

电解铝生产企业碳排放计量方法

Measurement method of carbon emission of electrolytic aluminum
production enterprises

(与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

2022-12-11 发布

2023-01-01 实施

浙江省电力学会 发布

目 次

前 言.....	3
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	4
4 符号、代号和缩略语.....	5
5 碳排放计量流程.....	5
6 碳排放计量边界.....	6
7 碳排放源.....	6
8 碳排放计量方法.....	7
9 碳排放数据获取.....	9
10 碳排放数据采集计量要求.....	10
附 录 A.....	13

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。

本文件由浙江省电力学会提出并解释。

本文件起草单位：国网浙江省电力有限公司营销服务中心、国网浙江综合能源服务有限公司、浙江华电器材检测研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司信通分公司、国网浙江省电力有限公司温州供电公司、浙江省计量科学研究院、安徽南瑞中天电力电子有限公司、江苏擎天工业互联网有限公司、陕西美鑫铝镁合金分公司。

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

电解铝生产企业碳排放计量方法

1 范围

本文件规定了电解铝生产企业碳排放的计量流程、计量边界、碳排放源、计量方法、碳排放数据获取并对数据采集计量要求做了进一步的规定；

本文件适用于电解铝生产企业碳排放计量建设。

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 213 煤的发热量测定方法

GB/T 384 石油产品热值测定法

GB/T 476 煤的元素分析方法

GB/T 13610 天然气的组成分析

GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

GB/T 22723 天然气能量的测定

GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则

SH/T 0656 石油产品及润滑剂中碳、氢、氮测定法

YS/T 63.20—2006 铝用炭素材料检测方法 第20部分：硫分的测定

YS/T 63.19—2006 铝用炭素材料检测方法 第19部分：灰分含量的测定

YS/T 800-2012 电解铝生产二氧化碳排放量测算方法

HJ 76-2017 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 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。包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFCS）、全氟化碳（PFCS）、六氟化硫（SF₆）和三氟化氮（NF₃）等。

[来源：GB/T 32150-2015，定义 3.1]

3.2 电解铝生产企业 electrolytic aluminum enterprises

以电解铝生产为主营业务的法人企业或视同法人的独立计量单位。

3.3 燃料燃烧排放 fuel combustion emissions

煤炭、燃气、柴油等燃料在各种类型的固定或移动燃烧设备（如锅炉、煅烧炉、窑炉、熔炉、内燃机等）中与氧气充分燃烧产生的二氧化碳排放。

3.4 能源作为原料用途的排放 emission from the use of energy as raw materials

工业生产中，能源作为原材料被消耗，发生物理或化学变化而产生的碳排放。电解铝生产企业所涉及的能源作为原料用途的排放主要是炭阳极消耗所导致的二氧化碳排放，炭阳极（能源产品）是电解铝生产的还原剂。

3.5 工业生产过程排放 industrial production process emissions

工业生产中，除能源之外的原材料发生物理或化学变化造成的碳排放。电解铝生产企业所涉及的工业生产过程排放主要是阳极效应所导致的全氟化碳排放。如果存在石灰石煅烧窑，还应考虑石灰石煅烧分解所导致的二氧化碳排放。

3.6 净购入的电力消费产生的排放 emissions from net purchased electricity consumption

电解铝生产企业净购入的电力消费所对应的电力生产环节产生的二氧化碳排放。

3.7 排放因子 emission factor

表征单位生产或者消费活动量的温室气体排放的系数。

[来源：GB/T 32150-2015，定义 3.13]

3.8 活动数据 activity data 导致温室气体排放的生产或消费活动量的表征值。

注：如各种化石燃料的消耗量、净购入的电量、净购入的热量等。

[来源：GB/T 32150-2015，定义 3.12]

3.9 碳氧化率 carbon oxidation rate

燃料中的碳在燃烧过程被氧化的百分比，表征燃料燃烧的充分性。

[来源：GB/T 32150-2015，定义 3.14]

