

电解铝生产温室气体排放探讨及减排方向

李新华

(中铝郑州有色金属研究院有限公司, 河南 郑州 450041)

[摘要] 本文介绍了温室气体排放相关的标准、分类和计算方法,重点介绍电解铝工序的碳排放计算方法,提出电解铝生产的减碳方向。电解工序的碳排放涉及直接排放(范围一)和间接排放(范围二),即净阳极消耗和阳极效应产生的PFCs排放以及外购电力排放。按推荐值计算的净阳极消耗吨铝排放为1.503 tCO₂e,阳极效应产生的PFCs吨铝排放量为0.252 tCO₂e。根据实测数据计算的阳极净耗吨铝排放量基本在1.5 tCO₂e以下,而由实测数据计算的吨铝PFCs排放波动较大,为0.32~2.38 tCO₂e,均大于0.252 tCO₂e。电解铝生产消耗的电力是铝生产过程最大的间接排放,由于供电排放因子的不同,其排放量为0~16.2 tCO₂e/t。规范统一的计算测定方法是得到准确排放量数据的前提。国家相关部门和大型铝业集团应积极组织测定电解铝行业的直接排放,尤其是PFCs排放。降低阳极消耗,减少阳极效应是降低电解铝工序直接排放的关键,节电则是降低间接排放的关键,节约氧化铝等原辅料的消耗是重要手段,采用排放因子低的绿电也是减碳的重要方向。

[关键词] 电解铝; 碳中和; 温室气体核算; 碳减排; 直接排放; 间接排放

[中图分类号] TF821; X322 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2023)02-0005-06

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.02.002

0 前言

工业生产活动产生的温室气体是全球变暖的重要原因,碳排放权交易是降低温室气体排放的重要手段。温室气体是指大气中吸收和重新放出红外辐射的自然和人为的气态成分,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7种^[1]。温室气体排放简称碳排放。国家监控的八大碳排放行业包括发电、石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、民航^[2]。在有色行业中,电解铝碳排放量最大。电解铝企业排放的温室气体主要有PFCs、CO₂两种。2021年7月16日,发电行业(含自备电厂)已开始进行碳排放权交易,未来电解铝行业也可能上线。弄清电解铝生产过程的碳排放现状,既能为将来碳排放权交易打下数据基础,又能更好地帮助企业找到减碳方向,采取更有效的措施降

低碳排放。

本文介绍了温室气体排放的标准、分类和计算,重点介绍了电解铝工序的碳排放计算方法以及为得到更准确的排放数据需要的测定方法,并提出电解铝生产的减碳方向和措施。

1 温室气体排放相关的标准、分类和计算方法

1.1 温室气体排放相关标准

2004年,世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会共同编制了《温室气体核算体系:企业核算和报告标准(修订版)》,为企业层面的温室气体排放核算和报告奠定了基础。2011年,两家机构编制并发布《温室气体核算体系:企业价值链(范围三)核算和报告标准》,使得企业层面温室气体排放核算和报告体系更加完善。2006年,国际标准化组织发布了ISO14064标准,该标准为政府和工业界提供了一系列综合的程序方法,旨在减少温室气体排放和促进温室气体排放交易。ISO14064系列包括4个标准,分别为温室气体在组织层面的量化和报告(ISO14064-1)、在项目层面的量化和报告(ISO14064-2)、审查和核证指南(ISO14064-3),以及对认证机构的要求(ISO14065)。目前,国际标准化组织环境管理技术委员会温室气体管理及相关活动分

[收稿日期] 2022-09-27

[作者简介] 李新华(1970—),男,河南南阳人,博士,教授级高级工程师,研究方向为温室气体排放核算、碳素材料物理分析、氧化铝生产工艺与技术。

[引用格式] 李新华. 电解铝生产温室气体排放探讨及减排方向[J]. 绿色矿冶, 2023, 39(2): 5-10.

