

ICS XX. XXX

CCS X XX

# 团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

## 绿氢产品碳足迹量化与评价方法

Carbon footprint quantification and assessment method for the green hydrogen

(征求意见稿)

202□-□□-□□发布

202□-□□-□□实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

СЛЕДСТВИЕ

## 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 产品碳足迹量化与评价 .....	3
4.1 评价流程 .....	3
4.2 目的和范围的确定 .....	3
4.3 产品功能单位 .....	3
4.4 产品系统边界 .....	4
4.5 生命周期清单分析 .....	6
4.6 生命周期影响评价 .....	10
4.7 生命周期解释 .....	10
4.8 碳足迹量化评价 .....	11
5 附加环境信息 .....	11
6 评价报告 .....	11
6.1 报告的要素 .....	11
6.2 评价报告的发布 .....	12
附 录 A （资料性） 绿氢产品典型工艺流程 .....	13
附 录 B （资料性） 绿氢产品碳足迹量化数据清单 .....	16
参考文献 .....	24
图 1 绿氢产品生命周期系统边界示意图 .....	5
图 A.1 绿氢产品典型工艺流程图 .....	15
表 1 现场数据质量评价表 .....	6
表 2 背景数据质量评价表 .....	6
表 3 温室气体全球变暖潜势 .....	11
表 B.1 绿氢产品上游环节数据清单 .....	16
表 B.2 绿氢产品核心环节数据清单 .....	20

## 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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：深圳能源集团股份有限公司、中国电力工程顾问集团有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、锥宇能源科技（嘉兴）有限公司、中国电气装备集团科学技术研究院有限公司、上海易碳数字科技有限公司、浙江省环保集团生态环保研究院有限公司、华中科技大学、浙江环研碳集科技有限公司、浙江大学、华北电力大学等。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

# 绿氢产品碳足迹量化与评价方法

## 1 范围

本文件界定了绿氢产品碳足迹量化与评价方法的术语和定义，规定了产品碳足迹量化与评价、附加环境信息和评价报告。

本文件适用于绿氢产品碳足迹量化与评价。

## 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 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

## 3 术语和定义

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

### 3.1

**绿氢 green hydrogen**

通过光伏太阳能、风能、核能等可再生能源电解水制备氢气，在制氢过程中基本不产生温室气体，也称为“零碳氢气”。

[来源：中国氢能行业洞察与数字化发展报告，1.2.1（3）]

### 3.2

**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 24040-2008，3.1]

### 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，并基于生命周期评价，使用气候变化单一影响类别。

注1：产品碳足迹可分解成一组数字，确定具体的温室气体排放量和清除量，产品碳足迹也可被分解成生命周期的各个阶段，例如各个过程所处的空间范围。

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质量表示。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.1.1]

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。

注：如无特别说明，本文件中的温室气体包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（SF<sub>6</sub>）与三氟化氮（NF<sub>3</sub>）。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.1]

3.5

**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]

3.6

**二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent**

**CO<sub>2</sub> e**

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]

3.7

**III 型环境声明 type III environmental declaration**

提供基于预设参数的量化环境数据的环境声明，必要时包括定性或定量的附加环境信息。

注：预设参数基于 GB/T 24040 和 GB/T 24044。

[来源：GB/T 24025-2009, 3.2, 有修改]

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

**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。

注：在本文件中，系统边界与 LCIA 无关。

[来源：GB/T 24044-2008, 3.32]

## 3.10

**生命周期清单分析 life cycle inventory analysis (LCI)**

生命周期评价中对所研究产品（或服务）整个生命周期中输入和输出进行汇编及量化的阶段。

[来源：GB/T 24044-2008，3.3]

## 3.11

**生命周期影响评价 life cycle impact assessment (LCIA)**

生命周期评价中理解和评价产品（或服务）系统在其整个生命周期中的潜在环境影响大小和重要性的阶段。

[来源：GB/T 24040-2008，3.4]

## 3.12

**产品碳足迹量化 quantification of the carbon footprint of a product; quantification of the CFP**

确定产品碳足迹或部分产品碳足迹的活动。

注：产品碳足迹或部分产品碳足迹的量化属于产品碳足迹研究的一部分。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.1.6]

**4 产品碳足迹量化与评价****4.1 评价流程**

绿氢产品碳足迹量化与评价基本程序包括：目的和范围的确定、产品（或服务）功能单位、产品（或服务）系统边界、生命周期清单分析、生命周期影响评价、生命周期解释和产品碳足迹量化评价。

**4.2 目的和范围的确定****4.2.1 评价目的**

通过量化绿氢产品（或服务）生命周期或选定过程中的所有温室气体排放量和清除量，计算绿氢产品（或服务）对全球变暖的潜在影响。

**4.2.2 评价范围的确定**

目标产品（绿氢产品）的确定需满足以下要求：

- a) 每种绿氢产品应为同一企业在同一产地生产的产品；
- b) 对于同一企业不同规模的绿氢产品，或同一规模但不同产地生产的绿氢产品，应分别核算碳足迹；
- c) 对于同一企业在同一产地生产的电力，如采用的工艺技术、生产设备或原辅材料供应商有差异时，

在进行数据调查时，原则上应按产品比例进行加权平均。

**4.3 产品功能单位**

功能单位宜选取单位产品（或服务）：由于绿氢产品工艺流程复杂，应根据产品主要功能来定义其功能单位。同时，该文件综合考虑电力来源、制氢工艺、储备运输与纯度压力等差异，设置了绿氢产品生命周期评价的统一功能单位，主要指 1kg 纯度大于等于 99%，压力等于 3MPa 的氢气。若实际出产氢气与上述功能单位的纯度或压力不一致时，需将氢气进一步压缩至 3MPa、纯度提高至 99%状态所对应的碳排

