

ICS 27.020

CCS J 92

团 体 标 准

T/CSICE 053-2025

船用碳捕集系统化学吸收法技术规范

Technical specification for chemical absorption method of onboard
carbon capture system

2025-12-26 发布

2025-12-26 实施

中国内燃机学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	1
4 设计要求	2
4.1 结构和组成	2
4.2 一般规定	3
4.3 吸收装置	3
4.4 解吸装置	4
4.5 二氧化碳压缩单元	4
4.6 二氧化碳液化存储单元	4
4.7 电控系统	4
4.8 辅助设备	5
5 技术要求	5
5.1 材料	5
5.2 外观	5
5.3 捕集性能	6
5.4 组装	6
5.5 密性	6
5.6 安全性	6
5.7 监测和控制	6
5.8 环境适应性	6
6 检验方法	6
6.1 材料	7
6.2 外观	7
6.3 捕集性能	7
6.4 组装	7
6.5 密性	7
6.6 安全性	7
6.7 监测和控制	8
6.8 环境适应性	8
7 检验规则	8
7.1 检验分类	8
7.2 型式检验	8

- 7.3 出厂检验 9
- 8 标志、包装、运输、贮存 9
 - 8.1 标志 9
 - 8.2 包装 10
 - 8.3 运输 10
 - 8.4 贮存 10

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：中船动力（集团）有限公司、中船动力研究院有限公司、杭州海的动力机械股份有限公司、中国船级社。

本文件主要起草人：陈瑞侃、李鸣祺、睢成、郭江峰、田新娜、李圣军、郁文强、顾成勇、曾定军、戴群。

本文件于2025年首次发布。

船用碳捕集系统化学吸收法技术规范

1 范围

本文件规定了船用碳捕集系统的结构和组成、设计、要求、检验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存。

本文件适用于采用化学吸收法并且使用有机胺溶液作为吸收剂的处理船用柴油机废气的船用碳捕集系统，使用其他类型吸收剂的船用碳捕集系统可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 150.2 压力容器 第2部分：材料

GB/T 150.4 压力容器 第4部分：制造、检验和验收

GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 2423.17 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾

GB/T 2423.34 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Z/AD：温度/湿度组合循环试验

GB/T 3323.2 焊缝无损检测 射线检测 第2部分 使用数字化探测器的X和伽玛射线技术

GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分 总则

GB/T 20801.5 压力管道规范 工业管道 第5部分：检验与试验

GB/T 25150 工业设备化学清洗中奥氏体不锈钢钝化膜质量的测试方法 蓝点法

GB/T 25357 石油、石化及天然气工业流程用容积式回转压缩机

GB/T 32259 焊缝无损检验 熔焊接头目视检测

GB/T 45121 火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范

ISO 8501-1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分（Preparation of steel substrates before application of paints and related products—Visual assessment of surface cleanliness—Part 1）

《钢质海船入级规范2025》 中国船级社

3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船用碳捕集系统 onboard carbon capture system

