



指南编号/Guideline No.M-28(202204)

M-28

重整装置

生效日期/Issued date:2022 年 4 月 14 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。

本指南由本社编写和更新，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。

历史发布版本及发布时间

本版本主要修改内容： 新编

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.....	6
6 原材料及零部件.....	6
7 型式试验.....	7
8 单件/单批检验（出厂试验）.....	7

重整装置

1 适用范围

1.1 本指南规定适用于船舶与海上设施上安装使用的重整装置的认可及检验。该重整装置为 0℃ 和 101325 Pa 条件下容量小于 400 m³/h 的成套、自给式或工厂匹配的制氢系统,此处称为氢气发生器,该制氢系统将输入燃料转化为富氢气体,气体成分、压力和温度符合用氢装置的使用要求(用氢装置包括燃料电池动力系统或氢气压缩、储存和输送系统)。其输入燃料包括:来自可再生(生物质)或化石燃料的天然气和其他富含甲烷的气体,例如填埋气、沼气、煤矿瓦斯;来自炼油的燃料,如柴油、汽油、煤油、液化石油气(如丙烷和丁烷);醇类、酯类、醚类、醛类、酮类、费托液体和其他合适的富氢有机化合物,这些化合物来自可再生(生物质)或化石燃料来源,例如甲醇、乙醇、二甲醚、生物柴油;含有氢气的气体混合物,例如合成气、城市煤气。

1.2 由于氢燃料电池重整装置技术尚在不断发展中,本指南仅针对醇类燃料的重整装置,对于其他类型的重整装置,不满足本指南要求时,应经 CCS 个案考虑。

2 规范性引用文件

2.1 ISO 16110-1 《使用燃料处理技术的氢气发生器-第 1 部分:安全》

2.2 CCS 《钢质海船入级规范》及其修改通报

2.3 CCS 《材料与焊接规范》

2.4 CCS 《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》

2.6 CCS 《氢燃料电池产品检验指南》

2.5 GB/T 34540 《甲醇转化变压吸附制氢系统技术要求》

2.6 GB/T 29412 《变压吸附提纯用吸收器》

2.7 GB/T 19773 《变压吸附提纯氢系统技术要求》

2.8 GB/T29729 《氢系统安全的基本要求》

2.9 HG/T5037-2016 《甲醇制氢催化剂活性试验方法》

3 术语及定义

上述检验依据中所确定的术语及定义适用于本指南。为编写及使用方便,本指南直接引用或补充下列定义。

3.1 燃烧器系统

燃烧器系统指监控燃料燃烧器运行的系统，该系统由控制装置和火焰探测器组成，可能包括点火源和点火装置。

3.2 部分催化氧化

碳氢化合物与少量空气在催化剂表面部分氧化释放热量制取氢气的化学反应。

3.3 最大允许压力

氢气发生器及其部件设计的最大压力。

3.4 设计温度

应用于氢气发生器及其承压部件设计的温度值。

3.5 火焰探测器

提供指示火焰存在或不存在信号的火焰测量装置。

注：火焰探测器包括火焰传感器，并可能包括用于信号传输的放大器和继电器。放大器和继电器可嵌入探测器外壳中，或与编程单元组合。

3.6 燃料处理系统

一系列催化或化学反应器，将输入燃料转化为预先规定成分和条件的富氢气流。

3.7 间歇式引燃器

当设备被要求运行时自动点火的引燃器，在主燃烧器运行的每个阶段持续点火，并在每个主燃烧器运行循环完成时自动熄灭。

3.8 水处理系统

氢气发生器内使用的回收水或添加水提供处理和净化的系统。

3.9 重整反应

在一定温度、压力及催化剂作用下，燃料和脱盐水反应生成氢气的过程，一般包括水蒸气重整、部分氧化重整和自热重整。

3.10 氢提纯

将含氢气体中的杂质去除，使氢浓度提高至规定值的工艺过程。

3.11 变压吸附法

利用固体吸附剂对不同气体的吸附选择性以及气体在吸附剂上的吸附量随其压力变化而变化的特性，在一定的压力下吸附，然后通过降低被吸附气体分压使被吸附气体解吸的气体分离方法。

3.12 钯膜分离法

利用不同气体在钯膜中溶解扩散量不同而实现气体分离的方法。

4 图纸资料

4.1 应将下列图纸资料提交 CCS 批准：

- (1) 总图（外形及安装图）
- (2) 产品技术条件（包括系统流程图）
- (3) 电气原理图

4.2 应将下列图纸资料提交 CCS 备查：

- (1) 外部接线图；
- (2) 外部管路连接图；
- (3) 主要零部件规格明细表；
- (4) 铭牌图；
- (5) 重整装置的风险评估。

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。

5 技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 在《钢规》第 4 篇第 1 章第 2 节规定的工作条件下设备应正常工作。

