ICS 27.020
CCS J 92

团　　体　　标　　准

T/CSICE 006-2023

船舶动力氨在线制氢装置技术规范

Technical specification for on-line ammonia hydrogen production equipment of marine power plant

2023-12-04 发布　　2023-12-04 实施

中国内燃机学会　　发 布

目　次

前　言 III
1　范围 1
2　规范引用文件 1
3　术语和定义 1
4　液氨 1
5　催化剂 1
6　氨在线制氢装置 2
6.1　氨制氢装置构成 2
6.2　氨在线制氢装置要求 2
6.2.1　氨在线制氢装置的工作环境 2
6.2.2　反应器要求 2
6.2.3　辅助加热装置 3
6.2.4　换热设备 3
6.2.5　通风系统 3
6.2.6　安全装置 3
6.2.7　材料要求 3
6.2.8　外观要求 3
6.2.9　氨在线制氢装置的性能要求 4
6.2.10　管路连接要求 4
6.2.11　氨在线制氢装置焊接要求 4
6.2.12　氨在线制氢装置的安全要求 4
6.2.13　气密性要求 5
6.2.14　配件要求 5
6.2.15　系统控制要求 5
7　试验方法 5
7.1　试验条件 5
7.2　外观 5
7.3　加热装置试验 5
7.4　催化剂转化效率 5
7.5　催化剂的老化 5
7.6　气密性试验 5
7.7　产品浓度 6
7.8　表面和部件温度试验 6
7.9　供应中断试验 6

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件起草单位：哈尔滨工程大学、中船发动机有限公司、上海交通大学、中船动力（集团）有限公司、海德威科技集团（青岛）有限公司。

本文件主要起草人：周松、席鸿远、王齐桐、张印光、林赫、郭江峰、曹学磊、曹睿、祖相欢、张毅然、陈婷、杨新伟、刘晓翠、刘炳言。

本文件于2023年首次发布。

船舶动力氨在线制氢装置技术规范

警告：本文件的应用可能涉及到某些有危险性的材料、操作和设备，但未对与此有关的所有安全问题都提出建议。因此，用户在使用本文件之前有责任制定相应的安全和防护措施，并确定相关规章限制的适用性。

1 范围

本规范规定了应用于氨燃料船舶的氨在线制氢装置的基本要求。

本规范适用于应用于氨燃料船舶的氨在线制氢装置（以下简称制氢装置）以及相应的催化剂（以下简称催化剂）。

2 规范引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 150 固定式压力容器

GB 536-88 液体无水氨

GB 946-2008 氢气使用安全技术规程

GB 3033 船舶与海上技术-管路系统内含物的识别颜色

GB 12358 作业场所环境气体检测报警仪 通用技术要求

GB 16808 可燃气体报警控制器

GB/T 18816—2014 船用热交换器通用技术条件

GB/T 34542.1 氢气储存输送系统

HG/T 5316-2018 氨裂解制氢催化剂活性试验方法

IEC 60079-29-1 爆炸性气体环境-气体探测器-易燃气体探测器的性能要求

CCS 《M-03 热交换器》

CCS 《材料与焊接规范》

CCS 《船舶应用氨燃料指南》

3 术语和定义

本文没有需要界定的术语和定义。

4 液氨

氨裂解制氢过程使用的液氨应该符合 GB 536-88《液体无水氨》所规定的品质。

5 催化剂

氨裂解制氢过程使用的催化剂应该性能稳定。

催化剂的氢气产率需要满足船舶上应用的需求，催化剂应具有较宽的有效温度区间。

催化剂在使用前需要进行激活。

催化剂的有效工作寿命应不低于 16000 h，当催化剂的活性下降致使无法有效制取氢气时，需加装或更换催化剂。

6 氨在线制氢装置

6.1 氨制氢装置构成

制氢装置由液氨蒸发器（以下简称蒸发器）、热交换器、氨裂解反应器（以下简称反应器）和加热装置等基本部件组成，其他具有保护作用的部件（下图 1 中未画出），具体有：氢气/氨气探测设备、报警设备、气体通风装置、用于强制停机的安全装置以及控制设备等。