放量纳入到评价范围内。绿氢产品典型工艺流程见附录 A。

#### 4.4 产品系统边界

##### 4.4.1 系统边界概述

由于通过可再生能源（例如太阳能、风能、核能等）发电进行电解水制氢在氢气生产和利用过程中均没有碳排放。因此，本文件针对整个绿氢产业链，以太阳光、风能、核能为例，界定的绿氢产品生命周期系统边界为“从摇篮到大门”，包括上游环节和核心环节，主要指可再生能源基础建设、储备运输、电解制备等过程。绿氢产品生命周期系统边界见图 1。

##### 4.4.2 上游环节

上游环节具体包括以下过程：

a) 建筑材料供给：包括从自然界开采到进一步加工为建筑材料的过程，以及过程中的基础设施设备维护、废物运输、处理和综合利用，还包括建筑材料的运输过程。这个阶段主要是准备可再生能源电厂与制氢厂基础设施建设的原材料，包括钢筋、水泥、铝、铁、塑料等基础材料；

b) 可再生能源供给：包括从自然界开采到进一步加工为电厂设备、组件，并运行发电的过程，以及过程中的设施设备维护、废物运输、处理和综合利用，还包括机器设备组件的运输过程。该环节涉及到的机器设备主要有逆变器、变压器、控制器等，还包括生产加工过程中输入能源的开采和消耗，运输和处理。其中，光伏电厂主要有硅料开采并加工为太阳能电池板，风电有发电机、塔筒、叶片的生产加工，核电有铀矿开采等过程；

c) 辅料供给：包括新能源电厂原料开采、建设、运行发电阶段，以及电解制氢系统所需辅料和水的生产和运输过程，例如助燃剂、养护油、清洁剂、化学药剂、防水涂料等；

d) 电力转换与运输：包括逆变器、变压器等电力转换设备的制造安装，可再生能源发电并网的损耗，电力转化为适用电解水制氢的电力形式，以及电力缆线输送的消耗等过程；

e) 废物处置与利用：包括原材料开采、基础设施建设、电力组件生产加工、机器设备运行维护等产生固、液、气体废物的过程，以及处置时输入能源的开采和消耗。相较于光伏与风电，应尤其注意核电的放射性废物处置，谨防泄露与污染。

##### 4.4.3 核心环节

核心环节具体包括以下过程：

a) 电解设备制造与安装：包括电解厂的基础设施建设，设备制造与安装调试，以及该过程中产生的废物运输、处理和综合利用，还包括该过程中输入能源的开采和消耗。例如：电解槽、电极、电源等设备的制造和安装过程；

b) 水源获取与处理：在确保基础设施建设与设备安装调试完成之后，需要从水源地取水，并进行必要的预处理，如过滤、除杂等，以确保水质符合电解水制氢的要求，包括水源获取过程中产生的废物运输、处理和综合利用，还包括运输过程中车辆的化石能源消耗，输入能源的开采和消耗；

c) 电解水制氢：利用可再生能源产生的电力进行电解水反应，产生氢气和氧气。包括电力消耗、水资源利用、废物排放、交通运输等方面；



d) 提纯与压缩: 若产生的氢气纯度与压力不符合产品功能单位标准, 需通过一定的工艺纯化氢气, 并压缩储备以备后续使用或运输。 $H_2$  纯度 $\geq 99\%$ , 压力 $\geq 3MPa$ 。包括提纯与压缩设备的制造、运行, 以及该过程输入能源的开采和消耗;

e) 储存与运输: 氢气和氧气的收集、储存与运输等过程, 包括储存设施建设和维护、储存设备的制造、交通运输等过程, 以及输入能源的开采和消耗;

f) 废物处置与利用: 电解设备制造与安装、电解制氢过程产生的固、液、气态废弃物。以及随着设备的老化或技术更新, 废旧设备需要进行处理。这包括材料、设备的回收、再利用和报废等步骤, 以及运输潜在排放或泄露, 输入能源的开采和消耗等过程。

