

doi:10.3963/j.issn.1671-4431.2013.02.009

我国典型岩棉板生产生命周期评价研究

马丽萍^{1,2}, 蒋 荃^{1,2,3}, 赵春芝^{1,2}

(1. 中国建材检验认证集团股份有限公司, 北京 100024; 2. 国家绿色建材
重点实验室, 北京 100024; 3. 武汉理工大学材料科学与工程学院, 武汉 430070)

摘 要: 当前国内外绿色建筑评价已越来越多地考虑建筑材料的生命周期环境负荷。岩棉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, 对我国典型岩棉板生命周期过程中产生的资源、能源消耗和温室气体排放进行了深入调研与分析, 并基于此计算出我国典型岩棉板功能单位产品的不可再生资源消耗、能源消耗和温室效应影响指标分别为: 14.44 kg Coal-R 当量/kg 板, 1.29 kg ce 当量/kg 板, 2.53 kg CO₂ 当量/kg 板。

关键词: 岩棉板; 生命周期评价; 温室效应

中图分类号: TU 51/59

文献标识码: A

文章编号: 1671-4431(2013)02-0043-05

Life Cycle Assessment of Typical Rock Wool Board Production in China

MA Li-ping^{1,2}, JIANG Quan^{1,2,3}, ZHAO Chun-zhi^{1,2}

(1. China Building Material Test & Certification Group Co Ltd, Beijing 100024, China; 2. National Key Lab
for Green Building Materials, Beijing 100024, China; 3. School of Materials Science and Engineering, Wuhan
University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Life cycle environmental impact of building materials is more and more considered in the domestic and international green building evaluation. Rock wool board is an important building thermal insulation material. It is necessary to carry out the research on life cycle assessment of the rock wool board. Based on the method of life cycle assessment, life cycle resource consumption, energy consumption and greenhouse gas emission of the rock wool board in China were deeply surveyed and analyzed. The depletion of non-renewable resource and energy and greenhouse effect of functional unit for rock wool board were calculated.

Key words: rock wool board; life cycle assessment; greenhouse impact

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。岩棉板^[1]因其具备优质的保温、防火等性能^[2]而成为保温材料界的耀眼明星, 备受建筑业重视。尤其是在被称为“史上最严消防令”的 65 号文下达之后, 各地建筑市场对 A 级保温材料的需求越来越迫切, 极大地推动了岩棉板在建筑物中应用的步伐。因此, 岩棉板对于发展低碳建筑及其防火安全具有不容忽视的地位^[3]。

生命周期评价(Life Cycle Assessment, 以下简称 LCA)^[4-5]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 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^[6]、清洁生产技术评价与研发、环境标志与声明^[7]、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, 也越来越多地将建筑材料 LCA 分析纳入考量范畴^[8-10]。因此, 岩棉板作为一种重要的建筑保温材料, 对其开展 LCA 分析意义显著。

对于岩棉板的生命周期评价, 目前国内尚未见相关报道。研究基于 LCA 方法, 对典型岩棉板生产的生

收稿日期: 2012-12-04.

基金项目: 国家十二五科技支撑计划(2011BAJ04B06).

作者简介: 马丽萍(1982-), 女, 硕士生, 工程师. E-mail: sxxympl@163.com

命周期环境影响进行了计算、分析与评价,旨在阐明我国岩棉板生命周期环境负荷的基本情况,以期为本地化岩棉板 LCA 数据库的建立及低碳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 4 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。将清单数据进行量化评价。4)结果解释。提供 LCA 研究结果并进行分析,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。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”。研究中,岩棉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”。

研究着重考虑不可再生资源消耗、能源消耗和温室效应三类环境影响类型。现场数据主要通过国内典型企业实地调研获得,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,从而获得岩棉板功能单位产品的各类环境影响指标值。

