

指南编号/Guideline No.B-08(202401)



B-08

# 船用固态储氢系统

生效日期/Issued date:2024 年 3 月 1 日

©中国船级社 China Classification Society

## 前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由 CCS 编写和更新，通过网址 <http://www.ccs.org.cn> 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 [mp@ccs.org.cn](mailto:mp@ccs.org.cn)。

历史发布版本及发布时间：初次发布

本版本主要修改内容及生效时间：2024 年 3 月 1 日

目 录

1	适用范围 .....	4
2	规范性引用文件 .....	4
3	术语及定义 .....	4
4	图纸资料 .....	5
5	技术要求 .....	7
6	原材料及零部件 .....	10
7	型式试验 .....	11
8	单件/单批检验 .....	14

## 船用固态储氢系统

### 1 适用范围

本指南适用于采用金属氢化物储氢方式的船用固态储氢系统。船用固态储氢系统（以下简称“储氢系统”）：单个完整的氢气储存系统，包括储氢容器、泄压装置（PRD）、截止阀、其他附件及内部组件。

### 2 规范性引用文件

- 2.1 中国船级社《钢质海船入级规范》（现行有效）
- 2.2 中国船级社《钢质内河船舶建造规范》（现行有效）
- 2.3 中华人民共和国海事局《氢燃料电池动力船舶技术与检验暂行规则（2022）》
- 2.4 中国船级社《船舶应用燃料电池发电装置指南》（2022）
- 2.5 中国船级社《电气电子产品型式认可试验指南》（2015）（含 IACS UR E10 Rev.8）
- 2.6 ISO 14687:2019《燃料氢气品质-产品技术条件》
- 2.7 ISO 16111:2018《移动式气体存储设备-可逆金属氢化物中的氢吸收》
- 2.8 ISO 16852: 2016《阻火器-性能要求、测试方法和使用限制》 2.11 GB/T 3634.2-2011《氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢》
- 2.12 TSG 21《固定式压力容器安全技术监察规程》

### 3 术语及定义

- 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 CCS《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或物理吸附的储氢方式。
- 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 储氢容器：设计用于容纳氢气、金属氢化物及其它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。注：可以是气瓶、压力容器

或其它形式的耐压容器。

3.6 泄压装置：可释放压力防止破裂的安全装置。泄压装置可能是“压力触发”型，在一定压力下触发激活。可能同时为“压力触发”和“热触发”型。

3.7 泄压阀：可复位的泄压装置。

3.8 额定容量：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。

3.9 最高温升压力（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%。最高温升压力不应超过 25MPa，若最高温升压力超过 25MPa，应进行评估并经 CCS 同意。

3.10 额定充氢压力（RCP）：填充金属氢化物储氢装置时的最大压力。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。

3.11 最高温升压力（MDP）下的应力级别：最高温升压力（MDP）下的应力级别应根据储氢合金的压缩和膨胀特性，金属氢化物储氢装置内的最高温升压力，以及其它适用的机械负载因素而确定。

## 4 图纸资料

4.1 图纸审查时提交的图纸资料：

4.1.1 应将下列图纸资料提交 CCS 批准：

### (1) 储氢系统

- 1) 系统流程图；
- 2) 产品技术条件及主要性能规格表；
- 3) 管系的详细图纸及理化性能一览表，包括泄压管路和透气管路；
- 4) 支管、回管、弯头、伸缩接头和波纹管等类似装置的技术文件，包括强度计算书；
- 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、报警及安全系统)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。

(2) 储氢容器

- 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;
- 5) 储氢材料特性说明;
- 6) 储氢容器应力分析报告(适用时)。

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。

4.1.2 应将下列图纸资料提交 CCS 备查:

- (1) 储氢系统全寿命性能说明。;
- (2) 储氢系统故障模式和影响分析(FMEA)报告;
- (3) 储氢系统管系应力分析报告;
- (4) 系统说明书或操作说明书;
- (5) 铭牌图;

(6) 必要的辅助设备清单。

4.1.3 储氢系统单件单批检验时，还应将下列图纸资料提交 CCS 审查：

- (1) 控制设备（含控制、报警及安全系统）的原理图、元器件清单、软件功能框图、报警点清单和安全动作清单；
- (2) 图纸与认可图纸一致性的说明；
- (3) 图纸与船舶批准图纸一致性的说明；
- (4) 船舶批准图纸及退审意见书。

