

团 体 标 准

T/CIN 098—2026

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 港口起重机械

Greenhouse gases—Quantification method and requirement for carbon
footprint of products—Port cranes

2026-01-26 发布

2026-04-26 实施

中国航海学会 发 布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 3

5 量化目的和范围 3

6 生命周期清单分析 5

7 产品碳足迹影响评价 7

8 产品碳足迹结果解释 9

9 碳足迹核算报告 9

附录 A（资料性）港口起重机械温室气体排放数据收集表 11

附录 B（资料性）部分 GWP 参考值 14

附录 C（资料性）排放因子推荐值 15

附录 D（资料性）数据质量评价方法 166

附录 E（资料性）港口起重机械产品碳足迹报告（模版） 188

参考文献 222

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：上海振华重工（集团）股份有限公司、中交水运规划设计院有限公司、大连海事大学、中交公路规划设计院有限公司、中国船级社质量认证有限公司、中交集团绿色低碳发展研究中心、交通运输部科学研究院、交通运输部环境保护中心、中远海运港口有限公司、山东港口日照港集团有限公司、宁波舟山港有色矿储运有限公司。

本文件主要起草人：袁峰、宋豫、陆青、潘金霞、贾鹏、袁平、姜中君、王伟、李涛、程辉、姚馨淇、王瑜辉、刘宇、李晓东、陈鹏、匡海波、刘红、杨柳、祝绍嵩、张碧涛、李志浩、朱元师、王万丽、施秦晴。

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求

港口起重机械

1 范围

本文件规定了港口起重机械产品碳足迹量化的方法与要求，包括总体要求、量化目的和范围、生命周期清单分析、产品碳足迹影响评价、产品碳足迹结果解释及碳足迹报告等内容。

本文件适用于港口起重机械的产品碳足迹的核算、评价与报告。

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 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

GB/T 45646 温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 内燃机

3 术语和定义

GB/T 24044、GB/T 24067、GB/T 32150、GB/T 45646界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

港口起重机械 port crane

港口起重机械中起重机械类别所包含的产品。

注：根据JT/T 86具体包括港口门座起重机、港口轮胎起重机、港口浮式起重机、港口台架起重机、港口缆车起重机、固定式起重机、桅杆起重机、多用途门座起重机、带斗门座起重机、港口高塔柱式起重机、桥式抓斗卸船机、岸边集装箱起重机、轮胎式集装箱门式起重机、轨道式集装箱门式起重机等。

3.2

温室气体 greenhouse gas; GHG

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内辐射的气态成分。

注：本文件涉及的温室气体包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF₆)和三氟化氮(NF₃)。

[来源：GB/T 24067—2024, 3.2.1]

3.3

温室气体排放量 greenhouse gas emission

在特定时段内释放到大气中的温室气体总量（以质量单位计算）。

[来源：GB/T 24067—2024, 3.2.5]

3.4

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent; CO₂e

比较某种温室气体与二氧化碳的辐射强迫的单位。

注：给定温室气体的二氧化碳当量等于该温室气体质量乘以它的全球变暖潜势值。

[来源：GB/T 24067—2024, 3.2.2]

3.5

产品碳足迹 carbon footprint of a product; CFP

产品系统中的GHG排放量和GHG清除量之和，以二氧化碳当量表示，并基于气候变化这一单一环境影响类型进行生命周期评价。

注1：产品碳足迹能用不同的图例区分和标示具体的GHG排放量和清除量，产品碳足迹也能被分解到其生命周期的各个阶段。

注2：产品碳足迹研究报告中记录了产品碳足迹的量化结果，以每个功能单位的二氧化碳当量表示。

[来源：GB/T 24067—2024，3.1.1，有修改]

3.6

系统边界 system boundary

通过一组准则确定哪些单元过程属于港口起重机械系统的一部分。

[来源：GB/T 24067—2024，3.3.4，有修改]

3.7

过程 process

一组将输入转化为输出的相互关联或相互作用的活动。

[来源：GB/T 24067—2024，3.3.5]

3.8

全球变暖潜势 global warming potential; GWP

将单位质量的某种温室气体在给定时间段内辐射强迫影响与等量二氧化碳辐射强迫影响相关联的系数。

[来源：GB/T 24067—2024，3.2.4]

3.9

功能单位 functional unit

用来量化产品系统功能的基准单位。

[来源：GB/T 24067—2024，3.3.7]

3.10

生命周期 life cycle

港口起重机械相关的连续且相互连接的阶段，包括原材料获取或从自然资源中生成原材料至生命末期处理。

注1：GB/T 24040—2008，3.15中将原材料定义为：输入到产品系统中的原材料所含的不作为能源使用的燃烧热，它通过热值的高低来表示。

注2：与港口起重机械相关的生命周期阶段包括原材料获取、生产、运输、使用和生命末期处理。

[来源：GB/T 24067—2024，3.4.2，有修改]

3.11

取舍准则 cut-off criteria

对与单元过程或港口起重机械相关的物质和能量流的数量或环境影响重要性程度是否被排除在研究范围之外所作出的规定。

注：“能量流”的定义见GB/T 24040—2008，3.13。

[来源：GB/T 24067—2024，3.4.1，有修改]

3.12

初级数据 primary data

通过直接测量或基于直接测量的计算得到的过程或活动的量化值。

注1：初级数据并非必须来自所研究的产品系统，因为初级数据可能涉及其他与所研究的产品系统具有可比性的产品系统。

注2：初级数据包括温室气体排放因子或温室气体活动数据。

[来源：GB/T 24067—2024，3.6.1]

