

# 我国典型硬泡聚氨酯板生命周期评价研究

马丽萍, 蒋 荃, 赵春芝

(中国建材检验认证集团股份有限公司, 北京 100024)

**摘要:**当前国内外绿色建筑评价已越来越多的考虑建筑材料的生命周期环境负荷。硬泡聚氨酯板作为一种重要的建筑保温材料, 对其开展生命周期评价很有必要。

运用生命周期评价方法, 对我国典型硬泡聚氨酯板生命周期过程中产生的资源、能源消耗和污染物排放进行了分析, 并基于此计算出能源消耗、全球暖化、酸化效应、富营养化四类主要环境影响指标值。结果表明, 全球暖化和能源消耗是两类较重要的环境影响类型。此外, 对国内外硬泡聚氨酯板生命周期能源消耗和碳排放水平进行了比较, 结果表明, 我国功能单位硬泡聚氨酯板生命周期能耗是欧洲的 1.04 倍, 碳排放是欧洲的 1.39 倍。本研究可为我国本地化硬泡聚氨酯板 LCA 数据库的建立及绿色建筑评价提供基础数据。

**关键词:**硬泡聚氨酯板; 生命周期评价; LCA; 能源消耗; 全球暖化; 碳排放

## 引言

随着建筑节能政策的全面实施和绿色建筑、低碳建筑理念的日益推动, 建筑保温材料的应用获得了长足的发展。硬泡聚氨酯板作为其中的佼佼者而备受关注。据有关资料<sup>[1]</sup>表明, 国际发达国家的建筑节能保温材料中, 硬泡聚氨酯占据了 75% 的市场份额。我国的建筑保温材料中约有 10% 使用聚氨酯, 而当前对于节能建筑的迫切需求无疑将进一步加快硬泡聚氨酯板应用的步伐。因此, 硬泡聚氨酯板对于发展节能与低碳建筑具有不容忽视的地位。

生命周期评价(Life cycle assessment, 以下简称 LCA)<sup>[2]</sup>方法是系统化地定量描述产品生命周期中各种资源、能源消耗和环境排放并评价其环境影响的方法。它作为一种重要的环境管理工具被纳入 ISO 14000<sup>[2]</sup>环境管理系列标准中, 并成为 ISO 14000 系列标准中其他各类环境管理工具的方法基础, 现已广泛应用于产品的生态设计、清洁生产技术与研发、环境标志与声明、环境政策制定等诸多领域。此外, 在当前国内外绿色建筑评价中, 越来越多的将建筑材料 LCA 分析纳入考量范畴。因此, 硬泡聚氨酯板作为一种重要的建筑保温材料, 对其开展 LCA 分析很有必要。

对于硬泡聚氨酯板的生命周期评价, 目前国内尚未有相关报道。本研究基于 LCA 方法, 对典型硬泡聚氨酯板的生命周期环境影响进行了计算分析, 并就能源消耗和全球暖化两类影响与国外水平进行了差异性比较。本研究旨在阐明我国硬泡聚氨酯板生命周期环境负荷的基本情况, 以期为本国化

硬泡聚氨酯板 LCA 数据库的建立及绿色建筑生命周期环境负荷评价提供数据支持。

## 1 研究方法

依据 ISO 14040 系列标准, LCA 的技术框架由以下四个部分组成: (1) 目标与范围的定义。具体包括确定 LCA 实施目标、产品系统边界及功能单位等。(2) 清单分析。根据目标与范围定义, 确定产品生命周期各个阶段每一个单元流程中材料与能源的消耗、废弃物排放等数据, 并进行整理与编目。(3) 影响评价。将清单数据进行定量化评价。(4) 结果解释。提供 LCA 研究结果并分析, 得出结论、解释存在的不足并提出建议。

产品的生命周期概括而言应包括三部分: ①上游过程, 包括资源、能源、原材料开采与生产, 产品包装材料生产, 及其中涉及的运输; ②产品生产过程, 包括产品制造, 及对该阶段排放污染物的处理过程等; ③下游过程, 包括产品销售、使用、废弃回收过程。本研究将上游过程和下游过程统称为“背景过程”, 将产品生产过程称为“现场过程”。对于非终端消费品, 其生命周期评价模型一般只包含上游过程和产品生产过程, 即从“摇篮”到“大门”。本研究中, 硬泡聚氨酯板作为建筑物的上游产品, 其生命周期模型采用“从摇篮到大门”。

