

ICS 13.020.01

CCS Z 04

团 体 标 准

T/SEESA XXX—XXXX

工业副产氢碳排放核算方法

Method for Carbon Emission Accounting of Industrial Co-product Hydrogen

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

上海市节能环保服务业协会

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 量化目的.....	3
5 量化范围.....	4
5.1 产品描述.....	4
5.2 声明单位.....	4
5.3 系统边界.....	4
5.4 取舍准则.....	5
6 清单分析.....	5
6.1 数据描述.....	5
6.2 数据收集.....	6
6.3 数据质量评价.....	6
6.4 分配原则.....	7
7 影响评价.....	7
7.1 通则.....	7
7.2 产品碳排放计算方法.....	7
8 产品碳排放结果解释.....	10
9 产品碳排放报告.....	10
附录 A（资料性）工业副产氢碳排放核算基础数据清单.....	12
附录 B（资料性）产品碳排放报告（模板）.....	14
附录 C（资料性）温室气体全球变暖潜势.....	17
附录 D（资料性）常用参数及排放因子参考值.....	18
附录 E（资料性）工业副产氢碳排放分配比例系数参考值.....	20
附录 F（资料性）工业副产氢碳排放核算案例.....	21
参考文献.....	22

前 言

本文件按照 GB/T1.1—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》和标准 GB/T 20001.10-2014《标准编写规则 第10部分：产品标准》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。

本文件由上海环境能源交易所股份有限公司提出。

本文件由上海市节能环保服务业协会归口。

本文件起草单位：上海环境能源交易所股份有限公司、美锦碳资产运营有限公司、中石化碳产业科技股份有限公司、国家电投集团碳资产管理有限公司、上海期货交易所、内蒙古自治区计量测试研究院、张家港氢云新能源研究院有限公司、广西华谊氯碱化工有限公司、上海氯碱化工股份有限公司、谱尼测试集团股份有限公司、东华能源（宁波）新材料有限公司、中国燃气控股有限公司、上海重塑能源集团股份有限公司、羚牛新能源科技（上海）有限公司、山东氢谷新能源技术研究院、上海长三角氢能科技研究院、新疆油田公司工程技术研究院。

本文件主要起草人：赖晓明、姚锦丽、杨继、泮昊、庄青、吴浩、贾会朝、王朝、王一飞、彭峰、聂利彬、李诗洋、胡新鑫、杨朝检、俞昉、李霞、宗晓艳、邢建武、蒲红霞、龚中杰、王耀华、苗乃乾、张焰峰、李蓉、熊江弘、庞程、胡永花。

本文件首期承诺执行单位：上海环境能源交易所股份有限公司、美锦碳资产运营有限公司、中石化碳产业科技股份有限公司、国家电投集团碳资产管理有限公司、上海期货交易所、内蒙古自治区计量测试研究院、张家港氢云新能源研究院有限公司、广西华谊氯碱化工有限公司、上海氯碱化工股份有限公司、谱尼测试集团股份有限公司、东华能源（宁波）新材料有限公司、中国燃气控股有限公司、上海重塑能源集团股份有限公司、羚牛新能源科技（上海）有限公司、山东氢谷新能源技术研究院、上海长三角氢能科技研究院、新疆油田公司工程技术研究院。

工业副产氢碳排放核算方法

1 范围

本文件规定了工业副产氢产品碳排放的量化目的、量化范围、数据和数据质量、生命周期清单分析、产品碳排放影响评价、产品碳排放结果解释及产品碳排放报告。

本文件适用于工业生产过程副产氢气的碳排放核算。本文件所指副产氢的工业生产过程包括：焦炉煤气副产氢（焦炉煤气直接制氢）、氯碱副产氢和丙烷脱氢副产氢。

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 38927 焦炉煤气制取甲醇技术规范
- 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 要求与指南
- GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- GB/T 32151.10-2015 温室气体排放核算与报告要求 第10部分：化工生产企业
- GB/T 24067 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南
- SY/T 5920-2007 原油及轻烃站(库)运行管理规范
- DB 21/T 2488-2015 氯碱企业危险废物规范化管理指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业副产氢 industrial co-product hydrogen
现有工业在生产目标产品的过程中产生的氢气。

3.2

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。

注：如无特别说明，本文件中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）与三氟化氮（NF₃）。

[来源：GB/T 32150-2015,3.1]

3.3

焦炉煤气 coke-oven gas
炼焦过程中炼焦煤经高温干馏产生的气态可燃气副产物。

[来源：GB/T 38927-2020,3.1]

3.4

氯碱 chlor-alkali
氯碱，即氯碱工业，以电解饱和氯化钠溶液的方法来制取烧碱、氯气和氢气，并以它们为原料生产一系列化工产品的加工工业。系列化工产品主要包括聚氯乙烯及其它氯产品等。

其中，烧碱生产工艺包括离子交换膜电解法和隔膜电解法。聚氯乙烯生产工艺主要包括电石法和氧氯化平衡法。其它氯产品要包括无机氯产品、有机氯产品。

[来源：DB21/T 2488-2015,3.1]

3.5

轻烃 natural gasoline

系指油田伴生气在输送和初加工以及原油稳定过程中所得到的天然气凝液。

[来源：SY/T 5920-2007,3]

3.6

核算边界 accounting boundary

与报告主体的生产经营活动相关的温室气体排放范围。

[来源：GB/T 32150-2015,3.4]

3.7

温室气体源 greenhouse gas source

向大气中排放温室气体的物理单元或过程。

[来源：GB/T 32150-2015,3.5]

3.8

燃料燃烧排放 fuel combustion emission

燃料在氧化燃烧过程中产生的温室气体排放。

[来源：GB/T 32150-2015,3.7]

