还应满足CCS《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》或《国内航行船舶入级和检验规则》或《内河船舶入级规则》等规范（以下简称相关规范）的相应要求。此类船舶尚应满足船旗国主管机关的有关要求（如有时）。对于采用燃料电池或重整装置制氢的船舶，除上述要求外，还应满足本指南第2篇的要求。

1.1.2 定义

除本节明确规定者外，CCS《船舶应用天然气燃料规范》的相关定义适用于本篇。

1.1.2.1 燃料：本指南所称燃料特指氢燃料。氢系指化学式为H_2的物质，本指南提及的氢既包括气态，也包括液态，还包括气液两相共存态。

1.1.2.2 压缩氢：系指以高于标准大气压的压力所储存的气态氢。

1.1.2.3 液化氢：系指经液化形成的液态氢。

1.1.2.4 低温氢气：系指温度足够低（通常在-183℃及以下），可能导致周围空气发生冷凝的氢蒸气。

1.1.2.5 冷凝空气：系指因接触低温环境导致气体组分发生液化或固化相变现象的空气。

1.1.2.6 低温吸附：系指低温系统中气体或其他物质泄漏进入真空绝热空间后，被吸附在低温系统内部深冷表面并固化的现象。

1.1.2.7 氧气富集/富氧：系指空气因低温液化导致氧气体积浓度超过23.5%的现象。

1.1.2.8 金属合金储氢：系指采用镧系、钛系、钒系等过渡金属与氢气反应生成的金属间氢化物的储氢方式，通过加热等方式可将氢气释放出来。

1.1.2.9 非惰化环境：系指氧气浓度超过3%的大气环境。

1.1.2.10 自燃：本指南特指氢在无外部点火源的情况下，因低点火能量触发（如静电放电、扩散点燃等）引发的燃烧现象。

1.1.2.11 渗透：系指液体或气体在分子层面穿透固体材料（如膜、衬里或绝缘层）的过程。氢渗透特指氢分子穿过结构材料导致氢泄漏的现象。

1.1.2.12 渗透性：系指材料允许液体或气体无缺陷通过的难易程度的指标。

1.1.2.13 二层环围：系指为氢燃料设备和管道提供气密和液密屏障的封闭结构，包括但不限于双壁管与通风导管。

1.1.2.14 燃料罐：系指船上用于储存氢作为燃料的容器。本篇所述燃料罐包括压缩氢、液化氢及金属合金储氢燃料罐。

1.1.2.15 压缩氢气燃料罐：系指用于储存压缩氢气燃料的容器。

1.1.2.16 氢气瓶：系指公称压力不大于70MPa，用于储存压缩氢气的可重复充装气瓶。氢气瓶是压缩氢气燃料罐的一种。

---

① 参见 SOLAS 第 2-2 章第 1.3.43、《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2-2 章 1.2（2）以及《内河船舶法定检验技术规则》第 5 篇第 3 章 3.1.6.2 定义。

1.1.2.17 液化氢燃料罐：系指用于储存液化氢燃料的容器。

1.1.2.18 金属合金储氢燃料罐：系指由燃料罐外壳、金属合金、泄压装置、截止阀及其他附属装置与内部组件构成，以氢气作为唯一对外传输介质且可重复充装的储氢容器。

1.1.2.19 可移式燃料罐：系指非永久安装在船舶上的氢燃料罐，具有确定的容量，配备用于燃料调节的服务部件和储存氢燃料所需的结构部件。可移式燃料罐应设计为在无需拆除其结构设备的情况下即可卸下至岸上充装，并包含用于转移及在满载/空载条件下固定的结构部件。公路罐车、铁路罐车和中型散装容器不视为可移式燃料罐。

1.1.2.20 服务部件：系指可移式燃料罐中用于测量、充装、排放、通风、安全、加压和冷却的装置。

1.1.2.21 结构部件：系指可移式燃料罐中为安全容纳和运输氢燃料所需的全部承重结构件的组合，包括框架、支架、容器外壳、吊环等。

1.1.2.22 转移：系指将可移式燃料罐从一个位置移动到另一个位置的过程，包括将其与船舶设施（如氢供应系统、通风系统、控制、监测和安全系统等）进行分离的操作。

1.1.2.23 多单元气体容器（MEGC）：系指通过总管互连并组装在框架内的多个压缩氢气燃料罐单元（如气瓶、长管或气瓶集束装置）组成的集成系统，其包括输送气体所需的服务部件和结构底座。

1.1.2.24 柔性连接装置：系指可移式燃料罐与船舶固定设施连接所需的全部机械、电气及控制组件。

1.1.2.25 压力释放装置（PRD）：系指用于在压力即将上升到超过预定最大压力之前释放容器内物质，以防止容器破裂的装置。

1.1.2.26 温度驱动安全泄压装置（TPRD）：系指用于在温度即将超过预定最高温度之前释放容器内物质，以防止容器破裂的装置。

1.1.2.27 压力释放阀（PRV）：系指在预设压力水平下开启以防止容器过压破裂的装置，可在达到回座压力后重新关闭，以防止容器内物质进一步排出。

1.1.2.28 气体燃烧装置（GCU）：系指通过热氧化处理过量燃料蒸气的装置。

1.1.2.29 紧急脱离系统（ERS）：系指能够通过触发紧急脱离装置，使受注船与加注船之间的连接管路安全分离的系统。

1.1.2.30 紧急脱离装置（ERC）：系指通过在预设截面施加外力，或在紧急情况下手动/自动激活，以实现加注臂（加注软管）与船舶连接管路快速、无泄漏（干式）脱离的装置，是紧急脱离系统的主要部件。

1.1.2.31 燃料罐处所：系指由船舶结构所围蔽、其内部设有燃料罐的处所。如燃料罐的接头位于燃料罐处所内，则该处所也视作燃料罐接头处所（如氢气瓶间）。

1.1.2.32 燃料罐接头处所：系指环围燃料罐所有接头和阀门的处所。

1.1.2.33 氢-燃油发动机：系指既可同时使用氢燃料和燃油（由燃油引燃或火花塞等引燃），又可单独使用燃油的发动机。

1.1.2.34 单一燃料氢发动机：系指仅能依靠氢燃料运转而不能切换到以任何其他类型燃料的发动机。掺氢发动机若仅设一种燃料模式，也属于单一燃料氢发动机。

1.1.2.35 氢-其他燃料发动机：系指可以使用除燃油以外相互独立的两种或多种不同燃料（其中之一为氢燃料）的发动机。

1.1.2.36 燃料电池：系指能将燃料中的化学能通过电化学反应直接转化为电能和热的能源转化装置。

1.1.2.37 电化学氧化：系指氢与氧化剂通过电化学反应将化学能转换为电能的过程。

1.1.2.38 异常情况：系指船舶系统或设备出现非正常运行状态，且不会对船舶本身、船员、乘客或水生物构成威胁的情况。

1.1.2.39 紧急情况：系指船舶系统或设备出现非正常运行状态，且会对船舶本身、船员、乘客或水生物构成威胁的情况。

1.1.2.40 合理可预见事件：系指符合以下情形的事件：

⑴已经发生且可能再次发生的事件；

⑵尚未发生但被认为有可能发生的事件；

⑶已计划好的事件（如纳入指导紧急操作程序等文件的事件）。

1.1.2.41 安全系统：系指独立于控制系统的自动化系统，其目的是在出现异常情况或紧急情况时，将燃料供应系统恢复至安全状态，以便采取补救行动。该系统具备手动或自动触发功能。

1.1.2.42 紧急切断（ESD）：系指当出现重大紧急情况时，需立即无延迟地执行的停止氢燃料发动机/燃料电池运行、切断燃料供应及非防爆电气设备供电等安全操作，旨在避免对周围环境和人员造成损害。

1.1.2.43 受控切断（CSD）：系指在正常运行期间，或由于轻微技术异常而触发的停止氢燃料发动机/燃料电池、重整装置和供气系统的操作。该操作是由自动化系统（如氢燃料发动机/燃料电池主控制器）控制执行，以保护设备和周围环境的安全。

1.1.2.44 不可接受的动力损失：对国际航行船舶，系指根据SOLAS公约第II-1章第26.3条的规定，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：

⑴维持船舶推进和正常电力供应所需总功率的60%；或

⑵维持所有重要设备和船舶常用设备供电的情况下，无法保证船舶航速不低于设计航速的50%。

1.1.3 目标及功能要求

1.1.3.1 本篇的目标是为氢燃料动力船舶相关机械、设备和系统（特别是推进、辅助发电和/或其他用途的设备）的布置、建造和安装提供标准，并使其对船舶、船员和环境构成的风险降至最低。

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

⑴系统的安全性、可用性和可靠性应与同类型全新常规燃油主机和辅机相同；

⑵应能通过布置和系统设计，将氢燃料相关事故发生的概率及其后果限制在最低水平。当燃料泄漏或风险降低措施失效时，应启动必要的安全措施；

⑶应确保在单一故障条件下，氢燃料装置的风险管控措施和安全措施不会引发不可接受的动力损失；

⑷应尽量限制危险区域的范围，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；

⑸危险区域内应仅安装操作所必需的设备，且此类设备应具备相应的合规性认证；

⑹应能防止易爆、易燃或有害气体的意外积聚；

⑺应适当防护燃料围护系统和燃料管系的部件，以免其遭受外部损伤；

⑻应将氢释放源，以及危险区域内的着火源的数量减至最少，以降低爆炸发生的概率；

⑼应设置安全和合适的燃料供应、储存和加注装置，确保其在所有预定工况下能接收和容纳规定状态的燃料而不发生泄漏。除因安全原因必须排放外，系统应设计成能在所有正常运行状态（包括闲置状态）下不对外排放氢气；

⑽应设置经适当设计、构造和安装的氢燃料管系、围护和超压释放装置，以实现其预定用途；

⑾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、可靠地运行；

⑿具有非惰性环境且内部存在氢释放源的舱室，其布置和位置应使其中任何一处发生火灾或爆炸时，不会导致不可接受的动力损失，也不会致使其他舱室的设备无法操作；

⒀应设置合适的控制、报警、探测和切断系统，以确保氢燃料系统安全、可靠地运行，并尽可能限制故障后果；

⒁应在所有相关处所和区域设置有效的燃料泄漏探测措施；

⒂应设置与危险程度相匹配的防火、探火和灭火措施；

(16)应确保燃料系统和用气设备的调试、试验和维护满足在安全性、可靠性和可用性的目标；

(17)应评估技术文件中的系统和部件是否符合下述标准和原则：

① 所采用的适用规范、指南、设计标准；

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均不应导致不安全或不可靠的状况；

(19)应采用必要的措施，防止形成非合理可预见富氧或缺氧环境，以及由于低温导致的冷凝空气沉积物（固体）或液池（液体）的产生和积聚。

1.1.4 附加标志

1.1.4.1 对于氢燃料动力船舶，经船东或船厂/设计单位申请并经CCS审图与检验，确认符合本篇第1章至第13章的相关规定后，可授予Hydrogen Fuel附加标志。具体含义如下：

Hydrogen Fuel：主推进系统和/或辅助机械使用氢为燃料的船舶。

1.1.4.2 对于氢燃料动力系统预设的船舶，经船东或船厂/设计单位申请并经CCS审图与检验，确认符合本篇第15章的相关规定后，可授予HF[①] Ready 1、HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志。具体含义如下：

(1)HF Ready 1：针对氢燃料动力系统预设进行原则性图纸设计和认可，确保船舶符合将来可使用氢燃料动力系统的基本要求，船上未实际安装氢燃料动力系统相关的设备和系统，可申请HF Ready 1附加标志；

(2)HF Ready 2：针对氢燃料动力系统预设进行详细图纸设计和认可，确保拟预设的氢燃料动力系统能够满足本篇相关要求，船上未实际安装氢燃料动力系统相关的设备和系统，可申请HF Ready 2附加标志；

(3)HF Ready 2（X）：在满足HF Ready 2要求基础上，船上已部分安装氢燃料动力系统相关设备或系统，并通过CCS检验认可，可申请HF Ready 2（X）附加标志，例如HF Ready 2（S,T,……)。后缀X具体含义如下：

① 相关船体结构已进行加强，氢燃料罐支撑构件已安装，由大写字母S表示；

② 氢燃料罐及其围护系统已安装，由大写字母T表示；

③ 氢燃料管路系统已安装，由大写字母P表示；

④ 氢燃料电池模块已安装，由大写字母FC表示；

⑤ 使用氢燃料的主推进发动机已安装，由大写字母M表示；

⑥ 已考虑氢燃料动力系统相关所有危险区域划分，且上述区域内电气设备均已满足相应防爆要求，由大写字母D表示。

1.1.4.3 氢燃料动力系统预设附加标志授予后，在氢燃料动力系统实船安装改造之前，如船舶进行涉及该系统的改装，则相关修改图纸需提交CCS审查。

1.1.4.4 氢燃料动力系统安装改造完成并经CCS按本篇检验合格后可授予Hydrogen Fuel附加标志，同时撤回氢燃料动力系统预设附加标志。

1.1.5 替代设计

1.1.5.1 对本篇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，CCS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篇要求者相等的效能。

1.1.5.2 替代设计的等效性应按照CCS《船舶替代设计和布置应用指南》的规定进行证明并经CCS批准。

1.1.5.3 CCS不允许用操作方法或管理程序替代本篇规定的特定附件、材料、仪表、设备的部件或其型号。

① HF 为 Hydrogen Fuel 的缩写。

1.1.6 风险评估

1.1.6.1 风险评估的目的是识别并评估所涉及的风险，旨在消除或减轻对船上人员、环境、结构强度或船舶完整性的不利影响。

1.1.6.2 应在本篇有明确要求的情况下进行风险评估，以确保因使用氢燃料而对船上人员、环境、结构强度或船舶完整性构成的风险均得到处理。风险评估应涵盖所有可合理预见的故障情况，并考虑其与物理布局、操作和维护有关的危险。

1.1.6.3 风险评估应特别考虑氢系统的完整性，着重评估其防止和隔离泄漏的能力，并分析潜在的点火机制和点火后果。风险评估应特别考虑包括但不限于以下氢相关风险：

(1)共性风险

① 氢脆；

② 自然渗透性；

③ 泄漏；

④ 点火源和自燃机制；

⑤ 喷射火、闪火、爆燃、爆轰及衍生效应。

(2)液化氢燃料系统风险

① 低温影响；

② 空气及其他气体冷凝；

③ 氧气富集；

④ 低温吸附；

⑤ 超压失效。

(3)压缩氢燃料系统风险

① 高压泄漏；

② 泄压装置开启。

(4)可移式燃料罐风险

① 吊装作业；

② 连接/断开操作；

③ 附加泄漏源；

④ 燃料罐的系固装置失效；

⑤ 燃料罐供应管路的意外断裂；

⑥ 每次换罐操作中氢系统的吹扫、除气、置换及充气过程。

1.1.6.4 风险评估过程应证明本章1.1.3.1的安全目标和本章1.1.3.2的功能性要求已得到充分满足。

1.1.6.5 应采用可接受和公认的风险分析技术[①]进行风险分析，旨在尽可能消除各种风险；对无法消除的风险，应视需要予以减轻。各种风险的详细情况及减轻风险的方法应形成文件，并提交CCS备查。

1.1.6.6 爆炸和火灾后果限制

(1)因氢气泄漏在开敞甲板或非惰化舱室（含氢气泄漏源）内发生的爆炸或火灾，不应导致：

① 非事故所在舱室的系统或设备损坏或功能失效；

② 船舶损坏，主甲板下方进水或出现任何渐进式进水；

③ 正常工作情况下位于作业区域或起居处所的人员受伤；

④ 配电所需的控制站和配电间的正常运行受到干扰；

⑤ 救生设备或其关联释放装置失效；

⑥ 爆炸受损舱室外的消防设备功能失效；

⑦ 影响船舶其他位置，进而引发涉及货物、气体或燃油等的连锁反应；

① 参见 CCS《氢能驱动船舶风险评估指南》。

⑧ 阻碍人员接近救生设备或阻碍逃生路线；

⑨ 影响燃料围护系统。

(2)具有二层环围结构的燃料管道和设备不视为潜在的氢气泄漏源。

1.1.6.7 爆炸风险分析

(1)应对船舶进行爆炸风险分析（ERA），以详细评估爆炸风险。该分析旨在明确设计和布置是否适用于本章1.1.6.6中列出的氢气爆炸对人员、设备和结构的可能性和后果。爆炸风险分析应在本篇有明确要求时，或氢燃料储存、加注和供应系统的设计、布置和安装采用了本节1.1.5规定的替代设计时开展。应根据分析结论，视情况采取一种或多种措施，将泄漏导致的爆炸风险降至最低。这些措施可包括采用定制化的轻质且能快速动作的泄爆板、进一步降低环境氧化剂浓度、抑制爆炸后果以及设定安全距离，并符合本节1.1.6.8的要求。

(2)爆炸风险分析应涵盖与氢燃料系统相关的全部合理可预见的场景，包括燃料系统的正常运行、启动、正常停机、停用及紧急停机，同时结合船舶运营工况一并考虑，如航行（包括受限水域航行）、操纵、靠泊、维护/检查等。

① 对于完全由惰化和/或真空二层环围结构保护的系统，爆炸风险分析应至少考虑以下合理可预见的场景：

(a) 因绝热层受损，液化氢燃料罐通过燃料罐透气系统释放；

(b) 因泄压需要，压缩氢通过燃料罐透气系统释放；

(c) 从与燃料罐透气系统不同的其他出口泄漏至二层环围结构中所导致的氢气泄漏；

(d) 加注过程中因意外事件导致的氢气释放。

② 对于采用单壁燃料管道的系统，应考虑因合理可预见泄漏引发的释放。

③ 对于采用通风双壁管道的系统，应考虑双壁管环形空间中合理可预见泄漏引发的释放，包括相关通风出口的释放。

(3)爆炸风险分析应至少确定所评估的场景的下列信息：

① 引发泄漏的危险事件；

② 工艺条件（如温度、压力等）；

③ 泄漏位置；

④ 泄漏孔径特征（如几何形状、排放系数等）；

⑤ 泄漏持续时间；

⑥ 泄漏介质相态（气态、液态、两相态）；

⑦ 泄漏方向（如垂直向下等）；

⑧ 点火机制与特性（时间/位置）；

⑨ 处所/区域通风条件。

(4)在进行本节1.1.6.7（1）中所述爆炸风险分析时，应根据具体设备设定泄漏孔径，各设备的泄漏孔径可参考业内数据库进行选取。若无特殊要求或明确的泄漏孔径选择标准，可参考表1.1.6.7进行选取。

基于孔径的泄漏尺寸定义示例 **表1. 1. 6. 7**

设备	尺寸
管道	若 D≤100 mm，则典型泄漏尺寸为 $0.01D^2(mm^2)$ 若 D>100 mm，则典型泄漏尺寸为 100 mm^2
法兰	垫片破裂：π Dt/4
阀门	使用螺栓紧固时螺栓失效：螺栓面积=πDBt/4
软管	全口径破裂：π D^2 /4
管接头和螺纹连接	全口径破裂：π D^2 /4
表中 D 为管道公称通径（mm），t 为垫片厚度（mm），DB 为螺栓直径（mm）	

1.1.6.8 用于限制爆炸后果的抑爆、隔爆或泄爆装置应能实现：

(1)其布置能有效降低氢爆炸压力峰值及火焰传播速率；

(2)自动触发无需人工干预；

(3)动作时不危害处所外部人员/设备；

(4)动作时不受障碍物阻滞；

(5)拆换时不会导致不可接受的动力损失。

1.1.7 规范引用文件

1.1.7.1 凡本篇引用的相关文件条款，均构成本篇的组成部分。对于未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本篇。

第2节 图纸和资料

1.2.1 送审图纸和资料

1.2.1.1 氢燃料动力船舶除按CCS相关规范的要求提交图纸资料外，还应将下列图纸资料提交CCS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。对于独立式燃料罐，还包括防撞措施的布置图；对于可移式燃料罐，还包括燃料罐支撑、固定装置和柔性连接装置的布置图；

③ 燃料准备间布置图（如设有）；

④ 燃料加注系统布置图（含加注接头位置）；

⑤ 燃料罐处所、燃料罐接头处所的出入口、透气管和其他开口的布置图；

⑥ 危险处所的通风管、门和开口的布置图；

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 燃料供应系统布置图；

⑨ 空气闸（如设有）位置和结构图；

⑩ 气密舱壁贯穿图（如设有）；

⑪ 集液盘或其他防护措施的说明文件（如设有）；

⑫ 危险区域划分图。

(2)管系

① 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、U形弯或类似弯头、螺纹接头等类似装置的技术文件；

③ 燃料管路系统中法兰、阀和其他装置的图纸和说明；

④ 燃料管路的材料、焊接、焊后热处理和无损检测试验技术文件；

⑤ 燃料管路压力试验（强度和气密性试验）技术文件；

⑥ 涵盖阀件、附件以及燃料（液体或气体）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清除燃料加注管内残余燃料措施的技术文件；

⑨ 与燃料系统有关的冷却水系统或热交换系统（如设有）技术文件和说明；

⑩ 除气和惰性气体吹扫系统布置图和说明；

⑪ 燃料准备间和燃料罐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；

⑬ 对于可移式燃料罐，还包括燃料供应连接管路、透气连接管路和热交换器的加热介质供应连接管路（如设有）的详细图纸或说明。

⑶通风系统

① 危险处所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；

⑷泄漏探测系统

① 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 探测器的规格，包括报警装置。

⑸控制、监测和安全系统

① 燃料罐监控系统图及布置图，包括传感器、报警点布置等；

② 氢燃料压缩机控制和监控系统图及布置图（如设有）；

③ 燃料加注和供应系统的电气系统图及监控明细表；

④ 对于可移式燃料罐，还包括燃料罐的控制、监测和安全系统与船舶系统连接的详细图纸或说明；

⑤ 与燃料相关的其他控制、监测和安全系统图；

⑥ 紧急切断（ESD）系统的布置，应包含下述信息：

(a) 关闭动作的详细信息（包括燃料供应系统、燃料加注系统等）；

(b) 手动紧急切断按钮的位置。

⑹消防设备和系统

① 水雾系统（包括管路、阀件、喷嘴和附件，如设有）布置图和说明（容量计算等）；

② 火灾探测和报警系统图及布置图；

③ 燃料罐处所、燃料罐接头处所及其通风管、加注站（如适用）、机器处所结构防火布置图；

④ 固定式灭火系统布置和说明；

⑤ 手提式/推车式灭火器布置图。

⑺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[①]，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。

⑻试验大纲及试验程序

① 与燃料有关的系泊与航行试验程序，包括所有氢管系及其阀件、附件和相关设备的功能性试验等。

注：实际图纸/文件的名称可以与上述图纸/文件不同，但内容应涵盖其要求。

⑼检查/检验计划

① 燃料围护系统的检查/检验计划。

1.2.1.2 除CCS相关规范要求的常规资料外，还应将下列图纸资料提交CCS备查：

⑴设计温度低于-110℃的管路的热应力分析报告；

⑵高、低温管系的绝热布置说明；

⑶风险评估报告（见本章1.1.6.2）；

⑷爆炸风险分析报告（见本章1.1.6.7）；

① 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。

⑸对于可移式燃料罐，还包括连接软管和连接接头的说明书；

⑹透气桅出口处氢气意外点燃的CFD模拟和热辐射分析报告（见本篇第3章3.7.1.10）；

⑺应用混合动力系统的氢燃料动力船舶动力冗余性分析报告（见本篇第6章6.1.4.4）；

⑻双壁管通风能力的CFD分析或其他计算和试验报告（见本篇第6章6.4.1.1（2））；

⑼开敞甲板上的燃料管路泄漏的CFD扩散和爆炸分析报告（见本篇第6章6.6.1.3）；

⑽用于维持燃料罐压力和船体结构温度在正常营运限制内的发配电系统的FMEA分析报告（见本篇第11章11.1.3.6）；

⑾液化氢燃料罐因低温传导可能受到影响的船体结构的温度分布和梯度的计算书和绝热系统热平衡计算书；

⑿氢燃料发动机故障下燃料安全切换分析报告（见本篇第7章7.2.1.14）。

1.2.2 船上保存的图纸和资料

1.2.2.1 除CCS相关规范要求的常规资料外，船上还应至少保存如下资料：

⑴燃料储存、加注和供应系统燃料操作手册（见本篇第14章14.1.5）。手册中应包含不同操作模式、启动、停机和故障状况下的操作和维护说明；

⑵燃料储存、加注和供应系统维护和检查计划（见本篇第14章14.1.3）。维护说明应包含启动调试、维护、检查、维修、备件和工具使用以及有关安全说明所需的图纸和资料；

⑶双燃料动力系统燃料转换（如有时）的操作手册；

⑷燃料控制、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。对于本篇第12章表12.4.1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；

⑸应急响应计划及演练手册（见本篇第14章14.2.2）。

第3节 产品检验

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 除满足本篇的要求外，产品检验还应满足CCS相关规范和产品检验指南的有关要求。

1.3.1.2 氢燃料系统相关产品应按表1.3.1.2持有证书。

氢燃料系统专有产品持证要求 表1.3.1.2

序号	部件名称	证件类别		认可模式				审图	备注
		C/E	W	DA	TA-B	TA-A	WA	PA	
1.	氢燃料罐（压力容器）	×	—	—	—	—	×	×	
2.	安全阀	×	—	—	×[4]	O	—	×	
3.	氢燃料泵	×	—	—	×	O	—	×	
4.	氢压缩机	×	—	×[4]	O	O	—	×	
5.	热交换器	×	—	×	O	O	—	×	
6.	阀门	×	—	—	×[4]	O	—	×	
7.	用于氢燃料管系的管及附件（法兰、弯头、三通等)	×	—	—	—	—	×[4]	—	
8.	氢发动机	×	—	O	×	O	—	×	
9.	氢安全系统	×	—	—	×	O	—	×	

10.	氢控制系统	×	—	—	×	O	—	×	
11.	固定式气体探测系统	×	—	—	×	O	—	×	
12.	船岸通讯系统	×	—	—	—	—	—	×	如产品包含在氢控制系统中，无需重复持证。
13.	加注应急切断控制系统	×	—	—	—	—	—	×	如产品包含在氢安全系统中，无需重复持证。

符号说明：

1）C—船用产品证书：E—等效证明文件；W—制造厂证明；×—适用；O—可选；

2）DA—设计认可；TA-B—型式认可B；TA-A—型式认可A；WA—工厂认可；PA—图纸审查。

3）×[4]—经CCS特别同意可以接受。

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，应按CCS《钢质海船入级规范》或《国内航行船舶入级和检验规则》或《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 船舶的建造中检验除应按CCS相关规范的适用要求进行检验外，尚应增加下列项目：

(1)氢燃料发动机（如设有）做安装后的检查和效用试验，验证其起动、负荷运行、正常停机、加载、减载、紧急停车、模式切换、手动和遥控操作等功能正常；

(2)燃料围护系统安装后作效用试验，验证其外观无缺陷；温度、压力测量设施及关联报警装置、液位（高位）报警装置（如设有）、溢流控制附属阀门（如设有）、安全阀及各安全保护装置、瓶阀启闭及保压功能正常；

(3)燃料加注系统安装后作效用试验，验证其氢气加注等功能正常；

(4)燃料供应系统（含热交换器）安装后作效用试验，验证其供氢、正常关断、紧急切断、吹扫、惰化及监测数据远传等功能正常；

(5)氢燃料发动机机器处所、燃料罐处所、双壁管、燃料罐接头处所（如设有）、燃料准备间（如设有）以及危险等级依赖于机械通风的处所，其通风系统/装置安装后作效用试验，验证风机及电动机运转时无异常噪音、振动及发热现象，通风管道无异常振动，风道接头气密性及风道各出口风量符合要求，且风机手动、遥控、故障报警功能正确；

(6)气体探测及报警系统做安装后的检查和效用试验，检查气体探头的安装位置、数量符合批准的图纸，验证系统的符合性及动作准确性；

(7)燃料加注系统和燃料供应系统的控制、监测和安全系统做安装后的检查和效用试验，验证数据接入、通信、报警、手动切断及紧急切断（ESD）等功能正常；

(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）装置的动作，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；

(10)确认本质安全电路的设备和电缆安装的正确性；

(11)检查防火、探火、灭火装置布置符合批准的图纸，并进行安装后的效用试验，验证管路密

性、探火与失火报警功能、灭火系统效能及消防用品定置管理均符合要求；

(12)核查氢燃料系统操作手册已在船舶上妥善保存。

1.4.3 建造后检验

1.4.3.1 年度检验：除应按CCS相关规范的适用要求进行检验外，尚应对下列项目进行检验：

(1)燃料围护系统

① 检查燃料罐铭牌是否清晰、牢固可靠，内容是否齐全；

② 检查液化氢燃料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 对燃料罐和压力释放阀进行外部检查；

④ 检查燃料罐压力、液位、温度指示装置及控制与报警装置是否处于正常状态；

⑤ 燃料罐（包括次屏壁，如设有）的外部检查。检查燃料罐外壁是否有剥蚀、腐蚀，或刮伤、凹陷、变形、焊缝缺陷、外壳结霜、冒汗等现象；

⑥ 目视检查燃料罐本体接口部位焊缝是否存在裂纹等缺陷；

⑦ 确认燃料罐安全操作程序（包括燃料罐主阀的安全控制、液位/压力容积对照表、压力释放阀紧急隔离、加注预冷要求等）保存在船上；

⑧ 燃料罐处所的一般检查；

⑨ 舱室安装的舱底污水报警器和排水方式的检查和试验（如适用）；

⑩ 安装的燃料罐主阀的遥控和就地关闭测试；

⑪ 氢气瓶还应进行下列检查和试验[①]：

(a) 外观检查；

(b) 螺纹检查；

(c) 气瓶附件检查；

(d) 内部检查；

(e) 耐压试验；

(f) 气密性试验；

(g) 无损检测（适用于钢质焊接氢气瓶和钢质无缝氢气瓶）；

(h) 焊缝检查（适用于钢质焊接氢气瓶）；

(i) 壁厚测定（适用于钢质焊接氢气瓶）；

(j) 重量（容积）测定（适用于钢质无缝氢气瓶）。

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

(3)确认燃料罐接头处所、燃料准备间、气体阀件单元处所的密封设施处于正常状态，并对燃料罐接头处所进行内部检查；

(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)检查在出现氢燃料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；

(7)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；

(8)检查发生液化氢燃料泄漏时用于保护船体结构的便携式和/或固定式集液盘及隔热材料；

---

① 相关试验要求参照 TSG 特种设备安全技术规范：《气瓶安全技术规程》。可接受检查取得“气瓶定期检验机构核准证书”的检验机构出具的有效期内的《气瓶定期检验报告》。对于第(d)-(j)项：通常每 3 年检查一次；对于存在腐蚀性气体、海水等腐蚀性环境中使用的钢质无缝氢气瓶或钢质焊接氢气瓶，每 2 年检查一次。在使用过程中，船舶所有人或经营人发现氢气瓶有下列情况之一的，应当立即向取得“气瓶定期检验机构核准证书”的检验机构申请定期检验：(1)气瓶遇明火；(2)气瓶受到冲击；(3)船舶遭受碰撞；(4)气瓶接触化学物质；(5)气瓶发生异常的声响；(6)确信气瓶已受到某种方式的损伤；(7)对气瓶的安全可靠性产生怀疑。

(9)对于包含燃料储存、加注和供应装置/部件或相关系统的处所（包括气闸、泵舱、压缩机房、燃料准备间、燃料阀间、控制室和设有气体燃烧设备的处所），应对通风系统（包括配备的便携式通风设备）进行检查。若设有报警器（例如压差和失压报警器），应尽可能对其进行操作测试；

(10)燃料供应和加注系统应尽可能验证控制、监测和自动切断系统（含手动紧急切断功能的测试）处于正常的运行状态；

(11)用于燃料储存、加注和供应（如通风、压缩、制冷、液化、加热、冷却或其他燃料处理）的管系、软管、紧急切断阀、遥控操作阀、释放阀、机械和设备，应尽可能进行检查，对管路上的膨胀接头、支架等应特别予以注意。应检查惰化方式。应尽可能确认在系统紧急切断状态下泵和压缩机的关停状况；

(12)检查危险区域的电气设备和舱壁/甲板的贯穿件（包括危险区域的进出口），以确保其符合预定用途要求，且和安装区域达到连续的适宜性，并检查维护及维修记录；

(13)检查设有燃料储存、加注、供应设备/部件或相关系统的舱室，其配备的气体探测和其他泄漏探测设备（包括指示器和报警器）应处于正常的运行状态，并根据制造商的建议检验气体探测系统的复校情况；

(14)检查燃料罐、加注站、含有氢燃料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；

(15)检查探火和灭火装置，并试验起动一台主消防泵；

(16)检查灭火系统和水雾系统是否处于正常状态；

(17)核查氢燃料发动机系统的安全操作手册；

(18)检查燃料系统使用维修记录（轮机日志等）；

(19)确认管路和燃料罐与船体电气接地；

(20)应检查航海/航行日志和运行记录，以确保气体探测系统、氢燃料供应/气体系统等的正常运行。对于液化氢燃料系统，蒸发率、惰性气体消耗量也应与气体探测记录一并检查（如适用）；

