

分类号 S781 密级 公开
UDC

学 位 论 文

定向刨花板生命周期评价(LCA)及环境影响评价研究 Research on Life cycle assessment and Environmental impact assessment of Oriented Strand Board

张方文

指导教师姓名	<u>于文吉 研究员</u>
申请学位级别	<u>博士</u>
专 业 名 称	<u>木基复合材料科学与工程</u>
研 究 方 向	<u>木基复合材料</u>
论文提交日期	<u>2017 年 4 月</u>
论文答辩日期	<u>2017 年 6 月</u>
学位授予日期	<u>2017 年 7 月</u>

答辩委员会主席 石峰
评 阅 人

北京 • 中国林业科学研究院

中国林业科学研究院

学 位 论 文

定向刨花板生命周期评价(LCA)及环境影响评价研究

学位论文作者	张方文
指导教师姓名	于文吉研究员
申请学位级别	工学博士
专 业 名 称	木基复合材料科学与工程
研 究 方 向	木基复合材料
论文答辩日期	2017 年 6 月



中国·北京

Dissertation for the Degree

Research on Life cycle assessment and Environmental impact assessment of Oriented Strand Board

Candidate:	Zhang Fangwen
Supervisor:	Prof. Yu Wenji
Academic Degree Applied for:	Doctor
Speciality:	Wood based Composites Science and Engineering
Date of Defence :	June,2017
Degree-conferring-institution:	Chinese Academy of Forestry

摘 要

随着全球环境意识的增强,为应对全球气候变化,世界各国纷纷提出低碳经济发展模式。我国有关“绿色制造体系”、“促进绿色消费”的顶层环保设计政策也随之迅速出台。人造板工业作为资源节约型产业,与国家经济和社会发展息息相关,对于构建环境友好型社会贡献巨大。如何用科学的理论和详实的数据论证人造板工业对于环境的实际影响,对促进人造板工业与经济社会发展有着重要的意义。

鉴于生命周期评价(LCA)特别适合对工业化产品或产品全生命周期的环境影响评价,本研究基于通用的 ISO14040-14043 国际环境评价标准和 GB/T24040-24043 国家标准,将 LCA 技术框架体系引入我国目前迅速发展新型人造板——定向刨花板(OSB)行业,其在建筑结构领域应用前景广阔。首次尝试对我国 OSB 产品进行 LCA 评价及客观的环境影响分析,并与欧洲、北美洲典型 OSB 产品 LCA 结论进行横向对比分析,最终初步建立起一套基于生命周期评价的中国定向刨花板环境影响评价体系。本研究采用先进的德国生命周期评价软件 GaBi ts,采用的评价方法为 CML2001-Apr.2013,功能单位为 1m^3 。得出以下结论:

(1) 本文 LCA 评价过程主要分为四大部分进行展开:评价目的与范围、清单分析、影响评价和结果解释。在 Gate-to-Gate 系统边界范围内,分别为定向刨花板 OSB2/OSB3/OSB4 三种等级产品建立了物质流 LCA 模型。通过生命周期清单分析 LCI 表明:以 1 立方米 OSB3 等级产品为例,生产中工序能耗较大的是热压成型工序,共消耗电力 52.08 度(占总消耗电能的 26.6%);其次是刨片工序,为 48.45 度(占 24.8%);然后是刨片传输机干燥工序,为 32.58 度(占 16.7%)。企业可有针对性地改善和提高机械装备的能源利用效率,节能减排。

(2) 本研究采用 CML2001 六种典型环境影响类别(为非生物性资源损耗 ADP、酸化效应 AP、富营养化 EP、全球气候变暖 GWP 100、臭氧层损耗 ODP 及光化学烟雾 POCP)的归一化基准值及相应权重,对中国三种定向刨花板产品进行评价比较,结果表明:OSB2/OSB3/OSB4 三种等级产品总的环境影响潜力值分别为 $3.26\text{E-}12$ 、 $3.48\text{E-}12$ 、 $5.87\text{E-}12$,

从大到小依次排列为 OSB4 > OSB3 > OSB2, 其中 OSB3 略大于 OSB2 等级, 而 OSB4 最终对环境的影响值远高于 OSB2/OSB3。

(3) 从环境影响类别来看: 生产 1 立方米 OSB3 环境影响的最主要分类分别是: AP、POCP 和 GWP 100, 环境影响潜力值分别为 $1.81\text{E-}12$ 、 $8.26\text{E-}13$ 、 $7.24\text{E-}13$ 。分别占总环境影响潜力值的 52.1%、23.7%和 20.8%, 而 EP、ADP 和 ODP 影响微乎其微。从生产工序来看, OSB 施胶工序的环境影响最为严重, 占 OSB 生命周期总环境影响的 28.4%, 其主要影响分类为 AP; 热压成型工序次之, 占总值的 18.0%, 其主要影响分类也为 AP, 刨片工序占 16.8%; 然后是干燥工序, 占 11.3%; 而其它各个工序对环境总的影响比例则约为 25.5%。OSB 生产中电力和胶粘剂会对多个环境指标的数据结果产生明显影响, 要减少 OSB 的环境影响需要着重关注电力和胶粘剂的消耗。

(4) 在 Cradle-to-Gate 系统边界内, 通过与欧洲/北美洲典型 OSB 产品进行对比分析, 得出如下结论: 中国 OSB 工厂所使用的电力主要能源结构是用于火力发电的硬煤, 占比高达 77%, 其次是水力发电, 约占 17.7%。而欧洲和北美洲 OSB 所用能源的结构方面则偏向使用更为清洁的能源, 更多依赖于天然气和核能而非煤炭的燃烧, 欧洲天然气能源占总能源结构高达 47%, 北美洲也达到 30%, 在核能方面, 北美洲核能电力则达 18%, 欧洲为 14%。

(5) 不可再生初级能源消耗结果显示: 欧洲和北美洲典型 OSB 在 Cradle-to-Gate 边界内消耗了较少的不可再生能源, 北美洲 (4777.3 MJ) < 欧洲 (5054.9 MJ) < 中国 (5639.4 MJ)。而单独在 OSB 生产阶段时, 欧洲典型 OSB 工厂仅消耗 1684.9MJ (约占总计的 33.3%), 相较于中国工厂的 4698.3 MJ (占比 83.3%) 和北美洲工厂的 4439.7MJ (占比 92.9%) 来说, 欧洲消耗更少的不可再生能源资源, 这得益于他们配备的生物质电力工厂。

(6) 通过二氧化碳排放分析表明: 原材料生长时吸收存储的 CO_2 按序排列依次为, 欧洲 OSB (1168.5 Kg CO_2) > 中国 OSB (1157 Kg CO_2) > 北美洲 OSB (1098.94 Kg CO_2)。经过 CO_2 排放平衡计算, 即抵消原木采伐及运输和 OSB 生产过程中的 CO_2 排放后, 对于 CO_2 的实际存储来看, 中国 OSB (-811 Kg CO_2) < 欧洲 OSB (-777 Kg CO_2) < 美洲 OSB (-664 Kg CO_2), 表示中国仍有最高的 811 Kg CO_2 存储在 1 立方米 OSB 中, 直至整个全生命周期结束后才会释放。另外, 中国 OSB 产品生产过程中需消耗 28.96 kg 新鲜水资源, 与北美洲相比节约了 39.46% 资源消耗。

(7) 本研究还就 OSB 环境影响评价中的关键环境影响因子 (KPIs) 进行辨识: 共构建了 5 类二级指标 (资源消耗、环境分类影响、大气污染、水足迹及水污染和生态环境毒理五大分类) 和 12 类三级指标的关键指标体系 (KPIs)。在此基础上, 并初步构建了一套我国定向刨花板 III 型环境标志认证的范本文件, 以帮助企业实现可持续发展的目标。

关键词: 定向刨花板, 生命周期评价, 清单分析, 环境影响评价, III 型环境标志, 产品环境申明

Abstract

With the strengthening of global environmental awareness, in response to global climate change, so much countries around the world have proposed the low carbon economic development model, the top policy of environmental design of "Green Manufacturing System" and "Promote Green Consumption" have introduced rapidly in China. As an important material industry in China, wood-based panel industry is closely related to the national economic including the social development and people's life. For promoting the construction of resource-saving and environment-friendly society, great significance on Wood - based Panel industry and the development of economic society. How to use scientific data and detailed theory to demonstrate the practical impact of wood-based panel industry on the environment have studied in this paper.

Based on this background, the common international standards (ISO14040-14043) and the national standard (GB / T24040-24043) environmental assessment methods were Cited by this study, the life cycle assessment (LCA) evaluation technology was frameworked into Oriented Strand Board (OSB) industry with rapid development in China, and LCA was the first time to evaluate the China's OSB product directionally by GaBi ts software, and the evaluation method for the CML2001-Apr.2013 was used, the research data was collected from the typical OSB mill of China, functional units of 1m^3 . The conclusions were as follow:

(1) The LCA evaluation process was carried out according to the purpose and scope of the study, the inventory analysis, the impact evaluation and the interpretation of the results in this paper. In the system boundary of Gate-to-Gate, the LCA models of material flow of OSB2 / OSB3 / OSB4 were established. Through the LCI inventory analysis shows that: take 1m^3 OSB3 level for example, the biggest production process of energy consumption was the hot pressing process, which consumed the electricity for 52.08 degrees (26.6% of total energy consumption); followed by directional flake process, 48.45 degrees (24.8%); then the drying process, 32.58 degrees (16.7%). Mills could be targeted to improve the energy efficiency of

machinery and equipment to reduce energy consumption.

(2) Through the LCA method, the six normal environmental impact categories (Including ADP, AP, EP, GWP 100, ODP and POCP) were used in this study, than the normalized reference value and the corresponding weight of China's three kinds of OSB products were calculated. The results showed that the total environmental impact potential of OSB2 / OSB3 / OSB4 was $3.26\text{E-}12$, $3.48\text{E-}12$ and $5.87\text{E-}12$ respectively, and sorted by $\text{OSB4} \gg \text{OSB2} > \text{OSB3}$, Where OSB3 is slightly larger than the OSB2 level, and OSB4 eventually has a much greater impact on the environment than OSB2 / OSB3.

(3) From the environmental impact category: the most important types of environmental impact for the production of 1 m^3 OSB3 were AP, POCP and GWP 100, environmental impact potential values were $1.81\text{E-}12$, $8.26\text{E-}13$, $7.24\text{E-}13$. Accounting for 52.1%, 23.7% and 20.8% of the total environmental impact potential respectively, and EP, ADP and ODP had little effect. From the point of view of production process, the environmental impact of OSB glueing process was the most serious, accounting for 28.4% of the total environmental impact of OSB life cycle, and the main influencing factors was AP; the hot pressing process taked for the second, accounting for 18.0% of the total, and the influencing factors were also AP. Then 16.8% for directional flake process, followed by drying process, accounting for 11.3%, while the proportion of other processes to the environment was about 25.5%. The multiple environmental indicators of the environmental performance had impacted significantly by the electricity and adhesives of OSB, the power and adhesive consumption had need to focus on to reduce the environmental impact of OSB.

(4) In the system boundary of Cradle-to-Gate, through for comparative analysis with the European / North American typical OSB products, came to the following conclusions: the hard coal was used extensively for China's OSB as the main energy, accounting for up to 77%, followed by hydroelectric power, and accounting for about 17.7%. The cleaner energy was tended to use in terms of energy supply in Europe and North America, relying more on natural gas and nuclear rather than coal. Europe's natural gas accounted for 47% of total energy, and up to 30% in North America. And North America nuclear power was up to 18%, 14% in Europe.

(5) The results of Non-renewable primary energy consumption have showed that typical OSB in Europe and North America consumed less non-renewable energy in the Cradle-to-Gate boundary, North America (4777.3 MJ) <Europe (5054.9 MJ) <China (5639.4 MJ). In the OSB production phase alone, the typical OSB plant in Europe consumed only 1684.9MJ (about 33.3% of the total), compared with 4698.3 MJ (83.3%) and 4439.7MJ (accounting for 92.9%) of the North American plant. Europe have benefited by equipped with the biomass power plants to consume less renewable energy resources.

(6) The analysis of carbon dioxide emissions have showed that the storage of CO₂ stored in raw materials was sequential, (1168.5 Kg CO₂)> China OSB (1157 Kg CO₂)> North American OSB (1098.94 Kg CO₂). After balance calculation of CO₂ emissions, the actual storage of CO₂ was offset by logging and transport, and OSB production process of CO₂ emissions as follows: China's OSB (-811 Kg CO₂)> European OSB (-777 Kg CO₂)> Americas OSB (-811 Kg CO₂) which indicated that China still had 811 Kg of CO₂ stored in 1 m³ OSB until the entire life cycle after the end of the release. In addition, fresh water resources need to consume 28.96 kg of 1 m³ Chinese OSB, Chinese OSB saved 39.46% of fresh water consumption compared with North America.

(7) The key environmental impact factors (KPIs) in OSB environmental impact assessment were identified in this study. Finally, 5 sub-indicators including resource consumption, environmental classification, air pollution, water footprint, water pollution and ecological environmental toxicity, and 12 three-level indicators categories were established. On this basis, a set template file of type III environmental labeling certification of Chinese OSB was built completely, which will help enterprises to achieve the goal of sustainable development.

Keywords: Oriented Strand Board (OSB), Life cycle assessment, Inventory analysis, Environmental impact assessment, Type III environmental labeling, Product environment statement.

目 录

摘 要.....	I
Abstract	IV
第一章 绪 论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 研究背景.....	2
1.2.1 世界定向刨花板发展情况及趋势.....	3
1.2.2 我国定向刨花板发展的问题和挑战.....	4
1.3 生命周期评价体系.....	5
1.3.1 生命周期评价 LCA 研究的发展历程.....	6
1.3.2 生命周期评价 LCA 的主要研究机构.....	7
1.3.3 生命周期评价 LCA 的应用范围.....	7
1.4 国内外人造板行业生命周期评价体系的研究.....	8
1.4.1 国外人造板行业生命周期评价体系的研究.....	8
1.4.2 国内人造板行业生命周期评价体系研究.....	10
1.5 生命周期评价体系在我国人造板领域应用的不足之处.....	12
1.5.1 LCA 人造板研究面有待扩大.....	12
1.5.2 LCA 数据清单质量有待提高.....	12
1.5.3 人造板本土化数据库缺乏.....	13
1.5.4 环境影响的区域化特征明显.....	13
1.6 研究目标和主要研究内容.....	13
1.6.1 生命周期评价的研究目标.....	13
1.6.2 定向刨花板生命周期评价的研究内容.....	14
1.6.3 定向刨花板生命周期评价需要解决的问题.....	15
1.6.4 本研究的创新点.....	16
1.7 研究技术路线.....	16

第二章 生命周期评价框架步骤和评价方法	18
2.1 定向刨花板生命周期评价框架构建	19
2.1.1 研究目的与范围	19
2.1.2 功能单位	20
2.1.3 系统边界	20
2.1.4 数据收集	20
2.2 清单分析	21
2.3 影响评价	22
2.3.1 LCIA 的实施步骤	22
2.3.2 两种常用的生命周期影响评价方法比较	24
2.4 结果解释	24
2.5 生命周期评价 LCA 的主要软件工具	25
2.5.1 SimaPro 和 GaBi 软件介绍	27
2.5.2 GaBi ts 软件主要特点	27
2.6 本章小结	28
第三章 定向刨花板生命周期评价目的范围和清单分析	30
3.1 研究目的与范围界定	30
3.1.1 研究目的	30
3.1.2 系统边界	31
3.2 定向刨花板主要生产工艺简述	33
3.3 清单分析	36
3.3.1 基础数据	36
3.3.2 定向刨花板清单分析内容	37
3.3.3 中国典型 OSB2 生命周期清单分析	38
3.3.4 中国典型 OSB3 生命周期清单分析	42
3.3.5 中国典型 OSB 4 生命周期清单分析	45
3.3.6 缺失数据处理	48
3.4 本章小结	49

第四章 定向刨花板生命周期影响评价及解释	51
4.1 中国定向刨花板生命周期影响评价	51
4.1.1 CML 2001 分类评价方法	51
4.1.2 中国 OSB 生命周期评价分类评价方法构建	52
4.1.3 CML 2001 影响分类评价	59
4.1.4 部分环境影响气体和颗粒物排放清单分析	67
4.2 生命周期评价不确定性检查	71
4.3 生命周期评价结论解释	75
4.3.1 OSB3 生命周期评价结论解释	75
4.3.2 OSB2/3/4 生命周期评价结论对比分析	77
4.3 本章小结	78
第五章 国内外典型 OSB 生命周期环境影响对比研究	80
5.1 国内外 OSB 生命周期评价目的与范围	80
5.2 国内外典型定向刨花板生命周期评价清单分析	81
5.2.1 中国典型 OSB 工厂	81
5.2.2 欧洲典型定向刨花板工厂	82
5.2.3 北美洲典型 OSB 工厂	83
5.3 中国与欧洲&北美洲 OSB 工厂生命周期评价比较	83
5.3.1 能源消耗影响评价比较	83
5.3.2 能源结构分析	85
5.3.3 CO ₂ 环境影响排放评价比较	87
5.3.4 水资源消耗对比分析	89
5.3.5 生命周期环境影响对比分析	91
5.4 本章小结	92
第六章 中国定向刨花板环境影响评价体系研究	94
6.1 III 型环境标志认证发展现状	94
6.1.1 世界各国 III 型环境标志认证研究	95
6.1.2 我国 III 型环境标志认证应用研究	97

6.1.3 建立 III 型环境标志必要性分析..... 98

6.2 我国定向刨花板 III 型环境标志认证体系研究..... 99

6.2.1 我国 III 型环境标志认证流程..... 99

6.2.2 我国 OSB III 型环境标志认证关键指标体系 KPIs 构建..... 99

6.3 基于生命周期评价的中国 OSB III 型环境标志申明步骤..... 100

6.3.1 定向刨花板 III 型环境标志认证生命周期系统边界..... 101

6.3.2 定向刨花板 III 型环境标志认证范本构建..... 102

6.4 本章小结..... 107

第七章 结论与建议..... 108

7.1 结论..... 108

7.2 建议..... 110

参考文献..... 111

导师简介..... 119

在读期间的学术研究..... 120

致 谢..... 121

图目录

图 1-1 1985-2014 年欧洲及北美洲定向刨花板产能统计图	4
图 1-2 定向刨花板生命周期评价及环境影响评价研究技术路线图	17
图 2-1 生命周期评价的技术框架 (GB/T 24040-1999)	19
图 2-2 生命周期评价软件 GaBi ts 主界面	28
图 3-2 Gate-to-Gate 定向刨花板生命周期评价的基本系统边界	32
图 3-1 定向刨花板生产工艺流程图	34
图 3-3 493m ³ OSB 2 的 LCA 生命周期物质流模型	42
图 3-4 493m ³ OSB 3 的 LCA 生命周期物质流模型	44
图 3-5 268.9m ³ OSB 4 的 LCA 生命周期物质流模型	48
图 4-1 1m ³ OSB 2/3/4 的非生物性资源耗损 ADP	60
图 4-2 1m ³ OSB 2/3/4 板的酸化效应 AP	60
图 4-3 1m ³ OSB 2/3/4 的富营养化 EP	62
图 4-4 1m ³ OSB 2/3/4 的全球气候变暖 GWP 100	63
图 4-5 1m ³ OSB 2/3/4 的臭氧层损耗 ODP	65
图 4-6 1m ³ OSB 2/3/4 的光化学烟雾 POCP	66
图 4-7 1m ³ OSB 2/3/4 板的 CO ₂ 气体直接排放表	69
图 4-8 1m ³ OSB 2/3/4 板的颗粒物 PM _{2.5} 直接排放表	70
图 4-12 定向刨花板 OSB3 生产的环境影响总值	76
图 4-13 定向刨花板 OSB3 生产的环境影响加权值	77
图 5-1 Cradle-to-Gate 定向刨花板生命周期评价系统边界	81
图 5-2 国内外 OSB 工厂能源消耗对比分析 (MJ)	84
图 5-3 中国 OSB 工厂的不可再生能源结构分析	86
图 5-5 北美洲 OSB 工厂的不可再生能源结构分析	87
图 5-6 国内外 OSB 的 CO ₂ 环境排放平衡表 (kg)	89
图 5-7 国内外 OSB 的新鲜水消耗量(kg)	90
图 6-2 我国 III 型环境标志认证流程图	99
图 6-2 定向刨花板全生命周期系统边界图	102

表目录

表 2-1 国内外主要 LCA 软件汇总表	26
表 3-1 定向结构刨花板按使用条件的分类方法	31
表 3-2 “Cradle-to-Gate” 范围内定向刨花板生产过程描述	35
表 3-3 1m ³ OSB2 生命周期输入清单	41
表 3-4 1m ³ OSB2 生命周期输出清单	41
表 3-5 1m ³ OSB3 生命周期输入清单	43
表 3-6 1m ³ OSB3 生命周期输出清单	43
表 3-7 1m ³ OSB 4 生命周期输入清单	47
表 3-8 1m ³ OSB 4 生命周期输出清单	47
表 4-1 CML2001 方法的特征化因子表 (CML2001-Apr.2013)	53
表 4-2 中国定向刨花板生命周期评价环境影响分类指标体系	54
表 4-3 1m ³ OSB 2/3/4 的环境影响排放特征化值 (CML2001 - Apr. 2013)	56
表 4-4 1m ³ OSB 2/3/4 的环境影响排放归一化值 (CML2001 - Apr. 2013)	57
表 4-5 1m ³ OSB 2/3/4 的环境影响排放加权值 (CML2001 - Apr. 2013)	58
表 4-6 1m ³ OSB 2/3/4 部分环境影响气体和颗粒物排放清单分析	68
表 4-7 各环境影响分类指标对应的 OSB2 原材料、能源、电力清单的敏感度分析	72
表 4-8 各环境影响分类指标对应的 OSB3 原材料、能源、电力清单的敏感度分析	73
表 4-9 各环境影响分类指标对应的 OSB4 原材料、能源、电力清单的敏感度分析	74
表 4-11 定向刨花板 OSB2/OSB3/OSB4 环境影响对比分析	78
表 4-12 CML 各影响类别贡献率对比表	78
表 5-1 1m ³ 中国典型 OSB Input 输入清单分析	82
表 5-2 1m ³ 中国典型 OSB Output 输出清单分析	82
表 5-3 国内外 OSB 工厂能源消耗对比分析	84
表 5-4 中国与欧洲&北美洲 OSB 的环境影响对比分析	92
表 6-1 日本、韩国和瑞典三国 III 型环境标志认证对比分析表	97
表 6-2 中国 OSB III 型环境标志认证关键指标体系 KPIs 表	100
表 6-3 中国定向刨花板 III 型环境标志认证 (EPD) 范本构建	103

第一章 绪 论

1.1 引言

近年来，温室气体排放引发全球气候变暖，导致生态问题进一步加剧^[1]。对生态环境的重视，使得低能耗、低排放、低污染的“低碳经济发展模式”深受各国认可^[2]，中国也积极实践，习近平主席在 2015 年巴黎气候峰会上郑重承诺^[3]：中国将于 2030 年实现单位国内生产总值 CO₂ 排放较 2005 年下降 60%-65%，非化石能源占一次能源消费比重达 20%，森林蓄积量较 2005 年增加 45 亿 m³。要践行低碳经济，就需要用标准化指标作为约束力，以标准化计量手段控制污染物排放、能源消耗，以标准化建设倒逼产业低碳转型升级^[4]。

为了引导各行业企业生产过程环保达标、产品安全可靠；营造出绿色设计、绿色生产和绿色产品的市场和商业氛围，各国相继出台了相关的环保政策和法规。由于全生命周期的视角已成为全世界绿色产品评估的主导方法，2013 年，欧盟希望通过发布产品环境足迹 PEF（Product Environmental Footprint）以建立统一的绿色产品市场，其就是基于环境产品申明（Environmental Product Declaration, EPD）和企业环境足迹（Organization Environmental Footprint, OEF），而 PEF 和 OEF 均隶属于生命周期评价方法，欧盟市场也将 PEF 视为统一的绿色产品评价方法。

我国也高度重视绿色制造、绿色消费，并下发了多个文件，如 2016 年 2 月 17 日，《关于促进绿色消费的指导意见》由发改委和科技部等多部门联合下发，明确要落实制定好低碳产品认证的管理办法，并健全绿色建材的标识认证体系和制度；为了进一步促进绿色制造的相关标准体系的构建和完善，并确保 2020 年时初步建立起我国绿色制造体系，工信部关于《工业和信息化部办公厅关于开展绿色制造体系建设的通知》的文件也于 2016 年 7 月印发。

在我国，由于人口众多，森林资源不足，以大径材为原料的胶合板、锯材等生产企业因原材料不足而受到影响，以人工速生林等可再生资源为原料的人造板产业则发展迅速^[5]，年均增长速度超过 20%，近年来的增长速度依旧可观。人造板工业作为高效木材

利用和资源综合利用产业，与人民生活和经济社会发展息息相关^[6]。同时作为原材料主要利用途径之一，它在保护森林资源的可持续利用，以及促进循环经济发展方面都起着非常重要的作用^[7]。

2016年6月12日，环境保护部《环境保护综合名录》将包括胶合板、纤维板、刨花板人的造板产业整体纳入“高污染、高环境风险”产品名录。在中国林产工业协会牵头努力下，通过全行业人造板龙头企业共同取证和呼吁，2016年底“双高政策”风波才得以妥善解决。但引发全社会和公众对我国人造板行业发展息息相关的环境问题的广泛关注，人造板工业是综合利用和高效利用木材资源的主要途径之一，有效缓解了经济社会发展对木材刚性需求的压力。如何用科学的数据和详实的理论论证人造板工业对于环境的实际影响，对于建设资源节约型和环境友好型社会、促进人造板工业与经济社会的和谐发展意义重大。

1.2 研究背景

定向刨花板(OSB)是我国人造板工业“老三板”和“新三板”之外的全新品种^[8]，虽然在我国刚刚兴起，却发展迅猛。作为全世界人造板产业中的明星品种，在欧美发达国家广泛使用。定向刨花板的生产工艺比较先进，产品质量稳定，且应用领域广泛，是目前各人造板中工业自动化最好、应用性价比最高的品类之一^[5]。

近年来，随着我国经济的高速增长和经济全球化进程的加快，特别是在我国加入世贸组织后，我国人造板市场基本进入全面对外开放阶段。国内市场与国际市场联系日益紧密，国内定向刨花板(OSB)产业和国际定向刨花板(OSB)制造业的互动性明显增强。这既给我国OSB流通领域带来了难得的机遇，也对我国OSB板制造业提出了严峻的挑战。如何以更加积极的姿态走向世界，充分利用国际国内两个市场，在激烈的国际竞争中掌握主动权，推动我国OSB产业持续快速健康发展，是关系我国OSB产业未来发展战略的一个重大议题。

为了适应这种经济全球化和市场化的趋势，需要我们积极加强与国际OSB产业的密切联系，广泛借鉴现有国外OSB产业快速发展的宝贵经验，才能促进我国OSB产业又好又快的发展，努力将OSB打造成我国人造板行业面向世界的又一张响亮名片^[9]。

1.2.1 世界定向刨花板发展情况及趋势

定向刨花板自 20 世纪 70 年代末问世于北美以来，越来越受到人们的欢迎。它既可以作结构用板材使用，也可以作为非结构用板材使用，可部分替代刨花板、细木工板和胶合板使用，目前已广泛应用于我国结构房屋（木结构及轻钢结构）部品部件、室内装饰装修、定制家具制造、包装等应用领域。

全世界定向刨花板生产区域基本集中在四个主要区域：北美地区、欧洲地区、南美地区及亚洲区域，而亚洲的产能基本都集中在中国^[10]。北美是定向刨花板的主要生产基地，北美人造板协会的统计数据表明，定向刨花板的年产量已占到人造板总量的 50% 左右，可见在北美人造板市场上，定向刨花板占有很大份额。而在北美地区，大规模工业化生产始于 1982 年，初始投产产能为 242.5 万 m^3 ，实际产量为 109 万 m^3 。到 1994 年时，北美产量已达 1 036.3 万 m^3 。1996 年定向刨花板生产能力的年增长率达到峰值。此后几年，定向刨花板增长率稳定在 5%~6% 的水平，2004 年的产能达 2 367 万 m^3 。除 1996 年产能急速扩张外，北美地区的实际产量与产能之比一直保持在 84%~95% 的高水平。此后，受金融危机影响，北美定向刨花板市场的产量迅速下降，从 2 466 万 m^3 （2006 年）降至 560 万 m^3 （2009 年），价格也发生了剧烈的震动，波动幅度达 50%~100%。2011 年，北美市场快速恢复至 780 万 m^3 ，2012 年需求旺盛，北美定向刨花板行业又开始复兴，2016 年时大量关停工厂得以恢复生产，北美地区产能迅速增加至 1600 万 m^3 。

在过去 10 年中，欧洲定向刨花板的产量和消费量在迅速增长，产量的平均增长率接近 30%。在欧洲地区，1994 年，定向刨花板开始实现大规模工业生产。因为北美市场的需求巨大，欧洲开始大量建设定向刨花板工厂，全球定向刨花板产量也迅猛增长。2000 年后，产量增加尤为迅速，到 2003 年已开设工厂 11 家，总产量达 310 万 m^3 。2003 年，定向刨花板实际产量增幅达 14%，超过北美地区同期增幅，且增幅一度高于北美地区。2005 年，欧洲有三座新工厂投产，产能增至 356 万 m^3 。此后一段时期，与北美地区生产能力停滞、工厂倒闭相比，欧洲地区定向刨花板总生产能力却在稳步增长，从 2006 年的 387 万 m^3 增至 2008 年的 448 万 m^3 ，增幅达 15.8%。2008 年欧洲地区共拥有 13 条定向刨花板生产线，尽管也受到了金融危机的影响，但欧洲的定向刨花板工厂却很少停产，甚至东欧地区还在不断建设新的定向刨花板工厂，2011 年时共计新增 2 条生产线。2014 年，整个欧洲地区进一步增加 5-6 条新线，且大部分工厂均宣布将根据市场情况提高产能。

2016 年东欧地区的产能已达 700 万 m³/年，西欧地区的产能稳步提升至 320 万 m³/年。在南美洲，仅有 LP 公司生产定向刨花板，它拥有 3 家工厂，其中 2 家位于智利，另一家位于巴西（原 Masisa 工厂），总产能为 62 万 m³。

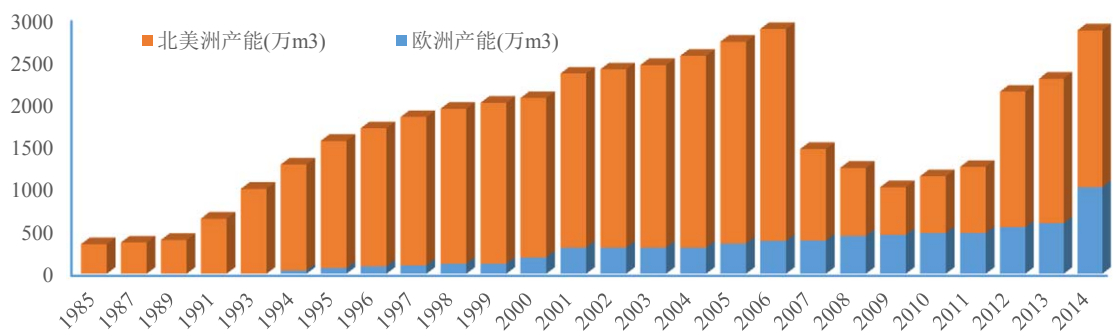


图 1-1 1985-2014 年欧洲及北美洲定向刨花板产能统计图

Fig. 1-1 The OSB production capacity charts of European and North American for the period 1985-2014

从发展趋势来看，定向刨花板的产量一直在持续上升，愈加受到资本青睐。以欧洲为例，在金融危机期间，西欧定向刨花板生产商生产能力逐步增加，且大部分工厂还宣布将根据市场情况提高产能。在东欧，2008 年-2015 年间，共计新增定向刨花板生产线 7 条，新增产能达到 212 万 m³。其中，罗马尼亚新增 2 条生产线，新增产能 99 万 m³；俄罗斯新增 3 条生产线，新增产能 46 万 m³。另有多条在建项目因俄罗斯“克里米亚事件”遭到西方国家的联合制裁，被迫暂停。

进入 2016 年以来，全球各经济主体趋于稳定，国际定向刨花板资本正加速向新兴经济体流动，使得很多暂停的定向刨花板项目又得以重新浮出水面，仅俄罗斯计划重启和新建项目就达到 6 条，拟新增产能 201 万 m³，但还有两条线项目仍处于暂停状态，预计建设产能为 98 万 m³；匈牙利也计划新建一条新线，新增产能为 35 万 m³。此外，东南亚马来西亚和南美洲智利也计划各新建一条生产线，新增产能分别为 22 万 m³和 15 万 m³。

1.2.2 我国定向刨花板发展的问题和挑战

在我国，相对三大传统人造板材（胶合板、纤维板和刨花板）而言，定向刨花板的生产和使用销售均处于起步阶段。20 世纪 90 年代，我国先后从德国引进两条定向刨花板生产试验线。1985 年，南京木器厂引进年产 1 万 m³ 的定向刨花板生产线，这是第一个

引进项目。第二个引进项目，在建成后一直未正常生产。它由赣州第二木材厂引进，是一条年产 1.68 万 m^3 定向刨花板的生产线。据统计，2000 年年，我国仅建成 6 条小型定向刨花板生产线，年生产能力仅有 7.68 万 m^3 ，但大多数生产线未正常生产，有的几度易手，有的被迫转产，2001 年实际产量仅 1.04 万 m^3 。

随着科技的发展，定向刨花板的生产能力越来越大，产品应用领域越来越广，产品特性也越来越强，成本低的优势十分明显，致使市场需求也在不断增加。直到 2010 年底，我国第一条真正意义上的大规模定向刨花板连续生产线建成投产，这与我国作为世界人造板第一生产大国的身份极不相称，2014-2015 年间，陆续又有三条现代化定向刨花板工厂接连投产，截至 2016 年，我国共计投产 4 条定向刨花板连续化生产线，总产能已接近 100 万 m^3 。进入 2017 年，随着 OSB 发展前景被广泛看好，又有 3 条新增生产线破土动工，预计 2018 年年底前将得以投产。

定向刨花板作为一种创新型绿色生产技术，在产品和工艺方面均有显著的技术升级，通过对其进行生命周期评价比较，给出综合性能指标的评价，可指导和实现产品的清洁生产、绿色营销和绿色消费。在 LCA 研究方面，国内对林产工业的研究甚少，针对定向刨花板的 LCA 系统研究的研究则更少。根据文献研究发现，2006 年中南林业科技大学^[11]以刨花板、中密度纤维板为研究对象的 LCA 研究是国内最早的文献记载研究，但其研究也很有限，仅对产品的生命周期评价进行了定性或半定量的描述^[12]。

因此，本文将以定向刨花板为研究对象，在所建立的定向刨花板 LCA 指标体系指导下，首次尝试开展我国定向刨花板的 LCA 研究工作，以期进一步促进我国定向刨花板清洁生产和 ISO14000 的实施。同时也从具体产品的层次上对定向刨花板产品的环境影响进行科学评价^[13]，并初步建立起基于生命周期评价的我国定向刨花板环境影响评价体系。另外通过与国外典型 OSB 生产的 LCA 和 LCI 研究数据进行横向比较分析^[14]，来帮助我国定向刨花板产业的进一步生产优化和可持续发展。

1.3 生命周期评价体系

LCA 最先出现于 20 世纪 60 年代末左右^[15]，到 20 世纪 90 年代初期时，其详细方法才由环境毒物学和化学学会(SETAC)和国际标准化组织(ISO)提出。SETAC 认为 LCA 是一种客观的方法。通过鉴定、量化原材料和能源的消耗，以及废物的排放，该方法可以

评估出产品的生产过程给环境带来的负担^[16]。ISO 认为 LCA 可以汇总、评估产品、生产工艺的能源消耗，以及环境废物排放情况，或对环境存在的潜在影响。而且，这种评价过程涵盖了产品的整个生命周期，包含原材料的获取、加工；产品的生产制造、运输和销售；产品的使用和维护；以及废弃物的循环、处置。

1.3.1 生命周期评价 LCA 研究的发展历程

从 20 世纪 60 年代末以来，生命周期评价的发展按照重要发展节点可以划分为四个重要的阶段^[17]：即启蒙初生阶段、成熟完善阶段、国际标准化阶段、及全球推广应用阶段，分别介绍如下：

（1）启蒙初生阶段（1960 年-1970 年）：LCA 最早由美国中西部资源研究所（MRI）开始研究，其就可口可乐的包装瓶的资源使用进行了清单分析，并就塑料瓶和玻璃瓶生产过程中所造成的环境排放进行了定量分析，这种研究即是最初的资源和环境状况分析（REPA），并为研究界定义为生命周期评价研究的启蒙出生开始的标志。

（2）成熟完善阶段（1970 年-1990 年）：1984 年，瑞士“材料测试与研究实验室”逐渐创立了健康标准评估系统，并开始收集完善详细的清查数据库，并开发统一界面的计算机软件系统。因为当时的研究方法不统一，所需数据难以获得，所以 REPA 的相关研究一直进展缓慢。

（3）国际标准化阶段（1990 年-2000 年）：随着生命周期评价理论的推广和完善，相关资源和环境状况分析 REPA 的研究开始引起公众的广泛关注。1990 年时，国际环境毒理学与化学学会(SETAC)成功主持召开了第一届国际范围内的生命周期评价学术会议，并通过 LCA 研究界的不懈努力，使得生命周期评价国际标准于 1997 年由国际标准化组织(ISO)正式颁布实施。

（4）全球推广应用阶段（2000 年-至今）：在 ISO 国际标准颁布实施之后，LCA 的全球化推广进程进一步加快，2002 年，联合国环境规划署（UNEP）联合 SETAC 发起了进一步国际化 LCA 的倡议书。2005 年，欧盟专门成立 LCA 研究平台，旨在帮助企业获得可靠的数据决策支持，并通过高质量的数据来帮助政府制定相关的公共政策。另一方面，一些国家纷纷出台了相关的环境政策，几乎都是基于生命周期评价体系制定的，最典型

的如《PAS 2050—产品和服务生命周期温室气体排放评估规范》，该规范由英国标准协会 (BSI)完全基于 LCA 制定。

1.3.2 生命周期评价 LCA 的主要研究机构

目前全世界范围内较有影响的 LCA 研究和推广机构有国际环境毒理学和化学学会 (SETAC)、欧洲生命周期评价开发促进会 (SPOLD)、国际标准化组织 (ISO)，分别介绍如下^[18]：

(1) 国际环境毒理学和化学学会 (SETAC)。它是 LCA 领域中最活跃的国际学术组织，也是成立时间最早的技术研究型组织，对于 ISO 国际标准的颁布贡献巨大。于 1990 年成立后，下设欧洲区和美洲区工作办公室，欧洲区域办公室再下辖办理 6 个工作小组，积极开展 LCA 开发研究、传播推广。而美洲区办公室则分为 2 两个工作小组，分别从 LCA 影响评价和简易型 LCA 评价方面进行研究。

(2) 欧洲生命周期评价开发促进会 (SPOLD)。该促进会是一个工业协会，成立时间为 1992 年。该协会希望能为企业提供可持续发展的政策管理工具。“赢得接受”(Winning Acceptance) 项目由 SPOLD 于 1995 年开始推动，其目的是在工业、政府、科学家和学术机构之间建立一个对话环境，该项目为后来者推广 LCA 提供了成熟方法和可靠经验。为了进一步规范和标准化生命周期评价的数据清单格式，SPOLD 后期将重点研究可供清单分析的 SPOLD 数据格式，以方便网络使用。在对外合作方面，SPOLD 一直非常积极，热衷于与其他组织共同开展研究。

(3) 国际标准化组织 (ISO)。世界上第一个生命周期评价国际标准 ISO 14040《生命周期评价原则与框架》便由其发布，发布时间为 1997 年 8 月。而 1997-2001 年间，ISO 主导的其他几项标准和技术报告也相继向社会征求意见并最终颁布实施，比如发布了规范 LCA 数据文件格式的 ISO/TS 14048:2002《Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format》。

1.3.3 生命周期评价 LCA 的应用范围

在国外，LCA 主要应用于工业企业部门、政府环境管理部门^[15]。一些知名的跨国公司也积极开展生命周期评价方面的研究，并在产品的比较和改进中应用研究成果。跨国

公司开展的产品比较和改进中，较为经典的案例包括：分析纸杯与塑料杯的不同^[19]、分析一次性婴儿尿布与布质婴儿尿布的不同^[20]、以及聚苯乙烯汉堡包包装盒与纸质汉堡包包装盒的不同等等。另外作为专业生产打印机和 PC 电脑的美国惠普 HP 公司就其生产产品所造成的能源效率和废弃物情况也专题立项进行过 LCA 研究^[21]，还有德国奔驰 Benz 公司在进行整车 LCA 研究之前曾尝试对车用空气清洁器进行 LCA 实验性研究^[22]。