3.9

过程排放 process emission

在生产、废物处置等过程中出燃烧之外的物理或化学变化造成的温室气体排放。

[来源：GB/T 32150-2015,3.8]

3.10

购入的电力、热力产生的排放 emission from purchased electricity and heat

企业消费的购入电力、热力所对应的电力、热力生产环节产生的二氧化碳排放。

注：热力包括蒸汽、热水等。

[来源：GB/T 32150-2015,3.9]

3.11

活动数据 activity data

导致污染物及温室气体排放的生产或消费活动量的表征值。

注：如各种化石燃料的消耗量、原材料的使用量、购入的电量、购入的热量等。

[来源：GB/T 32150-2015,3.12]

3.12

排放因子 emission factor

表征单位生产或消费活动量的污染物及温室气体排放的系数。

[来源：GB/T 32150-2015,3.13]

3.13

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研究的产品系统，因为初级数据可能涉及其他所研究的产品系统具有可比性的产品系统。

注2：初级数据可包含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]

3.14

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，可来源于数据库、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：次级数据可包括从代替过程或估计获得的数据。

[数据来源：GB/T 24067-2024,3.6.3]

3.15

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度的影响与等质量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数。

[来源：GB/T 32150-2015,3.15]

3.16

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent

CO₂e

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变暖潜势值。

[来源：GB/T 32150-2015,3.16]

3.17

共生产品 co-product

同一单元过程或产品系统中产出的两种或两种以上的产品。

[来源：GB/T 24044-2008,3.10]

3.18

分配 allocation

将过程或产品系统中的输入和输出流划分到所研究的产品系统以及一个或更多的其他产品系统中。

[来源：GB/T 24044-2008,3.17]

3.19

取舍准则 cut-off criteria

对于单元过程或产品系统相关的物质或能量流的数量或环境影响重要性程度是否被排除在评价范围之外所作的规定。

[来源：GB/T 24044-2008,3.18]

3.20

声明单位 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]

3.21

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]

4 量化目的

开展工业副产氢产品碳排放量化的总体目的是结合取舍准则（见3.19），通过量化工业副产氢产品系统边界内所有显著的温室气体排放量和清除量，计算工业副产氢产品对全球变暖的潜在贡献[以二氧化碳当量（CO₂e）表示]。

在确定产品碳排放研究目的时，应明确说明以下问题：
 ——应用意图；
 ——开展该项产品碳排放研究的理由；
 ——目标受众（即研究结果的接收者）；
 ——符合ISO 14026要求，提供产品碳排放交流信息（如有）。

5 量化范围

5.1 产品描述

工业副产氢产品应考虑实际评价要求、不同工艺、物理状态等差别，同时清晰描述产品名称、产品定义等信息。本文件描述的产品包括，焦炉煤气副产氢、氯碱副产氢和丙烷脱氢副产氢三种副产氢类型。

本文件中涉及的工业副产氢产品碳排放量化与评价方法均以描述的具体产品为对象，三种类型的工业副产氢产品典型生产工序过程见5.3.2。

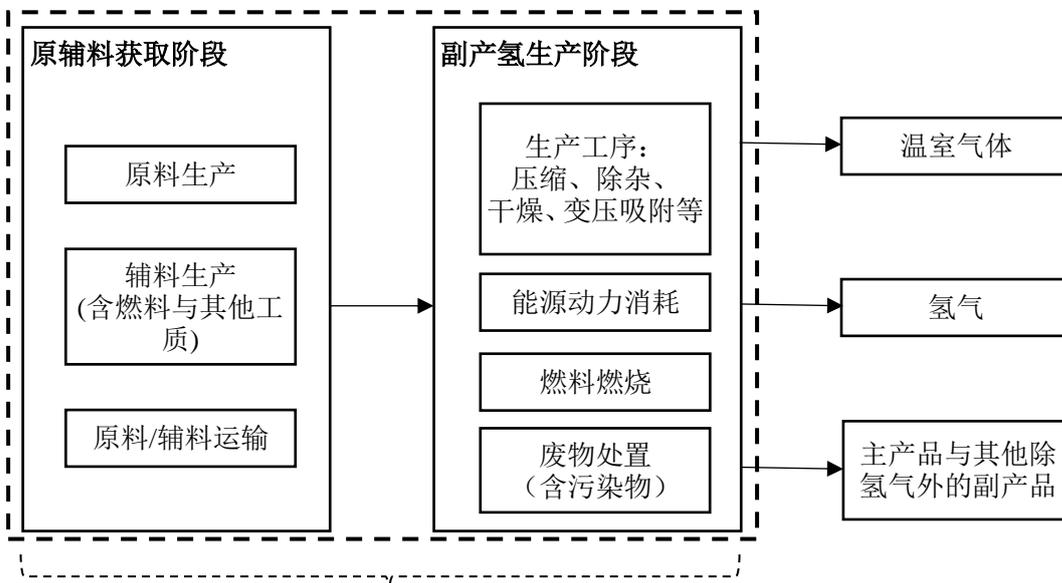
5.2 声明单位

本文件涉及的工业副产氢产品以声明单位表示，通过工业生产过程副产的氢气声明单位为1kg H₂副产品。其中，焦炉煤气副产氢H₂产品纯度需达到99.9%、氯碱副产氢H₂产品纯度需达到99%、丙烷脱氢副产氢H₂产品纯度需达到99.99%。

