

# T/XJZJXH

## 新疆维吾尔自治区质量检验检测协会团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

### 产品碳足迹评价技术规范 工业硅

Technical specification for carbon footprint evaluation of industrial silicon

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

新疆维吾尔自治区质量检验检测协会 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 评价目的 .....	2
5 评价范围 .....	2
6 数据和数据质量 .....	4
7 生命周期清单分析 .....	5
8 影响评价 .....	8
9 结果解释 .....	9
10 产品碳足迹报告 .....	9
11 产品碳足迹评价工作 .....	10
附 录 A （资料性） 工业硅主要生产工艺 .....	12
附 录 B （资料性） 数据质量评价 .....	13
附 录 C （资料性） 工业硅产品碳足迹评价数据 .....	14
附 录 D （资料性） 全球增温潜势 .....	15

## 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。

本文件由国网新疆综合能源服务有限公司提出并归口。

本文件起草单位：国网新疆电力有限公司经济技术研究院、新疆大学、国网新疆综合能源服务有限公司、新疆碳途环能碳科技有限公司。

本文件主要起草人：孙家文、撒金海、柏青、张旭龙、裴新军、薛丰源、马慧、柳立慧、曼丽丹·泽尔民别克、周二彪、朱剑利、马磊磊、查传明、华东、廖孟柯、李忠政、常鹏、李安迪、刘玄卯、李慧子。

本文件实施应用中的疑问、修改意见和建议，请咨询国网新疆综合能源服务有限公司。

联系电话：

邮编：

# 产品碳足迹评价技术规范 工业硅

## 1 范围

本文件规定了工业硅产品碳足迹评价的总体要求与通用方法，涵盖以下核心内容：评价目的、评价范围、数据和数据质量、生命周期清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告及产品碳足迹评价。本文件适用于以工业硅生产为主营业务的企业全生命周期的碳足迹量化与评价。

## 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 2881 工业硅

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 32151.41 温室气体排放核算与报告要求 第 41 部分：工业硅生产企业

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 量化要求与指南

DB15/T 4057 温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 硅产品（内蒙古）

T/CNIA 0257 《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 工业硅》

ISO 14026 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)

## 3 术语和定义

GB/T 24040、GB/T 24044、GB/T 24067、GB/T 32150界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 工业硅 industrial silicon

由硅石和碳质还原剂在矿热炉内经高温反应冶炼形成的产品，可用于冶金、化工、电子、新能源等领域。

### 3.2 背景数据 background data

产品生命周期清单中，来源于报告企业自身现场之外的数据，涵盖外购的原辅材料、能源以及服务在其各自生产或提供过程中产生的清单数据。

注：背景数据按其来源和质量，可以是初级数据，也可以是次级数据。

### 3.3 地理位置 geographic location

用于表征某一地理空间实体（如过程、设施）在地球表面上所处具体区域的标定信息。

注：在生命周期评价中，该位置信息可采用点坐标、面区域或单元网格等不同形式的参照系进行描述。

### 3.4 电碳模型 electricity-carbon model

用于核算电力消耗相关碳排放量的数学模型，结合电力来源结构、时间分布、地理区域、输配电损失等参数计算碳排放因子。

### 3.5 动态电力排放因子 background data

根据实时或周期性电力结构数据计算的单位电力碳排放量，单位为tCO<sub>2</sub>/MWh。

## 4 评价目的

确定硅产品碳足迹评价目的时，应明确说明以下各项内容：

- 评价结果的应用意图；
- 开展碳足迹评价的原因；
- 预期的产品碳足迹公开方式及目标受众；
- 符合 ISO 14026 要求，提供产品碳足迹交流信息（如有）。

## 5 评价范围

### 5.1 产品描述

产品描述应使用户能够清晰识别产品，基本信息描述包括但不限于如下内容：

- a) 产品名称、品级/牌号；
- b) 产品批号；
- c) 分析检验结果；
- d) 出厂日期。

### 5.2 声明单位

量化碳足迹应确定声明单位。声明单位的表述中应包含影响碳足迹量化的产品系统的主要功能；产品碳足迹报告（见附录A）中应以每声明单位的温室气体排放量（以二氧化碳当量为单位）记录产品碳足迹的量化结果。

示例：1 吨工业硅。

### 5.3 系统边界

#### 5.3.1 系统边界的设定

本文件设定的工业硅产品系统边界定义为“从摇篮到大门”，即从原辅材料获取到产品离开生产企业大门为止的温室气体排放量和清除量的累计，主要包括原辅材料和能源获取以及生产制造两个阶段，工业硅产品的生命周期系统边界见图1。