技术委员会(ISO/TC207/SC7)正在制定碳中和国际标准(ISO 14068)。

当前,国内企业层面的温室气体核算标准有《工业企业温室气体排放核算和报告通则》(GB/T 32150—2015)以及 GB/T 32151.1~12—2015 等 12 个行业温室气体排放核算与报告要求。每年生态环境部对重点排放单位进行碳排放核查,依据的是 2013—2015 年国家发改委发布的 24 个行业的《企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》(以下简称《指南(试行)》)。

1.2 温室气体排放的分类

为了更好地理解工业过程(比如电解铝)的碳排放,避免企业层面碳排放的重复计算,下面简单介绍《温室气体 第 1 部分:组织层次上对温室气体排放和清除的量化与报告的规范及指南 ISO 14064-1:2018》提出的排放分类,以及世界资源研究所发布的《温室气体核算体系 企业核算和报告标准》的排放分类。

1.2.1 ISO 14064-1:2018 定义的排放分类

ISO 14064-1:2018 定义的温室气体排放分类包括直接排放和间接排放。直接排放是组织拥有或控制(财务或运行)的温室气体源的排放,如锅炉燃烧、生产过程的排放。

间接排放是因组织的活动引起的,而被其他组织拥有或控制的温室气体源所产生的温室气体排放,如外购的能源(电、热、蒸汽等)和产品、原材料运输等产生的排放。

1.2.2 《温室气体核算体系 企业核算和报告标准》的排放分类

世界资源研究所发布的《温室气体核算体系 企业核算和报告标准》的排放分类包括范围一、范围二和范围三排放。

范围一排放:指报告企业拥有或控制的排放源产生的排放,如企业自有或能控制的锅炉、熔炉、车辆以及经营设备等产生的排放。

范围二排放:指因企业外购制冷、供暖、蒸汽、电力产生的排放,这些排放因企业的活动而产生,但企业并不直接拥有或控制其排放源。

范围三排放:又称价值链排放,指企业其他间接但不包括范围二所涵盖的温室气体排放。大多数排放都存在于企业的供应链中,例如外委制造、原料开采期间、员工通勤或商务旅行、产品及服务使用期间等所产生的排放。

1.2.3 两种排放分类间的关系

从上述定义可以看出,ISO 14064-1:2018 定义的直接排放即为范围一排放,间接排放为范围二和范围三排放之和。

国内《指南(试行)》讨论的是组织(企业)层面的温室气体排放,并不仅仅是工业过程的直接排放,还包括工业过程消耗的电力和热力的排放,相当于范围一和范围二排放,而范围三排放则不在《指南(试行)》讨论的范围之内。

1.3 温室气体排放计算方法

工业企业通用的温室气体计算方法有排放因子法、输入输出平衡法、直接测量法等^[3]。本文主要采用排放因子法和直接测量法来讨论电解铝生产过程的碳排放。

在排放因子法中,温室气体排放总量 E_{CHG} 按下式计算:

$$E_{\text{CHG}} = AD \times EF \times GWP \quad (1)$$

式中, E_{CHG} 为温室气体排放总量, tCO_2e ; AD 为温室气体活动数据; EF 为温室气体排放因子; GWP 为全球变暖潜势, tCO_2e , 其数值可参考政府间气候变化委员会(IPCC)提供的数据^[4]。

针对某个生产单一产品(比如铝)的企业,温室气体排放总量可采用如下公式计算:

$$E = P \times EF_{\text{铝}} \quad (2)$$

式中, E 为某单一产品(铝)企业在核算和报告年度内的温室气体排放总量, tCO_2e ; P 为活动水平,即核算和报告年度内铝的产量, t ; $EF_{\text{铝}}$ 为铝产品的温室气体排放因子, $\text{tCO}_2\text{e}/\text{t}$ 。

2 电解铝生产温室气体排放讨论

2.1 电解铝生产温室气体排放概述

本文依照国家发改委发布的《中国电解铝生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》(以下简称《铝指南(试行)》),对电解铝企业温室气体排放展开讨论。《铝指南(试行)》提出的电解铝企业温室气体排放总量 E 计算公式如下:

$$E = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{原材料}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电和热}} \quad (3)$$

