

基于 LCA 方法对氯化钡生产过程的环境影响评价

丁绍兰¹, 刘云¹, 汪雁², 王家宏¹, 桑向伟¹, 严赛宁¹

(1. 陕西科技大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710021; 2. 陕西省环境科学研究院 清洁生产技术中心, 陕西 西安 710010)

摘要:对某化工企业的氯化钡项目, 收集和量化各工序的物质与能量的输入输出数据, 得到制氯化钡生命周期清单(LCI), 然后进行生命周期影响评价(LCIA), 确定每个工艺流程对于环境的影响。结果表明工业用水量(EI-WU)是氯化钡生产全生命周期中最主要的环境影响类型, 淡水消耗量(WU)、一次能源消耗(PED)次之。在各个生产工序中, 硬煤的消耗对各个指标贡献最大, 其次是浓缩母液消耗, 氯化钡固体的生成次之。

关键词:制氯化钡; 生命周期评价; 环境影响

中图分类号: TQ 9; TQ 115 文献标识码: A 文章编号: 1671-3206(2022)08-2386-04

DOI: 10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20220727.003

Environmental impact assessment of barium chloride production process based on LCA method

DING Shao-lan¹, LIU Yun¹, WANG Yan², WANG Jia-hong¹,
SANG Xiang-wei¹, YAN Sai-ning¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;

2. Cleaner Production Technology Center of Shaanxi Academy of Environmental Sciences, Xi'an 710010, China)

Abstract: For the barium chloride project of a chemical enterprise, the input and output data of material and energy in each process are collected and quantified to obtain the life cycle inventory (LCI) of barium chloride production, and then the life cycle impact assessment (LCIA) is carried out to determine the impact of each process on the environment. The results show that industrial water consumption (EI-WU) is the most important environmental impact type in the whole life cycle of barium chloride production, followed by fresh water use and primary energy consumption (PED). In each production process, the consumption of hard coal contributes the most to each index, followed by the consumption of concentrated mother liquor, followed by the formation of barium chloride solid.

Key words: preparation of barium chloride; life cycle assessment; environmental effect

氯化钡是一种重要的化工原料。制造氯化钡产生大量的氯化钡废渣, 严重影响氯化钡的生产单耗^[1]。因此深入研究氯化钡生产过程污染物产生及排放情况, 确定污染治理措施, 减少环境污染具有重要意义。

生命周期评估(LCA)是对物质能量利用和环境排放的定量研究, 以评估由产品或生产活动引起的环境问题^[2-5], 并最终识别和量化减少环境负荷的关键机会, 并探索改善环境的有效方法^[6-8]。

本研究基于LCA的原理及理论框架, 对氯化钡项目的清单数据进行收集量化, 进行生命周期影响评价。进而提出氯化钡产业可持续发展的参考依

据, 促进氯化钡产业和产业链的绿色发展和清洁生产^[9-10]。

1 研究方法和工具

生命周期评估法是根据ISO14040《环境管理生命周期评估原则和框架》的相关规定和相关国际标准制定的。研究对象是传统的氯化钡生产工艺, 它包括酸化、精制、压滤、离心干燥、包装和蒸发6个过程的完整生命周期模型, 通过收集输入输出数据得到完整的生命周期清单, 分析软件eBalance(该软件内置中国生命周期基础数据库(CLCD)、欧盟ELCD数据库和瑞士Ecoinvent数据库^[11])进行生命周期影响评估。

收稿日期: 2021-09-16 修改稿日期: 2022-03-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(22076111)

作者简介: 丁绍兰(1963-), 女, 山西临汾人, 教授, 博士, 博导, 研究方向为清洁生产、污染防治、环境监测。电话: 15829077070, E-mail: 420515858@qq.com

通信作者: 汪雁, 女, 高级工程师, 研究方向为清洁生产、环境标准、环境规划。

1.1 目标和范围的确定

1.1.1 功能单位 产量是影响化工行业经济效益的重要指标。对于氯化钡而言,产率通常指的是单位质量产率,因此单位质量是制造氯化钡过程中非常重要的参数^[12]。为符合本次课题的研究目的,确定了质量参数,功能单位是 1 t 氯化钡固体。