3.13

次级数据 secondary data

不符合初级数据要求的数据。

注 1：次级数据是经权威机构验证且具有可信度的数据，来源于数据库、公开文献、国家排放因子、计算估算数据或其他具有代表性的数据，推荐使用本土化数据库。

注 2：次级数据包括从代替过程或估计获得的数据。

[来源：GB/T 24067—2024，3.6.3]

4 总体要求

4.1 生命周期的视角

港口起重机械产品碳足迹的量化考虑产品的生命周期，应包括或部分包括原材料的获取、生产、运输、使用和生命末期等生命周期各阶段。

4.2 量化原则性要求

港口起重机械产品碳足迹的量化应满足GB/T 24067中迭代的方法、科学方法的优先性、相关性、完整性、一致性、统一性、准确性、透明性和避免重复计算原则性要求。

4.3 量化方法步骤

港口起重机械产品碳足迹的量化方法步骤如下：

- a) 量化目的和范围；
- b) 生命周期清单分析；
- c) 产品碳足迹影响评价；
- d) 产品碳足迹结果解释；
- e) 碳足迹报告。

5 量化目的和范围

5.1 量化目的

依据本文件量化港口起重机械生命周期或选定阶段的碳足迹，目的包括但不限于以下方面：

- a) 用于评价产品对气候变化的潜在影响；
- b) 用于制造商与上下游供应链或消费者之间的碳足迹信息沟通；
- c) 用于制造商产品研究、开发和技术改进。

5.2 量化范围

5.2.1 一般要求

在进行港口起重机械碳足迹的量化过程中，应明确说明该港口起重机械的名称、功能、主要技术参数、主要配套件、设计循环寿命、生产日期和用户位置等情况。

5.2.2 功能单位

本文件定义的功能单位为“一台港口起重机械生命周期内提供一次装卸服务”。

注：港口起重机械按照用户规定的使用等级设计，譬如使用等级U8，表示总的装卸次数为 $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6$ 次，本文件采用中间值 3×10^6 计算。

