ICS 47.020.99
CCS R 20

团 体 标 准

T/CIN 139—2026

船舶碳捕集系统效率与效益核算方法

Efficiency and benefit calculation methods for onboard carbon capture system

2026-10-30 发布 2027-01-30 实施

中国航海学会 发 布

目　　次

前言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 系统效率核算 2
5 系统效益核算 4
附录 A（资料性）船舶碳捕集系统组成 7
附录 B（资料性）常用燃油的碳转换系数 8
参考文献 9

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。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：中国船舶燃料有限责任公司、大连海事大学。

本文件主要起草人：秦岭、宋兆国、田明、高晓阳、宁业、郑庆功、李承卓、吴宛青。

船舶碳捕集系统效率与效益核算方法

1 范围

本文件规定了船舶碳捕集系统的效率核算和效益核算的方法。

本文件适用于船舶安装的吸收式碳捕集系统运行效果的评价。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船舶碳捕集系统 onboard carbon capture system

从船舶燃烧装置废气中捕集二氧化碳的整套系统。

注：船舶碳捕集系统由吸收单元、解吸单元、液化单元、吸收剂循环系统及辅助系统等组成，见附录A。

3.2

吸收剂 absorbent

用于吸收二氧化碳的化学溶液。

[来源：GB/T 45121-2024，3.2，有修改]

3.3

吸收单元 absorption unit

碳捕集系统中通过吸收方式从燃烧废气中捕捉二氧化碳的部分。

注：包括废气冷却装置、 二氧化碳吸收塔、喷嘴及相关管路等。

3.4

解吸单元 desorption unit

碳捕集系统中从吸收剂富液中分离出气态二氧化碳的部分。

注：由解吸塔、 再沸器、 喷嘴、 二氧化碳冷却装置以及附加的管路等组成。

3.5

测量捕集量 indicated captured carbon

通过测量烟气流量、二氧化碳浓度，或测量液位并结合罐容表计算等方式得到的二氧化碳总捕集质量。

3.6

净捕集量 net captured carbon

在测量捕集量基础上，考虑不可避免的逸散、纯度等因素进行修正，并扣除为实现碳捕集而产生的额外排放之后的捕集量。

3.7

运行排放量 operational additional carbon emissions

碳捕集系统运行期间因消耗电力、热力及相关物料而产生的二氧化碳排放量。

4 船舶碳捕集系统效率核算

4.1 年度净捕集量

4.1.1 年度净捕集量计算

船舶碳捕集系统（以下简称系统）的年度净捕集量由年度系统捕集量减去系统年度运行排放量得到，计算方法按公式（1）。

$$R_{\text{net}} = R_{\text{cap}} - R_{\text{add}} \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

R_{net} ——年度净捕集量，单位为吨（t）；

R_{cap} ——年度系统捕集量，单位为吨（t）；

R_{add} ——年度运行排放量，单位为吨（t）。

4.1.2 系统捕集量计算

4.1.2.1 烟气浓度计算法

分别检测排烟中二氧化碳在系统进口和出口的浓度，依据排烟流量和浓度计算系统测量捕集量，计算方法按公式（2）。

$$R_{\text{cap,m}} = (\dot{m}_{\text{in}} \times \omega_{\text{in,CO}_2} - \dot{m}_{\text{out}} \times \omega_{\text{out,CO}_2}) \times \tau_{\text{y}} \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

$R_{\text{cap,m}}$ ——测量得到的二氧化碳年度捕集质量，单位为吨（t）；

$\dot{m}_{\text{in}}$ ——吸收单元入口烟气质量流量，单位为吨每小时（t/h）；

$\omega_{\text{in,CO}_2}$ ——吸收单元入口烟气中二氧化碳质量分数；

$\dot{m}_{\text{out}}$ ——吸收单元出口烟气质量流量，单位为吨每小时（t/h）；

$\omega_{\text{out,CO}_2}$ ——吸收单元出口烟气中二氧化碳质量分数；

τ_{y} ——装置年度运行时间，单位为小时（h）。

注：吸收单元入口、出口烟气中二氧化碳质量分数通过经校准的在线烟气分析仪、取样检测或经认可的第三方检测数据获得。

按公式（2）计算得到的测量捕集量应进行蒸发修正，修正后的二氧化碳总捕集质量按公式（3）计算。

$$R_{\text{cap}} = R_{\text{cap,m}} \cdot (1 - BOR)^{T_{\text{s}}} \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