1.1.2 系统边界 采用入厂门到出厂门(即产品生产全过程)的观点。系统边界包括氯化钡在厂内的生产加工、能耗的输入,不包括生产原料的加工和运输,即不考虑盐酸和矿粉等原料的生产过程。

采用碳酸钡(BaCO₃)生产氯化钡只用盐酸一步反应既得,反应原理:将碳酸钡粉加入稀释到一定浓度的盐酸中浸泡在搅拌条件下使其充分反应,该法中粉末状矿粉与盐酸反应迅速,产生大量气泡,反应完全后控制 pH 值为 2。然后加入石灰调节 pH 8,再经结晶、板框压滤机过滤,过滤出的清液流入成品池,清液送至浓缩蒸发工段,然后离心甩干,经干燥、包装即得固体氯化钡产品。主要包括 6 个工段:酸

化工段、精制工段、压滤工段、离心、干燥工段、包装工段和蒸发工段。系统中不包括生产机械所需物料,即在环境影响因素中不考虑制氯化钡机械的制造。

1.2 清单分析

ISO 将清单分析定义为“对产品、过程或活动在其整个生命周期内的所有输入和输出进行汇编和量化的过程”^[13]。清单分析(LCI)是 LCA 四个步骤中最重要的部分,也是最耗时,最复杂的部分。它直接影响研究结果的准确性和可靠性。清单分析是一个迭代过程,有时需要在数据收集的情况下适当修改系统边界。

这一部分是重点,涉及的方面多、工作量大,目的是建立氯化钡的生命周期清单,为此需要采集制氯化钡企业的相关数据。相关数据详见图 1。生命周期的清单数据来源于内蒙古某制氯化钡企业实地调研与相关文献。

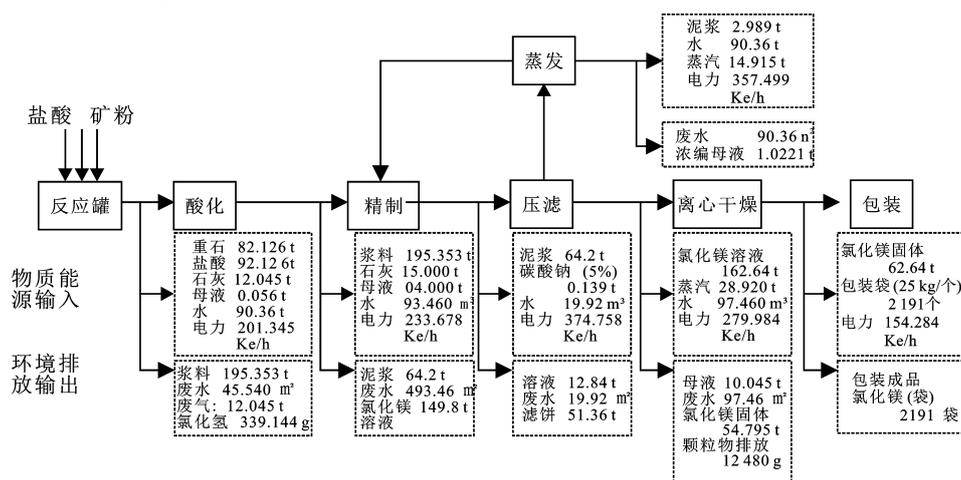


图 1 氯化钡生产 LCI 清单数据及系统边界图

Fig. 1 Life cycle inventory data and system boundary of barium chloride production process

2 生命周期影响评价

氯化钡生产过程的生命周期影响评估(LCIA)是根据物料消耗数据和相关能源和污染物排放数据的清单分析,对氯化钡生产过程的环境影响进行评估。选取的环境评价指标包括:非生物资源消耗潜力(ADP)、酸化潜力(AP)、中国化石能源消耗潜力(CADP)、中国资源消耗潜力(CADP)、一次能源消耗(PED)、工业用水量(IWU)、可吸入无机物(RI)和淡水消耗(用水)。