3.10 低位发热量 net calorific value

燃料完全燃烧，其燃烧产物中的水蒸汽以气态存在时的发热量，也称低位热值

4 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

IPCC：联合国政府间气候变化专门委员会（intergovernmental panel on climate change）；

CEMS：烟气排放连续监测系统（continuous emission monitoring system）；

GWP：全球变暖潜能值（gross domestic product）。

5 碳排放计量流程

开展电解铝生产企业碳排放计量的工作流程包含以下 5 个步骤，见图 1。

- a) 根据碳排放计量工作的目的，确定碳排放计量边界。
- b) 进行碳排放计量核算，具体包括：
 - 1) 确认电解铝生产企业碳排放源；
 - 2) 确认电解铝生产企业碳排放源对应的计量方法；
 - 3) 确认碳排放源对应计量方法的活动数据和排放因子；
 - 4) 确认碳排放对应的活动数据的采集方法；

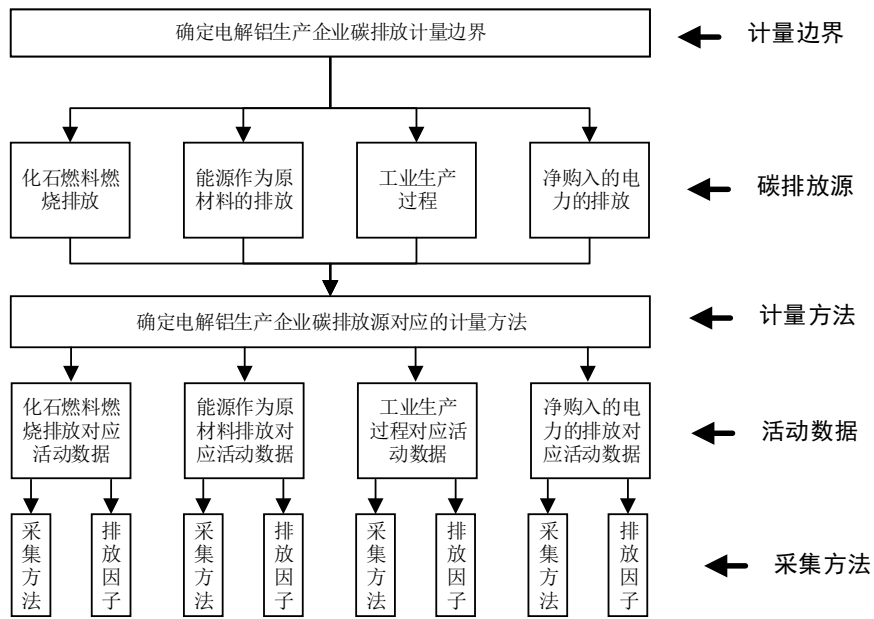


图 1 电解铝生产企业碳计量工作流程图

6 碳排放计量边界

电解铝生产企业碳排放计量应以企业法人或视同法人的独立计量单位为边界，计量其生产系统产生的碳排放，见图2。生产系统包括直接生产系统、辅助生产系统以及直接为生产服务的附属生产系统；

