

[文章编号] 1003—4684(2019)01-0020-05

基于 LCA 的铅酸蓄电池行业清洁生产审核

——以湖北省某铅酸蓄电池企业为例

桂 敏, 卢 春, 李金轩, 高林霞, 李 祝

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 河湖生态修复及藻类利用湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 基于生命周期评价(LCA)理念和方法进行铅酸蓄电池行业清洁生产审核研究,对湖北某铅酸蓄电池企业进行了清洁生产审核。采用生命周期评价 Gabi5 软件提供的 CML2001Dec07 评价方法,进行清单计算与分析,得出总装化成阶段所产生的环境影响最大,由此确立该企业审核重点并制定两条清洁生产方案。

[关键词] 生命周期评价; 铅蓄电池; 清洁生产审核; 方案

[中图分类号] X38

[文献标识码] A

近年来,我国铅蓄电池行业以年增长 30% 的速度在快速发展,赶超了世界上许多国家,成为世界上最大的铅蓄电池生产国和出口国。我国铅蓄电池产量大,但生产技术、能耗等与世界先进水平相比,还有很大的差距,且存在行业资源短缺、能耗高、污染严重等问题^[1]。为了缩短与世界先进水平的差距,填补每个企业监管漏洞,响应国家号召构建资源环境友好型社会,走可持续发展之路,我国铅蓄电池行业需要运用清洁生产技术。

生命周期评价(LCA)是对产品系统进行整个生命周期的输入输出和潜在的环境影响评价。从物质—产品—回归物质的整体过程,通过构建模型、清单分析等计算各个生产部分对环境等的潜在影响,准确确定审核重点,发掘企业清洁生产潜力。国外研究者采用 LCA 方法,对用火法冶炼工艺进行铅再生的铅酸蓄电池再生工厂的潜在环境影响进行了评估,确定了关键产污环节,建议企业通过改进工艺和提高管理来实现低排放,以尽量减少对环境的影响^[2]。在国内,北京理工大学研究者应用荷兰的 Simapro 软件(7.1.8)版本对铅酸蓄电池进行 LCA,软件系统依据 Eco-indicator99 体系进行计算和分析,定量给出了铅酸蓄电池总体环境指标分数为 28.14,其环境影响主要体现在资源消耗方面^[3]。本文以湖北省某铅酸蓄电池企业为主要研究对象,运用生命

周期评价的方法,确定审核重点并提出清洁生产方案。

1 铅蓄电池企业基本概况

湖北某铅酸蓄电池企业年产铅酸蓄电池 110 万 kVAH,该企业铅酸蓄电池生产过程主要分为原材料制备工序、极板铸造工序以及总装化成工序等三个工序,原材料制备阶段主要原材料有合金铅、电解铅;极板铸造阶段主要原材料有合金铅、铅粉、硫酸;总装化成阶段主要原材料有极板、铅零件,其中主要能源来自原煤、电能等。在企业的生产过程中,各工序是连续的,据企业生产过程统计数据,将原材料制备工序的合金铅与电解铅作为生产起点。在原材料制备工序上,制备 1 kg 的铅粉需要消耗电解铅 18.704 kg,制备 1 kg 铅零件需要消耗合金铅 1 kg。在极板铸造工序,生产 1 t 的极板要消耗合金铅 1.01 t、酸 0.317 t。在组装与包装工序,生产 1 t 的电池需要消耗 0.36 t 的极板。

2 铅蓄电池企业清洁生产审核

2.1 评价目的

本研究以湖北省某铅酸蓄电池生产企业为例,根据清洁生产审核的原则和企业实际情况,考虑到铅蓄电池行业生产过程中的重点是铅的使用和排

[收稿日期] 2018—04—28

[基金项目] 国家发改委项目(2014051);湖北工业大学校企合作项目(2016274290);湖北工业大学教研项目(校 2015287)

[第一作者] 桂 敏(1995—),女,江西抚州人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为环境管理及清洁生产

