包钢 U76CrRE 钢轨生命周期评价*[1]

曹晓明[1], 班 华[1], 高明星[2]

(1. 包钢(集团)公司节能环保中心, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过对包钢生产的 U76CrRE 钢轨进行生命周期评价(LCA)研究, 计算得到该产品的 LCA 结果, 分析了该产品环境影响因素在各阶段的分布情况, 进一步分析了各生产工序的能耗情况和外购产品碳排放的构成情况, 研究结果为 U76CrRE 钢轨的生态设计和绿色制造提供了科学的数据支撑。

关键词: U76CrRE 钢轨; 生命周期评价; 环境影响
中图分类号: TG142 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)02 - 0030 - 03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.02.010

Life Cycle Assessment for U76CrRE Rail of Baotou Steel

Cao Xiao - ming[1], *Ban Hua*[1], *Gao Ming - xing*[2]

(1. *Energy Conservation and Environmental Protection Center of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the life cycle assessment (LCA) results for U76CrRE rail produced by Baotou Steel were calculated and obtained by carrying out its LCA study. The distribution of its environmental influencing factors at each stage was analyzed as well as the energy consumption of each production process and the composition for carbon emission of outsourced products are further analyzed. The study results provide the scientific data support for the ecological design and green manufacturing of U76CrRE rail.

Key words: U76CrRE rail; life cycle assessment; environmental influence

随着“可持续发展”观念的深入人心和生态文明社会建设的不断推进, 人们在关注材料物理性能的同时, 对材料的环境性能也逐渐重视起来。尤其是近年来国家推行一系列绿色制造措施, 绿色产品的生产与认证备受关注。生命周期评价(LCA)是目前被公认的一种对产品和服务进行环境影响负荷评估的最为有效定量化的方法之一, 是开展产品绿色设计过程中必不可少的一种技术手段, 已成为国际上认定绿色产品或生态产品的主要方法[1-2]。

钢铁产品是现代工业应用最广、产量最大的重要基础材料, 对钢铁产品进行 LCA 研究和绿色产品的认定具有重要意义。包钢是国内高速钢轨主要生产企业之一, U76CrRE 钢轨属于高强度钢轨, 该钢种添加了具有包钢资源特色的稀土元素, 比普通钢轨在强度、硬度、耐磨性等方面都有明显提高。对 U76CrRE 钢轨进行 LCA 研究, 是探究该钢种的资源环境属性和产品绿色度的有效手段。

U76CrRE 钢轨生命周期评价研究是基于

* 收稿日期: 2018 - 06 - 25
作者简介: 曹晓明(1985 -), 男, 山西省大同市人, 工程师, 现从事生态设计与材料生命周期评价研究工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ISO14040 和 ISO14044 中生命周期评价理论、世界钢铁协会钢铁产品生命周期评价方法论报告、包钢稀土钢产品生命周期评价方法论和包钢稀土钢产品生命周期评价计算模型完成。

1　目的和范围

以包钢生产的 U76CrRE 钢轨为研究对象，研究目的是获得该产品的生命周期环境信息，并分析生产过程的环境负荷，为进一步寻找减少产品环境负荷和环境影响的方向提供参考。系统的功能单位是生产 1kg U76CrRE 钢轨，研究边界为从包钢白云鄂博矿的开采开始，到产品的生产完成，并包括了废钢循环利用和副产品再利用，即系统边界分三个阶段：原辅料与能源开采、生产和运输阶段；U76CrRE 钢轨生产阶段；循环再利用阶段，不含下游使用过程，如图 1 所示。

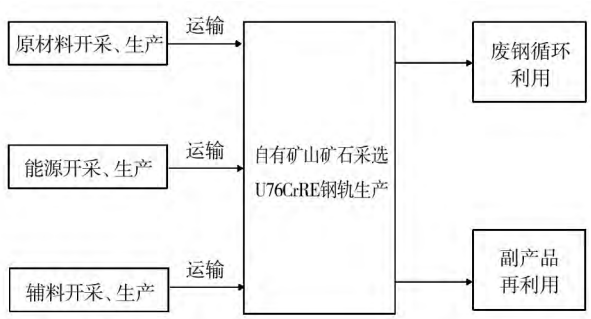


图 1　U76CrRE 钢轨 LCA 研究边界

2　生命周期清单分析

U76CrRE 钢轨数据收集时间区间为 1 年，生命周期清单的数据来源分为包钢内部和包钢外部数据两类。包钢内部的数据通过调查问卷的形式收集，内容包括：产品、原料、能源、辅料、副产品、大气排放、水体排放以及原、燃料运输的方式和距离。上游阶段等数据来源于文献和其它 LCI 数据库，其质量比包钢内部数据差，因此，在清单数据汇总时，分包钢内部和包钢外部，从而最大限度消除外部数据质量对清单结果实际应用价值的影响。