除了企业对 LCA 持欢迎态度外，政府机构也是 LCA 的研究成果受益者，相关环保部门可以以 LCA 的客观数据和科学分析进行环境政策决策、环保法规和标准制定^[23]。如国际 ISO 组织通过制定了环境管理体系国际标准 ISO 14000，试图借鉴 LCA 的科学思路通过标准化手段来处理环境相关的问题，另外为了进一步完善工业洗涤污水的法规，美国环保局也将 LCA 历史性写入“清洁水法”。

在中国，LCA 也被广泛应用于食品、化工、包装、建筑、建材，以及纺织、机电、能源、运输、轿车，甚至是城市生活垃圾、城市污水处理等产业^[24]。而在相对传统的木材工业领域，随着 2000 年后我国人造板行业进入快速发展周期，LCA 的理论^[25]才开始引入。随着人造板现代化装备水平与生产线规模的逐年提高，产品质量也稳步提升，对于人造板的 LCA 研究开始明显增多。

1.4 国内外人造板行业生命周期评价体系的研究

1.4.1 国外人造板行业生命周期评价体系的研究

从上世纪 90 年代起，发达国家就开始将 LCA 应用于木材加工领域^[26]。1992 年，加拿大 Forintek 研究所就建立了一个 LCA 研究组，该研究组主要开展木质材料方面的研究；1995 年，欧共体诸国的木材关联研究机构成立了科学技术合作行动 E9 小组(COST Action E9)，该小组主要开展的是林木产物的 LCA 研究^[27]；1996 年，美国 CORRIM 联盟开始对木质制品进行 LCA 研究；1997 年，日本针对木材生产及其运输、木质材料、木结构房屋、木材资源利用等展开 LCA 研究。在这些研究中，LCA 报告涉及的木材产品包括中密度纤维板（MDF）、刨花板（PB），以及定向刨花板，胶合板，单板层积材等^[28]。

1.4.1.1 国外中密度纤维板行业 LCA 研究

2007 年，加拿大 Beatriz Rivela 等^[29]采用 LCA 对中密度纤维板生产过程的敏感性进

行分析,发现对环境负荷有着重大影响的是产品运输、电力。加拿大 A. Fröhwald^[30]对加拿大 11 个工厂分析结果表明:原材料的变化输入、能源消耗的能源,排放之间不同的工厂和产品类型(包括胶类型)是重要的,但小于预期。能源占据大约 1/3 的影响^[31],包括胶制接近 2/3,通过改善提高木材燃烧(减少氮氧化物)和减少运输距离等可有效提高能源效率。2014 年, Richard D. Bergman^[32]收集了 7 家企业的生产数据。这 7 家企业的人造板产能合计很高。其研究结果显示显示生产 1m³ 的纤维板累积分配能源为 8630MJ/m³,排放数据为生物质和化石燃料二氧化碳,排放量分别是 43.2 kg/m³ 和 298kg/m³。

日本的学者^[33]对中密度纤维板的生产过程进行了研究。发现备料系统的电力消耗最高,在健康危害和资源破坏方面影响最大;脲醛胶的使用对生态系统造成了较大破坏。环境负荷受产品的运输和电力影响较大,这表现产品能源消耗与所需的运输距离为正比关系;而燃煤发电的比例越大,环境负荷越大。

1.4.1.2 国外刨花板行业 LCA 研究

2006 年,日本纤维板工业会对刨花板进行研究^[34],发现刨花板制造过程中的 CO₂ 排放量,蒸汽制造贡献了 60%,电力消耗贡献了 40%,LCA 结果受胶黏剂类型的影响有限。同年,加拿大的 Beatriz Rivela^[35]等采用 LCA 对刨花板生产过程进行分析表明:砂光工序对人体健康损害最大,刨花制备工序对生态和资源的负荷影响最大。2013 年,加拿大^[36]的 LCA“Cradle-to-Gate”研究表明制造阶段,尤其是烘干和板材成型阶段,对刨花板的生命周期评价影响较大;纤维制备和资源运输到工厂只占产品环境影响的较小份额。

1.4.1.3 国外定向刨花板行业 LCA 研究及应用

Enrico Benetto.etc 研究以 ISO 14040-14044 为标准,通过 LCA 汽相干燥环境提供的附加值,比较定向刨花板生产流程和环境表现。实验证明 LCA 绝对是从环境的角度来识别、比较其它类设计的最好工具。

2012 年,加拿大 Athena Sustainable Materials Institute 进行的研究^[37]旨在为加拿大 1m³(厚度 9.5mm)的定向刨花板提供“Cradle-to-Gate”环境概要,为加拿大的定向刨花板产业开发生命周期数据和评估结果影响因素。2005 年,美国 Kline, D.E.通过研究四个东南部的定向刨花板制造工厂来研究东南部定向刨花板生命周期环境影响^[38]。调查的工厂产量约占调查地区的 18%。2013 年,美国 Maureen Puettmann.etc^[39]收集到了美国主要木制品生产企业的 LCI 生命周期清单数据,生命周期清单数据涵盖了每个阶段的数据。

在定向刨花板工业应用领域,包括大 EGGER、Swiss Krono、Kronospan、GP、Smartply 等许多知名定向刨花板企业都开展了 LCA 的广泛研究。LCA 还可以帮助定向刨花板产品较大环境影响的工艺过程或产品系统的识别;分析比较某一产品系统内的不同方案,使定向刨花板产品的环境影响最小;开展定向刨花板产品的绿色设计;评价产品的资源环境效益;使用环保产品和原材料;包括选择可替代的产品或工艺。

在欧洲, Kronospan^[40]就曾利用 LCA 使定向刨花板生产过程对环境的影响整体减少 5%。这一研究结果,使其在 2007 年 11 月获得了 FEDIL 国家工业环境奖。其中, LCA 的主要贡献为综合考虑环境影响和健康,经济和社会等三方面因素的基础上,制定了产品可持续指标(Product Sustainability Index, PSI),指标包括生命周期环境影响、生命周期成本、可持续材料;该产品可持续指标被应用新产品研发上,使产品更加可持续^[41]。

EGGER 公司^[42]为 OSB 制造建立生命周期模型,使用了综合软件系统 GaBi 4 (GaBi 2006)。EGGER 还多次公开发布定向刨花板产品的生命周期评价报告,如 OSB2/3/4 Top 等。这些报告已经过权威的第三方机构认证,公众可以在购买定向刨花板时获得这些报告。另外,在胶合板产品的生命周期评价领域,国外也有大量研究成果^[43-44]。

1.4.2 国内人造板行业生命周期评价体系研究

与欧美、日本等国相比, LCA 于 21 世纪才开始应用于中国木材加工领域^[45],用于林产品的研究甚少。国内学者还没有开始使用 LCA 软件对森林产品全生命周期内的物质和能量的输入和输出进行分析,研究整个生命周期对环境的影响^[45]。中南林业科技大学对刨花板和中密度纤维板的 LCA 研究时间最早^[47],但也仅限于定性评估或半定量描述产品的生命周期^[48]。

我国人造板工业新老生产线装备差异较大,在生产过程中消耗资源,环境污染差距很大。以往针对人造板产业的研究,多半考虑产品的物化性能和使用性能,很少考虑其环境属性^[49]。随着人造板产业升级,为提高我国人造板产品在国际市场上的竞争力,我们很有必要抓紧开展针对人造板的环境影响评价研究工作。

1.4.2.1 国内中密度纤维板行业 LCA 研究

2006 年,薛拥军、向仕龙等^[11]对 MDF 的生产过程进行了生命周期评价及模式分析,并详细分析了我国现阶段 MDF 生产和使用过程的资源利用、能源消耗、污染物的产生、

废弃物的利用等因素对环境的影响。同年，刘文金^[47]以中密度纤维板为研究对象，以“环境负荷”为综合性指标，揽括了生产、使用过程中的所有环节，确定了研究过程中采样点的选择、数据收集、编目分析、评价模型建立、权重系数确定等具体方法，从 4 项分项指标维度（选定资源、能源、废弃物、使用过程中的挥发物污染）进行环境影响评价，探讨了中密度纤维板生态循环周期评价的数学模型。2009 年，薛拥军等^[48]采用生命周期评价的方法对板式家具和中密度纤维板生产过程对环境的影响进行了评估，对中密度纤维板产品，构建了生产系统综合评价模型。

1.4.2.2 国内刨花板行业 LCA 研究

2007 年，向仕龙、魏新莉等^[50]从生命周期的角度分析了刨花板生产阶段的环境特性。他们根据刨花板生产阶段的环境特性，从能源消耗、原材料消耗方面、环境影响方面寻找造成环境影响的关键环节，为改善刨花板生产工艺、减少环境污染提供依据。其选用的评价指标包括能源消耗、原材料消耗和环境影响（分为废气、污水、噪音）三个方面。研究结果表明：刨花板制备中主要能源消耗过程是刨花制备、刨花干燥和板坯铺装热压，占比达 70%~75%；生产 1m³ 的刨花板产品需要消耗 1.4m³ 的小径木枝桠材原料；得出刨花板整个生产过程所产生的环境负荷值（包括二氧化碳、污水排放量和噪音）。

1.4.2.3 国内定向刨花板行业 LCA 研究

已开展 LCA 应用的定向刨花板企业，主要集中在外资企业在国外的研究，而中国本土企业的 LCA 案例还从未开展。

未来，在中国定向刨花板企业开展定向刨花板产品的 LCA 研究，可开发定制化的定向刨花板产品生命周期评价软件，还可建立我国定向刨花板产品的中国生命周期数据库的基础上，还需要将 LCA 方法和其他经济学和社会学方法相结合，将定向刨花板的环境、成本和性能等方面的影响综合考虑，以求降低定向刨花板生命周期环境影响的同时降低成本并提高质量。

1.4.2.4 国内其他人造板行业 LCA 研究

2007 年，王爱华^[49]对竹地板与实木地板的生产过程进行生命周期评价。其采用的软件是 SimaPro 6.0。研究结果表明：竹地板的生产阶段中资源损害较大，在其生命周期中，竹条、板坯的生产阶段会对环境带来很大负荷；在实木地板的生命周期中，环境负荷最大的环节依次是地板生产阶段，地板废弃和使用阶段；整个生产阶段中，资源损害、能

源消耗较大。总体而言，从工艺水平的角度分析，实木地板的环境影响优于竹地板，但影响结果相差微乎其微。

2010 年，李晓平^[51]用生命周期评价法对农作物秸秆人造板全生命周期的环境特性进行定性评价。并将结果与木质人造板进行对比分析。结果表明：与木质人造板相比，农作物秸秆人造板具有明显优势，这些优势体现在保护土地和森林资源及固碳等方面。但是，在资源消耗方面，木质人造板与农作物秸秆人造板之间的差距不大。2011 年，余翔以竹集成材地板和竹重组材地板为研究对象^[52]，采用 SimaPro 6.0 环境影响评价软件进行了生命周期评价。研究结果表明：竹重组材地板的原料利用率高，经济效益显著，但制造 1m² 竹重组材地板造成的环境负荷却是竹集成材地板的 1.61 倍。胡敏君在研究竹子所具有的设计价值、研究竹产品的设计开发、探究设计在竹产品附加价值的创造方面的作用时，提出可以从较为宏观的角度来对竹材进行粗略的生命周期评价分析，这为 LCA 在竹/木材相关行业的应用开辟了一条新途径。

1.5 生命周期评价体系在我国人造板领域应用的不足之处

1.5.1 LCA 人造板研究面有待扩大

人造板的品种极为丰富，但从现有文献记载来看，我国人造板的 LCA 研究仅覆盖了中密度纤维板、刨花板、农作物秸秆人造板及部分竹材人造板产品，而市场产销两旺的胶合板、细木工板、结构型人造板（如定向刨花板、集成材、单板层积材）以及特殊用途的水泥/石膏刨花板、阻燃型人造板、隔音型人造板等其它人造板品种^[53]还均未涉及。

1.5.2 LCA 数据清单质量有待提高

在我国人造板产品清单数据收集过程中，可能存在数据清单数据不完整情况，研究人员可能会通过个人的专业判断来补全数据，这一环节极易造成清单数据不准确，从而导致生命周期评价的结论出现错误。人造板的原辅材料供应以及生产消费活动的时间、空间跨度较大，而且过程也总在不断变动，难以对其进行反复测量和统计分析。由于这些原因，对 LCA 的数据质量较难进行评估和控制。另外，关于研究产品的系统边界和影响类型的选定基本都是研究者主观选定，也造成了收集数据和分析数据的随意性增大。

根据以往人造板 LCA 研究经验，发现木材工业用胶黏剂、电力等因素对 LCA 评价影响巨大，因此要充分考虑不同的胶种（PF/UF/MUF/PMDI）以及以及电力生产的影响，目前我国人造板 LCA 研究时常常不得不避开胶黏剂或使用他国的统计标准进行计算。

1.5.3 人造板本土化数据库缺乏

受制于我国并没有建立较为完整的人造板行业数据库，目前，我国已开展的木材加工领域 LCA 应用，采用的基本都是欧美国家的数据库^[54]。因为 LCA 结论的可靠性很大程度上取决于 LCA 基础数据库，而中国的能源结构（包括电能、水源、天然气、煤炭等）与发达国家有所不同。因此，我们需要对数据进行本土化修正^[55]。

1.5.4 环境影响的区域化特征明显

在 LCA 的环境影响评价分析中，特征化因子应该充分反映出不同区域的环境影响差异，即本地区的特征化因子并不一定适用于其它地区，特别是 End-point 特征化因子应尤为注意，资源消耗、环境排放等清单数据收集过程中如剔除相关区域信息，分析有效性将大打折扣。（如资源消耗、环境排放等）权重因子指标所衡量是环境侵害严重性，将各环境影响分析的权重因子相加，便可得出整体环境影响潜在负荷综合指标。在进行对比分析时，也可得到明确的结论。但不可否认的是，权重因子确定过程易受主观因素的左右，这就导致了 LCA 评价可能存在偏向性。

1.6 研究目标和主要研究内容

1.6.1 生命周期评价的研究目标

生命周期评价(LCA)特别适合对工业化产品或产品全生命周期的环境影响评价。当前，生命周期评价方法在定向刨花板领域的应用和发展也引起了国际社会的广泛关注^[56]。本研究首次尝试对我国定向刨花板产品进行 LCA 评价，将 LCA 生命周期评价技术框架体系引入我国定向刨花板行业，并对我国定向刨花板产品的环境影响进行客观分析，并与欧洲、北美洲典型定向刨花板产品 LCA 结论进行横向对比分析，以期建立起一套基于生命周期评价的中国定向刨花板环境影响评价体系。

用生命周期评价指导定向刨花板企业环保产品的研发和设计^[57]，既可以指导定向刨花板企业清洁生产，又可支持政府的环保部门制定定向刨花板相关的环境政策，提供能源、资源和废物处理规划的优化方案；还可以用在帮助政府制定定向刨花板环境产品标准，定向刨花板产品的绿色标签，指导消费者可持续的消费行为^[58]，客观评价定向刨花板生产过程中的物料消耗和能源动力的综合效益，同时准备无误向公众传递定向刨花板产品的真实环境信息。

1.6.2 定向刨花板生命周期评价的研究内容

本研究利用生命周期评价软件 GaBi ts，以 1m³ 中国典型定向刨花板工厂的 OSB2/3/4 为功能单位，对定向刨花板的基本单元制备阶段(含去皮、刨片、干燥工序)、板坯成型热压阶段（含施胶、定向铺装、热压成型工序）及后期加工阶段（毛板处理、砂光、能源中心工序）进行 LCA 评价和比较，找出整个生命周期中最大的环境负荷生命周期阶段，以及相应的环境影响类型^[59]。通过对影响原因进行深度分析，提出相应的改进措施，从而促进定向刨花板产业的可持续健康发展。

1.6.2.1 定向刨花板生命周期评价研究

生命周期评价的技术框架分目标和范围界定、清单分析（LCI）、影响评价（LCIA）、生命周期解释四步。本研究运用 GaBi ts 软件进行定向刨花板生命周期场景模型建立、环境影响计算、情景分析、敏感度分析。

（1）OSB 生命周期评价系统边界

本文根据定向刨花板生产特点，重点考察定向刨花板生产系统的环境影响和技术性能的差异，本研究的清单分析开始于原木的堆垛场地，终止于产品的后期处理及能源工厂循环再利用。

（2）OSB 生命周期清单分析（DIN ISO 14041/GB 24041-24043）

研究中量化的内容包括资源、能源消耗和向环境的排放^[60]（包括气体、固体、液体这三类废弃物）。我国新建 OSB 生产线在线管理水平较高，数据清单较为完整。定向刨花板生产过程中的物质流清单主要来自企业调研数据；能源生产如电力生产数据，部分原辅材料如胶黏剂、包装用材料等生产数据均来自 GaBi ts 软件的数据库^[61]。

（3）OSB 生命周期影响分析

本研究将基于生命周期分析法对定向刨花板进行生命周期影响分析，并根据 LCA 生命周期中清单分析步骤，以及利用清单分析所获得的数据，对定向刨花板产品生产系统进行环境影响评价。将首先对定向刨花板产品生产系统的物质流、环境排放进行清单分析，利用 LCA 指标体系对分类结果进行特征化处理，再进行量化评估。然后，本研究将根据研究范围所确定的系统边界进行分类和特征化处理，再利用选定的各基准值加以归一化转换，赋予环境影响类型一个权重值，使其变成可以量化的总体环境影响值。

1.6.2.2 基于生命周期评价的国内外定向刨花板对比研究

研究的主要目的是对中国/欧洲/北美洲典型 OSB 的生产工艺过程进行生命周期评价对比研究。通过对不同区域典型定向刨花板的原木采伐及运输阶段、OSB 生产制造阶段进行 LCA 评价和比较，寻找对环境影响最重要的工艺环节和相应的环境影响类型，分析其原因并提出相应改进措施，找出清洁生产的改进方向，帮助定向刨花板产品较大环境影响的工艺过程或产品系统的识别，并对我国定向刨花板行业的生产工艺及参数指标进行对标优化，以促进 OSB 产业的健康和可持续发展。

1.6.2.3 基于生命周期评价的中国 OSB 环境影响评价体系研究

借鉴国际绿色建材评价工作的模式，基于生命周期的视角评估我国 OSB 生产过程所造成的环境影响，通过建立 III 型环境标志，需要引入标准化的格式展示计算结果，解释说明，并建立一套高标准且又符合中国 OSB 企业生产实际的 OSB 环境影响评价体系。同时推动 OSB 工厂 KPIs 指标体系的建立，将指标体系反映的数据和信息直接且真实传达给受众和消费者。

1.6.3 定向刨花板生命周期评价需要解决的问题

- (1) 基于生命周期评价的定向刨花板清单数据收集及清单分析。
- (2) 建立基于生命周期评价体系的不同 OSB 等级产品的 LCA 物质流模型。
- (3) 构建基于生命周期评价的中国 OSB 环境影响评价体系框架。

1.6.4 本研究的创新点

(1) 本研究选择定向刨花板作为研究对象,选择先进的德国 GaBi ts 软件作为生命周期评价工具,采用 CML2001-Apr.2013 作为生命周期评价方法,首次尝试对我国定向刨花板进行 LCA 评价,寻找对环境影响最重要的工艺环节和相应的环境影响类型。

(2) 本研究通过国外典型定向刨花板工厂的生命周期清单的分析对比,找出我国与主要发达国家的 OSB 生产工艺及参数指标的异同之处,对中国定向刨花板行业的生产工艺及参数指标进行对标优化。

(3) 本研究首次将 LCA 方法引入定向刨花板行业,并尝试建立一套 LCA 评价及环境影响 KPIs 指标体系,为定向刨花板行业的快速健康发展奠定了理论依据,具有很强的现实意义和理论意义。

1.7 研究技术路线

本研究的技术路线详见图 1-2。

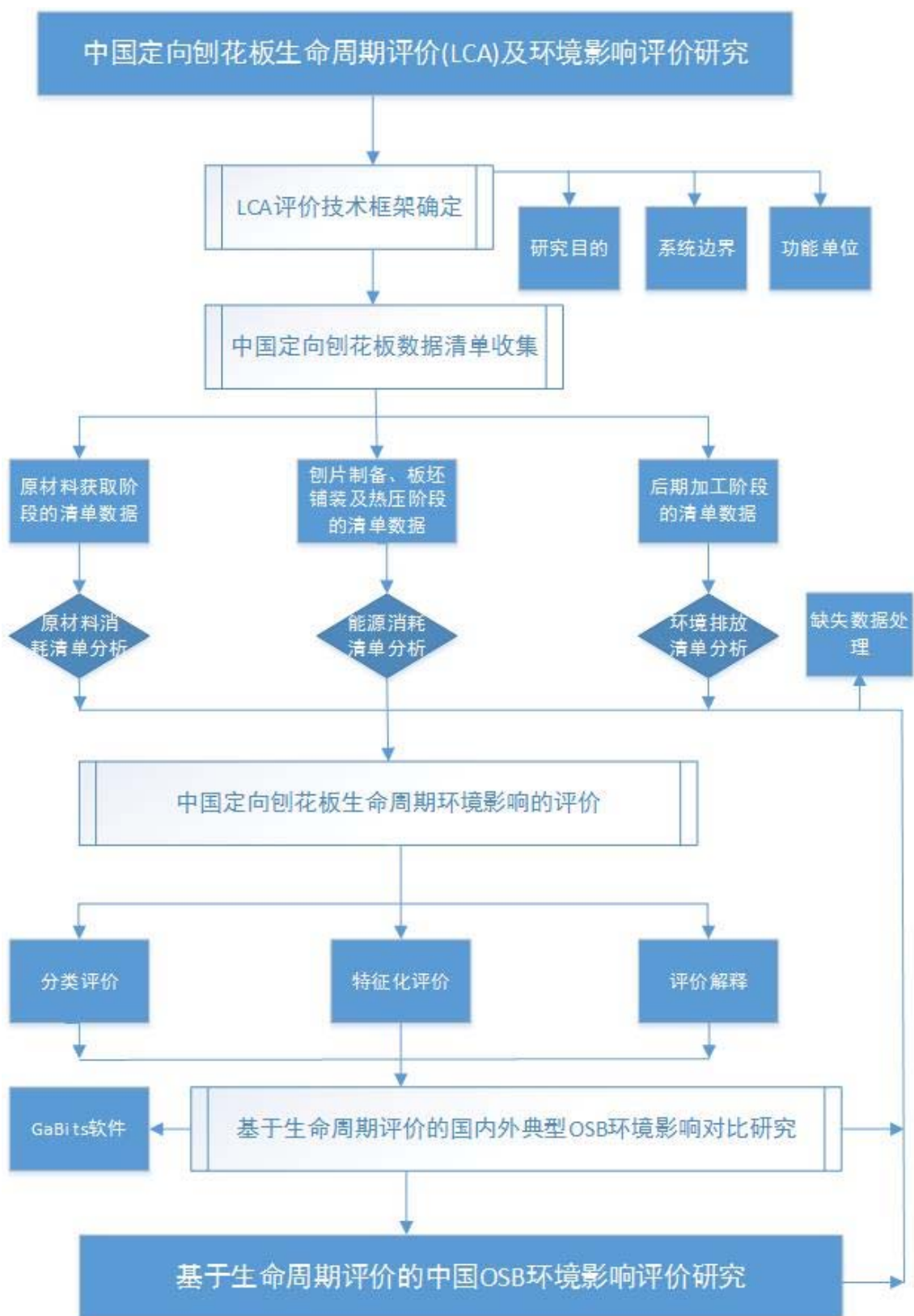


图 1-2 定向刨花板生命周期评价及环境影响评价研究技术路线图

Fig. 1-2 The technical roadmap of Life cycle assessment and environmental impact assessment of Oriented Strand Board

第二章 生命周期评价框架步骤和评价方法

按照 ISO14040 《Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework 环境管理—生命周期评估：原则与框架》的统一分类方法，整个 LCA 过程按照等同于定义的四个步骤进行，分别为：（1）LCA 评价的目的和范围确定（Goal and scope definition，简称 G&S），（2）生命周期清单分析（Life cycle inventory analysis，简称 LCI），（3）生命周期环境影响评价（Life cycle impact assessment，简称 LCIA）、（4）对生命周期评价的结果进行解释（Life cycle interpretation），这四个部分所构成的完整体系，总称为“生命周期评价”，也是我们通常所说的 LCA。

目前，围绕着 LCA 指标体系和环境影响评价方法的构建，国内外已取得了较为丰富的研究成果，并且颁布了相关的生命周期评价的国际标准、国家标准。可以说，LCA 的评价体系已非常成熟和规范。在进行 LCA 研究时，合理选择好环境影响类型的评价指标，可以使较为负责的环境问题以极简化方式呈现出来。对于 LCA 的研究者而言，我国的 GB24040 系列标准完全等效采用 ISO14040 系列国际标准颁布实施，为 LCA 研究结论国际间交流提供了便利^[62]。

迄今为止，我国尚未开展针对定向刨花板的 LCA 研究，本文将首次尝试开展我国定向刨花板的 LCA 研究工作。定向刨花板作为一种创新型绿色生产技术^[63]，在产品和工艺方面均有显著的技术升级，通过对其进行生命周期评价比较，给出综合性能指标的评价，可指导和实现产品的清洁生产、绿色营销和绿色消费。因此，在借鉴国外研究的成熟经验，依据国际标准 ISO14040-14044^[64-65]、国家标准 GB/T24040-24044^[66-69]，基于生命周期设计的定向刨花板产品对有效降低能耗、节能减排具有重要意义^[70]。同时对定向刨花板进行环境性、经济性、技术性以及低碳性进行评价，也可以促进和推动定向刨花板的产业化进程^[71]。

2.1 定向刨花板生命周期评价框架构建

根据 ISO 14041 标准的规定，LCA 评价的技术框架。在图 2-1 所示的四个部分中，前两个部分的发展相对较为完善^[72]。

当研究目的、范围不同时，LCA 研究的时间跨度和深度也有所不同。在 LCA 研究中，研究所涉及的评价范围的选定、使用的假设、采取的评价方法、采集数据的质量、输出的结论解释等都应该都是透明的。LCA 研究应对数据的来源进行讨论并格式化，确保数据的可查询性和可修改性。当 LCA 研究涉及到面向社会公众的比较性陈述时，应避免保护产品及商业机构的商业秘密。如果我们使用归一化的加权值，以简化的 LCA 研究的结果，我们必须考虑到在不同 LCA 阶段，我们所分析的系统存在着可交叉性和复杂性。

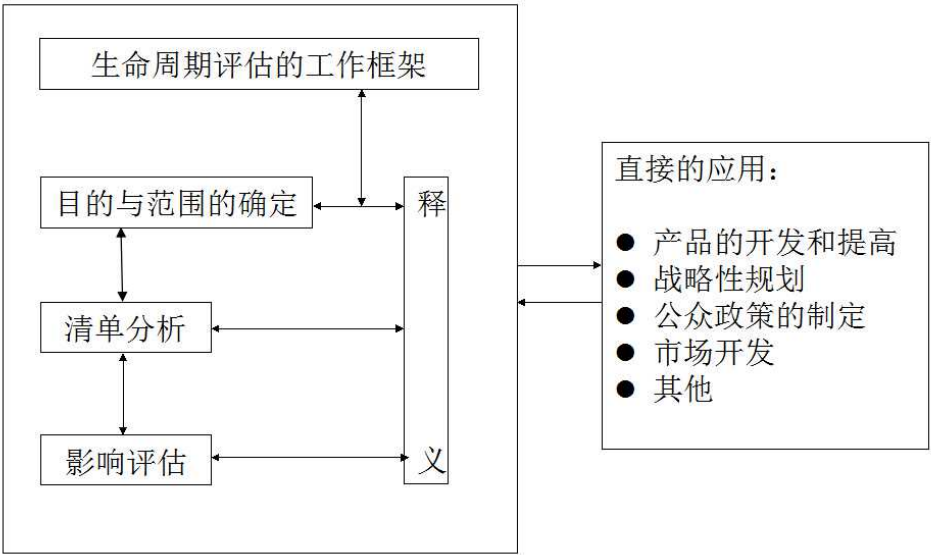


图 2-1 生命周期评价的技术框架（GB/T 24040-1999）

Fig. 2-1 The technical frame of Life cycle assessment（GB/T 24040-1999）

2.1.1 研究目的与范围

LCA 的最初阶段既是评价目的与研究范围的确定，这是非常关键的重要步骤。LCA 研究的目的应包括研究理由和使用对象，研究范围应有足够的深度和广度，要能保证满足研究目的。而且，LCA 研究会有反复，当有到最新信息时，就需要对研究范围进行修改。

针对定向刨花板开展 LCA 研究的目的是对定向刨花板产品进行环境管理认证以及清洁生产审核,并对其生产过程进行生态辨识,还可以将结果应用于工艺改进和效果分析。研究的范围侧重于定向刨花板的生产阶段或整个生命周期,其中整个生命周期包括木材的获取、加工、产品的生产。还应考虑销售、使用以及使用后的废弃过程。这样做,可以为企业开展节能降耗、减少水资源消耗、减少大气排放或者其他清洁生产目标提供理论基础和支撑。

2.1.2 功能单位

系统的功能单位需要在 LCA 的范围内加以澄清,在对产品系统的输入和输出物质流、能量流进行计量时,都需要使用功能单位。使用的好处是可以为输入/输出提供参考标准,从而使 LCA 的结果具备可比性。功能单位是 LCA 的基石,必须是可测量的。随着功能单位的明确,LCA 中相应功能单位所需的消耗和排放也随之确定。

选取合适的功能单位并不简单。在对定向刨花板进行研究时,功能单位应根据研究的目的和范围,以及具体情况选择确定。例如,相同质量/面积的产品的使用功能可以作为一个功能单位

2.1.3 系统边界

一般而言,我们很难统计产品系统所有的输入和输出。这就需要我们首先界定产品系统的边界。首先要界定产品的生命周期范围,其次要考虑是否要包含自然系统中的一部分,再次要考虑是否要纳入辅助性商品输入,最后还要考虑地理环境、时间边界等因素。

2.1.4 数据收集

LCI 收集的数据总体包括输入数据和输出数据。根据不同研究需要细化后的数据类型很多。数据的来源决定了数据质量,数据的质量又决定了生命周期评价研究结果的可靠性。从数据源上,我们可以将数据分为原始数据(工厂报告)和文献数据(统计年鉴、政府文件、期刊杂志等)。从数据产生的方式上,我们可以将数据分为测算数据、模拟数据和非测算数据^[73]。

LCA 数据收集需对企业现状进行调研和考察, 结合企业生产全过程实际情况, 根据研究目的和系统边界收集企业数据资料。需要收集的主要内容包括生产过程中的主要原料和辅料、主要产出物、能源消耗、用水情况、主要污染源及其定量排放情况等。在上述资料分析的基础上, 对于没有确切可靠数据的物质流或者关键的物质流^[74], 需要进行进一步监测以便进行更深入细致的物料平衡分析。

人造板生产型企业中经常出现生产的中间产物——边角料。边角料既可以作为能源使用, 也可以当作制作人造板的原料回收再利用。像这一类物品的输入、输出数据, 在 LCA 中, 我们一般应避免分配。必须分配时, 要尽量反映出系统输入和输出间的物理关系。如果不能按照物理关系分配, 则可以根据社会价值和经济价值来进行分配。当收集的数据不足或缺失时, 我们可以通过模型产生的预测值或通过经验或逻辑推理得到的特殊值来代替。

2.2 清单分析

进行生命周期清单分析 (LCI) 的作用是为了帮助量化产品系统中有关输入/输出的具体数值, 该阶段的重点工作包含清单数据的采集以及对清单数据的计算。可以说, LCI 是 LCA 的整个操作中工作量最大的一部分。在研究产品全生命周期时, 所指的整个生命周期始于原材料的获取, 终于产品的最终废弃处理^[75]。

清单分析是一个反复的过程。获得一批数据, 对系统有进一步的了解后, 可能需要新的数据进行补充, 也有会发现原来的数据又很大的局限性。这就需要修改数据收集程序。有的时候, 研究目的或范围也需要修改^[76]。

目前, 清单分析的方法论是非常完善的, 而清单分析的核心则是要建立产品系统的输入和输出清单。这里所说的清单是用产品功能单位表达的。这一阶段, 我们需要绘出产品系统的生命周期/生产工艺流程图, 同时要细分单元过程, 进行数据收集、确认和分配^[77]。

2.3 影响评价

在清单分析结束之后,便是生命周期影响评价(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)。这是生命周期评价的核心组成部分^[78],评估阶段可分为归一化、分组、加权及数据质量评价这四个步骤,着重考虑对生态系统、人体健康、资源消耗等方面造成的影响^[79]。生命周期影响评价中将着重对清单分析中的物料消耗、能源消耗、废弃物排放等数据结果进行研究,并对潜在环境影响负荷情况进行定量评价和定性评价。并通过定量评价来分析产品在其生命周期各阶段对环境影响的实际贡献程度及关键重要程度。

对于清单阶段中收集的资料,LCIA 将其分配到不同的响应类别中,再对该消耗/排放对环境的影响进行量化。按照 SETEC 对 LCIA 的分类研究,可分为三个步骤进行:先分类、再特征化、最后再行评估^[80],这一分类就按就方法也得到了 ISO 组织的认可,并写入了最新的 ISO 14042 标准。ISO 14042 在分类中按照必备要素和可选要素来区别分类,其中,必备要素包括分类和特征化、影响类型、参数、评价模型等,而可选要素可以使用来自 LCIA 框架外的信息^[81]。

2.3.1 LCIA 的实施步骤

2.3.1.1 对清单结果进行分类

对清单结果进行分类是个定性的过程,在这个工程中,我们需按照不同的环境影响类型去区分 LCI 中的输入/输出数据。我们也可以把具有相似特征的影响类型,划分为一个或若干组类型。分类过程中可以包括分类或排序,排序的基础是价值选择,既是是面对完全相同的参数结果时,考虑到不同的个人、组织差异,也有可能得出不太一致的排序结果。

2.3.1.2 特征化

为了展现产品系统的 LCIA 特征,我们首先要进行特征化。不同环境负荷对同一环境破坏的影响可能不同,例如,相同量的不同的气体会导致酸化,但损害的程度是不同的。特征化的结果可以由造成某种类型的环境影响发生变化的因子来表征,也可以由该类型的环境排放因子来表征。在对环境影响进行分类后,汇总不同的影响因子的实际环境负荷,便可得到评价产品的生命周期综合环境负荷^[82]。

环境负荷(EB)显示了产品生命周期内的各影响分类对特定环境的潜在影响程度,通过可量化的数值直接反映出各影响分类的排放质量。与此同时,从环境负荷的数值,我们也可以评估出每种物质对环境造成潜在影响的程度^[83]。

通过下式,我们可以计算各类物质的环境负荷:

$$EB=(W_a \times PF_a)+(W_b \times PF_b)+(W_c \times PF_c)+\dots \quad (2-1)$$

式中: a、b、c——排放物中所含的各种化学物质;

W——各种物质的质量;

PF——各种物质对某类环境所造成影响的潜能因子。

2.3.1.3 归一化

在特征化的基础上,进行归一化处理是为了更好地认识产品生命周期内各影响分类的相对值大小,以便比较不同影响分类对总环境的影响程度。在进行归一化时,要将参数结果除以对应的基准值。

2.3.1.4 加权

关于各影响分类的实际环境影响程度应充分考虑到不同国别、不同地区、不同时间段的差异化区别,因此有时要赋予不同的权重因子。加权是基于价值选择的,不同的人对同一个参数结果或归一化的参数结果可能得到不同的加权结果 EB_{ij} 。因此也是 LCIA 中争议最大,最困难的一个环节。

$$EB_{ij} = ((W_a \times PF_a) / N_i) \times W_j + ((W_b \times PF_b) / N_i) \times W_j + ((W_c \times PF_c) / N_i) \times W_j + \dots \quad (2-2)$$

式中: a、b、c——排放物中所含的各种化学物质;

W——各种物质的质量;

PF——各种物质对某类环境所造成影响的潜能因子;

N_i ——各种物质对应的归一化值;

W_j ——各种物质对应的权重值。

2.3.1.5 数据质量分析

数据质量分析是指对收集的数据进行检查和分析。分析的结果可以反过来指导生命周期清单分析阶段,例如收集被忽略的数据,或修正取舍准则^[84]。对数据质量进行分析,需要综合很多方法和信息,从而确定哪些是可以忽略的,哪些是存在重大差异需要重点关注的。

2.3.2 两种常用的生命周期影响评价方法比较

总体而言，LCIA 评价方法大致可分为面向“中点”的问题取向评价方法和面向“终点”的损害取向方法两类^[85]，我们各取其中的一种方法来做比较研究。

2.3.2.1 CML 评价方法

荷兰 Leiden 大学环境科学研究中心（Center for Environment Science, CML）开发了 CML 评价方法。这是一种面向“中点”的损害取向评价方法中的常用方法，目前主要版本有 CML1996 和 CML2001。CML2001 定义的环境影响类型有 10 种，计算过程包括 3 个步骤，不提供分组，也不提供加权计算，可以得到环境影响的单一得分值，该方法在欧洲的 OSB 生产企业以及北美洲的 OSB 生产企业均广泛使用。

2.3.2.2 生态指数法

生态指数法是目前最常用的生命周期评价方法，其主要版本有 Eco-indicator 99 和 Eco-indicator 95。生态指数法基于面向“终点”的损害取向评价方法理论，是该理论中最具代表性的一种方法，该方法定义的环境影响类型有 11 种，一些影响类型不适合用于定向刨花板生产可能导致的环境影响；计算过程包括 4 个步骤。其数据库类型主要来自于研究领域，缺乏对工业数据的收集和积累。

对以上两种 LCIA 评价方法进行比较，本研究确定采用欧洲、北美洲定向刨花板常用的 CML 评价方法来进行生命周期评价研究。

2.4 结果解释

在 LCA 前三阶段完成之后，便需要运用系统化的程序对生命周期影响评价结果进行识别、判断、检查，并最终得出结论、提出建议。这一过程就是生命周期的结果解释部分。结果解释包括识别、评估和报告等要素。其中，识别是根据 OSB 生命周期清单分析和影响评价阶段的结果进行识别，是否存在重大问题；评估是对 LCA 过程的完整性、敏感性、一致性进行检查，从而使研究结果更可靠；报告是对整个 LCA 过程进行回顾，对结论进行汇总，并提出建议^[86]。

2.5 生命周期评价 LCA 的主要软件工具

近年来，国内外已开发出数十个 LCA 的软件。这些软件有的是企业或研究机构的内部软件，也有的是商业软件。不同的软件在计算方法上有所不同。目前常用的生命周期评价软件主要有 GaBi, Simapro, GREET, eBalance 等，各软件的名称、提供者、国家、数据库、主要特点和网址链接如表 2-1 所示。

这些软件中，比较知名软件的主要来自于欧洲：如 GaBi 软件由德国斯图加特大学 (University of Stuttgart) IFK 研究所和德国 PE 公司共同研发。该软件拥有完整的数据库，偏重于工业应用领域；Simapro 软件由荷兰 PRéConsultants 公司开发。该软件使用 Ecoinvent 数据库，侧重于基础理论研究；LCAIT 软件由瑞典 Chalmers Industriteknik 公司开发；PEMS 软件由英国 Pira International 公司研发。另外还有美国 Ecobalance 公司开发的 TEAM 等。

在我国，亿科环境科技有限公司 (IKE) 2009 年推出 eBalance 软件。这是国内首个具有自主知识产权的通用型生命周期评价 (LCA) 软件。该软件已组建了国内目前最为完善的 LCA 数据库 CLCD。

表 2-1 国内外主要 LCA 软件汇总表

Tab. 2-1 The main LCA software both at home and abroad

软件名称 Name	当前版本 Version	国家 Country	提供者 Producer	数据库 Database	特点 Characters	网站 Website
GaBi	GaBits	德国 Germany	Thinkstep	GaBi database, ecoinvent	用户界面友好；支持智能搜索数据库对象；评价结果预览功能；提供报告模板等软件操作难度较大，适合于工业领域专家和产品设计师人员。	http://www.GaBi-software.com/international/index/
Simapro	Simapro 8	荷兰 Netherlands	PRé Consultants	ecoinvent HLCD, EU&DK	环境影响数据库丰富；多种评价方法；图形化界面显示；软件操作难度较大，适合学术领域 LCA 专家。	https://www.pre-sustainability.com/simapro
LCAIT	LCAIT 4	瑞典 Sweden	Chalmers Industri teknik	数据库数据范围有限，仅包括能源类、化学物质类、纸浆及纸制品类等内容	可同步链接其它数据库，适合物质能量流动初学者使用。	http://lcait.com/
GREET	GREET.net 2015	美国 USA	Argonne 国家实验室	燃烧数据包括石油、天然气、生物燃料、氢气以及电能等方面	包括从油井到年轮的燃料循环，以及材料回收和处理的车辆循环。可让研究人员评价多种汽车和燃料的不同组合性能。	https://greet.es.anl.gov/
TEAM	TEAM 5.1	美国 USA	Ecobalance	ecoinvent	因为其输出界面并未使用图形界面，使用者操作起来较不方面，较适合生命周期评估高阶需求。	http://www.ecobalance.com/uk_lcatool.php
PEMS	PEM 4.7	英国 UK	Pira International	数据库包含 109 种材料、49 种能源、37 种废弃物管理及 16 种物流等	参数主要源自欧洲本土化数据，可文字或图表化界面显示。初学者及专业人士皆可适用。	http://pems.dot.ca.gov/
eBalance	eBalance 3.0	中国 China	四川大学，亿科环保科技有限公司	CLCD, HLCD, coinvent, 数据库正逐渐完善中	支持各种基于 LCA 方法的碳足迹，III 型环境申明、企业社会责任报告等环境报告及第三方认证；显示界面友好，可智能汇总过程数据，但无法查看详细单元过程数据。	http://www.ike-global.com/

