

# 基于生命周期评价的 3 种木质类家具环境影响比较研究

江映其<sup>1</sup>, 雷亚芳<sup>1\*</sup>, 孟祥彬<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 北京金隅天坛家具股份有限公司, 北京 100013)

**摘 要:**运用生命周期评价方法(LCA),通过构建木质家具的评价模型,对北京某大型家具企业生产的板木、板式和实木 3 类木质家具进行环境影响评价。结果表明,3 类木质家具的综合环境指数分别为:115.33, 54.26, 157.91 pt;主要环境影响因素分别为:化石燃料、土地使用、可吸入无机物、致癌物、气候变化。板式家具的环境影响值最小,实木家具环境影响值最大,板木家具居中。

**关键词:**生命周期评价(LCA);环境影响;板木家具;板式家具;实木家具

**中图分类号:**TS664.1      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2014)04-0232-05

## Life Cycle Assessment Based Study of the Influences of Three Wooden Furniture on Environment

JIANG Ying-qi<sup>1</sup>, LEI Ya-fang<sup>1\*</sup>, MENG Xiang-bin<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
2. Beijing Tiantan Co. Ltd, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Life cycle assessment (LCA) method was adopted to examine the impacts of three different types of furniture (frame board, panel and solid wood) produced by a large state-owned furniture enterprise on environment by establishing assessment models. The comprehensive environmental indices of the furniture being examined were 115.33 Pt, 54.26 Pt, and 157.91 Pt, respectively. The dominated factors influencing the environment were fossil fuels, land use, inhalable inorganic matter, carcinogens, and climate changes. Plate furniture had the lowest influence value on the environment, while solid wood furniture exhibited the highest influence value on the environment.

**Key words:** life cycle assessment; environmental influence; frame-board-type furniture; panel-type furniture; solid wood furniture

我国是世界木质类家具生产大国,近年来,木质类家具行业发展迅猛。但随着产业发展带来的资源消耗和环境污染加剧等问题也日益引起重视。西方国家设置的绿色壁垒,也向国内家具出口企业提出挑战。如何使家具制造业尽可能减少环境污染是当前家具行业研究的一个主要方面<sup>[1]</sup>。

生命周期评价(LCA),是一种对材料或产品从原料加工、制造、使用到回收、废弃处置等过程中的环境影响进行的综合评价。LCA 广泛应用于冶金、建筑等行业<sup>[2-3]</sup>,并逐渐扩展到电子产品<sup>[4]</sup>、汽车等复杂工业产品。近年来,国外学者开始将 LCA 方法应用在林产品工业领域中。Jungmeie<sup>[5]</sup>等应用

LCA 方法对中密度纤维板的生产过程进行研究分析,发现对环境负荷影响最大的因素为产品的运输和电力构成。日本纤维板工业会也利用 LCA 评估了刨花板、软质纤维板、中密度纤维板和硬质纤维板的环境负荷<sup>[6]</sup>。而国内将 LCA 方法应用在林产品工业领域中却相对较少。

本研究基于 ISO14040 系列标准中定义的 LCA 方法,建立了木质类家具的评价模型,对北京某大型家具企业生产的板木、板式和实木家具进行了生命周期评价,并利用 SimaPro 软件对数据进行分析,得出三者环境影响潜值,对比 3 种家具的环境优越性,再结合经济指标比较 3 类家具的综合优势。

收稿日期:2013-11-01    修回日期:2013-12-13

作者简介:江映其,女,硕士研究生,研究方向:木材加工新技术与家具设计。E-mail: life4qi@126.com

\* 通信作者:雷亚芳,女,教授,研究方向:木材与家具设计。E-mail: leiyaifang@sina.com

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

北京某大型家具企业生产的木质类家具,包括板木家具、板式家具和实木家具。其中板木家具是指基材采用实木、人造板等多种材料混合制作综合类木家具<sup>[7]</sup>。该厂生产的板式家具以三聚氰胺贴面为主。