式中, $E_{\text{燃烧}}$ 为企业燃料燃烧产生的温室气体排放量, tCO_2e ; $E_{\text{原材料}}$ 为能源作为原材料用途的温室气体排放量, tCO_2e ; $E_{\text{过程}}$ 为工业生产过程温室气体排放量, tCO_2e ; $E_{\text{电和热}}$ 为企业净购入的电力和热力消费的温室气体排放量, tCO_2e 。

按《铝指南(试行)》,电解铝企业的总排放量包

括直接排放(范围一)和间接排放(范围二)。其中,直接排放包括三部分:1) $E_{\text{燃烧}}$,对于电解铝生产,主要指的是铸锭采用的天然气以及产区内使用的交通工具消耗的汽油和柴油等,本文主要讨论电解铝工序,从氧化铝加入电解槽开始到产出铝液结束,电解工序不存在 $E_{\text{燃烧}}$,这部分不予详细讨论;2) $E_{\text{原材料}}$,即电解铝生产净阳极消耗产生的二氧化碳排放;3) $E_{\text{过程}}$,指电解铝工序阳极效应产生的排放,即 E_{PFCs} 。电解铝企业的间接排放为 $E_{\text{电和热}}$,主要为 $E_{\text{电}}$ 。

依照《铝指南(试行)》, $E_{\text{原材料}}$ 的计算公式如下:

$$E_{\text{原材料}} = EF_{\text{炭阳极}} \times P \quad (4)$$

式中, $E_{\text{原材料}}$ 为核算和报告年度内炭阳极消耗导致的二氧化碳排放, tCO_2e ; $EF_{\text{炭阳极}}$ 为炭阳极消耗的二氧化碳排放因子, $\text{tCO}_2/\text{t-Al}$; P 同式(2)。

E_{PFCs} 的计算公式如下:

$$E_{\text{PFCs}} = (6\,500 \times EF_{\text{CF}_4} + 9\,200 \times EF_{\text{C}_2\text{F}_6}) \times P / 1\,000 \quad (5)$$

式中, E_{PFCs} 为核算和报告年度内的阳极效应全氟化碳排放量, tCO_2e ; 6 500 为 CF_4 的 GWP 值; EF_{CF_4} 为阳极效应的 CF_4 排放因子, kg/t ; 9 200 为 C_2F_6 的 GWP 值; $EF_{\text{C}_2\text{F}_6}$ 为阳极效应的 C_2F_6 排放因子, kg/t ; P 为同式(2)。

$E_{\text{电}}$ 的计算公式如下:

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

$$E_{\text{电}} = P \times NC_{\text{电力}} / 1\,000 \times EF_{\text{电力}} \quad (7)$$

式中, $E_{\text{电}}$ 为核算和报告年度内消耗电力的 CO_2 排放

量, tCO_2e ; $AD_{\text{电力}}$ 为核算和报告年度内消耗电量, $\text{MW}\cdot\text{h}$; $NC_{\text{电力}}$ 为吨铝综合交流电耗, $\text{kW}\cdot\text{h}$; $EF_{\text{电力}}$ 为电力排放因子, $\text{tCO}_2\text{e}/\text{MW}\cdot\text{h}$; P 同式(2)。

综上所述,电解铝工序的温室气体排放为:

$$E = P \times EF_{\text{铝}} = EF_{\text{炭阳极}} \times P + (6\,500 \times EF_{\text{CF}_4} + 9\,200 \times EF_{\text{C}_2\text{F}_6}) / 1\,000 \times P + NC_{\text{电力}} / 1\,000 \times EF_{\text{电力}} \times P \quad (8)$$

化简后,得到:

$$EF_{\text{铝}} = EF_{\text{炭阳极}} + (6\,500 \times EF_{\text{CF}_4} + 9\,200 \times EF_{\text{C}_2\text{F}_6}) / 1\,000 + NC_{\text{电力}} / 1\,000 \times EF_{\text{电力}} \quad (9)$$

