ICS 77.120.01

CCS H 01

YS

**中华人民共和国有色金属行业标准**

YS/T XXXX—XXXX

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求

阴极铜

Greenhouse gases - Methodology and requirements for quantification of carbon footprint of product - Copper cathode

（讨论稿）

20XX-XX-XX 发布 20XX-XX-XX实施

发 布

 中华人民共和国工业和信息化部

目 次

[前 言 II](#_Toc170221180)

[1 范围 3](#_Toc170221181)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc170221182)

[3 术语和定义 3](#_Toc170221183)

[4 量化目的 6](#_Toc170221184)

[5 量化范围 6](#_Toc170221185)

[5.1 产品说明和声明单位 6](#_Toc170221186)

[5.2 系统边界 6](#_Toc170221187)

[6 清单分析 15](#_Toc170221188)

[6.1 数据收集和确认 15](#_Toc170221189)

[6.2 数据分配 21](#_Toc170221190)

[6.3 取舍准则 23](#_Toc170221191)

[6.4 清单计算 24](#_Toc170221192)

[7 影响评价 24](#_Toc170221193)

[7.1 全球变暖潜势值（GWP）的选取 24](#_Toc170221194)

[7.2 产品碳足迹的计算 24](#_Toc170221195)

[7.3 排放数据分析 25](#_Toc170221196)

[7.4 数据更新 25](#_Toc170221197)

[8 结果解释 25](#_Toc170221198)

[9 产品碳足迹报告 26](#_Toc170221199)

[9.1 基本情况 26](#_Toc170221200)

[9.2 量化目的 26](#_Toc170221201)

[9.3 量化范围 26](#_Toc170221202)

[9.4 清单分析 26](#_Toc170221203)

[9.5 影响评价 26](#_Toc170221204)

[9.6 结果解释 27](#_Toc170221205)

[10 产品碳足迹声明 27](#_Toc170221206)

[附 录 A(资料性) 产品碳足迹量化数据收集表 28](#_Toc170221207)

[附 录 B（资料性）产品碳足迹报告（模板） 33](#_Toc170221210)

[附 录 C（资料性）全球增温潜势值 39](#_Toc170221213)

[参 考 文 献 40](#_Toc170221216)

# 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。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本文件起草单位：中国恩菲工程技术有限公司、……

本文件主要起草人：……

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 阴极铜

## 1 范围

本文件规定了阴极铜产品碳足迹的量化原则、方法与要求，包括声明单位、系统边界、生命周期清单分析、影响评价、结果解释和报告要求等内容。

本文件适用于以铜矿石或再生废铜为原料生产的阴极铜产品。

本文件也适用于以下常见的阴极铜前序产品的碳足迹量化研究，包括：铜矿石、铜精矿、铜锍（冰铜）、粗铜、阳极铜等。

本文件仅针对一个单一影响类别，即气候变化，不评价产品生命周期产生的其他方面环境潜在影响，也不评价产品生命周期可能产生的社会和经济影响。

不同生产商将本标准应用于不同的铜产品将导致范围和声明单位的差异，在传达碳足迹结果时必须考虑这些差异。

## 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 467 阴极铜

GB/T 24025-2009 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

ISO 14026:2017 环境标志和声明 足迹信息交流的原则、要求和指南(Environmental labels and declarations - Principles, requirements and guidelines for communication of footprint information)

YS/T 70-2015 粗铜

YS/T 318-2007 铜精矿

YS/T 1083-2015 阳极铜

## 3 术语和定义

GB/T 24040、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。为了便于使用，以下重复列出了GB/T 24040、GB/T 24044和GB/T 32150中的某些术语和定义。

3.1

阴极铜及其前序产品 cathode copper and precursor product

阴极铜指经过冶炼工艺生产的符合GB/T 467的A级铜、1号标准铜和2号标准铜。

其前序产品包括：铜矿石、铜精矿、铜锍（冰铜）、粗铜、阳极铜。

3.2

铜产品生命周期 copper product life cycle

从铜矿石原料开采开始，经过选冶加工过程，生成阴极铜产品，经包装、运输和销售、再加工、终端产品制造和使用，直至废弃或回收循环的整个过程。

3.3

产品碳足迹 carbon footprint of product (CFP)

基于仅考虑气候变化这一环境影响类型的生命周期评价，以二氧化碳当量表示的产品系统温室气体排放量与清除量之和。

3.4

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。

[GB/T 32150-2015，定义3.1]

3.5

声明单位  declaration unit

用来作为基准单位的量化的产品系统性能。

[GB/T 24044-2008，定义3.20]

注：本标准指1吨铜产品，如1吨铜精矿、1吨粗铜、1吨阴极铜等。

3.6

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。

[GB/T 24044-2008，定义3.34]

3.7

基准流 elementary flow

在给定的产品系统中，为实现一个功能单位功能所需过程的输出量。

[GB/T 24044-2008，定义3.29]

3.8

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。

[GB/T 24044-2008，定义3.32]

3.9

资产性商品 asset commodity

在产品生命周期内使用的机械、设备和建筑物等各类资产。

3.10

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。

[GB/T 24044-2008，定义3.17]

3.11

中间产品 intermediate product

在系统中还需要作为其它过程单元的输入而发生继续转化的某个过程单元的产出。

[GB/T 24044-2008，定义3.23]

3.12

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。

[GB/T 24044-2008，定义3.10]

3.13

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的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数。

[GB/T 32150-2015，定义3.15]

3.14

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。

[GB/T 32150-2015，定义3.16]

注：温室气体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。

3.15

初级数据 primary date

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：初级数据可以是温室气体排放因子和（或）温室气体活动水平数据。

[ISO 14067：2018，定义3.1.6.1]

3.16

次级数据 secondary date

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。

[ISO 14067：2018，定义3.1.6.3]

3.17

现场特征数据 site characteristic date

由企业产品生产系统的单元过程和物质能量流中获得的初级数据。

注：现场特征数据包括产品生产阶段的原辅材料消耗、能源消耗、外购服务、运输等数据。

3.18

背景数据 background date

报告企业现场特征数据之外的数据，包括原辅材料、能源、服务的生命周期清单数据。背景数据可以是初级数据，也可以是次级数据。

3.19

取舍准则 cut-off criteria

对与单位过程或产品系统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做出的规定。

[来源：GB/T 24040 ，定义3.18]

3.20

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,定义3.5]

## 4 量化目的

产品碳足迹研究是基于生命周期视角，量化产品系统边界内所有重要的温室气体排放和清除，计算产品对全球变暖的潜在影响，以二氧化碳当量表示。

本文件潜在的应用包括为产品研究和开发、技术改进、工艺流程再造、产品碳足迹绩效追踪和沟通提供信息。

铜被广泛应用于电气、电子、机械制造、建筑、国防等领域，是生产生活的重要基础原料。开展铜产品碳足迹量化目的包括：

（1）评估铜产品生命周期内相关活动带来的温室气体排放和清除，提供合规报告；

（2）帮助企业识别铜产品价值链的高排放环节，进而发掘减排潜力，制定减排措施；

（3）加强铜产业链上下游信息沟通，促进协同降碳；

（4）引导消费选择，推动市场向低碳产品转型。

根据本文件量化的产品碳足迹可为产品生产商、下游企业和其他利益相关方提供信息。

本文件有助于按照ISO 14026:2017开展铜产品碳足迹的信息交流。

## 5 量化范围

### 5.1 产品说明和声明单位

#### 5.1.1 产品说明

典型铜产品包括：铜矿石、铜精矿、铜锍（冰铜）、粗铜、阳极铜、阴极铜等。本标准中涉及的铜产品均是以本章中描述的具体产品为对象。

产品描述应使用户能够明确地识别产品，例如产品名称、牌号、批次、化学成分、含铜品位、规格等级等。可参照国家相关铜产品标准GB/T 467、YS/T 70、YS/T 318、YS/T 1083的要求进行描述。

#### 5.1.2 声明单位

铜产品碳足迹研究应明确规定声明单位。声明单位应与产品碳足迹研究的目的和范围保持一致。声明单位的主要目的是为相关输入和输出数据的归一化提供参考基准。因此应对声明单位做出明确的定义并使其可量化。

本标准的声明单位是指1吨铜产品，如：1吨铜精矿、1吨粗铜、1吨阴极铜等。

产品碳足迹评价报告中应以每声明单位排放的二氧化碳当量来记录产品碳足迹量化结果。

### 5.2 系统边界

#### 5.2.1 概述

系统边界决定产品碳足迹评价所涵盖的单元过程。系统边界应与产品碳足迹评价目标相一致。应确定和解释用于设定系统边界的准则，例如取舍准则。应确定纳入产品碳足迹评价的单元过程，以及对这些单元过程的评价应达到的详细程度。在不会显著改变产品碳足迹评价总体结论的前提下，允许不考虑部分生命周期阶段、单元过程、输入或输出，但应清晰阐述忽略的具体情况，并说明忽略的原因及其影响。

