



指南编号/Guideline No. T-07(202502)

**T-07**

# 替代燃料热交换器

生效日期/Issued date: 2025 年 2 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](mailto:mp@ccs.org.cn)。

历史发布版本及发布时间： 新编

本版本主要修改内容： 无

## 目 录

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

## 替代燃料热交换器

### 1 适用范围

本指南适用于液化天然气、醇燃料、氨燃料船用热交换器，包括管壳式热交换器、板式热交换器，设计温度为 $-196^{\circ}\text{C}\sim+200^{\circ}\text{C}$ 、设计压力不大于 16MPa 的替代燃料热交换器的认可及产品检验。

### 2 规范性引用文件

- 2.1 CCS 《钢质海船入级规范》
- 2.2 CCS 《材料焊接规范》
- 2.3 CCS 《散装运输液化气体船舶结构与设备规范》
- 2.4 《国际散装运输液化体船舶构造和设备规则》及其修正案
- 2.5 CCS 《船舶应用天然气燃料规范》
- 2.6 CCS 《船舶应用氨燃料指南》
- 2.7 CCS 《船舶应用甲醇乙醇燃料指南》
- 2.8 CCS M03 《热交换器》

### 3 术语和定义

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 换热面积：系指被冷却/加热/冷凝介质接触的金属总面积。

3.2 设计压力：系指热交换器设定的最高压力，与相应的设计温度一起作为基本设计载荷条件，其值应不低于工作压力。

3.3 工作压力：在正常情况下，设备可能达到的最高压力。

3.4 设计温度：热交换器在正常工作情况下,设定的元件的金属温度，设计温

度与设计压力一起作为设计载荷条件。

#### 4 图纸资料

下列图纸资料应提交审查

##### 4.1 产品审图提交图纸/资料：

- (1) 产品主要性能规格表（包括申请认可产品的产品型号、设计压力、设计温度、换热面积、工作介质，主要件材料等）；
- (2) 总装配图；
- (3) 主要零部件图：壳体（本体）、端盖、换热管、管板、封头、芯组、换热板片、夹紧板、夹紧螺栓等适用内容；
- (4) 设计计算书（强度计算书，热力学计算书（如需要））；
- (5) 主要零件材料理化性能一览表；
- (6) 主要工艺文件（换热管/管板连接工艺、焊接工艺及热处理等（如适用））；
- (7) 产品说明书、铭牌和出厂合格证样本（如用于国际航行船舶，应提供中/英文双语版本）。

##### 4.2 认可提交图纸/资料：

- (1) 工厂概况：工厂名称、地址、生产历史、生产能力、技术和检验人员、主要产品、隶属关系、产品商标等；
- (2) 申请认可产品明细；
- (3) 主要生产设备清单；
- (4) 主要检测设备清单；
- (5) 申请认可产品的简要生产工艺；

- (6) 质量管理文件或质量体系证书；
- (7) 企业注册登记证明；
- (8) 资质证明和/或生产许可证，如适用；
- (9) 产品质量证明书或合格证样本；
- (10) 质量控制计划，如适用；
- (11) 合格供方清单，如适用；
- (12) 型式试验大纲。

## 5 技术要求

### 5.1 材料要求

5.1.1 热交换器的材料选用应考虑燃料的腐蚀性、溶胀性，并与其最大工作压力和温度相适应。其材料除满足本指南要求外，尚应满足本社《材料与焊接规范》和/或《散装运输危险化学品船舶构造设备规范》、《散装运输液化气体船舶构造设备规范》、《船舶应用天然气燃料规范》以及相关指南的有关要求。若采用新型钢材，应提交材料相容性说明等相关资料批准，必要时可要求进行特殊的试验。

5.1.2 与液化天然气接触的零部件选用应满足《散装运输液化气体船舶构造设备规范》、《散装运输危险化学品船舶构造设备规范》、《船舶应用天然气燃料规范》的有关要求。