2 典型岩棉板产品 LCA 评价

2.1 目标与范围定义

1)目标定义 对我国典型岩棉板产品进行生命周期评价,以期为我国本地化岩棉板 LCA 数据库的建立及低碳建筑生命周期环境负荷评价提供基础数据。

2)功能单位确定 综合考虑岩棉板生产现场数据的一般统计规则,及与建筑物评价的匹配性与协调性等因素,研究选取 1 kg 岩棉板作为功能单位。

3)系统边界确定 岩棉板是由玄武岩及其他天然矿石为原料经高温熔融后通过离心力或高压气体喷吹成纤维,加入适量热固性树脂胶粘剂后,经压形、加热聚合或干燥制成的具有较高机械强度的板材^[1]。其生产工艺如图 1 所示。

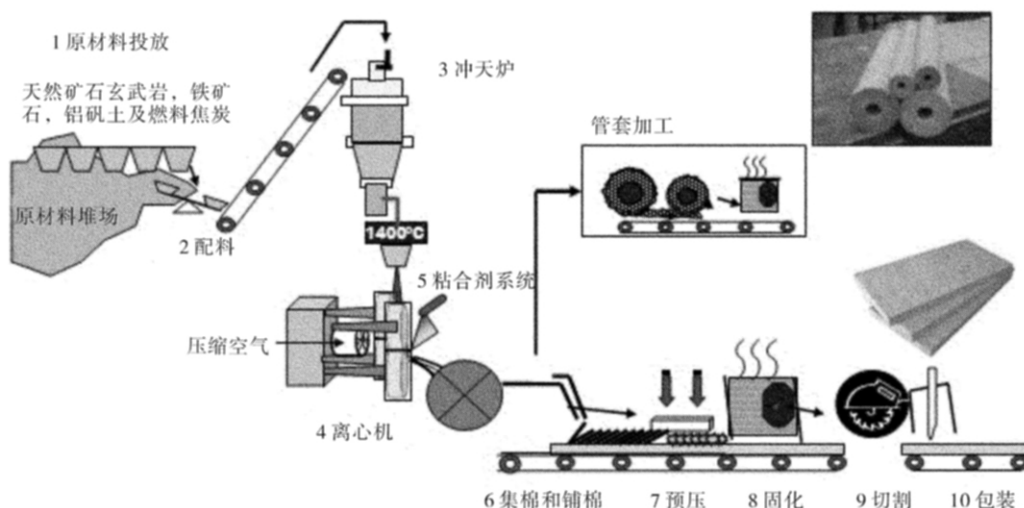


图1 岩棉板的生产工艺

研究采用“从摇篮到大门”的生命周期评价模型,其系统边界范围包括:1)岩棉板的生产制造过程;2)原材料(玄武岩、石灰石、高炉矿渣、粘接剂酚醛树脂等)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 2。

4)系统描述 (1)研究中系统边界包含原材料、能源生产阶段和岩棉板生产阶段两部分。岩棉板的后续使用及废弃等阶段未纳入其中。(2)目前岩棉板的生产工艺主要有 3 种:摆锤法、沉降法和三维法。其中摆

锤法是最主要的工艺,三维法多见于新建企业。考虑到工艺选择的典型性与代表性,研究采用摆锤法生产岩棉板。(3)岩棉板生产阶段的现场数据及原材料运输数据来源于对国内两家典型企业 A、B 的调研结果,所调研岩棉板的酸度系数为 1.6,容重为 150 kg/m³。(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多重因素,研究选取当前社会最为关注的不可再生资源消耗、能源消耗和温室效应三类环境影响类型,并对其进行特征化表征。鉴于高炉矿渣属于工业固废综合利用,研究中不考虑与其相关的环境影响。

2.2 清单分析

2.2.1 现场数据

通过对我国典型岩棉板生产企业 A、B 开展深入调研,获取了岩棉板生产现场的单位产品原材料消耗、能源消耗及其运输数据。关于岩棉板生产过程中由于燃料燃烧而产生的 CO₂ 采用理论计算方法。根据 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南^[12],焦炭、柴油的碳排放系数分别为 107 000 kg/TJ 和 74 100 kg/TJ,进一步基于各企业岩棉板生产阶段的焦炭与柴油使用量,并进行转化计算,获得各企业单位岩棉板生产 CO₂ 现场排放数据。

