ICS 47.020.01
CCS U 10

T/CANSI

中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 163—2025

温室气体　产品碳足迹量化方法与要求 汽车运输船

Greenhouse gas—quantitative methods and requirements for product carbon footprint—vehicle carrier

（此文本仅供个人学习、研究之用，未经授权，禁止复制、发行、汇编、翻译或网络传播等，侵权必究）

2025-12-29 发布　　2026-02-01 实施

中国船舶工业行业协会　发布

目　　次

前言 II
引言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 量化目的 1
5 量化范围 2
5.1 功能单位或声明单位 2
5.2 系统边界 2
6 清单分析 4
6.1 数据类型 4
6.2 数据收集和确认 4
6.3 数据质量要求 5
6.4 数据分配 6
6.5 取舍准则 6
6.6 特定温室气体排放量和清除量的处理 6
7 影响评价 6
7.1 汽车运输船碳排放 6
7.2 原材料碳排放 7
7.3 配套设备碳排放 7
7.4 物料运输碳排放 8
7.5 制造过程碳排放 8
8 结果解释 25
9 产品碳足迹报告 26
10 产品碳足迹声明 26
附录 A（资料性）汽车运输船产品碳足迹量化数据收集表 27
附录 B（资料性）产品碳足迹研究报告模板 32

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。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会提出。

本文件由中国船舶工业行业协会归口。

本文件起草单位：招商局海洋装备研究院有限公司、招商局金陵船舶（南京）有限公司、广船国际有限公司、中车株洲电力机车研究所有限公司、招商局重工（江苏）有限公司、中国船级社质量认证有限公司、中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院。

本文件主要起草人：董芳、黄朝俊、徐炼、吴炅东、杨卫宁、杨光军、谭昕、荣向东、张东旭、郭佳俊、沈慧军、张卫、罗文飚、杨世知、王志刚、刘刚、胡明亮、李巧平、毛紫浩。

全国团体标准信息平台

引　言

汽车运输船在全球汽车贸易中扮演着至关重要的角色，制定汽车运输船碳足迹量化标准，对于推动该船型的节能减排、行业可持续发展以及全球应对气候变化目标的实现都将发挥积极作用。

汽车运输船是一种专门设计用于运输汽车等轮式车辆的船舶，相对其他船型船舶，在同样钢板吨位的情况下，汽车运输船甲板层数多，薄板占比大，分段数量多，需要消耗更多的管路、电缆、绝缘、油漆、舾装件等原材料和资源；需要设计、建造、安装和调试复杂的滚装设备；需要更多的预处理、加工、涂装、焊接与焊缝处理、合拢搭载、运输等工作量；薄板变形控制严格，导致分段建造辅助工程、矫正工程量增加；涂装作业量大；船体构造复杂且不规则，有较多需要现场安装的散装构件。这些特点也给汽车运输船的碳足迹量化增加了额外的工作内容。

本文件规定了汽车运输船（Vehicle Carrier）量化的量化目的、量化范围、系统边界、清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告及产品碳足迹声明等内容。本文件适用于指导船长 90 m 及以上、专门设计和制造用于运输商品车辆的钢质海上航行的汽车运输船，包括纯小汽车运输船（PCC，pure car carrier）、小汽车/卡车运输船（PCTC，pure car/truck carrier）等进行碳足迹量化。特别地，针对船舶制造过程和船厂作业特点，提出了三种制造过程的碳足迹计算方法，以便船东、船厂等根据实际情况按照需求选择。

本文件的实施将有助于开展汽车运输船的碳足迹量化，有助于提高船舶行业国际竞争力和打破国际绿色贸易壁垒，有助于我国碳足迹管理体系的完善，加快推进我国碳足迹核算及认证与国际的互认。

温室气体　产品碳足迹量化方法与要求　汽车运输船

1　范围

本文件规定了汽车运输船（Vehicle Carrier）产品碳足迹量化的量化目的、量化范围、清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告及产品碳足迹声明等内容。

本文件适用于指导船长90 m及以上的钢质海上汽车运输船，包括纯小汽车运输船（PCC，pure car carrier）、小汽车/卡车运输船（PCTC，pure car/truck carrier）等进行碳足迹量化。

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 24040　环境管理　生命周期评价　原则与框架

GB/T 24044　环境管理　生命周期评价　要求与指南

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

T/CANSI 162—2025　温室气体　产品碳足迹量化方法与要求　船舶

3　术语和定义

GB/T 24067、GB/T 24040、GB/T 24044、GB/T 32150界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

汽车运输船　vehicle carrier

为运输商品汽车而设计建造的船长90 m及以上的钢质海洋船舶。

注：包括PCC纯汽车滚装船和PCTC汽车/卡车运输船。

3.2

碳排放因子　greenhouse gas emission factor；GHG emission factor

活动数据与温室气体排放相关的系数。

[来源：GB/T 24067—2024，有修改]

4　量化目的

开展汽车运输船碳足迹量化的目的包括为行业研究分析提供方法学，为绩效评估、供应链采购、同类船比较、产品设计开发等提供参考。

5 量化范围

5.1 功能单位或声明单位

汽车运输船的碳足迹量化应确定功能单位或声明单位。功能单位为单位运载能力，声明单位为1艘船舶产品（包括基本信息描述）。

示例1：功能单位为1000辆标准单位汽车。

示例2：声明单位为1艘7000车汽车运输船（包含对船舶的功能信息描述，如总吨，滚装设备主要参数，甲板层数及装车量，运输燃料系统、主机设备等描述）。

注：本文件的量化方法以“1 艘汽车运输船”作为声明单位。

5.2 系统边界

5.2.1 汽车运输船产品的碳足迹核算系统边界

汽车运输船产品碳足迹量化的系统边界为“从摇篮到大门”，包含原材料获取阶段、配套设备阶段、物料运输阶段、制造过程阶段中对碳足迹核算有实质性贡献的过程，见图1。系统边界不包括道路与厂房等基础设施、组织边界内人员非生产活动及生活设施、土地利用的温室气体排放等不直接转化成船舶产品或产品相关的非归因过程。