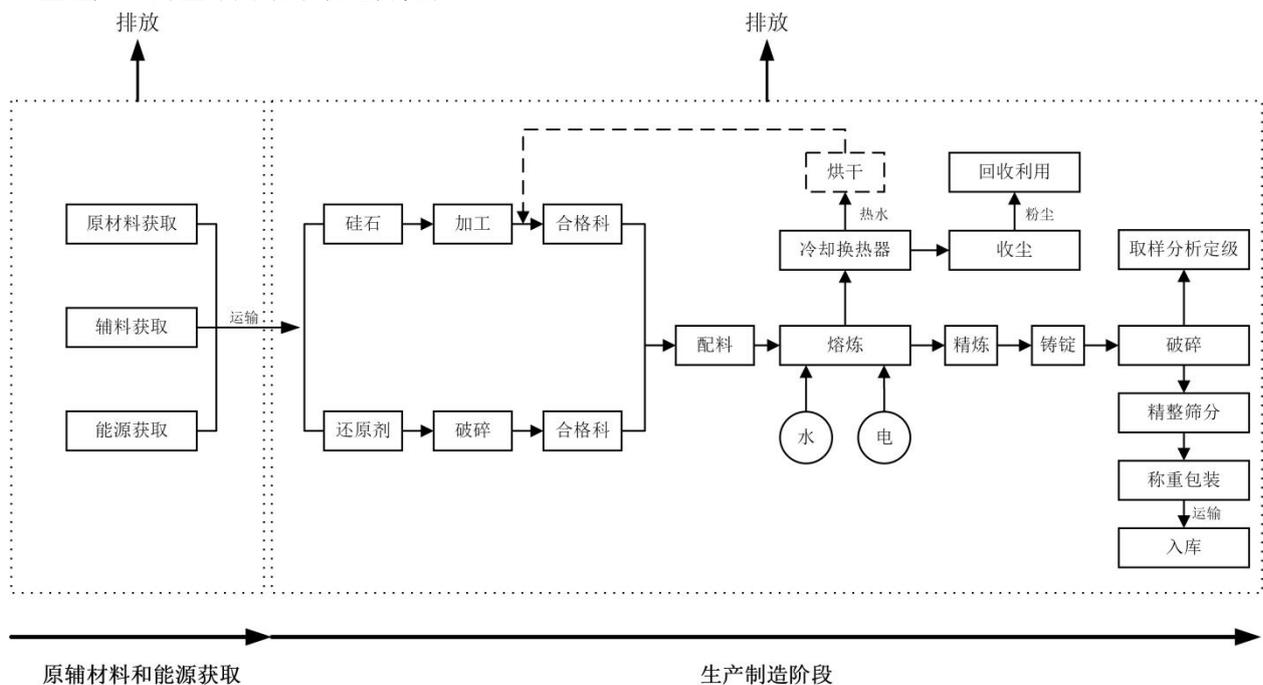


图1 工业硅产品生命周期系统边界图

### 5.3.2 生命周期阶段

#### 5.3.2.1 原辅材料和能源获取阶段

该阶段为上游供应商提供的各种原辅料产生的排放,包括进入生产阶段的所有原辅材料的获取和加工过程中产生的排放。具体过程包括:

- a) 原辅材料的获取和运输相关过程,包括:
  - 1) 原材料的获取和运输过程;
  - 2) 辅助材料的获取和运输过程。
- b) 能源的获取和运输过程。

#### 5.3.2.2 生产阶段

该阶段为生产工业硅产品产生的排放,生产阶段产生的碳排放包括能源使用、生产过程排放、场内运输排放和废水、烟气、废弃物处理产生的排放,工业硅生产工艺流程见附录A。具体过程包括:

- a) 配料称重;
- b) 熔炼、精炼、浇铸、精整筛分;
- c) 称重包装;
- d) 入库;
- e) 其他生产制造过程。

#### 5.3.2.3 排除的过程

以下过程不纳入产品碳足迹核算与评价范畴:

- a) 厂房建筑物(如:生产厂房、办公楼)等固定资产的建设过程;
- b) 生产企业的设备设施(如:熔炼炉本身)制造过程;
- c) 对制造设备、设施和工具器的安装;
- d) 工厂办公室照明、办公采暖(外购)、卫生设施和清洁设施、食堂运营、厂区绿化的耗能;
- e) 生产企业员工通勤、客户接待、商务出差等;
- f) 产品研发、推介活动;
- g) 土地利用变化排放与清除;
- h) 产品离开报告主体(生产企业)的运输和仓储、分销、回收处理阶段。

### 5.3.3 单元过程的划分

#### 5.3.3.1 划分原则

需确保评价边界内生产过程的完整性、数据的可获得性、可追溯性和可核查性。单元过程不等同于生产工序,可根据数据的可得性和完整性,把多个工序划分为一个单元过程,也可将一个工序划分为多个单元过程。确保各单元过程输入的原辅材料和能源消耗,以及输出的中间产品、副产品和废弃物的数量可获取。