总结 A、B 企业单位产品生产原材料、能源消耗及 CO₂ 排放清单,详见表 1。

表 1 典型岩棉板生产企业单位产品原材料、能源消耗及 CO₂ 排放清单

项目		A 企业		B 企业	
		单位产品原材料/能源消耗/CO ₂ 排放量	运输距离/km	单位产品原材料/能源消耗/CO ₂ 排放量	运输距离/km
原材料消耗	高炉矿渣	0.7 kg/kg 板	578	1.015 kg/kg 板	156
	玄武岩	0.8 kg/kg 板	0	0.655 kg/kg 板	156
	白云石	0.067 kg/kg 板	639	—	—
能源消耗	酚醛树脂	0.1 kg/kg 板	0	0.085 kg/kg 板	0
	电	0.432 kWh/kg 板	0	0.365 kWh/kg 板	0
	焦炭	0.3 kg/kg 板	1 300	0.485 kg/kg 板	400
	柴油	0.1 kg/kg 板	0	0.055 kg/kg 板	0
CO ₂ 排放		1.224 kg CO ₂ /kg 板	—	1.638 kg CO ₂ /kg 板	—

2.2.2 背景数据

背景数据来源于国际国内公开数据库^[13-15],详见表 2。鉴于国内有关基础数据库的缺乏,研究中对玄武岩、白云石、酚醛树脂采用欧洲数据库予以代替。

表 2 研究确定的背景过程数据来源

生产过程	数据库
电力/柴油/焦炭生产	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
玄武岩/白云石/酚醛树脂生产	ELCD2&-Ecoinvent

2.3 影响评价与结果解释

利用 eBalance 生命周期分析软件,对功能单位岩棉板产品进行生命周期评价,并对其不可再生资源消耗(CADP)、能源消耗(PED)和温室效应(GWP)影响进行特征化表征,获得 A、B 企业的计算结果分别如表 3和表 4 所示。

由表 3 和表 4 可以看出:1)对于 A、B 企业而言,其各自的三类环境影响的重要性大小排序是一致的,即 CADP>GWP>PED。2)就不可再生资源消耗影响而言,A 企业较 B 企业大,这与其各自的原材料使用结构及数量大小是相对应的。3)就温室效应和能源消耗影响而言,A 企业均小于 B 企业。其中 B 企业的能源

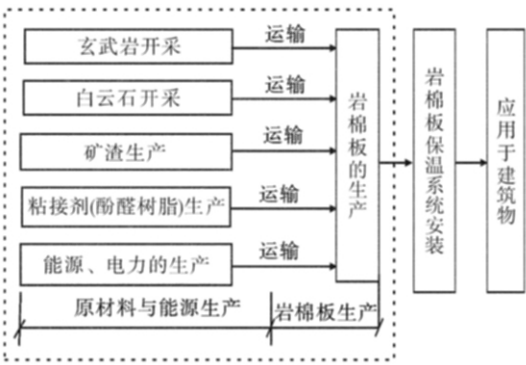


图2 岩棉板LCA研究系统边界

消耗是 A 企业的 1.07 倍,温室效应影响是 A 企业的 1.13 倍。4)综合来看,A、B 企业之间的数据具有较好的可比性。

表 3 A 企业功能单位岩棉板生产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	焦炭生产	玄武岩生产	白云石生产	酚醛树脂生产	岩棉板生产	运输
CADP	kg Coal-R 当量	1.594E+01	4.187E-01	3.498E+00	7.995E-01	5.971E-02	2.372E-02	1.070E+01	0	4.388E-01
PED	kg ce 当量	1.248E+00	1.952E-01	1.831E-01	4.492E-01	3.420E-03	1.123E-03	3.933E-01	0	2.299E-02
GWP	kg CO ₂ 当量	2.373E+00	4.241E-01	8.856E-02	1.511E-01	5.958E-03	1.882E-03	4.152E-01	1.224E+00	6.264E-02