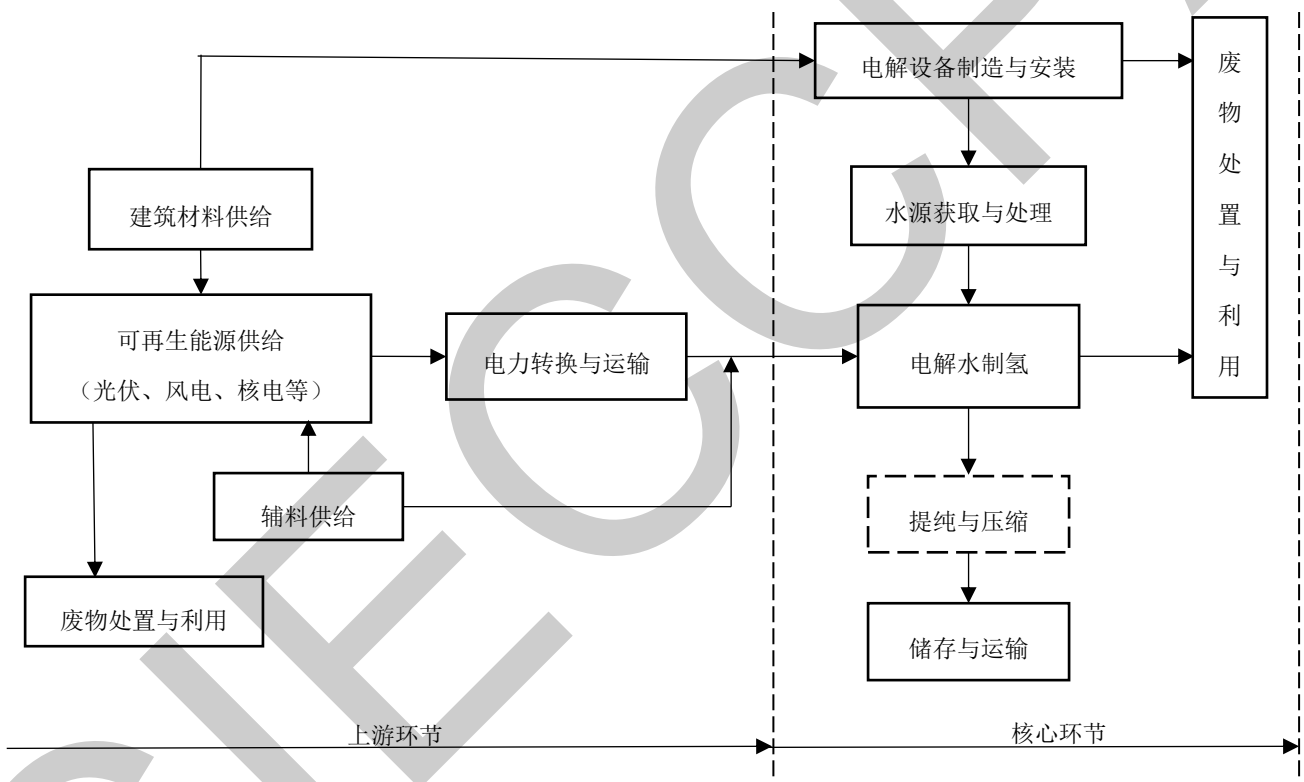


图 1 绿氢产品生命周期系统边界

#### 4.4.4 数据的描述

数据包括现场数据和背景数据。

现场数据包括绿氢产品生产阶段的原辅料消耗、能源开采和消耗、取水和消耗、污染物排放、废物综合利用以及运输（包括运输形式、运输距离和运输量）等数据, 对数据的获得方式和来源均应予以说明。

背景数据包括原辅料、能源开采与生产生命周期清单数据以及原辅料运输所需的运输生命周期清单数据。所有数据应予以详细说明, 包括数据来源、数据时间和数据类型等。

#### 4.5 生命周期清单分析

##### 4.5.1 数据质量要求

###### 4.5.1.1 现场数据的质量要求

现场数据的质量要求包括：

- a) 代表性：现场数据应为企业生产单元或上游工业生产范围内的生产统计数据；
- b) 完整性：现场数据应满足 4.5.3.2 的取舍原则；
- c) 准确性：现场数据中的资源、能源和原材料消耗数据应来自于生产单元的实际生产统计记录，所有现场数据需要详细记录相关的原始数据、数据来源、数据时间和计算过程等；
- d) 一致性：企业现场数据收集时应保持相同的数据来源、统计时期和处理规则等。

###### 4.5.1.2 背景数据的质量要求

a) 代表性：背景数据应优先选择企业的原材料供应商提供的符合 GB/T 24044 要求的、经第三方独立验证的上游产品生命周期评价报告中的数据。若无，应优先选择代表中国国内平均生产水平的公开生命周期评价数据，数据的参考年限应优先选择近年数据。在没有符合要求的中国国内数据的情况下，可以选择国外同类技术数据作为背景数据；

b) 完整性：背景数据的系统边界应该从资源开采到这些原辅材料或能源产品出厂为止；

c) 一致性：所有被选择的背景数据应完整覆盖本文件确定的量化数据清单，并且应将背景数据转换为一致的物质名录后再进行计算。同一第三方机构对同类产品生命周期评价的背景数据选择应该保持一致，如果背景数据更新，则生命周期评价报告也应更新。

###### 4.5.1.3 不符合项

不符合数据质量要求的数据应在生命周期解释部分说明合理性。

##### 4.5.2 数据质量评价体系

4.5.2.1 本文件采用数据质量评价体系对数据质量进行评价，进行 5 分制评分，数据保留 1 位小数。现场数据质量评价表见表 1，背景数据质量评价表见表 2。该评价体系对数据评价指标有 3 个：来源、类型和时间，通过计算每个数据的得分来判断单个数据的质量（最高总分 15 分），并以平均分（最高 5 分）记为该数据的数据质量。

表 1 现场数据质量评价表

数据来源		数据类型			数据时间		
现场	其它	实测、统计	估算	其它	≤1 年	1~3 年	>3 年
5	1	5	3	1	5	4	1

表 2 背景数据质量评价表

数据来源			数据类型				数据时间			
现场实	文献、报	其它	测量、	平均	估算	未知	≤1 年	1~5 年	5~10	>10

验、供应 商	告		计算						年	年
5	3	1	5	3	2	1	5	4	3	1

4.5.2.2 对所有工序单元过程数据（即一组具有匹配关系的现场数据和背景数据组合）分别做现场数据和背景数据的质量评价，取其算术平均值为该工序单元过程数据的现场数据和背景数据的质量评价结果。

4.5.2.3 本文件规定在产品生命周期碳足迹中贡献占比绝对值超过 5%的工序单元过程数据为敏感性高的数据，其现场数据和背景数据的质量不应小于 3 分。

4.5.2.4 敏感性高的工序单元过程数据应进行敏感性分析或不确定性分析，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可能对最终结果造成的影响，说明背景数据选择、现场数据收集与现场数据处理是否符合本文件的规定。

4.5.2.5 敏感性分析或不确定性分析详细要求应符合 GB/T 24040 和 GB/T 24044 的规定。

### 4.5.3 数据收集

#### 4.5.3.1 数据收集范围

数据收集范围应涵盖系统边界中的每一个单元过程，包括定性数据和定量数据。数据收集包括现场数据和背景数据的收集。

现场数据包括：

- a) 原辅材料；
- b) 能源开采；
- c) 污染物排放；
- d) 副产物利用；
- e) 运输形式、距离和运输量；
- f) 原辅材料、能源、污染物和副产物含碳量（可选）；

背景数据包括：

- a) 排放因子；
- b) 文献数据；
- c) 其他无法现场获取的数据。

所有收集数据应予详细说明，包括数据来源、数据时间和数据类型。

#### 4.5.3.2 现场数据的取舍原则

单元过程数据种类很多，应对数据进行适当的取舍，取舍原则如下：

- a) 能源的所有输入均应列出；
- b) 原料的所有输入均应列出；
- c) 辅助材料质量小于原料总消耗 0.1%的输入可忽略；
- d) 向大气、水体的各种排放均列出；
- e) 小于固体废物排放总量 1%的一般性固体废物可忽略；

f) 低于产品生命周期碳排放 1%的单元过程,可以排除在系统边界外,累计不超过 5%。应对排除的单元过程进行说明;

g) 道路与厂房的基础设施、工作人员及生活设施的消耗可忽略;

h) 取舍原则不适用于有毒有害物质,任何有毒有害的材料和物质均应包含于清单中。

#### 4.5.3.3 数据收集步骤

数据收集程序主要步骤应包括下列内容。

a) 根据评价的目的与范围确定单元过程,进行数据收集的准备,包括:

1) 绘制绿氢产品单元过程工艺流程图;

2) 设计统计单元过程的实物流输入输出的数据收集表和背景数据收集表;

3) 对数据收集技术和要求做出表述;

4) 对报送数据的特殊情况、异常点和其它问题进行明确说明。

b) 数据收集准备的要求:

1) 技术人员完成数据收集工作;

2) 绿氢产品碳足迹量化数据清单格式见附录 B。

#### 4.5.3.4 数据审定

应对收集的单元过程数据进行审定确认,审定过程应包括:

a) 物料平衡:应判断单元过程输入的原料、辅料的质量与产品、副产品和排放物的质量是否平衡;

b) 工序能量平衡:应计算工序使用的能源与历史数据的平衡情况;

c) 数据与功能单位的关联,即将收集的实物流的输入与输出处理为单位产品的输入与输出。

#### 4.5.4 计算程序

##### 4.5.4.1 数据确认

在数据的收集过程中,应检查数据的有效性,以确认并提供证据来证明所规定的的数据质量要求已得到满足。在数据的确认过程中发现明显不合理的数据,应分析原因,予以替换,替换的数据应满足数据质量要求,并于局限性章节说明。

如数据发现缺失,对缺失的数据应进行断档处理,代之以合理的“非零”数据、合理的“零”数据或采用同类技术单元过程报送的数据计算出来的数值,并于局限性章节说明。

##### 4.5.4.2 数据与功能单位的关联

数据与功能单位的关联的计算方法是将各个工序或单元过程的输入输出数据除以产品的产量,即得到单位产品(功能单位)的原辅材料消耗、能源消耗和碳排放。

##### 4.5.4.3 数据合并

仅当数据类型是涉及等价物质并具有类似的环境影响时才允许进行数据合并。同一工序的不同生产设备,若其生产技术水平相当,输入输出种类基本相同,则可采取数据合并。

##### 4.5.4.4 生命周期清单计算方法

生命周期清单数据是以功能单位为基准的产品在所定义的生命周期过程的累积,基本流是以功能单位

为基准的环境负荷。温室气体  $g$ （如  $\text{CO}_2$  的排放）的累积量按式（1）计算：

$$b_{T,F,g} = b_{F,g} + \sum_{i=1}^n a_i b_{i,g} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$F$  ——单位产品（ $1\text{kgH}_2$ ，纯度 $\geq 99\%$ ，压力 $\geq 3\text{MPa}$ ）；

$b_{T,F,g}$  ——以功能单位  $F$  为基准的温室气体  $g$  的累积量  $T$ ，单位为千克每千克氢气（ $\text{kg} / \text{kgH}_2$ ）；

$b_{F,g}$  ——以功能单位  $F$  为基准的温室气体  $g$  在产品生产过程的直接流量，单位为千克每千克氢气（ $\text{kg} / \text{kgH}_2$ ）；

$n$  ——单元过程  $i$  的数量；

$a_i$  ——原辅料及能源等在产品系统中单元过程  $i$  每功能单位的直接消耗量，或组件、辅料在加工过程中产生的废料及烟气处理副产物等在产品系统中单元过程  $i$  每功能单位的直接利用量或处置量，

当产品消耗量或利用/处置量单位为质量， $a_i$  单位为千克每千瓦时（ $\text{kg} / \text{kWh}$ ）；

当产品消耗量或利用/处置量单位为体积， $a_i$  单位为标立方米每千瓦时（ $\text{Nm}^3 / \text{kWh}$ ）；

当产品消耗量或利用/处置量单位为千瓦时， $a_i$  单位为千瓦时每千瓦时（ $\text{kWh} / \text{kWh}$ ）；

$b_{i,g}$  ——温室气体  $g$  在单元过程  $i$  的直接流量，

当产品消耗量单位为质量， $b_{i,g}$  单位为千克每千克（ $\text{kg} / \text{kg}$ ）；

当产品消耗量单位为体积， $b_{i,g}$  单位为千克每标立方米（ $\text{kg} / \text{Nm}^3$ ）；

当产品消耗量单位为千瓦时， $b_{i,g}$  单位为千克每千瓦时（ $\text{kg} / \text{kWh}$ ）；

$\sum a_i b_{i,g}$  ——以功能单位  $F$  为基准的温室气体  $g$  在各单元过程中的累积量，主要视研究边界所包含的单元过程而定，单位为千克每千克氢气（ $\text{kg} / \text{kgH}_2$ ）。

#### 4.5.5 数据分配

##### 4.5.5.1 分配原则

绿氢产品工序中存在一个单元过程同时产出两种或多种产品，而投入的原材料和能源又没有分开的情况（例如：光伏制氢中太阳能板生产制造时，硅料生产加工流程中同时产出硅片、切割废料等产品）。也会存在输入渠道有多种，而输出只有一种的情况（例如：废水处理车间的废水来源渠道多种多样）。在这些情况下，不能直接得到清单计算所需的数据，应根据一定的关系对这些过程的数据进行分配。清单是建立在输入与输出的物质平衡的基础上，分配关系需反映出这种输入与输出的基本关系与特性。分配的主要原则如下：

a) 应识别与其他产品系统公用的过程，并按分配程序加以处理。

b) 分配过程中，输入和输出应保持平衡，输出质量与输入质量相比质量损耗应不大于 5%。若质量损耗大于 5%，应将废物的产生种类、产生量与处理方式一一列出，并将废物处理产生的碳足迹纳入分配总量。

