

中国石油和化学工业联合会团体标准

T/CPCIF 0466—2025

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 氢

Greenhouse gases—Quantification methods and requirements for carbon
footprint of products — Hydrogen

(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)

2025-12-24 发布

2026-03-23 实施

中国石油和化学工业联合会 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 量化目的 3

5 量化范围 3

6 清单分析 6

7 影响评价 9

8 结果解释..... 13

9 产品碳足迹报告..... 13

附录 A（规范性） 氢气二次压缩计算方法 14

附录 B（资料性） 产品碳足迹量化数据收集表 15

附录 C（资料性） 氢产品碳足迹评价报告模板 17

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。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由中国石油和化学工业联合会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：中国石油和化学工业联合会、中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院、中国化工节能技术协会、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、中国石油天然气股份有限公司华北石化分公司、安徽工业大学、能建绿色氢氨新能源（松原）有限公司、大连理工大学、滨化集团股份有限公司、国核电力规划设计研究院有限公司、天津渤化碳资产管理有限公司、佳安氢源（重庆）新能源科技股份有限公司、中国科学技术大学、浙江东江绿色石化技术创新中心有限公司、天津荣程新能科技集团有限公司、成都达奇科技股份有限公司。

本文件主要起草人：李永亮、李娜、李淼、朱晓丽、杨鹤、翁慧、郭莘、杨丹琪、徐文佳、于圣钊、柳津、王紫唯、曾杰、邢冬强、贾奕宸、王升、刘明凯、杨哲林、陈磊磊、占敬敬、张辰、韦志浩、彭冲、倪恒、江风、吴红晓、范巍、李洪良、朱涛、李光辉、张立华、张旭、程晖、董艳、王学磊、潘玉桐、贾斌、黄昆明、孙捷、李江荣、李新、梅冬。

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 氢

1 范围

本文件规定了氢产品碳足迹量化方法与要求的量化目的、量化范围、清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告等。

本文件适用于原料氢和燃料氢的碳足迹量化。

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 3634.1 氢气 第1部分：工业氢
GB/T 3634.2 氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢
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 37244 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气

3 术语和定义

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

3.1

原料氢 hydrogen for feedstock
作为工业原料使用的氢产品。

3.2

燃料氢 hydrogen for fuel
作为燃料原料使用的氢产品。

3.3

产品碳足迹 carbon footprint of a product
CFP

产品系统中的温室气体排放量和温室气体清除量之和，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：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]

3.4

产品部分碳足迹 **partial carbon footprint of a product**

在产品系统生命周期内的一个或多个选定阶段或过程中的温室气体排放量和温室气体清除量之和，并以二氧化碳当量表示。

[来源：GB/T 24067—2024，3.1.2]

3.5

温室气体 **greenhouse gas**

GHG

大气层中自然存在的和由人类活动产生的，能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生且波长在红外光谱内的辐射的气态成分。

[来源：GB/T 24067—2024，3.2.1]

3.6

温室气体排放量 **greenhouse gas emission; GHG 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 32150—2015，3.6]

3.7

温室气体清除量 **greenhouse gas removal; GHG removal**

在特定时段内从大气中清除的温室气体总量（以质量单位计算）。

[来源：GB/T 24067—2024，3.2.6]

3.8

声明单位 **declared unit**

用来量化产品部分碳足迹的基准单位。

[来源：GB/T 24067—2024，3.3.8]

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 24040—2008，3.20]

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 24040—2008，3.32]

3.11

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]

3.12

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：初级数据可以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，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。

[来源：GB/T 24067—2024，3.6.3]

3.14

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 24040—2008，3.17]

3.15

二氧化碳捕集和封存 carbon dioxide capture and storage

CCS

将氢气生产装置中流出的废弃的二氧化碳通过分离（捕获）、调节、压缩并运输到储存地点，使其与大气长期隔离的过程。在各种封存方式中，仅在地质构造中储存气态二氧化碳，以及二氧化碳反应形成稳定的矿物这两种方式被认为是永久封存。

4 量化目的

开展氢产品碳足迹量化的目的是通过量化氢产品对全球变暖的潜在贡献（以二氧化碳当量表示），披露产品碳足迹信息，明确生命周期相关阶段或单元过程对产品碳足迹的影响程度；为氢产品贸易、下游生产和应用提供产品碳足迹核算的方法和依据；为产品研发、技术改造、降低产品碳足迹和推动行业发展提供方向。

目标受众包括氢产业链相关企业、消费者、政府部门和第三方机构等。

5 量化范围

5.1 产品说明

本文件所指的氢产品，应指明符合以下哪项或哪几项标准，或双方约定的其他标准或合同指标。

5.1.1 原料氢

- a) GB/T 3634.1 氢气 第 1 部分：工业氢；
- b) GB/T 3634.2 氢气 第 2 部分：纯氢、高纯氢和超纯氢。

5.1.2 燃料氢

GB/T 37244 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气。

5.2 功能单位和声明单位

原料氢产品碳足迹应采用声明单位，为 1 kg 体积纯度大于等于 99%，压力大于等于 3 MPa 的氢气，对产品系统边界范围内所有原始数据的采集应按照相同的计算基准流（以千克为统计单位）。