2.5.1 SimaPro 和 GaBi 软件介绍

LCA 评估中需要处理大量数据, 数据处理软件的选址至关重要。本文主要介绍两款目前最受欢迎和广泛使用的生命周期评价软件: 荷兰 PRé Consultants 公司的 SimaPro7.0 软件和德国 Thinkstep 公司的 GaBi ts 软件。就操作便捷性而言, 二者比较接近, 但就数据库而言, SimaPro7.0 和 GaBi ts 各有侧重, SimaPro7.0 更倾向于为学术研究服务, GaBi ts 则更多应用于工业企业的生命周期评价。SimaPro7.0 数据库主要由如下 8 个联合数据库组成: Eco Invent、BUWAL250、Data Archive、ETH-ESU 96 Unit process、IDEMAT2001、Dutch Input Output Database95 等, 数据库中的数据涵盖了包括物料输入输出数据、能源基础生产数据、包装材料的生产数据、以及全球气候变暖、酸雨效应等数据, 这些数据主要来源于各类文献学术研究。GaBi ts 软件则涵盖了不同能源与材料的生产流程, 基础数量种类多达 800 种, 几乎全部来源于产业界与研究单位的清单数据库, GaBi ts 软件支持超过 100 种的影响分类, 主要使用评价方法包括: CML 2001、Ecoindicator 99、EDIP 97、EPFL2002+、EDIP 2003 等等。基于本文研究产品为工业产品, 本文选择了更侧重于实际生产和工业企业应用的 GaBi 软件。

2.5.2 GaBi ts 软件主要特点

GaBi 软件作为全世界最为先进的 LCA 软件之一, 最早为德国斯图加特大学 LBP 研究所研发, 为了更好推广 GaBi 软件, 专门成立了 LCA 咨询公司 PE-International, 并于 2015 年又更名为 Thinkstep 公司。GaBi 软件在 LCA 生命周期研究领域和相关环境咨询领域知名度较高, GaBi 软件于 1992 年开发出第一个版本, GaBi 软件的最新版本为 GaBi ts, 是本论文所使用的软件, 主界面如图 2-2 所示。

GaBi ts 软件是针对物质流分析和生命周期评价等的专业应用软件, 以其强大的功能、人性化的界面和模拟分析等优点, 开始较多地应用于物质流分析、生命周期影响评价、环境管理等领域。GaBi ts 软件具有丰富的环境数据负荷库, 与其一同发布的数据库 Databases 12 是世界最大的内部一致型生命周期清单数据库, 拥有 5000 余个即用档案, 并且每年可以升级, 这是全球仅有的。

GaBi ts 软件为了更好地处理生命周期评价中的循环分配问题，特别采用了模块化模型方法，可以自动计算不同分配方法的敏感度，本论文中评价方法模型的多次计算过程由 GaBi ts 分析软件进行处理。GaBi ts 软件还具有灵活的参数建模功能，如运输过程中可以设定装载率以及运输距离等参数，这样可以极大地提高用户建模效率。

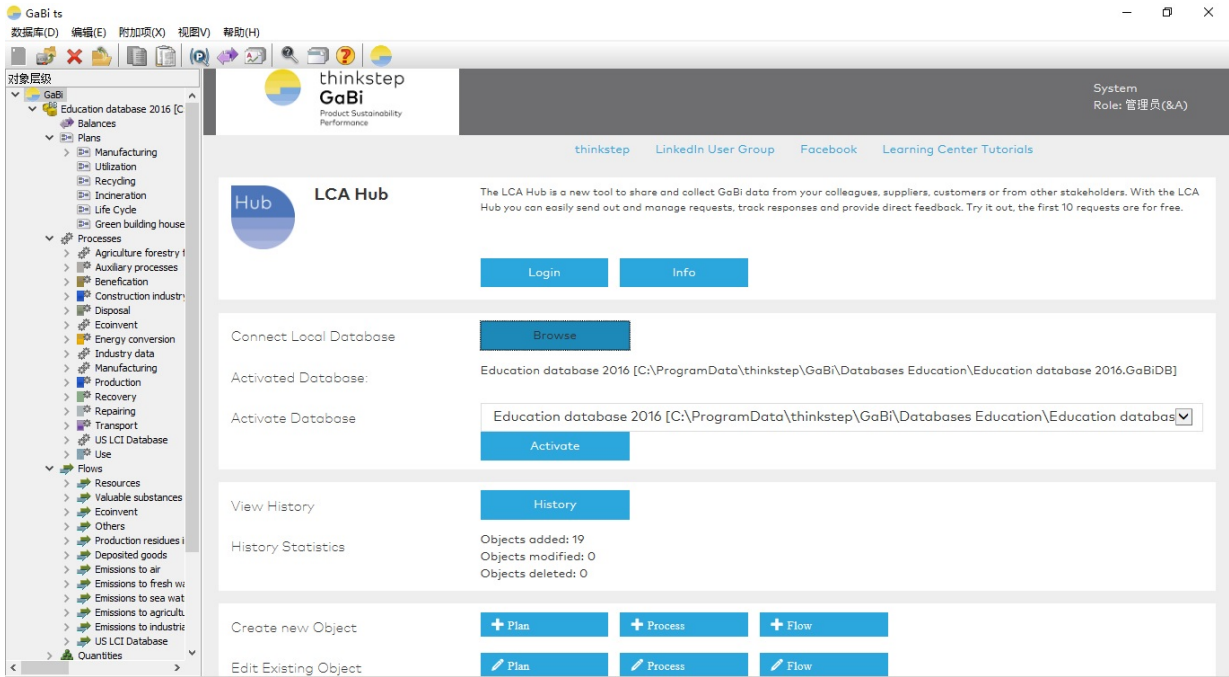


图 2-2 生命周期评价软件 GaBi ts 主界面

Fig. 2-2 Main interface of GaBi ts for LCA

2.6 本章小结

本章基于通用的 ISO14040-14043 国际环境评价标准和 GB/T24040-24043 国家标准，借鉴国内外研究经验，提出我国定向刨花板产品生命周期评价框架，整个 LCA 过程按照等同于定义的四个步骤进行，分别为：（1）LCA 评价的目的和范围确定（G&S）、（2）生命周期清单分析（LCI）、（3）生命周期环境影响评价（LCIA）及（4）对生命周期评价的结果进行解释（Life cycle interpretation），这四个部分构成了定向刨花板生命周期评价的完整体系。

本章还比较两种常用 LCIA 评价方法：一个是面向“中点”问题取向评价方法中的一种 CML2001 评价方法，第二个是面向“终点”的损害取向评价方法中的一种生态指数法目前的主要版本有 Eco-indicator 99。由于 CML2001 方法广泛应用于欧洲、美洲的定向刨花板

生产企业，本论文研究中确定采用 CML 评价方法，既考虑到我国目前定向刨花板发展的实际环境影响类型，又考虑与国际惯例接轨，可操作性强。

本章还分析比较了两款目前最受欢迎和广泛使用的生命周期评价软件：德国 Thinkstep 公司的 GaBi ts 软件和荷兰 PRé Consultants 公司的 SimaPro7.0 软件的优缺点。基于本文研究产品为工业产品，所以本文选择了更侧重于实际生产和工业企业应用的 GaBi 软件。采用的评价方法为 CML2001 改进后的方法 CML2001-Apr.2013。

第三章 定向刨花板生命周期评价目的范围和清单分析

LCA 的理论思想与管理学较为相似，在 LCA 领域崇尚 “No Management without Measurement” 的理论^[87]，即通过对产品生命周期内的各类环境影响进行定量化、标准化的评价，来量化描述产品的实际环境负荷。这与管理学中企业成本会计（管理会计）非常类似，只不过后者的描述目标是量化产品的经济成本。为了系统而又全面地评价某一产品对环境造成的实际潜在影响，需要对其生命周期的所有输入/输出物质流和能量流进行清单分析，并利用 LCA 方法进行有效评估，并整体分析和评价从产品或行为活动对生态环境的影响^[88]。

根据评价的目标和对象，为了更好聚焦于中国典型定向刨花板的生产工艺及工厂运营的改进，本研究为“Gate-to-Gate”，而非“Cradle-to-Gate”或者是“Cradle-to- Cradle”。本研究重点评价生产企业的加工制造、环境排放数据，并不考虑原木生产运输、定向刨花板使用及回收过程所消耗能源的生产阶段，以及整个使用、回收阶段涉及的运输过程^[89]。该章节确定了我国定向刨花板生命周期评价目的及范围，并通过梳理工艺，明确了各个流程清单的物质流输入及输出参数，为下一阶段的生命周期评价奠定基础^[90]。

3.1 研究目的与范围界定

3.1.1 研究目的

本研究以中国定向刨花板产品作为研究对象，本研究采用先进的德国生命周期评价软件 GaBi ts, 首次尝试对我国 OSB 产品生命周期内环境影响进行 LCA 评价。首次将 LCA 生命周期评价技术框架体系引入定向刨花板行业，并对定向刨花板产品的环境、社会影响进行客观分析，并最终建立起一套基于生命周期评价的中国定向刨花板环境影响评价体系。

本文参照国外已有的定向刨花板等人造板材的 LCA 研究，确定以 1m^3 定向刨花板为功能单位，对代表不同的木材资源利用水平、能源有效利用水平和环境负荷水平的三种常用定向刨花板产品 OSB2、OSB3、OSB 4 进行评价和比较，如下图 3-1。

本研究的主要目的：一是对定向刨花板的基本单元制备阶段、板坯成型热压阶段、后期加工阶段等进行 LCA 评价和比较，找出整个生命周期中最大的环境负荷生命周期阶段；二是对 OSB 2/OSB 3/OSB 4 三种等级的定向刨花板产品的生产工艺过程进行生命周期评价研究，寻找对环境影响最重要的工艺环节和相应的环境影响类型，分析其原因，并提出相应改进措施，以促进 OSB 产业的健康和可持续发展；三是通过与国外具有代表性的定向刨花板工厂的生命周期清单的分析对比，对 OSB 行业的生产工艺及参数指标进行对标优化。通过对比分析，找出我国与主要发达国家在定向刨花板生产工艺、参数指标方面的差异处，为进一步优化提高我国 OSB 生产水平和产品质量提供坚实的理论基础。

表 3-1 定向结构刨花板按使用条件的分类方法

Tab.3-1 The classified method of OSB according to the conditions of use

分类等级 Classification grade	强度等级 Strength grade	防潮等级 Moisture resistant grade	用途 Application
OSB 1	一般用途的非承载板材	用于干燥状态条件下	仅适用于少量室内装修材料基层和家具部件
OSB 2	承载板材	用于干燥状态条件下	广泛应用于装饰材料和家具、包装
OSB 3	承载板材	用于潮湿状态条件下	广泛应用于有防潮要求的结构房屋建造、装饰材料、包装材料、底板基材
OSB 4	承重载板材	用于潮湿状态条件下	广泛应用于混领土模板、汽车/货车/集装箱底板等

为了实现上述目标，本研究调查了一家有典型代表型的定向刨花板生产企业的加工制造、环境排放数据。该企业的生产规模和生产技术工艺极具代表性，且生产稳定，在国内生产时间最长。在能源使用方面，该企业使用生产过程的粉尘及木屑产生热能^[9]。本研究收集的数据代表的是该企业 2013 年-2015 年的平均值。OSB 2/OSB 3/OSB 4 的规格均为 2440 mm×1220mm×15 mm，密度分别为 608/620/680kg/m³，成品含水率为 5-7%，所用胶黏剂为异氰酸酯（PMDI），施胶量为 4-6%，生产工艺为目前最先进的连续平压工艺，地理边界为中国。

3.1.2 系统边界

本文考虑的系统边界包括两个子系统边界：

基本系统边界：根据评价的目标和对象，为了更好聚焦于定向刨花板的生产工艺及工厂运营的改进，本研究为“Gate-to-Gate”，本研究重点评价生产企业的加工制造、环境排放数据，不考虑原木生产运输、定向刨花板使用及回收过程所消耗能源的生产阶段，以及整个使用、回收阶段涉及的运输过程，其基本系统边界见图 3-2。

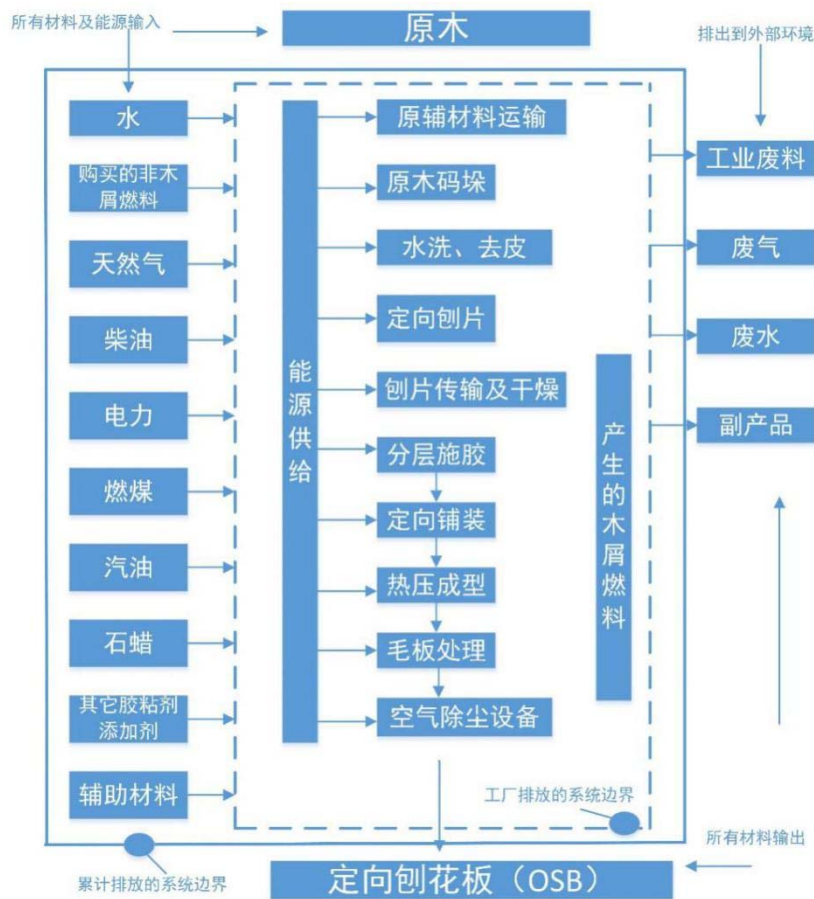


图 3-2 Gate-to-Gate 定向刨花板生命周期评价的基本系统边界

Fig.3-2 The basic system boundary of Life cycle of OSB from Gate-to-Gate

系统边界扩展：本文将系统边界进行了适当的扩展，考虑到定向刨花板生产过程中可能会产生的有一定价值的副产品（包括资源和能源），而这些副产品的充分利用也将能节省使用相关原材料或能源，并对整个生命周期内的物质流动和能量流动带来影响。举例来说，在生产这些副产品的过程同时也会消耗一定程度的物质资源和能源资源，如果这些副产品通过循环利用产生的环境影响大于产品生产过程中的环境影响，我们则认为生产阶段的副产品就产生了环境效益，而最终的环境影响是负值，反之，我们认为其环境影响是正值^[92]。但考虑到某些化学及其物理方面存在一定差异，生产环节的副产品并

不能完全替代外购材料使用，如副产品的木屑燃料与工厂外购的木屑燃料性质差别很大，因此副产品的木屑燃料和所替代的原材料之间，则需要通过一个替代因子来进行换算。

3.2 定向刨花板主要生产工艺简述

定向刨花板生产制造过程^[93]可分解如下:①去皮，采用滚筒式剥皮机去处木材原料的树皮，树皮作为燃料；②将长材用刨片机刨成大片刨花（大木片），生产采用刀环式长材刨片机；③湿木片干燥，刨片干燥可采用滚筒式干燥机，含水率降到 5%左右；④分顶层、中间层和底层筛选木片；⑤三层施胶，施胶设为全自动滚筒式拌胶机，面层木片和芯层木片施胶工艺略有差异；⑥刨片铺装采用定向铺装技术，表层刨片铺装方向与成品板长度方向平行。调整各层木片定向铺装方向，中间层定向铺装方向完全垂直于表层；⑦连续热压采用连续式热压成型技术，可适应不间断式大规模生产。与非连续式热压机如间歇式热压机相比，可大大提高热能使用效率，同时设备效率极大提高，生产环节中的热损失也会大大减少，减少了原材料消耗；⑧切除热压板边并横向切割定向刨花板；⑨待冷却后堆垛、包装；定向刨花板生产过程中的剩余废料被重新输送到生产的过程中，⑩热能中心提供刨片干燥用热烟气和热压用导热油。生产工艺流程方框图详见图 3-1，定向刨花板生产过程描述详见图 3-1。

（1）木材原料堆场

到厂木材原料经计量后分垛堆存。场内采用装载机加人工辅助方式卸料与堆垛。原料堆场面积大约可贮存供 2 个月左右生产所需的木材原料量。

（2）刨片制备

适用于生产定向刨花板的刨片形态：长约 60mm-150mm，宽约 20 mm-30mm，平均厚度 0.65mm 左右。小径原木由装载机运至原木横向运输机上，进入剥皮机剥皮后，再用刀环式长材刨片机加工成刨片。随后饱含水份的湿刨片被送入湿刨片仓贮存备用。

（3）刨片干燥与分选

湿刨片从湿刨片仓由机械运输机送入刨片干燥机。进入干燥机的刨片量由湿刨片仓的出料装置调节和控制。干燥介质为热烟气。在干燥机内将刨片干燥至含水率 4%-5%。干刨片进入筛选机筛分，合格刨片由机械运输机分别送入芯、表层干刨片仓。过细刨片用作燃料。

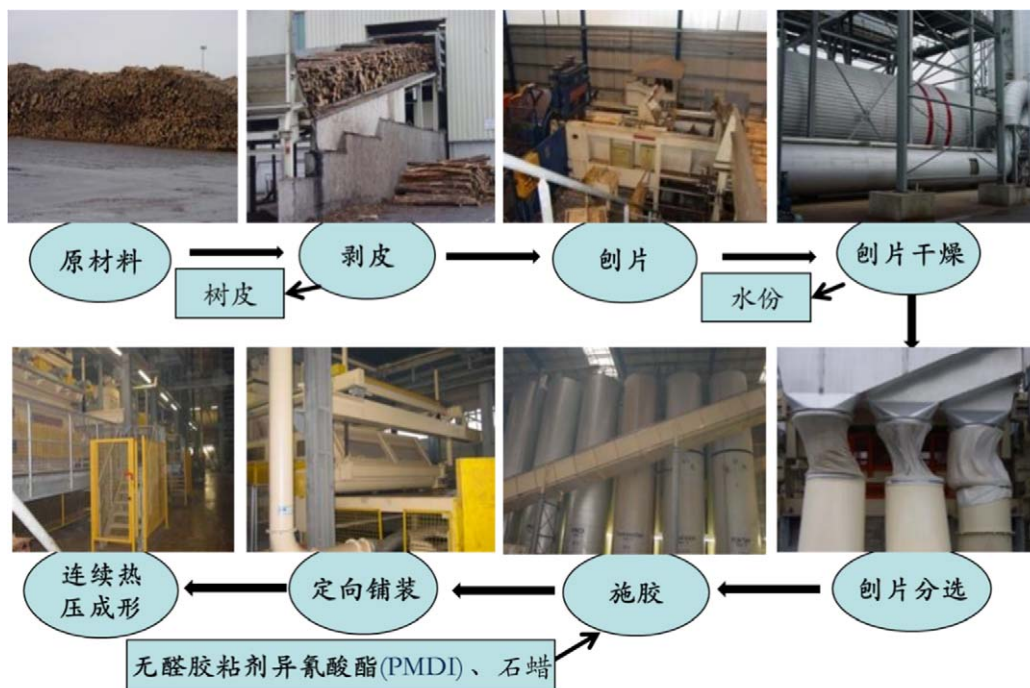


图 3-1 定向刨花板生产工艺流程图

Fig.3-1 The process of Oriented Strand board production

(4) 调胶与施胶

面层刨片和芯层刨片按照不同施胶比例进行拌胶，分别经计量后进入滚筒式拌胶机，同时一定比例的胶粘剂及各种添加剂也被加入拌胶机前的混合器，经过充分混合后喷入拌胶机。通过滚筒拌胶机的充分旋转使得混合胶液被均匀地喷涂在刨片表面。

(5) 铺装与热压

通常施胶刨片由定向铺装机分底层、芯层和面层分层铺装，经铺装的板坯带需要通过生产线上的在线称重、和 X-Ray 金属探测进行检查，经检查不合格的板坯将被重新回收利用，合格板坯自动进入连续式热压机热压成型。连续式热压机以能源工厂供给的热油为导热介质，而压机的热压温度、热压压力和钢带运行速度则由中央控制室计算机的自动控制系统控制。

(6) 毛板处理

热压完成的连续毛板带首先经纵向锯齐边，然后在经斜边锯在线横向截断成一定规格的毛板块，通过厚度和重量检测后，自动进入翻板机冷却，待板材温度将至预定范围内后，根据客户订单尺寸在此裁切成成品板，如不需砂光的板材则可以直接检验、分等、包装后由叉车送往成品库贮存。

需要砂光的板材则被运至砂光生产线进行砂光，砂光后再经检验、分等、包装后由叉车送往成品库贮存。毛板处理过程中产生的废料和砂光粉均送到热能中心作燃料。

表 3-2 “Cradle-to-Gate” 范围内定向刨花板生产过程描述

Tab.3-2 OSB production process description from Cradle-to-Gate

序列 No.	工序 Process	描述 Description
I	森林抚育和林木采伐 Forest tending and logging	森林抚育涵盖从造林开始至成熟龄结束的培育全过程，林木采伐则指林木成熟前采取的抚育采伐，以及成熟后采取的成熟林、过熟林的主伐。
II	原辅材料运输 transport	“资源”和材料运输系统的运输过程一般通过卡车、水或铁路运至工厂，运输的物质包括原木、异氰酸酯或其他树脂胶粘剂、蜡、润滑剂、各种油和燃料等等。
III	OSB 生产制造 OSB production	OSB 制造系统过程流程包括以下流程:
1	原木码垛 Storage	原木运抵到厂经计量后分垛堆存。场内采用装载机加人工辅助方式卸料与堆垛。
2	水洗 Washing	水洗后送入传输带
3	去皮 Skinning	原木由装载机运至原木横向运输机上，进入剥皮机剥皮后。树皮在能源工厂中作为燃料供应能源。
4	长材刨片 Shavings	再用刀环式长材刨片机加工成规则刨片，适用于生产 OSB 的刨片形态：长约 60mm-150mm，宽约 20mm-30mm，平均厚度 0.65mm。
5	刨片传输 Shaving transmission	湿刨片经机械运输机送入湿刨片仓贮存。湿刨片从湿刨片仓由机械运输机送入刨片干燥机。
6	刨片干燥 Drying	进入干燥机的刨片量由湿刨片仓的出料装置调节和控制。干燥介质为热烟气。在干燥机内将刨片干燥至含水率 4%-5%。
7	分层施胶 Glueing	干刨片进入筛选机筛分，合格刨片由机械运输机分别送入芯、表层干刨片仓。面层刨片、芯层刨片经准确计量后进入滚筒式拌胶机，施胶采用计算机控制。过细刨片筛选后用作能源工厂燃料。
8	定向铺装与热压 Mat formation	通常施胶刨片由定向铺装机分底层、芯层和面层分层铺装，经铺装的板坯带需要通过生产线上的在线称重、和 X-Ray 金属探测进行检查，经检查不合格的板坯将被重新回收利用，合格板坯自动进入连续式热压机热压成型。
9	热压成型 Hot pressing	连续式热压机以能源工厂供给的热油为导热介质，而压机的热压温度、热压压力和钢带运行速度则由中央控制室计算机的自动控制系统控制。
10	毛板处理 Post processing	压制好的连续毛板带经纵向齐边和横向截断成一定规格的毛板块，当毛板块冷却到一定温度后，进入裁板锯锯割成规定幅面的成品板，然后由堆垛机堆垛，经检验、分等和包装后由叉车运至成品库贮存。
11	空气除尘设备 Sanding	如需砂光产品则还须送至砂光生产先进行砂光，再经检验、分等、包装后运至成品库。期间产生的边角料和砂光粉则被热能中心作燃料。

3.3 清单分析

本研究的清单分析开始于原木的堆垛产地，终止于产品的后期处理及能源工厂循环再利用。研究中量化的内容包括资源、能源消耗和向环境的排放（包括气体、固体、液体这三类废弃物）。研究时，要首先对该系统的输入输出进行分类，然后根据研究范围所确定的系统边界进行分类和特征化，即利用环境影响负荷指标体系进行特征化分析，然后通过归一化方法进行量化评估，赋予环境影响类型一个标度值，使其可量化。

因我国人造板生产型企业管理水平有限，存在统计数据欠缺的现象，且部分数据不能按照生命周期评价所规定的方法直接获得。因此，本研究将结合企业调查数据和国内外相关文献，以及 GaBi ts 软件的数据库来对缺失数据进行处理。

详细数据来源主要包括：

- （1）原木材料组成数据结合企业调研数据和国外相关文献。
- （2）定向刨花板生产过程中的能源消耗主要来自企业调研数据，并结合国外相关文献数据进行修正。
- （3）能源生产如电力生产来自国内相关文献，原材料生产数据如胶黏剂、塑料等生产来自 GaBi ts 软件的数据库(主要为欧洲国家的生产数据)。

3.3.1 基础数据

按 ISO 14040 《Environmental management-LCA-Principles and framework》环境管理——生命周期评估：原则与框架指导下，OSB 生产过程可按先后顺序分为一系列生产工序单元，各工序单元之间存在着紧密的物质流和能量流关系，由于各工序单元对于物质和能量的需求也存在较大差异，导致了互相之间交换的物质流和能量流的大小不同。确定好各工序单元在物质与能量方面的输入和输出状况，为生产过程的系统优化提供依据另一方面通过对比各工序单元在物质与能量方面的输入、输出和利用状况，能够识别出工艺过程中的关键环节，进而通过分析该工序单元的设备装置和生产情况，找到影响该工序单元资源消耗方面的原因，为生产过程中的环境管理与污染控制提供依据，通过这两方面实现定向刨花板企业的清洁生产^[90]。

3.3.1.1 确定原材料获取阶段的清单数据

定向刨花板企业需要大量的木材(指符合径材要求的原木)作为原材料,还需确定原材料、初级产品辅助材料/添加剂使用清单。OSB 产品生产过程中原材料及辅助材料获取阶段的清单数据应涵括:

(1) OSB 工厂的选址区域、厂房及原木堆场占地面积、原材料及辅助材料日均使用量。

(2) 原材料相关参数:木材的树种、径级、含水率、树皮含量等;以及辅助材料相关参数:类别,品牌、关键技术指标。

3.3.1.2 基本单元刨片制备、板坯成型以及热压阶段各工序的清单数据

定向刨花板产品生产系统基本单元刨片制备、板坯成型和热压阶段的清单数据应包含基本单元刨片制备、板坯成型和热压阶段各个工序的技术指标和产生的废弃物;并且包含每一道工序所产生的噪声、“三废”以及排放量。刨片、分层施胶、定向铺装及连续热压是 OSB 产品的重要工序,对于 OSB 的产品质量和生产成本的有重要影响。这些工序又具体包括热磨、施胶、干燥、铺装、预压、热压等。清单数据需要包括这些工序的详细数据。

3.3.1.3 后期加工阶段各工序的清单数据

后期加工阶段应包括生产后期对板坯的再加工各道工序清单数据。这一阶段包括冷却、裁边、砂光等工序,清单数据需要包括这些工序的物质流和能量流等详细数据。

3.3.2 定向刨花板清单分析内容

(1) 分析原材料、初级产品辅助材料/添加剂使用情况,以及基础木材材料占比情况,确定在整个生命周期的制造过程中各个环节的技术指标;

(2) 能源消耗分析:研究所选企业的动力来源结构,确定热能工厂提供能源的比例。确定不同工序如能耗较大与能耗不大的过程进行比较,以及确定各个生产工艺过程的能耗占情况;

(3) 环境排放清单分析:分析定向刨花板生产过程中的废弃物排放主要是废水、废气和固体废弃物的排放情况,另外还有排渣、噪声及其数值。

3.3.3 中国典型 OSB2 生命周期清单分析

本研究对象为 OSB 2/OSB 3/OSB 4 三种等级的产品。由于三种板材的工艺步骤基本相同，所以我们先以 OSB2 板材的所有流程为基础建立整个方案，并在此基础上完成三种板材的生命周期物质流模型建模。

3.3.3.1 OSB 2 原材料消耗清单分析

本研究中，以 1m^3 定向刨花板 OSB2 等级为单位，原木材料消耗 1993.91kg。OSB 2 等级的产品原料为单一杨木树种，平均原木大头直径径级约 18cm，小头直径径级约 12cm，原木平均含水率超 70%。生产中使用的胶黏剂为 100%固含量的聚异氰酸酯（PMDI），表层施胶量 3.2%、芯层施胶量 2.7%。每 1m^3 的 OSB2 消耗了 14.68kg PMDI，分层施胶时添加了新鲜水及石蜡，每 1m^3 的 OSB2 消耗了 30.43kg 新鲜水以及 3.05kg 石蜡。在整个生命周期的制造过程中，各环节的技术指标如下：

（1）刨片传输机干燥工艺中，热烟气进口温度为 550°C ，出口温度为 45°C ，干燥介质为热烟气，在干燥机内将刨花干燥至含水率 4%-5%；

（2）热压成型工序中，热油采用专用闭路管道封闭循环、热压进入连续式热压机的进口温度为 283°C ，出口温度为 260°C ，连续式热压机采用无缝钢带传动。

不需砂光的板材经检验合格后直接由叉车运至工厂仓库堆存。每 1m^3 定向刨花板 OSB2 需要消耗 423.08g 打包用硬纸板、34.58g 塑料包装、953.55g 打包用钢带、10532.05g 木质垫条。

在热能工厂，生产 1m^3 的 OSB2 需消耗 43.16kg 砂光粉，285.6kg 木屑料（树皮、碎料、边角废料），同时还要另外购买 35.13kg 木屑料用以补充能源工厂之用。

3.3.3.2 OSB 2 能源消耗清单分析

一般而言，工厂生产线中小型设备的动力来源结构相对简单，各工序上的小型机械传动设备大部分靠工业用电来供应，仅少部分是靠柴油驱动。对拥有连续生产线的企业而言，大型设备还能充分利用热能工厂的能源作为能源。热能工厂可利用定向刨花板加工产生的大量剩余边角料、树皮、锯边条、锯屑、砂光粉以及外购木料等废弃物，通过焚烧系统来产生热量，向定向刨花板生产线的有关设备提供热能。能源工厂通过焚烧产生的热烟气经过除尘处理后，直接通过管道传输至干燥工序的旋风干燥机中，用来干燥

湿刨片，而能源工厂焚烧形成的高温导热油则通过管道留到热压机把热能传递给热压板，以便热压工序之用。

以生产 1m^3 的 OSB2 为单位，设定设备的有效功效为 80%，各工序中的耗能情况如下：

(1) 在去皮工序中：功率为 107kW 的运输机要消耗电力 4.86 度，在耗电量上排名第一；功率为 54kW 的传送带耗电 2.45 度，剥皮车消耗柴油 0.3L（每天需消耗掉 160L）。

(2) 在刨片工序中：消耗电力最多的是功率为 1050kW 的长材刨片机，为 39 度/ m^3 ，然后是功率为 260kW 的运输机，为 9.45 度/ m^3 。

(3) 在刨片传输及干燥工序中：每生产 1m^3 定向刨花板 OSB2，需消耗热能中心供应的 13804kg 热烟气，消耗电力最多是功率为 630kW 的机械传送设备，为 28.6 度/ m^3 ；其次是功率为 82kW 的湿刨花料仓，为 3.73 度/ m^3 ，然后是功率为 5.5kW 的机械传送设备，为 9.45 度/ m^3 。

(4) 在分层施胶工序中：消耗电力最多的是功率为 150kW 的筛选机，需 5.5 度/ m^3 ；其次是功率为 125kW 的机械传送设备，需 4.5 度/ m^3 ；再次是功率为 30kW 的运输机和芯层滚筒拌胶机设备，各需耗电 1 度/ m^3 。

(5) 在定向铺装工序中：消耗电力最多的是功率为 160kW 的机械传送设备，需 5.8 度/ m^3 ；其次是功率为 22kW 的底层刨片铺装头和表层刨片铺装头设备，各需消耗电力 0.8 度/ m^3 ；再次是功率为 18kW 的芯层刨片铺装头，需 0.65 度/ m^3 。

(6) 在热压成型工序中：消耗电力最多的是功率为 940kW 的风送组设备，需 34.2 度/ m^3 ；其次是功率为 208kW 的连续式热压机，需 7.56 度/ m^3 ；再次是功率为 163kW 的导热油泵，需 5.92 度/ m^3 ；最后是功率为 121kW 的液压泵，需 4.4 度/ m^3 。

(7) 毛板处理工序中：消耗电力最多的是功率为 313kW 的机械传送设备，需 11.39 度/ m^3 ；其次是功率为 18kW 的冷却翻板机，需 0.67 度/ m^3 。

(8) 空气除尘工序中：消耗电力最多的是功率为 600kW 的砂光机（设备能效 50%），需 13.6 度/ m^3 ；其次是机械传送叉车，需消耗柴油 0.5L/ m^3 （每天需消耗柴油 280L）。

(9) 在热能中心：消耗电力最多是功率为 180kW 的导热油泵电机，需 6.5 度/ m^3 ，其次是功率为 82kW 的鼓风机，需 2.98 度/ m^3 。

总体来看, 工序能耗较大的是热压成型工序, 共消耗电力 52.08 度/m³; 其次是刨片工序, 共消耗电力 48.45 度/m³; 再次是刨片传输机干燥工序, 共消耗电力 32.58 度/m³。剩余工序按消耗电力的多少进行顺序, 顺序为空气除尘工序、毛板处理工序、分层施胶工序、热能工厂工序、定向铺装工序及去皮工序, 消耗的电力依次为 13.6 度/m³、12.06 度/m³、12 度/m³、9.48 度/m³、8.05 度/m³ 及 7.31 度/m³。通过各工序单元的能源消耗分布分析, 企业可有针对性地提高高能耗设备能耗利用率来有效降低能耗。

除了考虑生产工序中的耗能, 我们还需考虑整个生命周期中的其它环节。在本研究中, 原木从码垛场地运抵剥皮车间的直线距离约为 100 米; 胶黏剂全部为外购, 运输方式为密封式罐装汽车, 运输距离约为 1000km; 热能中心的部分木屑料需要外购, 采用汽车运输, 运输距离约为 50km。以生产 1m³ 的 OSB2 为单位, 需热能工厂输出热烟气为 11549.9m³, 热油 28.04kg/m³。

3.3.3.3 OSB 2 环境排放清单分析

定向刨花板的生产过程中, 排放的废弃物主要是废水、废气和固体废弃物。我们以生产 1m³ 定向刨花板 OSB2 为单位, 考察不同工序中的排放情况:

(1) 在去皮工序: 原木首先被抓至横向运输机上, 通过剥皮机剥皮后, 树皮作为副产品产出, 输出 258.54kg/m³, 所有树皮可作为能源工厂的燃料从而为生产线供应能源。

(2) 刨片工序中: 会有不合格的木芯作为副产品产生, 输出 0.73kg/m³。

(3) 刨片传输机干燥工序中: 副产品为筛分后的碎料, 输出 24.34kg/m³; 气体废弃物为烟尘, 为 58.42g/m³; 另外还有粉尘(草木灰)废弃物排放, 为 405.68g/m³。

(4) 在热压成型工序: 连续式热压机以热油为热介质, 热压过程中伴随着胶黏剂及水份的迅速挥发, 排放 26.24kg/m³; 对大气排放粉尘为 12.17g/m³。

(5) 在毛板处理过程中, 纵向齐边后的边角废料为 2.27kg/m³。

(6) 热能工厂的废弃物较多, 其中对大气排放 SO₂ 和烟尘, 分别达到 1.46g/m³ 和 58.42g/m³; 向水体排放甲醛、氨氮、悬浮物和 COD, 分别为 0.25 g/m³、3.85 g/m³、43.81 g/m³、148.88 g/m³; 此外还有滤渣(草木灰)等固体废弃物排放, 为 21.30kg/m³。

本研究调研的工厂, 平均一天可生产 493m³OSB2, 表 3-3 和 3-4 记录了其 1m³ OSB2 的输入输出清单。

表 3-3 1m³ OSB2 生命周期输入清单Tab.3-3 Input in LCI of 1m³ OSB2

材料输入 Materials INPUT	单位 Unit	合计 Sum
原木材料 Wood materials (含水率≥70%)	kg	1993.91
胶黏剂-异氰酸脂 Adhesive-PMDI	kg	14.68
防水剂-石蜡 Waterproofingagent-paraffin	kg	3.05
硬纸板 Cardboard	kg	0.423
PC 塑料包角 PC plastic wrap angle	kg	0.035
打包带(钢带) Packing tape (strip)	kg	0.954
木质垫条 Wooden mat strip	kg	10.532
添加剂-水 Additive-water	kg	30.43
电力 Electricity	kWh	195.61
柴油 Diesel fuel	L	0.80
外购木屑料 Sawdust materials purchased	kg	34.23

表 3-4 1m³ OSB2 生命周期输出清单Tab.3-4 Output in LCI of 1m³ OSB2

输出 OUTPUT	材料 Materials	单位 Unit	OSB2 合计 Sum
产品 Output	定向刨花板 OSB	kg	608
	树皮 Bark	kg	258.54
副产品 Output	碎料 Particles	kg	26.61
	砂光粉 Sanding powder	kg	43.16
废弃物 Output	粉尘 Dust	kg	0.406
	滤渣 Slag	kg	21.3
	二氧化硫 SO ₂	g	0.727
	氨氮 Ammonia&nitrogen	g	3.85
空气&水体排放 Output	悬浮物 Suspension	g	43.81
	化学需氧量 COD	g	148.88
	游离甲醛 formaldehyde	g	0.25

3.3.3.4 OSB 2 物质流 LCA 模型

GaBi 软件通过建立 OSB2 物质流 LCA 模型,可为 OSB2 各工序数据输入、管理和使用提供可视化的模块型框架,通过每个过程单元的物质流输入和物质流输出进行链接,展示 OSB2 详细的物质流全景图。定向刨花板企业生产过程可按照生产类型及产品的不同分为各类生产子系统,而生产子系统由一系列工序单元所构成,因此企业层面的物质流分析可界定为工序单元、生产子系统、企业三个层次。以产品的整个生产过程为分析的最大边界,以工序单元为研究的最小单元。以质量守恒定位为基础,将 OSB2 每一个

工序单元视为单独的黑箱，在此基础上再综合各工序单元的物质流之和，分别得到各工序单元子系统，以及 OSB2 整个生产工艺过程的物质流模型如图 3-3。因此，定向刨花板产品的物质流分析是一个“分解”再到“综合”的过程。

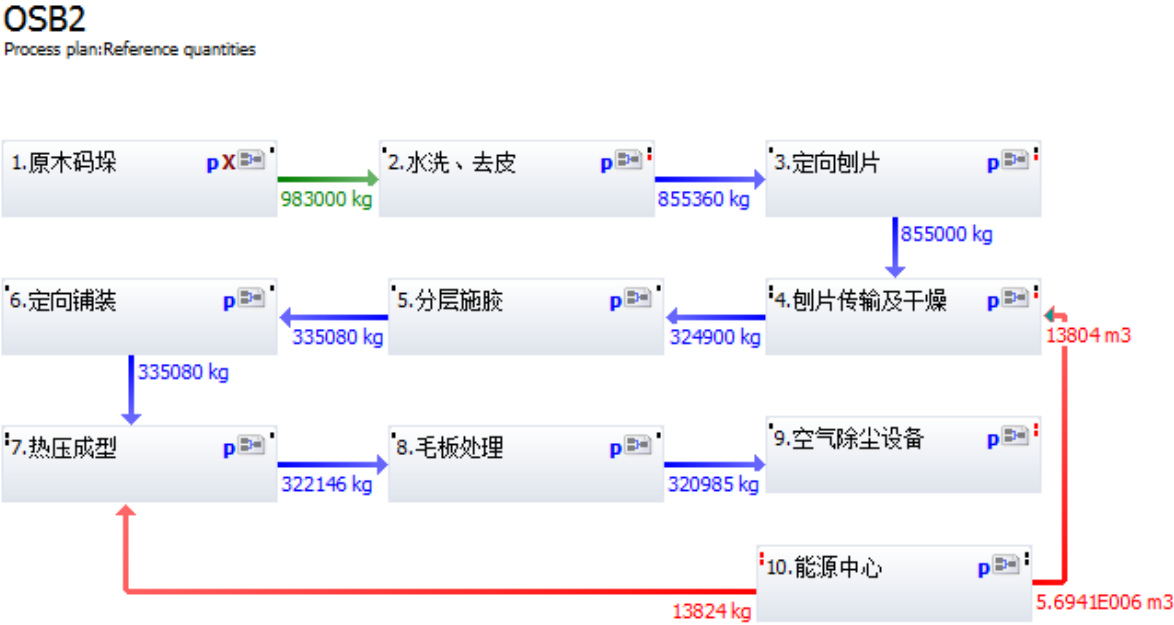


图 3-3 493m³ OSB 2 的 LCA 生命周期物质流模型

Fig.3-3 The material flow model of LCA of of 493m³ OSB2

3.3.4 中国典型 OSB3 生命周期清单分析

3.3.4.1 OSB3 原材料消耗清单分析

本研究中，以 1m³ 定向刨花板 OSB3 等级为单位，原木材料消耗 1993.91kg。OSB3 等级的产品原料为单一杨木树种，平均原木大头直径径级约 18cm，小头径级约 12cm，原木平均含水率超 70%。生产中使用的胶黏剂为 100%固含量的聚异氰酸酯（PMDI），表层施胶量 3.5%、芯层施胶量 3%。每 1m³ 的 OSB3 消耗了 22.96kg PMDI，分层施胶时添加了新鲜水及石蜡，每 1m³ 的 OSB3 消耗了 30.43kg 新鲜水以及 6.29kg 石蜡。