5.3 系统边界

5.3.1 边界设定

本文件中规定的工业副产氢碳排放核算系统边界为“从摇篮到大门”，即从原料获取到工业副产氢生产完成。工业副产氢碳排放活动应根据产品物料转化过程进行计算，碳排放核算范围包括：原料/辅料获取阶段排放与生产阶段排放，即从原辅助材料和能源获取到工业副产氢产品生产完成离开生产商厂门为止，系统边界图见图1。主副产品对碳排放的分配原则参考6.4要求。



从“摇篮”到“大门”

图1 工业副产氢产品碳排放核算系统边界

5.3.2 工业副产氢生产工序过程

5.3.2.1 焦炉煤气副产氢

本标准中焦炉气副产氢方式是指焦炉煤气直接制氢，焦炉煤气直接制氢工序主要包括：除杂、压缩、净化、深冷分离、变压吸附及干燥等。

5.3.2.2 氯碱副产氢

氯碱副产氢工序主要包括：精制盐水、电解、压缩、除氯、除氧、干燥及变压吸附等工序。

5.3.2.3 丙烷脱氢副产氢

丙烷脱氢副产氢工序主要包括：加热、冷却、压缩、干燥、低温回收及变压吸附等工序。

5.4 取舍准则

在工业副产氢碳排放核算过程中，应根据工业副产氢生产过程的各阶段，量化至少占产品在生命周期内温室气体排放量的 95% 以上，温室气体排放量小于产品温室气体总排放 1% 的可予以舍去（如：数据难以获取且排放量占比小于 1% 的辅料试剂等），但累计舍去不应超过产品总排放量的 5%，且应对排除的单元过程进行说明。

6 清单分析

6.1 数据描述

工业副产氢碳排放核算需要收集活动数据和背景数据。

活动数据是工业副产氢产品生产阶段各工序或单元基于实际测量、统计等方式得到的生命周期清单数据，如产品生产阶段的原辅料和能源消耗量、产品产出量、废物产生量及运输量(包括运输方式、运输距离)等。活动数据均为初级数据。

背景数据是无法从现有产品系统中获得的，通常来源于现有的本土化或国际LCA数据库、经第三方权威机构认证的产品碳足迹(CFP)或环境产品声明(EPD)报告、公开发表的高质量学术文献等。

可通过直接测量或基于直接测量计算得到量化值的背景数据为初级数据，如供应商或服务商提供基于现场数据计算得到的生命周期清单数据；不能通过直接测量或基于直接测量计算得到量化值的背景数据为次级数据，如外购原辅材料和燃料的上游排放因子、运输排放因子，废弃物处置排放因子等。

仅在收集初级数据不可行时，次级数据才能用于输入和输出，或用于重要性较低的过程。引用次级数据宜证明其适用性和可信度，并注明数据来源及选取思路。工业副产氢产品系统边界内涉及的主要数据描述示例见表1。

表1 主要数据描述示例

数据类别		副产氢类型	数据描述	要求	
活动数据	输入	原料消耗量	焦炉煤气副产氢	焦炉煤气、氧气等	应使用初级数据
			氯碱副产氢	工业盐、原盐等	
			丙烷脱氢副产氢	丙烷等	
		辅料消耗量	焦炉煤气副产氢	胺液、活性炭、吸附剂、脱硫剂、水解剂、消泡剂等	
			氯碱副产氢	盐酸、碳酸钠、无水硫酸钠等	
			丙烷脱氢副产氢	二硫化二甲基、氯液、吸附剂等	
		燃料消耗量	焦炉煤气副产氢	焦炉煤气等	
			氯碱副产氢	/	
			丙烷脱氢副产氢	乙烷、尾气、尾气等	
	电力、热力消耗量	焦炉煤气副产氢	电力（类型、占比）、蒸汽（类型、焓值）		
		氯碱副产氢			
		丙烷脱氢副产氢			
	其他工质消耗量	焦炉煤气副产氢	水、氮气、压缩空气等		
		氯碱副产氢	水、压缩空气等		
		丙烷脱氢副产氢	水等		
	运输量、运输方式及	焦炉煤气副产氢	原料、辅料、能源及废物等		
氯碱副产氢					

	输出	距离	丙烷脱氢副产氢		
		主/副产品产量	焦炉煤气副产氢	H ₂ 、CO、蒸汽等	
			氯碱副产氢	NaOH、Cl ₂ 、H ₂ 、稀硫酸、次氯酸钠溶液等	
			丙烷脱氢副产氢	丙烯、H ₂ 、乙烷等	
		废物产量	焦炉煤气副产氢	废油、废水等	
			氯碱副产氢	盐泥、废水等	
			丙烷脱氢副产氢	废水等	
		生产工序直接温室气体排放量	焦炉煤气副产氢	解析CO ₂ 排放量等	
			氯碱副产氢	/	
			丙烷脱氢副产氢	/	
背景数据	电力/热力排放因子		优先使用供应商/服务商提供的实测排放因子; 其次使用同类产品/过程的估计数据、相关指南数据、文件数据或有公信力的国内外数据库数据等。	宜优先考虑初级数据,可使用次级数据	
	外购原料、辅料、燃料、其他工质和废物处置排放因子				
	运输方式排放因子				