对于铝企业温室气体排放,主要讨论电解铝工序的排放,即吨铝的排放 $EF_{\text{铝}}$ 。吨铝排放量主要由吨铝阳极净耗带来的排放($EF_{\text{炭阳极}}$)、吨铝产生的阳极效应带来的排放(EF_{CF_4} 和 $EF_{\text{C}_2\text{F}_6}$)以及吨铝净电力消耗($NC_{\text{电力}}$ 和 $EF_{\text{电力}}$)带来的间接排放构成。

2.2 净阳极消耗导致的 CO_2 排放量计算与讨论

按照《铝指南(试行)》,炭阳极消耗产生的二氧化碳排放因子 $EF_{\text{炭阳极}}$ 按下式计算:

$$EF_{\text{炭阳极}} = NC_{\text{炭阳极}} \times (1 - S_{\text{炭阳极}} - A_{\text{炭阳极}}) \times 44 \div 12 \quad (10)$$

式中, $EF_{\text{炭阳极}}$ 同式(4), $NC_{\text{炭阳极}}$ 为核算和报告年度内的吨铝炭阳极净耗, t ; $S_{\text{炭阳极}}$ 为核算和报告年度内的炭阳极平均含硫量, %; $A_{\text{炭阳极}}$ 为核算和报告年度内的炭阳极平均灰分含量, %。实际阳极中含有灰分、硫分等杂质,根据调研企业实测数据计算得到的阳极消耗产生的排放量见表1。

表1 阳极消耗产生的排放量计算

序号	吨铝排放量/ tCO_2e	$NC_{\text{炭阳极}}/\text{t}$	$S_{\text{炭阳极}}/\%$	$A_{\text{炭阳极}}/\%$	备注
1	1.503 0	0.420	2.000	0.400	《铝指南(试行)》推荐值
2	1.498 8	0.420	2.326	0.347	企业 A 实测值
3	1.468 0	0.410	2.000	0.350	企业 B 实测值
4	1.440 7	0.405	2.610	0.370	企业 C 实测值
5	1.359 9	0.380 ^[5]	2.000	0.400	企业 D 的实测值

从表1可以看出,按《铝指南(试行)》提供的推荐值计算得到的吨铝排放量为 1.503 tCO_2e ,按企业实测数据得到的数值都在 1.5 tCO_2e 以下,有企业阳极净耗已能降至 380 kg,吨铝排放量仅为 1.36 tCO_2e 。显然《铝指南(试行)》列举的推荐值都大于企业的实测值,能起到激励企业检测的作用。

《铝指南(试行)》提供的吨铝阳极净耗

($NC_{\text{炭阳极}}$) 为 0.42 t;测定方法为按月称重检测,取年度平均值; $S_{\text{炭阳极}}$ 的推荐值为 2%,测定方法参照《铝用炭素材料检测方法第 20 部分:硫分的测定》(YS/T 63.20—2006),对每个批次的炭阳极进行抽样检测,取年度平均值; $A_{\text{炭阳极}}$ 的推荐值为 0.4%,测定方法为按照《铝用炭素材料检测方法第 19 部分:灰分含量的测定》(YS/T 63.19—2012),对每个批

次的炭阳极进行抽样检测,取年度平均值。

为促进企业能更好地进行测算,对硫分的测定可考虑采用《铝用炭素材料检测方法 第16部分:元素含量的测定 波长色散 X-射线荧光光谱分析方法》(YS/T 63.16—2019)中的方法。两种检测方法均能满足准确测量的要求,采用 YS/T 63.16—2019 中的荧光法分析操作更方便快捷一些。

2.3 阳极效应排放计算与讨论

阳极效应的排放因子与电解槽的技术类型密切相关。目前我国电解铝生产主要采用国际先进的点式下料预焙槽技术(PFPB)。《铝指南(试行)》中提供的排放因子推荐数值 EF_{CF_4} 为 0.034 kg/t, $EF_{C_2F_6}$