c) 如果存在若干个可采用的分配程序，应进行敏感性分析，以说明采用其他方法与所选用方法在结果

上的差别。

#### 4.5.5.2 分配程序

处理数据分配问题一般按以下程序进行：

a) 尽量避免或减少出现分配。如：

1) 将原来收集数据时划分的单元过程再进一步分解，以便将那些与系统功能无关的单元排除在外；

2) 扩展产品系统边界，把原来排除在系统之外的一些单元包括进来。

b) 使用能反映其物理关系的方式来进行分配。如产品的质量、数量、体积和热值等比例关系。

c) 当物理关系不能确定或不能用作分配依据时，用其经济关系来进行分配，如产品产值或利润比例关系等。

#### 4.5.6 废物利用环境收益

绿氢产品生命周期内的副产品或废料综合利用环境收益按照系统扩展法计算，即根据副产品或废料综合利用的实际用途，抵扣其所替代的产品的环境负荷。由于可再生能源制氢和终端使用过程中均不产生碳排放，因此，需着重考虑可再生能源基础设施建设的废物利用。例如：太阳能制氢时，除工艺流程中各生产加工环节现场所产生的废物外，还应考虑组件的使用年限，太阳能电池板一般来讲使用寿命或生产标准为25年后仍能以高于额定功率的80%的状态工作。类似的还有风电的叶片、电解槽等设备组件。在达到各设备正常的使用寿命之后，对报废的物件进行拆除，并选择性地回收仍有利用价值的组件或建筑材料等。

### 4.6 生命周期影响评价

#### 4.6.1 基本步骤

根据清单分析所提供的资源消耗数据以及各种排放数据，对产品系统潜在的环境影响进行评价，为绿氢产品生命周期解释提供必要的信息。根据 GB/T 24040 的规定，绿氢产品生命周期影响评价主要包括以下步骤：

a) 选择影响类型、类型参数以及特征化模型；

b) 将生命周期清单分析结果归类（分类）；

c) 类型参数结果的计算（特征化）。

#### 4.6.2 影响类型、类型参数以及特征化模型的选择

开展产品碳足迹影响评价时，生命周期环境影响种类仅包含全球变暖潜能值，无需考虑其他环境影响。全球变暖潜能值时利用 IPCC 开发的特征化模型计算的特征化因子，表示为100年范围内的全球变暖潜力，类型参数结果为每个功能单位的千克 CO<sub>2</sub> 当量。

### 4.7 生命周期解释

绿氢产品生命周期解释应根据研究的目的重点考虑系统功能、功能单位和系统边界定义的适当性以及数据质量评价和敏感性分析所识别出的局限性。根据 GB/T 24044 的规定，生命周期解释应包括以下内容：

a) 对重大问题的识别；

b) 对完整性、敏感性和一致性的检查；

c) 结论、局限和建议。

#### 4.8 碳足迹量化评价

产品碳足迹的量化评价采用温室气体 100 年内的全球变暖潜势（GWP100）。温室气体的全球变暖潜势见表 3。

表 3 温室气体全球变暖潜势

温室气体类别	化学式	全球变暖潜势 GWP100
二氧化碳	CO <sub>2</sub>	1
甲烷	CH <sub>4</sub>	27.9
氧化亚氮	N <sub>2</sub> O	273
氢氟碳化物	HFCs	4.84-14600
全氟碳化物	PFCs	7380-12400
六氟化硫	SF <sub>6</sub>	25200
三氟化氮	NF <sub>3</sub>	17400

注：表格来源于 IPCC 第六次评估报告《2021 年气候变化：自然科学基础》（IPCC AR6 WGI）

碳足迹量化评价按公式（2）计算。

$$C = \sum_{i=1}^n (Q_i m_i) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C$ ——产品碳足迹的计算结果，单位为千克二氧化碳当量每千克氢气（kg CO<sub>2</sub> e/ kgH<sub>2</sub>）；

$m_i$ ——温室气体  $i$  生命周期清单的结果，单位为千克每千克氢气（kg / kgH<sub>2</sub>）， $m_i = b_{T,F,g}$ ；

$Q_i$ ——温室气体  $i$  的全球变暖潜势，单位为千克二氧化碳当量每千克（kg CO<sub>2</sub> e/ kg）；

注：实际产品碳足迹量化与评价的案例中，碳足迹计算结果的单位应考虑功能单位的影响，如：在计算可再生能源供电时，以 1 kWh 为功能单位，碳足迹的计算结果为 kg CO<sub>2</sub> e/kWh；制备氢气时，以 1kgH<sub>2</sub> 为功能单位，则碳足迹计算结果为 kg CO<sub>2</sub> e/kgH<sub>2</sub>。

## 5 附加环境信息

除产品碳足迹量化与评价的环境信息外，其它相关的重要环境信息可在附加环境信息中进行描述，包括但不限于清洁生产工艺、节能减排技术、产品环境特性及企业环境管理等。

## 6 评价报告

### 6.1 报告的要素

评价报告应包括以下内容。

a) 公司/组织的描述：

1) 联系人、地址、电话、传真和 e-mail；

- 2) 生产过程或环境的特别信息。
- b) 产品或服务的描述：
  - 1) 产品名称；
  - 2) 产品功能用途；
  - 3) 产品成分；
  - 4) 产品生产、运输和使用信息。
- c) 报告的有效期。
- d) 产品的可追溯性。
- e) 碳足迹量化评价信息如下：
  - 1) 功能单位；
  - 2) 系统边界；
  - 3) 数据的描述；
  - 4) 数据的取舍准则；
  - 5) 数据质量；
  - 6) 数据收集；
  - 7) 计算程序；
  - 8) 碳足迹量化评价结果。
- f) 附加环境信息。

