

生命周期评价在宝钢不锈钢领域的应用初探

黎洁,刘颖昊,刘涛,桂志军

(宝山钢铁股份有限公司研究院,上海 201900)

摘要:近年来,生命周期评价的方法广泛应用于钢铁产品的绿色制造和节能减排等领域。在碳钢 LCA 研究的基础上,参照国内外相关标准,结合宝钢不锈钢生产流程的具体情况,对宝钢不锈钢产品生命周期评价的研究方法进行思考,对生命周期评价在不锈钢产品领域的应用进行了初步探索。通过对宝钢不锈钢产品生命周期评价的目标与范围、生命周期清单、生命周期影响评价及解释等方面进行研究,探讨不锈钢产品生命周期评价的思路与方法,从而为不锈钢产品的生命周期评价研究积累经验。

关键词:生命周期清单; LCA 模型; 不锈钢

中图分类号: X820 文献标志码: B 文章编号: 1008-0716(2015)03-0059-06

doi: 10.3969/j.issn.1008-0716.2015.03.012

Study on life cycle assessment of stainless steel in Baosteel

LI Jie, LIU Yinghao, LIU Tao and GUI Zhijun

(Research Institute, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: In recent years, life cycle assessment is widely used in green manufacturing, energy-saving and emission reduction of iron and steel production. Based on the finished LCA research of carbon steel in Baosteel and related international/national standard, the application of LCA in stainless steel in Baosteel was studied. Through the study of stainless steel's goal and scope definition, life cycle inventory, life cycle assessment and interpretation, knowledge and experience of LCA's application in stainless steel was obtained.

Key words: life cycle assessment; LCA model; stainless steel

20世纪90年代起,我国不锈钢产业进入快速发展期。1990年以来,全球不锈钢表观消费量以年均6%的速度增长,而我国不锈钢表观消费量是世界年均增长率的2.9倍。2000~2006年,我国不锈钢消费量年平均增长率在21.17%以上。其中2001年,我国不锈钢表观消费量达到205万t,超过美国成为世界第一不锈钢消费大国。2008年,中国不锈钢表观消费量达到624.00万t,2011年11月份,我国不锈钢产量增长了11.1%至1250万t。近年来,不锈钢产品也逐渐成为宝钢重要的战略产品之一^[1]。

当前,世界范围内钢铁工业对于生命周期评价(LCA)的研究兴趣日趋浓厚。新日铁、Tata等大型钢铁公司、欧洲钢铁协会等地区性组织以及国际钢铁协会等先后开展了钢铁材料及包装、建筑和汽车用钢等产品的生命周期评价研究。宝钢自2004年正式进行钢铁产品LCA研究以来,逐步建立了碳钢产品生命周期清单的模型化方法和碳钢产品环境影响评价模型,开发了宝钢碳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,为钢铁企业节能和环境减排潜力分析提供了技术支持,并为宝钢产品的国际化奠定了良好的数据分析基础^[2]。在宝钢碳钢LCA研究的基础上,参照国内外相关标准,结合宝钢不锈钢生产流程的具体情况,宝钢在国内率先开展了不锈钢产品的生命周期评价研究,旨

黎洁 工程师 1984年生 2007年毕业于华中科技大学
现从事水处理研究 电话 26642824
E-mail lijie138@baosteel.com

在通过宝钢不锈钢产品的生命周期评价研究,探讨不锈钢产品生命周期评价的思路与方法,从而为不锈钢产品的生命周期评价研究积累经验。

1 宝钢不锈钢产品生命周期评价的目标与范围

1.1 评价目标

根据宝钢不锈钢的产品分类及制造流程,宝钢不锈钢生命周期评价的分析对象包括:铁素体(含超纯铁素体)、BN 系列奥氏体、非 BN 系列奥氏体、马氏体、双相不锈钢、高镍不锈钢等六类。

宝钢不锈钢产品生命周期评价的目标为:

(1) 环境信息交流。为这六类产品与国内外同类产品进行生命周期环境指标比较、向客户及利益相关方提供六类产品的生命周期环境信息、获取绿色标识等。

(2) 环境管理。掌握六类产品生命周期环境指标及其在各阶段的分布;通过使用与 LCI 结果相关的影响类型和类型参数,从环境影响角度审查一个产品系统;识别产品生产系统的综合环境影响;掌握减少产品环境负荷和环境影响的方向和途径等;建立以产品为对象的环境管理平台;为企业环境决策提供科学依据等。

1.2 评价范围

宝钢不锈钢产品生命周期评价研究旨在对宝钢不锈钢的生产系统(主生产系统和能源生产系统)及其上游系统(外部运输和原燃料生产)进行评价。在宝钢不锈钢产品生命周期评价范围内,系统的功能是生产不锈钢产品,与副产品生产相关的功能则采用 ISO14044 中所规定使用的分配方法来进行折算。宝钢不锈钢产品生命周期评价研究方法规定功能单位(function unit)为公斤产品,清单计算都是以单元过程的参考流(reference flow)数据为基础。