为 0.003 4 kg/t。《铝指南(试行)》中提供的阳极效应排放因子计算方法为国际通用的斜率法,经验公式如下:

$$EF_{CF_4} = 0.143 \times AEM \quad (11)$$

$$EF_{C_2F_6} = 0.1 \times EF_{CF_4} \quad (12)$$

式中, EF_{CF_4} 和 $EF_{C_2F_6}$ 同式(5); AEM 为平均每天每槽阳极效应持续时间,是企业自动化生产控制系统的实时监测数据, min。0.1 为 C_2F_6 与 CF_4 的重量比;0.143 为斜率系数 S_{CF_4} 。

表 2 为收集到的阳极效应产生的吨铝碳排放量。表 3 为 2008 年某研究院测定的部分电解铝槽型的斜率系数 S_{CF_4} 以及吨铝 PFCs 数值。

表 2 阳极效应吨铝碳排放量

序号	$EF_{PFCs}/(tCO_2e/t)$	$PFCs/kg \cdot t^{-1}$	$EF_{CF_4}/kg \cdot t^{-1}$	$EF_{C_2F_6}/kg \cdot t^{-1}$	备注
1	0.252 3	0.037 4	0.034	0.003 4	《铝指南(试行)》推荐值
2	0.320 0	0.048 9			A 企业一系列测量值
3	0.660 0	0.100 0			A 企业二系列测量值
4	2.380 0	0.362 0			B 企业测量值
5	0.700 0				国际铝协 2018 年非二氧化碳排放 ^[6]
6	1.017 1	0.150 8	0.137 1	0.013 71	C 企业计算值

从表 2 中可以看出,《铝指南(试行)》给出的推荐值吨铝 PFCs 排放仅有 0.252 3 tCO₂e,不到国际铝协 2018 年全球平均数值 0.700 0 tCO₂e 的一半。这说明《铝指南(试行)》当前给定的推荐值明显偏低,起不到激励企业检测的作用。

表 3 斜率系数 S_{CF_4} 和吨铝 PFCs 排放量计算表

电解槽	GX-	GX-	ZY-
	160 kA	320 kA	200 kA
电解槽数目/台	68	13	95
监测时间/h	86.29	72.22	72.07
期间效应/次	24	26	80
阳极效应系数/(次/(槽·日))	0.10	0.66	0.28
平均效应持续时间/min	2.67	3.64	3.17
阳极效应时间/min	0.262	2.419	0.888
出铝量/t	339.594	101.358	430.198
CF ₄ 排放量/kg	15.995	9.842	150.999
C ₂ F ₆ 排放量/kg	0.615	0.303	4.797
总 CF ₄ 排放率/kg·t ⁻¹	0.047 1	0.097 1	0.351
C ₂ F ₆ 排放率/kg·t ⁻¹	0.001 81	0.002 99	0.011
C ₂ F ₆ /CF ₄ 重量比	0.080	0.043	0.056
CO ₂ -eq/t·t ⁻¹	0.32	0.66	2.38
斜率系数(S_{CF_4})	0.087	0.029	0.224

从表 3 可以看出,不同电解槽系列的指标参数差别较大。三个系列电解槽的斜率系数 S_{CF_4} 分别为 0.087、0.029、0.224,与公式(11)中的 0.143 差别较大,且规律性不强;三个系列电解槽的 C_2F_6/CF_4 重量比为 0.080、0.043、0.056,比公式(12)中的 0.1 偏低。这说明式(11)给出的斜率系数 0.143 以及式(12)给出的 C_2F_6/CF_4 重量比 0.1 都不是很符合企业的实际。

当前 PFCs 测定的方法为《电解铝生产全氟化碳排放量测定方法》(YS/T 801—2012)。建议国家相关部门及大型铝业集团对电解槽进行 PFCs 实际测量,以得到更符合我国实际的斜率系数和 C_2F_6/CF_4 重量比,并修正目前的数值,给出高于大部分企业实际的推荐值,以激励企业自行检测。