6.2 数据收集

6.2.1 数据收集周期

工业副产氢碳排放核算数据, 应以一个自然年或一个连续的生产周期为数据收集周期, 数据应符合组织常规的运营管理要求, 涵盖生产波动的变化因素。

6.2.2 数据收集要求

工业副产氢碳排放核算需要收集的数据中, 活动数据和排放因子分别存在初级数据和次级数据, 基础数据收集清单可参考附录 A。数据收集和质量应满足以下要求:

a) 根据取舍准则, 确保数据收集涵盖对核算的产品系统有实质性贡献的所有温室气体的排放与清除, 对舍去的温室气体排放与清除做出书面记录。

b) 应优先选择对所核算产品而言具有时间代表性、地理代表性、技术代表性的数据。

c) 收集到的数据应减少偏差和不确定度, 当数据存在多种选择时, 应优先考虑质量最好的数据。涉及到估算的数据, 应注明估算方法确保一致性并标明后期数据质量可能提升的方向。

d) 计算碳排放时应优先使用初级数据, 通过直接测量或基于直接测量值计算而得到的过程或活动的量化值。当无法获取初级数据时, 可使用次级数据, 包括同类产品/过程的估计数据、相关指南数据、文件数据或有公信力的国内外数据库数据等。排放因子优先选用企业或其上下游实测数据。

e) 数据收集时应保持相同的数据来源、统计口径和处理规划等, 所有的数据都应保留原始的佐证资料或来源。

6.3 数据质量评价

结合数据评价指标的规范性和实际可获取性, 本文件使用时间代表性、地理代表性和技术代表性作为工业副产氢碳排放核算数据质量等级评价的参考指标。三项指标形成的质量评估表, 数据质量得分从高到低数据质量依次降低, 见表 2。

表 2 数据质量体系评价表

数据质量得分 (DQR)	时间代表性 (TiR)	地理代表性 (GoR)	技术代表性 (TeR)
5 分	近 1 年数据	本企业	全部实测/上游企业提供碳排放数据
4 分	近 2 年数据	市	部分实测

3分	近3年数据	省	标准/指南/权威数据库
2分	近4年数据	国家	同行企业数据
1分	近5年数据	国际数据	经验估算

工业副产氢碳排放核算应优先使用能获取到的最高得分数据，以减少偏差和不确定性。数据质量评价得分按公式（1）计算：

$$DQR_m = (TiR + GoR + TeR) / 3 \quad (1)$$

式中：

DQR_m——数据质量平均得分；

TiR——数据的时间代表性得分；

GoR——数据的地理代表性得分；

TeR——数据的技术代表性得分。

6.4 分配原则

工业副产氢的共生过程中，避免共生产品的排放分配问题，应优先使用过程细分方式；其次，采用能反应产品物理关系的方式进行分配，包括但不限于产品的数量、质量、体积等物理值；当物理关系不能确定或不能用作分配依据时，可使用其经济关系进行分配，如产品产值等，同时应说明引用依据。

- a) 过程细分。把共同过程分解为单独生产所研究产品和共生产品的子过程，通常需要细分到所研究产品是独立的过程即可。
- b) 物理性质分配。分配时宜选择能准确反映研究产品、共生产品和过程排放的本质物理联系，包含按照共生产品的质量、运输货物的体积、热和电力共生产品的能源含量、制造的（产品）单元数量。
- c) 非物理性质分配。如，根据离开混合输出过程的产品经济价值分配所研究产品和共生产品排放。

本文件对国内典型焦炉煤气副产氢（焦炉煤气直接制氢）、氯碱副产氢和丙烷脱氢副产氢企业的副产氢工序分别进行碳排放核算，得出不同分配方式下的各产物与副产氢碳排放分配比例系数参考值，见附录 E。并根据附录 E 分配比例系数，使用企业实际生产数据核算各工业副产氢生产工艺下，核算出不同分配比例系数的碳排放核算结果值，案例结果，参考附录 F。

7 影响评价

7.1 通则

应通过排放的GHG的质量乘以IPCC给出的100年GWP，来计算产品系统每种GHG排放的潜在气候变化影响，单位为kg CO₂e/（kg排放量）。

注1：产品碳排放为所有GHG潜在气候变化影响的总和。GWP值见附录C，若IPCC修订了GWP，应使用最新数值，否则应在报告中说明。除GWP100外，还可以使用IPCC提供的其他时间范围的GWP和GTP，但宜单独报告。

7.2 产品碳排放计算方法

7.2.1 温室气体源

工业副产氢产品碳排放包括：原料/辅料获取阶段排放（原料/辅料生产排放、原料/辅料运输排放）与生产阶段排放（包括：生产单元直接排放、能源消耗间接排放、燃料燃烧排放和废物处置排放），需要在所确定的核算边界范围内，对各类温室气体排放源进行识别。

7.2.2 工业副产氢碳排放

工业副产氢产品碳排放为原料/辅料获取阶段每声明单位温室气体排放量与生产阶段每声明单位温室气体排放量之和。排放总量见公式（2）：

$$E = \frac{(E_g + E_p) \times AF}{P} \quad (2)$$

式中：

- E —— 工业副产氢产品碳排放, 单位为千克二氧化碳当量每千克 ($\text{kgCO}_2\text{e/kg}$);
- E_g —— 工业副产氢原料/辅料获取阶段的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e);
- E_p —— 工业副产氢生产阶段的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e);
- AF —— 工业副产氢温室气体排放分配系数, 表示副产氢分配的温室气体排放量占有所有产品总排放量的比例, 单位%, 分配原则参考6.4;
- P —— 工业副产氢产量, 单位为吨 (t)。

7.2.3 原料/辅料获取阶段排放

原料/辅料获取阶段排放包括: 原料/辅料生产产生的温室气体排放量和原料/辅料运输产生的温室气体排放量。采用公式 (3) 计算:

$$E_g = E_m + E_t \quad (3)$$

式中:

- E_g —— 原料/辅料获取阶段的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e);
- E_m —— 原料/辅料生产产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e);
- E_t —— 原料/辅料运输过程产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e)。

7.2.3.1 原料/辅料生产排放

工业副产氢原料/辅料生产过程产生的碳排放, 根据原料/辅料消耗量和对应排放因子, 采用公式 (4) 计算:

$$E_m = \sum_j [\sum_i (FQ_i \times EF_{i,j}) \times GWP_j] \quad (4)$$

式中:

- E_m —— 原料/辅料生产产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e);
- FQ_i —— 第*i*种原料/辅料的使用量, 单位为吨 (t);
- $EF_{i,j}$ —— 第*i*种原料/辅料生产对应温室气体*j*的排放因子, 单位与对应活动数据相匹配;
- GWP_j —— 温室气体*j*的GWP值, 不同温室气体GWP取值参考附录C。

7.2.3.2 原料/辅料运输排放

工业副产氢原料/辅料运输过程产生的碳排放, 根据原料/辅料运输量、运输距离和运输工具排放因子, 采用公式 (5) 计算:

$$E_t = \sum_i (TV_i \times HD_i \times EF_{t,i}) \quad (5)$$

式中:

- E_t —— 工业副产氢生产过程使用的原料/辅料运输过程产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e);
- TV_i —— 第*i*种原料/辅料的运输的质量, 单位为吨 (t);
- HD_i —— 第*i*种原料/辅料的运输的距离, 单位为千米 (km);
- $EF_{t,i}$ —— 第*i*种交通工具对应的温室气体排放因子, 单位为吨二氧化碳每吨千米 ($\text{tCO}_2/\text{t km}$)。

7.2.4 生产阶段排放

生产阶段排放包括: 生产单元直接排放、能源消耗间接排放、燃料燃烧排放和废物处置排放。采用公式 (6) 计算:

$$E_p = E_d + E_e + E_f + E_w \quad (6)$$

式中:

- E_p —— 生产阶段产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 ($\text{t CO}_2\text{e}$);
- E_d —— 生单元直接产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 ($\text{t CO}_2\text{e}$);
- E_e —— 生产过程使用能源的间接温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e);

- E_f —— 燃料燃烧产生的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
 E_w —— 生产过程废物处置产生的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）。

7.2.4.1 生产单元直接排放

生产单元直接排放，是指工业副产氢生产过程中生产单元直接产生的温室气体排放。可使用计量设备监测的各种温室气体排放量数据，采用公式（7-1）计算，或根据生产过程中原料输入的碳质量与产物输出的碳质量按碳质量平衡法，采用公式（7-2）计算：

$$E_d = \sum_i (E_i \times GWP_i) \quad (7-1)$$

式中：

- E_d —— 生单元直接产生的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
 E_i —— 监测设备直接计量的温室气体i排放量，单位为吨（t）；
 GWP_i —— 温室气体i的GWP值，不同温室气体GWP取值参考附录C。

$$E_d = [\sum_m (MQ_m \times MC_m) - \sum_i (PQ_i \times PC_i)] \times \frac{44}{12} \quad (7-2)$$

式中：

- E_d —— 生单元直接产生的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
 MQ_m —— 含碳原料m的使用量，对固体或液体燃料，单位为吨（t）；对气体燃料，单位为万标立方米（10⁴Nm³）；
 MC_m —— 原料m的碳含量，对固体或液体燃料，单位为吨碳每吨（tC/t）；对气体燃料，单位为吨碳每万标立方米（tC/10⁴Nm³）；
 PQ_i —— 含碳产物i的产量，对固体或液体燃料，单位为吨（t）；对气体燃料，单位为万标立方米（10⁴Nm³）；
 PC_i —— 产物i的碳含量，对固体或液体燃料，单位为吨碳每吨（tC/t）；对气体燃料，单位为吨碳每万标立方米（tC/10⁴Nm³）。

7.2.4.2 能源消耗间接排放

能源消耗间接排放，是指工业副产氢生产过程供入各生产环节的电力和热力所对应的温室气体排放。根据电力和热力的消耗数据与其对应排放因子，采用公式（8）计算：

$$E_e = AD_e \times EF_e + AD_h \times EF_h \quad (8)$$

式中：

- E_e —— 生产过程能源消耗产生的间接温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
 AD_e —— 各生产环节使用的电量，单位为兆瓦时（MWh）；
 EF_e —— 电力对应的排放因子，单位为吨二氧化碳每兆瓦时（tCO₂/MWh），参考附表D.2；
 AD_h —— 各生产环节使用的热力，单位为吉焦（GJ）；
 EF_h —— 热力对应的排放因子，单位为吨二氧化碳每吉焦（tCO₂/GJ），参考附表D.2。

7.2.4.3 燃料燃烧排放

燃料燃烧排放，是指工业副产氢生产过程使用的燃料燃烧所产生的温室气体排放。根据燃料的消耗量、单位热值含碳量、低位热值和碳氧化率，采用公式（9）计算：

$$E_f = \sum_i \left(FQ_i \times NCV_i \times CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \right) \quad (9)$$

式中：

- E_f —— 燃料燃烧产生的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
 FQ_i —— 第i种燃料的用量，对固体或液体燃料，单位为吨（t）；对气体燃料，单位为万标立方米（10⁴Nm³）；
 NCV_i —— 第i种燃料的低位发热量，对固体或液体燃料，单位为吉焦每吨（GJ/t）；

对气体燃料，单位为吉焦每万标立方米（GJ/10⁴Nm³）。常见商品燃料的低位发热量见附表B.1；

CC_i —— 第*i*种燃料单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦（tC/GJ）。常见商品燃料的单位热值含碳量见附表B.1；