#### 5.2.2 边界设定

完整的产品碳足迹应是“摇篮-到-坟墓”的碳足迹，包含原材料获取、生产制造、产品运输与分销、下游消费以及最终产品的废弃处置等各阶段的温室气体排放量和清除量的累计。

以流程图形式来描述系统可以展现出各单元过程和它们之间的相互关系。宜对每个单元过程做出如下基本描述：

——通过原材料和中间产品的输入确定单元过程的起点；

——单元过程中的转化和运行特征；

——通过中间和最终产品的输出确定单元过程的终点。

铜产品生命周期见示意图1。

铜作为现代工业生产的基础原材料，其终端应用产品复杂多样，并且我们量化研究的产品不直接面对终端消费者，研究其碳足迹的目的更多是为相关方提供信息。

本标准设定的系统边界为“摇篮-到-大门”的产品碳足迹，即从原材料获取到铜产品离开报告企业大门的所有排放，包含原辅材料、能源和服务的获取以及产品生产阶段的所有排放。图1虚线方框中所示为本标准规定的系统边界。

注：如报告主体所研究产品为铜矿石，则“摇篮-到-大门”系统边界为从材料、能源和服务的获取到铜矿石离开采场为止；如报告主体所研究产品为铜精矿，则“摇篮-到-大门”系统边界为从铜矿石开采、材料、能源和服务获取到铜精矿离开选厂大门为止。

本标准要求温室气体范围必须包括二氧化碳(CO2)，宜覆盖(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)，如不包含上述六种温室气体，应说明理由。



 图1 铜产品生命周期示意图

#### 5.2.3 生命周期各阶段描述

##### 5.2.3.1 概述

阴极铜的商业生产主要来自于以下三类原料：

（1）铜矿石；

（2）含铜废料；

（3）其他金属冶炼的副产，如镍冶炼副产。

本标准适用于以铜矿石、含铜废料为原料的阴极铜产品。其他金属冶炼副产的阴极铜占比非常小，不在本标准讨论，可遵循其他金属碳足迹分配程序计算。

以铜矿石为原料是阴极铜生产的主要方式。氧化铜矿和硫化铜矿分别采用不同的工艺路线，见图2。

随着终端消费品退役回收铜废料的增加，以铜废料为原料已成为阴极铜生产的重要补充。生产企业可以通过与铜精矿协同或单独处理铜废料来生产阴极铜。根据铜废料品位不同，有一段法、二段法和三段法工艺，见图3。

注：图2和图3为从原料到阴极铜的简化示意流程，没有体现其他配套和辅助流程细节，这并不意味着把配套和辅助排除在系统边界以外。



 图2 以铜矿石为原料生产阴极铜的主要工艺路线

含铜废料包括消费前废铜和消费后废铜。

消费前废铜指工业生产过程中产生的废料，也称为新废，来源于铜冶炼、铜材加工以及终端产品生产三个环节。冶炼过程产生的新废有炉渣和烟尘等，加工及终端产品生产过程的新废包括工业残次品和边角料等。消费前废铜大部分被直接利用或本企业内处理回用。企业报告的使用量是指从企业外部购入的废料量，不包括企业内部循环使用量。

消费后废铜主要来源于电力、家电、建筑、交通以及机械电子五大终端领域。一般通过拆解、预处理等方式获得可利用的再生原料，再流入冶炼或加工企业。



图3 以含铜废料为原料生产阴极铜的主要工艺路线

本标准提到的产品系统边界包含了以下几个主要阶段：

a）铜矿石的开采；

b）矿浆/铜精矿的生产；

c）含铜废料的回收（如有）；

d）冶炼生产。

系统边界应包含上述阶段的生产直接排放、能源生产排放（含燃料、电力、热力）、材料药剂获取的排放、消耗品运输排放、现场第三方服务排放、废弃物外委处置服务排放和副产品碳信用，不包括铜产品离开报告企业后的运输、下游再加工、使用以及终端产品寿命终止的处置等环节的温室气体排放。

表1概述了产品系统边界内各阶段的温室气体排放源。

表1 系统边界内各阶段排放源汇总

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 生命周期阶段 | 排放类别 | 描述 |
| 铜矿石的开采 | 生产直接排放 | 化石燃料燃烧 |
| 工业过程排放 |
| 能源生产排放 | 燃料的生产 |
| 自产电力（热力） |
| 外购电力（热力） |
| 其他间接排放 | 材料的获取，如：炸药、雷管、轮胎、水泥等的生产 |
| 各类物料的运输 |
| 现场第三方服务，如运输、采矿生产等 |
| 废弃物外委处置服务 |
| 特殊排放 | 副产品碳信用（如有） |
| 铜精矿/矿浆的生产 | 生产直接排放 | 化石燃料燃烧 |
| 工业过程排放 |
| 能源生产排放 | 燃料的生产 |
| 自产电力（热力） |
| 外购电力（热力） |
| 其他间接排放 | 材料的获取，如：钢球、衬板、药剂等的生产 |
| 铜矿石的运输 |
| 其他物料的运输 |
| 现场第三方服务，如运输、废水处理等 |
| 废弃物外委处置服务 |
| 特殊排放 | 副产品碳信用（如有） |
| 含铜废料的获取 | 生产直接排放 | 外购消费前废铜所分配的碳足迹 |
| 能源生产排放 | 燃料生产、自产电力（热力）、外购电力（热力） |
| 其他间接排放 | 材料的生产和运输、废弃物处置 |
| 特殊排放 | 副产品碳信用（如有） |
| 铜冶炼生产阶段 | 生产直接排放 | 化石燃料燃烧 |
| 还原剂排放 |
| 工业过程排放 |
| 能源生产排放 | 燃料的生产 |
| 自产电力（热力） |
| 外购电力（热力） |
| 其他间接排放 | 材料的获取，如：石英石、石灰石、化学品等的生产 |
| 铜精矿/含铜原料的运输 |
| 其他物料的运输 |
| 现场第三方服务，如运输、制氧、废水处理等 |
| 废弃物外委处置服务 |
| 特殊排放 | 副产品碳信用（如有） |

注：副产品碳信用是指包含在系统边界内的副产品避免了另一具有相同功能路线的排放，应予扣除。

##### 5.2.3.2 铜矿石的开采

铜矿石的开采从资源开采开始，到采出铜矿石离开采场区域为止。

采矿方式有露天开采和地下开采。

a）露天开采一般包括：穿孔、爆破、铲装、运输等子单元过程；

b）地下开采一般包括：回采、掘进、提升、运输、充填、排水、通风、供电、供气、供水等子单元过程。

##### 5.2.3.3 氧化铜矿典型工艺路线

（1）矿浆的生产

矿浆的生产从原矿离开采场开始，经过碎磨，到产出矿浆离开选矿厂大门为止，主要包含以下过程：

* 原矿到选矿厂的运输；
* 原矿粗碎；
* 粗矿碎磨；
* 旋流分级；
* 矿浆泵送离开选矿厂。

（2）阴极铜的生产

阴极铜的生产从矿浆离开选矿厂开始，经过湿法冶炼，到产出阴极铜离开生产企业大门为止，主要包含以下过程：

* 矿浆浸出；
* 分离浓密及CCD洗涤；
* 尾渣处理处置；
* 高铜溶液/低铜溶液萃取；
* 富铜液除油电积；
* 废水处理处置。

##### 5.2.3.4 硫化铜矿及含铜废料的火法路线

（1）铜精矿的生产

铜精矿的生产从原矿离开采场开始，经碎磨、浮选后，到产出铜精矿离开选矿厂大门为止，主要包含以下过程：

* 原矿到选矿厂的运输；
* 原矿粗碎；
* 粗矿碎磨；
* 矿石浮选；
* 精矿浓缩过滤；
* 尾矿处理处置；
* 废水处理处置。

（2）含铜废料的获取（如有）

消费前废铜为工业生产过程中的副产，遵循上游供应商的分配程序，并将上游企业到冶炼厂的运输纳入系统边界范围。

消费后废铜的获取从含铜零部件开始，经拆解、破碎等过程，到获得可进一步冶炼提纯的再生铜原料离开废铜回收企业大门为止，主要包含以下过程：

* 含铜零部件到拆解厂的运输；
* 拆解、破碎等；
* 含铜废料贮存；
* 废弃物处理处置。

（3）铜锍的生产

铜锍的生产从铜精矿离开选矿厂或低品位含铜废料离开上游企业开始，经熔炼后产出铜锍离开熔炼区域为止，主要包含以下过程：

* 铜精矿到冶炼厂的运输；
* 外购低品位含铜废料到冶炼厂的运输（如有）；
* 原料储存及备料；
* 铜精矿干燥（针对闪速熔炼工艺）；
* 铜精矿/含铜废料熔炼（某些工艺还包括电炉贫化）；
* 熔炼余热回收；
* 熔炼收尘；
* 熔炼环集烟气处理；
* 熔炼渣选矿；
* 渣选尾渣的处理处置。