生命周期清单的任务是计算边界内的基本流输入和输出，将实物流转化为基本流，清单计算过程涉及到大量的分配问题。按照世界钢铁协会的清单研究方法，结合包钢生产系统的原燃料和排放的具体特点，生命周期清单数据分成资源消耗、能源消耗、大气排放物、水体排放物、副产品和固体废弃物等 5 类指标。通过模型计算生命周期清单得到产品生命周期过程中众多环境负荷因子的结果。

3　生命周期影响评价

生命周期影响评价过程是对清单分析所识别出的众多环境负荷因子，进行综合性的定性或定量评价。依据生命周期环境影响评价的标准和方法论，结合包钢产品及地区实际情况，U76CrRE 钢轨 LCA 研究确定了 CML2001 方法的资源损耗、能源损耗、全球变暖、酸化、富营养化 5 个环境影响类型，特征化模型类型见表 1 所示。通过特征化和归一化计算得到产品的环境影响结果。

表 1　生命周期影响评价特征化模型

环境影响指标	特征化模型类型
全球变暖	温室气体 100 年内的全球变暖潜力(kg CO_2 eq.)
酸化	物质的酸化潜力(kg SO_2 eq.)
能源消耗	能源的折算为标准煤系数(kgce)
不可再生资源消耗	资源耗竭潜值(kg Sb eq.)
富营养化	物质的富营养化潜力(kg PO_4^{3-} eq.)

4　生命周期解释

计算得到的 1kg U76CrRE 钢轨产品生命周期环境影响结果见表 2。根据世界钢协方法论，该结果已包含钢材在使用完成后回收带来的环境收益。

表 2　1 kg U76CrRE 钢轨产品生命周期影响评价结果

环境影响评价类型	单位	数量
不可再生资源消耗潜力(ADP)	kgSbeq. /kg	0.005 1
能源消耗潜力(EDP)	MJ/kg	15.364 8
全球变暖潜力(GWP 100)	kg CO_2eq. /kg	1.599 7
酸化潜力(AP)	kg SO_2eq. /kg	0.004 0
富营养化潜力(EP)	kgeq. /kg	0.000 14

根据环境影响类别和研究边界，将 U76CrRE 钢轨产品生命周期过程划分为包钢内部负荷、外部运输负荷、上游阶段负荷以及副产品循环收益等四个阶段。“包钢内部”主要指在包钢内部的生产过程；“外部运输”主要指铁矿石、煤炭、石灰石等大宗原材料、能源、辅助材料从产地运输到钢铁企业的过程“上游阶段”主要指钢铁企业生产用外购原材料、能源、辅助材料等在钢铁企业外部的开采、生产

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

过程，并包含钢铁副产品在企业外部产生的环境收益，如高炉渣用作水泥原材料等。“副产品循环收益”主要指包钢生产过程中副产品在外部利用产生的环境收益，即由于副产品的利用减少了外部环境负荷。分析了U76CrRE钢轨产品生命周期各阶段对环境相应贡献，结果见表3所示。

表3 U76CrRE钢轨生命周期各阶段对环境相应贡献 %

项目	资源消耗	能源消耗	全球变暖	酸化	富营养化
包钢内部	80.3	69.0	73.0	12.3	41.0
外部运输	0	2.4	1.7	9.2	47.5
上游阶段	22.5	32.7	31.4	88.1	12.5
副产品循环收益	-2.8	-4.1	-6.1	-9.6	-1.0

通过分析U76CrRE钢轨的各生产工序的输入输出情况，结合表3结果，可知资源消耗、能源消耗、全球变暖负荷70%～80%以上发生在包钢内部制造过程；酸化主要在上游阶段产生，富营养化主要在包钢内部和运输过程产生。资源消耗主要由煤炭、铁矿石等主要原材料和能源以及石灰石、白云石等辅助材料构成。能源消耗来自煤炭的消耗，包括炼焦用煤、高炉喷吹用煤等。导致全球变暖的CO_2排放来源主要是能源的燃烧以及石灰石、白云石等矿石的分解。

对U76CrRE钢轨在包钢内部各个生产工序的能源消耗情况进行统计分析，如图2所示，可知高炉炼铁工序是最大的能耗工序，该工序节能减排工作是降低全流程环境负荷的关键。通过分析外购产品对U76CrRE钢轨产品碳排放的构成比例，可知炼钢（精炼）用的钒铁合金是最大的碳排放来源，其它各种合金也是上游碳排放的重要来源。外购能源（外购电力、煤炭）的开采与生产，在外购产品碳排放中约占38%，如图3所示。同样分析其它环境影响因素，可以获得全面的产品环境负荷信息，为全流程节能减排提供数据参考。

