ICS 27.020
CCS J 92

团　　体　　标　　准

T/CSICE 005-2023

船舶动力配套甲醇重整在线制氢装置技术规范

Technical specification of on-line hydrogen production equipment by methanol reforming for 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　原料 1
5　催化剂 2
6　甲醇重整在线制氢装置 2
6.1　甲醇重整在线制氢装置构成 2
6.2　装置要求 3
6.2.1　装置的工作环境 3
6.2.2　反应器要求 3
6.2.3　辅助加热装置 3
6.2.4　换热设备 4
6.2.5　通风系统 4
6.2.6　安全装置 4
6.2.7　净化装置 4
6.2.8　系统控制 4
6.2.9　装置外观要求 4
6.2.10　材料要求 4
6.2.11　甲醇重整在线制氢的性能要求 5
6.2.12　管路连接要求 5
6.2.13　装置的焊接要求 5
6.2.14　甲醇重整在线制氢的安全要求 5
6.2.15　装置气密性要求 6
6.2.16　配件要求 6
7　试验方法 6
7.1　试验条件 6
7.2　外观 6
7.3　加热装置试验 6
7.4　催化剂性能 6
7.5　气密性试验 6
7.6　产品浓度 7
7.7　表面和部件温度试验 7
7.8　供应中断试验 7

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、张光伟、刘佃涛、林赫、郭江峰、曹学磊、唐佳东、张毅然、陈婷、杨新伟、刘炳言、高瑞侠。

本文件于2023年首次发布。

船舶动力配套甲醇重整在线制氢装置技术规范

警告：本标准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，用户在使用本标准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船舶动力配套的甲醇重整在线制氢的方法和原料、甲醇重整在线制氢催化剂（以下简称催化剂）以及甲醇重整在线制氢装置的要求。

本规范适用于船用甲醇重整在线制氢装置（以下简称装置）以及使用的催化剂和甲醇水溶液。

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 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/T 6682-2008 分析实验室用水规格和试验方法

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

GB 50177 氢气站设计规范

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 《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》

IMPCA 《甲醇参考规范》

Q/57228736-9.01-2019 SF104 系列甲醇制氢催化剂

3 术语和定义

本文没有需要界定的术语和定义。

4 原料

本规范中使用的甲醇品质应该符合 IMPCA 的规定。

本规范中使用的脱盐水中的氯离子（Cl^{-1}）浓度应该不超过 1 ppm，其他组分应符合 GB/T 6682-2008 中 5 所规定的二级水要求。

本规范中使用的水溶液由甲醇和水根据制氢需要，选择合适的比例配制而成。

5 催化剂

甲醇重整制氢过程使用的催化剂应该性能稳定、成本低。

催化剂催化甲醇重整制氢的效率应该满足船舶制氢的需求，催化剂应有足够高的氢气选择性。

催化剂应该具较宽的正常工作温度范围，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，当催化剂活性下降致使无法有效制取氢气时，需及时更换催化剂。

6 甲醇重整在线制氢装置

甲醇重整制氢的原理为甲醇和水蒸汽在催化剂的作用下，发生化学反应，生成氢气和二氧化碳，其化学反应方程式如下：

$$CH_3OH + H_2O = CO_2 + 3H_2 \quad \text{（1）}$$

6.1 甲醇重整在线制氢装置构成

制氢装置由甲醇水溶液箱、热交换器、蒸发器、甲醇重整制氢反应器（以下简称反应器）、原料泵、冷却器、管路以及加热装置等基本部件组成（图 1）；若船舶上需要使用高纯度氢气，可以选配氢气净化装置（图 2）；其他具有保护作用的设备（下图 1 中未画出）具体有：氢气/甲醇气体探测设备、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替代本装置。