## 1.2 方法

分 4 步开展评价,目的和范围的确定、清单分析、影响评价、结果解释<sup>[8]</sup>。

在清单分析和影响评价(LCIA)时,利用荷兰 Leiden 大学开发的 SimaPro7.3 软件,其特点包括:能够建立评价模型的网络图;清晰地描述出产品各阶段能量和物质输入输出的逻辑关系;能直观地表示环境负荷。LCIA 方法选用生态指数法(Eco-indicator99),它包括 11 类环境影响类型:气候变化、生态毒性、酸化/富营养化、致癌物、有机物对呼吸系统损害、无机物对呼吸系统损害、辐射、臭氧层破坏、土地占用、矿产资源、化石资源,最后标准化得到 3 大类损害值:人类健康、生态质量和资源损害。

# 2 结果与分析

## 2.1 评价目的和范围

2.1.1 目的 通过对 3 种典型木质家具进行 LCA 评价和比较,建立评价模型,辨析木质家具的环境影响,分析主要贡献过程和产生原因。对企业工艺优化、产品改良,产业结构调整提供数据支持。

2.1.2 功能单位的选取 家具产品以空间为载体提供使用功能,本研究选取相同空间尺寸的一套家具作为功能单位,包括一件衣柜(970 mm×580 mm×2 200 mm),一件茶几(1 350 mm×650 mm×420 mm),一件双人床(2 100 mm×1 900 mm×420 mm)。

2.1.3 系统边界的界定 确定的木质类家具产品系统边界如图 1 所示,黑框为边界,根据被调研企业采用的工艺流程划分,包括上游原材料及能源生产、原料运输、产品制造阶段。其中生产输入能源主要为电力和天然气,产品制造包括部件生产阶段,油漆饰面阶段,装配包装阶段,板式家具不需油漆饰面,评价时不包括此阶段。系列边界类型为“从摇篮到大门”未包括家具的使用,废弃和回收利用阶段。

2.1.4 数据来源 数据来源于北京某大型家具生产企业,其采用的家具生产工艺基本能反映当前国内木质家具企业的一般情况。清单数据中,产品制

造输入的原料输入量、能源消耗来源于实际统计。空气排放和固体废物数据,根据企业提供的第三方环境检测报告。上游原料的环境影响潜值,根据情况选择 Ecoinvent、USLCI、USA Input Output 等数据库中的数据进行替代。

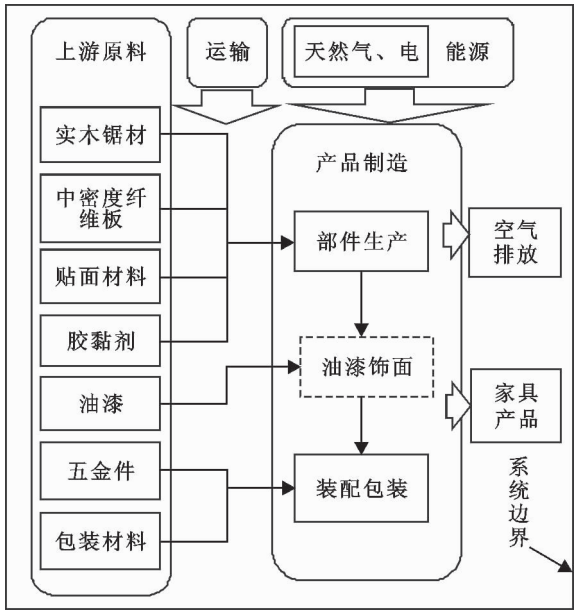


图 1 木质类家具的系统边界

Fig.1 System boundary of wooden furniture

## 2.2 清单分析

通过跟踪各家具生产过程,记录加工方式、工艺参数,而后根据图纸、用料分析单、机械设备参数和现场测量等进行收集清单数据;数据处理后得到 3 类家具在产品制造阶段的原料、能源消耗及废气排放数据,按照部件生产、油漆饰面、装配包装进行统计。具体清单数据如表 1~表 3。

2.2.1 原材料清单 调研得企业实木的利用率为 45%,人造板的利用率为 85%。用家具各部件材积,除以利用率得出木材和板材实际消耗量。实木部件的拼板胶和板材部件的贴面胶为脲醛树脂胶,由脲醛树脂、白乳胶、面粉按 6.5:1:1 调配,清单数据来自于该企业工艺标准:拼板胶用量 10.6 kg·m<sup>-3</sup>,贴面胶用量 0.12 kg·m<sup>-2</sup>。热熔胶主要用于中纤板封边,用量为 0.3 kg·m<sup>-2</sup>,再根据企业当季所用的胶黏剂单价(美元)换算得出。