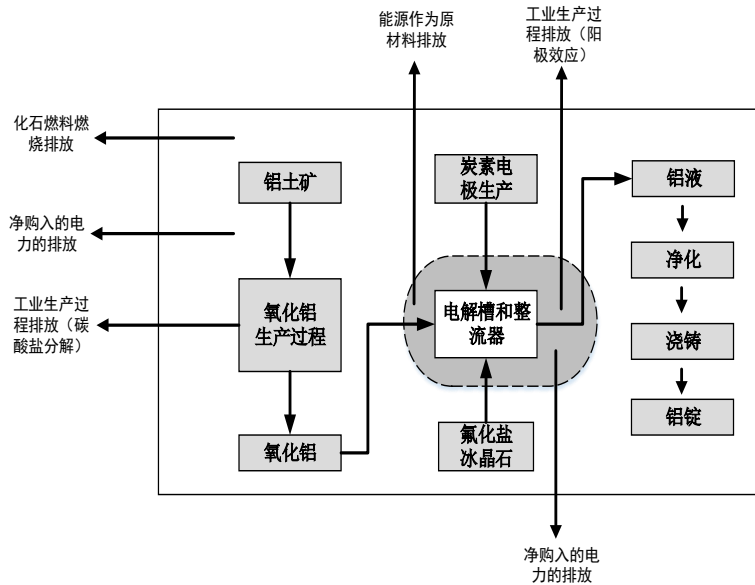


图 2 电解铝生产企业碳计量边界

7 碳排放源

电解铝生产企业碳排放源结构见图3，若企业含自备电厂，碳排放源中则需增加发电使用的煤炭、燃气、柴油等化石燃料燃烧排放。

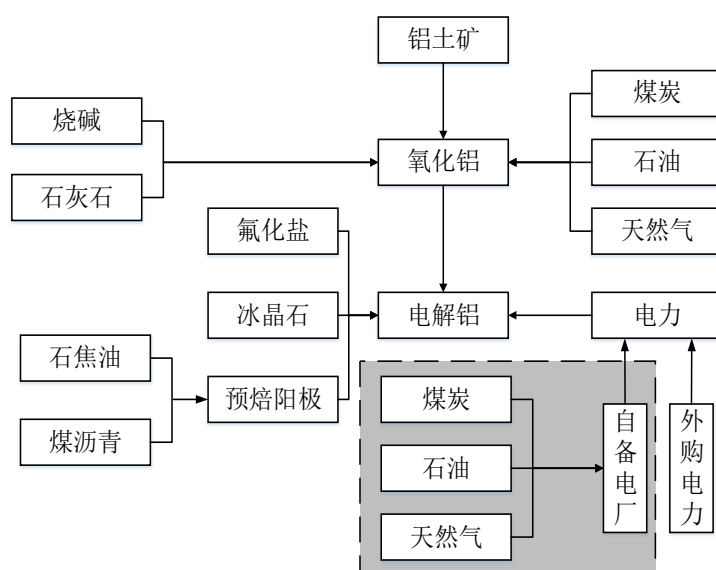


图3 电解铝生产企业碳排放源结构

电解铝生产企业碳排放源包括：化石燃料燃烧排放、能源作为原材料用途的排放、工业生产过程排放、净购入电力的排放，具体排放源包含以下几个部分。

- 化石燃料燃烧排放：燃料在各种类型的固定或移动燃烧设备（如锅炉、窑炉、内燃机、运输车辆等）中与氧气发生氧化过程产生的二氧化碳排放，属于电解铝生产企业的直接排放。
- 化石燃料燃烧排放：电解铝生产企业含自备电厂，自备电厂发电使用的煤炭、燃气、柴油等燃料排放也属于a类型碳排放源，属于电解铝生产企业的直接排放。
- 能源作为原材料用途的二氧化碳排放：炭阳极消耗所导致的二氧化碳排放，炭阳极（能源产品）是电解铝生产的还原剂，属于电解铝生产企业的直接排放。
- 工业生产过程排放：阳极效应全氟化碳排放主要是阳极效应所导致的全氟化碳排放，属于电解铝生产企业的直接排放。
- 工业生产过程排放：碳酸盐分解排放，如电解铝生产企业使用石灰石（主要成分为碳酸钙）或纯碱（主要成分为碳酸钠）等作为生产原料，则还包括碳酸盐分解所产生的二氧化碳排放，属于电解铝生产企业的直接排放。
- 净购入使用电力消费产生的排放：消耗的净购入使用电力所对应的二氧化碳排放，该部分排放实际发生在电力生产企业，属于电解铝生产企业的间接排放。