(21)制造商/建造者提供的涵盖运行、安全和维护要求以及职业健康危害（与氢燃料储存、加注、供应及燃料使用相关系统有关）的说明书和手册，应确认保存在船上；

(22)应检查危险区域的电气接地布置（包括配备的接地跨接线）；

(23)燃料加注系统

① 加注站和燃料加注系统的检查；

② 燃料加注控制、监控和切断系统正常运行状态的检验。

(24)应尽可能在工作条件下对氢燃料供气系统进行检查：

① 燃料供气系统控制、监控和切断系统正常运行状态的检验；

② 机舱的主燃料阀的遥控和就地关闭测试。

1.4.3.2 中间检验：除应按CCS相关规范的适用要求和本节1.4.3.1的要求进行检验外，尚应对下列项目进行检验：

(1)确认用于危险处所通风的机械通风风扇已备有备件；

(2)对燃料系统的压力、温度和液位仪表应进行目视检查，并应通过改变压力、温度和液位进行对比试验。对无法接近的传感器，可接受采用模拟试验的方式进行验证。此试验还应包括对报警和安全功能的验证；

(3)对真空绝热C型独立燃料罐进行真空度测试①；

(4)电气设备：危险区域的电气设备应尽实际可能地进行下列检验：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；

(5)安全系统：气体探测器、温度传感器、压力传感器、液位指示器和燃料安全系统使用的其他

① 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》。

设备，应抽样进行试验以确认其处于正常的操作状态。应验证在故障状态下燃料安全系统具有适当的响应。

1.4.3.3 特别检验：除应按CCS相关规范的适用要求和本节1.4.3.2的要求进行检验外，尚应对下列项目进行检验：

⑴燃料围护系统

① 对于设有人孔的燃料罐必须开舱，进行以下外观检查：

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

② 燃料罐连同其气、液相接管进行气密性试验[①]，试验介质应为制造商推荐的气体。进行气密性试验前，必须经燃料罐内气体成分检测合格，否则严禁用空气作为试验介质；

③ 燃料罐连同其气、液相接管进行液压试验/压力试验[②]。如果燃料罐支撑处的板、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良好，航行记录表明无任何运行不正常情况，则可免作液压试验；

④ 对所有直接与燃料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 燃料罐的压力释放阀和真空释放阀应打开进行检查，对释放阀的调定值应作校核（如适用）。如果燃料罐配备压力释放阀的主阀或引导阀设有非金属薄膜，则此非金属薄膜应能更换；

⑥ 如燃料罐包有绝缘物时，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），以确定燃料罐的状况；

⑦ 应根据批准的检验计划对燃料罐进行检查。制定检查/检验计划时，除下列明确规定者外，液化氢燃料围护系统的检验要求应满足CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第2篇第A2章A2.3.2.4或《内河散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第2篇第A1章A1.3.3.4的相关要求：

(a) 应对燃料罐的绝热情况和支撑结构布置进行外观检查。如果对结构完整性存疑，可要求进行无损检测；

(b) 没有通道开口的真空绝热C型独立燃料罐不必进行内部检查。真空监测系统（如设有）应进行检查，并查阅船上检查记录。

⑵管系

① 应检查燃料储存、加注和供应（如通风、压缩、制冷、液化、加热储存、燃烧或其他燃料处理方式）和惰性气体发生器/储存容器的所有管系，必要时，可要求移除管系和开口处的绝缘以便检查，对密封状况应作特别检查。对认为存疑的管系，应进行1.25倍压力释放阀最大允许调定值（MARVS）的液压试验。重新装配后，应对整个管系进行密性试验，若不能接受水作为试验介质且在系统投入使用前无法将管系干燥，验船师可接受其他替代试验流体或替代试验方法；

② 应打开燃料供应和加注管系的压力释放阀，用于检查、校正和功能试验。若能提供单个可辨识压力释放阀的连续、彻底的检查和重新试验记录，且航行日志证明其余阀件在上次特别检验后进行了彻底检查和试验，则可考虑对阀件（包括使用中的液化气体或蒸气释放阀的每种规格和型号）进行代表性抽样检查，并打开进行内部检查和试验；

③ 应检查所有紧急切断阀、止回阀、截止透气阀、主气体燃料阀、遥控操作阀和用于氢燃料储存、加注和供应管系压力释放阀检查的隔离阀，并验证可操作性。应抽查阀件，并打开进行内部检查。

⑶屏壁间处所和燃料罐处所的压力/真空释放阀、爆破片和其他压力释放装置，须依据设计规定及实际工况要求，适时执行打开、检查、试验和重新调整操作；

---

① 对于按照 1.4.3.1（1）完成了气密性试验且尚在检验有效期的氢气瓶，可仅对其气、液相接管独立进行气密性试验。

② 对于按照 1.4.3.1（1）完成了耐压试验且尚在检验有效期的氢气瓶，可仅对其气、液相接管独立进行压力试验。

(4)燃料处理设备

① 与燃料处理相关的燃料泵、压缩机、处理用压力容器、惰性气体发生器/储存容器、热交换器和其他使用的部件，应按照CCS相关规范对于机械装置定期检验的要求进行检查；

② 对热交换器进行拆检和效用试验；

③ 对惰性气体发生器进行检查，确认其所产生的惰性气体符合技术规格要求，且设备运行正常；

④ 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；

⑤ 将燃料供应系统中每台氢燃料压缩机打开检查，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。

(5)电气设备

① 电气设备的检查，包括电缆及其支架的物理状态及本质安全型电气设备、防爆型电气设备和增强安全电气设备的状况；

② 正压型设备和相关报警器的功能试验；

③ 对危险区域使用的未经认证的电气设备（如本指南第2篇第5章5.4.1.5所述情况），应进行断电系统的测试；

④ 对终止于或穿过危险区域和处所的电路，应进行绝缘电阻测试。

(6)安全系统

① 气体探测器、温度传感器、压力传感器、液位指示器和燃料安全系统使用的其他设备，应进行试验以确认处于正常的操作状态；

② 应验证在故障状态下燃料安全系统具有正确的响应；

③ 应根据制造商的要求，校准压力、温度和液位指示设备。

(7)将气密舱壁上的轴封拆开，检查其密封装置。若采用的油密轴封状态良好且不存在泄漏和零部件腐蚀情况，可不拆开检查；

(8)对氢燃料发动机除参考CCS相关规范对柴油机的特别检验项目进行检查外，尚应进行如下检查：对氢燃料管路的导管或罩壳作总体检验；对管道的吹扫或惰化装置进行检查。

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 本章的目的是对动力设备、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 本章与本篇1.1.3.2（1）至（3）、（5）、（6）、（8）、（12）至（15）、和（17）至（19）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1)考虑到船舶安全操作以及与船舶相关的其他危险，燃料罐和燃料管系应布置成使其在船舶发生碰撞、搁浅或货物作业导致机械损伤的概率降至最低。燃料管系的位置和布置应通过以下方式最大限度降低机械损伤的风险：

① 将管路系统布置在远离此类危险源的位置；或

② 提供机械防护措施。

(2)围蔽处所内的燃料围护系统和管路系统，其位置和布置应确保泄漏的氢气能被引导至露天的安全位置。位于开敞甲板上的燃料围护系统和管路系统，其位置和布置应避免泄漏的氢气在受限区域或通风不良区域内积聚。

(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，应布置成可燃气体或窒息性气体不会扩散进入设计时未考虑存在这些气体的处所。

(4)推进系统和燃料供应系统应设计成任何氢气泄漏后的安全动作不会导致不可接受的动力损失。

(5)应将设有用气设备或燃料管路的机器处所内发生氢气爆炸概率降至最低。

(6)含有燃料管路系统的处所，其布置应能防止因氢气泄漏导致压力积聚进而造成结构性损坏。

(7)在含有液化氢系统的处所内，燃料泄漏或储罐/管路系统的真空失效或绝缘劣化，不应损害结构材料（如船体钢材、低温合金等）的完整性。

(8)在含有液化氢系统的处所内，燃料泄漏或储罐/管路系统的真空失效或绝缘劣化，不应损害船舶安全所需的安全系统或关键部件（如消防系统、应急电源、导航设备等）的功能。

2.1.3 一般要求

2.1.3.1 除另有规定者外，氢燃料动力船舶舱室布置和系统设计应符合本章规定。

2.1.3.2 开敞甲板和围蔽处所的设计应能防止氢气积聚，不应设有阻碍氢气自由排放的障碍物。

2.1.3.3 集合站、救生设备存放处以及通往这些处所的通道不应位于危险区域内。

2.1.3.4 通向起居处所、服务处所、机舱、控制站及其他非危险处所的通风口、出入口和其他开口，不应位于危险区域内。

2.1.3.5 燃料电池处所的布置应按照本指南第2篇第2章第2节的要求执行。

第2节　处所位置和分隔

2.2.1 机器处所的设计

2.2.1.1 为了减少设有氢燃料发动机的机器处所发生气体爆炸的可能性，应采用气体安全机器处所设计。该处所应能实现在包括正常工况和异常工况在内的所有情况下，均可视为气体安全。

2.2.1.2 燃料系统发生单一故障时，不应导致气体泄漏至气体安全机器处所内。

2.2.1.3 气体安全机器处所可按常规机器处所进行布置。

2.2.1.4 机器处所限界面以内的所有燃料管路应按照本篇第6章6.4.1.1的规定采用双壁管进行布置。

2.2.1.5 通往机器处所的通道不应位于危险区域。

2.2.1.6 除非满足本篇第1章1.1.5替代设计的要求，并考虑本篇第1章1.1.6.3所列的相关风险后，经CCS同意，可采用其他型式机舱设计。

2.2.2 燃料管系的位置和防护

2.2.2.1 燃料管路距离船体外板应不少于800mm。

2.2.2.2 燃料管路（无论其是否设有双壁管）不应直接通过起居处所、服务处所、电气设备间或控制站。

2.2.2.3 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。

2.2.2.4 氢管路的低温外表面应设有绝热防护措施防止其暴露于空气中，以避免造成氮气或氧气冷凝。

2.2.2.5 若液化氢燃料管路采用真空绝热结构形式，应设置防止真空失效的保护装置。

2.2.3 燃料准备间

2.2.3.1 用于燃料准备设备（如泵、压缩机、蒸发器和热交换器，不包括燃料电池内部设备，下同）一般应布置于开敞甲板或具有良好自然通风条件且不会阻碍氢气自由扩散的区域。

2.2.3.2 尽管本节2.2.3.1已有规定，蒸发器、热交换器和潜液泵用电机，也可布置在燃料罐接头处所（如本节2.2.4或2.2.5规定的处所）内。

2.2.3.3 尽管本节2.2.3.1已有规定，若燃料准备设备满足本篇第1章1.1.5替代设计的要求并符合下列要求后，也可布置在除本节2.2.3.2规定以外的围蔽或半围蔽处所内。

⑴燃料准备间的布置应考虑本篇第1章1.1.6.3所列的相关风险，并特别考虑以下因素：

① 环境控制措施；

② 通道（对于应急通道，应至少设置两条逃生路线，确保紧急情况下人员可安全撤离）；

③ 自燃；

④ 点燃；

⑤ 惰性气体的冷凝（单一故障时）；

⑥ 防火；

⑦ 防爆。

⑵燃料准备间与A类机器处所（海船）/重要机器处所（内河船）相邻时应采用A-60级防火分隔；

⑶燃料准备间的限界面包括出入门应为气密型；

⑷燃料准备间应设有从开敞甲板进入的独立通道，该通道应不用于任何其他处所。

⑸燃料准备间的结构设计应考虑液化氢或压缩氢气泄漏可能产生的最大压力。

⑹燃料准备间舱壁材料的许用温度应满足其可能承受的最低温度要求。

⑺燃料准备间应配备压力释放装置，在超压时能够将氢气泄放至安全位置。

2.2.3.4 如压缩机/泵由穿过舱壁或甲板的轴驱动，则舱壁贯穿件应为气密型，以防止可燃气体泄漏至驱动机械所在舱室。

2.2.3.5 若本节2.2.3.4所述压缩机/泵设置于舱内，其驱动轴的填料函、轴承和泵壳应装设温度传感装置，在压缩机/泵控制站内应能自动触发连续听觉和视觉报警信号。

2.2.4 液化氢燃料罐接头处所

2.2.4.1 除非位于开敞甲板（具备自然通风条件且氢气泄漏可无阻碍排放），否则燃料罐接头、法兰及阀应布置于燃料罐接头处所内。

2.2.4.2 燃料罐接头处所内所有接触液化氢的系统和部件应设置二层环围结构，以安全容纳燃料

系统可能发生的泄漏。二层环围结构应设计为真空或符合本篇第6章6.4.1.1（1）要求的惰化处理。

2.2.4.3 燃料罐接头处所边界应与其他舱室保持气密。

2.2.4.4 燃料罐接头处所舱壁材料的设计温度应与其可能承受的最低温度相匹配。

2.2.4.5 燃料罐或管路的真空绝缘失效时，不应因低温导致燃料罐接头处所内的必要安全功能失效。

2.2.4.6 除非燃料罐接头处所的入口为独立直达开敞甲板的通道，否则应通过螺栓式舱口进入。该螺栓式舱口应位于通过气密构造的保护性入口空间（需经气闸室进入）内。

2.2.4.7 燃料罐接头处所的最大潜在泄漏量应根据燃料系统、探测及切断系统的详细设计确定。

2.2.4.8 燃料罐接头处所的探测和紧急切断系统应根据可能出现的泄漏情景进行设计和设定。

2.2.5 压缩氢或金属合金储氢燃料罐接头处所

2.2.5.1 除非位于开敞甲板（具备自然通风且氢气泄漏可无阻碍排放），否则燃料罐接头、法兰及阀应布置于燃料罐接头处所内。

2.2.5.2 燃料罐接头处所应能够防止泄漏的气体被点燃。

2.2.5.3 燃料罐接头处所的布置应尽可能减少处所容积。

2.2.5.4 燃料罐接头处所边界应与其他舱室保持气密。

2.2.5.5 燃料罐接头处所应设计成能承受在最大潜在泄漏工况下产生的最大积聚压力。

2.2.5.6 燃料罐接头处所应配备压力释放装置，在超压时能够将氢气泄放至安全位置（如透气桅）。

2.2.5.7 燃料罐接头处所的最大潜在泄漏量应根据燃料系统、探测及切断系统的详细设计确定。

2.2.5.8 燃料罐接头处所的探测和紧急切断系统应根据可能出现的泄漏情景进行设计和设定。

2.2.6 舱底水系统

2.2.6.1 可能出现氢燃料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。

2.2.6.2 燃料罐处所的舱底水系统设有惰性环境控制时不被视为危险，应独立于其他处所的舱底水系统。

2.2.6.3 舱底水系统应设置舱底水阱高位报警及低温报警装置（若存在液化氢泄漏可能）。

2.2.6.4 当氢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，用于处理泄漏至燃料罐处所、屏壁间处所或绝热处所的任何液体。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。

2.2.7 集液盘

2.2.7.1 凡存在燃料泄漏导致空气冷凝或冻结，进而可能损坏船体结构的位置，或对泄漏影响区域及冷凝空气对船体结构影响区域需予以限制的位置，应设置集液盘。

2.2.7.2 集液盘及其管系应由合适的材料制成。

2.2.7.3 集液盘与船舶结构之间应采取隔热措施，以免当液体燃料泄漏后，其周围船体或甲板结构因低温受损。

2.2.7.4 每一个位于露天甲板的集液盘均应设置一个排水阀，以将雨水排放至舷外。

2.2.7.5 每一个集液盘应具有足够的容量和隔热能力（可考虑主动加热装置），以确保可以容纳并处理基于风险评估得出的最大潜在泄漏量。

2.2.7.6 当集液盘用于收集冷凝空气时，应通过设计确保在任何情况下，泄漏的液化氢不会与液氧冷凝物混合。

2.2.8 围蔽处所入口和其他开口的布置

2.2.8.1 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，则应设置符合本节2.2.9要求的空气闸。

2.2.8.2 如果燃料准备间或燃料罐处所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，则应设置符合本节2.2.9要求的空气闸。

2.2.8.3 除非通向燃料罐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。

2.2.8.4 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。

2.2.8.5 燃料罐处所、惰化处所应在出入口附近设置防止人员意外进入的安全标识。

2.2.9 空气闸

2.2.9.1 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门，两扇门之间距离至少为1.5m，但不大于2.5m。此类门应为自闭式，无任何门背扣装置。通向危险区域的空气闸门槛高度应不小于300mm。对于海上航行船舶，空气闸门槛高度还应符合《载重线公约》（国际航行海船）或《国内航行海船法定检验技术规则》第3篇载重线（国内航行海船）对干舷甲板和上层建筑甲板开口的相关规定。

2.2.9.2 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。

2.2.9.3 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，不会有气体泄漏至安全处所。此类事故应按照本篇第1章1.1.6的要求通过风险分析进行评估。

2.2.9.4 空气闸应具有合适的几何形状，以便于排出积聚的氢气。

2.2.9.5 空气闸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。空气闸不应用于其他目的（如用作储藏室等）。

2.2.9.6 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，或空气闸内部探测到可燃气体时，应发出声光报警。

2.2.9.7 对于设有通向甲板以下危险处所通道的非危险处所，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。当空气闸失压时，应在有人值守的位置发出声光报警，以显示失压情况及空气闸门开启状态。

2.2.9.8 若空气闸作为通向惰化处所（如液化氢燃料罐接头处所）的出入口时，应设置通风系统和缺氧探测装置。

2.2.9.9 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节 燃料罐布置

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 燃料罐的布置应使其在船舶发生碰撞或搁浅后受损的概率降至最低。

2.3.1.2 除另有规定者外，燃料罐应布置在开敞甲板上，以获得足够的自然通风。位于开敞甲板上的缓冲罐或类似设备的布置也应确保有足够的自然通风，以防止逸出的可燃气体积聚。

2.3.1.3 氢燃料应尽可能储存在主甲板以上较高的位置，且尽量远离驾驶室、起居处所和服务处所。

2.3.1.4 燃料罐应予以保护，以防止机械损伤。

2.3.1.5 每个燃料罐应按照相关规范设置电气接地措施，接地点不应少于2处。

2.3.1.6 燃料罐的所有接头、配件、法兰和阀应满足本章2.2.4或2.2.5的要求。

2.3.1.7 为防止船舶因碰撞或搁浅事故导致燃料罐遭受外力伤害，燃料罐在船上的布置，应确保燃料罐的最外层结构及其必需附件（含燃料罐瓶头阀、燃料罐安全泄放装置）满足以下要求：

⑴对于海船：

① 距离舷侧不少于*B*/5或11.5m，取小者（在夏季载重水线平面上，从舷侧向舷内沿垂直于船体

中心线方向量取）；

② 距离船底不少于*B*/15或2m，取小者（自船底外板中心线量起）；

③ 在任何位置，与船体外板或艉端点的距离不应小于如下规定：

(a) 对于客船：*B*/10，且不得小于0.8m；

(b) 对于货船：

当$V_c \leqslant 1000m^3$，取0.8m；

当$1000m^3 < V_c < 5000m^3$，取$0.75+0.2V_c/4000m$；

当$5000m^3 \leqslant V_c < 30000m^3$，取$0.8+V_c/25000m$；

当$V_c \geqslant 30000m^3$，取2m。

其中，V_c相当于20℃时单个燃料罐的设计总容积，包含气室和附属物。

⑵对于内河船舶：

① 距离舷侧不少于*B*/10或1.0m，取小者（在满载水线平面上，从舷侧向舷内沿垂直于船体中心线方向量取）。对于勘划附加载重线的船舶（如集散两用船等），燃料罐距离舷侧在不同满载水线情况下均应满足该要求；

② 距离船底不少于*B*/15或2m，取小者（自船底外板中心线量起）；

③ 在任何位置，距离船体外板或艉端点不少于0.8m。

⑶对于客船，燃料罐应位于距首垂线0.08*L*的横截面后方；对于货船，燃料罐应位于防撞舱壁后方。

其中：

B（单位：m）为船舶在船中处量至两舷肋骨型线的最大宽度（对海船）；*B*系指在船舶最宽处两舷舷侧板内表面之间的水平距离，舷伸甲板和护舷材等突出物不计入（对内河船）。对多体船，*B*为片体宽度。

L（单位：m）为按载重线定义的船长。

2.3.1.8 对于海船，可用下述计算方法替代本节2.3.1.7（1）①的规定：

⑴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；

⑵f_{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罐最后端限界面的距离，*x*2 的值应相当于自船舶艉端点至燃料罐最前端限界面的距离。

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罐外层限界面的概率。其公式为：

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

式中，当燃料罐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罐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，$f_v = 0.2 - 0.2\dfrac{(H-d)-7.8}{4.7}$　　(f_v应取不小于 0)

式中：*H* ——从船舶基线至燃料罐底部限界面的距离，m；

d ——最大吃水（夏季载重线吃水），m。

⑶当一个以上互不重叠的燃料罐沿纵向布置时，应按照本节2.3.1.8（2）的规定分别计算各个燃料罐的f_{CN}。用于燃料罐整体布置的f_{CN}值为各个独立燃料罐的f_{CN}值之和；

⑷如燃料罐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。

2.3.1.9 如燃料罐布置在船体尾部开敞甲板上，应采取适当的保护措施，以防止船舶发生尾部碰撞对氢燃料罐造成损坏。

2.3.1.10 燃料罐处所不应位于燃料电池处所、A类机器处所（海船）/重要机器处所（内河船）或其他较大失火危险处所之内，也不应与这些处所贴邻。燃料罐处所与相邻处所之间隔离空舱和防火分隔的设置应满足本篇第8章8.2.1的要求。

2.3.1.11 燃料罐处所内不应设有可能视为着火源（合格防爆型电气装置不视为着火源）的机械或设备。

2.3.1.12 根据本章2.3.2.2和2.3.3.2进行风险分析时，应考虑氢燃料围护系统在船上的布置，并据此在船舶总体设计中落实相关的安全措施。

2.3.2 压缩氢气燃料罐及金属合金储氢燃料罐

2.3.2.1 燃料罐应布置于开敞甲板，该区域应具有良好自然通风条件且不会阻碍氢气自由扩散。

2.3.2.2 若满足本篇第1章1.1.5替代设计的要求，并经CCS同意，燃料罐也可布置在围蔽或半围蔽处所内。此类布置方式应考虑本篇第1章1.1.6.3所列的相关风险，并特别考虑以下因素：

⑴燃料罐处所和燃料罐接头处所的通风/惰化；

⑵氢渗透；

⑶自燃；

⑷喷射火、爆燃、爆炸；

⑸管系和导管中的爆燃转爆轰（DDT）；

⑹防火；

⑺防爆；

⑻与船上其他区域的隔离；

⑼船上危险区域的分布；

⑽泄漏探测；

⑾与泄漏相关的安全动作；

⑿通向燃料罐处所的出入口应独立且直接通往开敞甲板，否则应通过空气闸从非危险区域进入。

2.3.2.3 氢气瓶的布置除满足本节2.3.2.1至2.3.2.2要求外，还应符合下述要求：

⑴氢气瓶间仅允许存放氢气瓶，且不应布置除灭火器之外的其他气瓶；

⑵氢气瓶间应为钢或其他等效材料建造，且有直接通向开敞甲板的出入口；

⑶氢气瓶间应设置满足本篇第10章第2节要求，且独立于其他通风系统的负压机械通风系统，通风出口应从氢气瓶间最高处垂直向上引出并应远离着火源和热源；

⑷在开敞甲板，应采取下列措施：

① 保护氢气瓶及其管路免受损坏；

② 设置防撞和防护围栏，并设置明显的禁火标志；

③ 确保适当的排水；

④ 设置遮阳措施，防止阳光直射；

⑤ 氢气瓶出口方向应尽可能避开起居处所、公共处所、服务处所、救生设备、人员通道等人员活动区域。

2.3.3 液化氢燃料罐

2.3.3.1 燃料罐应布置于开敞甲板，该区域应具有良好自然通风条件且不会阻碍氢气自由扩散。

2.3.3.2 若满足本篇第1章1.1.5替代设计的要求，并经CCS同意，允许在围蔽和半围蔽处所内布置液化氢燃料罐。此类布置方式应考虑本篇第1章1.1.6.3所列的相关风险，并特别考虑以下因素：

⑴氢系统的压力与温度；

⑵空间惰化的可能性；

⑶氢泄漏时惰性气体的冷凝；

⑷自燃；

⑸点燃；

⑹防火，包括火灾探测和火灾限制措施；

⑺富氧；

⑻防爆；

⑼与船上其他区域隔离；

⑽危险区域的划分；

⑾强制通风，以避免由于氢气渗透和泄漏而导致可燃气体积聚；

⑿泄漏探测；

⒀与泄漏相关的安全动作；

⒁防止液态或固态空气的冷凝或沉积；

⒂从非危险区域采用空气闸进入处所的通道；

⒃通过闭路电视（CCTV）监控处所；

2.3.3.3 液化氢燃料罐应设置有效的绝热措施，以防止出现空气冷凝和氧气富集。

2.3.4 可移式燃料罐

2.3.4.1 可移式燃料罐及相关柔性连接装置应布置于开敞甲板或具有良好自然通风条件的半围蔽处所内。半围蔽处所的布置应根据本篇第1章1.1.6要求进行风险评估。

2.3.4.2 应为可移式燃料罐的检验和维护提供安全且足够的通道。

2.3.4.3 应编制并配备系固手册，并在船上妥善保存。该手册应包含所采用的系固装置清单，以及可移式燃料罐系固和安装的操作说明。

2.3.4.4 可移式燃料罐的布置应满足本节2.3.1的相关要求，同时根据气体扩散分析和本篇第1章1.1.6要求的风险评估，考虑对安全区域的影响。

2.3.4.5 应评估可移式燃料罐与船舶的整体兼容性。

2.3.4.6 可移式燃料罐的每个氢燃料供应管路与船上氢燃料连接管路之间，应使用柔性软管组件连接，并在干式快速接头的上游和下游分别装设遥控隔离阀。

2.3.4.7 用于隔离可移式燃料罐的紧急关闭（ESD）安全系统，应在驾驶室、机舱集控室、加注站和其他氢燃料供应控制站（如设有）配备手动激活按钮。

2.3.4.8 可移式燃料罐的压力释放系统应连接至船上固定式透气系统。

2.3.4.9 可移式燃料罐与船舶燃料系统之间的连接应设计合理以便具有足够的柔性，并便于连接或断开，其连接型式应符合公认的国际、国家或行业标准，或其他经CCS认可的性能标准。

2.3.4.10 所有柔性连接的布置应在清单中明确标识，相关定期检查和测试报告应在船上妥善保存。

2.3.4.11 对于可移式液化氢燃料罐，还应满足下列要求：

⑴ 应能安全地排空可移式液化氢燃料罐；

⑵ 应能对可移式液化氢燃料罐进行惰化和除气，避免在所有操作阶段罐内出现爆炸性气体环境。当燃料罐冷却至液化氢温度时，应避免出现气体凝固。

⑶ 应监测可移式液化氢燃料罐、管路和设备表面相关位置的温度，考虑到如果绝热性能失效，表面可能出现空气或氧气冷凝的风险。

⑷ 应进行热载荷分析，以评估外壳（对于真空绝热型液化氢燃料罐）、燃料罐接头处所和支撑结构的表面温度，相关分析应涵盖真空绝热失效的情况。

⑸ 可移式液化氢燃料罐箱应进行有效的绑扎和固定，以防止在恶劣天气条件下出现脱落、移动、倒塌或过度变形。

(6) 若可移式液化氢燃料罐接头处所布置在围蔽处所内，则燃料罐接头处所应保持惰化或真空状态。

(7) 为降低可移式液化氢燃料罐接头处所内发生火灾或爆炸的风险，可在燃料罐接头处所内设置连续的正压或负压监测和报警系统，或采取其他替代措施。

第3章　燃料围护系统

第1节　一般规定

3.1.1 目的

3.1.1.1 本章的目的是确保氢燃料的安全储存，使其对人员、船舶和环境的风险水平与常规燃油动力船的风险水平相当。

3.1.2 功能要求

3.1.2.1 本章与本篇第1章1.1.3.2（1）至（19）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罐或其接头的泄漏不会危及船舶、船上人员或环境。应避免的潜在危险包括：

① 空气中的水分形成冰；

② 形成冻结或液化的空气；

③ 船体材料遭受不可接受的低温；

④ 燃料泄漏形成可燃或爆炸性气体环境；

⑤ 燃料和惰性气体导致的缺氧风险；

⑥ 可燃燃料扩散至存在着火源的位置；

⑦ 通往集合站、脱险通道和救生设备的通道受限；

⑧ 救生设备的可用性降低。

(2)燃料罐的压力和温度应维持在围护系统设计限值和燃料可能的装运要求范围内；

(3)液化氢燃料围护系统的设计应通过采取充分的隔热措施和/或设置蒸发气体处理系统，尽可能将运行过程中的排放降至最低；

(4)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；

(5)若可移式燃料罐用于燃料储存，燃料围护系统的设计应达到与本章规定的固定式燃料罐相当的安全水平；

(6)燃料围护系统应采用与氢相容的材料；

(7)采用复合材料的压缩氢燃料围护系统，其设计应达到与CCS《船舶应用天然气燃料规范》定义的CNG燃料舱同等的安全水平，包括耐火性、抗冲击性、压力释放装置及连接系统隔离要求；

(8)燃料围护系统应配置压力释放系统，确保氢气能够被引导至露天区域进行安全排放；

(9)燃料罐在承受温度变化和船体变形时所产生的收缩和膨胀，不应使船体和燃料罐结构出现过大的应力；

(10)液化氢燃料围护系统绝热失效或劣化不应导致不安全状况。

3.1.3 一般要求

3.1.3.1 燃料罐和与之相连的第一个截止阀之间的管路应具备与C型罐同等的安全水平，其动态应力不得超过CCS《船舶应用天然气燃料规范》第4章4.2.15.1（2）的规定。

3.1.3.2 应设有能安全排空燃料罐内液化氢或基本排空燃料罐内压缩氢气的装置。

3.1.3.3 液化氢燃料罐的压力释放阀最大允许调定值（MARVS）应不大于1.08MPa。

3.1.3.4 燃料罐的最大允许工作压力（MAWP ）应不超过压力释放阀（如设有）最大允许调定值（MARVS）的90%。

3.1.3.5 燃料罐应能通过燃料管系进行排空、吹扫和透气，船上应备有相应的操作须知。在使用干燥空气进行透气前，应使用惰性气体进行惰化，以避免燃料罐和燃料管路中出现爆炸性气体环境。

详细要求见本章3.10.1。

3.1.3.6 每一燃料罐或与罐体尽量靠近的管路上应设有故障安全型自动截止阀。

第2节 压缩氢气燃料围护系统

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 压缩氢气燃料罐的设计和制造应符合公认标准①的规定。

3.2.1.2 应采取适当的措施，在发生可能危及罐体安全的火灾时对罐体进行泄压。这些措施可能包括安全泄压装置（如TPRD）。安全泄压装置的泄放量和泄放面积应经设计计算确定，以确保其排量满足要求。

3.2.1.3 压缩氢气燃料罐及其支撑结构应设计为能承受CCS《船舶应用天然气燃料规范》第4章4.2.7中的设计载荷。同时还应考虑以下载荷工况：

（1）燃料罐在泄压或增压过程中，因压力降低或升高而引起的温度变化；

（2）CCS《船舶应用天然气燃料规范》第4章4.2.10.2中定义的疲劳载荷。

3.2.2 氢气瓶

3.2.2.1 除满足本节3.2.1要求外，氢气瓶还应符合本节其他要求。

3.2.2.2 若使用氢气瓶瓶组单元，除压力释放系统外，氢气瓶瓶组单元的每个气瓶均应能在任何情况下通过阀件独立断开管路连接。任一气瓶的管路断开不应影响其他气瓶的可用性。

3.2.2.3 氢气瓶瓶体及瓶阀的结构和材料应满足气瓶相关安全技术规范②的有关规定。任何与氢气接触的瓶阀材料应与氢气具有相容性。

3.2.2.4 船用氢气瓶的许用压力不得低于最高工作压力，其中许用压力为氢气瓶在基准温度（15℃）下限定充装压力的1.25倍。

3.2.2.5 每个氢气瓶瓶口应装设TPRD和截止阀。安全泄压装置应满足气瓶相关安全技术规范②的有关规定。

3.2.2.6 每一氢气瓶应设有直接安装于燃料罐或其内部的故障安全型自动截止阀。

3.2.2.7 氢气瓶安全泄压装置的泄放量及泄放面积的设计计算，应当符合相关标准的规定，其额定排量和实际排量均不得小于氢气瓶的安全泄放量。

第3节 金属合金储氢燃料围护系统

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 金属合金储氢燃料罐的设计和制造应参照公认的标准③执行。

3.3.1.2 金属合金储氢燃料罐应尽可能采用便于装配、检测和维护的模块化结构，应考虑部件间距等布置措施，保证热交换的均匀和充分。

3.3.1.3 金属合金储氢燃料罐应设置合适的安全附件，包括但不限于泄压装置、截止阀等。安全附件应符合公认标准④的相关规定。

3.3.1.4 金属合金储氢燃料罐的设计应考虑避免固态填充物在使用过程中发生局部堆积，并能防止氢或金属合金颗粒在正常储存和使用过程中的泄漏。

3.3.1.5 应采取有效手段防止颗粒物妨碍阀门或泄压装置的功能。

---

① 如GB/T 150《压力容器》，ISO9809《气瓶-可重复充装的无缝钢气瓶-设计、结构和试验》系列标准，GB/T5099《钢质无缝气瓶》系列标准，GB11640《铝合金无缝气瓶》，GB/T 35544《车用压缩氢气铝内胆碳钎维全缠绕气瓶》，ISO 19881《气态氢-陆地车辆燃料容器》，TSG 23《气瓶安全技术规程》等。