单元过程的划分宜考虑地理位置,确保能够计算各个单元过程温室气体排放,以及单元过程温室气体排放对总排放量的贡献率,用来支持产品、技术和管理的改进。

注:如需开展产品碳足迹的地理范围分析时,宜将相关单元过程与其所处的地理位置进行关联。

#### 5.3.3.2 流程示意图

画出需要获取的单元过程流程示意图,用于企业数据收集和计算。每个单元过程都应单独收集数据。单元过程流程示意图至少应包括以下几点:

- a) 所定义的生命周期阶段;
- b) 每个生命周期阶段各单元过程的输入和输出的原辅材料/能源消耗和产品/废弃物;
- c) 明确系统边界内排除的任何过程(见5.3.2.3)。

#### 5.3.4 取舍原则

在工业硅产品碳足迹评价过程中，不应将有实质性贡献的温室气体排放与清除排除在外。应量化至少95%与声明单位相关的生命周期内预计会产生的温室气体排放与清除，可舍弃产品碳足迹影响小于1%的环节，但所有舍弃的合计值不应超过产品碳足迹总量的5%。

舍去的温室气体排放与清除应有书面记录。所选择的取舍准则对评价结果产生的影响应在评价报告中做出解释。

## 6 数据和数据质量

### 6.1 通用要求

量化工业硅产品碳足迹时，应根据系统边界和包括的生命周期阶段和功能单元进行数据收集，并明确记录数据的收集过程、收集时间和地理信息。

### 6.2 数据描述

工业硅产品的碳足迹量化需要收集现场数据和背景数据。

现场数据是产品生产阶段各工序的实际测量与统计结果，包括原辅料、能源消耗、产品产出、废弃物排放及运输信息等直接清单数据。

背景数据则来源于外部数据库、认证报告或学术文献，用于补充无法直接从生产系统获得的信息。可量化的背景数据（如供应商提供的清单数据）属于初级数据；不可量化部分（如上游排放因子）属于次级数据。

次级数据仅在初级数据不可行或过程影响较小时使用，引用时需说明其适用性、来源及选取依据。工业硅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

类别		物料及数据清单	备注
现场数据	输入	原料	含硅石矿、还原剂、疏松剂等
		燃料	煤、焦炭、天然气、柴油、汽油等
		电力/热力	自产量和外购量
		其他耗能工质	水、氧气、氮气、压缩空气等
		辅材	生产过程中消耗的木炭、石油焦等
	第三方服务	如现场运输服务、废渣、废水外委处置等	
	输出	主产品	Si含量98%-99.5%的硅产品
共生产品/副产品		微硅粉、炉渣等	
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释放的排放量（或从大气吸收的清除量）	初级数据
背景数据	外购辅材、燃料和服务	—— 供应商/服务商提供的排放因子； —— 公开或商业数据库中的排放因子； —— 供应商提供的生命周期排放因子；	初级数据或次级数据 （根据数据获取情况收集）
	电力/热力	—— 电力/热力能源结构、输配电损失、燃料消耗量、燃料上游排放等	
	运输	—— 供应商/服务商提供的排放因子； —— 运输方式、运输工具规格型号等	
	共生产品采用系统扩展方式时	替代路线的相关参数	
注1：次级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：碳足迹因子可包含产品生命周期的一个单一过程，或多重过程，在使用中保持碳足迹因子与过程范围的一致性。			

### 6.3 数据质量要求

开展工业硅产品碳足迹评价时，应选取能满足评价目标与范围的初级数据和次级数据。数据质量的特征应包括定量和定性两个方面，相关特性描述应涉及以下方面：

- a) 时间覆盖范围：数据的年份和所收集数据的最小时间长度；
  - 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位置；
  - c) 技术覆盖范围：具体的技术或技术组合；
  - d) 准确性：当数据、模型和假设等存在多种选择时，应优先考虑质量最好的数据，尽可能减少偏差和不确定性；
  - e) 完整性：测量或测算的流所占的比例；
  - f) 代表性：反映实际关注人群对数据集（即时间覆盖范围、地理覆盖范围和技术覆盖范围等）关注程度的真实情况进行的定性评价；
- 注1：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。
- 注2：时间上，数据反映被评价产品系统单元过程的实际时间。
- 注3：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。
- 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：优先使用初级数据，如果无法获取初级数据，可以使用次级数据，并进行书面记录，解释数据来源和使用理由；
  - j) 信息的不确定性（例如：数据、模型和假设）。

#### 6.4 数据质量评价

- a) 开展工业硅产品碳足迹研究的组织应建立并维护数据管理系统，以保留碳足迹评价相关的所有文件、记录和元数据。
- b) 数据质量应依据附录 B 提供的方法进行评价，计算数据质量等级，并识别出质量较差的数据项。
- c) 对于质量较差的数据，应评估其导致的不确定性对最终碳足迹结果的影响。此项评估应通过敏感性分析（见 9. b）完成，其目的是：
  - 1) 识别对碳足迹结果影响显著的关键数据项（即敏感性高的数据）；
  - 2) 为数据质量改进的优先级排序提供依据，将资源集中于改进那些对结果可靠性影响最大的数据；
  - 3) 为结果解释中的不确定性分析（见 9. b）和 c）提供输入信息。
- d) 组织应根据数据质量评价和敏感性分析的结果，制定并实施数据质量持续改进计划。