2.1 特征化指标

特征化计算采用不同的量化方法,主要有定性法和定量法两类。定量方法一般采用当量因子法,定量计算影响因子对环境影响的强度。对于在生命周期中具有相似环境效应的物质,可根据与该物质

相关的等效因子(即 LCA 特征化因子)换算累加参考值,所得结果称为该效应类型的生命周期特征化指标。可以对同一影响类别下的数据进行表征,使其具有可比性,并且不能在不同影响类别之间进行表征比较^[14]。

使用 eBalance 软件计算得到氯化钡生产过程各工段环境影响特征化指标的数据,见表 1。生产过程中各生产工序对各环境影响类型的贡献率见图 2。

由表 1、图 2 可知,酸化工段和蒸发工段对工业用水量和淡水消耗量影响最大,其中蒸发工段为 4.53E+02 和 4.53E+02,酸化工段为 2.33E+02 和 2.33E+02;离心、干燥工段和压滤工段对工业用水量和淡水消耗量稍有影响,影响远小于酸化与蒸发工段。这是因为酸化阶段投入盐酸的过程中带入

了大量的新鲜水,而后生成氯化钡母液循环或随废液排出,为达到节约用水,绿色发展,可以在未来引进更加先进的工艺,提高毒重石质量和与盐酸的反应配比,提高反应效率,以减少新鲜水的投入。蒸发

段蒸发过程采用三效下游蒸发过程,消耗大量淡水进行冷凝。在施工中,应建立回循环池,用于冷凝水的回收利用,以减少淡水的损失。

表 1 氯化钡生产过程特征化指标数值表

Table 1 Characteristic index values of barium chloride production process

指标名称	单位	总量	蒸发工段	压滤工段	离心、干燥工段	精制工段	包装工段	酸化工段
ADP	kg Sb eq	4.05E-07	2.49E-07	1.15E-09	1.10E-08	0	0	1.43E-07
AP	kg SO ₂ eq	1.53E-03	0	0	0	0	0	1.53E-03
CADP	kg Coal-R eq	5.01E-01	3.09E-01	1.43E-03	1.37E-02	0	0	1.77E-01
CADP	kg Coal-R eq	5.01E-01	3.09E-01	1.43E-03	1.37E-02	0	0	1.77E-01
PED	MJ	1.05E+01	6.45E+00	2.98E-02	2.86E-01	0	0	3.71E+00
IWU	kg	7.14E+02	4.53E+02	4.40E-01	2.76E+01	0	0	2.33E+02
RI	kg PM _{2.5} eq	5.56E-04	0	0	5.56E-04	0	0	0
WU	kg	7.14E+02	4.53E+02	4.40E-01	2.76E+01	0	0	2.33E+02

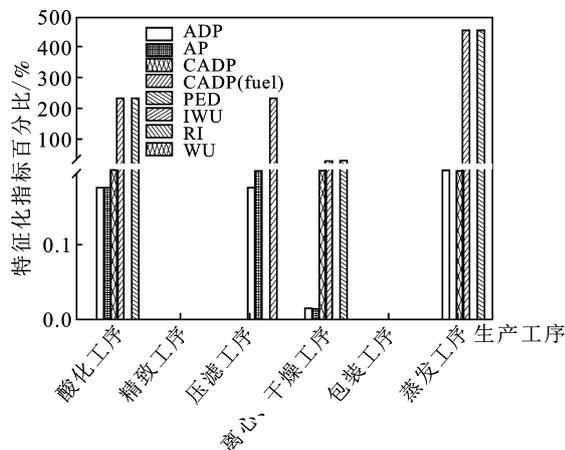


图 2 氯化钡生产过程各个工序特征化指标的贡献图

Fig. 2 Contribution of each process in barium chloride production process to characteristic index

