

ICS 27.020

CCS J 92

团 体 标 准

T/CSICE 060-2025

船舶碳捕集与封存全流程温室气体排放核算技术规范

Technical specification for quantifying greenhouse gas emissions in the full process of onboard carbon capture and storage for marine vessels

2025-12-26 发布

2025-12-26 实施

中国内燃机学会 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 核算过程	2
4.1 核算工作流程	3
4.2 确定系统边界	3
4.3 识别温室气体排放源	4
4.4 选择核算方法	4
4.5 收集数据	5
5 温室气体排放量计算	5
5.1 通则	5
5.2 燃料燃烧排放	5
5.3 有组织放空排放	6
5.4 地上泄漏排放	7
5.5 地下泄漏排放	7
5.6 电力、热力消耗产生的温室气体排放	8
5.7 温室气体排放总量计算	9
5.8 二氧化碳永久封存量计算	10
5.9 全流程温室气体排放计算	11
6 报告内容与格式	11
附录 A（资料性） 二氧化碳排放源	12
附录 B（资料性） 各环节主要数据清单	13
附录 C（规范性） 燃料燃烧的温室气体排放因子	14
附录 D（规范性） 报告格式模板	17
参考文献	18

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》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：上海交通大学、中远海运能源运输股份有限公司、中海环境科技（上海）股份有限公司、中远海运重工有限公司、上海齐耀环保科技有限公司。

本文件主要起草人：张庭婷、谢晓敏、黄震、陈超、李晓东、周晓、朱开伟、殷靓、宋源、曹凯、周海涛、张灿、李珂、陆惠强。

本文件于2025年首次发布。

船舶碳捕集与封存全流程温室气体排放核算技术规范

1 范围

本文件规定了船舶二氧化碳捕集、运输与封存全流程项目的温室气体排放量化和报告相关的术语和定义、核算过程、温室气体排放量计算和报告等内容。

本文件适用于船舶二氧化碳捕集、运输与封存全流程项目的温室气体排放量化，封存包括陆地与海洋，其他利用方法参考使用。

注：本文件中二氧化碳封存是指二氧化碳在陆地或海底地质中被永久封存利用，不包括二氧化碳其他的地质利用（如二氧化碳驱油、二氧化碳驱气等）、二氧化碳化工利用、生物利用和矿化利用等转化利用。

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 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

GB/T 24067 温室气体 产品碳足迹量化要求和指南

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 33760 基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求

GB/T 42797 二氧化碳捕集、输送和地质封存 管道输送系统

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

GB/T 45646 温室气体 产品碳足迹量化方法和要求 内燃机

GB/T 46879 基于项目的温室气体减排量评估技术规范 二氧化碳捕集、利用与封存项目

JT/T 1360 船舶大气污染物排放监测通用要求

ISO 27914 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Geological storage

3 术语和定义

GB/T 24067、GB/T 32150、GB/T 33760、GB/T 42797、GB/T 45121、GB/T 45646和GB/T 46879界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

二氧化碳捕集 carbon dioxide capture; CO₂ capture

将二氧化碳从大气、工业或能源设施中分离，产生易于运输、储存或利用的高浓度二氧化碳的过程。

[来源：GB/T 45121—2024，3.1]

3.2

地质封存 geological storage

将二氧化碳长期封存于地下地质构造中的过程。

[来源：ISO 27914—2017, 3.17]

注1：长期指为实现二氧化碳地质封存成为有效且环境安全的气候变化减缓方案所需的最短时间周期。

注2：在本文件语境中，地质封存：

- a) 适用于不包含受保护地下水的渗透性多孔地层；
- b) 适用于非生产性碳氢化合物储层；
- c) 不适用于不可采煤层、玄武岩地层、页岩层及盐穴中的二氧化碳注入与封存；
- d) 不适用于任何含可开采碳氢化合物地层中的二氧化碳注入与封存；
- e) 不适用于使用任何人造容器形式的地下封存方式。

3.3

船载碳捕集系统 onboard carbon dioxide capture system; OCCS

将二氧化碳从船舶燃料燃烧后的烟气中捕集分离，产生易于运输、封存或利用的高浓度二氧化碳的系统。

3.4

全流程 full process

指涵盖从船舶烟道气中捕集二氧化碳开始，直至该CO₂被安全、持久地封存在地质构造中的全部连续操作环节、过程与活动。

3.5

二氧化碳有组织放空排放 organized release of CO₂ emissions

在碳捕集利用与封存过程中，通过工艺装置泄放口或安全阀门人为控制泄放到大气中的二氧化碳。

[来源：GB/T 46879—2025, 3.11, 有修改]

注：包括二氧化碳捕集单元、二氧化碳运输单元和二氧化碳地质利用与封存单元的人为控制二氧化碳泄漏。

3.6

二氧化碳无组织排放 CO₂ venting and equipment leakage emissions

在碳捕集利用与封存过程中，从地层中裂缝、断层、井筒等由于设备本身引起的二氧化碳逃逸。

[来源：GB/T 46879—2025, 3.12]