5.1.3 与氨接触的零部件不得使用铜、含铜合金、锌、含锌合金、含镉和含汞等易受氨腐蚀的材料。且氨是碱性还原剂，可与酸、卤素和氧化剂反应。

5.1.4 对甲醇敏感的材料，如铝合金、镀锌钢、铅合金等，不应用于含甲醇燃料的系统。对乙醇敏感的材料，诸如锌、铝、黄铜、铅和铅基合金等金属材料，不应用于含乙醇燃料的系统。可用的金属材料包括但不限于如下材料：

- (1) 奥氏体不锈钢；
- (2) 双相不锈钢等。

5.1.5 氨可能会在碳锰钢或镍钢制成的燃料舱和管路系统中引起应力腐蚀开裂，应根据所选材质、设计条件等因素将发生该危险的风险降至最低。

5.1.6 当使用碳锰钢时，应采用细晶粒钢。其标定最低屈服强度不应超过  $355 \text{ N/mm}^2$ ，实际屈服强度不超过  $440 \text{ N/mm}^2$ ，如钢号为 CL-II-2、CL-III-2 需进行焊后消除应力热处理的碳锰钢。还应采取下列结构或操作方面的措施之一：

- (1) 使用标定的最低抗拉强度不超过  $410 \text{ N/mm}^2$  的较低强度材料；
- (2) 应进行焊后消除应力的热处理；
- (3) 应保持氨的温度，最好保持在其沸点的温度  $-33 \text{ }^\circ\text{C}$ ，但不能超过  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ；
- (4) 氨中应含有不少于  $0.1\% \text{ w/w}$  的水。

5.1.7 如果使用超过 5.1.6 规定屈服性能的碳锰钢，则应进行焊后消除应力的热处理。

5.1.8 含镍超过 5% 的镍钢和不符合 5.1.6 和 5.1.7 要求的碳锰钢，不应用于氨热交换器。

5.1.9 当氨燃料温度符合 5.1.6(3) 中的规定时，可以使用含镍不超过 5% 的镍钢，如钢号为 1.5Ni、2.25Ni 的镍合金钢。

5.1.10 为尽量减少氨应力腐蚀开裂的风险，应采取措施使氨燃料中溶解氧含量保持在  $2.5 \text{ ppm w/w}$  以下。

5.1.11 液化天然气热交换器的垫片和密封件，可参考本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和《材料与焊接规范》第 2 篇的相关要求。

5.1.12 氨燃料热交换器的垫片和密封件应由与氨相容的金属、橡胶、聚合物等材料制成，如金属缠绕垫片、聚四氟乙烯。

5.1.13 甲醇热交换器的垫片和密封件不应采用对甲醇敏感的材料，如丁腈橡胶，丁基橡胶等，可采用聚四氟乙烯、三元乙丙橡胶 (EPDM) 和氯丁橡胶等。乙醇热交换器垫片和密封件不应采用对乙醇敏感的材料，如天然橡胶、聚氨酯、聚氯乙烯、聚酰胺、甲基丙烯酸甲酯塑料和聚酯粘合的玻璃纤维层压板等，可采用丁腈橡胶、氯丁橡胶、氟化橡胶、聚丙烯和热固性增强玻璃纤维等。

5.1.14 壳管式热交换器的  $\Omega$  形膨胀节一般应用无缝管弯制,且  $\Omega$  形膨胀节的开口应大于 15mm,高度应大于 1.6R,无缝管的壁厚不得小于壳体强度计算的最小厚度 (R—无缝钢管外圆半径)。

5.1.15 板式换热器换热板片的名义厚度应不小于 0.5mm,板片成型减薄量应不大于板片厚度的 25%。

## 5.2 制造要求

5.2.1 低温热交换器应充分考虑下列问题:

- (1) 结构尽量简单,减少约束;
- (2) 应尽量避免产生过大的温度梯度;
- (3) 接管与壳体连接部位应圆滑过渡,接管端部内壁处导圆;
- (4) 容器的支座或支腿不得直接焊接在壳体上,需设置垫板。

