指南编号/Guideline No.:B-09(202612)

船用储供氢和加注系统

生效日期/Issued date:2026 年 12 月 1 日

©中国船级社 China Classification Society

目　录

第 1 篇　船用高压储供氢和加注系统.....I

第 2 篇　船用液氢储供氢和加注系统.....II

第 3 篇　船用固态储供氢和加注系统.....III

第 1 篇 船用高压储供氢和加注系统

目　录

1　适用范围 1

2　规范性引用文件 1

3　术语和定义 1

4　图纸资料 2

5　技术要求 4

6 原材料与零部件 9

7 型式试验 9

8 单件/单批检验 14

1 适用范围

1.1 本指南适用于船用高压储供氢和加注系统。该系统由储氢装置、供氢系统、加注系统及控制、监测和安全系统组成。

1.2 储氢装置中氢气瓶的存储设计和制造公称工作压力为35MPa和70MPa、公称容积大于或等于20L且不大于450L、工作温度不低于-40°C且不高于85°C。氢气瓶分为A类气瓶和B类气瓶，A类气瓶公称工作压力为35MPa，B类气瓶公称工作压力为70MPa。

1.3 适用于使用氢为燃料的氢燃料动力船舶。

2 规范性引用文件

相关文件中的条款通过本章的引用将成为本指南的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

2.1 中国船级社《钢质海船入级规范》

2.2 中国船级社《钢质内河船舶建造规范》

2.3 中国船级社《材料与焊接规范》

2.4 中国船级社《船舶应用氢燃料指南》

2.5 中国船级社《电气电子产品型式认可试验指南》

2.6 GB/T 35544 -2025《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》

2.7 GB/T 42612-2023《车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶》

2.8 GB/T 3362-2017《碳纤维复丝拉伸性能试验方法》

2.9 GB/T 13005-2011《气瓶术语》

2.10 GB/T 29729-2022《氢系统安全的基本要求》

2.11 GB/T 3634.2-2025《氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢》

2.12 TSG23-2021《气瓶安全技术规程》

3 术语和定义

上述规范性引用文件中所确定的术语及定义适用于本指南。为编写及使用方便，本指南直接引用并补充下列定义。

3.1 关于产品检验、认可、型式试验、样品、单件/单批检验等术语的定义，请参考《钢质海船入级规范》第1篇第3章3.1.2条。

3.2 铝内胆：外表面缠绕碳纤维增强层，用于密封气体且可承受或不承受部

分压力载荷的无缝铝合金容器。

3.3 塑料内胆：外部缠绕碳纤维增强层，用于密封气体、按不承受压力载荷进行设计的内层塑料壳体。

3.4 全缠绕：用浸渍树脂基体的碳纤维连续在内胆上进行螺旋和环向缠绕，以增强氢气瓶环向和轴向强度的缠绕方式。

3.5 全缠绕氢气瓶：对内胆全缠绕后并经加热固化成型的氢气瓶。

3.6 自紧：通过向氢气瓶施加内压使铝内胆产生塑性变形，从而使得氢气瓶在零压力下铝内胆承受压应力、碳纤维承受拉应力的加压过程。

3.7 自紧应力：自紧时施加在氢气瓶内的最高压力（表压）。

3.8 氢气瓶设计使用年限：在规定使用条件下，氢气瓶允许使用的年限。

3.9 纤维应力比：氢气瓶在最小设计爆破压力下的碳纤维应力与公称工作压力下的碳纤维应力之比。

3.10 极限弹性膨胀量：在每种规格型号氢气瓶设计定型阶段，由制造单位规定的氢气瓶弹性膨胀量的许用上限值，单位为毫升。该数值不得超过设计定型批相同规格型号氢气瓶在水压试验压力下弹性膨胀量平均值的 1.1 倍。

3.11 储氢装置：包括氢气瓶、瓶口组合阀、压力释放装置，以及连接管路等。用于将氢气安全地储存在氢气瓶中。

3.12 供氢系统：主要包括相关阀件、连接管路、仪表和控制系统等，用于安全地向用氢装置提供适用压力和流量的洁净氢气。

3.13 加注系统：包括加注接头、回气接头（如设有）、相关阀件、连接管路、仪表和控制系统等，用于向氢气瓶加注。

4 图纸资料

4.1 下列图纸资料应提交 CCS 审查：

4.1.1 储供氢系统

（1） 系统流程图；

（2） 产品技术条件及主要性能规格表；

（3） 管路的详细参数、图纸及理化性能一览表，包括泄压管路和透气管路等；

（4） 管路与管件强度计算书、安全及超压泄放能力计算书；

（5） 法兰、阀和其他装置的图纸和说明；

（6） 管路系统的相关工艺文件，包括但不限于焊接、无损检测等；

（7） 管路压力试验（强度试验和气密性试验）技术文件；

（8） 监测装置和报警系统图及布置图，包括监测探头、传感器、报警装置和报警点布置图，及报警、控制设定值；

（9） 控制设备（含控制、监测和安全系统）的原理图、元器件清单、软件功能框图、报警类型清单和安全动作类型清单；

（10）储供氢系统性能试验大纲，包括阀件、附件以及操作相关设备在内的功能验证；

（11）外部管路连接图；

（12）储供氢系统全寿命性能说明（整个服役周期内的性能变化情况）；

（13）储供氢和加注系统故障模式和影响分析（FMEA）报告；

（14）储供氢管路和加注管路的应力分析报告；

（15）系统说明书或操作说明书；

（16）铭牌图；

（17）必要的辅助设备清单（如有时）；

（18）按项目开展检验时，还应确认船舶审批图纸的相关要求。

4.1.2 氢气瓶

（1） 产品主要性能规格表；

（2） 总装配图、主要部件图；

（3） 强度计算书、泄压装置计算书；

（4） 主要受压件材料理化性能一览表；

（6） 应力分析报告（适用时）。

（7） 制造工艺文件。

4.1.3 加注系统

（1） 加注系统总图；

（2） 主要部件图：管路及附件、阀件、加氢口等；

（3） 主要受压件材料理化性能一览表：管路、阀件等；

（4） 设计计算书：安全及超压泄放能力计算、管路结构强度计算；

（5） 监测装置和报警系统图及布置图，包括监测探头、传感器、报警装置和报警点布置图，及报警、控制设定值；

（6） 控制设备（含控制、监测和安全系统）的原理图、元器件清单、软件功能框图、报警类型清单和安全动作类型清单；

（7） 风险分析报告；

（8） 产品性能规格表。

4.2 氢气瓶申请认可时，还应提交以下资料：

（1） 企业基本情况介绍、拟认可产品的技术特性（如有时）或基本情况描述；

（2） 产品简明工艺流程；

（3） 主要产品生产设备和检验及试验设备清单；

（4）能表明客户具有认可范围的产品生产能力和质量水平的其他有效文件、报告和证明；

（5） 企业注册登记证明或营业执照、质量体系证书或证明文件、资质证明和/或生产许可证（如有时）；

（6） 主要原材料及零部件供应商清单（如必要时）；

（7） 产品质量证明书样本；

（8） 产品关键制造工艺技术文件或文件清单；

（9） 认可试验大纲。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 高压储供氢和加注系统的结构设计、强度计算、制造工艺、管路及附件设置、系统安全与保护等，应满足《船舶应用氢燃料指南》以及 CCS 接受的标准。

5.1.2 焊接工艺评定

采用焊接结构的管路，应在本社验船师的监督下进行焊接工艺评定。

5.2　系统设计

5.2.1　储供氢和加注系统设计的风险控制应符合 GB/T 29729 第 7.2 条的要求。

5.2.2　储供氢和加注系统宜采用便于装配、检测和维护的模块化结构。

5.2.3　储供氢和加注系统应设置安全附件，包括但不限于泄压装置等，并符合 GB/T 29729 的要求。

5.2.4　储供氢和加注系统应合理设置温度监测装置和压力监测装置。

5.2.5　除与外部直接连通的管路之外，供氢和加注系统其余管路应设置吹扫置换接口，接口的位置应满足各段管路内气体的充分吹扫、置换（氮气或惰性气体）的要求。

5.2.6　储供氢和加注系统中的涉氢管路应符合《船舶应用氢燃料指南》要求。

5.3 储氢装置

5.3.1 材料要求

5.3.1.1 制造氢气瓶的材料，应有材料制造单位提供的质量证明书原件，或者加盖了材料经营单位公章且有经办人签字（章）的质量证明书复印件。

5.3.1.2 铝内胆

（1）铝内胆应采用 6061 铝合金，其化学成分应符合表 5.2 的规定：

化学成分表　　**表** 5.2

元素		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Bi	其他		Al
												单项	总体	
质量分数/%	最小值	0.40	—	0.15	—	0.80	0.04	—	—	—	—	—		
	最大值	0.80	0.70	0.40	0.15	1.20	0.35	0.25	0.15	0.003	0.003	0.05	0.15	余量

（2）铝内胆材料应经氢气瓶制造单位复验合格后方可使用，氢气瓶制造单位应按材料炉罐号进行化学成分复验。

（3）铝内胆材料应满足相应标准的规定。铸锭应进行超声检测，超声检测按ϕ2mm 当量平底孔进行，检验方法应符合相应标准的规定。

5.3.1.3 塑料内胆及附件

（1）塑料内胆应按评定合格后的成型工艺进行加工，成型工艺应为注塑、吹塑、挤塑或滚塑。

（2）塑料内胆材料宜选用聚乙烯(包括改性聚乙烯)或聚酰胺(包括改性聚酰胺),其与氢气相容性应满足 GB/T 42612 附录 C 的要求。

（3）塑料内胆材料的熔融峰温应大于或等于设计文件的规定值。

（4）塑料内胆原材料为粒状时，聚乙烯(包括改性聚乙烯)熔体质量流动速率和聚酰胺(包括改性聚酰胺)熔体体积流动速率应满足设计文件的要求。

（5）塑料内胆原材料为粉状时，表观密度、粉体流动性和粒度分布应满足设计文件的要求。

（6）瓶阀座、O 形密封圈等附件应满足 GB/T 42612 相关要求。

5.3.1.4 树脂

（1）浸渍材料应采用环氧树脂或改性环氧树脂等耐热性高且稳定性好的热固性树脂。树脂的环氧当量和树脂材料的玻璃化转变温度应按相关标准进行测定，其值应不低于 105 ℃ 。

（2）浸渍材料的性能和技术指标应符合相应的国家标准或行业标准的规定。

5.3.1.5 碳纤维

（1）承载纤维应采用连续无捻碳纤维，不得采用混合纤维。

（2）每批碳纤维的拉伸断裂强度、断裂伸长率、拉伸模量等力学性能应符合氢气瓶设计要求。

（3）氢气瓶制造单位应对碳纤维材料按批进行复验。

5.3.1.6 玻璃纤维

（1）玻璃纤维只允许用作氢气瓶外表面保护层或防电偶腐蚀层。

（2）应采用 S 型或 E 型玻璃纤维，其力学性能应符合氢气瓶设计要求。

（3）按批对玻璃纤维力学性能进行复验，纤维线密度和纤维浸胶拉伸强度按 GB/T35544 进行测定。

5.3.2 设计要求

5.3.2.1 氢气瓶的设计应符合 GB/T35544、GB/T42612 的相关要求。

5.3.2.2 氢气瓶应设有瓶口组合阀门，由手动截止阀、自动截止阀、单向阀、温度驱动安全泄压装置以及温度传感器等部件组成，应满足 GB/T42536 要求。

瓶口组合阀应进行检验。

5.3.2.3 温度驱动安全泄压装置应采用易熔合金塞或玻璃泡，其动作温度为（110±5）℃，易熔塞和玻璃泡应符合 GB/T33215 的规定。泄放口不应朝向瓶体。若泄放口安装放散管，排放口应朝上方引出并采用防雨雪结构。每只氢气瓶的放散管宜单独设置，如放散管采用汇总管引出，应避免放散气流冲击氢气瓶瓶组中未泄放的泄压装置,且汇总管的泄放能力应保证氢气瓶瓶组能够安全泄放。