## 6.2 评价报告的发布

6.2.1 应用本文件可编制产品的碳足迹量化与评价报告。应用本文件也可进行产品的 III 型环境声明，III 型环境声明应遵守 GB/T 24025 的要求。

6.2.2 评价结果的发布应遵守国家或地方的有关规定，如无特殊规定，可采用以下一种或多种发布方式：

- a) 将评价报告的内容印刷在公司的宣传手册上或发布在公司的网站上；
- b) 将评价结果提供给下游生产加工企业，用于下游产品的碳足迹量化与评价；
- c) 将本评价得出的碳足迹数值应用于碳标签设计。



## 附录 A

(资料性)

## 绿氢产品典型工艺流程

## A.1 绿氢产品典型工艺流程示例

绿氢产品典型工艺流程示例如图 A.1 所示。

## A.2 绿氢产品典型工艺流程内容

绿氢是指以光伏、风电、核能为代表的可再生能源提供电力，通过电解水制备氢气。虽然绿氢产品典型的工艺流程是以电解水制备氢气的过程为主，但仍应考虑可再生能源供电的工作原理与工艺流程。

a) 光伏：光伏电厂除基础设施建设外最主要的设备为光伏阵列与电缆线。硅矿开采出来的硅原料经加工精洗运输至工厂，通过高温熔炼、提纯产生高纯度的晶体硅。之后将其切割、清洗，放入铸锭炉中进行熔炼，形成硅锭，后将硅锭切割得到薄切片。结合丝网印刷等技术制备电极形成电池片，之后与玻璃、EVA 胶片、背板等材料进行层压封装形成太阳能板。光伏电力产品由光伏电站生产，电站除混凝土、支架、线缆等基础设施外，主要由光伏组件阵列构成。组件阵列典型工艺流程自硅矿石开始。硅矿石一般指脉石英、石英岩和石英砂岩等自然矿物，其和木炭、煤、石油焦等碳质还原剂经高温反应被还原为工业硅，也称冶金硅或金属硅；工业硅进一步经冶金法、改良西门子法或硅烷法提纯为光伏用太阳能级多晶硅，此时，多晶硅组件可直接经铸锭、切片等过程制备硅片，单晶硅组件则需要通过直拉法、区熔法等工艺提纯出单晶硅，再使用金刚砂或钨合金切割线进行切片。硅片经扩散制结、丝网印刷、烧结等工艺流程制备为电池片；电池片、铝型材和 PVC 膜等材料被组装为光伏组件；最终，光伏组件和平衡系统共同构成光伏阵列，在基础设施的辅助下，光伏阵列稳定生产光伏电力。

b) 风电：经对当地风资源情况、地形地貌、环境影响等因素综合评价之后，根据地质勘测和气象观测评估风力资源的丰富程度和稳定性，符合要求后设计并制造风力发电机组，包括叶片、齿轮箱、发电机等部件。制造叶片时，先进行模具制作，然后在模具中注入树脂和玻璃纤维等材料，经过固化、脱模等工序完成叶片制造。齿轮箱和发电机的制造涉及机械加工、热处理、装配等过程。塔筒制造包括切割、焊接、探伤等工序。制造过程中产生的废树脂、废纤维、废切削液等需要进行分类收集和处理。废树脂可以通过热解等方法进行回收；废纤维可以进行再利用或焚烧处理；废切削液需要进行破乳、分离等处理，回收有价值的成分，也需要注意各环节的交通运输。风力发电系统主要包括发电机组、输电线路、控制系统和辅助设备等，机组实现风能转换的核心设备由叶片、齿轮箱、发电机、塔筒等组成。在发电过程中，风能通过叶片旋转产生动力，通过齿轮箱将机械能传递到发电机，发电机将机械能转化为电能，再由逆变器和变压器对电流进行转换，通过线路输送到电网。同时，控制系统应对整个过程进行监控和管理，确保系统的稳定运行。

c) 核能：设计和制造核电的原材料反应堆压力容器制造需要使用高级合金钢，如低碳锰镍钼钢，其制造过程中涉及铁矿石、焦炭、合金元素等。燃料元件通常由锆合金（如 Zr-4 合金）制成的管状结构，内部

填充了铀氧化物 (UO<sub>2</sub>) 颗粒或钚氧化物, 其来源是铀矿或钚的回收。冷却剂通常采用水或重水。该过程中产生的废金属 (废钢、废铁、废铜等)、废切削液 (含油脂、切削剂等)、废焊渣 (金属氧化物和焊剂), 需选择对应的处理方式, 如: 回炉熔炼、油水分离与过滤、高温焚烧后掩埋再利用等。多数商业核电站中, 常用的核燃料是铀-235 (U-235)。U-235 原子核吸收一个中子后会变得不稳定, 并分裂成两个较轻的原子核, 同时释放出大量的热能和额外的中子。控制棒 (如银-铟-镉合金 (Ag-In-Cd) 或硼钢) 驱动机构通过移动控制棒来改变反应堆中的中子吸收率, 从而控制链式反应的速率。核能发电是一种高效、可持续的能源形式, 其工作原理基于核反应, 将原子核的能量转化为热能, 再转化为电能。对于放射性废物, 需进行放置衰变、焚烧、稀释、沉淀、过滤处理、吸附交换、掩埋等处置; 对于非放射性废物, 如废清洗剂和废润滑油等, 则需进行分类处理, 如再生利用或焚烧与填埋处置。

d) 绿氢: 以光伏、风电、核能等可再生能源提供稳定的电力为基础, 通过水电解制氢系统 (直流电流) 制备氢气。水电解制氢系统包括电解槽 (如: PEM) 及分离器、冷却器、压力调节阀、碱液过滤器、纯化装置、储罐、压缩机等辅助设备。去除输入的淡水中的杂物与污染物进行过滤和纯化, 保证水质符合电解要求。将淡水注入电解槽与分离器中通过隔膜 (如: 石棉) 的离子交换 (氢离子传输到阳极一侧, 阻止氧离子向阳极的传输) 进行电解, 电解液通常是碱性的, 如: 氢氧化钾 (KOH)、氢氧化钠 (NaOH) 或碳酸钠 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), 以促使水的电解反应。该电化学过程将水分子电解成为氢气和氧气, 分别从阴极和阳极产出, 也可加入铂、钌等贵金属和镍、铬等金属氧化物作为催化剂加快反应速度。该过程产生大量的热能, 需要冷却剂对设备进行冷却, 也会产生一些杂质和污染物, 如: 碱液等, 需用过滤器进行处理。为了维持电解槽内压力的稳定, 常用压力调节阀控制氢气和氧气的压力。并通过纯化与加压装置将电解可能存在的副产物, 如: 氧气、氮气等进行提纯与压缩。符合标准的氢气通过罐装或天然气管道进行储存与运输。整个过程需注意副产物与废物的处理、设备的运行维护、输入能源的开采和消耗等过程。