蒸发、酸化、压滤和离心干燥工段对一次能源消耗都有所影响,分别是 $6.45E+00$ 、 $3.71E+00$ 、

$2.98E-02$ 、 $2.86E-01$,这是由于在这些过程中都有电力的消耗,而所消耗的电均来源于煤的燃烧,未来若想要减少一次能源消耗对环境的影响,可以寻求一些替代能源,如清洁的风力发电或者太阳能发电。另外,酸化、压滤、离心干燥与蒸发工段对于中国化石能源消耗潜值和中国资源消耗潜值都稍有影响,但影响微乎其微。酸化工段还对酸化潜值有所影响,为 $1.53E-03$,这是因为酸化工段使用碳酸钡粉、盐酸和循环母液作为原料,且反应的 pH 值在 4~5 之间,这些都会对酸化潜值有所影响,酸化潜值的影响主要体现在未来处理酸性废液,需要注意酸碱度,选用合适的工艺来进行绿色无害化处理。

2.2 归一化结果

归一化处理结果见图 3。

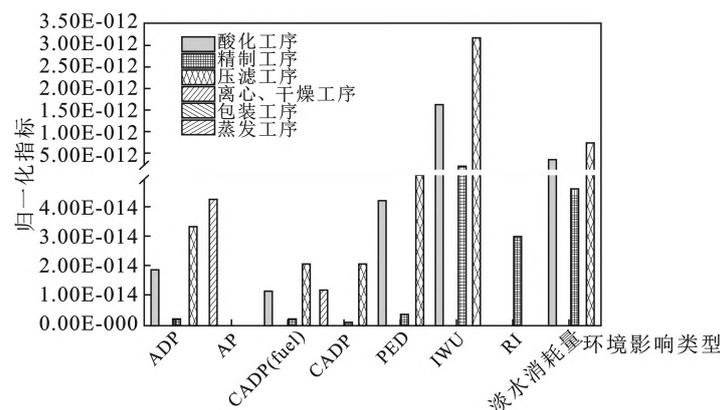


图 3 氯化钡生产过程各工序对过程清单归一化指标贡献图

Fig. 3 Contribution of each process in barium chloride production process to process list normalization index

归一化是一种去量纲的方法,以方便不同指标之间的相互比较。归一化的具体方法是将产品或系统的特征指标值除以归一化参考值。归一化的参考值通常是特征指标在特定范围内(如全局、区域或局部)的值,从而得到一个无量纲的值^[15]。归一化

可以更好地识别该产品或系统的主要环境影响类型。本论文所使用的标准是“CN-2010”的标准化方案,它集成在 eBalance 软件中,以 2010 年中国的资源消耗总量和环境排放总量为基准,计算得到氯化钡生产过程产生的各类环境影响类型的归一化指

标,其中 ADP 为 $5.37E-14$ 、AP 为 $4.20E-14$ 、CADP (fossil fuel) 为 $3.24E-14$ 、CADP 为 $3.24E-14$ 、PED 为 $1.19E-13$ 、IWU 为 $4.95E-12$ 、RI 为 $2.95E-14$ 、Water Use 为 $1.18E-12$ 。综上能够得出工业用水量 (EI-WU) 是氯化钡生产全生命周期中最重要的环境影响类型,这是因为制取氯化钡的各工段,都需要使用大量新鲜水,因此造成工业水用量高居不下,使得工业用水量成为制取氯化钡的关键环境影响类型。该工艺技术可以改进,如盐酸水解硫化钡黑灰(重晶石与煤还原煅烧的产物)生产氯化钡以减少工业用水量,减少对环境的影响实现更高层次的清洁生产。通过归一化结果可以看出未来在制氯化钡企业清洁生产审核的过程中应当更加注意水和一次能源的消耗,清洁生产的审核重点应关注节水和降耗。

3 生命周期结果解释

清单数据敏感性是指由单位存货数据的变化率引起的相应指标的变化率。敏感性分析可以识别对生命周期评价结果影响最大的关键过程和库存数据,从而提出相应的改进^[16]。通过 eBalance 软件的计算分析,得到各类生产工艺对氯化钡生产过程中环境影响的敏感性,直观展示出氯化钡生产工艺对全生命周期各类环境影响的贡献量,见图 4。