4.2 储氢容器申请认可时，还应提交以下资料：

- (1) 产品的技术特性；
- (2) 产品相关的制造工艺和技术文件，包括工艺流程；
- (3) 型式试验大纲；
- (4) 产品原材料和主要零部件的供方清单；
- (5) 必要的质量保证体系文件；
- (6) 主要产品生产设备和检验及试验设备清单；
- (7) 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；
- (8) 企业注册登记证明、营业执照、资质证明和/或生产许可证（如有时）；
- (9) 需经 CCS 产品检验的船用产品的质量证明书（包括所依据的标准、产品性能、质量保证及责任等信息）应采用订货方规定的语言编写，如用于国际航行船舶，应至少包括英文。

## 5 技术要求

### 5.1 工作条件

储氢系统在《钢质海船入级规范》第 3 篇第 1 章第 2 节规定的工作条件下应能正常工作。如仅用于内河船舶，则可仅满足在《钢质内河船舶建造规范》第 2 篇第 1 章第 1 节规定的工作条件下应能正常工作。

## 5.2 系统设计

5.2.1 储氢系统设计的风险控制应符合 GB/T 29729-2022 第 7.2 条的要求。

5.2.2 储氢系统宜采用便于装配、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，宜合理利用其他设备工作产生的热量。

5.2.3 储氢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 29729-2022 或 ISO 16111 的要求。

5.2.4 储氢系统应合理设置温度监测装置和压力监测装置。

5.2.5 储氢系统应设置氢气排放管、吹扫口和阻火器。阻火器应设置在连接至有明火的用氢设备的管道及氢气集中放散管上，并符合 ISO 16852 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氢系统应确保在储氢容器和冷却系统之间没有液体泄漏。并应在进行氢循环和应变测量试验时，使用冷却系统。若部分冷却介质可以和金属氢化物进行反应，则在使用这类型的冷却介质时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妨碍阀门或泄压装置的功能，并保证金属氢化物储氢装置能够达到燃烧试验、氢循环和应变测量试验的要求。

5.2.8 储氢系统中的涉氢管系应符合 CCS 的 I 级管系要求，并应考虑冷热补偿结构。

5.2.9 储氢系统释放氢气的品质应与后端应用相适应。

## 5.3 储氢容器

### 5.3.1 布置

5.3.1.1 储氢容器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 储氢容器与船舶系统连接时，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，应能防止储氢容器的移动。

5.3.1.3 储氢容器应予以保护，以防止机械损伤。

5.3.1.4 储氢容器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

储氢容器的设计应符合 ISO 16111 第 5.3 条要求。储氢容器内容积一般不应超过 150L，同时最大温升压力不应超过 25MPa。如储氢容器内容积超过 150L，则应进行评估并经 CCS 同意。

### 5.3.2.2 设计强度

储氢容器设计应考虑其在 1.25 倍最大温升压力下的应力水平。各组件对于最大温升压力下应力水平的可能影响，包括但不限于：

- 1.25×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建重量；
- 冲击和振动载荷；
- 吸氢合金膨胀导致的最大应力；
- 其它力学载荷。

### 5.3.2.3 其他要求

- (1) 储氢容器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意外断开或破裂时可限制泄漏量的装置。

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容器制造厂按 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。

## 5.4 流程控制及安保系统

储氢系统控制设备的控制、报警及安全系统应符合《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章的相关要求。

### 5.4.1 结构

5.4.1.1 应设置合适的仪表设备，能够就地和远程对储氢系统重要参数进行显示，以确保对全部燃料设备和加注的安全管理。

5.4.1.2 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。

5.4.1.3 每个氢气总管上，应至少各安装 1 个就地显示的压力表。

5.4.1.4 每一储氢容器应在就地设置压力表，压力表上应清晰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，并在达到设计最高/最低压力时发出报警。

5.4.1.5 储氢容器应设有压力传感器，当容器内部压力低于安全所必须的最低压力要求时，应及时切断燃料的输出。

### 5.4.2 功能及安全性要求

5.4.2.1 应能针对固态储氢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；

5.4.2.2 应能针对固态储氢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；

5.4.2.3 对于储氢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，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我社现行规范相关要求进行了控制。优先采用具有低压常温特性加氢、储氢、放氢的固态储氢材料，以实现系统储放氢过程能耗的最小化。