宝钢不锈钢产品生产系统,包括主生产系统和能源生产系统。不锈钢产品的生产经过不同工序和单元,因此工序和单元的划分是建立产品生产系统模型的重要基础,同时也是现场数据收集边界是否清晰的重要保证。宝钢不锈钢产品生命周期可以概括为上游阶段、运输阶段、生产阶段和副产品回用四个阶段,具体是指“从摇篮到大门(from cradle to gate)”的半生命周期,见图 1,它包含了从原、燃料开采(the cradle)到不锈钢产品出厂(the gate)的所有过程,但不包括不锈钢下游产

品的生产、使用、报废。

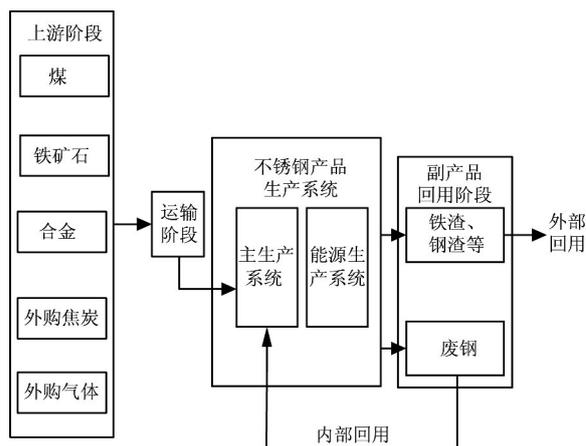


图 1 宝钢不锈钢产品生命周期系统模型

Fig. 1 Model of Baosteel stainless steel product life cycle system

2 宝钢不锈钢产品生命周期清单

生命周期清单分析是生命周期评价中环境影响评价的基础,具体是对所研究系统整个生命周期阶段资源和能源的使用及向环境排放废物进行定量的技术过程^[3]。清单分析的主要流程有数据的收集与确认、数据与单元过程的关联、数据与功能单位的关联、数据的合并、系统边界的修改以及数据的反馈等。对于不锈钢产品来说,单元过程收集的数据是实物形式的输入和输出,如铁矿石、铁水、生石灰、氧气、电、废水等,但生命周期清单数据是基本流的输入和输出,如铁矿石、煤、石灰石、CO₂、COD(Chemistry Oxygen Demand,化学需氧量)等。清单模型的任务就是把实物流转化为基本流,宝钢不锈钢产品生命周期清单的建立过程如下。

2.1 清单分析流程

生命周期评价研究要建立表述物理系统关系的模型(或称过程树)。产品系统模型包括了产品系统所有的单元过程之间的所有关系,但产品系统与环境间的所有关系往往难以实现。产品系统模型是在目标与范围确定后开展,产品生命周期系统模型往往根据研究的目的忽略次要的过程。根据产品生命周期系统模型,确定宝钢不锈钢生产系统外的上游过程和运输过程,并对这些过程的数据进行收集。根据产品生命周期系统模型,确定产品在宝钢不锈钢生产厂内部的生产工序,按照不锈钢生产工序的投入产出数据收集要求完成数据收集。单元过程是产品生产的基本单位,各单元过程间并不是孤立的,他们之间相互关

联、相互支撑、相互制约,弄清楚单元过程的内在联系后对需要进行合并或分离的数据进行相应的操作。根据单元过程数据的内在联系,由单元过程的投入产出数据计算产品清单数据,最后可得到完整的清单。在研究过程中,有时还要根据研究的结果,调整研究目标和范围。宝钢不锈钢产品生命周期评价的清单分析流程如图 2 所示。

