

基于跨境生命周期视角的 含钴物料利用能耗评估及其市场应用前景

潘生林¹ 余淑媛² 黄可¹ 封亚辉¹ [通讯作者] 严文勋¹

(1. 南京海关工业产品检测中心, 江苏 南京 210001)

(2. 深圳海关工业品检测技术中心, 广东 深圳 518067)

摘要: 介绍了全球及中国市场钴消费市场行情, 结合跨境含钴物料资源利用现状, 研究以含钴物料为对象分析其用于加工生产三氧化二钴的过程, 建立能耗评估指标体系及评估模型, 通过实景应用案例研究了基于跨境生命周期视角的含钴物料利用能耗评估状况。研究表明, 该类物料基于跨境生命周期视角的能耗评估呈现效果良好, 该评估方法在含钴物料再生资源评估体系、事后监管、市场化评估推广中具有良好应用前景。

关键词: 跨境; 生命周期; 含钴物料; 能耗评估; 市场应用

0 前言

钴是一种重要的金属元素, 在工业和科技领域中具有广泛的市场应用, 作为战略性冶金资源, 对国家稳定发展和国际竞争力具有重要战略意义。随着我国现代化建设的高速发展, 国内资源已无法满足生产和市场需要, 对进口市场资源依赖度越来越大。同时, 随着“双碳”目标共识的形成, 新能源产业所需的战略矿产冶金资源在全球能源市场转型过程中发挥至关重要的作用。

合理利用含钴物料可减少原生矿物的开采和利用, 但跨境含钴物料的运输、存储和生产加工过程会消耗物料、造成能耗和环境排放, 资源化利用的监管要求和市场价值需要科学评估。本文围绕跨境产品特定的生命周期过程(包括国际运输、海关查验、国内运输、初级产品加工4个环节), 研究分析基于生命周期视角的综合能耗(包括产量能耗、产值能耗、投入能耗)开展评估应用, 为可再生矿冶产品资源利用应用价值评估和市场应用前景提供技术支撑^[1]。

1 钴资源产业市场行情现状分析

据中投产业研究院数据调查, 2016–2020年中国市场钴消费量从31.3千金属吨增长至42.9千金属吨, 2016–2020年复合增长率为8.2%。2021年中国市场钴消费量54.7千金属吨, 该研究院发布的《2023–2027年中国无钴电池行业深度调研及投资前景预测报告》显示, 2022年中国市场钴消费量约68千金属吨。而根据USGS数据, 2022年全球钴资源储量约为830万t,

其中刚果(金)的钴资源储量最大, 约为400万t, 占比为48.2%。全球绝大多数钴资源位于刚果金和赞比亚的沉积物型层状铜矿中、澳大利亚及附近国家和古巴的含镍红土矿床以及澳大利亚、加拿大、俄罗斯和美国镁铁质和超镁铁质岩石中的岩浆型镍铜硫化物矿床。在钴的生产和市场消费方面, 全球钴产量持续增长, 刚果金成为产量最大、增速最快的国家。根据USGS数据, 2022年全球钴产量约为19万金属吨, 同比增长15.15%。刚果金的钴产量约为13万金属吨, 占比为68.4%。而其他国家的产量均在1万金属吨以下。钴市场消费主要集中在电池材料、合金、磁性材料等领域^[2–3]。

2 基于LCA视角的综合能耗评估

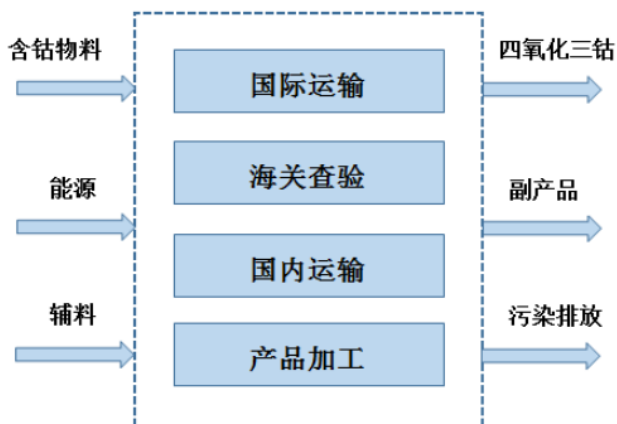


图1 跨境含钴物料的生命周期系统边界

本文以市场产业链中进口含钴物料生产三氧化二

钴为研究对象,功能单位是 1t 四氧化三钴。本研究的生命周期系统边界从含钴物料离开出口国开始,至在我国加工成四氧化三钴为止,可以划分成国际运输、海关查验、国内运输、生产加工四个生命周期过程。跨境生命周期系统边界图 1 所示。