全国团体标准信息平台

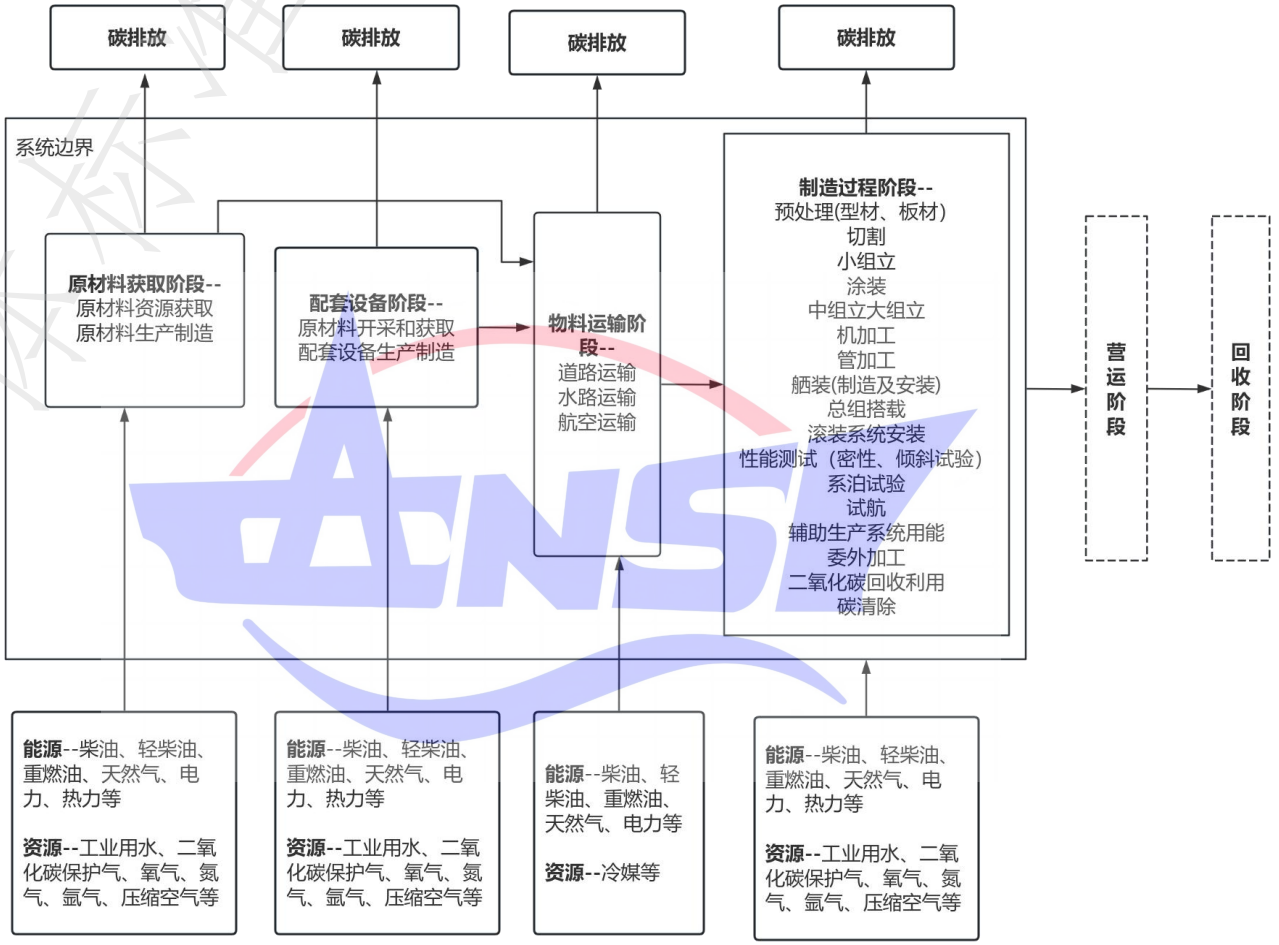


图1　汽车运输船“从摇篮到大门”的系统边界示意图

5.2.2 原材料获取阶段核算范围

原材料获取碳排放核算范围从原材料开采时开始，到原材料产品离开原材料生产企业时终止。核算范围包含原材料的资源获取、生产制造过程产生的碳排放。原材料主要包括钢材、焊材、电缆、防滑材料等，具体见表A.2。

5.2.3 配套设备阶段核算范围

从配套设备的原材料开采时开始，到配套设备离开配套设备生产企业时终止。核算范围包含配套设备的原材料开采和生产制造、配套设备的生产制造产生的碳排放。配套设备主要包括主机、锅炉、滚装系统等，具体见表A.3。

5.2.4 物料运输阶段核算范围

物料运输阶段核算范围包含原材料、配套设备、能源由上游供应商运输到船舶总装企业产生的碳排放。

5.2.5 制造过程阶段核算范围

制造过程阶段从原材料和配套设备进入船舶总装企业开始，到船舶产品离开船舶总装企业时终止。核算范围包含预处理（型材及板材）、切割、小组立、涂装、中组立大组立、机加工、管加工、舾装（制造及安装）、总组搭载、滚装系统安装、性能测试、系泊试验、试航等工序产生的碳排放，涵盖辅助生产系统用能碳排放、委外加工碳排放、二氧化碳回收利用、碳清除。

6 清单分析

6.1 数据类型

6.1.1 数据类型包括初级数据和次级数据。

6.1.2 初级数据应包括目标船“从摇篮到大门”所消耗的原材料及配套设备、消耗的能源及资源、工艺工序作业信息、单位工艺工序碳排放等，对数据的获得方式和来源均应予以说明，按照附录 A 中表格采集。数据来源包括原始凭证、上游数据、计量数据等。

6.1.3 次级数据应包括通过引用公用数据、参考数据和其他文献研究等数据以供计算产品碳排放量而收集的数据和其他次级数据，按照附录 A 中表格采集。在采集过程中，应对缺失的数据进行合理填补，并说明数据填补方法。数据来源包括数据库、文献、行业数据、参考等。

6.2 数据收集和确认

6.2.1 通则

对于系统边界内的所有单元过程，应收集纳入生命周期清单中的定性和定量数据。数据是通过测量、计算或估算得到，用来量化单元过程的输入和输出。数据收集的记录表可参考附录A。对于可能对研究结论有显著影响的数据，应说明相关数据的收集过程、收集时间以及数据质量的详细信息。如果这些数据不符合数据质量的要求（见6.3），也应作出说明。

6.2.2 活动数据

活动数据可通过仪表读数、采购记录、财务报表、直接监测、质量平衡或其他从公司价值链的具体活动中收集数据的方法获取。除了活动数据量化值，还应收集采购商品的相关属性值，如材料名称、型号、年份、供应商国家、供应商名称、供应商编号等。

6.2.3 碳排放因子

碳排放因子的核算边界包含生产和使用环节。碳排放因子数据可通过供应商提供、现场实测、政府主管部门发布的权威数据、国内外权威数据库获取。

6.2.4 数据确认

在数据收集过程中应对数据的有效性进行检查，以确认并提供证据证明数据质量要求符合6.3的规定。数据确认可通过建立质量平衡、能量平衡和（或）碳排放因子的比较分析或其他适当的方法。

6.3 数据质量要求

在开展产品碳足迹研究的组织拥有财务或运营控制权的情况下，应收集现场数据[1)]。所收集的过程数据应具有代表性。对于最重要的单元过程[2)]，即使没有财务或运营控制权，也宜使用现场数据。

数据应反映实际生产情况，体现实际工艺流程、技术和设备类型、原材料与能耗类型、生产规模等因素的影响。优先使用船舶总装企业监测的数据，收集各生产过程的主要消耗和排放数据。在无法获得实际生产过程数据的情况下，参考类似行业数据。

在收集现场数据不可行的情况下，宜使用经第三方评审的非现场数据的初级数据。

仅在收集初级数据不可行时，或对于重要性较低的过程，次级数据[3)]才能用于输入和输出。

产品碳足迹研究宜通过使用现有最高质量数据，尽可能地减少偏差和不确定性。数据质量的特征应包括定量和定性两个方面，相关特性描述宜涉及以下方面：

——时间覆盖范围：数据的年份和所收集数据的最小时间长度；

——地理覆盖范围：为实现产品碳足迹研究目的，所收集的单元过程数据的地理位置；

——技术覆盖范围：具体的技术或技术组合；

——精度：对每个数据值的可变性的度量（例如方差）；

——完整性：测量或测算的流所占的比例；

——代表性：反映实际关注人群对数据集（即时间覆盖范围、地理覆盖范围和技术覆盖范围等）关注程度的真实情况进行的定性评价；

——一致性：对研究方法学是否能在敏感性分析的不同组成部分中统一应用而进行的定性评价；

——再现性：对其他独立从业人员采用同一方法学和数值信息重现相同研究结果的定性评价；

——数据来源；

---

1) 现场数据是指温室气体直接排放量（通过直接监测、化学计量、质量平衡或类似方法确定）、活动数据（导致温室气体排放或清除的过程的输入和输出）或排放因子。可从一个特定的地点收集现场数据，也可选取该研究的系统内所有地点现场数据的平均值。只要其结果是针对产品生命周期中的单元过程，即可对其进行测量或建模。