其他经证明可行的装置也可用于代替本装置。

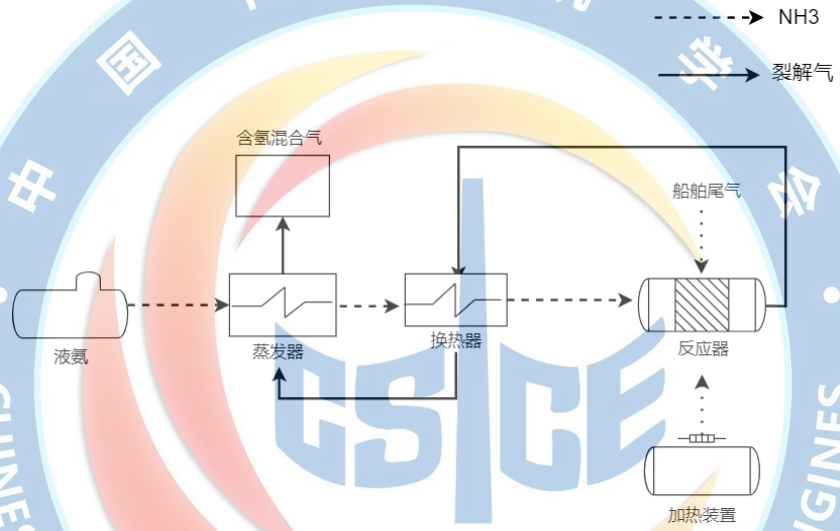


图 1 氨在线制氢装置结构

6.2 氨在线制氢装置要求

6.2.1 氨在线制氢装置的工作环境

（1）氨在线制氢装置可以在船舶正常航行的环境下稳定工作。

（2）氨在线制氢装置周围环境没有导电尘埃、爆炸性气体及能严重破坏金属和绝缘的腐蚀性气体。

（3）氨在线制氢装置周围应保持足够的通风。

6.2.2 反应器要求

反应器的设计与安装应充分考虑船舶与发动机的实际情况，方便拆卸维修与催化剂的填装等。

反应器在填装催化剂之后，引起的压降不应对制氢装置的运行造成影响。

反应器的主要热源为船舶尾气，并配备辅助加热装置。

反应器应设置有船舶尾气管路，以便进行有效加热。尾气管路的设计应考虑换热效果、反应器大小等因素。

6.2.3 辅助加热装置

当尾气温度不足以支持反应器正常运行时，启动辅助加热装置。

加热装置应根据船舶条件、用氢装置要求等进行选用和设计，加热装置需满足船级社的有关规定。

加热装置应在船舶遭遇突发情况时仍能稳定运行。

加热装置应固定牢靠，不会因为加热以及船舶摇动和船舶振动而发生移动和脱落。

加热装置用于加热的结构应该包覆隔热层，运行时隔热层外部的温度不高于外部环境温度 50℃以上。

与加热装置相关的电气设备应该满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇的有关规定。

6.2.4 换热设备

蒸发器、换热器等换热设备应符合 GB 150 和 GB/T 18816—2014 的规定，其最大工作压力的设定应该留有一定裕度，换热设备制造单位应具有压力容器制造资质。

