

# MDF 企业木废料颗粒燃料和煤的生命周期评价

黄思维,周定国\*

(南京林业大学 材料科学与工程学院 江苏 南京 210037)

**摘要:** 本文对 MDF 企业木废料颗粒燃料和煤进行生命周期评价,从环境和经济角度出发,木废料成型燃料是一种较为理想的煤炭替代能源。

**关键词:** 颗粒燃料;煤;生命周期评价

中图分类号: S784

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2014)01-0073-05

## Assessment of the Life Cycles of Wood Waste Pellets and Coal from Medium Density Fiberboard Plants

HUANG Si-wei ZHOU Ding-guo

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** In this article, researches are conducted on the life cycle assessment of wood waste pellets and coal from medium density fiberboard plants. Wood waste pellets are an ideal energy instead of coal from environmental and economic aspects.

**Key words:** Pellets, Coal, Life cycle assessment

### 1 生命周期评价的概述

#### 1.1 生命周期评价的发展背景

生命周期评价始于 20 世纪 60 年代末和 70 年代初期,美国针对包装品进行一系列的分析、评价<sup>[1]</sup>。1969 年美国可口可乐公司开始跟踪和定量分析原料,从采掘到废弃物的最终处理整个过程中的变化,还比较了一次性饮料瓶和可回收玻璃瓶的优越性,对前者作出了肯定。从此以后,生命周期评价方法不断发展,被多个领域广泛的使用,成为了可靠的环境特征分析和决策的工具之一<sup>[2,3]</sup>,已被列入 ISO 14000 国际环境认证标准系列之中,并得到广泛的应用<sup>[4]</sup>。

#### 1.2 生命周期评价的定义

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LAC)的

核心框架是获取原料、生产、使用直到废弃处理,给环境带来影响及其潜在影响因素的研究。这种方法从能源消耗、环境污染、经济效益三方面对产品进行评价,并对其可持续发展做出判断。

ISO 1404 标准体系中定义 LAC 为汇总和评价一个产品、过程体系在其整个生命周期的所有及产出对环境造成的和潜在的影响方法<sup>[5]</sup>。

生命周期评价还被称为“环境负荷评价”或“环境协调性评价”,它是对能量以及物质利用并由此导致环境污染物的排放来识别和量化,控制污染源头、实现清洁生产的关键。同时,也能判断产品和工艺是否属于清洁生产范畴的基本方法。生命周期法能够找出清洁生产过程中存在的问题<sup>[6]</sup>。

#### 1.3 生命周期评价的技术路线

生命周期评价的实施步骤包括目标和范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释 4 个阶段,如下

收稿日期: 2013-09-07

基金项目: 木质纤维基功能化包装材料制备技术(201104004)。

作者简介: 黄思维(19-) 博士,从事生物质复合材料的研究。E-mail: huangsi.wei@163.com。

通讯作者: 周定国,教授,博士生导师,从事木质与非木质复合材料研究。E-mail: dgzhou@njfu.com.cn

图所示<sup>[7]</sup>。

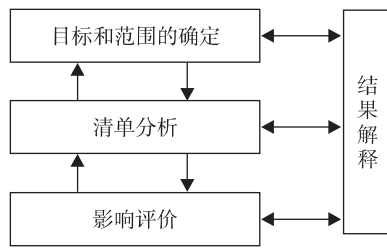


图1 生命周期评价的4个阶段

Fig. 1 Life cycle assessment of four stages

(1) 目标和范围的确定: 为生命周期评价研究制定一个初步计划, 主要包括实施生命周期评价的目标和意图、研究范围和研究成果可能应用的领域<sup>[8]</sup>。

(2) 清单分析: 该分析主要从原料的提取、加工、制造、使用和后期处理整个生命周期进行评价, 量化了研究对象的整个生命周期内的原料需求量和能量以及对周围环境的影响(包括废气、废水、固体废弃物等污染物)。详细操作步骤如下: 首先, 在确定清单分析的目标和范围之后, 定义研究对象的边界。然后, 建立清单调查表, 确定收集信息的范围, 这些范围包括能源、原材料、大气污染物排放、土壤污染排放、水污染排放和废弃物。最后, 建立计算模式, 根据数据进行表述、解释, 得出结论并说明数据的有效范围<sup>[8]</sup>。