2) 最重要的单元过程是那些对产品碳足迹贡献度不低于80%的单元过程。

3) 在某些情况下，作为次级数据的默认排放因子不是基于生命周期的排放因子，可能需要进行调整或修改。应记录和证明次级数据的适用性，并注明参考文件。

——信息的不确定性。

开展产品碳足迹研究的组织宜建立数据管理系统，保留相关文件和记录，进行数据质量评价，并持续提高数据质量。

6.4 数据分配

分配应按GB/T 24067中规定的要求执行。

在边界设置和数据收集时，应避免进行数据分配。若发现至少有一个过程的输入和输出包含多个产品，则总碳排放量需要进行分配。分配的原则如下：

——优先使用物理关系参数（例如数量、质量、工时、预处理面积、分段制造完工量、涂装面积、切割截面积、焊缝熔覆金属重量/焊材重量/焊接米数等）作为分配指标；

——若无法建立物理关系，则根据经济价值进行分配；

——若使用其他分配方法，应提供所使用参数的基础及计算说明。

分配指标的选择原则如下：

——可以较为准确地量化目标船的加工量；

——具备目标船和全厂层面的数据统计基础。

6.5 取舍准则

重量占比小于各部分（包括原材料、配套设备、能源、耗能工质）的0.1%的物料可舍弃，但累计舍弃不能超过5%。舍去部分应有书面记录并说明舍弃原因。

6.6 特定温室气体排放量和清除量的处理

特定温室气体排放量和清除量的处理应按GB/T 24067中规定的要求执行。

7 影响评价

7.1 汽车运输船碳排放

汽车运输船“从摇篮到大门”碳足迹的计算应包括原材料获取阶段、配套设备阶段、物料运输阶段、制造过程阶段涉及的所有单元过程，按公式（1）计算。

$$E_{碳足迹} = E_{原材料} + E_{配套设备} + E_{物料运输} + E_{制造过程} \quad \cdots\cdots(1)$$

式中：

$E_{碳足迹}$——汽车运输船“从摇篮到大门”碳足迹，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{原材料}$——汽车运输船制造消耗的原材料产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{配套设备}$——汽车运输船安装的配套设备产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{物料运输}$——汽车运输船生产制造消耗的原材料、配套设备、能源由供应商所在地运输到船舶总装企业的过程产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{制造过程}$——汽车运输船制造过程中产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

7.2 原材料碳排放

原材料碳排放按公式（2）计算。

$$E_{原材料}=\sum_{m}(AD_m\times EF_m) \cdots\cdots (2)$$

式中：

m——原材料类型，例如钢材、焊材、电缆、防滑材料等。

AD_m——原材料m的消耗量。

EF_m——原材料m的碳排放因子。

注：优先使用供应商提供的经第三方独立验证的排放因子/碳足迹报告。重要物料和能耗的上游生产过程数据优先选择代表原产地国家、相同生产技术的公开基础数据库，数据的年限优先选择近年数据。仅在没有符合要求的背景数据的情况下，可以选择代表其他国家、代表其他技术的数据作为替代，并需在碳足迹报告中说明。

7.3 配套设备碳排放

配套设备碳排放优先选用供应商提供的、经第三方机构认证的产品碳足迹数据。如果无法提供，则按公式（3）计算。

$$E_{配套设备}=\sum_{n}(\sum_{j}M_{nj}\times EF_j+\sum_{k}AD_{nk}\times EF_k) \cdots\cdots (3)$$

式中：

n——配套设备，例如主机、锅炉、滚装系统等；

j——配套设备的组成材料，例如钢、铜、铝、塑料、橡胶等；

M_{nj}——配套设备 n 组成材料 j 的消费量，单位为吨（t）；

EF_j——配套设备 n 组成材料 j 的碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2eq/t）；

k——配套设备原料获取和制造过程的碳排放源，例如电、汽油、柴油、燃料油、天然气、液化天燃气、蒸汽、乙炔、丙烷、二氧化碳直排等；

AD_{nk}——配套设备 n 的原料获取和制造过程中，碳排放源 k 的消费量，单位为吨（t）；

EF_k——配套设备 n 的原料获取和制造过程中，碳排放源 k 的碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2eq/t）。

注：配套设备组成材料的碳排放因子优先选用供应商提供的数据。如果无法提供，则选用主管部门最新发布的数据或相关计算方法进行计算。

如果供应商无法提供配套设备的碳排放相关数据，应按照碳排放因子的行业最差水平计算，见公式（4）：

$$E_{\text{配套设备}} = \sum_{n} M_n \times EF_n \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

n——配套设备，例如主机、发电机、船用轴、锚绞机、螺旋桨等；

M_n——配套设备 n 的重量，单位为吨（t）；

EF_n——配套设备 n 的碳排放因子，取值为行业最差水平，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2eq/t）。

7.4 物料运输碳排放

物料运输碳排放量采用公式（5）计算。

$$E_{\text{物料运输}} = \sum_{j}\sum_{i} AD_{ij} \times EF_i \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

j——物料类型；

i——化石燃料类型；

AD_{ij}——运输物料 j 所消耗能源 i 的活动水平数据；

EF_i——能源 i 的碳排放因子。

如果运输过程存在部分或全部物料无法直接获取能源活动水平数据，可采用公式（6）计算。

$$E_{\text{物料运输}} = \sum_{j}\sum_{i} W_{ij} \times L_{ij} \times EF_i \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

j——物料类型；

i——运输方式类型；

W_{ij}——物料 j 采用运输方式 i 的重量，单位为吨（t）；

L_{ij}——物料 j 采用运输方式 i 的运输距离，单位为千米（km）；

EF_i——运输方式 i 的碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨每千米[$tCO_2eq/(t \cdot km)$]。

7.5 制造过程碳排放

7.5.1 区域（船厂/车间）级别的物料法（实际排放计算）

7.5.1.1 计算方法

对于计量条件一般的船舶总装企业，可采用物料分配法进行计算。

注：计量条件一般指仅能准确统计到一级计量，以及部分二级计量。

按公式（7）进行制造过程的碳排放量计算。

$$E_{制造过程}=\sum_{k=1}^{n}(\frac{S_k}{S_k}\times AD_i\times EF_i)+E_{委外加工}-E_{回收利用}-E_{碳清除} \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

式中：

n——目标船的制造过程（以月计）。

s_k——目标船在其制造过程（n）内的第 k 个月使用的钢材量，单位为吨（t）。

S_k——船舶总装企业在第 k 个月，目标船及其谱系化船型使用的钢材总量，单位为吨（t）。

AD_i——船舶总装企业在第 k 个月，在目标船及其谱系化船型消耗的第 i 种资源/能源量总量，包括各类工艺过程、滚装系统安装、船舶性能测试、系泊、试航、辅助生产系统等产生的资源能源消耗量。

EF_i——第 i 种资源/能源的碳排放因子。

$E_{委外加工}$——目标船制造过程中委外加工产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。委外加工碳排放应优先采用第三方机构在委外加工单位核算的数据。如果无法提供，应按照碳排放因子的行业最差水平计算。

$E_{回收利用}$——目标船制造过程中，将排放源产生的二氧化碳进行捕集、处理，并在制造过程中重新利用的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

$E_{碳清除}$——目标船制造过程中的碳清除量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

注：区域（船厂/车间）级别的物料法为粗略的计算方法，按照钢材占比分配后，目标船的资源能源消耗量包括工艺和辅助生产设施的资源能源消耗量。因此公式（7）已包含目标船的工艺过程碳排放及辅助生产碳排放。

7.5.1.2 委外加工

委外加工按公式（8）计算。

$$E_{委外加工}=\sum_{j}AD_j\times EF_j \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

式中：

j——委外加工工序类型；

AD_j——目标船委外加工的物量，例如钢料加工量、分段制造完工量等，单位为吨（t）；

EF_j ——目标船委外加工物量的碳排放因子，取值为行业最差水平，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2eq/t）。

7.5.1.3 回收利用

回收利用按公式（9）计算。

$$E_{回收利用}=\frac{D_{目标船}}{D_{全厂}}\times E_{回收利用总量} \quad \cdots\cdots(9)$$

式中：

$D_{目标船}$ ——目标船的总段重量，单位为吨（t）；

$D_{全厂}$ ——目标船制造周期内，全厂所有船舶产品的总段重量，单位为吨（t）；

$E_{回收利用总量}$ ——目标船制造周期内，在全厂制造过程中的二氧化碳回收利用总量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

7.5.1.4 碳清除

碳清除按公式（10）计算。

$$E_{碳清除}=\frac{D_{目标船}}{D_{全厂}}\times E_{碳清除总量} \quad \cdots\cdots(10)$$

式中：

$D_{目标船}$ ——目标船的总段重量，单位为吨（t）；

$D_{全厂}$ ——目标船制造周期内，全厂所有船舶产品的总段重量，单位为吨（t）；

$E_{碳清除总量}$ ——目标船制造周期内，全厂制造过程中的碳清除量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