5.3.2.4 温度驱动安全泄压装置额定排量应不小于氢气瓶安全泄放量，额定排量和氢气瓶安全泄放量应按 GB/T33215 计算。

5.3.2.5 氢气管路宜采用无缝金属管路，不得采用铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁等脆性材料及与氢气不相容的铜合金。氢气管路的连接宜采用对接焊、或者其他有效防止氢气泄漏的连接方式，且应符合相应耐压耐温的要求。

5.3.2.6 A 类氢气瓶的设计循环次数 Nd 为 11000 次，B 类氢气瓶的设计循环次数 Nd 为 7500 次。

5.3.2.7 氢气瓶的设计应满足 TSG23 相关要求。A 类氢气瓶使用年限为 15 年；B 类氢气瓶的设计使用年限为 10 年。当氢气瓶实际使用年限未达到设计使用年限，但充装次数达到设计循环次数时，氢气瓶应当报废。

5.3.2.8 氢气瓶的许用压力不得低于最高工作压力，其中许用压力为公称工作压力的 1. 25 倍。氢气瓶水压试验压力应不低于 1.5 倍公称工作压力。纤维应力比应不低于 2.25。氢气瓶最小爆破压力应不低于 2.25 倍公称工作压力。氢气瓶外表面可以采用适当的保护层进行防护。如果保护层作为设计的一部分时, 应按公认标准进行环境试验并符合要求。氢气瓶使用条件中不包括因外力等引起的附加载荷。

5.3.2.9 应力分析应采用有限元方法,建立合适的氢气瓶分析模型,计算氢气瓶在自紧压力、自紧后零压力、公称工作压力、许用压力、水压试验压力和最小爆破压力下,铝内胆和缠绕层中的应力和应变。分析模型应考虑铝内胆的材料非线性、复合材料各向异性和结构的几何非线性。

5.3.2.10 储氢装置应设置氢气排放管、吹扫口。

5.4 供氢系统

5.4.1 供氢系统中与氢气接触的管道、阀门应具有良好的氢相容性，且在氢气条件下应能长期稳定运行。

5.4.2 供氢系统管路的设计应符合《船舶应用氢燃料指南》的有关要求。

5.4.3 供氢系统惰化应满足《船舶应用氢燃料指南》和《船舶氢燃料加注作业指南》的相关要求。

5.4.3 供氢系统应具备手动紧急切断供应功能。

5.4.4 供氢系统氢气易积聚处应设置氢气检测报警装置。并应设置成单个氢气探测器故障不会影响氢气检测报警装置正常工作。

5.4.5 供氢系统应妥善接地，接地装置、接地导体、接地线与接地点应保持良好的接触、无松动。静电接地宜与其他接地共用接地体，若采用专用静电接地，则接地电阻不得大于 10Ω。氢管路上的法兰连接处应采用金属线跨接，跨接电阻应小于 0.03Ω。

5.5 加注系统

5.5.1 加注系统中与氢气接触的管道、阀门应具有良好的氢相容性，且在氢气条件下应能长期稳定运行。

5.5.2 加注系统管路的设计应符合《船舶应用氢燃料指南》的有关要求。

5.5.3 加注系统惰化应满足《船舶应用氢燃料指南》和《船舶氢燃料加注作业指南》的相关要求。

5.5.4 船上加注系统应能与岸端加注系统实时通信。如通信中断，应能停止加氢或者在保证安全的条件下切换为非通信加氢。

5.5.5 加注系统应具备手动紧急切断加注功能。

5.5.6 加注系统氢气易积聚处应设置氢气检测报警装置。并应设置成单个氢气探测器故障不会影响氢气检测报警装置正常工作。

5.5.7 加注系统应妥善接地，接地装置、接地导体、接地线与接地点应保持良好的接触、无松动。静电接地宜与其他接地共用接地体，若采用专用静电接地，则接地电阻不得大于 10Ω。氢管路上的法兰连接处应采用金属线跨接，跨接电阻应小于 0.03Ω。

5.6 控制、监测和安全系统

储供氢和加注系统的控制、监测和安全系统应能实现《船舶应用氢燃料指南》表 12.4.1 所要求的报警和安全功能。并能实现远程显示报警信息和发出声光报警。

当发生《船舶应用氢燃料指南》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，安全系统，能自动关闭燃料供应系统。

5.6.1 设置要求

5.6.1.1 应设置合适的仪表设备，能够就地和远程对储供氢和加注系统重要参数进行显示，以确保对全部燃料设备和加注过程的安全管理。

5.6.1.2 应设有就地读数的压力指示器，以指示船舶管系截止阀和软管通岸接头之间的压力。

5.6.1.3 每个氢气总管上，应至少各安装 1 个就地显示的压力表。

5.6.1.4 每一氢气瓶应在就地设置压力表，压力表上应清晰地标明氢气瓶允许的最高和最低压力，在遥控位置（如驾驶室、机舱控制室或船舶安全中心等）应设置压力显示。此外，应在有人值班处所设置高压和低压报警，并在达到设定最高/最低压力时发出听觉和视觉报警。

5.6.1.5 氢气瓶应设有压力传感器，当氢气瓶内部压力达到设定的报警值（高压或低压）时，应发出听觉和视觉报警；当低于用气设备安全运行所必需的最低压力要求时，应及时切断燃料的输出。

5.6.2 功能及安全性要求

5.6.2.1 应能针对储供氢和加注系统相关设备的异常压力/温度进行监控，并在超出限定值时发出听觉和视觉报警；

5.6.2.2 应能针对储供氢和加注系统的气体泄漏情况进行监控，并在超出限定值时发出听觉和视觉报警；

5.6.2.3 对于储供氢和加注系统中涉及的电气设备，若根据危险区域划分要求需采用合格防爆型设备，则其防爆类别应不低于 IIC 或 IIB+H2，温度组别应不低于 T1。

6 原材料与零部件

产品原材料及零部件应按照《船舶应用氢燃料指南》相关要求进行控制。

7 型式试验

氢气瓶应按照本条要求进行型式试验，储氢装置、供氢和加注系统应结合实船项目按批准图纸开展单件/单批检验。

7.1 氢气瓶型式试验要求：

7.1.1 用于型式试验的同批次氢气瓶，数量不得少于30 只，内胆基数为5只。

（1）从中随机抽取进行拉伸试验、金相试验、冷弯或压扁试验的内胆数量为 1 只。

（2）从中随机抽取进行型式试验的氢气瓶数量为：

① 对于 A 类氢气瓶:水压爆破试验 3 只；常温压力循环试验 2 只；火烧试验 1 只；极限温度压力循环试验 1 只；加速应力破裂试验 1 只；裂纹容限试验 1 只；环境试验 1 只；跌落试验 1 只；氢气循环试验 1 只；枪击试验 1 只。

② 对于 B 类氢气瓶:水压爆破试验 3 只；常温压力循环试验 3 只；火烧试验 1 只；耐久性试验 1 只；使用性能试验 1 只。

7.1.2 所有进行型式试验的内胆和氢气瓶在试验后都应进行消除使用功能处理。

7.1.3 型式试验项目及要求。

型式试验项目及要求 **表** 7.1.3

试验项目		**试验数量**	**试验要求**
原材料	铝内胆	按炉罐号	1. 原材料持有质量证明书； 2. 内胆应采用 6061 铝合金，其化学成分满足 GB/T35544 的要求； 3.铝内胆材料应满足相应标准的规定，板材应符合 GB/T3880.1、GB/T3880.2、GB/T3880.3 的规定, 管材应符合 GB/T4437.1 的规定，挤压棒材应符合 GB/T3191 的规定, 铸锭应符合 YS/T 67 的规定。铸锭应进行超声检测, 超声检测按ϕ2 mm 当量平底孔进行，检验方法应符合 YS/T1188 的规定。
	塑料内胆	按每批次	1，原材料持有质量证明书 2，塑料内胆应按评定合格后的成型工艺进行加工，成型工艺应为注塑、吹塑、挤塑或滚塑。
	树脂	按每批次	1.浸渍材料应采用环氧树脂或改性环氧树脂等耐热性高且稳定性好的热固性树脂； 2.树脂的环氧当量测定应按 GB/T4612 的规定执行； 3.树脂材料的玻璃化转变温度应按 GB/T 19466.2 的规定进行测定，且其值应不低于 105 ℃。
	碳纤维	按每批次	1.承载纤维应采用连续无捻碳纤维，不得许采用混合纤维； 2.每批碳纤维的力学性能应符合氢气瓶设计文件的规定； 3.纤维线密度(公制号数)应按 GB/T 3362 或 GB/T30019 测定； 4.纤维浸胶拉伸强度应按 GB/T3362 或 GB/T26749 测定。

	玻璃纤维		按每批次	1.应采用 S 型或 E 型玻璃纤维，其力学性能应符合氢气瓶设计文件的规定； 2.采用 GB/T7690.3 规定的方法进行性能复验。
铝内胆	壁厚		逐只	符合 GB/T35544 第 5.6.1 条及批准图纸的要求。
	制造公差		逐只	符合 GB/T35544 第 5.6.1 条的要求。
	内外表面		逐只	符合 GB/T35544 第 5.6.2 条的要求。
	瓶口螺纹		逐只	符合 GB/T35544 第 5.6.3 条的要求。
	拉伸试验		随机抽取 1 只 3 件/只	符合 GB/T35544 第 5.6.4.2 条及批准图纸的要求。
	金相试验		1 件/只	符合 GB/T35544 第 5.6.4.3 条的要求。
	冷弯或压扁试验		弯曲 2 件/只；压扁 1 件/只	1.选择其中一项进行； 2.符合 GB/T35544 第 5.6.4.4 或 5.6.4.5 条的要求。
	硬度试验		逐只	符合 GB/T35544 第 5.6.5 条及批准图纸的要求。
塑料内胆	质量、壁厚和制造偏差		逐只	符合 GB/T 42612 第 5.6.1 条的要求
	内外表面		逐只	符合 GB/T 42612 第 5.6.2 条的要求
	母材拉伸试验		1 只	符合 GB/T 42612 第 5.6.3 条的要求
	焊接接头检测（拉伸试验、解剖检查）		1 只	符合 GB/T 42612 第 5.6.4 条的要求
	维卡软化温度		1 只	符合 GB/T 42612 第 5.6.5 条的要求
	瓶阀座螺纹		逐只	符合 GB/T 42612 第 5.6.6.1 条的要求
	瓶阀座和塑料内胆连接接头解剖检查		1 只	符合 GB/T 42612 第 5.6.6.2 条的要求
氢气瓶	A 类和 B 类	缠绕层层间剪切试验	6 个/批	符合 GB/T35544 第 5.7.1.1 层条的要求。
		缠绕层拉伸试验	6 个/批	符合 GB/T35544 第 5.7.1.1 条及批准图纸的要求。
		缠绕层外观	逐只	1.目测检查； 2.不得有纤维裸露、纤维断裂、树脂积瘤、分层及纤维未浸透等缺陷。

		水压试验	逐只	符合 GB/T35544 第 5.7.3 条的要求。
		气密性试验	逐只	符合 GB/T35544 第 5.7.4 条的要求。
		水压爆破试验	3 只	符合 GB/T35544 第 5.7.5 条的要求。
		火烧试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.7 条的要求。
		扭矩试验（塑料内胆氢气瓶）	1 只	符合 GB/T42612 第 5.7.8 条的要求。
	A 类	常温压力循环试验	2 只	符合 GB/T35544 第 5.7.6 条的要求。
		极限温度压力循环试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.8 条的要求。
		加速应力破裂试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.9 条的要求。
		裂纹容限试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.10 条的要求。
		环境试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.11 条的要求。
		跌落试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.12 条的要求。
		氢气循环试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.13 条的要求。
		枪击试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.14 条的要求。
		常温渗透试验	1 只	符合 GB/T42612 第 5.7.16 条的要求。
	B 类	常温压力循环试验	3 只	符合 GB/T35544 第 5.7.6 条的要求。
		耐久性试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.15 条的要求。
		使用性能试验	1 只	符合 GB/T35544 第 5.7.16 条的要求。