板木家具的生产工艺为:实木部件进行横截、纵截、刨平、铣型、开槽、打眼、砂光;人造板材部件经过贴木皮、裁板、铣线型、封木边、打眼、砂光;实木部件与人造板材部件进行组装,送入油漆车间进行饰面喷涂。由于基材是榆木和贴榆木木皮中密度纤维板,为突出其纹理的特色,企业油漆工艺为:白坯手

工上色(褐色)、喷涂首遍开孔漆、喷涂底漆两遍、喷涂面漆一遍,其中两遍底漆之间需要砂光打磨一遍。清单中的油漆是总括了底料、固化剂、稀释剂等油漆成分的综合数据。用量按照该企业工艺标准 1.6 kg·m<sup>-2</sup>统计计算。

表 1 3 类木质家具原材料清单

Table 1 Data list of raw material of three wooden furniture				
生产过程	物质	数量		
		板木家具	板式家具	实木家具
部件生产	中纤板/m <sup>3</sup>	0.338	0.505	—
	榆木/m <sup>3</sup>	0.354	—	1.102
	榆木贴皮/kg	12.469	—	—
	木封边条/kg	0.386	—	—
	三聚氰胺贴面纸/m <sup>2</sup>	—	53.991	—
	PVC 封边条/kg	—	5.446	—
	拼板胶/kg	8.209	—	16.699
	贴面胶/kg	4.270	6.479	—
	热熔胶/USD	0.61	1.96	—
油漆饰面	油漆/kg	73.331	—	80.809
	五金件/USD	13.62	11.85	13.62
装配包装	海绵纸/kg	0.600	0.586	0.600
	纸箱/kg	28.790	16.080	28.790

表 2 3 类木质家具能源清单

Table 2 Data list of energy source of three wooden furniture				
生产过程	能源种类	数量		
		板木家具	板式家具	实木家具
部件生产	电/(kW·h <sup>-1</sup> )	33.983	30.735	27.361
油漆饰面	电/(kW·h <sup>-1</sup> )	32.215	—	35.491
	天然气/m <sup>3</sup>	8.071	—	8.894
装配包装	电/(kW·h <sup>-1</sup> )	0.590	0.420	0.590

表 3 3 类木质家具废弃物清单

Table 3 Data list of rejected material of three wooden furniture				
生产过程	废弃物质	数量/kg		
		板木家具	板式家具	实木家具
部件生产	粉尘	1.57E-05	1.80E-06	1.06E-05
	乙酸乙酯	2.81E-08	2.81E-08	—
	甲醛	6.95E-09	1.47E-06	—
	甲苯	9.56E-09	2.06E-08	—
油漆饰面	粉尘	2.15E-07	—	2.37E-07
	苯	4.48E-06	—	5.36E-09
	甲苯	1.69E-07	—	1.87E-07
	二甲苯	4.86E-06	—	5.35E-06
	甲醇	1.40E-06	—	1.54E-06
	乙醇	7.36E-07	—	8.11E-07
	乙酸丁酯	4.54E-06	—	5.00E-06
	乙酸乙酯	3.93E-08	—	4.33E-08

实木家具的部件生产与板木家具中的实木部分一致,油漆工艺也相同。实木用材直接采购干燥好的锯材,幅面大的部件采用指接拼板。

板式家具的部件生产工艺与板木家具中人造板部件的生产工艺相同,但不进行油漆饰面。

2.2.2 能源清单 我国电力主要来源于火力发电,故电力背景数据采用 Ecoinvent 数据库中,中国燃烧硬煤发电的相关数据。部件加工阶段的用电量包括通风除尘用电和加工用电,油漆饰面阶段的电力包括油漆线运输用电、喷涂用空气压缩机用电、喷涂箱通风用电和砂光用电。耗电量按照加工机械功率与加工时间的乘积进行统计,其中,加工时间是现场统计的平均加工耗时。