热交换器设计、制造、试验和安装应该按照 CCS《M-03 热交换器》标准执行，保证热交换器能够在船舶上稳定运行。

6.2.5 通风系统

制氢装置应安装通风系统，确保制氢装置发生泄漏时，周围环境不会形成可燃性气体聚集。

通风系统应具有足够的通风能力，即最低每小时 45 次换气。

通风系统应能在船舶、制氢装置发生任何故障时维持正常、稳定工作。

当检测到空气中氨气的浓度达到 150 ppm 时或氢气含量为 0.4%时，通风系统自动开启。

6.2.6 安全装置

制氢装置中应装有安全装置，当制氢装置发生故障时，安全装置自动启动。

安全装置应当独立设置，且具有直接切断制氢装置的原料、热力等供应的能力。

当检测到空气中氨气浓度达到 300 ppm 或氢气含量达到 1.6%时，安全装置自动启动，停止制氢装置的运行，同时开启旁通管路。

安全装置应具备远程控制功能。

6.2.7 材料要求

与氨气、裂解气接触设备（如管路、蒸发器、反应器以及阀门等）的材料应符合 GB/T 34542.1 的规定。

垫片和密封件应由与氨和氢相容的金属、橡胶、聚合物等材料制成，如金属缠绕垫片、聚四氟乙烯等。

除本规范的要求外，氨在线制氢装置中所使用的材料还应符合 CCS《材料与焊接规范》和《船舶应用氨燃料指南》的有关要求。

设备的材料应该在综合衡量各种因素之后进行选择。

6.2.8 外观要求

反应器外表面应进行镀层和涂漆，加热装置的受热表面应涂耐热漆，漆面应平整、光滑、色泽均匀，不得有开裂、脱落等缺陷。

加热装置的外表面应涂防锈底漆和面漆,不应有皱褶和流挂;加热装置相关的元件表面不应有锐边、划痕、毛刺、机械损伤等缺陷。

应按照船级社接受的标准对制氢装置的管路进行颜色标识，如：GB3033《船舶与海上技术-管路系

统内含物的识别颜色》。

氨在线制氢装置的管路应布置紧凑，排列整齐，装配牢固。

6.2.9 氨在线制氢装置的性能要求

氨在线制氢装置的产气量应能根据发动机的负荷变化而调整。

氨在线制氢装置产气出口压力连续可调。

氨在线制氢装置正常工作时，整个系统不得有泄漏现象。氨在线制氢装置的布置应使其在船舶发生碰撞后装置不发生变形。

当氨在线制氢装置的燃料、电力、通风系统等发生中断时，反应器应能快速安全关闭，且不产生任何危害气体，确保船舶上人员的安全。

6.2.10 管路连接要求

管路的设计应该符合 CCS《船舶应用氨燃料指南》的有关要求。

如有必要，管路可给予隔热，用于管路的保温，将湿气冷凝或结霜降低至最少程度。

管路应采用焊接连接，并尽量减少法兰接头，与反应器出口相连的管路允许螺纹连接；管路阀门连接件的选用应充分考虑氢气和氨气的影响。

管路应进行焊后消除应力的热处理。

制氢装置中每个设备都应设有旁通管路。

6.2.11 氨在线制氢装置焊接要求

氨在线制氢装置中所使用的焊条应该符合焊接材料的要求。

焊接前，应先清除母材料表面氧化皮等污染物。

焊缝不允许出现烧穿、裂纹、间断和凹坑等缺陷。

氨在线制氢装置的焊接和焊后热处理应该按照 CCS《材料与焊接规范》进行。

6.2.12 氨在线制氢装置的安全要求

氨在线制氢的基本安全应满足 GB/T 29729-2022《氢系统安全的基本要求》的规定。

（1）电气安全要求

制氢装置中电气设备对壳体和相互间的绝缘电阻应该足够大，控制电路的对地绝缘电阻应该足够大，以确保装置安全。

制氢装置中的不同带电体之间以及各带电体与所有外露的金属结构体之间应该有足够高的绝缘耐压强度。

制氢装置中应设有防爆、短路、过电流、过电压和超温报警等保护装置。

制氢装置应该有可靠的接地结构和醒目的接地标志。

（2）气体安全要求

制氢装置的关键位置应布置有氨气和氢气浓度报警设备，氨气报警设备的设计、安装和调试应该依据 IEC 60079-29-1 的规定进行；氢气报警设备应该符合 GB 12358 和 GB 16808 的规定；当空气中氨气的浓度达到 30 ppm 或氢气浓度达到 0.4%时，报警设备触发报警。

