

基于 GaBi 软件的钢铁工业球团工艺 LCA 生命周期评价

王倩¹ 张玲玲² 苍大强¹

(1. 北京科技大学冶金与生态工程学院, 2. 北京科技大学能源与环境工程学院)

摘要 基于生命周期评价方法, 采用 GaBi 软件提供的 CML2001 方法对 1t 球团产品进行生命周期评价, 分析球团工艺中的原料、能源消耗以及环境排放, 包括选取环境影响评价指标, 分类化特征化。分析结果表明, 酸化是球团工艺对环境的主要影响类型, 占总环境影响潜值的 36.95%, 环境影响由大到小分别为酸化 (AP)、温室效应 (GWP)、人体健康潜力 (HTP)、光化学毒性 (POCP)、富营养化潜力 (EP) 和臭氧层耗竭潜力 (ODP)。研究为钢铁产品的生态设计和开发提供了方法。

关键词 LCA (生命周期评价) 球团工艺 GaBi

LCA analyzing with GaBi software for pelletizing process in steel industry

Wang Qian Zhang Lingling Cang Daqiang
(University of Science and Technology Beijing)

Abstract Based on the methodology of life cycle assessment, using GaBi to analyze the material and energy consumption and environmental emissions during production of 1t sinter, and CML2001 method provided by GaBi was used to perform environmental impact assessment of pelletizing process, including selection of impact category, selection of characterization model and explanation of characterization result. The results indicate that the AP is the main environmental impact in the pelletizing process, which accounts for 36.95% of the total environmental impact potential. Regarding the extent of environmental impacts, these factors rank as AP, GWP, HTP, POCP, EP and ODP. The research presented the method on the eco-design and development for the iron and steel products.

Keywords life cycle assessment (LCA) pelletizing process GaBi

2015 年全球钢铁产能 23 亿 t, 全球产能利用率为 69.7%, 中国粗钢产量达 8.23 亿 t, 粗钢产能约占世界总产能的一半^[1]。然而, 钢铁工业高污染、高能耗的特点使钢铁工业在防污减排、节能降耗等方面承受着较大的压力^[2-3]。中国钢铁工业能耗总体水平与国际先进水平相比, 差距在 10% 左右^[4]。

生命周期方法在材料中的应用是基于性能需求, 对材料产品或系统的环境影响进行综合、系统地分析, 获得定量结果, 帮助辨识流程中环境

负荷重点工序、优化技术改进方案、研制开发先进技术, 指导节能减排^[5]。生命周期评价包括产品、过程或活动从原材料获取和加工、生产、运输、销售、使用、再循环到最终处置的各个阶段, 也称“摇篮到坟墓”的分析方法。开展球团过程生命周期评价, 定量解释球团生命周期的能耗和环境污染问题, 有利于开展球团工序的节能减排工作。GaBi 软件是生命周期评价专用工具之一^[6], 由德国斯图加特大学 LBP 研究所和德国 PE 公司共同研发, 目前已发展到 GaBi6 版本。宝钢于 2004 年在我国钢铁界首次开展了电镀锌产品的生命周期评价研究, 之后进行不锈钢

收稿日期: 2017-04-30

王倩(1991-), 硕士; 100083 北京市海淀区。

产品的 LCA, 提出了 LCA 的环境决策方法^[7-8]。因此, 如何评估钢铁产品的环境特性以及球团的性能改进对全社会的节能减排效果, LCA 提供了一个系统化的科学方法。

1 模型建立

在数据收集和处理的基础上, 在生命周期评价专业软件 GaBi 中建立球团工序的生命周期评价模型。模型包括输入端和输出端两部分: 输入端主要包括各类能源的直接投入以及这些能源生产所需的间接投入; 输出端包括发电过程能源燃烧产生的排放以及投入的能源生产过程的间接排放。焦炉煤气、高炉煤气和转炉煤气的回收, 以及余热蒸汽作为回收资源处理, 在工序能耗中扣除。钢铁产品和其他副产品的运输不包括在清单中。水蒸气排放对环境影响可以忽略, 将其排除在外。