5.2.3 系统边界

5.2.3.1 港口起重机械产品碳足迹量化系统边界如图 1 所示，包括原材料获取阶段、生产阶段、运输阶段、使用阶段、生命末期阶段。各阶段应单独量化。

5.2.3.2 量化活动应包括各阶段中有显著贡献的所有温室气体排放量和清除量。量化计算不应包括任何形式的碳补偿。

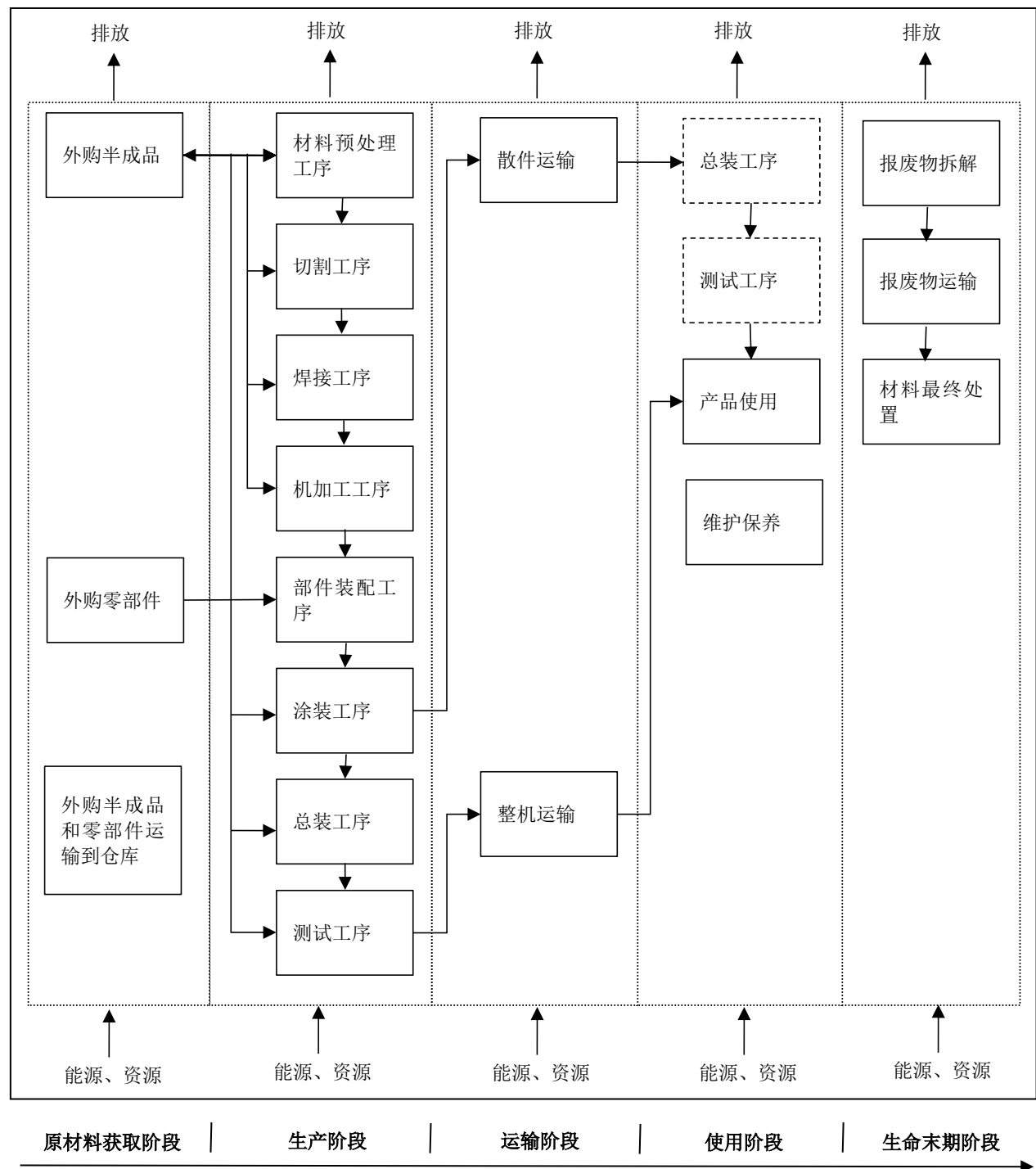


图1 港口起重机械产品生命周期系统边界

5.2.3.3 原材料获取阶段应涵盖外购材料（包括半成品材料和外购零部件）和能源的原材料获取、生产和运输等环节，一般包括：

- a) 外购半成品材料如钢材、钢坯等产品的原材料获取和生产过程；
- b) 外购零部件如机械产品、电器元件、液压元件等产品的原材料获取和生产过程；
- c) 外购零部件、半成品材料和能源运输到港口起重机械制造工厂仓库的过程。

5.2.3.4 生产阶段应涵盖从外购材料进入工厂到最终港口起重机械产品离开工厂的过程，一般包括：

- a) 自制件生产，包括半成品材料预处理工序、切割工序、焊接工序、机加工工序、部件装配工序、涂装工序、总装工序、测试工序和港口起重机械散件在码头的总装和测试等生产过程；

- b) 各工序间半成品的厂内运输过程；
 - c) 各工序内发生的废弃物处理过程。
- 5.2.3.5 运输阶段应涵盖港口起重机械以散件或整机形式从制造工厂运输到用户所在地点的过程，运输方式包括水运、陆运和空运。
- 5.2.3.6 使用阶段应涵盖港口起重机械开始服役直到产品开始报废的过程，包括：
- a) 港口起重机械的使用：港口起重机械设计寿命期内的温室气体排放；
- 注：一般有两种计算方式：对于既有码头，按照该码头同类产品的经验排放数据进行计算；对于新码头，则按照设计平均负荷循环计算值进行计算。
- b) 使用期内的维护保养：维护保养材料的碳足迹和维护保养工作涉及的能源消耗。
- 5.2.3.7 生命末期阶段应涵盖从港口起重机械使用阶段完结直到材料被最终处置完毕的过程，包括：
- a) 报废物拆解：将港口起重机械拆解成较小材料以便于交通设备运输的过程；
 - b) 报废物运输：将港口起重机械拆解后的材料运输到废物处理工厂的过程；
 - c) 材料最终处置：港口起重机械拆解材料中无法再利用部分的最终处置过程。

5.2.4 取舍准则

- 5.2.4.1 在港口起重机械产品碳足迹量化中，可舍弃产品碳足迹影响小于 1% 的环节，同类物料应按合计重量判断，所有舍弃的合计值不应超过产品碳足迹总量的 5%。舍去部分应有书面数据记录并说明取舍原因。
- 5.2.4.2 外购材料的包材及生产过程可排除。
- 5.2.4.3 产品生产过程中道路与厂房等基础设施、生产设备，厂区内人员办公及生活设施、产品在物流运输及销售过程中的基础设施（仓库、商店）、产品生产过程中的人体体能、通勤和差旅等过程所产生的温室气体排放可排除。

6 生命周期清单分析

6.1 一般要求

港口起重机械碳足迹生命周期清单分析应包括以下步骤：

- a) 数据收集；
- b) 数据审定；
- c) 数据分配。

6.2 数据收集

6.2.1 收集范围

- 6.2.1.1 港口起重机械产品碳足迹量化收集数据包括初级数据和次级数据，各阶段数据收集表参见附录 A。
- 6.2.1.2 原材料获取阶段应收集的数据（初级数据）包括：
- a) 外购材料应采集碳足迹数据；在没有碳足迹数据的情况下，则采集总重量、材料成分及配比数据和生产能耗，涉及气态原料时应记录体积参数；
 - b) 外购材料运输应记录运输方式、运输重量及运输距离。
- 6.2.1.3 生产阶段应收集的数据（初级数据）包括：
- a) 预处理工序应采集燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量、废弃物产生量、挥发性有机物排放量及废气处理系统能耗；
 - b) 切割工序应采集燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量、废弃物产生量、挥发性有机物排放量及废气处理系统能耗；
 - c) 焊接工序应采集燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量、废弃物产生量、挥发性有机物排放量及废气处理系统能耗；
 - d) 机加工工序应收集燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量、废弃物产生量、挥发性有机物排放量及废气处理系统能耗；
 - e) 部件装配工序应采集吊装设备燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量；

- f) 涂装工序应采集燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量、废弃物产生量、挥发性有机物排放量及废气处理系统能耗；
- g) 总装工序应收集燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量、废弃物产生量；
- h) 测试工序应采集燃料消耗量、电力/蒸汽等二次能源用量；
- i) 厂内物流应采集转运机械燃料消耗量和电力/蒸汽等二次能源用量；
- j) 生产废弃物应采集处理方式、运输距离及处理设施能耗。