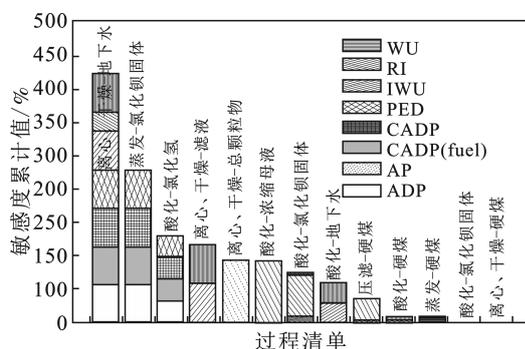


图4 氯化钡生产过程各工序对不同环境影响指标的敏感度累计图

Fig.4 Cumulative sensitivity of each process in barium chloride production process to different environmental impact indicators

由图4可知,蒸发工序中硬煤的消耗对各个指标贡献最大,其次是酸化工序中浓缩母液消耗和硬煤的消耗,然后是离心干燥工序中硬煤的消耗,酸化过程中的氯化钡固体的生成次之。煤的消耗主要是用于提供蒸发所需要的蒸汽与电能,因此,可以通过提升改造来减少蒸汽的损失,提高热转化效率,或使用清洁能源来提供蒸汽和电力,以此来减少煤炭的消耗。

4 结论

本论文收集制氯化钡各个工段的输入和输出流,利用 LCA 系统分析制氯化钡过程中所产生的污

染物,对制氯化钡的整个生命周期进行研究。对提高制氯化钡厂的绿色环境管理水平,挖掘清洁生产内在动力具有重大意义。LCA 有许多的用途,它有助于不同地域、不同工艺的分析比较,从而取长补短;同时可以针对氯化钡生产过程的排污细节量化,为相关工作提供一个可以借鉴的方法。另外,制氯化钡 LCA 可以帮助分析清洁生产工艺对于环境的友好程度。

研究表明,工业用水量 (EIWU) 是氯化钡生产全生命周期中最主要的环境影响类型,淡水消耗量 (WU)、一次能源消耗 (PED) 次之。在各个生产工序中,蒸发工序中硬煤的消耗是各个指标贡献最大的过程,其次是酸化工序中浓缩母液消耗和硬煤的消耗,然后是离心干燥工序中硬煤的消耗,酸化过程中的氯化钡固体的生成次之。

酸化工段、离心、干燥工段和蒸发工段这3个工段对环境污染影响值高于其他工段。在工业设计及实际生产中应当格外关注,并及时改进调整。

参考文献:

- [1] 徐志松. 国内氯化钡生产现状及发展趋势[J]. 无机盐技术, 2004(4):9-12.
- [2] 邓南圣,王小兵. 生命周期评价[M]. 北京:化学工业出版社, 2003:23-27.
- [3] ISO (International Organization for Standardization). ISO 14040 environmental management-Life cycle assessment-general principles and Framework [R]. Geneva, Switzerland; ISO, 2006.
- [4] WIOLETTA M B, ANNA H, BEATA S G. LCA application in the assessment of new technologies of industrial effluents treatment [J]. Desalination and Water Treatment, 2016, 57(3):1058-1066.
- [5] F Thilde, H Jiri, A Thomas. Life-cycle assessment of selected management options for air pollution control residues from waste incineration[J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(20):4672-4680.
- [6] 王玉涛,王丰川,洪静兰. 中国生命周期评价理论与实践研究进展及对策分析[J]. 生态学报, 2016, 36(22):7179-7184.
- [7] 殷仁述,杨沿平,杨阳,等. 车用钛酸锂电池生命周期评价[J]. 中国环境科学, 2018, 38(6):2371-2381.
- [8] 宋小龙,徐成,杨建新,等. 工业固体废物生命周期管理方法及案例[J]. 中国环境科学, 2011, 31(6):1051-1056.
- [9] 董庆华,费正皓. 化工建设项目环境影响评价中提高清洁生产水平的方法探讨[J]. 应用化工, 2006(12):958-961,965.