7.1.4 设计变更

7.1.4.1 设计变更允许减少型式试验项目，需根据变更情况按表 7.1.4 规定的项目重新进行型式试验。

设计变更需重新进行型式试验的项目　　表 7.1.4

设计变更	试验项目															
	A 类和 B 类							A 类							B 类	
	内胆型式试验项目	水压试验	层间剪切试验	缠绕层拉伸试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	火烧试验	极限温度压力循环试验	加速应力破裂试验	裂纹容限试验	环境试验	跌落试验	氢气循环试验	枪击试验	耐久性试验	使用性能试验
纤维制造单位		√	√	√	√	√	√		√			√		√	√	
等效纤维材料[a]		√	√	√	√	√			√			√				
新树脂材料		√	√	√	√[b]	√[b]	√	√	√	√	√	√		√	√	
等效树脂材料[a]		√	√	√	√[b]	√[b]			√							
内胆外直径变化≤20%[c]		√			√[b]	√[b]						√		√[d]	√	
内胆外直径变化>20%[c]		√			√	√	√					√	√[e]	√	√	√[e]
长度变化≤50%		√			√[b]	√[b]	√[e]									
长度变化>50%		√			√[b]	√[b]	√					√	√[e]		√	√[e]
内胆壁厚减薄	√	√			√	√						√			√	
端部结构					√	√										
瓶口螺纹[f]	√[g]	√			√[b]	√[b]										
玻璃纤维保护层[h]											√				√	
瓶阀/TPRD端塞							√[i]						√[j]			√[j]

a 仅适用于材料性能或制造商变化，等效纤维材料设计变更项仅适用于同一材料制造商生产的材料。
b 仅要求采用 1 只气瓶进行试验。
c 仅适用于当直径变化时，缠绕层壁厚与原设计保持同样或较低的应力水平(例如:直径增加，则壁厚应成比例增加)。
d 仅在气瓶直径减小时进行试验。
e 仅在气瓶容积增加时进行试验。
f 瓶口螺纹公称直径变化≤10%且与原设计保持同样或者较低的应力水平的不视为螺纹尺寸变化。
g 仅进行内胆型式试验项目中瓶口螺纹。

h 指作为设计部分的保护层材料或厚度发生变化。 i 仅适用于瓶阀或 TPRD 端塞制造单位变化、瓶阀或 TPRD 端塞上的 TPRD 类型变化或 TPRD 泄放通径减小、瓶阀或 TPRD 端塞质量变化超过 30%或发生对试验结果有影响的结构变化。 j 仅适用于瓶阀或 TPRD 端塞制造单位变化、变更后的瓶阀或 TPRD 端塞的密封尺寸及公差超出原瓶阀的范围、瓶阀或 TPRD 端塞的密封结构改变时。

7.2 不合格项处理

如果型式试验和批量检验中发现有不合格项目，按下列规定进行处理:

7.2.1 铝内胆

（1）如果不合格是由于试验操作异常或测量误差造成，可重新试验。

（2）如果试验操作和测量正确，应先查明试验不合格原因，再按以下规则处理:

①如确认铝内胆不合格是由于热处理不当造成的，允许对该批铝内胆重新热处理，但热处理次数不应超过 2 次。经重新热处理的该批铝内胆应作为新批重新进行批量检验；

②如果铝内胆不合格是由于其他原因造成的，则整批铝内胆报废。

7.2.2 气瓶

如果型式试验、批量检验时有不合格项目，且有证据证明不合格是由于试验操作异常或测量误差所造成，则可重新检验。若批量试验有不合格的项目，允许再随机抽取 2 只气瓶进行该项试验。全部气瓶通过试验，则本批气瓶合格;若其中有一只未通过试验，则本批气瓶不合格。

8 单件/单批检验

8.1 氢气瓶

8.1.1 签发船用氢气瓶产品证书的单件/单批检验应在制造厂经过工厂认可后进行，除非给予特别考虑。船用氢气瓶应进行单件/单批检验，未经认可的船用氢气瓶的单件/单批检验应按型式试验要求进行。

8.1.2 对 CCS 认可后的船用氢气瓶单件/单批检验，按认可时批准的产品检验计划进行。具体应包括以下试验项目：

单件/单批出厂检验项目 **表** 8.1.2

检验项目			检验数量		检验方式
原材料	铝内胆		按炉罐号		审核报告
	树脂		按每批次		审核报告
	碳纤维		按每批次		审核报告
	玻璃纤维		按每批次		审核报告
铝内胆	壁厚		抽查		抽检+报告审核
	制造公差		抽查		抽检+报告审核
	内外表面		抽查		抽检+报告审核
	瓶口螺纹		抽查		抽检+报告审核
	拉伸试验		随机抽取1只	3件/只	见证试验
	金相试验			1件/只	见证试验
	冷弯试验或压扁试验			弯曲2件/只；压扁1件/只	见证试验
	硬度试验		逐只		报告审核
塑料内胆	质量、壁厚和制造偏差		抽查		抽检+报告审核
	内外表面		抽查		抽检+报告审核
	母材拉伸试验		抽查		抽检+报告审核
	焊接接头检测（拉伸试验、解剖检查）		抽查		抽检+报告审核
	瓶阀座螺纹		抽查		抽检+报告审核
	瓶阀座和塑料内胆连接接头（尺寸检查、低压气密性检查）		抽查		抽检+报告审核
	0型密封圈（外观、尺寸、硬度、拉伸试验）		抽查		抽检+报告审核
氢气	A类和	缠绕层外观	抽查		抽检+报告审核
		水压试验	抽查		抽检+报告审核

瓶	B类	气密性试验	抽查	抽检+报告审核
		水压爆破试验	抽查	抽检+报告审核
		常温压力循环试验	抽查	抽检+报告审核

8.1.3 不合格项处理参见 7.2 条

8.2 储氢装置

8.2.1 外观和结构检查

储氢装置外观与结构检查时，应检查系统外观、标识、接口和结构，并应符合以下要求：

（1） 外表面应清洁，无机械损伤，接口触点无锈蚀；

（2） 产品铭牌应清晰可辨。

8.2.2 气密性试验

采用氮/氦混合气进行气密性试验，氮/氦混合气中氦的体积含量应不低于10%，具体含量通过试验确定，确保满足试验精度。氮/氦混合气泄漏率应转换为等同的氢气泄漏率。向储氢系统内充入氮/氦混合气，达到最高温升压力；将储氢系统置入密闭空间中，并将密闭空间与气体检测仪器（如氦气质谱仪、四极质谱仪、气相色谱仪等）相连后，再对真空箱抽真空，使其真空度低于 2Pa。在室温下，储氢系统静置 30min 以上，读取气体检测仪器的真空度及泄漏率数据。注：在将储氢系统放入密闭空间中进行气密性试验前，应先采用专用检漏液检漏法在所有可能的泄漏位置检查是否存在明显泄漏点。

8.2.3 过压安全性能测试

将储氢装置氢气压力升高到制造厂提供的泄压装置动作压力以上，检查泄压装置是否正常工作。泄压阀的启动压力应低于氢气瓶、阀门、接头和氢气管路最大许用压力的 0.8 倍，并不大于系统额定充氢压力的 1.5 倍。

8.3 供氢和加注系统

8.3.1 外观和结构检查

采用目测和检查设计图纸、说明书等常规方法检查。确认产品实物和批准图纸及技术文件的一致性。

8.3.2 管路的耐压试验

供氢和加注系统管路的耐压试验应采用氮气作为试验介质。

供氢系统的出口与气源相连接，用堵头替换安全阀逐步升高压力达到 1.5 倍设计压力，保持 30min。保压期间无泄漏、无可见变形、无异常声响为合格。

加注系统的入口与气源相连接，用堵头替换安全阀逐步升高压力达到 1.5 倍设计压力，保持 30min。保压期间无泄漏、无可见变形、无异常声响为合格。

8.3.3 气密性测试

供氢和加注系统的气密性试验应采用氮气作为试验介质。

将供氢系统的出口与气源连接，用堵头替换安全阀并逐级升高压力，然后在每级压力下保持 15min，使用专用检漏液检查全部管路系统，确定无可见气泡产生后，逐级升高压力直至达到最大工作压力，保压 12h。在试验过程中，考虑温度变化后压降应不大于试验压力的 1%且不大于 0.05MPa。

将加注系统的入口与气源连接，用堵头替换安全阀并逐级升高压力，然后在每级压力下保持 15min，使用专用检漏液检查全部管路系统，确定无可见气泡产生后，逐级升高压力直至达到最大工作压力，保压 12h。在试验过程中，考虑温度变化后压降应不大于试验压力的 1%且不大于 0.05MPa。

8.3.4 功能试验

验证供氢系统具备 5.4 条规定的功能，加注系统具备 5.5 条规定的功能，控制、监测和安全系统具备 5.6 条规定的功能。

第 2 篇 船用液氢储供氢和加注系统

目 录

1 适用范围 18
2 规范性引用文件 18
3 术语及定义 18
4 图纸资料 19
5 技术要求 22
6 原材料及零部件 27
7 型式试验 27
8 单件/单批检验 30

1 适用范围

1.1 本指南适用于储存初始充装仲氢含量（体积分数）≥95%的液氢的船用绝热液氢储罐、供氢和加注系统，绝热系统一般采用高真空多层绝热。船用液氢储供氢和加注系统由液氢储罐、供氢系统和加注系统等组成。

1.2 液氢应在亚临界状态下存储，液氢储罐内胆设计压力应不低于 1.0MPa，且不高于 1.2MPa。

1.3 适用于使用氢为燃料的氢燃料动力船舶。

2 规范性引用文件

相关文件中的条款通过本篇的引用将成为本指南的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

2.1 经修订的 MSC.565（108）决议《经修订的散装运输液化氢临时建议案》

2.2 MSC.1/Circ.1647《关于使用燃料电池动力装置的船舶安全的临时指南》

2.3 MSC.1/Circ.1701《船舶使用氢燃料安全临时指南》

2.4 中国船级社《钢质海船入级规范》

2.5 中国船级社《船舶应用氢燃料指南》

2.6 GB/T 18443-2010《真空绝热深冷设备性能试验方法》

2.7 GB/T 150.2-2024《压力容器 第 2 部分：材料》

2.8 NB/T 11745-2024《移动式真空绝热液氢压力容器》

3 术语及定义

上述规范性引用文件中所确定的术语及定义适用于本指南。为编写及使用方便，本指南直接引用并补充下列定义。

3.1 关于产品检验、认可、型式试验、样品、单件/单批检验等术语的定义，参考《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章 3.1.2 条。

3.2 仲氢：氢分子的一种同质异构体，分子中原子核的自旋方向是相反的（逆平行）。

3.3 液氢：以液态形式存在的氢气，是一种无色、透明的低温液体。正常沸点为 20.38K，沸点时密度为 70.77kg/m^3。

3.4 液态储氢：将温度降至 20.38K 以下，使氢气转变为液态氢的储存方式。

3.5 亚临界状态：流体温度低于其临界温度时所处的热力学状态，此时气液两相可共存。

3.6 液氢储罐：用于储存液态氢的低温容器，一般由内胆、外壳体、绝热结构及连接用机械构件、测量仪表、安全设施、液/气注入和排出配管、附件等组成。

3.7 供氢系统：包括液氢气化器、泵、缓冲罐、相关阀件、连接管路、过滤装置、仪表和控制系统等，用于安全地向用氢装置提供适用压力和流量的洁净氢气。

3.8 加注系统：包括加注接头、回气接头（如设有）、相关阀件、连接管路、仪表和控制系统等，用于液氢加注。

3.9 额定充满率：液氢储罐在常规充装操作及预期工况下，允许充装液氢的体积占储罐内胆几何容积的最大设计百分比。

3.10 充装极限：液氢储罐在任何情况下均不允许超过最大充装体积与液氢储罐内胆几何容积的比值。

3.11 气封液结构：液氢储罐内胆引出的液相管路中通过特定的管路走向或内部构件设计，利用液氢自身的液柱静压形成的物理屏障。

4 图纸资料

4.1 下列图纸资料应提交 CCS 审查：

4.1.1 液氢储罐

(1) 液氢储罐总装配图；

(2) 主要部件图：内胆及外壳体、封头、内胆及外壳体夹层支撑结构、加强/补强结构、制荡结构（适用时）、管路、吊耳等；

(3) 主要受压件材料理化性能一览表：内胆及外壳体、封头、内胆及外壳体夹层管及夹层支撑件材料、焊接材料、绝热材料等；

(4) 设计计算书：容积计算、内胆及外壳体结构强度计算、夹层管路结构强度计算、外压稳定性计算、鞍座结构强度计算、内外支撑结构强度计算、绝热性能计算（适用时）、晃荡分析报告（适用时）、屈曲分析报告（适用时）、安全泄放量及超压泄放能力计算、吊耳强度计算、焊接接头强度计算、液氢蒸发率计算；