本研究着重考虑能源消耗、全球暖化、酸化效应和富营养化四类环境影响类型。现场数据主要通过企业实地调研获得, 背景数据主要来源于国际国内公开数据库。利用四川大

学开发的 eBalance 生命周期分析软件对所收集的清单数据进行计算处理,从而获得硬泡聚氨酯板的单位产品四类环境影响指标值。

为更好的了解我国硬泡聚氨酯板生命周期环境影响与国外的差异性,本研究还对欧洲数据开展了调研,就能源消耗和全球暖化两类影响进行了国内外对比分析。

## 2 中国硬泡聚氨酯板产品 LCA 评价

### 2.1 目标与范围定义

#### 2.1.1 目标定义

对我国典型硬泡聚氨酯板进行生命周期评价,以期为我国本地化硬泡聚氨酯板 LCA 数据库的建立及绿色建筑生命

周期环境负荷评价提供数据支持。

#### 2.1.2 功能单位确定

考虑到聚氨酯板现场数据的统计规则,及与国际研究的协调一致性,本研究取 1kg 硬泡聚氨酯板作为功能单位。

#### 2.1.3 系统边界确定

本研究采用“从摇篮到门”的生命周期评价模型,其系统边界范围包括:(1)硬泡聚氨酯板的生产制造过程;(2)原材料(如有机异氰酸酯、聚醚多元醇、发泡剂戊烷)生产所涉及的生命周期阶段;(3)电力、能源(如柴油)的生产;(4)原材料运输过程。其系统边界详见图 1。

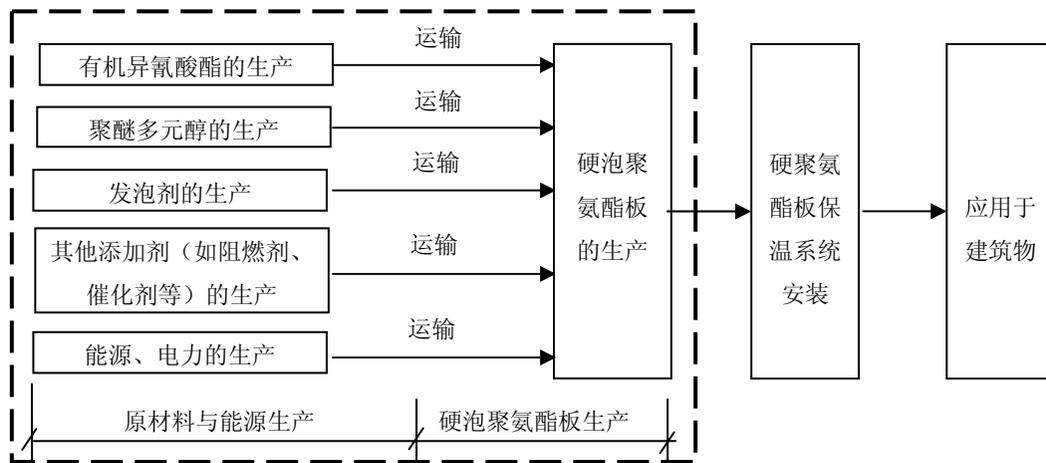


图 1 硬泡聚氨酯板 LCA 研究系统边界

#### 2.1.4 系统描述

(1) 本研究中系统边界包含原材料、能源生产阶段和硬泡聚氨酯板生产阶段两部分。硬泡聚氨酯板的后续使用及废弃等阶段未纳入其中。另外,据有关资料<sup>[3]</sup>表明,阻燃剂、催化剂等的添加量较小(小于 1%),且考虑到其基础数据获得的复杂性,本研究将阻燃剂、催化剂等添加剂生产阶段的影响予以忽略。

(2) 基于调研数据,本研究选定戊烷作为发泡剂。

(3) 硬泡聚氨酯板生产阶段的现场数据及原材料运输数据来源于对国内典型企业的调研结果。

(4) 综合考虑国内政策关注的重点,并兼顾中国清单数据的可获得性、特征化模型的适用性等因素,本研究考虑能源消耗、全球暖化、酸化效应、富营养化四类环境影响类型,并对这些影响类型进行特征化表征。

