

中国建筑材料协会标准

T/CBMF XX—202X
T/CCPA XX—202X

产品碳足迹 产品种类规则 先张法预应力混凝土管桩

Product carbon footprint product category rule for Pretensioned spun concrete piles

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国建筑材料联合会
中国混凝土与水泥制品协会

发布

版权保护文件

本文件适用于先张法预应力混凝土管桩产品的碳足迹评价。请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件发布机构不承担识别这些专利的责任。本文件版权所有归属于该标准的发布机构。除非有其他规定，否则未得许可，此发行物及其中章节不得以其他形式或任何手段进行生产和使用，包括电子版、影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 产品碳足迹量化	4
5 产品碳足迹报告	8
6 产品碳足迹绩效追踪	8
附录 A（规范性）初级活动水平数据采集信息	10
附录 B（规范性）次级数据采集信息	12
附录 C（规范性）先张法预应力混凝土管桩产品生命周期清单分析	14
附录 D（资料性）常用原料及能源相关参数的推荐值	18
附录 E（资料性）温室气体全球增温潜势	23

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。

本文件由中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会共同提出并归口。

本文件负责起草单位：广东三和管桩股份有限公司、广东省建设工程质量安全检测总站有限公司、华南理工大学。

本文参加起草单位：永之清碳（北京）科技有限公司、嘉兴学院、宁波中淳高科股份有限公司、唐山市九晨水泥制品有限公司、广东省建筑材料研究院有限公司。

本文件主要起草人：

本文件主要审查人：

产品碳足迹 产品种类规则 先张法预应力混凝土管桩

1 范围

本文件规定了先张法预应力混凝土管桩产品碳足迹的量化、产品碳足迹报告、产品碳足迹绩效追踪等内容。

本文件适用于先张法预应力混凝土管桩产品的碳足迹评价。

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 13476 先张法预应力混凝土管桩

GB/T 24025 环境标志和声明 III型环境声明 原则和程序

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 原则与指南

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 32151.5 温室气体排放核算与报告要求 第5部分：钢铁生产企业

GB/T 32151.8 温室气体排放核算与报告要求 第8部分：水泥生产企业

ISO 14067:2018 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南 (Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

先张法预应力混凝土管桩 pretensioned spun concrete piles

采用先张法预应力工艺和离心成型法制成的一种空心筒体细长混凝土预制构件，主要由圆筒形桩身、端头板和钢套箍等组成。

3.2

产品碳足迹 carbon footprint of a product

产品系统中的温室气体排放量和温室气体去除量之和，以二氧化碳当量为单位表示，基于使用气候变化单一影响类别的生命周期评价。

[来源：ISO 14067:2018, 3.1.1.1]

3.3

产品种类规则 product category rules (PCR)

对一个或多个产品种类进行III型环境声明所必须满足的一套具体的规则、要求和指南。

[来源：GB/T 24025—2009, 3.5]

3.4

温室气体 greenhouse gas

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由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内的辐射的气态成分。

[来源：GB/T 32151.8—2015, 3.1]

3.5

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent

在辐射强度上与某种温室气体质量相当的二氧化碳的量。

注：二氧化碳当量等于给定温室气体的质量乘以它的全球增温潜势。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.16]

3.6

温室气体排放 greenhouse gas emission

向大气中释放温室气体。

3.7

温室气体清除 greenhouse gas removal

从大气中清除温室气体。

3.8

功能单位 functional unit

用来作为基准单位的量化的产品系统性能。

[来源：GB/T 24044—2008, 3.20]

3.9

单元过程 unit process

进行生命周期清单分析时为量化输入和输出数据而确定的最基本部分。

[来源：GB/T 24044—2008，3.34]

3.10

系统边界 system boundary

通过一组准则确定哪些单元过程属于产品系统的一部分。

[来源：GB/T 24044—2008，3.32]

3.11

生命周期 life cycle

产品系统中前后衔接的一系列阶段，从自然界或从自然资源中获取原材料，直至最终处置。

[来源：GB/T 24044—2008，3.1]

3.12

排放因子 emission factor

表征单位产生或消费活动量的温室气体排放的系数。

[来源：GB/T 32150—2015，3.13]

3.13

产品碳足迹绩效追踪 carbon footprint of a product performance tracking

分析同一组织某一特定产品的碳足迹随时间的变化趋势。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.1.11]

3.14

共生产品 co-product

来自同一单元过程或产品系统中的两种或两种以上产品。

[来源：GB/T 24040—2008，3.10]

3.15

初级活动水平数据 primary activity data

通过直接测量或基于直接测量计算得到的产品系统内某个单元过程或活动的量化值。

3.16

次级数据 secondary data

产品碳足迹量化中使用的初级活动水平数据以外数据的统称。

3.17

全球增温潜势 global warming potential

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

4 产品碳足迹量化

4.1 总则

产品碳足迹量化基于使用气候变化单一影响类别的生命周期评价方法，实施步骤包括目的和范围定义（见4.2）、生命周期清单分析（见4.3）、生命周期影响评价（见4.4）、生命周期解释（见4.5）。

