

基于产品生命周期评价方法的 湿法提钒流程对资源环境发展影响分析

白丽² 李兰杰¹ 马瑞峰² 陈树军^{1,2} 王海旭² 赵备备²

(1. 河钢承德钒钛新材料有限公司, 河北 承德 067000)

(2. 河北省钒钛产业技术研究院, 河北 承德 067000)

摘要: 生命周期评价方法 (Life Cycle Assessment, LCA) 是系统化、定量化评价产品生命周期过程中资源环境效率的标准方法, LCA 可以从产品生产全过程考察其环境性能, 指出减少产品环境影响的方向和途径, 对于改善产品的生产工艺、减少环境污染, 开展环境与产品、工艺协调性具有重要的意义。LCA 评价方法在汽车、钢铁、制药、稀土等诸多行业广泛应用, 在钒渣提钒产业应用鲜有报道。本文根据承德钒钛新材料有限公司钒渣亚熔盐法高效提钒清洁生产项目及生产实际, 采用 LCA 评价方法全面评价亚熔盐法湿法提钒工艺在生命周期过程中所涉及的资源、能源消耗及环境污染排放状况, 识别该过程产生污染的关键影响因子, 提出该工艺污染排放和节约能源资源使用的优化解决方案, 为钒的清洁提取提供行业发展方向和途径。

关键词: 产品生命周期评价; 清洁提钒; 五氧化二钒; 资源环境影响; 应用价值

钒是全球性的稀缺资源和重要战略金属, 在钢铁、化工、航空航天、军工、新能源、核工业等领域应用广泛。传统钒渣提钒工艺资源能源利用率低, 三废产生量大, 污染环境且治理代价高。针对上述问题, 基于中国科学院过程工程研究所的开发亚熔盐法湿法提钒技术, 河钢承钢建设钒渣亚熔盐法钒铬共提示范产线, 从源头解决有害窑气、高盐氨氮废水的排放, 还可实现钒渣中伴生铬资源的高效提取及高值化利用, 避免含铬固废的排放, 水介质闭路循环利用, 无窑气产生, 实现绿色化新发展。

1 评价对象

生命周期评价对象为承德钒钛新材料有限公司生产的五氧化二钒。该企业基于钒渣现有钠化焙烧提钒技术绿色化方面的不足, 联合中科院过程工程研究所, 研发具有原创性自主知识产权的钒渣亚熔盐法钒铬高效提取分离清洁生产技术, 本文根据钒渣亚熔盐法高效提钒清洁生产的实际情况进行生命周期评价, 系统数据库采用中国生命周期基础数据库 (CLCD)。

2 系统边界

产品生命周期理论上应包括所有的过程, 即从原材料的获取到五氧化二钒的产出过程, 该生命周期评价不考虑生产设备和建筑设施相关的环境污染, 单元过程根据亚熔盐法清洁提钒生产工艺流程进行划分,

主要包括: ①产品生产单元过程: 原料准备、浆液氧化及稀释脱硅、尾渣分离洗涤、钒酸钠结晶、钒酸钠钙化、偏钒酸铵结晶、偏钒酸铵煅烧; ②辅料单元过程: 生石灰、工业液碱、氧气、压缩空气、0.8MPa 蒸汽、2MPa 蒸汽、电力、混合煤气; ③运输单元过程: 钒钛磁铁矿、原料钒渣、辅料生石灰、工业液碱、氧气、压缩空气、蒸汽、混合煤气运输等。

3 生命周期清单分析及评价

本文生命周期评价的数据收集过程, 将五氧化二钒生命周期分为若干个单元过程, 考察每个单元的资源 (包括物质和能源) 输入和输出, 并对环境干扰因子的输出进行核算, 形成量化的结果, 对收集到的各类环境干扰因子数据进行整理, 列出生命周期输入/输出清单。

3.1 现场数据采集

生命周期评价现场数据统计周期为 2021.1.1~2021.12.30, 采用问卷调查、数据资料收集的形式, 从企业直接获得现场数据, 包括生产过程的能源与水资源消耗、原辅料的使用量、废物产生量。

3.2 背景数据采集

评价背景数据大部分来源于中国生命周期基础数据库 (CLCD), 对于所缺数据, 采用目前已公开发表的文章、年鉴的权威资料进行补充。钒渣亚熔盐

法高效提钒清洁生产项目原辅料有：钒渣、生石灰（CaO）、工业液碱（50% NaOH）、氧气（纯度 > 99.6%）、2.0MPa（绝）饱和蒸汽、0.8MPa 饱和蒸汽、压缩空气（1.0MPa）、混合煤气、碳酸氢铵。