当实际出产氢气与上述声明单位的纯度或压力不一致时，需将氢气进一步压缩至 3 MPa、体积纯度提高至 99%，状态所对应的温室气体排放量纳入到评价范围内。氢气二次压缩的计算公式见附录 A。

燃料氢产品碳足迹应采用功能单位，可按重量（以千克为统计单位）或按热值（以兆焦）进行统计。氢的重量和热值之间可通过氢低位热值 10.79 MJ/kg 进行单位换算。

5.3 系统边界及取舍准则

5.3.1 系统边界

原料氢产品碳足迹的系统边界包括原料及辅料获取阶段、原料及辅料运输阶段、氢生产阶段。

燃料氢产品碳足迹的系统边界包括原料及辅料获取阶段、原料及辅料运输阶段、氢生产阶段、氢出厂储运阶段、氢使用阶段、生命末期阶段。

氢产品碳足迹系统边界示意图见图 1。

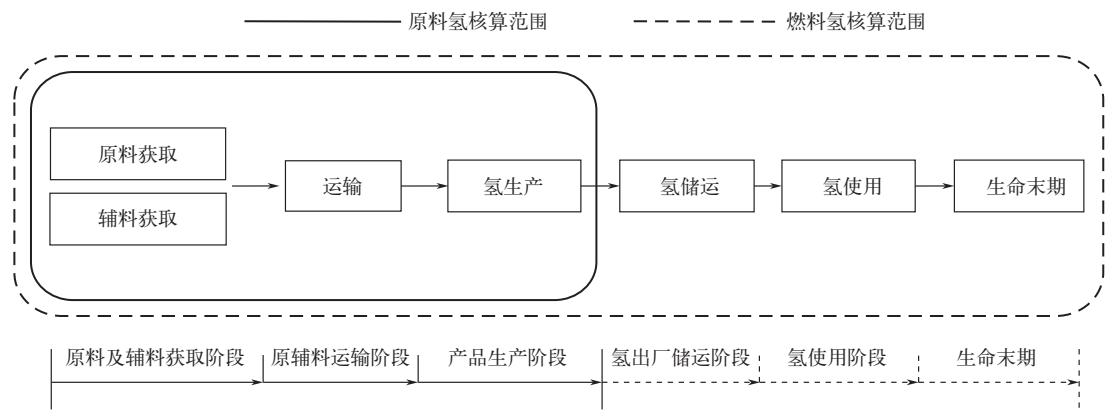


图 1 氢生命周期系统边界图

5.3.2 生命周期各阶段的描述

氢产品生命周期各阶段的描述见表 1。

表 1 氢产品生命周期各阶段的描述（原料氢对应阶段 1~3，燃料氢对应阶段 1~6）

1	原料及辅料获取过程	主要生产原料、辅料获取过程：涉及从自然资源开采或生物质原料的获取到原料运输至加工厂的全过程。例如化石原料的开采与预处理、焦炉煤气收集与预处理过程、原盐的开采与精制过程、水的获取与净化过程、石脑油的炼制与预处理过程等，以及对上述原料的净化和提纯阶段
2	原料及辅料运输过程	原料煤、天然气、水等原辅料和各类能源等从产地到氢产品生产工厂的运输过程

表 1 氢产品生命周期各阶段的描述（原料氢对应阶段 1~3，燃料氢对应阶段 1~6）（续）

3	氢产品 生产阶段	生产阶段开始于原辅料进入氢产品生产工厂，结束于氢产品离开生产工厂，包括生产过程中的能源资源使用（含电力、化石能源、水等一次和二次能源）、厂内运输、尾气处理、固体废弃物处理、废水处理	
		煤制氢	1) 空分、煤的气化、净化、CO 变换、脱碳、酸性气体脱除、H ₂ 提纯等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
		天然气制氢	1) 空分、原料气处理、蒸汽转化、CO 变换、H ₂ 提纯等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
		电解水制氢	1) 原料预处理、电解、气液分离、冷却、干燥、压缩等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
		焦炉煤气 副产氢	1) 转化、变换、空分、除杂、压缩、脱硫、脱碳、变压吸附等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
		氯碱工业 副产氢	1) 氢气压缩工序、除氯工序、除氧工序、干燥工序及变压吸附工序等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
		丙烷脱氢 副产氢	1) 加热、冷却、压缩、干燥、低温回收、变压吸附等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
		乙烷裂解 副产氢	1) 加热、压缩、冷却、酸性气体脱除、干燥、低温回收、变压吸附等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
		生物质制氢	1) 生物质预处理、发酵或气化等单元过程； 2) 火炬燃烧过程； 3) 厂内运输过程； 4) 各阶段所产生的废（污）水及废弃物处理相关过程
4	氢产品出厂 储运阶段	产品运输、储存、销售过程	
5	氢使用阶段	燃烧或用于发电、供热等	
6	生命末期	产品废弃物的收集及处置	

