

团 体 标 准

T/CSNAME 222—2026

船载碳捕集系统吸收解吸性能计算方法

Calculation method for absorption and desorption performance of onboard carbon capture system

2026 - 10 - 10 发布

2027 - 01 - 10 实施

中国造船工程学会 发 布

中国造船工程



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。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：中船动力（集团）有限公司、中国船舶集团有限公司第七〇四研究所、中船动力研究院有限公司、沪东重机有限公司。

本文件主要起草人：郭江峰、陈瑞侃、顾韞辉、姚金果、李林佳、盛伟群、任华蕊。



中国造船工



船载碳捕集系统吸收解吸性能计算方法

1 范围

本文件规定了船载碳捕集系统吸收和解吸工段的性能指标计算方法。

本文件适用于评定采用化学吸收法，并且采用有机胺类溶液作为吸收剂的船载碳捕集系统的吸收解吸性能评定，采用其它类型吸收剂或吸收方法的船载碳捕集系统可参照执行。

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 10628 气体分析 校准混合气组成的测定和校验比较法

GB/T 23938 高纯二氧化碳

《船舶应用碳捕集系统指南（2023）》，中国船级社

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船载碳捕集系统 onboard carbon capture system, OCGS
从船舶燃烧装置排气中捕集气态二氧化碳的系统。

3.2

船载碳捕集系统吸收工段 absorption section of onboard carbon capture system
从船舶燃烧装置排气中选择性捕集二氧化碳的工段。

3.3

船载碳捕集系统解吸工段 desorption section of onboard carbon capture system
将富含二氧化碳的有机胺溶液升温解吸出二氧化碳的工段。

3.4

吸收效率 absorption efficiency
船载碳捕集系统进气与排气中二氧化碳浓度的相对变化。

3.5

解吸二氧化碳纯度 purity of desorbed carbon dioxide
从解吸工段产出、并经气液分离后（如有）的气体中，二氧化碳组分的体积分数。

3.6

吸收解吸工段二氧化碳净捕集率 carbon dioxide net reduction rate in the absorption and desorption section

单位时间内，船载碳捕集系统捕集的二氧化碳质量流量（干基）与全船所有燃烧装置源排二氧化碳排放的质量流量和吸收解吸工段单位时间内额外引入全船二氧化碳排放的质量流量之和的比值，以百分比表示。

3.7

吸收解吸比能耗 specific energy consumption of absorption and desorption
每吸收并解吸一吨二氧化碳，船载碳捕集系统额外引入的能耗，通常用GJ/tCO₂表示。

3.8

吸收剂比循环量 specific circulation volume of absorbent
在化学吸收过程中，系统每捕集一吨二氧化碳所需的吸收剂的循环量，用t_{absorbent}/tCO₂表示。

3.9

吸收性能劣化率 degradation rate of absorption performance

船载碳捕集系统在额定进气量、额定进气二氧化碳浓度、吸收剂循环量及解吸能量输入的前提下，随着系统累计二氧化碳捕集量的增加，系统对二氧化碳的吸收效率下降的比率。

3.10

解吸性能劣化率 degradation rate of desorption performance

船载碳捕集系统在额定进气量、额定进气二氧化碳浓度且维持目标捕集效率不变的前提下，随着系统累计二氧化碳捕集量的增加，系统每捕集一吨二氧化碳所需解吸能耗上升的比率。

4 基础参数计算

4.1 单位时间内额外二氧化碳排放的质量流量总和

4.1.1 船载碳捕集系统用电能设备

当电能来自发电机时，则用电能设备的二氧化碳排放单位时间内的质量流量根据公式（1）计算：

$$q_{CO_2^E} = \frac{P_{OCCS}^E}{\sum P_{E,j}} \times \sum_j \left(\frac{3.6 \times P_{E,j}}{1000 \times \eta_{E,j} \times LHV_{E,j}} \times CEF_j \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$q_{CO_2^E}$ ——船载碳捕集系统用电能设备，单位时间内额外二氧化碳排放的质量流量总和，单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

