

# 不锈钢产品生命周期评价研究与探索

宝钢不锈钢有限公司宝钢股份研究院 金周 何焱彬 刘颖昊 周晶

**摘要:** 不锈钢产品是宝钢重要发展的产品、组成单元,立足新形势下节能减排思考,宝钢不锈钢有限公司提出了以生态化、低碳化为主线,以绿色生产、固废利用、低碳经济为抓手的“环境经营”实践新思路,基于该背景和工作部署下,不锈钢公司适时开展不锈钢产品生命周期的研究与探索工作,并依托该研究促进节能减排和资源综合利用工作进一步深入开展。

**关键词:** 生命周期评价;LCA 模型;CO<sub>2</sub> 排放;节能减排

## Research and Exploration of Life Cycle Estimate for Stainless Steel Products

Jin Zhou, He Yanbing, Liu Yinhao, Zhou Jin

**Abstract:** Stainless steel products are important products and units of Baosteel. Because of energy saving and emission reduction under the new situation, Stainless steel Co., Ltd put forward new ideas called "Environmental management", which used the ecological and low carbon as the main line, grasping the green production, waste utilization, low carbon economy. Based on this background and work arrangements, Stainless steel Co., Ltd carried out the research and exploration of life cycle for stainless steel products timely. At the same time, the work of energy-saving emission reduction and the comprehensive utilization of resources can be further carried out.

**Keywords:** Life Cycle Estimate; LCA Model; CO<sub>2</sub> Emission; Energy Saving and Reducing

### 0 前言

生命周期评价(LCA)已成为评价产品环境影响的唯一国际标准方法(ISO14040),是系统化、定量评价产品环境影响的科学方法。宝钢不锈钢有限公司(以下简称不锈钢公司)依托科研平台于2008年启动了钢铁产品LCA研究工作,逐步建立了钢铁产品生命周期清单的模型化方法和钢铁产品环境影响评价模型,提出了基于LCA研究的钢铁企业环境决策方法,开发了宝钢不锈钢产品生命周期评价软件,开展了基于LCA的环境管理与决策的应用研究。不锈钢LCA研究为分析企业节能

和环境减排潜力、明确改善方向和措施,提供了技术支持,并为宝钢不锈钢产品的国际化奠定了良好的数据分析基础。

### 1 产品生命周期研究目标、关键点及技术路线

#### 1.1 产品生命周期研究目标、关键点

(1) 建立集碳钢和不锈钢产品一体的LCA评价模型,按大类实施碳钢及不锈钢大产品的LCA研究,分别建立相应的LCA评价软件,计算得出各类产品的LCA分析结果(包含成本计算)。尤其是实施包括铁素体(含超纯铁素体)、奥氏体、

奥氏体(BN 系列)、马氏体、双相不锈钢等不锈钢产品的 LCA 模型。

(2) 结合生产现状和发展趋势,依据国际分类惯例,建立不锈钢典型牌号的 LCA 软件。具体包括:不锈钢 304、430、BN1、410、409、316 等六个典型牌号钢种的研究分析(包含成本计算)。

(3) 形成不锈钢公司碳钢和不锈钢产品生产全流程二氧化碳排放核算与评价方法。项目研究按照计划进行,已按时间节点完成计划任务书所规定的全部内容,并在某些部分进行了内容的扩展和增加,例如决策咨询案例研究增加了不锈钢公司高炉煤气尾气利用的 LCA 比较、产品环境影响因素分析等案例。

## 1.2 产品生命周期主要研究内容

根据不锈钢公司现状,项目研究包括基础研究、系统开发和决策研究 3 个部分,基础研究包括碳钢和不锈钢产品的分类、分工序及 LCA 研究方法、能源环保清单数据收集和环保因子检测分析;系统开发包括建立不同产品和分工序的生命周期评价模型等;决策研究包括企业全流程能耗分析、产品环境性能分析及产品 CO<sub>2</sub> 排放核算与评价方法等。具体内容如下:

(1) 产品实物流调研、生命周期清单数据的收集、整理;

(2) 大气、水体和固体废弃物排放数据的调研和收集,对缺少的数据进行必要的检测;

(3) 产品(包括碳钢和铁素体(含超纯铁素体)、奥氏体(BN 系列)、奥氏体(不含 BN 系列)、马氏体、双相不锈钢等)生命周期评价方法的研究和模型建立;