(5) 有限元分析报告：液氢储罐整体应力分析、液氢储罐疲劳应力分析、内胆、外壳体、夹层管路机械载荷和热应力载荷的应力分析、内胆及外壳体疲劳分析、绝热性能热力学分析（适用时）；

(6) 绝热布置及说明，应匹配绝热性能计算或绝热性能热力学分析；

(7) 焊接工艺及无损检测规程；

(8) 风险分析报告；

(9) 产品性能规格表；

(10) 产品铭牌图；

(11) 出厂试验大纲。

4.1.2 供氢和加注系统

(1) 供氢和加注系统工艺原理流程图；

(2) 供氢和加注系统总图；

(3) 主要部件图：液氢增压泵（适用时）、液氢气化器（适用时）、缓冲罐、管路及附件、阀件、加氢口等；

(4) 主要受压件材料理化性能一览表：液氢增压泵（适用时）、液氢气化器（适用时）、管路、阀件等；

(5) 设计计算书：液氢气化器气化能力匹配计算（适用时）、绝热性能计算（适用时）、安全及超压泄放能力计算、管路结构强度计算；

(6) 有限元分析报告：管路应力分析、探测报警装置布局位置流体动力学分析（适用时）、绝热性能热力学分析（适用时）；

(7) 监测装置和报警系统图及布置图，包括监测探头、传感器、报警装置和报警点布置图，及报警、控制设定值；

(8) 控制设备（含控制、监测和安全系统）的原理图、元器件清单、软件功能框图、报警类型清单和安全动作类型清单；

(9) 绝热布置及说明，应匹配绝热性能计算或绝热性能热力学分析；

(10)焊接工艺及无损检测规程；

(11)风险分析报告；

(12)产品性能规格表；

(13)产品铭牌图；

(14)报警与安全保护项目表；

(12)出厂试验大纲；

(13)按项目开展检验时，还应确认船舶审批图纸的相关要求。

4.2 液氢储罐申请认可时，还应提交以下资料：

(1) 企业基本情况介绍、拟认可产品的技术特性（如有时）或基本情况描述；

(2) 产品简明工艺流程；

(3) 主要产品生产设备和检验及试验设备清单；

(4) 能表明客户具有认可范围的产品生产能力和质量水平的其他有效文件、报告和证明；

(5) 企业注册登记证明或营业执照、质量体系证书或证明文件、资质证明和/或生产许可证（如有时）；

(6) 主要原材料及零部件供应商清单（如必要时）；

(7) 产品质量证明书样本；

(8) 产品关键制造工艺技术文件或文件清单；

(9) 认可试验大纲。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 液氢储供氢和加注系统的结构设计、强度计算、制造工艺、管路及附件设置、系统安全与保护等，应满足《船舶应用氢燃料指南》及接受的标准。

5.1.2 液氢储罐与供氢和加注系统应采用适当的方法（例如 HAZID，HAZOP，FMEA/FMECA，what-if 分析等）进行风险评估。应满足《船舶应用氢燃料指南》第 1 篇第 1 章 1.1.6 风险评估的相关要求。

5.1.3 应根据风险分析报告设计液氢储罐、供氢和加注系统的安全控制系统，应可由手动和自动触发，电气、仪表等附件防爆等级须与安装区域防爆要求相匹配，不应低于氢气爆炸混合物的级别 IIC、T1。可根据风险分析报告配备氢气及火焰探测报警装置，也可单独配备，应根据流体动力学分析等方式确定探测报警装置布局位置，探测报警装置应可实现液氢储罐、供氢和加注系统联锁停机。

5.1.4 液氢储罐、供氢和加注系统与氢介质接触零部件表面应进行脱脂与清洁处理，目测无可见固体颗粒物，表面油脂残留量应不大于 125mg/m^2，其他零部件表面应进行脱脂、除锈、干燥等处理，并应符合设计文件的规定。

5.1.5 液氢储罐内胆及外壳体、供氢和加注系统设计应考虑在制造和使用过程中因温度变化导致材料低温收缩和热膨胀而引起的温差应力，必要时应设置补偿装置。

5.1.6 液氢储罐的内胆、供氢和加注系统设计温度应与液氢介质相适应，外壳体最低设计温度应考虑液氢泄漏或绝热能力降低的情况，外壳体设计温度应不高于内胆工作温度。在正常操作条件下，温度达到或低于-183℃的低温表面所在空间内的氧含量，其体积分数应保持在 1%以下。若无法实现此要求，则低温表面的周边及下方所用结构材料及辅助设备（如保温材料）均须与高氧浓度环境兼容。

5.1.7 液氢储罐、供氢和加注系统所选用绝热方式应能满足所设计性能要求，并应考虑在液态氢预期载运温度下的绝热性能过早退化的可能性。如果单一损伤可能造成绝热能力降低，应考虑采取适当的安全措施。

5.1.8 液氢储罐、供氢和加注系统预冷、惰化应满足《船舶应用氢燃料指南》的相关要求。

5.1.9 液氢储罐、供氢和加注系统的控制、监测和安全系统应满足《船舶应用氢燃料指南》第 1 篇第 12 章的相关要求。

5.2 液氢储罐要求

5.2.1 液氢储罐额定充满率应不超过 90%，充装极限不应超过 95%。应根据额定充满率的要求设置溢流口防止加注过量，容积小于 10m³ 的液氢储罐应配备防过充装置。

5.2.2 液氢储罐液相口、气相口及装卸口等管路应注明流动方向及用途。液氢储罐应配备不少于 2 个（组）压力释放阀，其中 1 个（组）为备用，每个（组）压力释放阀的泄放能力应满足安全及超压泄放能力计算的要求，并且应符合液氢绝热、密封及介质相容等性能要求。压力释放阀应能将内胆的内部压力控制在不超过压力释放阀的最大允许调定值（MARVS）的 20%，且整定压力应低于液氢临界压力。应考虑如果绝热系统能力迅速退化，液氢储罐内液氢将迅速升温，气化加快，可能超过压力释放阀能力的情况。

5.2.3 液氢储罐夹层管路的设计压力应不小于内胆的设计压力，应进行柔性设计，结构应避免因热胀冷缩、机械颤动或振动等所引起的疲劳开裂和损坏，必要时应设置补偿装置或紧固装置。其连接应采用等壁厚、全焊透的对接焊接结构，且不应使用带永久性垫板的对接接头。夹层支撑结构固定端应尽量设置在管路集中布置的一侧，移动端需有足够的冷收缩位移量，且应具有良好的绝热性能。

5.2.4 液氢储罐底部进出液管路可在内胆的出口端设置防冲挡板，顶部进液管路应在内胆的出口端设置喷淋装置，喷淋管应至少延伸至内胆长度的 80%，且喷淋孔截面积总和不小于喷淋管的内截面积。喷淋管路出口端应尽量减少进液时液氢喷入邻近的其他气相管路，以及直接喷射到封头和筒体内壁。

5.2.5 液氢储罐出液管应从内胆底部引出，内胆引出的液相管路应设置气封液结构。液氢储罐应设置排尽口，应能使内胆中液体及可能存在于液氢中的固体颗粒杂物完全排尽。

5.2.6 应设置氢气放空管、吹扫口。液氢储罐放空管应设置于顶部，管口设置防空气倒流、雨雪侵入以及防凝结体和外来物堵塞的装置，并应控制排放氢气的速度，以防发生火灾和爆炸等事故。液氢储罐、供氢和加注系统放空管应设有坡度。

5.2.7 外壳体安全泄放装置的泄放压力应不大于 0.05MPa，其排放能力足以使夹层的压力限制在不超过 0.1MPa，且其总排放面积应不小于内胆几何容积（m^3）与 341mm^2/m^3 的乘积，可不大于 5000mm^2，设计与布置应尽量避免其动作时大量空气进入夹层空间，同时防止绝热材料的堵塞，并设有适当的固定及保护措施。

5.2.8 液氢储罐压力及温度的控制应满足《船舶应用氢燃料指南》第 1 篇第 3 章第 9 节要求。

5.2.9 有可能存留液氢的管道应设置安全阀或其他泄放装置，整定压力不应高于管道的设计压力。

5.2.10 液氢储罐鞍座结构强度应满足设计要求，并应考虑由于绝热损失导致的影响。

5.2.11 液氢储罐设计使用年限应不少于船舶的设计寿命或 20 年，取大值。

5.3 供氢和加注系统要求

5.3.1 安全阀或其他泄放装置和被保护的液氢储罐、供氢和加注系统之间不应安装截止阀。

5.3.2 液氢储罐与供氢和加注系统之间，应在尽可能靠近液氢储罐位置安装截止阀，截止阀与液氢储罐之间的管道中不应有其他附件。

5.3.3 供氢和加注系统应配备手动关闭阀和故障关闭型紧急切断阀，或具备手动关闭功能的故障关闭型紧急切断阀，以及自动切断氢供应的主燃料关断阀，手动阀应安装在便于操作的位置，紧急切断装置应满足 NB/T 11745 的相关要求。

5.3.4 供氢和加注系统管路应采用有效绝热措施，防止管路外表面达到 90K（-183℃）以下，以避免空气中氧气冷凝产生富氧浓缩物。

5.3.5 供氢和加注系统中管路系统的设计应控制氢饱和蒸汽的流速不超过 16m/s，使其满足安全及使用的要求。

5.3.6 供氢和加注系统应妥善接地，接地装置、接地导体、接地线与接地点应保持良好的接触、无松动。静电接地宜与其他接地共用接地体，若采用专用静电接地，则液氢接地电阻不得大于 1Ω。氢管路上的法兰连接处应采用金属线跨接，跨接电阻应小于 0.03Ω。

5.3.7 除与外部直接连通的管路外，供氢和加注系统其余管路应设置吹扫置

换接口，接口的位置应满足各段管路内气体的充分吹扫、置换（氮气或惰性气体）的要求。吹扫及置换应满足《船舶应用氢燃料指南》的相关要求。

5.3.8 为匹配气态供氢需求，供氢和加注系统可配备液氢气化器、单级或多级液氢增压泵以及其他辅助配套设备。

5.3.9 液氢气化器不应采用空温式气化器，建议采用水浴式气化器，并具备防干烧保护。液氢气化器的设计压力不应小于最大工作压力的 1.2 倍，气化能力应满足液氢增压泵最大流量的要求，上下游管线安装防止高压氢气倒流入液氢管路内的装置，液氢气化器出口应设置温度和压力监测装置，并安装自动或手动截止阀，当检测到液氢气化器下游温度较低时，安全控制系统应能切断液氢供应。

5.3.10 液氢增压泵进液口前应设置方便拆卸的过滤装置，过滤精度为≤5 μm，两端应设置检修阀门，且应保证通径面积可以满足增压装置进液流量需求。

5.3.11 液氢增压泵出口管道上应设置止回阀和全启封闭式安全阀，出口应设置温度和压力监测装置，当超限时，安全控制系统应立即报警并联锁停泵。

5.3.12 供氢和加注系统可视液氢气化器、液氢增压泵布置情况，根据温度和压力分为低温低压段、低温高压段、高温高压段、高温低压管段，高低压管段交汇处可设置分隔阀。连接位置应尽可能缩短长度，减少死区，连接处亦应做好绝热处理。

5.3.13 氢气软管、双壁管等管件，应满足《船舶应用氢燃料指南》的相关要求。

5.3.14 供氢和加注系统的控制、监测和安全系统应进行通风监测、真空及惰化监测、低温监测、气体探测及安全功能等，应符合《钢质海船入级规范》第 4 篇、第 7 篇第 2 章及《船舶应用氢燃料指南》第 1 篇第 12 章等相关要求。