（4）粗铜的生产

粗铜的生产从铜锍或其他进吹炼炉的含铜废料开始，经吹炼后产出粗铜离开吹炼区域为止，主要包含以下过程：

* 铜锍到吹炼炉的运输；
* 外购中品位废铜到冶炼厂的运输（如有）；
* 吹炼炉吹炼；
* 吹炼炉余热回收；
* 吹炼收尘；
* 吹炼环集烟气处理。

（5）阳极铜的生产

阳极铜的生产从粗铜开始，或其他进阳极炉的高品位废铜开始，经阳极炉精炼后产出阳极铜离开阳极精炼区域为止，主要包含以下过程：

* 粗铜到精炼炉的运输；
* 外购高品位废铜到冶炼厂的运输（如有）；
* 阳极炉精炼；
* 阳极铜浇铸；
* 精炼炉收尘；
* 精炼烟气及环集烟气脱硫。

（6）阴极铜的生产

阴极铜的生产从阳极铜离开生产单位开始，经过电解净液后产出阴极铜离开冶炼厂大门为止，主要包含以下过程：

* 阳极铜到电解车间的运输；
* 阳极铜电解；
* 废电解液净化；
* 种板制作（如有）；
* 阴极铜的贮存。

##### 5.2.3.5 硫化铜矿的湿法路线

（1）铜精矿的生产

过程描述见5.2.3.4（1）。

（2）铜精矿焙烧

铜精矿焙烧生产从铜精矿离开选矿厂，经焙烧炉后产出焙砂离开焙烧区域为止，主要包含以下过程：

* 铜精矿到冶炼厂的运输；
* 铜精矿焙烧；
* 焙烧炉收尘；
* 焙烧炉余热回收。

（3）阴极铜的生产

过程描述见5.2.3.3（2）。

#### 5.2.4 边界范围和排除

本标准规定的系统边界包含：

a）报告企业生产阶段的直接排放；

b）原料、辅助材料、燃料等消费品的上游生产和运输；

c）电力、热力的供应（现场和外购），含输送损失；

d）第三方提供的生产服务；

e）废弃物外委处置。

本标准规定了一些排除在系统边界之外的活动，例如：独立于铜主体工艺之外的综合回收单元（如：铜阳极泥进一步处理回收贵金属、开路白烟尘处理等），商务旅行，员工通勤，客户接待，产品到客户的运输，资产性商品，以及产品的再加工、终端产品制造、使用和寿命末期处理。

系统边界的包含项和排除项详见表2。

表2 系统边界工艺包含项及排除项

|  |  |
| --- | --- |
| 包 含 项 | 排 除 项 |
| * 采矿（露采/地采，含废石处置）；
* 选矿（矿石碎磨、浮选、浓缩、过滤）；
* 氧化铜矿冶炼：浸出、浓密洗涤、萃取、电积；
* 硫化铜精矿冶炼（火法冶炼或湿法冶炼）；
* 含铜废料的冶炼；
* 相关的公辅服务（供水、供电、供气、水处理、废渣处理、物流等）；
* 原料、辅助材料、燃料、动力等的生产；
* 原料、辅助材料、燃料等从供应商到现场的运输；
* 第三方提供的生产服务；
* 废弃物外委处置。
 | * 相对独立的综合回收单元；
* 员工通勤；
* 客户接待；
* 商务旅行；
* 铜产品离开报告主体的运输和仓储；
* 资产性商品（设备、厂房）的生产；
* 再加工阶段；
* 终端产品制造和使用阶段；
* 寿命期末阶段处理。
 |

#### 5.2.5 取舍准则

产品碳足迹研究包括所研究系统的所有单元过程和流。当个别物质流或能量流对某一单元过程的碳足迹无实质性贡献时，可将其作为数据排除项并进行报告。在评价目标和范围确定阶段，应确定允许省略次要过程的取舍准则。所选择的取舍准则对评价结果产生的影响也应在最终的报告中做出解释。

在铜产品碳足迹量化过程中，可舍弃产品碳足迹影响小于1%的环节，但舍弃环节总的影响不应超过产品碳足迹总量的5%。

## 6 清单分析

### 6.1 数据收集和确认

#### 6.1.1 分析流程

##### 6.1.1.1 概述

本标准生命周期清单分析仅针对一个单一影响类别，即气候变化，不评价产品生命周期产生的其他方面环境潜在影响，也不评价产品生命周期可能产生的社会和经济影响。

研究目的和范围的确定提供了进行LCA中生命周期清单阶段的初始计划。图4列出了生命周期清单分析宜包括的步骤(注意：一些反复进行的步骤并没有显示在图4中)。



图4 生命周期清单分析的简化流程

##### 6.1.1.2 数据收集

数据的选择取决于研究的目的和范围。这些数据可以从系统边界内与单元过程相关的 生产场所中收集，也可以通过其他渠道获取或计算得出。

应收集系统边界内所有单元过程的定性资料和定量数据。通过测量、计算或估算而收集到的数据，均可用于量化单元过程的输入和输出。

a）输入

——消耗的矿产品、半成品等原料；

——消耗的辅助材料和药剂；

——消耗的能源，如：燃料、电力、热力等；

——水；

——第三方服务。

b）输出

——主产品和副产品；

——废弃物，废水；

——直接排放，包括：燃料燃烧排放、还原剂的排放、工业过程排放。

##### 6.1.1.3 数据确认

在数据收集过程中应对数据的有效性进行检查。这应包括完整性检查、质量平衡、能量平衡、水平衡、碳平衡、冶金平衡和其他类似的平衡检查。

##### 6.1.1.4 数据与单元过程和声明单位的关联

以流程图和各单元过程间的流为基础，所有单元过程的流都与基准流建立联系。应通过计算将系统的输入和输出数据与声明单位建立联系。

##### 6.1.1.5 系统边界调整

反复性是产品碳足迹量化的固有特征，应根据由敏感性分析所判定的数据重要性来决定数据的取舍，从而对系统边界中所述的初始分析加以验证。初始系统边界应根据在范围界定中所规定的取舍准则进行调整。这个调整的过程和敏感性分析应报告说明。

敏感性分析可：

——排除经敏感性分析判定为缺乏重要性的生命周期阶段或单元过程；

——排除对研究结果缺乏重要性的输入和输出；

——纳入经敏感性分析认为重要的新的单元过程、输入输出。

进行敏感性分析有助于把数据处理限制在被判定为对产品碳足迹研究目的具有重要性的输入输出数据范围内。

#### 6.1.2 数据和数据质量

##### 6.1.2.1 数据类型

数据清单范围应涵盖系统边界内每一个单元过程，这些数据可以是温室气体直接排放数据、活动水平数据、也可以是排放因子，包括：

a）直接排放数据：通过直接监测、化学计量、质量平衡或类似方法获得某一过程释放的温室气体排放量（或从大气吸收的清除量）；

b）活动水平数据：是对导致温室气体排放的活动水平的定量测量，包括过程活动水平数据和财务活动水平数据。过程活动水平数据是物理量值，如能量、质量、体积、运距、运行时间等；财务活动水平数据是指货币量值，可结合财务排放因子（如环境扩展输入输出EEIO排放因子）计算温室气体排放。

c）排放因子：是单位活动水平数据的温室气体排放。

从数据质量角度，数据可以分为初级数据和次级数据。

从数据是否来源于报告主体的物质能量流，数据又可以分为现场特征数据和背景数据，现场特征数据应为初级数据；背景数据可以是初级数据，也可以是次级数据。

在报告主体拥有财务或运营控制权的情况下，应收集现场特征数据。在收集现场数据不可行的情况下，宜使用经第三方评审的非现场数据的初级数据。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单元过程。同时应证明次级数据的适用性，并注明参考文件。