P_{OCCS}^E ——船载碳捕集系统吸收解吸工段的总用电功率，单位为千瓦（kW）。

j ——代表每一台正在发电的机组。

$P_{E,j}$ ——第 j 台发电机组的输出功率，单位为千瓦（kW）。

$\eta_{E,j}$ ——第 j 台发电机组的发电效率，宜采用发电机组制造商提供的，在对应负荷下的发电效率进行计算，无量纲。

$LHV_{E,j}$ ——第 j 台发电机组所用燃料的低热值，单位为兆焦每千克（MJ/kg）。

CEF_j ——第 j 台发电机组所用燃料的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨燃料（tCO₂/t_{fuel}）。

4.1.2 船载碳捕集系统用热能设备

当热能来自锅炉或再沸器时，则用热能设备的二氧化碳排放单位时间内的质量流量总和根据公式（2）计算：

$$q_{CO_2^H} = \frac{P_{OCCS}^H}{\sum P_{H,j}} \times \sum_j \left(\frac{3.6 \times P_{H,j}}{1000 \times \eta_{H,j} \times LHV_{H,j}} \times CEF_j \right) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$q_{CO_2^H}$ ——船载碳捕集系统用热能设备，单位时间内额外二氧化碳排放的质量流量总和，单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

P_{OCCS}^H ——船载碳捕集系统吸收解吸工段的总用热功率，单位为千瓦（kW）。

j ——代表不同的提供热能的设备。

$P_{H,j}$ ——第 j 个热源提供给OCCS的功率，单位为千瓦（kW）。

$\eta_{H,j}$ ——第 j 个热源的产热效率（如辅助锅炉），宜采用设备制造商提供的额定工况下的热效率，无量纲。

$LHV_{H,j}$ ——第 j 个热源所用燃料的低热值，单位为兆焦每千克（MJ/kg）。

CEF_j ——第 j 个热源所用燃料的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨燃料（tCO₂/t_{fuel}）。

4.1.3 吸收解吸工段单位时间内额外引入全船二氧化碳排放的质量流量

吸收解吸工段单位时间内额外引入全船二氧化碳排放的质量流量根据公式（3）计算：

$$Exh_{OCCS} = q_{CO_2^E} + q_{CO_2^H} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Exh_{OCCS} ——吸收解吸工段单位时间内额外引入全船二氧化碳排放的质量流量，单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

$q_{CO_2^E}$ ——船载碳捕集系统用电能设备,单位时间内额外二氧化碳排放的质量流量总和,单位为吨二氧化碳每小时(tCO₂/h)。

$q_{CO_2^H}$ ——船载碳捕集系统用热能设备,单位时间内额外二氧化碳排放的质量流量总和,单位为吨二氧化碳每小时(tCO₂/h)。

4.2 单位时间内二氧化碳排放的质量流量

4.2.1 未安装船载碳捕集系统

单位时间内全船所有燃烧装置在未安装船载碳捕集系统时的二氧化碳排放的质量流量应参照燃烧装置(如主机、辅机及辅助锅炉等)台架试验的排放报告、碳平衡计算报告等出场检验材料。

4.2.2 安装船载碳捕集系统

解吸后的二氧化碳气体通常含有水蒸气(湿基),需通过道尔顿分压定律及理想气体状态方程,将工作状态下的湿基体积流量折算为标准状态下的干基体积流量,再结合干基二氧化碳纯度和标准状态下纯二氧化碳气体的密度计算其质量流量。解吸塔后(图1,C点)系统捕集的二氧化碳质量流量根据公式(4)计算:

$$Exh_{Red} = q_{CO_2 Captured} \cdot \frac{P - P_v}{P_n} \cdot \frac{T_n}{T} \cdot Purity_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2} \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

Exh_{Red} ——单位时间内船载碳捕集系统捕集的二氧化碳质量流量(干基),单位为吨二氧化碳每小时(tCO₂/h)。

$q_{CO_2 Captured}$ ——解吸二氧化碳的体积流量(湿基),单位为千克二氧化碳每小时(m³/h)。

P ——流量计所在管道处实测的绝对压力,单位为千帕(kPa)。

P_v ——流量计所在管道处实测的气体温度T下,饱和水蒸气的分压力,单位为千帕(kPa)。

注:查阅水蒸气热力学性质表获得。

P_n ——标准状态下的绝对压力,取101.325 kPa。

T ——流量计所在管道处实测的气体温度T,单位为开尔文(K)。

T_n ——标准状态下的绝对温度,取 273.15 K。

$Purity_{CO_2}$ ——经气体分析仪测得的解吸二氧化碳纯度(干基),无量纲。

ρ_{CO_2} ——标准状态下纯二氧化碳气体的密度,取1.964 kg/m³。

4.3 解吸比能耗

通过测量输入热源的焓降来计算(以采用蒸汽作为加热热源为例),根据公式(5)计算解吸热量:

$$Q = \frac{q_{steam} \cdot (h_{in} - h_{out})}{Exh_{Red}} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q ——解吸比能耗,单位为吉焦每吨二氧化碳(GJ/tCO₂)。

q_{steam} ——单位时间内进入解吸工段的蒸汽质量流量,单位为吨每小时(t/h)。

h_{in} ——进入解吸工段时蒸汽的比焓,单位为吉焦每吨(GJ/t)。

注:根据实测温压查蒸汽表获得。

h_{out} ——离开解吸工段时冷凝水的比焓,单位为吉焦每吨(GJ/t)。

注:根据实测温压查蒸汽表获得。

Exh_{Red} ——单位时间内船载碳捕集系统捕集的二氧化碳质量流量(干基),单位为吨二氧化碳每小时(tCO₂/h)。

5 吸收解吸工段性能计算

5.1 吸收性能

通过比较吸收塔后排气二氧化碳浓度与吸收塔前进气二氧化碳浓度的比率,根据公式(6)计算:

$$\tau = 1 - \frac{I_2}{1 - I_2} \times \frac{1 - I_1}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中:

τ ——二氧化碳吸收效率，无量纲。

I_1 ——二氧化碳吸收单元进料气二氧化碳的体积浓度，无量纲。

I_2 ——二氧化碳吸收单元排气二氧化碳的体积浓度，无量纲。

5.2 吸收解吸工段二氧化碳净捕集率

根据公式（7）计算：

$$\tau_{Net} = \frac{Exh_{Red}}{Exh_{W/O\ OCCS} + Exh_{OCCS}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

τ_{Net} ——二氧化碳净捕集率，无量纲。

$Exh_{W/O\ OCCS}$ ——单位时间内全船所有燃烧装置在未安装船载碳捕集系统时的二氧化碳排放的质量流量，单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

Exh_{OCCS} ——单位时间内吸收解吸工段额外引入全船二氧化碳排放的质量流量，单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

Exh_{Red} ——单位时间内船载碳捕集系统捕集的二氧化碳质量流量（干基），单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

5.3 吸收剂比循环量

进入吸收塔的吸收剂贫胺液，测量其用量的流量计应安装在吸收塔上端液相进口前，以流量计示数作为吸收剂用量，在规定温度范围内应当有吸收剂密度对照表，计算后可得吸收剂质量用量；其与OCCS捕集的二氧化碳质量流量的比值系指吸收剂比用量，根据公式（8）计算：

$$SAC = \frac{\rho_{absorbent} \times q_{absorbent} / 1000}{Exh_{Red}} \quad (8)$$