BOR ——存储单元日蒸发率，对于具有再液化系统的存储罐BOR按0计算；

T_{s} ——年内存储天数，单位为天（d）。

4.1.2.2 储罐液位计算法

储罐液位计算法适用储存液态二氧化碳的捕集量计算。根据储罐液位变化和罐容表以及密度参数计算系统测量捕集量，计算方法按公式（4）。

$$R_{\text{cap,m}}=\sum_{k=1}^{N}(V_k\cdot\rho_k-V_{k\text{-}1}\cdot\rho_{k-1}) \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

N ——年内发生的碳捕集系统总作业次数；

V_k——碳捕集系统作业后储罐内液体二氧化碳的体积，单位为立方米（m^3）；

$V_{k\text{-}1}$——碳捕集系统作业前储罐内液体二氧化碳的体积，单位为立方米（m^3）；

ρ_k——碳捕集系统作业后储罐中液体二氧化碳密度，单位为吨每立方米（t/m^3）；

$\rho_{k\text{-}1}$——碳捕集系统作业前储罐中液体二氧化碳密度，单位为吨每立方米（t/m^3）。

注：当采用多种方法核验碳捕集量时，计算方法不限于本文件所述方法。

按公式（4）计算得到的测量捕集量应进行纯度修正，修正后的二氧化碳总捕集质量按公式（5）计算。

$$R_{\text{cap}}=R_{\text{cap,m}}\cdot p \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

p ——存储罐中二氧化碳的质量分数。

4.1.3 系统运行排放量

系统运行排放量计算方法按公式（6）。

$$R_{\text{add}}=\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}P_{\text{E}(i)}}{\eta_{\text{Gen}}}\cdot C_{\text{FE}}\cdot SFC_{\text{E}}+\frac{\sum_{i=1}^{n}P_{\text{B}(i)}}{\eta_{\text{boiler}}}\cdot C_{\text{FB}}\cdot SFC_{\text{B}}-P_{\text{rec}}\cdot C_{\text{FE}}\cdot SFC_{\text{B}}+C_{\text{P}}\cdot V_{\text{loss}}\right)\tau_{\text{y}} \quad (6)$$

式中：

$P_{\text{E}(i)}$ ——第 i 个用电设备的额定功率，单位为千瓦（kW）；

η_{Gen} ——发电机效率；

C_{FE} ——发电机燃料碳转换系数；

SFC_{E} ——发电机单位燃油消耗量，单位为吨每千瓦时（t/kWh）；

$P_{\text{B}(i)}$ ——第 i 个为系统提供热能的锅炉的额定功率，单位为千瓦（kW）；

η_{boiler} ——锅炉效率；

C_{FB} ——锅炉燃料碳排放转换系数；

SFC_{B} ——锅炉单位燃油消耗量，单位为吨每千瓦时（t/kWh）；

P_{rec} ——废热回收系统为船舶碳捕集系统提供热能的等效功率，单位为千瓦（kW）；

C_{p} ——生产碳排放系数，表示生产单位质量吸收剂产生的二氧化碳排放，单位为吨每吨（t/t）；

V_{loss} ——船舶碳捕集系统运行过程中单位时间内所消耗的吸收剂质量，单位为吨每小时（t/h）。

4.2 捕集率

4.2.1 捕集率计算

捕集率为系统所捕获的二氧化碳量占系统总排放量的百分比，计算方法按公式（7）。

$$\eta_{\mathrm{C}}=\frac{R_{\mathrm{cap}}}{R_0+R_{\mathrm{add}}}\times 100\% \cdots\cdots (7)$$

式中：

η_{C} ——捕集率；

R_0 ——船舶基准排放，为船舶未安装碳捕集系统时年度总碳排放量，单位为吨（t）。

4.2.2 船舶基准排放

船舶基准排放计算方法按公式（8）。

$$R_0=\sum_{i=1}^{\mathrm{N}} m_{\mathrm{fuel}(i)}\cdot C_{\mathrm{F}(i)} \cdots\cdots (8)$$

式中：

N ——燃油种类数量；

$m_{\mathrm{fuel}(i)}$ ——年内消耗第 i 型燃油的总质量，单位为吨（t）；

$C_{\mathrm{F}(i)}$ ——第 i 型燃油的碳转换系数；

注：常用燃油的碳转换系数见附录B。

4.3 减排率

减排率为系统实际净减排量占基准排放量的百分比，计算方法按公式（9）。

$$\eta_{\mathrm{net}}=\frac{R_{\mathrm{net}}}{R_0}\times 100\% \cdots\cdots (9)$$