5.2 重整装置的调试、试验和维护应满足安全性、实用性和可靠性。

5.3 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的运行。

5.4 结构设计应能防止易爆、易燃，防止有毒气体浓度积聚；内部应尽可能使用非易燃材料；应适当防护系统的部件，以免其遭受外部损伤。

5.5 燃料管路应具有足够的强度，并能吸收燃料因极端温度引起的热膨胀或收缩。

5.6 重整装置包括的主要硬件有：燃料处理系统、氢气提纯系统和操控系统。

5.7 氢气提纯系统的尾氢气应回收利用，作为重整装置供热燃料。

5.8 未反应的燃料和水应回收利用，不得直接向外排放，其中未反应的水应经处理后再回收。

5.9 应采用燃料或氢的催化氧化反应为重整反应供热，如采用明火燃烧供热时，燃烧器控制系统应配置火焰探测器和间歇式引燃器。

5.10 重整装置应设置置换气体接口，置换气体应采用氮气。

5.11 与含有氢气接触的材料与氢有相容性，应符合 GB/T29729 《氢系统安全的基本要求》的有关规定

5.12 属于压力容器的设备设计、制造、检验和使用应符合《钢规》第3篇第6章的有关规定。

5.13 属于热交换器的设备设计、制造、检验和验收应《钢规》第3篇第6章的有关规定。

6 原材料及零部件

6.1 甲醇、乙醇燃料的管路以及其他可能包含的元器件的材料应符合 CCS《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》第3章第3节的规定。

6.2 氢气管道应选用无缝钢管，材料的化学成分、力学性能应满足 CCS《材料与焊接规范》第1篇第4章的要求。

6.3 燃料处理系统包括的主要设备有：燃烧器（或催化氧化反应器）、重整反应器、预热器、汽化器、冷却器及原料泵。

7 型式试验

重整装置应经我社型式认可。型式认可证书的颁发、保持、更改、换新及取消按照《钢规》第1篇第3章相关要求进行了。

7.1 典型样品的选取

7.1.1 试验样品的型号、规格应具有技术代表性，且能覆盖申请型式认可的产品范围。

7.1.2 对于产品结构相同、工作原理相同的产品，可选取额定输出功率最大的产品进行型式认可试验。试验样品的数量对于所选定的产品型号，可取一台。试验样品应由我社验船师在产品制造厂现场抽取。

7.2 试验机构

型式认可试验应首选本社认可的试验机构或权威公正的试验机构。对于某些功能试验项目，如产品制造厂具备试验条件，经 CCS 验船师审查同意并现场监督下，可在制造厂进行。

7.3 型式认可试验要求：

7.3.1 重整装置应按照 ISO 16110-1 《使用燃料处理技术的氢气发生器-第1部

分:安全》进行试验,应至少进行如下试验项目:

(1) 静流体压力试验;

应对重整装置部件进行静流体压力试验,当静流体压力试验不可行时,可采用气压力试验,以验证压缩气体的危险性。

1) 静流体压力试验

试验介质应为液体燃料、冷却剂等液体。当测试气体容器耐压强度时,试验介质应为水。

A.金属测试部分

金属测试区应取装置金属部件上的某一段进行,且测试区任意一点的压力试验应满足以下条件:

a) 不小于最大允许压力的 1.5 倍;

b) 当设计温度高于试验温度时,最小试验压力按下式计算,但 S_T/S 值不应超过 6.5:

$$P_T = 1.5 (PS_T)/S$$

其中,

P_T —最小测试表压力

P —内部设计压力表压力

S_T —ISO 15649 要求 ANSI/ASME B31.3 表 A-1 中测试温度下的应力值;

S —为设计温度下的应力值,按 ANSI/ASME B31.3 的表 A-1,符合 ISO 15649 的要求

c) 如果试验压力产生的公称压力或纵向应力超过试验温度下的屈服强度,则试验压力可以降低到不超过试验温度下屈服强度的最大压力。

d) 如连接在容器上的管道的测试压力与容器的测试压力相同或低于该容器的测试压力,则可在该管道测试压力下测试管到及容器。

e) 当管道的测试压力超过容器测试压力,且认为将管道与容器隔离是不可行的,管道和容器可以在容器测试压力下一起进行试验,条件容器试验压力不小于管道试验压力的 77%。