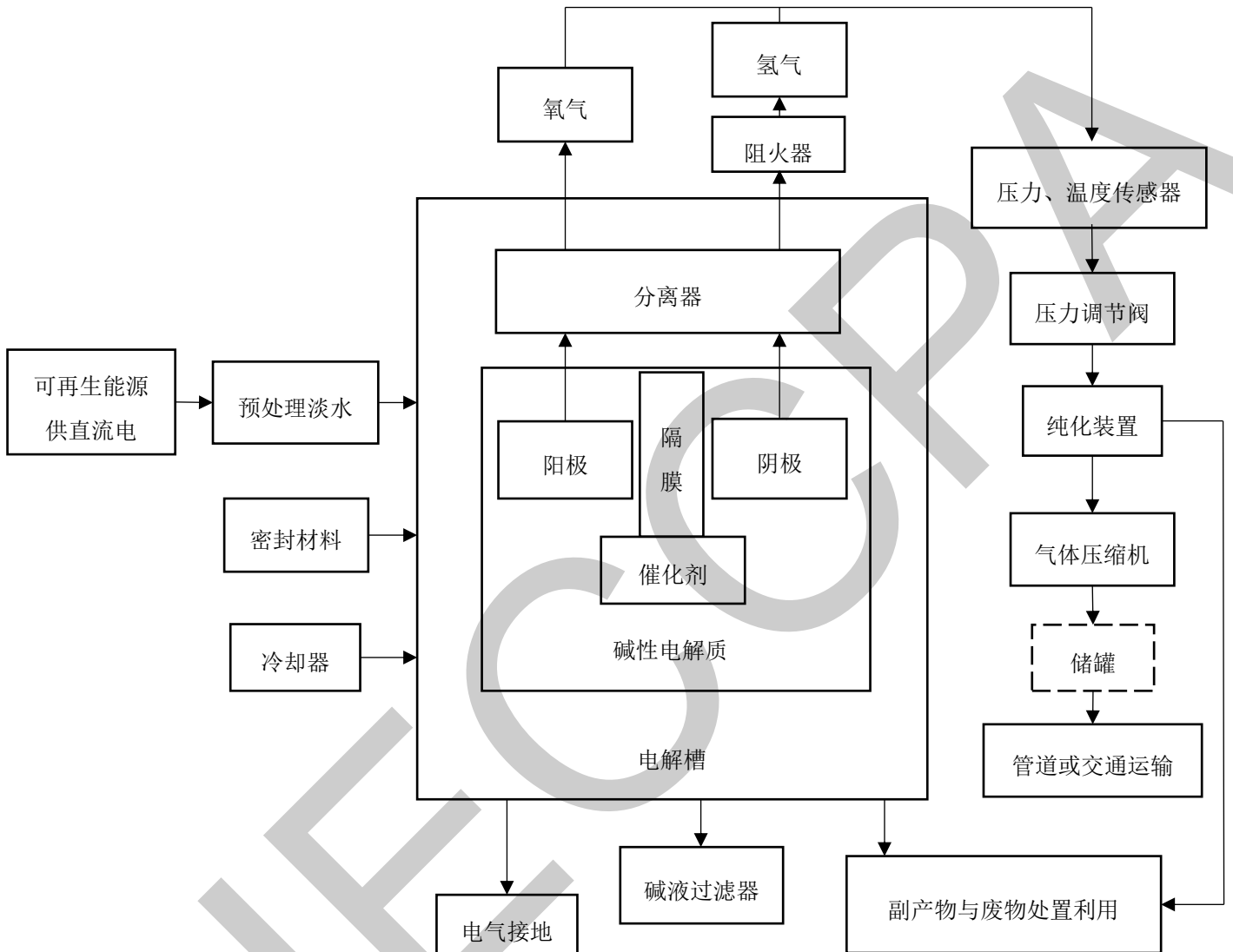


图 A.1 绿氢产品典型工艺流程

## 附录 B

(资料性)

## 绿氢产品碳足迹量化数据清单

## B.1 上游环节数据清单

上游环节数据清单见表 B.1。

表 B.1 上游环节数据清单

制表人： 制表日期： 起止时间： 年 月 日至 年 月 日

1.建筑材料供给					
产品名称	生产/消耗量	单位	物料产地	运输方式	运输距离/km
钢筋		t			
水泥		t			
混凝土		t			
铝材		t			
玻璃		t			
铁		t			
铜合金		t			
塑料		t			
钢管		t			
砖石		t			
木材		t			
2.可再生能源供给					
产品名称	生产/消耗量	单位	备注(参数、种类、运输、距离等)		
逆变器		台			
变压器		台			
控制器		台			
汇流箱		台			
接地器		台			
接地线		m			
输电铜缆线		m			
直流电缆		m			

续表 B.2 上游环节数据清单

制表人： 制表日期： 起止时间： 年 月 日至 年 月 日

交流电缆		m	
高压交流线		m	
光纤		m	
涂锡铜带		m	
水		t	
脱硫吸收剂		kg	
脱硝氧化剂		kg	
防水涂料		kg	
防火涂料		kg	
养护涂料		kg	
润滑剂		kg	
硅胶密封		kg	
清洁剂		kg	
助燃剂		kg	
a) 光伏			
产品名称	生产/消耗量	单位	备注（参数、种类、运输、距离等）
温度计		台	
辐照仪		台	
接线盒		台	
熔炉		台	
晶体硅片		m <sup>2</sup>	
电池板		m <sup>2</sup>	
背板		m <sup>2</sup>	
EVA		kg	
螺栓螺母		kg	
b) 风电			
产品名称	生产/消耗量	单位	备注（参数、种类、运输、距离等）
风轮叶片		台	
齿轮箱		台	
发电机		台	
塔筒		台	