8 碳排放计量方法

8.1 化石燃料燃烧排放计量方法

化石燃料燃烧所产生的碳排放量可采用排放因子法或碳排放实测法进行计量。

8.1.1 化石燃料燃烧排放因子法

化石燃料燃烧导致的二氧化碳排放量是企业计量时间段内各种燃料燃烧产生的二氧化碳排放量的加总，按公式（1）计算。

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n (AD_i \times EF_i) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$E_{\text{燃烧}}$ —计量时间段内化石燃料燃烧产生的CO₂排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

AD_i —计量时间段内第i种化石燃料的活动水平，单位为百万千焦（GJ）；

EF_i —第i种化石燃料的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳/百万千焦（tCO₂/GJ）；

i—化石燃料类型代号。

8.1.2 化石燃料燃烧排放实测法

电解铝生产企业建设的自备电厂化石燃料燃烧导致的二氧化碳排放量可以通过安装烟气排放连续监测系统（CEMS）中搭载碳排放监测模块进行碳排放实时计量监测。CEMS系统组成及技术要求遵循HJ 76-2017相关要求，采集的数据包含碳排放气体浓度、烟气流速、压力、温度和湿度，最后计量碳排放量。此方法只适用于监测企业法人边界内主要生产系统的燃料燃烧与工业生产过程的二氧化碳排放，辅助和附属生产系统消耗燃料及企业购入和输出电力产生的排放仍需采用核算的方法。

8.2 能源作为原材料用途的排放计量方法

能源作为原材料用途（阳极预焙工艺）在计量时间段内的二氧化碳排放量按公式（2）计算。

$$E_{CO_2\text{预焙}} = \left[GA - \left(\frac{H_w \times GA}{100} \right) - BA - WT \right] \times \frac{44}{12} + \left[PCC \times BA \times \frac{100 - S_{pc} - Ash_{pc}}{100} \right] \times \frac{44}{12} \quad (2)$$

式中：

$E_{CO_2\text{预焙}}$ —阳极预焙工艺二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

GA —阳极预焙前质量，单位为吨（t）；

BA —阳极预焙后质量，单位为吨（t）；

H_w —阳极焙烧前氢含量，单位质量百分数（%）；

WT —焦油回收量，单位为吨（t）；

PCC —填充的焦炭消耗量，单位为吨（t/tBA）；

S_{pc} —填充的焦炭中的硫分含量，单位质量百分数（%）；

Ash_{pc} —填充的焦炭中的灰分含量，单位质量百分数（%）。

8.3 工业生产过程排放计量方法

电解铝生产企业工业生产过程排放量是其阳极效应排放量与煅烧石灰石排放量之和，按公式（3）计算。

$$E_{\text{过程}} = E_{\text{PFCs}} + E_{\text{石灰}} \quad (3)$$

式中：

$E_{\text{过程}}$ —计量时间段内的工业生产过程排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_{2e}）；

E_{PFCs} —计量时间段内的阳极效应全氟化碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_{2e}）；

$E_{\text{石灰}}$ —计量时间段内的煅烧石灰石排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）。

8.3.1 阳极效应计量方法

电解铝生产企业在发生阳极效应时，会排放四氟化碳（CF₄，PFC-14）和六氟化二碳（C₂F₆，PFC-116）两种全氟化碳（PFCs）。阳极效应温室气体排放量的计算公式见式（4）。

$$EF_{\text{PFCs}} = (6500 \times EF_{\text{CF}_4} + 9200 \times EF_{\text{C}_2\text{F}_6}) \times P / 1000 \quad (4)$$

式中：

E_{PFCs} —计量时间段内的阳极效应全氟化碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_{2e}）；