钢材使用量、能源及资源消耗量由船舶总装企业通过物料使用记录、生产记录、计量设备等获取。

7.5.2 设备级别的工艺法（实际排放计算）

7.5.2.1 计算方法

对于计量条件较好的船舶总装企业，可采用设备级别的工艺作业分配法进行计算。根据目标船制造周期内船舶总装企业各设备对目标船的工艺作业量、对所有在建船舶产品的工艺作业量、各设备的资源能源消耗量，按工艺作业量分配获取目标船的各工艺环节的资源消耗量活动数据，结合资源能源碳足迹因子，进行目标船各工艺环节碳排放计算。

注：计量条件较好指能准确统计到二级计量，以及重点能耗设备的三级计量。

按公式（11）进行目标船制造过程的碳排放量计算。

$$E_{制造过程}=E_{预处理}+E_{切割}+E_{分段小组立}+E_{涂装}+E_{中组立大组立}+E_{管加工}+E_{机加工}+E_{舾装}+E_{总组搭载}+E_{滚装系统安装}+E_{性能测试}+E_{系泊试验}+E_{试航}+E_{辅助生产}+E_{委外加工}-E_{回收利用}-E_{碳清除} \quad \cdots(11)$$

式中：

$E_{制造过程}$——目标船制造过程产生的碳排放总量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{预处理}$——目标船制造过程预处理产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{切割}$——目标船制造过程切割产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{分段小组立}$——目标制造过程分段小组立产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{涂装}$——目标船制造过程涂装产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{中组立大组立}$ ——目标制造过程中组立大组立产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{管加工}$——目标船制造过程管加工产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{机加工}$——目标船机加工产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{舾装}$——目标船舾装产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{总组搭载}$——目标船总组搭载产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{滚装系统安装}$——目标船滚装系统安装产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{性能测试}$——目标船性能测试（如密性测试、倾斜测试）产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{系泊试验}$——目标船制造过程系泊试验产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{试航}$——目标船制造过程试航产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{辅助生产}$——目标船制造过程辅助生产系统产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{委外加工}$——目标船制造过程委外产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{回收利用}$——目标船制造过程 CO_2 回收利用量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{碳清除}$——目标船制造过程碳清除量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

7.5.2.2 预处理碳排放

预处理碳排放按公式（12）计算。

$$E_{预处理}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i预处理}}{S_{i预处理}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j预处理}\times EF_{j预处理})))\times r_{i预处理} \cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

式中：

i——目标船制造过程进行预处理作业的第 i 种设备，包括但不限于钢板校平机、预处理线、预处理线 RTO 等；

$s_{i预处理}$——目标船制造过程第 i 种预处理设备对目标船的作业量，例如以预处理面积表示，单位为平方米（m^2）；

$S_{i预处理}$——目标船制造过程第 i 种预处理设备对所有在建船舶产品的作业量，例如以预处理面积表示，单位为 m^2；

$AD_{j预处理}$——目标船制造过程第 i 种预处理设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j预处理}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i预处理}$——第 i 种预处理设备的冗余系数，由船厂根据目标船的预处理要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.3 切割碳排放

切割碳排放按公式（13）计算。

$$E_{切割}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i切割}}{S_{i切割}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j切割}\times EF_{j切割})))\times r_{i切割} \cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

式中：

i——目标船制造过程进行切割作业的第 i 种相关设备，包括但不限于火焰切割机、等离子切割机、火焰切割机等；

$s_{i切割}$——目标船制造过程第 i 种切割设备对目标船的作业量，例如以切割截面积表示，单位为平方米（m^2）；

$S_{i切割}$——目标船制造过程第 i 种切割设备对所有在建船舶产品的作业量，例如以切割截面积表示，单位为 m^2；

$AD_{j切割}$——目标船制造过程第 i 种切割设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j切割}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i切割}$——第 i 种切割设备的冗余系数，由船厂根据目标船的切割要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.4 小组立碳排放

小组立碳排放按公式（14）计算。

$$E_{小组立}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i小组立}}{S_{i小组立}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j小组立}\times EF_{j小组立})))\times r_{i小组立} \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

式中：

i——目标船制造过程进行小组立作业的第 i 种设备，包括但不限于桥式起重机、半门式起重机、手工焊机、二氧化碳焊机、自动埋弧焊机、埋弧焊机、部件流水线、T 型材自动焊接生产线、可控硅碳弧气刨机等；

$s_{i小组立}$——目标船制造过程第 i 种小组立设备对目标船的作业量。对于焊接类设备作业量，例如以焊材消耗量表示，单位为千克（kg）；对于其他类设备作业量，例如以小组立分段重量表示，单位为千克（kg）；

$S_{i小组立}$——目标船制造过程第 i 种小组立设备对所有在建船舶的作业量。对于焊接类设备作业量，例如以焊材使用量表示，单位为千克；对于其他类设备作业量，例如以分段重量表示，单位为千克；

$AD_{j小组立}$——目标船制造过程第 i 种小组立作业设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j小组立}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i小组立}$——第 i 种小组立设备的冗余系数，由船厂根据目标船的小组立工艺要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.5 涂装碳排放

涂装碳排放按公式（15）计算。

$$E_{涂装}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i涂装}}{S_{i涂装}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j涂装}\times EF_{j涂装})))\times r_{i涂装}\cdots\cdots(15)$$

式中：

i——目标船制造过程内，进行涂装作业的第 i 种设备，包含但不限于除湿机、喷砂系统、组合喷砂机、喷漆机、除尘器、回收清理传送系统、喷砂间真空吸砂系统、移动式真空吸尘机、移动真空吸砂机、VOCs 处理装置等；

$s_{i涂装}$——目标船制造过程内，第 i 种涂装作业设备对目标船的作业量。与喷砂相关的设备作业（如喷砂、除尘），例如以喷砂面积表示，单位为㎡；与喷涂相关的设备作业量（如喷漆、除湿、VOCs 处理），例如以喷涂面积表示，单位为㎡；

$S_{i涂装}$——目标船制造周期内，第 i 种涂装设备对所有在建船舶产品的作业量。与喷砂相关的设备作业采用喷砂面积，单位为㎡；与喷涂相关的设备作业量采用喷涂面积，单位为㎡；

$AD_{j涂装}$——目标船制造周期内，第 i 种涂装设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j涂装}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等；

$r_{i涂装}$——第 i 种涂装设备的冗余系数，由船厂根据目标船的涂装要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.6 中组立大组立碳排放

中组立大组立碳排放按公式（16）计算。

$$E_{中组立大组立}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i中组立大组立}}{S_{i中组立大组立}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j中组立大组立}\times EF_{j中组立大组立})))\times r_{i中组立大组立}\cdots(16)$$

式中：

i——目标船制造过程进行中组立大组立的第 i 种设备，包含但不限于桥式起重机、半门式起重机、手工焊机、二氧化碳焊机、自动埋弧焊机、埋弧焊机、平面流水线、ABCD 流水线、电磁桥式起重机、门式起重机、焊剂烘干机、轴流风机等；

$s_{i中组立大组立}$——目标船制造过程第 i 种中组立大组立设备对目标船的作业量。对于焊接设备作业，例如以耗材消耗量表示，单位为千克（kg）；对于其他设备作业，例如以分段重量表示，单位为千克（kg）；

$S_{i中组立大组立}$——为目标船制造过程第 i 种中组立大组立设备对所有在建船舶产品的作业量。对于焊接设备作业，例如以焊材消耗量表示，单位为千克；对于其他设备作业，例如以分段重量表示，单位

为千克；

$AD_{j中组立大组立}$——目标船制造过程第 i 种中组立大组立设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j中组立大组立}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i中组立大组立}$——第 i 种中组立大组立设备的冗余系数，由船厂根据目标船的中组立大组立要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.7 管加工碳排放

管加工碳排放按公式（17）计算。

$$E_{管加工}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i管加工}}{S_{i管加工}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j管加工}\times EF_{j管加工})))\times r_{i管加工} \cdots\cdots(17)$$