5.3.3 取舍准则

在氢产品碳足迹量化过程中，可舍弃对产品碳足迹影响小于 1% 的环节，但系统边界内舍弃环节总的影响不宜超过碳足迹总量的 5%。在此前提下，氢产品碳足迹的计算，还应满足如下要求：

- a) 以各项输入物料占产品质量的比例为依据，普通物料重量小于 1% 产品重量时，可忽略其上游生产数据，总共忽略的物料重量不超过 5% 产品重量；
- b) 上游环境足迹较高的原料及辅料输入（例如贵金属或含有铂类金属的催化剂），即使输入质量 ≤ 总质量的 1%，也应纳入产品碳足迹计算。

注：所排除单元过程舍去的温室气体排放与清除需有书面记录。

6 清单分析

6.1 数据收集和确认

6.1.1 数据收集原则

数据收集按照 GB/T 24067—2024 的 6.4.2 与 6.4.3 的规定进行。

量化氢产品碳足迹时应将系统边界划分为不同的单元过程，详细描述各单元过程的范围，明确说明各单元过程导致温室气体排放的输入数据和输出数据。系统边界内单元过程的划分宜考虑重要程度和数据收集难易程度等因素，宜合并相关单元过程。

原料氢产品应收集包括原料及辅料获取阶段、原料及辅料运输阶段、氢生产阶段内每一个单元过程的数据，包括初级数据和次级数据。燃料氢产品应收集包括原料及辅料获取阶段、原料及辅料运输阶段、氢生产阶段、氢出厂储运阶段、氢使用阶段、生命末期阶段内每一个单元过程的数据，包括初级数据和次级数据。

氢产品生产阶段的单元过程可根据企业实际生产情况确定，氢产品生产阶段的数据应为现场数据，并披露数据来源，所收集的数据应具有代表性，宜采用全年数据，生产期不足一年或非连续生产时，宜采用开工以来的生产数据。

6.1.2 初级数据

初级数据包括输出的产品、副产品和废物，输入物料、净外购能源，内外部运输相关的数据，数据来源包括但不限于以下内容。

- 物料：生产实测、物料清单（包含物料材质信息）、领料/投料清单等。
- 废弃物：固体废物管理台账、危险废物转移联单、委托处置合同等。
- 净外购能源：结算发票、缴费清单、抄表记录等。
- 运输：运输台账、发票等凭证。

6.1.3 次级数据

次级数据包括基础原料、能源和运输的碳排放或清除因子和其他计算参数，数据来源包括但不限于：

- 由上游供应商提供符合产品碳足迹计算要求的产品碳足迹数值；
- 政府公开发表的行业平均值；
- 生命周期清单数据集；
- 科技文献和学术论文；

——行业协会报告。

次级数据宜经第三方评审，同时数据格式应满足相关标准要求。次级数据可来源于国家数据库、公开文献或其他具有代表性的数据。

6.1.4 数据与单元过程和声明单位/功能单位的关联

氢产品碳足迹量化过程中的数据收集种类及来源参考表 2，数据收集记录表参考附录 B。

表 2 氢产品碳足迹量化包含的阶段、数据收集种类及来源汇总表

阶段	数据种类	数据来源
原料及辅料获取阶段	各类原辅料的名称、材质和采购量	应使用初级数据
	厂内自产原辅料的名称、材质和数量	应使用初级数据
	厂内自产原辅料生产过程的上游原辅料和燃料、电力等能源消耗量	宜使用初级数据
	各类原辅料的碳足迹因子，厂内自产原辅料生产过程中上游原辅料和燃料、电力等能源的碳足迹因子等	可使用次级数据
原料及辅料运输阶段	各类原辅料从上游厂商运输到产品生产地所使用的运输工具、燃料品种及其核定载重量、运输距离；或各类原辅料从上游厂商运输到产品生产地的运输过程中所消耗燃料的种类及其消耗量	宜使用初级数据
	各类运输过程的碳足迹因子	可使用次级数据
氢产品生产阶段	各单元过程原辅料的消耗量	应使用初级数据
	各单元过程燃料、电力、热力等能源消耗量	应使用初级数据
	各单元过程中用作原料的化石燃料、碳氢化合物和碳酸盐的投入量	应使用初级数据
	各单元过程中副产物产生量	应使用初级数据
	各单元过程废弃物产生量及处置方式	应使用初级数据
	各单元过程 CCS 量	应使用初级数据
	燃料、电力、热力等能源的碳足迹因子，污水及废弃物处理过程等的碳足迹因子	可使用次级数据
	碳氢化合物的含碳量、碳酸盐的碳足迹因子和质量纯度	宜使用初级数据
	CCS 的 CO ₂ 的体积纯度	应使用初级数据
	现场储运过程中燃料、电力、热力等能源消耗量	应使用初级数据
氢产品出厂储运阶段	产品运输至下游经销商或消费者所在地的运输量、运输距离与运输方式	宜使用初级数据
	不同运输方式的温室气体排放因子	可使用次级数据
氢使用阶段	实际使用的氢质量（kg）或能量（MJ）	应使用初级数据
	使用方式，如直接燃烧、燃气轮机发电、锅炉供热等	应使用初级数据
	不同使用方式对应的燃烧/转化效率或排放因子	可使用次级数据
	氢的低位热值	可使用次级数据
生命末期	废弃物种类及处置方式	应使用初级数据
	不同废弃物对应不同处置方式的排放因子	可使用次级数据
	废弃物运输方式、运输距离	应使用初级数据
	不同运输方式的温室气体排放因子	可使用次级数据
	若采用 CCS，需要记录捕集量、捕集效率	应使用初级数据