在进行静流体压力试验之前,可先进行检漏试验,压力应不小于 170kPa (表压),以确定主要泄漏点。

B.非金属测试部分

由非金属部件组成的试验区中任何一点的水压试验压力应不低于最大设计压力的 1.5 倍，但不应超过系统中最低设计压力部件的最大设计压力的 1.5 倍。

a) 测试程序

测试部分应充满测试液体，并连接到合适的液压系统，包括能够承受所需泄漏测试压力的压力测量装置。排空测试区内气体并逐步增加压力，直到测试压力达到设定值，并保持每一步的升压压差恒定，以平衡管道应变。应保压至少 10 分钟，直到所有连接点和连接处均无气体泄漏，且压力未发生变化。

b) 验收标准

承压部件应能承受水压试验压力，无破裂、断裂或其他物理损伤。在试验期间，试验段应无泄漏迹象。

2) 气压力测试

A.测试气体

非易燃、无毒的气体或蒸汽(如清洁干燥的空气或惰性气体)。

B.试验压力

气体泄漏试验的试验压力应为最大设计压力的 110%。

对受外部压力影响的管道进行压力试验时，管内压力应为 1.5 倍的管外压力，且不小于 105kPa。

C.测试程序

应在测试装置进气口处设置足够量程的压力表，密封测试装置并逐步增加压力，直至达到设定值。增压期间，应保证每阶段增加压力的压力差保持不变，以平衡测试装置管道内的压力应变。保持测试压力至少 10 分钟，并监测压力表的压力数值有无变化，确保测试装置无任何泄露。

D.验收标准

承压部件应能承受气压试验压力，无破裂、断裂或其他物理损伤。

(2) 危险气体泄漏试验；

1) 测试气体

非易燃、无毒的气体或蒸汽(如清洁干燥的空气或惰性气体)。

2) 试验压力

气体泄漏试验的试验压力应为最大设计压力的 110%。

对受外部压力影响的管道进行压力试验时，管内压力应为 1.5 倍的管外压力，

且不小于 105kPa。

3) 检测程序

应在测试装置进气口处设置足够量程的压力表，密封测试装置并逐步增加压力，直至达到设定值。增压期间，应保证每阶段增加压力的压力差保持不变，以平衡测试装置管道内的压力应变。保持测试压力至少 10 分钟，并监测压力表的压力数值有无变化，确保测试装置无任何泄露。

4) 结果表示

如将氢气作为测试气体，泄露率通过如下方式表示。

$$L_H = R \cdot L_{Test}$$

其中，

L_H —危险气体泄露率

L_{Test} —测试气体泄露率

$$R = \left(\frac{d_{Test}}{d_{Fuel}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

其中，

d_{Test} —测试气体的比重

d_{Fuel} —燃料气体的比重

$$R = \frac{\mu_{Test}}{\mu_{Fuel}}$$

其中，

μ_{Test} —测试气体的绝对粘度

μ_{Fuel} —燃料气体的绝对粘度

经上述两等式计算后，危险气体的泄露率R取高值。

5) 验收标准

氢气发生器总泄漏率，在提供通风的情况下，氢气发生器中，任何气体可燃气体的最大浓度应低于爆炸下限的25%，且低于着火下限的25%。

承压部件应能承受气压试验压力，且无破裂、断裂或其他物理损伤。

(3) 燃烧器（如有时）运行特性试验；

1) 适应性

A.应使用规定的试验气体。

B.分别在最高和最低燃料供应压力下进行。

C. 燃烧器应在额定输入电压的 85% 和 110% 的电压下工作。当氢发生器在此范围内提供电压变化保护时，系统应在保护装置规定的极限条件下进行试验。

2) 总体测试

自动点火系统应在燃烧器燃料到达燃点后立即点火。

在试验过程中，应验证：

A.当打开燃烧器燃料时。燃烧器燃料有效点燃，没有延迟点火、闪火，没有杂音或设备损坏；

B.当关闭燃烧器燃料时，燃烧器火焰熄灭，没有闪火或杂音；

C.燃烧器火焰未闪出燃烧室；

D.燃烧器底部未出现沉积碳；

E.燃烧器风口处无气体泄露或背压。

3) 极限测试

试验应在没有调整燃烧器和轴向燃烧器的情况下进行。进口压力应降低到正常压力的 70%，且燃烧器是安全运行的，CO 排放量低于 300 $\mu\text{L/L}$ 。如果在这些条件下可以正常点火，则应继续降低进口压力并重复试验。