(4) 对不锈钢公司二氧化碳排放进行核算与评价方法的研究,建立各工序二氧化碳排放模型;

(5) 对碳钢和不锈钢产品全流程能耗和环境性能指标的分析 and 评价;

(6) 对 LCA 数据进行敏感性和不确定性分析,提出改进建议和措施。

## 1.3 产品生命周期研究思路与技术路线

产品与碳钢产品的原料结构以及加工工艺显

著不同。在建立不锈钢公司产品的 LCA 模型时,需根据实际情况采用合适的分配方法,从而保证和完善模型中统计数据的可靠性。

(1) 单元模块建模根据不锈钢公司生产碳钢和不锈钢产品的特点,确定各生产单元模块输入和输出参数的类型、格式,根据逻辑关系建立单元模块生命周期清单模型。单元模块按照能源、物料、产品和废弃物等投入-产出关系进行计算,这样可有效避免环境负荷计算过程中漏记或重复;

(2) 数据质量检验结合碳钢 LCA 课题组的数据质量检验模式,对不锈钢公司收集的数据进行数据质量检验,以提高 LCA 模型中数据质量水平。

(3) 环境影响因素分析根据实物流图以历史消耗数据为参照对象,开展能源与资源消耗、大气、水体和固体废弃物排放指标的现状数据调研分析。委托专业检测公司对未统计数据进行现场测试分析,并建立产品的生命周期环境负荷和环境影响评价模式。

(4) 生命周期清单模型在单元模块模型的基础上,根据公司生产内部结构和上下游关系,建立产品生命周期清单模型;利用矩阵对模型进行计算。特别是针对铁素体(含超纯铁素体)、奥氏体(BN 系列)、奥氏体(不含 BN 系列)、马氏体、双相不锈钢等不锈钢具体大产品的模型建立和分析。其中能源和原辅材料的碳钢分品种数据、碳钢产品的相应数据及分工序数据的收集、归结及与模型的接口委托宝信公司合作完成。

(5) 主要影响因素识别利用不确定性分析方法,全面分析模型变量对目标的敏感性,构建相对影响程度指标,判断影响目标的主要因素。根据假设变量对预测变量的相对敏感程度可以识别模型中影响目标的主要因素。

(6) 不确定数据条件下的决策分析不锈钢产品 LCA 研究涉及产品种类较多,工艺相对复杂,再加上一些统计手段和现场条件的局限,所收集能源环保数据的不确定性不可避免,所以分析不同置信度下的节能减排效果对生产决策非常重要。

## 2 研究工作主要进展、取得成果及应用分析

### 2.1 研究工作的主要进展情况

基于不锈钢产品 LCA 研究,建立和完善了公司不锈钢大类产品及典型牌号的产品生命周期评价方法和环境管理与决策方法,设计形成了碳钢产品和不锈钢产品的 LCA 计算模型、环境管理与决策模型、不锈钢产品 CO<sub>2</sub> 排放计算方法,计算得到了钢铁产品某段统计时期的生命周期环境负荷量化结果,进行了“富余 BFG 不同处理方式节能减排”环境管理决策案例分析。基于 LCA 的公司 CO<sub>2</sub> 排放计算方法系统地计算各生产工序的 CO<sub>2</sub> 排放,以便帮助不锈钢公司了解自身的 CO<sub>2</sub> 排放水平,指出碳减排的重要途径与方向。

(1) 结合不锈钢工艺及产品特点的 LCA 方法论研究

1) 提出了不锈钢产品的生命周期评价边界、清单指标、影响评价指标,提出了清单指标计算程序和影响评价指标计算方法;提出了负荷分配方法;提出了生命周期评价结果的解释方法。

2) 形成不锈钢大类产品、典型牌号的 LCA 数据标准处理方法。产品制造周期中涉及物料的投入与产出基于成本核算成本中心的核算数据为原则的收集,形成 LCA(产品、副产品、原料、辅料)投入产出数据集及标准单耗。大部分数据以实物量为基础核算后形成基础数据,部分数据以金额数据归类(耐材、碳钢脱硫剂)采用标准值替代。

