

海安会 MSC.1/Circ.1647 通函
(2022 年 6 月 15 日)

应用燃料电池发电装置船舶安全暂行指南

1 海上安全委员会在其第 105 届会议 (2022 年 4 月 20 日至 29 日) 上, 审议了货物与集装箱运输分委会在其第 7 次会议上的提案, 认识到为燃料电池发电装置在船上的布置和安装提供至少与使用常规燃油的全新同类主机和辅机同等安全和可靠性水平的标准的重要性, 批准了《应用燃料电池发电装置船舶安全暂行指南》, 其文本载于附件。

2 请各成员国政府使船厂、生产商、船东、船舶经营者、船长和船员、光船承租人和所有其他有关各方注意本暂行指南。

3 请各成员国政府向本组织详述其在使用本暂行指南中获得的经验, 供委员会继续对其保持审查。

附 件

应用燃料电池发电装置船舶安全暂行指南

引言

已制定本暂行指南为应用燃料电池发电装置的船舶提供国际标准规定。本暂行指南的目的是无论燃料种类和燃料电池类型如何，为燃料电池发电装置在船上的布置和安装提供至少与使用常规燃油的全新同类主机和辅机同等安全和可靠性水平的标准。取决于使用的燃料，除本暂行指南外，其他条例（如 IGF 规则 A 部分）和规定（如《船舶使用甲醇/乙醇作燃料安全暂行指南》）也适用。某些燃料电池发电装置使用燃料重整的过程开发一种重整燃料供燃料电池使用。本暂行指南不涵盖重整燃料的储存。

1 通则

1.1 适用范围

除另有明文规定外，本暂行指南适用于 SOLAS 第 II-1 章 G 部分适用的船舶。

1.2 目标

本暂行指南的目标是通过使用燃料电池技术提供安全可靠的电能和/或热能。

1.3 功能要求

本暂行指南与 IGF 规则的目标和功能要求相关。下列内容尤其适用：

- .1 无论燃料种类和燃料电池类型如何，系统的安全性、可靠性和可信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、探测和安全动作）将与燃料相关的危险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，应启动必要的安全动作；
- .3 设计理念应确保燃料电池发电装置的风险降低措施和安全动作不会导致不可接受的功率损失；
- .4 应尽量限制危险区域，将其可能影响船舶、船上人员和设备安全的潜在风险降至最低；
- .5 危险区域内应仅安装操作所必需的设备，且此类设备应经适当认证；
- .6 燃料电池处所的设置应能防止易爆、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、制造和安装的管系和超压释放装置，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导致不能接受的功率损失或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，以确保安全和可靠运行；
- .13 应设置适合所有相关处所和区域的固定式泄漏探测系统；
- .14 应针对火灾风险设置防火、探火和灭火措施；
- .15 应确保燃料系统和气体利用机械的调试、试验和维护满足在安全性、可用性和可靠性方面的目的要求；
- .16 技术文件应允许对系统及其部件对适用的规范、指南、使用的设计标准和安全

- 性、可用性、可维护性和可靠性相关原理的符合性进行评估；
- .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。

1.4 定义

就本暂行指南而言，使用的术语定义见下文。未定义的术语见SOLAS第II-2章和IGF规则。

- .1 燃料废气：系指从重整装置或燃料电池阳极排出的废气。
- .2 空气废气：系指从燃料电池阴极排出的废气。
- .3 燃料电池：系指能将燃料中的化学能经过电化学反应直接转化为电能和热能的能源转化装置。
- .4 燃料电池发电系统：系指由燃料或危险蒸气、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。
- .5 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。可能包括维持燃料电池运行的辅助系统。
- .6 燃料电池处所：系指燃料电池发电系统全部或部分部件所在的舱室或密闭空间。
- .7 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。
- .8 燃料重整装置：系指将气相或液相一次燃料转换成燃料电池可以使用的重整燃料的相关装置。
- .9 LEL：系指爆炸下限，在本暂行指南中，应视为与易燃下限(LFL)相同，对氢气是4.0%体积分数。^①
- .10 重整燃料：系指由燃料重整装置产生的富氢或纯氢气体。
- .11 一次燃料：系指为燃料电池发电系统提供的燃料。
- .12 反应空气：系指为重整装置和/或燃料电池阴极供应的空气。
- .13 通风空气：系指为燃料电池处所通风所使用的空气。

1.5 替代设计

1.5.1 本暂行指南包含燃料电池技术使用相关的所有设备和布置的功能要求。

1.5.2 燃料电池发电系统的设备和布置可能与本暂行指南规定的不同，条件是此类设备和布置满足目的的意图和相关功能要求并提供相关部分同等的水平。

1.5.3 替代设计的等效性应按照SOLAS第II-1/55条的规定进行证明并经主管机关批准。但是，主管机关不允许用操作方法或程序替代本暂行指南规定的特定附件、材料、仪表、设备的部件或其型式。