式中：

i——目标船制造过程进行管加工的第 i 种设备，包含但不限于切割机、焊机等；

$s_{i管加工}$——目标船制造过程第 i 种管加工设备对目标船的作业量，例如以加工件重量表示，单位为千克（kg）；

$S_{i管加工}$——为目标船制造过程第 i 种管加工设备对所有在建船舶产品的作业量，例如以加工件重要表示，单位为千克；

$AD_{j机加工}$——目标船制造过程第 i 种管加工设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j管加工}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i管加工}$——第 i 种管加工设备的冗余系数，由船厂根据目标船的管加工要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.8 机加工碳排放

机加工碳排放按公式（18）计算。

$$E_{机加工}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i机加工}}{S_{i机加工}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j机加工}\times EF_{j机加工})))\times r_{i机加工} \cdots\cdots\cdots(18)$$

式中：

i——目标船制造过程进行机加工的第 i 种设备，包含但不限于船用三辊卷板机、型材冷弯机、肋骨冷弯机等；

$s_{i机加工}$——目标船制造过程第 i 种机加工设备对目标船的作业量，例如以加工件重量表示，单位为千克（kg）；

$S_{i机加工}$——为目标船制造过程第 i 种机加工设备对所有在建船舶产品的作业量，例如以加工件重要表示，单位为千克；

$AD_{j机加工}$——目标船制造过程第 i 种机加工设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j机加工}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i机加工}$——第 i 种机加工设备的冗余系数，由船厂根据目标船的机加工要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.9 舾装碳排放

舾装碳排放按公式（19）计算。

$$E_{舾装}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i舾装}}{S_{i舾装}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j舾装}\times EF_{j舾装})))\times r_{i舾装} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

式中：

i——目标船制造过程进行舾装作业的第 i 种设备，包含但不限于切割机、焊机、吊机等；

$s_{i舾装}$——目标船制造过程第 i 种舾装作业设备对目标船的作业量，例如以加工件重量表示或作业工时表示，单位为千克（kg）或小时（h）；

$S_{i舾装}$——为目标船制造过程第 i 种舾装设备对所有在建船舶产品的作业量，例如以加工件重要表示，单位为千克；

$AD_{j舾装}$——目标船制造过程第 i 种舾装作业设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j舾装}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i舾装}$——第 i 种舾装作业设备的冗余系数，由船厂根据目标船的舾装要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.10 总组搭载碳排放

总组搭载碳排放按公式（20）计算。

$$E_{总组搭载}=(\sum_{i=1}^{n}(\frac{S_{i总组搭载}}{S_{i组织搭载}}\times\sum_{j=1}^{n}(AD_{j总组搭载}\times EF_{j总组搭载})))\times r_{i总组搭载} \quad \cdots\cdots(20)$$

式中：

i——目标船制造过程进行总组搭载作业的第 i 种设备，包含但不限于切割机、焊机、吊机等；

$s_{i总组搭载}$——目标船制造过程第 i 种总组搭载设备对目标船的作业量。对于焊接设备的作业量，例如以焊材消耗量表示，单位为千克（kg）；对于吊机等设备的作业量，例如以总组搭载件重量表示，单位为千克（kg）；

$S_{i总组搭载}$——目标船制造过程第 i 种总组搭载设备对所有在建船舶产品的作业量。对于焊接设备的作业量，例如以焊材消耗量表示，单位为千克（kg）；对于吊机等设备的作业量，例如以总组搭载件重量表示，单位为千克（kg）；

$AD_{j总组搭载}$——目标船制造过程第 i 种总组搭载作业设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

$EF_{j总组搭载}$——第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

$r_{i总组搭载}$——第 i 种总组搭载设备的冗余系数，由船厂根据目标船的总组搭载要求及返工率估算（如低于其他船型＜1，高于其他船型＞1），建议从 0.8-1.5 不等。

7.5.2.11 滚装系统安装碳排放

滚装系统安装碳排放按公式（21）计算。

$$E_{滚装系统安装}=\sum_{i}\sum_{j}AD_{ij}\times EF_{j} \quad \cdots\cdots(21)$$

式中：

i——目标船建设周期内，目标船进行滚装系统安装的第 i 种设备，包含但不限于切割机、焊机、吊机等；

AD_{ij}——目标船制造周期内，第 i 种滚装系统安装设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

EF_{j}——消耗的第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

注：滚装系统安装的资源能源消耗量来自单独记录。

7.5.2.12 性能测试碳排放

性能测试碳排放按公式（22）计算。

$$E_{\text{性能测试}} = \sum_{i}\sum_{j} AD_{ij} \times EF_{j} \quad \cdots\cdots (22)$$

式中：

i——目标船建设周期内，目标船进行性能测试试验的第 i 种设备；

AD_{ij}——目标船制造周期内，第 i 种性能测试设备消耗的第 j 种资源/能源，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kWh）或万立方米（10^4m^3）等；

EF_j——消耗的第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO_2eq/t）、吨二氧化碳每万千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）或吨二氧化碳每万立方米（$tCO_2eq/10^4m^3$）等。

注：性能测试设备的资源能源消耗量来自单独记录。

7.5.2.13 系泊试验碳排放

系泊试验碳排放按公式（23）计算。

$$E_{\text{系泊}} = \sum_{j} AD_{j} \times EF_{j} \quad \cdots\cdots (23)$$

式中：

j——目标船系泊试验消耗的第 j 种资源能源，包含但不限于柴油、燃料油、液化天然气、甲醇、耗能工质等；

AD_j——系泊试验消耗的第 j 种资源/能源量，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4 kWh）或万立方米（10^4m^3）；

EF_j——系泊试验消耗的第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2eq/t）或吨二氧化碳当量每万 千瓦时（$tCO_2eq/10^4kWh$）。

注：系泊试验的资源能源消耗量来自单独计量。

7.5.2.14 试航碳排放

试航碳排放采用公式（24）计算。

$$E_{\text{试航}} = \sum_{j} AD_{j} \times EF_{j} \quad \cdots\cdots (24)$$

式中：

j——试航消耗的第 j 种资源能源，包含但不限于柴油、燃料油、液化天然气、甲醇等；

AD_j——试航消耗的第 j 种资源能源量，单位为吨（t）、万千瓦时（10^4kW.h）或万立方米（10^4 m^3）；

EF_j——试航消耗的第 j 种资源/能源的碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2eq/t）或吨二氧化碳当量每万千瓦时（$tCO2eq/10^4$ kW.h）。

注：试航资源能源消耗量来自单独记录。

7.5.2.15 辅助生产碳排放

辅助生产系统用能碳排放按公式（25）计算。

$$E_{辅助生产系统}=E_{压缩空气}+E_{办公楼}+E_{实验室}+E_{照明}+E_{采暖}+E_{运输}+E_{污水处理} \cdots\cdots\cdots\cdots (25)$$

式中：

$E_{辅助生产系统}$——目标船制造过程中辅助生产系统用能产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{压缩空气}$——目标船辅助生产系统用能中压缩空气产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{办公楼}$——目标船辅助生产系统用能中办公楼产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{实验室}$——目标船辅助生产系统用能中实验室产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{照明}$——目标船辅助生产系统用能中照明产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{采暖}$——目标船辅助生产系统用能中采暖产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{运输}$——目标船辅助生产系统用能中运输产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{污水处理}$——目标船辅助生产系统用能中污水处理产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

注：辅助生产碳排放的各项计算参照 T/CANSI 162 执行。

7.5.2.16 委外加工碳排放

委外加工碳排放应优先采用第三方机构在委外加工单位核算的数据。如果无法提供，应按照碳排放因子的行业最差水平计算，按公式（8）计算。

7.5.2.17 二氧化碳回收利用量

二氧化碳回收利用按公式（9）计算。

7.5.2.18 碳清除量

碳清除量按公式（10）计算。

7.5.3 数字化预测核算法（开工前的排放预估）

7.5.3.1 计算方法

对于计量条件较好且数字化应用较广的船舶总装企业，可采用数字化预测法在开工前进行目标船碳足迹预估。由船舶总装企业根据自身设备及工艺情况进行预处理、切割、焊接、喷涂等工序的数字化生产设计信息统计，结合船舶总装企业标定的工序碳排放因子计算。