式中：

η_{net} ——减排率。

5 系统效益核算

5.1 年度成本

5.1.1 成本核算范围

成本核算范围应包括采购成本、安装成本、运行成本。

——采购成本核算包括船舶碳捕集系统所需设备、组件及相关材料的制造成本或采购费用，以及相关的运输、包装和税费等费用；

——安装成本核算包括船舶碳捕集系统在船舶上的集成与施工费用，包括设备运输、吊装与布置、电力和管线铺设或改造费用，以及相关调试、检验和证书等费用；

——运行成本核算包括系统在生命周期内的维护费用、额外消耗燃料成本、吸收剂等物料成本、货物运输能力降低导致的收入损失等。

5.1.2 年度成本计算

年度成本核算应包括年度化初始投资成本、年度固定支出和年度可变支出，计算方法按公式（10）。

$$TAC = C_{\mathrm{ANCAPEX}} + C_{\mathrm{FOPEX}} + C_{\mathrm{VOPEX}} \cdots\cdots (10)$$

式中：

TAC ——年度成本，单位为元；

C_{ANCAPEX} ——年度化初始投资成本，单位为元；

C_{FOPEX}——年度固定支出，单位为元；
C_{VOPEX}——年度可变支出，单位为元。

5.1.3 年度化初始投资成本

年度化初始投资成本是指将系统的初始资本支出，包括采购成本和安装成本，通过既定折现率均匀折算至各年的等效年度成本，计算方法按公式（11）。

$$C_{\mathrm{ANCAPEX}} = C_{\mathrm{CAPEX}} \cdot \frac{i\cdot(i+1)^t}{(i+1)^t-1} \quad \cdots\cdots (11)$$

式中：
C_{CAPEX}——船舶碳捕集系统的采购、安装及调试等一次性投入的总费用，单位为元；
i——年利率；
t——设备寿命，单位为年（a）。

5.1.4 年度运行成本

年度运行成本核算包括年度固定支出和年度可变支出。其中：
——固定运营支出包括长期服务协议、管理费用、保险费、碳排放核查费、维护和人工成本等，可按年化资本支出的 3% 计算；
——可变运营支出应包括与系统运行直接相关的动态成本，包括泵、压缩机、锅炉等额外燃料消耗成本、吸收剂成本、货物运输能力降低导致的收入损失。
年度固定支出和年度可变支出计算方法按公式（12）和（13）。

$$C_{\mathrm{FOPEX}} = 0.03 \times C_{\mathrm{ANCAPEX}} \quad \cdots\cdots (12)$$

$$C_{\mathrm{VOPEX}} = \hat{m}_{\mathrm{fuel}} \cdot c_{\mathrm{fuel}} + \hat{m}_{\mathrm{MEA}} \cdot c_{\mathrm{MEA}} + \frac{TSW}{DWT} \cdot AFR \quad \cdots\cdots (13)$$

式中：
$\hat{m}_{\mathrm{fuel}}$——额外燃料消耗量，单位为吨（t）；
c_{fuel}——单位燃料成本，单位为元每吨；
$\hat{m}_{\mathrm{MEA}}$——年度单乙醇胺溶剂消耗量，单位为吨（t）；
c_{MEA}——单位单乙醇胺成本，单位为元每吨；
TSW——船舶碳捕集系统总重量，单位为吨（t）；
DWT——船舶的载重吨，单位为吨（t）；
AFR——船舶的年运费总额，单位为元。

5.2 单位捕获成本

单位捕获成本核算按照系统运行期间年度成本除以年度净捕集量计算，计算方法按公式（14）。

$$TCC = \frac{TAC}{R_{\mathrm{net}}} \quad \cdots\cdots (14)$$

式中：
TCC——单位碳捕集成本，单位为元每吨。

5.3 年度收益

年度收益计算可包括碳税节约收益、二氧化碳出售收益、其他碳收益等，计算方法按公式（15）。

$$B_{\mathrm{a}} = R_{\mathrm{cap}}\left(P_{\mathrm{CO2}} + t_{\mathrm{CO2}} + a_{\mathrm{CO2}}\right) \quad \cdots\cdots (15)$$