#### 6.5 电力数据要求

电力相关温室气体排放因子应基于“电源结构-输配损耗-排放强度耦合”的电碳模型量化确定。数据输入应优先采用新疆区域电网对应统计周期（与数据收集周期一致）的电力结构（含火电、水电、风电、光伏等各类电源占比）及输配电损耗相关权威数据。

### 7 生命周期清单分析

#### 7.1 数据收集

##### 7.1.1 时间边界

工业硅产品碳足迹的量化宜以一个自然年为数据收集周期。

##### 7.1.2 收集流程

工业硅产品碳足迹评价应收集系统边界内划分的所有单元过程的输入和输出数据（包含定性资料和定量数据），使用的活动水平数据应首先使用初级数据，只有在不可获得完整的初级数据时，才可使用次级数据。数据收集可参见附录 C。

单元过程的输入数据来自多个源头，应选择具有代表性的数据样本计算温室气体排放与清除。选取的数据应满足本文件 6.2 规定的要求。数据收集和数据质量评估步骤如下：

- a) 根据产品系统边界，获取工艺流程图，识别温室气体排放源，确定数据需求范围；
- b) 根据数据需求编制单元过程输入、输出数据列表；
- c) 根据数据列表收集初级数据和次级数据。数据收集应详细记录各项数据的计算方法、数据来源和原始凭证，保持其可追溯；
- d) 评估收集的活动的数据和排放因子。对研究结论有显著影响的数据，应说明相关数据的收集过程、收集时间以及数据质量的详细信息；对计量数据，相关计量器具应符合 GB 17167 和 GB/T 20902 的规定；
- e) 审查数据收集过程中出现的特殊情况、异常点和其他问题，识别可能产生的数据误差风险。

### 7.1.3 系统边界范围内各生命周期阶段数据收集

#### 7.1.3.1 原辅料获取阶段

原辅料获取阶段应优先选用初级数据，当无法获得符合质量要求的初级数据时，可采用次级数据。鼓励企业通过调研一级供应商等方式，积极获取并核实初级数据。

应收集原辅料获取阶段的初级数据，一般包括硅石开采作业的相关操作：

- a) 矿山穿孔、爆破、采装、运输、通风、排水等过程的电力消耗；
- b) 挖掘机、矿用卡车等移动设备的燃料消耗；
- c) 以及爆破矿岩的炸药消耗等。

可使用次级数据（数据库或文献值）的项目包括：

- a) 原辅料的<sup>1</sup>上游排放因子：硅石、还原剂、电极、炉衬材料等从“摇篮到大门”的温室气体排放与清除因子；
- b) 能源与资源的<sup>1</sup>上游排放因子：外购电力、燃料、热力及生产用水从“摇篮到大门”的温室气体排放与清除因子。

#### 7.1.3.2 原辅料运输阶段

应收集原辅料运输阶段初级数据，一般应包括：

- a) 进入生产企业的原料、辅料的运输方式；
- b) 每种运输方式的运输数量和重量；
- c) 每种运输方式的吨公里数或里程数；
- d) 每种运输方式的能源消耗量，或其它可计算获得燃料消耗量的数据。

注：原辅料运输相关的温室气体排放与清除因子可使用次级数据。

#### 7.1.3.3 生产阶段

产品生产阶段可根据冶炼工艺类型，按工艺进行初级数据收集，收集的初级数据一般应包括：

- a) 硅石投入量；
- b) 熔炼、浇铸阶段电力、热力、燃料消耗；
- c) 其他生产阶段电力、热力、燃料消耗；
- d) 上述过程所产生的废气、废水、废弃物处理的过程。

注：生产制造阶段收集的数据应优先选择初级数据。

### 7.1.4 特定（电力）温室气体排放因子

#### 7.1.4.1 内部发电

当工业硅产品生产消耗的电能<sup>1</sup>为内部发电（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用于工业硅产品的碳足迹评价。

#### 7.1.4.2 直供发电

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

#### 7.1.4.3 电网电力

当电力供应商通过合同工具的形式保证电力供应，应使用此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；
- 接近合同工具的适用期限，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GHG排放量。相关电网GHG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GHG排放量应反映该地区的电力消费情况。

如果非化石能源电力证书在出售时不直接与电力本身关联，来自非化石能源的部分电力作为非化石电力出售，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分析，并在产品碳足迹报告中单独报告，以此来展示结果的差异。