(3) 影响评价: 为了确定研究对象的物质、能量交换对其外部环境的影响, 对清单分析阶段所确定的环境压力进行定性或定量的评价。该评价需考虑研究的对象对生态系统、人体健康以及其他方面的影响<sup>[8]</sup>。

(4) 结果解释: 系统地对评估对象的整个生命周期内消耗能源、原材料及对环境的影响的需求与机会, 从而对结论进行建议, 提出改进措施, 例如改变废物管理、原料重新选择和制造工艺等<sup>[8]</sup>。

## 1.4 生命周期评价的应用

### 1.4.1 生命周期评价在清洁生产中的应用

生命周期法作为一个注重研究生态系统、资源消耗和人类健康领域内对环境的影响的评价手段和分析工具, 能够帮助企业制定战略规划、环境行为评价以及产品设计等收集信息, 有利于企业生产经营活动的可持续发展<sup>[9]</sup>。

张浩等选取重油、石油、天然气作为中国浮法玻璃的燃料, 用生命周期评价了采用3种燃料的环境影响, 得出了不同燃料的环境影响类型<sup>[10]</sup>。

刘文金通过对中密度纤维板生态循环周期评价研究, 将资源、能源、废弃物及使用过程中挥发物污染等4项内容作为参数, 探讨了中密度纤维板生态循环周期评价的数学模型, 明确了中密度纤维板生态循环周期评价综合分析的内容和要求<sup>[11]</sup>。

薛拥军等在国内现有的纤维板生产系统基础上根据生命周期评价的原则, 从环境效益、经济效益和技术性能方面出发, 为我国纤维板厂的新厂建设和老厂改造以及相关政策的制定提供参考依据<sup>[12]</sup>。

### 1.4.2 生命周期评价在产品中的应用

诸多专家为了使研究的新技术、新产品以及设计方案能够朝可持续发展道路发展, 提高产品、技术竞争性, 优化设计方案。他们常常采用生命周期评价方法对产品、技术进行评价分析, 为获得最优的实验路线和设计方案提供数据参考和理论支持。

朱金陵等从能源、资源和环境角度出发, 分析玉米秸秆成型燃料从原料、制造、使用和最后处理等单元过程, 结果显示: 从秸秆运输、压缩成型、成型燃料运输等阶段需消耗能源。其中, 压缩成型能耗最大, 并建立了玉米秸秆生命周期评价模型, 得出了玉米秸秆减排性能优于化石燃料的结论, 为生物质成型燃料的利用提供了理论依据<sup>[13]</sup>。

闫宇飞以对环境 and 人体健康的影响为指标, 对纸杯和一次性塑料水杯的生命周期进行评价, 评价结果表明: 由于纸杯在材料采用、制造耗能的缺陷使得它对环境的影响较大, 而一次性塑料水杯的劣势在于其可降解性上和资源消耗上不及纸杯<sup>[14]</sup>。

马明珠等利用生命周期法评价某一办公建筑保温进行节能减排效益和生命周期成本评估, 结果表明, 保温后节能减排效果良好, 生命周期成本减少了 $294.48 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-2}$ , 具有较好的经济效益<sup>[15]</sup>。

纪丹凤等运用生命周期法对不同余热利用和尾气处理方式下的生活垃圾焚烧处理方案对环境造成的影响进行评价, 结果显示: 干法、半干法和湿法3种酸性气体处理方式中, 湿法处理对环境的影响最小, 但资源消耗系数最大。单纯供热、供电和热电联供3种余热利用方式中, 热利用效率最低的是单纯供电, 热利用效率最高的是直接供热<sup>[16]</sup>。