从船舶燃烧、动力装置废气中捕集气态二氧化碳的系统，该系统可包含捕集后二氧化碳的液化存储系统。

3.2

废气冷却装置 exhaust gas cooler

在二氧化碳吸收装置中通过预洗涤或换热器等方式冷却废气，使其满足系统运行的温度要求。

3.3

再沸器 reboiler

用于加热有机胺溶液使其达到解吸温度以释放溶液中被吸收的气体的热交换器。

3.4

有机胺溶液 organic amine solution

由有机胺类化合物（如一乙醇胺、二乙醇胺等）溶解于溶剂中形成的弱碱性溶液。

3.5

气液分离器 gas-liquid separator

用于从捕集后的二氧化碳气体中分离去除液体的设备。

3.6

二氧化碳储存单元 carbon dioxide storage unit

安装在船上存储液体二氧化碳的压力容器。

3.7

系统吸收能力 system absorption capacity

在额定负荷下废气通过二氧化碳吸收装置前后的二氧化碳体积浓度差值与通过吸收装置前的二氧化碳体积浓度比值。

3.8

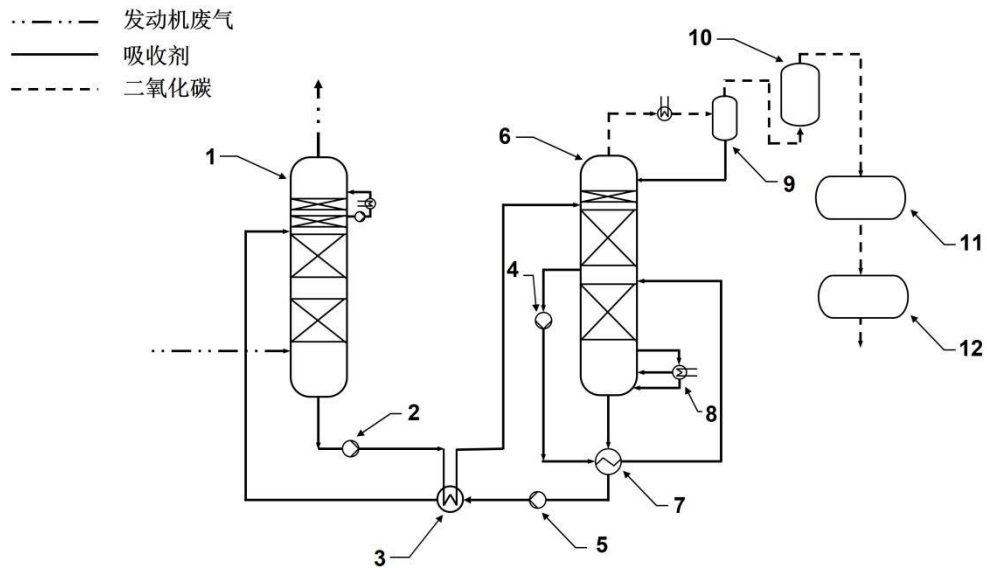
捕集能耗 capture energy consumption

系统每捕集并保存一吨液态二氧化碳所需要的能耗，用GJ/t·CO₂表示。

4 设计要求

4.1 结构和组成

船用碳捕集系统包括二氧化碳吸收单元（包括吸收塔、富胺液输送泵、贫富胺液换热器等）、二氧化碳解吸单元（包括解吸塔、半贫胺液循环泵、贫胺液输送泵、贫富胺液换热器、再沸器、气液分离罐等）、二氧化碳压缩单元、二氧化碳液化单元、二氧化碳存储单元等，如图 1 所示。



标引序号说明：

- 1——吸收塔；
- 2——富胺液输送泵；
- 3——贫富胺液换热器；
- 4——半贫胺液循环泵；
- 5——贫胺液输送泵；
- 6——解吸塔；
- 7——贫富胺液换热器；
- 8——再沸器；
- 9——气液分离罐；
- 10——二氧化碳压缩单元；
- 11——二氧化碳液化单元；
- 12——二氧化碳存储单元。

图 1 船用碳捕集系统

4.2 一般规定

- 4.2.1 系统设计应明确适配的发动机功率范围，宜覆盖适配发动机 25%~100% 负荷功率，并在系统技术文件中注明适配功率区间。
- 4.2.2 系统的废气处理能力应不低于适配发动机满负荷运行时的废气量，处理废气的二氧化碳浓度范围宜为 3.5%~10%。
- 4.2.3 系统在达到额定废气处理量时所产生的压损应满足发动机、锅炉等燃烧装置的要求。
- 4.2.4 系统中使用的有机胺溶液不应以任何方式直接排放。
- 4.2.5 系统中使用或处理有机胺溶液的任何设备应提供承滴盘，承滴盘应安装泄放管，泄放管通向适当储罐，可设置有机胺漏液罐或直接溢流至有机胺残渣柜。
- 4.2.6 系统中的废气冷却装置宜采用喷淋洗涤方式冷却。
- 4.2.7 系统发生故障时，应能及时开启旁通阀并切断连接。

4.3 吸收装置

- 4.3.1 应配置液位监测装置，提供及时报警和停机的信号。
- 4.3.2 应能承受船舶设计工况下可能遇到的载荷，包括船舶摇摆产生的动态载荷。
- 4.3.3 应确保其压损和适用温度不超过规定的允许值。

4.4 解吸装置

- 4.4.1 有安全措施防止解吸装置高温和高压带来的风险，以及在设备运行和维护过程中对操作人员和环境的影响。
- 4.4.2 应配置液位检测装置，提供及时报警和停机的信号。
- 4.4.3 应能承受船舶设计工况下可能遇到的载荷，包括船舶摇摆产生的动态载荷。

4.5 二氧化碳压缩单元

- 4.5.1 二氧化碳压缩单元宜采用容积式压缩机，压缩机设计应符合 GB/T 25357 的要求。
- 4.5.2 应配备监控系统、报警系统和安全装置。
- 4.5.3 应具备本地和远程以及紧急停止操作。
- 4.5.4 排放口应设有溢流阀或过压保护装置。
- 4.5.5 排气侧应设置压力表，对排气压力进行监控。