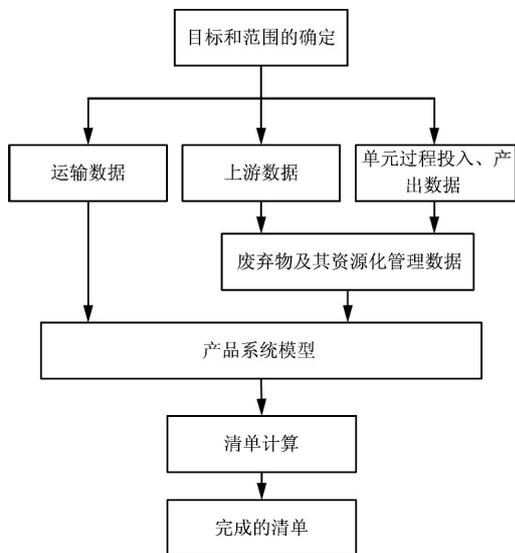


图 2 宝钢不锈钢产品清单分析程序图

Fig. 2 Process of Baosteel stainless steel product list analysis

2.2 清单数据的收集

宝钢不锈钢产品生命周期清单研究的数据来源分为两类,即生产厂内部数据和生产厂外部数据。生产厂内部的数据通过数据调查表的形式收集,数据调查表以相应的生产工序为单位,由各生产工序中的相关人员填写完成。数据调查表的内容包括:产品、副产品、原料、辅料、能源介质、固体废弃物、大气排放、水体排放,其中副产品要求注明实际用途。原料运输的方式和距离由不锈钢制造部提供。至于生产厂外部数据,如上游阶段数

据来源于文献调查及其他商业数据库。具体的数据收集程序如图 3 所示。

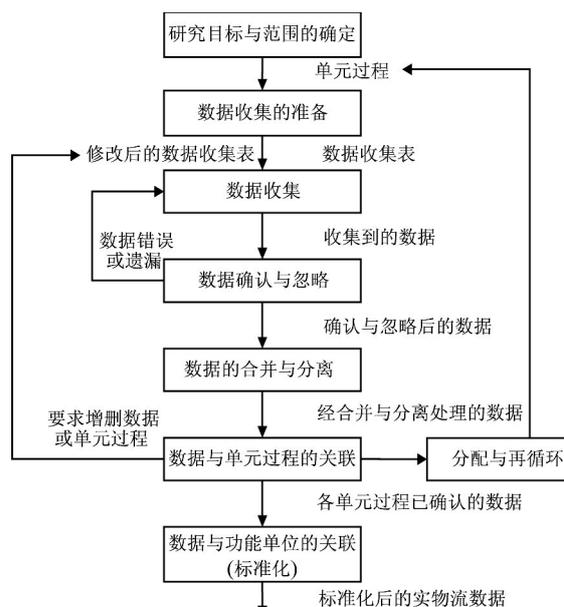


图 3 宝钢不锈钢产品数据清单数据收集程序

Fig. 3 Process of Baosteel stainless steel product LCI data collecting

按照 WORLDSTEEL 清单研究方法,结合宝钢不锈钢产品生产原燃料和污染物排放的具体特点,宝钢不锈钢产品的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、能耗分析指标等六类指标,具体的清单分析指标见表 1。其中电和副产品(包括未分配副产品、含铁废料、废钢等)并不是基本流,但电是钢铁生产过程的重要能源,有必要列出进行分析;副产品也是宝贵的资源,分析副产品的一些指标有利于分析不锈钢固体副产品生产和利用的现状和潜力。产品的能耗分析指标只计算不锈钢生产阶段的清单结果,用于产品的能耗分析。

表 1 宝钢不锈钢产品生命周期清单因子

Table 1 LCI of Baosteel stainless steel product

分类	清单因子
资源消耗	固体副产品(利用)、废钢(利用)、水、新水
能源消耗	能源
副产品与固废	未分配副产品、已分配副产品、废钢(总量)、固废(总量)、副产品(总量)
能耗分析指标	工业水、预脱盐水、纯水、软水、串接水、天然气、高炉煤气、转炉煤气、氧气、氢气、氮气、氩气、中压蒸汽、低压蒸汽、电、焦炭
水体排放	化学需氧量、悬浮颗粒物、总油、氟离子、硫离子、氨氮、总氮、总磷、总铬、六价铬、镉、铅、铜、锌、镍、锰、铁、汞、砷、总氟、氟、酚、吡啶、苯、废水、外排水
大气排放	氢氟烃、全氟烃-四氟甲烷(CF4)、全氟烃-R116、二氧化碳、粉尘、二氧化硫、硫氧化物、二氧化氮、氮氧化物、直径小于 10 μm 颗粒物、直径小于 2.5 μm 颗粒物、挥发性有机化合物、一氧化碳、二噁英、甲烷、一氧化二氮、六氟化硫、氯化氢、硫化氢、镉、铬、铅、锌

3 宝钢不锈钢产品生命周期影响评价

生命周期影响评价 (life cycle impact assessment, 简称 LCIA) 是生命周期评价 (LCA) 的第三阶段, 主要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是定量评价, 利用一些指标来说明产品系统对环境的影响, 并且为后一步生命周期解释工作提供信息。LCIA 是一种技术和科学的程序, 但在选择影响类型、类型参数和特征化模型以及进行归一化、分组、加权和实施其他程序时都需使用价值选择。同时, LCIA 一般不包含有关时间、空间、阈值和剂量-反应等方面的信息, 并把一定时间和空间内的排放或活动加以合并, 因而削弱了参数与环境的关联性。LCIA 结果不对类型终点、超出阈值、安全极限或风险等影响进行预测。