6.2.1.4 运输阶段应收集产品重量和运输总重量、运输工具类型、运输里程、燃料类型及对应运输里程的燃料用量（初级数据）。

6.2.1.5 使用阶段应收集的数据（初级数据）包括：

- a) 燃料和电力消耗量；
- b) 所用的维保材料的碳足迹数据和运输数据、维保工作涉及的燃料和电力消耗量。

6.2.1.6 生命末期阶段应收集的数据（次级数据）包括：

- a) 报废物拆解的燃料和电力消耗量、辅材投入量；
- b) 拆解物运输到废物处理工厂的燃料和电力消耗量；
- c) 拆解材料中无法再利用部分最终废弃处置的燃料和电力消耗量。

6.2.2 数据质量

6.2.2.1 初级数据质量要求

港口起重机械产品碳足迹核算中使用的初级数据应满足以下要求：

- a) 完整性。根据数据取舍准则（5.2.4）的要求，收集港口起重机械产品原材料获取、生产、运输、使用和生命末期各阶段所使用的原材料、能耗以及废弃物处理等过程的数据；
- b) 准确性。初级数据中的能源、原材料消耗数据应来自实际使用记录，原材料获取数据优先来自上游供应商；温室气体排放数据优先选择碳核查报告。所有初级数据均应详细记录相关的数据来源和计算过程等；如遇到数据分配，则需采用合理的分配方法并做详细记录；
- c) 一致性。应保持相同的数据来源、统计口径、处理规则等。

6.2.2.2 次级数据质量要求

港口起重机械产品碳足迹核算中使用的次级数据应满足以下要求：

- a) 代表性。活动数据优先选择与评估产品系统的时间代表性、地理代表性、技术代表性相近的次级数据，其次选择近年代表国内及行业平均生产水平公开的生命周期评价数据，最后选择国外同类技术数据。排放因子应按照供应商碳足迹报告、权威数据库、同类产品环境声明报告报告等依次选取。部分 GWP 数据参见附录 B。部分排放因子数据参见附录 C；
- b) 完整性。需提供完整的次级数据信息。次级数据的系统边界应从资源开采到这些原材料产品出厂为止；
- c) 一致性。对同类产品碳足迹的次级数据选择应保持一致。

6.2.2.3 数据质量评价要求

数据质量评价应满足以下要求：

- a) 在开展港口起重机械产品碳足迹核算时，应使用高质量的初级数据和次级数据，减少偏差和不确定性。开展港口起重机械产品碳足迹核算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；
- b) 数据质量评价应从时间代表性、技术代表性和地理代表性三个维度进行评价，数据质量等级（DQR）计算方法参见附录 D；
- c) 本文件主要对原材料获取阶段的钢材和生产过程的数据做数据质量评价。港口起重机械初级数据满足数据质量等级（DQR） ≤ 2 ，其他次级数据满足数据质量等级（DQR） ≤ 4 。

6.3 数据审定

收集的数据应经过严格的审定程序，通过物料平衡、能量平衡、历史数据或相近工艺对比等方式，确保数据的准确性和合理性。

6.4 数据分配

6.4.1 生产工序的数据收集应避免数据分配。在无法避免分配的情况下，如果一个生产工序的单元过程涉及到两个及以上产品时，需要对单元过程的输入和输出进行分配，则考虑该过程使用的电力、天然

气、柴油等能源按照各工序特定工况进行分摊，一般预处理工序按工序产品面积拆分配、切割工序按净加工吨位分配、机加工工序按工时分配、装配工序按吨位分配、涂装工序按面积分配、总装工序按吨位分配、测试工序按工时分配。

6.4.2 运输阶段能耗可按港口起重机械在运输设备上的重量占比按比例分配。

7 产品碳足迹影响评价

7.1 一般要求

港口起重机械应通过排放或清除的GHG的质量乘以政府间气候变化专门委员会（IPCC）给出的100年GWP，计算原材料获取阶段、生产阶段、运输阶段、使用阶段和生命末期阶段每种GHG排放和清除的潜在气候变化影响和对应功能单位的产品碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每次（kgCO₂e/cycle）。

7.2 产品碳足迹计算方法

港口起重机械碳足迹按式（1）进行计算，计算结果圆整（四舍五入）至小数点后两位。

$$CFP = \frac{(E^A + E^B + E^C + E^D + E^E)}{n} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

CFP ——港口起重机械产品碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每次（kgCO₂e/cycle）；

E^A ——港口起重机械在原材料获取阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

E^B ——港口起重机械在生产阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

E^C ——港口起重机械在运输阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

E^D ——港口起重机械在使用阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

E^E ——港口起重机械在生命末期阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

n ——港口起重机械的设计工作循环次数。

注：港口起重机械产品碳足迹只包含温室气体排放量。

7.3 原材料获取阶段

港口起重机械的原材料获取阶段的温室气体排放应包括外购件出厂前的温室气体排放和外购件运输到港口起重机械生产工厂的运输排放，具体按式（2）进行计算，计算结果圆整（四舍五入）至小数点后两位。

$$E^A = \sum_i [Q_i^A \cdot CEF_i^A] + \sum_{i,o} [Q_{i,o}^A \cdot CEF_{i,o}^A] + \sum_{i,j} [Q_{i,j}^A \cdot l_{i,j}^A \cdot CEF_{i,j}^A] \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Q_i^A ——获取阶段原材料*i*的用量，单位为千克（kg）、升（L）、立方米（m³）等；