续表 B.3 上游环节数据清单

制表人： 制表日期： 起止时间： 年 月 日至 年 月 日

冷却机		台	
通风设备		台	
消防设备		台	
风速计		台	
压力计		台	
轴承		台	
树脂		t	
玻璃纤维		t	
阀门		t	
油漆		t	
c) 核能			
产品名称	生产/消耗量	单位	备注（参数、种类、运输、距离等）
破碎机		台	
研磨机		台	
焙烧炉		台	
蒸汽轮机		台	
压力泵		台	
压缩机		台	
冷却塔		台	
轴承		台	
齿轮		台	
阀门		台	
仪器表		台	
辐射检测器		台	
温度传感器		台	
压力传感器		台	
铀或钚矿		t	
压力壳		t	
控制棒		t	
燃料棒		t	

化学药剂		t	
------	--	---	--

续表 B.4 上游环节数据清单

制表人： 制表日期： 起止时间： 年 月 日至 年 月 日

石灰		t		
活性炭		t		
绝缘材料		kg		
产品				
产品名称	数量	单位		
电力		kWh		
3.能源消耗				
产品名称	消耗量	单位	备注（参数、种类、运输、距离等）	
电力		kWh		
燃油		t		
燃气		m <sup>3</sup>		
4.污染物排放（废气、废水和固体废物等）				
污染物排放类别	污染物名称	排放量	单位	备注(种类、参数、处置等)
气体废物	烟尘		kg	
	SO <sub>2</sub>		kg	
	SF <sub>6</sub>		kg	
	NO <sub>x</sub>		kg	
	CO <sub>2</sub>		kg	
	碘、氟和氙等		kg	
固体废物	脱硫废物		t	
	废弃组件		t	
	建筑废料		t	
	废弃金属		t	
	废包装		t	
	污泥		t	
	废渣		t	
液体废物	废水		t	
	废溶液		kg	
	废涂料		kg	

T/CIECCPA □□□—202□

	废胶		kg	
	铯-137 锶-90 等		kg	

CIECCPA



## B.2 核心环节数据清单

核心环节数据清单见表 B.2。

表 B.5 核心环节数据清单

制表人： 制表日期： 起止时间： 年 月 日至 年 月 日

1.产品					
产品名称	数量	单位	备注（状态、纯度与压力）		
氢气		kg			
氧气		kg			
2.物料消耗					
原料	消耗量	单位	物料产地	运输方式	运输距离/km
水泥		t			
沙石		t			
钢材		t			
玻璃		t			
砖块		t			
木材		t			
石棉隔膜		t			
脱硫设备		台			
变压器		台			
断路器		台			
储存罐		台			
阻火器		台			
过滤器		台			
压缩设备		台			
提纯设备		台			
冷却设备		台			
接地器		台			
温度传感器		台			
压力传感器		台			
电解槽		台			
水泵		台			
气体分离器		台			

续表 B.6 核心环节数据清单

制表人： 制表日期： 起止时间： 年 月 日至 年 月 日

气体分析仪		台		
安全阀门		台		
氧化剂		kg		
催化剂		kg		
正负电极		kg		
绝缘材料		kg		
活性炭		kg		
沸石		kg		
输送管道		M		
电缆线		m		
3.能源消耗（电力、天然气等）				
能源种类	消耗量	单位	备注	
电力		kWh		
燃油		t		
燃气		m <sup>3</sup>		
4.污染物排放（废气、废水和固体废物等）				
污染物排放类别	污染物名称	排放量	单位	备注(种类、参数、处置等)
气体废物	烟尘	kg		
	SF <sub>6</sub>	kg		
	CO <sub>2</sub>	kg		
	SO <sub>2</sub>	kg		
	NH <sub>3</sub>	kg		
固体废物	脱硫废物	kg		
	废弃组件	t		
	建筑废料	t		
	废金属	t		
	废塑料	t		
	废玻璃	t		
	污泥	t		
	废渣	t		

液体废物	废水	kg		
------	----	----	--	--

续表 B.7 核心环节数据清单

制表人：                      制表日期：                      起止时间：    年 月 日至    年 月 日

	废涂料	kg		
	废胶	kg		
	碱性废液	t		
	酸性废液	t		

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 19774-2005 水电解制氢系统技术要求
- [2] GB/T 18451.1-2012 风力发电机组 设计要求
- [3] GB/T 42766-2023 光伏发电太阳能资源评估规范
- [4] GB/T 24001-2016 环境管理体系 要求及使用指南
- [5] GB/T 24025-2009 环境标志和声明 III型环境声明 原则和程序
- [6] GB/T 24040-2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架
- [7] GB/T 24044-2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南
- [8] GB/T 24499-2009 氢气、氢能与氢能系统术语
- [9] GB/T 3634.2-2011 纯氢、高纯氢、超纯氢
- [10] GB/T 38335-2019 光伏电站运行规程
- [11] 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)
- [12] 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)
- [13] PCR 2007 : 08 电力、蒸汽和冷热水的产生和分配 (ELECTRICITY, STEAM AND HOT/COLD WATER GENERATION AND DISTRIBUTION)
- [14] EPD® Registration number: S-P 00923 EPD® of Electricity from Vattenfall's Nuclear Power Plants
- [15] T/CAB 0078-2020 低碳氢、清洁氢与可再生氢的标准与评价
- [16] 刘含笑, 吴黎明, 林青阳等. 碳足迹评估技术及其在重点工业行业的应用[J]. 化工进展, 2023, 42(05): 2201-2218.
- [17] GB/TXXXXX-XXXX (征求意见稿) 风能发电系统 风力发电场后评价及改造技术规范
-