5.2.2 对于非常规特殊设计的热交换器,应考虑低温低应力等影响。

5.2.3 通球试验

U 形管、蛇形管弯制成型后,按下表规定直径的钢球,应能顺利从管中通过。

**通球试验要求**

**表 5.2.3**

r/d 弯曲半径/管径	通球直径		r/d 弯曲半径/管径	通球直径	
	无接头	有接头		无接头	有接头
2~3.5	0.70d	0.65d	>5~10	0.85d	0.80d
>3.5~5	0.75d	0.70d	>10	0.90d	0.85d

## 5.3 强度要求

5.3.1 承压件(壳体、管板、端盖、换热管等)的强度应按中国船级社《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章以及本社指南的有关规定进行计算,或者按本社接受的适用标准进行计算。

5.3.2 热交换器壳体上连接短管的强度应按中国船级社《钢质海船入级规范》第3篇第2章以及本社指南的有关规定进行计算。

5.3.3 热交换器壳体上的焊接法兰连接型式应满足中国船级社《钢质海船入级规范》第3篇第2章的有关要求。

5.3.4 热交换器壳体上的开孔与加强应按中国船级社《钢质海船入级规范》第3篇第6章的有关规定进行计算。

5.3.5 热交换器管板的最小厚度应不小于 14mm。

5.3.6 对于其他型式热交换器，可参照 M03《热交换器》及适用标准要求。

## 5.4 焊接工艺评定

热交换器如采用焊接结构，则该焊接工艺需按照中国船级社《散装运输液化气体船舶构造设备规范》、《材料与焊接规范》及 CCS 接受的标准要求进行焊接工艺评定及批准。

## 6 原材料及零部件

6.1 产品原材料及零部件应按照我社现行规范相关要求进行控制；原材料及零部件主要包括换热器的壳体、管板、封头、芯组、换热板片、夹紧板、夹紧螺栓、联接短管等零部件。

6.2 对壳体、封头、芯组等受压零部件，应在装配前进行 100%的水压试验。

6.3 如 6.1 所述的零部件为外购时，申请方必须建立完善的对分包方质量进行控制的方法以确保质量，且必须提供材料质量证明书。

## 7 型式试验

### 7.1 典型样品的选取

7.1.1 初次认可时，所选典型样品的结构型式、设计压力、设计温度、换热面积、介质等应覆盖所认可的热交换器。一般应按照申请认可的每一系列产品按照最高设计压力、最大换热面积和设计压力/换热面积中间值的各选 1~2 台样机；如产品系列性能范围很窄，也可仅选择最高设计压力、最大换热面积的各 1 台样机或仅选取最高设计压力的 1 台样机。

7.1.2 重新认可时，可在每一系列产品中仅选取 1 个最具代表性的或市场需求量最大的型号作为样机。

## 7.2 型式试验项目

- (1) 外观检查
- (2) 主要零部件原材料理化性能试验
- (3) 焊接工艺评定
- (4) 焊接试板试验
- (5) 无损检测
- (6) 耐压试验
- (7) 泄漏试验
- (8) 荧光检验（适用时）
- (9) 干燥度测试（适用时）
- (10) 气阻试验

## 7.3 试验方法和技术要求

### 7.3.1 外观检查

焊接接头表面应按相关标准进行外观检查，不得有表面裂纹、未焊透，未熔合，表面气孔、弧坑、未填满、夹渣和飞溅物等缺陷。焊缝与母材应平滑过渡。角焊缝的外形应凹形圆滑过渡；壳体表面应修磨成光滑曲面；换热管及机加工后的管件和锻件上不得出现结疤、重皮、刻划等缺陷。

### 7.3.2 主要零部件原材料理化性能试验

热交换器壳体、端盖、热交换管/片、管板、夹紧螺栓和夹紧板等重要部件均需进行原材料理化性能试验，如采购的原材料或铸件系持有中国船级社产品证书的除外。换热管应下列试验：

- (1) 压扁试验：将管子压扁至内表面相碰，应无破损和裂纹；
- (2) 扩口试验：用 45° 夹角冲头将管子端部外径扩大 30%，应无破损和裂纹；
- (3) 拉力试验：在万能材料试验机上进行，应不低于材料标准的要求。