② 参见TSG23《气瓶安全技术规程》。

③ 如GB/T 44399《移动式金属氢化物可逆储放氢系统》，GB/T 33292《燃料电池备用电源用金属氢化物储氢系统》。

④ 如GB/T 29729《氢系统安全的基本要求》，ISO 16111《移动式气体储存装置 可逆金属氢化物中的氢吸收》。

3.3.1.6 金属合金储氢燃料罐表面的产品标识应清晰可辨，放氢接口、充氢接口应有明确的标识。

3.3.1.7 金属合金储氢燃料罐氢气出口处或管路中应设置过滤器，过滤精度应不低于0.5μm。

第4节 液化氢燃料围护系统

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 除本节另有规定外，液化氢燃料围护系统应满足CCS《船舶应用天然气燃料规范》第4章第2节的相关要求。

3.4.1.2 对于液化氢燃料罐，应采用真空绝热的C型独立燃料罐。

3.4.1.3 若采用其他型式的燃料罐，应满足本篇第1章1.1.5替代设计的要求，并经CCS同意。替代设计应至少考虑本篇第1章1.1.6.3所列举的风险。

3.4.1.4 真空绝热C型独立燃料罐的设计、分析和评估等应满足CCS《船舶应用天然气燃料规范》第4章4.2.15的相关要求。在评估动态膜应力时，应考虑罐体材料的氢暴露情况及预期的储氢温度。

3.4.1.5 除CCS《船舶应用天然气燃料规范》第4章4.2.6要求外，关于绝热层的附加规定如下：

⑴若燃料罐绝热层的绝热性能可能因单一故障而下降，则应根据下降情况采取适当的安全措施。对于真空绝热罐，压力释放阀排量和相关管道的尺寸应基于同时出现火灾热负荷和绝热失效的最不利工况进行设计。若风险评估证明合理，压力释放阀排量和相关管道的尺寸可接受按照火灾热负荷或真空绝热失效单独作用时的最不利工况进行设计。

⑵绝热层应能防止环境空气（如氧气、氮气等）发生冷凝与固化。

⑶绝热材料应具备耐受空气冷凝及低温蒸发引发的高浓度氧气侵蚀的能力。

⑷真空夹套系统应能通过波纹管、伸缩节、膨胀环、殷瓦钢等结构设计适应内层结构边界的热形变，并允许夹套产生自然的热位移。

⑸燃料罐的真空夹套系统应与氢管路的真空夹套系统相互独立。

⑹应设有专门的监测报警系统用以检测真空度。

3.4.1.6 对于燃料罐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。

3.4.1.7 与燃料罐连接的管道应设置次屏壁予以保护，该保护应覆盖真空绝缘空间并延伸至第一个阀门。第一个截止阀处应能安全收集和处理泄漏物。

第5节 可移式压缩氢气燃料罐

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 可移式压缩氢气燃料罐应满足本章第2节的要求。

3.5.1.2 可移式压缩氢气燃料罐可设计为多单元气体容器（MEGC）、罐式集装箱或类似的型式。MEGC的单元应分组设置，每组容积应不超过3000L，每组应配备独立安全泄压装置，并能通过阀门进行隔离。MEGC的设计和构造应符合IMDG规则的适用规定。

3.5.1.3 燃料罐支撑结构和容器框架应根据预期用途进行设计。

3.5.1.4 可移式燃料罐若需通过吊装方式登船，其设计应满足装卸过程中最不利跌落情景的要求，并在本篇第1章1.1.6所要求的风险评估中予以考虑。燃料罐的装卸应能在不拆除结构设备的情况下进行。

3.5.1.5 可移式燃料罐应布置在专用区域内。如布置在围蔽处所内，该处所应视为燃料罐接头处所。

3.5.1.6 可移式燃料罐连接至船舶系统前，应能固定在甲板上。支撑与固定装置的设计应满足设计载荷要求，并考虑船舶特性及燃料罐位置。

3.5.1.7 可移式燃料罐的压力释放系统应连接至满足本章3.7.1要求的固定式透气系统。

3.5.1.8 与船舶燃料管系的连接应通过经批准的柔性软管或其他能提供足够柔性的适配装置实现。

3.5.1.9 可移式燃料罐连接部位应设计为能实现干式断开操作。

3.5.1.10 应采取措施尽量减小非永久性连接意外断开或破裂时的燃料泄漏量。若设计无法完全消除燃料泄漏后形成可燃蒸气云的可能，则非永久性连接应设计为能够耐受可燃蒸气云燃烧。

3.5.1.11 应提供用于验证可移式燃料罐及气瓶连接至船舶燃料系统前的装载状态（燃料温度和压力）的措施。

3.5.1.12 可移式燃料罐的控制与监测系统应集成至船舶控制与监测系统。其安全系统（如燃料罐阀门关闭系统、泄漏/气体检测系统）应集成至船舶安全系统。

3.5.1.13 应设有便于对储罐连接部位进行检查和维护的安全通道。

3.5.1.14 连接至船舶燃料管系后，每个可移式燃料罐应能随时被隔离（压力释放系统除外）。单个燃料罐的隔离不应影响其他可移式燃料罐的可用性。

3.5.1.15 可移式燃料罐的设计寿命不应低于20年。

3.5.1.16 可移式燃料罐与船上燃料供应系统安全断开和连接的程序应记录在燃料操作手册中，并在船上保存。

3.5.1.17 可移式燃料罐主阀的操作方向应做好标记，以便清晰地表明正确的关闭方向。

3.5.1.18 对于属于安全系统的阀门，除自动操作的紧急关断阀外，其余阀门均应具备远程手动控制功能。

3.5.1.19 每个可移式燃料罐应在罐体上易于检查的位置安装一块金属铭牌。铭牌标记应符合其设计和制造所采用的相关国际公认标准，并至少应包括制造信息、批准信息、设计信息以及定期检查和测试的记录。对于罐式集装箱，作为替代，可按照IMDG要求安装标识牌。

3.5.1.20 对于垂直叠放的罐式集装箱，其绑扎布置应确保防止在恶劣天气下发生丢失、移动、倒塌和过度变形。

3.5.1.21 来自多个可移式燃料罐的压力释放的透气管路系统不应合并，除非已通过压力降计算验证管道中的背压，以确保在规定的流量下释放不受阻碍。

第6节 可移式液化氢燃料罐

3.6.1 一般要求

3.6.1.1 若符合本篇第1章1.1.5替代设计规定并经CCS同意，可使用可移式液化氢燃料罐。

3.6.1.2 可移式液化氢燃料罐应满足本章第4节和本篇第2章第3节的适用要求。

3.6.1.3 燃料罐的设计应符合CCS《船舶应用天然气燃料规范》第4章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。

3.6.1.4 可移式液化氢燃料罐不应在船上进行充装。

3.6.1.5 可移式液化氢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，还应设置泄漏保护系统和用于冷却的水雾系统；

(3) 如燃料罐布置在围蔽或半围蔽处所内，应适用本篇第2章2.3.3.3的规定，除了审查需考虑的项目清单外，还应考虑柔性软管和燃料罐的连接；

(4) 可移式液化氢燃料罐与船舶系统连接前应可靠固定在甲板上。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的影响。

3.6.1.6 应对可移式液化氢燃料罐的强度及其对船舶稳性的影响予以评估。

3.6.1.7 可移式液化氢燃料罐连接至船舶燃料管系的连接管应使用经认可的真空绝热双层软管

或其他具有同等安全效能的设备，确保与固定式燃料罐具有同等安全性。连接管应具有足够的柔性。

3.6.1.8 可移式液化氢燃料罐的连接应布置成能实现干式断开操作，且操作位置应位于便于操作且通风良好的区域。若本篇第1章1.1.6所要求的风险评估结果认为有必要，则燃料罐还应设有拉断接头/自密封快速释放装置。应提供在非永久性连接意外断开或破裂时可限制燃料泄漏量的装置。若设计无法完全消除燃料泄漏后形成可燃蒸气云的可能，则非永久性连接应设计为能够耐受可燃蒸气云燃烧。

3.6.1.9 可移式液化氢燃料罐的压力释放系统应与固定式透气系统连接。

3.6.1.10 可移式液化氢燃料罐的控制和监测系统应接入船舶的控制和监测系统中。其安全系统（如燃料罐阀门关闭系统、泄漏/气体检测系统）应接入至船舶安全系统。

3.6.1.11 应确保设有便于对可移式燃料罐连接管进行检验和维护的安全通道。

3.6.1.12 可移式液化氢燃料罐与船舶燃料管系连接后，应符合下列要求：

(1) 除本节3.6.1.9规定的压力释放系统外，每一燃料罐均应能在任何时候予以隔离；

(2) 任一燃料罐被隔离不应影响其他燃料罐的可用性；

(3) 燃料罐的充装率不应超过本章第8节规定的装载极限。

(4)可移式液化氢燃料罐的设计应考虑起重过程中的负载（包括起吊、意外跌落、碰撞等），应提供适当的配件，以方便储罐固定以及起重操作，应考虑装卸过程中预期的最坏跌落场景，并在本篇第1章1.1.6所要求的风险评估中予以考虑。燃料罐的装卸应能在不拆除结构设备的情况下进行。

3.6.1.13 应提供用于验证可移式液化氢燃料罐连接至船舶燃料系统前的装载状态（燃料温度、压力及充装量）的措施。

3.6.1.14 可移式液化氢燃料罐不应采用层叠方式进行堆放。

3.6.1.15 可移式液化氢燃料罐的连接和断开应仅在船舶停泊状态下进行。

3.6.1.16 应采用可靠的技术措施完成氢管路的连接（至少包括燃料供应管路和安全泄放阀排放管路），每次连接后应按照制造商认可的程序进行压力试验和密性试验。

第7节 压力释放系统

3.7.1 一般规定

3.7.1.1 所有燃料罐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。对于所承受的压力可能超过其设计能力的燃料罐处所、燃料罐接头处所和隔离舱，也应具有合适的压力释放系统。本章3.9.1规定的压力维持系统应独立于燃料罐的压力释放系统。

3.7.1.2 压力释放装置应能在紧急泄放场景下安全排放燃料罐内的超压气体。多燃料罐或气瓶布置时，应能实现受控泄放或紧急泄放时的单独或同时泄放。

3.7.1.3 高压系统和低压系统的压力释放系统应相互独立。

3.7.1.4 二层环围空间的压力释放装置排放口应连接至透气桅。

3.7.1.5 透气桅应接地以防止静电积聚。

3.7.1.6 压力释放阀的尺寸和排量可按本节3.7.5或公认标准①进行确定。

3.7.1.7 燃料罐的每个压力释放阀应与燃料透气系统相连，燃料透气系统的出口设置应满足下列要求：

(1)系统的构造应使气体不受阻碍，且尽实际可能垂直向上排放；

(2)系统的布置应使水或雪进入透气系统的可能性降至最低限度；

(3)透气出口的布置应能安全地进行氢气排放，并尽实际可能降低其被点燃的风险。

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

① 参见 ISO 21013-1《低温容器.低温设备用泄压附件.第 1 部分:可重新关闭的泄压阀》和 ISO 21013-3《低温容器 - 用于低温服务的泄压配件 - 第 3 部分:尺寸和容量测定》等标准。

少6 m。对于内河船，经评估，透气管出口应高于露天甲板及其所在位置的工作区域和走道至少3m；

⑸透气出口应位于距离起居处所、服务处所、控制站、其他非危险处所的空气进口或开口及机器设备的废气出口至少10m处。对于内河船舶，经评估，距离可由10m降至5m。

3.7.1.8 其他燃料透气管出口布置亦应满足本节3.7.1.7的要求。

3.7.1.9 对于海船和采用液化氢燃料罐的内河船，本节3.7.1.7中燃料罐透气桅的高度和距离仅为满足安全的最低要求，应通过扩散分析和热辐射分析进一步验证。

3.7.1.10 应通过扩散分析和热辐射分析评估氢气被点燃的后果，确保其对人员、船体结构及暴露设备（包括救生设备和逃生通道）的热辐射影响处于可接受水平。

3.7.1.11 透气桅及与其相连的透气管路的设计应能将透气管内部发生自燃的风险降至最低。

3.7.1.12 透气桅的设计压力应不低于2MPa，或能够承受所有可预见场景下的最大预期爆炸压力。

3.7.1.13 透气桅及透气系统存在爆炸损坏风险时，应安装惰性气体系统以防止爆炸气云形成。

3.7.1.14 透气桅上通常不应安装阻火器，但应采取措施防止异物进入。可设置正压氮气吹扫装置稀释氢气排放浓度，但该装置的设置不应对氢气泄放造成不利影响。氮气和氢气的混合排放应考虑本章3.7.4.1的要求。

3.7.1.15 燃料的透气系统应与起居处所、服务处所、控制站或其他非危险区域的透气系统相独立。

3.7.1.16 透气桅应远离起居处所、服务处所和控制站的进气口、出口或开口，并将排放物引至非危险区域以防止其被点燃。

3.7.1.17 透气桅应具备保护措施，防范坠落物体撞击，并防范货物装卸和燃料加注操作时对其造成碰撞损坏。

3.7.1.18 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运动的因素。

3.7.2 压缩氢气燃料罐的压力释放系统

3.7.2.1 每个压缩氢气燃料罐应设有独立的压力释放装置或紧急泄压阀，并连接至透气桅。压力释放装置或紧急泄压阀应能在安全位置手动启动。

3.7.2.2 压缩氢气燃料罐应安装TPRD或类似系统，以便在外部火灾时自动降低储罐压力。

3.7.2.3 应评估雨水、冰雪等环境因素对TPRD（如配备）性能的影响，并采取适当或替代的措施。

3.7.3 金属合金储氢燃料罐的压力释放系统

3.7.3.1 每个金属合金储氢燃料罐应设有独立的压力释放装置或紧急泄压阀，并连接至透气桅。压力释放装置或紧急泄压阀应能在安全位置手动启动。

3.7.4 液化氢燃料罐及低温氢气的压力释放系统

3.7.4.1 液化氢燃料罐的透气桅应设计为防止空气冷凝物在管道内或表面积聚，并采用适当设计和构造防止结冰堵塞。可通过设置加热装置确保氢气排出的温度不低于90K，以避免低温氢气导致空气组分发生冷凝。

3.7.4.2 所有暴露于液化氢或低温氢气的透气桅应设置冷凝水或液体排放装置。

3.7.4.3 每个液化氢燃料罐的压力释放阀应按100%容量设计，压力释放管路应满足所有连接燃料罐同时释放的要求。

3.7.4.4 如无法排除燃料泄漏至真空绝热型燃料罐真空层内的可能性，真空层应由压力释放装置予以保护，且该压力释放装置应连接至透气系统。

3.7.4.5 液化氢燃料罐应至少设置2个压力释放阀（PRVs），以确保在发生故障或泄漏时，其中一个PRV能断开。

3.7.4.6 压力释放阀的调定压力应不高于设计该燃料罐时所采用的蒸气压力。具有不超过总释放能力50％的阀可调至MARVS以上5％的压力，以允许后续的开启，将不必要的蒸气释放降至最低。

3.7.4.7 下列温度要求适用于安装至压力释放系统的压力释放阀：

⑴设计温度低于0℃的燃料罐上的压力释放阀的设计和布置应能防止由于结冰而造成阀功能失效；

⑵对于压力释放阀的结构和布置，应考虑因环境温度结冰产生的影响；

⑶压力释放阀应由熔点高于925℃的材料构成。可接受内部结构和密封使用低熔点材料，只要不损害压力释放阀的故障安全操作；

⑷先导式压力释放阀上的感应管道和排放管应设计得足够坚固以防止破损。

3.7.4.8 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。

3.7.4.9 应设有防止由于相连处所的静水压力造成液体从透气桅出口溢流的装置。

3.7.4.10 压力释放阀应连接至燃料罐的顶部（最高部分）。压力释放阀在燃料罐上的位置应确保在达到充装极限（FL）且船舶处于横倾15°和纵倾0.015L（L为船长）时，压力释放阀仍保持处于气相空间内。

3.7.5 压力释放系统的排量

3.7.5.1 液化氢燃料罐压力释放阀的排量

⑴每个燃料罐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，使燃料罐中的压力升高不超过释放阀的最大允许调定值（MARVS）的20％。

① 如果燃料罐惰化系统的最大工作压力超过燃料罐的MARVS，则取燃料罐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——用于不同类型燃料罐的火灾环境影响系数：

F=1.0，对于甲板上无绝热层的燃料罐；

F=0.5，对于甲板以上其绝热层经 CCS 认可的燃料罐（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，对于安装在燃料罐处所内非绝热的独立燃料罐；

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

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

对于部分突出于露天甲板上的独立燃料罐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：

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

式中：*k*——释放状态下的比热率，其值在 1.0 和 2.2 之间。如 *k* 为未知数时，则取值 1.41；

Z——在释放状态下，气体的压缩系数；如 *Z* 为未知数，则取值 1.0；

M——燃料分子量；

A——燃料罐外表面面积，m^2。

⑵对于安装在燃料罐处所内的真空绝热燃料罐，和安装在燃料罐处所内、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罐，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。

⑶释放状态下要求的空气质量流由下式求得：

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

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）。

3.7.5.2 透气管系统排量

⑴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，以确保满足本节3.7.5.1要求的流量。

⑵上游压力损失

① 透气管路中从燃料罐到压力释放阀入口处的压降，在按本节3.7.5.1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罐气室，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。

⑶下游压力损失

① 如设有共用透气总管和透气桅，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大气排放口的背压，包括任何透气管与其他燃料罐之间的互连，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。

⑷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8节 液化氢燃料罐装载极限

3.8.1 一般要求

3.8.1.1 燃料罐在实际装载温度下的装载极限不应超过下式计算值：

$$\mathrm{LL}=\mathrm{FL}\frac{\rho_R}{\rho_L}$$

式中：*LL*——装载极限，指最大许可的液体体积与燃料罐可装载容积之比，用百分数表示；

FL——充装极限，指当液体燃料达到基准温度时，燃料罐内最大液体体积与整个燃料罐容积之比，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。

3.8.1.2 当燃料罐绝热和布置使得舱内介质被外部火灾加热的可能性极小时[①]，则经CCS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9节）。但是，如燃料罐压力仅由用气设备维持/控制，则应使用按本节3.8.1.1计算所得装载极限。

第9节 液化氢燃料储存状态的维持

3.9.1 燃料罐压力和温度控制

3.9.1.1 除设计成在最高设计环境温度条件下能承受燃料的最大蒸气表压力的燃料罐外，燃料罐的压力和温度应通过CCS接受的方法保持在设计范围内，例如下列方法中的一种：

⑴蒸气再液化（如可行）；

⑵蒸气热氧化；

⑶蒸气电化学氧化；

⑷压力积聚；

⑸液化气体燃料冷却。

所选择的方法应能使燃料罐的压力在燃料罐压力释放阀的设定压力以下维持15天，此要求应基于燃料罐处于正常工作压力和满载状态，且船舶处于怠速工况下（即仅提供生活负载用电）。

3.9.1.2 除紧急情况外，不应通过向大气排放燃料蒸气以保持燃料罐的压力。

3.9.2 系统设计

3.9.2.1 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经CCS认可。

3.9.2.2 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。

3.9.3 再液化系统

3.9.3.1 再液化系统应按照本节3.9.3.2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。

3.9.3.2 应按下列方式之一对再液化系统进行布置：

⑴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罐；

⑵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；

⑶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罐；

3.9.3.3 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氢气的废气，则应尽可能在不向大气排放的前提下对这些废气进行处理。

3.9.4 热氧化系统

3.9.4.1 热氧化可通过本篇规定的用气设备以消耗蒸气的方式进行，也可通过专用的气体燃烧装置（GCU）进行。应证明热氧化系统的容量足以消耗所要求的蒸气量。在此情况下，应考虑船舶低速航行、系泊/锚泊等无推进负载工况，以及其他营运状态的影响。

① 可经风险评估证明。

3.9.5 电化学氧化系统

3.9.5.1 电化学氧化可通过本指南第2篇规定的燃料电池以消耗蒸气的方式进行。应证明电化学氧化系统的容量足以消耗所要求的蒸气量。在此情况下，应考虑船舶低速航行、系泊/锚泊等无推进负载工况，以及其他营运状态的影响。

3.9.6 相容性

3.9.6.1 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，如使用多种制冷剂或助剂，则其应彼此相容。

3.9.7 系统可用性

3.9.7.1 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，燃料罐的压力和温度可通过另一设施/系统予以维持。

3.9.7.2 用于维持燃料罐的压力和温度在设计范围内的热交换器，应设备用热交换器。如果热交换器的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10节 燃料围护系统内的环境控制

3.10.1 一般要求

3.10.1.1 应设有一个管路系统，以便能对每个燃料罐进行安全除气及在除气后安全充装燃料。应将系统布置成能在气体环境改变后出现气体或空气存留死角的可能性降至最低。

3.10.1.2 系统的布置应避免内部惰性气体在燃料罐冷却和装载燃料时发生冷凝或凝固。

3.10.1.3 除非对安全置换气体是必要的，否则不应设置气体取样点。

3.10.1.4 用于置换氢气的惰性气体成分应具有足够纯度，以防止罐内形成可燃性气体环境。

3.10.1.5 用于燃料罐除气的惰性气体可由外部供应给船舶。

3.10.2 真空绝热C型独立燃料罐处所的环境控制

3.10.2.1 对于可能因低温表面造成所处环境出现冷凝和结冰问题的液化氢燃料罐，燃料罐处所应充入适当的干燥空气、氮气或氦气，并采用合适的空气干燥设备或氮气/氦气储存装置保持此环境。

3.10.2.2 应按照本篇第1章1.1.6风险评估的要求评估真空绝热损失对燃料罐处所内环境的影响。

3.10.2.3 燃料罐处所或燃料罐周围区域应能承受潜在的真空绝热损失后果，包括但不限于：

⑴液化空气产生；

⑵氧气富集；

⑶真空突然损失时泄压装置的触发。

第11节 惰化

3.11.1 一般要求

3.11.1.1 应设置防止可燃蒸气回流至惰性气体系统的装置。

3.11.1.2 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）。这些阀应位于非危险处所之外。

3.11.1.3 当与燃料管路系统的连接为非永久性时，可用两个止回阀替代本节3.11.1.2要求的阀门。

3.11.1.4 惰性系统的布置应确保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。

3.11.1.5 吹扫气体的沸点应与燃料围护系统工作温度相适应。

3.11.1.6 对于工作温度高于氮液化温度的氢系统，可使用氮气作为惰性气体。对于温度低于氮液

化温度的系统，可考虑使用氦气。

第12节　船上惰性气体的制造和储存

3.12.1 一般要求

3.12.1.1 制造惰性气体的设备应能产生含氧量（按容积计）始终不超过3%的惰性气体。

3.12.1.2 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3%时报警的报警装置。

3.12.1.3 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。

3.12.1.4 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。舱室内应设置1个低氧报警，当舱室内氧气水平低于19%时，应能在舱室内外都发出听觉和视觉报警。

3.12.1.5 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）仅保留安装阀所必需的最少数量的法兰接头；

（3）长度尽可能短。

3.12.1.6 对于二层环围的惰化，惰性气体的供应应是冗余的，并有足够的容量。系统应通过监测和报警避免氢燃料被过多的污染。

3.12.1.7 对于高压氢燃料系统的二层环围，惰性气体的容量应能满足在发生高压氢泄漏及随后结构完整性丧失（如爆破片破裂）后进行吹扫的需求。

3.12.1.8 除本地报警外，本节的报警还应设置于驾驶室或连续有人值班的集控室或船舶安全中心。

第13节　真空系统

3.13.1.1 管路真空夹层应进行分区隔离，以尽可能限制真空失效所影响的区域范围。

3.13.1.2 真空系统的压力泄放装置，应连接至能够安全处置低温氢气的透气桅，并设置独立排放口。

3.13.1.3 真空空间的压力泄放装置应设计为能防止空气低温吸附。

第4章　材料和管路设计

第1节　一般规定

4.1.1 目的

4.1.1.1 本章的目的是基于所涉及燃料的性质，确保燃料在所有营运状态下的安全操作，将其对船舶、人员和环境造成的风险降至最低。

4.1.2 功能要求

4.1.2.1 本章与本篇第1章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)燃料管路应能承受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罐，使其免受由于热变形及燃料罐和船体构件的位移而引起的过大应力影响；

(3)应采取措施（如减少氢燃料管路长度），以尽量减少管系泄漏概率和泄漏量；

(4)应对液化氢等低温管路或部件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；

(5)与氢接触的所有组件使用的材料应具有抗氢脆、抗氢渗透和抗氢侵蚀性；

(6)用于可能与富氧环境接触的部件材料应能耐受高浓度的氧；

(7)液化氢燃料双壁管的外表面温度在正常运行时不应低于-183℃，以避免氧冷凝；

(8)液化氢燃料双壁管的隔热功能应能最大限度减少湿气冷凝，且应设置冷凝空气组分气体的收集和处理系统，以满足单一故障条件下的安全要求；

(9)燃料储存系统及管路系统中表面温度较低的部件应通过合理的安装方式和防护措施，最大限度降低对船员的危害，并防止因结冰导致的运行问题。

4.1.3 一般要求

4.1.3.1 使用氢燃料的部件和设备应符合本章的规定。

4.1.3.2 除另有规定者外，燃料加注管路和供应管路还应分别满足本篇第5章和第6章的适用要求。

第2节　管路设计

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 本节适用于内部可能与氢燃料接触的管路。

4.2.1.2 应按照CCS接受的标准①对燃料管路和所有其他管路进行永久性颜色标识。

4.2.1.3 如在燃料罐或管路与船体结构之间采用热隔离，则管路和燃料罐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。

4.2.1.4 所有可能被隔离且含有液态燃料的管路应安装压力释放阀，压力释放管路应满足本篇第3章3.7.1.8、3.7.1.18、3.7.4.1和3.7.4.8的要求。

4.2.1.5 可能含有低温燃料的管路应予以隔热，将湿气冷凝或结霜的程度降至最低。

4.2.1.6 对于非燃料供应管路和电缆，若其不会成为着火源，也不会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。双壁管或管道应仅包含操作必需的管路和电缆。

4.2.1.7 燃料管路的布置和安装应具有必要的挠性，以保持管路在实际工作状况下的完整性，并

① 如GB3033《船舶与海上技术-管路系统内含物的识别颜色第2部分：不同介质和（或）功能的附加颜色》，和EN ISO 14726《船舶和海洋技术-管系内含物的识别颜色等》。

考虑疲劳存在的可能性。

4.2.1.8 承受胀缩或其他应力的管子应采用U形弯等必要的补偿措施，燃料管路中应尽可能避免使用膨胀节和波纹管。发动机安装波纹管应基于发动机安全原则进行评估。

4.2.1.9 燃料管路所有构件应使用适合于其用途且具有耐腐蚀性能的材料制造，管路中所有管子应为无缝钢质材料，且应满足本章第3节要求。

4.2.1.10 燃料管路的管子、附件、接头和阀件应满足I级管系的要求。

4.2.1.11 应设有对燃料加注管路和燃料供应管路进行惰性气体置换吹扫的装置或措施。

4.2.2 燃料管系的布置和防护

4.2.2.1 燃料管路的布置和防护应满足本篇第2章2.2.2的要求。

4.2.2.2 燃料管路安装位置及走向应尽可能避开高温热表面、可能产生电弧的电气装置及其他着火源。

4.2.2.3 燃料管路应布置合理、排列整齐，应避免与相邻部件发生碰撞和摩擦；管路支架和保护垫应能承受振动和管路因热胀冷缩产生的位移，管路弯曲时，其中心线曲率半径应不小于管路外径的3倍。气态氢管路两端固定的管路在其两端固定点之间应有适当的弯曲，且支撑点的间隔应不大于1m。

4.2.3 管壁厚度

4.2.3.1 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；

D——外径，mm；

K——许用应力，N/mm^2；

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；

a——用于壁厚的制造负公差，%。

4.2.4 设计条件

4.2.4.1 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[①②]：

⑴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；

⑵燃料罐和燃料处理系统压力释放阀的最大允许调定值；

⑶相关泵或压缩机释放阀的调定压力；

⑷加注燃料时燃料管系的最大总压头；

⑸管路系统的释放阀调定压力。

4.2.4.2 管路的设计压力应不小于1.0MPa（表压力），但对管端敞开的管路，其设计压力应不小于0.5MPa（表压力）。

4.2.5 许用应力

4.2.5.1 对于钢制（包括不锈钢）管路，本节4.2.3.1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；

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。

4.2.5.2 当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，管壁厚度应较本节4.2.3.1规定的值有所增加。如增加管壁厚度不现实或可能会使管子产生过大的局部应力，则应采取其他的设计措施，以减小、防止或消除上述附加载荷。此类附加载荷可能由支撑构件、船舶变形、驳运作业时的液压波动、阀件重量、燃料加注连接处的反作用力或其他原因引起。

4.2.5.3 设计温度低于或等于-110℃的燃料管路，以及高压燃料管路应具有足够的结构强度和疲劳强度。通过应力分析来确定该强度时可考虑下列因素：

⑴管系重量造成的应力；

⑵加速度载荷（如其值较大时）；

⑶船舶中拱和中垂引起的内部压力和载荷。

4.2.5.4 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。

4.2.5.5 燃料管路应具有足够的结构强度，并能承受最高运行温度和最大运行压力。

4.2.5.6 除上述规定外，燃料管系的最小壁厚尚应满足相关规范对最小管路壁厚的规定。

4.2.6 管路制造和连接细节

4.2.6.1 法兰、阀件和其他附件应符合CCS接受的标准，并应考虑本节4.2.4.1所规定的设计压力。

4.2.6.2 燃料管路的连接应尽可能采用全焊透型式，如无法避免使用其他连接方式，应采用其他经试验验证的可靠连接方式，并采取防止燃料泄漏扩散的安全措施（如双壁管）。对于外径小于等

① 对于 4.2.4.1（1）的设计情况，对航行于限制区域的船舶，CCS 可接受较低的环境温度值。反之，应选取较高的环境温度值。

② 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，并考虑燃料罐的任何绝热情况。参见 SIGTTO/IACS《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》。

于25mm的气态氢管路，可采用适用于高压氢系统的锥管螺纹接头[①]进行连接，但发动机连接处除外。

4.2.6.3 管路制造和连接细节应满足下列要求：

⑴直接连接

① 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；

② 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；

③ 除另有规定者外，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。

⑵法兰接头

① 法兰接头应尽可能少，垫圈应予以保护以防止被吹出；

② 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

③ 对于除端部敞开管路以外的所有管路，均应遵守以下限制：

(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。

第3节 材料

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 用于氢系统的材料应与其预计用途和环境相适应，可采用以下方式之一予以证明：

⑴材料选择符合公认标准，该标准应明确材料对介质和工作条件的适用性；

⑵通过充分的合格测试，材料合格测试的范围应经CCS认可。

4.3.1.2 设计温度低于−165℃的材料要求应经CCS认可。

4.3.1.3 本节4.3.1.1（2）中材料测试中应考虑的典型性能包括：屈服应力、抗拉强度、延展性、断裂韧性、疲劳特性、氢脆特性、氢渗透特性、耐腐蚀性（如适用）以及热膨胀系数。

4.3.1.4 在材料认可过程中，应考虑包括但不限于以下事项：

⑴材料在运行条件下对氢化学/物理作用的耐受性，包括渗透性、孔隙率、强度、韧性（如韧性到脆性的转变）、低温工况高氧浓度影响、氢脆效应及高温氢侵蚀；

⑵材料对预期用途的适用性，包括高低温效应、热膨胀与收缩性、温度梯度、异种金属兼容性及非导电材料静电积聚/释放；

⑶若材料已进行实验室合格测试，测试样品与生产材料的化学成分可能存在差异，测试报告中应记录测试材料的化学成分，且实际用于容器的钢材化学成分差异不得超过CCS接受标准规定的“允许偏差”。

4.3.1.5 采用未在本节列明的材料时，应提供服役使用数据证明其适用性，或制定已商定合适的实验室测试方案，以证明材料在含氢环境中能保持所需性能，从而满足可预见的操作场景，否则不得将材料用于氢服务。应优先选用有氢环境成功应用历史的材料，缺乏氢环境应用数据的材料不宜选用。

4.3.1.6 风险评估应对加注站、燃料围护系统（包括管路）、燃料供应系统及终端用户的所有构造材料进行考虑并识别其风险（如适用）。

① 如符合 ISO 11926-1《通用和液压传动用联接件 带 ISO 725 螺纹和 O 形圈密封的油口和螺纹端头 第 1 部分:锪孔沟槽中装有 O 形密封圈的油口》的带 O 型圈密封螺纹接头，和符合 GB/T 34542.1《氢气储存输送系统第 1 部分：通用要求》的锥管螺纹接头。