(2) 构建不锈钢产品生命周期评价计算模型

1) 不锈钢产品 LCA 系统模型的研究和建立是以不锈钢产品生命周期评价方法论为指导,提出了产品生命周期阶段划分、能源产品 LCI 矩阵计算模型、主产品 LCI 矩阵计算模型、负荷指标在各阶段划分的矩阵计算模型等,并按不锈钢产品的生命周期阶段的划分、模型的计算过程和计算逻辑,实施单元过程数据的处理过程,包括清单指标和环境影响类型指标的工序分布分析的计算过程、不锈钢产品的生命周期清单形成、生命周期环境影响评价、指标分布等内容计算。

2) 对模型中涉及的大气和废水排放污染因子进行检测,不锈钢产品包括铁素体(含超纯铁素体)、奥氏体(BN 系列)、奥氏体(不含 BN 系列)、马氏体、双相不锈钢、高镍不锈钢等六类。围绕不锈钢的生产特点,结合不锈钢的物料平衡、能源介质平衡、生产工艺流程,确定了 LCA 环境因子检测的污染源及各污染源涉及的检测项目。生命周期清单模型中能源和原辅材料的不锈钢分品种数据和碳钢产品的相应数据的收集、归结及与模型的接口建立。

3) 数据收集处理目的是形成公司碳钢和不锈钢大类产品 LCA 模型的 LCA 数据主题,特别是率先建立独具特色的铁素体、奥氏体、奥氏体(BN 系列)、马氏体、双相不锈钢等大类不锈钢产品的 LCA 模型,是支撑不锈钢大类产品 LCA 模型的基础数据,实现产品实物核算、流程调研、生命周期清单数据的收集、整理。

4) 建立不锈钢产品的 LCA 系统模型,需要了解不锈钢产品的分类和具体生产工序,同时对不锈钢产品生产过程中所特有的能源消耗、环境污染环节进行全方位梳理及单元过程数据校验。基于宝钢股份 LCA 研究所采用的 Bottom-up 模型,建立了矩阵计算模型,将全厂产品分为主产品和能源产品两大类分别建立模型,其中能源系统构建了 23 个矩阵,完成了企业内部、外部运输、上游和外部副产品收益四个阶段的清单负荷计算;主生产系统构建了 33 个矩阵,完成了八个阶段的负荷计算,其中内部副产品收益负荷包括内部副产品使用和内部副产品产出两个负荷矩阵。

(3) 基于 LCA 的 CO<sub>2</sub> 排放计算方法

对于不锈钢公司而言,其产品的生产过程、这些过程所用原材料(包括煤、铁矿石、焦炭、合金等)的开采、运输等伴随着大量资源、能源的消耗和各种污染物的排放,涉及多种原料、能源、副产品和废弃物的输入和输出,需要使用系统的方法计算 CO<sub>2</sub> 排放量。基于上述情况,通过研究,建立在《不锈钢公司产品生命周期清单模型》的基础上,对不锈钢公司 CO<sub>2</sub> 排放的计算主要从不锈钢公司总体、各工序、各产品

(图1 三种维度碳输入输出图) 维度实施 CO<sub>2</sub> 排放量统计。如图1所示用进入边界内的总的碳量,扣除存在于所有产出物中的含碳量,即为生产过程的碳排放,用这种碳守恒的原理计算 CO<sub>2</sub> 排放量,以维度为边界,核算碳的输入和输出。不锈钢公司总体排放比重及工序维度排放比例情况见图2。

## 2.2 LCA 在不锈钢公司的应用研究

系统的了解不锈钢公司环境负荷。掌握减少环境负荷的方向和途径,寻找节能减排改进空间。通过案例研究形成节能减排 LCA 评估示范,并从环境绩效分析、全流程能耗分析、环境影响因素分析、基于

LCA 的节能减排案例分析、企业环境负荷的主要影响因素分析, LCA 模型里包含了影响企业环境负荷的所有因素(能源、能效、技术、工艺等),因此需要用科学的方法分析这些因素对环境负荷的影响程度(见图3),寻找企业环境负荷的主要影响因素。

研究得到了八大类产品的吨钢环境负荷指标,其中负荷指标最大值归纳如下:非合金产品内部吨钢铁矿石、能源消耗和 CO<sub>2</sub> 排放情况,非合金产品和低合金产品、铁素体产品和 BN 产品在主生产流程中的环境指标变化具有相似的趋势。不锈钢公司非合金热镀锌工序和低合金热镀锌工序是节能的重点工序。减少