### 7.3.3 焊接试板试验

- (1) 每台热交换器都应制备产品焊接试板。试板的尺寸、试样的截取、检验项目、试验方法以及合格指标等，均按《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 6 章及适用标准的规定；
- (2) 产品焊接试板，应进行焊接接头金属及热影响区的低温夏比（V 形缺口）冲击试验，其冲击试验温度和合格指标按《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 6 章及适用标准的规定；
- (3) 热交换器的不同温度段由不同钢材组成时，则应分别制备产品焊接试板。

### 7.3.4 无损检测

焊缝应按适用规范和指南或本社接受的标准要求进行无损检测。

### 7.3.5 耐压试验

组装完工的热交换器的所有压力腔均应进行液压试验，试验压力应为设计压力的 1.5 倍，试验时间为 30min,试验介质和试验方法应按照本社接受的标准要求进行,液压试验过程中，热交换器应无渗漏，无可见变形和异常声响。如采用气压试验，则参照本社接受的标准进行。

### 7.3.6 泄漏试验

- (1) 热交换器经耐压试验合格，所有压力腔干燥合格后进行方可进行泄漏试验,试验时间不少于 15min；
- (2) 泄漏试验包括气密性试验、氨检漏试验、卤素检漏试验和氦检漏试验；

- (3) 气密性试验应采用干燥无油洁净的空气、氮气或惰性气体作为试验介质；
- (4) 气密性试验压力为热交换器的设计压力；
- (5) 试验时压力应缓慢上升，达到规定压力后保持足够长的时间，对所有焊接接头部位进行泄露检查，小型热交换器可浸入水中检查；
- (6) 试验过程中，无泄漏为合格；
- (7) 气密性试验的其他要求按相关标准规定；
- (8) 在铝制板翅式热交换器设计图样上有要求时需进行氦质谱检漏，泄漏率应根据热交换器的技术参数、工质类别、纯度要求等，由设计者计算确定并标注于设计图样中。氦质谱检漏应符合以下规定：
  - ① 氦质谱检漏应在强度、气密性检验和干燥合格后进行；
  - ② 氦质谱检漏试验设备应选用合适精度的氦质谱检漏仪，并用标准漏孔定期对设备进行校准；
  - ③ 检测时氦气浓度不低于 20%；
  - ④ 外漏检测：将氦气罩（可用塑料薄膜制作）套在被测工件上，排除罩内的空气并向罩内充入氦气，被测通道抽真空至仪器的工作真空度，根据氦质谱检漏仪的读数，检测该通道内微量氦气的泄漏值；
  - ⑤ 内漏检测：被测通道抽真空至仪器的工作真空度，向被测通道的相邻通道充入氦气，压力不低于 0.1MPa，根据氦质谱检漏仪的读数，检测该通道内微量氦气的泄漏值；
  - ⑥ 热交换器允许漏率应满足设计图样要求。

### 7.3.7 荧光检验（适用时）

- (1) 热交换器设计图样上或合同规定时，需进行本项试验；
- (2) 荧光检验采用波长为 3200 A~4000 A 紫外线对该通道封头下面的

热交换器表面、封头及接管的内侧进行。

#### 7.3.8 干燥度测试（适用时）

- (1) 热交换器设计图样或合同规定时，需进行本项试验；
- (2) 干燥度测试应按 NB/T47006 附录 H 的规定进行。

#### 7.3.9 气阻试验

按设计图样的要求对热交换器有关通道进行气阻试验。试验条件和要求按 NBT47006 7.7.4 条规定。换热交换器阻力差允许值应通过计算确定。

### 8 单件/单批检验

8.1 签发船用产品证书的检验应在制造厂业已完成规定的检验/试验并合格已达到可交付状态的情况下进行。验船师应按照每批/每规格 5% 的比例抽验（不得少于 1 台）。

#### 8.2 对获得中国船级社型式认可的制造厂的产品单件/单批检验

- (1) 审核主要零部件原物理性能试验报告
- (2) 外观检查
- (3) 无损检测
- (4) 耐压试验
- (5) 泄漏试验
- (6) 荧光检验（适用时）
- (7) 干燥度测试（适用时）

8.3 在热交换器的认可/检验过程中，除执行本指南有关规定以外，还应参照本社《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章的具体要求。