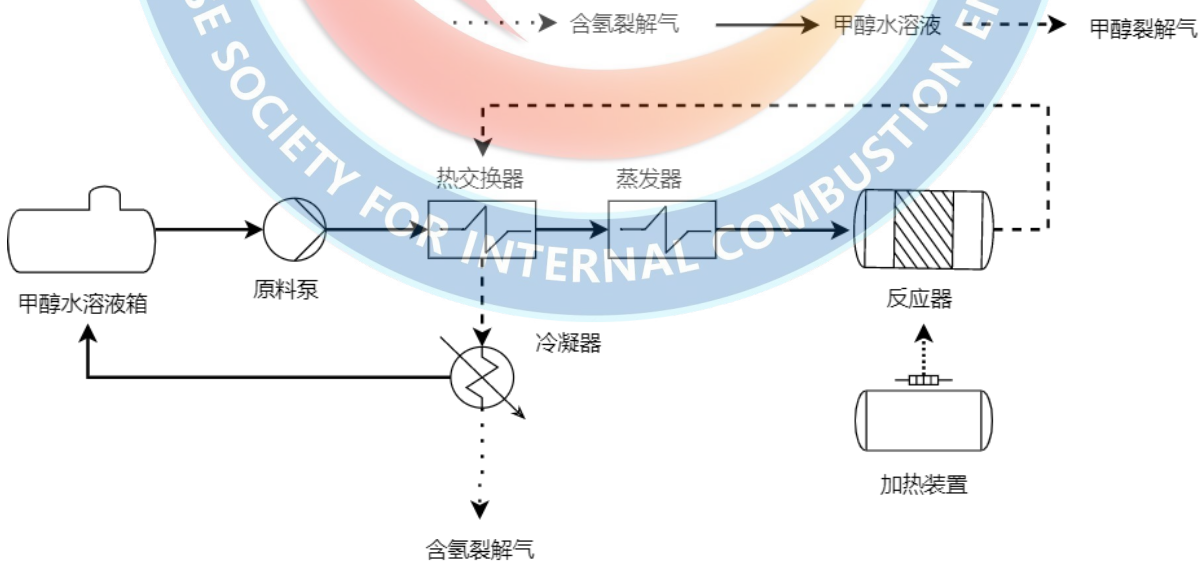


图 1 甲醇重整在线制氢原理图

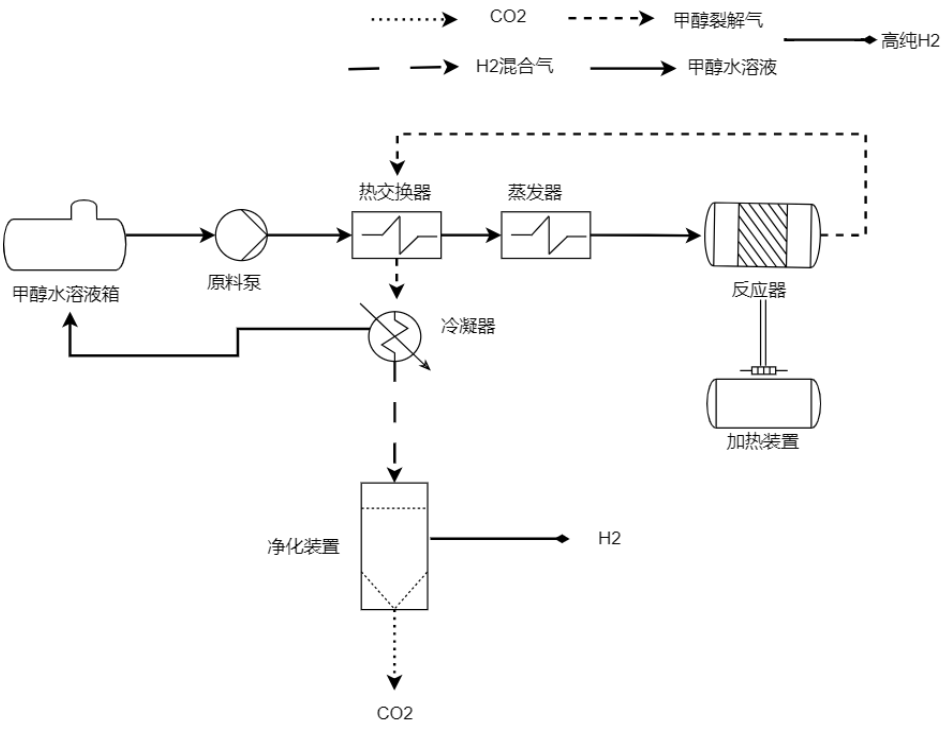


图 2　带净化装置的甲醇重整在线制氢原理图

6.2　装置要求

6.2.1　装置的工作环境

（1）甲醇重整在线制氢可以在船舶运行过程中稳定工作。

（2）甲醇重整在线制氢周围没有导电尘埃、爆炸性气体及能严重破坏金属和绝缘的腐蚀性气体。

（3）甲醇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，反应器应配备辅助加热装置。

反应器应设置有船舶尾气管路，以便对反应器进行有效加热，反应器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、用氢装置需求等进行选用和设计，加热装置需要满足船级社的有关规定。

在船舶遭遇突发情况时加热装置应仍能稳定地运行。

加热装置应固定牢靠，不会因为加热及船舶摇动和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 篇电气装置》的有关规定。