在整个生命周期的制造过程中，各主要环节的技术指标同 OSB2，不同的环节如下：

不需砂光的板材经检验合格后直接由叉车运至工厂仓库堆存。每 1m³ 定向刨花板 OSB3 需要消耗 423.08g 打包用硬纸板、34.58g 塑料包装、953.55g 打包用钢带、10532.05g 木质垫条。

在热能工厂，生产 1m³ 的 OSB3 需消耗 44.02kg 砂光粉，285.64kg 木屑料（树皮、碎料、边角废料），同时还要另外购买 34.23kg 木屑料用以补充能源工厂之用。

表 3-5 1m³ OSB3 生命周期输入清单

Tab.3-5 Input in LCI of 1m³ OSB3

材料输入 Materials INPUT	单位 Unit	合计 Sum
原木材料 Wood materials（含水率≥70%）	kg	1993.91
胶黏剂-异氰酸脂 Adhesive-PMDI	kg	22.96
防水剂-石蜡 Waterproofingagent-paraffin	kg	6.29
硬纸板 Cardboard	kg	0.423
PC 塑料包角 PC plastic wrap angle	kg	0.035
打包带（钢带）Packing tape (strip)	kg	0.954
木质垫条 Wooden mat strip	kg	10.532
添加剂-水 Additive-water	kg	30.43
电力 Electricity	kWh	195.61
柴油 Diesel fuel	L	0.83
外购木屑料 Sawdust materials purchased	kg	34.23

表 3-6 1m³ OSB3 生命周期输出清单

Tab.3-6 Output in LCI of 1m³ OSB3

输出 OUTPUT	材料 Materials	单位 Unit	OSB3 合计
产品 Output	定向刨花板 OSB	kg	620
	树皮 Bark	kg	258.54
副产品 Output	碎料 Particles	kg	26.74
	砂光粉 Sanding powder	kg	44.02
废弃物 Output	粉尘 Dust	kg	0.406
	滤渣 Slag	kg	21.3
	二氧化硫 SO ₂	g	1.46
	氨氮 Ammonia&nitrogen	g	3.85
空气&水体排放 Output	悬浮物 Suspension	g	43.81
	化学需氧量 COD	g	148.88
	游离甲醛 formaldehyde	g	0.25

3.3.3.2 OSB3 能源消耗清单分析

以生产 1m³ 的 OSB3 为单位，设定设备的有效功效为 80%。去皮工序、刨片工序、刨片传输及干燥工序、定向铺装工序、热压成型工序、毛板处理工序、热能中心的能源消耗情况与 OSB2 一致。

分层施胶工序中：因为 OSB3 相较于 OSB2，在生产过程中的施胶量更大，所以消耗电力最多是功率为 150kW 的筛选机，需 5.8 度/m³，略高于 OSB2 的 5.5 度/m³；其次是功率为 125kW 的机械传送设备，需消耗电力 4.5 度/m³；然后是功率为 30kW 的运输机和芯层滚筒拌胶机设备，各需消耗电力 1 度/m³。

空气除尘工序中，OSB3 要高于 OSB2 等级：因为 OSB3 等级产品密度更大，消耗电力最多是功率为 600kW 的砂光机（设备能效 50%），需 15 度/m³，高于 OSB2 等级的 13.6 度/m³，其次是机械传送叉车需消耗柴油 0.53L/m³（每天需消耗柴油 295L）。

总体来看，OSB3 等级生产中工序能耗较大的仍然是热压成型工序，共消耗电力 52.08 度/m³，其次是刨片工序，共消耗电力 48.45 度/m³，然后是刨片传输机干燥工序，共消耗电力 32.58 度/m³，剩余工序依次为空气除尘工序、分层施胶工序、毛板处理工序、热能工厂工序、定向铺装工序及去皮工序；分别依次为 15 度/m³、12.95 度/m³、12.06 度/m³、9.48 度/m³、8.05 度/m³ 及 7.31 度/m³。通过各工序单元的能源消耗分布分析，企业可有针对性地提高高能耗设备能耗利用率来有效降低能耗。

OSB3 生产中也需考虑运输过程中的能耗，具体内容同 OSB2。

3.3.4.3 OSB3 环境排放清单分析

对环境的排放种类及数值同 OSB2。本研究调研的工厂，平均一天可生产 493m³ OSB3，表 3-5 和 3-6 记录了其 1m³ 的输入输出清单。



图 3-4 493m³ OSB 3 的 LCA 生命周期物质流模型

Fig.3-4 The material flow model of LCA of of 493m³ OSB3

3.3.4.4 OSB 3 物质流 LCA 模型

GaBi 软件通过建立 OSB3 物质流 LCA 模型,可为 OSB3 各工序数据输入、管理和使用提供可视化的模块型框架,通过每个过程单元的物质流输入和物质流输出进行链接,展示 OSB3 详细的物质流全景图如图 3-4 所示。

3.3.5 中国典型 OSB 4 生命周期清单分析

3.3.5.1 OSB 4 原材料消耗清单分析

本研究中,以 1m^3 定向刨花板 OSB 4 等级为单位,原木材料消耗 2216.1kg。OSB4 等级的产品原料为单一杨木树种,平均原木大头直径径级约 18cm,小头直径径级约 12cm,原木平均含水率超 70%。生产中使用的胶黏剂为 100%固含量的聚异氰酸酯 (PMDI),表层施胶量 7.5%、芯层施胶量 7%。每 1m^3 的 OSB 4 消耗了 53.34kg PMDI,分层施胶时添加了新鲜水及石蜡,每 1m^3 的 OSB 4 消耗了 26.03kg 新鲜水以及 10.29kg 石蜡。

在整个生命周期的制造过程中,各主要环节技术指标同 OSB2/OSB3 的不在赘述,不同环节如下:

不需砂光的板材经检验合格后直接由叉车运至工厂仓库堆存。每 1m^3 的 OSB 4 需要消耗 423.01g 打包用硬纸板、34.59g 塑料包装、953.51g 打包用钢带、10536.56g 木质垫条。

在热能工厂,生产 1m^3 的 OSB 4 需消耗 8.28kg 砂光粉,244.17kg 木屑料(树皮、碎料、边角废料),同时还要另外购买 244.69kg 木屑料用以补充能源工厂之用。

3.3.5.2 OSB 4 能源消耗清单分析

(1) 在去皮工序中:消耗电力最多是功率为 107kW 的运输机,要消耗电力 5.38 度;然后是功率为 54kW 的传送带,需消耗电力 2.75 度,而剥皮车需消耗柴油 0.33L。这些值均高于 OSB2/3。

(2) 在刨片工序中:消耗电力最多的是功率为 1050kW 的长材刨片机,为 42 度/ m^3 ,然后是功率为 260kW 的运输机设备需消耗电力 10.64 度/ m^3 。

(3) 在刨片传输及干燥工序中:每生产 1m^3 的 OSB 4,需消耗热能中心供应的 13804kg 热烟气,同 OSB2/3;消耗电力最多的是功率为 630kW 的机械传送设备,需消耗电力 51.44 度/ m^3 ,远高于 OSB2/3 的 28.6 度/ m^3 ;其次是功率为 82kW 的湿刨花料仓需消耗电力 6.84

度/m³，高于 OSB2/3 的 3.73 度/m³；然后是功率为 5.5kW 的机械传送需消耗电力 0.46 度/m³，小于 OSB2 的 9.45 度/m³。

(4)在分层施胶工序中：消耗电力最多的是功率为 150kW 的筛选机，需 10.08 度/m³；其次是功率为 125kW 的机械传送设备需消耗电力 8.25 度/m³，然后是功率为 30kW 的运输机和芯层滚筒拌胶机设备各需消耗电力 1.83 度/m³，这些数值均高于 OSB2/3。

(5)在定向铺装工序中：消耗电力最多是功率为 160kW 的机械传送设备，需 10.63 度/m³，其次是功率为 22kW 的底层刨片铺装头和表层刨片铺装头设备各需消耗电力 1.47 度/m³，然后是功率为 18kW 的芯层刨片铺装头需消耗电力 1.19 度/m³，这些数值均高于 OSB2/3。

(6)在热压成型工序中：消耗电力最多是功率为 940kW 的风送组设备，需 62.70 度/m³，其次是功率为 208kW 的连续式热压机需消耗电力 13.86 度/m³，然后是功率为 163kW 的导热油泵需消耗电力 10.80 度/m³，最后是功率为 121kW 的液压泵需消耗电力 8.07 度/m³，这些数值均高于 OSB2/3。

(7)在毛板处理工序中：消耗电力最多是功率为 313kW 的机械传送设备，需 21.87 度/m³，其次是功率为 18kW 的冷却翻板机需消耗电力 1.23 度/m³。这些数值均高于 OSB2/3。

(8)在空气除尘工序中：消耗电力最多是功率为 600kW 的砂光机（设备能效 50%），需 14.96 度/m³，其次是机械传送叉车需消耗柴油 0.53L/m³。这些数值均高于 OSB2/3。

(9)在热能中心：消耗电力最多的是功率为 180kW 的导热油泵电机，需 11.92 度/m³，其次是功率为 82kW 的鼓风机需消耗电力 5.46 度/m³，这些数值均高于 OSB2/3。

总体来看，工序能耗较大的是热压成型工序，共消耗电力 95.43 度/m³，其次是刨片传输机干燥工序，共消耗电力 58.74 度/m³，然后是刨片工序，共消耗电力 52.64 度/m³，剩余工序顺序依次为毛板处理工序、分层施胶工序、热能工厂工序、空气除尘工序、定向铺装工序及去皮工序；分别依次为 23.1 度/m³、21.99 度/m³、17.38 度/m³、14.96 度/m³、14.76 度/m³ 及 7.31 度/m³。通过各工序单元的能源消耗分布分析，企业可有针对性地提高高能耗设备能耗利用率来有效降低能耗。

另外，原木从码垛产地运抵剥皮车间的直线距离约为 100 米，胶黏剂全部为外购，运输方式为密封式罐装汽车，运输距离约为 1000km。另外还有热能中心的部分木屑料需

要外购，采用汽车运输，运输距离约为 50km，以生产 1m³ 定向刨花板 OSB2/3 为单位，需热能工厂输出热烟气为 21175.55m³，热油 51.41kg/m³，这些数值均高于 OSB2/3。

表 3-7 1m³ OSB 4 生命周期输入清单

Tab.3-7 Input in LCI of 1m³ OSB 4

材料输入 Materials INPUT	单位 Unit	合计 Sum
原木材料 Wood materials(含水率≥70%)	kg	2216.10
胶黏剂-异氰酸脂 Adhesive-PMDI	kg	53.34
防水剂-石蜡 Waterproofingagent-paraffin	kg	10.29
硬纸板 Cardboard	kg	0.423
PC 塑料包角 PC plastic wrap angle	kg	0.035
打包带（钢带）Packing tape (strip)	kg	0.954
木质垫条 Wooden mat strip	kg	10.537
添加剂-水 Additive-water	kg	26.03
电力 Electricity	kWh	307.46
柴油 Diesel fuel	L	0.83
外购木屑料 Sawdust materials purchased	kg	244.69

表 3-8 1m³ OSB 4 生命周期输出清单

Tab.3-8 Output in LCI of 1m³ OSB 4

输出 OUTPUT	材料 Materials	单位 Unit	合计 Sum
产品 Output	定向刨花板 OSB	kg	680
	树皮 Bark	kg	288.2
副产品 Output	碎料 Particles	kg	29.97
	砂光粉 Sanding powder	kg	48.28
废弃物 Output	粉尘 Dust	kg	0.558
	滤渣 Slag	kg	27.89
	二氧化硫 SO ₂	g	2.68
	氨氮 Ammonia&nitrogen	g	7.77
空气&水体排放 Output	悬浮物 Suspension	g	80.33
	化学需氧量 COD	g	272.96
	游离甲醛 formaldehyde	g	0.46

3.3.5.3 OSB 4 环境排放清单分析

OSB 4 的排放物较 OSB2/3 多，在去皮工序中树皮输出量为 288.21kg/m³，将在能源工厂中作为燃料供应能源。刨片工序中的不合格的木芯输出 1.49kg/m³。刨片传输机干燥工序中筛分后的碎料输出 27.04kg/m³；气体废弃物为烟尘，为 107.1g/m³，另外还有粉尘（草木灰）废弃物排放，为 557.83g/m³。在热压成型工序：连续式热压机以热油为热介质，

热压过程中伴随着胶黏剂及水份的迅速挥发，排放 49.83kg/m³；对大气排放粉尘为 13.02g/m³。在毛板处理过程中，纵向齐边后的边角废料为 2.93kg/m³。热能工厂的废弃物较多，其中对大气排放 SO₂ 和烟尘，分别达到 2.68g/m³ 和 107.1g/m³；并向水体排放甲醛、氨氮、悬浮物和 COD，分别为 0.46 g/m³、7.07 g/m³、80.33 g/m³、272.96 g/m³；另外还有滤渣（草木灰）作为固体废弃物排放，为 27.89 g/m³。

本研究调研的工厂，平均一天可生产 268.9m³ OSB 4，表 3-7 和 3-8 记录了 1m³ OSB4 的输入输出清单。

3.3.5.4 OSB 4 物质流 LCA 模型

GaBi 软件通过建立 OSB4 物质流 LCA 模型，可为 OSB4 各工序数据输入、管理和使用提供可视化的模块型框架，通过每个过程单元的物质流输入和物质流输出进行链接，展示 OSB4 详细的物质流全景图如图 3-5 所示。



图 3-5 268.9m³ OSB 4 的 LCA 生命周期物质流模型

Fig.3-5 The material flow model of LCA of of 268.9m³ OSB 4

3.3.6 缺失数据处理

鉴于目前中国人造板行业整体的生产现状，要做到全生产线数据监测仍然是一件比较困难的事情。尽管某些连续设备是由国外品牌机械制造商供应，但某些工序上的设备主要用途还是主要服务于生产经营目的，对于生产过程中对环境的固体废弃物、液体废

弃物，尤其是气体废弃物的检测确实有所缺失。对于数据缺口，我们按照国际通行的做法来进行处理，不重要的数据即可在合理的情况下亦将其忽略不计，或者直接假设为零。但是重要的数据我们需要引用其它合理的数据库数据来替代或填补。

在定向刨花板的生命周期评价清单分析中，我们根据实际情况引用了 GaBi ts 中数据库资源。分别如下：去皮工序中柴油车环境排放参考引用了 CN:Diesel mix at refinery PE 数据；分层施胶工序中，聚异氰酸酯 PMDI 胶黏剂对环境排放参考引用了 DE:ADHESIVE SYSTEM PMDE(100% solid content)，添加剂用石蜡环境对环境排放参考引用了 CN:Wax/Paraffins at refinery PE；毛板处理工序中，包装用瓦楞纸板对环境排放参考引用了 EU-25:Corrugated board boxes ELCD/FEFCO，包装用塑料 PU 包角对环境排放参考引用了 DE:Polyethylene High Density Granulate，包装用钢带对环境排放参考引用了 DE:Steel sheet HDG PE，包装用木垫条对环境排放参考引用了 DE:Wood fibre board(EN 15804 A1-A3)PE；空气除尘工序中柴油机械传送叉车对环境排放也参考引用了 CN:Diesel mix at refinery PE 数据。

3.4 本章小结

为了更好聚焦于定向刨花板的生产工艺及工厂运营的改进，本研究为“Gate-to-Gate”，而非“Cradle-to-Gate”或者是“Cradle-to- Cradle”。分别对三种定向刨花板产品 OSB 2、OSB 3、OSB 4 进行生命周期评价和比较，本章小结如下：

(1) 确定了我国定向刨花板生命周期评价目的及系统边界，并收集了一家典型性中国 OSB 生产企业 OSB 2/OSB 3/OSB 4 三种等级产品的加工制造、环境排放数据清单数据，并对 OSB 产品的各生产工艺过程展开生命周期评价研究；

(2) 通过 LCI 清单分析，以 1 立方米 OSB3 等级为例：生产中工序能耗较大的是热压成型工序，共消耗电力 52.08 度，占比 26.6%；其次是刨片工序，共消耗电力 48.45 度，占比 24.8%；然后是刨片传输机干燥工序，共消耗电力 32.58 度，占比 16.7%。

(3) 原木从码垛场地运抵剥皮车间的直线距离约为 100 米；胶黏剂全部为外购，运输方式为密封式罐装汽车，运输距离约为 1000km；热能中心的部分木屑料需要外购，采用汽车运输，运输距离约为 50km。以生产 1m^3 的 OSB3 为单位，需热能工厂输出热烟气为 11549.9m^3 ，热油 $28.04\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(4) 热能工厂的废弃物较多, 以生产 1m^3 的 OSB3 为单位, 其中对大气排放 SO_2 和烟尘, 分别达到 $1.46\text{g}/\text{m}^3$ 和 $58.42\text{g}/\text{m}^3$; 向水体排放甲醛、氨氮、悬浮物和 COD, 分别为 $0.25\text{ g}/\text{m}^3$ 、 $3.85\text{ g}/\text{m}^3$ 、 $43.81\text{ g}/\text{m}^3$ 、 $148.88\text{ g}/\text{m}^3$; 此外还有滤渣(草木灰)等固体废弃物排放, 为 $21.30\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 通过建立物质流 LCA 模型, 分别为 OSB2/OSB3/OSB4 各工序建立数据输入、管理和使用提供可视化的模块型框架, 通过每个过程单元的物质流输入和物质流输出进行链接, 分别列出了 OSB2/OSB3/OSB4 的 生命周期输入输出清单和 LCA 物质流模型。

第四章 定向刨花板生命周期影响评价及解释

生命周期影响评价(LCIA)可评价产品生产过程对环境影响的实际负荷情况,是生命周期评价中最为关键和重要的部分。本研究根据 LCA 生命周期中清单分析步骤,以及利用清单分析所获得的数据,将基于生命周期分析法对 OSB 产品生产系统进行环境影响评价,并对定向刨花板进行生命周期影响分析。对定向刨花板生命周期影响评价之前,必须根据评价范围所确定的系统边界内,对 OSB 生命周期内的环境影响进行分类,再按照 GaBi ts 所提供的计算方法对各影响分类结果进行特征化计算,然后再进行量化评估并最终赋予环境影响类型一个可供比较、可供量化的标度值。

在 LCA 前三阶段完成之后,便需要运用系统化的程序对 OSB 生命周期影响评价结果进行识别、判断、检查,并最终得出结论、提出建议。并根据 OSB 生命周期清单分析和影响评价阶段的结果进行识别,是否存在重大问题;评估是对 LCA 过程的完整性、敏感性、一致性进行检查,从而使研究结果更可靠。

4.1 中国定向刨花板生命周期影响评价

4.1.1 CML 2001 分类评价方法

本文采用生命周期评价软件 GaBi ts 提供的 CML200I (CML2001-Apr.2013) 评价方法。生命周期清单分析结果能够充分显出生产过程中各种物质流和能量流输入和输出的相对值,如果需要进一步掌握各种废弃物产生的环境影响及相对值大小,就需要通过分类评价方法进一步确定生命周期内的环境影响。

根据本论文所确定的评价目的和系统边界范围,对 OSB 产品从原材料进厂到产品完成全过程所带来的环境影响进行分类。其产品生产系统可按照影响类别及目前普遍关注的问题将所排放污染物划分为四类,分别为:固体废弃物、气体废弃物、液体废弃物及其它。由于 OSB 车间产生的砂光粉以及固体废弃物(如树皮、木芯及滤渣等)可以用做锅炉燃烧的原料,故 OSB 生产系统中将固体废弃物对环境的影响转化为燃烧物对大气的影响类别中去。下面简要描述该方法影响评价的主要步骤。

4.1.1.1 影响分类

将评价方法首先需要对清单过程中各种能源消耗情况和不同污染物排放的环境影响分成不同类别,并确定好每个分类影响的类别指标^[94]。按照 GaBi ts 软件的 CML 2001 分类方法,主要分类影响可分为^[95]:非生物性资源耗损 (Abiotic Depletion, 简称 ADP)、酸化效应 (Acidification Potential, 简称 AP)、富营养化 (Eutrophication Potential, 简称 EP)、淡水水生生物毒性 (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot, 简称 FAETP inf.)、全球气候变暖(Global Warming Potential 100 years, 简称 GWP 100years) 、除生物外全球气候变暖(Global Warming Potential excl biogenic carbon, 简称 GWP 100)、人体毒性潜能 (Human Toxicity Potential 简称 HTP)、海洋水生生物毒性 (Marine Aquatic Ecotoxicity Pot, 简称 MAETP)、即臭氧层损耗 (Ozone Layer Depletion Potential, 简称 ODP)、光化学烟雾 (Photochem. Ozone Creation Potential, 简称 POCP) 及陆地生态毒性潜能 (Terrestrial Ecotoxicity Potential, 简称 TETP)。

本文主要考虑定向刨花板生产过程中的环境影响,因此选取了所有十二个影响类型中的六个,分别为:非生物性资源耗损 (ADP)、酸化效应 (AP)、富营养化 (EP)、全球气候变暖(GWP 100)、臭氧层损耗 (ODP)、光化学烟雾 (POCP)。另外人体毒性潜能 (ATP) 影响类型对总环境影响的贡献值微乎其微^[96],因此本文中不予考虑。

4.1.2 中国 OSB 生命周期评价分类评价方法构建

根据 LCA 生命周期中清单分析步骤,以及利用清单分析所获得的数据,要对 OSB 产品生产系统进行环境影响评价,对从原辅材料运抵工厂大门开始到 OSB 产品完成生产结束全过程所带来的环境影响进行分类。借鉴国内外人造板产品的生命周期评价的成功经验,结合我国定向刨花板产品生产具体情况,以及目前全社会广泛关注的环境热点问题,将微观评价与宏观评价有机地组合,确定了我国定向刨花板 III 型环境标志认证的 KPIs 指标体系,总体上分为 4 级指标,如表 4-2 所示。一级指标为生命周期评价结果;二级指标为资源消耗、环境影响、大气污染、水足迹及水污染、生态环境毒理共五大类指标;三级指标为可再生初级能源消耗、不可再生初级能源消耗、非生物型资源消耗 ADP、温室效应/碳足迹、酸化效应 AP、富营养化 EP、臭氧层损耗 ODP、光化学烟雾 POCP、

颗粒物（含粉尘）、人体健康影响、Water footprint 影响、固体废弃物及噪音影响共十二类评价指标；四级指标为各种资源和相应排放物^[97]。

4.1.1.2 特征化

将定向刨花板清单分析阶段获得的各项清单数据，按照 CML2001 的分类方法以定量化和可量化的特定影响表达。按照 ISO 国际标准要求，LCIA^[98]部分需选定特征化因子（Characterization Factor），这些特征化因子是充分考虑了融合环境科学、生态系统、环境毒理多学科研究成果基础上，通过建立特征化模型的特征化研究方法。如对非生物性资源耗损 ADP，统一以 1kg Sb-Equiv.为当量单位；对酸化效应 AP，统一以 1kg 二氧化硫 SO₂-Equiv.为当量单位；对富营养化 EP，统一以 1kg Phosphate-Equiv.为当量单位；对全球气候变暖 GWP 100，统一以 1kgCO₂-Equiv.为当量单位；对臭氧层损耗 ODP，统一以 1kg R11-Equiv.为当量单位；而对光化学烟雾 POCP 统一以 1kg Ethene-Equiv.为当量单位。对于基于 Mid-point 的 CML2001 方法而言，归一化基准值由于是通过物质性质计算得出，通常不需要考虑到实际环境差异，原则上适用于全世界所有国家^[99]。而不同环境影响分类类型的权重则要考虑地区化差异，以得到客观的总环境影响潜在负荷值。本文考虑的影响类型的环境影响类别^[100]的当量单位见表 4-1。

表 4-1 CML2001 方法的特征化因子表（CML2001-Apr.2013）

Tab.4-1 The characteristic factors of CML2001 method （CML2001-Apr.2013）

环境影响类别 Environmental impact categories	当量单位 Equivalent unit	归一化基准值 CML2001, World	权重 CML2001-Apr. 2013
非生物性资源耗损 ADP	kg Sb-Equiv.	1.5654E+11	0.667
酸化效应 AP	kg SO ₂ -Equiv.	2.99396E+11	0.500
富营养化 EP	kg Phosphate-Equiv.	1.29132E+11	0.143
全球气候变暖 GWP 100	kg CO ₂ -Equiv.	4.45085E+13	0.100
臭氧层损耗 ODP	kg R11-Equiv.	5.15177 E+8	0.333
光化学烟雾 POCP	kg Ethene-Equiv.	4.54906 E+10	0.333

表 4-2 中国定向刨花板生命周期评价环境影响分类指标体系

Tab. 4-2 The classification index system of environmental impact assessment of LCA of OSB in China

一级指标 No.1 indexes	二级指标 No.2 ndexes	三级指标 No.3 indexes	作用范围 Scope	相关污染物清单因子 List of related pollutant factors	来源 Sources
定向刨花板生命周期评价结果 Life Cycle Assessment Results of Oriented strand board	资源消耗 Resource consumption	可再生初级 能源消耗	全球、地 区、当地	总初级能源	矿物消耗、化石能源消耗，原木 材料消耗、外购木屑材料消耗
		不可再生初 级能源消耗	全球、地 区、当地	电力、石油、煤	矿物消耗、化石能源消耗
		非生物型资 源消耗 ADP	全球、地 区、当地	金属锑作为基准物质	矿物消耗、化石能源消耗
	环境分类影响 Environment classification	温室效应/碳 足迹	全球	CO ₂ 、 NO _x 、 CH ₄ 、 CFC ₃ 、 甲基溴（CH ₃ Br）	能源工厂、制胶车间
		酸化效应 AP	地区、当 地	SO ₂ 、 NO _x 、 NH ₃ 和 HCl	干燥、热压、能源工厂
		富营养化 EP	当地	化学需氧量 COD、 PO ₄ 3+、 NO、 NO ₂ 、 NO ₃ -、 氨（NH ₄ +）	干燥、热压、能源工厂
		臭氧层损耗 ODP	全世界	CFCs、 哈龙（卤代烷）、 CH ₃ Br	干燥、热压、能源工厂
		光化学烟雾 POCP	当地	非甲烷系碳氢化合物（NMHC）	干燥、热压、能源工厂
	大气污染 Atmospheric contamination	颗粒物（含粉 尘）	当地	PM _{2.5} 、 PM ₁₀ 车间或生产 设施排气筒	制胶、施胶、铺装、预压、热压、 冷却、裁边、砂光
		人体健康影 响	当地	甲醛、酚类、非甲烷总烃等 VOC 排放(SO ₂ 、 CO ₂ 、 H ₂ S)	纤维制备、干燥、分选、施胶、 铺装、预压、热压、冷却、裁边、 砂光车间或生产设施排气筒
	水足迹及水污染 Water footprint and water pollution	Water footprint 影响	当地	新鲜水消耗、pH 值、色度、悬浮物、五日生化需氧量、化学需 氧量、氨氮、总氮、悬浮物、总磷（磷酸盐）、单位产品基准排 水量	企业废水总排放口、胶粘剂车间、 能源工厂、化验室、污水站、生 活办公
	生态环境毒理 Eco-environmental toxicity	固体废弃物 及噪音影响	当地	不可利用的固体废弃物（有机污染物、无机污染物）、生产噪音、 使用噪音、土壤毒害	剥皮、刨片、分选、施胶、干燥、 铺装、预压、热压、裁边、砂光

4.1.1.3 归一化及加权评估

按照 CML2001 的分类方法以定量化和可量化的特定影响表达之后,需对各种分类影戏的值提供一个可比较的标准^[101],为了更好进行不同产品系统之间进行各环境影响类型的比较,需要对不同 CML2001 影响分类按照不同的归一化基准值进行加权归一,得到一个具有相对大小意义的可比较值,即归一化。基本算法是各影响分类的特征化值除以选定的各基准值来加以转换,然后将不同类型的环境影响潜力利用权重系数综合成一个总的环境影响潜力值^[102]。

权重因子受不同国家、不同地区的环境总体条件、环境问题重点和环境达成目标影响而呈现出差异化特点^[103],因此权重系数应根据所研究产品领域来确定,即要真实反映出社会价值和偏好,还要综合考虑到相关环境标准的多属性价值^[104]。本研究的归一化基准值和权重系数均来自 GaBi ts 软件中 CML2001 (Apr.2013) 评价方法提供的值^[105-106]。OSB2/OSB3/OSB4 详细特征化值、归一化值及加权值分别见表 4-3、表 4-4、表 4-5。

表 4-3 1m³ OSB 2/3/4 的环境影响排放特征化值 (CML2001 - Apr. 2013)

Tab.4-3 The emission characteristics of environmental impact on 1m³ OSB 2/3/4 boards

1m ³ OSB 2	基本单元制备阶段 Preparation stage basic unit				组坯热压成型阶段 Group blank thermoforming stage			后期加工处理阶段 Post-processing stage		
	总特征化值 Total Value	去皮 Skinning	刨片 Directional flaking	干燥 Drying	分层施胶 Glueing	定向铺装 Mat Formation	热压成型 Hot-pressing	毛板处理 After-treatme nt	砂光 sanding	能源中心 Energy Centre
ADP	2.204E-04	3.987E-07	2.418E-06	1.626E-06	1.645E-04	4.017E-07	2.599E-06	4.663E-05	7.352E-07	1.037E-06
AP	1.037	0.031	0.199	0.134	0.205	0.033	0.214	0.067	0.057	0.099
EP	0.096	0.002	0.014	0.009	0.026	0.002	0.015	0.006	0.004	0.017
GWP 100	287.812	7.310	47.698	32.074	86.697	7.925	51.271	21.815	13.578	19.444
ODP	3.625E-08	2.514E-12	1.622E-11	1.090E-11	1.588E-09	2.694E-12	1.743E-11	3.448E-08	4.664E-12	1.277E-10
POCP	0.106	0.003	0.019	0.013	0.024	0.003	0.021	0.008	0.006	0.010
1m ³ OSB3										
ADP	3.074E-04	3.912E-07	2.372E-06	1.595E-06	2.517E-04	3.942E-07	2.550E-06	4.661E-05	8.085E-07	1.017E-06
AP	1.084	0.030	0.195	0.131	0.261	0.032	0.210	0.065	0.063	0.097
EP	0.106	0.002	0.014	0.009	0.037	0.002	0.015	0.006	0.004	0.017
GWP 100	322.052	7.172	46.798	31.469	123.056	7.775	50.304	21.431	14.968	19.079
ODP	3.709E-08	2.467E-12	1.591E-11	1.070E-11	2.434E-09	2.644E-12	1.710E-11	3.448E-08	5.140E-12	1.253E-10
POCP	0.113	0.003	0.019	0.013	0.032	0.003	0.020	0.008	0.006	0.010
1m ³ OSB 4										
ADP	6.558E-04	4.432E-07	2.628E-06	2.932E-06	5.949E-04	7.366E-07	4.763E-06	4.734E-05	8.065E-07	1.349E-06
AP	1.789	0.034	0.216	0.241	0.546	0.061	0.392	0.113	0.063	0.124
EP	0.181	0.002	0.015	0.017	0.083	0.004	0.028	0.009	0.004	0.017
GWP 100	577.469	8.132	51.844	57.828	277.410	14.531	93.948	33.092	14.928	25.755
ODP	6.899E-08	2.796E-12	1.763E-11	1.966E-11	5.757E-09	4.940E-12	3.194E-11	6.304E-08	5.126E-12	1.123E-10
POCP	0.189	0.003	0.021	0.023	0.068	0.006	0.038	0.013	0.006	0.012

表 4-4 1m³ OSB 2/3/4 的环境影响排放归一化值（CML2001 - Apr. 2013）

Tab.4-4 The emission characteristics of environmental impact on 1m³ OSB 2/3/4 boards

1m ³ OSB 2	基本单元制备阶段 Preparation stage basic unit				组坯热压成型阶段 Group blank thermoforming stage			后期加工处理阶段 Post-processing stage		
	总特征化值 Total Value	去皮 Skinning	刨片 Directional flaking	干燥 Drying	分层施胶 Glueing	定向铺装 Mat Formation	热压成型 Hot-pressin g	毛板处理 After-treatme nt	砂光 sanding	能源中心 Energy Centre
ADP	1.41E-15	2.55E-18	1.54E-17	1.04E-17	1.05E-15	2.57E-18	1.66E-17	2.98E-16	4.70E-18	6.62E-18
AP	3.46E-12	1.03E-13	6.64E-13	4.47E-13	6.83E-13	1.10E-13	7.14E-13	2.22E-13	1.90E-13	3.29E-13
EP	7.43E-13	1.69E-14	1.09E-13	7.33E-14	2.02E-13	1.81E-14	1.17E-13	4.53E-14	3.13E-14	1.31E-13
GWP 100	6.47E-12	1.64E-13	1.07E-12	7.21E-13	1.95E-12	1.78E-13	1.15E-12	4.90E-13	3.05E-13	4.37E-13
ODP	7.04E-17	4.88E-21	3.15E-20	2.12E-20	3.08E-18	5.23E-21	3.38E-20	6.69E-17	9.05E-21	2.48E-19
POCP	2.33E-12	6.53E-14	4.19E-13	2.82E-13	5.26E-13	6.97E-14	4.51E-13	1.77E-13	1.21E-13	2.18E-13
1m ³ OSB3										
ADP	1.96E-15	2.50E-18	1.52E-17	1.02E-17	1.61E-15	2.52E-18	1.63E-17	2.98E-16	5.16E-18	6.50E-18
AP	3.62E-12	1.01E-13	6.52E-13	4.38E-13	8.73E-13	1.08E-13	7.00E-13	2.17E-13	2.10E-13	3.23E-13
EP	8.22E-13	1.66E-14	1.07E-13	7.19E-14	2.87E-13	1.78E-14	1.15E-13	4.44E-14	3.45E-14	1.28E-13
GWP 100	7.24E-12	1.61E-13	1.05E-12	7.07E-13	2.76E-12	1.75E-13	1.13E-12	4.81E-13	3.36E-13	4.29E-13
ODP	7.20E-17	4.79E-21	3.09E-20	2.08E-20	4.72E-18	5.13E-21	3.32E-20	6.69E-17	9.98E-21	2.43E-19
POCP	2.48E-12	6.41E-14	4.11E-13	2.77E-13	6.94E-13	6.83E-14	4.42E-13	1.73E-13	1.33E-13	2.14E-13
1m ³ OSB 4										
ADP	4.19E-15	2.83E-18	1.68E-17	1.87E-17	3.80E-15	4.71E-18	3.04E-17	3.02E-16	5.15E-18	8.62E-18
AP	5.98E-12	1.14E-13	7.22E-13	8.05E-13	1.82E-12	2.02E-13	1.31E-12	3.77E-13	2.09E-13	4.14E-13
EP	1.40E-12	1.88E-14	1.19E-13	1.32E-13	6.46E-13	3.32E-14	2.15E-13	7.22E-14	3.44E-14	1.33E-13
GWP 100	1.30E-11	1.83E-13	1.16E-12	1.30E-12	6.23E-12	3.26E-13	2.11E-12	7.44E-13	3.35E-13	5.79E-13
ODP	1.34E-16	5.43E-21	3.42E-20	3.82E-20	1.12E-17	9.59E-21	6.20E-20	1.22E-16	9.95E-21	2.18E-19
POCP	4.15E-12	7.27E-14	4.56E-13	5.08E-13	1.49E-12	1.28E-13	8.26E-13	2.75E-13	1.33E-13	2.69E-13

表 4-5 1m³ OSB 2/3/4 的环境影响排放加权值 (CML2001 - Apr. 2013)

Tab.4-5 The emission characteristics of environmental impact on 1m³ OSB 2/3/4 boards

1m ³ OSB 2	基本单元制备阶段 Preparation stage basic unit				组坯热压成型阶段 Group blank thermoforming stage			后期加工处理阶段 Post-processing stage		
	总特征化值 Total Value	去皮 Skinning	刨片 Directional flaking	干燥 Drying	分层施胶 Glueing	定向铺装 Mat Formation	热压成型 Hot-pressin g	毛板处理 After-treatme nt	砂光 sanding	能源中心 Energy Centre
ADP	9.38E-16	1.70E-18	1.03E-17	6.92E-18	7.01E-16	1.71E-18	1.11E-17	1.99E-16	3.13E-18	4.41E-18
AP	1.73E-12	5.13E-14	3.32E-13	2.23E-13	3.42E-13	5.52E-14	3.57E-13	1.11E-13	9.52E-14	1.65E-13
EP	1.06E-13	2.41E-15	1.56E-14	1.05E-14	2.88E-14	2.59E-15	1.67E-14	6.47E-15	4.47E-15	1.87E-14
GWP 100	6.47E-13	1.64E-14	1.07E-13	7.21E-14	1.95E-13	1.78E-14	1.15E-13	4.90E-14	3.05E-14	4.37E-14
ODP	2.35E-17	1.63E-21	1.05E-20	7.06E-21	1.03E-18	1.74E-21	1.13E-20	2.23E-17	3.02E-21	8.26E-20
POCP	7.76E-13	2.18E-14	1.40E-13	9.40E-14	1.75E-13	2.32E-14	1.50E-13	5.89E-14	4.04E-14	7.28E-14
1m ³ OSB3										
ADP	1.31E-15	1.67E-18	1.01E-17	6.79E-18	1.07E-15	1.68E-18	1.09E-17	1.98E-16	3.44E-18	4.33E-18
AP	1.81E-12	5.03E-14	3.26E-13	2.19E-13	4.36E-13	5.41E-14	3.50E-13	1.08E-13	1.05E-13	1.62E-13
EP	1.17E-13	2.36E-15	1.53E-14	1.03E-14	4.09E-14	2.54E-15	1.64E-14	6.35E-15	4.93E-15	1.83E-14
GWP 100	7.24E-13	1.61E-14	1.05E-13	7.07E-14	2.76E-13	1.75E-14	1.13E-13	4.81E-14	3.36E-14	4.29E-14
ODP	2.40E-17	1.60E-21	1.03E-20	6.92E-21	1.57E-18	1.71E-21	1.11E-20	2.23E-17	3.33E-21	8.11E-20
POCP	8.26E-13	2.14E-14	1.37E-13	9.22E-14	2.31E-13	2.28E-14	1.47E-13	5.77E-14	4.45E-14	7.14E-14
1m ³ OSB 4										
ADP	2.79E-15	1.89E-18	1.12E-17	1.25E-17	2.53E-15	3.14E-18	2.03E-17	2.02E-16	3.43E-18	5.75E-18
AP	2.99E-12	5.71E-14	3.61E-13	4.03E-13	9.12E-13	1.01E-13	6.54E-13	1.89E-13	1.05E-13	2.07E-13
EP	2.00E-13	2.68E-15	1.69E-14	1.89E-14	9.23E-14	4.75E-15	3.07E-14	1.03E-14	4.91E-15	1.89E-14
GWP 100	1.30E-12	1.83E-14	1.16E-13	1.30E-13	6.23E-13	3.26E-14	2.11E-13	7.44E-14	3.35E-14	5.79E-14
ODP	4.46E-17	1.81E-21	1.14E-20	1.27E-20	3.73E-18	3.20E-21	2.07E-20	4.08E-17	3.32E-21	7.26E-20
POCP	1.38E-12	2.42E-14	1.52E-13	1.69E-13	4.96E-13	4.26E-14	2.75E-13	9.17E-14	4.44E-14	8.95E-14

4.1.3 CML 2001 影响分类评价

4.1.3.1 非生物性资源耗损 ADP

ADP 影响类型主要和矿物资源消耗及化石能源消耗有关，CML2001 中 ADP 影响分类方法是以金属锑（stibium，简称 Sb）作为基准物质^[107]。ADP_i 因子与资源的静态开采年限和储量成反比关系。ADP_i 因子越大，代表该种资源越稀缺。汇总基于各种资源的 ADP_i 因子，得到定向刨花板生命周期内的总体非生物性资源消耗总体水平 ADP 指标。