2 燃料电池发电装置设计原理

2.1 燃料电池处所

2.1.1 燃料电池处所概念：

- .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，其应满足本节的要求，或同等安全概念。
- .2 燃料电池处所概念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，

^① 对于氢气的易燃下限，参见 ISO/TR 15916:2015 《氢系统安全的基本考虑》。

但在特定的非正常状态下存在变为危险区域的可能性。

- 3 设备保护型燃料电池处所--区域划分见4.2.2：此类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能够在所有负载和工作条件下均能迅速断开燃料电池堆并放电，则燃料电池堆不视作点火源（另见表2）。
- 4 如果主管机关认为不适宜对燃料电池处所采用规定性的区域划分时，根据4.2.1应按照IEC60079-10-1:2020进行区域划分，并采用如下做法：所有电气设备需要符合区域划分的结果；
- 5 如果主管机关接受2.3.3惰化的方案，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，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，以避免对燃料电池发电系统造成损坏。

2.1.2 燃料电池发电系统的设计应符合与本组织接受的标准^②具有至少同等水平的工业标准。

2.2 布置与通道

2.2.1 燃料电池发电装置应设计为能够自动运行，并配有系统安全运行所需的所有监控设施。

2.2.2 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。

2.2.3 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。

2.2.4 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。

2.2.5 一次燃料或重整燃料有可能泄漏至系统介质（如冷却水）的燃料电池发电系统的辅助系统，辅助系统应在尽可能靠近系统介质出口处设置合适的抽吸和监测装置，以防止气体扩散。从辅助系统介质抽出的气体应排放在开敞甲板的安全区域。

2.2.6 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。

2.2.7 燃料电池处所与船上其他围蔽处所的限界面应保持气密。

2.2.8 燃料电池处所应布置在起居处所、服务处所、A类机器处所和控制站之外。

2.2.9 燃料电池处所的设计应能安全地容纳燃料泄漏，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，其上部不应有任何阻碍结构，以避免富氢气体^③积聚。

2.2.10 含有重整装置的燃料电池处所还应符合对一次燃料的相关要求。

2.2.11 如设置从开敞甲板直接通向燃料电池处所的独立通道不可行时，应通过空气闸进入燃料电池处所。

2.2.12 当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不含易燃气体之前，无需且无法进入燃料电池处所，则无需设置空气闸。

2.2.13 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，遥控实现设备和燃料电池处所所需的安全操作以及除气操作；

① 300℃的阈值来自 ISO/IEC80079-20-1:2017，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 ISO/IEC80079-20-1:2017 中提到的相关燃料的最低阈值，即 300℃。

② 参见 IEC62282 系列：IEC62282-2-100:2020 和 IEC62282-3-100:2019。

③ 另见 IEC60079-10-1:2020。

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，防止运行的过程中处所门开启；
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；和
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，以便进行维护。

2.3 燃料电池处所的大气控制

2.3.1 通则

对通过外部边界围住燃料供给部件的燃料电池处所的保护，可通过惰化或通风实现。这些方法应都是可接受的以确保处所的安全。

2.3.2 燃料电池处所的通风

2.3.2.1 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。

2.3.2.2 对于开敞甲板上的燃料电池处所，可考虑采用正压通风。

2.3.2.3 燃料电池处所的通风率，应足以在因技术故障而导致的所有最大可能泄漏情况下，将平均气体/蒸气浓度稀释到LEL的25%以下。

2.3.2.4 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。

2.3.2.5 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。

2.3.2.6 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。100%的通风能力还应由应急电源供电。

2.3.2.7 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。

2.3.2.8 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。

2.3.2.9 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，应是非危险区域。

2.3.2.10 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1.5 m。

2.3.2.11 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。

2.3.3 为防火对燃料电池处所进行惰化

2.3.3.1 燃料电池处所的大气控制应接受惰化，条件是：

1. 燃料电池处所在惰化过程中人员应无法进入，并且密封装置应确保能防止惰性气体泄漏至相邻处所；
2. 惰化系统应符合《国际消防安全系统规则》（FSS规则）第15章和IGF规则6.13及6.14的规定；
3. 惰化介质的压力应始终处于正压状态并能进行监测；
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，重整装置）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；
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；
6. 经过惰化的燃料电池处所只有在完全通风并且燃料供应中止、减压或吹扫后才允许进入；和
7. 在维护或检查过程中，惰化系统应不能运行。