表 4 B 企业功能单位岩棉板生产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	焦炭生产	玄武岩生产	酚醛树脂生产	岩棉板生产	运输
CADP	kg Coal-R 当量	1.295E+01	3.538E-01	1.92E+00	1.293E+00	4.889E-02	9.095E+00	0	2.382E-01
PED	kg ce 当量	1.341E+00	1.649E-01	1.007E-01	7.261E-01	2.800E-03	3.343E-01	0	1.248E-02
GWP	kg CO ₂ 当量	2.681E+00	3.583E-01	4.871E-02	2.443E-01	4.878E-03	3.529E-01	1.638E+00	3.400E-02

此外,还就岩棉板各个生命周期过程对三类环境影响指标的贡献比例进行了梳理、计算,获得 A 企业的计算结果如表 5 和图 3 所示,B 企业的计算结果如表 6 和图 4 所示。

表 5 A 企业岩棉板生命周期各过程对三类环境影响指标的贡献值 /%

影响类型	电力生产	柴油生产	焦炭生产	玄武岩生产	白云石生产	酚醛树脂生产	岩棉板生产	运输
CADP	2.627	21.947	5.016	0.375	0.149	67.133	0	2.753
PED	15.635	14.668	35.983	0.274	0.090	31.507	0	1.842
GWP	17.868	3.731	6.366	0.251	0.079	17.494	51.572	2.639

表 6 B 企业岩棉板生命周期各过程对三类环境影响指标的贡献值 /%

影响类型	电力生产	柴油生产	焦炭生产	玄武岩生产	酚醛树脂生产	岩棉板生产	运输
CADP	2.731	14.854	9.979	0.377	70.220	0	1.839
PED	12.294	7.508	54.136	0.209	24.923	0	0.930
GWP	13.364	1.817	9.110	0.182	13.163	61.096	1.268

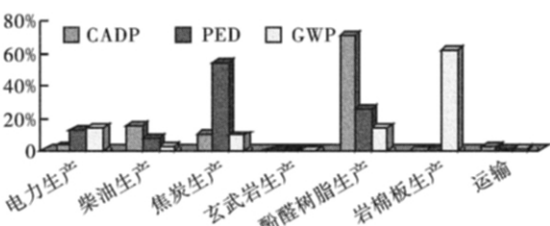
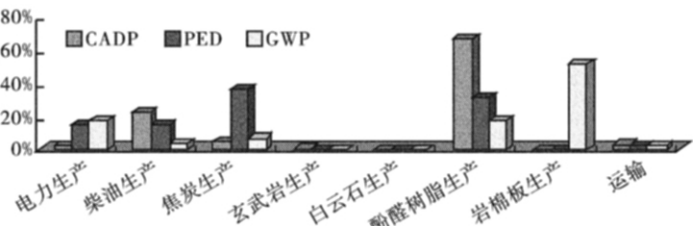


图3 A企业岩棉板生命周期各过程对三类环境影响指标的贡献值 图4 B企业岩棉板生命周期各过程对三类环境影响指标的贡献值

从表 5、表 6、图 3 和图 4 中可以看出:1)对于 A 企业而言,其生命周期各过程对不可再生资源消耗影响的贡献大小排序为:酚醛树脂生产>柴油生产>焦炭生产>运输>电力生产>玄武岩开采>白云石开采。各过程对能源消耗影响的贡献大小排序为:焦炭生产>酚醛树脂生产>电力生产>柴油生产>运输>玄武

岩开采>白云石开采。各过程对温室效应影响的贡献大小排序为:岩棉板生产>电力生产>酚醛树脂生产>焦炭生产>柴油生产>运输>玄武岩开采>白云石开采。2)对于 B 企业而言,其生命周期各过程对三类环境影响的贡献比例与 A 企业基本一致。3)综合来看,酚醛树脂生产及能源生产(包括焦炭、电力、柴油)是较为重要的生命周期阶段,而原材料(包括玄武岩、白云石)开采阶段的影响较小。因此,在基础数据无法获取的情况下,可将玄武岩和白云石开采过程予以忽略。此外,岩棉板生产是温室效应影响最严重的阶段,其所占比例高达 50%以上。因此,减少岩棉板生产过程中的能源消耗、提高能源燃烧效率,以及运用先进的燃烧技术是实施岩棉板减碳行动的关键所在。