对于反应器后输出的含氢混合气的使用和存储应遵守 GB 946-2008《氢气使用安全技术规程》。

氨在线制氢反应器应设置有置换气体接口，置换气体应该采用氮气，以确保在反应器停止工作时防止残余氢气泄露。

（3）温度压力安全要求

氨在线制氢装置正常工作时，应确保其周围温度不高于外部环境温度 50 ℃以上。

制氢装置中应设有对换热器、蒸发器的传热介质温度和循环流量实施监测的设备；当传热介质实际温度低于设计允许值时，应当发出低温报警。

制氢装置中应当设有压力检测设备和压力安全阀，当检测到制氢装置内气体压力过高或过低时，安全阀应自动调节，确保制氢装置中气体压力稳定。

6.2.13 气密性要求

制氢装置中容器和管道的焊缝不允许出现渗漏现象。

反应器本身安装了引出管线后，不得有泄漏现象。

制氢装置装配后整个装置不得有泄漏现象。

6.2.14 配件要求

外购配套件应具有产品合格证，自制配套件应有产品标准，并获得船级社的认证。

制氢装置中所选用的配套件具有合理性，所有电气元器件的工作电流和电压应不超过规定的允许值。

6.2.15 系统控制要求

制氢装置应具备远程控制功能。

控制系统应能对装置中的关键设备、部件的开启和关闭进行操控。

控制系统应确保在船舶发生故障时仍能有效控制制氢装置的开启和关闭。

7 试验方法

7.1 试验条件

除有特殊规定外,其余试验均在船舶正常工作环境下进行。

7.2 外观

外观用目测。

7.3 加热装置试验

根据所选加热装置的类型，对加热装置的加热能力进行试验。

7.4 催化剂转化效率

催化剂的转化效率按 HG/T 5316-2018《氨裂解制氢催化剂活性试验方法》的规定的方法进行测定。

7.5 催化剂的老化

把制备好的催化剂按本规范 7.4 的要求进行测试，测定催化剂老化试验前的转化效率，记录相关的试验数据。待催化剂冷却后，将催化剂放入老化反应器中进行老化试验。

7.6 气密性试验

向反应器、蒸发器、热交换器内分别充入一定压力的惰性气体，保持 10 min 以上，压力表示数应保持不变。

将反应器、蒸发器、热交换器分别安装管线连接后，向其中充入一定压力的惰性气体，保压 10 min 以上，压力表示数应保持不变。

制氢装置装配完成后，由进气口向整个装置充入一定压力的惰性气体，保压 10min 以上，压力表示数应保持不变。

部件气密性试验程序：

（1）试验时，根据相应的工作压力，以适当速率缓慢提高被测部件的压力，当压力提高到 0.5 倍的部件工作压力时，暂停增压，进行检查，确保无异常和泄露。

（2）增加压力至部件工作压力，重复上述检查，确保无异常变化、声响和泄露。

（3）将压力增加到试验压力，按上述要求的时间保压，随后降压至工作压力并按上述要求的时间保压，仔细检查是否发生泄漏，检查期间压力应保持不变。

当部件、管线装配完成后，重新进行气密性试验，基本程序与部件相同。

7.7 产品浓度

氢气浓度：在装置正常工作情况下，从氨在线制氢装置的出气孔引出旁通管，接入氢气浓度测量仪测量产物中氢气浓度。

氨气浓度：在装置正常工作情况下，从氨在线制氢装置的出气孔引出旁通管，接入氨气浓度测量仪测量产物中氨气浓度。

7.8 表面和部件温度试验

在氨在线制氢装置正常运行时，在氨在线裂解制氢反应器的外壳、加热装置的外层等发热的外部表面和反应器的关键部件处接入温度测量设备，并测量相应位置的温度。

7.9 供应中断试验

在氨在线制氢装置正常运行时，对供应（燃料、电力、通风系统等）进行中断，查看装置能否快速安全关闭且不产生任何危害气体，发生器结构是否发生形变。