4.3.1.7 工作压力不超过30MPa的氢气瓶材料应符合CCS接受的标准[①]的要求，并满足气瓶相关安全技术规范[②]的有关规定。

4.3.1.8 工作压力超过30MPa的氢气瓶材料可参照CCS接受的标准[③]执行，并满足气瓶相关安全技术规范[④]的有关规定。

4.3.2 金属材料

4.3.2.1 氢系统中使用的金属材料应适用于其预期用途，用于氢系统的典型金属材料见本节表4.3.2.1。

用于氢系统的金属材料 **表4.3.2.1**

材料	适用环境[注1]		备注
	氢气	液化氢	
铝及铝合金[注2]			
5083-O，5086-O	√	√	固溶强化合金
2219-T851，2195，2029	√	√	沉淀硬化合金 氢脆可忽略不计[注3]
奥氏体不锈钢			
316L（固溶退火）	√	√	建议Ni≥12.5%
碳钢和低合金钢			
碳钢、碳锰钢和低合金钢	√	×	符合公认标准[注4]，或经测试合格
铜及铜合金			
黄铜、青铜和铜镍合金	√	√	通常用作阀门和钎焊材料 不适用于储罐结构 氢脆可忽略不计
镍基合金、镍合金			
英科乃尔合金、蒙乃尔合金	×	√	考虑抗氢脆性能
钛及钛合金			
钛及钛合金	√	√	

注：
1. “√”表示适用，“×”表示不适用。
2. 铝合金不应用于液化氢内外罐之间的管道。
3. 高压氢环境对金属机械性能影响的试验。
4. 例如ASME B31.12《氢气管道和管线》。

4.3.2.2 液化氢储罐的包覆材料应能适用于液化氢环境。压力设计的厚度不包括包层和衬里的厚度。

4.3.2.3 许用应力应取母材在设计温度下的许用应力。

4.3.2.4 材料的许用测试试验应经CCS认可。金属材料的测试试验应包含以下内容：

① 关于气瓶产品的国际标准、国家标准及行业标准。如 ISO11114《气瓶-气瓶和瓶阀材料与盛装气体的相容性》、ISO9809《气瓶-可重复充装的无缝钢气瓶-设计、结构和试验》系列标准、GB/T5099《钢质无缝气瓶》系列标准和GB11640《铝合金无缝气瓶》等。

② 参见 TSG23《气瓶安全技术规程》。

③ 如 ISO19881《气态氢-陆地车辆燃料容器》、GTR13《氢和燃料电池汽车全球技术法规》、GB/T35544《车用压缩氢气铝内胆碳钎维全缠绕气瓶》等。

④ 参见 TSG23《气瓶安全技术规程》。

⑴材料因暴露于氢环境导致的性能退化程度，该退化程度预计随温度和压力升高而加剧；

⑵材料因低温环境导致的性能退化程度，该退化程度预计随温度降低而加剧；

⑶上述两种因素的复合效应。

4.3.2.5 当材料需通过成形加工或焊接进行后续处理/制造时，应考虑加工工艺对相关性能的影响。

4.3.3 非金属材料

4.3.3.1 氢系统中使用的非金属材料应适用于其预期用途，用于氢系统的典型非金属材料见本节表4.3.3.1。

用于氢系统的非金属材料　　表4.3.3.1

材料	适用环境[注1]		备注
	氢气	液化氢	
氯丁橡胶	√	×	
聚酯纤维	√	×	
氟橡胶	√	×	
聚酯薄膜	√	×	
丁腈橡胶	√	×	
聚酰胺纤维	√	×	
聚三氟氯乙烯	√	√	
聚四氟乙烯	√	√	
注： 1. “√”表示适用，“×”表示不适用。			

4.3.3.2 本节表4.3.3.1所列的非金属材料不应用于罐体结构。

4.3.3.3 选择材料时应考虑热膨胀系数、热导率及氢渗透性。

4.3.3.4 垫片、填料或其他密封元件中使用时应考虑材料的防火性能。

4.3.4 不适用的材料

4.3.4.1 不适用于氢系统的典型金属和非金属材料见本节表4.3.4.1。

不适用于氢系统的材料　　表4.3.4.1

材料	适用环境[注1]		备注
	氢气	液化氢	
以下加工方式的奥氏体不锈钢： —冷成型； —亚稳态（即镍含量＜12.5%，如304不锈钢）； —敏化态	×	×	奥氏体在冷加工过程中易发生马氏体转变，导致材料延性降低。
灰铸铁、球墨铸铁或铸铁	×	×	不适用于氢环境
镍钢（如2.5%镍钢，3.5%镍钢，和9%镍钢）	×	×	在液化氢和过冷液化氢温度下产生塑性损失； 9%镍钢夏比冲击韧性大幅下降，不满足液化氢环境使用要求； 对氢致开裂敏感。

聚四氟乙烯浸渍石棉	×	×	石棉有致癌风险，禁止使用。
注： 1. “√”表示适用，“×”表示不适用。			

第5章　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，以确保加注作业安全，且最大程度降低对人员、环境或船舶造成的危险。

5.1.2 功能要求

5.1.2.1 本章与本篇第1章1.1.3.2（1）至（11）、（13）至（17）和（19）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1)用于向燃料罐驳运燃料的管系应设计成该管系的任何泄漏不会对人员、环境和船舶造成危险；

(2)加注管路和加注总管应予以保护，以防止意外机械损伤；

(3)加注站应设有对任何溢出的燃料进行安全处置的措施；

(4)加注系统应具备远程和就地紧急停止燃料输送功能；

(5)加注总管与燃料围护系统之间的管路应设计为：在加注总管遭受碰撞冲击时，能够防止燃料围护系统受损；

(6)加注系统设计应最大限度减少燃料加注过程中向大气释放的氢气量；

(7)加注系统应采取缓解措施消除或降低形成富氧环境的可能性；

(8)加注站内应防止氢气积聚，不应设有非必要的机械和设备，以保持氢气排放畅通。

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，如一定数量、且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，防止泄漏燃料积聚。加注站的设计应最大限度降低泄漏燃料对人员、环境和船舶的危害。

5.2.1.2 若采用围蔽或半围蔽加注站，应满足本篇第1章1.1.5替代设计和布置的要求，并经CCS同意。此类加注站应采取以下措施，以尽实际可能减少泄漏影响：

(1)减小因燃料泄漏积聚形成可能出现的爆炸性气体环境的体积；

(2)优化空间几何形状及船侧开口设计以释放爆炸压力；

(3)减少拥堵，包括但不限于取消非必要的机械和设备，以降低产生严重爆炸压力的风险；

(4)降低点火概率；

(5)设置分隔相邻处所的气密舱壁。

5.2.1.3 应有对任何溢出的燃料或冷凝空气进行安全处置的措施。

5.2.1.4 应能从一个安全的位置对加注站实施控制。在此位置，应能显示燃料罐压力，以及自动/手动截止阀状态。此外，还应实现以下功能：

(1)对于液化氢燃料加注，具备燃料罐液位监测、溢流报警及关断功能；

(2)对于压缩氢燃料加注，具备燃料罐高温报警功能。

5.2.1.5 加注管路不应通过起居处所、服务处所或控制站。

5.2.1.6 加注管路应按照本篇第6章6.5和6.6条要求设置双壁管直至加注总管。

5.2.1.7 加注总管和管路的位置和布置，应确保燃料管路受到任何损坏时，不会造成燃料围护系统损坏，从而导致气体的不受控排放。

5.2.1.8 应有适当措施释放管路中的压力并排空加注管路中的液体。液体应被排放至燃料罐或返回加注设施。

5.2.1.9 加注站的布置应确保在发生燃料泄漏和/或空气冷凝时，周围船体或甲板结构不会承受不可接受的冷却效应。

5.2.1.10 燃料加注期间，应能在船舶加注控制站通过直接观测或CCTV对加注站进行监控，CCTV应为经防爆认证的合格防爆型。

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 对于承受燃料罐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。

5.2.2.3 每种类型的加注软管连同其末端配件，均应在正常环境温度下进行原型试验，在0到至少2倍的最大工作压力下进行200组压力循环试验。在进行了压力循环试验之后，还应在上、下极端使用温度下进行爆破试验。投入使用前，加注软管还应在环境温度下进行水压试验，压力不小于其规定的最大工作压力的1.5倍，但不必超过其爆破压力的0.4倍。规定的最大工作压力不应小于1MPa。

5.2.2.4 液化氢用低温软管应符合公认的标准[①]。

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。

5.2.3.2 加注接头应适合燃料加注作业，且能承受其设计温度和设计压力。

5.2.3.3 加注站应采用干式快速接头以实现干式断开操作。

5.2.3.4 如满足本篇第1章1.1.5替代设计和布置的要求并经CCS同意，可采用以下方式作为本节5.2.3.3的替代方式，并通过操作程序确保实现干式断开：

⑴手动接头或液压接头，用于将加注系统与船舶加注总管的对接法兰连接；

⑵螺栓连接的法兰与法兰组件。

5.2.3.5 当使用本节5.2.3.3和5.2.3.4的加注连接方式时，还应结合应用实现干式断开的操作程序。该布置方式应在设计阶段的加注布置风险评估中给予特别考虑，包括加注期间加注总管接头处的动载荷、船舶的安全操作以及与船舶相关的其他危险。本篇第14章14.1.5.1要求的燃料操作手册中应包括已开展的燃料加注布置风险评估文件，并针对本条要求给予特别考虑。

5.2.3.6 应配备紧急脱离装置（ERC）/紧急脱离系统（ERS）或提供等效措施，除非加注方已配备该装置或系统，否则船方应配备。该装置或系统应满足CCS接受的标准要求，其应能在紧急情况下通过快速物理断开实现加注系统的“干式断开”。

第3节 加注系统

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 加注作业期间，压缩氢气燃料罐温度不应超过其最高设计温度。

5.3.1.2 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。

5.3.1.3 加注管路应能进行惰化和除气，以满足停机和维护的需求。

5.3.1.4 对于液化氢加注系统，非加注作业期间应保持加注管路内残留的气体压力适当高于大气压，以防止空气侵入并降低泄漏风险。

① 如 ISO 21012《低温容器-软管》等。

5.3.1.5 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。

5.3.1.6 应设置一套船岸通讯线路或等效设施，用于与燃料加注方进行自动和手动紧急切断（ESD）通信。该系统应不低于CCS接受的标准[①]要求。

5.3.1.7 加注总管和燃料罐之间的加注管系布置应符合本篇第6章的要求。

① 如 ISO 28460《石油和天然气工业-液化天然气装置和设备-船岸接口和港口运营》。

第6章　燃料供应系统

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，避免对人员、环境或船舶结构造成危害。

6.1.1.2 本章适用于向用气设备输送燃料的液化氢、常温压缩氢及低温压缩氢燃料供应系统。

6.1.2 功能要求

6.1.2.1 本章与本篇第1章1.1.3.2（1）至（6）、（8）至（11）、（13）至（17）和（19）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

⑴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；

⑵应为燃料供应系统提供安全通道进行操作、维护、测试和检查；

⑶用于向用气设备驳运燃料的管系设计，应使得单一屏障失效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；

⑷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；

⑸燃料供应管系的设计应尽量减少泄漏后释放的氢气量。

6.1.3 一般要求

6.1.3.1 围蔽处所内的燃料管系应设置双壁管，以安全容纳泄漏物。

6.1.3.2 燃料管路的连接应尽可能采用全焊透型式。

6.1.3.3 应能探测燃料管系中的泄漏，并能自动隔离泄漏源。

6.1.3.4 应能在储罐边界处自动隔离燃料管系。

6.1.3.5 燃料管系应设置能够过滤固体杂质或低温冷凝物的滤器。滤器的规格、数量和位置应符合用气设备对燃料品质的要求。

6.1.4 燃料供应的冗余

6.1.4.1 对于单一氢燃料动力系统，燃料供应系统的布置应使其自燃料罐直至用气设备具有足够冗余并进行充分隔离，以使单一故障或某一系统中的泄漏及其安全动作不会导致不可接受的动力损失。

6.1.4.2 对于单一氢燃料动力系统，燃料应分别储存在两个或以上的燃料罐内。燃料罐的布置应有足够冗余，以满足本篇第1章1.1.6.6的要求。

6.1.4.3 对于单一氢燃料动力系统，如采用C型独立燃料罐，且设有两个完全独立的燃料罐接头处所，则可接受仅设置一个燃料罐。

6.1.4.4 对于混合动力系统，若能通过技术文件证明氢燃料供应中断时，其他动力/电力系统仍能维持船舶到达最近港口，经CCS同意，可不必满足本节6.1.4.1至6.1.4.3的要求。

第2节　供气阀布置

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 除在正常营运期间无需操作的常闭和铅封阀门外，从加注站到燃料使用设备管路中的控制阀应为遥控阀，以降低人员直接碰触阀件的风险。当安全系统动作时，遥控阀应能按照本篇第12章要求自动控制。

6.2.1.2 阀件的安装和布置应便于检查和维护。

6.2.2 阀件布置

6.2.2.1 燃料罐进口和出口应设置阀件，这些阀应尽可能地靠近燃料罐。在船舶正常营运期间[①]需要操作的阀件，如其不能接近，则应设置为遥控操作。本篇第12章表12.4.1所要求的安全系统被触发时，需要动作的燃料罐阀件无论是否能够接近，均应自动操作。

6.2.2.2 燃料罐的每一气体燃料供应出口应串联设置1个手动截止阀和1个燃料罐主阀，或设置1个手动和自动操作组合阀，且应尽量靠近燃料罐。

6.2.2.3 通往每台或每套用气设备的供气总管上应串联设置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，并尽可能靠近用气设备。当按照本篇第12章12.1.2.1（1）启动安全系统时，主气体燃料阀应能自动切断燃料供应。

6.2.2.4 主气体燃料阀应能按本篇第12章表12.4.1所规定的情况自动切断供气管路，并能从以下位置手动紧急切断：用气设备处所所有脱险通道上的安全位置、机舱集控室（如适用）、用气设备处所外、燃料准备间（如适用）外部、驾驶室等位置。手动紧急切断装置应设为物理按钮，并有适当的标记和保护，以防止意外操作，并可在紧急照明下进行操作。

6.2.2.5 通往每台用气设备的供气管路上应安装一套双截止透气阀，其布置应满足如下要求：

⑴3只阀中的2只串接在通向用气设备的气体燃料管路上，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，透气管的出口布置应满足本篇第3章3.7.1.7的相关要求；

⑵当发生本篇第12章表12.4.1所述的有关故障时，应能自动关闭2只串接阀并自动打开透气阀；

⑶2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，当发生本篇第12章表12.4.1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；

⑷上述3只阀应能人工复位；

⑸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。透气阀在释放管段压力后应处于关闭状态，以防止空气进入；

⑹当出现以下情形时应发出报警：

① 串接阀开启时，透气阀也处于开启状态；

② 探测到串接阀发生泄漏并关闭串接阀时，透气阀未能开启；

③ 发动机或燃料电池处于停车状态时，串接阀仍处于开启状态；

⑺双截止透气阀也应用于用气设备的正常停机。

6.2.2.6 当气体安全系统检测到燃料泄漏时，主气体燃料阀后的燃料系统应自动减压并通过惰性气体吹扫。

6.2.2.7 在双截止透气阀上游通向每台用气设备的供气管路上应设有1个手动操作的截止阀，以确保在用气设备维修期间能进行安全有效的隔离。

6.2.2.8 如果每台用气设备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。

6.2.2.9 所有自动控制阀和遥控阀应在其操作位置显示阀门开闭状态。

第3节 用气设备处所外的燃料管系

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 燃料管路穿过除本篇第2章2.2.2.2规定之外的围蔽处所时，液化氢和气态氢应分别采用满足本章第5节和第6节要求的双壁管，双壁管应设置本篇第12章12.3.1要求的泄漏探测装置。CCS也可

① 船舶正常营运期间是指向用气设备供气和燃料加注期间。

接受其他具有同等安全水平的措施。

6.3.1.2 穿过具有机械通风处所的全焊接连接的气体燃料透气管不必满足本节6.3.1.1的要求。

6.3.1.3 含有液态燃料的管路应采用可安全容纳液体泄漏的双壁管。若本篇第12章12.3.1.1（3）中要求的气体探测装置不适用，则应通过压力或温度监测系统或其任何组合监测系统，对液态燃料管路周围的双壁管进行泄漏监测。双壁管应能承受从燃料管路中泄漏的液体在环围里可能产生的最大压力。因此，双壁管可能需要设置压力释放系统，以防止其内部压力超过设计压力。

第4节 气体安全机器处所内的燃料供应

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 气体安全机器处所内的燃料供应管路应采用双壁管，双壁管可设计成如下两种形式之一：

⑴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用气设备之间的管路可自动进行惰性气体吹扫；

⑵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，通风能力应根据CFD分析、数值或试验分析确定，且不低于每小时换气30次。如设有探测到气体后能自动向导管内冲注氮气的装置，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，通风出口应覆有防护网，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 氢燃料内燃机的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。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。

6.4.1.3 燃料系统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较大者：

⑴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；

⑵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 H_2，k=1.41；

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 应基于通风导管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。

第5节 液化氢和低温氢蒸气燃料管系

6.5.1 一般要求

6.5.1.1 除本节规定外，液化氢和低温氢蒸气燃料供应系统还应满足本章第1节至第4节的适用要求。

6.5.1.2 含有低温液化氢或液化氢蒸气的燃料管路及其组件应设置双壁管，双壁管环围空间应按

照本章6.4.1.1（1）进行惰化，或采用真空绝热结构，并具有安全容纳泄漏低温液体的功能。

6.5.1.3 双壁管应采用能承受潜在泄漏压力和温度的材料制成，并设置通向透气桅的压力释放系统。

6.5.1.4 正常状态下的双壁管外表面不应导致空气组分冷凝，双壁管应能收集和泄放凝结物，或采取同等安全措施。

6.5.1.5 应按照本篇第4章4.2.5.4的要求进行应力分析。

6.5.1.6 可能被隔离且含有氢的管路应设置通向安全位置的压力释放装置，以提供超压保护。

第6节 气态氢燃料管系

6.6.1 一般要求

6.6.1.1 除本节规定外，气态氢燃料供应系统还应满足本章第1节至第4节的适用要求。

6.6.1.2 含有气态氢的燃料管路及其组件应按照下列要求之一设置：

⑴满足本章6.4.1.1（1）要求的双壁管；

⑵满足本章6.4.1.1（2）要求的双壁管。对于本篇第2章2.2.5所述的压缩氢或金属合金储氢燃料罐接头处所，若按照本篇第1章1.1.6.6、1.1.6.7和第10章的规定能够证明该处所的通风能力足以防止发生超出处所设计压力的爆炸，则该处所内的燃料管路及其组件可采用单壁管。

6.6.1.3 若通过CFD扩散分析和本篇第1章1.1.6.7的爆炸风险分析能证明可燃气云的扩散范围及爆炸危害不会影响相邻结构或人员，则开敞甲板的燃料管路可采用单壁管。

6.6.1.4 燃料管系的设计应尽量减少泄漏的规模、压力和持续时间，包括但不限于以下方式：

⑴尽实际可能采用减压装置将管内压力控制在最低水平；

⑵设置由安全系统控制的自动关闭阀。

6.6.1.5 燃料供应管系应设置过流阀、限流阀或类似装置以降低泄漏后果。

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、电能或热能的安全、可靠转换与输送。

7.1.2 功能要求

7.1.2.1 本章与本篇第1章1.1.3.2（1）、（3）、（11）、（13）和（16）至（19）中所述的功能要求相关，特别应满足如下要求：

⑴排气系统的构造应能避免产生未燃气体的积聚；

⑵含有或可能含有可燃混合气的发动机部件或系统的强度，应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。超压应考虑发动机的具体设计，可能出现超压的部件或系统通常包括空气进气总管和扫气空间。

⑶作为上述⑵的替代，发动机部件和系统可布置合适的压力释放系统，需提供证明材料表明此设计能够快速响应氢气被点燃引发的爆燃压力上升速率，且泄爆出口的方向不应朝向正常情况下有人员出现的位置。

⑷所有用气设备（不含燃料电池）应具有独立的排气系统。

⑸用气设备的布置应能够防止氢气泄漏至辅助系统。

7.1.3 一般要求

7.1.3.1 氢燃料发动机应满足本章、本篇第12章和CCS《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录1的有关规定，以及CCS相关规范的其他适用要求。

7.1.3.2 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CCS。风险分析应满足CCS《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录1的要求。

7.1.3.3 其他用气设备应满足本章第3节的有关规定。

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爆破片、阻火器或其他等效装置。对于可直接换向发动机，应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 不应采用气体燃料在进气总管喷射或在增压器之前与空气混合的发动机。

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1.5m。

7.2.1.4 曲轴箱应按CCS《钢质海船入级规范》第3篇第9章9.7.4的要求安装曲轴箱安全阀。

7.2.1.5 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：

⑴曲轴箱内安装油雾探测器或等效设备（如为每一轴承安装温度探测器），对曲轴箱内的热点进行监测；

⑵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。

7.2.1.6 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。

透气管上应安装火焰消除器或其他等效装置，透气口应通往开敞区域的安全位置或其他可安全处理气体的位置；曲轴箱应提供接口（或其他措施）进行惰化以便于维修。

7.2.1.7 排气系统应设计成能够承受由于泄漏气体被点燃或发动机安全理念所证明的最恶劣情况下的超压，否则应装有爆炸压力释放系统，并满足本章7.1.2.1（3）的要求。

7.2.1.8 当发动机在燃气模式下停车后，应采取措施吹扫排气管内可能存在的可燃气体。

7.2.1.9 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。

7.2.1.10 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。

7.2.1.11 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燃料供应，并且发动机在考虑扭转振动的影响下在单缸熄火的情况下仍能维持正常工作，则可允许发动机继续维持氢燃料模式。

7.2.1.12 对于采用氢燃料起动的发动机，如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，燃料供应装置应能自动切断，并应采取措施吹扫排气系统中未燃的可燃混合物。

7.2.1.13 用气设备的设计和安全操作措施应考虑本体及排气系统的吹扫方案。

7.2.1.14 应提供资料证明合理可预见故障（如超速、燃气泄漏等）下的燃料安全切换流程的有效性。

7.2.2 氢–燃油发动机

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，并能在空载怠速、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。转换过程中如出现燃气模式下发动机运行不稳定，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。

7.2.3 单一燃料氢发动机

7.2.3.1 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。

7.2.3.2 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。

7.2.3.3 当发动机起动失败后，应采取措施吹扫排气管中未燃烧的可燃混合气。当排气管中未燃烧的可燃混合气彻底排出后，方可重新起动发动机。

7.2.3.4 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。

7.2.3.5 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转速降至最低点火转速以下。

7.2.4 氢–其他燃料发动机

7.2.4.1 若某一燃料供应出现中断，发动机应能够通过另一种燃料实现持续运行，并且发动机功率的波动应尽可能小。

7.2.4.2 发动机燃料模式转换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。如在某种燃料模式下发动机出现不稳定运转，应自动切换至另一种燃料模式。在任何情况下均应能通过手动方式切换。

第3节　其他用气设备

7.3.1　一般要求

7.3.1.1　燃料电池的布置应满足本指南第2篇的要求。

7.3.1.2　其他用气设备的使用（例如主锅炉、辅助锅炉或燃气轮机）应满足本篇第1章第1.1.5条的规定，并经CCS同意。

第4节　燃料重整设备

7.4.1　一般要求

7.4.1.1　将气态或液态一次燃料重整为氢燃料以供燃料电池使用的燃料重整设备，应依据本指南第2篇的要求进行布置。

7.4.1.2　在满足本篇第1章1.1.5要求并充分考虑1.1.6.3中列出的后果和风险的情况下，允许使用将气态或液态一次燃料重整为氢燃料以供内燃机使用的燃料重整设备。

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氢燃料的储存、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 本章与本篇第1章1.1.3.2（2）、（4）至（7）、（12）、（14）、（15）、（17）和（19）的功能要求相关，特别应满足如下要求：

(1)燃料围护系统的位置及布置应尽可能降低因周围火灾导致过多热量输入的风险；

(2)消防系统的设计应使得开敞甲板上的燃料罐及管系在火灾场景中实现冷却；

(3)消防系统应设计为能够探测到氢气火灾，并能够应对氢气火焰可能不可见的情况；

(4)消防系统应设计为能够有效扑灭由氢系统燃料泄漏引发的火灾；

(5)固定式灭火系统的设计应考虑处所潜在的火灾增长可能性；

(6)燃料泄漏所导致的火灾不应使得船体结构、设备和船上人员暴露于不可接受的热辐射环境中；

(7)燃料供应系统中应设置隔离装置，以便在由泄漏引发的火灾时切断氢气流动；

(8)火灾探测与抑制措施应针对氢气火焰不可见的特性进行设计，并确保具备相应的探测与防护能力；

(9)用于液化氢系统的消防系统应避免消防水可能出现的冷凝堵塞泄压系统；

(10)消防系统应设计为能够防止泄漏处产生的回火引发爆燃。

8.1.3 一般要求

8.1.3.1 就防火而言，任何含有燃料泵、压缩机、热交换器、蒸发器或燃料罐等燃料制备设备的处所应视为A类机器处所（海船）/重要机器处所（内河船）。

第2节　防火

8.2.1 燃料罐

8.2.1.1 防火隔热措施应适用于氢气火灾及已识别的火灾场景。

8.2.1.2 燃料管路不得穿过滚装处所。

8.2.1.3 燃料罐位于开敞甲板时，面向燃料罐的起居处所、服务处所、控制站、机器处所和脱险通道的限界面应采用“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。面向开敞甲板上的燃料罐的任何此类限界面，若最小分隔距离经热分析确定等效A-60级防火分隔保护，则应视为可接受，并且为上述处所提供热绝缘保护的中间结构也视为可接受；若燃料围护系统不可能有气体释放源，如燃料罐接头位于燃料罐接头处所的C型独立燃料罐，则不需要A-60级防火分隔。

8.2.1.4 位于开敞甲板上的燃料罐应按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。燃料罐距起居处所及其进气口、机器处所和其它封闭工作区域至少3米。

8.2.1.5 燃料罐处所应与A类机器处所/重要机器处所或其他有较大失火危险处所进行隔离，此种隔离应为1个至少900mm的隔离空舱，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。确定燃料罐处所与其他具有较小失火危险的处所之

间的防火分隔时，燃料罐处所应视作A类机器处所/重要机器处所。燃料罐处所与燃料罐处所之间应设置1个至少900mm的隔离空舱或采用“A-60”级防火分隔。

其中，“其他有较大失火危险处所”应至少考虑但不限于下列处所：

（1）货物处所，其中载运闪点超过60℃液体的货舱除外，以及根据SOLAS第II-2/10.7.1.2或II-2/10.7.1.4免除的货物处所除外；对于国内航行船舶而言，系指货物处所，且其中载运闪点超过60℃（如设有货物加热，其加热温度应低于闪点对应温度减去15℃之后的温度值）液体的货舱除外，以及载运矿砂、煤、谷物、未干透的木材、不燃货物或主管机关认为具有较低失火风险的货物，且安装有钢质舱口盖和关闭所有通风口及其他通往货物处所开口的有效装置的货舱除外。

（2）车辆处所、滚装处所和特种处所。

（3）服务处所（高风险）：SOLAS第II-2 / 9.2.2.4、II-2 / 9.2.3.3和II-2 / 9.2.4规定的厨房、设有烹调设备的配膳室、桑拿房、面积为4m^{2}及以上的油漆间和储物间、存放易燃液体的处所和不构成机器处所一部分的工作间；对于国内航行船舶而言，若船上设有上述处所，则其亦视为本条款所述的“服务处所（高风险）”。

（4）具有较大失火危险的起居处所：SOLAS第II-2 / 9.2.2.3规定的桑拿房、超市、理发室和美容室，以及设有未限制失火危险的家具和陈设的公共处所，且其甲板面积等于或大于50m^2。对于国内航行船舶而言，若船上设有上述处所，则其亦视为本条款所述的“具有较大失火危险的起居处所”。

8.2.1.6 对于C型独立燃料罐和金属内衬氢气瓶，如其外壁距离所在处所舱壁不小于900mm时，该处所可视作隔离空舱。但燃料罐直接布置在A类机器处所（海船）/重要机器处所（内河船）或其他具有较大失火危险处所上方时，两者之间仍应设置1个至少900mm的隔离空舱（对于内河船舶，如布置困难，该距离可小于900mm，但不应小于500mm），且应在A类机器处所（海船）/重要机器处所（内河船）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。

8.2.1.7 对于布置在专用处所的可移式燃料罐，应按照本章8.1.3和8.2.1的防火要求与A类机器处所/重要机器处所、其他较大失火危险处所和货物隔离。

8.2.1.8 如在紧急情况下（例如为缓解火灾情形）考虑通过排放燃料蒸气以控制燃料罐压力时，应通过专用透气管引至透气桅。若设有此类泄压系统，应采取措施防止其意外启动。

8.2.2 加注站

8.2.2.1 面向加注站的A类机器处所、起居处所、控制站和其他具有较大失火危险的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、辅助机械处所以及卫生间和其他类似处所的该类限界面可降至“A-0”级。

第3节 灭火

8.3.1 一般要求

8.3.1.1 燃料使用设备处所、燃料罐处所/燃料罐接头处所、加注站以及燃料准备间应设有适用的固定式灭火系统。所有的灭火介质应与氢及其温度、压力等工作条件相适应。固定式灭火系统应充分考虑可能涉及的火灾荷载，应通过整体风险评估确定火灾场景。

8.3.1.2 气体安全系统应确保在启动任何灭火措施前，可靠隔离氢气泄漏源，如关闭燃料罐阀、主气体燃料阀、加注连接阀或隔离阀等。

8.3.1.3 应在风险评估中考虑氢气火灾引发的次生火灾扑救方案，特别应进行专项评估潜在的火灾荷载。火灾场景、固定灭火系统的介质类型、浓度/喷射速率（包括SOLAS要求的分区应用系统）应经论证并记录，确保对次生火灾的有效控制，且在自然通风的开敞甲板区域具备适用性。

8.3.1.4 本节8.3.1.1所述处所内的灭火介质应为干粉或二氧化碳，采用二氧化碳灭火系统时，释放的二氧化碳量应在任何情况下不低于封闭空间总容积75%的自由气体量。采用其他灭火介质时，应证明该介质能够有效扑灭氢气火灾。

8.3.1.5 燃料罐应设有可远程操作的阀门，在燃料罐周围起火且TPRD未能有效动作之前，可对燃料罐进行泄压。

8.3.1.6 灭火系统应具备应对氢气火灾初始扑灭后快速复燃能力进行抑制的特性。

8.3.1.7 加注站应设置固定式干粉灭火系统，其应覆盖所有可能的泄漏点。其灭火能力应确保至少能以不低于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。

8.3.1.8 除主管机关可能要求的手提式灭火器之外，加注站附近和燃料准备间内还应分别设置至少1具容量不少于5kg的手提式干粉灭火器。

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，水雾系统应覆盖位于甲板上方的氢燃料罐的暴露部分。压缩氢气燃料罐的水雾系统释放操作不得早于热辐射监测（如TPRD）的激活。对于液化氢系统，应防止水雾系统接触泄压系统低温区域（包括泄压系统出口）导致结冰。

8.3.2.2 对于可移式压缩氢气燃料罐，应考虑冷却燃料罐和防止火势蔓延的水雾系统可能会妨碍TPRD的受热激活，从而产生潜在危险，应根据本篇第1章1.1.6的要求在风险评估中予以适当处理。

8.3.2.3 水雾系统还应覆盖面向开敞甲板上的燃料罐的上层建筑、压缩机室、泵舱、货物控制室、加注控制站、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罐的距离大于或等于10m（对于内河船舶，可降为5m）时，可不必覆盖。此外，水雾系统还应对受到来自透气桅开口处持续氢气火灾产生的热辐射影响的结构外表面进行冷却。

8.3.2.4 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)。

8.3.2.5 喷水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。

8.3.2.6 若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。

8.3.2.7 水雾系统供给泵的遥控启动和水雾系统中常闭遥控阀的操作位置，应位于易到达之处，该位置不应在被保护区域发生火灾时无法靠近。

8.3.2.8 应配备经认可的喷嘴，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。

8.3.2.9 对开敞甲板布置的燃料罐暴露部分进行冷却和防火的水雾系统，不得干扰其他氢气安全系统功能（如热辐射监测）。

8.3.2.10 对于液化氢系统，应评估水雾接触泄压系统低温区域（包括泄压口）导致水体冻结的风险。禁止向透气桅及防冻泄压阀喷射水雾。

8.3.2.11 若风险评估认为必要，除露天甲板上的燃料设备外，还应为面向开敞甲板燃料罐及燃料设备的起居处所、服务处所、控制站、机器处所、逃生通道、登乘站及救生艇甲板边界提供水雾防护。

8.3.3 挡火闸

8.3.3.1 燃料罐接头处所、燃料准备间的通风围阱内应安装故障安全型自动挡火闸。

8.3.3.2 灭火系统动作之前，挡火闸应关闭。

第4节 探火和失火报警系统

8.4.1 探火

8.4.1.1 燃料罐处所（如位于甲板下方则包括通风导管）、燃料供应系统所在处所以及其他可能出现可燃气体的处所，均应设置一个满足《国际消防安全系统规则》要求的固定式探火和失火报警系统。