3.3 数据计算

将收集的数据与单元过程相关联，同时与功能单位的基本流进行关联，合并来自相同数据类型、相同物质、不同单元过程的数据，以得到该产品系统的能源消耗、原辅材料消耗以及大气、水和固体污染物的排放数据，具体计算如下。

3.3.1 单耗计算

单耗计算是指将单元过程数据归结到本单元过程输出单位产品（中间产品 / 最终产品）的计算过程，模型单元过程输出产品分为单一产品或两种及两种以上（存在共生产品），输出产品为两种或两种以上时需要进行数据分配，常用的数据分配方法有质量分配法与价值分配法，本文选择质量分配法。单耗计算目的是为清单分析计算奠定数据基础，所谓单耗计算即计算输出单位产品的资源、产品、能源、及环境排放量。

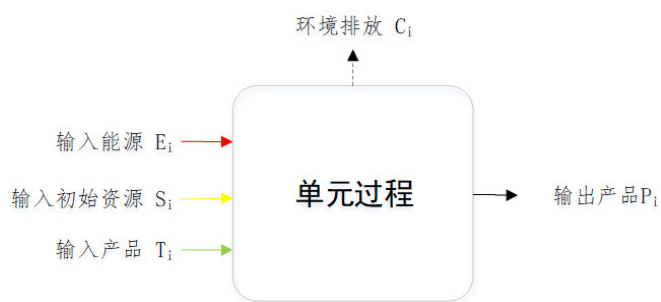


图1 单元过程输入输出模型

3.3.2 清单分析计算

清单分析计算是指以各单元过程产品流按基准流将各单元过程资源、能源、污染排放数据归结到基本流（资源基本流 / 环境基本流），对研究产品整个生命周期中输入输出进行汇编和量化的阶段。

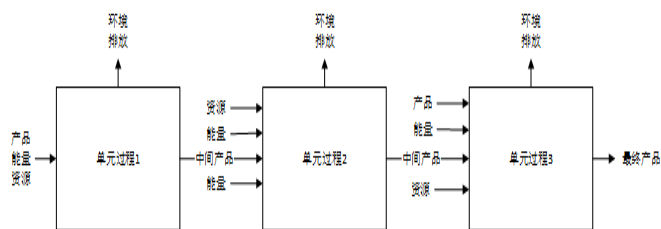


图2 单元过程关联模型

3.4 产品生命周期影响评价

3.4.1 影响类型选取

结合亚熔盐法清洁提钒工艺生产五氧化二钒的特点、研究目的和范围、清单分析，选择不可再生资源消耗 ADP、全球变暖 GWP、酸化 AP、光化学臭氧合成 POCP、固体废弃物 SWP、富营养化 EP、可吸入无机物 RI 七类环境影响类型作为五氧化二钒生命周期的主要环境影响类型。

3.4.2 计算方法

①特征化计算是建立在清单分析结果的基础上，特征化计算是指对特征化结果进行统一的单位换算，在相同的影响类型内对换算结果进行合并。设环境影响类型为 P，Q 为某一单元过程与 P 的某一胁迫因子对应环境排放量， L_i 为对应当量值，则环境影响 $P: P = \sum Q_i L_i$ ；②归一化计算是根据基准信息对类型参数结果进行计算，其计算结果可为各单位过程提供横向比较依据，即可比较各单元过程环境影响贡献大小。归一化计算过程是将个单元过程特征化结果分别进行归一化后求和，即得到某一单元过程的归一化结果。

3.4.3 生命周期影响评价

见表1，表2。

4 生命周期评价结论

通过对五氧化二钒生命周期各阶段分析，得到采用亚熔盐法高效清洁提钒工艺生产 1000kg 五氧化二钒对资源、环境的影响情况。在五氧化二钒的生命周期过程中，主要的环境影响贡献为 AP（56.22%）、EP（23.12%）、RI（12.71%）、IWU（3.951%）、GWP（2.774%）、POPC（1.17%），其中酸化、富营养化、水资源消耗及全球温室效应潜势环境影响占主要因素，环境影响主要发生在原辅料的生产阶段，少部分发生在偏钒酸铵结晶、偏钒酸铵煅烧环节。从生命周期评价结果来看，亚熔盐法清洁提钒工艺过程绿色清洁，环境效益和社会效益显著，具有在全国范围内推广应用价值。

本次研究建立亚熔盐法湿法制备五氧化二钒的生命周期数据库，为湿法提取五氧化二钒工艺改进优化和节能降耗提供理论数据支撑，为引领全球提钒技术的绿色升级提供全新策略，该项目的实施将明显改善区域环境质量，推动钒钛产业绿色可持续发展，引领京津冀地区生态文明建设和产业升级。

参考文献：

[1] 王少娜, 杜浩, 郑诗礼等. 钒酸钠钙化—碳化铵沉

法清洁制备钒氧化物新工艺[J]. 化工学报, 2017, 68(7): (1):15-19.