3.7

二氧化碳设备泄露 CO₂ leakage emission from the equipment

在碳捕集利用与封存项目中，地面装置、设备、管道和阀门等泄漏和排放量。

[来源：GB/T 46879—2025, 3.10]

注：包括二氧化碳有组织排放量和二氧化碳无组织排放量。

4 核算过程

4.1 核算工作流程

开展船舶碳捕集与封存的温室气体排放核算和报告编制的工作流程分为以下几个步骤：

- 确定系统边界；
- 识别温室气体排放源；
- 选择核算方法；
- 收集数据；
- 计算与汇总；
- 编制报告。

4.2 确定系统边界

船舶碳捕集与封存的温室气体排放核算系统边界如图1所示，分为以下四个单元。

- OCSS捕集单元（S1）。包括对船舶烟气中的CO₂进行捕集、分离，并将捕集的CO₂进行压缩液化成液体存储在船舶上的整套OCSS装置。
- 运输单元（S2）。涵盖从储罐液相出口到装入罐车或通过管道注入地下接收装置的所有设施，涉及CO₂管道、运输车船、增压设备和监测装置等所有耗能装置。
- 中转单元（S3）（如有）。包括中转单元中相关加压、监测相关装置的所有设施。
- 地质封存单元（S4）。起点是注入系统入口，终点是地质封存的地面和泄漏监测装置。地面边界包含注入在内的地面封闭工艺装置系统；地下边界包含CO₂自注入井注入地层后在地质体中压力波及的范围，该范围由CO₂驱流体运移监测方法和技术确定。

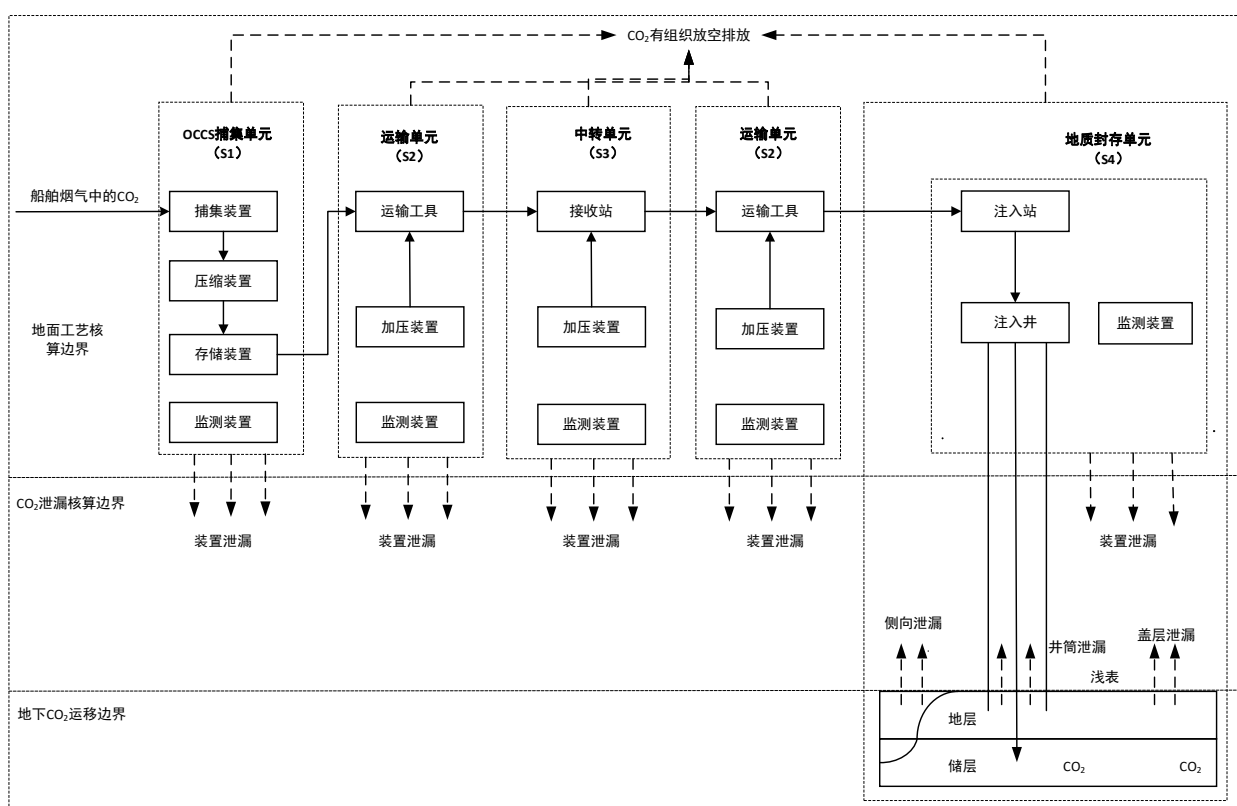


图1 核算系统边界示意图

4.3 识别温室气体排放源

宜按照GB/T 32150和JT/T 1360等对船舶碳捕集与封存全流程有关或受其影响的排放源和汇进行识别，包括固定燃烧源、移动燃烧源、生产过程、废弃物处理处置过程、逸散排放源、碳清除等。识别的温室气体种类包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）等。