铜生产企业涉及的主要数据类型见表3。

表3 数据类型

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 　 | 　 | 类别 | 物料及数据清单 | 备注 |
| 现场特征数据 | 输入 | 原料消耗量 | 如：铜矿石、铜精矿、其他铜原料等 | 初级数据 |
| 燃料消耗量 | 煤、焦炭、天然气、柴油等 |
| 电力/热力 | 自产量和外购量 |
| 其他能源工质 | 水、氧气、氮气、压缩空气等 |
| 辅料消耗量 | 如：采矿消耗的炸药、水泥等；选矿消耗的钢球、衬板、药剂等；冶炼消耗的石英石、石灰石、耐火材料等。 |
| 第三方服务结算量 | 如现场运输服务、废渣、废水外委处置等 |
| 输出 | 主产品量 | 阳极铜、阴极铜等铜产品的产量 | 初级数据 |
| 共生产品量 | 阳极泥、硫酸镍、硫酸铜等产量 |
| 废弃物 | 现场产生的废渣；排入环境的水量及排水水质 |
| 温室气体直接排放 | 通过直接监测、化学计量、质量平衡或类似方法获得某一过程的温室气体排放量（或从大气吸收的清除量） |
| 背景数据 | 外购材料、燃料和服务 | 1）供应商/服务商排放数据； 2）材料/服务生产活动相关数据；3）公开或商业数据库的参数。 | 初级数据或次级数据根据数据获取情况收集 |
| 电力/热力 | 1）供应商排放数据；2）电力/热力的能源结构、输配电损失、燃料消耗量、燃料生产排放等参数。 |
| 运输分销 | 1）服务商的排放数据；2）运输量、运输方式、运距、储存等参数。 |
| 共生产品采用系统扩展方式时 | 替代路线的相关参数 |

注1：公开或商业数据的来源包括生命周期数据库、行业协会、机构、文献等；

注2：排放因子可包含产品生命周期的一个单一过程，或多重过程，在使用中须保持排放因子与过程

范围的一致性。

##### 6.1.2.2 数据质量要求

宜通过使用现有最高质量数据，尽可能地减少偏差和不确定性。数据质量的特征应包括定量和定性两个角度。数据质量的特性描述应涉及以下方面：

a)时间跨度：数据的年份和所收集数据的最小时间跨度；

b)地理覆盖范围：为实现产品碳足迹研究目的，所收集的单元过程数据的地理区域；

c)技术覆盖面：具体的技术或技术组合；

d)精度：对每个数据值的可变性的度量（例如方差）；

e)完整性：测量或测算的流所占的比例；按照数据取舍原则，尽可能避免数据缺失，缺失的数据需在报告中说明；完整性只是一个经验值，它是用来保证没有遗漏重要的已知因素。

f)代表性：反映实际关注人群对数据集（例如地理范围、时间跨度和技术覆盖面等）关 注程度的真实情况进行的定性评价；

注：技术上，数据反映实际生产技术情况，即体现实际工艺流程、技术和设备类型、原料与能耗类型、生产规模等因素的影响；时间上，数据反映被评价产品系统单元过程的实际时间；空间上，数据反映具体产品系统边界内单元过程的实际地理位置信息（如：国家或地点）。

g)一致性：对研究方法学是否能在敏感性分析的不同组成部分中统一应用而进行的定性评价；

h)可重现性：对其他独立从业人员采用同一方法学和数值信息重现相同研究结果的定性评价；

i)数据来源；

j)信息的不确定性。

##### 6.1.2.3 数据质量评价

开展产品碳足迹研究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。

数据质量宜参照表4进行定性评价，对质量较差的数据应进行敏感性分析。

表4 数据质量定性评价

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 评级 | 技术 | 时间 | 地域 | 可靠性 | 完整性 |
| 好 | 相同技术数据 | ≤3年 | 同一地区 | 测量或经核查 | 数据基本完整 |
| 一般 | 类似技术数据 | 3～5年（含） | 相似地区 | 部分测量或部分核查 | 数据完整性≥80% |
| 较差 | 不同技术数据 | 5～10年（含） | 不同地区 | 次级数据估算值 | 80%>数据完整性≥50% |
| 差 | 不明来源 | >10年 | 未知区域 | 不明来源的估算值 | 数据完整性<50% |

#### 6.1.3 初级数据收集

##### 6.1.3.1 时间段

初级数据的收集应每年进行一次(最近的日历年或最近的财政年度)，以避免生产过程中的特殊情况。其优点是年度数据体现了典型的运营习惯（如维护周期或季节周期）下的产品产量，也涵盖了生产波动的负荷变化因素。计算碳足迹的产品生产期少于12个月或者不是全年的，应当收集该产品生产期间的数据，或者从最近可获得的12个月开始，直至停止生产为止的数据。

##### 6.1.3.2 采矿

采矿作业分为地下采矿和露天开采。数据收集应包括采矿作业的所有相关操作，如提升、通风、照明等的电力消耗，以及铲装设备、卡车等的燃料消耗，和爆破矿岩的炸药消耗等，详见附录A表A.1。

##### 6.1.3.3 选矿

选矿作业根据矿石性质特征通常包括多个工艺环节。数据收集应包括从原矿到冶炼原料的所有操作，如矿石碎磨的钢球、衬板等消耗，起泡剂、絮凝剂、中和剂等选矿药剂消耗，选矿设备、照明等的电力消耗等，详见附录A表A.2。

##### 6.1.3.4 冶炼

冶炼工艺在典型工艺（见图2）下会衍生出很多不同的工艺组合。根据冶炼企业实际生产流程情况，数据收集应包括从铜矿浆/铜精矿/含铜废料等原料到产出阴极铜（或其他前序产品）的所有相关操作。

火法冶炼工艺一般包括粗炼过程的石英石、石灰石、耐火材料等消耗，冶金炉窑的还原剂、燃料消耗，风机、空压机、电解槽等设施的电力消耗等，详见附录A表A.3。

湿法冶炼工艺一般包括浸出过程使用的硫酸、中和剂石灰石、铜萃取剂等消耗，制备蒸汽的燃料消耗，生产设施、照明等电力消耗，详见附录A表A.4。

冶炼企业如外购含铜废料，应在报告中分以下类别说明，并应注明再生原料比例。

1）消费前废铜，包括废料名称、使用量、含铜量及主要成分等信息，以及供应商提供的温室气体排放数据。

2）消费后废铜，包括废料名称、使用量、含铜量及主要成分等信息，以及废铜拆解企业的温室气体排放数据。

再生原料比例按公式（1）计算：

$$再生原料比例=\frac{消费前废铜金属量+消费后废铜金属量}{所有原料含铜总量}×100\% （1）$$

 注：统计周期应与产品评价周期一致。

##### 6.1.3.5 消费后废铜回收

消费后铜废料回收阶段包含了废料收集、回收处理（如，拆解、破碎等）和不可回收物的处置（如填埋、焚烧）等过程。

废铜拆解分为粗拆和精拆两个阶段。人工将终端产品的各个零件分离的过程称为粗拆（如汽车拆解），利用拆解设备进一步将拆解下来的电机、电路板等含铜零部件粉碎、研磨成金属与非金属的混合物的过程称为精拆。

消费后含铜废料的系统边界从含铜零部件开始到获得可利用含铜废料等相关操作过程，终端产品的粗拆不在系统范围，见图5。如果二次含铜废料生产由报告企业运营或控制，则应采用企业特征数据，其数据收集可参照附录A.5；如果二次含铜废料由外部采购，则从特定供应商获得温室气体排放数据。



图5 消费后废铜原料的系统边界

#### 6.1.4 次级数据收集

##### 6.1.4.1 概述

如术语和定义中所述，次级数据包括无法从报告企业自身拥有的的信息系统中测量或收集到的所有数据，产品碳足迹的计算需要收集各种次级数据，如：

a）外购各种原辅材料、燃料、能源的温室气体排放，这些消耗品不是报告主体生产的；

b）温室气体排放因子，如：初级数据收集到的燃料转化为温室气体的排放系数；

c）各种材料、燃料的不同运输方式产生的温室气体排放；

d）废物处理服务等第三方服务的温室气体排放。

##### 6.1.4.2 材料、燃料及服务供应的温室气体排放

铜生产过程中消耗的辅助材料、燃料等，可能无法从供应商获得初级数据，可从公共数据库或商业数据库中获得相关数据，并说明来源。数据选用优先次序为：

——国家生命周期数据库

——国内相关行业平均数据

——其他国家或地区公开发布的数据库

——其他来源，如商业数据库。

##### 6.1.4.3 直接排放相关因子

燃料燃烧排放、还原剂排放和工业过程排放需要用到相应的排放因子。当燃料或含碳物质的相关特征参数（如含碳量等）能获得时，应采用特征参数计算排放因子；如无法获得特征参数时，宜采用缺省值。

##### 6.1.4.4 运输相关的温室气体排放

运输相关的温室气体排放可采用如下三种方法来计算：

方法1：收集运输环节的燃料消耗量，如柴油、汽油的消耗量；通过燃料消耗量乘以燃料生产的上游排放因子（见6.1.4.2）以及燃料燃烧排放因子计算得到运输环节的温室气体排放。

方法2：基于已知的运输工具和运输距离，通过运输距离乘以相应运输工具的运输排放因子计算得到运输环节的温室气体排放。运输排放因子可以从公开数据、行业统计或商业数据库获得。