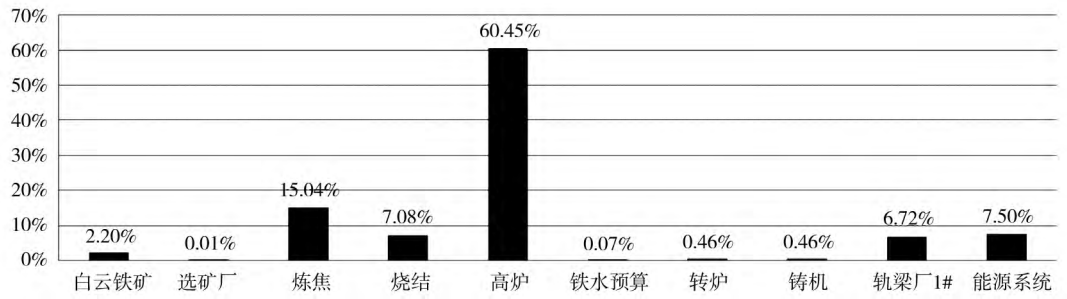


图2 U76CrRE钢轨产品能耗在各个工序的分布

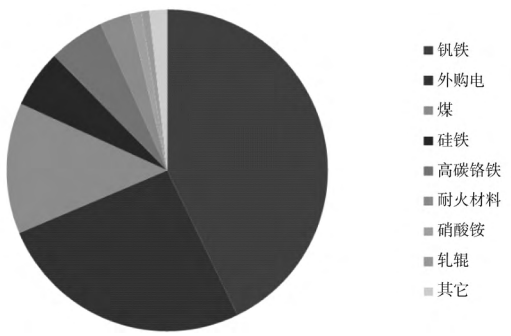


图3 外购产品对U76CrRE钢轨产品碳排放的构成比例

5 结论

（1）通过分析U76CrRE钢轨LCA结果可知资源消耗、能源消耗、全球变暖负荷70%～80%发生在包钢内部制造过程，酸化主要在上游阶段产生，富营养化主要在包钢内部和运输过程产生。

（2）通过分析LCA结果可以得到全面详细的产品环境负荷，为包钢U76CrRE钢轨的生态设计、绿色制造以及节能减排提供重要的科学数据支持。

（下转第49页）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

坯厚度。根据不同的硅的相当含量和温度工艺制度，制定了一套粗轧道次及除磷制度控制规范，粗轧中间坯镰刀弯控制在 20 mm 以内。

(4) 优化精轧模型。负荷分配由能耗分配法改为经验值分配法；考虑全元素的影响系数，新建变形抗力模型，通过现场数据回归分析，得出一套经验参数，提高变形抗力预报精度；轧制速度由变速模型改为恒速模型，可改善抛钢稳定性。

参 考 文 献

[1] 何忠治，赵宇. 电工钢 [M]. 北京：冶金工业出版社出版社，2012.

[2] 付文鹏，谢向群，张 雄. 热轧活套精度对轧制稳定性的影响分析 [J]. 梅山科技，2016，(1)：55.

[3] 沈训良. 热轧带钢轧制过程的稳定性探讨 [J]. 冶金丛刊，2001，05(004)：10.

[4] 高立荣. 消除加热炉水管黑印的新方法 [J]. 唐山师范学院学报，2009，31(5)：53.

[5] 张朝晖，郑楠，刘安民，等. 钢坯加热过程中黑印产生原因及改善措施的分析研究 [J]. 热加工工艺，2013，42(11)：123.

[6] 杨节. 轧制过程数学模型 [M]. 北京：冶金工业出版社，1993.

[7] V. B. 金兹伯格. 板带高精度轧制理论与实践 [M]. 北京：冶金工业出版社，2000.

[8] 徐光，张丕军. 金属低温变形理论与技术 [M]. 北京：冶金工业出版社，2007.

[9] 费静，李文斌，杨春雨，等. 热连轧精轧设定模型及其优化方法研究 [J]. 鞍钢技术，2010(01)：50.

[10] 梁桂平，白星，李落星，等. AM80 - xSr - yCa 镁合金高温压缩变形行为 [J]. 塑性工程学报，2010，(01)：100.

[11] 王国栋. 板形控制和板形理论 [M]. 北京：冶金工业出版社出版，1981.

[12] 王国栋，吴国良等译. 板带轧制理论和实践 [M]. 北京：中国铁道出版社，1990.

[13] 左军，赵孝章，常军，等. 超低碳 IF 钢变形抗力研究及工业应用 [J]. 轧钢，2010，27(4)：14.

(上接第 32 页)

参 考 文 献

[1] 鲍威，陈亮，郭慧婷，等. 生命周期评价方法在绿色设计产品中的应用 [J]. 标准科学，2016，(S1)：22 - 25.

[2] 刘涛，刘颖昊. 钢铁产品生命周期评价研究现状及意义 [J]. 冶金经济与管理，2009，(5)：25 - 28.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net