#### 7.1.4.4 电碳模型应用要求

企业在收集电力数据时，应记录：

- a) 用电时间（年月/日/小时）；
- b) 电力来源类型（网电/自发电/直供绿电）。

### 7.2 数据库选用原则

#### 7.2.1 一般原则

数据库的选择需遵循以下原则：

- a) 完整性：数据库需涵盖 IPCC 规定的温室气体种类；数据库所提供的数据需具有完整的全生命周期碳足迹核算范围；
- b) 透明性：数据库需有公开的数据库指南，用于说明数据库开发的方法。数据库的每个数据集需有完整的文档，包括模型完整性和数据代表性，数据来源和同行评审意见。

#### 7.2.2 数据库优先级

产品碳足迹评价过程中的数据库选用，需遵循以下优先级：

- a) 本地数据库；
- b) 本国数据库；
- c) 国外数据库（需包括本国在内的区域平均数据或全球平均数据）。

### 7.3 数据分配

#### 7.3.1 概述

根据明确规定的分配程序将输入和输出分配到不同的产品中。一个单元过程分配的输入和输出总和与其分配前的输入和输出相等。同时有几种备选分配程序时，通过敏感性分析阐明不同方法产生影响的差别。

#### 7.3.2 分配程序

分配应依据 GB/T 24040 及GB/T 24044 中规定的分配程序。根据明确规定的分配程序将输入输出分配到不同的产品中。工业硅产品优先采用的数据分配方法如下：

- a) 细分法：将拟分配的单元过程进一步划分为两个或更多的子过程，并收集与这些子过程相关的输入输出数据；
- b) 扩展法：将产品系统加以扩展，从而抵扣声明单位等同产品生产造成的环境影响；
- c) 分配法：根据物理属性（如数量、质量、工时等）或经济价值等参数，按比例将输入输出分配到共生产品。

### 7.4 清单计算

以基准流为基础计算系统边界内各单元过程的输入、输出数据，汇总得到为实现单位声明单位所需的生命周期系统边界内输入、输出数据。生命周期清单分析结果通常表现为一系列的数据表，展示每声明单位产品在每个阶段/单元过程中的资源使用量（如原辅材料和能源），以及释放到环境中的排放物（如温室气体、废水、废弃物等）。

## 8 影响评价

### 8.1 通则

通过排放或清除的温室气体的质量乘以IPCC给出的100年GWP（见附录D），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tCO<sub>2</sub>e/（t排放量）。

若IPCC修订了GWP，应使用最新数值，否则应在报告中说明。

### 8.2 产品碳足迹计算方法

产品碳足迹计算方法见公式（1）。

$$CFP_{GHG} = \sum_j \left[ \sum_i (AD_i \times EF_{LCA,i,j}) \times GWP_j \right] \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- $CFP_{GHG}$ ——硅产品总碳足迹（tCO<sub>2</sub>e/t）；
- $AD_i$ ——第*i*项活动的活动数据；
- $EF_{LCA,i,j}$ ——第*i*项活动对应的第*j*种温室气体的排放因子；
- $GWP_j$ ——第*j*种温室气体的100年GWP值。

### 8.3 原辅料获取阶段

原辅料获取阶段温室气体的排放量计算见公式（2）。

$$CFP_{原辅料} = \sum_i (AD_i \times EF_i) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$CFP_{原辅料}$ ——声明单位硅产品原辅料生产贡献的碳足迹，以吨二氧化碳当量每声明单位（tCO<sub>2</sub>e/声明单位）计；

$AD_i$ ——第*i*种原辅料的消耗量，单位为吨（t）；

$EF_i$ ——第*i*种原辅料的产品碳足迹因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO<sub>2</sub>e/t）。

### 8.4 原辅料运输阶段

原辅料运输阶段温室气体的排放量计算见公式（3）。

$$CFP_{运输} = \sum_{ik} (AD_i \times D_{ik} \times EF_k) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$CFP_{运输}$ ——声明单位硅产品原辅料运输贡献的碳足迹，以吨二氧化碳当量每声明单位（tCO<sub>2</sub>e/声明单位）；

$AD_i$ ——第*i*种原辅料的消耗量，单位为吨（t）；

$D_{ik}$ ——第*i*种原辅料第*k*种运输方式的运输距离，单位为千米（km）；

$EF_k$ ——第*k*种运输方式的碳足迹因子，单位为吨二氧化碳当量每千米（tCO<sub>2</sub>e/t·km）。

### 8.5 生产阶段

生产阶段温室气体的排放量计算见公式（4）。

$$CFP_{生产} = \sum_i \sum_k \sum_p (AD_{j,k,p} \times EF_{j,k,p} \times GWP_p) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$CFP_{生产}$ ——声明单位硅产品生产贡献的碳足迹，以吨二氧化碳当量每声明单位（ $tCO_2e/声明单位$ ）计；