2781-2789.

基金资助:

[2] 郑诗礼, 杜浩, 王少娜, 张懿, 陈东辉, 白瑞国等. 承德国家可持续发展议程创新示范区建设科技专项项目 (项目编号: 202008F027) 熔盐法钒渣高效清洁提钒技术[J]. 钢铁钒钛, 2012, 33

表 1 计算得出五氧化二钒生命周期评价特征化结果

| 类型 | ADP | GWP | AP | HT | POCP | EP | RI | SWP | IWU |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 原料准备工段 | \ | \ | \ | 0.00E+00 | \ | \ | \ | \ | 0.00E+00 |
| 液相氧化及 稀氧脱硅工段 | \ | \ | \ | 0.00E+00 | \ | \ | 0.00E+00 | \ | 0.00E+00 |
| 尾渣分离洗涤工段 | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 钒酸钠钙化工段 | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | 3.87E+01 |
| 钒酸钙转溶工段 | \ | \ | 4.85E-01 | 2.58E-02 | \ | 9.03E-02 | 3.12E-02 | \ | \ |
| 偏钒酸氨结晶工段 | \ | \ | 4.85E-01 | 2.58E-02 | \ | 9.03E-02 | 3.12E-02 | \ | \ |
| 偏钒酸铵煅烧工段 | \ | 0.00E+00 | 4.85E-01 | 2.58E-02 | \ | 9.03E-02 | 3.12E-02 | \ | \ |
| 钒渣生产 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 生石灰生产 | 1.32E-05 | 3.11E+00 | 4.89E-03 | 2.42E-03 | 3.27E-04 | 2.98E-04 | 1.92E-02 | 4.55E-02 | \ |
| 液碱生产 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 碳酸氢铵生产 | 7.59E-06 | 1.67E+00 | 1.10E-01 | 5.20E-03 | 3.50E-03 | 1.03E-02 | 4.52E-02 | \ | \ |
| 氯化铝生产 | 2.61E-07 | 5.66E-02 | 3.44E-03 | 1.57E-04 | 1.04E-04 | 3.34E-04 | 1.48E-03 | \ | \ |
| 氧气生产 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 压缩空气生产 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | \ | \ |
| 华北混合电 力生产 (到用户) | 1.96E-05 | 2.26E+00 | 1.10E-02 | 6.60E-04 | 5.09E-04 | 7.75E-04 | 1.64E-03 | \ | \ |
| 0.8MPa 蒸汽生产 | 4.47E-06 | 2.86E+00 | 9.24E-03 | 5.69E-04 | 5.71E-04 | 6.39E-04 | 1.07E-02 | 1.35E-02 | 9.75E+00 |
| 2.0MPa 蒸汽生产 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 混合煤气生产 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 钒渣运输 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | \ |
| 生石灰运输 | 5.96E-06 | 1.01E-01 | 2.07E-03 | 3.60E-05 | 3.54E-05 | 3.70E-04 | 3.72E-04 | 3.67E-04 | \ |
| 氧气管道运输 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | \ | \ |
| 碳酸氢铵运输 | 7.72E-06 | 1.31E-01 | 2.68E-03 | 4.67E-05 | 4.58E-05 | 4.79E-04 | 4.82E-04 | 4.75E-04 | \ |
| 氯化铝运输 | 1.10E-07 | 1.88E-03 | 3.83E-05 | 6.67E-07 | 6.55E-07 | 6.84E-06 | 6.88E-06 | 6.79E-06 | \ |
| 合计 | 5.89E-05 | 1.02E+01 | 1.60E+00 | 8.65E-02 | 5.09E-03 | 2.84E-01 | 1.73E-01 | 5.99E-02 | 4.85E+01 |

表 2 五氧化二钒生命周期评价归一化结果

| ADP | GWP | AP | HT | POCP | EP | RI | SWP | IWU |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.00E+00 | 2.64E-13 | 5.35E-12 | 3.00E-15 | 1.12E-13 | 2.20E-12 | 1.21E-12 | 1.00E-15 | 3.76E-13 |