CEF_i^A ——对应原材料*i*的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每标准单位（kgCO₂e/standard unit）；

$Q_{i,o}^A$ ——对应原材料*i*在生产过程*o*的能源消耗量，单位视能源种类而定；

$CEF_{i,o}^A$ ——原材料*i*在生产过程*o*的能源对应的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每标准单位（kgCO₂e/standard unit）；

$Q_{i,j}^A$ ——对应原材料*i*在运输过程*j*的能源消耗量，单位为千克（kg）；

$l_{i,j}^A$ ——对应原材料*i*在运输过程*j*的里程数，单位为千米（km）；

$CEF_{i,j}^A$ ——对应原材料*i*在运输过程*j*的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克千米（kgCO₂e/kg·km）。

7.4 生产阶段

产品生产阶段温室气体排放量按式（3）计算，计算结果圆整（四舍五入）至小数点后两位。

$$E^B = \sum_{k,n} [Q_{k,n}^{B,fuel} \cdot CEF_{k,n}^{B,fuel} + Q_{k,n}^{B,elec} \cdot CEF_{k,n}^{B,elec}] + \sum_{k,j} [Q_{k,j}^{B,trans} \cdot l_{k,j}^B \cdot CEF_{k,j}^{B,trans}] + \sum_{k,n,p} [Q_{k,n,p}^{B,waste} \cdot CEF_{k,n,p}^{B,waste}] + \sum_{k,n,q} [Q_{k,n,q}^B \cdot GWP_{k,n,q}^B] \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$Q_{k,n}^{B,fuel}$ ——自制件 k 在生产过程 n 的化石能源消耗量,单位为化石能源标准单位(千克、升、立方米等)每个自制件(kg、L、m³/piece);

$CEF_{k,n}^{B,fuel}$ ——自制件 k 在生产过程 n 的化石能源对应的排放因子,单位为千克二氧化碳当量每标准单位(kgCO₂e/standard unit);

$Q_{k,n}^{B,elec}$ ——自制件 k 在生产过程 n 的耗电量,单位为千瓦时每自制件(kWh/piece);

$CEF_{k,n}^{B,elec}$ ——当地电能对应的温室气体排放因子,单位为千克二氧化碳当量每千瓦时(kgCO₂e/kWh);

$Q_{k,j}^{B,trans}$ ——自制件 k 在工厂内部运输过程 j 的能源消耗量,单位视物料种类和能源种类而定;

$l_{k,j}^B$ ——自制件 k 在工厂内部运输过程 j 的运输距离,单位为千米(km);

$CEF_{k,j}^{B,trans}$ ——自制件 k 在工厂内部运输过程 j 的温室气体排放因子,单位视物料种类和能源种类而定;

$Q_{k,n,p}^{B,waste}$ ——自制件 k 在生产过程 n 产生的废弃物 p 的数量,单位视物料种类而定;

$CEF_{k,n,p}^{B,waste}$ ——自制件 k 在生产过程 n 产生的废弃物 p 最终处置所对应的温室气体排放因子,单位视物料种类而定;

$Q_{k,n,q}^B$ ——自制件 k 在生产过程 n 产生的挥发性有机物 q 的排放量,单位为吨(t);

$GWP_{k,n,q}^B$ ——自制件 k 在生产过程 n 产生的挥发性有机物 q 的全球变暖潜势值。

7.5 运输阶段

运输阶段温室气体排放量按式(4)进行计算,计算结果圆整(四舍五入)至小数点后两位。

$$E^C = \sum_{l,j} \left[\frac{m_{l,j}^C}{M_{l,j}^C} \cdot l_{l,j}^C \cdot Q_{l,j}^C \cdot CEF_{l,j}^C \right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$m_{l,j}^C$ ——整机或散件 l 在运输过程 j 的重量,单位为千克(kg);

$M_{l,j}^C$ ——整机或散件 l 在运输过程 j 的运输设备装载总重量,单位为千克(kg);

$l_{l,j}^C$ ——整机或散件 l 在运输过程 j 的运输距离,单位为千米(km);

$Q_{l,j}^C$ ——整机或散件 l 在运输过程 j 的能源消耗量,单位为升(L)、立方米(m³)、千克(kg)或千瓦时(kWh);

$CEF_{l,j}^C$ ——整机或散件 l 在运输过程 j 的温室气体排放因子,单位为千克二氧化碳当量每升(kgCO₂e/L)、千克二氧化碳当量每立方米(kgCO₂e/m³)、千克二氧化碳当量每千克(kgCO₂e/kg)或者千克二氧化碳当量每千瓦时(kgCO₂e/kWh)。

7.6 使用阶段

港口起重机械使用阶段包括燃料、电力等能源消耗以及维保材料产生的温室气体排放,应按式(5)进行计算,计算结果圆整(四舍五入)至小数点后两位。

$$E^D = \sum_r [Q_r^D \cdot CEF_r^D] + \sum_k [Q_k^{D,aux} \cdot CEF_k^{aux}] \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q_r^D ——港口起重机械使用阶段不同能源 r 的使用量,单位根据使用的能源类型决定(例如kWh、kg、L、m³等);