对于船舶碳捕集与封存全流程，排放源应包括船舶主机、辅机等待捕集的排放源二氧化碳排放，OCCS系统捕集单元、运输单元、中转单元和地质封存单元的燃料燃烧排放、消耗电力和热力隐含的二氧化碳排放，以及这四个单元对应的有组织放空排放、装置泄漏排放，地质封存单元的泄漏排放等。船舶碳捕集与封存全流程的二氧化碳排放源见附录A。

4.4 选择核算方法

4.4.1 概述

应选择能得出准确、一致、可再现结果的核算方法。优先按照国家、行业温室气体排放核算方法和报告指南或标准进行核算；如无确定的核算方法，则在报告中对所采用的核算方法加以说明。核算方法包括以下3种类型，按优先级排序如下：

- a) 实测法；
- b) 实测与统计计算相结合法；
- c) 计算法。

如果核算方法有变化，应在报告中对变化进行说明，并解释变化原因。

4.4.2 实测法

通过使用监测仪器、设备（如：流量计、浓度计、大气二氧化碳通量监测设备），测量排放到大气中的二氧化碳质量。

4.4.3 实测与统计计算相结合法

按照一定比例选取点位形成样本集，通过实测、统计计算，结合能量平衡、物料平衡、建立模型的方法，形成适合船舶碳捕集与封存全流程的排放因子，进而计算温室气体排放量。抽测的点位应能充分反映船舶碳捕集与封存全流程的工艺特点，且能覆盖全部点位类型，使排放因子具有代表性、全面性。温室气体碳排放量为活动水平数据与排放因子的乘积。

4.4.4 计算法

根据国家、行业温室气体排放核算方法和报告指南中提供的排放因子计算温室气体排放量。温室气体排放量为活动水平数据与排放因子的乘积。

4.4.5 核算方法的选择依据

宜按照一定的优先级对核算方法进行选择，选择核算方法可参考的因素包括：

- 核算结果的数据准确度要求；
- 可获得的计算用数据情况；
- 排放源的可识别程度。

4.5 收集数据

4.5.1 活动水平数据收集

应根据所选核算方法的要求来选择和收集活动水平数据，各环节的主要数据清单见附录B。在收集数据时，应按照表1所示的优先级由高到低的次序选择和收集活动水平数据。

表 1 活动水平数据收集优先级

数据类型	描述	优先级
原始数据	直接测量、监测获得的数据	高
二次数据	通过原始数据折算获得的数据，如：根据年度购买量及库存量的变化确定数据；根据财务数据折算的数据等	中
替代数据	来自相似过程或活动的的数据，如：计算某个逸散节点的二氧化碳逸散量时，可采用排放因子等	低

4.5.2 温室气体排放因子数据获取

在获取温室气体排放因子时，应考虑如下因素：

- a) 来源明确，有公信力；
- b) 适用性；
- c) 时效性。

温室气体排放因子获取优先级如表2所示。

表 2 温室气体排放因子获取优先级

数据类型	描述	优先级
排放因子实测值或测算值	通过间接测量、能量平衡或物料平衡等方法形成的排放因子或相关参数值	高
排放因子参考值	国家、行业温室气体排放核算方法和报告指南中提供的排放因子数据； 供应商提供的温室气体排放因子数据； 根据燃料碳含量等计算得到的温室气体排放因子数据（见附录C）	中
	公开发表的文献数据和行业统计推荐值等，同时论证数据的可行性	低

5 温室气体排放量计算

5.1 通则

应根据所选定的合适方法对温室气体排放量进行计算。所有温室气体的排放量均应折算为二氧化碳当量。

5.2 燃料燃烧排放

分别计算捕集单元、运输单元、中转单元、地质封存单元的燃料燃烧引起的温室气体排放。

5.2.1 计算方法

燃料燃烧引起的温室气体排放按公式（1）计算。

$$E_{fuel} = \sum_i (M_{fuel,i} \times F_{fuel,i}) \dots\dots\dots (1)$$

式中:

E_{fuel} ——燃料燃烧产生的温室气体排放总量,以吨二氧化碳当量(tCO₂e)计;

$M_{fuel,i}$ ——第*i*种燃料的消耗量,以吨(t)或立方米(m³)计;