4.2 目的和范围定义

4.2.1 目的

通过量化先张法预应力混凝土管桩在规定系统边界（见4.2.2.2）内的温室气体排放量和清除量，评价产品对气候变化的潜在影响（以二氧化碳当量表示）。

4.2.2 范围

4.2.2.1 功能单位

核算产品碳足迹应确定功能单位。功能单位的表述中应包含影响碳足迹核算的产品系统的主要功能。

示例：外径500mm、壁厚100mm、长度1m的A型预应力高强度混凝土管桩（PHC 500 A 100 - 1）。

4.2.2.2 系统边界

先张法预应力混凝土管桩生命周期可划分为四个阶段（见图1），先张法预应力混凝土管桩产品碳足迹量化至少应涵盖原料与能源获取阶段（A1-A4）和产品生产阶段（B1-B2）。

4.2.2.2.1 A1-A3，原材料与能源获取阶段，强制性阶段，包括：

- （1） A1，原料获取阶段：产品制造所需原料的开采与加工，输入的二次材料加工；
- （2） A2，能源获取阶段：产品制造所需能源（如电力、蒸汽、柴油等）的开采、生产与加工，含替代燃料；
- （3） A3，利废原料获取阶段：产品制造所需利废原料的生产；
- （4） A4，运输至工厂阶段：原料、能源等输入到工厂的运输。

4.2.2.2.2 B1-B2，产品生产阶段，强制性阶段，包括：

(1) B1, 产品生产阶段: 中间产品或预制品的生产, 产品与共生产品的生产, 产品中固体废物的产生与厂内处理;

(2) B2, 厂内运输阶段: 原料、能源、半成品、产品等在工厂内部运输。

4.2.2.2.3 C1-C2, 施工和使用阶段, 包括:

(1) C1, 运输至工地阶段: 从工厂大门运输至施工现场, 含供应商或中间储存地点的相关运输;

(2) C2, 使用阶段: 产品的使用或应用, 包含与产品正常(预期)使用相关的温室气体排放, 同时应考虑产品的预期使用寿命。

4.2.2.2.4 D1-D3, 报废阶段, 包括:

(1) D1, 拆解/拆卸阶段: 包括产品从工程中拆除或拆卸, 及其所使用的能源, 以及材料进行的初始现场分类;

(2) D2, 运输至废弃过程: 包括作为废物处理的一部分将废弃的产品运输到回收场地;

(3) D3, 废弃处置阶段, 依据现行标准法规的要求进行的废物处理。

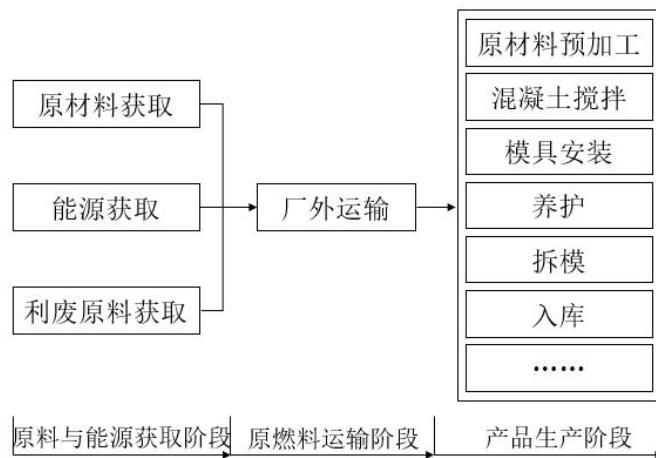


图1 先张法预应力混凝土管桩碳足迹量化的系统边界图

4.3 产品碳足迹生命周期清单分析

4.3.1 数据采集

4.3.1.1 基本要求

数据包括初级活动水平数据和次级数据。

产品碳足迹生命周期清单分析应分别采集初级活动水平数据和次级数据, 并对数据获得方式和来源予以说明。数据采集涉及的温室气体类型为二氧化碳(CO₂)。数据采集过程中, 应通过物料平衡、能

量平衡、与历史数据和相近工艺数据对比等方式，验证数据的准确性与合理性。对于异常数据，应分析原因后予以替换，替换数据应满足4.3.1.2与4.3.1.3的要求。

4.3.1.2 取舍准则

如单项物质（能量）流或单元过程对产品碳足迹的贡献不超过1%可予以忽略，但所有忽略的物质（能量）流与单元过程对产品碳足迹的贡献总和不得超过5%。所有忽略的物质（能量）流均应予以说明。