8.4.1.2 用于探测氢火[①]应至少设置感烟探测器和感温探测器。使用针对不可见（如紫外线或红外线）氢火焰的探测器应在低能见度及富氧环境下有效运行。

8.4.1.3 当固定式探火和失火报警系统不具备远程单独识别单个探测器的能力时，每个探测器应设置成独立的环路。

8.4.1.4 对于压缩氢气燃料罐，可考虑在布置燃料罐的处所内安装经认可的泄漏检测声学传感器和红外线火灾探测器。

8.4.2 报警和安全措施

8.4.2.1 当本节8.4.1.1所述处所探测到火灾后，应采取本篇第12章表12.4.1列出的安全措施，且应自动停止通风。

① 在选择合适的火灾探测器时，可根据 ISO/TR15916《氢系统基本安全要求》考虑。

第9章 防爆

第1节 一般规定

9.1.1 目的

9.1.1.1 本章的目的是提供预防爆炸和限制爆炸后果的措施。

9.1.2 功能要求

9.1.2.1 本章与本篇第1章1.1.3.2（2）至（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；

(2)降低可燃性混合物形成的可能性；

(3)优化布局和设计以限制爆炸严重程度和后果；

(4)尽可能减少氢泄漏管段的体积、最大泄漏率及泄漏持续时间。

9.1.3 一般要求

9.1.3.1 电缆穿越危险区域的甲板或舱壁时，应保持甲板或舱壁原有的密性，且应保证不会削弱甲板和舱壁的防火完整性。

9.1.3.2 电气设备的安装应确保其与船体实现可靠接地。

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。分级的目的是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[①]，具体见本节9.2.2。

9.2.1.3 通风管道的区域分级应与其所服务的被通风处所的分级相同。

9.2.1.4 本章中未作规定的开敞甲板上和其他处所的危险区域应基于CCS接受的标准[②]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。

9.2.1.5 电气设备和线路通常不应安装在危险区域内，仅在因作业目的或提高安全性所必需且符合CCS接受的标准时除外[③]。

9.2.1.6 用于可能出现混有氢气的爆炸性气体环境的防爆设备，其防爆类别应为IIC或IIB+H_2，温度组别应不低于T1。

9.2.1.7 如风险评估结论认为本节9.2.2.2（3）至（6）和9.2.2.3（3）所涉及的区域危险程度较高，则这些区域的危险区域的分级和范围可依据CCS接受的标准[④]进一步确定，但最低要求应遵循本节9.2.2.2（3）至（6）和9.2.2.3（3）的规定。

---

① 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》，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。

② 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》。

③ 参见 IEC60092-502《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》。

④ 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》。

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：燃料罐、缓冲罐内部，用于压力释放或其他透气系统的任何管路，内部含有低闪点燃料或重整燃料的管路和设备。

9.2.2.2 1类危险区域

该区域包括但不限于：

⑴燃料罐接头处所，燃料罐接头所在的封闭空间，燃料罐处所[①]和气体阀件单元内部；

⑵燃料准备间；

⑶距离任何燃料罐出口，气体或蒸气出口[②]，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；

⑷距离燃料罐透气管出口向上或附近，以该出口为中心的6m半径、无限高度的垂直圆柱内；以及自该出口向下，以6m为半径的半球面内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所。若由于船舶的尺寸和布置而无法满足上述距离，可使用爆炸下限的50%为衡准进行扩散分析，从而确定一个缩小的区域。该区域范围不应小于本节9.2.2.2（3）的规定；

⑸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；

⑹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；

⑺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；

⑻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；

⑼除C型独立燃料罐和金属内衬氢气瓶外，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

该区域包括但不限于：

⑴如无特殊规定，距离1类危险区域的开敞或半围蔽处所1.5m的区域；

⑵本节9.2.2.2（4）条中定义的区域之外4m的区域；

⑶含有通向燃料罐接头处所的螺栓舱盖的处所；

⑷连接1类危险区域和非危险区域的空气闸内部。

① C 型独立燃料罐和金属内衬氢气瓶所在处所通常不视为 1 类危险区域。从危险区域划分的目的而言，若 C 型燃料罐和金属内衬氢气瓶的所有潜在释放源位于燃料罐接头处所，且 C 型燃料罐和金属内衬氢气瓶所在处所不通向任何危险区域，则 C 型燃料罐和金属内衬氢气瓶所在处所应视为非危险区域。若燃料罐处所含有潜在释放源，如燃料罐接头，则其应视为 1 类危险区域。若燃料罐处所含有通向燃料罐接头处所的螺栓舱盖，则其应视为 2 类危险区域。

② 这些开口包括开敞甲板上的燃料罐舱口、燃料罐液位测量孔或测深管、气体蒸气出口等位置。

第10章 通风

第1节 一般规定

10.1.1 目的

10.1.1.1 本章的目的是为氢燃料相关的机械设备及处所的安全运行提供所需的通风或其他环境控制条件。

10.1.2 功能要求

10.1.2.1 本章涉及本篇第1章1.1.3.2（2）、（5）、（6）、（8）、（10）、（12）至（14）、（17）和（19）中的功能要求，特别应满足如下要求：

⑴通风系统应设计为能够避免在围蔽处所及管道内形成可燃氢气-空气混合物，并防止爆炸压力超过围护结构设计压力；

⑵通风系统应设计为能够避免在所有可合理预见的情况下出现富氧层积聚。

10.1.3 一般要求

10.1.3.1 有潜在释放源的围蔽危险处所应进行惰化或设置为真空环境。

10.1.3.2 低压氢系统所在的围蔽处所，以及满足本篇第1章1.1.5替代设计的要求并经风险评估且充分考虑本篇第1章1.1.6.3中列出的后果和风险的高压氢系统所在的围蔽处所，可采用通风作为本节10.1.3.1的替代措施。机械通风应满足本节10.1.3.3至10.1.3.21和本章第2至6节的要求。

10.1.3.3 需要通风的危险处所应设置持续运行的机械强制通风系统，优先采用抽吸式。

10.1.3.4 围护结构或处所应具备足够的强度，以承受处所内局部气体爆炸产生的影响。

10.1.3.5 通风能力应足以将爆炸力降低至满足本节10.1.3.4的规定，或将平均气体/蒸汽浓度（取两者中较大者）稀释至低于爆炸下限（LEL）的25%。

10.1.3.6 通风系统应对整个处所实现有效通风，同时应考虑泄漏燃料气体的密度及内部障碍物（如管路、设备、阀门、结构等）的影响。

10.1.3.7 任何用于危险处所的通风导管应与用于非危险处所的通风导管分开。通风系统应在船舶运行的所有温度和其他环境条件下正常工作。

10.1.3.8 危险处所的通风风道应采用垂直或持续上升布置，且不得有急弯，以避免气体积聚。

10.1.3.9 除非风机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内。

10.1.3.10 危险处所的通风系统应由2台具有100%通风能力的风机组成，2台风机需由独立线路供电。风机应以交替循环方式运行，以确保所有风机随时可用。通风系统失效时，应自动关闭所有燃料罐阀门并隔离相应燃料供应系统的主燃料阀。

10.1.3.11 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，应适当考虑提高通风能力。

10.1.3.12 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。进气管通过一个更危险的处所时，除其机械完整性和气密性可确保气体不会渗入其内者外，该管道应具有高于所通过处所的压力。

10.1.3.13 围蔽处所的通风进出口应结合处所几何形状确定，通风进口应靠近舱室底部，通风出口应靠近舱室最高处/顶部。舱室上部不应有任何阻碍结构，如存在梁、加强筋、电缆桥架和管架之类的结构形成存在气体积聚风险的区域，应设置额外通风出口。

10.1.3.14 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。

10.1.3.15 通风系统的布置应消除或最大限度减少气体积聚的可能性。

10.1.3.16 通风系统应能使得可合理预见燃料泄漏的位置（如法兰、阀门、密封件等）或气体可能积聚的位置（如结构梁、电缆门架及管架）得到加强，应设置局部通风并配备气体探测装置。

10.1.3.17 非危险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。

10.1.3.18 非危险处所的空气出口应位于危险区域外。

10.1.3.19 用于含有燃料气体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；

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，故不能用于危险处所。

10.1.3.20 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，并在向该处所内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；

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；

② 如不能立刻恢复到正压状态，应按经认可的标准[①]自动或按程序切断电气装置。

10.1.3.21 设有通向围蔽的危险处所出入口的非危险处所，应设置空气闸，且危险处所应相对该非危险处所保持负压状态。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；

(2)如不能立刻恢复到负压状态，应按经认可的标准[①]自动或按程序切断非危险处所内的电气装置供电。

第2节 燃料罐接头处所

10.2.1 一般要求

10.2.1.1 燃料罐接头处所应安装有效的负压机械通风系统，其通风能力应为每小时至少换气30次。

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

10.2.1.3 通往燃料罐接头处所的含有螺栓舱盖的处所，应设置独立的抽吸式机械通风系统，通风能力应为每小时至少换气8次。

10.2.1.4 如燃料罐的接头位于燃料罐处所内，则燃料罐处所也应满足本节的要求。

① 参见 IEC60092-502《船舶电气装置-液货船-特征》中的表 5。

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他通风系统。

第4节　燃料准备间

10.4.1　一般要求

10.4.1.1　燃料准备间应安装有效的负压机械通风系统，其通风能力应为每小时至少换气30次。

10.4.1.2　在泵或压缩机工作时，燃料准备间的通风系统应保持运转。

10.4.1.3　对于燃料准备间出现泄漏恢复后的燃料供应系统的首次启动，或人员进入前等情况，通风系统应至少运行10min后，泵和压缩机方可启动，并在相应控制位置张贴有关警示牌。

第5节　加注站

10.5.1　一般要求

10.5.1.1　位于围蔽处所内的加注站应安装有效的负压机械通风系统，其通风能力应为每小时至少换气30次。

10.5.1.2　位于半围蔽处所内的加注站应根据风险评估结果配备相应的机械通风系统。

第6节　双壁管

10.6.1　一般要求

10.6.1.1　双壁管环形空间应安装有效的负压机械通风系统，其通风能力应为每小时至少换气30次。双壁管若符合本篇6.4.1.1（1）的规定，则本条要求不适用。

10.6.1.2　双壁管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露天非危险区域内。通风进口处应设有合适的金属防护网，并防止进水。

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 本章与本篇第1章1.1.3.2（1）至（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：

(1)电气装置不应安装在可能出现爆炸性气体环境的区域，除非是出于必不可少的作业需求；

(2)安装在可能出现爆炸性气体环境区域的电气装置，应设计为能最大限度降低点燃风险；

(3)电气设备应确保其功能性符合设计要求，并能在全部正常工况及合理可预见的异常工况（如富氧/缺氧环境）下按预期运行；

(4)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罐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 电气设备安装在本节11.1.3.5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CCS所接受的标准①。在危险区域中使用的设备应经CCS认可机构的评估、认证和登记。

11.1.3.2 安装于可能存在富氧环境的区域（如设有液化氢燃料罐的舱室）的电气设备应尽实际可能排除所有潜在点火的可能性，并还应符合公认的标准②。

11.1.3.3 除本篇第9章9.2.2.2（8）提及的由空气闸保护的舱室外，其他舱室不应将电气设备断电作为安全措施。

11.1.3.4 电气设备符合的标准应至少等效于CCS所接受的标准③。

11.1.3.5 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。

11.1.3.6 用于维持燃料罐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CCS接受的标准④对其进行单个故障的失效模式及影响分析（FMEA）并予以记录。

11.1.3.7 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。

11.1.3.8 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。

11.1.3.9 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。上述关停信号应在驾驶室，连续有人值班的集控室或船舶安全中心发出声光报警。

11.1.3.10 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。

11.1.3.11 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。

11.1.3.12 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，其应为与该场所危险等级相适应的合格防爆型设备。

---

① 参考 IEC 60079 系列标准。
② 参考 ISO 21010《低温容器气体/材料相容性》。
③ 参考 IEC 60092 系列标准，如适用。
④ 参考 IEC 60812《失效模式和效应分析》。

11.1.3.13 加注站附近应设有应急照明或临时应急照明。

11.1.3.14 氢燃料供应相关的控制系统、监测系统和安全系统，以及氢发动机和氢燃料电池的电控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实现不间断供电，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。

11.1.3.15 电气设备的设计应确保在正常的使用条件下，外壳外表面的静电不会累积到危险的程度。

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 本章目的是规定氢燃料装置的控制、监测和安全系统的布置要求，为本篇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 本章与本篇第1章1.1.3.2（1）、（2）、（11）、（13）至（15）、（17）至（19）中的功能要求相关，特别应满足下述要求：

(1)氢燃料装置的控制、监测和安全系统的设计应使得其相关子系统失效概率降至最低，且在单一故障情况下，主推进动力/电力系统的剩余功率满足本篇第6章6.1.4.1的规定；

(2)氢安全系统应布置成：在发生本章表12.4.1所述系统故障以及其他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)为避免可能的共因故障，氢燃料系统安全有关的功能应部署在一个专用的氢安全系统中，该系统应独立于氢控制系统（用于氢燃料装置正常运行时的控制和监测），并包括供电以及输入和输出信号；

(4)氢安全系统包括现场仪表，应布置成能够避免误切断或非预期释放，例如，由于气体探测器故障或传感器线路断线而误切断；

(5)当存在两套或多套氢供应系统时，每套系统均应设有独立的氢控制系统和安全系统；

(6)应能在围蔽处所和开敞甲板上检测任何形式的燃料泄漏；

(7)应能检测任何影响船舶安全运行的安全功能故障/失效。

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显示，以确保对整个氢燃料系统（包括加注）的安全管理。

12.1.3.2 对于船上安装的非固定式燃料罐，应按本章12.2.8的规定配备监测系统。

12.1.3.3 安全系统应独立于控制和监测系统。

12.1.3.4 独立式液化氢燃料罐接头处所内的污水阱，应设有液位指示器和温度传感器。污水阱高液位时应发出报警，低温指示应触发安全系统。液位指示器仅用于显示报警状态，可为液位开关（浮动开关）型式。

12.1.3.5 控制、监测和安全系统应合理设计以覆盖本篇第1章1.1.6.3中提及的氢的特殊风险，应基于本篇第1章1.1.6风险评估的结论，制定对氢气泄漏或火灾探测、附加安全措施（如通风）失效的早期连续探测，并触发相应的安全动作（关闭、停机、切断燃料等）。

12.1.3.6 控制、监测和安全系统的设计应考虑用气设备的实际布置情况，特别是单一氢燃料运行工况下，应尽可能采用冗余配置和隔离布置，避免安全功能动作导致船舶失去全部动力。

12.1.3.7 在双燃料运行工况下，应确保燃料切换不会导致额外风险的前提下，方可切断氢燃料供应后转为其他燃料继续运行。

12.1.3.8 安全系统应能在氢燃料系统出现异常或故障等情况时，防止因此可能导致的危险，特别应将氢燃料回归到安全的静态状态，以便可以采取补救行动。安全系统即使在氢燃料供应中断时仍能保持气体探测和报警等安全功能。

第2节　监测与控制

12.2.1 加注和燃料罐

12.2.1.1 液化氢燃料罐液位指示

(1)每一液化氢燃料罐应安装液位测量装置，其布置应确保燃料罐处于使用状态时，始终可获得液位读数。测量装置应设计成能在燃料罐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罐使用时仍能对其进行必要的维修，而无需清空燃料罐或对燃料罐进行除气。

(3)液化氢燃料罐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；

② 不伸入燃料罐的闭式装置，例如使用放射性同位素或超声波装置等；

③ 伸入燃料罐的闭式装置，其为封闭系统的组成部分，并能防止气体燃料溢出，如浮筒式系统、电子探头、磁性探头、压差式传感器和气泡管式指示器等。该装置应视为燃料罐的接头。如果闭式测量装置不是直接装在燃料罐上，则应在尽可能靠近燃料罐的位置设一个截止阀。

(4)在驾驶室、连续有人值班的集控室（站）或船舶安全中心应有燃料罐液位的间接指示。

12.2.1.2 液化氢燃料罐溢流监控

(1)每个燃料罐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)每个燃料罐还应设有另一传感器，在燃料罐处于高高液位时，其应能自动关闭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罐内被充满燃料。该传感器应与本节12.2.1.2（1）要求的液位传感器相互独立。

(3)高位报警和溢出报警的所有构件（包括高液位和溢流控制电路和传感器）应能进行功能试验。

(4)如设有可越控溢流控制系统的装置，其应能防止误操作。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 每个燃料罐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 燃料罐压力表上应清晰标记燃料罐内的最高和最低允许压力。

12.2.1.5 燃料罐应设有压力传感器，当容器内部压力低于安全所必需的最低压力要求（如避免空气倒灌所设置的最低剩余压力，即维持罐内正压）时，应及时切断燃料的输出。如压力传感器的数据可在就地进行压力显示并能清晰标明燃料罐允许的最高和最低压力，则可替代本节12.2.1.3要求的压力表。

12.2.1.6 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罐的高压报警，以及低压报警（如需真空保护，或有本节12.2.1.5最低剩余压力要求时）。在达到安全阀（如有时）的设定压力之前，应触发报警。

12.2.1.7 应设有就地读数的总管压力指示器，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 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。

12.2.1.9 每个燃料泵或压缩机出口管路上和每个液态和气态燃料总管上，应至少各安装1个就地显示的压力表。

12.2.1.10 真空绝热液化氢燃料罐应设置监测真空度的装置。

12.2.1.11 未设有通向大气开口的燃料罐处所均应设置压力表。

12.2.1.12 至少1个压力表应能在整个操作压力范围内进行指示。

12.2.1.13 每个燃料罐应设置燃料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。在此位置应能获取与氢加注作业相关的所有信息，并能对本篇第5章5.3.1.2所要求的截止阀和第8章8.3.2.7水雾系统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 燃料罐压力、温度和液位，以及任何泄漏监测的报警信号应在本节12.2.2.1所述位置和驾驶室进行显示。如设有双壁管，双壁管环形空间内的泄漏监测报警信号也应进行显示。

12.2.2.3 加注管路的双壁管内通风失效，应在加注控制位置发出声光报警。

12.2.2.4 加注管路的双壁管内探测到燃料泄漏，应在加注控制位置发出声光报警，并紧急切断氢燃料加注。

12.2.3 氢燃料供应系统

12.2.3.1 燃料供应系统应设有过压保护装置，在压力达到设定压力时发出听觉和视觉报警。

12.2.3.2 应在驾驶室和机舱集控室设有氢燃料热交换器的声光报警。报警项目应至少包括燃料出口低温、传热介质低温和传热介质循环流量低。

12.2.3.3 应在驾驶室和机舱集控室设有氢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[①]。

12.2.3.4 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 氢燃料发动机

12.2.4.1 除满足SOLAS II-1章C部分和《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》对柴油机监测的适用要求外，还应在驾驶室、集控室和机旁设置指示器，以指示：

⑴发动机运行状态（适用于单一气体燃料发动机）；

⑵发动机运行状态和运行模式（适用于氢-燃油发动机和氢-其他燃料发动机）。

12.2.5 通风监测

12.2.5.1 本篇第10章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听觉和视觉报警。

12.2.5.2 确认通风系统运行时具备本节12.2.5.1中“所要求的通风能力”的可接受方法，包括但不限于下列方法，可选择其中一种或多种：

⑴监测通风电动机或风扇运行并结合负压指示；

⑵监测通风电动机或风扇运行并结合通风流量指示；

⑶监测通风流速以确认达到所要求的空气流速。

12.2.5.3 对于燃料罐接头处所、燃料准备间、双壁管（通风管道），其内部通风（或真空/惰化环境）失效时应触发安全系统。

12.2.6 真空及惰化监测

12.2.6.1 下列情况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听觉和视觉报警：

⑴燃料罐接头处所真空或惰化环境（如适用）失效；

⑵燃料准备间真空或惰化环境（如适用）失效；

⑶氢管道双壁管环围空间真空或惰化环境（如适用）失效；

⑷真空绝热液化氢燃料围护系统真空失效。

① 参见 SY/T 6650《石油、化学、天然气工业用往复式压缩机》表 5 最低报警停机要求。

12.2.6.2 监测设备的安装不应破坏真空空间的完整性，且不应导致真空空间发生空气低温吸附现象。

12.2.7 低温监测

12.2.7.1 应对液化氢燃料系统的真空层温度和压力进行连续监测，发生泄漏故障时应自动关闭隔离泄漏所需的截止阀。

12.2.7.2 液化氢燃料管道双壁管环形空间内探测到泄漏时应触发安全系统，自动关闭隔离泄漏所需的截止阀。加注管路双壁管环形空间内探测到泄漏应立即触发自动关闭加注阀。

12.2.8 可移式燃料罐

12.2.8.1 可移式燃料罐应设置控制和监控系统以及独立的安全系统。

12.2.8.2 可移式燃料罐的控制、监测和安全系统应按照固定式燃料罐的要求进行配置。

12.2.8.3 监测与安全功能还应符合《国际海运危险货物规则》（IMDG）对可移式燃料罐的要求，并应包含以下功能：

⑴控制、监控系统故障后，安全功能应保持可用；

⑵应设有必要措施，供船员读取每个氢燃料罐的燃料储量；

⑶传感器与仪表的布置应尽可能便于更换，而无需清空燃料罐或对燃料罐进行除气；

⑷所有本地读数应能通过接口实现远传；

⑸遥控阀应为故障安全型；

⑹可移式燃料罐应设置逻辑控制器实现自监测，并在发生故障时向船舶发送报警。

12.2.8.4 每一可移式燃料罐应设置紧急关断装置，该装置应能与船舶安全系统连接以实现紧急情况下的安全隔离。

12.2.8.5 对于配备TPRD或PRD的可移式压缩氢气燃料罐，紧急关断系统的动作不应妨碍TPRD或PRD通过排气系统泄放压力。

12.2.8.6 每一可移式燃料罐或总容量不超过3000L的一组可移式燃料罐，应在氢供应管系的柔性连接装置的上游位置设置能够就地和远程操作的截止阀，并在尽可能靠近罐体处设置过流阀。

12.2.8.7 可移式燃料罐附近应设有相应探测装置，发生火灾时应能够自动关闭截止阀，停止氢燃料供应，同时发出报警。

12.2.8.8 用于释放氢气的排气系统应设有氢气探测器（建议为氢气分析仪），当探测到氢气浓度超过25%LEL时发出报警，以验证压力释放装置是否存在内部泄漏，以及惰化和气体置换等操作是否执行得当。

第3节 气体探测

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：

⑴燃料罐处所/燃料罐接头处所内；

⑵燃料准备间内；

⑶双壁管内外层管之间；

⑷含有燃料管路、涉氢设备或用气设备的机器处所内（发动机上方）；

⑸加注站；

⑹可能存在氢的次级回路（如冷却/加热回路）；

⑺空气闸内；

⑻其他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型独立燃料罐以外独立燃料罐的燃料罐处所；

⑼其他含有燃料管路或燃料设备，但未设置双壁管的围蔽处所内；

⑽与气体燃料系统相关的传动装置（电动机）处所内；

⑾气体阀件单元处所（当其内部空间不大于2m^{3}且与通风导管连通时，可视为通风导管的一部分）；

⑿集液盘上方；

⒀经风险分析后，可能存在可燃气体的其他位置（如可能受到可燃气体影响的起居处所和机器处所的通风进口）。

12.3.1.2 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。

12.3.1.3 气体探测器宜安装在气体/蒸气可能积聚的位置和/或通风出口。对于几何形状较为复杂的空间，应采用气体扩散分析或物理烟雾测试来确认最佳的布置位置。一般情况下应设置在可能存在氢气积聚的围蔽处所顶部，对于液化氢系统和设备所在的围蔽处所，还应考虑液化氢或两相态氢在地面流动和积聚的可能性。

12.3.1.4 可采用不同探测原理的气体探测器实现各泄漏场景的充分覆盖，包括但不限于点型探测器、线型探测器或声学探测等类型。声学探测器应仅针对高压氢泄漏产生的高频特征声波的探测，且船舶作业环境中的低频噪声能够被有效的过滤。

12.3.1.5 气体探测器应按照CCS接受的标准①进行设计和试验。

12.3.1.6 氢气浓度达到20%LEL时，应触发声光报警。两个探测器同时探测到氢气浓度达到40%LEL时，应触发安全系统。

12.3.1.7 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。

12.3.1.8 可燃气体探测应连续进行。

12.3.1.9 气体探测器的安装位置应便于对其进行测试和校准。

12.3.1.10 基于冗余的考虑，气体探测器应为两个互相靠近且独立的探测器。若采用单探测器，则该探测器必须具备自检功能，并应备有备件以便及时更换，且探测器的任何故障应禁止相应燃料供应系统运行（安全联锁）。

12.3.1.11 除固定式可燃气体探测系统之外，船舶上还应配备1套可携式气体探测设备。

第4节 监测、控制和安全系统功能

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，张贴明显可见的指示牌。

12.4.1.2 燃料供应系统应提供能进行手动遥控紧急切断的装置，如燃料供应系统包含压缩机和泵，在切断燃料供应时也应一并紧急关停。该装置应有明确的功能标识，且为能防止误触碰的手动按钮，并在下述位置进行布置（如设有）：

⑴驾驶室；

⑵货物控制室；

⑶船舶安全中心；

⑷机舱集控室；

⑸消防控制站；

⑹燃料准备间出口附近。

氢燃料压缩机还应设置手动就地紧停装置。

12.4.1.3 对于本章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，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。

① 参见 IEC60079-29-1《爆炸性环境-气体探测器-易燃气体探测器的性能要求》。

12.4.1.4 氢泄漏故障未消除之前，安全系统不得重新开启泄漏点的燃料供应。

12.4.1.5 报警及限定故障后果的安全动作应根据本章前述内容和本节表12.4.1进行设置。

供气系统的安全功能 **表 12.4.1**

参数	报警	自动关闭燃料罐主阀⑥	自动关闭机器处所燃料供应	注释
燃料罐、加注站及加注管路				
液化氢燃料罐真空绝热失效	×	×		
燃料罐温度高	×	×		
燃料罐压力高	×			
燃料罐压力高高	×	×		需协同停止加注作业
液化氢加注管路真空或惰性环境失效	×			
围蔽/半围蔽加注站内气体浓度高于20% LEL	×			
围蔽/半围蔽加注站内2个探测器①均探测到的气体浓度高于40% LEL	×	×		需协同停止加注作业
燃料罐液位高	×			
燃料罐液位高高	×	×		需协同停止加注作业
燃料罐压力低	×	×		
燃料罐液位低	×	×		
围蔽/半围蔽加注站部分通风失效	×			
围蔽/半围蔽加注站全部通风失效	×	×		需协同停止加注作业
燃料罐处所、燃料罐接头处所和燃料罐接头所在的封闭空间				
燃料罐接头处所/燃料罐接头所在的封闭空间真空或惰化环境失效	×			
设备的二层环围结构（如有时）内真空或惰化环境失效	×			
设备的二层环围结构（如有时）内发生泄漏	×	×		20%LEL 报警，40%LEL 切断
燃料罐接头处所/燃料罐接头所在的封闭空间内气体浓度高于20% LEL	×			
燃料罐接头处所/燃料罐接头所在的封闭空间内2个探测器①均探测到的气体浓度高于40% LEL	×	×		
燃料罐区域/处所内探测到火灾	×	×		
甲板下方的燃料围护系统通风围阱内探测到火灾	×	×		
燃料罐接头处所内污水阱高液位	×			
燃料罐接头处所内污水阱低温	×	×		
燃料罐接头处所/燃料罐接头所在的封闭空间内部分通风失效	×			

燃料罐接头处所/燃料罐接头所在的封闭空间内全部通风失效	×	×		
液化氢燃料管路真空或惰性环境失效	×			
屏蔽间处所内气体浓度高于20% LEL	×			
燃料罐处所内气体浓度高于20% LEL	×			
燃料准备间				
燃料准备间真空或惰化环境失效	×			
设备的二层环围结构（如有时）内真空或惰化环境失效	×			
设备的二层环围结构（如有时）内发生泄漏	×	×		20%LEL 报警，40%LEL 切断
燃料准备间内气体浓度高于20% LEL	×			
燃料准备间内2个探测器①均探测到的气体浓度高于40%LEL	×	×②		
燃料准备间内部分通风失效	×			
燃料准备间内全部通风失效	×	×		
液化氢燃料管路真空或惰性环境失效	×			
舱壁轴填料函和轴承温度高	×			
位于燃料罐（含）和机器处所之间的供气管系				
燃料罐处所和氢燃料发动机机器处所之间的双壁管内真空或惰化环境失效	×			
燃料罐处所和氢燃料发动机机器处所之间双壁管内气体浓度高于20% LEL	×			
燃料罐处所和氢燃料发动机机器处所之间双壁管内2个探测器①均探测到的气体浓度高于40%LEL	×	×②		
燃料罐处所和氢燃料发动机机器处所之间的双壁管内部分通风失效	×			
燃料罐处所和氢燃料发动机机器处所之间的双壁管内全部通风失效	×		×②	
燃料供应管道内压力异常	×			
氢燃料发动机机器处所				
氢燃料发动机机器处所内双壁管内部分通风失效⑤	×			如氢燃料发动机机器处所内设有双壁管
氢燃料发动机机器处所内双壁管内全部通风失效⑤	×		×③	如氢燃料发动机机器处所内设有双壁管

氢燃料发动机机器处所内探测到火灾	×		×	
含有氢燃料发动机的机器处所内的双壁管内气体浓度高于20%LEL	×			如氢燃料发动机机器处所内设有双壁管
含有氢燃料发动机的机器处所内的双壁管内2个探测器①均探测到的气体浓度高于40%LEL	×		×③	如氢燃料发动机机器处所内设有双壁管
其他				
阀门控制工作介质失效	×		×④	视需要可延迟
氢燃料供应系统手动紧急切断	×	×	×	
氢燃料发动机自动停止工作	×		×④	
氢燃料发动机手动紧急切断	×		×	
氢燃料发动机紧急停止工作	×		×	
空气闸内气体浓度高于20%LEL	×			
空气闸两边的门同时处于开启状态	×			
空气闸门开启的同时通风失效	×			
空气闸内相对于邻近的较高危险类别的处所失去正压保护（小于25Pa）	×			
热交换器膨胀柜内气体浓度高于20%LEL	×			

注：表中“×”表示适用。

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如果燃料罐向 1 台以上发动机供应燃料，并且不同的供应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内的供气管路上的主阀。

③如果氢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阀。

④仅关闭双截止透气阀。

⑤如果管道由惰性气体进行保护，则惰性气体失压将同样引起表中规定的动作。

⑥指本篇第 6 章 6.2.2.1 所述的阀。

第13章　氢燃料动力船舶自动化要求

第1节　一般规定

13.1.1 一般要求

13.1.1.1 本章规定了氢燃料动力船舶自动化的要求。除本章、本篇第12章和本指南第2篇第5章（适用于燃料电池船舶）明确规定者外，氢燃料动力船舶还应满足CCS《钢质海船入级规范》第7篇的要求。

13.1.1.2 本章所述自动化系统包括控制系统、安全系统和报警系统（含显示系统）。

13.1.1.3 对于满足本章第2节有关要求的船舶，可授予下列附加标志：

推进装置由驾驶室控制站遥控，机器处所包括机舱集控站（室）周期无人值班—AUT-0；

13.1.1.4 设有符合本章要求的自动化系统的船舶，均应能适应所有航海工况（包括机动操纵航行）。

13.1.1.5 设有符合本章要求的自动化系统的船舶的安全性，应与机电设备有人直接看管的船舶相同，并应有措施保证在自动化系统失效时能在机旁对机电设备进行有效的人工操作。

第2节　周期无人值班机器处所 AUT-0 附加标志的要求

13.2.1 一般要求

13.2.1.1 氢燃料供应系统应满足本篇第12章的有关要求。

13.2.1.2 氢燃料发动机除满足CCS《钢质海船入级规范》第7篇第3章3.2.2的适用要求外，还应满足本篇第7章第2节的有关要求。

13.2.1.3 氢燃料辅机应满足CCS《钢质海船入级规范》第7篇第3章第5节的适用要求。

13.2.1.4 氢燃料电池应满足本指南第2篇第4章第3节的有关要求。

13.2.1.5 氢燃料供应系统、氢燃料发动机、氢燃料辅机、推进发电机组氢燃料发电机和燃料电池安全系统的要求见本节表13.2.2.3第4栏；

13.2.1.6 氢燃料供应系统、氢燃料发动机、氢燃料辅机、推进发电机组氢燃料发电机和燃料电池报警系统（包括显示）应满足下列要求：

⑴本节表13.2.2.3所要求的遥测显示仅适用于在机舱集控站（室）显示和报警的项目，见表13.2.2.3第2栏和第3栏；

⑵应在驾驶室控制站报警的项目和报警方式见本节表13.2.2.3第5栏；

⑶应在驾驶室控制站、机舱集控站（室）和燃料电池就地控制站显示的项目见本指南第2篇第5章第2节。

13.2.2 自动化监视项目表

13.2.2.1 具有AUT-0附加标志的自动化船舶，氢燃料供应系统、氢燃料发动机、氢燃料辅机、推进发电机组氢燃料发电机和燃料电池自动化监视项目应满足本节表13.2.2.3的要求。