OF_i —— 第*i*种燃料的碳氧化率，单位为%，常见商品燃料的碳氧化率，参考附表D.1。

7.2.4.4 废物处置排放

废物处置排放，是指对工业副产氢生产过程产生的废物（包含污染物）进行运输和处理所产生的温室气体排放。根据废物的质量、废物处置的排放因子、废物的运输量、运输距离和运输工具排放因子，采用公式（10）计算：

$$E_w = \sum_i (D_i \times EF_{d,i} + TV_i \times HD_i \times EF_{t,i}) \quad (10)$$

式中：

E_w —— 生产过程产生的废物处置产生的温室气体排放总量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

D_i —— 第*i*种废物处置的质量，单位为吨（t）；

$EF_{d,i}$ —— 第*i*种废物处置对应的排放因子，单位为吨二氧化碳每吨（tCO₂/t）；

TV_i —— 第*i*种废物的运输的质量，单位为吨（t）；

HD_i —— 第*i*种废物的运输的距离，单位为千米（km）；

$EF_{t,i}$ —— 第*i*种废物运输的排放因子，单位为吨二氧化碳每吨千米（tCO₂/t km）。

8 产品碳排放结果解释

产品碳排放研究的生命周期结果解释阶段应包括以下步骤：

- 根据生命周期清单分析和生命周期影响评价的产品碳排放的量化结果，识别显著环节（可包括生命周期阶段、单元过程或流）；
- 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。

应根据产品碳排放研究的目的是和范围进行结果解释，解释应包括以下内容：

- 说明产品碳排放和各生命周期阶段的碳排放；
- 分析不确定性，包括取舍准则的应用或范围；
- 详细记录选定的分配程序；
- 说明产品碳排放研究的局限性。

9 产品碳排放报告

产品碳排放报告应包括但不限于下列内容（报告参考格式见附录 B）

- 基本情况：
 - 委托方与评价方信息；
 - 报告信息；
 - 依据的标准；
 - 使用的产品种类规则或其他补充要求的参考资料（如有）。
- 量化目的：
 - 开展研究的目的；
 - 预期用途。
- 量化范围：
 - 产品说明，包括功能和技术参数；
 - 声明单位以及基准流；
 - 系统边界；
 - 取舍准则和取舍点，列出排除在外的单元过程或因素，并说明理由和其合理性；
 - 生命周期各阶段描述。
- 清单分析：
 - 数据收集信息，包括数据来源；

- 2) 重要的单元过程清单;
 - 3) 纳入范围的温室气体清单;
 - 4) 分配原则与程序;
 - 5) 数据说明, 包括有关数据的决定和数据质量评价。
- e) 影响评价:
- 1) 影响评价方法;
 - 2) 特征化因子;
 - 3) 产品碳排放计算;
 - 4) 结果图示(可选)。
- f) 结果解释:
- 1) 结论和局限性;
 - 2) 敏感性分析和不确定性分析结果;
 - 3) 电力处理, 包括关于电网排放因子计算和相关电网的特殊局限信息;
 - 4) 在产品碳排放研究中披露和证明相关信息项的选择并说明理由。
- g) 研究中使用的产品种类规则或其他补充要求的参考资料。

附录 A
(资料性)

工业副产氢碳排放核算基础数据清单

(1) 原料/辅料获取阶段，应收集以下过程的相关数据：

- a) 所有原料及辅料消耗量数据，含生产投入的燃料、其他工质等消耗量数据；
- a) 所有原料及辅料的运输过程数据，含生产投入的燃料、其他工质等输送过程数据；
- b) 相关生命周期温室气体排放因子数据等。

原料/辅料获取阶段收集数据应优先选用初级数据，生命周期温室气体排放因子可使用次级数据。

(2) 生产阶段，应收集以下过程的相关数据：

- a) 主产物/副产物的产量数据，以及密度（气体/液体）、近三年平均价格和热值（若有）；
- b) 生产单元直接温室气体排放数据；
- c) 各环节能源的使用消耗数据；
- d) 涉及燃料燃烧的过程数据；
- a) 生产过程产生的废物数据；
- b) 废物的运输过程数据；
- c) 废物的处理过程数据；
- d) 相关生命周期温室气体排放因子数据等。

副产氢生产阶段收集数据应优先选用初级数据，生命周期温室气体排放因子可使用次级数据。

表 A.1 工业副产氢碳排放核算基础数据清单

企业信息		企业名称					
		企业地址					
		数据收集起始时间	年 月 日				
		数据收集截至时间	年 月 日				
		企业联系人及联系方式					
		其他					
原料/辅料获取阶段	原/辅料生产数据	种类	消耗量	单位	取得方式	排放因子	备注
		原料/辅料 1			<input type="checkbox"/> 自产 <input type="checkbox"/> 外购		
		原料/辅料 2			<input type="checkbox"/> 自产 <input type="checkbox"/> 外购		
				<input type="checkbox"/> 自产 <input type="checkbox"/> 外购		
	原/辅料运输数据	种类	运输量	单位	运输工具类型	运输距离	排放因子
		原料/辅料 1					
		原料/辅料 2					
.....							
生产阶段	生产单元直接排放数据	温室气体名称	排放量	单位	工序	排放来源	备注
		CO ₂					
		CH ₄					
						

	能源消耗数据	名称	消耗量	单位	排放因子	单位	备注
		电力					
		蒸汽					
						
	燃料燃烧数据	种类	消耗量	单位	低位热值	单位热值含碳量	氧化率
		燃料 1					
		燃料 2					
						
	废物运输与处理数据	废物名称/种类	废物产量	单位	处理方式及排放因子	运输工具类型与运输距离	排放因子
		废物 1/固体					
		废物 2/液体					
		废物 3/气体					
						
产品输出数据	产品名称	产品产量	单位	密度 (气体/液体)	近三年平均价格	热值 (若有)	
	产品 1						
	产品 2						
						

附录 B
(资料性)
产品碳排放报告 (模板)