4.3.1.3 数据质量要求

初级活动水平数据应详细记录相关原始数据、数据来源与计算过程，可按附录A中表A.1格式采集，应满足以下数据质量要求：

- a) 完整性。初级活动水平数据宜采集企业一个自然年内的生产统计数据，应根据取舍准则检查是否有缺失的过程、消耗和排放；
- b) 准确性。初级活动水平数据中的能源、原材料消耗数据应来自企业的实际生产统计记录；环境排放数据优先选择相关的在线监测系统数据（CO₂应选择企业碳核查数据）、环境监测报告，或由排污因子或物料平衡公式计算获得。
- c) 一致性。初级活动水平数据采集时同类数据应保持相同的数据来源、统计口径、处理规则等。
- d) 次级数据包括通过上下游供应商、商业数据库、统计数据或文献研究等途径获取的支撑产品碳足迹核算的数据，可按附录B中表B.1格式采集。采集的次级数据应满足以下数据质量要求：
- e) 代表性。优先选择原材料供应商提供的数据，其次选择相近年份代表国内及行业平均水平的公开生命周期数据，再次选择代表国外同类技术水平的生命周期数据；
- f) 完整性。碳足迹研究应收集完整的次级数据，应包含系统边界内的所有与温室气体排放相关的生命周期清单项目；
- g) 一致性。同一机构对同类产品次级数据的选择应保持一致，如果次级数据更新，则产品碳足迹报告也应更新。

4.3.1.4 数据采集项目

4.3.1.4.1 原料与能源获取阶段

原料与能源获取阶段应收集与以下过程相关的数据，可使用次级数据：

- a) 各原材料开采、生产、预处理过程；
- b) 各原材料运输过程；
- c) 能源生产/输送过程；

d) 上述过程所产生的废气、废水、废弃物处理相关的温室气体排放；

4.3.1.4.2 产品生产阶段

产品生产阶段应收集以下过程相关的数据，应优先使用初级活动水平数据：

- a) 产品生产过程；
- b) 原料、能源、产品厂内运输过程；
- c) 上述过程所产生的废气、废水、废弃物处理相关的温室气体排放。

4.3.2 计算方法

在数据采集与验证完成后，以统一的功能单位作为产品系统所有单元过程中物质（能量）流的基础，编制先张法预应力混凝土管桩的生命周期清单，每功能单位先张法预应力混凝土管桩的温室气体排放量按式（1）计算：

$$C_i = C_{\text{获取},i} + C_{\text{生产},i} - C_{\text{清除},i} \quad (1)$$

式中：

C_i ——每功能单位产品生命周期中第*i*类温室气体排放总量，单位为千克（kg）；

$C_{\text{获取},i}$ ——每功能单位产品在原料与能源获取阶段的第*i*类温室气体排放量，单位为千克（kg），计算方法见附录C；

$C_{\text{生产},i}$ ——每功能单位产品在生产阶段的第*i*类温室气体排放量，单位为千克（kg），计算方法见附录C；

$C_{\text{清除},i}$ ——每功能单位产品生命周期中第*i*类温室气体的清除量，单位为千克（kg）。

4.3.3 分配

先张法预应力混凝土管桩生产过程中存在一个单元过程同时产出两种产品，若消耗的原料和能源以及污染物排放无法拆分，或存在输入渠道有多种，而输出只有一种的情况。在这些情况下，须根据一定的关系对这些过程的数据进行分配。

应优先基于产品质量进行分配。在评价过程中涉及共生产品清单分配方法应予以明确说明。

4.4 产品碳足迹影响评价

影响评价基于全球增温潜势参数，将不同类型的温室气体排放量转换为相同的度量单位（二氧化碳当量），并加和得到产品碳足迹，按式（2）计算：

$$C = \sum_i (GWP_i \times C_i) \quad (2)$$

式中：

C ——产品碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kg CO₂ eq.）；

GWP_i ——第*i*类温室气体的全球增温潜势，参见附录E。

4.5 产品碳足迹解释

产品碳足迹解释应包括GB/T 24044—2008中4.5的规定。

4.6 附加环境信息

除本文件4.4中涉及的产品碳足迹量化结果外，其他相关的重要信息，宜在附加环境信息中描述。

5 产品碳足迹报告

5.1 总则

产品碳足迹报告的目的是描述产品碳足迹研究，并证明已满足本文件的规定。产品碳足迹的量化结果应在产品碳足迹研究报告中以功能单位的二氧化碳当量记录。

5.2 产品碳足迹报告所需信息

依据本标准编制的产品碳足迹报告应包括但不限于以下内容：

- a) 报告基本信息，包括报告编号、编制人员、审核人员、发布日期、报告有效期、研究中使用的产品种类规则等；
- b) 声明企业基本信息，包括公司全称、统一社会信用代码、地址、联系人、联系方式、概况等；
- c) 产品碳足迹评价：
 - 1) 产品描述；
 - 2) 评价范围：功能单位、系统边界、取舍准则；
 - 3) 产品碳足迹计算：数据采集、数据计算、数据分配；
 - 4) 产品碳足迹计算结果；
 - 5) 附加环境信息（如适用）；
 - 6) 根据取舍准则忽略的物质（能量）流或单元过程（如适用）；
 - 7) 绩效追踪说明（如适用）。
- d) 其他必要信息：报告编制及验证机构信息等。

