

有色金属产品碳足迹评价技术规范
第3部分：电解铝产品

Technical specification for carbon footprint evaluation of
nonferrous metal products—Part 3: Electrolytic aluminum

2025-09-15 发布

2025-10-15 实施

目 次

前言 II

引言 III

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 3

5 评价范围 3

6 数据和数据质量 6

7 生命周期清单分析 7

8 影响评价 11

9 结果解释 12

10 产品碳足迹报告 13

11 产品碳足迹评价工作 14

附录 A（资料性） 电解铝产品生命周期系统边界内生产流程图示例 15

附录 B（资料性） 数据质量评价 17

附录 C（资料性） 电解铝产品生命周期核算单元过程数据收集表模板 19

附录 D（资料性） 全球变暖潜势 21

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。

本文件是DB15/T 4188《有色金属产品碳足迹评价技术规范》的第3部分。DB15/T 4188X已经发布了以下部分：

- 第1部分：锌锭产品；
- 第2部分：铅锭产品；
- 第3部分：电解铝产品；
- 第4部分：阴极铜产品。

本文件由内蒙古自治区工业和信息化厅提出并归口。

本文件起草单位：内蒙古工业节能与绿色发展协会、中国科学院青岛生物能源与过程研究所、赤峰高新技术产业开发区管理委员会、内蒙古有色金属产业促进会、内蒙古成为电能服务有限公司、内蒙古蒙正工程咨询服务有限责任公司、内蒙古成安工程技术有限公司。

本文件主要起草人：曹相凯、田亚峻、李博宇、刘询、张典、王宝信、胡景朝、乔丹、王昌芳、孙万意、张亚男、郭翔、曹旭智、王海伟、杨城、王嘉敏、岳凡、李如梅。

引 言

随着全球低碳转型加速推进及我国“碳达峰、碳中和”战略深入实施，内蒙古作为全国有色金属重要产区，依托丰富的矿产资源与能源禀赋，锌锭、铅锭、电解铝、阴极铜等产业向规模化、集约化方向快速发展。然而，传统粗放式的碳足迹核算方式（普遍存在核算范围不统一、数据采集不规范、未适配本地工艺特征与能源结构等问题），已难以满足各有色金属产品精准低碳管控的需求，标准化的碳足迹评价技术规范，为我区有色金属产业精细化算碳与绿色转型提供了新解决方案。本系列标准旨在指导我区有色金属生产企业建立高效的碳足迹评价与自动化管理系统，确保各产品生产过程中碳排放数据的科学性、准确性与可比性，精准识别原辅料消耗、冶炼工艺、能源使用等碳排放热点环节，适配内蒙古区域资源供应与煤电主导的能源结构特征，促进各有色金属产业绿色低碳发展和企业经济效益的持续提升，由四个部分构成。

- 第1部分：锌锭产品。目的在于规范以锌矿石或锌二次物料为原料生产的锌锭及类似冶炼加工的锌合金锭产品碳足迹量化评价，指导企业开展铅锭产品碳足迹量化，精准识别冶炼工艺、原辅料消耗、能源消耗等碳排放热点，助力锌锭产业低碳转型。
- 第2部分：铅锭产品。目的在于规范以铅矿石或含铅废料为原料生产的铅锭产品碳足迹量化评价，适配本地铅冶炼的工艺特征，指导企业建立规范的产品碳足迹量化评价体系，精准识别采矿、选矿、冶炼、精炼等环节碳排放，推动铅锭产业绿色低碳发展。
- 第3部分：电解铝产品。目的在于规范以冶金级氧化铝为原料、采用预焙阳极铝电解槽设施生产的电解铝及配套氧化铝、预焙阳极产品碳足迹量化评价，明确电解铝产品碳足迹评价细则，指导企业科学的开展电解铝产品碳足迹量化，为电解铝产业低碳转型提供技术指引，助力全区电解铝产业绿色高质量发展。
- 第4部分：阴极铜产品。目的在于规范以铜矿石或含铜废料为原料生产的阴极铜产品碳足迹量化评价，区分氧化铜矿湿法、硫化铜矿火法工艺差异，确保阴极铜产品碳足迹评价的科学性和一致性，精准识别生命周期各阶段的碳排放热点，推到全区阴极铜产业低碳转型和绿色高质量发展。