5.4 设计计算要求

5.4.1 液氢储罐内胆、外壳体、夹层管路、供氢和加注系统管路应符合《船舶应用氢燃料指南》第 1 篇第 3 章、第 4 章第 2 节等相关要求，应能承受在正常装卸和运输过程中可能出现的各种工况条件下的机械载荷（包括内压、外压、内外压力差等压力载荷、重力载荷、惯性力载荷、动载荷）和热应力载荷等，并考虑这些载荷可能发生的最苛刻组合。

5.4.2 液氢储罐内胆及外壳体应按预期的内胆及外壳体设计使用年限和液氢对材料的腐蚀速率及磨蚀速率，并应考虑由于反复施加 5.4.1 所述载荷而造成的

疲劳失效，确保腐蚀裕量满足设计使用年限的要求。

5.4.3 液氢储罐的夹层支撑结构及受其反作用力的壳体局部应有足够的强度和刚度。在压、弯组合载荷的作用下，应有足够的稳定性。

5.4.4 应采用合适的方法进行液氢储罐绝热性能设计计算（绝热性能计算或绝热性能热力学分析）。当绝热性能无法进行有效设计计算时，可采用试验方法确定，试验方法应提交 CCS 批准同意。

5.4.5 液氢储罐的鞍座应根据最大预期静态和动态倾角以及最大的加速度预期值进行设计计算，并考虑船舶特性和液氢储罐位置。

5.5 材料要求

5.5.1 与液氢接触应使用适当的材料，应与氢相容以防止由于持续暴露于液氢环境造成的氢脆、强度和疲劳性能退化而引起的结构损坏；应与氧相容以预防液氢泄漏或绝热能力降低形成富氧环境的潜在风险；应考虑与相邻材料的兼容性；应具有足够的延展性和强度。

5.5.2 液氢储罐如采用钢材，需满足 GB/T 150.2 的相关要求，并可参考 NB/T 11745 的相关要求进行铁素体含量测定，内胆及与氢接触的受压管路用不锈钢钢板、钢锻件、钢管铁素体含量应不大于 3%，与氢接触的管件、封头、弯制管路成形后铁素体含量应不大于 5%；如采用其他（如铝和铝合金、铜合金、钛合金等）与液氢接触部分的材料时，应将材料的详细资料（包括化学成分、拉伸性能、冲击韧性等性能参数以及该材料相容性说明）提交 CCS 批准同意。

5.5.3 内胆及外壳体间的支撑件材料可选用金属材料或非金属材料，需满足液氢条件下使用及性能要求。若选用金属材料，则应选用导热系数小、具有良好低温冲击韧性的材料；若选用非金属材料，则应选用导热系数小、使用温度在材料允许使用温度范围内、具有良好的低温冲击韧性的材料。可使用环氧玻璃钢等非金属材料作为支撑材料，检验项目及试验数值应满足 NB/T 11745 的相关要求。

5.5.4 液氢储罐底座或支架应选用低温（设计温度至少应与外壳体相同）不燃材料，应满足设计所要求的耐火性能，并应满足强度要求。

5.5.5 焊接材料的选用应考虑焊接接头力学性能与液氢储罐母材的匹配，且符合 GB/T 150.2 附录 E 的相关要求。与受压元件相焊的非受压元件用材料应具有良好的韧性及焊接性，且与相焊的受压元件相匹配。

5.6 制造要求

5.6.1 液氢储罐、供氢和加注系统表面应平整美观，无压伤、裂纹、焊渣或漆层脱落等缺陷，安全泄放装置、压力和液位仪表应布局合理、标识清晰。

5.6.2 在首次制造或使用新的焊接工艺时，应在本社验船师的监督下进行焊接工艺评定。

5.6.3 外壳的所有接头均应焊接并且为全焊透类型。外壳的所有接头应尽可能采用平面对接焊。由于外壳制造工艺和结构使得平面对接焊不可行时，根据焊接程序认可时进行的试验结果，可使用全焊透型 T 型焊接。

6 原材料及零部件

产品原材料及零部件应按照《船舶应用氢燃料指南》相关要求进行控制。

7 型式试验

液氢储罐应按本条要求进行型式试验，液氢储供氢和加注系统应结合实船项目按批准图纸进行单件/单批检验。

液氢储罐型式试验项目 表 7.1

序号	试验项目及顺序	试验要求
1.	主要原材料和零部件的检验	7.2
2.	焊接检验	7.3
3.	产品焊缝试验及无损检测	7.4
4.	外观及尺寸检查	7.5
5.	内胆、外壳体及夹层管耐压试验	7.6
6.	密性试验	7.7
7.	清洁检验	7.8
8.	真空度及氦质谱检测	7.9
9.	真空夹层漏气速率检测	7.10
10.	真空夹层漏放气速率检测	7.11
11.	维持时间检测	7.12
12.	冷充试验	7.13

7.1 典型样品的选取

7.1.1 申请液氢储罐产品认可时，应按7.2~7.13项目及要求开展型式试验。用于型式试验的产品必须是在验船师监督下，按照CCS认可的焊接工艺及CCS批准

图纸完成的，且在特性、制造质量上应能代表或覆盖工厂申请认可范围（可根据主体材料、设计压力、设计温度、壁厚、外径、容积、绝热方式等选取）。

7.2 主要原材料和零部件的检验

7.2.1 应核查主要材料和零部件的持证情况能否满足本指南、CCS批准图纸及CCS的相关要求，并核查证书与材料的一致性。如对原材料进行复验，原材料试验项目和结果应满足本指南及CCS的相关要求。

7.3 焊接检验

7.3.1 为确保外壳体的密性，应尽可能将内胆的等效焊接要求适用于外壳体，外壳体的所有接头均应焊接并且为全焊透类型，并应满足5.6.3的制造要求。

7.3.2 焊接检验应至少覆盖内胆、外壳体、供氢和加注系统管路的主对接焊缝、全焊透T形接头等主要焊缝，包括焊前检查、焊接、焊后检查。焊前预热、焊后保温的方式、时间、温度应满足CCS批准的焊接工艺规程或工艺文件。焊前检查、焊接、焊后检查应满足本指南、CCS批准图纸及CCS的相关要求。

7.4 产品焊缝试验及无损检测

7.4.1 液氢储罐、供氢和加注系统在生产过程中应进行产品焊接试验，应满足《船舶应用氢燃料指南》要求，试验项目主要包括焊缝横向拉伸试验、焊缝纵向拉伸试验、弯曲试验、冲击试验、焊缝断面宏观检查（有必要时）。试样取样位置、试验要求和结果应满足CCS的相关要求。

7.4.2 液氢储罐、供氢和加注系统的焊缝应进行无损检测，无损检测应在焊缝冷却至环境温度后进行。如适用，应在焊后热处理后进行。无损检测程序和验收标准应提交CCS予以批准。如在设计中假定更高的标准或公差，其也应能满足。原则上应使用射线检查发现内部缺陷。认可的超声波检查可替代射线检查，但应增选部分位置进行射线检查以验证结果。应保存射线和超声波检查结果。

7.5 外观及尺寸检查

7.5.1 液氢储罐在制造完工后，应检查表面质量，表面不应有伤痕。

7.5.2 液氢储罐的主要尺寸如内胆及外壳体不圆度、主尺寸等应满足CCS批准图纸、CCS的相关要求及相关标准的要求。

7.6 内胆、外壳体及夹层管耐压试验

7.6.1 应对液氢储罐的内胆、外壳体及夹层管分别进行耐压试验，耐压试验一般采用液压试验，应控制试验用水中的氯离子含量不超过15mg/L，试验时压力应不小于1.5倍设计压力，保压时间不少于30min。液压试验完毕后，应将液体排尽并将内胆、外壳体及夹层管内部吹干，清除杂物。

7.6.2 允许液氢储罐的内胆、外壳体及夹层管进行气压试验。试验时压力应缓慢上升，至1.5倍设计压力的10%时保压5min，并对所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查，确认无泄漏后再继续升压至1.5倍设计压力的50%，如无异常现象，其后按每级为1.5倍设计压力的10%，逐级升压至1.5倍设计压力，并保压10min，然后将压力降至设计压力，保压时间不少于30min。

7.6.3 内胆、外壳体及夹层管在耐压试验过程中，应无泄漏、无可见的变形。耐压试验后，除还需进行外观检查外，对重要部位应进行无损检测。检测的部位及数量应经验船师认可。

7.6.4 当计算表明主膜应力超过材料屈服强度的75%时，应进行应变测量，液压试验前，在罐体内外指定部位贴应变片，在整个试验过程中检测应变应力，验证计算结果。应变测量通常对相继建造的一系列同样液罐中的第一个液罐进行。

7.7 密性试验

7.7.1 内胆及夹层管耐压试验后，应对其进行密性试验，以验证密封良好。

7.7.2 密性试验应以氦气或者5%氢气和95%氮气的混合物作为密性试验的介质，密性试验压力应为设计压力，保压时间不少于30min。试验过程中，泄漏量不能超过CCS批准图纸的要求。

7.7.3 若耐压试验与密性试验选取相同试验介质，则密性试验可与本指南7.6中所述的耐压试验共同进行。

7.8 清洁检验

7.8.1 内胆、外壳体及夹层管清洁检验应满足本指南5.1.4要求、CCS批准图纸及相关标准的要求。

7.9 真空度及氦质谱检测

7.9.1 内胆及外壳体组装后应对真空夹层进行真空度及氦质谱检测，漏气速率指标应满足CCS批准图纸及相关标准的要求。泄漏处应按CCS批准的焊补工艺进行修补，按本指南无损检测要求检测合格后，再重新进行检测。

7.10 真空夹层漏气速率检测

7.10.1 罐体夹层及真空绝热管路夹层的漏气速率检测方法按GB/T 18443.3的规定。

7.11 真空夹层漏放气速率检测

7.11.1 真空夹层漏放气速率的检测方法按GB/T 18443.4的规定。

7.12 维持时间检测

7.12.1 维持时间检测应按NB/T 11745相关要求开展，维持时间应能使液氢储罐的压力在安全泄放装置的设定压力以下维持15天，对于船舶航期超过15天的，维持时间应不低于最长航期要求。

7.13 冷充试验

7.13.1 冷充试验通常采用液氮作为试验介质，其充装量应不超过额定充满率，且应使液氢储罐与液氢接触部位能够充分冷却。充液完成后应至少静置48小时。

7.13.2 介质充装时及静置期内应注意观察液氢储罐各部位有无漏冷、结霜、明显变形、断裂等情况，外壳表面相邻区域温度差不应超过5℃，但管路穿出外壳以及太阳直射处除外。

8 单件/单批检验

8.1 液氢储罐应进行工厂认可，认可后的单件/单批检验应按认可时批准的产品检验计划进行。具体应包括以下试验项目：

(1) 主要原材料和零部件的检验；

(2) 焊接检验；

(3) 产品焊缝试验及无损检测；

(4) 外观及尺寸检查；

(5) 内胆、外壳体及夹层管耐压试验；

(6) 密性试验；

(7) 清洁检验；

(8) 真空度及氦质谱检测；

(9) 真空夹层漏气速率检测；

(10)真空夹层漏放气速率检测。

8.2 液氢供氢和加注系统应结合实船项目进行单件/单批检验，应按批准图纸及试验大纲进行。具体应包括以下试验项目：

8.2.1 外观和结构检查

采用目测和检查设计图纸、说明书等常规方法，检查制造和批准图纸的符合性。

8.2.2 耐压试验

供氢和加注系统的管路耐压试验应采用氮气作为试验介质。供氢和加注系统管路与气源相连接，用堵头替换安全阀逐步升高压力达到1.5倍设计压力，保持30min。保压期间无泄漏、无可见变形、无异常声响为合格。

8.2.3 气密性测试

供氢和加注系统的气密性试验应采用氮气作为试验介质。将供氢和加注系统与气源连接，确定无可见气泡产生后，逐级升高压力直至达到最大工作压力，保压12h。在试验过程中，考虑温度变化后压降应不大于试验压力的1%且不大于0.05MPa。