6 产品碳足迹绩效追踪

6.1 总则

对于具有相同功能单位的产品，应对产品碳足迹进行绩效追踪。

6.2 产品碳足迹绩效追踪应满足以下要求

- a) 应针对相同功能单位的产品；
- b) 应在连续的数据统计周期进行评价；
- c) 应使用相同的产品种类规则。

附录 A

(规范性)

初级活动水平数据采集信息

初级活动水平数据采集表见表A.1。

表A.1 初级活动水平数据采集表

企业信息	企业名称				
	所在省份				
	企业地址				
	数据统计周期				
	联系人及联系方式				
	产品产量				
	产品类别及主要规格型号				
	生产线条数及规模说明				
原料消耗	种类	消耗量	单位	产地	详细情况说明
	石英类		t		填写取得方式（自产或外购）/运输方式及距离（km）等信息
	粘土类		t		
	长石类		t		
	釉料类		t		
	上/下水配件		t		
	盖板		t		
	利废原料（如粉煤灰）		t		
	水		m ³		说明来源（自来水、河水等），不需提供运输距离
	其他				填写取得方式（自产或外购）/运输方式及距离（km）等信息
能源消耗	种类	消耗量	单位	低位发热量	详细情况说明
	煤		t		填写运输方式及距离（km）等信息
	天然气		m ³		
	柴油		t		

	电力消耗	原料制备		kWh		
		燃料制成		kWh		
		坯体成形		kWh		
		干燥烧成		kWh		
		冷加工		kWh		
		模具制备		kWh		
		光伏发电量		kWh		自用或输送到厂外
温室气体	种类		排放量	单位	数据来源	
	二氧化碳			t	依据GB/T 32151.9计算直接排放	

附录 B

(规范性)

次级数据采集信息

次级数据采集表见表B.1。

表B.1 次级数据采集表

次级数据		数据来源	数据获取方式	时间相关性	地域相关性	技术相关性
资源	水泥					
	石灰					
	粉煤灰					
	碎石					
	石膏					
	水					
	其他					
能源	煤					
	煤矸石					
	汽油					
	柴油					
	天然气					
	蒸汽					
	电力					
	其他					
运输	公路运输					
	铁路运输					
	水路运输					

本文件可采用数据质量评价体系对数据质量进行评价，详见表B.2。

表B.2 数据质量评价体系表

数据质量评价项	项目分值				
	5	4	3	2	1
数据来源	生产现场	行业统计数据	权威机构调研报告	文献	其他
数据获取方式	测量	计算	平均	估算	未知
时间相关性	≤1年	>1年，≤5年	>5年，≤10年	>10年，≤15年	>15年，或未知
地理相关性	本区域数据	包含本区域的较大区域范围平均数据	类似生产条件的区域数据	稍微类似生产条件的区域数据	未知或生产条件完全不同的区域数据
技术相关性	从生产链直接获得的数据	代表相同工艺、相同技术水平的数据	代表相同工艺，相近技术水平的数据	代表相同工艺、技术水平差距较大的数据	未知或不同工艺的数据

评价体系包括数据来源、数据获取方式、时间相关性、地理相关性与技术相关性5项评价指标，并在每项指标中用5级分制来评价数据质量。通过计算每个数据的5项指标总分来表征输入输出数据的质量（最高25分），使用单元过程中所有数据质量评分的算术平均值来表征单元过程的数据质量。对于数据质量小于15分的数据应进行敏感性分析与不确定性分析，通过敏感性检查，说明产品生命周期忽略的过程、忽略的现场数据以及主要的假设等相关因素对最终结果造成的影响，并说明背景数据选择、现场数据采集与处理是否符合本标准的要求。

附录 C

(规范性)

先张法预应力混凝土管桩产品生命周期清单分析

C.1 总则

先张法预应力混凝土管桩碳足迹的核算应包括原料与能源获取阶段、原燃料运输阶段、产品生产阶段，按式 (C.1) 计算：

$$CFP = E_{\text{原料与能源获取}} + E_{\text{原燃料运输}} + E_{\text{产品生产}} \quad (\text{C.1})$$

式中：

CFP——产品碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

$E_{\text{原料与能源获取}}$ ——原料与能源获取阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

$E_{\text{原燃料运输}}$ ——原燃料获取阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

$E_{\text{产品生产}}$ ——产品生产阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)。

C.2 原料与能源获取

原料与能源获取阶段温室气体排放主要为原料上游生产温室气体排放，按式 (C.2) 计算：

$$E_{\text{原料与能源获取}} = \sum_j C_j \times RF_j \quad (\text{C.2})$$

式中：

$E_{\text{原料与能源获取}}$ ——原料与能源获取阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

j ——不同原料或能源种类；

C_j ——第 j 类原料或能源消耗量，单位为千克 (kg)；

RF_j ——第 j 类原料或能源温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克 (kgCO₂e/kg)。