2.4 材料

2.4.1 燃料电池发电装置的材料应与其预计用途相适应并应符合公认的标准。

2.4.2 燃料电池发电系统应尽可能不使用易燃材料。

2.5 燃料电池发电系统的管系布置

燃料电池发电系统中含有氢气或重整燃料的管路（如设有）应：

- .1 不得穿过燃料电池处所以外的围蔽处所；
- .2 尽可能全焊透；
- .3 尽量减少接头的数量；和
- .4 对于阀门、法兰、密封件等可能泄漏氢气的地方，应设置能探测氢气泄漏的固定式氢气探测器。

2.6 燃料废气和空气废气

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。

3 消防

3.1 防火防爆的一般规定

燃料电池处所的形状应尽可能的简单，以尽可能减少气体积聚或气囊形成。

- .1 为了防火的目的燃料电池处所应按SOLAS第II-2章视为A类机器处所。
- .2 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，主管机关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 灭火系统应与使用的燃料和燃料电池技术相适应。主管机关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。
- .4 应设有符合FSS规则的固定式探火和失火报警系统。
- .5 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。
- .6 燃料电池处所应设有合适的^①火灾探测器。当使用气体燃料时，为快速探测失火，仅设有烟雾探测器是不够的。

3.2 防火防爆

3.2.1 燃料电池处所之间若采用单层舱壁分隔，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。

3.2.2 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ESD系统进行保护。

3.2.3 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；
- .2 在系统关闭之后，根据需要进行吹扫；
- .3 在燃料电池燃料围护系统设置故障监测；
- .4 监控空气是否进入燃料电池燃料管路，或燃料电池燃料是否进入空气管路；
- .5 监测压力和温度；

① 在选择合适的火灾探测器时，可根据 ISO/TR15916:2015 考虑。

- .6 能通过预设序列防止反应向燃料电池系统其他部件或周围蔓延；和
- .7 主管机关认为必要的其他措施。

3.3 灭火

3.3.1 燃料电池处所应设置固定式灭火系统。

3.3.2 灭火系统应与拟使用的一次燃料和重整燃料和燃料电池技术相适应。

3.3.3 固定式灭火系统应在充分考虑被保护处所可能产生的火灾强度的基础上选择，并应随时可用。

3.4 挡火闸

3.4.1 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。

3.4.2 灭火系统动作之前，挡火闸应关闭。

4 电气系统

4.1 电气系统的一般规定

4.1.1 电气设备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或安全强化。

4.1.2 如果电气设备，包括燃料电池系统的部件，安装在危险区域，对其的选择、安装和维护标准应至少等同本组织接受的标准^①。

4.1.3 应设有措施以确保燃料电池装置不会受到短路和反向电流流动的危害。

4.2 区域划分

4.2.1 为便于选择适当的电气设备和设计合适的电气装置，按照4.2.2、4.2.3和4.2.4将危险区域分为0区，1区和2区。如果认为4.2.2、4.2.3和4.2.4的规定在某些情况下并不适用，主管机关可考虑允许按照IEC60079-10-1:2020进行危险区域划分。

4.2.2 0类危险区域

下列区域应视为0类危险区域：缓冲罐、重整装置内部，内部含有低闪点燃料或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。

4.2.3 1类危险区域

下列区域应视为1类危险区域：

- .1 距离任何氢气，重整燃料或吹扫气体出口，或燃料电池处所通风出口，3 m以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所。
- .2 距离燃料电池空气废气和燃料废气出口3 m以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所。
- .3 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1.5 m以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所。
- .4 氢气或重整燃料释放口3 m以内的开敞甲板上的区域或甲板上的半围蔽处所。
- .5 燃料电池处所。

4.2.4 2类危险区域

下列区域应视为2类危险区域：

- .1 如无其他规定，距离1类危险区域的开敞或半围蔽处所1.5m的区域。

^① 参见 IEC60079-10-1:2020《爆炸性环境-第 10-1 部分：区域分级-爆炸性气体环境》和 IEC 60092-502:1999《船舶电气设备—专著—液货船》中给出的导则和资料性实例。

.2 空气闸。

4.2.5 通风管道的区域划分等级应与被通风处所相同。

4.3 风险分析

4.3.1 对于任何新的或更改概念或配置的燃料电池发电装置，应进行风险分析，以确保应对燃料电池使用造成的、影响船舶完整性的任何风险。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。

4.3.2 应使用可接受的标准和被认可的风险分析方法对风险进行评估，应至少涵盖部件的机械损坏、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、燃料自动点燃、起火、爆炸和短时间断电。分析应确保尽可能消除风险，不能消除的风险应在必要时予以减轻。