## 2 颗粒燃料和煤的复合生命周期对比评价

植物种植、生长、收获, 废弃物的收集、运输、预处理、回收利用、生物质的各种转换手段和最终处理是生物质的生命周期主要组成部分。因为生物质能

量密度低,所以在收集、运输、处理过程中的能耗比石化燃料大,不可忽视。

砂光粉成型燃料的原料来自于生物质原料,这种原料是以有机物为载体的一种可储存和可再生的生物质能源。砂光粉由碳氢化合物组成,与常规的石化能源石油、煤等相似,但生物质的挥发分高,含硫量和灰分较低。因此,生物质利用过程中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  的排放较少,用生物质替代石化能源供能,将明显减少对空气的污染和酸雨形成的现象。

目前,砂光粉燃烧方式主要为燃烧机燃烧、气化燃烧和喷燃等 3 类。据资料显示:在同等条件下,直接燃烧生物质的热效率为 10% ~ 30%,而制成生物质颗粒以后经燃烧器燃烧,其热效率可达到 87% ~ 89%<sup>[17]</sup>。因此,将散状的砂光粉、废弃纤维压制成型颗粒燃料提高燃料品质具有重要意义,还可以代替更多的煤。

本文从能源、环境和经济 3 个方面,对能源煤和其替代能源中密度纤维板厂木废料成型燃料(以砂光粉为主)进行生命周期对比评价,旨在揭示两者

的优越性,并用对二者进行综合评价,为中密度纤维板厂使用砂光粉成型燃料替代传统燃料煤提供决策支持和理论依据。

## 2.1 目标和范围的确定

### 2.1.1 研究目标的确定

研究目标确定为二类烟煤的发热量取中间值为  $17\,285\text{ KJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  和砂光粉成型燃料(连云港欣森木业中密度纤维板厂)热值为  $17\,025\text{ KJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

### 2.1.2 系统边界的确定

砂光粉成型燃料和煤炭在利用过程中都融入了人的行为,使得两种燃料的环境污染物排放量和吸收量有所差异。砂光粉是中密度纤维板生产中,生成量较大且粒度较小的可燃木废料,是一种可再生能源,燃烧时产生的二氧化碳可以等量地被利用于树木生长过程中。而煤为不可再生资源,燃烧过程中产生的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  等气体破坏大气环境。砂光粉成型燃料和煤炭的生命周期评价流程,如图 2 和图 3 所示。

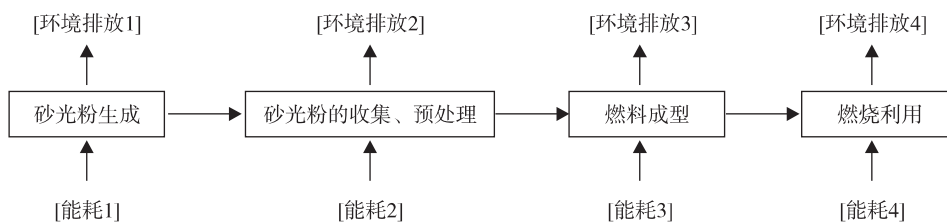


图 2 砂光粉颗粒成型燃料生命周期评价流程图

Fig. 2 Sanding powder particle forming fuel life cycle assessment flow chart

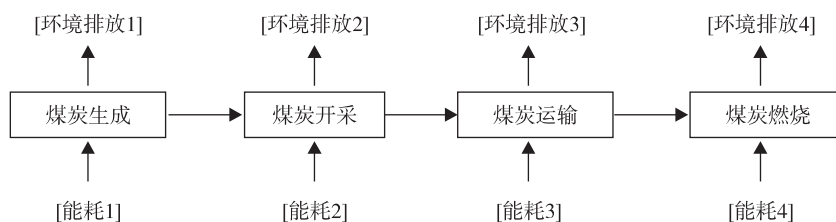


图 3 煤炭生命周期评价流程图

Fig. 3 Coal life cycle assessment flow chart

砂光粉是人造板在锯切或砂光工序中产生的,在锯切、砂光等工序需要耗能,施加胶黏剂过程中也需消耗能源和排放环境污染物。由于砂光粉是人造板的附属物和废弃物,因此,图 2 中能耗 1 及施加胶黏剂过程中产生的污染物不计入砂光粉产生过程。砂光粉的收集(图 2,能耗 2)和砂光粉压缩成型阶段(图 2,能耗 3)均需要消耗能源,存在环境污染物。砂光粉成型燃料可以直接代替煤等石化燃料的燃烧,所以使用成型燃料的燃烧炉等设备在制造中