C.2.1 活动数据获取

消耗原料种类和重量应根据企业台账、统计报表或第三方核证资料（如：发票）来确定。

C.2.2 排放因子获取

排放因子应根据政府主管部门发布的官方数据，也可采相关指南、公开发表文献、数据库中的数据。

C.3 原燃料运输

原燃料运输至企业产生的温室气体排放量按式 (C.3) 计算：

$$E_{\text{原燃料运输}} = \sum_j (W_j \times D_j) \times EF_{\text{运输}} \quad (\text{C.3})$$

式中：

$E_{\text{原燃料运输}}$ ——原燃料运输阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

j——不同原料或燃料种类；

W_j ——第j类原料或燃料重量，单位为吨（t）；

D_j ——第j类原料或燃料运输距离，单位为千米（km）；

$EF_{\text{运输}}$ ——运输方式温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吨千米 $[\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})]$ 。

C.3.1 活动数据获取

原燃料种类、重量、运输距离应根据企业台账、统计报表或第三方核证资料（如：发票）来确定。

C.3.2 排放因子获取

排放因子优先采用企业直接测量获得或者通过能量平衡、物料平衡等方法测算获得的排放因子实测值或测算值，其次采用表D.2或相关指南、文件、数据库中提供的排放因子。

C.4 产品生产

先张法预应力混凝土管桩生产制造阶段温室气体排放主要包括各种能源消耗温室气体排放、废弃物处理温室气体排放，按式（C.4）计算：

$$E_{\text{产品生产}} = E_{\text{能源}} + E_{\text{废弃物}} \quad (\text{C.4})$$

式中：

$E_{\text{产品生产}}$ ——产品生产制造阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$E_{\text{能源}}$ ——能源消耗温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$E_{\text{废弃物}}$ ——废弃物处理温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）。

能源消耗过程温室气体排放主要包括燃料燃烧温室气体排放、外购电力和外购热力产生的温室气体排放，按式（C.5）计算：

$$E_{\text{能源}} = E_{\text{燃料,c}} + E_{\text{电力}} + E_{\text{热力}} \quad (\text{C.5})$$

式中：

$E_{\text{能源}}$ ——能源消耗产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$E_{\text{燃料,c}}$ ——燃料燃烧产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$E_{\text{电力}}$ ——净购入电力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$E_{\text{热力}}$ ——净购入热力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）。

化石燃料燃烧温室气体排放量计算按式（C.6）计算：

$$E_{\text{燃料,c}} = \sum_i FC_i \times NCV_i \times CC_i \times \alpha_i \times \frac{44}{12} \times 10^3 \quad (\text{C.6})$$

式中：

$E_{\text{燃料},c}$ ——燃料燃烧产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

i ——化石燃料类型；

FC_i ——化石燃料的消费量，固体和液体燃料的单位为吨(t)，气体燃料单位为万标准立方米(10⁴Nm³)；

NCV_i ——化石燃料的低位发热量，固体和液体燃料的单位为吉焦/吨(GJ/t)，气体燃料的单位为吉焦每万标准立方米(GJ/10⁴Nm³)；

CC_i ——化石燃料*i*的单位热值含碳量，单位为吨碳/吉焦(tC/GJ)；

α_i ——化石燃料*i*的碳氧化率，单位为百分比(%)；

$\frac{44}{12}$ ——碳与二氧化碳的质量转换系数；

10³——吨与千克的转换系数。

净购入电力消耗温室气体排放量按式(C.7)计算：

$$E_{\text{电力}} = AD_{\text{净购电}} \times EF_{\text{电}} \times 10^3 \quad (\text{C.7})$$

式中：

$E_{\text{电力}}$ ——净购入电力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$AD_{\text{净购电}}$ ——净购入电力消耗量，单位为兆瓦时(MWh)；

$EF_{\text{电}}$ ——电力排放因子，单位为吨二氧化碳当量每兆瓦时(tCO₂e/MWh)；

10³——吨与千克的转换系数。

净购入热力消耗温室气体排放量按式(C.8)计算：

$$E_{\text{热力}} = AD_{\text{净购热}} \times EF_{\text{热力}} \times 10^3 \quad (\text{C.8})$$

式中：

$E_{\text{热力}}$ ——净购入热力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$AD_{\text{净购热}}$ ——净购入热力消耗量，单位为吉焦(GJ)；

$EF_{\text{热力}}$ ——热力排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吉焦(tCO₂e/GJ)；

10³——吨与千克的转换系数。

以质量单位计量的热水可按式(C.9)转换为热量单位：

$$AD_{\text{热水}} = Ma_w \times (T_w - 20) \times 4.1868 \times 10^{-3} \quad (\text{C.9})$$