6.2 数据审定

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。

数据审定可通过建立质量平衡、能量平衡或排放因子的比较分析或其他适当的方法。由于每个单元过程都遵守物质和能量守恒定律，因此物质和能量的平衡可为单元过程描述的准确性提供有效的检查。

6.3 分配原则

6.3.1 通则

产品碳足迹的量化应尽量避免分配，可通过将单元过程划分为两个或多个子过程，并收集与这些子过程相关的输入输出数据，或扩展产品系统的方式避免分配。

6.3.2 分配适用情形

- 存在以下情形需要根据一定的关系对共享工序进行分配。
- a) 产品工序中存在一个单元过程同时产出两种或多种产品，而投入的原料及辅料、能源没有分开的情况（例如：以原盐或工业废盐水及废盐、电和水为主要原料的烧碱生产过程，同时产出烧碱、氯气和氢气）。
 - b) 输入渠道有多种，而输出只有一种的情况（例如：公用工程中废水处理站的废水来自多个生产车间、焚烧炉的废气来自多个生产车间）。

6.3.3 分配程序

在无法避免分配的情况下，氢气与共生产品的分配方法所适用的制氢工艺如表 3 所示。

表 3 分配方式的适用情形及优先级

分配方式	适用情形	适用制氢工艺
能量分配法	适用于共生产品含有能量的工艺，根据氢气和共生产品的低位热值比例进行分配；边界内输出的热力、电力也应作为共生产品进行分配	煤制氢 天然气制氢 焦炉煤气制氢 生物质制氢
体积分配法	适用于共生产品全部为气体的工艺，根据氢气和共生产品的体积比例进行分配	电解水制氢
质量分配法	适用于产品种类繁多，无法获取热值的工艺，根据氢气和共生产品的质量比例进行分配	丙烷脱氢副产氢 乙烷裂解副产氢 氯碱工业副产氢
系统拓展法	查找共生产品的碳足迹因子，并用其计算出共生产品的温室气体排放量。用系统的总排放量减去共生产品的排放量得出单位氢气的温室气体排放量；废弃物不纳入共生产品的范围，不参与分配	其他适用的制氢工艺
经济分配法	采用近三年（投产不满三年的，按正式投产时间到评价周期结束时间进行统计）共生产品平均出厂售价的比例进行分配	其他适用的制氢工艺

6.4 废弃物处理及回收

氢生产系统产生的废弃物，其处理、处置与回收过程中的温室气体排放，必须按科学合理的比例

分配给氢产品或副产品，并计入产品碳足迹。核算时应遵循以下原则。

- a) 废弃物填埋与焚烧处置：对于无回收价值的氢生产废弃物（如部分废催化剂、特定盐渣、生化污泥等）进行卫生填埋，其产生的温室气体（主要是填埋气中的 CH_4 ），不参与分配排放应全部计入氢产品碳足迹。若废弃物被送往系统外进行焚烧处置（未进行能量回收），焚烧过程产生的直接排放（如化石碳转化为 CO_2 ）应按废弃物中化石碳的比例分配给氢产品。
- b) 废弃物资源化回收利用：氢生产过程中产生的可燃性废弃物（如天然气蒸汽重整的 PSA 解吸气、煤气化的粗合成气净化残渣等）在系统内作为燃料，用于生产蒸汽、热能或电能（如果是电和热以外的副产品，则由低位发热量确定）时，其产生的温室气体排放应视为能源投入，温室气体排放量应在氢主产品和利用该能源生产的副产品（如蒸汽、电力）之间进行分配。
- c) 废弃物物料回收（特性未改变）：氢生产系统内产生的废弃物，在系统内被直接回收作为原料或辅料，且其化学特性未发生本质改变时，无需进行排放分配。例如，电解水制氢过程中产生的废电解液（含微量金属杂质），经纯化过滤去除杂质后，重新调配浓度返回电解系统，仅物理净化，故无需分配排放。
- d) 废弃物物料回收（特性改变或输出系统）：当氢生产废弃物被回收利用到系统外，或其固有特性发生改变时，宜采用以下顺序进行分配：物理属性、经济价值、回收材料的后续使用的次数，具体计算应参照《GB/T 24067—2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》附录 D 提供的方法执行。