有色金属产品碳足迹评价技术规范

第3部分：电解铝产品

1 范围

本文件规定了电解铝产品碳足迹评价的评价目的、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工作。

本文件适用于以冶金级氧化铝为原料、采用预焙阳极铝电解槽设施生产的电解铝产品的碳足迹量化评价，还适用于冶金级氧化铝、铝电解用预焙阳极的产品碳足迹量化评价。

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 1196 重熔用铝锭

GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

GB/T 20902 有色金属冶炼企业能源计量器具配备和管理要求

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 24487 氧化铝

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

YS/T 285 铝电解用预焙阳极

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

电解铝产品 electrolytic aluminum product

采用氧化铝-冰晶石熔盐电解法生产的符合GB/T 1196规定的重熔用铝锭或原铝液。

3.2

产品碳足迹 carbon footprint of a product; CFP

产品系统中的GHG排放量和GHG清除量之和，以二氧化碳当量（CO₂e）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到生命周期的各个阶段，或分解到各个过程所处的地理位置。

[来源：GB/T 24067-2024，3.1.1]

3.3

产品系统 product system

拥有基本流和产品流，同时具有一种或多种特定功能，并能模拟产品生命周期的单元过程的集合。

[来源：GB/T 24044-2008，3.28]

3.4

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]

3.5

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。

[来源：GB/T 24044-2008，3.34]

3.6

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]

3.7

现场数据 site-specific data

从产品系统内部获得的初级数据。

注1：所有现场数据均为初级数据，并不是所有初级数据都是现场数据，因为数据可能是从不同产品系统内部获得。

注2：现场数据包括场地内一个特定单元过程的温室气体排放量和温室气体清除量。

[来源：GB/T 24067-2024，3.6.2]

3.8

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]

3.9

背景数据 background data

报告企业现场数据之外的数据，包括原辅材料、能源、服务的生命周期清单数据。

注：背景数据可以是初级数据，也可以是次级数据。

3.10

地理位置 geographic location

以坐标或有序坐标表示的地理空间上的位置。

注：过程地理位置可以是点、面等几何形状，也可以是单元网格。

4 评价目的

确定电解铝产品碳足迹评价目的时，应明确说明以下内容：

- 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；
- 应符合 ISO 14026 的要求，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

本文件涉及的电解铝及相关产品声明单位规定如下：

- a) 电解铝产品的声明单位为符合 GB/T 1196 规定的 1 t 重熔用铝锭或原铝液（简称为铝锭或铝液）；
- b) 氧化铝产品的声明单位为符合 GB/T 24487 规定的 1 t 氧化铝；
- c) 铝电解用预焙阳极产品的声明单位为符合 YS/T 285 规定的 1 t 预焙阳极。

本文件的基准流是指生产 1 t 铝产品所需过程的输入和输出量。

5.3 系统边界

5.3.1 系统边界的设定

本文件设定的电解铝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，包括原辅料获取阶段、原辅料运输阶段、产品生产阶段三个阶段，电解铝产品的生命周期系统边界见图1。