2.2.3 废弃物物质清单 调研企业生产中没有涉及水体排放和土壤排放,废弃物物质清单中只含木质类家具生产时主要的空气排放物,数据来源于该企业委托的第三方环境检测机构出具的《职业病危害控制效果评价报告》。由于板式家具生产过程中没有油漆喷涂过程,因此仅排放乙酸乙酯、甲醛和甲苯。

2.2.4 运输清单 包含原料到家具生产企业所经历的运输阶段。由于原材料来源复杂,故假设原料采购距离均为 1 000 km,采用 6 t 箱式载货汽车(百公里柴油消耗量为 11 L)公路运输。用所有原料总质量与运输距离乘积的吨公里数(t·km)为计量单位,3 类家具的运输清单如表 4 所示。

表 4 3 类木质家具运输清单

Table 4 Transport list of three wooden furniture	
家具类型	数量/(t·km <sup>-1</sup> )
板木家具	592.22
实木家具	898.30
板式家具	376.07

2.3 影响评价

先将清单数据录入 Simapro 软件,根据 Eco-indicator99 体系实施步骤,得出 11 个环境影响类别的特征化指标如表 5 所示。根据基准,再进行标准化计算比较贡献大小(图 2),3 类家具中主要环境影响因素从大到小依次为:化石燃料、土地使用、可吸入无机物、致癌物、气候变化。板木家具仅在土地占用一项中低于实木家具,其他指标均与实木家具相差不大。而板式家具在致癌物的贡献大于其他两类家具,其余指标均呈较小值,特别是土地占用一项,仅为实木家具的 5%。实木家具的土地占用影响最大,但其致癌物的指标比其他两类家具略低。

然后将 11 类影响因素归类为人体健康、生态环境和资源损害三大影响类型,加权后得出生态指数,用于描述产品环境影响的相对负荷值。生态指数用“Pt”分值度量,每一分代表平均一个欧洲居民在一年中环境负荷的千分之一<sup>[9]</sup>。如竹集成地板的生产阶段的生态指数为 0.8 Pt,废弃回收时为-2.3 Pt,表示 1 m<sup>2</sup> 竹集成地板生产时增加环境负荷值为

0.8,回收时减少环境负荷值为 2.3<sup>[10]</sup>。3 类家具生态指数计算结果如图 3 所示。其中板木家具、板式家具、实木家具的生态指数总分分别为:115.33,54.26,157.91 Pt。从图 3 中可看到,板木家具 3 类环境影响得分居中,资源损害分值略高,生态质量最低;板式家具生态总分值最小,主要来自资源损害和人体健康的环境影响,对生态质量的影响最小;而实木家具的环境影响主要体现在生态质量方面,人体健康和资源损害数值与板木家具相差不大。

表 5 3 类木质家具环境影响类型特征化指标

Table 5 Characterization result of different environmental impacts of three wooden furniture

影响因素	特征化指标			
	单位	板木家具	板式家具	实木家具
致癌物	DALY	1.36E-04	1.78E-04	1.06E-04
有机物	DALY	1.18E-06	5.04E-07	1.56E-06
无机物	DALY	8.06E-04	3.77E-04	8.11E-04
气候变化	DALY	2.14E-04	1.15E-04	2.13E-04
放射性	DALY	2.67E-06	2.68E-06	2.04E-06
臭氧层影响	DALY	1.06E-06	8.34E-08	1.16E-06
生物毒性	PAF/(m <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	2.44E+02	1.65E+02	2.48E+02
酸雨/富营养化	PDF/(m <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	1.55E+01	1.04E+01	1.56E+01
土地占用	PDF/(m <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	2.91E+02	4.07E+01	8.14E+02
矿物消耗	MJ surplus	1.71E+01	1.23E+01	1.41E+01
化石燃料	MJ surplus	1.30E+03	7.01E+02	1.23E+03