的能耗 4 可忽略不计。

煤的整个生命周期主要包括煤炭的形成、开采、运输加工和使用 4 个阶段。煤炭是在植物遗体堆积后,经过生物化学、物理化学作用转变形成的有机矿产,是由矿物质和多种高分子化合物组成的混合物。煤形成过程逐渐与空气隔绝,氧化环境转变为还原环境,因此,图 3 中的能耗 1 不计入煤炭生成过程。煤开采过程(图 3,能耗 2、环境排放 2),会伴随着固体废物、矿井水的排放,其中,固体废物(以矸石为

主)是中国工业固体废物产生量和堆积量最大的固体废弃物,占煤炭产量的10%左右,而固体废弃物的可利用率仅为50%,未被利用部分随意丢弃,破坏环境。此外,煤炭开采过程中破坏了地壳内部原有的力学平衡,容易引起地表塌陷,打破了原有的生态系统。由于砂光粉成型燃料和煤炭的生成方式不同,所以研究的系统边界针对砂光粉从它收集、预处理、燃料压缩成型到燃烧;研究煤的系统边界从开采、运输到燃烧废弃物处理。

### 2.1.3 基本假设和功能单位

年产15万 $m^3$ 中密度纤维板厂生产线的能耗为 $87.31 \text{ GJ} \cdot \text{h}^{-1}$ ,折合煤炭约 $5.05 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。生产线实际产生木废料砂光粉、废纤维、锯屑与边条生成量,折合成煤炭约 $4.60 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。不足部分可用稻壳、花生壳作为补充燃料,这里选用稻壳作为补充燃料,折合成煤炭为 $0.60 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。为了统一评价的基准,该研究做了如下假设:纤维板厂原料需求地A与稻壳供给地B和煤炭供给地C之间的距离均为400 km,均采用公路运输。以燃烧释放 $87.31 \text{ GJ} \cdot \text{h}^{-1}$ 为基

准,对煤炭、木废料进行对比评价。

### 2.2 清单分析

清单分析是从所确定的研究系统边界内的所有过程(原料的开采、加工、运输、使用和回收等),并选取了能源、环境、经济等3个指标进行合理性分析。表1为煤与木废料从开采、加工和运输过程中的能源消耗和经济核算。煤炭在开采和运输中主要消耗不可再生资源石油和煤炭。对成型燃料而言,资源的消耗主要在压缩成型阶段。

表1 煤与木废料能源消耗

Table 1 Coal and waste energy consumption

燃料类别	每吨产品能量投入					成本合计 (元·t <sup>-1</sup> )
	煤 (kg)	柴油 (kg)	汽油 (kg)	电 (kW·h <sup>-1</sup> )	运输费用 (元·t <sup>-1</sup> )	
煤	19.40	0.37	0.28	29.44	260	960
木废料成型燃料	—	—	0.22	75	—	273

砂光粉成型燃料和煤炭的各个阶段对环境的影响,分别从原料收集加工、运输、燃烧排放物及焚烧废弃物处理进行分析,如表2所示。

表2

颗粒燃料和煤炭生命周期的定性分析

Table 2

Qualitative analysis of life cycle of the pellet fuel and coal

燃料生命周期单元定义	成型燃料环境影响评价	煤炭环境影响评价
1. 原料采集及加工 对土地的占用和破坏	中密度纤维板厂人造板制造中的附属物和废弃物。	煤炭的开采容易造成矸石山压和地表塌陷,而露天开采主要是外排土场压占和直接挖损。
对水资源的破坏和污染 对大气环境的污染	———	煤炭开采过程中,在进行疏干排水和自然疏干时,对地下水资源造成破坏。
对能源的消耗	粉尘污染环境,伤害人体健康 燃料压缩成型要消耗电力 较少	来自矿井排出的煤层瓦斯和煤矿矸石山形成的废气
2. 原料运输		汽车运输时尾气排放,污染空气,影响人体健康
3. 燃烧排放物	二氧化碳	二氧化碳、二氧化硫、二氧化氮
4. 废弃物处理	灰分还田,可增加土壤肥力,但会消耗动力、人力	运输成本较高