产品碳排放报告格式模板如下。

产品碳排放报告 (模板)

(报告编号: _____)

产 品 名 称 : _____

产 品 规 格 型 号 : _____

生 产 者 名 称 : _____

编 制 人 员 : _____

出具报告机构 (如有) : (盖章) _____

日 期 : _____ 年 _____ 月 _____ 日

一、概况

1、生产者信息

生产者名称：_____

地址：_____

统一社会信用代码：_____

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：_____

产品执行标准：_____

产品功能：_____

主要性能指标：_____

产品介绍：_____

产品图片：_____

生产工艺流程：_____

3、量化方法

依据标准：_____

二、量化目的

三、量化范围

1、声明单位：

声明单位为 1kg_____产品。

2、系统边界

原辅料获取阶段 生产阶段

系统边界见图 1。

图 1 **产品碳排放量化系统边界图

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

_____年度。

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

生命周期各个阶段碳排放计算说明见表 1。

表 1 **产品生命周期碳排放清单说明

生命周期阶段	活动数据	排放因子	温室气体量 (kg/功能单位或声明单位)
原辅料及能源获取 阶段			
生产阶段			

4、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：数据代表性（时间、地理、技术）。

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、产品碳排放结果计算

六、结果解释

1、结果说明

_____公司（填写产品生产者的全名）生产的_____（填写所评价的产品名称，每□功能单位□声明单位的产品），从_____（填写某生命周期阶段）到_____（填写某生命周期阶段）生命周期碳排放为_____kgCO₂e。各生命周期阶段的温室气体排放情况如表 2 所示。

表 2 **产品生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳排放 (kg CO ₂ e/kg H ₂)	百分比 (%)
原料获取阶段		
产品生产阶段		
总计		

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进行说明。

3、改进建议

附录 C
(资料性)

温室气体全球变暖潜势

部分温室气体的全球变暖潜势 (GWP) 见表 C.1。

表 C.1 部分温室气体的全球变暖潜势

气体名称	化学分子式	100 年的 GWP
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	27.9
氧化亚氮	N ₂ O	273
三氟化氮	NF ₃	17400
六氟化硫	SF ₆	25200
氢氟碳化物 (HFCs)		
HFC-23	CHF ₃	14600
HFC-32	CH ₂ F ₂	771
HFC-41	CH ₃ F	135
HFC-125	C ₂ HF ₅	3740
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1260
HFC-134a	C ₂ H ₂ F ₄	1530
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	364
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	5810
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	164
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	3600
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	8690
全氟碳化物 (PFCs)		
全氟甲烷(四氟甲烷)	CF ₄	7380
全氟乙烷(六氟乙烷)	C ₂ F ₆	12400
全氟丙烷	C ₃ F ₈	9290
全氟丁烷	C ₄ F ₁₀	10000
全氟环丁烷	C ₄ F ₈	10200
全氟戊烷	C ₅ F ₁₂	9220
全氟己烷	C ₆ F ₁₄	8620

注：部分 GHG 的 GWP 来源于 IPCC 《气候变化报告 2021：自然科学基础第一工作组对 IPCC 第六次评估报告的贡献》，如有更新则采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)评估报告发布的最新值。

附录 D
(资料性)

常用参数及排放因子参考值

表 D.1 给出了常用燃料相关参数及排放因子推荐值,实际碳排放核算过程中应采用国家最新发布的数据,且应在产品碳排放核算报告中予以说明。表 D.2 给出了电力和热力温室气体排放因子推荐值。

表 D.1 常用燃料相关参数及排放因子推荐值

燃料类型	燃料名称	计量单位	低位发热量 GJ/t、J/10 ⁴ m ³	单位热值含碳量 tC/GJ	燃料碳 氧化率%
固体 燃料	无烟煤	t	26.7	27.4×10 ⁻³	94
	烟煤	t	19.570	26.1×10 ⁻³	93
	褐煤	t	11.9	28.0×10 ⁻³	96
	洗精煤	t	26.334	25.41×10 ⁻³	93
	其他洗煤	t	12.545	25.41×10 ⁻³	90
	型煤	t	17.460	33.60×10 ⁻³	90
	焦炭	t	28.435	29.5×10 ⁻³	93
液体 燃料	原油	t	41.816	20.1×10 ⁻³	98
	燃料油	t	41.816	21.1×10 ⁻³	98
	汽油	t	43.070	18.9×10 ⁻³	98
	柴油	t	42.652	20.2×10 ⁻³	98
	煤油	t	43.070	19.6×10 ⁻³	98
	石油焦	t	32.5	27.50×10 ⁻³	98
	其他石油制品	t	40.2	20.0×10 ⁻³	98
	焦油	t	33.453	22.0×10 ⁻³	98
	粗苯	t	41.816	22.7×10 ⁻³	98
	炼厂干气	t	45.998	18.2×10 ⁻³	99
	液化石油气	t	50.179	17.2×10 ⁻³	98
	液化天然气	t	44.2	17.2×10 ⁻³	98
气体 燃料	天然气	10 ⁴ Nm ³	389.31	15.3×10 ⁻³	99
	焦炉煤气	10 ⁴ Nm ³	179.81	13.58×10 ⁻³	99
	高炉煤气	10 ⁴ Nm ³	33.00	70.8×10 ⁻³	99
	转炉煤气	10 ⁴ Nm ³	84.00	49.6×10 ⁻³	99
	密闭电石炉气	10 ⁴ Nm ³	111.190	39.51×10 ⁻³	99
	其他煤气	10 ⁴ Nm ³	52.270	12.2×10 ⁻³	99