[通信作者] 李 祝(1980—),女,湖北襄阳人,湖北工业大学副教授,研究方向为环境管理及清洁生产

放,通过设置量化指标,制定清洁生产目标,落实清洁生产审核,实现企业节能、降耗、减污、增效的目标^[4]。

研究的功能单位定义为生产 1 t 铅酸蓄电池。

2.2 系统边界

铅蓄电池的工艺过程主要分为原材料制备工序、极板铸造工序和总装化成工序三个部分,因此可确定三个研究范围边界图。

1)原材料制备工序 一是将合金铅熔化后,铅液直接进行模板浇铸,待冷却后得到铅零件。二是将合金铅或电解铅熔化,铸块与切块成铅球,磨成铅粉。原材料制备工序的系统边界见图 1。

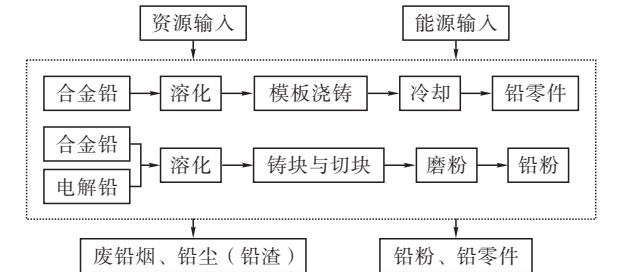


图 1 原材料制备工序系统边界

2)极板铸造工序 极板的铸造工序,首先将铅合金熔化得到铅液,浇铸成型后再进行冷却切边后,制成正负极板栅,加入铅粉、酸、添加剂混合搅拌后制成和膏,将和膏涂满正负极板栅,固化干燥后制成极板,最后进行极板的分片和刷耳,去除多余的铅尘和铅渣。极板铸造工序的系统边界见图 2。

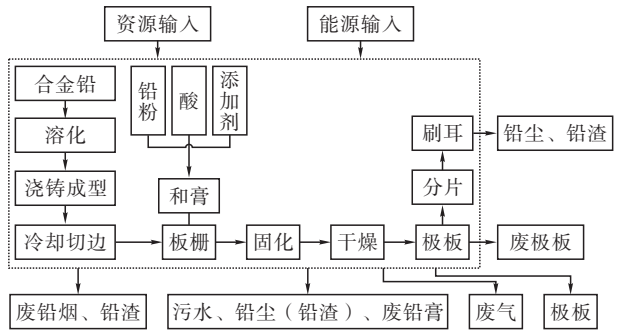


图 2 极板铸造工序系统边界图

3)总装化成工序 将铅零件、极板和其他零件焊接在一起,装入电池槽中,高压短路检查合格后,进行热封、注酸等形成电池,再进行充放电检查,形成化成电池,最后进行产品的清洗、处理和包装。总装化成工序的系统边界见图 3。

2.3 清单分析

根据生产铅蓄电池的工艺过程系统边界的确定以及生命周期评价理论,对铅酸蓄电池生产的三个主要工序:原材料制备、极板铸造、总装化成进行数据的输入与输出统计计算。该部分数据并不能直接

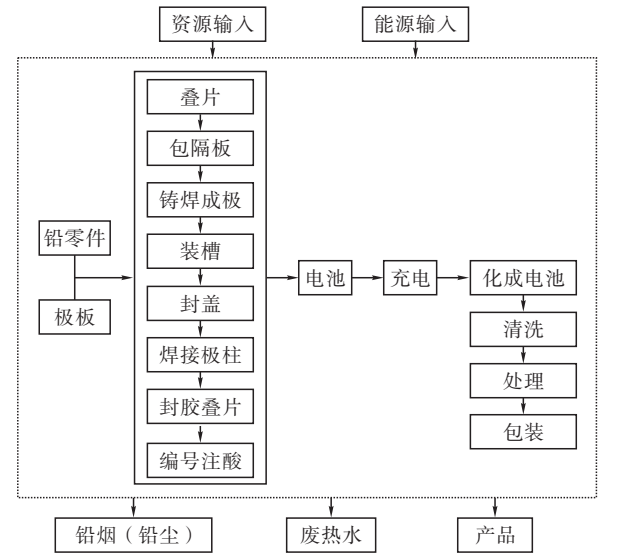


图 3 总装化成系统边界图

从企业中获取,需要借用中国生命周期基础数据库 (CLCD)中的数据。

企业生产主要的产污部分为铅粉制备、极板铸造、铅零件制造、电池组装和化成及电池的清洗等,主要污染物可分为废水、废气(铅尘、铅烟)、固废(生活垃圾、废铅渣等)三大类,设备运行时产生的噪声忽略不计。