$j$ ——代表单元过程类型；

$k$ ——代表能源消耗产生的排放、工艺过程产生的排放等排放类型；

$p$ ——代表温室气体的种类；

$AD_{j,k,p}$ ——生产阶段单元过程 $j$ 中，排放源 $k$ 温室气体 $p$ 的活动水平数据；

$EF_{j,k,p}$ ——生产阶段单元过程 $j$ 中，排放源 $k$ 温室气体 $p$ 的排放因子；

$GWP_p$ ——温室气体 $p$ 的GWP值，按照8.1中的规定进行取值。

注：电力排放部分 $AD_{j,k,p} \times EF_{j,k,p}$ 中， $EF_{j,k,p}$ 推荐采用电碳模型计算的动态排放因子。若使用静态因子，需说明其与动态模型的差异及对结果的影响。

## 9 结果解释

产品碳足迹研究的生命周期结果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；

注：显著环节包括生命周期阶段、单元过程或流。

b) 完整性、一致性的评估，以及基于 6.4.3 开展的敏感性分析和不确定性分析；

c) 结论、局限性和建议的编制。

根据产品碳足迹研究的目的是和范围进行结果解释，解释包括以下内容：

——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。

结果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）。

## 10 产品碳足迹报告

产品碳足迹报告的目的是记录产品碳足迹的量化结果，说明该报告符合本文件的规定。报告包括但不限于以下内容：

a) 基本情况：

1) 委托方与评价方信息；

2) 报告信息；

3) 依据的标准；

4) 使用的产品种类规则或其他补充要求的参考资料（如有）；

5) 产品描述：产品信息描述包括产品名称、品级/牌号、批次、生产商信息以及联系方式等；

b) 目的：

1) 开展研究的目的；

2) 预期用途；

c) 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：

——作为基本流中的系统输入和输出类型；

——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；
  - 5) 生命周期各阶段的描述。
- d) 清单分析：
- 1) 数据收集信息，包括数据来源；
  - 2) 电力数据清单：
    - 用电时段与用电量；
    - 电力类型；
    - 电力排放因子计算依据（如：省级动态因子、电碳模型输出值、绿电证书对应减排量）。
  - 3) 重要的单元过程清单；
  - 4) 纳入考虑范围的 GHG 清单；
  - 5) 分配原则与程序；
  - 6) 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) 清单结果与计算；
  - 4) 电力碳排放计算说明：
    - 如采用电碳模型，应说明模型计算逻辑及结果；
    - 如使用绿电，应说明其碳减排声明方式（如：扣减、声明为零等）及依据。
  - 5) 结果的图示（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，宜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) 在产品碳足迹研究中披露和证明相关信息项的选择并说明理由；
  - 5) 范围和修改后的范围（如适用），并说明理由和排除的情况。
- 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。
- h) 附件：
- 1) 电碳模型输出数据表（如适用）；
  - 2) 绿电购买证明或绿色电力证书复印件（如适用）；
  - 3) 电力来源结构分析报告（如适用）。

## 11 产品碳足迹评价工作

开展工业硅产品碳足迹评价，旨在量化其生命周期内的温室气体排放。评价工作需始终遵循相关性、完整性、一致性、准确性和透明性五大原则，确保过程规范、结果可信。

工业硅产品碳足迹评价需要确定整个评价过程（包括数据收集方法、核算方法等）符合本标准的规定，碳足迹核算和评价结果公正、准确。工业硅产品碳足迹评价的工作流程分为以下步骤：

第一步，工业硅产品碳足迹核算：

- a) 界定目标与范围：明确评价目的、功能单位（如“1 吨硅”）和“从摇篮到大门”的系统边界；
- b) 数据收集与管理：收集硅生产生命周期内所有相关过程的活动水平数据（如原辅料、能源消耗）和排放因子；
- c) 实施碳足迹核算：根据确定的范围和方法，计算并汇总得到工业硅的碳足迹结果。

第二步，工业硅产品碳足迹报告：

编制报告：将核算过程与结果形成结构化报告，可用于内部决策、对外公示或第三方核查。报告应清晰包含目标、范围、数据来源、计算方法、结果及不确定性说明，确保其透明、可追溯。