方法3：只能获得起点和终点，其他运输条件未知的情况下，通过简单物流链和网络地图等获得运输距离，再根据运量和运输方式估算温室气体排放。

#### 6.1.5 电力温室气体排放量和清除量

##### 6.1.5.1 概述

电力是铜生产过程中的主要能源消耗，电力的生命周期排放取决于现场或电力供应商所采用的发电技术。与用电相关的温室气体排放量应包括：

——材料、燃料等供应的温室气体排放量，例如煤炭开采和运输至发电站的上游排放；

——发电过程中的温室气体排放量，包括电力输配过程中的线损；

——废弃物处理的温室气体排放量（例如核电站废料处理或燃煤电厂粉煤灰的处理等）。

注：6.1.5同样适用于购买和销售的热能、冷能以及压缩空气等能源。

##### 6.1.5.2 内部发电

当产品消耗的电为内部发电（例如现场发电），且未向第三方出售，则应将该电力的生命周期数据计入该产品的产品碳足迹量化。

##### 6.1.5.3 直供电力

如果该组织与发电站之间具有专用输电线路，且所消耗的电未向第三方出售，则可使用该电力供应商提供的电力温室气体排放因子。

##### 6.1.5.4 电网电力

当供应商能够通过合同的形式保证电力供应，应使用供应商特定电力生产的生命周期数据，电力产品应：

——传递电力生产单位相关信息以及发电机组特征信息；

——保证提供唯一的使用权；

——由报告实体或报告实体代表追踪、赎回、报废或注销；

——尽可能接近合同的适用期限，并包括相应的时间长度。

当无法获得供应商的具体电力信息时，应使用与电力来源相关的电网温室气体排放量。相关电网温室气体排放量应反映相关地区的电力消耗情况，不包括任何之前已声明归属的电力。如果没有电力追踪系统，所选电网温室气体排放量应反映该地区的电力消耗情况。

注1：合同是指双方之间签订的，用于出售和购买能源的任意形式的合约。例如中国绿证（GEC）、能源属性证书、 可再生能源证书（REC）或其他绿色电力证书等。

注2：发电机特征信息包括设备的登记名称、所有者和产生的能源性质、发电量和提供的可再生能源等。

注3：如果难以获得电力供应系统内某一过程的具体生命周期数据，可使用公认数据库（例如来自生态环境部、联合国环境规划署（UNEP）或联合国气候变化框架公约（UNFCCC）等中的数据）。

某些电力产品的属性（例如绿色证书），在出售时不直接与电力本身关联。在某些区域，来自可再生能源的部分电力作为可再生电力出售，但没有被排除在电网组合排放因子之外，在这种情况下，应使用电力跟踪系统开展相关消费电网组合敏感性分析，以此来展示结果的差异，并在产品碳足迹研究报告中进行报告。

### 6.2 数据分配

#### 6.2.1 概述

产品系统的输入和输出应根据明确规定的程序在主产品和副产品之间进行分配。

一个单元过程分配后的输入和输出总和应与其分配前的输入和输出相等。

当同时有几种备选分配程序时，应通过敏感性分析阐明偏离所选方法产生的影响。

#### 6.2.2 分配程序

产品碳足迹研究应包括确认与其他产品系统共享的单元过程，并按照以下步骤进行处理。

第 1 步：宜通过以下方法避免分配（从形式上看，步骤1不属于分配程序的一部分）；

首先，将拟分配的单元过程划分为两个或多个子单元过程，并收集与这些子过程相关的输入输出数据；

其次，如果单元过程无法划分，如存在有代表性的替代路线生产副产品，则可以采用系统扩展方法。系统扩展的原理是基于副产品节省或避免了另一个具有等效功能的产品系统。

第 2 步：若无法避免分配，宜以能反映它们之间潜在物理关系的方式（如物料平衡或能量平衡），将系统的输入和输出数据划分到不同产品或功能中；

第 3 步：当物理关系无法建立或无法用来作为分配基础时，则宜以能反映它们之间其他关系的方式将输入输出在产品或功能之间进行分配。例如可以根据产品的经济价值按比例将输入输出数据分配到共生产品。

 注：注意区分废弃物和副产品，没有经济价值的产物不能作为产品输出，不参与分配，而是作为废弃物计入产品系统的废弃物处理排放；仅在有明确证据显示有下游客户且产生了经济价值的情况下，才能作为副产品参与分配。

任何情况下，只有当共生产品的长期平均价格比例大于4时，才能采用产品经济价值比例进行分配。如果同一过程有两个及以上的产品，则应以产品中的最高价格与最低价格的比例为判定基准。经济价值评估中使用的价格应是全球的长期平均值（通常为10年平均值），并需要说明数据来源（如LME、世界银行等）。

当共生产品的长期平均价格比例小于等于4时，宜按质量比例关系进行分配（如金属量或实物质量）。

#### 6.2.3 推荐的分配方法

##### 6.2.3.1 采矿

采矿过程中原矿和废石被一起采出，如废石没有被销售，则作为废弃物不参与分配。当废石作为副产品被销售给下游作为原料（如作建筑材料）时，废石是具有经济价值的，而不是废弃物，则排放数据应在原矿和废石之间进行分配，同时企业应提供证明资料，并在报告中说明。

矿山生产的废石量可能远大于矿石量，如果按质量分配，会导致与经济活动目的相背离的结果，这显然不合理。采用经济价值分配，虽然能反应生产活动的目的，但未经选矿富集的铜矿石原矿直接市场交易的情况很少，缺少市场公允价值，且废石的价格受区域市场供需影响存在较大波动和不确定性，采用经济价值分配缺乏可操作的基础条件。因此，推荐采用系统扩展的方法，即采用废石所替代的建筑原材料的碳足迹值，作为所研究产品系统的碳信用而从中扣除。

对于采出的多金属矿，经后续选冶过程可以获得不同金属产品，这些产品的碳足迹评价需要对采矿环节进行分配时，推荐采用金属量比例进行分配。

##### 6.2.3.2 选矿

铜矿石常伴生钼、金、银、镍等其他金属。根据矿石性质和经济性，选矿流程会选择不同的选别工艺来把不同金属分选出来，最终输出铜精矿和其他矿产品（如钼精矿）。这种情况下，可根据选别工艺流程细分单元过程来进行分配，如把选钼工序分配给钼精矿，选铜工序分配给铜精矿，其他共用工序宜根据精矿价格比例是否大于4来选择经济价值分配或质量分配。

选矿输出的铜矿产品含有其他伴生元素，经下游冶炼后可获得不同金属产品。例如硫化铜精矿中铜、金、银是有价金属，且贵金属价格远超铜金属，推荐按经济价值分配给后续产品。氧化铜矿石中铜、钴是有价金属，是下游冶炼提取的对象，推荐按金属量分配给后续铜产品和钴产品。

##### 6.2.3.3 冶炼

（1）烟气制硫酸

火法冶炼烟气一般通过制酸方式获得硫酸产品，并实现烟气脱硫的效果。制酸系统作为独立的生产单元，一般很容易获得该单元的输入和输出，且该单元与硫酸产品具有更直接的联系。从尽量避免分配角度，建议优先采用细分过程的分配方法，即将制酸单元（从收尘后的烟气开始，到产出硫酸产品为止，包括污酸处理和酸性废水处理）的输入和输出全部分配给硫酸产品。如果报告主体没有建立分车间的统计而无法获得制酸单元的输入输出，方可采用系统扩展方法。

（2）渣选矿副产品

冶炼渣选矿有时配置选铁工序而副产铁精矿，此时宜细分单元过程，将选铁工序作为副产铁精矿的产品系统而排除在铜产品系统之外；渣选尾矿作为废弃物直接堆存时，渣选尾矿没有经济价值，不参与碳数据分配；渣选尾矿被下游接收去作建材原料而产生经济价值时，排放数据应在渣选精矿和渣选尾矿之间进行分配，同时企业应提供证明资料，并在报告中说明。由于渣选尾矿量大且下游应用有不确定性，推荐采用系统扩展的方法，即采用渣选尾矿所替代的建材原料的碳足迹值，作为所研究产品系统的碳信用而从中扣除。

（2）电解精炼副产品

冶炼流程可能副产阳极泥、硫酸铜、粗硫酸镍等，这些副产品价格通常与阴极铜产品价格差异较大（价格比例大于4），推荐按经济价值进行分配。

##### 6.2.3.4 二次含铜废料

消费前含铜废料：工业生产产生的铜废料，如性质未发生明显改变（如加工产生的边角料），宜按废料在废料供应企业铜原料的占比进行分配，进入使用该废料的产品系统中；如性质发生改变（如含铜污泥），宜按这部分废料的经济价值占比进行分配，并计入其下游使用该废料的产品系统中。