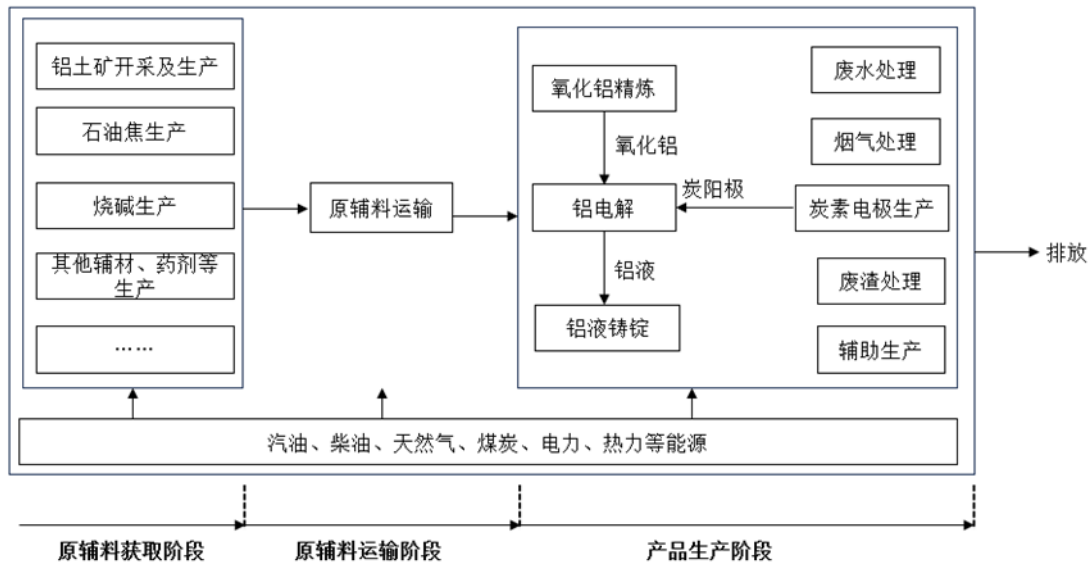


图1 电解铝产品碳足迹评价系统边界示意图

5.3.2 生命周期阶段

5.3.2.1 原辅料获取阶段

该阶段为上游供应商提供的各种原辅料产生的排放，包括各种原辅料在制取过程中产生的排放。具体过程包括：

- a) 铝土矿开采、加工的过程以及上游各阶段的运输过程；
- b) 石油焦的生产过程以及上游各个阶段的运输过程；
- c) 石灰、烧碱、药剂、煤沥青、氟化盐等辅助材料的生产过程以及上游各个阶段的运输过程；
- d) 原料提取加工所产生的废水、废气和固体废弃物处理相关过程。

5.3.2.2 原辅料运输阶段

原辅料运输阶段应包括生产电解铝产品所需要的原辅料从供应商到电解铝生产企业的运输过程，不包括原辅材料生产上游各个阶段的运输过程。

注：原辅材料生产上游各个阶段的运输过程已包含在原辅材料获取阶段。

5.3.2.3 生产阶段

该阶段为生产电解铝产品产生的排放，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，电解铝生产工艺流程见附录 A。具体过程包括：

- a) 氧化铝生产过程，包括生产设备运行与维护等过程使用各类能源、生产过程中添加的各类碳酸盐分解产生的二氧化碳排放等；
- b) 预焙阳极生产过程，包括生产设备运行与维护等过程使用各类能源产生的二氧化碳排放；
- c) 铝电解生产过程，包括铝电解工序中生产设备运行与维护等过程使用各类能源产生的二氧化碳排放，阳极作为原材料消耗产生的二氧化碳排放，阳极效应所导致的四氟化碳（CF₄）和六氟化二碳（C₂F₆）排放；

- d) 铝液铸锭过程，包括铸锭工序中的生产设备运行与维护等过程使用各类能源产生的二氧化碳排放；
- e) 半成品在生产企业各车间之间的搬运过程，包括叉车等移动源产生的二氧化碳排放；
- f) 自行生产电力、热力和其他能源的生产过程；
- g) 供水相关过程；
- h) 废水、废气和固体废弃物处理相关过程，包括企业自行处理的过程和废水、固体废弃物交由第三方处理及相关的运输过程。

5.3.2.4 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：电解槽、熔炼炉本身）制造过程；
- c) 对制造设备、设施和工具的安装；
- 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（如：小试）、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，可将多个生产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

宜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 5.3.2.4）

5.3.4 取舍原则

在电解铝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%与功能单位/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

量化电解铝产品碳足迹时，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

- 6.2.1 电解铝产品的碳足迹评价需要收集现场数据和背景数据。
- 6.2.2 现场数据是电解铝产品生产阶段各工序或单元的活动数据，是基于实际测量、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、废弃物排放量以及运输量（包括运输方式、运输距离）等。现场数据均为初级数据。
- 6.2.3 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。
- 6.2.4 可量化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；背景数据不能量化则为次级数据，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。
- 6.2.5 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。引用次级数据应证明其适用性和可信度，并注明数据来源及选取思路。
- 6.2.6 电解铝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	原料消耗量	铝土矿石、石油焦等	初级数据
		燃料消耗量	煤炭、天然气、轻质柴油、重油等	
		电力/热力消耗量	电力（能源结构、占比）、热力	
		其他工质消耗量	水、压缩空气等	
		辅料消耗量	石灰石、烧碱、药剂、钢球、皮带、絮凝剂、脱水剂、煤沥青、氟化盐、纯碱、耐火材料、润滑油等	
		第三方服务	现场运输、废渣、废水外委处置等	
	输出	主产品产量	氧化铝、预焙阳极、铝液和铝锭等	
		废弃物产量	赤泥、铝灰渣、炭渣、废槽衬等	
		温室气体排放量	CO ₂ 、CF ₄ 、C ₂ F ₆ 等	
背景数据	电力/热力	——供应商提供的生命周期排放因子； ——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。	初级数据或次级数据 （根据数据获取情况收集）	
	外购原辅材料、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。		
	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。		
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