8.2.4 管路绝热检查

管路绝热检查应依据绝热方式设计方或绝热材料制造厂提供的绝热施工手册进行，检验项目可由各方协商。

8.2.5 系统功能及监测报警试验

验证供氢和加注系统具备5.3条规定的相关功能。

第 3 篇 船用固态储供氢和加注系统

目　录

1　适用范围 32

2　规范性引用文件 32

3　术语和定义 32

4　图纸资料 24

5　技术要求 37

6 原材料与零部件 9

7 型式试验 9

8 单件/单批检验 49

1 适用范围

1.1. 本指南适用于使用钛基、钒基、镁基、锆基、稀土系等金属氢化物储氢方式，工作环境温度-40℃~65℃的船用固态储供氢和加注系统。该系统由单个或多个储氢单元组成的储氢系统、供氢系统和加注系统等组成。

1.2. 金属氢化物的最高温升压力不超过 25MPa。

1.3. 适用于使用氢为燃料的氢燃料动力船舶。

2 规范性引用文件

相关文件中的条款通过本篇的引用将成为本指南的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

2.1 中国船级社《钢质海船入级规范》

2.2 中国船级社《钢质内河船舶建造规范》

2.3 中国船级社《材料与焊接规范》

2.4 中国船级社《船舶应用氢燃料指南》

2.5 中国船级社《电气电子产品型式认可试验指南》

2.6 ISO 14687:2019《燃料氢气品质－产品技术条件》

2.7 ISO 16111:2018 《移动式储氢装置—可逆金属氢化物吸附储氢》

2.8 GB/T 29729-2022《氢系统安全的基本要求》

2.9 GB/T 3634.2-2025《氢气 第 2 部分：纯氢、高纯氢和超纯氢》

2.10 GB/T 33291-2016 《氢化物可逆吸放氢压力－组成-等温线（P-C-T）测试方法》

3 术语及定义

上述规范性引用文件中所确定的术语及定义适用于本指南。为编写及使用方便，本指南直接引用并补充下列定义。

3.1 关于产品检验、认可、型式试验、样品、单件/单批检验等术语的定义，参考《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章 3.1.2 条。

3.2　批次：特指由同一生产者在相同的生产线按相同的生产工艺连续生产的相同规格的产品。

3.3　固态储氢：以固态物质形式与氢进行化学反应的储氢方式。

3.4　金属氢化物：金属或合金与氢气结合形成的可吸收和释放氢的固体材料。

3.5　储氢床体：由金属氢化物、导热剂、抗膨胀剂、导气元件等材料和元件组成的，放置于储氢容器内，具有可逆吸放氢、改善传热传质、防止储氢材料膨胀过压和粉化迁移等功能的结构体。

3.6　储氢容器：设计用于容纳氢气、金属氢化物及其他储氢容器内部组件的任何形状（圆柱形、棱柱形、立方形等）的包覆体。可以是气瓶、压力容器或其他形式的耐压容器。

3.7　储氢单元：采用金属氢化物介质进行可逆储存/释放氢气的单个储氢装置，包括储氢容器、储氢床体、阀门、换热结构等。

3.8　储氢系统：由单个或多个储氢单元组成的储氢系统，包括储氢单元、泄压装置、截止阀、连接管路、仪表和控制系统等。

3.9　供氢系统：包括相关阀件、连接管路、仪表和控制系统等，用于安全地向用氢装置提供适用压力和流量的洁净氢气。

3.10　加注系统：包括加注接头、回气接头（如设有）、相关阀件、连接管路、仪表和控制系统等，用于储氢系统加注。

3.11　泄压装置：旨在防止在过压或暴露于火灾情况下储氢单元破裂的装置。泄压装置可以是“压力激活型”，即设定在特定压力下启动。或者，泄压装置也可以是“温度激活型”，即设定在特定温度下启动。泄压装置也可以是“压力激活型”和“温度激活型”兼具。

3.12　泄压阀：可复位的泄压装置。

3.13　额定储氢容量：在制造厂所提供的技术条件下，金属氢化物储氢装置所能提供的最大放氢量。

3.14　水容积：储氢容器未装填储氢床体时的内腔全容积。

3.15　最高温升压力（Maximum developed pressure，MDP）：最高温升压力（MDP）根据金属氢化物在最高工作温度下的温度－压力特性来确定。金属氢化物储氢装置吸氢至额定容量后，在最高使用温度下达到平衡时的最高气体压力（表压）。在任何情况下，最高温升压力下的应力水平都不应超过储氢容器屈服

强度的 80%。

3.16　额定充氢压力（Rated charging Pressure，RCP）：在规定的条件下，金属氢化物储氢系统的最大充氢压力（表压）。

注：　额定充氢压力一般与吸氢合金的平衡稳态压强不相等。额定充氢压力（RCP）由温度－压力特性来确定，目的是为防止充气过程中所产生的压力使得储氢容器壁应力超过设计应力极限值。

3.17　最高温升压力（MDP）下的应力级别：在额定容量下，由金属氢化物、MDP 下的氢气以及任何其他适用的机械载荷在壳体壁上引起的所有应力的总和。

3.18　质量储氢密度：储氢系统的额定储氢容量与系统总质量的比值，以 wt%标明。

3.19 体积储氢密度：储氢系统的额定储氢容量与系统体积的比值，以 kg/m^3 或 g/L 标明。

3.20　室温：15℃~30℃。

4　图纸资料

4.1　下列图纸资料应提交 CCS 审查：

4.1.1 储供氢系统

（1）　系统流程图；

（2）　产品技术条件及主要性能规格表；

（3）　管系的详细参数、图纸及理化性能一览表，包括换热管、高压波纹管、泄压管路和透气管路等；

（4）　管路强度计算书；

（5）　法兰、阀和其他装置的图纸和说明；

（6）　管路系统的相关工艺文件，包括但不限于焊接、无损检测等；

（7）　管路压力试验（强度试验和气密性试验）技术文件；

（8）　监测装置和报警系统图及布置图，包括监测探头、传感器、报

警装置和报警点布置图，及报警、控制设定值；

（9） 控制设备（含控制、监测和安全系统）的原理图、元器件清单、软件功能框图、报警类型清单和安全动作类型清单；

（10） 储供氢系统性能试验大纲，包括阀件、附件以及操作相关设备在内的功能验证；

（11） 外部管路连接图；

（12） 储氢系统放氢时流量－压力图；

（13） 储供氢系统全寿命性能说明（整个服役周期内的性能变化情况）；

（14） 储供氢和加注系统故障模式和影响分析（FMEA）报告；

（15） 储供氢管路和加注管路应力分析报告；

（16） 系统说明书或操作说明书；

（17） 铭牌图（至少反映额定容量、额定放氢流量、额定充氢压力、额定充氢速率、储氢材料代号、换热类型代号等主要参数）；

（18） 必要的辅助设备清单（如有时）；

（19） 按项目开展检验时，还应确认船舶审批图纸的相关要求。

4.1.2 储氢单元

（1） 产品主要性能规格表，包括但不限于额定容量、额定放氢流量、额定充氢压力、额定充氢速率、储氢材料代号、换热类型代号等主要参数；

（2） 总装配图、主要部件图；

（3） 强度计算书、泄压装置计算书；

（4） 主要受压件材料理化性能一览表；

（5） 储氢材料（例如钛基、钒基、镁基、锆基、稀土系等）特性说明，包括 P-C-T；

（6） 储氢容器应力分析报告（适用时）；

（7） 制造工艺文件，包括但不限于填充工艺、反应床成型工艺、活化工艺（如钛基、锆基、钒基、镁基、稀土系等）。

4.1.3 加注系统

（1） 加注系统总图；

（2） 主要部件图：管路及附件、阀件、加氢口等；

（3） 主要受压件材料理化性能一览表：管路、阀件等；

（4） 设计计算书：安全及超压泄放能力计算、管路结构强度计算；

（5） 监测装置和报警系统图及布置图，包括监测探头、传感器、报警装置和报警点布置图，及报警、控制设定值；

（6） 控制设备（含控制、监测和安全系统）的原理图、元器件清单、软件功能框图、报警类型清单和安全动作类型清单；

（7） 风险分析报告；

（8） 产品性能规格表。

4.2 储氢单元申请认可时，还应提交以下资料：

（1） 企业基本情况介绍、拟认可产品的技术特性（如有时）或基本情况描述；

（2） 产品简明工艺流程；

（3） 主要产品生产设备和检验及试验设备清单；

（4） 能表明客户具有认可范围的产品生产能力和质量水平的其他有效文件、报告和证明；

（5） 企业注册登记证明或营业执照、质量体系证书或证明文件、资质证明和/或生产许可证（如有时）；

（6） 主要原材料及零部件供应商清单（如必要时）；

（7） 产品质量证明书样本；

（8） 产品关键制造工艺技术文件或文件清单；

（9） 认可试验大纲。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 固态储供氢和加注系统的结构设计、强度计算、制造工艺、管路及附件设置、系统安全与保护等，应满足《船舶应用氢燃料指南》以及 CCS 接受的标准。

5.1.2 焊接工艺评定

采用焊接结构的储氢容器及管路，应在本社验船师的监督下进行焊接工艺评定。

5.2 系统设计

5.2.1 储供氢和加注系统设计的风险控制应符合 GB/T 29729 第 7.2 条的要求。

5.2.2 储供氢和加注系统宜采用便于装配、检测和维护的模块化结构，宜合理利用其他设备工作产生的热量。

5.2.3 储供氢和加注系统应设置安全附件，包括但不限于泄压装置、截止阀等，并符合 GB/T 29729 的要求。

5.2.4 储供氢和加注系统应合理设置温度监测装置和压力监测装置。

5.2.5 除与外部直接连通的管路外，供氢和加注系统其余管路应设置吹扫置换接口，接口的位置应满足各段管路内气体的充分吹扫、置换（氮气或惰性气体）的要求。

5.2.6 采用主动冷却系统控制和/或影响系统温度的储供氢系统应确保在储氢容器和冷却系统之间没有液体泄漏。冷却介质不得与金属氢化物发生有害化学反应；若冷却介质存在与金属氢化物接触的可能性，应进行适当的风险评估。

5.2.7 应采取有效手段防止颗粒物影响阀门或泄压装置的功能，并保证储供氢系统能够达到燃烧试验的要求。

5.2.8 储供氢和加注系统中的涉氢管路应符合《船舶应用氢燃料指南》要求，并应考虑冷热补偿结构。

5.2.9 储氢系统释放氢气的品质指标应满足储氢系统生产厂家提出的技术要求，并与拟配套的用气设备要求相适应。

5.2.10　运输过程中的储氢系统不得充装氢气（或已放氢完毕），只可对固定安装于船舶的储氢系统进行充氢和放氢操作。

5.3 储氢系统

5.3.1　布置

5.3.1.1 储氢系统应布置成使其在碰撞或搁浅后的受损概率降至最低，并尽可能靠近船舶中纵线布置。

5.3.1.2 储氢单元与船舶系统连接时，其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的加速度预期值进行设计，应能防止储氢单元的移动。

5.3.1.3 储氢单元应予以保护，以防止机械损伤。

5.3.1.4 储氢单元相关连接管系应具有足够的柔性补偿。

5.3.2　设计

5.3.2.1　一般要求

储氢单元的设计应符合《钢质海船入级规范》或《钢质内河船舶建造规范》及《材料与焊接规范》等要求。

5.3.2.2　设计强度

储氢容器设计应考虑其在 1.5 倍最大温升压力下的应力水平。各组件在最大温升压力下应力水平可能受到的影响，包括但不限于：

——1.5×最大温升压力；

——热应力，包括热膨胀和收缩的不同比率；

——金属氢化物储氢容器内任何可能方向的内部构件重量；

——冲击和振动载荷；

——吸氢合金膨胀导致的最大应力；

——其他力学载荷。

5.3.2.3　其他要求

（1）　储氢单元应能防止固态填充物在使用过程中局部堆积。

（2） 单个储氢容器或容器瓶组的端口均应设置过滤精度与固态储氢物质粒度相匹配的过滤器，还应考虑固态储氢物质可能出现的粉化情况。

（3） 通过热效应辅助实现吸氢、放氢的储氢容器，依据储氢容量大小和固态物质储氢热效应高低，宜设计为热交换器结构。

5.3.3 性能及安全性要求

5.3.3.1 储氢容器与燃料接触部分的材料应与氢相容，应考虑氢脆现象对使用寿命的影响。

5.3.3.2 应提供在储氢容器连接接头意外断开或破裂时可限制泄漏量的装置或措施。

5.3.3.3 储氢容器和供氢管路的设计应确保泄漏后所采取的安全动作不会导致不可接受的损失。

5.3.3.4 储氢容器的设计和构造，应防止氢气或金属氢化物在系统正常工作时发生泄漏。

5.3.3.5 向储氢容器加注的氢气最低品质应由储氢单元制造厂按 ISO 14687 的要求进行明确。若氢气品质是储氢容器性能的关键要素，则制造厂可考虑将氢气品质要求写在产品铭牌上。