13.2.2.2 本节表13.2.2.3所采用的符号及其含义如下：

—：不要求设置；

a：a类保护动作，如紧急停车、切断电源等；

b：b类保护动作，如降低转速或功率运行；

c：c类保护动作，如备用泵、备用设备起动并投入运行；

S：单项报警；

Ga：a类保护动作触发时的组合报警；

Gb：b类保护动作触发时的组合报警；

R：严重故障的组合报警；

Y：一般故障的组合报警。

13.2.2.3 对于未设置集控站（室）（或监视室）的氢燃料动力船舶，应在就地和值班室（如船上设有）配电室设有表13.2.2.3第2栏要求显示的项目和第3栏要求报警的项目。

AUT-0 附加标志氢燃料动力船舶的自动化监视项目　　表 13.2.2.3

项 目	集控站(室)		安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	备 注
	显示	极限报警			
1	2	3	4	5	6
氢燃料供应系统					
氢燃料罐压力	压力	低	a	Ga	
氢燃料罐温度	温度	高	a	Ga	
氢气进机压力	压力	低	—	Y	
氢气进机纯度	—	低	—	Y	适用于船舶在线制氢时。
氢燃料发动机					
应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 3 章第 10 节表 3.10.1.1“主柴油机”自动化监视项目表的适用要求。					
氢燃料辅机					
应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 3 章第 10 节表 3.10.1.1“辅柴油机”自动化监视项目表的适用要求。					
推进发电机组氢燃料发电机					
应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 3 章第 10 节表 3.10.1.1“推进发电机组柴油机”自动化监视项目表的适用要求。					
燃料电池					
燃料电池内部温度	—	高	a	Ga	适用于安装在 1 类危险区域的燃料电池处所中，且燃料电池堆表面温度有可能高于300℃的燃料电池。
燃料电池内部氢泄漏	—	高	a	Ga	
输出电压	电压	低和高	—	Y	
输出电流	电流	高	—	Y	
控制系统故障	—	异常时	—	Y	
冷却水进机压力或流量	压力或流量	低	c	Y	
		过低	b	Gb	
冷却水出口温度	温度	高	b	Gb	
氢泵		异常	a	Ga	
空气压缩机		异常	a	Ga	

项 目	集控站(室)		安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	备 注
	显示	极限报警			
1	2	3	4	5	6
空气排气温度	—	高	—	Y	可采用间接监测方式。
氢气排气浓度	—	高	—	Y	作为主电源的每个燃料电池尾排应独立监测，不作为主电源的燃料电池可共用一个气体探测器。
用于燃料电池起动的设备故障	—	异常时	—	Y	

第14章　操作、演练、培训及人员保护

第1节　操作要求

14.1.1 目的

14.1.1.1 本章旨在确保用于氢燃料系统加注、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。

14.1.2 功能要求

14.1.2.1 本章与本篇第1章1.1.3.2（1）至（3）、（9）、（11）、（14）至（16）中的功能要求相关，特别应满足如下要求：

⑴船上应备有所有与氢燃料相关装置的维护程序和资料；

⑵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；

⑶船上应备有适当的应急响应程序。

14.1.2.2 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，应在机器处所明显可见的位置张贴指示牌。

14.1.2.3 氢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，不得进行直接或间接影响燃料管路安全的起重作业。

14.1.2.4 与氢燃料加注有关的操作可参照CCS《船舶氢燃料加注作业指南》中的相关要求。

14.1.2.5 氢燃料系统和设备的操作人员应配备防静电服和鞋类，以及便携式氢气探测器。

14.1.3 维护

14.1.3.1 维护和修理程序应符合本篇第2章对燃料罐位置和邻近处所的规定。

14.1.3.2 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[①]进行。

14.1.4 加注责任

14.1.4.1 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：

⑴书面同意加注程序，包括冷却、驱气（如需要）、各阶段最大加注速度及拟加注量；

⑵书面同意在紧急情况下应采取的行动；

⑶填写并签署加注安全检查清单。

14.1.4.2 在加注作业完成后，船舶负责人应领取并签收一份所加注燃料的燃料供应通知单，该通知单至少包含CCS《船舶氢燃料加注作业指南》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。

14.1.5 燃料操作手册

14.1.5.1 本节14.1.2.1（2）所要求的燃料操作手册应包括但不限于：

⑴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；

⑵应制定包含预热、惰性气体吹扫、除气、氢气吹扫及预冷在内的程序。该程序至少应包含以下内容：

① 根据温度限制选择惰性气体（仅液化氢）；

② 气体浓度测量；

① 参见 IEC60079-17《爆炸性环境—第 17 部分：电气装置的检查和维护》。

③ 温度测量；

④ 气体供给速率；

⑤ 各项操作环节的启动、暂停、恢复及终止条件；

⑥ 回气处理；

⑦ 气体排放。

(3)燃料温度和压力控制、报警和安全系统；

(4)系统限制、冷却速度和加注前燃料罐最高温度，包括燃料最低温度、燃料罐最大压力、加注速度、充装极限和晃荡限制；

(5)惰性气体系统的操作；

(6)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；

(7)用于特种燃料安全操作所需的特殊设备；

(8)固定和可携式气体探测设备的操作和维修；

(9)紧急关闭和紧急释放系统（如设有）；

(10)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；

(11)对于液化氢，燃料操作手册至少应包括以下内容：真空保护型燃料罐及管路预热期间，应假定绝热空间内可能存在低温吸附的氮气和氧气，并在手册中明确这些气体的蒸发可能会产生潜在的危险，及相应的应对措施。

(12)对于可移式燃料罐，燃料操作手册还至少应包括：

① 可移式燃料罐的系固、连接和拆卸等换罐操作；

② 吹扫及除气程序；

③ 紧急情况下可移式燃料罐内燃料的转移操作。

14.1.5.2 应复制一份燃料系统原理图及管系和测试仪表图，并固定张贴在船舶加注控制站和加注站。

14.1.6 加注前检查

14.1.6.1 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；

(5)软管和接头的检查。

14.1.6.2 对于可移式燃料罐，除满足本节14.1.6.1的要求外，加注前检查还应包括：

(1)可移式燃料罐投入使用前，应对燃料罐和船舶之间的管路系统进行气密试验。气密性试验应采用氦气或5%氢气与95%氮气的混合气体作为试验介质；

(2)可移式燃料罐就位并与船舶系统连接后，应验证燃料罐与船舶自动化系统之间用于监测、控制及安全系统的通信链路功能；

(3)可移式燃料罐就位并与船舶系统连接后，应验证燃料罐相关系统的功能（如惰化系统、通风系统、气体探测系统和火灾探测系统等）；

(4)可移式液化氢燃料罐就位并与船舶系统连接后，应验证其真空绝热系统的有效性；

(5)首次进行液化氢加注时，应对可移式液化氢燃料罐及其相邻船体结构进行冷点检测。

14.1.6.3 加注安全检查表应逐项标明经检查合格的项目，并由双方负责人签署，共同同意和执行。

14.1.7 船舶加注方通信

14.1.7.1 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，通信恢复前应停止加注作业。

14.1.7.2 加注作业中所使用的通信设备应符合CCS可接受的认可标准。

14.1.7.3 负责人应能与参与加注作业的所有人员进行直接和即时的通信。

14.1.7.4 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[①]。

14.1.8 电气屏蔽接地

14.1.8.1 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[②]。

14.1.9 燃料加注条件

14.1.9.1 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。

14.1.9.2 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应恢复燃料输送。

14.1.9.3 如通过安装可移式燃料罐进行加注，则其加注过程应具有与固定式燃料罐和系统相同的安全水平。可移式燃料罐应在上船前完成充装，且在与燃料系统连接前予以适当固定。

14.1.9.4 对于非永久性安装在船上的燃料罐，所有必需的燃料罐系统（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，不应进行可移式燃料罐的连接和断开。

14.1.9.5 可移式燃料罐吊装上船前应制定并执行具体检查程序，对燃料罐、设备及集装箱（如适用）的状态进行检查，以确认陆路运输过程中未发生泄漏或其他损坏。检查结果应进行记录，并保存在船上以供备查。

14.1.9.6 吹扫和除气过程中应能获得可靠的气体浓度测量数据。吹扫和除气程序应记录在燃料操作手册中。

14.1.9.7 可移式燃料罐的装卸和固定作业应在作业气象条件允许范围内（即波浪、风力和流速限制）进行。船舶应采用适当的系泊，以防止可移式燃料罐在吊装操作期间产生过度的晃动。

14.1.9.8 可移式燃料罐装卸、固定和连接作业过程中，应停止/减少其他无关作业（如货物装卸），除非在风险评估中已予以考虑。

14.1.9.9 吊装作业不得在氢燃料储存区域及燃料管线上方进行。

14.1.9.10 对于本篇第3章3.6.1.13要求的可移式燃料罐的控制、监测和安全系统，每次与船舶系统连接完成后，应对连接的有效性进行测试。测试结果应进行记录，并保存在船上以供备查。

14.1.10 进入围蔽处所

14.1.10.1 在正常操作情况下，人员不应进入可能有气体或易燃蒸气积聚的燃料罐、燃料罐处所、空舱处所、燃料罐接头处所或其他围蔽处所，除非采用固定式或便携式设备测定，确定该处所内具有足够的氧气且不存在爆炸性气体[③]。

14.1.10.2 人员在进入被指定为危险区域的任何区域时，不应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该状态始终得到保持。

① 参见 ISO28460《石油和天然气工业-液化天然气装置和设备-船岸接口和港口运营》。

② 参见 API RP2003《防止静电、闪电和杂散电流引起的着火》和 ISGOTT《国际油轮和油码头安全指南》。

③ 参见国际海事组织（IMO）A.1050（27）决议《进入船上封闭处所的建议案》。

14.1.11 燃料系统的惰化和吹扫

14.1.11.1 燃料系统惰化和吹扫的主要目的是防止在燃料系统管系、设备和邻近处所内、附近或周围形成可燃气体。

14.1.11.2 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。

14.1.12 燃料系统上或附近的热工

14.1.12.1 对于在燃料罐、燃料管系，以及易燃的、受氢气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作业，只有在该区域已予以保护，经证明无爆炸风险，并获得所有许可时才能进行。

第2节 操作演练

14.2.1 目的

14.2.1.1 本节旨在确保氢燃料动力船舶的船员充分具备执行其职责的适任能力。

14.2.2 一般要求

14.2.2.1 船舶应配备操作演练手册，操作演练手册应提供详细说明和示例，以详细说明如何针对用于危险和事故控制的应急响应和安全系统进行测试和定期检查。

14.2.2.2 船上应定期进行演习和应急演练，与氢燃料系统相关的演练可包括：

⑴桌面推演；

⑵基于燃料操作手册的加注流程推演；

⑶潜在意外事件的应对；

⑷应急响应设备的使用；

⑸核查特定的船员接受其在燃料加注和应急响应过程中所承担的职责方面的培训。

14.2.2.3 氢燃料系统相关的演练可与其他定期演练一并进行。

14.2.2.4 应对用于危险和事故控制的应急响应和安全系统进行定期检查和测试。

第3节 培训

14.3.1 目的

14.3.1.1 本节旨在明确使用氢燃料动力船舶上的船员应接受的培训。

14.3.2 功能要求

14.3.2.1 应确保使用氢燃料动力船舶的船员已完成培训，并证明其具备与其岗位职责相匹配的能力，尤其是在紧急情况下所需的能力。

14.3.2.2 使用氢燃料动力船舶的船长、高级船员、普通船员和其他人员均应接受相关培训。

14.3.2.3 参与可移式燃料罐装卸、固定和连接作业的人员应接受专门的培训。

14.3.3 一般要求

14.3.3.1 所有人员应充分理解与氢系统有关的特点、操作与维护要求，以及人员和公众可能暴露于危险中的潜在风险。

14.3.3.2 所有人员应接受与其职责范围及参与程度相符的氢系统安全操作与管理培训。

14.3.3.3 应针对全部合理可预见事件（包括但不限于泄漏、火灾、爆燃或爆炸）制定应急程序并开展相关教育/培训。

14.3.3.4 应定期审查安全与培训计划，确保相关程序、技能和知识的适用性与时效性。

第4节　人员保护

14.4.1 目的

14.4.1.1 本节旨在确保为船上人员提供防护装备，确保在日常操作、紧急情况以及氢暴露可能引发的急性危害及长期影响下均能保障安全。

14.4.2 功能要求

14.4.2.1 本节与本篇第1章1.1.3.2（1）、（11）和（15）中的功能要求相关，特别应满足如下要求：

⑴为保护参与操作、维护和应急响应的人员，船舶应配备适用于氢暴露的防护装备，并考虑不同操作的暴露风险；

⑵为保护和救治接触氢的船员，船上应配备适用的急救器材或设备。

14.4.3 一般要求

14.4.3.1 应为从事氢燃料系统常规操作的人员配备适当防护设备，并综合考虑本篇第1章1.1.6.3中所列的氢特定危害及船舶操作程序。

14.4.3.2 本节要求的个人防护及安全设备应存放于船上明显标识、便于快速取用的专用储物柜中。

14.4.3.3 在存在氢系统及设备的区域，人员应穿着防静电服。

14.4.3.4 对于液化氢的低温防护，应配备极寒低温防护服、手套、眼部和耳部防护设备、面罩、呼吸保护装置，以及阻燃服装。

14.4.3.5 冻伤组织处理需专业人员指导，重点注意事项包括：

⑴不可强行移除冻结的手套、鞋履或衣物（防止皮肤撕裂），未脱落的衣物可通过温水浴移除；

⑵禁止按摩低温灼伤部位；

⑶受伤部位接触水温不得超过44℃，应保持在37-44℃范围内；

⑷禁用安全淋浴器和洗眼器（因水温不可控），安全淋浴器需明确标注“不可用于低温灼伤处理”；

⑸禁止使用冰、雪或药膏。

第15章　氢燃料动力系统预设技术要求

第1节　一般规定

15.1.1 适用范围

15.1.1.1 本章适用于在新造船阶段采用氢燃料动力系统预设方案，拟将来实施氢燃料动力系统安装改造的船舶。

15.1.1.2 本章规定了船舶采用氢燃料动力系统预设方案时，氢燃料动力系统相关装置的布置、结构加强、材料、燃料加注及供应、通风透气及惰化、消防、电气设备与危险区域、控制监测安全系统等方面的要求。

15.1.1.3 如有特殊的或新型的氢燃料动力系统，不能满足本章规定的预设要求，其设计、评定标准、检验和试验方法，应基于相应的试验、理论依据、使用经验或有效的公认标准进行评估，经CCS同意，可接受作为替代或等效方法。

15.1.1.4 与氢燃料动力系统共用的常规船舶系统和/或设备，应满足相关公约、法规及CCS规范要求。

15.1.2 目的及功能要求

15.1.2.1 本章的目的是明确氢燃料动力系统预设要求，为船舶后续安装氢燃料动力系统提供技术指导。

15.1.2.2 氢燃料动力系统预设应满足如下功能要求：

(1)氢燃料动力系统预设的布置和设计，应考虑到能够将与氢燃料相关的风险所发生的概率和后果限制在最低水平；

(2)当氢燃料泄漏或风险降低措施失效时，应考虑到能够启动必要的安全措施，且风险降低措施和安全措施不会导致不可接受的动力损失；

(3)氢燃料动力系统的预设布置，应考虑尽量限制危险区域，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；

(4)应考虑到燃料围护系统和含有氢燃料或气体释放源的机器处所的布置和位置，并确保其中任何一处发生火灾或爆炸时，均不会引起不可接受的动力损失或导致其他舱室的设备无法操作。

第2节　预设技术要求

15.2.1 一般要求

15.2.1.1 氢燃料动力系统预设在设计及建造阶段应充分考虑燃料罐、燃料供应系统、氢燃料发动机及氢燃料电池等布置安装前后对船舶带来的影响。

15.2.1.2 对于申请HF Ready 2和HF Ready 2（X）附加标志的船舶，为保证新造船阶段预留的空间、位置、接口等适合将来氢燃料动力系统安装上船，预设方案的制定应尽可能基于成熟、商业化的定型产品，而非基于原型产品或者未经实船验证的新型设计，除非该设计已通过了评估或认可。将来氢燃料动力系统船上安装时，可以选择设计原理与预设方案兼容的设备或系统进行代替，并需提交替代设备或系统的相关图纸资料。

15.2.1.3 氢燃料动力系统预设时，除满足系统和设备安装布置要求外，还应考虑系统操作、维护的需要。

15.2.1.4 氢燃料发动机预设时，应考虑拟安装的氢燃料发动机与船舶传动装置和轴系的匹配。

15.2.1.5 氢燃料电池发电装置预设时，应考虑拟安装的氢燃料电池发电装置与船上供配电系统的匹配。

15.2.2 船舶布置

15.2.2.1 申请HF Ready 1附加标志的船舶应满足本节15.2.2.3至15.2.2.6要求。

15.2.2.2 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，除满足本节15.2.2.3至15.2.2.6要求外，应满足本篇第2章和本指南第2篇第2章第3节（适用于燃料电池船舶）的要求。

15.2.2.3 在新造船设计与建造阶段，应预留足够的空间用于燃料罐、燃料准备间、燃料罐接头处所（如有时）、加注站、空气闸（如有时）和氢燃料发动机/燃料电池的安装和布置。

15.2.2.4 氢燃料罐预留布置空间应满足本篇第2章2.3.1的要求。

15.2.2.5 氢燃料电池预留布置空间应满足本指南第2篇第2章2.3.1.4和2.3.1.5的要求。

15.2.2.6 氢燃料罐、氢燃料发动机/氢燃料电池发电装置的预留布置空间通道应满足本篇第2章2.2.8.2和本指南第2篇第2章2.3.1.7的要求。

15.2.3 结构强度

15.2.3.1 申请HF Ready 1附加标志的船舶，需考虑氢燃料动力系统改造后，船体结构能够满足CCS相关规范中总纵强度的要求。

15.2.3.2 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，除满足本节15.2.3.1要求外，还应满足本篇第1章和第3章的相关要求和CCS相关规范中的其他适用要求。

15.2.4 燃料围护系统

15.2.4.1 申请HF Ready1附加标志的船舶应满足本节15.2.4.3至15.2.4.9要求。

15.2.4.2 申请HF Ready2或HF Ready2（X）附加标志的船舶，除满足本节15.2.4.3至15.2.4.9要求外，还应满足本篇第3章的相关要求。

15.2.4.3 燃料围护系统的设计寿命应不小于船舶设计寿命或20年（取其大者）。

15.2.4.4 燃料围护系统的结构强度应有安全裕度，且能够承受相关结构和设备所施加的载荷。氢燃料罐在温度变化和船体变形时所产生的收缩和膨胀不应使船体和燃料罐结构出现过大的应力。

15.2.4.5 燃料围护系统应设有有效的绝缘系统，使得船体结构温度维持在安全水平。

15.2.4.6 燃料围护系统的设置应能够提供机械保护，且尽量减少因船舶和/或货物作业等操作可能造成的损坏风险。

15.2.4.7 燃料围护系统应能防止主屏壁的所有潜在泄漏，并能够避免因燃料泄漏而对船舶结构、船上人员及环境造成损害，且在泄漏后所采取的措施不会导致不可接受的动力损失。另外，还应考虑泄漏燃料的安全处理方法。

15.2.4.8 为控制燃料罐压力等异常情况而直接排放氢气是不可接受的，但允许紧急情况下将氢气通过透气桅排放到大气中。

15.2.4.9 燃料围护系统的设计和建造应能够确保在操作、检查和维护期间的安全性，且应考虑后期检验的方便性。

15.2.5 材料

15.2.5.1 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，应满足本篇第4章第3节和本指南第2篇第2章第5节的要求。

15.2.6 燃料加注及供应

15.2.6.1 申请HF Ready 1附加标志的船舶，宜为燃料供应系统预留一定空间。燃料管路距离船体外板应不少于800mm，通过滚装处所、特种处所和布置在开敞甲板上的燃料管路应进行机械防护以防损坏。设有用气设备的机器处所外的燃料供应管路的布置可参照本篇第6章第3节的要求。若需穿过上述处所之外的围蔽处所时，则应充分预留双壁管的布置空间，并应为双壁管通风或惰化以及气体阀组方面的设计和布置预留足够空间。

15.2.6.2 申请HF Ready 1附加标志的船舶，若需进行燃料加注，通常应在露天甲板预留燃料加注

站的布置空间。起居处所、服务处所、机器处所和控制站的入口、空气进口和开口不应面向加注接头预留位置。

15.2.6.3 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，燃料管系设计与安装应满足本篇第6章的要求，燃料加注应满足本篇第5章的要求。燃料管系的制造、工艺和试验应满足本篇第4章的要求。

15.2.7 氢燃料发动机

15.2.7.1 申请HF Ready1附加标志且计划采用氢燃料发动机作为动力的船舶，应充分预留氢燃料发动机的布置空间、相关接口和系统的布置位置。

15.2.7.2 申请HF Ready2或HF Ready2(X)附加标志且计划采用氢燃料发动机作为动力的船舶，氢燃料发动机应满足CCS《钢质海船入级规范》第3篇第9章及本篇第7章中氢燃料发动机的适用要求。

15.2.8 氢燃料电池发电装置

15.2.8.1 申请HF Ready1附加标志且计划采用氢燃料电池发电装置作为动力的船舶，应充分考虑氢燃料电池发电装置的布置空间、相关接口和系统的布置位置。

15.2.8.2 申请HF Ready2或HF Ready2(X)附加标志且计划采用氢燃料电池发电装置作为动力的船舶，氢燃料电池发电装置应满足本指南第2篇第4章第3节中氢燃料电池发电装置的适用要求。

15.2.9 通风、透气及惰化

15.2.9.1 申请HF Ready 1附加标志的船舶，在新造船设计与建造阶段，应根据本篇第3章3.7.1.7至3.7.1.9的要求，充分考虑氢燃料罐透气出口的布置位置对总布置的影响。

15.2.9.2 申请HF Ready 1附加标志的船舶，可考虑预留氢燃料罐处所和氢燃料发动机机器处所/燃料电池处所的通风管道空间。包含有氢燃料管路或释放源的通风管预留空间的设计和布置应避免出现任何气体积聚的可能性。不包含氢燃料的双壁管道或风道的通风进口预留位置应始终位于远离着火源的露天非危险区域。

15.2.9.3 申请HF Ready 1附加标志的船舶，可考虑根据本篇第7章7.1.2.1（1）至（4）和本指南第2篇2.7.1.1至2.7.1.3的要求预留氢燃料发动机和氢燃料电池发电装置排气管道空间。

15.2.9.4 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，氢燃料发动机和氢燃料电池发电装置相关通风和惰化系统应分别满足本篇第10章和本指南第2篇第2章第4节的要求。

15.2.10 消防

15.2.10.1 申请HF Ready 1附加标志的船舶，在新造船设计与建造阶段，船上预留的用于安装和布置氢燃料罐、氢燃料发动机、氢燃料电池发电装置和加注站的处所或空间，与其他船上其它处所间限界面的防火分隔应满足本篇第8章和本指南第2篇第3章的要求。

15.2.10.2 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，除满足本节15.2.10.1要求外，还应满足本篇第8章和本指南第2篇第3章的其他要求。

15.2.11 电气设备与危险区域

15.2.11.1 申请HF Ready 1附加标志的船舶，可考虑预留用于将氢燃料电池发电装置接入船上电网的接口装置的空间，如配电板上预留保护开关、变流器的布置空间。

15.2.11.2 申请HF Ready 1附加标志的船舶，在新造船设计和建造阶段，可充分考虑氢燃料电池发电装置相关的危险区域划分，并尽量使上层建筑及机舱等安全区域的出入口和通风口能够避开危险区域，或者预留设置空气闸的空间。

15.2.11.3 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，电气设备应满足本篇第9章、第11章和本指南第2篇第4章的要求。

15.2.12 控制、监测和安全系统

15.2.12.1 申请HF Ready 1附加标志的船舶，与氢燃料动力系统有信号传输要求的船上设备/系统，如自动化系统，可考虑预留信号传输接口，也可在驾驶室或机舱集控室预留氢燃料动力系统相关报警设备（如报警控制板、计算机等）的安装空间。

15.2.12.2 申请HF Ready 2或HF Ready 2（X）附加标志的船舶，控制、监测和安全系统应满足本篇第12章和本指南第2篇第5章的要求。

第3节 图纸和资料

15.3.1 申请 HF Ready 1 附加标志需送审图纸和资料

15.3.1.1 除按CCS相关规范的要求提交图纸资料外，申请HF Ready 1附加标志的船舶还应将下列图纸资料提交批准：

(1)总布置图，包含：

① 氢燃料发动机/燃料电池处所预留布置；

② 燃料罐处所和燃料罐接头处所预留布置；

③ 燃料加注系统预留布置（如适用）。

(2)氢燃料罐处所、氢燃料罐接头处所、燃料准备间（如设有）、加注站（如适用）和氢燃料发动机机器处所/燃料电池处所预留空间的结构防火布置图。

15.3.1.2 应将下列图纸资料提交备查：

(1)氢燃料动力系统预设及布置说明书；

(2)总纵强度计算书（考虑氢燃料罐、氢燃料发动机、氢燃料电池等对船舶重量分布的影响）。

15.3.2 申请 HF Ready 2 附加标志需送审图纸和资料

15.3.2.1 除按CCS相关规范的要求提交图纸资料外，申请HF Ready 2附加标志的船舶还应将本篇第1章1.2.1.1（1）至（7）要求的图纸资料提交批准。

15.3.2.2 应将本篇第1章1.2.1.2要求的图纸资料提交备查。

15.3.3 申请 HF Ready 2（X）附加标志需送审图纸和资料

15.3.3.1 除送审本节15.3.1和15.3.2要求的所有图纸和资料外，还应将安装上船的氢燃料动力系统相关设备/系统的系泊与航行试验程序提交现场验船师批准。

第4节 检验

15.4.1 一般要求

15.4.1.1 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，应按CCS相关规范的适用规定执行。

15.4.2 特殊要求

15.4.2.1 对于申请HF Ready 2（X）附加标志的船舶，应根据本篇第1章第4节和本指南第2篇第1章第4节适用要求进行建造中检验和建造后检验。

15.4.2.2 船舶预设阶段安装的与氢燃料动力系统相关的设备应持有产品证书，证书的检验依据应包括CCS关于氢燃料罐、氢燃料发动机和氢燃料电池等的相关检验要求。

中　国　船　级　社

船舶应用氢燃料指南

2026

第 2 篇　船舶应用燃料电池发电装置技术要求

2026 年 10 月 1 日生效

北　京

目 录

第 1 章 通则 1

第 1 节 一般规定 1
第 2 节 图纸和资料 3
第 3 节 产品检验 4
第 4 节 船舶检验 5

第 2 章 燃料电池发电系统设计 7

第 1 节 一般规定 7
第 2 节 燃料电池处所 7
第 3 节 布置与通道 8
第 4 节 燃料电池处所环境控制 8
第 5 节 材料 9
第 6 节 燃料电池发电系统的管系布置 10
第 7 节 燃料废气和空气废气 10

第 3 章 消防 11

第 1 节 一般规定 11
第 2 节 防火 11
第 3 节 灭火 11
第 4 节 探火和失火报警系统 11
第 5 节 挡火闸 12

第 4 章 电气系统 13

第 1 节 一般规定 13
第 2 节 危险区域划分 13
第 3 节 燃料电池发电装置 14
第 4 节 燃料电池的供电与配电系统 19

第 5 章 控制、监测和安全系统 23

第 1 节 一般规定 23
第 2 节 监测与控制 23
第 3 节 气体探测 24
第 4 节 监测、控制和安全系统功能 24

第1章 通则

第1节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇适用于船长 20m 及以上的安装有燃料电池发电装置的钢质或其他等效材料[①]建造的船舶（以下简称燃料电池船舶）。船长小于 20m 的钢质或其他等效材料建造的船舶应用燃料电池发电装置，可参照本篇相关规定执行。安装有燃料电池发电装置的海上设施亦可参照本篇的适用部分执行。

1.1.1.2 燃料电池船舶，除应满足本篇的要求之外，还应满足 CCS《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》或《国内航行船舶入级和检验规则》或《内河船舶入级规则》等规范（以下简称相关规范）的相应要求。此类船舶尚应满足船旗国主管机关的有关要求（如有时）。

1.1.1.3 由于燃料电池技术尚在不断发展中，对于特殊的和新型的燃料电池系统，不能满足本篇规定的技术要求，而需采用基于相应的理论计算、试验结果、使用经验或有效的公认标准进行评估，经 CCS 同意，可以接受作为代替和等效方法。

1.1.1.4 当使用氢作为一次燃料时，船舶布置、材料、管路设计、燃料储存、加注、供应和使用以及电气、通风、消防和监控等技术要求、图纸资料和检验要求应符合本指南第 1 篇的有关要求。当使用天然气、甲醇、乙醇、氨或其他燃料作为一次燃料时，船舶布置、材料、管路设计、燃料储存、加注、供应和使用以及电气、通风、消防和监控等技术要求、图纸资料和检验要求除符合本篇的有关要求外，还应符合 CCS《船舶应用天然气燃料规范》或《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》或《船舶应用氨燃料指南》等相应规范的有关要求。

1.1.2 定义

除本节明确规定者外，本指南第1篇和CCS《船舶应用天然气燃料规范》的相关定义适用于本篇。

1.1.2.1 燃料电池堆：系指由一定数量的单电池、隔离板、冷却板、歧管和支撑结构组成的设备，通过电化学反应将（通常）富氢气体和空气反应物转换成直流电、热和其他反应产物。

1.1.2.2 燃料电池模块：系指一个或多个燃料电池堆和其他主要及适当的附加部件的集成体。

1.1.2.3 一次燃料：系指提供至燃料重整装置的燃料（如氨、甲醇、液化天然气、液态有机氢载体等），经重整生产重整燃料。

1.1.2.4 重整燃料：系指由燃料重整装置产生的富氢或纯氢气体。

1.1.2.5 燃料重整装置：系指将液态或气态一次燃料转换成重整燃料的相关装置的组合。

1.1.2.6 燃料电池发电系统：系指由一个或多个燃料电池、燃料重整装置（如设有）及其相关联的管路构成的整体。

1.1.2.7 燃料电池发电装置：系指燃料电池发电系统，以及用于向船舶提供电力所需的其他系统和组件，包括变流器及维持燃料电池发电系统运行的辅助系统。

1.1.2.8 质子交换膜燃料电池：系指用质子交换膜做电解质的燃料电池。

1.1.2.9 低温质子交换膜燃料电池：系指工作温度通常低于 100℃的质子交换膜燃料电池

1.1.2.10 高温质子交换膜燃料电池：系指工作温度通常不低于 100℃的质子交换膜燃料电池。

1.1.2.11 固体氧化物燃料电池：系指使用离子导电氧化物作为电解质的燃料电池。

1.1.2.12 燃料废气：系指从重整装置或燃料电池阳极排出的废气。

---

① 参见 SOLAS 第 2-2 章第 1.3.43、《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2-2 章 1.2（2）以及《内河船舶法定检验技术规则》第 5 篇第 3 章 3.1.6.2 定义。

1.1.2.13 空气废气：系指从燃料电池阴极排出的废气。

1.1.2.14 反应空气：系指为重整装置和/或燃料电池阴极供应的空气。

1.1.2.15 通风空气：系指为燃料电池处所或其他处所通风所供应的空气。

1.1.2.16 燃料电池处所：系指燃料电池发电系统全部或一部分部件所在的舱室或密闭空间（如气密的机壳）。

1.1.2.17 孤岛：系指包含负荷和电源的部分电网，从主网脱离后继续孤立运行的状态。

1.1.2.18 防孤岛：系指防止非计划性孤岛现象的发生。

1.1.3 目标及功能要求

1.1.3.1 本篇的目标是为燃料电池船舶的机械、设备和系统的布置、安装、控制与监测提供标准，并使其对船舶、人员和环境的风险尽可能降至最低。

1.1.3.2 为达到上述目标，燃料电池船舶的设计和建造应满足如下功能要求：

(1)无论燃料种类和燃料电池类型如何，系统的安全性、可用性和可靠性应与使用常规燃油的全新同类主机和辅机相当；

(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发生的概率和后果限制在最低水平。当燃料泄漏或风险降低措施失效时，应启动必要的安全措施；

(3)应确保燃料电池发电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的范围，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 CCS 认可；

(6)应能防止易爆、易燃或有毒气体的意外积聚；

(7)应适当防护系统的部件，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)应设置经适当设计、由合适材料制造和安装的管系、围护系统和超压释放装置，以实现其预定用途；

(10)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地运行；

(11)燃料电池处所的布置和位置，应使其中任何一处发生火灾或爆炸均不会引起不可接受的动力损失或导致其他舱室的设备无法操作；

(12)应设置合适的控制、报警、探测和切断系统，以确保燃料系统安全和可靠地运行；

(13)应设置适合所有相关处所和区域的固定式气体和/或燃料泄漏探测系统；

(14)应针对潜在的火灾风险设置防火、探火和灭火措施；

(15)应确保燃料系统和燃料电池发电系统的调试、试验和维护满足在安全性、可用性、可维护性和可靠性方面的目的要求；

(16)应评估技术文件中的系统和部件与下述标准和原则之间的符合性：

① 所采用的适用规范、指南、设计标准；

② 与安全性、可用性、可维护性和可靠性相关的原则。

(17)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；

(18)应为操作、检查和维护提供安全通道。

1.1.4 附加标志

1.1.4.1 对于使用燃料电池发电装置的船舶，经船东或船厂/设计单位申请并经 CCS 审图与检验，确认符合本篇第 1 章至第 5 章的相关规定后，可授予 FC-FULL、FC-POWER 1 或 FC-POWER 2 附加标志。具体含义如下：