### 2.2 清单分析

#### 2.2.1 现场数据和背景数据选择

通过对我国典型硬泡聚氨酯生产企业开展调研,获取了硬泡聚氨酯板生产的现场数据。另外,根据调研结果,设定

有机异氰酸酯、聚醚多元醇、戊烷、柴油到硬泡聚氨酯板生产现场的运输里程分别为 100km, 70 km, 170km 和 10km。

背景数据来源于国际国内公开数据库。详见表 1。鉴于国内有关基础数据库的缺乏,同时考虑到异氰酸酯和聚醚多元醇等与其它化工产品不同,存在较高的技术壁垒,尤其是异氰酸酯,其关键技术主要掌握在 BASF、BAYER、DOW 等跨国企业和极少数国内企业手中,因此,本研究中对异氰酸酯、聚醚多元醇和戊烷采用欧洲数据库予以代替。

表 1 本研究确定的背景过程数据来源

生产过程	数据库
电力生产	四川大学 CLCD 中国电网电力平均生命周期数据库
公路运输	四川大学 CLCD
有机异氰酸酯生产	ELCD2&Ecoinvent
聚醚多元醇生产	ELCD2&Ecoinvent
戊烷生产	ELCD2&Ecoinvent

## 2.2.2 清单编目

以 1kg 硬泡聚氨酯板为功能单位,对现场数据和背景数

据进行整理、计算,获得了研究系统边界内各个单元过程的主要能源消耗和污染气体排放清单,见表 2。

表 2 各单元过程的主要能源消耗和污染气体排放清单(以硬泡聚氨酯板功能单位计)

项目	有机异氰酸酯生产	聚醚多元醇生产	发泡剂戊烷生产	柴油生产	电力生产
原煤 (kg)	2.81E-01	1.43E-01	2.55E-03	4.57E-04	1.22E-02
原油 (kg)	4.25E-01	3.61E-01	1.70E-01	5.04E-02	7.24E-05
天然气 (kg)	0	0	0	2.45E-05	1.08E-04
CO <sub>2</sub> (kg)	3.30E+00	1.33E+00	9.21E-02	1.54E-02	1.89E-02
SO <sub>2</sub> (kg)	1.25E-02	3.71E-03	2.50E-04	1.10E-04	6.59E-05
NO <sub>x</sub> (kg)	7.82E-03	3.22E-03	2.34E-04	6.78E-05	5.48E-05

## 2.3 影响评价 (LCIA)

利用 eBalance 生命周期分析软件,对功能单位硬泡聚

氨酯板进行生命周期评价,其特征化结果见表 3 和图 2 所示。

表 3 功能单位硬泡聚氨酯板生命周期特征化结果

影响类型	单位	总量	电力生产	柴油生产	有机异氰酸酯生产	聚醚多元醇生产	发泡剂戊烷生产
能源消耗	kgce 当量	3.60E+00	9.40E-03	7.64E-02	2.00E+00	1.25E+00	2.64E-01
全球暖化	kg CO <sub>2</sub> 当量	5.79E+00	2.04E-02	3.69E-02	3.98E+00	1.63E+00	1.08E-01
酸化效应	kgSO <sub>2</sub> 当量	2.54E-02	1.10E-04	1.60E-04	1.83E-02	6.24E-03	4.15E-04
富营养化	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 当量	4.34E-03	7.33E-06	2.42E-05	2.83E-03	1.45E-03	3.31E-05

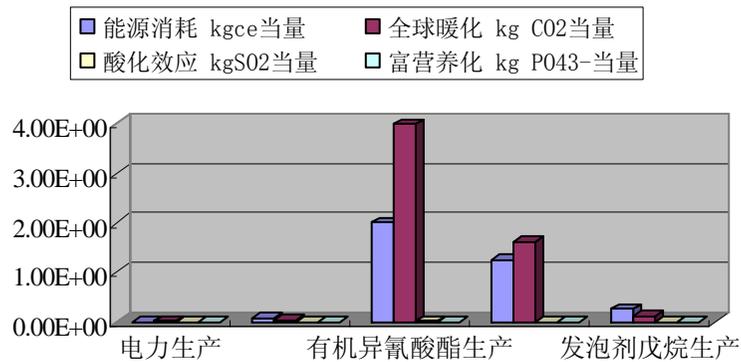


图 2 功能单位硬泡聚氨酯板生命周期特征化结果

## 2.4 结果解释

功能单位硬泡聚氨酯板生命周期特征化结果可以表明:

(1) 在所选择的四种影响类型中,全球暖化是最重要的环境影响,其次是能源消耗。酸化效应和富营养化的影响较小。

(2) 在硬泡聚氨酯板生产生命周期中,原材料生产阶段产生的环境影响较大。其中有机异氰酸酯生产阶段所产生的能源消耗和全球暖化影响分别占能源消耗和全球暖化影响

总量的 55.6%和 68.7%。聚醚多元醇生产阶段所产生的能源消耗和全球暖化影响分别占总量的 34.7%和 28.2%。因此,选取环境负荷较小的原材料对于改善硬泡聚氨酯板产品的整体环境行为非常重要。

## 3 与国外硬泡聚氨酯板 LCA 评价结果的对比分析

根据对欧洲硬泡聚氨酯产品的调研结果<sup>[3]</sup>,获得单位重量的硬泡聚氨酯板能源消耗和碳排放清单,分别见表 4 和表

5. 结果表明，功能单位硬泡聚氨酯能源消耗量为 102MJ，排放 CO<sub>2</sub> 当量为 4.16kg（以 100 年计）。

表 4 功能单位硬泡聚氨酯生命周期能源消耗清单

Type	Total	Electricity	Oil fuels	Other fuels
Energy consumption (MJ)	1.02E+02	2.16E+01	3.46E+01	4.53E+01

表 5 功能单位硬泡聚氨酯生命周期碳排放清单

Type	20 year equivalency	100 year equivalency	500 year equivalency
CO <sub>2</sub> Equivalent (kg)	5.43	4.16	3.64

将我国典型硬泡聚氨酯板功能单位产品的生命周期能源消耗及碳排放清单与欧洲作比，详见表 6 和图 3。结果表明，我国典型硬泡聚氨酯板功能单位生命周期能耗与碳排放水平均要高于欧洲，其中能耗水平是欧洲的 1.04 倍，碳排放水平是欧洲的 1.39 倍。

表 6 国内硬泡聚氨酯板功能单位生命周期能源消耗与碳排放水平对比

类型	我国	欧洲
能源消耗 (MJ)	106	102
碳排放 (kgCO <sub>2</sub> 当量-100 年)	5.79	4.16

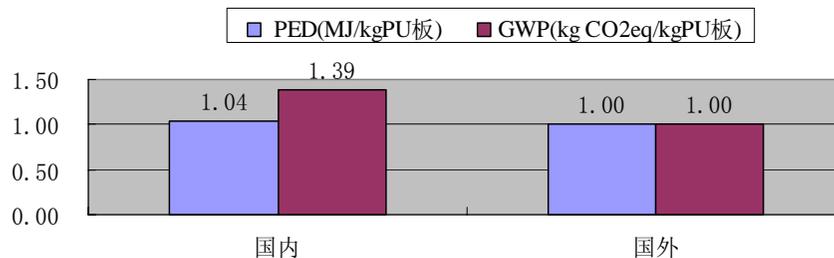


图 3 国内硬泡聚氨酯板功能单位生命周期能源消耗与碳排放水平对比 (以国外数据为 1)

#### 4 结论

(1) 运用生命周期评价方法对我国典型硬泡聚氨酯板的环境负荷现状进行了分析，并利用 eBalance 软件进行了相关计算，获得了我国典型硬泡聚氨酯板功能单位产品的能源消耗、全球暖化、酸化效应、富营养化影响指标分别为：3.60kgce、5.79kgCO<sub>2</sub>当量、2.54E-02kgSO<sub>2</sub>当量、4.34E-03kgPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>当量。

(2) 我国典型硬泡聚氨酯板产品的生命周期环境影响重要性排序为：全球暖化>能源消耗>酸化效应>富营养化。

(3) 有机异氰酸酯和聚醚多元醇的生产对硬泡聚氨酯板生命周期环境影响较大。因此，原材料选择在硬泡聚氨酯产品的 LCA 评估中不容忽视。

(4) 就硬泡聚氨酯板功能单位生命周期能耗与碳排放情况而言，国内水平均要高于欧洲，其中能耗水平是欧洲的 1.04 倍，碳排放水平是欧洲的 1.39 倍。

#### 参考文献

- [1] 聚氨酯行业研究报告[R]. 长江证券研究部, 2009.
- [2] ISO International Standard 14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- [3] ISO International Standard 14044 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- [4] Polyurethane rigid foam. Eco-profiles of the European Plastics Industry[J]. I Boustead. Plastics Europe, 2005(3).