式中：

$AD_{\text{热水}}$ ——热水的热量，单位为吉焦（GJ）；

Ma_w ——热水的质量，单位为吨（t）；

T_w ——热水的温度，单位摄氏度（℃）；

4.1868——水在常温常压下的比热容，单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)]。

以质量单位计量的蒸汽可按式（C.10）转换为热量单位：

$$AD_{\text{蒸汽}} = Ma_{\text{st}} \times (En_{\text{st}} - 83.74) \times 10^{-3} \quad (\text{C.10})$$

式中：

$AD_{\text{蒸汽}}$ ——蒸汽的热量，单位为吉焦（GJ）；

Ma_{st} ——蒸汽的质量，单位为吨（t）；

En_{st} ——蒸汽所对应的温度、压力下每千克蒸汽的热焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)，饱和蒸汽和过热蒸汽的热焓可分别查阅表D.4和D.5。

废弃物处理过程温室气体排放主要为固废处理产生的温室气体排放，按式（C.11）计算：

$$E_{\text{固废}} = \sum_k C_k \times RF_k \quad (\text{C.11})$$

式中：

$E_{\text{固废}}$ ——固废处理温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

k ——不同固废种类；

C_k ——第 k 类固废产生量，单位为千克（kg）；

RF_k ——第 k 类固废处理的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（kgCO₂e/kg）。

附录 D

(资料性)

常用原料及能源相关参数的推荐值

常用原料温室气体排放因子推荐值见表D.1。

表D.1 常用原料温室气体排放因子推荐值

原料种类	碳排放因子 (kgCO ₂ e/kg)	
碳素钢	1.96 ^a	
低碳钢	2.63 ^a	
热轧碳钢中厚板	2.40 ^a	
热轧碳钢无缝钢管	3.15 ^a	
碳钢热镀锌板卷	3.11 ^a	
热轧碳钢棒材	2.35 ^a	
钢筋	4.08 ^a	
钢管	3.10 ^a	
混凝土(平均)	1.33 ^a	
轻质混凝土(平均)	0.47 ^a	
水泥(平均)	0.88 ^a	
42.5级普通硅酸盐水泥(平均)	0.752 ^a	
52.5级普通硅酸盐水泥(平均)	0.854 ^a	
42.5级复合硅酸盐水泥(平均)	0.603 ^a	
碎石	2.18×10^{-3} ^b	
自来水	0.168×10^{-3} ^b	
砂	天然砂	0.398×10^{-3} ^c
	机制砂	4.17×10^{-3} ^c

^a 数据来源生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心联合北京师范大学生态环境治理研究中心、中山大学环境科学与工程学院、中国城市温室气体工作组(CCG)发布的《全生命周期温室气体排放系数集(2023)》(<http://lca.cityghg.com>)，在相关机构公布最新数据后，应采用最新数据。

^b 数据来源《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366-2019)，在标准修订后，应采用最新数据。

^c 中国建材检验认证集团股份有限公司和住房和城乡建设部科技与产业化发展中心编写的《碳足迹与绿色建材》。

常用化石燃料相关参数推荐值见表D.2。

表D.2 常用化石燃料相关参数推荐值

燃料种类	计量单位	低位发热量 GJ/t, GJ/10 ⁴ Nm ³	单位热值含碳量 tC/GJ	燃料碳氧化率 %	上游生产排放因子 ^e	
					数值	单位
无烟煤	t	26.7 ^a	27.4×10 ⁻³ ^b	94 ^b	0.11	kgCO ₂ e/kg
烟煤	t	19.670 ^c	26.1×10 ⁻³ ^b	93 ^b	0.11	kgCO ₂ e/kg
褐煤	t	11.9 ^a	28.0×10 ⁻³ ^a	96 ^b	0.11	kgCO ₂ e/kg
洗精煤	t	26.344 ^d	25.41×10 ⁻³ ^b	90 ^b	0.33	kgCO ₂ e/kg
型煤	t	17.460 ^c	33.6×10 ⁻³ ^c	90 ^b	0.24	kgCO ₂ e/kg
焦炭	t	28.435 ^d	29.5×10 ⁻³ ^b	93 ^b	0.54	kgCO ₂ e/kg
原油	t	41.816 ^d	20.1×10 ⁻³ ^b	98 ^b	0.27	kgCO ₂ e/kg
燃料油	t	41.816 ^d	21.1×10 ⁻³ ^b	98 ^b	2.20	kgCO ₂ e/kg
汽油	t	43.070 ^d	18.9×10 ⁻³ ^b	98 ^b	0.81	kgCO ₂ e/kg
柴油	t	42.652 ^d	20.2×10 ⁻³ ^b	98 ^b	0.67	kgCO ₂ e/kg
一般煤油	t	43.070 ^d	19.6×10 ⁻³ ^b	98 ^b	1.26	kgCO ₂ e/kg
液化石油气	t	50.179 ^d	17.2×10 ⁻³ ^b	98 ^b	2.01	kgCO ₂ e/kg
天然气	10 ⁴ Nm ³	389.31 ^d	15.3×10 ⁻³ ^b	99 ^b	0.64	kgCO ₂ e/Nm ³
燃料种类	燃烧排放因子 ^e				上游生产排放因子 ^e	
	数值	单位		数值	单位	
玉米秸秆	0.15 ^f	kgCO ₂ e/kg		0.07	kgCO ₂ e/kg	
小麦秸秆	0.15 ^f	kgCO ₂ e/kg		0.083	kgCO ₂ e/kg	
^a 数据取值来源为《2006年IPCC国家温室气体清单指南》； ^b 数据取值来源为《省级温室气体清单编制指南（试行）》； ^c 数据取值来源为《中国温室气体清单研究》（2007）； ^d 数据取值来源为《中国能源统计年鉴2017》； ^e 数据来源生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心联合北京师范大学生态环境治理研究中心、中山大学环境科学与工程学院、中国城市温室气体工作组（CCG）发布的《全生命周期温室气体排放系数集（2023）》（ http://lca.cityghg.com ），在相关机构公布最新数据后，应采用最新数据； ^f 数据来源生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心联合北京师范大学生态环境治理研究中心、中山大学环境科学与工程学院、中国城市温室气体工作组（CCG）发布的《全生命周期温室气体排放系数集（2023）》（ http://lca.cityghg.com ）中生物质燃料的数值，在相关机构公布最新数据后，应采用最新数据。						