研究提供了基本的评估思路,如涉及不同工艺、过程等工况下,对应的比较基数折算、级别区间、物料等情况可根据生产和市场行情实际作出对应的选择和调整。

2.1 能耗评估模型构建

2.1.1 能耗评估指标架构和核算要素

对于研究中的能耗评估,综合考虑钴市场链条生命周期过程中产量、经济和投入产出等因素,设定单位产量能耗、单位产值能耗和单位投入能耗三项一级指标。其中,单位产量能耗参考 YS/T 1412-2021《钴冶炼企业单位产品能源消耗限额》相关要求,单位产值能耗和单位投入能耗结合上述行业标准和国内钴冶炼行业实际情况,根据评估计算结果对各项一级指标予以赋值和分级,从而实现能耗客观评估^[4-5];对应的二级指标主要考虑单位产量、单位产值、单位投入项目下的耗水量、耗电量、耗热量、燃油消耗量等。

2.1.2 能耗评估模型

本文研究首先利用能耗的三项一级指标核算数值,对于单位产量能耗,研究采用核算方式如式(1)所示。

$$E_{\text{产量}} = \sum_{i=1}^n (\theta_i \times p_i) \quad (1)$$

式中: $E_{\text{产量}}$ 为单位产量综合能耗(kgce/t); θ_i 为生产 1t 成品消耗的第 i 种能源实物量或耗能工质,单位为吨(t)或千瓦时(kW·h)或千克标准煤(kgce);为第 i 种能源的折算系数,计算时消耗量与折算系数单位需折算保持对应。对于单位产量能耗指标下的 4 个二级指标,即单位产量下各种能源实物量或耗能工质消耗量,分别用 $\theta_{\text{水}}$ 、 $\theta_{\text{电}}$ 、 $\theta_{\text{热}}$ 、 $\theta_{\text{燃油}}$ 表示。

对于单位产值能耗,研究采用核算方式如式(2)所示。

$$E_{\text{产值}} = \sum_{i=1}^n (\omega_i \times p_i) \quad (2)$$

式中: $E_{\text{产值}}$ 为单位产值综合能耗(kgce/万元成品); ω_i 为生产市场值一万元目标产品消耗的第 i 种能源实物量或耗能工质,单位为吨(t)或千瓦时(kW·h)或千克标准煤(kgce);为第 i 种能源的折算系数,计算时消耗量与折算系数单位需折算保持对应。对于单位产值能耗指标下的 4 个二级指标,即单位产值下

各种能源实物量或耗能工质消耗量,分别用 $\omega_{\text{水}}$ 、 $\omega_{\text{电}}$ 、 $\omega_{\text{热}}$ 、 $\omega_{\text{燃油}}$ 表示。

对于单位投入能耗,研究采用核算方式如式(3)所示。

$$E_{\text{投入}} = \sum_{i=1}^n (\gamma_i \times p_i) \quad (3)$$

式中: $E_{\text{投入}}$ 为含钴物料单位投入综合能耗,单位为千克标准煤/吨富集物(kgce/t 含钴物料); γ_i 为 1t 含钴物料再生流程中消耗的第 i 种能源实物量或耗能工质,单位为吨(t)或千瓦时(kW·h)或千克标准煤(kgce);为第 i 种能源的折算系数,计算时消耗量与折算系数单位需折算保持对应。对于单位投入能耗指标下的 4 个二级指标,即单位投入下各种能源实物量或耗能工质消耗量,分别用 $\gamma_{\text{水}}$ 、 $\gamma_{\text{电}}$ 、 $\gamma_{\text{热}}$ 、 $\gamma_{\text{燃油}}$ 表示。

参考 YS/T 1412-2021《钴冶炼企业单位产品能源消耗限额》中限定值、准入值和先进值相关要求并结合国内钴冶炼行业实际情况,给予等级赋值。以单位产量能耗为例,研究含钴物料生产四氧化三钴的过程,参考 YS/T 1412-2021 中由钴原料到氯化钴溶液,再由氯化钴溶液到四氧化三钴的能耗限额,采用分级并赋值,如表 1 所示。

表 1 单位产量能耗评级标准

级别	赋值	单位产量能耗(kgce/t)
一级	4	$E \leq 3000$
二级	3	$3000 < E \leq 3900$
三级	2	$3900 < E \leq 4050$
四级	1	$E > 4050$

根据能耗评估流程,综合量化各项指标,计算得到能耗评估值($\eta_{\text{效率}}$),具体如式(4)所示。

$$\eta_{\text{效率}} = \alpha_{\theta} \cdot \eta_{\theta} + \alpha_{\omega} \cdot \eta_{\omega} + \alpha_{\gamma} \cdot \eta_{\gamma} \quad (4)$$