6.2.4 换热设备

蒸发器、热交换器和冷凝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。

冷却器应确保甲醇蒸汽和水蒸汽完全凝结成液体。

换热设备设计、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工作。

6.2.5 通风系统

甲醇制氢装置应安装通风系统，确保制氢装置发生泄漏时，周围环境不会形成甲醇/氢气聚集。

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、制氢装置发生故障时维持正常、稳定工作。

当检测到空气中甲醇的浓度达到 20%LEL 时或氢气浓度达到 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，当在线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。

当检测到空气中甲醇浓度达到 40%LEL 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 净化装置

净化装置根据船舶实际用氢要求进行选配。

净化装置利用氢气分离技术对冷却后的含氢气体进行提纯。

氢气分离装置应具有较高的分离效率。

氢气分离装置应该工艺成熟，可以安全可靠地在船舶上使用。

6.2.8 系统控制

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和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。

6.2.9 装置外观要求

反应器外表面应进行镀层和涂漆，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管路进行颜色标识，如：GB 3033《船舶与海上技术-管路系统内含物的识别颜色》。

甲醇水溶液箱应设有明显标识。

甲醇重整在线制氢中的管路应布置紧凑，排列整齐，管路与附件之间减少交叉。

6.2.10 材料要求

与甲醇水溶液接触的设备（如管路、原料泵、蒸发器、反应器和阀门等）必须使用耐甲醇和水腐蚀

的材料。

与氢气接触设备（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。

甲醇重整在线制氢中所有接触冷凝液的设备和管道应采用耐酸性腐蚀的材质。

垫片和密封件应由与甲醇、氢气相容的金属、橡胶、聚合物等材料制成，如聚四氟乙烯等。

除本规范的要求外，甲醇重整在线制氢中所使用的材料还应符合 CCS《材料与焊接规范》和 CCS《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》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。

6.2.11 甲醇重整在线制氢的性能要求

甲醇重整在线制氢所产生氢气应该保证船舶发动机能够正常运行。

产气出口压力和产气量可以根据发动机负荷连续可调。

甲醇重整在线制氢正常生产时不得有泄漏现象。

甲醇重整在线制氢的布置应使其在船舶发生碰撞后结构不发生形变。

当甲醇重整在线制氢的燃料、电力、给水、冷却水、通风系统等发生中断时，反应器应能快速安全地关闭，且不产生任何危害气体，确保船舶上人员的安全。

6.2.12 管路连接要求

管路的设计应符合 CCS《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》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甲醇蒸汽的影响。

管路连接应该严格确保液体和气体的密封。

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。

6.2.13 装置的焊接要求

甲醇重整在线制氢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。

甲醇重整在线制氢的焊接和焊后热处理应该按照 CCS《材料与焊接规范》进行。

6.2.14 甲醇重整在线制氢的安全要求

甲醇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）甲醇存储安全

甲醇水溶液应存储在储箱中。

甲醇水溶液储箱应存放于干燥、阴凉、通风的空间内。

甲醇水溶液箱配备完好的封盖、防震圈等附件。

（2）电气安全要求

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。

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。

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。

装置中应该有可靠的接地结构和醒目的接地标志。

（3）气体安全要求

甲醇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没有残余氢气泄露。

装置内的关键位置应布置有甲醇气体和氢气浓度报警设备，甲醇气报警设备的设计、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。

当空气中甲醇气体的浓度达到 20%LEL 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》。

（4）温度压力安全要求

甲醇重整在线制氢中应设有对换热器、蒸发器以及冷凝器的传热介质温度实施监测的设备；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。

甲醇重整在线制氢正常工作时，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。

6.2.15 装置气密性要求

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。

装置装配后，整个装置不得有泄漏现象。

6.2.16 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。

设备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。

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条件下进行。

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 催化剂性能

催化剂的转化效率按 Q/57228736-9.01-2019 的附录 A 所规定的方法进行测定。

催化剂氢气选择性：在测量催化剂转化效率的同时记录重整气中氢气的摩尔流量，将氢气的摩尔流量与 3 倍甲醇的摩尔流量之比作为氢气的选择性进行记录。

7.5 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。

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 10 min 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 倍部件工作压力时，暂停增压，进行初步检查，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，检查期间压力应保存不变。

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。

7.6 产品浓度

氢气浓度：在装置正常工作情况下从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的浓度。

7.7 表面和部件温度试验

在甲醇重整在线制氢正常运行时，在甲醇制氢反应器的外壳、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。

7.8 供应中断试验

在甲醇重整在线制氢正常运行时，对供应（燃料、电力、给水、冷却水、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。