开展电解铝产品碳足迹评价时，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角度。数据质量的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（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：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

开展电解铝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。

数据质量参照附录 B 进行评价，对质量较差的数据应进行敏感性分析。

7 生命周期清单分析

7.1 数据收集

7.1.1 时间边界

电解铝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

电解铝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。数据收集可参照附录 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) 评估收集的活数据活动和排放因子。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

原辅料获取阶段在数据可获得的情况下优先选用初级数据，数据不可获得的情况下可采用次级数据。鼓励企业对一级供应商的生产过程进行调研，而不是直接采用背景数据库的数据。

应收集生产铝土矿石、石油焦等原辅料的初级数据，可行时包括：

- a) 各类原辅料投入量；
- b) 燃料、电力、热力等能源和水消耗量；
- c) 废气处理的原辅料投入量；
- d) 铝土矿石、石油焦等原辅料的产量；
- e) 原辅料生产过程中废水和废弃物的产生量。

可使用次级数据的项目包括：

- a) 原辅料从摇篮到大门的温室气体排放与清除因子；
- b) 燃料、电力、热力等能源和水“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，可行时应包括：

- a) 进入生产企业的原料、辅料、包装材料的运输方式；
- 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。

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

7.1.3.3.1 氧化铝生产工序

氧化铝生产应收集的初级数据，可行时应包括：

- a) 铝土精矿消耗量；
- b) 烧碱消耗量；
- c) 石灰石消耗量；
- d) 生产用水消耗量；
- e) 辅助材料消耗量；
- f) 燃料及电（热）力等能源消耗量；
- g) 氧化铝产量；
- h) 赤泥产生量；
- i) 铝土精矿的运输工具及其核定载重量、运输距离；
- j) 燃料、辅助材料的运输工具及其核定载重量、运输距离；

k) 赤泥的运输工具及其核定载重量、运输距离。

氧化铝生产可使用次级数据的项目包括：赤泥等处理过程的温室气体排放与清除因子。

7.1.3.3.2 预焙阳极生产工序

预焙阳极生产应收集的初级数据，可行时应包括：

- a) 石油焦、煅后焦、煤沥青、残极消耗量；
- b) 辅助材料消耗量；
- c) 燃料及电（热）力等能源消耗量；
- d) 阳极生坯产量；
- e) 预焙阳极产量；
- f) 石油焦、煅后焦、煤沥青的运输工具及其核定载重量、运输距离；
- g) 燃料、辅助材料的运输工具及其核定载重量、运输距离；
- h) 余热利用供热量或发电量。

预焙阳极生产可使用次级数据的项目包括：固体废物处理过程的温室气体排放与清除因子。

7.1.3.3.3 铝电解工序

电解铝生产应收集的初级数据，可行时应包括：

- a) 氧化铝、预焙阳极消耗量；
- b) 辅助材料消耗量；
- c) 燃料及电（热）力等能源消耗量；
- d) 铝电解过程全氟化碳排放总量；
- e) 铝液产量；
- f) 氧化铝、预焙阳极的运输工具及其核定载重量、运输距离；
- g) 燃料、辅助材料的运输工具及其核定载重量、运输距离；
- h) 余热利用供热量或发电量。

7.1.3.3.4 铝液铸锭单元

铝液铸锭应收集的初级数据包括：

- a) 铝液投入量；
- b) 辅助材料消耗量；
- c) 燃料及电（热）力等能源消耗量；
- d) 铝锭产量；
- e) 铝液的运输；
- f) 铝液的运输工具及其核定载重量、运输距离；
- g) 燃料、辅助材料的运输工具及其核定载重量、运输距离；
- h) 铝灰渣产生量。