通过生命周期评价的清单分析,生产 1 t 铅酸蓄电池各工序物质消耗和污染物排放清单见表 1。

2.4 环境影响评价软件分析过程

环境影响评价是将清单分析中所得到的大量数据进行处理,通过分类、特征化、归一化三个步骤转换成可以比较的环境影响指标的过程。目前有多种影响评价模型和软件,本文使用生命周期评价软件 Gabi5.0 进行建模与计算,评价模型为荷兰 Leiden 大学环境科学中心开发的 CML2001 特征化模型 (Jeroenet al., 2001)^[5]。

2.4.1 分类 根据铅酸蓄电池生产过程的清单分析,本文的影响类型包括非生物资源消耗(ADP)、温室效应(GWP)、人体潜在毒性(HTP)、酸化(AP)、光化学毒性(POCP)^[6]。其中引起温室效应的环境排放物是 CO₂,引起酸化效应的环境排放物是 SO₂和 NO_x,而人体健康损害涉及到 SO₂和 NO_x的排放,光化学烟雾的形成和 NO_x的排放有关。

2.4.2 特征化 特征化是特征化因子乘以污染物排放量得到环境影响潜值的大小,该过程可将铅酸蓄电池生产过程中排放物质统一转化为标准参照物的影响值。

2.4.3 归一化 为了更好的评价 1t 铅酸蓄电池生产过程中每个环节影响类型参数结果的相对大小,需要通过选定的类型参数基准值来表示。本文选用

2000 年全球范围内非生物资源消耗、温室效应、人体潜在毒性、酸化和光化学毒性进行归一化基准,采用 Gabi5.0 软件中的缺省值,计算与统计结果见表 2。

表 1 各工序物质消耗和污染物排放清单

		名称	原材料制备	极板铸造	总装化成
输入	资源	合金铅(t/d)	0.036000	0.360000	—
		电解铅(t/d)	0.614000	—	—
		铅粉(t/d)	—	0.000033	—
		硫酸钡(t/d)	—	0.001550	—
		硫酸(t/d)	—	0.114000	—
		硫酸钠(t/d)	—	0.001500	—
		极板(t/d)	—	—	0.360000
		铅零件(t/d)	—	—	0.036000
		水(t/d)	2.340000	3.920000	4.580000
	能源	电(kWh/d)	0.003000	0.006000	0.003300
输出	产品	铅粉(t/d)	0.032827	—	—
		铅零件(t/d)	0.036000	—	—
		极板(t/d)	—	0.360000	—
		电池(t/d)	—	—	1.000000
	环境排放	铅烟(t/d)	0.000050	0.000700	0.000062
		铅尘(t/d)	0.000040	—	—
		废气(t/d)	—	0.000010	—
		废水(t/d)	—	0.003150	0.003900
		铅渣(t/d)	—	0.004400	—
		废极板(t/d)	—	0.004600	—
		废电池(t/d)	—	—	0.003040