消费后含铜废料：废料回收主要是受回收材料的经济性驱动，为简化处理，终端产品生命末期处理和回收的排放可全部分配给后续使用回收废料的产品系统，即回收产品承担了生命末期处理和回收的排放。上一个产品系统不承担回收处理的排放，也不享受可回收材料的碳信用抵扣。

##### 6.2.3.5 运输

两种物料或产品一起运输时，则应基于产品重量或体积（以制约因素为主）来对运输产生的温室气体排放进行分配。

### 6.3 取舍准则

取舍准则在系统边界中已有规定，并应在此范围内考虑特定单元过程及其子单元过程的所有数据集。

建议收集全部的单元过程相关资料，包括设备/设施的定期维护也应纳入生命周期评估(例如，火法冶炼炉窑定期检修的耐火材料，机电设备用的润滑剂、润滑脂等)。

产品系统边界内需要许多材料和药剂的输入，但不一定可获得所有适用于每种物质的排放因子。为了避免某些物质因为缺少排放因子而被排除在外，建议对材料药剂进行分组，选取同一组别中最大的贡献者(质量)作为其他物质的代表。而其他如生石灰(CaO)需要单独收集数据，选矿的研磨介质应收集数据，即使它可能符合取舍准则。

### 6.4 清单计算

生命周期清单是以输入和输出之间的物质平衡为基础的，其结果通常表现为一系列的数据表（可参照附录B中表B.1），展示每声明单位产品在每个阶段/单元过程中的资源使用（如能源、水、原材料），以及释放到环境中的排放物（如温室气体、废水、固体废物）。

## 7 影响评价

### 7.1 全球变暖潜势值（GWP）的选取

应通过排放或清除的温室气体的质量乘以政府间气候变化专门委员会（IPCC）给出的 100年全球变暖潜势（GWP），来计算产品系统每种温室气体排放和清除的潜在气候变化影响，单位为kgCO2e/（kg 排放量）。产品碳足迹为所有温室气体潜在气候变化影响的总和。

若IPCC修订了全球变暖潜势值（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全球变暖潜势（GWP）和全球温度变化潜势（GTP），但应单独报告。

注：GWP100代表短期的气候变化影响，可反映变暖速度。100年GTP代表长期的气候变化影响，可反映长期温升。与其他时间范围相比，选择100年的时间范围并无任何科学依据。该时间范围是国际公约的一个价值判断，它权衡了不同时间范围内可能发生的影响。

### 7.2 产品碳足迹的计算

（1）生命周期各阶段的碳足迹计算公式如式（2）：

$GHG\_{k}=\sum\_{i}^{}(AD\_{i}×OF\_{i,j}×GWP\_{j})$ （2）

式中：

$GHG\_{k}$——生命周期k阶段的总排放量，单位为千克二氧化碳当量每声明单位（kgCO2e/声明单位）；

$AD\_{i}$——某生命周期阶段中第i项活动的活动水平数据，单位根据具体排放源确定；

$OF\_{i,j}$——第i种活动对应的温室气体j的碳足迹因子，单位与GHG活动数据相匹配；

$GWP\_{j}$——温室气体j对应的全球变暖潜势值（GWP），按照附录C中的规定进行取值。

（2）生命周期碳足迹汇总按公式（3）计算：

$GHG\_{总}=\sum\_{k}^{}GHG\_{k}$ （3）

式中：

$GHG\_{总}$——铜产品部分碳足迹值，单位为千克二氧化碳当量每声明单位（kgCO2e/声明单位）；

$GHG\_{k}$——生命周期k阶段的总排放量，单位为千克二氧化碳当量每声明单位（kgCO2e/声明单位）；

k——产品生命周期的各个阶段。

### 7.3 排放数据分析

（1）贡献度分析

计算各生命周期阶段的温室气体排放占比，有助于企业专注于重要阶段的数据收集和减排策略。

各生命周期阶段的温室气体排放占比=各生命周期阶段的温室气体排放量CO2e/生命周期温室气体排放量汇总结果CO2e × 100%

（2）绩效追踪

计划将产品碳足迹用于绩效追踪时，应满足以下针对产品碳足迹量化的附加要求：

a) 应针对不同时间点或空间范围进行研究；

b) 应针对相同声明单位计算产品碳足迹随时间或空间发生的变化；

c) 应使用相同的方法（例如选择和管理数据的系统、系统边界、分配、全球增温潜势等，以及相同的 PCR）计算产品碳足迹随时间或空间的变化。产品碳足迹绩效追踪的时间间隔不应短于 6.1.3.1 所述的数据时间界限，且应在目的和范围中予以描述。产品碳足迹用于空间绩效追踪时，不同时间段的空间系统划分要保持一致。

### 7.4 数据更新

阴极铜及其前序产品的碳足迹数据应至少每五年更新一次，或每当影响其排放强度的参数发生重大变化时更新一次。下列情况应被视为触发重大变化:

1） 生产发生结构性变化，包括操作中的重大工艺变化、技术进步、原材料或能源输入/输出。

2） 计算方法发生变化，如：全球增温潜势值或收集数据的准确性提高，纳入新的对排放数据产生重大影响的数据源。

3） 发现重大错误，或累积起来的重大错误。

## 8 结果解释

产品碳足迹研究的生命周期解释阶段应包括以下步骤：

a) 根据生命周期清单分析和生命周期影响评价的产品碳足迹和产品部分碳足迹的量化结果，识别显著环节（可包括生命周期阶段、单元过程或流）；

b) 完整性、一致性和敏感性分析；

c) 结论、局限性和建议的编制。

应根据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或范围；

——详细记录选定的分配程序；

——说明产品碳足迹研究的局限性，包括但不限于：关注单一环境问题、方法论相关的局限性。

解释宜包括以下内容：

——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；

——描述地理格网的划分方法及地理格网的尺度要求原则（如适用）。

注：更多信息见 GB/T 24044-2008 4.5。

## 9 产品碳足迹报告

产品碳足迹评价报告应记录产品碳足迹的量化结果，并陈述在评价目标和范围确定阶段内所做的决定以及证明产品碳足迹评价符合本标准中的要求。报告应包括但不仅限于以下内容：

### 9.1 基本情况

1） 产品碳足迹评价委托方与评价方；

2） 产品描述：产品信息描述应包括产品名称、牌号、规格等级、批次、含铜品位、再生铜占比、生产商信息以及联系方式等。

3） 声明单位：本标准规定的声明单位为1吨铜产品（如：1吨粗铜、1吨阴极铜）。

4） 报告日期；

5） 依据的标准。

### 9.2 量化目的

1） 开展评价的原因与目标；

2） 评价的潜在用途和局限性。

### 9.3 量化范围

1） 产品说明，包括功能和技术参数；

2） 声明单位以及基准流；

3） 系统边界，包括：

——明确定义产品的系统边界，以流程图形式表示其所涵盖的单元过程；

——有关单元过程处理的决策准则（考虑其对产品碳足迹研究结论的重要性）；

——产品系统关联的单元过程地理位置、地理格网的划分规则、格网级别的选取，并说明其理由（如适用）；

4） 取舍准则：列出排除在外的单元过程或因素，并说明理由和其合理性。

5） 生命周期各阶段的描述。

### 9.4 清单分析

1） 数据收集信息，包括数据来源；

2） 单元过程的定性和定量描述；

3） 纳入考虑范围的 GHG 清单；

4） 分配原则与程序；

5） 数据说明，包括数据质量评价与对缺失数据的处理。

### 9.5 影响评价

1） 特征化因子：使用的全球变暖潜势GWP值。

2） 产品碳足迹计算

以清单方式，列出生命周期各单元过程的二氧化碳及其他温室气体的排放量、总的二氧化碳当量。

### 9.6 结果解释

1) 根据生命周期清单分析和生命周期影响评价的铜产品碳足迹的量化结果，识别重大问题（可包括生命周期阶段、单元过程或流）。

2) 不确定性和敏感性分析结果；

3) 结论、局限性和建议的编制。

## 10 产品碳足迹声明

可按照GB/T 24025或ISO14026的规定开展产品碳足迹声明或信息交流，使具有同样功能的产品之间进行比较。相关声明或信息交流中的产品碳足迹研究报告可参考附录B。