式中：

SAC ——吸收剂比用量，单位为（t_{absorbent}/tCO₂）。

$q_{absorbent}$ ——单位时间内进入吸收塔的吸收剂贫胺液的体积流量，单位为立方吸收剂每小时（m³_{absorbent}/h）。

$\rho_{absorbent}$ ——进入吸收塔的吸收剂贫胺液的对密度，单位为千克每立方（kg/m³）。

Exh_{Red} ——单位时间内船载碳捕集系统捕集的二氧化碳质量流量（干基），单位为吨二氧化碳每小时（tCO₂/h）。

5.4 吸收剂吸收性能劣化率

吸收剂吸收性能劣化率，以百分比表示，根据公式（9）计算：

$$\gamma_{abs} = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

γ_{abs} ——吸收剂吸收性能劣化率，无量纲。

τ_1 ——系统在额定进气量、额定进气二氧化碳浓度、吸收剂循环量及解吸能量输入，初始状态下二氧化碳的吸收效率，无量纲。

τ_2 ——系统在额定进气量、额定进气二氧化碳浓度、吸收剂循环量及解吸能量输入，运行一段时间后二氧化碳的吸收效率，无量纲。

5.5 解吸二氧化碳纯度

解吸二氧化碳纯度应符合GB/T 10628的规定，采样方案及测试结果计量方式按GB/T 23938的规定执行。

5.6 吸收剂解吸性能劣化率

吸收剂解吸性能劣化率，以百分比表示，根据公式（10）计算：

$$\gamma_{des} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

γ_{des} ——吸收剂解吸性能劣化率，无量纲。

Q_1 ——系统在额定进气量、额定进气二氧化碳浓度、目标捕集效率，初始状态下解吸比能耗，单位为吉焦每吨二氧化碳（GJ/tCO₂）。

Q_2 ——系统在额定进气量、额定进气二氧化碳浓度且维持目标捕集效率不变，运行一段时间后解吸比能耗，单位为吉焦每吨二氧化碳（GJ/tCO₂）。

6 计算示例

计算示例见附录A。



附录 A

(资料性)

船载碳捕集系统吸收解吸性能计算示例

A.1 主机数据

主机数据见表A.1。

表A.1 主机数据

类别	主机型号	主机制造厂	主机额定功率 kW	主机额定转速	主机85%负荷二氧化碳排放量 kg/h
数据	/	/	8000	/	2494

A.2 辅机数据

辅机数据见表A.2。

表A.2 辅机数据

类别	辅机型号	辅机制造厂	辅机额定功率 kW	辅机额定转速	辅机85%负荷二氧化碳排放量 kg/h
数据	/	/	960	/	378

A.3 船载碳捕集系统数据

船载碳捕集系统数据如下：

- 二氧化碳吸收单元进料气标态体积流量：5840 Nm³/h，干基；
- 二氧化碳吸收单元进料气二氧化碳的体积浓度(I_1)：0.0416，干基；
- 二氧化碳吸收单元排气气二氧化碳的体积浓度(I_2)：0.00431，干基；
- 船载碳捕集吸收解吸工段的总用电功率：450 kW；
- 进入吸收塔的吸收剂贫胺液的体积流量($q_{absorbent}$)：7.11 m³/h；
- 进入吸收塔的吸收剂贫胺液的密度($\rho_{absorbent}$)：1050 kg/m³；
- 初始二氧化碳吸收效率(τ_1)：0.901；
- 运行一段时间后二氧化碳吸收效率(τ_2)：0.85；
- 初始进入解吸单元的饱和蒸汽流量：0.607 t/h；
- 运行一段时间后进入解吸单元的饱和蒸汽流量：0.660 t/h；
- 进入解吸单元的饱和蒸汽压力：0.7 MPa；
- 进入解吸工段时饱和蒸汽的比焓：2.769 GJ/t；
- 离开解吸工段时冷凝水（饱和水）的比焓：0.721 GJ/t；

A.4 计算结果

A.4.1 二氧化碳吸收效率

按公式（6）计算二氧化碳吸收效率 $\tau = 90.1\%$ 。

A.4.2 吸收解吸工段二氧化碳净捕集率

船舶发动机源排二氧化碳排放的质量流量 $Exh_{w/o OCCS} = 2.872$ t/h；按公式（3）计算吸收解吸工段额外引入全船二氧化碳排放的质量流量 $Exh_{OCCS} = 0.209$ t/h；按公式（4）计算OCCS捕集的二氧化碳质量流量 $Exh_{Red} = 0.43$ t/h；按公式（7）计算二氧化碳净捕集率 $\tau_{Net} = 13.96\%$ 。

A.4.3 吸收剂比用量

按公式（8）计算吸收剂比用量，结果为 $SAC = 17.36$ t_{absorbent}/t_{CO2}。

A. 4. 4 吸收剂吸收性能劣化率

按公式（9）计算吸收剂吸收性能劣化率，结果为 $\gamma_{abs} = 5.56\%$ 。

A. 4. 5 解吸比能耗

按公式（5）计算初始状态下系统的解吸比能耗，结果为 $Q_1 = 2.89 \text{ GJ/t}_{\text{CO}_2}$ ；

按公式（5）计算运行一段时间后系统的解吸比能耗，结果为 $Q_2 = 3.14 \text{ GJ/t}_{\text{CO}_2}$ ；

A. 4. 6 吸收剂解吸性能劣化率

按公式（10）计算吸收剂解吸性能劣化率，结果为 $\gamma_{des} = 8.65\%$ 。

中國造船工程