常见运输方式温室气体排放因子见表D.3。

表D.3 常见运输方式温室气体排放因子

运输方式	碳排放因子 [kgCO ₂ e/ (t·km)] ^a
道路交通（货运）	
平均	0.074
重型货车	0.049
中型货车	0.042
轻型货车	0.083
微型货车	0.120
铁路（货运）	
平均	0.007
内燃机车	0.007
水运（货运）	
平均	0.012
杂货船	0.019
集装箱船	0.010
干散货船	0.007
多用途船	0.012
<p>^a 数据来源生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心联合北京师范大学生态环境治理研究中心、中山大学环境科学与工程学院、中国城市温室气体工作组（CCG）发布的《全生命周期温室气体排放系数集（2022）》（http://lca.cityghg.com），在相关机构公布最新数据后，应采用最新数据。</p>	

常见饱和蒸汽焓参数见表D.4

表D.4 常见饱和蒸汽焓表

压力 (MPa)	温度 (°C)	焓 (kJ/kg)	压力 (MPa)	温度 (°C)	焓 (kJ/kg)
0.001	6.98	2513.8	1.00	179.88	2777.0
0.002	17.51	2533.2	1.10	184.06	2780.4
0.003	24.10	2545.2	1.20	187.96	2783.4
0.004	28.98	2554.1	1.30	191.60	2786.0
0.005	32.90	2561.2	1.40	195.04	2788.4
0.006	36.18	2567.1	1.50	198.28	2790.4
0.007	39.02	2572.2	1.60	201.37	2792.2
0.008	41.53	2576.7	1.70	204.30	2793.8
0.009	43.79	2580.8	1.80	207.10	2795.1
0.010	45.83	2584.4	1.90	209.79	2796.4
0.015	54.00	2598.9	2.00	212.37	2797.4
0.020	60.09	2609.6	2.20	217.24	2799.1
0.025	64.99	2618.1	2.40	221.78	2800.4
0.030	69.12	2625.3	2.60	226.03	2801.2
0.040	75.89	2636.8	2.80	230.04	2801.7
0.050	81.35	2645.0	3.00	233.84	2801.9
0.060	85.95	2653.6	3.50	242.54	2801.3
0.070	89.96	2660.2	4.00	250.33	2799.4
0.080	93.51	2666.0	5.00	263.92	2792.8
0.090	96.71	2671.1	6.00	275.56	2783.3
0.10	99.63	2675.7	7.00	285.80	2771.4
0.12	104.81	2683.8	8.00	294.98	2757.5
0.14	109.32	2690.8	9.00	303.31	2741.8
0.16	113.32	2696.8	10.0	310.96	2724.4
0.18	116.93	2702.1	11.0	318.04	2705.4
0.20	120.23	2706.9	12.0	324.64	2684.8
0.25	127.43	2717.2	13.0	330.81	2662.4
0.30	133.54	2725.5	14.0	336.63	2638.3
0.35	138.88	2732.5	15.0	342.12	2611.6
0.40	143.62	2738.5	16.0	347.32	2582.7
0.45	147.92	2743.8	17.0	352.26	2550.8
0.50	151.85	2758.5	18.0	356.96	2514.4
0.60	158.84	2756.4	19.0	361.44	2470.1
0.70	164.96	2762.9	20.0	365.71	2413.9
0.80	170.42	2768.4	21.0	369.79	2340.2
0.90	175.36	2773.0	22.0	373.68	2192.5
^a 《温室气体排放核算与报告要求 第5部分：钢铁生产企业》(GB/T 32151.5-2015)。					