6.5 特定温室气体排放与清除

氢产品碳足迹量化中关于化石碳和生物碳、产品中的生物碳、电力、飞机运输 GHG 排放量等方面参考 GB/T 24067—2024 6.4.9 的要求。

计算结合 CCS 的化石燃料制氢产品碳足迹时，应在产品碳足迹结果中体现 CCS 过程中的负碳效果，并单独披露。

7 影响评价

7.1 通则

在数据收集与确认完成后，将现场数据和非现场数据按每千克原料氢产品折算，每千克原料氢产品碳足迹按式（1）计算：

$$CFP_{\text{原料氢}} = (E_{\text{原料及辅料获取}} + E_{\text{原辅料运输}} + E_{\text{生产}}) / Q_{\text{原料氢}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$CFP_{\text{原料氢}}$ ——原料氢产品部分碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每千克氢（ $\text{kg CO}_2\text{e/kg H}_2$ ）；

$E_{\text{原料及辅料获取}}$ ——原料及辅料获取阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量（ $\text{kg CO}_2\text{e}$ ）；

$E_{\text{原辅料运输}}$ ——原辅料运输阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量（ $\text{kg CO}_2\text{e}$ ）；

$E_{\text{生产}}$ ——氢生产阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量（ $\text{kg CO}_2\text{e}$ ）；

$Q_{\text{原料氢}}$ ——原料氢产量，单位为千克（ kg ）。

每千克燃料氢产品碳足迹按式（2）计算：

$$CFP_{\text{燃料氢}} = (E_{\text{原料及辅料获取}} + E_{\text{原辅料运输}} + E_{\text{生产}} + E_{\text{出厂储运}} + E_{\text{使用}} + E_{\text{生命末期}}) / Q_{\text{燃料氢}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$CFP_{\text{燃料氢}}$ ——燃料氢产品碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每千克氢 ($\text{kg CO}_2\text{e/kg H}_2$)；

$E_{\text{原料及辅料获取}}$ ——原料及辅料获取阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

$E_{\text{原辅料运输}}$ ——原辅料运输阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

$E_{\text{生产}}$ ——氢生产阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

$E_{\text{出厂储运}}$ ——燃料氢出厂储运阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

$E_{\text{使用}}$ ——燃料氢使用阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

$E_{\text{生命末期}}$ ——氢生命末期阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

$Q_{\text{燃料氢}}$ ——燃料氢产量，单位为千克 (kg)。

7.2 原料及辅料获取阶段

氢产品原辅料及能源获取过程的温室气体排放量与清除量按式 (3) 计算：

$$E_{\text{原料及辅料获取}} = \sum_{i=1}^n (AD_i \times EF_i) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$E_{\text{原料及辅料获取}}$ ——原料及辅料获取阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

AD_i ——第 i 种原料或能源的消耗量，单位视原料或能源种类而定，电力消耗量应与电力属性对应；

EF_i ——第 i 种原料或能源的第 i 种温室气体排放因子，单位视原料或能源种类而定。

7.3 原料及辅料运输阶段

原料及辅料运输阶段的温室气体排放量按式 (4) 计算：

$$E_{\text{原辅料运输}} = \sum_{i=1, k=1}^n (AD_i \times D_{i,k} \times EF_{\text{trans},k}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$E_{\text{原辅料运输}}$ ——原辅料运输阶段的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

AD_i ——第 i 种原辅料消耗量，单位为千克 (kg)；

$D_{i,k}$ ——第 i 种原辅料的第 k 种运输方式对应的加权运输距离，单位为千米 (km)；

$EF_{\text{trans},k}$ ——第 k 种运输方式的温室气体排放因子，单位与活动数据匹配。

7.4 氢产品生产阶段

7.4.1 通则

每千克氢产品生产阶段的温室气体排放量与清除量按式 (5) 计算：

$$E_{\text{生产}} = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{电}} + E_{\text{热}} + E_{\text{废}} + E_{\text{过程}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$E_{\text{生产}}$ ——生产阶段的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量每千克氢 ($\text{kg CO}_2\text{e/kg H}_2$)；

$E_{\text{燃烧}}$ ——生产阶段对应的化石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每千克氢 ($\text{kg CO}_2\text{e/kg H}_2$)；

$E_{\text{电}}$ ——生产阶段净外购电力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量每千克氢 ($\text{kg CO}_2\text{e/kg H}_2$)；

$E_{\text{热}}$ ——生产阶段中净外购热力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量每千克氢

(kg CO₂e/kg H₂)；

$E_{\text{废}}$ ——生产阶段废弃物处理过程产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量每千克氢 (kg CO₂e/kg H₂)；

$E_{\text{过程}}$ ——生产阶段中工业生产过程产生的温室气体排放量与清除量，单位为千克二氧化碳当量每千克氢 (kg CO₂e/kg H₂)。

7.4.2 消耗燃料产生的温室气体排放

氢生产阶段消耗燃料产生的温室气体排放量按照公式 (6) 计算。

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n (AD_{\text{fuel},i} \times EF_{\text{fuel},i}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$E_{\text{燃烧}}$ ——氢生产阶段燃料消耗产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

$AD_{\text{fuel},i}$ ——第 i 种原料或能源的消耗量，单位视原料或能源种类而定，电力消耗量应与电力属性对应；

$EF_{\text{fuel},i}$ ——第 i 种原料或能源的第 i 种温室气体排放因子，单位视原料或能源种类而定。

7.4.3 净外购电力产生的温室气体排放

氢生产阶段净外购电力产生的温室气体排放量按照公式 (7) 计算。

$$E_{\text{电}} = AD_{\text{ele}} \times EF_{\text{ele}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$E_{\text{电}}$ ——氢生产阶段净外购电力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