文章主要介绍 LCA 在球团生产过程环境负荷分析及优化研究与应用, 在系统的界定范围内, 所有的计量单位应标准化, 换算成功能单位。研究的功能单位定义为生产 1t 球团。

2 数据清单分析

A 球团厂 2016 年日生产球团 6000t, 主要供高炉使用, 球团工序精矿粉消耗量平均为 950kg/t, 膨润土平均用量 7kg/t。电力来自燃煤发电, 表 1 为 1t 球团资源、能源消耗及污染物排放数据。

通过建立 GaBi 软件的球团工艺流程模型, 输入各工序的物耗、能源消耗、空气污染物排放 (CO_2 , NO_2 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$) 和水污染物排放数据清单。

表 1 生产 1t 球团资源、能源消耗及污染物排放数据

物料	数值
电/kWh	38
工业水/kg	35
精矿粉/kg	950
煤粉/kg	28
膨润土/kg	7
白云石/kg	20
石灰石/kg	55
粉尘颗粒物/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	18
$\text{NO}_x/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	95
$\text{SO}_2/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	200

3 环境影响评价及结果解释

GaBi 软件选用表莱顿大学环境研究中心发表的 CML2001 方法, 通过特征化、标准化和加权将工艺过程的输入输出数据转化为单一的环境负荷值。选取 6 种生命周期影响类别 (全球变暖潜力 GWP、酸化潜力 AP、富营养化潜力 EP、光化学氧化剂生成潜力 POCP、人体健康潜力 HTP、臭氧层耗竭潜力 ODP) 进行说明和解释。

3.1 特征化

因子特征化计算, 是将原始数据根据某一具体的特征进行因子乘积的计算, 可将球团工艺过程的排放物质统一转化为标准参照物的影响值。该过程通过特征化因子乘以污染物排放量得到环境影响潜值的大小, 计算结果如表 2 所示。

3.2 因子归一化

权重计算的目的是评价各个特征对结果的影响, 由于各个特征对环境的影响不一样, 因此需要利用权重对这些特征加以评价区分。权重建立在特征化之上, 但由于每个特征变化量的单位

表 2 球团工艺各生命周期环境影响潜值特征化结果

	运输过程	燃煤用电	煤粉	采矿	球团生产	总和
酸化潜力 AP	0.005722	0.062586	0.041191	0.00252	0.47096	0.582978
富营养化潜力 EP	0.001546	0.008185	0.005979	0.000532	0.057304	0.073546
全球变暖潜力 GWP	0.95073	39.09319	8.605133	1.046638	—	49.69569
人体健康潜力 HTP	0.043395	1.333235	0.215668	0.040819	0.577541	2.210657
臭氧层耗竭潜力 ODP	$1.09\text{E}-12$	$2.05\text{E}-11$	$3.99\text{E}-11$	$7.73\text{E}-11$	—	$1.39\text{E}-10$
光化学氧化剂生成潜力 POCP	$-2.41\text{E}-03$	0.004965	0.004645	0.000267	0.022365	0.029828
总计	0.998983	40.50216	8.872616	1.090775	1.12817	52.5927

都不统一，需要对这些变量进行去单位化，因此就需要进行标准化。在 GaBi 中提供了这些特征权重和标准化的因子数据库。

GaBi 软件所包括的评价方法有：CML2001/96，EDIP1997/2003，EI95/99 和 UBP 等，文章

选用 CML2001 方法。首先对 6 个指标进行特征化处理，然后再利用归一化方法将球团生命周期的各个过程的输入输出数据转化为单一的环境负荷值并进行比较。文章归一化的基准值采用软件提供的基准值。计算结果如表 3 所示。