(下转第 2395 页)

- [22] DANTAS C T N, FREITAS V F, SOUZA T C T, et al. Study of single-phase polymer-alkaline-microemulsion flooding for enhancing oil recovery in sandstone reservoirs [J]. *Fuel*, 2021, 302: 121176.
- [23] KARAMBEIGI M S, NASIRI M, ASL A H, et al. Enhanced oil recovery in high temperature carbonates using microemulsions formulated with a new hydrophobic component [J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2016, 39: 136-148.
- [24] NOURAFKAN E, GARDY J, ASACHI M, et al. Nanoparticle formation in stable microemulsions for enhanced oil recovery application [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2019, 58(28): 12664-12677.
- [25] YOMI A, DAGOGO J, OKOGBUE Ca, et al. Production enhancement using microemulsion technology in Rona Field [C] // Paper presented at the SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Lagos, Nigeria; SPE August, 2019.
- [26] PUTZ A, CHEVALIER J P, STOCK G, et al. A field test of microemulsion flooding, Chateaufort field, France [J]. *Journal of Petroleum Technology*, 1981, 33(4): 710-718.
- [27] BOUABBOUNE M, HAMMOUCH N, BENHADID S. Comparison between micro-emulsion and surfactant solution flooding efficiency for enhanced oil recovery in Tin-Fouye oil field [C] // Canadian International Petroleum Conference. Calgary, Alberta, Canada, 2006.
- [28] 赵柏杨, 夏连晶. 低渗透油藏内烯烃磺酸盐微乳液体系配方优选及性能评价 [J]. *油田化学*, 2020, 37(1): 102-108.
- [29] 殷代印, 吕恬. 低渗透油藏复配表面活性剂微乳液驱配方优选 [J]. *化学工程师*, 2017, 31(3): 39-42, 62.
- [30] 宋宏志, 李田靓, 孙玉豹, 等. 基于十二烷基苯磺酸盐的稠油微乳液研发及应用探索 [J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2021, 41(9): 103-105.
- [31] 吕其超, 张洪生, 左博文, 等. 特高含水期微乳液驱油规律微观可视化实验研究 [J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2020, 35(2): 71-77, 119.
- [32] QIN T Z, GOUAL L, PIRI M, et al. Nanoparticle-stabilized microemulsions for enhanced oil recovery from heterogeneous rocks [J]. *Fuel*, 2020, 274(1): 117830.
- [33] HU Z L, NOURAFKAN E, GAO H, et al. Microemulsions stabilized by in-situ synthesized nanoparticles for enhanced oil recovery [J]. *Fuel*, 2017, 210(8): 272-281.
- [34] LI G, ZHAI L, ZHENG L. Tertiary oil recovery in China [J]. *Detergent & Cosmetics*, 1999(S1): 1-9.
- [35] 李友富, 李德胜, 山力. 微乳热化学复合解堵剂的研制及应用 [J]. *特种油气藏*, 2003, 10(5): 67-70, 112.
- [36] 刘江涛, 李积祥, 钱钦, 等. 微乳活性剂降压增注技术在特低渗油藏的应用 [J]. *内蒙古石油化工*, 2016, 42(6): 122-123, 133.
- [37] 王伟琳, 李应成, 徐岩光, 等. 原位微乳液表活剂体系研制及在降压增注中的应用 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2021, 40(2): 116-122.
- (上接第 2389 页)
- [10] 胡玉才, 宋俊芬, 姜丽, 等. 绿色化学研究进展 [J]. *应用化工*, 2005(2): 67-71.
- [11] 平旭彤. 浅析生命周期评价软件 eBalance 的使用 [J]. *科技创新与应用*, 2015(23): 27-28.
- [12] 陈鹏. 牛皮制革的生命周期评价 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2009.
- [13] 李晶莹. 焦化多联产系统的生命周期评价与系统分析 [D]. 西安: 西北大学, 2018.
- [14] 丁绍兰, 李瑞. 基于 eBalance 软件的制革生命周期评价 [J]. *中国皮革*, 2016, 45(9): 35-38, 41.
- [15] 李玉红, 廖学品, 王安, 等. 基于 LCA 方法对毛皮加工过程的环境影响评价 [J]. *皮革科学与工程*, 2020, 30(2): 6-11.
- [16] 黄娜, 王洪涛, 范辞冬, 等. 基于不确定度和敏感度分析的 LCA 数据质量评估与控制方法 [J]. *环境科学学报*, 2012, 32(6): 1529-1536.