第三步，工业硅产品碳足迹评价：

结果评价与改进：分析碳足迹结果，识别减排热点和改进潜力，为产品生态设计和工艺优化提供决策依据。

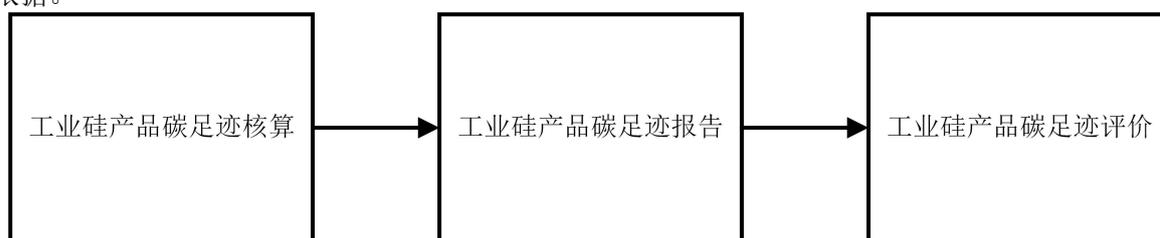


图2 工业硅产品碳足迹评价工作流程图示

附录 A  
(资料性)  
工业硅主要生产工艺

以硅石（石英砂）为原料、碳质还原剂（石油焦、木炭、兰炭等）为还原介质是工业硅生产的主要方式，工业硅生产过程分为矿热炉法（电弧炉法）和硅烷热分解法，其中矿热炉法分为普通矿热炉法、大型矿热炉法（ $\geq 33000\text{kVA}$ ）、石油焦还原剂法、木炭 - 兰炭混合还原剂法等；硅烷热分解法分为冶金级硅氢化成硅烷法、氯硅烷歧化制硅烷法。典型工艺路线图见图A.1。

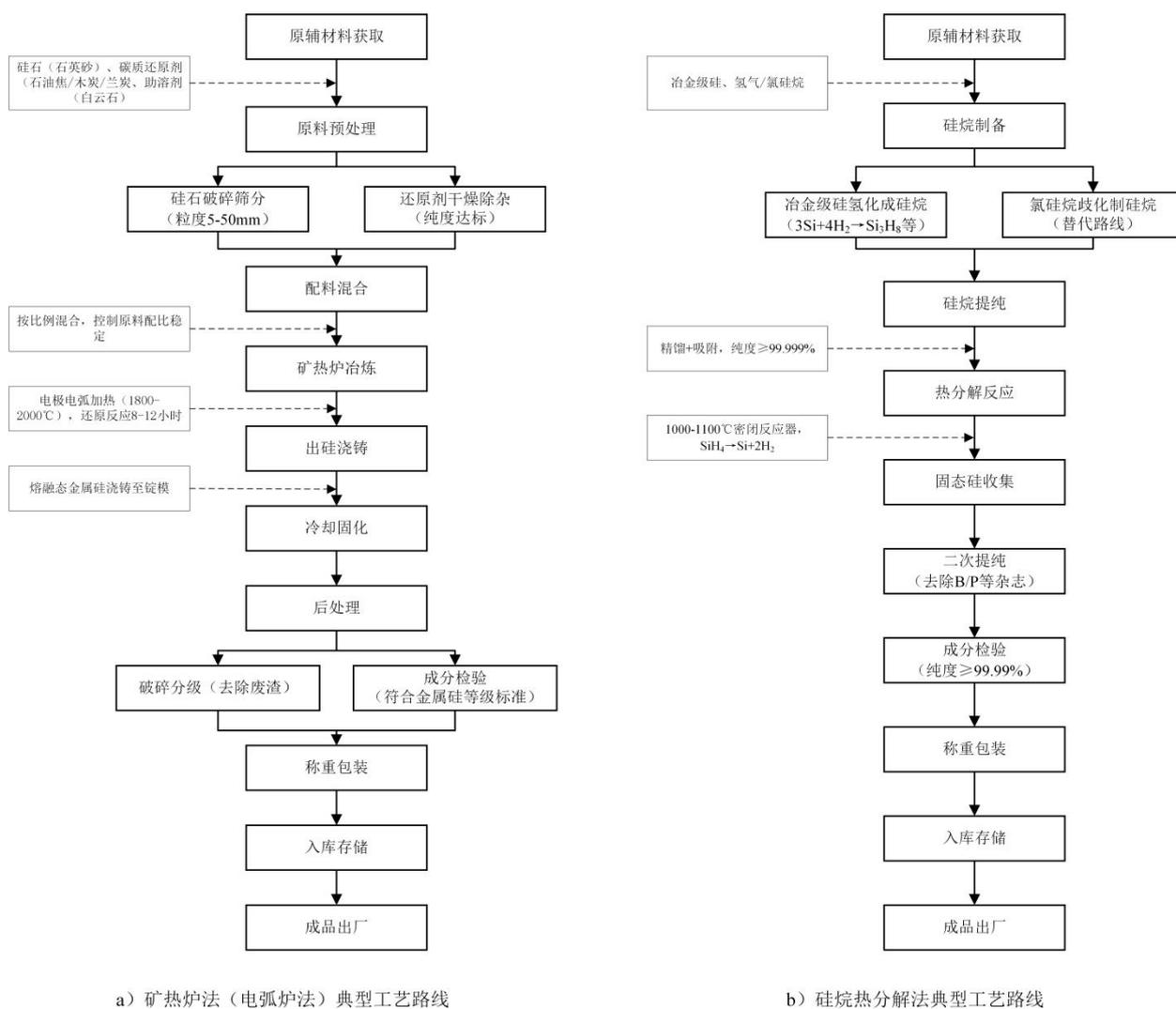


图 A.1 以硅石（石英砂）为原料生产工业硅的主要工艺路线

**附录 B**  
(资料性)  
**数据质量评价**

数据质量等级 (DQR) 评价主要从数据的时间代表性、地域代表性和技术代表性三个维度进行评价, 各个维度的数据质量等级评价内容见表B.1。三个维度的数据质量均按照五个等级进行评分, 分数越小则质量水平越好。