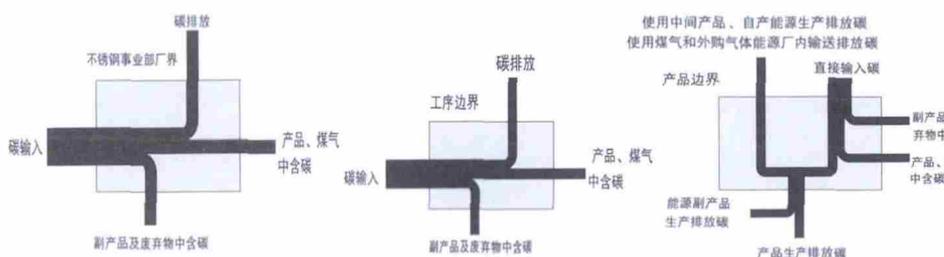


图1 三种维度碳输入输出图

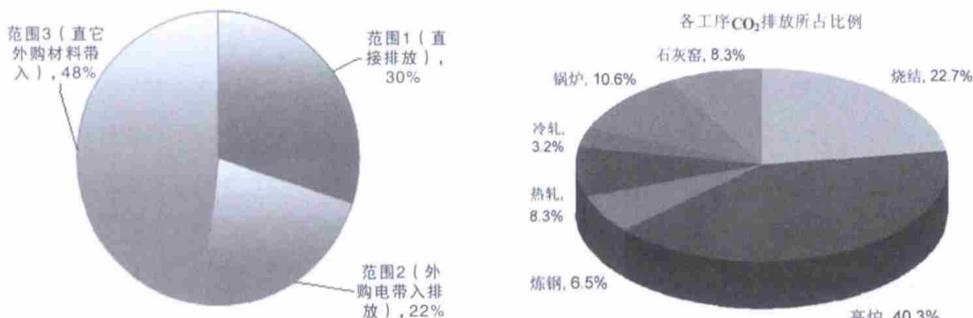


图2 不锈钢公司总体排放比重及工序维度排放比例情况

各类外售产品的代表性环境指标在全厂总量中构成 (on-site)

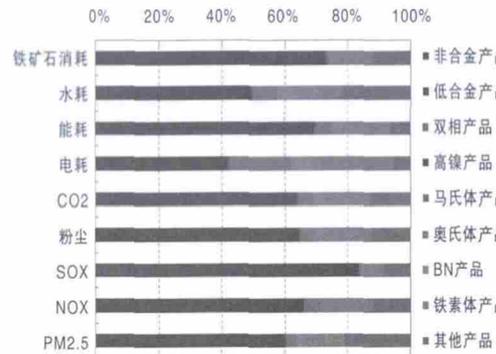


图3 环境绩效分析

1kg非合金热镀锌精整卷代表性环境指标分布B (on-site)



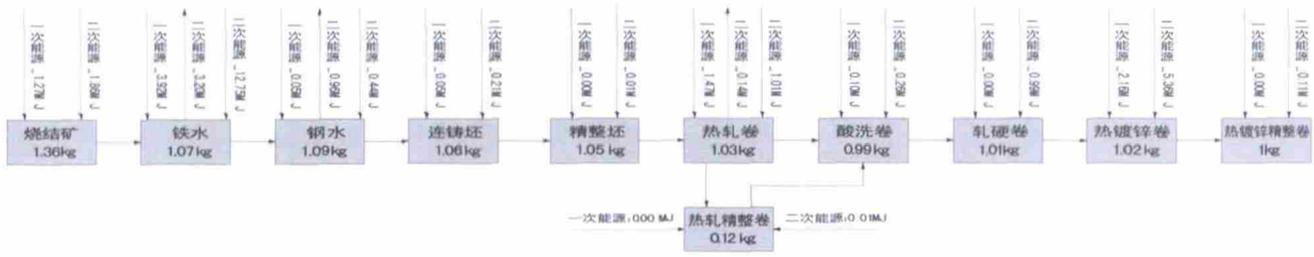
图4 产品环境负荷分布分析

电、天然气和 BFG 的消耗,是减少非合金热镀锌工序和低合金热镀锌工序能耗的主要方向(见图4),而减少非合金热镀锌精整卷和一制程铁素体冷轧精整卷的内部电力消耗的重点工序分别是热镀锌工序和电炉工序。基于全流程能耗分析,公司内部能耗和 CO<sub>2</sub> 排放最大是高炉工序,分别为 47.58%,结论是烧结、高炉则是减少产品内部环境负荷指标的重点单元过程(见图5)。