### 2.2.1 原料的收集及加工

砂光粉为中密度纤维板厂的附属物和废弃物之一,随意丢弃对厂内环境造成污染,不利于工作人员身体健康,而利用不合理会造成资源浪费。传统人造板厂常用煤炭为生产线供能,煤炭为不可再生资源,其开采过程中会给土地资源、水资源和空气造成破坏,如表1和表2所示。人造板在砂光粉和锯切工序产生的砂光粉通过人工进行收集,煤炭的开采需要工人在井下进行操作,操作工人安全感较低。据报道,中国是世界上矿难最多的国家,煤炭生产百万吨死亡率为2.04,是美国的50倍<sup>[18]</sup>。

### 2.2.2 原料运输

煤炭从开采到运往加工地最后运到工厂使用,

运输成本较高,不仅消耗人力、动力和物力,而且汽车运输过程中的尾气排放,会造成空气污染,影响人体健康。由于砂光粉本身是工厂加工的废弃物,无需高成本运输和较大人力、物力和动力的投入,结合废弃纤维等木废料工厂可自给自足,冬季不足时可用稻壳等农作物作为补充燃料。

### 2.2.3 燃烧排放物

随着国家环境保护“十二五”规划的出台,以及社会各界对空气质量的密切关注,砂光粉成型燃料与煤炭相比,有如下优点:(1)燃烧飞灰少,从而简化了煤炭燃烧炉的除灰设备;(2)砂光粉成型燃料主要燃烧成分为挥发分,燃烧时不冒黑烟,烟尘较少;(3)CO<sub>2</sub>排放少,并且烟气中没有SO<sub>2</sub>和粒状C

等产生,有利于降低对锅炉腐蚀延长使用寿命和对生态环境的破坏;(4) 二氧化硫、氮氧化物等污染性气体的排放少,不需使用脱硫装置,减少了治污成本,避免酸雨的形成;(5) 煤一般含有微量元素,如: As、Hg、Pb、Se 等,部分金属是有毒的重金属元素。虽然他们在煤炭中的含量很少,但由于煤炭的大规模的燃烧和使用,重金属总量仍不可忽视,而砂光粉中基本不含重金属。

散状燃料成型后热效率可由 10% ~ 30% 提高到 87% ~ 89%<sup>[17]</sup>,以 1t 煤的热量 17.285 GJ 为单位,热效率取中间值,则需散状砂光粉 5.145 t,成型砂光粉 1.169 t。因此,砂光粉成型燃料比砂光粉散状燃料能多替代 3.864 t 煤。一吨煤排放 SO<sub>2</sub> 的量按照 16 kg 计算<sup>[19]</sup>,则砂光粉成型燃料替代煤的使用可避免 61.824 kg SO<sub>2</sub> 量的排放。

#### 2.2.4 燃烧废弃物处理

砂光粉的发热量为 17 045 KJ · kg<sup>-1</sup>,二类烟煤的发热量取中间值为 17 285 KJ · kg<sup>-1</sup>,两者发热量相近。在理想状态下,1 t 砂光粉可替代 0.986 t 煤完全燃烧释放的热量。1 t 煤炭燃烧后,产生灰分为 0.27 t。1 t 砂光粉燃烧后,产生灰分约 0.03 t。在获得相同热量的条件下,砂光粉成型燃料燃烧产生的灰分是煤燃烧产生的 9 倍。当处理燃烧剩余物的运输距离相同时,煤燃烧剩余物的处理费用是砂光粉燃烧剩余物处理费用的 9 倍。由于中密度纤维板厂一般建在林业资源较丰富地区附近,砂光粉等木废料燃烧后的灰渣可用作附近林地或农田的肥料。煤的燃烧剩余物还需运往其它地区进行二次加工利用或废物处理。