$F_{fuel,i}$ ——第*i*种燃料燃烧的温室气体排放因子,以吨二氧化碳当量每吨(tCO₂e/t)或吨二氧化碳当量每立方米(tCO₂e/m³)计。

5.2.2 数据要求

燃料消耗量应根据各环节所消耗的燃料实际测量值来确定,不包括非生产使用的、基建和技改等项目建设的消耗量。测量仪器的标准应符合GB 17167中的相关规定。燃料燃烧的温室气体排放因子参考4.5.2进行确定。

5.3 有组织放空排放

分别计算捕集单元、运输单元、中转单元、地质封存单元的有组织放空排放。

5.3.1 计算方法

有组织放空排放的实测法按公式(2)计算。

$$E_{fug} = Q \times t \times w_{fug} \times \rho_{fug} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

E_{fug} ——有组织放空产生的二氧化碳排放量,以吨二氧化碳当量(tCO₂e)计;

Q ——有组织放空的气体流量,以立方米每秒(Nm³/s)计;

t ——有组织放空的时间,以秒(s)计;

w_{fug} ——有组织放空的二氧化碳体积分数,以百分比(%)计;

ρ_{fug} ——有组织放空的二氧化碳密度,以吨/立方米(tCO₂e/Nm³)计。

5.3.2 数据要求

有组织放空排放的实测法数据要求见表3。如不具备实测条件,可采用国家、行业有关核算方法和报告指南中推荐的有组织放空排放因子。

表3 有组织放空排放数据要求(实测法)

具体排放源	计算参数类型	参数来源	准确度等级/最大运行误差	检测频次
二氧化碳捕集装置泄压放空、二氧化碳压缩放空、二氧化碳运输泄压放空、二氧化碳注气站、注入井等处的泄压放空	累计流量	体积流量计	2.0级	每次
	时间	秒表	±0.1s	每次
	体积分数	化验报告	/	每次
	温度	温度变送器	0.2级	每次
	密度	查表	/	根据放空温度和出口压力(取101.325 kPa)查表获取

5.4 地上泄漏排放

5.4.1 计算方法

采用实测与统计计算相结合的方法形成排放因子，计算地上二氧化碳泄漏排放量。地上二氧化碳泄漏排放量按公式（3）计算。

$$E_{Surf} = \sum_i (F_{Surf,i} \times n_i) \dots \dots \dots (3)$$

式中：

- E_{Surf} ——地上二氧化碳泄漏排放量，以吨（tCO₂e）计；
 $F_{Surf,i}$ ——第*i*类地上泄漏点位的二氧化碳排放因子，以吨每个年[tCO₂e/（个·a）]计；
 n_i ——第*i*类地上泄漏点位的数量，以个计。

5.4.2 数据获取要求

地上泄漏排放因子测算要求见表4。如不具备实测条件，可采用国家、行业有关核算方法和报告指南中推荐的地上泄漏排放因子。

表4 地上泄漏排放因子测算要求

具体排放源	计算参数类型	参数来源	准确度等级/最大运行误差	检测频次
注入井井口、阀门、法兰、注入装置、取样口、集输管线、储罐泄漏等	面积	钢卷尺	±0.4 mm	每次
	速度	速度计	±0.3 mm ($v < 35$ m/s) ; ±0.5 mm ($v \geq 35$ m/s) ; 其中 <i>v</i> 为测量值	每次
未被定义为有组织放空的其他压力设备泄漏排放源	时间	秒表	±0.1 s	每次
	体积分数	化验报告	/	每次
	温度	温度变送器	0.2级	每次
	密度	查表	/	根据放空温度和出口压力（取101.325 kPa）查表获取

5.5 地下泄漏排放

捕集单元和运输单元的地下泄漏排放为零，地质封存单元地下泄漏排放参考GB/T 46879-2024中7.5小节，具体如下：

5.5.1 计算方法

地质封存单元地下泄漏排放按公式（4）计算。

$$E_{Subs} = \sum_i (F_{Subs,i} \times S_{grid}) \dots \dots \dots (4)$$

式中：

- E_{Subs} ——地下二氧化碳泄漏排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
 $F_{Subs,i}$ ——第*i*个网格的地下泄漏排放因子，以吨二氧化碳当量每平方千米（tCO₂e/km²）计；
 S_{grid} ——单个网格面积，以平方千米（km²）计。

5.5.2 数据获取要求

地下泄漏排放因子测算要求见表5。如不具备实测条件，可采用国家、行业有关核算方法和报告指南中推荐的地下泄漏排放因子。

表 5 地下泄漏排放监测分类

具体排放源	监测方式	监测内容	监测手段	关注指标
井筒外壁、海水、储层、盖层等	在线监测 离线监测 综合监测	CO ₂ 分布和迁移监测	地震、重力、电磁、海底变形、沉积物孔隙压力	CO ₂ 在储层和海水中的位置和运动
		海底沉积物和海水的物理化学性质	pH值、碳酸盐系统、溶解氧、温度、盐度、营养盐、有机物	海底沉积物和海水的酸碱度、缓冲能力、氧化还原状态、温盐环境、生产力
		海洋生态系统的结构与功能	微生物、无脊椎动物、鱼类、海草、珊瑚	海底生物的种类、数量、分布、多样性、活性、代谢等