[来源: GB/T 32151.10—2015, 表 B.1]

表 D.2 电力和热力温室气体排放因子推荐值

名称	温室气体排放因子推荐值
电力	采用国家最新发布值

热力	采用国家最新发布值
----	-----------

附录 E
(资料性)

工业副产氢碳排放分配比例系数参考值

本文件对国内典型焦炉煤气直接制氢企业、氯碱副产氢和丙烷脱氢副产氢企业的生产清单进行核算，得出不同分配方式下的碳排放分配比例系数参考值。

氢气产品和其他产品的碳排放量分配优先选用按质量占比分配，氢气产品的碳排放分配比例系数，参考表 E1。若企业有各产物的质量实测值，则使用企业的实测值作为氢气产品的分配比例。

表 E.1 按质量分配 H₂ 产品碳排放比例系数

序号	工艺类型	分配方式	碳排放分配比例
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按质量分配	16%
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	按质量分配	1%
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	按质量分配	1%

氢气产品和其他产品的碳排放量按经济价值占比分配，氢气产品的碳排放分配比例系数，参考表 E2。若企业能提供各产品近三年公开价格数据，则可用各产品近三年价格平均值计算氢气产品的分配比例。

表 E.2 按经济价值分配 H₂ 产品碳排放比例系数

序号	工艺类型	分配方式	碳排放分配比例
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按经济价值分配	73%
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	按经济价值分配	16%
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	按经济价值分配	2%

氢气产品和其他产品的碳排放量分配按热值占比分配，氢气产品的碳排放分配比例系数，参考表 E3。若企业有各产物的热值实测值，则使用企业的实测值作为氢气产品的分配比例。

表 E.3 按产品热值分配 H₂ 产品碳排放比例系数

序号	工艺类型	分配方式	碳排放分配比例
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按热值占比分配	47%
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	/	/
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	按热值占比分配	4%

氢气产品和其他产品的碳排放量按体积占比分配，氢气产品的碳排放分配比例系数，参考表 E4。若企业有个产物体积的实测值，则使用企业实测值作为氢气产品的分配比例。

表 E.4 按产品体积分配 H₂ 产品碳排放比例系数

序号	工艺类型	分配方式	碳排放分配比例
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按体积占比分配	73%
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	/	/
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	/	/

附录 F
(资料性)
工业副产氢碳排放核算案例

按照附录 E 计算出的分配比例系数参考值, 使用本文件的核算方法, 对国内某焦炉煤气直接制氢企业、某氯碱副产氢企业和某丙烷脱氢副产氢企业的工业副产氢生产线碳排放进行核算, 得出不同分配方式下焦炉煤气副产氢(焦炉煤气直接制氢)、氯碱副产氢、丙烷脱氢副产氢的碳排放核算值, 案例计算结果见下表 F.1-F.4:

根据案例数据计算, 氢气产品和其他产品的碳排放量分配选用按质量占比分配, 氢气产品的碳排放核算值见表 F.1。

表 F.1 按产品质量分配碳排放核算值

序号	工艺类型	分配方式	碳排放值	单位
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按质量分配	2.31	kgCO ₂ e/kgH ₂
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	按质量分配	1.49	kgCO ₂ e/kgH ₂
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	按质量分配	2.42	kgCO ₂ e/kgH ₂

根据案例数据计算, 氢气产品和其他产品的碳排放量按经济价值占比分配, 氢气产品的碳排放核算值见表 F.2。

表 F.2 按产品经济价值分配碳排放核算值

序号	工艺类型	分配方式	碳排放值	单位
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按经济价值分配	10.61	kgCO ₂ e/kgH ₂
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	按经济价值分配	18.07	kgCO ₂ e/kgH ₂
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	按经济价值分配	3.84	kgCO ₂ e/kgH ₂

根据案例数据计算, 氢气产品和其他产品的碳排放量按热值占比分配, 氢气产品的碳排放核算值见表 F.3。

表 F.3 按产品热值分配碳排放核算值

序号	工艺类型	分配方式	碳排放值	单位
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按热值占比分配	6.86	kgCO ₂ e/kgH ₂
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	按热值占比分配	/	kgCO ₂ e/kgH ₂
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	按热值占比分配	6.14	kgCO ₂ e/kgH ₂

根据案例数据计算, 氢气产品和其他产品的碳排放量按体积占比分配, 氢气产品的碳排放核算值见表 F.4。

表 F.4 按产品体积分配碳排放核算值

序号	工艺类型	分配方式	碳排放值	单位
1	焦炉煤气副产氢 (H ₂ 纯度 99.9%VOL)	按体积占比分配	10.60	kgCO ₂ e/kgH ₂
2	氯碱副产氢 (H ₂ 纯度 99%VOL)	按体积占比分配	/	kgCO ₂ e/kgH ₂
3	丙烷脱氢副产氢 (H ₂ 纯度 99.99%VOL)	按体积占比分配	/	kgCO ₂ e/kgH ₂

参 考 文 献

- [1] GB/T24040-2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架
- [2] GB/T24044-2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南
- [3] GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- [4] GB/T 2589-2020 综合能耗计算通则
- [5] 省级温室气体清单编制指南（试行）
- [6] 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南(2019 年修订版). 政府间气候变化专门委员会（IPCC）
- [7] ISO 14064-1: 2018 温室气体 第 1 部分 组织层次上对温室气体排放和清除的量化与报告的规范及指南（Greenhousegases—Part1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals）
- [8] ISO 14067:2018 温室气体—产品碳足迹—量化的要求和指南（Greenhousegases —Carbon footprint of products —Requirements and guidelines for quantification）
- [9] PAS 2050:2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范（Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services）