AD_{ele} ——净外购电量，单位为兆瓦时 (MW·h)；

EF_{ele} ——电力碳足迹因子，单位为千克二氧化碳当量每兆瓦时 [kg CO₂e/(MW·h)]。

7.4.4 净外购热力产生的温室气体排放

氢生产阶段净外购热力产生的温室气体排放量按照公式 (8) 计算。

$$E_{\text{热}} = AD_{\text{therm}} \times EF_{\text{therm}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$E_{\text{热}}$ ——氢生产阶段净外购热力产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

AD_{therm} ——净外购热力量，单位为吉焦 (GJ)；

EF_{therm} ——热力碳足迹因子，单位为千克二氧化碳当量每吉焦 (kg CO₂e/GJ)。

7.4.5 处置废弃物产生的温室气体排放

氢生产阶段处置废弃物产生的温室气体排放量按照公式 (9) 计算。

$$E_{\text{废弃物处置}} = \sum_{i=1}^n (AD_{\text{waste},i} \times EF_{\text{waste},i}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$E_{\text{废弃物处置}}$ ——氢生产阶段燃料消耗产生的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

$AD_{\text{waste},i}$ ——第 i 种原料或能源的消耗量，单位视原料或能源种类而定，电力消耗量应与电力属性对应；

$EF_{\text{waste},i}$ ——第 i 种原料或能源的第 i 种温室气体排放因子，单位视原料或能源种类而定。

7.4.6 氢生产阶段过程排放量

氢生产阶段过程排放量按照公式 (10) 计算。

$$E_{\text{过程}} = \{ \sum_r (AD_r \times CC_r) - [\sum_p (AD_p \times CC_p) + \sum_w (AD_w \times CC_w)] \} \times \frac{44}{12} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$E_{\text{过程}}$ ——氢生产阶段产生的过程排放，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

r ——原料种类，如具体品种的化石燃料；

AD_r ——原料 r 的投入量，对固体或液体原料，单位为千克 (kg)；对气体原料，单位为标准立方米 (Nm³)；

CC_r ——原料 r 的含碳量，对固体或液体原料，单位为千克碳每千克 (kg C/kg)；对气体原料，单位为千克碳每立方米 (kg C/Nm³)；

p ——流出核算边界的含碳产品种类，包括各种具体名称的主产品、联产产品、副产品等；

AD_p ——碳产品 p 的产量，对固体或液体产品，单位为千克 (kg)；对气体产品，单位为标准立方米 (Nm³)；

CC_p ——碳产品 p 的含碳量，对固体或液体产品，单位为千克碳每千克 (kg C/kg)；对气体产品，单位为千克碳每标准立方米 (kg C/Nm³)；

w ——流出核算边界且没有计入产品范畴的其他含碳输出物，如炉渣、粉尘、污泥等含碳的废弃物；

AD_w ——其他含碳输出物 w 的输出量，单位为千克 (kg)；

CC_w ——其他含碳输出物 w 的含碳量，单位为千克碳每千克 (kg C/kg w)。

7.5 燃料氢产品出厂储运阶段

燃料氢产品运输、储存、销售过程排放量按照公式 (11) 计算。

$$E_{\text{出厂储运}} = \sum_{i=1}^n (M_i \times D_i \times EF_{\text{trans},i}) + \sum_{j=1}^n (M_j \times T_j \times EF_{\text{store},j}) \quad \cdots (11)$$

式中：

$E_{\text{出厂储运}}$ ——燃料氢出厂储运阶段的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

M_i ——第 i 种运输方式实际运输的氢质量，单位为千克 (kg)；

D_i ——第 i 种运输方式对应的运输距离，单位为千米 (km)；

$EF_{\text{trans},i}$ ——第 i 种运输方式的温室气体排放因子，单位与活动数据匹配；

M_j ——第 j 种储存方式储存的氢质量，单位为千克 (kg)；

T_j ——第 j 种储存方式储存时间，单位为年 (a)；

$EF_{\text{store},j}$ ——第 j 种储存方式的温室气体排放因子，单位与活动数据匹配。

7.6 燃料氢使用阶段

燃料氢产品使用阶段的温室气体排放按照公式 (12) 计算。

$$E_{\text{使用}} = M_{\text{燃料氢}} \times EF_{\text{use}} \quad \cdots (12)$$

$E_{\text{使用}}$ ——燃料氢使用阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

$M_{\text{燃料氢}}$ ——实际燃烧或发电/供热所消耗的氢质量，单位为千克 (kg)；

EF_{use} ——氢燃烧产生的排放因子，单位与活动数据匹配，若使用氢驱动的装置（如燃料电池、燃气轮机等）有已知热效率，可先把实际发电/供热量换算为等效燃料质量，再代入上式。