表 2 铅酸蓄电池生命周期环境排放归一化结果

环境影 响类型	ADP [kg(CO ₂)—Equiv.]	HTP [kg(DCB)—Equiv.]	GWP [kg(CO ₂)—Equiv.]	AP [kg(SO ₂)—Equiv.]	POCP [kg(Ethene)—Equiv.]
基准值	1.83×10 ¹¹	4.97×10 ¹⁵	4.45×10 ¹⁵	2.99×10 ¹¹	1.29×10 ¹¹
原材料制备	2.22×10 ⁻¹⁰	1.67×10 ⁻⁵	0.505×10 ⁻³	0.725×10 ⁻⁶	0.539×10 ⁻⁷
极板铸造	4.45×10 ⁻¹⁰	3.34×10 ⁻⁵	1.01×10 ⁻³	0.145×10 ⁻⁶	1.08×10 ⁻⁷
总装化成	2.45×10 ⁻¹⁰	1.84×10 ⁻⁵	0.555×10 ⁻³	0.798×10 ⁻⁶	0.593×10 ⁻⁷
总值	9.11×10 ⁻¹⁰	6.85×10 ⁻⁵	2.07×10 ⁻³	2.97×10 ⁻⁶	2.21×10 ⁻⁷

2.5 生命周期结果分析研究

根据归一化的数据分析,得出铅酸蓄电池生产过程中各个单元与环境影响的定量关系。本文的影响类型包括非生物资源消耗、温室效应、人体潜在毒性、酸化、光化学毒性和资源能源消耗。由表 2 可知,铅蓄电池生命周期中对环境影响最严重的是温室气体,其次是人体潜在毒性、酸化、光化学烟雾和非生物资源消耗。非物质资源消耗,主要是合金铅、电解铅在使用过程中产生大量有毒废物,燃煤资源消耗产生的 CO₂ 等温室气体。为进一步研究铅酸蓄电池生产过程中各工序的主要环境问题来源,对各工序不同环境类型的影响进行分析,见图 4。

图 4 的数据显示,总装化成工序的环境影响潜值占全部生产阶段环境影响潜值比为 66.442%,极板铸造工序占比为 18.208%,原材料制造工序占比为 15.350%。由该结果可知,铅蓄电池行业生产中,

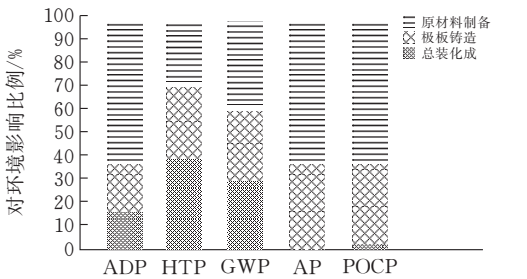


图 4 铅酸蓄电池生命周期环境影响图

总装化成工序的环境影响最大,因此被视为清洁生产的首要对象。在总装化成工序的环境影响中,非生物资源消耗的贡献比例最大,为总装化成工序最主要的环境影响类型。所以采用有效的技术减少非生物资源的消耗,可达到清洁生产的目的。在总装化成工序中的化成阶段,需要大量的注酸,并对电池进行充放电过程,耗能巨大。所以应改进工艺技术,节约资源。分析可以看出,铅蓄电池生产过程中对

环境影响居次的是固体废弃物,因此,清洁生产审核的过程中需要着重于减少这两个部分的环境影响。此外,铅蓄电池生产的资源和能源消耗也较大,审核过程中应注意从生产源头降低能耗物耗,进行固体废弃物的回收利用,变废为宝,以达到清洁生产的目的。

2.6 确定审核重点

结合以上生命周期评价的结果,总装化成工序消耗的大量酸和充放电电能需要靠燃煤提供,排放有害物质数量大、种类多,可初步确定总装化成工序产生的废物最多,资源消耗最大,清洁生产潜力最大。因此,本文选择总装化成工序为审核重点。

2.6.1 提出清洁生产方案

1)充放电工艺优化方案 总装化成工序充放电电能需要燃煤提供,此工艺大量地设置在线检测设备,随着电池充电程度来调整充电量,减少充放电过

程中电量的浪费。

2)注酸管道改进方案 总装化成工序需要消耗大量的酸,其注酸管道进行技术改进,减少管道弯头,方向改变,采用弧线形弯头,缩短输送距离,减少泄漏。

2.6.2 清洁生产审核效益

1)环境效益 采用 LCA 法对充放电工艺优化、注酸管道改进两种方案实施前后对环境的影响作出了比较,结果表明,充放电工艺优化方案主要减少非生物资源消耗,减少 50%,除此之外,温室效应、人体潜在毒性、酸化、光化学毒性均减少 15%左右。注酸管道改进方案主要减少酸化效应,减少 47%,除此之外,非生物资源消耗、温室效应、人体潜在毒性、光化学毒性均减少 10%左右。计算和统计的结果见表 3、表 4。