5.6 电力、热力消耗产生的温室气体排放

分别计算捕集单元、运输单元、中转单元、地质封存单元消耗电力和热力产生的温室气体排放。

5.6.1 计算方法

消耗电力、热力产生的温室气体排放按公式（5）和公式（6）计算。

$$E_{elec} = \sum(M_{elec} \times F_{elec}) \dots\dots\dots (5)$$

$$E_{heat} = \sum(M_{heat} \times F_{heat}) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- E_{elec} —— 电力消耗产生的温室气体排放总量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- M_{elec} —— 电力净消耗量，以千瓦时（kW·h）计；
- F_{elec} —— 电力生产的温室气体排放因子，以吨二氧化碳当量每千瓦时[tCO₂e/(kW·h)]计；
- E_{heat} —— 热力消耗产生的温室气体排放总量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- M_{heat} —— 热力净消耗量，以吉焦（GJ）计；
- F_{heat} —— 热力生产的温室气体排放因子，以吨二氧化碳当量每吉焦（tCO₂e/GJ）计。

5.6.2 数据要求

5.6.2.1 电力生产的温室气体排放因子

若消耗的电力为内部发电（例如现场发电），电力排放因子为该内部发电企业的电力温室气体排放因子。

若消耗的电力为直供电力，即是该组织与发电站之间具有专用输电线路，且所消耗的电未向第三方出售，则可使用该电力供应商提供的电力温室气体排放因子。

若消耗的电力为电网电力，则使用国家生态环境部门最新发布区域电网排放因子。

5.6.2.2 热力生产的温室气体排放因子

蒸汽、热水等热力供应的二氧化碳排放因子优先采用供热单位提供的数值，如无法提供，则按0.11 tCO₂/GJ计算。

5.7 温室气体排放总量计算

5.7.1 温室气体排放总量

按照公式（7）计算。

$$E_{total} = E_{S1} + E_{S2} + E_{S3} + E_{S4} \dots \dots \dots (7)$$

式中：

- E_{total} ——船舶碳捕集与封存全流程的温室气体排放总量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- E_{S1} ——捕集单元的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- E_{S2} ——运输单元的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- E_{S3} ——中转单元的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- E_{S4} ——地质封存单元的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计。

5.7.2 捕集单元排放总量

按照公式（8）计算。

$$E_{S1} = E_{fug,1} + E_{Surf,1} + E_{elec,1} + E_{heat,1} \dots \dots \dots (8)$$

- $E_{fug,1}$ ——捕集单元因有组织放空引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{Surf,1}$ ——捕集单元因泄漏等引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{elec,1}$ ——捕集单元净电力消耗的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{heat,1}$ ——捕集单元净热力消耗的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计。

其中，船舶碳捕集单元净电力消耗的温室气体排放量按公式（9）计算。

$$E_{elec,1} = M_{elec,1} \times M_{fuel-elec,1} \times F_{fuel,1} \dots \dots \dots (9)$$

- $M_{elec,1}$ ——捕集单元净电力消耗量，以千瓦时（kW·h）计；
- $M_{fuel-elec,1}$ ——捕集单元所耗电力对应的船舶燃料消耗量，以吨每千瓦时[t/(kW·h)]计；
- $F_{fuel,1}$ ——船舶发电所用燃料的温室气体排放因子，以吨二氧化碳当量每吨（tCO₂e/t）计。

若船舶碳捕集单元消耗的热量直接来自锅炉回收废热，则碳排放视为“0”。反之，消耗的热量需通过锅炉燃烧额外燃油提供，则船舶碳捕集单元净热力消耗的温室气体排放按公式（10）计算。

$$E_{heat,1} = \frac{M_{heat,1}}{\eta_{heat,1}} \times M_{fuel-heat,1} \times F_{fuel,1} \dots \dots \dots (10)$$

- $M_{heat,1}$ ——捕集单元净热力消耗量，以吉焦（GJ）计；
- $\eta_{heat,1}$ ——热能供给效率，以百分比（%）计；
- $M_{fuel-heat,1}$ ——捕集单元所耗热力对应的船舶燃料消耗量，以吨每吉焦（t/GJ）计；
- $F_{fuel,1}$ ——船舶供热所用燃料的温室气体排放因子，以吨二氧化碳当量每吨（tCO₂e/t）计。

5.7.3 运输单元排放总量

按照公式（11）计算。

$$E_{S2} = E_{fuel,2} + E_{fug,2} + E_{Surf,2} + E_{elec,2} \dots \dots \dots (11)$$