表 3 球团工艺生命周期环境影响潜值归一化结果

	运输	煤发电	煤粉	采矿	球团生产	总计
酸化潜力 AP	2.39E-14	2.62E-13	1.72E-13	1.05E-14	1.97E-12	2.44E-12
富营养化潜力 EP	9.76E-15	5.17E-14	3.78E-14	3.36E-15	3.62E-13	4.65E-13
全球变暖潜力 GWP	2.17E-14	9.33E-13	2.03E-13	2.24E-14	-	1.18E-12
人体健康潜力 HTP	1.68E-14	5.17E-13	8.36E-14	1.58E-14	2.24E-13	8.57E-13
臭氧层耗竭潜力 ODP	4.83E-21	9.07E-20	1.76E-19	3.41E-19	-	6.13E-19
光化学氧化剂生成潜力 POCP	-6.55E-14	1.35E-13	1.26E-13	7.24E-15	6.07E-13	8.10E-13
总计	6.66E-15	1.90E-12	6.22E-13	5.93E-14	3.16E-12	5.75E-12

3.3 生命周期评价结果解释

根据归一化结果形成的环境影响潜值柱状图如图 1 所示。球团生命周期环境影响由大到小分别为：酸化（AP）、温室效应（GWP）、人体健康潜力（HTP）、光化学毒性（POCP）、富营养化潜力（EP）和臭氧层耗竭潜力（ODP）。其中酸化是球团生产中对环境造成影响的主要因素，占总环境影响的 36.95%，温室效应和人体健康

潜力次之，分别为 27.26% 和 15.11%，其他三项占总环境影响的 20.68%。酸化的环境影响主要由球团生产阶段、燃煤发电以及煤粉燃烧等过程中排放的 SO₂、NO_x 等气体造成。GWP 的环境负荷来源于燃煤发电和煤粉燃烧。HTP 的环境负荷主要来源于燃煤过程，燃煤生产的重金属等有毒物质、粉尘均会对人体产生影响。

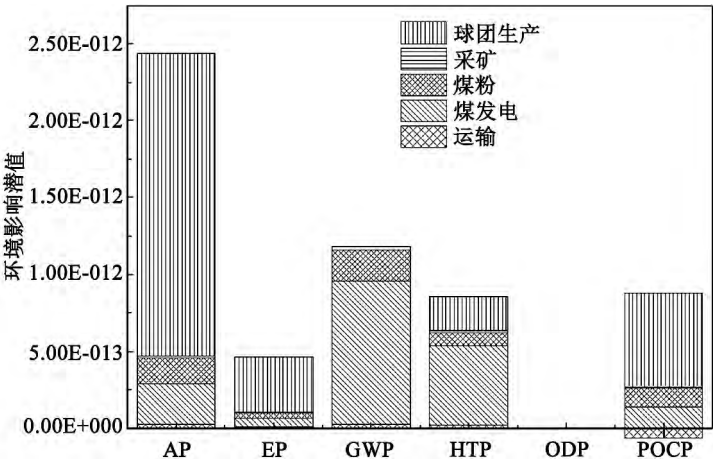


图 1 球团生命周期环境影响潜值归一化结果

球团工艺不同阶段的环境影响潜值和不同影响类型在各阶段的比例见图 2 和图 3。由图 2、图 3 可知球团生命周期中，各阶段对环境的影响由大到小分别为球团生产、燃煤发电、煤粉燃烧、采矿和运输阶段。其中球团生产阶段的环境影响远高于其他阶段，占总环境潜值的 54.96%，主

要贡献来源于 AP，占比 62.34%。其次为燃煤发电阶段，占总环境影响潜值的 33.04%，主要贡献来源是 GWP 和 HTP，占比 49.11% 和 27.21%。然后为煤粉阶段，占总环境潜值的 10.82%。其他环节的环境影响比较小。