6500—CF₄的GWP值；

EF_{CF_4} —阳极效应的CF₄排放因子，单位为公斤CF₄/吨铝（kg CF₄/t-Al）；

9200—C₂F₆的GWP值；

$EF_{\text{C}_2\text{F}_6}$ —阳极效应的C₂F₆排放因子，单位为公斤C₂F₆/吨铝（kg C₂F₆/t-Al）；

P —阳极效应的活动水平，即计量时间段内的原铝产量，单位为吨（t）。

8.3.2 煅烧石灰石计量方法

电解铝生产企业工业生产过程煅烧石灰石按公式(5)计算石灰石煅烧分解过程的二氧化碳排放量。

$$E_{\text{石灰}} = L \times EF_{\text{石灰}} \quad (5)$$

式中：

$E_{\text{石灰}}$ —石灰石煅烧分解所导致的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

L —计量时间段内的石灰石原料消耗量，单位为吨（t）；

$EF_{\text{石灰}}$ —煅烧石灰石的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吨石灰石（tCO₂/t石灰石）。

8.4 净购入的电力排放计量方法

电解铝生产企业净购入的电力所对应的生产环节二氧化碳排放量按公式（6）计算。

$$E_{\text{电}} = AD_{\text{电力}} \times EF_{\text{电力}} \dots\dots\dots(6)$$

式中：

$E_{\text{电}}$ —净购入的电力、热力消费所对应的电力生产环节二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

$AD_{\text{电力}}$ —计量时间段内的净外购电量，单位为兆瓦时（MWh）；

$EF_{\text{电力}}$ —电力消费的排放因子，单位为吨二氧化碳/兆瓦时（tCO₂/MWh）；

9 碳排放数据获取

9.1 燃料燃烧排放数据获取

9.1.1 排放因子法活动数据获取

燃料燃烧的活动数据是计量时间段内各种燃料的消耗量与平均低位发热量的乘积，按公式（7）计算。

$$AD_i = NCV_i \times FC_i \dots\dots\dots(7)$$

式中：

AD_i —计量时间段内第*i*种化石燃料的活动水平，单位为百万千焦（GJ）；

NCV_i —计量时间段内第*i*种燃料的平均低位发热量，采用本标准提供的推荐值；对固体或液体燃料，单位为百万千焦/吨（GJ/t）；对气体燃料，单位为百万千焦/万立方米（GJ/万 Nm³）；

FC_i —计量时间段内第*i*种燃料的净消耗量，采用企业计量数据，相关计量器具应符合GB 17167《用能单位能源计量器具配备和管理通则》要求；对固体或液体燃料，单位为吨（t）；对气体燃料，单位为万立方米（万Nm³）。

9.1.2 排放因子法排放因子数据获取

燃料燃烧的二氧化碳排放因子按公式（8）计算。

$$EF_i = CC_i \times OF_i \times 44/12 \dots\dots\dots(8)$$

式中：

EF_i —第*i*种燃料的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳/太焦（tCO₂/TJ）；

CC_i —第*i*种燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳/百万千焦（tC/GJ），具备条件的电解铝生产企业可通过实验方法测定该化石燃料的单位热值含碳量（实测值），或者采用本标准附录A所提供的推荐值（缺省值）；

OF_i —第*i*种化石燃料的碳氧化率，单位为%，具备条件的电解铝生产企业可通过实验方法测定该化石燃料的碳氧化率（实测值），或者采用本标准附录A所提供的推荐值（缺省值）。

9.1.3 实测法碳排放数据获取

电解铝生产企业安装了碳排放连续监测系统，系统中搭载碳排放监测模块，相关数据可通过碳排放连续监测系统（CO₂-CEMS）获取。获取的数据包含固定源碳排放气体浓度、烟气流速、压力、温度和湿度，最后计量碳排放量。

9.2 能源作为原材料用途的排放数据监测与获取

9.2.1 活动水平数据获取

所需的活动水平是计量时间段内的原铝产量，采用企业计量数据，单位为吨（t）。

9.2.2 排放因子数据获取

炭阳极消耗的二氧化碳排放因子按公式（9）计算。

$$EF_{\text{炭阳极}} = NC_{\text{炭阳极}} \times (1 - S_{\text{炭阳极}} - A_{\text{炭阳极}}) \times 44/12 \dots\dots\dots(9)$$