鉴于 A、B 企业在国内岩棉板行业中的典型性与代表性,且两者之间的数据具备较好的可比性,研究中对两组数据进行了算术平均,以近似代表我国岩棉板产品生命周期环境负荷的平均水平。通过计算,获得我国生产功能单位岩棉板产品所涉及的不可再生资源消耗影响潜值为 14.44 kg Coal-R 当量/kg 板,能源消耗潜值为 1.29 kg ce 当量/kg 板,温室效应潜值为 2.53 kg CO₂当量/kg 板。

3 结 论

a. 运用生命周期评价方法对我国典型岩棉板的环境负荷现状进行分析,并利用 eBalance 软件进行了计算,获得我国典型岩棉板功能单位产品的不可再生资源消耗、能源消耗和温室效应影响指标分别为:14.44 kg Coal-R 当量/kg 板、1.29 kg ce 当量/kg 板、2.53 kg CO₂当量/kg 板。

b. 对于我国岩棉板产品而言,酚醛树脂生产及能源生产(包括焦炭、电力、柴油)是对其生命周期环境影响较为重要的阶段,而原材料(包括玄武岩、白云石)开采阶段的影响相对较小。因此,改善岩棉板整体环境表现的关键在于提高能效,减少能源的消耗以及发展新的燃烧技术。原材料酚醛树脂的选择也不容忽视。另外,在本地化数据获取不足的情况下,可将玄武岩、白云石开采阶段的数据予以忽略。

c. 产生温室效应影响最大的环节在于岩棉板生产,该阶段产生的碳排放占总碳排放量的比例达到 50%以上。因此,为降低岩棉板生命周期温室效应影响,减少其生产阶段的能源用量、提高能源燃烧效率,以及运用先进的燃烧技术是可以采取的有效方式。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB/T 25975—2010 建筑外墙外保温用岩棉制品[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [2] 倪建华. 岩棉外墙外保温系统介绍及上海地区应用实例[J]. 辽宁建材,2011(2):52-55.
- [3] 宋长友. 岩棉外墙外保温系统技术研究与应用[J]. 建筑科学,2008,24(2):84-93.
- [4] 中华人民共和国国家标准. GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [5] 中华人民共和国国家标准. GB/T 24044—2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [6] 中华人民共和国国家标准. GB/T 24062—2009 环境管理 将环境因素引入产品的设计和开发[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [7] 中华人民共和国国家标准. GB/T 24025—2009 环境标志和声明 III 型环境声明 原则和程序[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [8] 魏小清. 基于生命周期理论的大型公共建筑能耗分析与评价[D]. 长沙:湖南大学,2010.
- [9] 燕 艳. 浙江省建筑全生命周期能耗和 CO₂排放评价研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [10] 谷立静. 基于生命周期评价的中国建筑行业环境影响研究[D]. 北京:清华大学,2009.
- [11] 孙诗兵. 矿岩棉生产及其在建筑保温中的应用[J]. 墙材革新与建筑节能,2011(8):48-49.
- [12] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. Hayama:IPCC/IGES,2006.
- [13] 刘夏璐. 中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型[J]. 环境科学学报,2010, 30(10): 2136-2144.
- [14] Wang H T, Ciroth A. Development of Unit Process Datasets//UNEP/SETAC. Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases[M]. Paris:UNEP, 2011.
- [15] Wang H T, Hou P. A Novel Weighting Method in LCIA and Its Application in Chinese Policy Context// Matthias Finkbeiner. Towards Life Cycle Sustainability Management[M]. Berlin: Springer, 2011.