5.3.4 钛基金属氢化物的补充要求

使用钛基金属氢化物的储氢单元除满足 5.3.1 到 5.3.3 条要求外，还应满足：

5.3.4.1 铸态合金宜进行均质化退火处理。

5.3.4.2 应规定主元素配比公差与同批次成分偏析限值，并逐批提供 P-C-T 报告。

5.3.4.3 储氢单元的装填与封装宜采用先装填、后原位活化的方式进行。

5.3.4.4 原料氢纯度应不低于制造厂规定的技术要求，并宜在加注系统出口设置纯化装置，同时应设置在线式纯度和杂质监测措施。

5.3.5 钒基金属氢化物的补充要求

使用钒基金属氢化物的储氢单元除满足 5.3.1 到 5.3.3 条要求外，还应满足：

5.3.5.1 换热结构应考虑充放氢时的放热速率影响，避免放热集中导致的局部过热。

5.3.5.2　钒基材料应采用高温均质化热处理。

5.3.5.3　储氢单元设计时应考虑活化-吸放氢过程中储氢床体沿晶格的方向发生的膨胀。

5.3.5.4　对于储氢床体应设置多点温度监测。温度监测点位布置应根据储氢单元设计进行评估。

5.4　供氢系统

5.4.1　供氢系统中与氢气接触的管道、阀门应具有良好的氢相容性，且在氢气条件下应能长期稳定运行。

5.4.2　供氢系统管路的设计应符合《船舶应用氢燃料指南》的有关要求。

5.4.3　供氢系统惰化应满足《船舶应用氢燃料指南》和《船舶氢燃料加注作业指南》的相关要求。

5.4.4　供氢系统应具备手动紧急切断供应的功能。

5.4.6　供氢系统内部氢气易积聚处应设置氢气检测报警装置。并应设置成单个氢气探测器故障不会影响氢气检测报警装置正常工作。

5.4.7　供氢系统应妥善接地，接地装置、接地导体、接地线与接地点应保持良好的接触、无松动。静电接地宜与其他接地共用接地体，若采用专用静电接地，则接地电阻不得大于 10Ω。氢管路上的法兰连接处应采用金属线跨接，跨接电阻应小于 0.03Ω。

5.5　加注系统

5.5.1　加注系统中与氢气接触的管路、阀门应具有良好的氢相容性，且在氢气条件下应能长期稳定运行。

5.5.2　加注系统管路的设计应符合《船舶应用氢燃料指南》的有关要求。

5.5.3　加注系统惰化应满足《船舶应用氢燃料指南》和《船舶氢燃料加注作业指南》的相关要求。

5.5.4　应根据压力等级和使用需求设置温度调节装置，通过管路将换热循环介质通入船用固态储供氢系统内，用于吸收固态储氢材料吸氢所产生的反应热。换热循环介质泄漏不应对储供氢系统和加注系统造成影响。对于采用钒基金属氢化物的储氢系统，充氢流量控制应采用闭环控制。

5.5.5　船上加注系统应能与岸端加注系统实时通信。如通信中断，应能停止加氢或者在保证安全的条件下切换为非通信加氢。

5.5.6 加注系统应具备手动紧急切断加注的功能。

5.5.7　加注系统内部氢气易积聚处应设置氢气检测报警装置。并应设置成单个氢气探测器故障不会影响氢气检测报警装置正常工作。

5.5.8　加注系统应妥善接地，接地装置、接地导体、接地线与接地点应保持良好的接触、无松动。静电接地宜与其他接地共用接地体，若采用专用静电接地，则接地电阻不得大于 10Ω。氢管路上的法兰连接处应采用金属线跨接，跨接电阻应小于 0.03Ω。

5.6　控制、监测和安全系统

储供氢和加注系统的控制、监测和安全系统应能实现《船舶应用氢燃料指南》表 12.4.1 所要求的报警和安全功能。并能实现远程显示报警信息和发出声光报警。

当发生《船舶应用氢燃料指南》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，安全系统，能自动关闭燃料供应系统。

5.6.1　设置要求

5.6.1.1　应设置合适的仪表设备，能够就地和远程对储供氢和加注系统重要参数进行显示，以确保对全部燃料设备和加注过程的安全管理。

5.6.1.2　应设有就地读数的压力指示器，以指示船舶管系截止阀和软管通岸接头之间的压力。

5.6.1.3　每个氢气总管上，应至少各安装 1 个就地显示的压力表。

5.6.1.4　每一储氢容器应在就地设置压力表，压力表上应清晰地标明储氢容器允许的最高和最低压力，在遥控位置（如驾驶室、机舱控制室或船舶安全中心等）应设置压力显示。此外，应在有人值班处所设置高压和低压报警，并在达到设定最高/最低压力时发出听觉和视觉报警。

5.6.1.5　储氢容器应设有压力传感器，当容器内部压力达到设定的报警值（高压或低压）时，应发出听觉和视觉报警；当低于用气设备安全运行所必需的最低压力要求时，应及时切断燃料的输出。

5.6.2　功能及安全性要求

5.6.2.1　应能针对储供氢和加注系统相关设备的异常压力/温度进行监控，并在超出限定值时发出听觉和视觉报警。

5.6.2.2　应能针对储供氢和加注系统的气体泄漏情况进行监控，并在超出限定值时发出听觉和视觉报警。

5.6.2.3　对于储供氢和加注系统中涉及的电气设备，若根据危险区域划分要求需采用合格防爆型设备，则其防爆类别应不低于 IIC 或 IIB+H2，温度组别应不低于 T1。

6　原材料及零部件

产品原材料及零部件应按照《船舶应用氢燃料指南》相关要求进行控制。

7　型式试验

储氢单元应按本条要求进行型式试验，固态储供氢和加注系统应结合实船项目按批准图纸开展单件/单批检验。

7.1　典型样品的选取

7.1.1　储氢单元应按照每种类型进行型式试验。存在下列情况之一的，将被认为是不同的类型：

（1）不同的设计压力；

（2）不同的壁厚；

（3）不同的材料牌号；

（4）不同的金属氢化物类型；

（5）不同的储氢容器焊接工艺。

7.1.2　用作型式试验样品的储氢单元，从原材料验收、主要制造过程、检验及试验、有关标识转移等必须在验船师现场监督下进行，结果需满足《钢质海船入级规范》及批准图纸的要求。

7.2　型式试验项目及要求

7.2.1　储氢单元型式试验项目要求及方法

采用无缝式储氢容器（≤150L）的储氢单元型式试验项目　　表 7.2.1.1

序号	试验项目	技术要求及试验方法
1.	燃烧试验	ISO 16111:6.2.2
2.	跌落或冲击试验	ISO 16111:6.2.4
3.	泄漏测试	ISO 16111:6.2.5
4.	氢气循环和应变测量试验	ISO 16111:6.2.6
5.	截止阀冲击试验	ISO 16111:6.2.7
6.	温度循环试验	ISO 16111:6.2.8
7.	最高温升压力测试	ISO 16111:6.3.3
8.	爆破试验	ISO 16111:6.3.2

采用焊接式储氢容器的储氢单元型式试验项目　　表 7.2.1.2

序号	试验项目	技术要求及试验方法
1.	储氢容器水压试验	7.2.1.1
2.	外观和结构检查	7.2.1.2
3.	燃烧试验	7.2.1.3
4.	泄漏试验（气密性试验）	7.2.1.4
5.	温度循环试验	7.2.1.5
6.	放氢性能试验	7.2.1.6
7.	充氢性能试验	7.2.1.7
8	最高温升压力测试	7.2.1.8
9	循环充/放氢寿命	7.2.1.9

注：1. 燃烧试验、温度循环试验、循环充/放氢寿命，可考虑采用等比例缩放的储氢单元替代试验，制造厂制定等比例缩放原则应经 CCS 同意。

7.2.1.1　储氢容器水压试验

储氢容器应按《钢质海船入级规范》要求进行水压试验，试验压力为 1.5 倍的最高温升压力，在试验压力下保压至少 30min，压力不应下降，不应泄漏或明显变形。弹性膨胀量应小于极限膨胀量，且泄压后容积残余变形率不大于 5%。

7.2.1.2　外观及结构检查

外观与结构检查时，应检查单元外观、标识、接口和结构，并应符合以下要求：

（1）　外表面应清洁，无机械损伤，接口触点无锈蚀；接触氢气的表面应去除毛刺、焊渣、铁锈和污垢等；

（2） 产品铭牌应清晰可辨；

（3） 充/放氢接口、换热介质接口等应有明确的标识。

7.2.1.3 燃烧试验

1） 试验要求

a） 使用 3 个储氢单元分别按水平、竖直和另一任意方向进行燃烧试验。

b） 燃烧试验应在通风良好的室内或宽敞户外进行，并进行必要防护以确保试验人员的安全。

c） 火源采用能提供均匀热量且在规定的实验条件下可维持燃烧至少 20min 的燃料，并应符合环保要求。

d） 储氢单元应另安装远程超压泄放装置，以确保当储氢单元的超压泄放装置出现故障时仍可及时泄压。

e） 储氢单元进行燃烧试验时，超压泄放装置应能正常动作，储氢单元无破裂现象，且无弹射物出现。

2） 试验步骤

a） 试验前，将储氢单元按制造单位规定方式充装氢气至额定充氢压力。

b） 将热电偶布置在距离储氢单元表面 0.05 m 以内但不与装置表面直接接触的位置。

c） 在测试方向上，将储氢单元置于距离燃料至少 0.1 m 或更高的位置，以确保装置能被火焰完全包裹；并对其截止阀、超压泄放装置等附件进行保护，以免其直接受到火焰的冲击。