4.6 二氧化碳液化存储单元

- 4.6.1 二氧化碳存储单元的设计应满足入级船级社的适用要求。
- 4.6.2 二氧化碳存储、减压、控制和监测系统的设计应考虑到液体二氧化碳的形态、含水量和预期的杂质，并考虑杂质对二氧化碳的“三相点”温度和压强的影响。
- 4.6.3 二氧化碳储罐进出口管道应设置可远程和就近操作的切断阀，且应设置泄放口以排出罐内可能产生的冷凝水，泄放管路上应设置切断阀。
- 4.6.4 罐体应开设有检修人孔。
- 4.6.5 罐体应设置排污泄放口。
- 4.6.6 所有二氧化碳储罐都应配备与其设计相符的泄压系统。
- 4.6.7 每个二氧化碳储罐应配备指示二氧化碳液位、压力和温度的仪表。
- 4.6.8 每个二氧化碳储罐应配备至少两个用于指示温度的装置，一个位于二氧化碳储罐的底部，另一个靠近储罐的顶部，低于最高允许的液位。二氧化碳储罐所设计的最低温度应在温度指示装置上或附近的标志清楚地指示。
- 4.6.9 若二氧化碳的储存和卸载是通过远程控制的阀门和泵进行的，则与给定的二氧化碳储罐相关的所有控制和指示器都应设置在同一个控制位置。
- 4.6.10 每个二氧化碳储罐都应配备液位测量装置。
- 4.6.11 每个二氧化碳储罐都应装有高液位报警装置，独立于任何液位指示器运行，并在激活时发出声光警告。
- 4.6.12 每个二氧化碳储罐都应配有调节压力作用的释放阀。
- 4.6.13 每个二氧化碳储罐都应设有压力高报警装置。
- 4.6.14 如果二氧化碳储罐位于封闭空间中，则用于二氧化碳储罐位置的空间需持续监测二氧化碳的累积，应配备有二氧化碳浓度和氧气浓度的监测，二氧化碳体积浓度高于 0.5% 时监测设备应触发报警，氧气体积浓度低于 19.5% 时监测设备应触发报警。

4.7 电控系统

- 4.7.1 电控系统电子设备的设计、制造、检验，包括软件设计，应满足入级船级社的适用要求。

4.7.2 碳捕集电控系统的控制方案应充分考虑船上发动机、锅炉等燃烧装置的实际运行工况。

4.8 辅助设备

4.8.1 碳捕集系统应设置旁通结构。旁通结构应至少包括排气管的旁通管路、阀件和旁通状态指示器等。

4.8.2 旁通管路上的阀应能就地手动开启和关闭。

4.8.3 旁通结构的设计应能防止因为误操作导致碳捕集系统吸收装置通道和旁通管路同时关闭情况。应能实现在其中一路打开后，另一路才能关闭。

4.8.4 旁通时，应有联锁功能使碳捕集系统保持停止工作状态，且不能启动。

4.8.5 应采取足够措施防止废气冷却水和有机胺溶液从废气冷却装置和二氧化碳吸收装置反向流回船舶燃烧装置，如发动机、锅炉等。

4.8.6 有机胺储罐的容量应能满足碳捕集系统所需有机胺的消耗量。

4.8.7 供给泵应有合适的流量范围，应覆盖有机胺溶液供给的流量及压力范围，喷淋母管路需安装流量计。

4.8.8 供液管路应明确供给泵与储存罐和分布器的最大允许相对高度、各段供液管路的最大允许长度及其他船上安装要求。

4.8.9 吸收剂存储罐及吸收剂供应管线可能发生泄漏的位置应设置承滴盘。承滴盘应设有泄放装置和报警装置，泄放管路上应安装止回阀；或者作为替代，设有泄漏监测装置及快速关闭阀。采用该设计布置时，承滴盘的容量应能足够容纳可能的泄漏。

4.8.10 再沸器通过热源将吸收二氧化碳后的有机胺溶液加热到合适的温度，以解吸有机胺溶液中的二氧化碳。

4.8.11 再沸器主要部件材料应考虑适用的温度、压力及介质，应满足入级船级社的适用要求。

4.8.12 应有安全措施保护再沸器不会因超压而损坏。

4.8.13 再沸器壳体以及管程上设置液位计，再沸器进出口管道设置压力和温度测量装置。

4.8.14 设备接口应有足够的刚度和强度，能承受较大的外部接管的作用力。

4.8.15 再沸器应提供全部固定保温层和必要的排空疏放接口。

4.8.16 有机胺溶液处理装置及其部件如可能超压，应设有合适的压力泄放装置。

4.8.17 过滤器的安装和布置应保证当进行清洗或更换时，不会中断碳捕集系统的正常运行。

4.8.18 经处理后的有机胺溶液浑浊度/悬浮颗粒物应满足系统使用要求。

4.8.19 对碳捕集系统连续运行重要的泵，应冗余配置。

5 技术要求

5.1 材料

5.1.1 应符合 GB/T 150.2 和《钢质海船入级规范 2025》中对材料的要求。

5.1.2 系统所使用材料应考虑在设计温度和设计压力下的耐腐蚀性、耐高温性，宜选择 304L 不锈钢或更高等级的材料。

5.1.3 密封材料应具有耐化学性，如聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、乙烯四氟乙烯等。