在 CML 评价方法中，采用如下方式定义了各种资源的稀缺度因子^[108]：

$$ADP_i = \frac{DR_i}{R_i^2} \times \frac{R_{ref}}{DR_{ref}} \quad (4-1)$$

$$ADP = \sum_i ADP_i \quad (4-2)$$

式中：ADP_i 是第 i 种非生物资源的稀缺度因子；

DR_i 是资源 i 的年开采量；

R_i 是资源 i 的储量；

下标 ref 代表基准资源物质锑

通过非生物性资源耗损 ADP 影响分类，如图 4-1 所示，我们能得到 OSB2 等级的总特征值为 2.04E-04kg Sb 当量，而 OSB3 等级的总特征值为 3.074kg Sb 当量，OSB 4 等级的总特征值为 6.558kg Sb 当量，对于 ADP 影响来看，OSB 4 >> OSB3 > OSB2。

而对于三个等级定向刨花板的生产工艺进行分析，主要是受化工原料胶粘剂及添加剂的影响，分层施胶和毛板处理工序影响最为显著，合计占比达 96-98%，其中分层施胶对 ADP 影响最大，毛板处理对 ADP 影响次之。随着施胶量的增加，分层施胶占 ADP 总特征值的比例增加明显，而毛板处理占比则随之下降。OSB2 等级的分层施胶占比为 75%，毛板处理则为 21%；OSB3 等级的分层施胶占比升至 82%，毛板处理降至 15%；而 OSB4 等级的分层施胶占比高达 91%，毛板处理降至 7%。

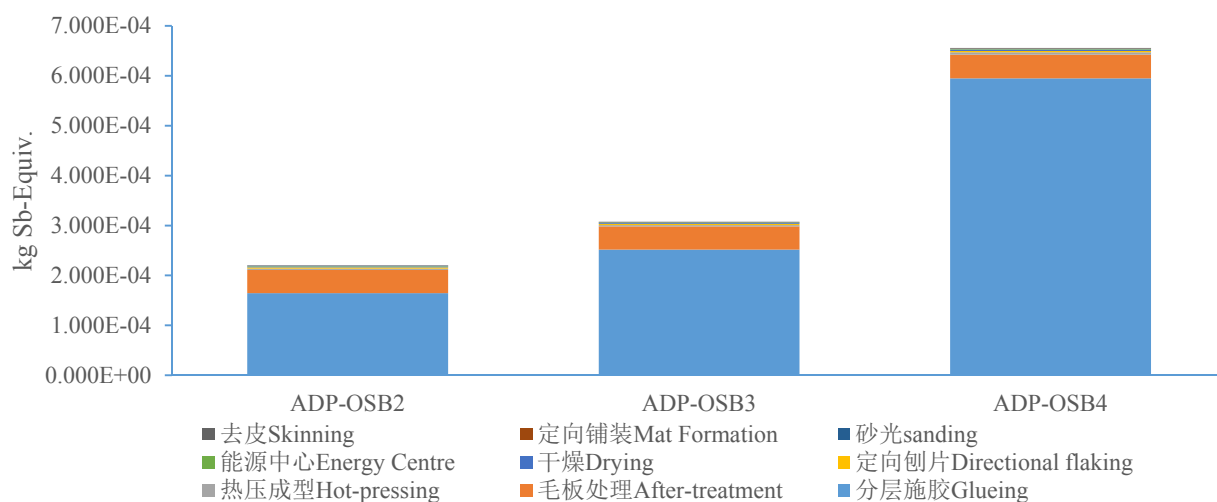


图 4-1 1m³ OSB 2/3/4 的非生物性资源耗损 ADP

Fig.4-1 The ADP of 1m³ OSB 2/3/4 boards

4.1.3.2 酸化效应 AP

酸化效应 AP 主要考虑生产过程产生大量的 SO₂、NO_x、NH₃ 和 HCl 等综合排放影响，SO₂ 和 NO_x 有可能是生产过程中的直接排放，也有可能是电力生产过程中的间接排放。酸化效应可分为土壤酸化和水体酸化两种情况，为了方便表示，酸化效应 AP 直接以 1kg 二氧化硫 SO₂-Equiv.当量单位进行表示，能反应 SO₂ 大气排放物和酸雨现象的关系。

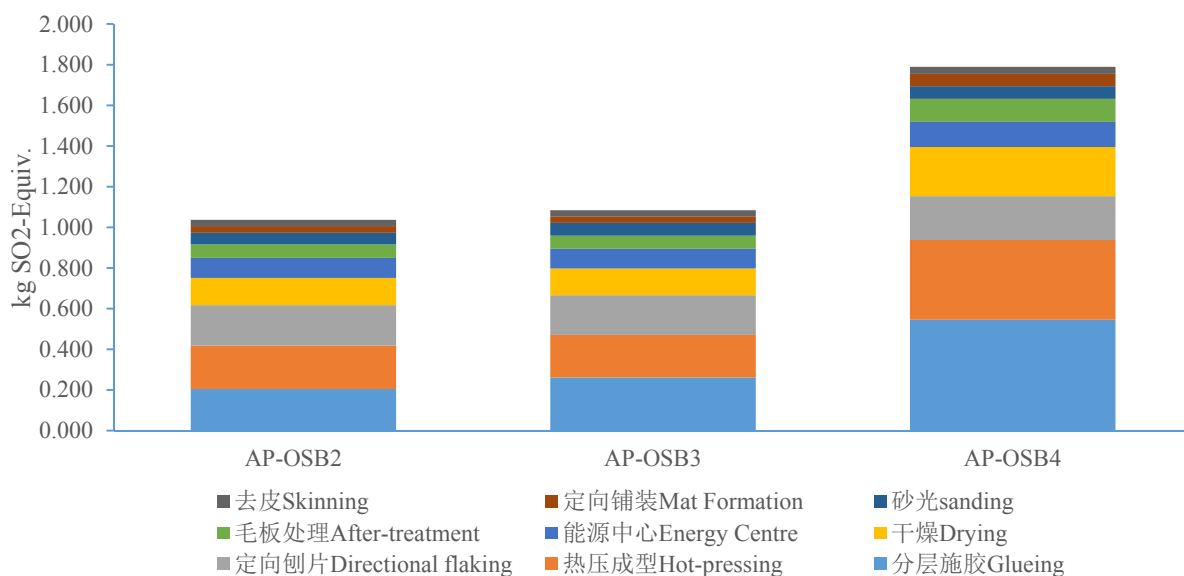


图 4-2 1m³ OSB 2/3/4 板的酸化效应 AP

Fig.4-2 The AP of 1m³ OSB 2/3/4 boards

通过酸化效应 AP 影响分类,如图 4-2 所示,我们能得到 OSB₂ 等级的总特征值为 1.037g SO₂ 当量,而 OSB₃ 等级的总特征值为 1.514 kg SO₂ 当量,OSB₄ 等级的总特征值为 2.391 kg SO₂ 当量,对于酸化效应 AP 影响来看,OSB₄ > OSB₃ > OSB₂。对于不同等级的 OSB 生产中,热压成型、分层施胶、刨片和干燥工序均是最主要的 AP 影响工序。不同等级各工序对 AP 影响分别如下:

而对于 OSB₂ 等级定向刨花板的生产工艺进行分析,对于酸化效应 AP 影响最大的工序环节分别为:热压成型>分层施胶>刨片>干燥>能源中心>毛板处理>砂光>定向铺装>去皮,各工序特征值分别为 0.214 kg SO₂ 当量(占 AP 总影响值的 20.6%,下同)、0.205 kg SO₂ 当量(占 19.7%)、0.199 kg SO₂ 当量(占 19.2%)、0.134 kg SO₂ 当量(占 12.9%)、0.099 kg SO₂ 当量(占 9.5%)、0.067 kg SO₂ 当量(占 6.4%)、0.057 kg SO₂ 当量(占 5.5%)、0.033 kg SO₂ 当量(占 3.2%)、0.031 kg SO₂ 当量(占 3.0%)。

而对于 OSB₃ 等级定向刨花板的生产工艺进行分析,对于酸化效应 AP 影响最大的工序环节分别为:分层施胶>热压成型>刨片>干燥>能源中心>毛板处理>砂光>定向铺装>去皮,各工序特征值分别为 0.261kg SO₂ 当量(24.1 占%)、0.210 kg SO₂ 当量(占 19.3%)、0.195kg SO₂ 当量(占 18.0%)、0.131 kg SO₂ 当量(占 12.1%)、0.097 kg SO₂ 当量(占 8.9%)、0.065 kg SO₂ 当量(占 6.0%)、0.063kg SO₂ 当量(占 5.8%)、0.032kg SO₂ 当量(占 3.0%)、0.030 kg SO₂ 当量(占 2.8%)。

而对于 OSB₄ 等级定向刨花板的生产工艺进行分析,对于酸化效应 AP 影响最大的工序环节分别为:热压成型>分层施胶>刨片>干燥>毛板处理>能源中心>砂光>定向铺装>去皮,各工序特征值分别为 0.546kg SO₂ 当量(占 30.5%)、0.392kg SO₂ 当量(占 21.9%)、0.241kg SO₂ 当量(占 13.5%)、0.216kg SO₂ 当量(占 12.1%)、0.124kg SO₂ 当量(占 6.9%)、0.113kg SO₂ 当量(占 6.3%)、0.063kg SO₂ 当量(占 3.5%)、0.061kg SO₂ 当量(占 3.4%)、0.034kg SO₂ 当量(占 1.9%)。

4.1.3.3 富营养化 EP

富营养化 EP 是一种水质污染现象,因氮氧化物气体的排放和最终粉碎残渣的填埋均会造成水体富营养化。目前工业企业存在将企业生活污水及工业生产废水等排入河流、湖泊的现象。当富含污染物质的水体汇入等缓流水体后,会滋生藻类,从而对整个

水体的生态平衡产生影响。富营养化的表征参数是磷酸盐 NO_3^- ，因此本文将该影响类别也一并考虑到评价范围内。

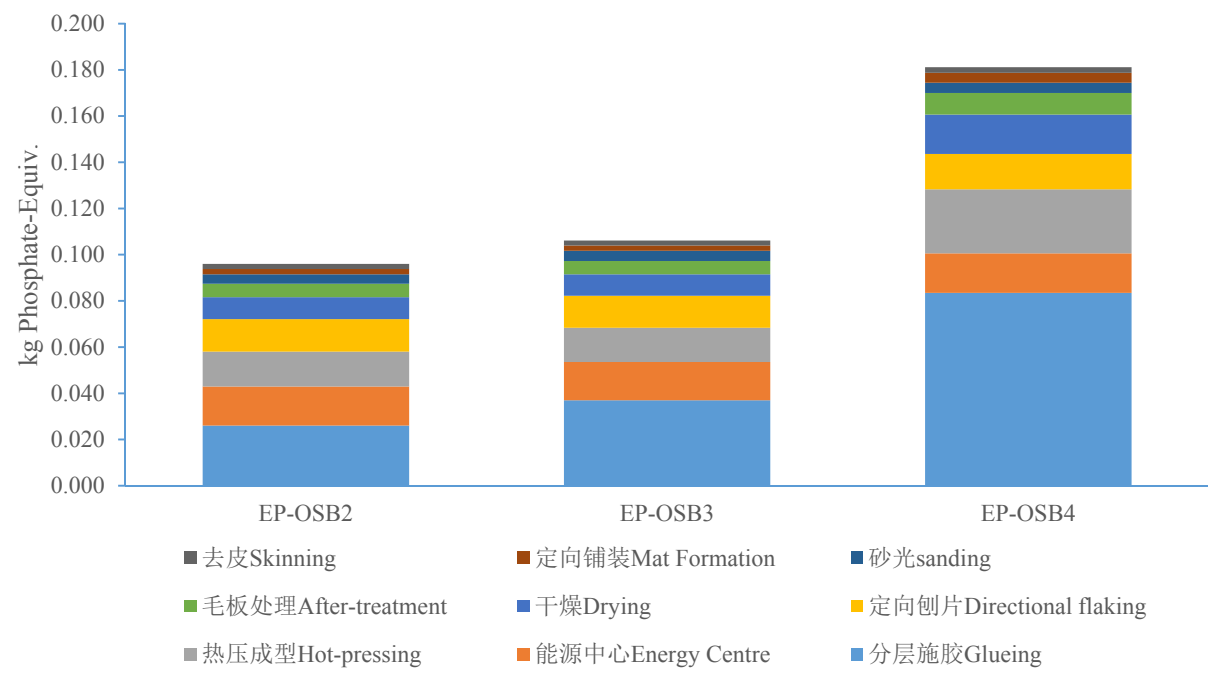


图 4-3 1m³ OSB 2/3/4 的富营养化 EP

Fig.4-3 The EP of 1m³ OSB 2/3/4 boards

通过富营养化 EP 影响分类，如图 4-3 所示，我们能得到 OSB2 等级的总特征值为 0.096kg 磷酸盐当量，而 OSB3 等级的总特征值为 0.106kg 磷酸盐当量，OSB 4 等级的总特征值为 0.181 kg 磷酸盐当量，从 EP 的影响来看，OSB 4 □ OSB3>OSB2。对于不同等级的 OSB 生产中，分层施胶、能源中心、热压成型、刨片工序均是最主要的 EP 影响工序。

对 OSB2 等级定向刨花板的生产工艺进行分析，可以发现，对 EP 影响最大的工序环节分别为：分层施胶>能源中心>热压成型>刨片>干燥>毛板处理>砂光>定向铺装>去皮，各工序特征值分别为 0.026kg 磷酸盐当量（占 EP 总影响值的 27.1%，下同）、0.017kg 磷酸盐当量（占 30.5%）、0.015kg 磷酸盐当量（占 30.5%）、0.014kg 磷酸盐当量（占 30.5%）、0.009kg 磷酸盐当量（占 30.5%）、0.006kg 磷酸盐当量（占 30.5%）、0.004kg 磷酸盐当量（占 30.5%）、0.002kg 磷酸盐当量（占 30.5%）、0.002kg 磷酸盐当量（占 30.5%）。

对 OSB3 等级定向刨花板的生产工艺进行分析，可以发现，对于 EP 影响最大的工序环节顺序与 OSB2 完全一致，各工序特征值分别为 0.037kg 磷酸盐当量（占 34.9%）、0.017kg

磷酸盐当量(占 15.6%)、0.015kg 磷酸盐当量(占 14.0%)、0.014kg 磷酸盐当量(占 13.0%)、0.009kg 磷酸盐当量 (占 8.8%)、0.006kg 磷酸盐当量 (占 5.4%)、0.004kg 磷酸盐当量 (占 4.2%)、0.002kg 磷酸盐当量 (占 2.2%) 和 0.002kg 磷酸盐当量 (占 2.0%)。

对 OSB 4 等级定向刨花板的生产工艺进行分析,可以发现,对于 EP 影响最大的工序环节分别为: 分层施胶>热压成型>能源中心>干燥>刨片>毛板处理>砂光>定向铺装>去皮>,各工序特征值分别为 0.083kg 磷酸盐当量 (占 46.1%)、0.028kg 磷酸盐当量 (占 15.3%)、0.017kg 磷酸盐当量 (占 9.5%)、0.017kg 磷酸盐当量 (占 9.4%)、0.015 kg 磷酸盐当量 (占 8.5%)、0.009kg 磷酸盐当量 (占 5.2%)、0.004 kg 磷酸盐当量 (占 2.5%)、0.004kg 磷酸盐当量 (占 2.4%)、0.002kg 磷酸盐当量 (占 1.3%)。

4.1.3.4 全球气候变暖 GWP 100

全球气候变暖 GWP 100 的直接原因是温室气体的排放,大约有 30 多种不同的气体被认为是温室气体。而全球变暖将导致海平面逐渐上升、气候环境剧烈变化、农作物产量减少等不利影响。本研究中定向刨花板产品 GWP 100 主要考虑生产过程产生大量 CO₂ 的综合排放影响、CO₂ 有可能是生产过程中的直接排放,也有可能是电力和胶黏剂等其它输入物质流产品生产时的间接排放。CO₂ 对环境的累计排放将直接导致温室效应的影响,全球气候变暖 GWP 100 直接以 1 kg CO₂ 当量单位进行表示,能反应 CO₂ 排放物和全球气候变暖 GWP 100 的关系。

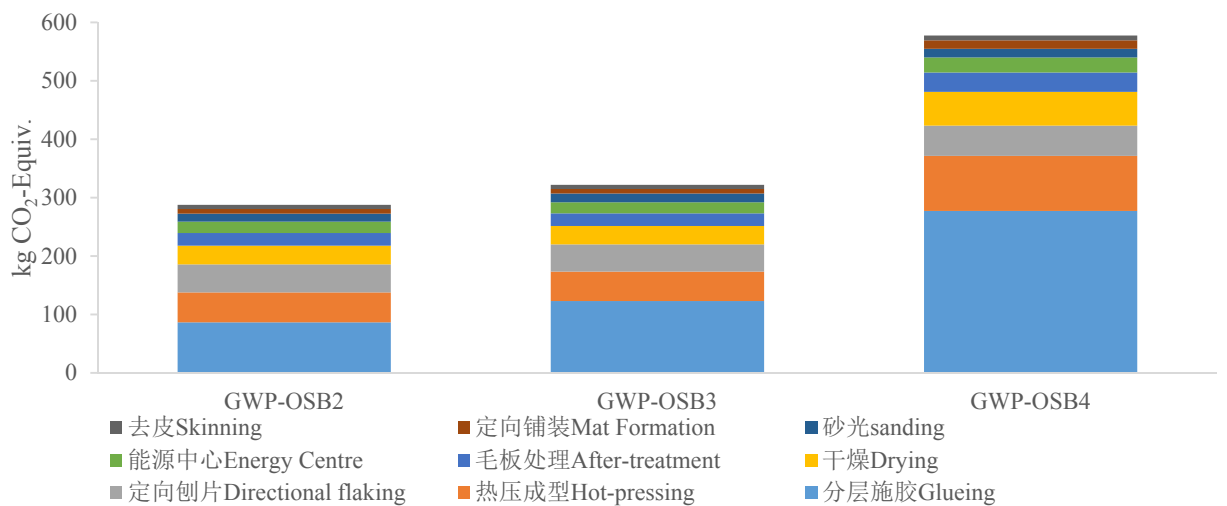


图 4-4 1m³ OSB 2/3/4 的全球气候变暖 GWP 100

Fig.4-4 The GWP 100 of 1m³ OSB 2/3/4 boards

通过全球气候变暖 GWP 100 影响分类,如图 4-4 所示,我们能得到 OSB2 等级的总特征值为 287.812 kg CO₂ 当量,而 OSB3 等级的总特征值为 322.052 kg CO₂ 当量,OSB 4 等级的总特征值为 577.469kg CO₂ 当量,对于全球气候变暖 GWP 100 影响来看,OSB 4□OSB3>OSB2。对于不同等级的 OSB 生产中,分层施胶、热压成型、刨片和干燥工序均是最主要的 EP 影响工序。

对 OSB2/OSB3 两个等级定向刨花板的生产工艺进行分析,可以发现,对于全球气候变暖 GWP 100 影响最大的工序环节基本一致,均为:分层施胶>热压成型>刨片>干燥>毛板处理>能源中心>砂光>定向铺装>去皮,但 OSB2/OSB3 各工序特征值略有不同,其中:OSB2 各工序特征分别为 86.697kg CO₂ 当量(占总 GWP100 总影响值的 30.1%,下同)、51.271kg CO₂ 当量(占 17.8%)、47.698kg CO₂ 当量(占 16.6%)、32.074kg CO₂ 当量(占 11.1%)、21.815kg CO₂ 当量(占 7.6%)、19.444kg CO₂ 当量(占 6.8%)、13.578kg CO₂ 当量(占 4.7%)、7.925kg CO₂ 当量(占 2.8%)、7.310kg CO₂ 当量(占 2.2%)。

OSB3 各工序特征值分别为 123.056kg CO₂ 当量(占 38.2%)、50.304kg CO₂ 当量(占 15.6%)、46.798kg CO₂ 当量(占 14.5%)、31.469kg CO₂ 当量(占 9.8%)、21.431kg CO₂ 当量(占 6.7%)、19.079kg CO₂ 当量(占 5.9%)、14.968kg CO₂ 当量(占 4.6%)、7.775kg CO₂ 当量(占 2.4%)、7.172kg CO₂ 当量(占 2.2%)。

OSB 4 各工序特征值排序略有不同:分层施胶>热压成型>干燥>刨片>毛板处理>能源中心>砂光>定向铺装>去皮,分别为 277.410kg CO₂ 当量(占 48.0%)、93.948kg CO₂ 当量(占 16.3%)、51.844kg CO₂ 当量(占 9.0%)、57.828kg CO₂ 当量(占 10.0%)、33.092kg CO₂ 当量(占 5.7%)、25.755kg CO₂ 当量(占 4.5%)、14.928kg CO₂ 当量(占 2.6%)、14.531kg CO₂ 当量(占 2.5%)、8.132kg CO₂ 当量(占 1.4%)。

4.1.3.5 臭氧层损耗 ODP

目前,臭氧层损耗 ODP 问题已经演变成全球性问题,大气平流层中的臭氧浓度减少称之为臭氧层损耗。自 1985 年后此观测到南极上空臭氧层出现空洞以来,目前臭氧层空洞逐渐扩大化,2008 年 9 月时,南极上空臭氧层空洞面积已经超过了 2700 多万 km²。多种物质均能导致臭氧层的破坏和衰竭,比如平流层内超音速的飞行器会排放 CO,又如人们生活中广泛使用的电冰箱制冷剂——氯氟化合物即氟利昂(包括 CFC1₃ 氟利昂 11 和 CF₂Cl₂ 氟利昂 12),氟利昂尽管在对流层性质稳定,但进入臭氧层后极易与臭氧产生化

学反应，使得臭氧层出现不可恢复性破坏。鉴于普遍均认为氟利昂（CFC1）是导致臭氧层破坏的主要化学成分，因此使用 CFC1₃ 即 R11 当量作为表征臭氧层破坏的因子。

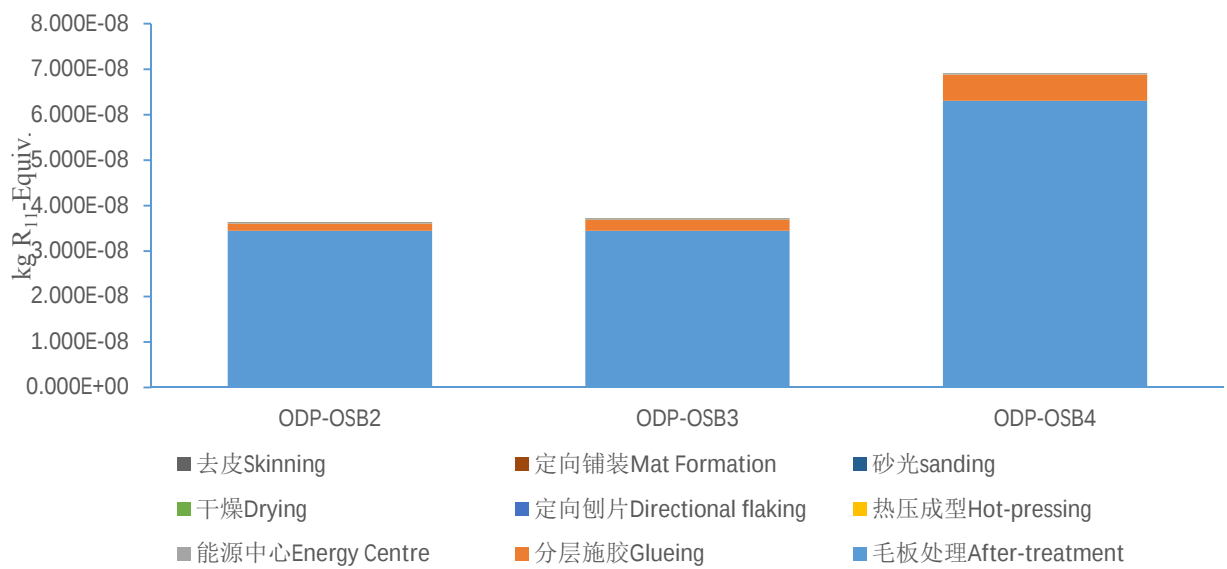


图 4-5 1m³ OSB 2/3/4 的臭氧层损耗 ODP

Fig.4-5 The ODP of 1m³ OSB 2/3/4 boards

通过臭氧层损耗 ODP 影响分类，如图 4-5 所示，我们能得到 OSB2 等级的总特征值为 3.625E-08 kg R₁₁ 当量，而 OSB3 等级的总特征值为 3.709E-08 kg R₁₁ 当量，OSB 4 等级的总特征值为 6.899E-08 KgR₁₁ 当量，对于 ODP 影响来看，OSB 4□OSB3>OSB2。

而对于 OSB2/OSB3/OSB 4 三个等级定向刨花板的生产工艺进行分析，对于 ODP 影响最大的工序环节基本一致，均为：毛板处理>分层施胶□其它工序，但三个等级定向刨花板各工序 EP 特征值略有不同，不同等级各工序对 EP 影响分别如下：其中：OSB2 毛板处理工序特征分别为 1.821E-10 R₁₁ 当量（占 ODP 总影响值的 95.1%，下同）、分层施胶为 1.588E-09 kg R₁₁ 当量（占 4.4%），其它所有工序合计为 1.277E-10 kg R₁₁ 当量（占 0.5%）。

而 OSB3 毛板处理工序特征值分别为 3.448E-08 R₁₁ 当量（占 93.0%）、分层施胶为 2.434E-09 kg R₁₁ 当量（占 6.5%），其它所有工序合计为 1.792E-10 kg R₁₁ 当量（占 0.5%）。OSB 4 毛板处理工序特征值分别为 6.304E-08 R₁₁ 当量（占 91.4%）、分层施胶为 5.757E-09 kg R₁₁ 当量（占 8.3%），其它所有工序合计为 1.277E-10 kg R₁₁ 当量（占 0.3%）。

4.1.3.6 光化学烟雾 POCP

光化学烟雾 POCP 通常指在太阳光直射下，由氮氧化物(NMHC)和碳氢化合物(CH)等相关大气污染物之间会发生光化学反应，会形成一次污染物和二次污染物的混合污染物的现象，称之为光化学烟雾。夏季时，当气候温度较低且有较强太阳光线照射下，NMHC 和 CH 会直接发生光化学反应而形成，这种光化学烟雾具有强氧化性，破坏性极大。光化学烟雾一般采用乙烯 C₂H₄ 当量作为基准。

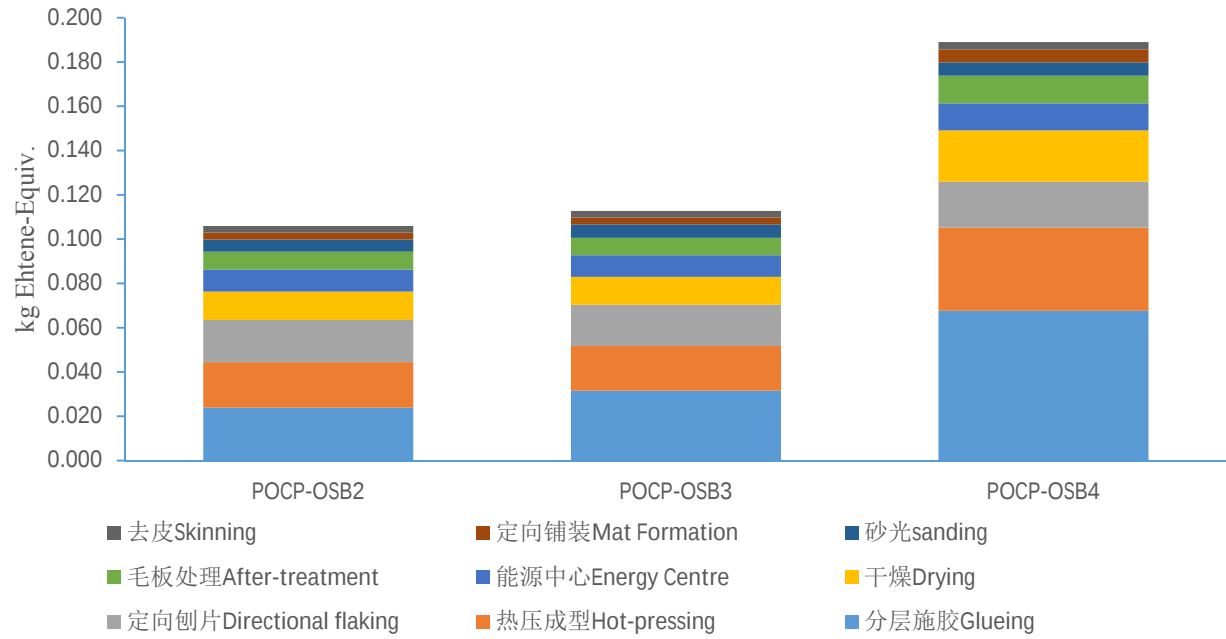


图 4-6 1m³ OSB 2/3/4 的光化学烟雾 POCP

Fig.4-6 The POCP of 1m³ OSB 2/3/4 boards

通过光化学烟雾 POCP 影响分类，如图 4-6 所示，我们能得到 OSB2 等级的总特征值为 0.106 kg C₂H₄ 当量，而 OSB3 等级的总特征值为 0.113 kg C₂H₄ 当量，OSB 4 等级的总特征值为 0.189 kg C₂H₄ 当量，对于 ODP 影响来看，OSB 4 > OSB3 > OSB2。对于不同等级的 OSB 生产中，分层施胶、热压成型、刨片、干燥即能源中心均是最主要的 EP 影响工序。以 OSB3 等级为例，分层施胶、热压成型、刨片、干燥各工序分别占总 EP 影响的 28.0%、17.8%、16.6%、11.1%，其余所有工序占 26.3%。不同等级各工序对 EP 影响分别如下：

对 OSB2/OSB3 等级定向刨花板的生产工艺进行分析,可以发现,对于 POCP 影响最大的工序环节分别为: 分层施胶>热压成型>刨片>干燥>能源中心>毛板处理>砂光>定向铺装>去皮。

OSB2 各工序的特征值分别为 0.032kg C₂H₄ 当量 (占 22.6%)、0.020kg C₂H₄ 当量 (占 19.3%)、0.019kg C₂H₄ 当量 (占 18.0%)、0.013 kg C₂H₄ 当量 (占 12.1%)、0.010 kg C₂H₄ 当量 (占 9.4%)、0.008 kg C₂H₄ 当量 (占 7.6%)、0.006kg C₂H₄ 当量 (占 5.2%)、0.003 kg C₂H₄ 当量(占 3.0%)、0.003 kg C₂H₄ 当量(占 2.8%)。而 OSB3 各工序特征值分别为 0.024kg C₂H₄ 当量 (占 28.0%)、0.021kg C₂H₄ 当量 (占 17.8%)、0.019 kg C₂H₄ 当量 (占 16.6%)、0.013 kg C₂H₄ 当量 (占 11.1%)、0.010 kg C₂H₄ 当量 (占 8.6%)、0.008 kg C₂H₄ 当量 (占 7.0%)、0.006kg C₂H₄ 当量 (占 5.4%)、0.003 kg C₂H₄ 当量 (占 2.8%)、0.003 kg C₂H₄ 当量 (占 2.6%)。

对 OSB 4 等级定向刨花板的生产工艺进行分析,可以发现,对于 POCP 影响最大的工序环节分别为: 热压成型>刨片>干燥>分层施胶>毛板处理>能源中心>砂光>定向铺装>去皮。各工序特征值分别为 0.032kg C₂H₄ 当量 (占 35.8%)、0.020kg C₂H₄ 当量 (占 19.9%)、0.019kg C₂H₄ 当量(占 11.1%)、0.013 kg C₂H₄ 当量(占 12.2%)、0.010 kg C₂H₄ 当量 (占 6.6%)、0.008 kg C₂H₄ 当量 (占 6.5%)、0.006kg C₂H₄ 当量 (占 3.2%)、0.003 kg C₂H₄ 当量 (占 3.1%)、0.003 kg C₂H₄ 当量 (占 1.7%)。

4.1.4 部分环境影响气体和颗粒物排放清单分析

在不借助 CML2001 的分类评价方法下,我们仅对定向刨花板生产过程的 Output 清单进行分析,得出了不同等级 OSB 不同工序的部分环境影响气体和颗粒物排放清单数据,如表 4-6。1m³ OSB2/OSB3/OSB 4 的环境影响排放顺序基本一致,即为: 二氧化碳>氧化氮>二氧化硫>颗粒物(≤PM_{2.5})>颗粒物(≥PM₁₀)>颗粒物(PM_{2.5}-PM₁₀)。其中 OSB3 生产过程中直接排放的环境影响气体分别为: 271.08kgCO₂、0.73kgSO₂ 和 1.26kgNO_x; 而直接排放的颗粒物包括 PM₁₀ 以上 0.04kg、PM_{2.5}-PM₁₀ 0.03kg、PM_{2.5} 以下 0.23 kg。

表 4-6 1m³ OSB 2/3/4 部分环境影响气体和颗粒物排放清单分析Tab. 4-6 The inventory analysis of environmental impact of gas and particle emissions of 1m³ OSB 2/3/4

1m ³ OSB 2	总值 Total Value	去皮 Skinning g	刨片 Directional flaking	干燥 Drying	分层施胶 Glueing	定向铺装 Mat Formation	热压成型 Hot-pressing	毛板处理 After-treatment	砂光 Sanding	能源中心 Energy Centre
二氧化碳 CO ₂	243.848	6.603	43.169	29.029	71.146	7.173	46.403	19.61	12.267	8.447
二氧化硫 SO ₂	0.71	0.024	0.153	0.103	0.118	0.025	0.165	0.047	0.044	0.031
氮氧化物 NO _x	1.229	0.042	0.277	0.186	0.164	0.046	0.298	0.082	0.079	0.054
PM10 以上	0.038	0.001	0.009	0.006	0.005	0.001	0.009	0.003	0.002	0.002
PM2.5-PM10	0.032	0.001	0.007	0.005	0.004	0.001	0.007	0.003	0.002	0.001
PM2.5 以下	0.235	0.009	0.057	0.038	0.018	0.009	0.061	0.015	0.016	0.011
1m ³ OSB 3										
二氧化碳 CO ₂	271.080	6.479	42.355	28.481	100.126	7.037	45.528	19.263	13.524	8.287
二氧化硫 SO ₂	0.727	0.023	0.15	0.101	0.142	0.025	0.162	0.046	0.048	0.031
氮氧化物 NO _x	1.261	0.041	0.272	0.183	0.207	0.045	0.292	0.08	0.087	0.053
PM10 以上	0.039	0.001	0.008	0.006	0.006	0.001	0.009	0.003	0.003	0.002
PM2.5-PM10	0.032	0.001	0.007	0.005	0.005	0.001	0.007	0.003	0.002	0.001
PM2.5 以下	0.234	0.008	0.056	0.037	0.02	0.009	0.06	0.015	0.018	0.011
1m ³ OSB 4										
二氧化碳 CO ₂	475.142	7.346	46.922	52.338	211.547	13.151	85.029	29.836	13.488	15.486
二氧化硫 SO ₂	1.127	0.026	0.166	0.186	0.212	0.047	0.302	0.082	0.048	0.058
氮氧化物 NO _x	2.036	0.047	0.301	0.336	0.389	0.084	0.546	0.146	0.086	0.099
PM10 以上	0.064	0.001	0.009	0.01	0.013	0.003	0.017	0.005	0.003	0.003
PM2.5-PM10	0.05	0.001	0.008	0.008	0.007	0.002	0.014	0.005	0.002	0.002
PM2.5 以下	0.368	0.01	0.062	0.069	0.033	0.017	0.112	0.028	0.018	0.02

另外 OSB3 生产中排放总值为：271.08kg CO₂、0.727kg SO₂ 和 1.261kg NO_x；而直接排放的颗粒物包括 PM₁₀ 以上 0.039kg、PM_{2.5}-PM₁₀ 0.032kg、PM_{2.5} 以下 0.234kg。OSB4 生产中排放总值则分别为：475.172kg CO₂、1.127kgSO₂ 和 2.036kg NO_x；而直接排放的颗粒物包括 PM₁₀ 以上 0.064kg、PM_{2.5}-PM₁₀ 0.05kg、PM_{2.5} 以下 0.368kg。

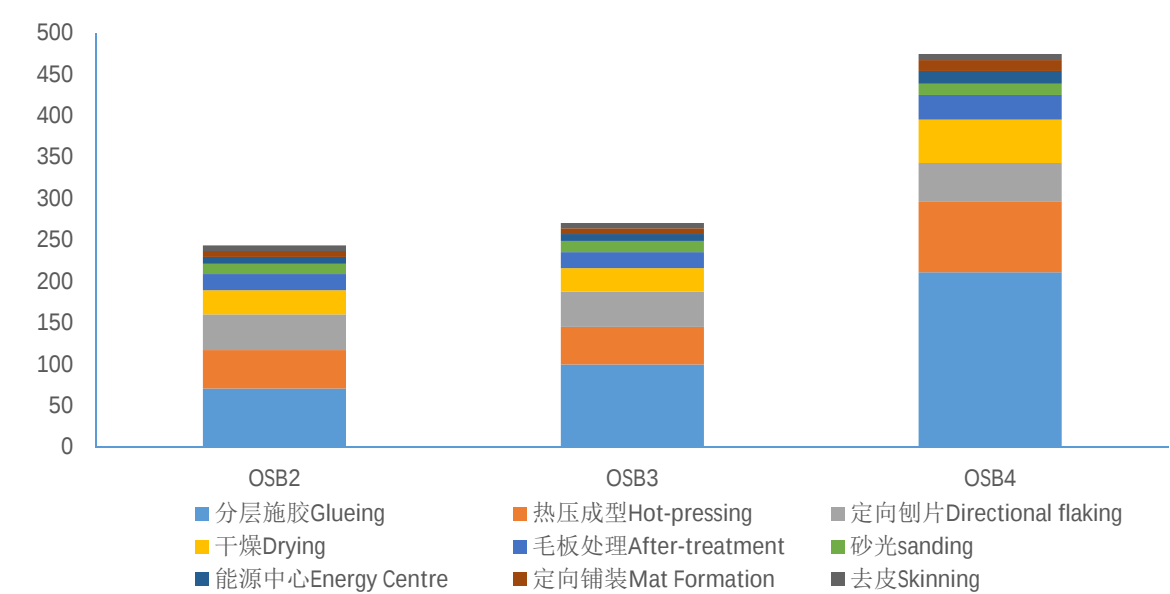


图 4-7 1m³ OSB 2/3/4 板的 CO₂ 气体直接排放表

Fig.4-7 The Dust PM_{2.5} emission of 1m³ OSB 2/3/4 boards

通过分析我们更能直接得到整个生产过程中每生产 1m³ 定向刨花板的各个工序 CO₂ 理论直接排放值，对于不同等级的 OSB 生产中，分层施胶、热压成型、刨片和干燥工序仍是最主要的 EP 影响工序。如图 4-7 所示，不同等级各工序对 CO₂ 理论直接排放值影响分别如下：

对 OSB2/OSB3 两个等级定向刨花板的生产工艺进行分析，可以发现，对于 CO₂ 理论直接排放值影响最大的工序环节基本一致，均为：分层施胶>热压成型>刨片>干燥>毛板处理>砂光>能源中心>定向铺装>去皮，但 OSB2/OSB3 各工序特征值略有不同，其中：OSB2 各工序分别占总 CO₂ 理论直接排放值的比例为 29.2%、19.0%、17.7%、2、11.9%)、8.0%、5.0%、3.5%、2.9%、2.7%。而 OSB3 各工序分别占总 CO₂ 理论直接排放值的比例为 36.9%、16.8%、15.6%、10.5%、7.1%、5.0%、3.1%、2.6%和 2.4%。

OSB 4 各工序特征值排序略有不同为：分层施胶>热压成型>干燥>刨片>毛板处理>能源中心>砂光=定向铺装>去皮，而 OSB4 各工序分别占总 CO₂ 理论直接排放值的比例为 44.5%、17.9%、11.0%、9.9%、6.3%、3.3%、2.8%、2.8%和 1.5%。