式中: $\eta_{\text{效率}}$ - 能耗评估值; α_{θ} 、 α_{ω} 、 α_{γ} - 分别表示单位产量能耗、单位产值能耗和单位投入能耗的权重值; η_{θ} 、 η_{ω} 、 η_{γ} - 分别表示单位产量能耗、单位产值能耗和单位投入能耗的赋值。利用等级比重法,根据能耗评估值,具体分为 $\eta_{\text{效率}}=4$ 、 $3 \leq \eta_{\text{效率}} < 4$ 、 $2 \leq \eta_{\text{效率}} < 3$ 和 $1 \leq \eta_{\text{效率}} < 2$, 将能耗划分为一级至四级,从而获得对应能耗水平为高、较高、一般、差四类。

2.2 市场实景评估案例分析

市场实景评估分析选择跨境粗氢氧化钴作为具体含钴物料类别,生产加工四氧化三钴这一过程,以粗氢氧化钴为原材料的四氧化三钴生产工艺子系统较

多,涉及到热解、还原、脱杂、萃取等过程,本文研究列出主要的生产工艺流程,如图2所示。



图2 粗氢氧化钴加工流程图

同时,以1t四氧化三钴目标产物为评估单元,结合行业中企业典型工况的生产情况为统计参照,以满足YS/T 633-2015《四氧化三钴》标准中 CO_3O_4-0 牌号作为基准,消耗含钴原料(粗氢氧化钴)5.98t,各类能源实物和耗能工质清单如表2所示。

表2 单位产量消耗含钴原料及能源清单

名称	单位	数量
水	t	123.38
电	kWh	8293.21
煤	t	3.94
焦炭	t	1.97
煤油	t	0.24
柴油	kg	82.46
汽油	kg	0.094

根据GB/T 2589-2020《综合能耗计算通则》中关于能源和耗能工质折标准煤系数,将上表数据折算标准煤后,得到单位产量能耗为3550.72 kgce/t,依据行业中产品市场价值走势(以2022年12月产品价格为基准)及含钴物料消耗当量对比计算,获得单位产值能耗为170.61 kgce/万元,单位投入能耗为593.77 kgce/t,单位产量能耗、单位产值能耗、单位投入能耗对应分级为二级,赋值为3,从而得到此种市场实景工况下能耗水平为较高。

3 应用前景及监管策略建议

3.1 健全含钴物料资源利用的市场应用前景价值评估体系

每一种矿冶产品领域的资源化市场利用技术,需要全方位的科学评估,而针对于跨境含钴物料,受到政策影响、产品品质、耗能实况、市场经济价值、环境影响等因素较多,合理科学的开展能耗评估分析能够为矿冶领域的再生资源科学利用提供更多选择,能

耗评估对于研究典型进口战略冶金资源的分级鉴别,进而量化其分级参数,可以应用于相关二次物料、再生物料的固废属性鉴别、市场前景价值评估,为进口市场价值链条提供科技支撑。

3.2 有效支撑跨境可再生含钴物料事后监管和市场应用价值导向

口岸海关怀疑为固废的矿产冶金物料大多属于经过回收处理的二次物料以及不同加工程度处理的再生物料,而随着新版《固废法》(2020版)和生态环境部、商务部、发改委和海关总署联合公告(2020年第53号)《关于全面禁止进口固体废物有关事项的公告》的颁布,传统的固体废物和可再生资源产品之间的管理政策红线明晰,可再生产品标准不断完善,国内市场化应用链条不断变化,跨境可再生资源产品可能会呈现动态调整局面。在此背景下,开展跨境可再生含钴物料能耗评估分析,对于事后监管支撑以及引导钴资源市场化利用价值导向具有重要意义^[6-7]。

参考文献:

- [1] 马雪,王洪涛.生命周期评价在国内的研究与应用进展分析[J].化学工程与装备,2015(2):164-166.
- [2] 吴学君,邓思敏.基于市场势力视角对中国钴资源进口市场结构的研究[J].价格月刊,2022(7):71-75.
- [3] 袁启奇.中国钴市场浅谈[J].中国金属通报,2018(1):21-23.
- [4] 宋晨希,宋留成.工业行业能效评价方法的分析和比较[J].中国能源,2018,40(8):30-34.
- [5] YS/T1412-2021.钴冶炼企业单位产品能源消耗限额[S].北京:国家市场监督管理总局,2021.
- [6] 佚名.中华人民共和国固体废物污染环境防治法[C]//全国氟化工环境保护与绿色化学研讨会,2020.
- [7] 改革发展委员会.关于全面禁止进口固体废物有关事项的公告(2020年第53号)[J].再生资源与循环经济,2020(12):1.

作者简介:

潘生林(1980-),男,汉族,江苏盐城人,硕士,高级工程师,研究方向:进出口商品检验技术研究。
封亚辉(1975-),男,汉族,江苏泰州人,硕士,研究员,系本文通讯作者,研究方向:进出口商品检验技术研究。

基金项目:

海关总署科研项目(2022HK060)。
南京海关科研项目(2023KJ06)。