5.2 外观

5.2.1 对焊缝进行目观检查、无损探伤检验，对部件内、外表面的钝化膜进行蓝点检查，钝化后应呈均匀的银白色，内外表面应平整、光滑、清洁、无锈蚀，不应有起泡和剥落等缺陷。

5.2.2 各类阀门和管路应标明介质类型、流向，截止阀应标明开启和关闭方向。

5.3 捕集性能

5.3.1 船用碳捕集系统的吸收能力不宜低于 70%。

5.3.2 船用碳捕集系统的捕集能耗不宜高于 3.5 GJ/t·CO₂。

5.4 组装

5.4.1 组装前应清洗所有零部件，管路应清除焊渣，清洗后应进行防锈处理。

5.4.2 船用碳捕集系统所有零部件应具有合格证，泵、换热器、阀门及传感器应有相关船级社证书。

5.5 密性

5.5.1 船用碳捕集系统应符合密性要求，气密试验在 0.3 MPa 压力下保压 30 min，各管路、设备、法兰连接处应无渗漏。

5.5.2 液压试验在 1.25 倍设计压力条件下保压 30 min，压力容器无渗漏，无可见的变形和异常声响。

5.6 安全性

5.6.1 船用碳捕集系统应设有本地及远程（必要时）紧急切断装置（ESD），触发报警时，应能关闭船用碳捕集系统。

5.6.2 安装在危险区域部分的设备应为合格防爆型设备，且防爆等级不应低于 IIBT2。

5.6.3 设备应满足不低于 IP55 防护等级要求。

5.6.4 电气设备符合的标准应至少等效于船级社接受的标准。

5.7 监测和控制

5.7.1 遥测

远程测量压力、温度、流量，信号接收值与实际值间偏差应小于 ±5%。

5.7.2 遥信

远程提供信号，包括压力、压差、温度、流量、液位等，提供信号应准确无误。

5.7.3 遥控

系统开/关机、调节阀门开度、调节泵启停。遥测、遥信的数据应同步更新。

5.8 环境适应性

5.8.1 船用碳捕集系统应能在下列环境条件下正常工作。

a) 倾斜摇摆：在横摇 ±22.5°；纵摇 ±7.5°；横倾 ±15°；纵倾 ±5°。

b) 盐雾及湿热：GB/T 2423.17 和 GB/T 2423.34 环境试验相关要求。

c) 振动：1 Hz~60 Hz 的环境振动频率，其中频率范围在 1 Hz~16 Hz 时，位移幅度值为 0.75 mm；频率范围在 16 Hz~60 Hz 时，加速度值为 7 m/s²。

6 检验方法

6.1 材料

查验船用碳捕集系统材料及其证明材料，按照 GB/T 150.2 和《钢质海船入级规范 2025》进行检验。

6.2 外观

6.2.1 焊缝按照 GB/T 32259 进行目观检查，按照标准 GB/T 18851.1、GB/T 3323.2 进行无损探伤检验，部件的内、外表面按照 GB/T 25150 对钝化膜进行蓝点检查。

6.2.2 确认系统上的警示标签、压力标识、流向箭头清晰可见且未被遮挡。

6.3 捕集性能

6.3.1 船用碳捕集系统的吸收能力根据公式（1）计算。

$$\tau = 1 - \frac{I_2}{1-I_2} \times \frac{1-I_1}{I_1} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

τ ——二氧化碳吸收能力，无量纲；

I_1 ——二氧化碳吸收单元进料气二氧化碳的浓度，单位为体积百分比（vol%）；

I_2 ——二氧化碳吸收单元排气二氧化碳的浓度，单位为体积百分比（vol%）。

6.3.2 船用碳捕集系统的捕集能耗根据以下方式计算。

a) 通过计算解吸富胺溶液所需的热量得到所需再沸器功率，根据公式（2）计算解吸热量 Q 。

$$Q = C \times m \times \Delta t \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Q ——解吸热量，单位为千焦每小时（kJ/h）；