表 3 充放电工艺优化方案实施前后各环境影响值

生产工艺	ADP	HTP	GWP	AP	POCP
	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]
充放电优化前	2.45×10 ⁻¹⁰	1.84×10 ⁻⁵	0.555×10 ⁻³	0.798×10 ⁻⁶	0.593×10 ⁻⁷
充放电优化后	1.08×10 ⁻¹⁰	1.54×10 ⁻⁵	0.457×10 ⁻³	0.647×10 ⁻⁶	0.491×10 ⁻⁷

表 4 注酸管道改进方案实施前后各环境影响值

生产工艺	ADP	HTP	GWP	AP	POCP
	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]	[kg(CO ₂)-Equiv.]
注酸管道改前	2.45×10 ⁻¹⁰	1.84×10 ⁻⁵	0.555×10 ⁻³	0.798×10 ⁻⁶	0.593×10 ⁻⁷
注酸管道改后	2.13×10 ⁻¹⁰	1.65×10 ⁻⁵	0.482×10 ⁻³	0.422×10 ⁻⁶	0.508×10 ⁻⁷

2)经济效益 在运用生命周期评价的方法对该企业进行清洁生产审核后,其模拟效益见表 5。

表 5 模拟清洁生产方案效益表

编号	名称	投资/万元	收益情况	投资偿还期/年
1	充放电工艺优化	80	经济效益:每年节电 286080 度。每年直接经济效益 40 万元	2.58
2	注酸管道改进	20	经济效益:每年节约酸耗 348 吨,直接经济效益 18 万元	1.24

在生命周期评价模型的指导下,根据生命周期评价结果,确定温室效应、人体毒性和酸化为铅蓄电池生产的主要环境影响类型,针对削减 GWP、HTP 和 AP,制定清洁生产方案。对该案例企业提出了两条清洁生产方案,预计投资 100 万元,直接获得的经济效益为 58 万元/年,同时铅烟、铅尘产生量减少,用电量下降,环境污染的问题也将得到改善,实现经济效益环境效益双赢的目的。

3 结论

1)本文在案例企业进行清洁生产审核的过程

中,运用了生命周期评价的方法,是为了达到降低环境影响,提高能源与资源利用效率并最终走向可持续发展的目的。

2)运用生命周期评价,对铅蓄电池生命周期中的各项数据进行筛选和计算,通过 CML2001 模型评估分析,获得生命周期评价结果。结果表明:生产 1 t 铅酸蓄电池时环境排放的非生物资源消耗、人体潜在毒性、温室气体、酸化、光化学毒性归一化结果依次为:9.11×10⁻¹⁰、6.85×10⁻⁵、2.07×10⁻³、2.97×10⁻⁶、2.21×10⁻⁷。

3)总装化成工序的环境影响潜值占全部生产阶段环境影响潜值比为 66.442%,极板铸造工序占比为 18.208%,原材料制造工序占比为 15.350%。由该结果可知,铅蓄电池行业生产中,总装化成工序的环境影响最大,因此被视为清洁生产的审核重点。在总装化成工序的环境影响中,非生物资源消耗的贡献比例最大,为总装化成工序最主要的环境影响类型。

4)在充分考虑企业的实际情况和管理模式下,结合末端治理手段,形成方案 2 项。经过模拟方案

实施,在生命周期评价模型的指导下,根据生命周期评价结果,企业提出的 2 条清洁生产方案,总投资为 100 万元,产生经济效益为 58 万元/年。在充放电工工艺优化方案中,减少 50%非生物资源消耗,温室效应、人体潜在毒性、酸化、光化学毒性均减少 15%左右。在注酸管道改进方案中,减少 47%酸化效应,非生物资源消耗、温室效应、人体潜在毒性、光化学毒性均减少 10%左右。收到了良好的经济效益和环境效益。

[参 考 文 献]

[1] 孙晓峰,李键,郭逸飞,等. 铅蓄电池行业清洁生产审核方法分析[J].中国环保产业, 2013(11):44-47.