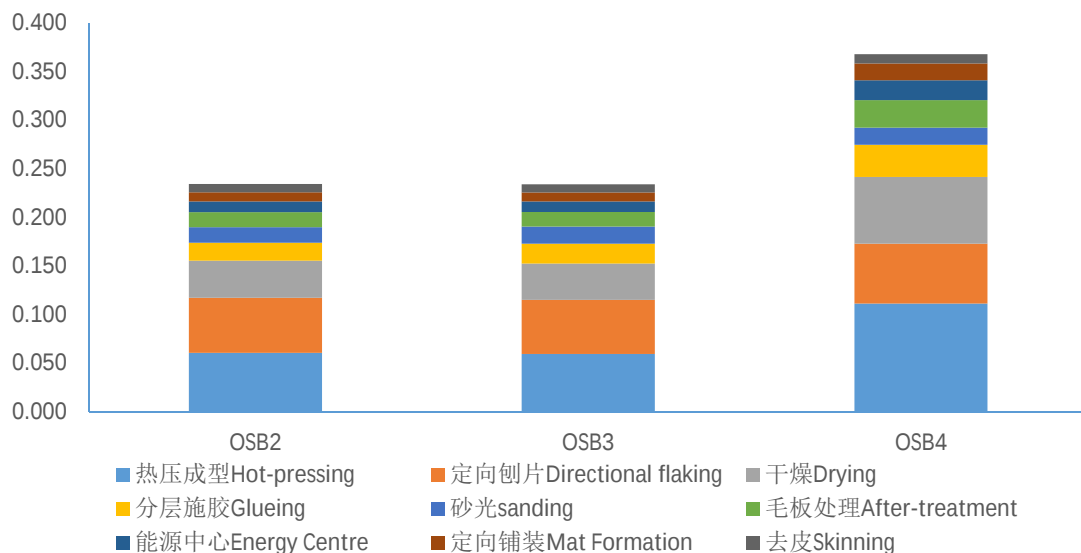


图 4-8 1m³ OSB 2/3/4 板的颗粒物 PM_{2.5} 直接排放表

Fig.4-8 The Dust PM_{2.5} emission of 1m³ OSB 2/3/4 boards

通过颗粒物排放分析表明，中国定向刨花板制造工厂的颗粒物排放实际分别生产过程中的直接排放以及电力等其它输入物质流产品生产时的间接排放。通过颗粒物 Dust 排放分析我们能直接得到整个生命周期内，每生产 1m³ 定向刨花板的颗粒物理论排放值。颗粒物分为三个量级，主要按颗粒物直径进行分类， $\geq PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}-PM_{10}$ 和 $\leq PM_{2.5}$ ，其中 $\leq PM_{2.5}$ 的颗粒物是定向刨花板生产过程中的主要排污物。如图 4-8 所示，以 $\leq PM_{2.5}$ 的颗粒物为例来看：每生产 1m³ 的 OSB2 等级产品，颗粒物 $\leq PM_{2.5}$ 排放为 0.235 kg，每生产 1m³ 的 OSB3 等级产品，颗粒物 $\leq PM_{2.5}$ 排放为 0.234kg，每生产 1m³ 的 OSB 4 等级产品，颗粒物 $\leq PM_{2.5}$ 排放为 0.368kg，对于颗粒物 $\leq PM_{2.5}$ 的排放实际影响来看，OSB 4 > OSB3 ≈ OSB2。

而对于 OSB2/OSB3 两个等级定向刨花板的生产工艺进行分析，对于颗粒物 $\leq PM_{2.5}$ 排放理论直接排放值影响最大的工序环节基本一致，均为：热压成型 > 刨片 > 干燥 > 分层施胶 > 砂光 > 毛板处理 > 能源中心 > 定向铺装 > 去皮，但各工序特征值略有不同，其中：OSB2 各工序分别占总颗粒物 $\leq PM_{2.5}$ 排放理论直接排放值的比例为 26.0%、24.2%、16.2%、2.7%、7.9%、6.8%、6.6%、4.7%、4.0%、3.7%。而 OSB3 各工序分别占总颗粒物 $\leq PM_{2.5}$ 排放理论直接排放值的比例为 25.5%、23.7%、16.0%、8.7%、7.5%、6.4%、4.6%、3.9%、3.6%。

对于 OSB4 颗粒物≤PM2.5 排放理论直接排放值影响最大的工序环节略有不同，为：热压成型>干燥>刨片>分层施胶>毛板处理>砂光>能源中心>定向铺装>去皮，而各工序分别占总颗粒物≤PM2.5 排放理论直接排放值的比例为 30.3%、18.7%、16.7%、9.0%、7.7%、5.5%、4.8%、4.7%、2.6%和 1.5%。

4.2 生命周期评价不确定性检查

为了进一步验证生命周期评价结论的科学性，需要进行不确定检查。本研究根据要求，进行了清单数据的敏感性分析，可以找出对结果影响最大的清单数据^[106]。将各个清单数据的敏感度列表分析，可以比较出各数据的敏感度大小。首先还需要依据敏感性分析来判断替代数据对输入输出最后的结果影响大不大，若是非常大，我们就必须去寻求更准确的数据；如果不大，则应使用替代数据。在公式中，自变量是各单元过程的清单/原始数据，函数值是 LCA 的结果。

$$S_{ij} = (\Delta Y_i / Y_i) / (\Delta I_j / I_j) \tag{4-3}$$

式中：S_{ij}——即 I_j 为对 Y_i 的敏感度，
Y_i——第 i 种未达标的 LCA 结果指标值，
I_j——第 n 种过程清单数据值。

根据生命周期环境影响计算结果，对定向刨花板的各项输入进行敏感度分析，详见表 4-7、表 4-8、表 4-9。根据 OSB2/OSB3/OSB4 清单数据进行敏感度分析可以发现，电力输入对 LCA 的结果影响最大。原木材料对富营养化(EP)指标来说是最重要的清单数据，同时胶黏剂-异氰酸酯投入是输入清单中影响非生物资源耗竭(ADP)指标的最关键清单数据，这说明电力和胶粘剂的数据输入会对多个环境指标的数据结果产生明显的影响，要减少复合硅酸盐水泥定向刨花板的环境影响需要着重减少电力和胶粘剂的输入。而石蜡、打包钢带和木屑投入是输入清单中影响各环境指标最小的清单数据。

表 4-7 各环境影响分类指标对应的 OSB2 原材料、能源、电力清单的敏感度分析

Tab.4-7 Sensitivity analysis on raw materials,energy,and electricity corresponded to potential values of OSB
2 environmental impacts

类别 Category	ADP	AP	EP	GWP 100	ODP	POCP
电力 Electricity	0.4200 %	5.1600 %	2.6400 %	4.0700 %	0.0200%	5.5500 %
柴油 Diesel fuel	0.0038 %	0.0200 %	0.0100 %	0.0100 %	0.0000005 %	0.0200 %
原木材料 Wood materials	0.18%	2.82%	4.95%	1.62%	0.23%	2.09%
异氰酸脂 Adhesive-PMDI	7.09%	0.64%	0.93%	1.41%	0.42%	0.99%
添加剂-水 Additive-water	0.0001 %	9.06E-0 7	0.0003 %	0.0003 %	5.43E-07	9.66E-0 7
防水剂-石蜡 Waterproofing agent-paraffin	0.04%	0.36%	0.12%	0.18%	0.00%	0.40%
硬纸板 Cardboard	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	9.09%	0.01%
PC 塑料包角 PC plastic wrap angle	0.001 %	0.001%	0.001 %	0.001 %	0.001%	0.002%
打包带（钢带） Packing tape (strip)	1.90%	0.05%	0.03%	0.04%	0.01%	0.07%
木质垫条 Wooden mat strip	0.26%	0.89%	1.24%	2.51%	0.19%	0.71%
外购木屑料 Sawdust materials purchased	0.09%	0.05%	0.07%	0.15%	0.05%	0.15%

表 4-8 各环境影响分类指标对应的 OSB3 原材料、能源、电力清单的敏感度分析

Tab.4-8 Sensitivity analysis on raw materials,energy,and electricity corresponded to potential values of OSB 3 environmental impacts

类别 Category	ADP	AP	EP	GWP 100	ODP	POCP
电力 Electricity	0.31000 %	5.01000 %	2.53000 %	3.80000 %	0.02000%	5.28000 %
柴油 Diesel fuel	0.00294 %	0.01000 %	0.01000 %	0.01000 %	0.0000005 %	0.02000 %
原木材料 Wood materials	0.13%	2.70%	4.68%	1.49%	0.22%	1.96%
异氰酸脂 Adhesive-PMDI	7.90%	0.96%	1.38%	2.03%	0.63%	1.45%
添加剂-水 Additive-water	7.26E-0 7	8.67E-07	0.0003 %	0.0003 %	5.21E-07	9.08E-07
防水剂-石蜡 Waterproofingagent-paraffin	0.03%	0.36%	0.12%	0.17%	0.00%	0.39%
硬纸板 Cardboard	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	8.90%	0.01%
PC 塑料包角 PC plastic wrap angle	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.002%
打包带（钢带） Packing tape (strip)	1.38%	0.04%	0.03%	0.04%	0.01%	0.07%
木质垫条 Wooden mat strip	0.26%	0.89%	1.24%	2.51%	0.19%	0.71%
外购木屑料 Sawdust materials purchased	0.09%	0.05%	0.07%	0.15%	0.05%	0.15%

表 4-9 各环境影响分类指标对应的 OSB4 原材料、能源、电力清单的敏感度分析

Tab.4-9 Sensitivity analysis on raw materials,energy,and electricity corresponded to potential values of OSB
4 environmental impacts

类别 Category	ADP	AP	EP	GWP 100	ODP	POCP
电力 Electricity	0.23000 %	5.85000 %	3.38000 %	4.19000 %	0.010000%	5.70000 %
柴油 Diesel fuel	0.00140 %	1.38000 %	0.01000 %	0.00400 %	0.0000003 %	0.01000 %
原木材料 Wood materials	0.04%	1.37%	2.72%	0.71%	0.08%	0.92%
异氰酸脂 Adhesive-PMDI	8.93%	1.68%	2.76%	3.35%	0.82%	2.34%
添加剂-水 Additive-water	3.02E-07	5.60E-07	0.0002%	0.0002%	2.50E-07	5.42E-07
防水剂-石蜡 Waterproofingagent-paraffin	0.02%	0.44%	0.16%	0.20%	0.00%	0.44%
硬纸板 Cardboard	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%	8.97%	0.01%
PC 塑料包角 PC plastic wrap angle	0.0003%	0.0005%	0.0004%	0.0008%	0.0007%	0.0015%
打包带（钢带） Packing tape (strip)	0.66%	0.03%	0.02%	0.03%	0.003%	0.05%
木质垫条 Wooden mat strip	0.08%	0.55%	0.87%	1.40%	0.09%	0.40%
外购木屑料 Sawdust materials purchased	0.03%	0.04%	0.05%	0.10%	0.03%	0.10%

4.3 生命周期评价结论解释

4.3.1 OSB3 生命周期评价结论解释

考虑到 OSB2/3/4 的生命周期评价方法和结论基本一致。本生命周期评价结论以 OSB3 为例进行解释：本文对 OSB3 生产的 9 个工序建立了环境影响柱状图，其基本单元制备阶段含：去皮、刨片、干燥工序；板坯成型热压阶段含：分层施胶、定向铺装、热压成型工序；后期加工阶段含：毛板处理、砂光、能源中心工序。由图 12 所示，OSB3 各个工序的环境影响大小顺序依次为分层施胶、热压成型、刨片、干燥、能源中心、毛板处理、砂光、定向铺装、去皮。分层施胶的环境影响最严重，占 OSB3 生命周期总环境影响的 24.3%，其主要影响因素为酸化效应 AP；热压成型工序次之，占总值的 20.7%，其主要影响因素也为酸化效应 AP，刨片工序占 19.3%，然后是干燥工序，占 13%，而其它各个工序对环境总的影响比例约为 22.8%。

分层施胶中由于添加了主要的化工原料—异氰酸酯 PMDI，所以分层施胶是 OSB3 生产工艺中最高的环境影响工艺。在分层施胶工艺过程中，酸化效应 AP、全球气候变暖 GWP 100 和光化学烟雾 POCP 的影响值分别达 40.3%、25.5%和 21.4%。而热压成型工艺也具有较高的酸化效应 AP、光化学烟雾 POCP 和全球气候变暖 GWP 100 影响值，分别占比为 32.3%、13.6%和 10.4%。这主要是因为热压成型耗费了大量的电力能源，而电力生产过程中由于火电比例居高不下，导致排放了大量的 SO₂、CO₂ 和 NO_x 等有毒有害气体。

酸化效应 AP 主要由 SO₂ 和 NO_x 综合影响导致，既有生产过程中的直接排放，也有电力生产时的间接排放。减少火力发电和能源工厂燃烧中 SO₂ 的排放，将大大缓解定向刨花板生产对环境的累计排放，将会缓解因 SO₂ 形成的酸雾、酸雨等酸性物质导致的酸雨现象出现。另外全球气候变暖 GWP 100 主要来源于生产过程中燃烧煤和木屑所排放的 CO₂，提高再生能源（风电、水电、生物质电力等）在电力中的比例是减少 CO₂ 排放最有效的措施。

根据加权结果得出 OSB3 生产过程的环境影响，由图 4-13 可知，对 OSB3 生命周期环境有影响的，按潜力大小排序，分别为酸化效应 AP>光化学烟雾 POCP>全球气候变暖 GWP 100>富营养化 EP>非生物性资源耗损 ADP>臭氧层损耗 ODP。OSB 环境影响

的主要类型是酸化效应 AP 是，占比为 52.1%；光化学烟雾 POCP 次之，占到 23.7%；而全球气候变暖 GWP 100 则占到 20.8%，EP、ADP 和 ODP 的总环境影响值占总值合计不足 4%，影响微乎其微。

酸化效应 AP 主要考虑生产过程产生大量的 SO₂、NO_x、NH₃ 和 HCl 等综合排放影响，SO₂ 和 NO_x 有可能是生产过程中的直接排放，也有可能是电力生产时的间接排放。减少火力发电和能源工厂燃烧中 SO₂ 的排放，将大大缓解定向刨花板生产对环境的累计排放，也会减少酸雨现象的出现。

定向刨花板产品的 POCP 环境影响则主要来源于胶粘剂生产过程中的氮氧化物 NMHC 和碳氢化合物 CH 等，在阳光照射下，大气污染物之间会发生光化学反应形成二次污染物对人体健康产生影响，提高胶粘剂产品的清洁生产水平将极大降低 POCP 的环境影响。全球气候变暖 GWP 100 主要来源于生产过程中燃烧煤和木屑所排放的 CO₂，提高再生能源在电力中的比例是减少 CO₂ 排放最有效的措施。

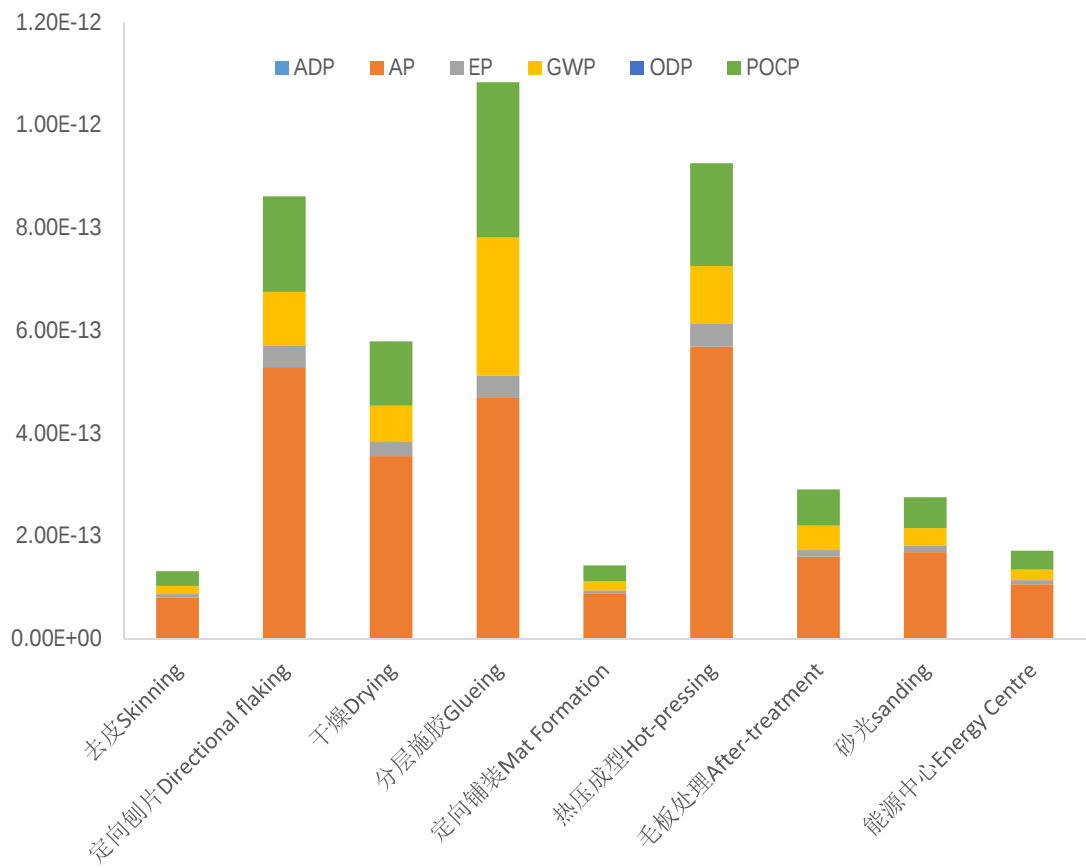


图 4-12 定向刨花板 OSB3 生产的环境影响总值

Fig.4-12 The total environmental potential value and proportion of OSB3 production stages

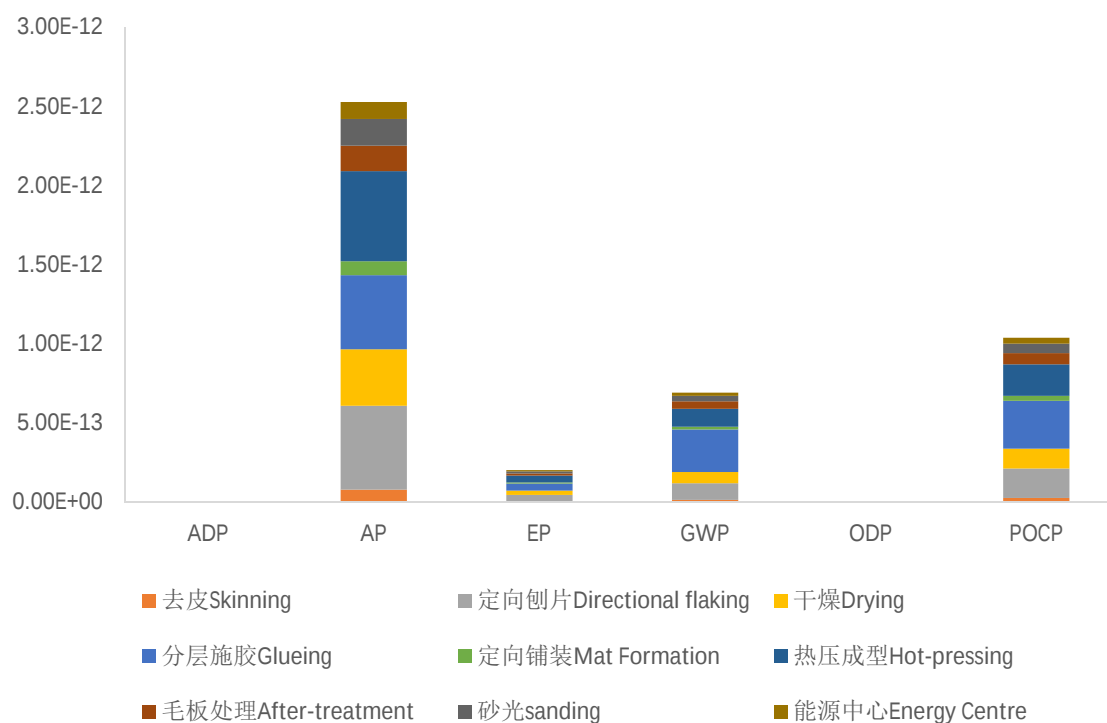


图 4-13 定向刨花板 OSB3 生产的环境影响加权值

Fig.4-13 Weighting results of Environmental impact during OSB3 production

4.3.2 OSB2/3/4 生命周期评价结论对比分析

本章对另外两种定向刨花板产品 OSB2、OSB4 的环境影响进行评价并与 OSB3 环境影响进行比较，这三种产品代表不同的木材资源利用水平、能源有效利用水平和环境负荷水平。如表 4-11、4-12 所示，对 OSB2/OSB3/OSB4 三种等级 OSB 产品来说，总影响值分别为 $3.26\text{E-}12$ 、 $3.48\text{E-}12$ 、 $5.87\text{E-}12$ ，从大到小依次排列为 $\text{OSB4} > \text{OSB3} > \text{OSB2}$ ，其中 OSB3 略大于 OSB2 等级，但 OSB4 则大幅度大于 OSB3 等级。这就表明 OSB3 因产品密度增加和施胶量增大导致资源使用和能耗使用对环境影响大于 OSB2 中造成的环境影响，而 OSB4 因为产品等级的使用条件要求，为了保证强度，产品密度大幅增加，同时施胶量也相较于普通的 OSB2/OSB3 等级增幅明显，所以 OSB4 对最终环境的影响值是最大的。

表 4-11 定向刨花板 OSB2/OSB3/OSB4 环境影响对比分析

Tab.4-11 Enviromental performance of 1 m³ of OSB2/3/4

等级 Grade	非生物性资源 耗损 ADP	酸化效应 AP	富营养化 EP	全球气候变暖 GWP 100	臭氧层损 耗 ODP	光化学烟雾 POCP
OSB2	9.38E-16	1.73E-12	1.06E-13	6.47E-13	2.35E-17	7.76E-13
OSB3	1.31E-15	1.81E-12	1.17E-13	7.24E-13	2.40E-17	8.26E-13
OSB4	2.79E-15	2.99E-12	2.00E-13	1.30E-12	4.46E-17	1.38E-12

表 4-12 CML 各影响类别贡献率对比表

Tab.4-12 The contribution rate of CML impact category

环境影响类别 Impact category	OSB2	OSB3	OSB4
非生物性资源耗损 ADP	0.029%	0.038%	0.048%
酸化效应 AP	53.084%	52.050%	50.873%
富营养化 EP	3.257%	3.374%	3.412%
全球气候变暖 GWP 100	19.826%	20.797%	22.089%
臭氧层损耗 ODP	0.001%	0.001%	0.001%
光化学烟雾 POCP	23.803%	23.740%	23.577%
总综合值 Total	3.26E-12	3.48E-12	5.87E-12

4.4 本章小结

本研究根据 LCA 生命周期中清单分析步骤,在对定向刨花板生命周期影响评价之前,必须对定向刨花板生命周期内的输入输出进行分类。再按照 GaBi ts 所提供的计算方法对各影响分类结果进行特征化计算,然后再进行量化评估并最终赋予环境影响类型一个可供比较、可供量化的标度值。得到结论如下:

(1) 本研究采用 CML2001 六种典型环境影响类别(为非生物性资源损耗 ADP、酸化效应 AP、富营养化 EP、全球气候变暖 GWP 100、臭氧层损耗 ODP 及光化学烟雾 POCP)的归一化基准值及相应权重,对中国三种定向刨花板产品进行评价比较,结果表明:OSB2/OSB3/OSB4 三种等级产品总的环境影响潜力值分别为 3.26E-12、3.48E-12、5.87E-12,从大到小依次排列为 OSB4>>OSB3>OSB2,其中 OSB3 略大于 OSB2 等级,而 OSB4 最终对环境的影响值远高于 OSB2/OSB3。

(2) 从环境角度出发, 通过计算定向刨花板原材和能源消耗及污染物排放清单发现: 生产 1 立方米 OSB3 环境影响的最主要类型分别是: AP、POCP 和 GWP 100, 加权结果分别为 $1.81\text{E-}12$ 、 $8.26\text{E-}13$ 、 $7.24\text{E-}13$ 。分别占定向刨花板总环境影响值的 52.1%、23.7% 和 20.8%, 而定向刨花板 EP、ADP 和 ODP 合计环境影响值仅占总值的 3.4%, 影响微乎其微。

(3) 定向刨花板的生产工序中, 施胶的环境影响最严重, 占定向刨花板生命周期总环境影响的 28.4%, 其主要影响因素为 AP; 热压成型工序次之, 占总值的 18.0%, 其主要影响因素也为 AP, 刨片工序占 16.8%, 然后是干燥工序, 占 11.3%, 而其它各个工序对环境总的影响比例约为 25.5%。定向刨花板生产中, 电力和胶粘剂会对多个环境指标的数据结果产生明显影响, 要减少定向刨花板的环境影响需要着重关注电力和胶粘剂的消耗。

(4) 在不借助 CML2001 的分类评价方法下, 我们仅对定向刨花板生产过程的 Output 清单进行分析, 得出了不同等级 OSB 不同工序的部分环境影响气体和颗粒物排放清单数据, 1m^3 OSB2/OSB3/OSB 4 的环境影响排放顺序基本一致, 即为: 二氧化碳 > 氧化氮 > 二氧化硫 > 颗粒物($\leq \text{PM}_{2.5}$) > 颗粒物($\geq \text{PM}_{10}$) > 颗粒物($\text{PM}_{2.5}-\text{PM}_{10}$)。其中 OSB3 生产过程中直接排放的环境影响气体分别为: 271.08kgCO_2 、 0.73kgSO_2 和 1.26kgNO_x ; 而直接排放的颗粒物包括 PM_{10} 以上 0.04kg 、 $\text{PM}_{2.5}-\text{PM}_{10}$ 0.03kg 、 $\text{PM}_{2.5}$ 以下 0.23kg 。

第五章 国内外典型 OSB 生命周期环境影响对比研究

目前,欧洲定向刨花板生产采用的标准是欧洲共同体标准 EN300-2006,北美定向刨花板产品采用 PS2-10 标准制造。我国于 2000 年非等效采用欧洲共同体标准 EN 300-1997 颁布实施了 LY/T 1580-2000《定向刨花板》,并于 2010 年进行了修订,目前执行 LY/T 1580-2010。同时,为了适应定向刨花板在结构房屋上的应用,我国 2012 年即开始参照北美 PS 2-2010 制定 LY 2389-2014《轻型木结构建筑覆面板用定向刨花板》标准。

可以说我国定向刨花板的生产标准与欧洲和北美体系相容度非常高,LCA 可以帮助定向刨花板产品改进环境影响的工艺过程,分析比较定向刨花板生产系统内的不同工艺过程环境影响,从而帮助定向刨花板的绿色产品设计。通过与国外有代表型定向刨花板工厂的生命周期清单的分析对比,对中国定向刨花板行业的生产工艺及参数指标进行对标优化,可以找出我国与主要发达国家的定向刨花板生产工艺及参数指标的异同之处,为进一步优化提高我国定向刨花板生产水平和产品质量提供坚实的理论基础。

5.1 国内外 OSB 生命周期评价目的与范围

本研究选择定向刨花板作为研究对象,选择生命周期评价(LCA)方法作为评价工具,利用生命周期评价软件 GaBi 软件进行 LCA 评价。

研究的主要目的一是对定向刨花板的原材料生产及运输、基本单元制备阶段、板坯成型热压阶段、后期加工阶段等进行 LCA 评价,找出生命周期中最大的环境负荷阶段;二是对中国 OSB /欧洲 OSB /北美洲 OSB 三个地域工厂的定向刨花板所涉及到的生产工艺过程进行生命周期评价研究,寻找对环境影响最重要的工艺环节和相应的环境影响类型,分析其原因,并提出相应改进措施,以促进定向刨花板产业的健康和可持续发展,为进一步优化提高我国定向刨花板生产水平和产品质量提供坚实的理论基础。

为了更好进行定向刨花板的生产工艺及工厂运营的数据对比,所选的系统边界涵盖定向刨花板制造过程,包括原材料生产到最后的工厂门口的包装产品。生产一个单位立方米(体积)的定向刨花板(产品组合 1/3 OSB2、1/3 OSB3 和 1/3 OSB4)。本研究为

“Cradle-to-Gate”。本研究包含林木培育，生长、砍伐以及原辅材料的运输。以及生产企业的加工制造、环境排放数据，但不考虑定向刨花板使用及回收过程所消耗能源的生产阶段，以及整个使用、回收阶段涉及的运输过程。

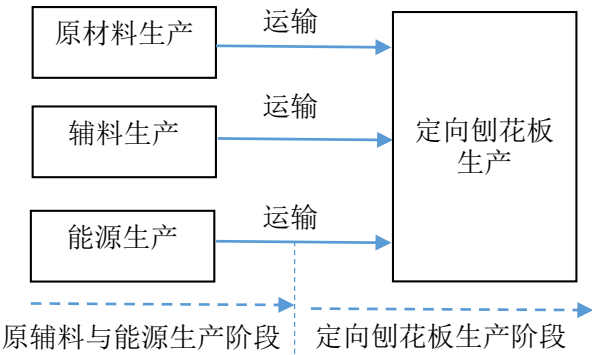


图 5-1 Cradle-to-Gate 定向刨花板生命周期评价系统边界

Fig.5-1 The system boundary of LCA of OSB from Cradle-to-Gate

5.2 国内外典型定向刨花板生命周期评价清单分析

5.2.1 中国典型 OSB 工厂

本研究基于一家典型国内定向刨花板生产企业的加工制造、环境排放数据。该企业的生产规模和生产技术工艺极具代表性，且生产稳定。在热能工厂，除了使用部分加工剩余物如砂光粉和木屑料（树皮、碎料、边角废料）外，同时还要另外购买一些木屑料用以补充能源工厂之用。OSB 2/OSB 3/OSB 4 的规格均为 2440 mm×1220mm×15 mm，其 1m³ 的定向刨花板平均密度为 636.81kg/m³，成品平均含水率为 6%，所用胶黏剂为异氰酸酯（PMDI），施胶量为 4-6%，生产工艺为目前最先进的连续平压技术。国内原材料运输距离不大于 500 km，胶粘剂 MDI 运输距离不大于 1000km，石蜡防水剂运输距离不大于 1000km，而能源工厂用木屑燃料运输距离约 50km。

该企业的加工制造、环境排放数据可以用表 5-1、表 5-2 来总结。

表 5-1 1m³ 中国典型 OSB Input 输入清单分析Tab.5-1 Input in LCI of 1m³ OSB2 in China

材料输入 Materials INPUT	单位 Unit	OSB2 合计	OSB3 合计	OSB4 合计
原木材料 Wood materials	kg	1993.91	1993.91	2216.1
胶黏剂-异氰酸脂 Adhesive-PMDI	kg	14.68	22.96	53.34
防水剂-石蜡 Waterproofingagent-paraffin	kg	3.05	6.29	10.29
添加剂-水 Additive-water	kg	30.43	30.43	26.03
电力 Electricity	kWh	195.61	195.61	307.46
柴油 Diesel fuel	L	0.8	0.83	0.83
外购木屑料 Sawdust materials purchased	kg	34.23	34.23	244.69

表 5-2 1m³ 中国典型 OSB Output 输出清单分析Tab.5-2 Output in LCI of 1m³ OSB2 in China

输出 OUTPUT	材料 Materials	单位 Unit	OSB2 合计	OSB3 合计	OSB4 合计
产品 Output	定向刨花板 OSB	kg	608	620	680
	树皮 Bark	kg	258.54	258.54	288.2
副产品 Output	碎料 Particles	kg	26.61	26.74	29.97
	砂光粉 Sanding powder	kg	43.16	44.02	48.28
废弃物 Output	粉尘 Dust	kg	0.406	0.406	0.558
	滤渣 Slag	kg	21.3	21.3	27.89
	二氧化硫 SO ₂	g	0.727	1.46	2.68
	氨氮 Ammonia&nitrogen	g	3.85	3.85	7.77
空气&水体排放 Output	悬浮物 Suspension	g	43.81	43.81	80.33
	化学需氧量 COD	g	148.88	148.88	272.96
	游离甲醛 formaldehyde	g	0.25	0.25	0.46

5.2.2 欧洲典型定向刨花板工厂

欧盟 EU-27 的平均数据主要来自于欧洲两家著名的定向刨花板生产企业：EGGER 公司和 Swiss Krono 公司, 拥有较为完善丰富的生产经验, 根据该企业 2012 年发布的 EPD 环境申明文件显示, 其申报单位也为生产一个单位立方米 (体积) 的定向刨花板 (按照实际产量关系来进行计算, 欧洲定向刨花板工厂 LCA 评价数据中, 50% 来自 EGGER, 50% 来自 Krono。1m³ 欧洲定向刨花板的平均密度为 621.20kg/m³, 水分含量为 5%。

欧洲定向刨花板工厂产品结构同样也是三层铺装,与国内定向刨花板使用 100%异氰酸酯胶粘剂不同,欧洲定向刨花板工厂面层为 MUF 树脂层,中间为 MDI 树脂层,底层为 MUF 层。MUF 的施胶量为 3.5-5%,而 MDI 的施胶量为 2-3.5%。防水剂石蜡的添加比例为 1%。

欧洲大部分定向刨花板工厂都坚持优先采用拥有 PEFC 或 FSC 证书的原木。EGGER 工厂所用的木材中,93%来自于 250 km 内,7%需借由轮船海运,海运的距离为 1020 km;胶粘剂、尿素来自 1300 km 的距离内。而 Swiss Krono 公司所用的木材中,有至少 40%的松木经过了 FSC 或 PEFC 认证。一般而言,Swiss Krono 公司只使用国内木材,其木材一般取自 300 km 内,平均传输距离是 136 km。其生产所需要的胶粘剂、尿素一般来自 800 km 的距离内。

5.2.3 北美洲典型 OSB 工厂

在北美地区,定向刨花板已广泛应用于运输、建筑,以及包装行业,在使用方面可以代替厚胶合板和结构用实木。根据 2013 年 Amerian Wood Council 和 Canada Wood Council 共同发布的 EPD 环境申明文件显示,北美洲定向刨花板 LCA 研究中的申报单位为一个单位立方米(体积)的定向刨花板,平均密度为 633.84kg/m^3 ,水分含量为 5.5%。

北美洲定向刨花板工厂产品结构同样也是三层铺装,与国内定向刨花板和欧洲定向刨花板工厂都略有差异,面层为 PF 树脂层,中间为 MDI 树脂层,底层为 PF 层,PF 的施胶量为 3.4%,而 MDI 的施胶量为 0.5%,防水剂石蜡的添加比例为 1.6%。在北美,93%的木材来源于最大半径 200 km 内,平均距离为 143 km,异氰酸酯胶粘剂来自 1328 km 的距离内,石蜡平均运输距离为 1149 km,酚醛树脂胶粘剂则来自于 932 km。

5.3 中国与欧洲&北美洲 OSB 工厂生命周期评价比较

5.3.1 能源消耗影响评价比较

以生产 1m^3 定向刨花板为单位,初级能源消耗图 5-2 显示了一个立方米的定向刨花板组合原材料阶段即生产制造阶段不可再生及可再生能源消耗的总和。

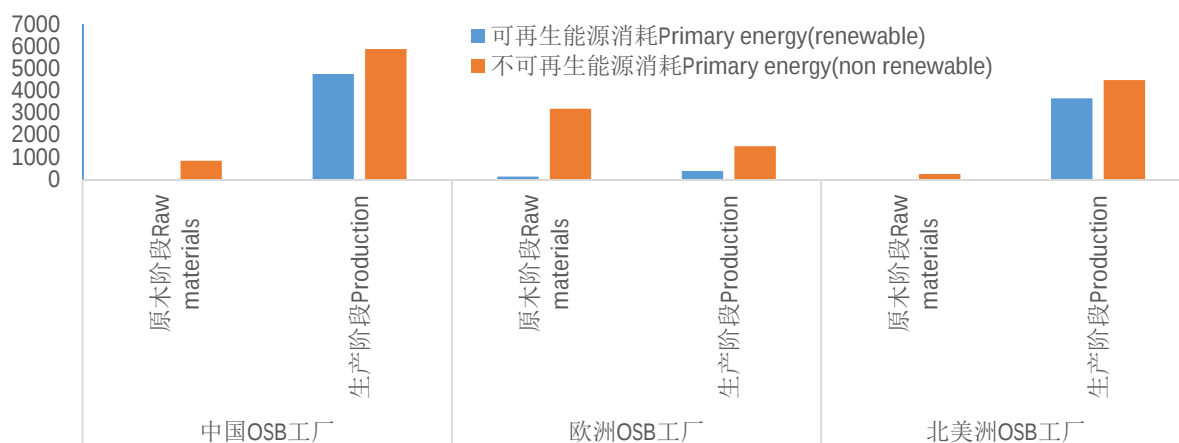


图 5-2 国内外 OSB 工厂能源消耗对比分析 (MJ)

Fig.5-2 Energy consumption for the Manufacturing of 1 m³ OSB board between China and Europe/North America

表 5-3 国内外 OSB 工厂能源消耗对比分析

Tab.5-3 Energy consumption for the Manufacturing of 1 m³ OSB board between China and Europe/North America

能源类型 Energy type	中国 OSB 工厂		欧洲 OSB 工厂		北美洲 OSB 工厂	
	原木阶段 Log phase	生产阶段 Production Phase	原木阶段 Log phase	生产阶段 Production Phase	原木阶段 Log phase	生产阶段 Production Phase
可再生能源消耗 Primary energy(renewable)	11.4	4866.1	-	-	0.8	3683.9
不可再生能源消耗 Primary energy(non renewable)	941.1	4698.3	3370.9	1684.0	337.7	4439.7

结合图 5-2 和表 5-3，我们可以看出：从不可再生能源的消耗量来看，北美洲<欧洲<中国。中国生产的定向刨花板不可再生能源消耗量最多，约为每立方米 5639.4 MJ，其中原木采伐和运输阶段为 942.1MJ，约占总计的 16.7%，定向刨花板生产和包装阶段为 4698.3 MJ，约占总计的 83.3%。其次是欧洲生产的定向刨花板不可再生能源消耗为 5054.9MJ，其中原木采伐和运输阶段为 3370MJ，约占总计的 66.7%，定向刨花板生产和包装阶段为 1684.0MJ，约占总计的 33.3%。北美洲生产 1m³ 的定向刨花板的不可再生能源消耗最低，为 4777.3MJ，原木采伐和运输阶段为 337.7MJ，约占总计的 7.1%，定向刨花板生产和包

装阶段为 4439.7MJ，约占总计的 92.9%。在原木采伐和运输阶段中，欧洲定向刨花板不可再生能源消耗量最大，因为欧洲定向刨花板工厂原木采伐半径要小于中国定向刨花板工厂，但其仍有 7%的原料来自于轮船海运，距离为 1020 km 左右，所以在原木采伐和运输阶段欧洲定向刨花板工厂所消耗的不可再生能源更高。欧洲工厂通常会配备生物质电力工厂，专门用以供应人造板生产线的电力消耗，所以欧洲定向刨花板工厂的生产阶段消耗的不可再生能源资源较少。

从可再生能源的消耗量来看，北美洲<中国，欧洲部分缺少数据。中国生产的定向刨花板的可再生能源消耗量最多，约为每立方米 4877.5 MJ，其中原木采伐和运输阶段为 11.4MJ，占比 2.3%，定向刨花板生产和包装阶段为 4866.1MJ，占比 97.7%。北美洲生产 1m³ 的定向刨花板的可再生能源消耗较低，为 3684.7MJ，其中，原木采伐和运输阶段为 0.8MJ，生产和包装阶段为 3683.9MJ。中国定向刨花板工厂大多是 2010 年后建设投产的，选装了最新先进的 GTS 热能中心设备，而且中国的电力结构中水电比例较高，这就使得中国定向刨花板工厂生产阶段可再生能源资源的比例较高。

通常来说，光合作用除了能起到固碳作用外，还能将大部分可再生能源在原材料中存储下来，存储在定向刨花板产品中直到其“生命的终结”，主要能源消费的组成调查表明，制造一个立方米的 OSB3 大约需要 12307 MJ 的再生能量，约 98.6%的太阳能以及约 1.5%的风能和水能，完全焚烧下 1 立方米的定向刨花板可以释放 10597MJ 热值。为了更加聚焦定向刨花板生产过程中的能源消耗，本研究并未考虑原木生长过程中的可再生太阳能因素。

5.3.2 能源结构分析

通过对电力能源使用结构进行更详细的评估，可以发现：中国定向刨花板工厂生产 1 立方米的定向刨花板所使用的电力主要能源结构是硬煤^[109]，占比高达 77%；其次是水力发电的电力，大约占 17.7%，来自于重油电力占比 3%，然后是核能，占比约 1.5%，另外生物质能源、天然气及高炉煤气占比非常少，分别占比 0.50%、0.30%及 0.10%。而欧洲定向刨花板工厂生产 1 立方米的定向刨花板的电力能源结构分析显示：天然气是最重要的能源^[110]，所占比高达 47%；其次是原油的电力，大约占 28%；来自于核能电力占比 14%，然后是硬煤和褐煤，占比分别为 7%和 5%。

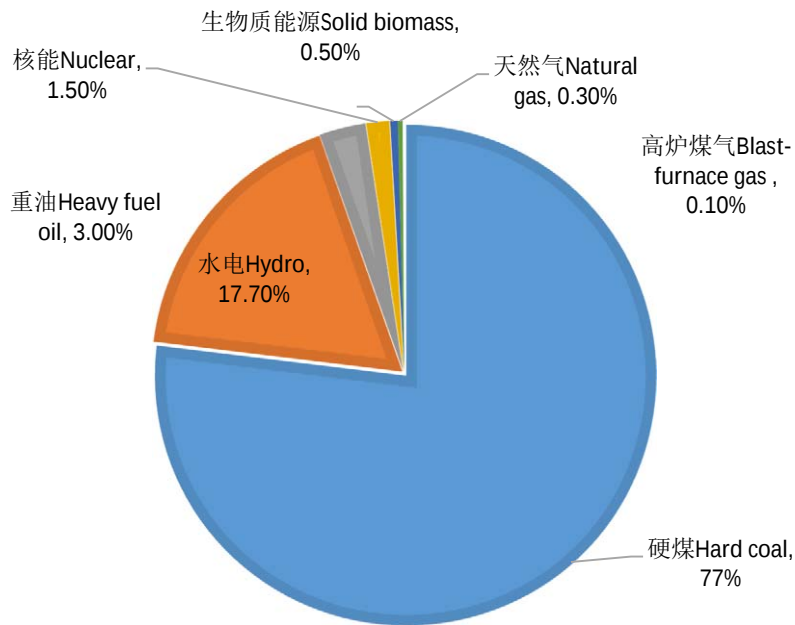


图 5-3 中国 OSB 工厂的不可再生能源结构分析

Fig.5-3 Distribution of the non-renewable energy consumption by energy source for the manufacturing of 1m³ OSB in China and Europe