2.4 电力消耗排放量计算与讨论

吨铝电力消耗带来的间接排放与吨铝综合交流电耗 $NC_{\text{电力}}$ 和供电排放因子 $EF_{\text{电力}}$ 有关。吨铝综合交流电耗 $NC_{\text{电力}}$ 反应了企业电解工艺的先进水平,直接决定了未来电解铝企业上市交易的排放基准,是决定电解铝企业碳排放量的关键因素。而电力排放因子对电力消耗带来的间接排放量影响巨大(表 4)。

表4 电力消耗带来的碳排放量计算

序号	吨铝碳排放量/tCO ₂ e	NC _{电力} /kW·h	EF _{电力} /(tCO ₂ e/MW·h)	备注
1	0	13 500	0	绿电排放因子
2	5.292	13 500	0.392	燃气发电基准值 ^[7]
3	7.843 5	13 500	0.581	2021年全国电力排放因子 ^[4]
4	11.839 5	13 500	0.877	300 MW以上燃煤发电基准值 ^[7]
5	13.216 5	13 500	0.979	300 MW以下燃煤发电基准值 ^[7]
6	12.727 0	13 000	0.979	300 MW以下燃煤发电基准值 ^[7]
7	16.200 0	13 500	1.200	某企业实测计算值

从表4可以看出,电力排放因子($EF_{\text{电力}}$)对电力消耗的碳排放量大小起决定作用。绿电等可再生能源的电力排放因子可看作0,则不管吨铝综合交流电耗多大,吨铝排放量都接近于0。在吨铝综合交流电耗为13 500 kW·h时,如果采用燃气发电,吨铝排放量为5.292 tCO₂e;如果采用300 MW以上常规燃煤机组,吨铝排放量为11.839 5 tCO₂e;如果采用300 MW以下常规燃煤机组,吨铝排放量为13.216 5 tCO₂e;某企业由于其电力排放因子为1.2 tCO₂e/MW·h,其电力间接排放达16.2 tCO₂e/t。含自备电厂的电解铝企业所用多为300 MW以下的常规燃煤机组,电力排放因子大多都在0.979 tCO₂e/MW·h以上,即使其吨铝综合交流电耗为13 000 kW·h,其电力消耗带来的吨铝排放量也达到12.727 tCO₂e。

3 电解铝生产减碳方向与措施

对于电解铝企业,主要的排放是电解工序导致的直接排放,即阳极净耗排放以及PFCs排放等,另外还有化石燃料燃烧和烟气净化等其他排放。

因此,降低阳极炭块消耗和电解铝生产过程中的阳极效应,是降低电解工序二氧化碳直接排放的主要手段之一。计算阳极净耗时,要考虑残阳极的回收。电力消耗排放是电解铝企业最大的范围二排放。首先要降低电解工序的电力消耗,其次要降低附属及辅助系统的电力消耗,再者通过技术改造、管理创新等措施,降低企业的电力消耗。此外,采用水电、风电、光伏、核电、生物质能等新能源,或改为燃气发电,也可大大降低电力排放因子。

电解铝生产中消耗的氧化铝、阳极炭块等主要原料的生产过程中也可能产生直接排放和能源间接排放。因此降低生产过程中氧化铝、阳极、氟

化盐等主辅材料的消耗,是降低温室气体排放的重要手段。另外,在全价值链排放计算中,氧化铝是电解生产消耗最多的原料,如果把电解铝企业建在氧化铝厂附近(同样将氧化铝企业建设在铝土矿附近),那么可减少氧化铝(或者铝土矿)由于运输造成的排放。

总而言之,降低阳极消耗,减少阳极效应是降低电解铝工序直接排放的关键,节电则是降低间接排放的关键,节约氧化铝等原辅料的消耗等是企业自身努力可降低的因素,在可能的条件下采用绿电等排放因子低的电源也是减碳的重要方向。