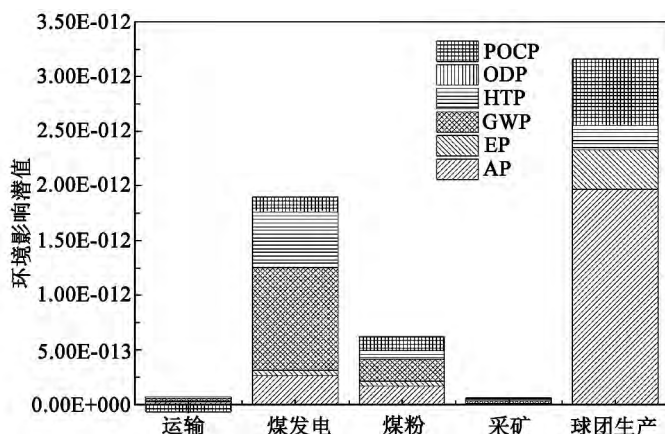


图2 球团生命周期环境影响潜值分布

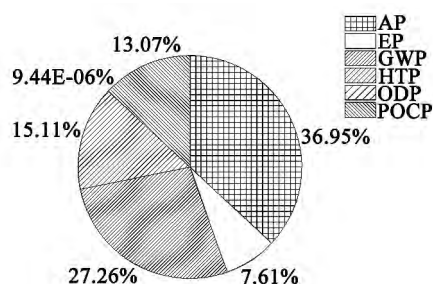


图3 环境影响面积分布图

由图4可知，球团生产阶段的AP、EP和POCP在整个工艺中占据最高的比例，分别为80.7%、77.80%和74.90%，主要原因是生产阶段铁矿石燃烧产生了大量的 SO_2 和 NO_x 。燃煤发电阶段具有最高的GWP和HTP环境影响比例，分别是79.07%和60.30%，主要由于燃煤发电阶段煤的燃烧排放大量的 CO_2 和有毒物质，对温室效应和人体健康造成影响。

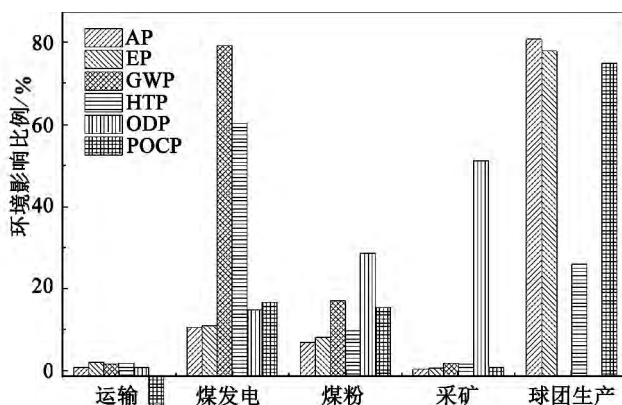


图4 球团生命周期环境影响比例

4 结论

文章基于LCA方法，根据环境影响评价结果，可得出以下分析结论：

(1) 球团生命周期中对环境影响最严重的是酸化，主要由于球团生产过程中燃烧铁矿石产生大量的 SO_2 和 NO_x 等气体造成，因此应加强

烟气脱硫设备并且积极开发科学的选矿技术，降低国产成品矿中的含硫量。

(2) 燃煤发电阶段对环境影响最严重的是温室效应，主要由于燃煤产生的 CO_2 等温室气体造成，因此使用环保的太阳能、风能、生物质能和氢等可再生能源来发电可有效降低 CO_2 等温室效应气体的排放。(下转第32页)