铝液铸锭生产可使用次级数据的项目包括：铝灰渣等处理过程的温室气体排放与清除因子。

7.1.4 次级数据收集

电解铝产品系统边界内应收集的次级数据主要包括：

- a) 外购原辅材料、燃料等上游生命周期清单数据；
- b) 电（热）力等能源的上游生命周期清单数据；
- c) 赤泥、铝灰渣等处理过程生命周期清单数据；

d) 运输过程生命周期清单数据等。

7.1.5 特定（电力）温室气体排放因子

7.1.5.1 内部发电

当电解铝产品生成消耗的电能由内部发电（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电解铝产品的碳足迹评价。现场发电为自发自用的绿电时，应计入产品碳足迹，但应使用其生命周期评估的足迹因子进行计算，而不能简单地计为零或忽略不计。

7.1.5.2 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。

7.1.5.3 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。

7.2 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) 数据完整性：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/部分生命周期碳足迹核算范围；
- b) 数据透明性：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

电解铝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：

- a) 第1步：通过以下方法避免分配：
 - 1) 将拟分配的单元过程划分为两个或多个子单元过程，收集与这些子过程相关的输入输出数据；
 - 2) 如果单元过程无法划分，存在有代表性的替代路线生产共生产品，可以采用系统扩展方法。系统扩展的原理是基于共生产品节省或避免了另一个具有等效功能的产品系统。
- b) 第2步：若无法避免分配时，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；
- c) 第3步：当物理关系无法建立或无法用来作为分配基础时，应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价格按比例将输入输出数据分配到共生产品。

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

任何情况下，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，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），并说明数据来源。

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

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政府间气候变化专门委员会（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 $\text{tCO}_2\text{e}/(\text{t 排放量})$ 。

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

电解铝及相关产品碳足迹计算方法见公式（1）：

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

式中：

CFP_{GHG} ——电解铝及相关产品碳足迹，以吨二氧化碳当量每吨（ $\text{tCO}_2\text{e}/\text{t}$ ）计；

AD_i ——系统边界内，各声明单位中第 i 项活动的GHG排放和清除相关数据（包括初级数据和次级数据），单位根据具体排放源确定；

$EF_{LCA, i, j}$ ——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 的GWP值，按照8.1中的规定取值。

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）。

$$CFP_{\text{原辅料}} = \sum_i (AD_i \times EF_i) \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

$CFP_{\text{原辅料}}$ ——声明单位电解铝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（ $tCO_2e/\text{声明单位}$ ）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_2e/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）。

$$CFP_{\text{运输}} = \sum_{i,k} (AD_i \times D_{i,k} \times EF_k) \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

$CFP_{\text{运输}}$ ——声明单位电解铝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（ $tCO_2e/\text{声明单位}$ ）计；

AD_i ——第 i 种原辅料的消耗量，单位为吨（ t ）；

$D_{i,k}$ ——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吨千米（ $tCO_2e/t \cdot km$ ）。

8.5 生产阶段

生产阶段温室气体的排放量计算见公式（4）。

$$CFP_{\text{生产}} = \sum_j \sum_k \sum_p AD_{j,k,p} \times EF_{j,k,p} \times GWP_p \cdots \cdots \cdots (4)$$

式中：

$CFP_{\text{生产}}$ ——声明单位电解铝产品生产贡献的碳足迹，以吨二氧化碳当量每声明单位（ $tCO_2e/\text{声明单位}$ ）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。

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、一致性和敏感性分析的评估；
- c) 结论、局限性和建议的编制。

根据产品碳足迹研究的目的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) 重要的单元过程清单；
 - 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) 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。

11 产品碳足迹评价工作

开展电解铝产品碳足迹评价, 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。

电解铝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。电解铝产品碳足迹评价的工作流程见图2, 分为以下步骤:

第一步, 电解铝产品碳足迹核算:

- a) 界定目标与范围: 明确评价目的、功能单位(如“1 t 电解铝”)和“从摇篮到大门”的系统边界;
- b) 数据收集与管理: 收集电解铝生产生命周期内所有相关过程的活动水平数据(如原料、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, 计算并汇总得到电解铝产品的碳足迹结果。

第二步, 电解铝产品碳足迹报告:

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, 电解铝产品碳足迹评价:

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。

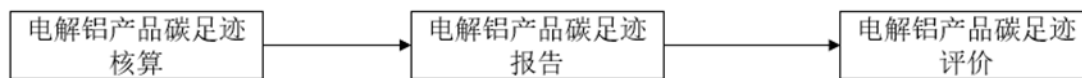
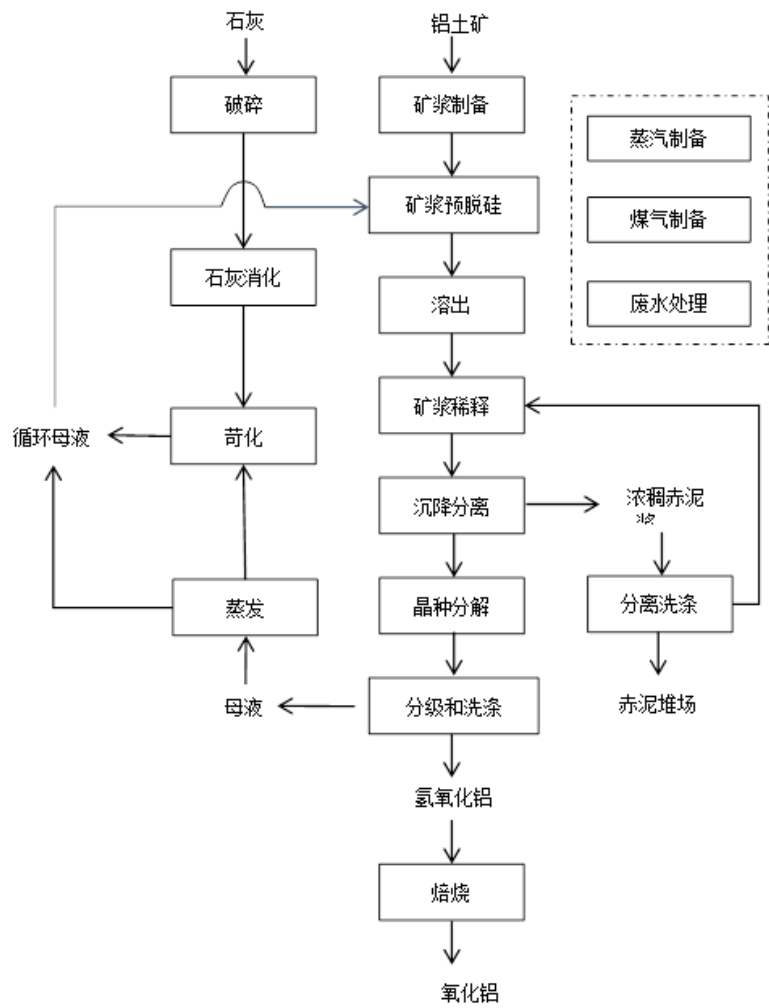


图2 电解铝产品碳足迹评价工作流程图示

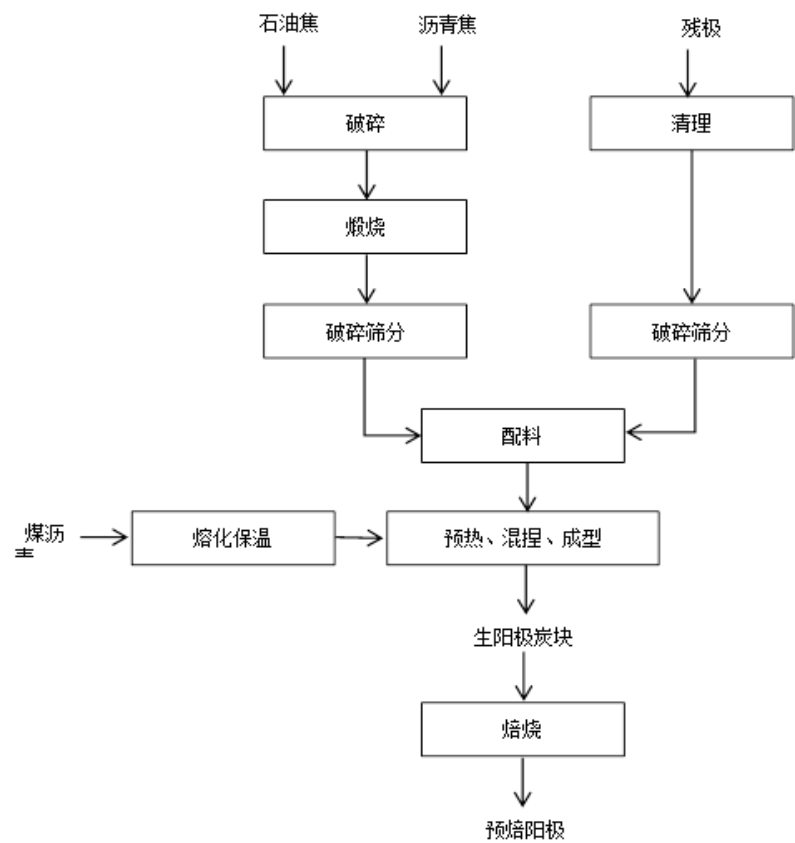
附 录 A
(资料性)