(1)FC-FULL：除燃料电池发电装置外，船舶未配置其他主动力源（主机/主发电机组/动力电池等），燃料电池发电装置向全船电气设备供电；

(2)FC-POWER 1：船舶配置了燃料电池发电装置和其他主动力源（主机/主发电机组/动力电池等），燃料电池发电装置作为船舶主电源的组成部分向船舶电气设备供电；

(3)FC-POWER 2：船舶配置了燃料电池发电装置和其他主动力源（主机/主发电机组/动力电池等），燃料电池发电装置向船舶电气设备供电但不作为船舶主电源组成部分。

1.1.4.2 对于在新造船阶段采用氢作为一次燃料并完成氢燃料动力系统预设方案，拟将来实施氢燃料动力系统安装改造的船舶，其附加标志的授予应符合本指南第 1 篇 1.1.4.2（3）④的有关要求。当在新造船阶段采用甲醇、乙醇或其他燃料作为一次燃料并完成对应燃料动力系统预设方案，拟将来实施对应燃料动力系统安装改造的船舶，则应符合 CCS《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》等相应规范的有关要求。

1.1.5 替代设计

1.1.5.1 对本篇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，CCS 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篇要求者相等的效能。

1.1.5.2 替代设计的等效性应按照 CCS《船舶替代设计和布置应用指南》的规定进行证明并经 CCS 批准。

1.1.5.3 CCS 不允许用操作方法或管理程序替代本篇规定的特定附件、材料、仪表、设备的部件或其型式。

1.1.6 规范引用文件

1.1.6.1 凡本篇引用的相关文件条款，均构成本篇的组成部分。对于未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本篇。

第2节 图纸和资料

1.2.1 送审图纸和资料

1.2.1.1 燃料电池船舶除按 CCS 相关规范的要求提交图纸资料外，还应将下列图纸资料提交 CCS 批准：

(1)船舶布置

① 燃料电池处所的布置图，应标示出燃料电池发电系统各组成设备的位置；

② 燃料电池处所的几何形状（见本篇第 2 章 2.3.1.5）。

(2)通风系统

① 燃料电池处所机械通风系统布置图和说明（含排量计算等），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 燃料电池系统空气进、排气系统的布置，包括过滤器。

(3)气体探测系统

① 燃料电池处所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 气体探测器的规格，包括报警装置。

(4)控制、监测和安全系统

① 燃料电池处所安全/监控系统图及布置图，包括传感器、报警点布置等。

(5)消防设备和系统

① 燃料电池处所的火灾探测和报警系统图及布置图；

② 燃料电池处所的消防管系图；

③ 燃料电池处所结构防火布置图；

④ 手提式/推车式灭火器布置图（见本篇第 3 章 3.3.1.4）；

⑤ 燃料电池处所具有足够强度以承受最严重情况下的爆炸影响的证明文件（见本篇第 3 章 3.2.1.3）。

(6)电气系统

① 燃料电池电力系统图；

② 申请附加标志 FC-FULL、FC-POWER 1、FC-POWER 2 的船舶，应提交文件证明系统分别满足本篇第 4 章 4.4.3、4.4.4 和 4.4.5 中相应规定；

③ 燃料电池发电装置作为主电源的船舶，还应提交文件，证明系统满足本篇 4.4.2 的要求；

④ 储能系统（见本篇第 4 章 4.4.4.4）的容量计算书；

(7)试验大纲及试验程序

① 与燃料电池发电装置、一次燃料和重整燃料有关的系泊与航行试验程序，如燃料电池发电装置、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/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 除 CCS 相关规范要求的常规资料外，还应将下列图纸资料提交 CCS 备查：

(1)燃料电池发电装置

① 燃料电池发电装置的原理说明和系统框图；

② 燃料电池发电装置的额定参数和运行条件，包括：输入功率、输出功率、燃料需求（燃料类型，压力，流量，温度等）、进水需求和进空气需求等；

③ 本篇第 4 章 4.4.3.12 和 4.4.4.10 要求的燃料电池发电系统全寿命性能说明。

(2)燃料电池发电装置的风险评估（见本篇第 4 章 4.3.2）；

(3)用于确定监测和控制的范围的燃料电池发电系统故障模式和影响分析（FMEA）报告（见本篇 5.2.1.2），该报告可以为上述（2）中风险评估报告的一部分；

(4)用于确定为改善燃料电池发电装置的动态响应能力，增配电源装置容量和功率的仿真分析报告（见本篇第 4 章 4.4.2.4（2））。

1.2.3 船上保存的图纸和资料

1.2.3.1 除 CCS 相关规范要求的常规资料外，船上还应至少保存如下资料：

(1)燃料电池发电装置操作手册（见本篇第 4 章 4.3.8.1）；

(2)燃料电池发电装置维护手册及维护/检查记录（见本篇第 4 章 4.3.8.2）；

(3)潜在危害安全性说明（见本篇第 4 章 4.3.8.3）及减轻风险的安全预防措施。

第3节 产品检验

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 除满足本篇的要求外，产品检验还应满足 CCS 相关规范和产品检验指南的有关要求。

1.3.1.2 燃料重整装置、燃料电池模块和燃料电池发电系统应按表 1.3.1.2 持有证书。

燃料重整装置、燃料电池模块和燃料电池发电系统持证要求　　表1. 3. 1. 2

序号	部件名称	证件类别		认可模式				审图	备注
		C/E	W	DA	TA-B	TA-A	WA	PA	
1.	燃料重整装置	×	—	O	×	O	—	×	
2.	燃料电池模块	×	—	O	×	O	—	×	
3.	燃料电池发电系统	×	—	O	×	O	—	×	

符号说明：

1）C—船用产品证书；E—等效证明文件；W—制造厂证明；×—适用：O—可选；

2）DA—设计认可；TA-B—型式认可B；TA-A—型式认可A；WA—工厂认可；PA—图纸审查。

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 CCS《钢质海船入级规范》的有关规定执行，对于内河船舶应按 CCS《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 船舶的建造中检验除应按 CCS 相关规范的适用要求进行检验外，尚应增加下列项目：

(1)燃料电池发电装置的安装和试验，应对整个系统的不同负荷状态（例如启动、正常运行、满负荷、受控切断和紧急切断）进行试验，并至少应验证，在发生如下情况时，系统能自动进入到安全状态：

① 火灾探测报警；

② 气体探测报警；

③ 电源故障；

④ 可编程控制器故障；

⑤ 保护装置触发；

⑥ 保护装置故障；

⑦ 保护系统故障；

⑧ 风险评估报告中识别的风险等级较高的其他故障。

(2)燃料电池处所等通风系统的安装和试验；

(3)燃料电池发电装置与船舶主电网连接的断路器的联锁装置（若设有）有效性检查；

(4)对于申请授予 FC-FULL 和 FC-POWER1 附加标志的船舶，应通过下述试验，验证燃料电池发电装置与船舶的其他系统的兼容性：

① 燃料电池发电装置独立供电（适用于 FC-FULL 附加标志船舶）；

② 燃料电池发电装置与发电机组（如有时）并联共同供电；

③ 燃料电池发电装置与电池组（如有时）并联共同供电；

④ 备用电源的转换；

⑤ 燃料电池发电装置的并网与解列转换；

⑥ 负荷突变和切断负荷。

若燃料电池承担船舶的主推进系统的供电，则应证明在任何操作工况下，船舶有足够的推进功率。

若燃料电池承担船舶瘫船启动的功能，则应证明其能够符合本篇第4章4.4.3.8和4.4.4.7的相关要求。

(5)检查本节 1.2.3 要求的技术文件资料是否在船舶上保存齐全。

1.4.3 建造后检验

1.4.3.1 年度检验：除应按 CCS 相关规范的适用要求进行检验外，尚应对下列项目进行检验：

(1)检查燃料电池处所的防火结构和布置，确认未发生实质性的变动；

(2)确认燃料电池发电系统状态良好，并进行带载运行检查，确认其发电功率能满足全船负荷的需求，否则应予以更换；

(3)燃料电池发电系统应由专业人员（一般是动力系统集成商或燃料电池发电系统制造商或其授权人员）对系统和部件进行维护和检查，留有记录并保持更新。验船师应对维护和检查过程进行见证，核查燃料电池发电系统的维护/检查记录，确认燃料电池发电系统已按照本篇第 4 章 4.3.8.2 维护手册规定的期限进行了维护和检查并处于正常状态。

1.4.3.2 中间检验：除应按 CCS 相关规范的适用要求和本节 1.4.3.1 的要求进行检验外，尚应对下列项目进行检验：

(1)确认燃料电池处所内的非合格防爆型电气设备电源切断系统功能完好（如适用）。

1.4.3.3 特别检验：除应按 CCS 相关规范的适用要求和本节 1.4.3.2 的要求进行检验外，尚应对下列项目进行检验：

(1)核查燃料电池发电装置的维护记录，确认按照本篇第 4 章 4.3.8.2 中制造商的要求进行了所有定期和常规的维护保养。

第2章　燃料电池发电系统设计

第1节　一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 除另有规定者外，燃料电池船舶的燃料电池处所布置、系统设计、许用材料、管系布置等应符合本章规定。使用氢、天然气、甲醇、乙醇、氨或其他燃料作为一次燃料时，舱室布置、系统设计、许用材料、管系布置等还应符合本指南第 1 篇或 CCS《船舶应用天然气燃料规范》或《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》或《船舶应用氨燃料指南》等相应规范的有关要求。

第2节　燃料电池处所

2.2.1 燃料电池处所的安全原则

2.2.1.1 为了最大程度地减少燃料电池处所发生气体爆炸的可能性，燃料电池处所的设计应满足本节的有关规定，或使用与其具有同等安全水平的设计原则。

2.2.1.2 燃料电池处所的设计原则应能使得其在正常状态下的危险程度降低到非危险的水平，但在特定的非正常状态下存在变为危险区域的可能性，可采用下列三种设计之一：

(1)防爆型燃料电池处所：燃料电池处所被视为 1 区，所有电气设备应为适用于 1 区的合格防爆型设备。若燃料电池堆表面温度在所有工作条件下均低于 300℃[①]，且燃料电池发电系统在所有负载和工作条件下均能迅速隔离并停止燃料电池堆运行，则燃料电池可不视作点火源；

(2)浓度控制型燃料电池处所：如果认为不适宜对燃料电池处所采用规定性的危险区域划分时，经 CCS 同意，可根据本篇第 4 章 4.2.1.1 按照 CCS 接受的标准[②]进行危险区域划分，并据此选取所有电气设备；

(3)惰化型燃料电池处所：如考虑使用本章 2.4.3 惰化的方案，经 CCS 认可，可采用如下做法：由于惰化减少了点燃的风险，无需在探测到燃料供应泄漏时实施紧急切断（ESD），在这种情况下，切换到其他发电系统供电并对燃料电池及受影响的燃料供应系统进行受控切断（CSD），以避免燃料电池发电系统出现故障。

2.2.1.3 燃料电池发电系统的设计应符合 CCS 接受的标准[③]，或至少具有同等安全水平的工业标准。

2.2.1.4 燃料电池发电装置应设计为能够自动运行，并根据安全操作的需要配备监测和安全系统。

2.2.1.5 应设置相应措施能安全的排出燃料电池发电系统中的一次燃料和重整燃料。

2.2.1.6 应设置相应措施能在燃料电池发电装置需要维护和关闭时，使得燃料电池发电装置处于安全状态。

2.2.1.7 有可能导致危险的超压故障，例如燃料管路破断或垫片破裂，应通过合适的爆炸压力释放装置和紧急切断（ESD）系统进行保护。

2.2.1.8 应采用以下一种或多种措施使得燃料电池处所内的气体积聚和爆炸的可能性降至最低：

(1)在燃料电池发电系统启动之前进行吹扫（见本篇第 4 章 4.3.1.6）；

(2)在燃料电池发电系统关闭之后，根据需要进行吹扫（见本篇第 4 章 4.3.1.6）；

(3)如燃料电池内部设有缓冲罐，应对其设置故障监测；

---

① 300℃的阈值来自 IEC60079-20-1，其中氢气和 LNG 环境下最高运行表面温度是 450℃，甲醇/乙醇和 LPG 环境下最高运行表面温度是 300℃。为了保证燃料电池发电系统能够在任意燃料电池类型和燃料种类条件下安全运行，这里采用了 IEC60079-20-1 中提到的相关燃料的最低阈值，即 300 摄氏度。

② 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》。

③ 参见 IEC62282-2-100《燃料电池模块第 1 部分：安全》和 IEC62282-3-100《固定式燃料电池发电系统第 1 部分：安全》。

(4)在燃料电池内部设置监控措施，当空气进入到燃料管路，或燃料进入空气管路时，应能发出警示（见本篇第 5 章 5.2.1.2（1）和 5.2.1.2（2））。应设置相应监控措施，当燃料进入空气管路后，增大空气量将可燃气体浓度控制在爆炸极限以下；

(5)监测燃料电池的压力和温度；

(6)当故障发生时，能通过自动控制的方式防止燃料电池内部的反应向其他部件和位置蔓延；

(7)CCS 认为必要的其他保护措施。

第3节　布置与通道

2.3.1 布置与通道

2.3.1.1 应能从燃料电池处所外部易于到达的位置关闭燃料电池发电系统。

2.3.1.2 如果安装了重整装置，其可以作为燃料电池的一个部分集成安装，也可以作为一个独立单元单独安装并通过一套重整燃料供应管路连接到燃料电池。

2.3.1.3 燃料电池处所与船上其他围蔽处所的限界面应保持气密。

2.3.1.4 燃料电池处所应布置在起居处所、服务处所、A 类机器处所（海船）/重要机器处所（内河船）和控制站之外。

2.3.1.5 燃料电池处所应能容纳可能出现的燃料泄漏，并配备适当的泄漏监测系统。燃料电池处所的形状应尽可能的简单，以避免可燃气体积聚。其最高处/顶部不应有任何阻碍结构，且应以平滑天花板向上倾斜至通风口。梁和加强筋之类的支撑结构应布置在外部。不应采用薄板覆盖甲板下支撑结构的布置形式。

2.3.1.6 燃料电池处所中如含有重整装置，则处所的设计也应符合对应一次燃料有关的安全原则和规范的要求。

2.3.1.7 燃料电池处所入口布置，应采用以下方式之一：

(1)设置从开敞甲板通向燃料电池处所的独立通道；

(2)如上述方式（1）不可行时，应设置空气闸进入燃料电池处所。

(3)如上述方式（1）和（2）均不可行时，应通过合适的技术措施，能够使得在安全关闭内部设备、切断燃料供应、排出泄漏并确认处所内部空气安全之前，无法进入燃料电池处所。这些技术措施包括但不限于：

① 可以在燃料电池处所之外合适的位置，控制实现设备和燃料电池处所所需的安全操作以及除气操作；

② 安全操作和除气操作所有状态参数均能远程监控，并具有报警功能；

③ 燃料电池处所的出口处应设置联锁装置（与燃料电池发电装置运行信号联锁），防止运行的过程中出口处的门意外开启；

④ 燃料电池处所内应设置适当的泄漏燃料收集和排出设施，并能从燃料电池处所外部进行遥控操作；

⑤ 燃料电池处所内部含有燃料的设备应能与燃料供应系统隔离，排出燃料并进行安全吹扫，以便进行相应的维护和维修。

第4节　燃料电池处所环境控制

2.4.1 一般要求

2.4.1.1 燃料电池处所的保护，可通过惰化或通风实现。

2.4.2 燃料电池处所的通风

2.4.2.1 燃料电池处所应配备有效的机械通风系统以保持整个处所的负压状态，同时可能泄漏的燃气的密度应纳入考虑。

2.4.2.2 对于开敞甲板上的燃料电池处所，可考虑采用正压通风。

2.4.2.3 燃料电池处所的通风率，应足以在因技术故障而导致的任何最大可能泄漏情况下，将处所内平均气体/蒸气浓度稀释到爆炸下限的 25％以下，并至少保证每小时 30 次换气的通风能力。当采用本章 2.7.1.1 提及的燃料电池发电系统的燃料废气和空气废气排放管路与燃料电池处所通风管路共用的设计时，燃料电池发电系统的全部预估氢泄漏量应计入燃料电池处所。

2.4.2.4 任何用于燃料电池处所通风的管道不应用于任何其他处所。

2.4.2.5 包含重整燃料管路或释放源的处所的通风管道的设计和布置应避免出现任何气体积聚的可能性。

2.4.2.6 应安装两组或多组风机用于燃料电池处所的通风，以在一组风机失效时提供 100%的通风能力冗余，且冗余的 100%的通风能力应由应急电源供电。对于内河船，如无应急电源，从主配电板由公用线路供电的任一组风机失效时，仍能保持 100%的通风能力。

2.4.2.7 当一台风机发生故障时，应自动切换至另一台风机并发出报警。

2.4.2.8 当燃料电池处所通风失效或失去负压时，燃料电池系统应自动、受控地关闭燃料电池并隔离燃料供应。

2.4.2.9 除非风机电动机已获得针对预计使用燃料的防爆认证，否则不得将其置于燃料电池处所的通风管道内。

2.4.2.10 通风系统应能在通风处所以外的位置进行控制。处所的布置应能允许在人员进入和设备运行之前对处所进行通风。处所外应设置警示标志，提醒人员进入前应开启通风系统，并能监测该处所是否含有可燃气体。

2.4.2.11 通风管道的外开口处应安装网格间距不大于 13mm 的防护网。

2.4.2.12 燃料电池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。

2.4.2.13 非危险围蔽处所的空气进口应设置在非危险区域，距离任一危险区域的边界应至少 1.5m。

2.4.2.14 燃料电池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。

2.4.3 燃料电池处所的惰化

2.4.3.1 燃料电池处所在惰化过程中，应通过物理锁定或联锁装置确保人员应无法进入，且处所的密封装置应确保能防止惰性气体泄漏至相邻处所。

2.4.3.2 惰化系统应符合《国际消防安全系统规则》第 15 章和《使用气体或其他低闪点燃料船舶国际安全规则》第 6 章 6.13 及 6.14 的规定。

2.4.3.3 惰化介质的压力应始终处于正压状态并能进行监测。

2.4.3.4 任何表明燃料电池处所或含有燃料的装置（例如燃料电池堆和重整装置等）的限界面出现破损的压力变化，应触发燃料供应的受控关闭。

2.4.3.5 燃料电池处所应设有机械通风，以便在惰化启动后将惰性介质排出。

2.4.3.6 经过惰化的燃料电池处所只有在完全通风，燃料供应已中止，且管路已减压并吹扫合格后，才允许人员进入。

2.4.3.7 在维护或检查过程中，惰化系统应不能运行。

第5节 材料

2.5.1 一般要求

2.5.1.1 燃料电池发电系统的材料应与其预计用途和环境相适应，并满足 CCS 接受的标准①的要求。

① 关于燃料电池的国际标准、国家标准及行业标准，如 IEC62282 系列标准等。

2.5.1.2 应进行符合本指南第 1 篇 4.3.1.4 规定的测试试验，以验证材料在氢环境下的性能能够长期得到维持。

2.5.1.3 燃料电池发电系统应尽可能不使用易燃材料。若不可避免，在燃料电池内部使用易燃材料进行密封和电绝缘应经 CCS 同意。

第6节 燃料电池发电系统的管系布置

2.6.1 一般要求

2.6.1.1 一次燃料或重整燃料有可能泄漏至系统介质（如冷却水）的燃料电池辅助系统，应在介质出口处或膨胀水箱内设置合适的气体监测装置，以防止气体积聚。从辅助系统介质出口引出的取样口应位于开敞甲板安全区域，且有适当的保护以防止装卸货物时受到碰撞或损坏。

2.6.2 燃料电池处所内的氢气管路

2.6.2.1 若连接燃料电池发电系统的氢气管路无法采用双壁管时，则应满足以下所有要求：

(1)不得穿过燃料电池处所以外的封闭空间；

(2)全焊透；

(3)尽量减少接头的数量；

(4)对于阀门、法兰、密封件等可能泄漏氢气的地方，应设置固定式氢气探测器，并接入本篇第 5 章规定的控制、监测和安全系统。

2.6.2.2 若外径小于等于 25mm 的氢气管路确实无法采用全焊透连接，则非全焊透连接的接头应尽可能少，并应将这些接头集中布置在气体阀件单元处所中。气体阀件单元处所应设置满足第 1 篇第 6 章 6.4.1.1 中双壁管对应的要求，且应满足本篇第 5 章第 4 节中双壁管对应的监测、控制和安全系统要求。

2.6.2.3 上述 2.6.2.2 所述非全焊透管路接头可采用适用于高压氢系统的螺纹接头①进行连接。

第7节 燃料废气和空气废气

2.7.1 一般要求

2.7.1.1 燃料电池发电系统的燃料废气和空气废气排放管路不应与除燃料电池处所以外的任何通风管路共用，并且应通向露天的安全位置。

2.7.1.2 燃料电池发电系统的吹扫管路应独立通向露天区域，并按照危险区域空气出口要求布置。

2.7.1.3 燃料电池堆释放的废气，其排气口应位于开敞甲板，且排气口 3m 范围内不应有点火源。

2.7.1.4 可能排出或泄漏出氢气的出口应远离可能产生火花或高热的设备。

2.7.1.5 排气管道应具有适当的支撑，并配备防雨盖或其他类似措施，且这些措施应确保不会限制或阻碍气体流垂直向上排放。

2.7.1.6 应配备排水装置或其他类似装置防止水、冰和其他杂物在排气管内积聚或阻塞排气管道。

2.7.1.7 燃料电池发电系统的排气系统沿程管路及部件不得有开口。

① 如符合 ISO 11926-1《通用和液压传动用联接件 带 ISO 725 螺纹和 O 形圈密封的油口和螺纹端头 第 1 部分:锪孔沟槽中装有 O 形密封圈的油口》的带 O 型圈密封螺纹接头。

第3章　消防

第1节　一般规定

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 除另有规定者外，燃料电池船舶的消防应符合本章规定。使用氢、天然气、甲醇、乙醇、氨或其他燃料作为一次燃料时，消防还应符合本指南第 1 篇或 CCS《船舶应用天然气燃料规范》或《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》或《船舶应用氨燃料指南》等相应规范的有关要求。

3.1.1.2 就防火而言，燃料电池处所应视为 A 类机器处所（海船）/重要机器处所（内河船）。

3.1.1.3 燃料电池处所应采用“A-60”级防火分隔，在实际不可行的情况下，CCS 可允许采用替代的防火限界面设计，以达到同等安全水平。

3.1.1.4 灭火系统应与使用的燃料和燃料电池技术相适应。CCS 允许采用其他替代消防安全措施，但应通过基于燃料特性的风险评估证明该措施的等效性。

3.1.1.5 燃料电池处所应设有符合《国际消防安全系统规则》的固定式探火和失火报警系统。

3.1.1.6 火灾探测系统类型和布置的选择应适当考虑燃料电池发电装置中可能存在的燃料和可燃气体。

3.1.1.7 燃料电池处所内氢气火灾探测器的设置应满足本指南第 1 篇第 8 章 8.4.1 关于探火的要求。

第2节　防火

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 燃料电池处所的限界面包括出入门（如设有）应为钢质气密型或金属等效材料。

3.2.1.2 燃料电池处所与周围所有处所，以及燃料电池处所之间，均应采用“A-60”级防火分隔。在实际不可行的情况下，CCS 可允许采用替代的防火限界面设计以达到同等的安全水平。

3.2.1.3 燃料电池处所之间若采用单层舱壁/甲板分隔，该分隔应具有足够的强度以承受任一燃料电池处所内燃气爆炸的影响，且不会影响邻近处所的完整性和设备。

第3节　灭火

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 燃料电池处所应设置固定式灭火系统。

3.3.1.2 固定式灭火系统的选择应充分考虑被保护处所可能产生的火灾强度，并应随时可用。

3.3.1.3 灭火系统应与拟使用的一次燃料、重整燃料以及燃料电池技术相适应。

3.3.1.4 在燃料电池发电装置附近及其所在燃料电池处所的入口处，应至少各设置 1 具容量不小于 5kg 的手提式干粉灭火器。

第4节　探火和失火报警系统

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 燃料电池处所应设置一个满足《国际消防安全系统规则》的固定式探火和失火报警系统。

第5节　挡火闸

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 燃料电池处所的通风系统的空气进、出口应设有故障安全型自动关闭挡火闸，该挡火闸应可从燃料电池处所外部操作。

3.5.1.2 灭火系统动作之前，挡火闸应关闭。

第4章　电气系统

第1节　一般规定

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 燃料电池船舶危险区域划分、燃料电池发电装置及其构成的配电系统应符合本章的规定。使用氢、天然气、甲醇、乙醇、氨或其他燃料作为一次燃料时，危险区域划分和电气设备还应符合本指南第 1 篇或 CCS《船舶应用天然气燃料规范》或《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》或《船舶应用氨燃料指南》等相应规范的有关要求。

4.1.1.2 电气设备和线路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 CCS 接受的标准①。

4.1.1.3 对于国内航行海船和内河船舶，燃料电池发电装置符合本章 4.4.2 的要求时，可作为船舶主电源或主电源的组成部分。

4.1.1.4 应根据危险区域可能出现和聚集的易燃易爆气体的种类，确定电气设备的防爆类别和温度组别。

第2节　危险区域划分

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 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②，具体见本章 4.2.2。如果认为本章 4.2.2 的规定在某些情况下并不适用，CCS 可考虑允许使用 CCS 接受的标准③的方法进行危险区域划分。

4.2.2 危险区域

4.2.2.1 0 类危险区域

该区域包括但不限于：重整装置内部，内部含有重整燃料的管路和设备，用于压力释放或其他透气系统的任何管路。

4.2.2.2 1 类危险区域④

该区域包括但不限于：

(1)按照本篇 2.2.1.2（1）要求设计的燃料电池处所；

(2)距离任何重整燃料气体或驱气过程排出的气体的出口，或按照本篇 2.2.1.2（1）要求设计的燃料电池处所通风出口，3m 以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所；

(3)距离燃料电池燃料废气和空气废气出口 3m 以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所；

(4)重整燃料释放口 3m 以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所；

(5)按照本篇 2.2.1.2（1）要求设计的燃料电池处所入口及其通风进口，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；

(6)按照本篇 2.2.1.2（2）要求评估为非危险区域的燃料电池处所，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。

---

① 参见 IEC60092-502《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-爆炸性气体环境》。

② 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》和 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。

③ 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》。

④ 安装在此类区域的仪表和电气设备的类型应适合 1 区。

4.2.2.3 2 类危险区域[①]

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；

(2)按照本篇 2.2.1.2（2）要求评估为 2 区的燃料电池处所。

第3节 燃料电池发电装置

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 燃料电池发电装置工作的环境条件应符合相关规范的有关要求。

4.3.1.2 燃料电池发电系统中电气设备应根据 CCS 接受的标准[②]确定危险区域并设置合适的防爆措施，危险区域内的电气设备和元件应具有相应防爆等级。

4.3.1.3 燃料电池发电系统的监控应满足本篇第 5 章 5.2.1 的要求。

4.3.1.4 应提供从燃料电池发电系统中安全排出一次燃料和重整燃料的措施。

4.3.1.5 在需要执行关闭操作或维护时，应提供相应措施使得燃料电池发电装置恢复到安全状态。

4.3.1.6 应设置必要的吹扫系统，使燃料电池发电系统在关闭后或启动前处于钝态（钝态系指燃料或氧化剂系统已被吹扫系统吹扫后燃料电池发电系统的状态）。吹扫系统可使用制造商规定的介质，包括但不限于用氮气、空气或无危险状态下的蒸气对燃料电池发电系统进行吹扫。

4.3.1.7 燃料电池发电系统内部各组件及整体，均应防止出现未预期的过电流，确保在任何可能出现的负荷条件下均能切断燃料电池与负载的连接。

4.3.2 风险评估

4.3.2.1 船舶应用燃料电池发电装置应进行风险评估。

4.3.2.2 船舶应用燃料电池发电装置的风险评估，应考虑燃料电池发电装置整个生命周期相关的所有可预见的故障和风险，以确保安全措施能涵盖所有因使用燃料电池对船舶产生的风险。在任何合理并可预见的故障发生后，应考虑与安装、操作以及维护相关的危险，包括爆炸危险和火灾危险。如果燃料电池发电系统与船舶电网有连接，还应考虑可能影响船舶电网的潜在危险等。风险评估结论应明确给出与燃料电池发电装置的安全防控措施，以及相关的安全系统的设定值。

4.3.2.3 可以使用多种风险评估技术。危险源识别分析（HAZID）技术和/或危险与可操作性分析（HAZOP）技术可以用来识别可能对人员、环境和设备造成的潜在风险。燃料电池发电装置部件的单一故障应不会导致系统、船舶和人员的危险。故障模式和影响分析（FMEA）技术可以用来分析单一故障不会导致不可接受的后果。

4.3.2.4 应使用 CCS 接受的标准[③]和分析方法对风险进行评估，应至少涵盖部件损坏、人员操作的影响、天气的影响、电气故障、非预计发生的化学反应、毒性、偶然的燃料点燃、起火、爆炸和断电。评估应确保尽可能消除风险，不能消除的风险应尽可能的予以减轻。

4.3.3 紧急关机

4.3.3.1 当燃料电池发电装置内部或外部情况恶化，继续运行会带来危害时，应能够通过手动启动紧急停机按钮或自动进入紧急关机程序，快速终止系统的运行，同时进行报警。

4.3.3.2 应进行紧急关机的情况包括但不限于：

(1)燃料电池发电装置内部的电堆、辅助部件、管路等温度过高；

(2)气体或液体燃料的供应管路压力过高，反应器压力过高，电堆阴阳极压差超过限值；

(3)电流超过电堆允许最大值，且在过电流保护失效时；

(4)可燃气体发生泄漏，处所内气体积聚浓度达到阈值；

---

① 安装在此类区域的仪表和电气设备的类型应适合 2 区。

② 参见 IEC62282-3-100《固定式燃料电池发电系统第 1 部分：安全》。

③ 参见 CCS《氢能驱动船舶风险评估指南》。

⑸经本节 4.3.2 要求的风险分析后，可能危及船舶、设备和人员的其他情形。

4.3.3.3 紧急关机应具备以下功能：

⑴以合适的方式停止燃料电池发电装置的运行，而不产生额外危险，并且无须进一步人工干预；

⑵在系统运行的任何工况下都应是可操作的，并且优先于其他所有程序；

⑶紧急关机过程中，保护装置、安全运行控制或监控系统应全程通电并保持有效工作；

⑷在必要情况下，紧急关机程序可触发某些安全措施；

⑸紧急关机程序运行之后，在手动复位以前，任何起动指令均不应起动燃料电池发电装置；

⑹复位操作不得导致任何危险发生；

⑺对于空气富余（氧化剂过剩）的系统，紧急关机时应首先切断主燃料供应；对于燃料富余（燃料过剩）的系统，应同时切断主燃料供应和空气供应。

4.3.4 正常（受控）关机

4.3.4.1 正常关机应能通过自动控制程序安全终止系统的运行。

4.3.4.2 正常关机后可以通过自动控制进行重新启动燃料电池发电装置。

4.3.4.3 正常关机后可为燃料电池发电装置的执行器保留电源供应。

4.3.5 质子交换膜燃料电池（PEMFC）的技术要求

4.3.5.1 氢气纯度应不低于制造商的推荐值，杂质含量应符合 CCS 接受的标准①中 Type I 级要求，其中：

⑴一氧化碳浓度应不大于0.2ppm。采用抗一氧化碳催化剂时，一氧化碳浓度应符合制造商推荐的限值；

⑵总硫化合物（以H_2S计）浓度应不大于0.004ppm；

⑶氨浓度应不大于0.1ppm。

4.3.5.2 当采用在线制氢方式获得氢气时，氢气供应系统应配置在线净化装置，确保杂质浓度持续达标。

4.3.5.3 如空气进气中的颗粒物、NO_x、SO_2在合理可预见的情形下可能对 PEMFC 阴极催化剂造成损伤，应通过高效过滤器予以限制或消除。

4.3.5.4 PEMFC 应能维持质子交换膜湿度在 60%~90%（或制造商的推荐值），避免电堆淹水或膜脱水，应尽可能配置湿度传感器予以监测。

4.3.5.5 应合理设计冷却系统，且冷却系统的散热功率应能够维持电堆热平衡，工作温度在 60℃-80℃（或制造商的推荐值），极端工况下瞬时温度不应超过 90℃（或制造商的推荐值）。

4.3.5.6 使用去离子液体作为冷却介质时，应对其电导率或绝缘电阻实施连续在线监测。

4.3.5.7 低温启动时间应与本章 4.4.3.10 和 4.4.4.7 相协调，必要时应设置预热设备。

4.3.5.8 PEMFC 外壳应为阻燃材料，并具有防静电设计。

4.3.5.9 氢气泄漏检测装置灵敏度应不大于 5%LEL，且响应时间 T_{80} 的平均值应不超过 4s。

4.3.5.10 控制器应避免频繁起停 PEMFC，以延缓催化剂降解。

4.3.5.11 供电和配电系统应设置保护电器，避免 PEMFC 过载或短路。保护电器应尽可能在燃料电池处就近安装。

4.3.5.12 应对 PEMFC 提供逆功率保护，以防止能量由负载侧反向流入燃料电池模块损坏膜电极。如燃料电池模块连接到 1 个变流器，逆功率保护可由此变流器提供，变流器可配备制动电阻或类似功能的组件实现此功能。