式中：

- $E_{fuel,2}$ ——运输单元燃料燃烧引起的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{fug,2}$ ——运输单元因有组织放空引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{Surf,2}$ ——运输单元因泄漏等引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{elec,2}$ ——运输单元电力消耗的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计。

5.7.4 中转单元排放总量

按照公式（12）计算。

$$E_{S3} = E_{fuel,3} + E_{fug,3} + E_{Surf,3} + E_{elec,3} + E_{heat,3} \dots\dots\dots (12)$$

- $E_{fuel,3}$ ——中转单元燃料燃烧引起的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{fug,3}$ ——中转单元因有组织放空引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{Surf,3}$ ——中转单元因泄漏等引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{elec,3}$ ——中转单元净电力消耗的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{heat,3}$ ——中转单元净热力消耗的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计。

5.7.5 地质封存单元排放总量

按照公式（13）计算。

$$E_{S4} = E_{fuel,4} + E_{fug,4} + E_{Surf,4} + E_{Subs,4} + E_{elec,4} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- $E_{fuel,4}$ ——地质封存单元燃料燃烧引起的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{fug,4}$ ——地质封存单元因有组织放空引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{Surf,4}$ ——地质封存单元因地上泄漏引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{Subs,4}$ ——地质封存单元地下泄漏引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{elec,4}$ ——地质封存单元电力消耗的温室气体排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计。

5.8 二氧化碳永久封存量计算

5.8.1 计算方法

二氧化碳永久封存量按照公式（14）和公式（15）计算。

$$E_{PerSeq} = I - E_{fug,5} - E_{Surf,5} - E_{Subs,5} \dots\dots\dots (14)$$

$$I = \sum_i (I_i \times \varphi_{inj,i}) \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- E_{PerSeq} ——捕集的二氧化碳被永久封存在地下的量，以吨（tCO₂e）计；
- $E_{fug,5}$ ——CO₂封存期因有组织放空引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{Surf,5}$ ——CO₂封存期因地上泄漏引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- $E_{Subs,5}$ ——CO₂封存期地下泄漏引起的二氧化碳排放量，以吨二氧化碳当量（tCO₂e）计；
- I ——二氧化碳注入量，以吨（tCO₂e）计；
- I_i ——第*i*台二氧化碳注入装置注入量，以吨（tCO₂e）计；
- $\varphi_{inj,i}$ ——第*i*台二氧化碳注入装置中二氧化碳质量分数，以百分比（%）计。

5.8.2 数据获取要求

二氧化碳注入量数据获取要求见表5。

表5 二氧化碳注入量数据获取要求

计量类别	计量器具	准确度等级	检测频次
二氧化碳注入装置累积流量	流量计	5.0级	连续监测
二氧化碳质量分数	化验报告	/	1次/批次

5.9 全流程温室气体排放计算

对于船舶碳捕集与封存全流程过程，温室气体排放计算按公式（16）计算。

$$E_{OCCS} = E_{PerSeq} - E_{total} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

E_{OCCS} ——船舶碳捕集与封存全流程的温室气体排放总量，以吨（tCO₂e）计；

E_{PerSeq} ——捕集的二氧化碳被永久封存在地下的量，以吨（tCO₂e）计。

6 报告内容与格式

根据船舶碳捕集与封存全流程温室气体排放量化技术规范的报告编制要求，确定报告的具体内容。报告格式宜参照附录D。

附 录 A
(资料性)
二氧化碳排放源

二氧化碳排放源见表A.1。

表 A.1 二氧化碳排放源

二氧化碳排放源	排放设施举例	排放气体识别
化石燃料燃烧	因燃烧化石燃料而产生的温室气体排放。 排放点位包括但不限于锅炉、加热炉、工程车辆等排放源	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
有组织放空	项目运行中因生产工艺、检修计划、安全要求等原因将设备、设施、生产流程中的介质有意释放到大气中引起的二氧化碳排放。 排放点位包括但不限于船端OCCS捕集装置、二氧化碳储罐、注气管道、二氧化碳注入装置、注入井井口、增压站等部位的固定放空口,以及其他临时放空口	CO ₂
地上泄漏	由于地上设备/组件泄漏引起的介质无组织排放到空气中引起的二氧化碳,包括未被定义为有组织放空的其他压力设备泄漏。 排放点位包括但不限于注入井井口、阀门、法兰、注入装置、取样口、集输管线、储罐泄漏,以及未被定义为有组织放空的其他压力设备泄漏排放	CO ₂
地下泄漏	注入的二氧化碳从地层沿井筒外壁、断层、盖层等泄漏到地表或海水里引起的二氧化碳排放。 排放点位包括但不限于井筒外壁、断层、盖层、海水	CO ₂
电力、热力	项目各阶段消费的电力、热力其生产阶段产生的温室气体排放。 排放点位包括但不限于电动机系统、制热设备、制冷设备、照明设备等	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O