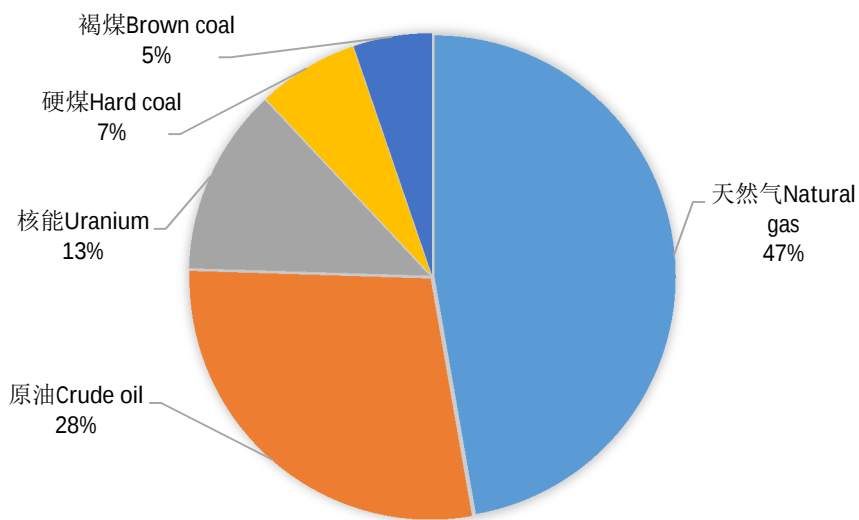
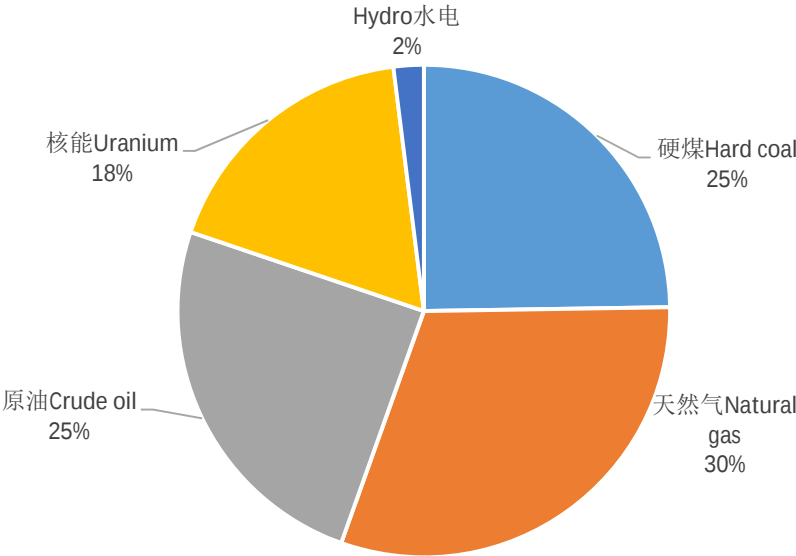


图 5-4 欧洲 OSB 工厂的不可再生能源结构分析

Fig.5-4 Distribution of the non-renewable energy consumption by energy source for the manufacturing of 1m³ OSB in and Europe

在北美洲区域，生产 1 立方米的定向刨花板的电力能源结构分析显示：电力能源结构较为平均^[111]，其中天然气能源占比最大，占比为 30%；其次是来自于原油和硬煤的电



力，均为 25%；来自于核能电力也较高，占比为 18%，另外水电占比约 2%。

图 5-5 北美洲 OSB 工厂的不可再生能源结构分析

Fig.5-5 Distribution of the non-renewable energy consumption by energy source for the manufacturing of 1m³ OSB in North American

本文研究的三个产品中，电力消耗作为主要的能源来源，与生命周期内的总环境影响密切相关。为了更加准确评估定向刨花板在生产过程中造成的总环境排放，必须考虑电力生产过程所造成的间接环境影响。通过对比不难发现，中国电力结构组成中煤炭比重过大，导致国内生产企业的环境压力较大。而且，中国水电调节性能差，容易受季节性因素影响，导致对煤炭的供应依赖。欧洲的电力结构向更为清洁的能源进行倾斜，更多依赖于天然气的燃烧，对煤炭的依赖度仅为 18%。另外不难发现，欧洲和北美洲地区核能设施较为完备，核电占比较高，分别占比 14%和 18%，而我国核电仅占比为 1.5%。

5.3.3 CO₂ 环境影响排放评价比较

通过分析每生产 1m³ 定向刨花板的各个工序 CO₂ 理论直接排放值可知，定向刨花板制造工厂 CO₂ 的排放为生产过程中的直接排放以及电力和胶黏剂等其它输入物质流产品

的间接排放之和。一方面,木材生长中吸收 CO₂ 在通过光合作用后存储在木材中,直到生命周期结束,储存在定向刨花板中的 CO₂ 才释放出来。如果 CO₂ 吸收(输入)量高于定向刨花板生产过程中的 CO₂ 排放量(输出),则意味定向刨花板产品是高固碳产品,对环境的影响小^[112]。通过 CO₂ 排放分析,我们能直接得到整个生命周期内每生产 1m³ 定向刨花板的 CO₂ 的理论排放值。

CO₂ 排放分析如图 5-5 所示。通过分析,可以发现,每立方米的中国 OSB 原木运输阶段产生 72kg 的 CO₂ 排放,而生产过程中会制造产生 275kg 的 CO₂ 排放,其中 101kg 的 CO₂ 来自生产阶段的直接热利用,174kg 来自 CO₂ 化间接排放。另一方面,每立方米定向刨花板包含 1157kg 的 CO₂,直到生命周期结束,储存在定向刨花板中的 CO₂ 才释放出来。而欧洲定向刨花板工厂的 CO₂ 分析表明,每立方米的定向刨花板制造产生 255kg 的 CO₂ 排放,其中 136kg 的 CO₂ 来自生产阶段的直接热利用,119kg 来自 CO₂ 间接排放。1m³ 定向刨花板中共 1168.5kg 的 CO₂ 通过光合作用后存储下来。而北美洲定向刨花板工厂的 CO₂ 分析表明,每立方米的定向刨花板制造产生 335kg 的 CO₂ 排放,其中 87kg 的 CO₂ 来自生产阶段的直接热利用,248kg 来自 CO₂ 间接排放。1m³ 定向刨花板中共 1098.94kg 的 CO₂ 通过光合作用后存储下来。

对于生产 1m³ 的定向刨花板产品,原材料生长时需要吸收的 CO₂ 按序排列依次为:北美洲 OSB<中国 OSB<欧洲 OSB,分别为:1098.94KgCO₂、1157KgCO₂ 和 1168.5KgCO₂。

通过 CO₂ 排放分析表明,在定向刨花板原木及运输阶段,美国 OSB<中国 OSB<欧洲 OSB,分别为:13kg、72kg、136.25kg,说明美国原材料获取更为方便和便捷。欧洲 OSB 在原木及运输阶段的 CO₂ 排放量最大,主要是因为部分原材料需要远洋运输。

在生产阶段,欧洲 OSB<中国 OSB <北美洲 OSB,分别为:255kg、275kg、335kg,说明欧洲定向刨花板生产过程中清洁能源使用比例较高,CO₂ 间接排放最好,仅为 119KgCO₂。北美洲定向刨花板生产过程中的 CO₂ 排放最大,是因为北美洲定向刨花板起步较早,有部分生产线老旧,据统计,目前有约 40%的生产线为多层压机。在欧洲及中国,目前工厂采用的基本上都是生产效率、能源使用效率更高的连续压机生产线。

在原木生长、采伐、运输、生产这一整个生命周期内,1m³ 中国定向刨花板的 CO₂ 排放平衡计算后为负值,为-811KgCO₂,即抵消定向刨花板生产运输过程中的 CO₂ 排放后,仍有 811KgCO₂ 存储在定向刨花板中,直至整个全生命周期结束后才会释放。欧洲

定向刨花板的 CO₂ 排放平衡计算后为-777KgCO₂，即抵消定向刨花板生产运输过程中的 CO₂ 排放后，仍有 777KgCO₂ 存储在定向刨花板中。而北美洲定向刨花板的 CO₂ 排放平衡计算后为-664KgCO₂，即抵消定向刨花板生产运输过程中的 CO₂ 排放后，仅有 664KgCO₂ 存储在定向刨花板中。所以，综合来看，中国定向刨花板的 CO₂ 环境特征表现最好。

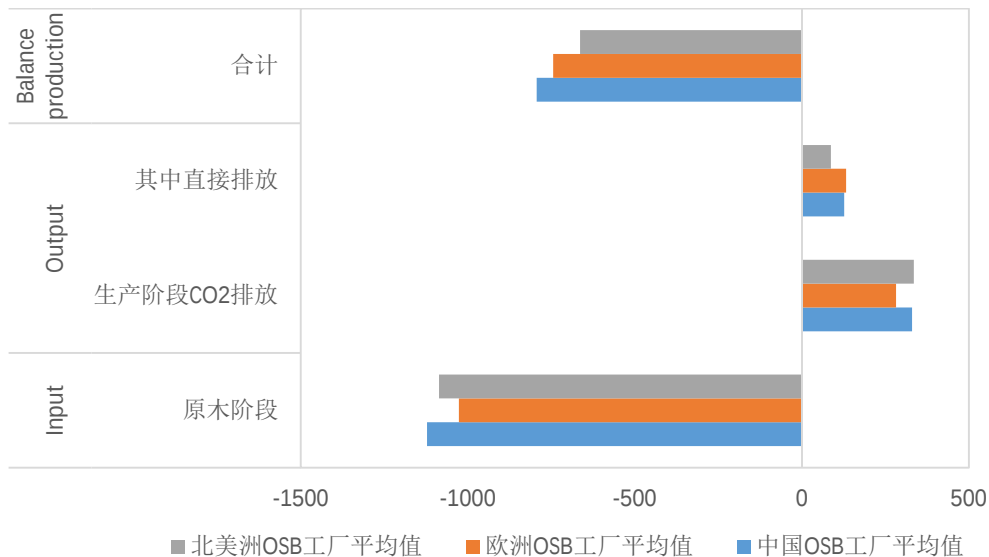


图 5-6 国内外 OSB 的 CO₂ 环境排放平衡表 (kg)

Fig.5-6 CO₂ balance sheets for the manufacturing of 1 m³ of OSB board (product mix)

5.3.4 水资源消耗对比分析

水足迹概念（Water Footprint）最早由荷兰屯特大学 Hoekstra 教授等人提出，其可全面衡量产品生成过程的水资源总消耗量。其定义为人类生产和消费过程中消耗的淡水资源总量，包括直接用水量和间接用水量，之后这种在整个产品供应链中考虑用水的观点引来了越来越多的关注。水足迹评价作为一种分析工具，它即能够帮助人们搞清楚工业生产过程中水资源消耗的实际情况，以便于更为有效做好水资源高效利用管理，同时还可以用来描述工业生产活动与水资源短缺间的影响情况。水足迹反映了产品生产过程中的用水量之和，可以看作是水资源占用的综合评价指标。

国内外学者所采用的几种理论基础中，包含投入产出理论（Input-Output, I-O）。该理论最早由美国经济学家 Wassily Leontief 于 1936 年提出，用于核算最终使用产品在其生产过程中的完全资源消耗（如水资源消耗）。工业用新鲜水消耗量的概念即为企业自备水

量与自来水管道的总和。GB/T 29904-2013《人造板工业清洁生产评价指标体系》将新鲜水消耗量作为人造板清洁生产中重要的资源与能源消耗指标列入其中。

目前，我国水资源短缺、水污染严重、水生态环境恶化等问题日益突出，迫切需要解决。近期《关于加强资源环境生态环境红线管控的指导意见》由国家发改委联合多个部委制定并共同发布，旨在加强用水总量控制。在“节流”的同时，我国还正在开发可替代新鲜水的水资源的方式方法，从而降低企业生产对新鲜水资源的消耗。

参照 GB/T 29903-2013《人造板工业清洁生产技术要求》，本研究将相关结果与北美 OSB 企业进行分析对比，以表征中国定向刨花板生产制造的清洁化水平。在中国，生产 1m³ 的定向刨花板需要消耗 28.96kg 新鲜水资源。在美国，生产 1m³ 定向刨花板需要消耗 36.28kg 新鲜水资源。在加拿大，生产 1m³ 的定向刨花板需要消耗 79.10kg 新鲜水资源。由此可见，在加拿大生产的定向刨花板，消耗的水资源最多。这主要是因为加拿大大部分季节天气寒冷，定向刨花板加工需要增加水洗工序。

按照权重系数折算后，北美洲定向刨花板生产 1m³ 的定向刨花板需要消耗 47.84kg 新鲜水资源。通过对比发现，中国生产 1m³ 的定向刨花板产品与北美洲相比，可以少消耗 18.88kg 新鲜水资源，节省了 39.46%的水资源消耗。

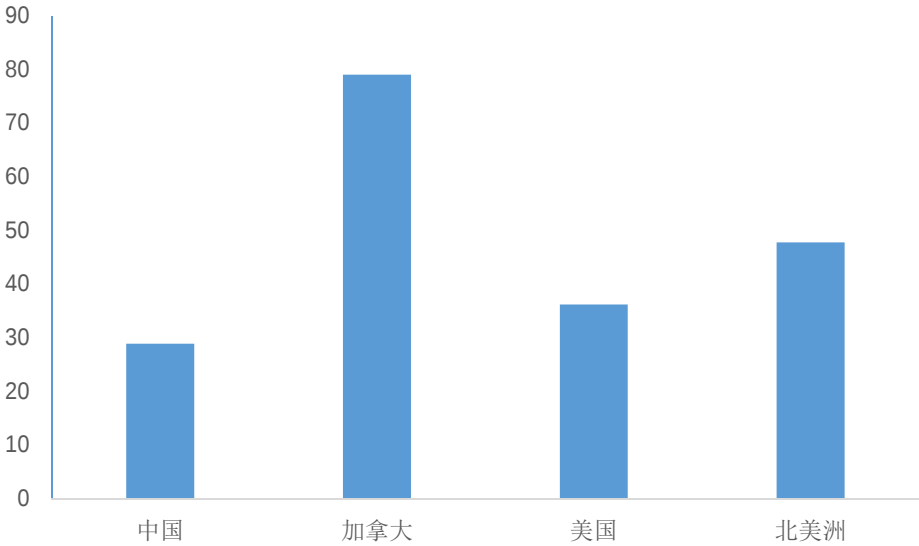


图 5-7 国内外 OSB 的新鲜水消耗量(kg)

Fig.5-7 The fresh water resource consumption of 1 m³ OSB (kg)

5.3.5 生命周期环境影响对比分析

本文考虑的影响类型对比分析见表 5-4。中国定向刨花板工厂的富营养化 EP 均要大于欧洲定向刨花板工厂和北美洲定向刨花板工厂，而中国定向刨花板工厂的非生物性资源损耗 ADP 和全球气候变暖 GWP 与欧洲定向刨花板工厂基本持平，而在酸化效应 AP、臭氧层损耗 ODP 和光化学烟雾 POCP 方面则是介于欧洲定向刨花板工厂和北美洲定向刨花板之间。具体分类来看：

ADP 影响类型与矿物资源消耗及化石能源消耗有关。CML-ADP 方法以金属锑作为基准物质，由于中国定向刨花板能源结构中使用了更多的煤电资源，非生物性资源损耗 ADP 特征化值为 $2.914\text{E-}04 \text{ kg Sb}$ ，远高于北美洲定向刨花板工厂 ADP 特征化值的 $2.29\text{E-}06 \text{ kg Sb}$ 。考虑到欧洲定向刨花板工厂原材料海运原因，与欧洲 ADP 特征化值的 $2.93\text{E-}04\text{kg Sb}$ 基本持平。

富营养化 EP 是一种水质污染现象，因氮氧化物气体的排放和最终粉碎残渣的填埋均会造成水体富营养化，从而破坏了整个水体的生态平衡。富营养化的表征参数是 $\text{kg Phosphate NO}_3^-$ 为当量单位，中国定向刨花板 EP 的特征化值为 0.210 kg 磷酸盐，而欧洲定向刨花板和北美洲定向刨花板工厂 ADP 特征值分别为 0.139 kg 磷酸盐和 0.10 kg 磷酸盐。

酸化效应 AP 主要考虑生产过程产生大量的 SO_2 、 NO_x 、 NH_3 和 HCl 等综合排放影响，能反应 SO_2 大气排放物和酸雨现象的关系。为了方便表示，酸化效应 AP 直接以 1kg 二氧化硫 SO_2 进行表示，如中国定向刨花板工厂在生产阶段 AP 特征化值为 1.3kg SO_2 ，远高于欧洲定向刨花板工厂 AP 特征化值的 0.64kg SO_2 ，主要原因是其能源结构中过重依赖于煤炭电力，而导致中国定向刨花板工厂的酸化效应 AP 为欧洲更高。

全球气候变暖 GWP 以 $1 \text{ kgCO}_2\text{-Equiv.}$ 能来反应温室气体排放物和全球气候变暖 GWP 的关系。中国定向刨花板工厂在生产阶段 GWP100 特征化值为 400.557kg CO_2 ，与欧洲定向刨花板工厂的 GWP100 特征化值为 405.31 kgCO_2 。这两个值基本持平但要远高于北美洲定向刨花板工厂的 248.30kg CO_2 。中国定向刨花板生产阶段的 GWP100 特征化值为 265.342kg CO_2 ，高于欧洲定向刨花板生产阶段的 GWP100 特征化值为 257.80kg CO_2 ，比较定向刨花板原木采伐及运输阶段的 GWP100 特征化值，可以发现欧洲略高于中国，欧洲为 147.505kgCO_2 ，中国为 135.215kg CO_2 。

目前，氟利昂（CFCI）是公认的会导致臭氧层破坏的化学成分。因此 ODP 使用氟利昂当量作为表征臭氧层破坏的因子。通过比较，可以发现在该值上，欧洲 OSB>中国 OSB>北美洲 OSB，其数值分别为 2.43E-05kg R11、4.087E-08 kg R11 和 8.23E-09 kg R11。

POCP 形成与氮氧化物和碳氢化合物有关，一般以乙烯当量为基准^[13]。中国和欧洲定向刨花板工厂和 PCOC 特征化值分别为 0.144 kg C2H4、0.129kg C2H4，远低于美国定向刨花板工厂的 1.39kg C2H4。

表 5-4 中国与欧洲&北美洲 OSB 的环境影响对比分析

Tab.5-4 The environmental potential value of manufacturing of 1m³ OSB board between China and European&North American

类别	中国 OSB 工厂			欧洲 OSB 工厂			北美洲 OSB 工厂		
Categor y	阶段 1 Phase1	阶段 2 Phase2	合计 Sum	阶段 1 Phase1	阶段 2 Phase2	合计 Sum	阶段 1 Phase1	阶段 2 Phase2	合计 Sum
ADP	7.541E-06	2.839E-04	2.914E-04	-	-	2.93E-04	-	-	2.29E-06
AP	0.773	0.778	1.550	0.375	0.576	0.951	1.14	14.35	15.49
EP	0.188	0.022	0.210	0.082	0.057	0.139	0.03	0.07	0.10
GWP 100	135.215	265.342	400.557	147.505	257.80	405.31	17.4	230.90	248.30
ODP	1.669E-09	3.920E-08	4.087E-08	1.27E-05	1.17E-05	2.43E-05	0.00E+0	8.23E-09	8.23E-09
POCP	0.084	0.060	0.144	0.071	0.058	0.129	0.21	1.18	1.39

注：Phase1 指原材料及运输；Phase2 指生产阶段。Phase1 refers to raw materials and transportation; Phase2 refers to the production stage.

5.4 本章小结

通过与欧洲、北美洲典型定向刨花板工厂的生命周期清单的分析对比，得出结论如下：

（1）初级能源消耗结果：不可再生能源的消耗量北美洲(4777.3MJ)<欧洲(5054.9MJ)<中国（5639.4 MJ），在原木采伐和运输阶段中，欧洲定向刨花板工厂所消耗的不可再生能源最高，原木采伐和运输阶段为 3370MJ，约占 66.7%。在生产阶段，欧洲定向刨花板工厂消耗的不可再生能源资源最少。这主要是因为欧洲工厂通常会配备生物质电力工厂。

(2) 中国定向刨花板工厂在生产 1 立方米的定向刨花板时，电力的能源结构为 77% 的硬煤和 17.7% 的水力发电。而欧洲定向刨花板工厂使用的能源主要是天然气，占比高达 47%；其次是由原油所发的电，约占 28%；来自于核能电力占比 14%；北美定向刨花板的生产过程中，天然气能源占比高达 30%；其次 25% 是来自于原油和硬煤的电力，而核能电力也占比达 18%。

(3) 通过 CO₂ 排放分析表明：原材料生长时需要吸收的 CO₂ 按序排列依次为：北美洲 OSB<中国 OSB<欧洲 OSB，分别为：1098.94Kg CO₂、1157Kg CO₂ 和 1168.5Kg CO₂。而在生产阶段 CO₂ 排放值，中国介于北美洲和欧洲之间，欧洲 OSB (255kg) < 中国 OSB (275kg) < 北美洲 OSB (335kg)。经过 CO₂ 排放平衡计算后，对于 CO₂ 的排放实际综合影响来看，中国 OSB (-811KgCO₂) > 欧洲 OSB (-777KgCO₂) > 北美洲 OSB (-664KgCO₂)。即抵消定向刨花板生产运输过程中的 CO₂ 排放后，中国仍有 811Kg CO₂ 存储在 1 立方米定向刨花板中，直至整个全生命周期结束后才会释放。

(4) 按照权重系数折算后的北美洲定向刨花板生产 1 立方米的定向刨花板时需要消耗 47.84kg 新鲜水资源。通过对比发现，中国生产 1 立方米的定向刨花板产品与北美洲相比减少消耗 18.88kg 新鲜水资源，节省了 39.46% 的水资源消耗。

(5) 由于中国定向刨花板能源结构中使用了更多的煤电资源，中国典型定向刨花板工厂的酸化效应 AP、富营养化 EP、全球气候变暖 GWP 和光化学烟雾 POCP 要明显高于欧洲和北美洲典型定向刨花板工厂，而在全球气候变暖 GWP 和臭氧层损耗 ODP 方面中国典型定向刨花板工厂表现高好于欧洲工厂，而逊于北美洲工厂。

第六章 中国定向刨花板环境影响评价体系研究

绿色建材的环境影响评价可有效指导工业生产和消费者选材，对拉动绿色消费，引导绿色发展起到重要推动作用，同时还可促进在全国范围内形成统一、开放的绿色建材消费市场。目前世界各国对于评估和评价绿色建材产品的标准不尽不同，绿色标签和标识种类繁多^[114-116]，建立一套世界通用，标准统一、科学易用的绿色建材产品评价体系迫在眉睫。

近年来，全生命周期评价成为绿色产品评估的主导方法。欧盟 2013 年发布 PEF，将基于 LCA 和 EPD 的产品环境足迹作为绿色产品的评估方法体系^[117]。建材 LCA 及 EPD 在国际主流绿色建筑评估标准中越来越受重视，并已获得广泛应用。目前，在建筑材料、家具家居、日化用品方面，很多欧美企业也纷纷为其生产的产品发布环境产品声明 EPD，也称 III 型环境标志。

国际绿色建材评价工作的模式可以为我国定向刨花板环境影响评价带来如下启示：不能简单地以绿色使用性能作为评价标准，应尽可能考虑产品全生命周期内的生产过程、废弃处置过程的环境影响。这样做有助于建立起有序的绿色建材市场。因此，建立完善的绿色产品环境影响评价体系，基于生命周期的视角评估绿色建材，并与国际市场接轨，引入 LCA 及 EPD 报告，将成为我国定向刨花板环境影响评估的发展方向。

6.1 III 型环境标志认证发展现状

鉴于消费者和普通公众对于环保的日益关注，促使消费市场上出现了很多打着“环保”旗号的产品问世，“环境友好产品”变成了商家纷纷抢夺的优质资源，相比于同等功能的产品，“环境友好产品”充分体现出优越性，而随着消费升级时代的来临，这种优越性会引导消费环保价值观的重塑。而为了真正鉴别出产品是否是“环境友好产品”，势必需要企业进行负责任的认证和评估，III 型环境标志既是在这样的背景下问世的，它通过评估产品整个生命周期包括原材料采伐阶段、生产制造阶段、消费使用阶段、废旧回收

阶段的环境影响，使得每一类产品都具有一组良好的环境信息数据呈现给公众，明确告诉公众产品绿色含义和指标值，赢得消费者的信赖。

III 型环境标志与 I 型、II 型环境标志有所不同^[118]。I 型环境标志是基于已经发布的各类产品标准，并由权威机构组织进行评估检测，通过后则由该权威机构来授予产品的合格环境标志。而 II 型环境标志并不需要权威机构或者第三方参与，仅仅是企业或者制造商自身的产品申明，并不具有公众认可度。

III 型环境标志，通常被称为 III 型环境声明（EPD），是提供产品环境信息数据量化的自愿计划，它必须基于 ISO14025 进行定量的生命周期评价分析并形成符合国际规范的报告，III 型环境申明报告还须通过权威第三方机构认可后方可发布。由于其量化的环境信息是基于科学的数据分析，并具有可验证型和可对比性，III 型环境标志已经被全世界很多国家和政府组织所接受，并在实际的政府采购行动中大力支持和鼓励。相较于 I 型环境标志而言，III 型环境标志所反映的产品环境信息更为客观，能有效规避不同国家因贸易保护主义所设定的贸易壁垒政策。同时，III 型环境标志具有更好的适应性，具有更为广泛的产品品类，申请程序也较为简单，可以与 I 型环境标志形成有效互补。

6.1.1 世界各国 III 型环境标志认证研究

III 型环境标志认证由美国学者首先提出，最早可追溯到 1994 年。其设计初衷是准确无误地将产品的生命周期环境信息传递给最终消费者。而随着 III 型环境标志的持续发展，它又有了新的作用，可以为产品产业链的下游客户提供准确的产品环境信息。目前，世界上已有许多国家先后开展了 III 型环境标志认证。欧洲国家尤其热衷开展 III 型环境标志认证，如丹麦、法国、德国、挪威、瑞典等国，分别对化学品、建筑业、能源和交通行业、纸和纸浆行业，以及纺织品开展 III 型环境标志认证。在欧洲国家中，瑞典的 III 型环境标志发展得最早也最为成熟，是由瑞典商务部门于 1997 年开始设立的。目前，瑞典已认证了超过 80 个产品项目，不仅获得了本国企业的高度认可，也获得了其它国家和企业的认可。这一切得益于瑞典环境管理委员会一直持续推广 III 型环境标志认证，并积极推进国际互认转化^[119]。

亚洲国家也是国际社会中推动 III 型环境标志快速发展的重要力量，尤其是日本和韩国，在开展 III 型环境标志认证方面发展较早。日本 III 型环境标志认证最早于 1998 年开

始设立，基于日本产业环境管理协会（JEMAIM）所推行的 Eco-Leaf 计划，目的是帮助环境管理协会会员企业取得发展所需要的产品环境申明。并于 2002 年对 III 型环境标志认证系统进行了全新升级，新增了“数据采集系统认证”部分，以确认 III 型环境标志数据采集过程中的科学性和可靠性，这是日本与世界其它国家 III 型环境标志认证系统的最大区别。目前通过日本 Eco-Leaf 计划的产品已经超过了 54 个大项，总计超过了 51 家公司和 579 项产品环境申明，覆盖了家用电器、办公设备、建材产品等多个领域。日本还另外单独涉及了可贴附在产品上的标签，直观显示便于理解的重要环境信息等内容，所以日本的 III 型环境标志体现了具有定量化和客观化的特点。

韩国则于 1997 年即开始实施 III 型环境产品生命 EPD，但正式实施是 2000 年 2 月，作为官方 III 型环境认证由韩国环保部（MOE）直接推动，并建立了 163 套国家 LCI 数据库，涵盖了电力能源、交通运输、建筑材料等领域，这得益于韩国《环境技术发展与支持法》的设立。韩国通过不断实践完善，目前已经形成了成熟完整的 III 型环境标志管理机构，即环保部（MOE）作为管理机构实施全方位管理，而韩国环保产业和技术研究院（KEITI）负责起草 PCR 文件、更新 LCI 数据库和信息网络管理，环境保护协会（KEPA）则配合培训审核员，并提供 LCI 教育工作，而最后由韩国环境管理公司（EMC）作为认证机构完成 III 型环境标志的审议、认证和阶段审查工作。

一些 III 型环境标志的国际合作组织相继成立，对于全球化推广 III 型环境标志认证至关重要。如全球环境声明网络（GEDnet）成立以来一致致力于 III 型环境标志认证的国际化工作，几乎每年都召开相关的国际论坛，创造了良好的国际交流平台，在国际 EPD 领域影响深远。该组织对于瑞典、日本、韩国等国顺利开展 III 型环境标志认证也起到了巨大帮助。这三国的 III 型环境标志认证流程虽然有所差异，但基本流程相近，具体表现为：

- (1) 设定产品规格标准；
- (2) 通过收集数据，对文件和现场进行审查，来进行系统认证；
- (3) 公布认证结果。

表 6-1 日本、韩国和瑞典三国 III 型环境标志认证对比分析表

Tab.6-1 The analysis tables of EPD between Japan, South Korea and Sweden

国家 Country	共性 similarity	特性 character	总结 summary
日本 Japan		III 型环境标志图标环境信息数据表、产品生命周期不同阶段信息、生命周期分析结果信息	有一个简明的 EPD 标签、图形和表格直观地体现了产品在生命周期各个阶段对环境的影响。所述环境信息详尽有对企业提供的数据进行保密
韩国 South Korea	企业相关信息、产品照片、型号、功能单位、III 型环境标志编号	系统边界、产品信息、数据质量说明、生命周期分析结果信息	有三种类型的 EPD 标签，满足不同产品的各种需要。EPD 中对生命周期清单数据的体现不够，仅有最后影响分析的结果
瑞典 Sweden		III 型环境标志图标、生命的范围、生命内容、产品生产工艺过程、系统边界、时间边界、环境表现声明	没有适合贴于产品上的 EPD 标签，只有一个详尽的 EPD 报告。但数据信息的详细程度不及日本。

国际市场上，欧盟、英国、新西兰、澳大利亚等国对拥有 LCA 分析及提供 III 型环境标志声明的进口/出口产品会提供额外加分；法国已经试点要求所有大宗消费品提供 III 型环境标志；欧盟正在试点开展产品环境足迹计划，拟在全欧洲实施 III 型环境标志，该计划将覆盖所有产品。因此，为了对接国际市场需求，我国的出口企业也应加快速度大力推进 III 型环境标志工作^[120]。

6.1.2 我国 III 型环境标志认证应用研究

中国 I 型环境标志计划的开展，最早可追溯到 1993 年，至今已发展了 20 余年^[121]。目前，I 型环境标志产品认证已广泛应用于我国民用电器的、办公设备、日用品，房屋建筑，装饰材料等领域。

中国 III 型环境产品声明计划发展虽晚，国内有一批相关的研究机构和科学工作者尽管已经进行了一些基础性的工作，但尚未形成完整的体系^[122]。而且，因为不能一味照搬国外的实践经验，在开发 III 型环境标志项目过程中，我国的学者们遇到了各种困难与问题，主要表现为：

(1) 生命周期清单数据基础匮乏：III 型环境标志申明中的信息完全基于产品生命周期评价的清单数据和环境影响分析。因此，建立权威公开的国家生命周期清单数据库对于我国有序展开 III 型环境标志认证意义重大。

(2) LCA 方法应用经验不成熟：由于 LCA 评价方法较为复杂，且对基础数据的要求较高，导致其实践和应用受各种主客观因素影响，并有很强的地域性。目前的 LCA 并没有能够被普遍接受的通用方法，仍有待于进一步完善和改进。鉴于我国在 LCA 方面的研究现状，可供借鉴的成熟经验少之又少。

(3) III 型环境标志意义认识不够。由于没有大力宣传，我国的生产企业和消费者不大了解 III 型环境标志认证，这就会制约 III 型环境标志的推广和应用。

6.1.3 建立 III 型环境标志必要性分析

企业实施产品 III 型环境标志，可以获得许多显而易见的好处，比如：

(1) 帮助企业树立绿色品牌，提高市场竞争力。经过权威第三方验证的 III 型环境标志产品，会受到市场的高度认可。

(2) 提高产品质量，并在技术上获得领先地位。实施 III 型环境标志认证的企业，会更重视管理质量，会通过加大投入，提升生产过程的科技含量，来保证产品质量，提高产品的环保性能，重视员工的身体健康。

(3) 为公众带来学习和享受。学习型社会倡导人人要学习科学。公众购买定向刨花板，首先接触产品环境信息声明，就能在获得相关知识的同时，读懂企业在生产之外所下的功夫。通过阅读获取相关知识，公众也可以感受到各行各业都在为公众享受绿色而持续改进。

(4) 可以成为打开欧美等发达国家市场的法宝。在欧美市场，EPD 广受认可。如果企业能洞察率先在国内实施 EPD，就可以在出口贸易时有助于打开欧美市场。

6.2 我国定向刨花板 III 型环境标志认证体系研究

6.2.1 我国 III 型环境标志认证流程

国际标准 ISO 14025《环境标志与声明-III型环境声明——原则和程序》明确要求的 EPD 的认证企业和 LCA 报告的审核方彼此独立，避免利益交换和黑箱操作，同时要求 EPD 必须由经市场广泛认可的第三方认证机构承担审查职能，进一步保证了 EPD 的权威性和公正性。

按照国际标准 ISO14025 相关要求，制定 III 型环境标志认证流程如下：首先制定一套管理和运行计划的规则，称为通用计划指南；定义产品类型，并制定出产品种类规则，即 PCR 文件；根据 PCR 文件，进行初步 III 型环境申明；经过进一步的独立验证，得到最终的 III 型环境申明结果；公布 III 型环境产品声明的结果^[123]。详细请参见图 6-1。

图 6-2 我国 III 型环境标志认证流程图



Fig.6-2 The ertification flow of III type environmental labeling in China

6.2.2 我国 OSB III 型环境标志认证关键指标体系 KPIs 构建

目前，对于定向刨花板 III 型环境标志认证评价体系，由于各国的标准不一，国际上也没有统一的标准和规章，近年来，出于对环境的保护以及对本国经济的保护，许多国外定向刨花板生产企业开始对定向刨花板产品进行绿色认证。为了进一步提高我国定向刨花板产品的国际竞争力，研究我国定向刨花板 III 型环境标志认证评价体系，将对我国定向刨花板从业企业充分参与国际市场竞争具有重要的意义。

为了进一步定量表征出定向刨花板生产过程中的实际消耗和产出，定向刨花板 III 型环境指标评价体系要能够尽可能地涵盖产品绿色特性的各个方面^[124]，在 III 型环境标志认证中以下就定向刨花板关键的主要环境影响因子进行辨识。

(1) 资源消耗。本论文所指的资源包括原、副材料以及动力能源等，是定向刨花板生产所必需的最基本条件。在生产过程中，生产性企业尽可能使用清洁能源（如木材等

可再生能源，通过采用合理的生产工艺以提高能源利用效率，减少非生物性能源消耗，减少环境污染。

(2) 环境分类影响。在进行定向刨花板 III 型环境标志认证评价时，我们应充分考虑其产品的特殊环境属性指标。主要环境分类影响包括温室效应/碳足迹、酸化效应 AP、富营养化 EP、臭氧层损耗 ODP、光化学烟雾 POCP。CO₂ 是定向刨花板行业另一个重要的污染排放物。定向刨花板生产过程中排放的 CO₂ 来源有两个方面：一方面化石能源燃烧时会释放 CO₂；另一方面，原辅材料的生产、运输过程，也会间接排放 CO₂。

表 6-2 中国 OSB III 型环境标志认证关键指标体系 KPIs 表

Tab.6-2 The key indicators system of III environmental labeling certification of OSB in China

一级指标 No.1 index	二级指标 No.2 index	三级指标 No.3 index	作用范围 Scope
定向刨花板生命周期评价结果 Life Cycle Assessment Results of Oriented strand board	资源消耗 resource consumption	可再生初级能源消耗	全球、地区、当地
		不可再生初级能源消耗	全球、地区、当地
		非生物型资源消耗 ADP	全球、地区、当地
	环境分类影响 Environment classification	温室效应/碳足迹	全球
		酸化效应 AP	地区、当地
		富营养化 EP	当地
		臭氧层损耗 ODP	全世界
		光化学烟雾 POCP	当地
	大气污染 atmospheric contamination	颗粒物（含粉尘）	当地
		人体健康影响	当地
	水足迹及水污染 Water footprint and water pollution	Water footprint 影响	当地
	生态环境毒理 eco-environmental toxicity	固体废弃物及噪音影响	当地

(3) 大气污染。大气污染中的重要污染物是烟尘和粉尘，定向刨花板生产过程中粉尘主要来自输送、拨皮、刨片、干燥、热压、裁片、砂光、热能中心等环节。定向刨花板的生产还会产生大量氮氧化物。

(4) 土壤、噪声属性。原木清洗、热压系统喷蒸以及生产设备清洗等生产过程会产生大量废水。在新型定向刨花板生产工艺中，废水经过处理后可以循环利用，而且废水中的有害物极少。

除了这些影响外，条件允许时也可将经济影响纳入其中。广义的定向刨花板成本通常由三部分组成，生产部分、用户部分和社会部分的成本组成。其中，生产成本包括产品的原辅材料、机械设备折旧、人工劳动力、工厂管理等；用户成本指用户在使用阶段所花费的成本，包括用户使用的能源成本、维修成本等；社会成本则指企业要承担产品报废处理、环境污染整治等所产生的社会费用。

6.3 基于生命周期评价的中国 OSB III 型环境标志申明步骤

6.3.1 定向刨花板 III 型环境标志认证生命周期系统边界

2013 年 2 月，我国出台《低碳产品认证管理办法》，该方法完全以生命周期评价体系作为依据标准，并基于此开展国际互认和交流推广^[125]。如今，在定向刨花板领域，为了更好引导消费者倾向于选择更为低碳排放产品，本论文构建了基于生命周期评价体系的我国 OSB III 型环境标志认证规范，并完善了申明文件步骤。我国定向刨花板 III 型环境标志认证可分为三种系统边界：

(1) “Gate-to-Gate”，本研究重点评价生产企业的加工制造、环境排放数据，不考虑原木生产运输、定向刨花板使用及回收过程所消耗能源的生产阶段，以及整个使用、回收阶段涉及的运输过程，其基本系统边界见图 3-2 中的“定向刨花板生产阶段”。

(2) “Cradle-to-Gate”，本研究包含林木培育，生长、砍伐以及原辅材料的运输。以及生产企业的加工制造、环境排放数据，但不考虑定向刨花板使用及回收过程所消耗能源的生产阶段，以及整个使用、回收阶段涉及的运输过程。其基本系统边界见图 3-2 中的“原料与能源生产阶段+定向刨花板生产阶段”。

(3) “Cradle-to-Cradle”，本研究包含从林木培育，生长、砍伐以及原辅材料的运输；以及生产企业的加工制造、环境排放数据；同时还考虑定向刨花板使用及回收过程所消耗能源的生产阶段，以及整个使用、回收阶段涉及的运输过程。其中生产流程（可由不