过热蒸汽热焓参数见表 D.5

温度	压力											
	0.01 MPa	0.1 MPa	0.5 MPa	1 MPa	3 MPa	5 MPa	7 MPa	10 MPa	14 MPa	20 MPa	25 MPa	30 MPa
0℃	0	0.1	0.5	1	3	5	7.1	10.1	14.1	20.1	25.1	30
10℃	42	42.1	42.5	43	44.9	46.9	48.8	51.7	55.6	61.3	66.1	70.8
20℃	83.9	84	84.3	84.8	86.7	88.6	90.4	93.2	97	102.5	107.1	111.7
40℃	167.4	167.5	167.9	168.3	170.1	171.9	173.6	176.3	179.8	185.1	189.4	193.8
60℃	2611.3	251.2	251.2	251.9	253.6	255.3	256.9	259.4	262.8	267.8	272	276.1
80℃	2649.3	335	335.3	335.7	337.3	338.8	340.4	342.8	346	360.8	354.8	358.7
100℃	2687.3	2676.5	419.4	419.7	421.1	422.7	424.2	426.5	429.5	434	437.8	441.6
120℃	2725.4	2716.8	503.9	504.3	505.7	507.1	508.5	510.6	513.5	517.7	521.3	524.9
140℃	2763.6	2756.6	589.2	589.5	590.8	592.1	593.4	595.4	598	602	605.4	603.1
160℃	2802	2767.3	2767.3	675.7	676.9	678	679.2	681	683.4	687.1	690.2	693.3
180℃	2840.6	2835.7	2812.1	2777.3	764.1	765.2	766.2	767.8	769.9	773.1	775.9	778.7
200℃	2879.3	2875.2	2855.5	2827.5	853	853.8	854.6	855.9	857.7	860.4	862.8	953.1
220℃	2918.3	2914.7	2898	2874.9	943.9	944.4	945.0	946	947.2	949.3	951.2	953.1
240℃	2957.4	2954.3	2939.9	2920.5	2823	1037.8	1038.0	1038.4	1039.1	1040.3	1041.5	1024.8
260℃	2996.8	2994.1	2981.5	2964.8	2885.5	1135	1134.7	1134.3	1134.1	1134	1134.3	1134.8
280℃	3036.5	3034	3022.9	3008.3	2941.8	2857	1236.7	1235.2	1233.5	1231.6	1230.5	1229.9
300℃	3076.3	3074.1	3064.2	3051.3	2994.2	2925.4	2839.2	1343.7	1339.5	1334.6	1331.5	1329
350℃	3177	3175.3	3167.6	3157.7	3115.7	3069.2	3017.0	2924.2	2753.5	1648.4	1626.4	1611.3
400℃	3362.52	3278	3217.8	3264	3231.6	3196.9	3159.7	3098.5	3001	2820.1	2583.2	2159.1
420℃	3320.96	3319.68	3313.8	3306.6	3276.9	3245.4	3211.0	3155.98	3072.72	2917.02	2730.76	2424.7
440℃	3362.52	3361.36	3355.9	3349.3	3321.9	3293.2	3262.3	3213.46	3141.44	3013.94	2878.32	2690.3
450℃	3383.3	3382.2	3377.1	3370.7	3344.4	3316.8	3288.0	3242.2	3175.8	3062.4	2952.1	2823.1
460℃	3404.42	3403.34	3398.3	3392.1	3366.8	3340.4	3312.4	3268.58	3205.24	3097.96	2994.68	2875.26
480℃	3446.66	3445.62	3440.9	3435.1	3411.6	3387.2	3361.3	3321.34	3264.12	3169.08	3079.84	2979.58
500℃	3488.9	3487.9	3483.7	3478.3	3456.4	3433.8	3410.2	3374.1	3323	3240.2	3165	3083.9
520℃	3531.82	3530.9	3526.9	3521.86	3501.28	3480.12	3458.6	3425.1	3378.4	3303.7	3237	3166.1
540℃	3593.2	3595.4	3591.7	3587.2	3568.6	3549.6	3530.2	3500.4	3459.2	3394.3	337.3	3277.7
550℃	3593.2	3595.4	3591.7	3587.2	3568.6	3549.6	3530.2	3500.4	3459.2	3394.3	3337.3	3277.7
560℃	3618	3617.22	3613.64	3609.24	3591.18	3572.76	3554.1	3525.4	3485.8	3423.6	3369.2	3312.6
580℃	3661.6	3660.86	3657.52	3653.32	3636.34	3619.08	3601.6	3574.9	3538.2	3480.9	3431.2	3379.8
600℃	3705.2	3704.5	3701.1	3697.4	3681.5	3665.4	3649.0	3624	3589.8	3536.9	3491.2	3444.2

^a 《温室气体排放核算与报告要求 第5部分：钢铁生产企业》（GB/T 32151.5-2015）。

附录 E

(资料性)

温室气体全球增温潜势

表E.1 温室气体全球增温潜势

工业名称或通用名	化学分子式	增温潜势
二氧化碳	CO ₂	1

来源：IPCC-AR5。