4.3.5.13 单电池片数超过 1000 片的大功率燃料电池，应通过优化结构设计、强化安装工艺或采用多层减振等措施，避免电堆在船舶运动过程中产生结构中部塌陷，以满足船舶使用环境需求。

① 参见 ISO14687《氢燃料产品规范》。

4.3.5.14 对于在电堆内部通过物理隔离方式将单个模块分隔为两组或以上的电堆，应能保证各组之间的输出电压具有一致性。

4.3.6 高温质子交换膜燃料电池（HT-PEMFC）的技术要求

4.3.6.1 以富氢重整气为燃料的 HT-PEMFC 应配备相应的燃料预处理系统。

4.3.6.2 燃料预处理系统（如重整反应器）的温度等参数应进行有效控制，以使得重整气体中 CO、NH_3、H_2S、SO_2 等杂质浓度低于高温质子交换膜容忍限值。

4.3.6.3 毒化作用较小且经后期吹扫等措施能够使得 HT-PEMFC 毒化影响得到缓解并恢复到较高水平的杂质，如不设置燃料预处理系统时，应提交证明材料证明措施的有效性。

4.3.6.4 应对 HT-PEMFC 反应物的供给实时控制，避免过量供给导致膜电极组件损伤。

4.3.6.5 在 HT-PEMFC 阳极通入氢气之前，应先进行氮气吹扫，尽量避免氢/空边界的形成，减缓碳载体腐蚀。

4.3.6.6 在 HT-PEMFC 阴极通入氧气之前，应先向阳极通入氢气，以降低电化学活性损失，减少催化剂表面积的损失。

4.3.6.7 应配置假负载装置降低启停阶段电位差，避免阳极腔室发生碳腐蚀。

4.3.6.8 应建立动态热管理系统，确保温度分布均匀，并减少温度梯度，避免因过热或冷热不均的热应力导致结构损伤。

4.3.6.9 运行温度应严格控制在 120℃-180℃区间，或制造商推荐的温度区间范围。

4.3.6.10 功率调节系统应具备电流限制功能，防止在燃料供应不足或负载突变时对电堆造成冲击。

4.3.6.11 冷却系统设计应能同时满足大功率场景和负载瞬态变化场景的需求，并优化流量控制策略。

4.3.6.12 正常关机过程应尽可能利用电堆内残余燃料发电，以降低阳极与阴极间的电位差，避免碳载体腐蚀与磷酸流失。

4.3.6.13 运行过程应对运行参数进行实时监测，并在参数超出设定范围时立即触发安全动作。

4.3.6.14 应使得 HT-PEMFC 运行在合理的负荷率区间，避免因长期低负荷工作下的高电位操作导致严重的催化剂团聚和碳载体腐蚀，还应避免因长期高负荷运行，防止磷酸过度流失导致膜降解和欧姆电阻增加。

4.3.6.15 膜电极组件应具备高温稳定性，膜材料玻璃化转变温度应显著高于运行温度。

4.3.6.16 双极板材料应具备耐腐蚀性。

4.3.6.17 膜电极组件、双极板、密封圈、垫片等材料应具备高温耐水解特性。

4.3.6.18 应优化催化剂层分布的均匀性。

4.3.6.19 HT-PEMFC 管理系统应实现对温度、压力、流量和气体成分的有效监测。

4.3.6.20 HT-PEMFC 组成的系统应尽可能选用具有一致衰减率的单体电堆。

4.3.7 固体氧化物燃料电池（SOFC）的技术要求

4.3.7.1 SOFC 系统应进行环境适应性试验，确保在船舶环境下长期、可靠运行。

4.3.7.2 SOFC 系统应明确适用的燃料类型（如天然气、液化天然气、生物质合成气、甲醇重整气等），针对燃料组分的波动，应提前设定对应的运行参数，避免因燃料成分变化导致运行参数不匹配而出现故障。

4.3.7.3 对于含有杂质的燃料，应配备预处理装置，通过变换反应和分离技术去除杂质，确保燃料纯度符合要求，并最大程度地降低卤化物、碱金属、磷、硅氧烷等杂质含量。

4.3.7.4 对于含高浓度硫化物的燃料（如重油衍生燃料），预处理系统应增设脱硫装置，总硫含量（H_2S_m、THT、硫醇、羰基硫等）浓度应不大于 0.1ppm。

4.3.7.5 预处理装置应具备以下功能：

⑴能够有效去除燃料中的颗粒物；

⑵具备脱硫功能；

⑶能够调节燃料的湿度，使其符合燃料电池运行要求。

4.3.7.6 使用天然气作为燃料时，为防止积炭，电堆模组燃气进气的水碳比应保持在制造商推荐的限值以内，水蒸气和燃气必须充分均匀混合，并按需要对燃气进行预重整以除去多碳组分。

4.3.7.7 电堆模组空气侧应通过高效过滤器予以限制或消除颗粒物，最大程度地降低卤化物、碱金属、CO_x、SO_x等污染物含量。

4.3.7.8 进入电堆模组燃气侧的水需去除杂质，以避免毒化催化剂或腐蚀系统组件等。

4.3.7.9 SOFC 外壳应设有热膨胀补偿结构。

4.3.7.10 与燃气接触的金属材料应考虑硫化物的影响，垫圈等橡胶材料应具有一定的抗变性能力。

4.3.7.11 高温密封材料应具备良好的耐高温性能，长期允许使用温度应不低于 700℃（或制造商的推荐值）。

4.3.7.12 高温部件表面温度≥80℃时需加装隔热护罩，接触区域应设置警示标识。

4.3.7.13 控制系统应具有温度自动调节功能，调节稳态精度应不低于±2℃。

4.3.7.14 控制系统应具有梯度升温功能，升/降温速率应设定至制造商推荐水平，避免热应力过大导致电解质层开裂。

4.3.7.15 控制系统应能监测用于升温的加热/辅热系统功能的有效性，当加热/辅热系统的燃料供应或供电失效时，应在有人值班位置发出报警。

4.3.7.16 控制系统应能实时监测和控制电堆模组进出口的气体温度和输出电压，电压过低时应及时降低输出电流或断开连接。

4.3.7.17 SOFC 起动阶段应合理控制燃料供应、电力输入和输出功率，点火前应通入少量燃气以保证系统正常点火，为避免电堆模组受到过大热冲击，待点火成功后应尽量降低通入的燃气量，保证电堆模组进口温差在制造商规定值以内。

4.3.7.18 电堆运行温度应控制在 600℃-1000℃范围（或制造商的推荐范围）内，SOFC 各单电池间温差应保持在制造商推荐的限值以内，避免热应力导致燃料电池损坏。

4.3.7.19 应对电堆输出电流与燃料利用率进行控制，不应超出制造商推荐值，避免电流过大或燃料利用率过高导致电堆性能损伤。

4.3.7.20 电堆模组的背压应配置压力传感器监测，且不超过制造商推荐背压值，避免高压力和高压差对电堆模组的内部结构造成破坏。

4.3.7.21 电堆模组运行过程中，顶部与四周应设置保温措施，保温材料应具有较好的化学稳定性，不应与电堆模组外壳发生反应。

4.3.7.22 当 SOFC 以远低于额定功率的低功率运行时，应采取必要措施维持燃料电池必要的运行温度，如自动起动加热/辅热系统，或切换至热备机进入自维持模式。

4.3.7.23 供电和配电系统应尽实际可能避免燃料电池频繁起停。

4.3.7.24 供电和配电系统应避免燃料电池负荷剧烈波动，防止电解质因离子通量突变导致分层失效。

4.3.7.25 SOFC 应能根据船舶功率/能量管理系统（PMS/EMS）的调度进行输出功率/电流控制，实现负荷分配，维持船舶电网稳定。

4.3.7.26 SOFC 应采用模块化设计，不同模块之间应能独立运行。单一模块故障时应能实现故障快速定位和自动隔离，并能将故障信息通讯至船舶功率/能量管理系统（PMS/EMS），以支持船舶实现综合电源管理，确保供电连续性。

4.3.7.27 当评估 SOFC 瞬态响应性能时，不应仅基于电化学反应速度，还应考虑电堆材料的热惯性和传热性能，以及空气系统和重整器燃料供应系统的响应速度。

4.3.7.28 SOFC 的瞬态响应性能应与其工作温度、热惯性和热应力设计水平相适应，以实现高效控制。

4.3.7.29 SOFC 系统拉载输出时，拉载速率应参考制造商推荐水平，避免电流增加过快引起性能损伤。

4.3.7.30 停机时应按制造商推荐的降温程序进行，至制造商推荐温度以下后，关闭燃料气与水供应，维持通入空气降温至室温。

4.3.7.31 停机后的冷却过程的温度下降率应由控制系统管理，必要时可开启辅助加热系统，避免因降温过快受到过大的热应力。

4.3.7.32 紧急停机时，燃料供应应能根据电流大小做出快速反应，避免 SOFC 系统在电堆模组后端积存过多燃料，导致热量积聚，系统回热后对电堆模组造成热冲击。

4.3.7.33 紧急停机时，应先切断电流，负载接触器断开且通入保护气体后，方可切断燃气、水和空气供应。

4.3.7.34 热态重启时，点火成功后的空气流量提升速率应满足电堆模组空气进口温变速率，需恢复至保温工况且稳定后才能发电。

4.3.7.35 燃料泄漏检测装置灵敏度应不大于 5%LEL（针对可燃气体），响应时间 T_{80} 的平均值应不超过 4s。

4.3.7.36 制造商应制定详细的维护计划，并定期检查及评估以下项目：

⑴系统功率输出稳定性；

⑵系统辅助部件老化特性。

4.3.7.37 冷能利用和热电联供的特殊要求

⑴用于实现一次燃料冷能利用系统以及排气热回收系统的设计不应影响 SOFC 的正常运行；如存在影响 SOFC 正常工作的可能性，则冷能利用系统和热回收系统应具备独立脱机功能。

⑵冷能利用系统回路载冷剂应满足以下要求：

① 载冷剂应无燃爆性、无毒性且对钢及其他金属无腐蚀性，防止因泄漏导致设备损坏；

② 载冷剂凝固点需适应工作温度范围，避免换热后凝固阻塞管路；

③ 载冷剂化学性质应稳定，循环过程中仅发生物理变化；

④ 载冷剂应对自然环境无害，不破坏臭氧层且温室效应低。

⑶冷能利用系统的各级换热环节，应采取有效隔离或控制措施，防止可燃气体进入冷能利用系统回路泄漏至船舶安全区域。

⑷冷能利用系统的各级换热回路的管路、阀件等部件，应根据载冷剂的工作温度范围选用耐低温材料。同时应评估冷能利用系统低温管路对周边船体结构的影响，避免造成低温损伤。

⑸热回收系统的废气锅炉，应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章“锅炉与压力容器”的适用要求。

⑹进入热回收系统的 SOFC 排气不应含有未经重整的甲烷气体或其他可燃气体；若无法完全避免，应在废气进入热回收系统前设置废气后燃器，确保未重整甲烷或其他可燃气体完全燃烧。

⑺热回收系统的设备和管路表面温度，如存在人员接触烫伤风险，应设置栏杆或围护装置进行防护；当表面温度可能超过 220℃时，其表面应设置有效的隔热防护设施，防止触及可燃物引发着火。

⑻基于电力负荷调节燃料电池输出时，SOFC 的热输出应尽可能得到充分使用，在不足以满足船舶供热需求时应能起动独立热源予以补充，此过程可采用手动进行。

⑼基于供热需求调节 SOFC 输出时，不应超过燃料电池额定输出功率。

4.3.8 操作、维护手册及安全性说明

4.3.8.1 燃料电池发电装置应在船上备有操作手册，手册包括但不限于以下内容：

⑴帮助操作人员识别燃料电池发电装置各个子系统和部件，以及确认其能够安全运行的方法；

(2)所有工况下燃料电池发电装置的操作流程和功能说明，应包括自检、启动、停机、紧急停机和除气等；

(3)如设备的操作需要预设程序或参数，应提供编程方法，以及达到预期操作所需参数的详细信息；

(4)燃料电池运行、报警和故障信息的查询方法，以及各个运行参数的正常限值范围和超限时的处置方式。

4.3.8.2 燃料电池发电装置应在船上备有维护手册，手册包括但不限于以下内容：

(1)关于燃料电池发电装置的调整、维修和预防性检查的适当程序；

(2)所有需要定期检查/维护的系统及组件的维护计划和维护/维修记录，并说明这些维护的必要性和最低频率；

(3)如果提供了自检的方法（例如软件测试程序），应详细说明如何使用这些方法；

(4)应至少包含以下内容，并具有清晰和完整的说明：

① 所有相关部件的位置及简图；

② 所有相关仪表、自动化及监测报警信息的说明；

③ 运动部件润滑的说明，包括润滑剂的种类和数量；

④ 必要部件定期清洁维护的方法；

⑤ 滤芯更换/清洗的频率及备件的尺寸、规格型号、拆卸和安装方式；

⑥ 关机后可能具有高于安全电压的残余电压/能量的电气元件，以及如何安全释放这些电压/能量的方法，并提醒用户注意；

⑦ 检查燃料电池发电装置安装正确的方法，包括所有燃料、气体和水的进出口没有生锈和堵塞、设备外壳及支撑完好等；

⑧ 报警系统功能检查计划；

⑨ 定期检查通风系统、气体探测器及相关重要功能部件的方法；

⑩ 备件清单以及备件详细信息和订购方式；

⑪ 燃料电池发电装置周围环境的需求，例如没有可燃材料、可燃物及燃料的泄漏物。

4.3.8.3 燃料电池发电装置应在船上备有潜在危害安全性说明，说明包括但不限于以下内容：

(1)可能泄漏的物质（有毒物质、易燃物质、腐蚀性物质等）；

(2)可能产生的气体（有毒气体、易燃气体、腐蚀性气体等）；

(3)火灾/爆炸危险性；

(4)浸水危险性；

(5)关闭所有反应进程的方式及其他减轻风险的安全预防措施；

(6)推荐的灭火方式。

第4节 燃料电池的供电与配电系统

4.4.1 一般要求

4.4.1.1 供电与配电系统向负载提供的电能，除满足本节相关要求之外，电压和频率偏差、谐波及纹波，应满足相关规范和法规中对电能质量的规定。

4.4.1.2 供电与配电系统应设计为，当发生单一故障时不会导致危险情况的发生。

4.4.1.3 燃料电池发电系统各部件应设计为能在控制系统的干预下自动工作，并应设置符合本篇5.2.1要求的安全和控制所需的指示和控制设备。

4.4.1.4 燃料电池输出回路应设置断开装置以便于维修，如隔离开关。不应使用接触器作为断开装置。

4.4.2 燃料电池发电装置作为船舶主电源（或主电源组成部分）的特殊要求

4.4.2.1 燃料电池的性能及安全应符合 CCS 接受的标准[①]并持有 CCS 签发的船用产品证书，且船用产品证书中已注明其“已完成等效发电机组特性的附加试验”（见本节 4.4.2.3）。

4.4.2.2 考虑到配电系统保护电器的选择性保护，燃料电池连同变流器的短路电流应足以使本支路的短路保护装置可靠动作。当主汇流排上发生短路时，应设有保护措施以确保燃料电池不会受到危害，并在故障清除后再次使用。

4.4.2.3 等效发电机组特性的附加试验

(1)燃料电池连同变流器如满足本节 4.4.2.3（2）至（6）的要求，可作为船舶主电源的组成部分，并在证书中予以注明“已完成船用系统发电性能附加试验”。

(2)燃料电池连同变流器，应能在选择性保护电器的任何延时脱扣时间/熔断时间内，耐受短路电流所产生的机械应力和热效应。

(3)燃料电池连同变流器，当负载为额定功率的 20%时，其电压偏差应在额定电压的 1%以内；当负载为满载时，其电压偏差应在额定电压的 2.5%以内；在 20%负载至满载之间，电压负载特性的上升曲线和下降曲线的平均曲线与额定电压的偏差应不大于 3%。

(4)燃料电池连同变流器在空负荷状态下突然加上 50%额定负荷，稳定后再加上余下的 50%负荷时，应满足：

① 当电压跌落时，其瞬态电压值应不低于变流器额定电压的 85%，且不低于变流器工作门限电压；

② 当电压上升时，其瞬态电压值应不超过变流器额定电压的 120%，且不高于变流器工作门限电压；

③ 如为交流系统，其瞬态频率变化应不大于变流器额定频率的 10%；

④ 电压恢复到与稳定值相差 3%变流器额定电压以内所需的时间应不超过 1.5s。

(5)输出为交流的燃料电池连同变流器，空载线电压波形正弦性畸变率应不超过 5%。

4.4.2.4 如燃料电池连同变流器达到本节 4.4.2.3（4）要求确有困难，可以采用以下方式之一：

(1)在燃料电池连同变流器进行本节 4.4.2.3（4）要求的附加试验中，并联一组蓄电池组和变流器的组合共同进行试验，燃料电池和增配蓄电池组容量、功率和类型等参数应在产品证书中注明。在船舶电站设计中，应选择容量不少于产品证书中注明的同种类型的蓄电池组改善燃料电池发电装置的动态响应能力。有多组燃料电池发电装置并联运行时，应考虑汇流排分段运行时，确保每一段汇流排上蓄电池组具有足够的容量。

(2)可使用 CCS《船舶应用直流综合电力系统指南》表 2.1.2.2 规定的电压瞬态变化和恢复时间的下限为衡准进行仿真分析，从而接受配备其他可作为主电源的电源装置（如储能装置、柴油发电机组）改善燃料电池发电装置的动态响应能力，增配的储能装置额定功率一般不宜低于 1.0（如为柴油发电机组，则取 1.3）倍燃料电池的额定功率。有多组燃料电池发电装置并联时，应考虑汇流排分段运行时，确保每一段汇流排上电源装置具有足够的功率。

4.4.3 燃料电池作为船舶唯一主动力源的特殊要求

4.4.3.1 燃料电池发电装置应具有和柴油发电机组相同的安全性、可靠性和独立性，并符合本节 4.4.2 的要求。在任一燃料电池发电装置停止工作时，剩余燃料电池发电装置的台数和容量仍能继续对保障船舶正常航行、船舶安全及冷藏货物所必需的设备供电。同时，最低舒适的居住条件也应得到保证，至少应包括适当的炊事、食品冷冻、机械通风、卫生和淡水等设备的供电。

4.4.3.2 为降低风险而采取的措施不应降低船舶航行所要求的发电能力和推进能力。

① 参见 IEC62282-2-100《燃料电池模块第 1 部分：安全》和 IEC62282-3-100《固定式燃料电池发电系统第 1 部分：安全》。

4.4.3.3 燃料电池发电装置活动部件[①]的单一故障不应导致推进失效和重要设备失电。

4.4.3.4 应具有 2 套及以上的燃料电池发电装置，当其中一套发电系统因故障停止供电时，不会导致不可接受的动力损失，船舶安全航行和最低舒适生活条件也应得到保证。

4.4.3.5 应在驾驶室或燃料电池发电系统控制室监测其可用性或寿命。

4.4.3.6 应设置两个及以上的燃料罐，且燃料罐应布置在不同的舱室。采用 C 型独立燃料罐且设有两个完全独立的燃料罐接头处所或类似布置方式时，可仅设置一个燃料罐。

4.4.3.7 对于海船，当任一燃料电池发电装置因故障停止供电时，其余燃料电池发电装置应尽快自动起动并连接至主配电板，并尽可能在失电后 30s 内完成，最长不超过 45s。对于内河船，应尽可能实现这些要求。

4.4.3.8 失电后恢复供电或瘫船起动的试验大纲及满足相关要求的说明文件应经 CCS 认可并验证。

4.4.3.9 如使用重整装置或其他处理装置对燃料进行处理，应设置额外加热装置或电源提供初次起动所需热源。

4.4.3.10 燃料电池发电系统连同必要的重整装置的起动时间，应在合理的时间范围内。

4.4.3.11 宜设置储能系统改善燃料电池的输出特性。当采用蓄电池作为储能系统时，应能监测蓄电池的荷电状态，避免蓄电池过充电或过放电。

4.4.3.12 应根据供应商提供的功率衰减率曲线或类似资料，计算船舶报废年限以内的可能出现的功率衰减，并在其发电功率不能满足全船负荷的需求时予以更换。

4.4.4 燃料电池作为船舶主电源但非唯一主动力源的特殊要求

4.4.4.1 燃料电池发电装置应具有和柴油发电机组相同的安全性、可靠性和独立性，并符合本节 4.4.2 的要求。在任一燃料电池发电装置停止工作时，主电源的其余部分仍能继续对保障船舶正常航行、船舶安全及冷藏货物所必需的设备供电。同时，最低舒适的居住条件也应得到保证，至少应包括适当的炊事、食品冷冻、机械通风、卫生和淡水等设备的供电。

4.4.4.2 为降低风险而采取的措施不应降低所要求的发电能力。

4.4.4.3 燃料电池发电装置活动部件[①]的单一故障不应导致重要设备失电。

4.4.4.4 燃料泄漏导致切断燃料供应时，不应导致推进失效和重要设备失电，可以通过燃料电池处所的布置或及时投入其他主电源等方式予以实现，使用储能系统作为备用主电源时应具有至少能维持船舶安全所必需的用电设备 4h 的供电容量。

4.4.4.5 任一燃料电池发电系统因故障停止供电时，不应导致不可接受的动力损失，船舶安全航行和最低舒适生活条件也应得到保证。

4.4.4.6 对于海船，当燃料电池发电装置或任一其他主电源因故障停止供电时，备用动力源应尽快自动起动并连接至主配电板，并尽可能在失电后 30s 内完成，最长不超过 45s。对于内河船，应尽可能实现这些要求（有条件者，如蓄电池组为备用电源装置时，宜在失电后 0.5-20s 内自动启动）。

4.4.4.7 如果失电后恢复供电或瘫船起动所需动力由燃料电池发电装置提供，则满足相关要求的说明文件应经 CCS 认可并验证。

4.4.4.8 并网型燃料电池发电装置投入电网使用，应在至少有一台电源装置在网运行的情况下进行；最后一台电源装置从电网切除之前，应先将燃料电池发电装置从电网切除并停机。

4.4.4.9 并网型燃料电池发电装置所使用的并网逆变器应具备防孤岛监测的能力，但如其可以实现独立发电与并网发电切换，则可不必停止供电。切换过程应保持供配电系统供电连续性，且不应使供电电压相位与幅值发生的突变超过相关规范和法规中对电能质量瞬态波动的规定。

4.4.4.10 燃料电池发电装置还应满足本节 4.4.3.5、4.4.3.11 和 4.4.3.12 的要求。

① 活动部件是指用于能源传输的机械部件，例如泵、风机、电动机、发电机、内燃机和涡轮机。燃料电池、热交换器、锅炉、变压器、开关设备和电缆不视为活动部件。

4.4.5 燃料电池不作为船舶主电源的特殊要求

4.4.5.1 燃料电池发电装置如满足下列要求，则可用来向船舶航行时正常操作和起居条件所需的电气设备供电：

(1)设有足够容量的备用电源（来自船舶主电源）；

(2)频率（如有时）和电压波动应符合相关规范和法规中对电能质量的规定；

(3)当燃料电池发电装置停止工作、频率（如有时）超限或电压波动超限时，由其供电的设备应能自动切换至由船舶主电源供电；

(4)考虑到配电系统保护电器的选择性动作，燃料电池发电装置的短路电流应足以使本支路的短路保护装置动作；

(5)具有自动卸载功能；

(6)在设有驾驶室遥控推进装置的船舶上，应提供措施或程序，以确保在操纵工况下向重要设备供电，从而避免船舶失电。

第5章　控制、监测和安全系统

第1节　一般规定

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 燃料电池船舶控制、监测和安全系统及气体探测应符合本章的规定。使用氢、天然气、甲醇、乙醇、氨或其他燃料作为一次燃料时，控制、监测和安全系统还应符合本指南第 1 篇或 CCS《船舶应用天然气燃料规范》或《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》或《船舶应用氨燃料指南》等相应规范的有关要求。

5.1.1.2 安全系统应独立于控制和监测系统，或满足 CCS 接受的标准[①]中规定的性能要求，或达到同等的安全水平。

第2节　监测与控制

5.2.1 燃料电池发电系统的监控

5.2.1.1 燃料电池发电系统应进行必要的监测，以避免其安全性受到损失或降低。申请 FC-FULL 和 FC-POWER1 附加标志船舶的燃料电池装置还应监测影响其可用性和寿命的项目，并同整个装置的冗余性一并进行考虑。

5.2.1.2 应对燃料电池所有可能出现的影响操作和安全的故障进行故障模式及影响分析（FMEA），并基于分析的结果确定监测和控制的范围，应至少包括以下内容。

(1)空气进入到燃料管路（可采用间接监控方式）；

(2)燃料进入到空气管路（可采用间接监控方式）；

(3)燃料电池电压；

(4)燃料电池电压波动；

(5)排气温度（如适用）；

(6)燃料电池内部温度（如适用），当燃料电池堆表面温度有可能高于 300℃时，应能满足本章 5.4.1.12 的要求；

(7)燃料气体的纯度（如适用）；

(8)燃料压力；

(9)输出电流；

(10)控制系统故障。

5.2.1.3 应根据燃料电池的类型、工作模式和工作特点，考虑增加以下的监控内容：

(1)空气流量；

(2)空气压力；

(3)冷却介质流量、压力和温度（如适用）；

(4)燃料流量；

(5)燃料温度；

(6)空燃比（如适用）；

(7)排气的气体探测；

(8)水系统的液位；

(9)水系统的压力；

(10)水系统的纯净度；

① 参见 ISO13849-1《机械安全-控制系统的安全相关部分-设计通则》。

(11)影响和反映燃料电池寿命或衰减所必须监测的参数。

5.2.1.4 燃料电池内部如存在化学反应，如内部重整系统，应对温度、压力和电压等进行监测。

5.2.1.5 应根据燃料电池的工作过程确定内部各参数的限值，如温度、压力和电压等。当各参数实际值超过限值时，应触发安全系统以实现对燃料电池发电系统的保护。

5.2.2 通风监测

5.2.2.1 燃料电池处所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听觉和视觉报警。

5.2.2.2 确认通风系统运行时具备本节 5.2.2.1 中“通风能力发生损失”的可接受方法，包括但不限于下列方法，可选择其中一种或多种：

(1)监测通风电动机或风扇运行并结合负压指示；

(2)监测通风电动机或风扇运行并结合通风流量指示；

(3)监测通风流速以表示达到所要求的空气流速。

5.2.3 污水阱

5.2.3.1 燃料电池处所的污水阱（如有时）应设置液位传感器，污水阱高液位时发出报警。

第3节 气体探测

5.3.1 对可燃气体探测的要求

5.3.1.1 在下述处所位置应安装固定式气体探测器：

(1)燃料电池处所；

(2)燃料电池发电系统的辅助系统介质出口处或膨胀水箱内；

(3)燃料电池冷却液储存装置内；

(4)经风险分析后，其他一次燃料/重整燃料可能积聚的围蔽处所。

5.3.1.2 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，气体探测器宜安装在气体/蒸气可能积聚的位置和/或通风出口，并能覆盖处所内的关键位置（如管路连接处）。应采用气体扩散分析或物理烟雾测试来确认最佳的布置位置。

5.3.1.3 可燃气体探测应连续进行。

5.3.1.4 基于冗余的考虑，气体探测器应为两个互相靠近且独立的探测器。如探测器具备自检功能（能够在探测器故障时发出报警信息），则允许使用一个探测器，并应备有备件以便及时更换。

5.3.1.5 气体探测器应按照 CCS 接受的标准①进行设计和试验，探测器的设置应能够快速探测一次燃料和/或重整燃料的泄漏。

5.3.1.6 除固定式可燃气体探测系统之外，船舶上还应配备 1 套便携式气体探测设备。

第4节 监测、控制和安全系统功能

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 应提供能进行手动遥控紧急切断的装置，用于关停并切断燃料电池发电装置和燃料供应系统，如燃料供应系统包含压缩机和泵，在切断燃料供应时也应一并紧急关停。该装置应采用已作适当标记其用途，且能防止误触碰的手动按钮，并在下述位置进行布置（如设有）：

(1)驾驶室；

(2)货物控制室；

(3)船舶安全中心；

(4)机舱集控室；

① 参见 IEC60079-29-1《爆炸性环境-气体探测器-易燃气体探测器的性能要求》。

(5)消防控制站；

(6)燃料电池处所出口附近。

5.4.1.2 手动紧急切断按钮动作时，安全系统应能立即中断燃料供应，并切断燃料电池处所中所有非合格防爆电气设备供电。

5.4.1.3 对于本章的报警，应在驾驶室或连续有人值班的集控室或船舶安全中心进行显示。

5.4.1.4 监测到燃料电池处所内可燃气体/蒸气浓度高于 20%LEL 时，应进行报警。不同类型的可燃气体具有不同的 LEL 值，如在空气中的 LEL，氢为 4%，甲烷为 5.3%，丙烷为 1.7%。

5.4.1.5 两个探测器探测到燃料电池处所内气体/蒸气浓度超过 40%LEL 时，安全系统应能关闭受影响的燃料电池发电系统，切断泄漏点所在燃料电池处所内所有非合格防爆电气设备供电，并自动关闭所有用于隔离泄漏点的阀门。如果燃料电池堆没有取得在 1 类危险区域环境中工作的认可，则燃料电池也应立即关闭。向燃料电池处所供应液体或气体燃料的燃料系统的阀门也应自动关闭。

5.4.1.6 燃料电池冷却液的供应装置中应设置气体探测，并能进行报警。

5.4.1.7 监测到燃料电池处所内的一次燃料或液体燃料的泄漏，安全系统应能立即中断燃料供应，并切断燃料处所内部所有非合格防爆电气设备供电。可以通过舱底水高液位监测装置实现这一目的。

5.4.1.8 本节 5.4.1.4 至 5.4.1.7 中气体和燃料的泄漏故障未消除之前，安全系统不得重新开启泄漏点的燃料供应。

5.4.1.9 监测到燃料电池处所通风失效时，安全系统应能在一定的时间内自动停止燃料电池的运行，并确保该动作始终保持系统处于安全状态。该过程应基于风险分析，并考虑燃料电池的技术状态。

5.4.1.10 燃料电池冷却液的失效，安全系统应能在一定的时间内自动停止燃料电池的运行。为了防止冷却液泄漏到燃料电池处所中，应提供能够容纳这些冷却液的管路或设施，以实现附加屏蔽的目的。可提供相应措施安全排出这些冷却液。

5.4.1.11 燃料电池处所中探测到火灾，安全系统应能立即中断燃料供应，并切断燃料电池处所中所有非合格防爆电气设备供电。

5.4.1.12 定义为 1 类危险区域的燃料电池处所，若燃料电池堆没有取得在 1 类危险区域环境中工作的认可，当燃料电池堆表面温度高于 300℃时，应立即关闭燃料电池发电系统并切断该燃料电池处所的燃料供应。

5.4.1.13 报警及限定故障后果的安全动作应根据本章前述内容和本节表 5.4.1.13 进行设置。对于非常规和复杂的燃料电池发电装置，应考虑增加新的报警及安全动作。

供气系统的安全功能表 **表5. 4. 1. 13**

参数	报警	自动关闭燃料罐主阀	自动关闭燃料电池处所燃料供应	注释
热交换器膨胀柜内气体浓度高于20%LEL	×			
燃料罐处所和燃料电池处所之间双壁管内气体浓度高于20% LEL	×			
燃料罐处所和燃料电池处所之间双壁管内2个探测器①均探测到的气体浓度高于40%LEL	×	×②		
燃料电池处所内气体浓度高于20% LEL	×			
燃料电池处所内2个探测器①均探测到的气体浓度高于40%LEL	×		×	还应根据本节 5.4.1.5 关闭点火源
燃料电池处所探测到液体燃料泄漏	×		×	

燃料罐处所和燃料电池处所之间的双壁管内部分通风失效	×			
燃料罐处所和燃料电池处所之间的双壁管内全部通风失效③	×	×②		
燃料电池处所内双壁管内部分通风失效	×			
燃料电池处所内双壁管内通风失效③	×		×④	
燃料电池处所内部分通风失效	×			
燃料电池处所内全部通风失效③	×		×	燃料电池应执行受控切断（CSD）
燃料电池处所探测到火灾	×		×	同时停止燃料电池处所通风，起动灭火系统，还应根据本节5.4.1.5关闭点火源
手动紧急切断	×		×	还应根据本节5.4.1.5关闭点火源
阀门控制工作介质失效	×		×	视需要可延时
燃料电池表面温度＞300℃	×		×	还应根据本节5.4.1.12关闭点火源
燃料电池冷却失效	×		×	含燃料电池冷却液流失
燃料电池自动停止工作	×		×	
燃料电池紧急停止工作	×		×	

注：表中“×”表示适用。

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如果燃料罐向 1 台以上燃料电池供应燃料，并且不同的供应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内的供气管路上的主阀。

③如果管道由惰性气体进行保护，则惰性气体失压将同样引起表中规定的动作。

④如果氢燃料供至一台以上燃料电池，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阀。