式中：

$EF_{\text{炭阳极}}$ —炭阳极消耗的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳/吨铝（tCO₂/t-Al）；

$NC_{\text{炭阳极}}$ —计量时间段内的吨铝炭阳极净耗，单位为吨碳/吨铝（tC/t-Al），具备条件的企业可以按月称重检测，取年度平均值；或者采用中国有色金属工业协会的推荐值0.42 tC/t-Al；

$S_{\text{炭阳极}}$ —计量时间段内的炭阳极平均含硫量，单位为%，具备条件的企业可以按照YS/T63.20—2006《铝用炭素材料检测方法 第20部分：硫分的测定》，对每个批次的炭阳极进行抽样检测，取年度平均值；或者采用中国有色金属工业协会的推荐值2%；

$A_{\text{炭阳极}}$ —计量时间段内的炭阳极平均灰分含量，单位为%，可采用中国有色金属工业协会的推荐值0.4%；具备条件的企业可以按照YS/T 63.19—2006《铝用炭素材料检测方法 第19部分：灰分含量的测定》，对每个批次的炭阳极进行抽样检测，取年度平均值。或者采用中国有色金属工业协会的推荐值0.4%。

9.3 工业生产过程排放数据获取

9.3.1 阳极效应数据获取

9.3.1.1 阳极效应活动水平数据获取

电解铝生产企业阳极效应所需的活动水平是计量时间段内的原铝产量，企业计量数据，单位为吨（t）。

9.3.1.2 阳极效应排放因子数据获取

电解铝生产企业阳极效应的排放因子数据具备条件的企业可采用国际通用的斜率法经验公式，按照公式（10）和公式（11），测算本企业的阳极效应排放因子。

$$EF_{CF_4} = 0.143 \times AEM \quad (10)$$

$$EF_{C_2F_6} = 0.1 \times EF_{CF_4} \quad (11)$$

式中：

EF_{CF_4} —阳极效应的CF₄排放因子，单位为千克CF₄/吨铝（kg CF₄/t-Al）；

$EF_{C_2F_6}$ —阳极效应的C₂F₆排放因子，单位为千克C₂F₆/吨铝（kg C₂F₆/t-Al）；

AEM —平均每天每槽阳极效应持续时间，企业自动化生产控制系统的实时监测数据，单位为分钟。或者采用中国有色金属工业协会推荐的排放因子数值为 0.034 kg CF₄/t-Al和 0.0034 kg C₂F₆/t-Al。

9.3.2 煅烧石灰石数据获取

9.3.2.1 煅烧石灰石活动水平数据获取

电解铝生产企业煅烧石灰石所需的活动水平是计量时间段内的石灰石原料消耗量，企业计量数据，单位为吨（t）。

9.3.2.2 煅烧石灰石排放因子数据获取

电解铝生产企业煅烧石灰石排放因子采用有色金属工业协会推荐值0.405tCO₂/t石灰石。

9.4 净购入电力的排放数据获取

9.4.1 净购入电力的活动水平数据获取

电解铝生产企业净购入电力所需的活动水平是计量时间段内企业电力公司总表数据，企业计量数据，单位为兆瓦时（MWh）。

9.4.2 净购入电力的排放因子数据获取

电解铝生产企业净购入电力的排放因子可根据企业生产地及目前的东北、华北、华东、华中、西北、南方电网划分，选用国家主管部门最近年份公布的相应区域电网排放因子。

10 碳排放数据采集计量要求

10.1 数据采集对象

为充分利用电解铝生产企业现有信息化数据统计基础，以实现碳排放计量相关数据的自动采集与计算，详细分析了电解铝生产企业碳排放活动数据和排放因子的采集计量方法，结果如表1所示。