5 控制、监测和安全系统

5.1 控制、监测和安全系统的一般规定

5.1.1 燃料电池控制系统的安全相关部分应设计为独立于任何其他控制和监测系统，或满足本组织接受的行业标准^①中规定的性能要求，或达到同等的安全水平。

5.1.2 应按制造商的建议对燃料电池进行监控。

5.2 气体或蒸汽探测

5.2.1 在下述处所位置应安装固定式气体/蒸汽探测器：

- .1 燃料电池处所；
- .2 空气闸（如有）；
- .3 燃料电池发电系统的辅助系统膨胀水箱/脱气装置内，在那里一次燃料或重整燃料可能直接泄漏进系统介质（例如冷却水）；和
- .4 其他一次燃料/重整燃料可能积聚的围蔽处所。

5.2.2 探测系统应连续监测气体/蒸汽。燃料电池处所内的探测器数量应根据该处所的大小、布置和通风情况予以考虑。探测器宜安装在气体/蒸气可能积聚的位置和/或通风出口。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。

5.2.3 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，则允许使用一个探测器。

5.3 通风性能

为验证通风系统的性能，应安装通风流量和燃料电池处所压力的监测系统。风机电动机的运转信号不足以验证性能。

5.4 污水井

燃料电池处所内的污水井应设置液位传感器。

5.5 手动紧急切断装置

5.5.1 应在下述位置布置手动紧急切断装置（如适用）：

- .1 驾驶室；
- .2 船舶安全中心；
- .3 机舱集控室；

^① 参见 ISO13849-1:2015-06。

- .4 消防控制站；和
- .5 燃料电池处所出口附近。

5.6 报警系统和安全系统的动作

5.6.1 气体或蒸汽探测

5.6.1.1 探测到燃料电池处所内的气体/蒸气浓度高于20%LEL时，应进行报警。

5.6.1.2 探测到燃料电池处所内的气体/蒸气浓度超过40%LEL时，应关闭受影响的燃料电池发电系统，切断点火源，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，则燃料电池堆也应被立即断电并放电。向燃料电池处所供应液体或气体燃料的一次燃料系统的阀门也应自动关闭。

5.6.1.3 燃料电池冷却液的供应装置中应设置气体/蒸气探测，并能进行报警。

5.6.2 液体探测

探测到燃料电池处所的计划外的液体泄漏，应触发报警。可能的探测方式是污水井高液位报警装置。

5.6.3 通风失效

5.6.3.1 监测到燃料电池处所通风失效时，应在一定的时间段内通过过程控制自动停止燃料电池的运行。该时间段应基于风险分析，并考虑燃料电池的具体情况。

5.6.3.2 在该时间段结束后，应进行安全停机。

5.6.4 紧急切断按钮

紧急切断按钮动作时，应中断向燃料电池处所的燃料供应，并切断燃料电池处所中点火源。

5.6.5 燃料电池冷却液的失效

燃料电池冷却液的失效，应在有限的时间段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，冷却液的管路应有附加屏蔽，或者燃料电池处所内的设备应受到保护免受冷却液释放的危害。可提供相应措施安全排出冷却液。

5.6.6 探火

燃料电池处所中探测到火灾，应自动停机并切断燃料供应。

5.6.7 燃料电池高温停机

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隔离该燃料电池处所。

5.7 报警

5.7.1 5.6和表1的报警规定规定了燃料电池发电装置报警。

5.7.2 对于非常规或复杂的燃料电池发电装置，建议增加表1之外的报警。

表1：报警

	报警状态
探测到的气体浓度在20%LEL	
燃料电池处所	HA
加热/冷却系统的膨胀水箱/脱气装置	HA
空气闸	HA
一次燃料/重整燃料可能积聚的其他围蔽处所	HA
液体探测	
燃料电池处所，按5.6.2.1	HA
通风	
燃料电池处所通风减弱	LA
其他报警状态	
空气闸两边的门同时处于开启状态	A
空气闸门开启的同时通风失效	A
A=按逻辑值激活报警 LA=低值发出报警 HA=高值发出报警	

5.8 安全动作

5.8.1 5.6和表2的安全动作规定规定了燃料电池发电装置为限制系统故障后果的安全动作。

5.8.2 对于非常规或复杂的燃料电池发电装置，建议增加表2之外的安全动作。

表2：安全动作

	报警	关闭燃料电池处所阀	关闭点火源	注释
流失燃料电池冷却液，按5.6.6.1	X	X		
燃料电池处所内探测到的40%LEL（包括按2.5.1.4探测到氢气泄露）	X	X	X	如果没有取得在1类危险区域环境中工作的认可，则燃料电池堆也应被立即断电并放电。
燃料电池处所内通风失效或无负压	X	X		燃料电池应由过程控制自动关闭
燃料电池处所探测到火灾	X	X	X	关闭通风，释放灭火系统
紧急切断按钮	X	X	X	
燃料电池堆表面温度>300℃	X	X	X	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