## 附 录 A

## (资料性)

## 产品碳足迹量化数据收集表

涉及的主要环节初级数据和次级数据的收集见表A.1至表A.11。

以下数据收集表只是示例，并不代表全部收集范围，报告主体应根据生产系统实际情况补充或调整。

表A.1 现场特征数据收集范例（采矿）

|  |
| --- |
| 单元过程及统计口径描述：时间段：起始时间 年 月 日； 终止时间 年 月 日 |
| 制表人： 制表日期： |
| **输入** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/来源** |
| 炸药 |  | 　 |  |  | 　 |
| 水泥 |  | 　 |  |  | 　 |
| 轮胎 |  |  |  |  |  |
| 燃料（如柴油、汽油、天然气等） |  | 　 |  |  | 　 |
| 电力 |  | 　 |  |  | 　 |
| 外购热力 |  | 　 |  |  | 　 |
| 第三方服务（如有） | 　 | 　 |  |  | 　 |
| **输出** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/去向** |
| 矿石 |  | 　 |  |  | 　 |
| 表土 |  |  |  |  |  |
| 废石 |  | 　 |  |  | 　 |
| 温室气体直接排放（燃烧、工业过程） |  |  |  |  |  |
| 注1：此数据收集表中的数据是指规定时间段内所有未分配的输入和输出；注2：燃料和热力应注意换算为热量单位，因为排放通常与热量相关。 |

表A.2 现场特征数据收集范例（选矿）

|  |
| --- |
| 单元过程及统计口径描述：时间段：起始时间 年 月 日； 终止时间 年 月 日 |
| 制表人： 制表日期： |
| **输入** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/来源** |
| 原矿 |  |  |  |  |  |
| 钢球 |  | 　 |  |  | 　 |
| 衬板 |  | 　 |  |  | 　 |
| 胶带 |  |  |  |  |  |
| 生石灰 |  |  |  |  |  |
| 药剂 |  |  |  |  |  |
| 燃料（如柴油、汽油、天然气等） |  | 　 |  |  | 　 |
| 电力 |  | 　 |  |  | 　 |
| 水 |  |  |  |  |  |
| 外购热力 |  | 　 |  |  | 　 |
| 第三方服务（如有） | 　 | 　 |  |  | 　 |
| **输出** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征** |
| 铜精矿/矿浆 |  | 　 |  |  | 　 |
| 共生品（或副产品） |  |  |  |  |  |
| 尾矿 |  |  |  |  |  |
| 温室气体直接排放（燃烧、工业过程） |  |  |  |  |  |
| 注1：此数据收集表中的数据是指规定时间段内所有未分配的输入和输出；注2：燃料和热力应注意换算为热量单位，因为排放通常与热量相关。 |

表A.3 现场特征数据收集范例（冶炼-火法工艺）

|  |
| --- |
| 单元过程及统计口径描述：时间段：起始时间 年 月 日； 终止时间 年 月 日 |
| 制表人： 制表日期： |
| **输入** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/来源** |
| 铜精矿 |  | 　 | 　 |  |  |
| 其他铜原料 |  | 　 | 　 |  |  |
| 石英石 |  | 　 | 　 |  |  |
| 石灰石 |  | 　 | 　 |  |  |
| 耐火材料 |  | 　 | 　 |  |  |
| 硫酸钡 |  | 　 | 　 |  |  |
| 药剂 |  |  |  |  |  |
| 燃料（如煤、柴油、天然气等） |  | 　 | 　 |  |  |
| 还原剂（如焦炭、天然气等） |  | 　 | 　 |  |  |
| 电力 |  | 　 | 　 |  |  |
| 水 |  |  |  |  |  |
| 外购热力 |  | 　 | 　 |  |  |
| 外购氧气 |  |  |  |  |  |
| 第三方服务（如有） | 　 | 　 | 　 |  |  |
| **输出** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/去向** |
| 阴极铜 |  | 　 | 　 |  |  |
| 共生品（副产品） |  |  |  |  |  |
| 废弃物 |  |  |  |  |  |
| 渣选尾矿 |  | 　 | 　 |  |  |
| 温室气体直接排放（燃烧、还原剂排放、工业过程） |  |  |  |  |  |
| 注1：此数据收集表中的数据是指规定时间段内所有未分配的输入和输出；注2：燃料和热力应注意换算为热量单位，因为排放通常与热量相关。 |

表A.4 现场特征数据收集范例（冶炼-湿法工艺）

|  |
| --- |
| 单元过程及统计口径描述：时间段：起始时间 年 月 日； 终止时间 年 月 日 |
| 制表人： 制表日期： |
| **输入** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/来源** |
| 碎磨后的铜矿 |  | 　 | 　 |  |  |
| 硫磺 |  |  |  |  |  |
| 外购硫酸 |  | 　 | 　 |  |  |
| 石灰 |  | 　 | 　 |  |  |
| 石灰石 |  | 　 | 　 |  |  |
| 萃取剂 |  | 　 | 　 |  |  |
| 絮凝剂 |  | 　 | 　 |  |  |
| 氧化镁 |  |  |  |  |  |
| 其他药剂 |  |  |  |  |  |
| 燃料（如煤、柴油、天然气等） |  | 　 | 　 |  |  |
| 电力 |  | 　 | 　 |  |  |
| 水 |  |  |  |  |  |
| 外购热力 |  | 　 | 　 |  |  |
| 第三方服务（如有） | 　 | 　 | 　 |  |  |
| **输出** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/去向** |
| 阴极铜 |  | 　 | 　 |  |  |
| 粗氢氧化钴 |  |  |  |  |  |
| 尾渣 |  |  |  |  |  |
| 温室气体直接排放（燃烧、还原剂排放、工业过程） |  |  |  |  |  |
| 注1：此数据收集表中的数据是指规定时间段内所有未分配的输入和输出；注2：燃料和热力应注意换算为热量单位，因为排放通常与热量相关。 |

表A.5 现场特征数据收集范例（消费后废铜的回收）

|  |
| --- |
| 单元过程及统计口径描述：时间段：起始时间 年 月 日； 终止时间 年 月 日 |
| 制表人： 制表日期： |
| **输入** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/来源** |
| 含铜零部件 |  | 　 | 　 |  |  |
| 辅助材料 |  |   |  |  |  |
| 燃料（如煤、柴油、天然气等） |  | 　 | 　 |  |  |
| 电力 |  | 　 | 　 |  |  |
| 水 |  |  |  |  |  |
| 外购热力 |  | 　 | 　 |  |  |
| 第三方服务（如有） | 　 | 　 | 　 |  |  |
| **输出** | **单位** | **数量** | **运距** | **运输方式** | **规格特征/去向** |
| 含铜原料 |  | 　 | 　 |  |  |
| 副产品 |  |  |  |  |  |
| 废弃物 |  |  |  |  |  |
| 温室气体直接排放（燃烧、工业过程） |  |  |  |  |  |
| 注1：此数据收集表中的数据是指规定时间段内所有未分配的输入和输出；注2：燃料和热力应注意换算为热量单位，因为排放通常与热量相关。 |

表A.6 背景数据收集范例1-外购商品（方法1）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外购商品 | 规格等级 | 功能单位 | 排放因子 | 数据来源 | 数据时间 |
| 炸药 |  | 1t |  | kgCO2 | 如：供应商 |  |
| 铜精矿 |  | 1t | 　 | kgCO2　 | 如：供应商　 | 　 |
| 石灰石 |  | 1t | 　 | kgCO2 | 如：国家生命周期数据库 | 　 |
| 石英石 |  | 1t | 　 | kgCO2　 | 如：某商业数据库　 | 　 |
| 硫酸钡 |  | 1t | 　 | kgCO2　 | 如：某文献　 |  |
| … |  | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |

表A.7 背景数据收集范例2-某外购商品X的生产（方法2）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 活动水平数据 | 规格等级 | 单位 | 每功能单位消耗量 | 数据来源 | 数据时间 |
| 原材料A |  | t  | 　 | 如：供应商　 | 　 |
| 燃料B（如柴油） |  | t | 　 | 如：国家生命周期数据库 | 　 |
| 电力 |  | kWh | 　 | 如：某商业数据库　 | 　 |
| 废弃物 |  | t | 　 | 如：某文献　 |  |
| 排放因子参数 | 规格等级 | 功能单位 | 排放因子 | 数据来源 | 数据时间 |
| 原材料A |  | 1t |  | 如：供应商　 |  |
| 燃料B（如柴油） |  | 1t |  | 如：国家生命周期数据库 |  |
| 电力 |  | 1MWh |  | 如：某商业数据库　 |  |
| 废弃物 |  | 1t |  | 如：某文献　 |  |
| 商品X碳足迹合计 |  kgCO2/功能单位 |

表A.8 背景数据收集范例3-外购服务

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 服务项目 | 方法1 | 方法2 | 数据来源 |
| 结算量 | 排放因子 | 直接排放（tCO2） | 电耗（kWh） | 热力消耗（GJ） | 其他 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 供应商 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |

表A.9 背景数据收集范例4-运输（方法1）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 商品名称 | 运输量（t） | 运输燃料 | 燃料量（t） | 燃料上游因子 | 燃料燃烧因子 | 资料来源 |
| 铜精矿 | 　 | 如：柴油 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 石英石 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 石灰石 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 块煤 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| … | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |

表A.10 背景数据收集范例5-运输（方法2）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 商品名称 | 运输量（t） | 运输方式 | 运距（km） | 运输排放因子（kgCO2/t•km） | 资料来源 |
| 铜精矿 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 石英石 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 石灰石 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 块煤 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| … | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |

表A.11 背景数据收集范例6-运输（方法3）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 商品名称 | 起点 | 终点 | 运输方式假设 | 运距 | 排放因子 | 资料来源 |
| 铜精矿 | 　 | 　 | 　 | 　 |  | 　 |
| 石英石 | 　 | 　 | 　 | 　 |  | 　 |
| 石灰石 | 　 | 　 | 　 | 　 |  | 　 |
| 块煤 | 　 | 　 | 　 | 　 |  | 　 |
| … | 　 | 　 | 　 | 　 |  | 　 |

## 附 录 B

## （资料性）

## 产品碳足迹报告（模板）

产品碳足迹评价报告

产品名称：

产品规格等级：

声明单位：

生产单位：

评价机构：

报告主体： （盖章）

评价机构（如有）： （盖章）

日期： 年 月 日

1. 基本情况

1.1 生产者信息

生产者名称：

社会信用代码：

地 址：

法定代表人：

授权人（联系人）：

联系电话：

电子邮箱：

企业概况：

1.2 产品信息

产品名称：

规格及等级：

产品介绍：

产品图片：

1.3 量化方法

依据标准：

1. 量化目的

披露产品生命周期碳足迹对于产品生产企业的发展而言具有重要意义。企业对产品生命周期温室气体排放进行评价后，可根据评价结果采取有效可行的措施来减少供应链中的温室气体排放。

披露碳足迹，对消费者而言可使其掌握产品的温室气体排放数据，了解其做出的购买决定对温室气体排放产生的影响。

1. 量化范围

3.1 声明单位

以 为声明单位

3.2 系统边界 (包括但不限于对生命周期阶段描述)

对 碳足迹的计算涵盖了从 到 生命周期的各个阶段，属于“从摇篮到大门”模式，确定生命周期包括以下：

——铜矿石的开采

——铜矿石的选矿

——其他铜原料的获取

——冶炼生产加工

据此建立系统边界图，如图B.1：

图 B.1 系统边界图

3.3 取舍准则

采用的取舍准则以 为依据，具体规则如下：

3.4 时间范围

 年度

1. 清单分析

4.1 数据收集程序

4.2 单元过程的定性和定量描述

4.3 数据说明 （具体数据列表参照附录A）

初级数据：

次级数据：

软件与数据库：

4.4 分配原则与程序

分配依据：

分配程序：

具体分配情况如下：

4.5 清单计算及结果

生命周期清单分析见表B.1（示例）。

表B.1 阴极铜生命周期清单数据汇总（每声明单位）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 生命周期各阶段 | 流 | 活动数据 | 排放因子 | GHG排放量 |
| 铜矿石的开采 | 炸药 |  |  |  |
| 水泥 |  |  |  |
| 柴油 |  |  |  |
| 各类物料运输 |  |  |  |
| 电力 |  |  |  |
| 水 |  |  |  |
| 废弃物 |  |  |  |
| 直接温室气体排放 |  |  |  |
| 铜精矿/矿浆的生产 | 铜矿石 |  |  |  |
| 钢球 |  |  |  |
| 衬板 |  |  |  |
| 胶带 |  |  |  |
| 生石灰 |  |  |  |
| 选矿药剂 |  |  |  |
| 各类物料运输 |  |  |  |
| 柴油 |  |  |  |
| 电力 |  |  |  |
| 水 |  |  |  |
| 废弃物 |  |  |  |
| 直接温室气体排放 |  |  |  |
| 含铜废料的获取 | 材料 |  |  |  |
| 能源 |  |  |  |
| 废弃物 |  |  |  |
| 直接温室气体排放 |  |  |  |
| 冶炼加工生产 | 各种含铜原料 |  |  |  |
| 石英石 |  |  |  |
| 石灰石 |  |  |  |
| 耐火材料 |  |  |  |
| 硫酸钡 |  |  |  |
| 无烟煤 |  |  |  |
| 天然气 |  |  |  |
| 柴油 |  |  |  |
| 各类物料运输 |  |  |  |
| 电力 |  |  |  |
| 热力 |  |  |  |
| 水 |  |  |  |
| 废弃物 |  |  |  |
| 直接排放 |  |  |  |

4.6 数据质量评价

数据质量评估的目的是判断计算结果和结论的可信度，并指出提高数据质量的关键因素。本评价数据质量可从定性和定量两个方面进行管控和评估，具体评价内容包括：数据可靠性（来源）、数据代表性（时间、地理、技术）、准确度、完整性（说明缺失数据处理方案）。

1. 影响评价

5.1 特征化因子的选择

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

5.2 产品碳足迹结果计算

针对生命周期各阶段，逐个单元进行计算并汇总。

1. 结果解释

6.1 结果说明

 XXX （每声明单位的产品）从 （填写某生命周期阶段阶段）到 XXX （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 B.2(或B.3)和图 B.2 所示。

表B.2 铜精矿产品“摇篮-到-大门”碳足迹汇总表（单位： tCO2e）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 生命周期阶段 | 碳足迹（kg CO2e/t 精矿） | 百分比（%） |
| 铜矿石的开采 |  |  |
| 铜矿石的运输 |  |  |
| 能源的获取 |  |  |
| 外购材料和服务的获取 |  |  |
| 其他物料的运输 |  |  |
| 废弃物处置 |  |  |
| 选矿生产直接排放 |  |  |
| 碳信用（如有） |  |  |

注1：如材料能源等输入已包含了废弃物处置，则废弃物处置可不单独列示，应注意避免重复计算。

表B.3 铜冶炼产品“摇篮-到-大门”碳足迹汇总表（单位： tCO2e）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 产品 | 生命周期阶段 | 碳足迹（kg CO2e/t 铜产品） | 百分比 |
| 阴极铜（铜锍、粗铜、阳极铜） | 铜精矿的生产 |  |  |
| 其他含铜原料的生产 | 　 | 　 |
| 含铜原料的运输 |  |  |
| 能源的获取 | 　 | 　 |
| 外购材料和服务的获取 |  |  |
| 其他物料的运输 | 　 | 　 |
| 废弃物处置 | 　 | 　 |
| 冶炼生产直接排放 | 　 | 　 |
| 碳信用（如有） | 　 | 　 |

注1：如材料能源等输入已包含了废弃物处置，则废弃物处置可不单独列示，应注意避免重复计算。

图 B.2 \*\*各生命周期阶段温室气体排放分布图

一般以饼状图或是柱形图表示各生命周期阶段的温室气体排放情况。

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

## 附 录 C

## （资料性）

## 全球增温潜势值

在计算用于GHG全球增温潜势值时，须参照表C.1中的规定。

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（截至出版时） |
| 二氧化碳 | CO2 | 1 |
| 甲烷 | CH4 | 27.9 |
| 氧化亚氮 | N2O | 273 |
| 三氟化氮 | NF3 | 17400 |
| 氢氟碳化物（HFCs） |
| HFC-23 | CHF3 | 14600 |
| HFC-32 | CH2F2 | 771 |
| HFC-41 | CH3F | 135 |
| HFC-125 | C2HF5 | 3740 |
| HFC-134 | CHF2CHF2 | 1260 |
| HFC-134a | C2H2F4 | 1530 |
| HFC-143 | CH2FCHF2 | 364 |
| HFC-143a | CH3CF3 | 5810 |
| HFC-152a | C2H4F2 | 164 |
| HFC-227ea | C3HF7 | 3600 |
| HFC-236fa | C3H2F6 | 8690 |
| 全氟碳化物（PFCs） |
| 全氟甲烷（四氟甲烷） | CF4 | 7380 |
| 全氟乙烷（六氟乙烷） | C2F6 | 12400 |
| 全氟丙烷 | C3F8 | 9290 |
| 全氟丁烷 | C4F10 | 10000 |
| 全氟环丁烷 | C4F8 | 10200 |
| 全氟戊烷 | C5F12 | 9220 |
| 全氟己烷 | C6F14 | 8620 |
| 六氟化硫 | SF6 | 25200 |
| 注：部分温室气体的全球变暖潜势来源于气候变化专门委员会（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》 |

## 参 考 文 献

[1] WRI 和 WBCSD《温室气体议定书：产品生命周期核算与报告标准》, 世界资源研究所和世界可持 续发展工商理事会, 2011 年

[2] PAS 2050:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services

[3] Santero, N., & Hendry, J. (2016). Harmonizaton of LCA methodologies for the metal and mining industry. Int J Life Cycle Assess, 21, 1543–1553. Retrieved from htps://doi.org/10.1007/s11367-015-1022-4