表1 碳排放核算数据需求项

碳排放核算数据需求项	是否具备自动采集的条件	补充采集方案	数据采集频度
购入电量	是		日
外销电量（如有）	是		日
购入热量	是		日
外销热量（如有）	是		日
原材料消耗量（炭阳极等）	无	人工计算，手动录入	月
煅烧材料消耗量（石灰石等）	无	人工计算，手动录入	月
炭阳极消耗的二氧化碳排放因子	-	实测值优先，提供缺省值	实测值按月更新
原铝产量	是		月
炭阳极平均含硫量	是		月
炭阳极平均灰分含量	是		月
阳极效应的CF ₄ 排放因子	-	实测值优先，提供缺省值	实测值按月更新
阳极效应的C ₂ F ₆ 排放因子	-	实测值优先，提供缺省值	实测值按月更新
槽阳极效应持续时间	是		实际生产情况
化石燃料燃烧消耗量	无	人工计算，手动录入	月
化石燃料的碳氧化率	-	实测值优先，提供缺省值	实测值按化石燃料批次更新
化石燃料的单位热值含碳量	-	实测值优先，提供缺省值	实测值按化石燃料批次更新
化石燃料的二氧化碳排放因子	-	实测值优先，提供缺省值	实测值按化石燃料批次更新
化石燃料燃烧低位发热量	-	实测值优先，提供缺省值	实测值按化石燃料批次更新

根据数据的获取方式不同可分为：物联网设备采集、系统接口采集和人工填报数据。

10.2 数据采集方法

活动数据采集包括物联网设备采集和系统接口采集方式，另外无法采集的数据可通过人工填报的方式。

10.2.1 设备采集

物联网设备采集数据信息可包括一次能源数据如煤炭、液化石油、汽油、天然气等数据；生产过程数据如原材料数据、成品数据、半成品数据、废料数据；净购入电力、热力数据以及其他与碳排放相关

的活动数据。涉及的物联网设备包括电子皮带秤、燃油表、燃气表、电能表、热力表、各类型传感类设备等。通过物联网手段将数据信息自动实时传输至核算设备和系统。

10.2.2 系统接口

系统对接采集信息可包括生产系统、能源系统、CEMS系统等第三方系统，采用接口对接方式将数据信息自动实时传输至核算设备和系统。

10.2.3 手工填报

对于无法自动采集，但对于排放量测算为必需的相关数据，按照采集计量要求的采集频率、测试方法、数据精度、计算方法等进行手工填报。

附 录 A
(资料性)
相关参数缺省值

A.1 常用化石燃料相关参数

表A.1 常用化石燃料相关参数的推荐值

燃料品种		计量单位	低位发热量 (GJ/t, GJ/万 Nm ³)	单位热值含碳量 (tC/TJ)	燃料碳氧化率
固体燃料	无烟煤	吨	20.304	27.49	94%
	烟煤	吨	19.570	26.18	93%
	褐煤	吨	14.080	28.00	96%
	洗精煤	吨	26.344	25.40	90%
	其它洗煤	吨	8.363	25.40	90%
	其它煤制品	吨	17.460	33.60	90%
	石油焦	吨	32.018	27.50	100%
	焦炭	吨	28.447	29.50	93%
液体燃料	原油	吨	41.816	20.10	98%
	燃料油	吨	41.816	21.10	98%
	汽油	吨	43.070	18.90	98%
	柴油	吨	42.652	20.20	98%
	煤油	吨	44.750	19.60	98%
	液化天然气	吨	41.868	17.20	98%
	液化石油气	吨	50.179	17.20	98%
	焦油	吨	33.453	22.00	98%
气体燃料	焦炉煤气	万立方米	173.540	12.10	99%
	高炉煤气	万立方米	33.000	70.80	99%
	转炉煤气	万立方米	84.000	49.60	99%
	其它煤气	万立方米	52.270	12.20	99%
	天然气	万立方米	389.31	15.30	99%
	炼厂干气	万立方米	45.998	18.20	99%

[来源：1. 中国能源统计年鉴 2012；2. 《省级温室气体清单编制指南》；3. 行业调研数据]