d） 应在详细记录火源、低压储氢单元及测量仪器布置情况后，开始进行燃烧试验。

e） 试验过程中，热电偶温度应维持在 500℃～550℃。

f） 远程监测和记录储氢单元的温度和压力信号，数据记录时间间隔不大于 15s。除温度和压力读数，每次试验还应记录如下信息：

——金属氢化物储氢单元的制造商和型号；

——超压泄放装置的类型和动作压力（温度）；

——储氢单元的放置方向；

——超压泄放装置的位置和方向；

——储氢单元的额定充氢压力和已完成的充放氢循环次数；

——超压泄放装置的动作时间和试验总耗时；

——环境温度；

——风力/风向；

——试验人员；

——试验日期。

7.2.1.4　泄漏试验（气密性试验）

1）　试验要求

（1）　采用氮/氦混合气进行气密性试验，氮/氦混合气中氦的体积含量应不低于 10%，具体含量通过试验确定，确保满足试验精度。

（2）　氮/氦混合气泄漏率应转换为等同的氢气泄漏率。在标准状态（0℃、101.325kPa）下，储氢单元总的氢泄漏率应小于 6Ncm³ /h。

2）　试验步骤

（1）　向储氢单元内充入氮/氦混合气，达到最高温升压力；

（2）　将储氢单元置入密闭空间中，并将密闭空间与气体检测仪器（如氦气质谱仪、四极质谱仪、气相色谱仪等）相连后，再对真空箱抽真空，使其真空度低于 2Pa。

（3）　在室温下，储氢单元静置 30min 以上，读取气体检测仪器的真空度及泄漏率数据。

注：在将储氢单元放入密闭空间中进行气密性试验前，应先采用专用检漏液检漏法在所有可能的泄漏位置检查是否存在明显泄漏点。

7.2.1.5　温度循环试验

1）　试验要求

a） 储氢单元温度循环试验的温度范围应不小于其工作环境温度范围。

b） 对于已规定运输和使用朝向的储氢单元，应使用不少于 3 个储氢单元在规定的朝向上进行试验。

c） 将储氢单元按规定的方式充氢至其额定充装量后，放入试验箱内。

d） 试验箱内应设有温控装置，并确保试验箱内温度均匀。试验箱应能在 120min 内由储氢单元的最低工作环境温度升高至最高工作环境温度，反之亦然。

e） 储氢单元在温度循环试验后应按 7.2.1.4 进行气密性试验，并符合 7.2.1.4 的要求。

2） 试验步骤

将充氢至额定充装量的储氢单元放入试验箱内，按以下步骤进行温度循环试验（见图 1）：

a） 将试验箱内温度在（60±5）min 内由室温升温至最高环境温度；

b） 将储氢单元的温度维持在其最高环境温度至少 60min，温度偏差应在±2℃内；

c） 将试验箱内温度在（120±5）min 内由储氢单元的最高环境温度降至其最低环境温度；

d） 将储氢单元的温度维持在其最低环境温度至少 60min，温度偏差应在±2℃内；

e） 在（60±5）min 内将试验箱内温度升至室温；

f） 重复步骤 a）到 e）50 次。

g） 在温度循环试验后应按 7.2.1.4 进行气密性试验。

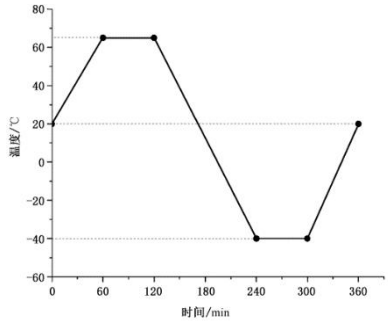

图 1 温度循环试验的温度变化情况

注：以最高环境温度为 65℃，最低环境温度为-40℃为例。

注：对于镁基金属氢化物的储氢系统还应进行热循环试验，将储氢系统在 10h 内升温到 350℃（±10℃），并维持至少 1h；将储氢系统在 8h 内冷却至 50℃（±10℃），并维持至少 1h。热循环试验后，应按 7.2.1.4 进行气密性试验。

7.2.1.6　放氢性能试验

1）　试验要求

应使用不少于 3 个同规格的储氢单元进行试验，相同工况条件下应进行不低于 2 次重复试验，取其放氢量的平均值。

a）　储氢单元放氢量测定值与标称额定充装量的负差值应不大于 5%。

b）　放氢的氢气纯度测量值应符合制造厂的规定。

c）　计算储氢单元的质量储氢密度和体积储氢密度应符合制造厂的规定。

2）　试验步骤

a)　将待测的、已充氢的储氢单元固定于测试台，连接气路，进行气密性检查，确保检测气路无氢气泄漏，安装检测热电偶；

b）　根据受试设备的额定放氢速率设定仪器流量控制值；

c）　开启检测仪器，打开储氢单元截止阀，同时进行放氢压力、放氢温度（容器表面温度）、放氢流量、放氢总量和放氢时间的测量和记录；

d）　按 GB/T 3634.2 的试验方法测定放氢的氢气纯度；

e） 称量受试储氢单元的重量，根据其储氢容量和重量的试验值，计算储氢单元的质量储氢密度和体积储氢密度。

7.2.1.7 充氢性能试验

1） 试验要求

应使用不少于 3 个同规格的储氢单元进行试验，在同样工况条件下应进行不低于 2 次重复试验，取平均值。

储氢单元氢气充装量测定值与标称额定充装量的负差值应不大于 5%。

储氢单元的充氢速率符合制造厂的规定。

2）试验步骤

a) 将待测储氢单元固定于测试台，连接气路，抽真空确保储氢容器内无其他杂质气体残留并进行气密性检查，确保检测气路无氢气泄漏，安装检测热电偶；

b） 充氢的氢气纯度应符合制造厂的规定。

c） 根据受试设备的额定充氢压力设定充氢压力控制值，其额定充氢压力应符合制造厂的规定。

d） 开启检测仪器，打开储氢容器截止阀，进行充氢，同时进行充氢压力、充氢温度、充氢流量、氢气充装量和充氢时间的测量和记录；

e） 将储氢单元充氢至额定容量，根据充氢时间和充氢容量的试验值， 计算储氢单元的充氢速率。

7.2.1.8 最高温升压力测试

最高温升压力应由制造商根据金属氢化物的温度－压力特性确定。

在正常使用条件或正常工作条件下，测试储氢单元在额定容量下达到平衡时的最高气体压力（表压），取较大者，以验证最高温升压力。在任何情况下，测试的最高温升压力不得超过储氢容器水压试验压力的 0.80 倍。

7.2.1.9 循环充/放氢寿命

1） 试验要求

储氢单元的充/放氢循环寿命应不低于 2000 次，即经过 2000 次充/放氢循环

后系统的储氢容量应不低于额定储氢容量的 85%。

2） 试验方法

a） 储氢单元在温度不高于 45℃的条件下，以不低于额定放氢速率放氢至额定储氢容量的 80%，搁置 1h；

b） 储氢单元在温度不高于 45℃和额定充氢压力的条件下，以不低于额定充氢速率充氢至额定储氢容量的 80%，即完成一次充/放氢循环；

c） 储氢单元按 a)~b）步骤连续重复 24 次；

d） 每循环 25 次为一个周期。第 24 次循环结束后，第 25 次循环以额定充氢速率充氢至额定储氢容量的 105%（即过充额定储氢容量的 5%）。若某个周期第 25 次循环的放氢容量小于额定储氢容量的 85%，则停止循环寿命试验。

注：也可采用 GB/T 33291 中规定的方法对金属氢化物进行测试，结果应满足本条试验要求的规定。

7.3 储供氢和加注系统的控制、监测和安全系统中的电气电子设备还应按照《电气电子产品型式认可试验指南》的有关要求进行试验。

8 单件/单批检验

8.1 储氢容器

每批次的数量应由制造厂根据金属氢化物储氢装置的容量和构成材料进行确定。两种类型的批次数量应予以考虑：

（1） 金属氢化物的批次数量由吸氢金属的批量决定，或经 CCS 同意。

（2） 储氢容器的批次数量由储氢容器相关标准中定义的批次数量决定，或经 CCS 同意。

8.1.1 泄漏测试

作为例行试验的一部分，每一套完工的储氢容器应在室温、额定充氢压力（RCP）下进行泄漏试验，并应符合合格判定。

8.1.2 爆破试验（适用于无缝式储氢容器）

在每批储氢容器中，应至少选取一只储氢容器壳体进行压力爆破试验。对于内容积大于 120ml 的储氢容器，爆破试验的方法和合格判定应符合壳体设计时

选取的标准。

8.2 储氢单元

储氢单元应进行以下出厂检验项目

（1） 外观和结构检查

（2） 储氢容器水压试验

（3） 泄漏试验（气密性试验）

（4） 温度循环试验

（5） 放氢性能试验

8.3 储氢系统

8.3.1 外观和结构检查

系统外观与结构检查时，应检查系统外观、标识、接口和结构，并应符合以下要求：

（1） 外表面应清洁，无机械损伤，接口触点无锈蚀；接触氢气的表面应去除毛刺、焊渣、铁锈和污垢等；

（2） 产品铭牌应清晰可辨；

（3） 充/放氢接口、换热介质接口等应有明确的标识

8.3.2 气密性试验

采用氮/氦混合气进行气密性试验，氮/氦混合气中氦的体积含量应不低于10%，具体含量通过试验确定，确保满足试验精度。氮/氦混合气泄漏率应转换为等同的氢气泄漏率。向储氢系统内充入氮/氦混合气，达到最高温升压力；将储氢系统置入密闭空间中，并将密闭空间与气体检测仪器（如氦气质谱仪、四极质谱仪、气相色谱仪等）相连后，再对真空箱抽真空，使其真空度低于2Pa。在室温下，储氢系统静置 30min 以上，读取气体检测仪器的真空度及泄漏率数据。注：在将储氢系统放入密闭空间中进行气密性试验前，应先采用专用检漏液检漏法在所有可能的泄漏位置检查是否存在明显泄漏点。

8.3.3 过压安全性能测试

将储氢系统氢气压力升高到制造厂提供的泄压装置动作压力以上，检查系

统泄压装置是否正常工作。泄压阀的启动压力应低于储氢容器、阀门、接头和氢气管线最大许用压力的 0.8 倍，并不大于系统额定充氢压力的 1.5 倍。

8.3.4 放氢性能试验

1） 试验要求

应使用不少于 3 个同规格的储氢系统进行试验，相同工况条件下应进行不低于 2 次重复试验，取其放氢量的平均值。

a） 储氢系统放氢量测定值与标称额定充装量的负差值应不大于 5%。

b） 放氢的氢气纯度测量值应符合制造厂的规定。

c） 计算储氢系统的质量储氢密度和体积储氢密度应符合制造厂的规定。

2）试验步骤

a） 将待测的、已充氢的储氢系统固定于测试台，连接气路，进行气密性检查，确保检测气路无氢气泄漏，安装检测热电偶；

b） 根据受试设备的额定放氢速率设定仪器流量控制值；

c） 开启检测仪器，打开储氢单元截止阀，同时进行放氢压力、放氢温度（容器表面温度）、放氢流量、放氢总量和放氢时间的测量和记录；

d） 按 GB/T 3634.2 的试验方法测定放氢的氢气纯度；

称量受试储氢系统的重量，根据其储氢容量和重量的试验值，计算储氢系统的质量储氢密度和体积储氢密度。

8.3.5 充氢性能试验

1） 试验要求

应使用不少于 3 个同规格的储氢系统进行试验，在同样工况条件下应进行不低于 2 次重复试验，取平均值。

储氢系统氢气充装量测定值与标称额定充装量的负差值应不大于 5%。

储氢系统的充氢速率符合制造厂的规定。

2） 试验步骤

a） 将待测储氢系统固定于测试台，连接气路，抽真空确保储氢容器内无其他杂质气体残留并进行气密性检查，确保检测气路无氢气泄漏，安装检测热电

偶；

b） 充氢的氢气纯度应符合制造厂的规定。

c） 根据受试设备的额定充氢压力设定充氢压力控制值，其额定充氢压力应符合制造厂的规定。

d） 开启检测仪器，打开储氢容器截止阀，进行充氢，同时进行充氢压力、充氢温度、充氢流量、氢气充装量和充氢时间的测量和记录；

将储氢系统充氢至额定容量，根据充氢时间和充氢容量的试验值， 计算储氢系统的充氢速率。

8.4 供氢和加注系统

8.4.1 外观和结构检查

采用目测和检查设计图纸、说明书等常规方法检查。确认产品实物和批准图纸及技术文件的一致性。

8.4.2 耐压试验

供氢和加注系统管路的耐压试验应采用氮气作为试验介质。

供氢系统管路的出口与气源相连接，用堵头替换安全阀逐步升高压力达到1.5 倍设计压力，保持 30min。保压期间无泄漏、无可见变形、无异常声响为合格。

加注系统管路的入口与气源相连接，用堵头替换安全阀逐步升高压力达到1.5 倍设计压力，保持 30min。保压期间无泄漏、无可见变形、无异常声响为合格。

8.4.3 气密性测试

供氢和加注系统的气密性试验应采用氮气作为试验介质。

将供氢系统的出口与气源连接，用堵头替换安全阀每次将压力升高 1MPa，然后在该压力下保持 15min，使用专用检漏液检查全部管路系统，确定无可见气泡产生后，逐级升高压力直至达到最大工作压力，保压 12h。在试验过程中，考虑温度变化后压降应不大于试验压力的 1%且不大于 0.05MPa。

将加注系统的入口与气源连接，用堵头替换安全阀每次将压力升高 1MPa，然后在该压力下保持 15min，使用专用检漏液检查全部管路系统，确定无可见气泡产生后，逐级升高压力直至达到最大工作压力，保压 12h。在试验过程中，考

虑温度变化后压降应不大于试验压力的 1%且不大于 0.05MPa。

8.4.4 功能试验

验证供氢系统具备 5.4 条规定的功能，加注系统具备 5.5 条规定的功能，控制、监测和安全系统具备 5.6 条规定的功能。