各个数据集的数据质量等级 ( $DQR_i$ ) 具体计算公式如 (B.1) :

$$DQR_i = \frac{(TeR + GeR + TiR)}{3} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$DQR_i$ ——数据集i的数据质量结果;

$TeR$ ——数据的技术代表性得分;

$GeR$ ——数据的地域代表性得分;

$TiR$ ——数据的时间代表性得分。

**表 B.1 数据的 DQR 评级**

评分	数据质量水平	$TiR$	$TeR$	$GeR$
1	卓越	产品碳足迹的基准年在数据集有效期内; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 $\leq 3$ 年	核算过程技术与数据集代表的技术一致	核算过程发生在数据集代表的省市或区域内, 如中国华东、中国华南等
2	非常好	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 $\leq 2$ 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 $\leq 4$ 年	核算过程技术包含在数据集组合技术中, 但在生产工艺上存在一定差异	核算过程发生在数据集代表的国家
3	良好	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 $\leq 3$ 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 $\leq 5$ 年	核算过程技术包含在数据集组合技术中, 但在生产工艺上差异显著	核算过程发生在数据集代表的地理区域之一, 如代表全球平均的数据集
4	一般	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 $\leq 4$ 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 $\leq 6$ 年	核算过程技术与数据集代表的技术相似	核算过程与数据集所代表的地理区域在能源结构上相似
5	差	产品碳足迹的基准年超过数据集有效期 $> 4$ 年; 产品碳足迹的基准年与数据集最新发布年/基准年相差 $> 6$ 年	核算过程技术与数据集代表的技术不同	核算过程不满足上述情况

各个数据集的数据质量等级 ( $DQR_i$ ) 具体计算公式如 (B.2) :

按下式计算所有需要评价的次级数据总的数据质量等级  $DQR_{total}$ ,  $DQR_{total}$  宜 $\leq 3.0$ 。

$$DQR_{total} = \frac{\sum(DQR_i \times CFP_i)}{\sum CFP_i} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$DQR_{total}$ ——数据最终质量评价结果;

$CFP_i$ ——对应数据项i的碳足迹。

附 录 C  
(资料性)  
工业硅产品碳足迹评价数据

工业硅产品碳足迹评价数据收集见表C.1。

表 C.1 工业硅产品碳足迹评价数据收集表

填表日期：××××年××月××日		制表人：×××				
单元过程名称：××××		统计周期：××××年××月××日-××××年××月××日				
单元过程描述		主要工艺描述：				
		主要生产设备：				
1.原辅料消耗						
原料类型	单位	数量	供应商名称/地址	运输方式	运输载重	数据来源
.....						
2.能源消耗						
能源类型	单位	数量	供应商名称/地址	运输方式	运输载重	数据来源
煤炭	t					
天然气	m <sup>3</sup>					
电力	kWh					
热力	GJ					
蒸汽	t					备注温度及压力
.....						
3.水资源消耗						
水资源类型	单位	数量	供应商名称/地址	运输方式	运输载重	数据来源
自来水						
工业用水						
.....						
4.产品产出						
产品类型	单位	数量				数据来源
.....						
5.废气						
种类	单位	数量				数据来源
.....						
6.废水						
种类	单位	数量				数据来源
.....						
7.固体废弃物						
种类	单位	数量	固废处理企业/地址	运输方式	运输载重	处理方式
.....						

附录 D  
(资料性)  
全球增温潜势

在计算用于GHG全球增温潜势值时，参照表D.1中的数据。

表 D.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	CO <sub>2</sub>	1
甲烷	CH <sub>4</sub>	27.9
氧化亚氮	N <sub>2</sub> O	273
三氟化氮	NF <sub>3</sub>	17400
氢氟碳化物 (HFCs)		
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	14600
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	771
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	135
HFC-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	3740
HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	1260
HFC-134a	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	1530
HFC-143	CH <sub>2</sub> FCHF <sub>2</sub>	364
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	5810
HFC-152a	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	164
HFC-227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	3600
HFC-236fa	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	8690
全氟碳化物 (PFCs)		
全氟甲烷 (四氟甲烷)	CF <sub>4</sub>	7380
全氟乙烷 (六氟乙烷)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	12400
全氟丙烷	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	9290
全氟丁烷	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	10000
全氟环丁烷	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	10200
全氟戊烷	C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	9220
全氟己烷	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	8620
六氟化硫	SF <sub>6</sub>	25200
注：部分温室气体的全球变暖潜势来源于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》。		