附录 B

(资料性)

各环节主要数据清单

船舶碳捕集与封存全流程各环节的数据清单见表B.1。

表 B.1 船舶碳捕集与封存全流程各环节主要数据清单

阶段	主要数据清单
捕集单元	CO ₂ 捕集系统的燃料消耗、电力消耗、热力消耗及物料投入等； CO ₂ 捕集率、捕集量等； CO ₂ 捕集系统中压缩、液化、临时储存等过程的有组织放空排放； CO ₂ 捕集系统及船上临时储存设施中的无组织排放等。
运输单元	CO ₂ 的运输方式、运输距离、运输工具燃料经济性、运输重量等
中转单元	CO ₂ 储存中过程的电力消耗； CO ₂ 储存中过程的柴油等燃料消耗； CO ₂ 储存、压缩等过程的有组织放空排放； CO ₂ 储存、压缩等过程的无组织排放等
地质封存单元	CO ₂ 注入（含注入前临时储存）过程中的电力消耗； CO ₂ 注入量； CO ₂ 注入的体积分数； CO ₂ 注入过程的有组织放空排放； CO ₂ 注入过程的无组织排放； CO ₂ 在地下的泄漏排放等。

附 录 C
(规范性)
燃料燃烧的温室气体排放因子

燃料*i*燃烧的温室气体排放因子按照公式 (C.1) 计算。

$$F_{fuel,i} = \sum(F_{fuel,i,j} \times P_j) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- $F_{fuel,i}$ ——燃料*i*燃烧的温室气体排放因子,以千克二氧化碳当量每吉焦 (kgCO₂e/GJ) 计;
 $F_{fuel,i,j}$ ——燃料*i*燃烧时产生的第*j*种温室气体的排放因子,以千克每吉焦 (kg/GJ) 计;
 P_j ——第*j*种温室气体的全球变暖潜势值,以千克二氧化碳当量每千克 (kgCO₂e/kg) 计,见表C.1。

其中,燃料*i*燃烧时产生的二氧化碳排放因子按照公式 (C.2) 计算。

$$F_{fuel,i,CO_2} = C_{fuel,i} \times O_{fuel,i} \times \frac{44}{12} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- F_{fuel,i,CO_2} ——燃料*i*燃烧时产生的二氧化碳排放因子,以千克每吉焦 (kg/GJ) 计;
 $C_{fuel,i}$ ——燃料*i*的碳排放系数,以千克碳每吉焦 (kgC/GJ) 计;
 $O_{fuel,i}$ ——燃料*i*的碳氧化率;
 44/12 ——二氧化碳与碳的相对分子质量之比。

表 C.1 温室气体全球变暖潜势值

温室气体名称	化学分子式	全球变暖潜势 (GWP-100)
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	27.9
氧化亚氮	N ₂ O	273

注:数据来源于IPCC《气候变化报告2021:自然科学基础》。

燃料品种的单位发热量(如低位热值)、燃料燃烧设备的碳氧化率以及燃料在各类燃烧设备中产生的排放因子原则上应通过实际测试获得,以便正确反映当地燃烧设备的技术水平和排放特点。如无法获得实测数据,按照表C.2和表C.3给出的推荐值,或采用国家最新公布的数据。

表 C.2 常用化石燃料品种的低位热值和碳氧化率参数

燃料类别	燃料品种	低位热值	碳氧化率
固体燃料/ (GJ•kg ⁻¹)	无烟煤	26.700×10 ^{-3 a}	0.94 ^a
	烟煤	19.570×10 ^{-3 a}	0.93 ^a
	褐煤	11.900×10 ^{-3 a}	0.96 ^a
	洗精煤	26.344×10 ^{-3 a}	0.90 ^a
	型煤	17.460×10 ^{-3 a}	0.90 ^a
	焦炭	28.435×10 ^{-3 a}	0.93 ^a
	其他洗煤	12.545×10 ^{-3 a}	0.93 ^a

表 C.2 常用化石燃料品种的低位热值和碳氧化率参数 (续)

燃料类别	燃料品种	低位热值	碳氧化率
液体燃料/ (GJ·kg ⁻¹)	原油	41.816×10 ^{-3 a}	0.98 ^a
	燃料油	41.816×10 ^{-3 a}	0.98 ^a
	汽油	43.070×10 ^{-3 a}	0.98 ^a
	柴油	42.652×10 ^{-3 a}	0.98 ^a
	一般煤油	43.070×10 ^{-3 a}	0.98 ^a
	液化石油气	50.179×10 ^{-3 a}	0.98 ^a
	炼厂干气	45.998×10 ^{-3 a}	0.99 ^a
	石脑油	44.500×10 ^{-3 a}	0.98 ^a
	石油焦	31.998×10 ^{-3 b}	0.98 ^b
	其他石油制品	41.031×10 ^{-3 b}	0.98 ^b
气体燃料/ (GJ·Nm ⁻³)	焦炉煤气	173.54×10 ^{-4 b}	0.99 ^b
	高炉煤气	33.00×10 ^{-4 b}	0.99 ^b
	转炉煤气	84.00×10 ^{-4 b}	0.99 ^b
	其他煤气	52.27×10 ^{-4 b}	0.99 ^b
	天然气	389.31×10 ^{-4 b}	0.99 ^b