CEF_r^D ——港口起重机械使用阶段不同能源的温室气体排放因子,包含电力、燃料、风能、储能、甲醇以及新能源等,单位视能源和物料种类而定。

$Q_k^{D,aux}$ ——港口起重机械使用阶段维保材料 k 的替换量,单位为千克、升(kg、L)等;

CEF_k^{aux} ——港口起重机械使用阶段维保材料 k 的温室气体排放因子,单位视维保材料而定。

7.7 生命末期阶段

港口起重机械产品生命末期阶段包括拆除后以综合再利用和(或)最终废弃处置,按式(6)计算。

$$E^E = \sum_r [Q_r^E \cdot CEF_r^E] + \sum_{m,j} \left[\frac{m_{m,j}^E}{M_{m,j}^E} \cdot l_{m,j}^E \cdot Q_{m,j}^E \cdot CEF_{m,j}^E \right] + Q_{Dis}^E \cdot CEF_{Dis}^E \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中：

- Q_r^E ——港口起重机械产品拆解过程能源 r 的消耗量，单位为能源标准单位（standard unit of energy）；
- CEF_r^E ——港口起重机械产品拆解过程能源 r 的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每能源标准单位（kgCO₂e/standard unit of energy）；
- $m_{m,j}^E$ ——拆解件 m 在运输过程 j 的重量，单位为千克（kg）；
- $M_{m,j}^E$ ——拆解件 m 在运输过程 j 的运输设备装载总重量，单位为千克（kg）；
- $l_{m,j}^E$ ——拆解件 m 在运输过程 j 的运输距离，单位为千米（km）；
- $Q_{m,j}^E$ ——拆解件 m 在运输过程 j 的单位能源消耗量，单位为能源标准单位（standard unit of energy）；
- $CEF_{m,j}^E$ ——拆解件 m 在运输过程 j 的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每能源标准单位（kgCO₂e/standard unit of energy）；
- Q_{Dis}^E ——拆解后废弃物最终废弃处置时（包含焚烧、填埋等）的能源消耗量，单位为能源标准单位（standard unit of energy）；
- CEF_{Dis}^E ——拆解后废弃物最终废弃处置时消耗能源的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每能源标准单位（kgCO₂e/standard unit of energy）。

8 产品碳足迹结果解释

8.1 港口起重机械产品碳足迹结果解释应包括以下步骤：

- 根据港口起重机械产品碳足迹的量化结果，识别显著的生命周期阶段、单元过程或基本流；
- 完整性、一致性和敏感性分析的评估；
- 结论、局限性和建议的编制。

8.2 按照产品碳足迹研究的目的是和范围，对产品碳足迹影响评价的量化结果进行解释，解释应包括以下内容：

- 说明产品碳足迹和各生命周期阶段碳足迹；
- 不确定性分析，包括取舍准则的应用或范围；
- 详细记录选定的分配方法；
- 说明产品碳足迹量化的局限性。

8.3 结果解释一般包括以下内容：

- 分析重要输入、输出和方法学选择（包括分配程序）的敏感性，以了解结果的敏感性和不确定性；
- 评估建议对结果的影响。

9 碳足迹报告

港口起重机械产品生命周期碳足迹评价的评价报告参见附录E，报告应至少包含如下内容：

- 基本情况：
 - 委托方和评价方信息；
 - 报告方信息；
 - 依据的标准编号。
- 目的：
 - 量化目的；
 - 预期用途。
- 范围：
 - 产品描述，包括功能和技术参数；
 - 功能单位或声明单位；

- 3) 系统边界;
- 4) 取舍准则;
- 5) 生命周期各阶段确定与描述。
- d) 清单分析:
 - 1) 数据收集信息;
 - 2) 重要的单元过程清单;
 - 3) 系统边界内所有过程的温室气体排放的清单;
 - 4) 使用阶段的使用标准情景说明;
 - 5) 分配原则与程序;
 - 6) 数据说明。
- e) 影响评价:
 - 1) 影响评价方法;
 - 2) 特征化因子;
 - 3) 产品生命周期碳足迹计算结果。
- f) 结果解释:
 - 1) 结论与局限性;
 - 2) 敏感性分析和不确定性分析结果;
 - 3) 在产品碳足迹研究中披露和证明相关信息项的选择并说明理由。

附录 A
(资料性)
港口起重机械温室气体排放数据收集表

A.1 原材料获取阶段温室气体排放数据收集表

原材料获取阶段的温室气体排放数据收集表见表A.1。

表 A.1 原材料获取阶段温室气体排放数据收集表

序号	商品名称 ^a	生产耗能	材质 ^b	重量	排放因子	温室气体排放量 ^c	排放因子(或碳足迹)来源	运输方式(燃料类型)	运输距离	运输温室气体排放因子	运输排放因子来源	运输排放量	合计温室气体排放量
1	钢板												
2	电机												
3												
<p>^a 当某项原材料有多家供应商时，则对每家供应商对应的供应量进行单独计算。</p> <p>^b 同一商品如包含多种材质，则对应材质和重量可分别列出。</p> <p>^c 商品的温室气体排放优先选用制造商提供的碳足迹数据，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）。</p>													

A.2 生产阶段温室气体排放数据收集表

生产阶段温室气体排放数据收集表见表A.2。

表 A. 2 生产阶段温室气体排放数据收集表

生产工序	序号	能源/资源/废弃物	材质	用量	单位	排放因子	温室气体排放量	排放因子（或碳足迹）来源	运输方式（燃料类型）	运输距离	运输温室气体排放因子	运输排放因子来源	运输排放量	合计温室气体排放量
预处理	1	电力												
	2	涂料												
	3												
切割	1	电力												
	2	氧气												
	3												