4 结论

《铝指南(试行)》是当前重点排放企业核算采用的方法,主要核算直接排放(范围一排放)以及间接排放(范围二排放),不包括范围三的间接排放。在电解铝工序中,核算的碳排放包括净阳极消耗和阳极效应产生的PFCs排放,以及外购电力排放。

按照《铝指南(试行)》推荐值计算的吨铝阳极净耗的排放量为1.503 tCO₂e,阳极效应产生的PFCs吨铝排放为0.252 tCO₂e。由实测数据计算得到的阳极净耗吨铝排放量基本在1.5 tCO₂e以下;而由实测数据计算得到的PFCs排放波动较大,为0.32~2.38 tCO₂e/t,都高于0.252 tCO₂e。电解铝生产的电力消耗产生的碳排放是铝生产过程中最大的间接排放(范围二),由于供电排放因子的不同,其排放量为0~16.2 tCO₂e/t。

规范统一的计算测定方法是得到准确排放量数据的基础。国家有关部门以及大型铝业集团应积极组织测定电解铝行业的直接排放,尤其是PFCs排放,得到更符合国内实际的参数值,以激励企业自行检测。

[参考文献]

- [1] 生态环境部. 碳排放权交易管理办法(试行)[EB/OL]. [2020-12-31]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/06/content_5577360.htm.
- [2] 生态环境部办公厅. 关于做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知[EB/OL]. [2022-03-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202203/t20220315_971468.html.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 工业企业温室气体排放核算和报告通则:GB/T 32150—2015[S]. 中国标准出版社, 2016-06-01.
- [4] 生态环境部. 企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施(2022年修订版)[EB/OL]. <https://wenku.solarbe.com/p-24854.html>.
- [5] 段理杰, 魏未, 唐卉君, 等. 电解铝企业温室气体排放现状分析[J]. 节能, 2019, 38(9):171-172.
- [6] 董春明. 国际铝协发布全球铝工业生命周期清单报告[R/OL]. <https://www.cnmm.com.cn/ShowNews1.aspx?id=422844>.
- [7] 生态环境部. 2019—2020年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案(发电行业)[EB/OL]. [2020-12-30]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202012/t20201230_815546.html.

Discussion on Greenhouse Gas Emission of Electrolytic Aluminum Production and Measures of Emission Reduction

LI Xinhua

Abstract: This paper introduced the relevant standards, classification and calculation methods of greenhouse gas emissions, focused on the calculation method of carbon emissions in the electrolytic aluminum process, and put forward the carbon reduction direction of electrolytic aluminum production. The carbon emission of the electrolysis process involves direct emission (scope I) and indirect emission (scope II), namely, the PFCs emission generated by the net anode consumption and anode effect, as well as the emission of purchased power. The net anode consumption per ton of aluminum emission calculated according to the recommended value is 1.503 tCO₂e, and the PFCs per ton of aluminum emission generated by the anode effect is 0.252 tCO₂e. The net consumption of aluminum per ton of anode calculated according to the measured data is basically below 1.5 tCO₂e, while the PFCs emission calculated from the measured data fluctuates greatly from 0.32 to 2.38 tCO₂e/t, both of which are greater than 0.252 tCO₂e. The electricity consumed in electrolytic aluminum production is the largest indirect emission in the aluminum production process. Due to different power supply emission factors, its emission is 0~16.2 tCO₂e/t. Standardized and unified calculation and measurement methods are the prerequisite for obtaining accurate emission data. Relevant national departments and large aluminum industry groups should actively organize the measurement of direct emissions of electrolytic aluminum industry, especially PFCs emissions. Reducing anode consumption and anode effect is the key to reduce the direct emission of electrolytic aluminum process, saving electricity is the key to reduce indirect emission, saving the consumption of raw and auxiliary materials such as aluminum oxide is an important means, and adopting green electricity with low emission factor is also an important direction of carbon reduction.

Key words: electrolytic aluminum; carbon neutrality; greenhouse gas accounting; carbon emission reduction; direct discharge; indirect emission