注:DALY:伤残调整寿命年;PAF:潜在影响值;PDF:生物种群的潜在减少值;MJ surplus:能源开采额外需要消耗的能源。

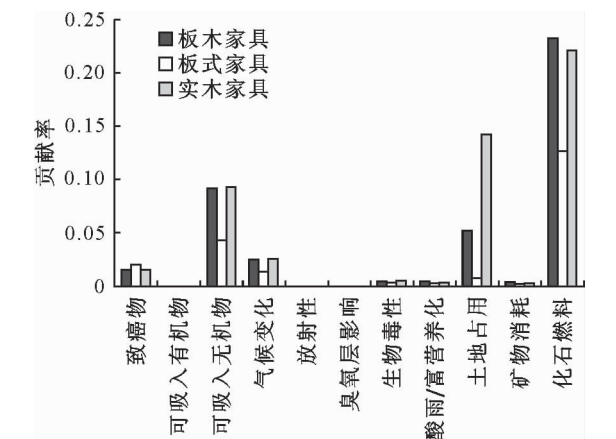


图 2 3 类木质家具环境影响因素贡献

Fig. 2 Data of environmental factor contribution of three wooden furniture

2.4 结果解释

根据影响评价分析,化石燃料的贡献值主要来自家具生产用电及原材料的运输油耗。因原木采伐、贮存和干燥所占用的土地远大于人造板生产,故在土地占用类别中,实木家具的数值最大。因在生

产过程中产生的粉尘量最低,故板式家具在可吸入无机物一项中数值较低。因采用大面积油漆涂饰,故漆料中的苯系物在板木家具和实木家具产生的致癌物占据较大分值,除此之外,板木家具中板材本身的游离甲醛和生产过程中的脲醛胶也会产生部分致癌物。

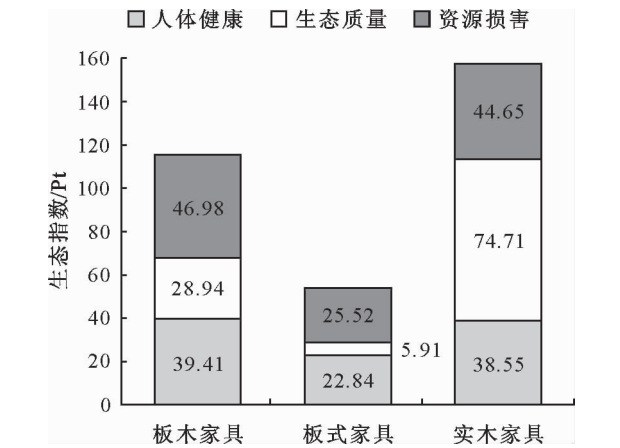


图 3 3 类木质家具生态指数

Fig. 3 Eco-indicator of three wooden furniture

综上所述,在所界定的评价范围内,板式家具环境影响最小,实木家具环境影响最大,板木家具居中。

2.5 3 类家具价格指标分析

根据调研企业成本核算,3 类家具成本价格有较大差异。实木家具定位中高端,由图 4 可知经济指标最高;板木家具由于外观造型、结构与实木家具相差不大,仅部分部件由人造板替代,故比实木家具价格略低,但也远高于板式家具。板式家具成本价格低,有价格优势,但结构和外观造型定位趋向中低端。

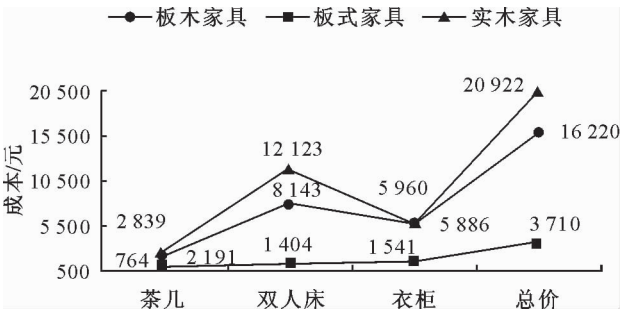


图 4 3 类木质家具成本价格

Fig. 4 Cost price of three wooden furniture

2.6 不确定性分析

对原始数据的数据质量量化评价后,基于蒙特卡洛原理,分析 3 类家具生命周期评价的不确定性<sup>[11]</sup>。结果显示(表 5),平均标准误差均处于较低值,说明此次评价数据准确性较高,由 CV 值可知,评价数据具有较高精度,再由 2.5%、97.5%与平均