7.7 燃料氢生命末期阶段

燃料氢产品生命末期阶段的温室气体排放量与清除量按照公式 (13) 计算。

$$E_{\text{生命末期}} = \sum_j (m_j \times EF_j) + \sum_k (m_{\text{tran},k} \times D_k \times EF_{\text{trans},k}) - C_{\text{清除}} \quad \cdots (13)$$

$E_{\text{生命末期}}$ ——燃料氢生命末期阶段温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量 (kg CO₂e)；

- m_j ——第 j 类废弃物（如废水、固体飞灰、废催化剂、包装等）质量，单位为千克（kg）；
 EF_j ——第 j 类废弃物的处理排放因子，单位与活动数据匹配；
 $m_{\text{trans},k}$ ——第 k 种运输方式实际运输的废弃物质量，单位为千克（kg）；
 D_k ——第 k 种运输方式的运输距离，单位为千米（km）；
 $EF_{\text{trans},k}$ ——第 k 种运输方式的温室气体排放因子，单位与活动数据匹配。
 $C_{\text{清除}}$ ——采用碳捕集或碳封存技术等温室气体清除量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO₂e）。

8 结果解释

应根据氢产品碳足迹研究的目的和范围进行结果解释，解释应包括以下内容：

- 说明氢产品碳足迹和各生命周期阶段的碳足迹；
- 分析不确定性，包括取舍准则的应用和范围；
- 详细记录选定的分配程序；
- 说明氢产品碳足迹研究的局限性（按照但不限于 GB/T 24067—2024 附录 A）。

9 产品碳足迹报告

氢产品碳足迹研究中应记录产品碳足迹的量化结果，具体内容如下：

- 与 GHG 排放和清除的主要生命周期阶段相关联，包括每个生命周期阶段的绝对和相对贡献量；
- 化石 GHG 的排放量和清除量；
- 氢产品的生物碳含量（如有）；
- 氢产品碳足迹报告模板见附录 C。

附 录 A
(规范性)
氢气二次压缩计算方法

当实际出产氢气压力不足 3 MPa 时,需根据公式 (A.1) 和 (A.2) 将氢气压力提升至 3 MPa (二次压缩) 消耗电力对应的排放计入氢产品碳足迹 CFP_{H_2} 。

氢气压力提升至 3 MPa 所需耗电量按照如下公式进行计算:

$$AD_{\text{cmp}} = \frac{nRT \times (\ln P_2 - \ln P_1)}{3.6 \times 10^9 \times \eta} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

其中:

AD_{cmp} ——二次压缩过程所耗电量,单位为兆瓦时 (MW·h);

n ——1 kg 氢气的摩尔数,值为 500 mol;

P_1 ——二次压缩前的压力,单位为帕 (Pa);

P_2 ——二次压缩后的压力,值为 3×10^6 Pa;

R ——气体常数,值为 8.314 J/(mol·K);

T ——气体温度,值为 293.15 K;

η ——压缩机效率,值为 85%。

电力消耗对应的温室气体排放按照如下公式 (A.2) 进行计算:

$$E_{\text{cmp}} = AD_{\text{cmp}} \times EF_{\text{cmp}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

E_{cmp} ——二次压缩消耗电力所对应的电力生产环节温室气体排放量,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);

AD_{cmp} ——二次压缩过程所耗电量,单位为兆瓦时 (MW·h);

EF_{cmp} ——氢气生产企业所在区域“摇篮到大门”的电网碳足迹因子,单位为千克二氧化碳当量/兆瓦时 [kgCO₂e/(MW·h)]。

如申请单位未购买二次压缩耗电量对应的可再生能源电力量, EF_{cmp} 应按区域电网或全国电力平均“摇篮到大门”碳足迹因子计算。

附 录 B
(资料性)
产品碳足迹量化数据收集表

B.1 概述

在本附录中的数据收集表可作为资料性示例使用，用来说明从报送地点收集的有关单元过程的信息的性质。

选用数据收集表中的数据时应审慎。所选的数据及其具体程度应与研究目的相符。

这些收集表可同时附有关于数据收集和输入的说明，此处还可以包括有关数据输入的问题，以便深入了解输入数据的性质和取得数据的方式。

可以在这些收集表中根据实际情况进行调整，比如增添有关其他项目的栏目，像仓储情况、数据质量（不确定性或测量值、计算值、估算值等）。

B.2 用于上游运输的数据收集表示例

本例中需要收集数据的中间产品的名称和吨数已经记录在要研究的系统模型中。本示例假设两个有关单元过程之间的运输方式为公路运输。同样的收集表也适用于铁路和水路运输。运输数据收集表见表 B.1。