A. 3 运输阶段温室气体排放数据收集表

运输阶段温室气体排放数据收集表见表A. 3。

表 A. 3 运输阶段温室气体排放数据收集表

序号	运输类别	燃料类型	用量	单机重量	运输总重量	运输距离	排放因子	排放因子（或碳足迹）来源	温室气体排放量
1	船运								
2	汽运								
3								

A.4 使用阶段温室气体排放数据计算表

使用阶段温室气体排放数据计算表见表A. 4。

表 A.4 使用阶段温室气体排放数据计算表

序号	能源/资源名称	材质	用量	单位	排放因子	温室气体排放量	排放因子（或碳足迹）来源	运输方式（燃料类型）	运输距离	运输温室气体排放因子	运输排放因子来源	运输排放量	合计温室气体排放量
1	柴油												
2	电力												
3												

A.5 生命末期阶段温室气体排放数据计算表

生命末期阶段温室气体排放数据计算表见表A. 5。

表 A.5 生命末期阶段温室气体排放数据计算表

序号	能源/资源名称	材质	用量	单位	排放因子	温室气体排放量	排放因子（或碳足迹）来源	运输方式（燃料类型）	运输距离	运输温室气体排放因子	运输排放因子来源	运输排放量	合计温室气体排放量
1	电力												
2	乙炔												
3												

附 录 B
(资料性)
部分 GWP 参考值

B.1 部分 GWP 参考值

部分 GWP 参考值见表 B.1。

表 B.1 部分 GWP 参考值

气体名称	化学分子式	100 年的 GWP (截止出版时)
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	28
氧化亚氮	N ₂ O	265
氢氟碳化物 (HFCs)		
四氟乙烷 (HFC-134a)	C ₂ H ₂ F ₄	1300
二氟乙烷 (HFC-152a)	C ₂ H ₄ F ₂	138
全氟碳化物 (PFCS)		
全氟甲烷 (四氟甲烷)	CF ₄	6630
全氟乙烷 (六氟乙烷)	C ₂ F ₆	11100
注: GWP数据来源于《国家温室气体排放因子数据库 (2025)》。		

附录 C
(资料性)
排放因子推荐值

C.1 常见化石燃料排放因子

C.1.1 常见化石燃料排放因子参照式 (C.1) 进行计算，计算结果圆整（四舍五入）至小数点后两位。

$$EF_{m,n} = NCV_{m,n} \cdot CC_{m,n} \cdot OF_{m,n} \cdot \frac{44}{12} \cdot \frac{1}{1000} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：
 $EF_{m,n}$ ——零部件 m 在生产过程 n 的化石燃料对应的排放因子，单位为千克二氧化碳当量每标准单位 (kgCO₂e/standard unit)；
 $NCV_{m,n}$ ——零部件 m 在生产过程 n 的化石燃料的低位发热量。对固体或液体燃料，单位为吉焦耳每吨 (GJ/t)；对气体燃料，单位为吉焦耳每立方米 (GJ/m³)；
 $CC_{m,n}$ ——零部件 m 在生产过程 n 的化石燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦 (tC/GJ)；
 $OF_{m,n}$ ——零部件 m 在生产过程 n 的化石燃料的碳氧化率，%。

C.1.2 常见化石燃料排放因子计算参数见表 C.1。

表 C.1 常见化石燃料排放因子计算参数

燃料品种		低位发热量 ¹		单位热值含碳量 (tC/GJ)	燃料碳氧化率
		缺省值	单位		
液体燃料	汽油	43.07	GJ/t	18.90×10 ⁻³	98%
	柴油	42.652	GJ/t	20.20×10 ⁻³	98%
	液化天然气	44.2	GJ/t	17.2×10 ⁻³	99%
气体燃料	天然气 ²	389.310×10 ⁴	GJ/m ³	15.30×10 ⁻³	99%

注1：低位发热量数据来自《中国能源统计年鉴2019》，单位热值含碳量来自《2006年IPCC国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单指南(试行)》，碳氧化率来自《省级温室气体清单指南(试行)》，部分参数同步参考《国家温室气体排放因子库（2025）》最新数据。

注2：表中天然气的体积是在0℃1个标准大气压下的气体体积。

C.2 电力碳足迹因子

电力碳足迹因子见表 C.2。

表 C.2 电力碳足迹因子

类型	因子 (kgCO ₂ e/kWh)
全国	0.5777
光伏发电	0.0520
风力发电	0.0324

注：数据来自《国家温室气体排放因子库（2024）》。

附 录 D
(资料性)
数据质量评价方法

D.1 数据质量等级 (DQR) 评价主要从数据的时间代表性、地理代表性和技术代表性三个维度进行评价, 各个维度的数据质量等级见表 D.1, 各维度的数据质量标准都按照五个等级进行评分, 分数越小则质量水平越高, 具体见表 D.2。本附录主要对原材料获取阶段的钢材和生产过程的数据做数据质量评价。

D.2 各个数据集的数据质量等级 (DQR_i) 按公式 (D.1) 计算。

$$DQR_i = \frac{TeR_i + GeR_i + TiR_i}{3} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

DQR_i ——数据集 i 的数据质量结果;