表 5 3 类家具不确定性分析结果

家具类型	中值	SD	CV/%	2.5%	97.5%	平均标准误差
板木家具	115.0	1.71	1.48	112.0	119.0	0.002 10
板式家具	54.3	1.35	2.48	51.9	57.7	0.003 51
实木家具	157.0	3.80	2.42	149.0	165.0	0.003 42

注:SD:标准差;CV:变异系数。

### 3 结论与讨论

3 类家具的主要环境影响因素从大到小依次为:化石燃料、土地使用、可吸入无机物、致癌物、气候变化。故家具原料采购地应尽量靠近生产地,并采用清洁能源运输原料。合理规划林区,高效利用土地,并合理制定采伐计划。生产场所要有完善的通风除尘设备,工人防护到位,家具生产过程中做到清洁生产、节能生产。

在所界定的评价范围内,板木家具、板式家具、实木家具的生态指数总分分别为:115.33,54.26,157.91 Pt。板式家具环境影响最小,实木家具环境影响最大,板木家具居中。板式家具在环境影响上比实木家具具有优势,但美观性和耐用性较弱,经济价值较低。而板木家具既有实木家具的美观实用性,在环境影响方面又比实木家具低,且成本价格优于实木家具,无论是从经济角度还是从生态角度,板木家具综合优势明显,将占据未来家具的主流地位。

不确定性分析结果表明,本研究中所收集的评价数据质量较好,数据误差为±5.5%。

#### 参考文献:

[1] 李黎立,雷亚芳,王彪,等. 现代绿色家具研究[J]. 西北林学院学报,2006, 21( 2):154-156.  
LI L L,LEI Y F, WANG B, *et al.* A study of modern environment-friendly furniture[J] Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21( 2):154-156. (in Chinese)

[2] 曾广圆,杨建新,宋小龙. 火法炼铜能耗与碳排放情景分析——基于生命周期的视角[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22

(4):46-50.  
ZENG G Y, YANG J X, SONG X L. Energy consumption and carbon emissions scenario analysis of pyrometallurgical copper based on LCA[J]. China Population, Resources and Environment, 2012,22 (4):46-50. (in Chinese)

[3] 李小冬,孔祥勤,张智辉,等. 混凝土板生命周期环境影响的比较研究[J]. 清华大学学报:自然科学版,2010,50(9):1449-1451.  
LI X D, KONG X Q, ZHANG Z H. Comparative study of the life-cycle[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology Edition,2010,50(9):1449-1451. (in Chinese)

[4] 郁亚娟,王翔,孙蔚璠,等. 基于循环特性的镍氢和锂离子电池环境影响机制分析[J]. 环境工程,2012,30(Supp. ):519-523.  
YU Y J, WANG X, SUN W J, *et al.* Environmental im-pact mechanism analysis for NI-MH and LI-ION batteries based on cycle performance [J]. Environmental Engine-ering, 2012,30 (Supp. ):519-523. (in Chinese)

[5] GERFRIED J, FRANK W, ANNA J. Allocation in LCA of wood-based products: Experiences of cost action E9 [J] The International Journal of Life Cycle Assessment,2002(7):369-375

[6] SATOSHI K, SEIJI H, KEISUKE N, *et al.* Inventory Analysis of Particleboard[C]//The 2th meeting of the institute of Life Cycle Assessment in Japan. Tokyo: ILCAJ, 2007:82-83.

[7] 中华人民共和国标准局. GB/T 3324 木家具通用技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[8] 中华人民共和国标准局. GB/T 24042 环境管理-生命周期评价-生命周期影响评价[S]. 北京:中国标准出版社,2002.

[9] DREYER L C, NIEMANN A L, HAUSCHILD M Z. Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99: does it matter which one you choose. Int[J]. Life CycleAss,2003(8):191-200.

[10] 余翔. 竹集成材地板和竹重组材地板生命周期评价\_LCA\_比较研究[D]. 福州:福建农林大学, 2011.

[11] 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.  
HUANG N, WANG H T, FAN C D, *et al.* LCA data quality assessment and control based on uncertainty and sensitivity analysis[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2012,32(6): 1529-1536. (in Chinese)