注：计量条件较好且数字化应用较广指能准确统计到二级计量，以及重点能耗设备的三级计量，能够进行主要制造工艺的碳排放标定；开工前可以预估单艘船舶制造过程的主要工艺量。

按公式（26）进行目标船制造过程的碳排放量计算。

$$E_{制造过程}=E_{预处理}+E_{切割}+E_{焊接}+E_{喷砂}+E_{喷漆}+E_{中组立大组立}+E_{管加工}+E_{机加工}+E_{舾装}+E_{总组搭载}+E_{滚装系统安装}+E_{性能测试}+E_{系泊试验}+E_{试航}+E_{辅助生产}+E_{委外加工}-E_{回收利用}-E_{碳清除} \quad \cdots\cdots(26)$$

式中：

$E_{制造过程}$——目标制造过程产生的碳排放总量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{预处理}$——目标制造过程预处理工艺产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{切割}$——目标船制造过程切割工艺产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{焊接}$——目标制造过程小组立中的焊接工艺产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{喷砂}$——目标制造过程喷涂中的喷砂工艺产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{喷漆}$——目标制造过程喷涂中的喷漆工艺产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{中组立大组立}$——目标船制造过程中组立大组立工序产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{管加工}$——目标船制造过程管加工工序产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{机加工}$——目标船制造过程机加工工序产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{舾装}$——目标船舾装工序产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{总组搭载}$——目标船总组搭载工序产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{滚装系统安装}$——目标船滚装系统安装工序产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{性能测试}$——目标船性能测试（如密性测试、倾向测试）产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{系泊试验}$——目标船系泊试验产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{试航}$——目标船试航产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{辅助生产}$——目标船制造过程辅助生产系统产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{委外加工}$——目标船制造过程委外产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{回收利用}$——目标船制造过程的二氧化碳回收利用量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）；

$E_{碳清除}$——目标船制造过程的碳清除量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2eq）。

7.5.3.2 预处理碳排放

预处理碳排放按公式（27）计算。

$$E_{预处理}=\sum_{i}EF_{i预处理}\times S_{i预处理}\times r_{i预处理} \quad \cdots\cdots(27)$$

式中：

$EF_{预处理}$——第i种预处理工艺的碳排放因子，表征完成单位有效面积预处理产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每平方米有效预处理面积（tCO_2eq/m^2）。由船舶总装企业在统计期内，对预处理作业的资源能源消耗（电力等）及对应的碳排放、预处理面积进行测定后计算获得。

$S_{i预处理}$——目标船制作过程的第i种预处理工艺的预处理面积，从目标船的数字化设计/生产物料清单表（Bill of Materials，BOM）中获取（数字化设计为预估结果，生产BOM为核算结果）。

$r_{i预处理}$——第i种预处理工序的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从0.8-1.5不等。

7.5.3.3 切割碳排放

切割碳排放按公式（28）计算。

$$E_{切割}=\sum_{i}EF_{i切割}\times S_{i切割}\times r_{i切割} \quad \cdots\cdots(28)$$

式中：

$EF_{i切割}$——第i种切割工艺的排放因子，表征完成单位切割截面积产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每平方米切割截面积（tCO_2eq/m^2）。由船舶总装企业在统计期内，对切割作业的能源资源消耗（电力、燃气、助燃剂、保护气体等）及对应的碳排放、切割截面积（切割长度×切割厚度）进行测定后计算获得。

$S_{i切割}$——目标船制造过程的第i种切割工艺的切割截面积，单位为平方米（m^2），从目标船的数字化设计/生产BOM中获取。

$r_{i切割}$——第i种切割工艺的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议从0.8-1.5不等。

7.5.3.4 焊接碳排放

焊接碳排放按公式（29）计算。

$$E_{焊接}=\sum_{i}EF_{i焊接}\times M_{i焊接}\times r_{i焊接} \quad \cdots\cdots(29)$$

式中：

$EF_{i焊接}$——第i种焊接工艺的排放因子，表征产生单位焊缝熔敷金属质量对应的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每千克焊缝熔敷金属质量（tCO_2eq/kg）。由船舶总装企业在统计期内，对焊接作业的能源资源消耗（电力、保护气、焊材等）及对应的碳排放、焊缝熔敷金属质量进行测定后计算获得。

$M_{i焊接}$——目标船建造过程第i种焊接工艺产生的熔敷金属质量，单位为千克（kg），可从目标船的数字化设计/生产BOM中获取焊缝坡口形式、焊缝长度、板材信息等之后，根据焊接工艺技术手册推荐公式进行计算。

$r_{i焊接}$——第i种焊接工艺的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从0.8-1.5不等。

7.5.3.5 喷砂碳排放

喷砂碳排放按公式（30）计算。

$$E_{喷砂}=\sum_{i}EF_{i喷砂}\times S_{i喷砂}\times r_{i喷砂} \quad \cdots\cdots(30)$$

式中：

$EF_{i喷砂}$——第i种喷砂工艺的排放因子，表征完成单位有效面积喷砂产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每平方米有效喷砂面积（tCO_2eq/m^2），由船舶总装企业在统计期内，对喷砂作业的能源资源消耗（电力、钢砂、压缩空气等）及对应的碳排放、喷砂面积进行测定计算获得。

$S_{i喷砂}$——目标船制造过程内所需的第i种喷砂工艺的喷砂面积，单位为平方米（m^2），从目标船的数字化设计/生产BOM中获取。

$r_{i喷砂}$——第i种喷砂工艺的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从0.8-1.5不等。

7.5.3.6 喷漆碳排放

喷漆碳排放按公式（31）计算。

$$E_{喷漆}=\sum_{i}EF_{i喷漆}\times S_{i喷漆}\times r_{i喷漆} \quad \cdots\cdots(31)$$

式中：

$EF_{i喷漆}$——第 i 种喷漆工艺的碳排放因子，表征完成单位有效面积喷涂产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每平方米有效喷涂面积（tCO_2eq/m^2），由船舶总装企业在统计期内，对喷涂作业的资源能源消耗（电力、涂料等）、喷涂面积进行测定后，结合碳排放因子核算获得。

$S_{i喷漆}$——目标船制造过程内所需的第 i 种漆工艺的涂装面积，单位为平方米（m^2），从目标船的数字化设计/生产 BOM 中获取。

$r_{i喷漆}$——船舶总装企业第 i 种喷漆工艺的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从 0.8-1.5 不等。

7.5.3.7 中组立大组立碳排放

中组立大组立碳排放按公式（32）计算。

$$E_{中组立大组立} = EF_{中组立大组立} \times H_{中组立大组立} \times r_{中组立大组立} \quad \cdots\cdots(32)$$

式中：

$EF_{中组立大组立}$——中组立大组工序的碳排放因子，表征完成单位重量的部件和结构组立产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每吨组立部件和结构（tCO2eq/t）。由船舶总装企业在统计期内对大组立中组立作业的资源能源消耗及对应的碳排放、组立部件和结构重量进行测定后计算获得。

$H_{中组立大组立}$——参与中组立大组立的部件和结构重量，从目标船的数字化设计/生产 BOM 中获取。

$r_{中组立大组立}$——船舶总装企业大组工序的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从 0.8-1.5 不等。

7.5.3.8 管加工碳排放

管加工碳排放按公式（33）计算。

$$E_{管加工} = EF_{管加工} \times H_{管加工} \times r_{管加工} \quad \cdots\cdots(33)$$

式中：

$EF_{管加工}$——管加工工序的碳排放因子，表征完成单位重量的管加工部件和结构产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每吨加工部件和结构（tCO_2eq/t）。由船舶总装企业在统计期内对管加工作业的资源能源消耗及对应的碳排放、管加工部件和结构重量进行测定后计算获得。

$H_{管加工}$——参与管加工的部件和结构重量，从目标船的数字化设计/生产 BOM 中获取。

$r_{管加工}$——船舶总装企业管加工工序的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从 0.8-1.5 不等。