注：上述参数优先适用各具体行业产品中的缺省值，若企业有实测值且该实测值符合相应国家标准要求，按照实测值进行核算。

^a 数据来源于GB/T 32151.5-2015。

^b 数据来源于《中国石油天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》（2014）。

表 C.3 常用化石燃料分部门分品种碳排放系数 (kgC/GJ)

燃料品种	固定源										移动源			
	能源加工转换				工业						交通运输			
	煤炭开采加工	油气开采加工	公共电力与热力	炼焦、煤制气等	钢铁	有色	化工	建材	建筑	其他	公路	铁路	水运	航空
无烟煤	—	27.34	27.49	—	27.40	26.80	27.65	27.29	—	—	—	—	—	—
烟煤	25.77	27.02	26.18	25.77	25.80	26.59	25.77	26.24	25.77	25.77	—	—	—	—
褐煤	28.07	28.53	27.97	—	27.07	28.22	28.15	28.05	—	—	—	—	—	—
洗精煤	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	—	—	—	—
其他洗煤	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	25.41	—	—	—	—
型煤	—	—	33.56	—	33.56	33.56	33.56	33.56	—	33.56	—	—	—	—
焦炭	29.42	29.42	29.42	29.42	29.42	29.42	29.42	29.42	29.42	29.42	—	—	—	—
原油	—	20.08	20.08	20.08	20.08	20.08	20.08	20.08	20.08	20.08	—	—	—	—
燃料油	—	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	—	—	—	—
汽油	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	—	—	—
柴油	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	—
喷气煤油	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19.50
一般煤油	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19.60	—	—	—	—

表 C.3 常用化石燃料分部门分品种碳排放系数 (kgC/GJ) (续)

燃料 品种	固定源										移动源			
	能源加工转换				工业						交通运输			
	煤炭开 采加工	油气开 采加工	公共电力 与热力	炼焦、煤 制气等	钢铁	有色	化工	建材	建筑	其他	公路	铁路	水运	航空
NGL	—	17.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
液化石油气	—	17.20	—	17.20	—	—	—	—	—	17.20	—	—	—	—
炼厂干气	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20	—	—	—
其他石油制品	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	—	—	—	—
天然气	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	15.32	—	—	—
焦炉煤气	13.58	13.58	13.58	13.58	13.58	13.58	13.58	13.58	13.58	13.58	—	—	—	—
其他	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	—	—	—	—

注：数据来源于《省级温室气体清单编制指南（试行）》。

附录 D
(资料性)
报告格式模板

船舶碳捕集与封存全流程温室气体排放核算报告

报告主体：
编制单位：
报告年度：
编制日期： 年 月 日

本报告核算了_____年至_____年船舶碳捕集封存全流程的温室气体排放量，并填写了相关数据表格，先将有关情况报告如下：

一、基本信息

包括但不限于名称、编制单位、报告年度、统计期、所属行业及项目规模、地理位置、工艺流程等反映项目主要参数的其他数据。

二、温室气体排放总量

报告船舶碳捕集与封存全流程的温室气体排放核算边界、数据清单、核算结果、注入量、永久封存量及全流程温室气体排放总量等。

三、活动数据及来源

分别报告各排放源的活动数据，并详细阐述它们的来源、监测计划及实际执行情况等。

四、排放因子及来源

报告各项活动数据所对应的排放因子。如果源于实测，则应说明取样方法、取样频率、检测方法、检测频率、依据标准等；如果采用推荐值，则应给出推荐值的数据来源、选择理由等。

五、其他需要说明的情况。

编制人（签章）：
编制单位负责人（签章）：

参 考 文 献

- [1] Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Geological storage: ISO 27914:2017[S].
 - [2] Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Quantification and verification: ISO/TR 27915:2017[S].
 - [3] Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Carbon dioxide storage using enhanced oil recovery (CO₂-EOR): ISO 27916:2019[S].
 - [4] Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Vocabulary — Cross cutting terms: ISO 27917:2017[S].
 - [5] Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Injection operations, infrastructure and monitoring: ISO/TR 27923:2022[S].
 - [6] Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Cross cutting issues — Flow assurance: ISO/TR 27925:2023[S].
 - [7] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中国石油和天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)[Z]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2014.
 - [8] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 省级温室气体清单编制指南(试行)[Z]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2011.
 - [9] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021.
-