### 3 结果与探讨

(1) 综合考虑煤与木废料成型燃料的生命周期能源、环境和经济成本,木废料成型燃料是一种较为理想的煤炭替代能源。从经济角度出发,煤的成本 960 元 · t<sup>-1</sup>,木废料成型燃料成本 273 元 · t<sup>-1</sup>。从能源消耗出发,砂光粉的收集、压缩成型等需要消耗人力、物力和动力资源,其中,压缩成型阶段能耗占的比例最大。煤炭从开采、加工再到使用,需消耗不可再生资源石油和煤炭。从环境角度出发,煤炭燃烧排放的一氧化碳、二氧化硫等污染气体较多,生物质成型燃料实现二氧化碳“零排放”。

(2) 中密度纤维板厂使用成型燃料替代煤炭的燃烧,一方面,降低了对环境负荷量,减少了能源资源的消耗;另一方面,与直接燃烧木废料相比,成型燃料燃烧效率更高,压缩成型的颗粒密度增大,燃烧起来更加安全,更便于储存和车间工人投料量的控制。

#### 参考文献:

- [1] 黄春林,张建强,沈淞涛. 生命周期评价综论[J]. 环境技术, 2004: 29 ~ 34.
- [2] 黄永庆. 生命周期评价的应用[J]. 江西化工, 2011, 4: 1 ~ 3.
- [3] 李晓平,周定国,于艳春. 利用生命周期评价法评价农作物秸秆人造板的环境特性[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(2): 210 ~ 216.
- [4] TAKUYUKI Y, KAZUHIRO A, TOSHIO N, et al. Energy and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) balance of logging residues as alternative energy resources: system analysis based on the method of a life cycle inventory (LCI) analysis [J]. J For Res, 2005, 10: 125 ~ 134.
- [5] ISO14040: Life Cycle Assessment-Principles and Framework [S].
- [6] ISO/DIS 14040. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Part: Principles and Framework [S]. 1997.
- [7] 李英顺,路迈西,胡华龙,等. 生命周期评价在铜渣回收工艺中的应用前景[J]. 环境工程, 2009, 27(1): 81 ~ 84.
- [8] 刘小利. 生命周期评价在产品开发及项目分析中的应用研究[D]. 2003: 3.
- [9] 黄永庆. 生命周期评价的应用[J]. 生命周期评价的应用, 2011, 12: 1 ~ 3.
- [10] 张浩. 基于生命周期评价的中国浮法玻璃燃料对比分析[J]. 化学工程与装备, 2011, 5(5): 141 ~ 143.
- [11] 刘文金. 中密度纤维板生态循环周期评价理论的研究[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(4): 117 ~ 120.
- [12] 薛拥军,向仕龙,刘文金. 纤维板生命周期评价模式的构建[J]. 中国人造板, 2006(11): 29 ~ 32.
- [13] 朱金陵,王志伟,师新广,等. 玉米秸秆成型燃料生命周期评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 263 ~ 266.
- [14] 闫宇飞. 一次性塑料水杯与涂层纸杯的生命周期评价与分析[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(6): 174 ~ 179.
- [15] 马明珠,张旭. 基于 LCA 研究建筑保温的节能减排效益[J]. 环境工程, 2008, 26(1): 88 ~ 89.
- [16] 纪丹凤,夏训峰,席北斗,等. 生活垃圾焚烧处理方式的寿命周期评价[J]. 生活垃圾焚烧处理方式的寿命周期评价, 2010, 3(5): 28 ~ 36.
- [17] 王欣. 生物质颗粒燃料在人造板企业中的应用[J]. 木材加工机械, 2009, 1: 36 ~ 39.
- [18] 林成先,杨尚宝,陈景文,等. 煤与秸秆成型燃料的复合生命周期对比评价[J]. 2009, 29(11): 2451 ~ 2457.
- [19] 李天浔. 矿难发生的原因及其治理措施的经济分析[D]. 辽宁大学, 2007: 3.