C ——胺液比热容，单位为千焦每千克开尔文（kJ/(kg·K)）；

M ——胺液流量，单位为千克每小时（kJ/h）；

Δt ——胺液进出口温度的差值，单位为开尔文（K）。

b) 捕集能耗（ E ）根据公式（3）计算。

$$E = \frac{Q}{P} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

E ——捕集能耗，单位为吉焦每吨二氧化碳（GJ/tCO₂）；

P ——解吸后的二氧化碳质量流量得到，单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

6.4 组装

6.4.1 根据 ISO 8501—1 批准评定表面清洁度。

6.4.2 查验产品合格证及泵、换热器、阀门、传感器的船级社认证证书。

6.5 密性

6.5.1 船用碳捕集系统在组装完成后，应在设计温度下检查密封性。气压试验介质可为压缩空气或氮气，试验压力 0.3 MPa，按照 GB/T 20801.5 进行检验。

6.5.2 液压试验介质可为水，试验压力为设计压力的 1.25 倍，按照 GB/T 150.4 进行检验。

6.6 安全性

6.6.1 根据系统信号交互清单和报警清单开展 ESD 试验，通过手动触发 ESD 装置或模拟超限信号触发报警，ESD 触发后观察系统安保连锁状态，验证 ESD 与主控系统的通讯逻辑。

- 6.6.2 查验防爆型设备的防爆等级证书。
- 6.6.3 查验接线箱及控制箱防护等级证书。
- 6.6.4 查验电气设备出厂报告或证书。

6.7 监测和控制

6.7.1 遥测

模拟被测设备输出标准信号，目视检查接收值与实际值的误差。

6.7.2 遥信

人工触发开关量输入，目视检查接收信号。

6.7.3 遥控

发出遥控命令，目视检查遥测、遥信数据更新状态。

6.8 环境适应性

- 6.8.1 进行模拟摇摆试验，摇摆试验应连续运转 2h。
- 6.8.2 按照 GB/T 2423.17 和 GB/T 2423.34 进行盐雾、湿热试验。
- 6.8.3 按照 GB/T 2423.10 进行抗振动试验。

7 检验规则

7.1 检验分类

本文件规定的检验为型式检验和出厂检验。

7.2 型式检验

7.2.1 检验时机

船用碳捕集系统应在下列时机进行型式检验：

- a) 新设计或重大改进；
- b) 产品材料、结构、工艺有较大改变；
- c) 转厂生产的首制产品；
- d) 国家质量监督部门提出的要求。

7.2.2 样品数量

型式检验的船用碳捕集系统样品数量为一套。

7.2.3 检验项目

船用碳捕集系统型式检验的项目见表 1。

表1 检验项目表

序号	检验项目	检验类别		要求章条号	检验方法章条号
		型式检验	出厂检验		
1	材料	●	●	5.1	6.1
2	外观	●	●	5.2	6.2
3	捕集性能	●	○	5.3	6.3
4	组装	●	●	5.4	6.4
5	密性	●	●	5.5	6.5
6	安全性	●	○	5.6	6.6
7	监测和控制	●	○	5.7	6.7
8	环境适应性	●	○	5.8	6.8

注：●为必检项目；○为协商检验项目。

7.2.4 合格判据

当所有检验项目均符合要求时，则判定型式检验合格。若有一项不符合要求时，允许采取纠正措施并对不符合要求项目重新检验；若检验项目多于一项不符合要求或整改一次仍不符合要求，则判定型式检验不合格。

7.3 出厂检验

7.3.1 样品数量

每套船用碳捕集系统均应进行出厂检验。

7.3.2 检验项目

出厂检验的项目见表1。

7.3.3 合格判据

当所有检验项目均符合要求时，则判定出厂检验合格。若有一项不符合要求时，允许采取纠正措施并对不符合要求项目重新检验；若整改一次仍不符合要求，则判定出厂检验不合格。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

每套船用碳捕集系统应在醒目的部位设置铭牌。铭牌应标明下列信息：

- a) 产品名称；
- b) 型号；
- c) 重量；
- d) 出厂日期、编号；
- e) 制造厂名称；
- f) 船检标记。

8.2 包装

8.2.1 包装箱宜采用木板箱或三防布内衬塑料薄膜的方式进行包装。箱体应采取加固措施。

8.2.2 包装箱内应具有装箱清单。

8.3 运输

运输过程中，应对包装箱采取固定措施，并有防雨淋和溅水措施。

8.4 贮存

系统中设备应贮存于清洁、通风、干燥、无腐蚀物质的仓库内。