TeR_i ——数据集 i 技术代表性得分;

GeR_i ——数据集 i 地理代表性得分;

TiR_i ——数据集 i 时间相关代表性得分。

D.3 按公式 (D.2) 计算所有需要评价的次级数据总的数据质量等级 DQR, DQR 宜 ≤ 3.0 。

$$DQR = \frac{\sum (DQR_i \times CFP_i)}{\sum CFP_i} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

DQR——数据最终质量评价结果;

CFP_i ——对应数据集项 i 的碳足迹, 单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e)。

表 D.1 数据的 DQR 评级

评分	TiR	TeR	GeR
1	产品碳足迹的基准年在数据集有效期内; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 ≤ 3 年	核算过程技术与数据集代表的技术一致	核算过程发生在数据集代表的省市或区域内。
2	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 ≤ 2 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 ≤ 4 年	核算过程技术包含在数据集组合技术中, 但在生产工艺上存在一定差异	核算过程发生在数据集代表的国家
3	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 ≤ 3 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 ≤ 5 年	核算过程技术包含在数据集组合技术中, 但在生产工艺上差异显著	核算过程发生在数据集代表的地理区域之一, 如代表全球平均的数据集
4	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 ≤ 4 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 ≤ 6 年	核算过程技术与数据集代表的技术相似	核算过程与数据集所代表的地理区域在能源结构上相似
5	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 > 4 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 > 6 年	核算过程技术与数据集代表的技术不同	核算过程不满足上述情况

表 D.2 数据质量评级和水平对照表

数据质量标准 (TeR, GeR, TiR) 的质量评级	数据质量水平
------------------------------	--------

1	卓越
2	非常好
3	良好
4	一般
5	差

附录 E

(资料性)

港口起重机械产品碳足迹报告（模版）

港口起重机械产品碳足迹报告见图E. 1和图E. 2。

港口起重机械产品碳足迹报告（模版）

产品名称：_____

产品规格：_____

生产者名称：_____

报告编号：_____

出具报告机构：（若有）_____（盖章）

报告日期：____年____月____日

图E. 1 港口装卸起重机械产品碳足迹报告封面

一、概况

1. 生产者信息

生产者名称：

地址：

法定代表人：

授权人（联系人）：

联系电话：

企业概况：

2. 产品信息

产品名称：

产品功能：

产品介绍：

产品图片：

3. 量化方法

依据标准：

二、量化目的

三、量化范围

1. 功能单位

以为功能单位。

2. 系统边界

☐原材料获取阶段

☐生产阶段

☐运输阶段

☐使用阶段

☐生命末期阶段

系统边界图：

图 1 XX 港口起重机械碳足迹量化系统边界图

图E. 2 港口装卸起重机械产品碳足迹报告正文

19

3. 取舍准则

采用的取舍准则以_____为依据，具体规则如下：

4. 时间范围

量化时间范围从____年____月至____年____月。

四、清单分析

1. 数据来源说明

初级数据：_____；

次级数据：_____。

2. 分配原则与程序

分配依据：_____；

分配程序：_____。

具体分配情况如下：

3. 清单结果及计算

生命周期各个阶段温室气体排放计算说明见表 1。

表 1 _____生命周期温室气体排放清单说明

生命周期阶段	活动数据	排放因子	温室气体排放量
原材料获取			
生产			
运输			
使用			
生命末期			

4. 数据质量评价（可选项）

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。

图E.2 港口装卸起重机械产品碳足迹报告正文（续）

五、影响评价

1. 影响类型和特征化因子选择
- 一般选择 IPCC 给出的 100 年 GWP。
2. 产品碳足迹结果计算

六、结果解释

- 1.结果说明
- _____公司（填写生产者的全民）生产的_____（填写所评价的产品名称，每功能单位的产品），从 _____（填写某生命周期阶段）到 _____（填写某生命周期阶段）生命周期碳足迹为 kgCO₂e。各生命周期阶段的温室气体排放情况如表 2 和图 2 所示。

表 2 _____ 生命周期各阶段温室气体排放情况

生命周期阶段	碳足迹/（kgCO ₂ e/功能单位）	百分比（%）
原材料获取		
生产		
运输		
使用		
生命末期		
总计		

注：具体产品生命周期阶段温室气体排放分布图一般以饼状图或柱形图表示各生命周期阶段的温室气体排放情况。

图 2 _____ 各生命周期各阶段温室气体排放分布图

- 2.假设和局限性说明（可选项）
- 结合量化情况，对范围、数据选择、情景设定等相关的假设和局限性进行说明。
3. 改进建议

图E. 2 港口装卸起重机械产品碳足迹报告正文（续）

参 考 文 献

- [1] GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架
 - [2] JT/T 86—2009 港口装卸机械名称、基本参数及常用零部件图形
 - [3] ISO 14067:2018 Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification
 - [4] 机械设备制造企业 温室气体排放核算方法与报告指南(试行)(发改办气候〔2015〕1722号)
 - [5] 关于印发《产品碳足迹核算标准编制工作指引》的通知(环气候〔2024〕91号)
 - [6] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Richard P. Allan., Paola A. Arias., Sophie Berger., Josep G. Canadell., Christophe Cassou., Deliang Chen., Annalisa Cherchi., Sarah L. Connors., Erika Coppola., Faye Abigail Cruz., et al., Cambridge University Press 2021, pp 7SM24-35.
-