表 B.1 运输数据收集表

中间产品名称	公路运输		
	路程（km）	卡车装载能力（t）	实际负荷（t）

燃料消耗和相应的空气排放通过运输模型进行计算。

B.3 用于内部运输的数据收集表示例

本例为工厂内部的运输清单。其中的数据是取自一个特定的时段，给出燃料消耗的实际数量。如果还需要来自其他时段的最大值和最小值，可在表中增添新的栏目。

内部运输也须进行分配，例如对某场所总耗电量的分配。

空气排放采用燃料消耗模型计算。内部运输数据收集表见表 B.2。

表 B.2 内部运输数据收集表

项目	输入的运输总量	消耗的燃料总量
柴油		
汽油		
LPG ^a		
^a LPG 指液化石油气。		

B.4 用于单元过程的数据收集表示例

单元过程数据收集表见表 B.3。

表 B.3 单元过程数据收集表

制表人：	制表日期：			
单元过程标识：	报送地点：			
时段：年	起始月：	终止月：		
单元过程表述（如需要可加附页）				
原材料及辅料输入	单位	数量	数据来源	原材料及辅料来源 ^a
水消耗 ^b	单位	数量		
能源输入	单位	数量	数据来源	能源来源
能源、材料输出 （包括产品、三废）	单位	数量	数据来源	去向
注：此数据收集表中的数据是指规定时段内所有未分配的输入和输出。				
^a 注意是否来自再生材料。				
^b 例如地表水、饮用水。				

附 录 C

(资料性)

氢产品碳足迹评价报告模板 (可选项)

产品碳足迹评价报告 (模板)

产品名称:

产品规格型号:

生产者名称:

报告编号:

出具报告机构: (若有) (盖章)

日期: 年 月 日

一、概况

1.1 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：

1.2 产品信息

产品名称：
产品功能：
产品介绍：
产品图片：

1.3 量化方法

依据标准：

二、量化目的

三、量化范围

3.1 产品说明

3.2 声明单位或功能单位

3.3 系统边界

- ☐ 原料及辅料获取阶段
- ☐ 原料及辅料运输
- ☐ 生产阶段
- ☐ 出厂储运阶段
- ☐ 使用阶段
- ☐ 生命末期阶段

3.3 时间范围

20××年×月×日—20××年×月×日

3.4 取舍准则

采用的取舍准则以_____为依据，具体规则如下：

3.5 多产品分配

多产品系统需采用合理的建模方法对整个系统的资源环境影响进行分配，从而得到主产品和共生产品各自的环境影响，本评价报告中主产品、共生产品采用的分配方法见表 C.1：

表 C.1 多产品及分配方法描述

过程名称	主产品	共生产品	分配方法	备注

四、清单分析（以原料氢为例）

4.1 数据来源说明

4.1.1 ××生产过程

（1）过程基本信息

过程名称：

（2）过程清单

主要数据来源：

过程清单数据表见表 C.2，运输数据清单见表 C.3。

表 C.2 过程清单数据表

类型	名称	数量	单位	数据来源	排放因子数据来源
产品产出					--
产品产出					--
原料					
原料					
能源					
环境排放					
废物					
.....					

表 C.3 运输数据清单

物料名称	运输重量	起点	终点	运输距离	运输类型

（3）分配方法

4.1.2 ××生产过程

4.2 清单结果及计算

生命周期各个阶段碳排放计算说明见表 C.4。

表 C.4 生命周期碳排放清单说明

生命周期阶段		碳足迹/(kgCO ₂ e/声明单位)	百分比
原料及辅料获取			
原料及辅料获取阶段小计			
原料及辅料运输			
原料及辅料运输阶段小计			
生产			
产品生产阶段小计			
产品碳足迹			

五、产品碳足迹量化评价结果

5.1 产品碳足迹特征化因子选择

一般选择政府间气候变化专门委员会（IPCC）给出的最新 100 年全球变暖潜势（GWP）。

5.2 产品碳足迹结果计算

六、结果解释

6.1 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，每声明单位或功能单位的产品），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 C.5 和图 C.1 所示。

表 C.5 生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳足迹/(kgCO ₂ e/声明单位)	百分比/%
原料及辅料获取		
原料及辅料运输		
产品生产		
总计		

图 C.1 各生命周期阶段碳排放分布图

一般以饼状图或柱形图表示各生命周期阶段的碳排放情况。

6.2 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。

6.3 改进建议

参 考 文 献

- [1] GB/T 24024—2001 环境管理 环境标志和声明 I 型环境标志 原则和程序
 - [2] GB/T 24025—2009 环境标志和声明 III 型环境声明 原则和程序
 - [3] GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架
 - [4] GB/T 24044—2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南
 - [5] GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则
 - [6] GB/T 24499—2009 氢气、氢能与氢能系统术语
 - [7] GB/T 32151.10—2023 碳排放核算与报告要求 第 10 部分：化工生产企业
 - [8] ISO 14064-1 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报告规范及指南（Greenhouse gases—Part 1: specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emission and removals）
 - [9] ISO 14067: 2018 温室气体 产品碳足迹 量化要求与指南（Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification）
 - [10] PAS 2050 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 emission of goods and services）
 - [11] IPCC 国家温室气体清单指南（2019），政府间气候变化专门委员会（IPCC）
 - [12] GB/T32151.15-2023 温室气体排放核算与报告要求 第 15 部分：石油化工企业
 - [13] IPCC 《气候变化报告 2021：自然科学基础 第一工作组对政府间气候变化专门委员会第六次评估报告的贡献》，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， 剑桥大学出版社
-