7.5.3.9 机加工碳排放

机加工碳排放按公式（34）计算。

$$E_{机加工} = EF_{机加工} \times H_{机加工} \times r_{机加工} \quad \cdots\cdots(34)$$

式中：

$EF_{机加工}$——机加工工序的碳排放因子，表征完成单位重量的加工部件和结构产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量每吨加工部件和结构（tCO_2eq/t）。由船舶总装企业在统计期内对机加工作业的资源能源消耗及对应的碳排放、机加工部件和结构重量进行测定后计算获得。

$H_{机加工}$——参与机加工的部件和结构重量，从目标船数字化设计/生产 BOM 中获取。

$r_{机加工}$——船舶总装企业机加工工序的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从 0.8-1.5 不等。系数取值越低，表示工艺在船舶总装企业/或班组内的作业碳排放水平越低。

7.5.3.10 舾装碳排放

舾装碳排放采用公式（35）计算。

$$E_{舾装} = EF_{舾装} \times H_{舾装} \times r_{舾装} \quad \cdots\cdots (35)$$

式中：

$EF_{舾装}$——舾装工序的碳排放因子，表征完成单位重量或者单位工时舾装作业产生的碳排放，单位为吨二氧化碳当量/千克（tCO_2eq/kg）、吨二氧化碳当量每小时（tCO_2eq/h）。由船舶总装企业在统计期内，对舾装作业的资源能源消耗及对应的碳排放、作业重量、作业工时进行测定后计算获得。

$h_{舾装}$——目标船制造过程预计的舾装作业重量或工时，船舶总装企业根据舾装部件及目标船完工要求进行计算。

$r_{舾装}$——船舶总装企业舾装工序的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从 0.8-1.5 不等。系数取值越低，表示工艺在船舶总装企业/或班组内的作业碳排放水平越低。

7.5.3.11 总组搭载碳排放

总组搭载碳排放采用公式（36）计算。

$$E_{总组搭载} = EF_{总组搭载} \times H_{总组搭载} \times r_{总组搭载} \quad \cdots\cdots (36)$$

式中：

$EF_{总组搭载}$——总组搭载工序的碳排放因子，表征完成单位总组搭载作业产生的碳排放。单位为吨二氧化碳当量每千克（tCO_2eq/kg）。由船舶总装企业在统计期内，对总组搭载作业的资源能源消耗及对应的碳排放、作业量进行测定计算获得。

$h_{总组搭载}$——目标船制造过程预计的总组搭载作业量。对于焊接作业量，例如以焊材消耗量表示，单位为千克（kg）；对于吊机等设备的作业量，例如以总组搭载件重量表示，单位为千克（kg）。船舶总装企业根据总装搭载部件及完工要求进行计算。

$r_{总组搭载}$——船舶总装企业总组搭载工序的冗余系数，由船舶总装企业根据自身情况确定，建议取值从0.8-1.5不等。系数取值越低，表示工艺在船舶总装企业/或班组内的作业碳排放水平越低。

7.5.3.12 滚装系统安装碳排放

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的滚装系统安装碳排放按7.5.2.11执行。

7.5.3.13 性能测试碳排放

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的性能测试碳排放按7.5.2.12执行。

7.5.3.14 系泊试验碳排放

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的系泊试验碳排放按7.5.2.13执行。

7.5.3.15 试航碳排放

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的试航碳排放计算按7.5.2.14执行。

7.5.3.16 辅助生产碳排放

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的辅助生产碳排放计算按7.5.2.15执行。

7.5.3.17 委外碳排放

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的委外生产碳排放计算按7.5.2.16执行。

7.5.3.18 二氧化碳回收利用量

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的二氧化碳回收利用量计算按7.5.2.17执行。

7.5.3.19 碳清除量

参考已完工的谱系化船型的计算结果进行预估。谱系化船型的碳清除量计算按7.5.2.18执行。

8 结果解释

8.1 产品碳足迹研究的生命周期解释阶段应包括以下步骤：

a） 根据生命周期清单分析和生命周期影响评价的产品碳足迹的量化结果，识别重大问题（可包括生命周期阶段、单元过程或流）；

b） 完整性、一致性和敏感性分析；

c） 结论、局限性和建议的编制。

8.2 应按照产品碳足迹研究的目的和范围，对生命周期清单分析或生命周期影响评价的产品碳足迹的量 化结果进行解释，解释应包括以下内容：

a） 对产品碳足迹和各阶段碳足迹的说明；
b） 对不确定性分析，包括取舍准则的应用或范围；
c） 详细记录选定的分配程序；
d） 描述空间系统的划分方法及空间格网粒度（如适用）；
e） 说明产品碳足迹研究的局限性。

8.3 解释宜包括以下内容：

a） 对重要输入、输出和方法学选择（包括分配程序）进行的敏感性检查，以理解结果的敏感性和不确定性；
b） 替代使用情景对最终结果的影响评价；
c） 不同生命末期阶段情景对最终结果的影响评价；
d） 对建议的结果的影响评价。

9 产品碳足迹报告

9.1 产品碳足迹研究报告的目的是说明产品碳足迹或部分产品碳足迹符合本文件的规定。

9.2 可将产品碳足迹研究报告中的结果用于足迹信息交流。

9.3 应在产品碳足迹研究报告中完整地、准确地、不带偏向地、透明地、详细地记录和说明结果、数据、方法、假设和生命周期解释，以便相关方能够理解产品碳足迹固有的复杂性和所做出的权衡。

9.4 船舶产品碳足迹报告应包括但不限于以下内容（报告格式参考模板见附录 B）：

a） 产品名称、规格、型号；
b） 系统边界；
c） 数据取舍准则描述；
d） 数据质量评价体系描述；
e） 分配方法描述；
f） 产品碳足迹；
g） 结论和不确定性说明；
h） 其他需要说明的情况。

10 产品碳足迹声明

相关声明或信息交流中的产品碳足迹研究报告可参考附录 B。

附录 A
（资料性）
汽车运输船产品碳足迹量化数据收集表

A.1 产品信息

产品信息按表A.1填写。

表 A.1 汽车运输船产品碳足迹量化数据收集表-产品信息

项目	内容
目标船基本信息	如规格，总吨，滚装设备主要参数，甲板层数及装车量，运输燃料系统、主机设备等描述。
目标船所属企业名称	
企业所在省份	
企业地址	
企业联系人及联系方式	
企业汽车运输船生产情况（填写统计期内所有汽车运输船种类及数量）	产品 1：产量（艘）
	产品 2：产量（艘）
	产品 X：产量（艘）
企业汽车运输船生产线条数及规模说明	①预处理： ②切割： ③焊接： ④组立： ⑤合拢： ⑥舾装： ⑦滚装系统安装： ⑧XXX：
汽车运输船生产区域/车间是否独立	
以上信息统计时段	

A.2 原材料获取阶段

原材料碳排放输入清单见表A.2。

表 A.2 原材料碳排放输入清单

原材料	单位	重量	来源/生产批次	数据类型
钢材				初级数据
焊材				初级数据
电缆				初级数据
钢管材				初级数据
铜管材				初级数据
铁管材				初级数据
锌				初级数据
铝				初级数据
防滑材料				初级数据
...				...
注：各类原材料应按具体类别编制清单，如钢材包括薄板、厚板、型钢、特钢等。				

A.3 配套设备获取阶段

配套设备输入清单在T/CANSI 162—2025中表A.2的基础上，补充滚装系统相关的设备输入（见表A.3）。

表 A.3 汽车运输船滚装及维稳设备碳排放输入清单

设备类型	类别	规格/重量/数量等	来源/生产批次	数据类型
滚装设备	艏门			初级数据
	艏跳板			初级数据
	艉跳板			初级数据
	艉斜跳板			初级数据
	舷侧跳板			初级数据
	可移动甲板			初级数据
	活动坡道			初级数据
	升降坡道			初级数据
	坡道盖板			初级数据
	升降平台			初级数据
	内部舱门			初级数据
	外部舱门			初级数据
	其他请注明			初级数据
维稳设备	侧向推进器			初级数据
	定位器			初级数据
	绑扎带			初级数据
	防摇水舱			初级数据
	其他请注明			初级数据