同的人造板产品建立流程图), 不包括使用和报废阶段。其基本系统边界见图 3-2 中的“原料与能源生产阶段+定向刨花板生产阶段+使用及循环再利用阶段”。

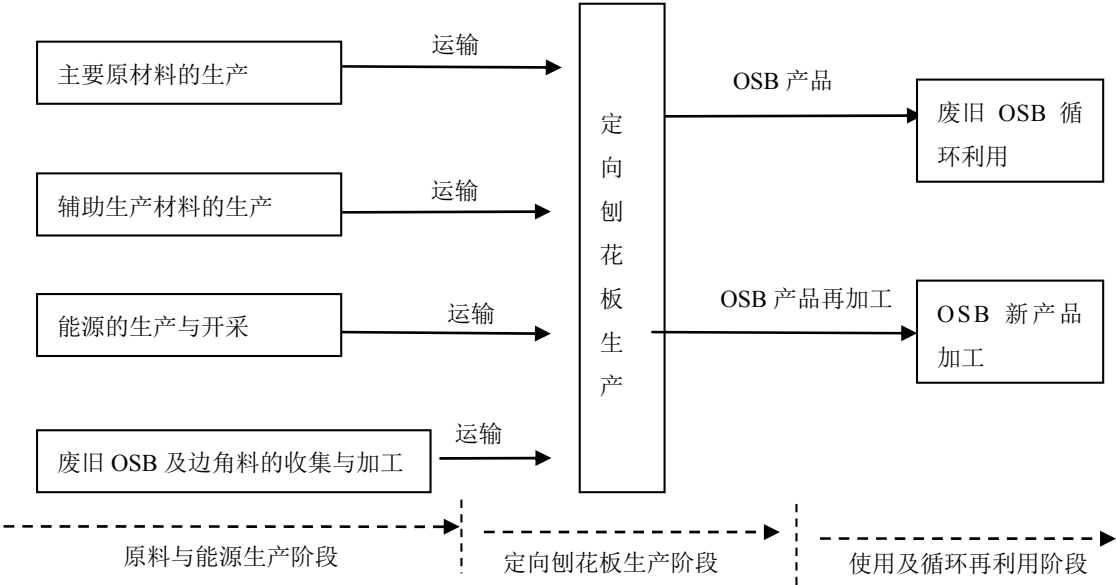


图 6-2 定向刨花板全生命周期系统边界图

Fig.6-2 The system boundary of full life-cycle of OSB

6.3.2 定向刨花板 III 型环境标志认证范本构建

定向刨花板 III 型环境标志认证范本构建应至少包括如下部分：

- (1) 产品描述，产品描述应尽可能包含企业可以公开的全部产品信息：
 - a)名称（型号、规格、分类、用途）；b)产品的简单示意图；c)产品的主要技术参数和性能；d)产品满足相关质量标准的证明文件；e)产品所获得的其他标志等。
- (2) 其中 EPD 文件的内容，符合 PCR 的 III 型环境声明应包含如下信息：
 - a) 声明组织的身份和描述；b) 产品描述；c) 产品识别（例如型号）；d) PCR 识别；e) 公布日期以及有效期；f) LCA、LCI 或信息模块的数据；
- (3) 附加环境信息：
 - a) 在产品生命周期中对人体健康产能负面影响的材料和物质的成分信息声明；b) 如 EPD 非全生命周期声明时，可附加未予考虑声明周期阶段相关的信息；c) 与其它申明同类相似产品如具有不可对比性时，应附加特殊说明；d) 企业或组织的其他环境活动，例如参与再循环和回收利用项目，并提供这些项目的详细资料和相关信息。

表 6-3 中国定向刨花板 III 型环境标志认证（EPD）范本构建

Tab.6-3 The standard specification of III environmental labeling certification of OSB in China

序号 No	内 容 Content	详细要求 Detail requirement
1	简 要 EPD 信 息	简 要 EPD 信息 主要包含信息如下： 第三方信息 申明公司/组织信息 申明产品信息 申明有效期限 申明主要内容 签署日期 签章及签字 申明发布基于的标准名称 简要产品描述 产品应用领域 LCA 边界 LCA 结果解释 其它检测报告目录 该报告适用于工厂范围
2	详 细 EPD 信 息	
2.1	产 品 定 义	--公司/组织 的描述 生产者的名称、生产地点、联络联系等信息，以及与生产过程、环境工作相关的咨询和特别信息。
	2.1.1 产 品 详细描述	产品描述应使用户能够明确的识别产品： a)名称（型号、规格、分类、用途）； b)产品的简单示意图； d)产品符合质量标准的证明文件； e)产品所获得的其他标志等。
	2.1.2 产 品 详细参数	产品技术参数和性能： 实际产品尺寸规格； 产品公差允许范围； 各项物理力学性能指标； 产品实际交货状态及包装
2.2	原 辅 材 料	2.2.1 最 主 要原材料信 息 原材料的详细参数信息： 树种 含水率 可持续认证情况

序号 No	内 容 Content	详细要求 Detail requirement
2.3	2.2.2 其 它 原材料信息	其它材料的详细参数信息： 不同原辅材料的名称及详细介绍 不同原辅材料添加及使用量信息 可供披露的其它信息
		原辅材料采购运输信息： 最主要原材料的采购半径及运输信息； 其它原辅材料的采购半径及运输信息； 需要说明的原材材料采购特殊要求
	2.3.1 生 产 工艺过程描 述	生产过程的特别信息： 整个工艺流程说明； 单一工艺的详细描述 其它特别需要说明的信息
		2.3.2 安 全 生产和环境 保护措施描 述 生产过程的安全措施和环境保护信息： 为避免健康损害采取的措施； 为避免环境损害而采取诸如大气环境保护、水资源保护、车间噪音 保护等措施； 其它特别需要说明的信息
2.4	2.4.1 后 期 应用加工规 程描述	产品使用过程的特别信息： 后期应用加工规范方法说明； 为避免健康和环境损害的安全措施说明 其它特别需要说明的信息
		2.4.2 包 装、 运输及仓储 描述 产品使用过程的特别信息： 后期应用加工规范方法说明； 为避免健康和环境损害的安全措施说明 其它特别需要说明的信息
2.5	2.5.1 产 品 成分及应用 环境描述	产品应用环境的特别信息： 根据产品构成及等级的应用环境说明； 可追溯产品生产信息、质量记录等的产品编号等信息； 产品环保性能等方面信息的描述 其它特别需要说明的信息
		2.5.2 产 品 耐久使用性 能的说明 产品耐久性能的特别信息： 关于耐久使用的特别要求； 为保证安全使用需要作出的特别说明。
2.6	2.6.1 产 品 增值功能的 说明	增加产品附加值的特殊功能信息： 如防火功能产品信息； 如防潮功能产品信息等； 如防白蚁、防腐功能产品信息等。

序号 No	内 容 Content	详细要求 Detail requirement
2.7	回 收 阶 段 2.7 产 品 回 收 阶 段 建 议 及 说 明	产品回收阶段的处置方法： 重复继续使用； 回收循环使用； 废弃等。
2.8	生 命 周 期 评 价 目 的 与 范 围 的 确 定 2.8.1 功 能 单 位	确定生产 1m ³ 定向刨花板的功能单位。
	2.8.2 系 统 边 界	定向刨花板生命周期系统边界确定（即从摇篮到大门或从大门到大门等），包括： 原材料采购（原木的采伐或原料购进及运输）； 其他原料生产（胶黏剂的生产、固化剂等）； 能源生产（用电量、石油气） 原料的公路运输； 定向刨花板的生产。
	2.8.3 数 据 的 描 述	数据清单为分为企业生产数据清单和产品背景数据清单 ^[126] 。 企业生产数据清单是指生产产品所消耗的所有的原辅材料数量、电力等能源消耗、环境污染排放数量等清单数据； 产品背景数据包括原辅材料的运输方式及运输距离、能源生产的相关清单数据。另外还应说明所有数据的获取方式和来源。
	2.8.4 数 据 的 取 舍 准 则	原则上清单分析和环境影响中贡献率均小于 2%的物质流和能量流清单可以舍弃。
	2.8.5 数 据 质 量	现场数据必须具有代表性、准确性和一致性的的质量要求 ^[127] ； 代表性即现场生产数据应尽可能按清单要求收集 3-5 年的完整平均生产数据；准确性即充分保证现场数据中的资源、能源消耗数据为生产一线实际记录、准确真实；一致性即企业各申报数据之间应保持相同数据来源、统计口径、处理规则等。
	2.8.6 背 景 数 据	背景数据也必须具有代表性、一致性的的质量要求： 代表性即非现场生产数据应选择国内同等工艺下的平均数据或经验验证发布的 LCA 报告数据替代 ^[128] ，如国内相关北京数据缺乏时，可选择国外同等工艺下的平均数据或经验验证发布的 LCA 报告数据替代；准确性即充分保证现场数据中的资源、能源消耗数据为生产一线实际记录、准确真实；一致性即背景数据应具有一致的系统边界、一致的功能单元。
2.9	生 命 周 期 清 单 分 析 2.9.1 数 据 收 集	数据收集应注意：应做好现场数据的确认程序，并对现场数据进行审查，对于审查不合格的数据应重新收集直至审查通过。并做好现场数据和背景数据功能单位的换算工作，以保证格式相同。

序号 No	内 容 Content		详细要求 Detail requirement
	2.9.2	清 单 计算程序	清单计算程序要求各工艺单元功能单位关联：按照定向刨花板的工艺顺序将各工艺单元的投出/产出清单数据与功能单位进行关联，并核查清单数据的合理性，如发现有不合理数据，应及时替换或取舍原则进行取舍。
2.10	生 命 周 期 影 响 评价	2.9.3 清 单 因子影响分 类分析	确定了我国定向刨花板 III 型环境标志认证的 KPIs 指标体系，总体上分为 4 级指标，如表 2-2 所示。 一级指标为生命周期评价结果； 二级指标为资源消耗、环境影响、大气污染、水足迹及水污染、生态环境毒理共五大类指标。 三级指标为： 可再生初级能源消耗、 不可再生初级能源消耗、 非生物型资源消耗 ADP、 温室效应/碳足迹、 酸化效应 AP、富营养化 EP、 臭氧层损耗 ODP、 光化学烟雾 POCP、 颗粒物（含粉尘）、 人体健康影响、 Water footprint 影响、 固体废弃物及噪音影响共十二类评价指标； 四级指标为各种资源和相应排放物。
	相 关 报 告 资 料	2.11.1 检测 报告列表	相关产品获得的产品质量、环保、防火，以及原辅材料等检测报告信的息及检测结果说明
2.12	PCR 文 件 及 验 证		III 型环境声明（EPD）应确保数据得到第三方独立验证，验证信息应包含生产企业和第三方验证机构的相关信息。
2.13	参 考 文 献		参考文献及标准列表
2.14	第 三 方 验 证	2.14.1 第三 方验证机构 的描述	第三方验证机构的名称、地址、联系人、联系方式等信息。
		2.14.2 验证 内容	数据的独立验证应对来自 LCA、LCI、信息模块的数据以及附加环境信息进行独立验证，包括数据覆盖范围、逻辑性、质量、准确性、完整性、代表性、一致性、可再现性、来源和不确定性等。 III 型环境声明的独立验证应确保符合 III 型环境声明。
		2.14.3 评价 的验证	验证结论及第三方签章。

6.4 本章小结

基于全生命周期的视角已成为绿色产品评估的主导方法,本文尝试引入 LCA 及 EPD 评价方式,通过构建基于生命周期评价体系的 OSB III 型环境标志认证框架来对工厂进行绿色评价,并推动环境影响 KPIs 关键指标体系的建立,初步建立一套以定向刨花板企业为主体,能持续增强企业和产品综合竞争力的科学评价体系。

(1) 国际市场上,欧盟、英国、新西兰、澳大利亚等国对拥有 LCA 分析及提供 III 型环境标志声明的进口/出口产品会提供额外加分;法国已经试点要求所有大宗消费品提供 III 型环境标志;欧盟正在试点开展产品环境足迹计划,拟在全欧洲实施 III 型环境标志,该计划将覆盖所有产品。因此,为了对接国际市场需求,我国以出口为导向的企业也应加快速度大力推进 III 型环境标志工作。

(2) 我国定向刨花板 III 型环境认证指标评价体系需要从资源消耗、环境分类影响、大气污染、水足迹及水污染和生态环境毒理五大分类进行辨识。本章构建了 5 类二级指标(资源消耗、环境分类影响、大气污染、水足迹及水污染和生态环境毒理五大分类)和 12 类三级指标的关键指标体系(KPIs)的定向刨花板 III 型环境标志认证评价体系。

(3) 我国定向刨花板 III 型环境标志认证体系可分为三种系统边界:“Gate-to-Gate”、“Cradle-to-Gate”、“Cradle-to-Cradle”。本章初步构建的基于生命周期评价体系的我国定向刨花板 III 型环境标志认证范本共包括了如下三个部分:①产品描述,产品描述应尽可能包含企业可以公开的全部产品信息;②EPD 文件的主体内容,符合 PCR 的 III 型环境声明应包含如下信息;③其它附加环境信息:如在产品生命周期中对人体健康产能负面影响的材料和物质的成分信息声明等等。

第七章 结论与建议

7.1 结论

本研究鉴于生命周期评价(LCA)特别适合对工业化产品或产品全生命周期的环境影响评价,本研究基于通用的 ISO 14040-14043 国际环境评价标准和 GB/T 24040-24043 国家标准,将 LCA 技术框架体系引入我国进入快速发展阶段的新型人造板——定向刨花板(OSB)行业,首次尝试对我国 OSB 产品进行 LCA 评价及客观的环境影响分析,并与欧洲、北美洲典型 OSB 产品 LCA 结论进行横向对比分析,最终初步建立起一套基于生命周期评价的中国定向刨花板环境影响评价体系。本研究采用先进的德国生命周期评价软件 GaBi ts,采用的评价方法为 CML2001-Apr.2013,功能单位为 1m^3 。得出以下结论:

(1) 本文 LCA 评价过程主要分为四大部分进行展开:评价目的与范围、清单分析、影响评价和结果解释。在 Gate-to-Gate 系统边界范围内,分别为定向刨花板 OSB2/OSB3/OSB4 三种等级产品建立了物质流 LCA 模型。通过生命周期清单分析 LCI 表明:以 1 立方米 OSB3 等级产品为例,生产中工序能耗较大的是热压成型工序,共消耗电力 52.08 度(占总消耗电能的 26.6%);其次是刨片工序,为 48.45 度(占 24.8%);然后是刨片传输机干燥工序,为 32.58 度(占 16.7%)。企业可有针对性地改善和提高机械装备的能源利用效率,节能减排。

(2) 本研究采用 CML2001 六种典型环境影响类别(为非生物性资源损耗 ADP、酸化效应 AP、富营养化 EP、全球气候变暖 GWP 100、臭氧层损耗 ODP 及光化学烟雾 POCP)的归一化基准值及相应权重,对中国三种定向刨花板产品进行评价比较,结果表明:OSB2/OSB3/OSB4 三种等级产品总的环境影响潜力值分别为 $3.26\text{E-}12$ 、 $3.48\text{E-}12$ 、 $5.87\text{E-}12$,从大到小依次排列为 $\text{OSB4} \gg \text{OSB3} > \text{OSB2}$,其中 OSB3 略大于 OSB2 等级,而 OSB4 最终对环境的影响值远高于 OSB2/OSB3。

(3) 从环境影响类别来看:生产 1 立方米 OSB3 环境影响的最主要分类分别是:AP、POCP 和 GWP 100,环境影响潜力值分别为 $1.81\text{E-}12$ 、 $8.26\text{E-}13$ 、 $7.24\text{E-}13$ 。分别占总环境影响潜力值的 52.1%、23.7%和 20.8%,而 EP、ADP 和 ODP 影响微乎其微。从生产工

序来看, OSB 施胶工序的环境影响最为严重, 占 OSB 生命周期总环境影响的 28.4%, 其主要影响分类为 AP; 热压成型工序次之, 占总值的 18.0%, 其主要影响分类也为 AP, 刨片工序占 16.8%, 然后是干燥工序, 占 11.3%, 而其它各个工序对环境总的影响比例则约为 25.5%。OSB 生产中电力和胶粘剂会对多个环境指标的数据结果产生明显影响, 可通过有效减少火力发电和能源工厂燃烧中 SO_2 的排放, 减少胶黏剂生产过程中的氮氧化物 NMHC 和碳氢化合物 CH 等一次大气污染物, 减少生产过程中燃烧煤和木屑所直接排放的 CO_2 , 以及提高再生能源在电力中的比例, 来降低 OSB 生产过程的环境影响负荷。

(4) 在 Cradle-to-Gate 系统边界内, 通过与欧洲/北美洲典型 OSB 产品进行对比分析, 得出如下结论: 中国 OSB 工厂所使用的电力主要能源结构是火力发电的硬煤, 占比高达 77%, 其次是水力发电, 大约占 17.7%。而欧洲和北美洲 OSB 所用能源的结构方面则偏向使用更为清洁的能源, 更多依赖于天然气和核能而非煤炭的燃烧, 欧洲天然气能源占总能源结构高达 47%, 北美洲也高达 30%, 在核能方面, 北美洲核能电力则达 18%, 欧洲为 14%。

(5) 不可再生初级能源消耗结果显示: 欧洲和北美洲典型 OSB 在 Cradle-to-Gate 边界内消耗了较少的不可再生能源, 北美洲 (4777.3 MJ) < 欧洲 (5054.9 MJ) < 中国 (5639.4 MJ)。而单独在 OSB 生产阶段时, 欧洲典型 OSB 工厂仅消耗 1684.9 MJ (约占总计的 33.3%), 相较于中国工厂的 4698.3 MJ (占比 83.3%) 和北美洲工厂的 4439.7 MJ (占比 92.9%) 来说, 欧洲消耗更少的不可再生能源资源, 这得益于他们配备的生物质电力工厂。

(6) 通过二氧化碳排放分析表明: 原材料生长时吸收存储的 CO_2 按序排列依次为, 欧洲 OSB (1168.5 Kg CO_2) > 中国 OSB (1157 Kg CO_2) > 北美洲 OSB (1098.94 Kg CO_2)。经过 CO_2 排放平衡计算, 即抵消原木采伐及运输和 OSB 生产过程中的 CO_2 排放后, 对于 CO_2 的实际存储来看, 中国 OSB (-811 Kg CO_2) < 欧洲 OSB (-777 Kg CO_2) < 美洲 OSB (-664 Kg CO_2), 表示中国仍有最高的 811 Kg CO_2 存储在 1 立方米 OSB 中, 直至整个全生命周期结束后才会释放。另外, 中国 OSB 产品生产过程中需消耗 28.96 kg 新鲜水资源, 与北美洲相比节约了 39.46% 资源消耗。

(7) 本研究还就 OSB 环境影响评价中的关键环境影响因子 (KPIs) 进行辨识: 共构建了 5 类二级指标 (资源消耗、环境分类影响、大气污染、水足迹及水污染和生态环境

毒理五大分类)和 12 类三级指标的关键指标体系(KPIs)。在此基础上,并初步构建了一套我国定向刨花板 III 型环境标志认证的范本文件,帮助企业实现可持续发展的目标。

7.2 建议

受研究时间和客观条件的限制,对于定向刨花板生命周期评价的研究还有很多方面需要深入探讨,归纳起来主要由几个方面:

(1)我国并没有建立较为完整的人造板行业数据库,目前我国已开展的木材加工领域 LCA 应用均广泛采用的是欧美国家分析软件和数据库,未能实现本土化。考虑到 LCA 结论的可靠性很大程度上取决于 LCA 基础数据库,建议未来研究者需要对背景清单数据进行本土化修正,以修正消耗等量能源的环境负荷数据^[129]。

(2)致力于林产工业的可持续发展,我国应积极开展多品类林木制品的 LCA 研究。通过对各种人造板产品及其制品的 LCA 研究,获得可信赖的环境影响数据,一方面可以证实木材及其木制品的环境友好性,另一方面也可以探索产生环境负荷的关键因素,从而帮助生产工厂进一步改进或改善清洁化生产水平。

(3)对于未来产品生命周期评价理论的研究,建议未来者从只关注主要的环境影响应用方面延伸到产品全生命周期内环境、经济和社会之间的关系研究,另外生命周期评价模型还可增加时间维度上的扩展^[130],这都将为生命周期评价注入全新的视角和活力。

参考文献

- [1] Nigel Dudley, Jean-Paul Jeanrenaud, Francis Sullivan, 于文吉. 木材贸易与全球森林消失. AMBIO-人类环境杂志, 1998(3): 89~91.
- [2] 林业发展“十三五”规划, 国家林业局, 2016, 5.
- [3] 陈有俊. 林业在低碳经济中的地位与作用. 商情, 2010, 7: 85.
- [4] 国家林业局. 中国林业统计年鉴 2015. 北京: 中国林业出版社, 2016: 87~89.
- [5] 于文吉, 张方文, 吴大为. 定向刨花板市场应用和研究现状及新进展. 中国人造板, 2008, 15(9): 1~5.
- [6] 于文吉. 生物质资源农作物秸秆应用于人造板工业的可行性分析. 木材工业, 2006, 20(2): 41~44.
- [7] China. Global Forest Resources Assessment 2010 Country Report. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations. 2010: 15.
- [8] 张齐生. 面向 21 世界的中国木材工业. 南京林业大学学报, 2000, 24(3): 1~4.
- [9] 张方文, 于文吉. 全球视野下的中国定向刨花板发展策略浅议. 中国人造板, 2016, 43(1): 15~18.
- [10] 张方文, 于文吉. 世界定向刨花板发展现状及最新市场情况. 林产工业, 2016, 43(1): 15~18.
- [11] 薛拥军, 向仕龙, 刘文金. 中密度纤维板产品的生命周期评价. 林业科技, 2006, 31(6): 47~49.
- [12] 刘江龙著. 材料的环境影响评价. 北京: 科学出版社, 2002, 11~13.
- [13] 聂祚仁, 高峰, 陈文娟, 龚先政, 王志宏等. 材料生命周期的评价研究. 材料导报, 2009, 23(13): 1~6.
- [14] 杨建新, 徐成, 王如松. 产品生命周期评价方法及应用. 北京: 气象出版社, 2002: 24~27.
- [15] Allan Astrup Jansen, John Elkington, et al. Life Cycle Assessment(LCA): A guide to approaches, experiences and information sources. Report to the European Environment Agency, Copenhagen, 1997: 13.
- [16] L Kornov, M Thrane, A Remmen, et al. Tool For Sustainable Development. Narayana Press. 2007.
- [17] B. w. Bigon. Life-cycle assessment: inventory guidelines and principles. CRC Press LLC. 1994: 6~7.
- [18] G Robert. Hunt and William E. Franklin. LCA-How it came about: Personal reflection on the A. Russell, T-Ekval, H. Baumann. Life cycle assessment-introduction and overview. Journal of Cleaner Production, 2005(13): 1207~1210.
- [19] Hocking, Martin B. Paper versus Polystyrene. Science. 1991, 251: 504~505.

- [20] Franklin Associates Ltd. Energy and environmental profile analysis of children's disposable and cloth diapers. Report prepared for the American Paper Institute's Diaper Manufacturers' Group, Prairie Village, KS, 1990, 25~27.
- [21] Per H Nielsen, Karen M Oxenboll, Henrik Wenzel. Cradle-to-Gate Environmental Assessment of Enzyme Products Produced Industrially in Denmark by Noyozymes A/S. *Int J LCA*. 2007, 12(6): 432~438.
- [22] Elopas, Adias, Larroja, et al. Application of life cycle assessment to Portuguese pulp and paper industry. *Journal of Cleaner Production*. 2003, 11: 51~59.
- [23] Hillier B. and Murphy R. Life cycle assessment of forest products—a good story to tell. *Journal of the Institute of Wood Science*. 2000, 15(4): 221~232.
- [24] 张杨, 陈莎, 刘尊文等. 生命周期评价在环境保护中的研究与应用. *环境保护*, 2009, 6: 59~61.
- [25] 谢立生. 木材工业生命周期评价研究现状. *木材工业*, 2010, 24(5): 28~31.
- [26] Aria Dias, Elisabete Lopes, Luis Arroja, et al. Life cycle assessment of paper production from *Eucalyptus globulus*. Case study of the Portuguese industry. *Appita Journal*, 2002, 55(1): 21~26.
- [27] ÅJönsson, A-M Tillman, T Svenssen. Life cycle assessment of flooring materials: case study. *Building and Environmental*. 1997, 32(3): 245~255.
- [28] Linda M Gustafsson, Pal Borjesson. Life Cycle Assessment in Green Chemistry—A comparison of various industrial wood surface coatings. *Int J LCA*, 2007, 12(3): 152~159.
- [29] Beatriz Rivel. Life cycle inventory of medium density fiberboard. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2007, 12(5): 143~150.
- [30] Frühwald A, University of Hamburg/Germany Hasch J, Kronopol Zary/Poland, Life Cycle Assessment of Particleboards and Fibreboards, 1998, 47~49.
- [31] Athena Sustainable Materials Institute Ottawa, ON. A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Medium Density Fiberboard (MDF)—2013 Update. September, 2013, 25~28.
- [32] Richard D Bergman. Life-Cycle Inventory Analysis of Cellulosic Fiberboard Production in North America. *Proceedings of the 57th International Convention of Society of Wood Science and Technology* June 23-27, 2014-Zvolen, SLOVAKIA.

- [33] 过本广树,服部顺昭,涌田良一.湿法硬质纤维板的生命周期清单分析.第3届日本LCA学会研究发表会讲演要旨集,京都,2008.
- [34] 寺岛敏,加藤庆子,服部顺昭等.刨花板的生命周期清单分析.第2届日本LCA学会研究发表会讲演要旨集,东京,2007.
- [35] Beatriz Rivela,Almudena Hospido,Teresa Moreira,et al.Life cycle inventory of particleboard:A case study in the wood sector.The International Journal of Life Cycle Assessment,2006,11(2):106-113.
- [36] Athena Sustainable Materials Institute Ottawaon.A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Particleboard-2013 Update.September,2013.
- [37] Athena Sustainable Materials Institute.A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Oriented Strand Board:An Update.October,2012.
- [38] Kline D E.Gate-to-Gate life cycle inventory of oriented strandboard production.Wood and Fiber Science,2005,37(Special Issue):74-84.
- [39] Maureen Puettmann,Elaine Oneil,Earl Kline,et al.Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Oriented Strand Board Production from the Southeast. April, 2013.
- [40] Kronoply OSB/Kronopol OSB KronoplyGmbH,Kronopol Spzoo.Kronofrance SAS.Environmental Product Declaration in according to ISO 14025.Institut Bauen und Umwelt.V.Declaration number:EPD-KRO-2009111-E.20,October,2011.
- [41] New and environmentally friendly OSB panels LIFE05 ENV/LU/000047 ECOSB.Layman's Report.Kronospan Luxembourg SABP.109,L-4902 Sanem,Luxembourg, 2008.
- [42] EGGER EUROSTRAND®OSB EGGER OS'Brace®. Environmental Product Declaration according to ISO 14025 . Institut Bauen und Umwelte.V.Declaration number: EPD-EHW-2008112-E.25. February, 2012.
- [43] Athena Sustainable Materials Institute.A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Softwood Plywood Sheathing:An Update.October,2012,29~35.
- [44] Wilson J B andSakimoto E T.Gate-to-Gate life-cycle inventory of softwood plywood production. Wood and Fiber Science,2005,37(Special Issue):58~73.
- [45] 洪紫萍,王贵公.生态材料导论.北京:化学工业出版社,2001.
- [46] 王新杰,曹武军.产品生命周期评价体系研究.郑州轻工业学院学报,2003(2):35~38.

- [47] 刘文金.中密度纤维板生态循环周期评价理论的研究.中南林学院学报,2006,26(4):117~119.
- [48] 薛拥军,王君.板式家具产品的生命周期评价.木材工业,2009,23(4):22~25.
- [49] 王爱华.竹/木质产品生命周期评价及其应用研究.北京:中国林业科学研究院,2007,112~115.
- [50] 向仕龙,魏新莉,刘文金.从生命周期角度评价刨花板的环境特性.中南林业科技大学学报,2007(6):166~168.
- [51] 李晓平,周定国,于艳春等.利用生命周期评价法评价农作物秸秆人造板的环境特性.浙江林学院学报,2010,27(2):210~216.
- [52] 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.福建农林大学硕士学位论文,2011,87~91.
- [53] 张方文,于文吉.OSB 应用于包装材料的现状及前景.国际木业,2014,44(9): 68-71.
- [54] 张方文,于文吉.欧洲定向刨花板发展现状及最新市场情况.国际木业,2014,44(9):16~19.
- [55] 李慧媛,黄思维,周定国.生命周期评价体系在我国木材加工领域的应用.世界林业研究,2013,26(2):54~59.
- [56] 陈剑平,胡广斌,李元春.世界定向刨花板生产能力现状.科技致富向导,2012(21):217~217.
- [57] 许方荣.我国定向刨花板发展与应用前景分析.林产工业.2010,37(5):3~5.
- [58] 张永民.经济社会发展中的九个关系问题研究.武汉大学博士论文.2010.
- [59] 黄永庆.生命周期评价的应用.江西化工.2011(4):1~3.
- [60] 朱立红.产品生命周期评价中清单的不确定性分析.合肥工业大学硕士论文.2012.
- [61] 薛拥军,向仕龙,刘文金.纤维板生命周期评价模式的构建.中国人造板.2006,13(11):29~32.
- [62] 孙启祥.从生命周期角度评估木材的环境友好性.安徽农业大学学报,2001,28(2):170~175.
- [63] 于文吉.生物质环境材料在建筑上的应用与前景展望.绿色建筑,2010,2(4):25~27.
- [64] International Standard.Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. ISO 14040:2006(E).
- [65] International Standard.Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines.ISO 14044:2006(E).
- [66] 中华人民共和国国家标准.环境管理-生命周期评价-原则与框架.GB/T 24040-1999.
- [67] 中华人民共和国国家标准.环境管理-生命周期评价-目的与范围的确定和清单分析.GB/T 24041-2000.

- [68] 中华人民共和国国家标准.环境管理-生命周期评价-生命周期影响评价.GB/T 24042-2002.
- [69] 中华人民共和国国家标准.环境管理-生命周期评价-生命周期解释.GB/T 24043-2002.
- [70] 张方文,于文吉.生命周期评价体系在人造板工业的应用及研究进展.林产工业,2015,42(11): 18-21.
- [71] 张森林.论中国林产工业的崛起.中国人造板,2006,7:1~5.
- [72] 王飞儿,陈英旭.生命周期评价研究进展,环境污染与防治,2001,249~252.
- [73] 张玲,袁增伟,毕军.物质流分析方法及其研究进展.生态学报,2009,29(11):6189~6198.
- [74] 李兴福,徐鹤.基于 GaBi 软件的钢材生命周期评价.环境保护与循环经济,2009,29(6):15~18.
- [75] 张浩,王洪涛,侯萍.基于生命周期评价的中国浮法玻璃燃料对比分析.化学工程与装备,2011(5): 141~143.
- [76] 姜睿,王洪涛,张浩等.中国水泥生产工艺的生命周期对比分析及建议.环境科学学报,2010, 30(11):2361~2368.
- [77] 孙启宏,万年青,范与华.国外生命周期评价(LCA)研究综述.世界标准化与质量管理.2000(12): 24~25.
- [78] 邓南圣,王小兵.生命周期评价.北京:化学工业出版社,2003,121~125.
- [79] 邓金锋.生命周期评价法(LCA)在环境评估中的应用.海峡科学,2009,6:123~124.
- [80] Petersen AK,Solberg B.Substitution between floor constructions in wood and natural stone: comparison of energy consumption,greenhouse gas emissions,and costs over the life cycle.Canadian Journal of Forest Research,2003,33:1061~1075.
- [81] Richter K,Gugerli H.Wood and wood products in comparative life cycle assessment.Holz als Roh-und Werkstoff,1996,54:225~231.
- [82] 林璐.基于生命周期评价方法的九龙江流域污水处理厂综合评价研究.厦门大学硕士论文.2008.
- [83] 杨飞.建筑给水排水系统生命周期评价(LCA)方法研究.西安建筑科技大学硕士论文,2008.
- [84] 王瀛.基于绿色建筑节能目标的材料选用及评价技术研究.中国建筑材料科学研究总院硕士论文,2014.
- [85] 李晓超.生命周期评价在环境治理工程中的应用.南京理工大学硕士论文,2003.
- [86] 彭小燕.ISO14040 环境管理——生命周期评估——原则与框架.标准科学.1998(4):4~9.
- [87] 山本良一编著.王天民译.环境材料.北京:化学工业出版社,1997:30~68.
- [88] 聂祚仁,王志宏.生态环境材料学.北京:机械工业出版社,2004,78~80.

- [89] Anders C.Schmidt,Allan A.Jensen,Anders U.Clausen,et al.A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wood, paper wood and flax.Part 1:Background,goal and scope,life cycle inventory,impact assessment and interpretation.The International Journal of Life Cycle Assessment,2004,9(1):53~66.
- [90] 孙丽.基于 GaBi 平台的企业清洁生产方案编制技术研究.南京大学硕士论文,2011.
- [91] 赵红颖.生物质发电的生命周期评价.西南交通大学硕士论文,2010.
- [92] 刘江龙著.材料的环境影响评价.北京:科学出版社,2002,89~92.
- [93] 李国进.年产 22 万 m³ 定向刨花板生产工艺设计特点.林产工业.2010,37(4):29~31.
- [94] Murphy R J,Trujillo D,Londono X.Life cycle assessment of a Guadua house.Symposia International Guadua.2004,Pereira Columbia.
- [95] Anders C.Schmidt,Allan A.Jensen,Anders U.Clausen,et al.A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wood,paper wood and flax.Part 2:Comparative assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2004,9(2):122~129.
- [96] 杨建新,徐成.生命周期环境影响类型分类体系研究.上海环境科学, 1999,18(6):246~257.
- [97] Norihiro Itsubo.Screening life cycle impact assessment with weighting methodology based on simplified damage functions.The International Journal of Life Cycle Assessment, 2000,5(5):273~280.
- [98] Louise Camilla Dreyer,Anne Louise Niemann,Michael Z.Hauschild.Comparison of three different LCIA methods:EDIP97,CML2001 and Eco-indicator99.The International Journal of Life Cycle Assessment,2003,8(4):191~200.
- [99] Dreyer L C,Niemann A L.Life cycle assessment of UV-lacquers and comparison of three life cycle assessment methods.Master Thesis IPL-099-01.Department of Manufacturing Engineering and Management,Technical University of Denmark,Lyngby Denmark,2001.
- [100] Marieke Gorree,Jeraen B.Guinee,Gjalt Huppes,et al.Environmental life cycle assessment of linoleum. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2002,7(3):158~166.
- [101] 陶建宏.西北地区材料的环境协调性评价研究.西北工业大学硕士学位论文, 2005,55~59.
- [102] 左铁镛,聂祚仁,狄向华等.中国材料环境协调性评价研究进展.材料导报, 2001,15(6):1~3.
- [103] 孙启祥.从生命周期角度评估木材的环境友好性.安徽农业大学学报, 2001,28(1):170~175.
- [104] 钟世禄.人造木制家具的能耗及其对环境影响的评价.南京林业大学硕士学位论文,2002,77~80.

- [105] Asa Jonsson.Including the phase in LCA of floor coverings.The International Journal of Life Cycle Assessment,1999,4(6):321~329.
- [106] Jacob H.Paulsen.The maintenance of linoleum and PVC floor coverings in Sweden:The significance Of the usage phases in LCA.The International Journal of Life Cycle Assessment,2003,8(6):357~364.
- [107] 姬晓迪,郭明辉.生命周期评价法在我国生物质材料领域中的应用.化工新型材料,2015,43(4):1~3.
- [108] 侯萍,王洪涛,朱永光,翁端.中国资源能源稀缺度因子及其在生命周期评价中的应用.自然资源学报.2012,27(9):1572~1579.
- [109] 狄向华,聂祚仁,左铁铺.中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单.中国环境科学,2005,25(5):632~635.
- [110] Gerfried Jungmeier,Fred McDarby,Anders Evald,et al.Energy aspects in LCA of forest products.The Intemationnl Journal of Life Cycle Assessment.The International Journal of Cycle Assessment,2003,8(2):99~105.
- [111] 国家统计局编.能源统计知识手册,2012.8.
- [112] Huijbregts,Thissen,Guinee.J.B,et al.Toxicity assessment of toxic substances in life cycle assessment.I: Calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multimedia fate,exposure and effectmodel USES-LCA.Chemosphere,2000,41:541~573.
- [113] Michael E Jenkin,Garry D Hayman.Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds:sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters.Atmospheric Environment,33(8):1275~1293.
- [114] 中华人民共和国国家标准.环境管理环境标志和声明通用原则.GB/T 24020~2000.
- [115] 中华人民共和国国家标准.环境管理:环境标志和声明自我环境声明(II型环境标志). GB/T 24021-2001.
- [116] 中华人民共和国国家标准.环境管理-环境标志和声明 I 型环境标志原则和程序. GB/T 24024-2001.
- [117] Institute for Environment and Sustainability,European Commision.Product environmental footprint (PEF)guide.July 17,2012.
- [118] 张青山,邹华军.制造业绿色产品评价体系.电子工业出版社,2009,55~58.
- [119] 刘尊文,岳文淙,李明博等.国外 III 型环境标志发展概况.中国环保产业, 2009,10:58~61.

- [120] 张澜沁,刘珊珊.国外绿色建材评价及对中国的启示.建设科技,2016(8):24~26.
- [121] 周丽红.中国III型环境标志研究.东北师范大学硕士论文,2014.
- [122] 袁宝荣,刘尊文,曹磊,周才华.中国III型环境标志认证技术的研究进展.Iso/tc207,环境管理技术委员会年会暨绿色奥运清洁发展主题论坛,2007.
- [123] 刘超.基于全生命周期的电气设备绿色度评价体系研究.机电产品开发与创新. 2010,23(4):3~5.
- [124] 孙秋月.制造业绿色产品设计方案评价研究.沈阳工业大学硕士论文,2006.
- [125] 王新杰,曹武军.产品生命周期评价体系研究.郑州轻工业学院学报. 2003,18(2):35~38.
- [126] 燕鹏飞.木结构产品物化环境影响的定量评价.清华大学学报, 2008,48(9):1395~1398.
- [127] 张青山,孙秋月,绿色产品设计方案评价流程研究.商业时代.2006(4):83~85.
- [128] 张叶红,王海燕.生态工业园区产品体系规划的模糊综合评判法.四川环境.2005,24(6):102~104.
- [129] 亚峥,郑泽根.生命周期影响评价权重系数的确定方法探讨.重庆建筑大学学报,2003,25(5):61~64.
- [130] Russell, T-Ekval, H.Baumann. Life cycle assessment--introduction and overviewJ. Journal of Cleaner Production,2005(13):1207~1210.

在读期间的学术研究

(1) 在读博士期间发表学术论文 7 篇

- 1 张方文,陈水龙,张海孝,于文吉.定向刨花板生产过程的生命周期评价.木材工业,2017,31(3):31-34.
- 2 张方文,张亚慧,于文吉.基于生命周期评价的中欧典型 OSB 环境影响对比研究.木业工业,2017,31(5):已接收.
- 3 张方文,于文吉.全球视野下的中国定向刨花板发展策略浅议.中国人造板,2016,23(12): 7-10.
- 4 张方文,于文吉.世界定向刨花板发展现状及最新市场情况.林产工业,2016,43(1): 15-18.
- 5 张方文,于文吉.生命周期评价体系在人造板工业的应用及研究进展.林产工业,2015,42(11): 18-21.
- 6 张方文,于文吉.OSB 应用于包装材料的现状及前景.国际木业,2014,44(9): 68-71.
- 7 张方文,于文吉.欧洲定向刨花板发展现状及最新市场情况.国际木业,2014,44(9): 16-19.

(2) 在读博士期间参与制定国家标准 1 项

- 1 周海宾,张方文等. LY/T 2389—2014《轻型木结构建筑覆面板用定向刨花板》.国家林业局,2014 年 12 月实施.

(3) 博士期间获得美国发明专利 1 项

- 1 张士元,张方文. US8663769 B2 一种竹材定向刨花板及其制造方法《Bamboo Oriented Strand Board and Method for Manufacturing the Same》. United States Patent, 2014 年 3 月颁发.

致 谢

本论文是在导师于文吉研究员的悉心指导下完成的。本文在选题、研究方案的制定、实验的具体实施、论文的撰写与修改各个环节都得到导师的精心指导和点拨。导师治学科学严谨，态度认真负责，工作敬业忘我，使我从中获益匪浅，也不断激励和鞭策着我继续向前。本人谨此，向导师致以诚挚的感谢和无限的敬意。

特别感谢课题组老师和其他成员，本论文也得到了他们的鼎力相助，任丁华高级工程师，祝荣先副研究员、余养伦副研究员、张亚慧助理研究员，以及其它诸多师兄、师弟、师姐及师妹们，一并道声感谢。

感谢木工所的傅峰所长、吕建雄常务副所长、吕斌副所长、蒋明亮研究员、陈志林副研究员、殷亚芳研究员，以及国际竹藤网络中心的王戈研究员、余雁研究员对研究工作多方面的指导和帮助。感谢美国南方实验站许忠允院士（国际木材科学院）和“千人计划”专家美国田纳西大学王思群提出的许多合理化建议。感谢 GaBi 中国的张海孝总经理、陈水龙工程师及马龙工程师，他们总是伸出援助之手。感谢湖北宝源木业的袁功志副总经理、范春涛副总经理；山东鲁丽木业钟驻章总经理、贵州园方龙险峰总裁、陈坤副总；湖北康欣新材（600076）李杰总经理等领导，顺利完成数据采集得益于他们的无私帮助。

同时衷心感谢在职期间的公司领导和同事的大力支持：北新集团的陶铮总经理、刘贵平书记、于险峰副总经理，以及北新木业的王卫仁总经理、李建立副总经理，还有原领导崔丽君总经理、张士元总工程师和市场总监赵君，也感谢给予热情支持的同事们和众多商业伙伴们。

感谢给我鼎力支持的爱人王婧和幼儿园学习的小宝贝张云舒，她们的支持让我动力十足，感谢我的岳父岳母、以及我的父母亲和我妹妹一家，感谢他们对我的关心和帮助。

最后，还要由衷地感谢评议和审阅本论文的各位老师和专家，并感谢所有给予过我帮助的人。

致谢人：

年 月 日