- 14.
- [1] 邵俊, 孟君, 桑蓉栋等. 论节能降耗型烧结工序的设计要点及发展趋势 [J]. 中国冶金, 2015 (2): 58-61.
- [2] 姚朝权, 张建良, 张亚鹏等. 基于天钢铁矿粉高温性能的烧结优化配矿 [J]. 烧结球团, 2015, 2: 005.
- [3] 祁成林, 赵晓红, 柴铁凡等. 毛塔粉与巴西粗粉搭配替代巴西精粉烧结杯试验 [J]. 中国冶金, 2015, 25 (10): 15-20.
- [4] 吴浩方, 贾彦忠, 梁德兰. 几种常见进口铁矿石的烧结基础性能 [J]. 钢铁, 2011, 46 (7): 10-13.
- [5] 吴胜利, 杜建新, 马洪斌等. 铁矿粉烧结液相流动特性 [J]. 北京科技大学学报, 2005, 27 (3): 291-293.
- [6] 刘东辉, 吕庆, 邹雷等. 褐铁矿配比对钒钛磁铁矿烧结基础特性的影响 [J]. 钢铁, 2014, 49 (4): 13-17.
- [7] 吕庆, 张旭升, 刘小杰等. 钛对烧结矿基础性能的影响 [J]. 钢铁, 2015, 50 (5): 13-18.
- [8] 吴胜利, 刘宇, 杜建新等. 铁矿粉与 CaO 同化能力的试验研究 [J]. 北京科技大学学报, 2002, 24 (3): 258-261.
- [9] 吴浩方, 贾彦忠, 梁德兰. 几种常见进口铁矿石的烧结基础性能 [J]. 钢铁, 2011, 46 (7): 10-13.
- [10] 吴胜利, 戴宇明, 裴元东等. 基于铁矿粉高温特性互补的烧结优化配矿 [J]. 北京科技大学学报, 2010, 32 (6): 719-724.
- [11] 吴胜利, 杜建新, 马洪斌等. 铁矿粉烧结粘结相自身强度特性 [J]. 北京科技大学学报, 2005, 27 (2): 169-172.
- [12] 赵勇, 吴铿, 申威等. 基于烧结基础特性的新评价方法指导烧结配矿 [J]. 钢铁, 2015, 50 (9): 23-27.
- [13] 张建良, 李净, 蒋海冰等. 进一步降低烧结工艺成本的优化配矿试验 [J]. 钢铁, 2013, 48 (3): 9-14.
- [14] 米坤. 烧结用铁矿石微观特性及粉/核高温结合性的研究 [J]. 北京: 北京科技大学, 2001.
- [15] 王筱留. 钢铁冶金学 (炼铁部分) (第2版) [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.
- [16] 林鸿. 宝钢低成本烧结配矿新技术的基础研究 [J]. 北京: 北京科技大学, 2000.
- [17] 吴胜利, 杜建新, 马洪斌等. 铁矿粉烧结粘结相自身强度特性 [J]. 北京科技大学学报, 2005, 27 (2): 169-172.

万雪 编辑

(上接第6页)

(3) 运输阶段环境影响潜值较小, 对环境的影响能力有限。

参 考 文 献

- [1] 中国钢铁工业环境保护白皮书 2005-2015 [EB/OL]. 冶金工业规划院.
- [2] 黎煜, 张琦, 徐进等. 钢铁企业能效评估方法及应用 [J]. 冶金能源, 2016, 35 (2): 3-6.
- [3] 王懿, 芦永明. 钢铁企业能量流网络研究现状与发展趋势 [J]. 冶金能源, 2016, 35 (3): 3-8.
- [4] 王维兴. 钢铁工业能耗现状和节能潜力分析 [J]. 中国钢铁业, 2011, (4): 19-22.
- [5] Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. ISO 14040: 2006. Switzerland ISO, 2006.
- [6] 张磊. 基于 GABI4 的电动汽车生命周期评价研究 [J]. 合肥: 合肥工业大学, 2011.
- [7] 黎洁, 刘颖昊, 刘涛等. 生命周期评价在宝钢不锈钢领域的应用初探 [J]. 宝钢技术, 2015, (3): 59-64.
- [8] 刘颖昊, 沙高原, 黄志甲等. 产品生命周期评价在钢铁行业中的应用和前景 [J]. 环境工程, 2008, 26 (1): 81-84.

万雪 编辑