(4) 燃烧器（如有时）和催化氧化反应器（如有时）的自动控制试验；

1) 氢气发生器燃烧器自动点火控制试验

A.有效点火试验

当氢发生器保持在额定电压下时，应启动点火器并观察点火情况。当燃料到达主燃烧器端口后，点火器应立即点燃主燃烧器燃料。氢气发生器外不得有火焰闪烁。

且每次应保证燃料到达主燃烧器端口后立即点燃。

B.点火电压试验

2) 欠压检测

氢发生器的电压应调整到额定极板电压的 85%。在这种情况下，点火器应在主燃烧器建立期间点燃主燃烧器燃料。应测量 CO 排放，以验证是否低于 300 $\mu\text{L/L}$ 。氢气发生器外不得有火焰闪烁，氢气发生器也不得有任何损坏。

点火试验至少进行 5 次，且点火应在主火焰建立期间发生

A.过电压测试

氢气发生器的电压应调整到额定电压的 110%。在这种情况下，点火器应在主火焰建立期间点燃主燃烧器燃料。测试期间应测量 CO 排放，以验证是否低于 300 $\mu\text{L/L}$ 。氢气发生器外不得有火焰闪烁，氢气发生器也不得有任何损坏。

点火试验至少进行 5 次，且点火应在主火焰建立期间发生。

3) 主火焰建立期试验

当氢发生器稳定运行时，应检查火焰建立时间。从注入主燃料流开始到点火装置或燃烧器火焰出现的时间，不得超过额定主火焰建立时间。

4) 点火系统部件的温度测试

热电偶或等效测温装置应安装在每个点火系统组件的适用点上。氢发生器应按额定燃料消耗率运行，直至达到平衡状态并测量各部件的温度。

1) 催化氧化反应器自动化控制试验

A.反应起始时间测试

发生器的反应起始时间应从燃料和空气同时被开启时开始计时，到发生器的监控系统出现已成功启动的信号为止的时间。

该反应时间不应超过生产厂家提供的最大反应起始时间。

B.反应停止时间测试

在反应器处于平稳运行状态时，反应停止时间应从关闭燃料及空气的供应开始计时，到发生器的监控系统出现反应停止的信号为止的时间。

该反应时间不应超过生产厂家提供的最大反应停止时间。

(5) 表面和部件温度试验；

氢气发生器产生的热量不应使其周围温度高于发生器外环境温度的 50 $^{\circ}\text{C}$ 以上。

(6) CO 排放试验；

1) 平衡条件下运行

氢气发生器应分别在 25%、50%、75% 和 100% 的可变输出容量下进行试验，且当发生器达到平衡运行条件时，CO 排放量低于 300 $\mu\text{L/L}$ 。

(7) 供应（如燃料供应、供电、供水、冷却水等）中断试验；

当发生器的燃料、电力、给水、冷却水、通风系统发生中断时，发生器应安全关闭，且不产生任何有害气体，发生器结构不发生形变。

7.3.2 变压吸附提纯氢系统试验方法和性能参数的检测参照 GB/T 19773《变压吸附提纯氢系统技术要求》。

7.4 氢气的体积分数测定

氢气的体积分数测定应按照 HG/T5037-2016《甲醇制氢催化剂活性试验方法》进行测定及计算。以标准气体为外标样、反应产生气体为被测样，通入气相色谱仪，测定氢气的峰面积，计算出氢气体积分数。

7.5 氢气纯度测定

氢气的纯度测定应按照 GB/T 3634.1-2006《氢气：第一部分-工业氢》、GB/T 3634.2-2011《氢气：第二部分-纯氢、高纯氢和超纯氢》进行。

7.6 催化剂活性测定

氢气的体积分数测定应按照 HG/T5037-2016《甲醇制氢催化剂活性试验方法》进行测定及计算。以氢气的时空产率为指标测定催化剂活性，连续 3 次计算的氢气时空产率的极差应不大于 $10\text{Nm}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。

8 单件/单批检验（出厂检验）

8.1 在获得 CCS 型式认可证书后，工厂仍应对每一台重整装置进行单件/单批检验，并提交工厂自检报告。CCS 验船师进行逐台检验。

8.2 单件/单批检验项目应按照 ISO 16110-1 《使用燃料处理技术的氢气发生器-第 1 部分：安全》进行，至少包括下列各项：

- (1) 压力试验；
- (2) 危险气体泄漏试验；
- (3) 燃烧器（如有时）运行特性试验；
- (4) 绝缘试验；
- (5) 耐压试验；
- (6) 接地保护试验。