[2] Salomone R, Mondello F, Lanuzza F, et al. An eco-balance of a recycling plant for spent lead-acid batteries [J]. Environmental Management, 2005, 35(2):206-219.

[3] 郁亚娟,陈妍.典型二次电池生命周期评价[J].环境污染与防治, 2010,32(10):15-18,23.

[4] 吴建华,顾秀峰.废旧铅酸蓄电池清洁拆解工艺探索[J].上海轻工业, 2004(5):69-70.

[5] 安静,薛向欣,姜涛.硼铁矿火法分离过程的生命周期环境影响评价[J].过程工程学报, 2010,10(2):321-326.

[6] 杜家益,吉炎,袁银男,等.煤基甲醇和天然气基甲醇燃料的生命周期影响评价[J].可再生能源, 2012,30(8):78-82.

[7] 侯燕楠. 生命周期评价在氧化铝工业清洁生产审核中

的应用[D].济南:山东大学, 2012.

[8] 田亚峥. 运用生命周期评价方法实现清洁生产[D].重庆:重庆大学, 2003.

[9] 徐雨芳. 废铅酸蓄电池加工浊环水及副产硫酸钠脱铅研究[D].南京:南京大学, 2012.

[10] 朴文华. 基于 LCA 方法的水泥企业清洁生产审核[D].大连:大连理工大学, 2011.

[11] 陈歆. 生命周期评价(LCA)在清洁生产审核中的应用[D].苏州:苏州科技学院, 2015.

[12] 杨继东,刘佳泓,徐建京,等.铅蓄电池生产企业的清洁生产审核[J].化工环保,2012,32(3):264-268.

[13] 张平,董斌,李有,等.生命周期评价在啤酒企业清洁生产审核中的应用[J].气象与环境科学,2008(2):77-79.

[14] Poritosh R, Daisuke N, Takahiro O, et al. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products[J]. Journal of Food Engineering,2009,90(1):1-10.

[15] Zhaojie Cui, Hou yannan, Jinglan Hong, et al. Life cycle assessment of coated white board: a case study in China[J]. Journal of Cleaner Production,2011,19(13):1506-1512.

[16] Carla Pieragostini, Miguel C. Mussati,Pio Aguirre. On process optimization considering LCA methodology[J]. Journal of Environmental Management, 2011, 96(1):43-45.

[17] Graham A. McAuliffe, Deborah V. Chapman, Colin L. Sage. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2016,56:12-22.

[18] 任宪姝,霍李江.瓦楞纸箱生产工艺生命周期评价案例研究[J].包装工程, 2010,31(5):54-57.

Study on the Examination of Cleaner Production in Lead Acid Batteries Based on LCA Concept

—A Case Study of a lead-acid battery manufacturer in Hubei Province

GUI Min,Lu Chun,LI Jinxuan,GAO Linxia,LI Zhu

(School of Civil Engin., Architecture and Environment , Hubei univ. of Tech.;

Key Laboratory of Ecological Remediation for Lakes and Rivers and Algal Utilization of Hubei Province , Wuhan , 430068, China)

Abstract: Based on the LCA concept and method to quantify the environmental emissions at various stages of the production process of a lead-acid storage battery enterprise in Hubei. The CML2001Dec07 evaluation method provided by Gabi5 software is used to calculate and analyze the inventory, and the environmental impact caused by the final assembly stage is obtained. The results show that the environmental impact of the final assembly phase is the largest, thus establishing the audit focus of the enterprise and developing two clean production plans.

Keywords: Life cycle evaluation;lead storage battery;clean production audit;Plan

[责任编辑:裴 琴]