## 3 不锈钢产品生命周期研究后续工作展望

由于公司不锈钢工艺、技术水平和产品结构在一定程度上具有代表性,结合公司在钢铁产品 LCA 研究上

1kg 非合金热镀锌精整卷全流程能耗图



说明：  
投入的一次能源和二次能源均是直接消耗的  
一次能源：指天然、未被加工的能源，这里包括永城煤、烟煤、晋城精煤、天然气；  
二次能源：经过处理、加工得到的能源，这里包括外购焦屑、BFG、LDG、低压蒸汽、中压蒸汽、工业水、脱盐水、纯水、软水、氩气、氧气、氢气、外购电、鼓风、压缩空气。

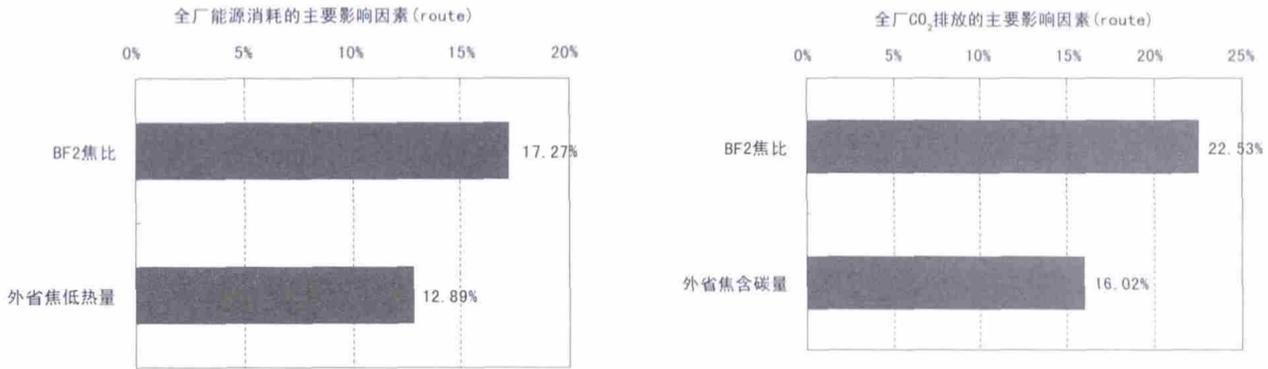


图 5 全流程环境影响因素分析

的工作基础和积累，后续将在以下方面开展研究工作：

(1) 深化 LCA 在钢铁企业环境管理和决策中的应用研究，并以应用研究促进数据累积、研究方法的创新和经验的积累，反过来再支持应用研究，形成良性循环。

(2) 开发针对不锈钢产品生命周期评价软件，以此为工具促进公司产品 LCA 研究的开展。

(3) 制定不锈钢产品生命周期评价的行业标准或实施规范，以此牢固不锈钢公司在国内外不锈钢钢铁产品制造企业 LCA 研究中的地位。

(4) 进一步深入开展不锈钢公司能源效率分析工作，找到节能减排改进潜力点。

#### 4 结束语

立足不锈钢工艺及产品特点，开展基于 LCA 的环境友好体系研究，建立了集碳钢和不锈钢产品一体

的 LCA 模型，培养和造就不锈钢产品生命周期评价高水平技术团队，并在国内实现首次针对不锈钢公司产品实施了 LCA 评估，确立了不锈钢产品 LCA 研究的先发优势和技术保障，为不锈钢公司环境管理与决策提供了科学依据、挖掘了新的节能减排增长点，为不锈钢公司深入节能减排实施、环境管控能力提升，实现环境经营战略提供了坚实而科学的工具。

#### 参考文献

[1] IPCC. Summary for policymakers of climate change 2007 [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007  
[2] 张春霞,胡长庆,上官钦,等.钢铁工业温室气体排放和减排措施 [C] //中国钢铁年会论文集. 北京: 冶金工业出版社,2007: 504  
[3] 宝钢 LCA 研究小组. 不锈钢事业部产品生命周期清单模型, 2011.01-06