电解铝产品生命周期系统边界内生产工艺流程图示例

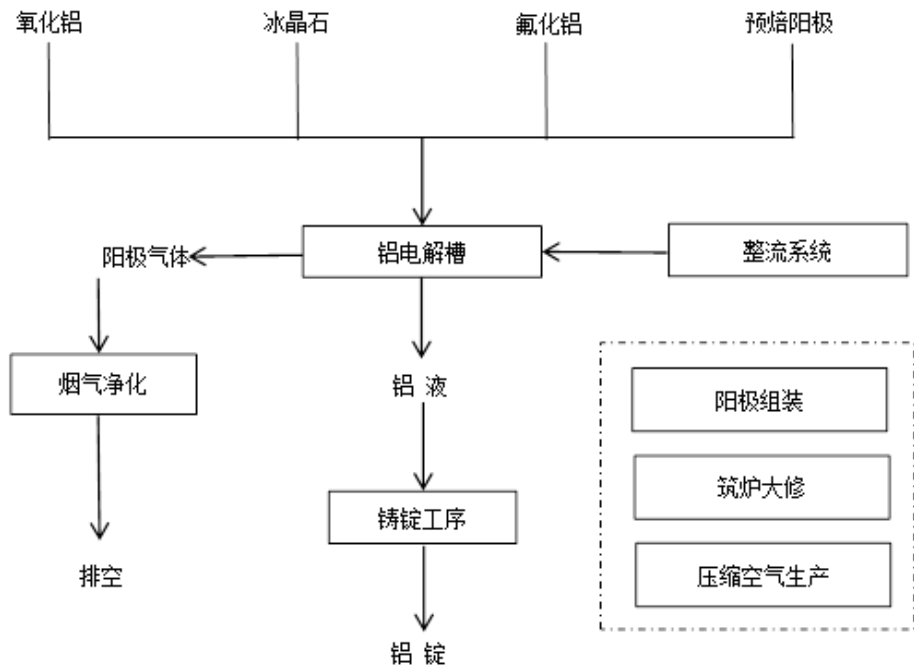
电解铝产品生产工艺流程图见图A.1～图A.3。



图A.1 拜耳法生产氧化铝工艺流程图



图A.2 预焙阳极生产工艺流程图



图A.3 铝电解生产与铸锭工艺流程图

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) 具体计算公式如公式 (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≤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≤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≤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≤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≤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≤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

按公式（B.2）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 ≤ 3.0 。

$$DQR_{total} = \frac{\sum(DQR_i \times CFP_i)}{\sum CFP_i} \dots\dots\dots(B.1)$$

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)

电解铝产品生命周期核算单元过程数据收集表模板

电解铝产品生命周期核算单元过程数据收集表模板见表C.1。

表C.1 电解铝产品生命周期核算单元过程数据收集表模板

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 ³					
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
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	种类	种类	种类			
.....						
6. 废水						
种类	单位	数量	数据来源	处理方式		

表C.1 电解铝产品生命周期核算单元过程数据收集表模板（续）

.....						
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)
全球变暖潜势

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 ₂	1
甲烷	CH ₄	27.9
氧化亚氮	N ₂ O	273
三氟化氮	NF ₃	17400
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
六氟化硫	SF ₆	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》。		