A.4 物料运输阶段

物料运输输入清单见表A.4。

表 A.4 物料运输碳排放输入清单

物料名称	重量（t）	运输距离（km）	运输方式	数据类型
				初级数据
				初级数据
				初级数据
				初级数据
				初级数据

A.5 制造过程

制造过程碳排放输入清单见表 A.5～表 A.11。

表 A.5　制造过程的工艺碳排放输入清单（区域(船厂/车间)级别的物料法）

物料名称	单位	运输距离（km）	运输方式	数据类型
目标船钢材消耗量				初级数据
全厂钢材消耗量				初级数据
全厂能源消耗量				初级数据
全厂耗能工质消耗量				初级数据
其他请注明				初级数据

注 1：区域（船厂/车间）级别的物料法为粗略的计算方法，按照钢材占比分配后，目标船的资源能源消耗量包括各类工艺过程、滚装系统安装、船舶性能测试、系泊、试航、辅助生产系统等产生的资源能源消耗量。

注 2：能源按照具体类别列出，如柴油、轻柴油、重燃油、天然气、外购电力（是否绿电及所属电网）、自有光伏发电、岸电、自有柴油发电等。

注 3：资源类按照具体类别列出，如工业用水、二氧化碳保护气、氧气、氮气、氩气等。

表 A.6　制造过程的工艺碳排放输入清单（设备级别的工艺法）

工艺类别及设备	对目标船作业量	对全厂所有船舶产品作业量	工艺物量指标及单位	设备的能源资源消耗量	资源能源单位	资源能源的来源	数据类型
预处理设备 1 预处理设备 2 ...			预处理面积（m^2）				初级数据
焊接设备 1 焊接设备 2 ...			焊缝熔敷金属质量/焊接长度/焊材量（kg）				初级数据
切割设备 1 切割设备 2 ...			切割截面积（m^2）				初级数据
喷涂设备 1 喷涂设备 2 ...			实际喷涂面积（m^2）				初级数据
小组立			组立重量（t）				初级数据
中组立大组立			组立重量（t）				初级数据
管加工			加工重量（t）				初级数据
机加工			加工重量（t）				初级数据
舾装			重量（t）				初级数据
滚装系统安装	/	/	/				初级数据
性能试验	/	/	/				初级数据
系泊试验	/	/	/				初级数据
试航	/	/	/				初级数据

注 1：滚装系统安装、性能测试、系泊试验、试航针对目标船单独统计能源资源消耗。

注 2：能源需按照具体类别列出，如柴油、轻柴油、重燃油、天然气、外购电力（是否绿电及所属电网）、自有光伏发电、岸电、自有柴油发电等。

注 3：资源类需按照具体类别列出，如工业用水、二氧化碳保护气、氧气、氮气、氩气等。

表 A.7　制造过程的工艺碳排放输入清单（数字化预测核算法）

目标船				单位工艺		
工艺物量指标	工艺物量数值	工艺物量单位	工艺物量数据类型	单位工艺碳排放量	单位工艺碳排放量单位	数据类型
预处理-面积		m^2	次级数据		tCO_2eq/m^2	初级数据
焊接-焊缝金属熔敷质量/焊接长度/焊材量（kg）		kg	次级数据		tCO_2eq/kg	初级数据
切割-截面积		m^2	次级数据		tCO_2eq/m^2	初级数据
喷涂-实际喷涂面积		m^2	次级数据		tCO_2eq/m^2	初级数据
小组立-重量		t	次级数据		tCO_2eq/t	初级数据
中组立大组立-重量		t	次级数据		tCO_2eq/t	初级数据
管加工-重量		t	次数数据		tCO_2eq/t	初级数据
机加工-重量		t	次级数据		tCO_2eq/t	初级数据
舾装-重量		t	次级数据		tCO_2eq/t	初级数据
滚装系统安装	/	/	/	/	$tCO_2eq/艘$	次级数据
性能测试	/	/	/	/	$tCO_2eq/艘$	次级数据
系泊试验	/	/	/	/	$tCO_2eq/艘$	次级数据
试航	/	/	/	/	$tCO_2eq/艘$	次级数据
注：目标船工艺物量从其数字化生产设计获取，为预估值；单位工艺碳排放量由船厂标定获取，为初级数据。滚装系统安装、性能测试、系泊试验、试航参照已完工的谱系化船型结果预估。						

表 A.8　制造过程的辅助生产系统碳排放输入清单

辅助生产系统	碳排放总量	作业区域加工量	目标船加工量	加工量单位	数据来源	数据类型
空压站/机				总段重量		初级数据
办公楼				工时		初级数据
实验室				工时		初级数据
照明				工时		初级数据
采暖				工时		初级数据
运输				总段重量		次级数据
污水处理				总段重量		初级数据
注：具备独立供气的涂装房等，压缩空气碳排放已包含在涂装碳排放，不用在此计算。						

表 A.9　制造过程的委外加工碳排放输入清单

委外加工工序	加工量指标	委外加工量	委外加工能源资源消耗量					数据类型
			电	汽油	柴油	天然气	其他	
管材表面处理	处理量（如面积）							初级数据
分段制造	分段完工量							初级数据
舾装	舾装完工量							初级数据
…								初级数据

表 A.10　制造过程的二氧化碳回收利用输入清单

统计指标	单位	数值	数据来源	数据类型
目标船的总段重量	t			初级数据
目标船建造周期内全厂所有船舶的总段重量	t			初级数据
目标船制造周期内全厂二氧化碳回收利用量	tCO_2eq			初级数据
目标船二氧化碳回收利用量	tCO_2eq			次级数据

表 A.11　制造过程的碳清除输入清单

统计指标	单位	数值	数据来源	数据类型
目标船的总段重量	t			初级数据
目标船建造周期内全厂所有船舶的总段重量	t			初级数据
目标船制造周期内全碳清除量	tCO_2eq			初级数据/次级数据
目标船碳清除量	tCO_2eq			次级数据

全国团体标准信息平台

附录 B
（资料性）
产品碳足迹研究报告模板

一、概况

1、生产者信息
2、产品信息
包括但不限于对汽车运输船产品名称、规格、型号、装车量和功能描述，生产工艺流程描述等。
3、量化方法
依据标准等。

二、量化目的

三、量化范围

1、功能单位或声明单位
2、系统边界
将系统边界定义为原材料碳排放、配套设备碳排放、物料运输碳排放、制造过程碳排放。
3、取舍原则
4、时间范围
目标船的制造周期等。

四、清单分析

应编制船舶船票边界内的所有材料/能源输入、输出清单，作为碳排放计算的依据。如果数据清单有特殊情况、异常点或其他问题，应在报告中进行明确说明。
数据收集时段应予以报告。
清单数据中未包含的过程数据需要予以报告，或者根据取舍准则的规定进行调整。
1、数据来源说明
应对初级数据、次级数据进行详细说明。
2、原材料碳排放计算
根据实际情况填写目标船的原材料碳排放清单，完成原材料阶段碳排放计算。
3、配套设备阶段碳排放计算
根据实际情况填写目标船的配套设备碳排放清单，完成配套设备阶段碳排放计算。
4、物料运输阶段碳排放计算
根据实际情况填写目标船的物料运输阶段碳排放清单，完成物料运输阶段碳排放计算。
5、 制造过程碳排放计算
根据实际情况填写目标船的制造过程碳排放清单，完成制造过程碳排放计算。
6、 数据质量评价
数据质量可从定性和定量两个方面对报告使用的初级数据和次级数据进行评价，具体评价内容包括：数据来源、完整性、数据代表性（时间、地理、技术）和准确性。
7、产品碳足迹计算

五、结果解释

1、结果说明
2、 假设和局限性说明（可选项）

3、改进建议

六、其他说明

包括但不限于报告有效期、保密性、参考文献、支持性文件等说明。

注：供参考，可根据行业标准或规范等最新要求进行调整。

全国团体标准信息平台

参 考 文 献

[1] 中国船级社 《汽车运输船舶船体结构指南》 2023

全国团体标准信息平台