## 7 型式试验

### 7.1 典型样品的选取

7.1.1 储氢容器应按照每种不同的类型进行型式试验。存在下列情况之一不同的，将被认为是不同的类型：

- (1) 生产工艺流程
- (2) 材料牌号
- (3) 热处理工艺；
- (4) 不同的底部结构形式，以及不同的底部厚度与气瓶直径的比例；
- (5) 容器的长度增加大于 50%（对于长度/直径比小于 3 的不得作为任何长度/直径比大于 3 的参考）；
- (6) 不同的储氢容器外径或最小保证厚度；
- (7) 不同的水压试验压力（对于在一种设计基础上，仅降低水压试验压力的情况不应看作是新的设计）；
- (8) 最小保证屈服强度和/或最小保证抗拉强度降低。

7.1.2 用作型式试验样品的储氢容器，从原材料验收、制造主要过程、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 CCS《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 储氢容器型式试验项目要求及方法

储氢容器型式试验项目

表 7.2.1

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
----	------	-----------------

## 7.2.2 储氢系统型式试验项目要求及方法

储氢系统型式试验项目

表 7.2.2

序号	试验项目	技术要求及试验方法
1.	外观和结构检查	7.2.2.1
2.	气密性试验	7.2.2.2
3.	过压安全性能测试	7.2.2.3
4.	放氢性能试验	7.2.2.4
5.	充氢性能试验	7.2.2.5

### 7.2.2.1 外观及结构检查

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

### 7.2.2.2 气密性试验

系统的气密性试验应按照 TSG 21 中压力容器的气密性试验要求进行。

### 7.2.2.3 过压安全性能测试

将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。

### 7.2.2.4 放氢性能试验

#### (1) 试验要求

每批次系统取不少于 5 只同样规格的储氢容器及其附属装置进行试验，在同样工况条件下应进行不低于 2 次重复试验，取平均值。

#### (2) 试验步骤

- 1) 将待测储氢容器及其附属装置固定于测试台，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；
- 2) 根据受试设备的额定放氢速率设定仪器流量控制值；
- 3) 开启检测仪器，打开储氢容器截止阀，同时进行放氢速率、放氢容量、氢气压力和容器表面温度的测量并实时记录，系统的储氢压力和储氢容量应符合制造厂所提供的主要性能规格表；
- 4) 称量受试储氢容器的重量，根据其储氢容量和重量的试验值，计算储氢密度；
- 5) 按 GB/T 3634.2 的试验方法测定放氢的氢气纯度，应符合制造厂所提供的主要性能规格表；
- 6) 进行放氢速率、放氢容量、氢气压力和容器表面温度的测量并实时记录，标称额定储氢容量的放氢测定值与放氢理论值的负差值不大于 5%。

#### 7.2.2.5 充氢性能试验

##### (1) 试验要求

每批次系统取不少于 5 只同样规格的储氢容器及其附属装置进行试验，在同样工况条件下应进行不低于 2 次重复试验，取平均值。

##### (2) 试验步骤

- 1) 将待测储氢容器及其附属装置固定于测试台，连接气路，并采取相应措施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；
- 2) 按 GB/T 3634.2 的试验方法测定充氢的氢气纯度，应符合制造厂的规定；
- 3) 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；
- 4) 开启检测仪器，打开储氢容器截止阀，同时进行充氢时间、充氢容量和氢气压力的测量和记录；
- 5) 将储氢容器充氢至额定容量，根据充氢时间和充氢容量的试验值，计算储氢容器的充氢速率与制造厂所提供的主要性能规格

表中充氢速率负差值不大于 5%。

7.3 储氢系统控制设备的控制、报警及安全系统中的电气电子设备还应按照本社《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 一般要求

制造厂应对每套储氢系统进行例行试验。出厂试验记录保存试验应不低于 20 年或者 1.5 倍生命周期，取长者。

### 8.2 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。

#### 8.2.1 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 15~30℃、额定充气压力（RCP）下进行泄漏试验，并应符合合格判定。

#### 8.2.2 爆破试验

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。

#### 8.2.3 最高温升压力测试

在每批储氢容器中，应至少选取一套进行最高温升压力测试。每批产品的最高温升压力应不超过 0.8 倍储氢容器测试压力，或 25MPa，取小者。

### 8.3 储氢系统

储氢系统的出厂试验应包括：

(1) 外观和结构检查

(2) 气密性试验

- (3) 过压安全性能测试
- (4) 放氢性能试验
- (5) 充氢性能试验。