式中：

P_{CO_2}——二氧化碳的市场价格，单位为元每吨；

t_{CO_2}——碳税价格，单位为元每吨；

a_{CO_2}——其他碳收益，单位为元每吨。

5.4 投资回收周期

投资回收周期按公式（16）进行计算。

$$PBP = \frac{C_{CAPEX}}{B_a - C_{FOPEX} - C_{VOPEX}} \quad \cdots\cdots\cdots\

附录 A

（资料性）

船舶碳捕集系统组成

图A.1为船舶碳捕集系统的一般组成，包括吸收单元、解吸单元、液化单元及辅助系统等。

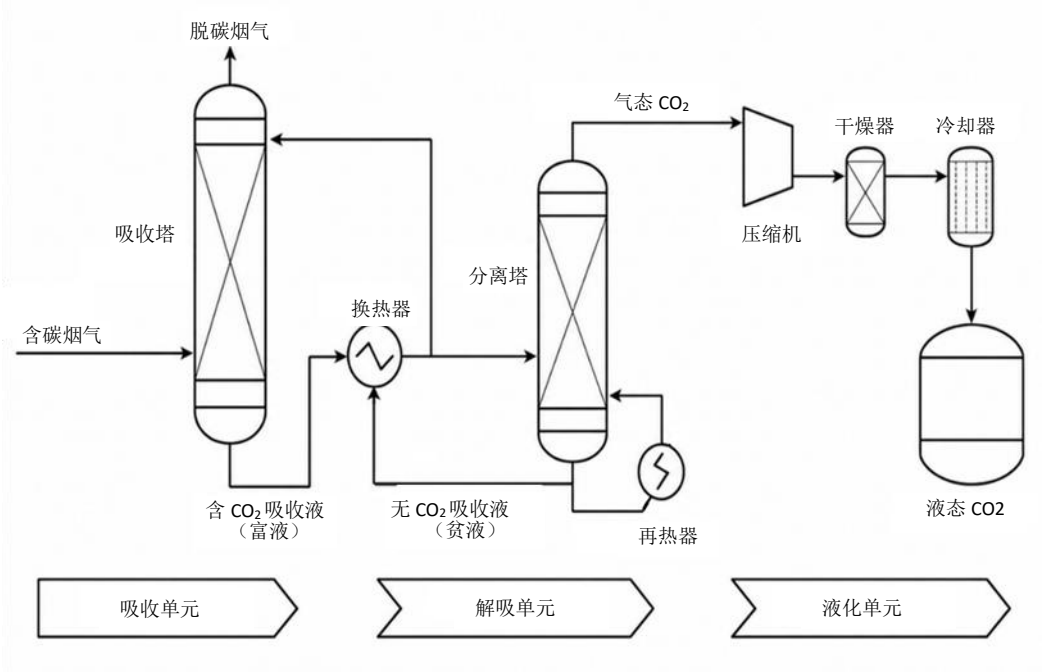


图 A.1 船舶碳捕集系统的组成示意图

附录 B

（资料性）

常用燃油的碳转换系数

常用燃油的碳转换系数见表B.1。

表B.1 常用燃油的碳转换系数

燃料类型	符号及说明	碳转换系数（C_F）
柴油	MDO，馏分燃料	3.206 t-CO_2/t-Fuel
轻燃油	LFO，50℃运动粘度低于80mm^2/s的残渣燃料	3.151 t-CO_2/t-Fuel
重燃油	HFO，50℃运动粘度高于80mm^2/s的残渣燃料	3.114 t-CO_2/t-Fuel
液化天然气	LNG	2.750 t-CO_2/t-Fuel
液化石油气	LPG，丙烷	3.000 t-CO_2/t-Fuel
	LPG，丁烷	3.030 t-CO_2/t-Fuel

参 考 文 献

[1] GB 17411—2026 船用燃料油
[2] GB/T 32151.30-2024 温室气体排放核算与报告要求 第30部分：水运企业
[3] GB/T45121—2024 火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗 测定技术规范
[4] GB/T 45646—2025 温室气体 产品碳足迹量化方法和要求 内燃机
[5] GB/T46876—2025 烟气二氧化碳捕集与压缩装置运行管理规范
[6] GB/T46877—2025 二氧化碳捕集 燃烧后二氧化碳捕集系统通用要求
[7] ISO 27928:2025 Carbon dioxide capture, transportation and storage — Carbon dioxide capture — Performance evaluation methods for CO2 capture connected to a CO2 intensive plant
[8] 中国船级社. 船舶二氧化碳排放监测、报告和验证实施指南 2018
[9] 中国船级社. 国内航行海船能效设计指数计算与验证指南 2022
[10] 中国船级社. 船舶应用碳捕集系统指南 2023