在 ISO14044 指导下, 国际上一度曾涌现出许多 LCIA 方法, 从评价模式上可分为两大类: mid-point 和 end-point 方法。前者代表有荷兰 CML、丹麦 EDIP 等, 后者代表有荷兰 Eco-indicator99、瑞典 EPS 等。纵观各种评价方法, 在影响类型选取上, 都涉及到资源损耗、人体健康、生态质量相关的环境问题, 如资源损耗、能源损耗、气候变化、光氧化剂形成、酸化、富营养化、人体毒性、生态毒性、噪音等影响类型; 在特征化模型选取上, 各种方法可以使用不同的特征化模型, 不同的特征化模型导出的特征化结果不同, 如 CML 以当量表示资源损耗, Eco-indicator99 则以剩余能量 (MJ surplus) 的形式表示。但对于气候变化这一全球问题, 一致采用 IPCC 模型。

生命周期影响评价的目的是通过使用与生命周期清单结果相关的影响类型和类型参数, 从环境影响角度审查一个产品系统, 并为生命周期解释阶段提供信息。生命周期影响评价的关键特性有以下几个方面:

(1) LCIA 阶段和其他 LCA 阶段一起, 从系统的观点考察一个或多个产品系统的环境和资源的问题。

(2) LCIA 将 LCI 结果分类, 并划分到相应的影响类型。对于每种影响类型选择一个类型参数, 并计算出类型参数结果。参数结果的集合提供了产品系统的输入和输出相关的环境问题

信息。

(3) LCIA 和其他技术, 诸如环境表现评价、环境影响评价和风险评价等不同, 它是基于功能单位的相对方法, LCIA 可以使用来自上述其他技术的信息。

生命周期评价阶段的基本框架中包含一些必备要素, 用来将生命周期清单结果转换为参数结果。另外还有一些可选要素, 用来将参数结果归一化、分组或加权, 可选要素还包括数据质量分析技术。宝钢不锈钢产品生命周期影响评价的要素如图 4 所示。

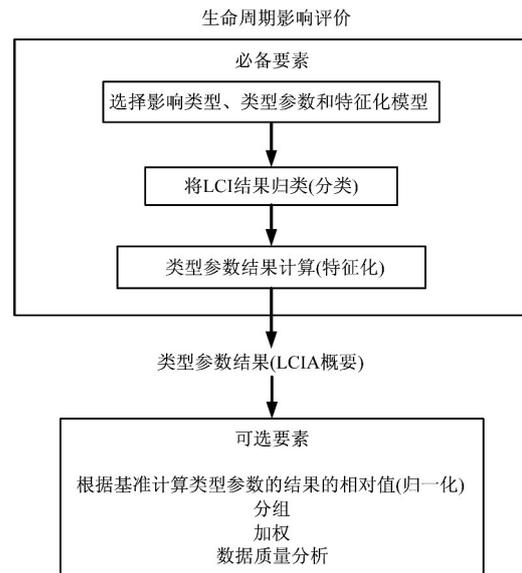


图 4 宝钢不锈钢产品生命周期影响评价的要素

Fig. 4 Factor of LCA for Baosteel stainless steel product

宝钢不锈钢产品生命周期评价模型中每种影响类型都有其特有的环境机制, 对于每种类型需要: ①识别类型终点; ②就给定类型终点定义类型参数; ③考虑选中的参数类型和所识别的类型终点, 识别能归属到一定影响类型适当的 LCI 结果; ④确定特征化模型和特征化因子。目前国际上的 LCIA 方法大多采用以下八种影响类型: 资源(包括矿石资源和化石能源)消耗、气候变化、酸化、富营养化、同温层臭氧损耗、光氧化剂形成、人体毒性、生态毒性。考虑到宝钢不锈钢产品的生产工艺和相关影响因素, 其生命周期影响评价的影响类型选择为: 资源损耗、能源损耗、气候变化、酸化、富营养化、光氧化剂形成、人体毒性、生态毒性等八种环境影响类型。根据清单负荷因子的归类原则, 宝钢不锈钢产品清单负荷因子的归类结果如表 2 所示。

表 2 生命周期清单环境负荷因子归类结果

Table 2 Environmental load factor classification of the life cycle inventory

影响类型	环境负荷因子
资源损耗	(r) 铁、(r) 锌、(r) 水
气候变化	(a) 二氧化碳、(a) 甲烷、(a) 氧化二氮、(a) SF ₆
能源损耗	(r) 能源
光氧化剂形成	(a) 二氧化硫、(a) 二氧化氮、(a) 一氧化碳、(a) 甲烷、(a) 挥发性有机污染物(CH ₄ 除外)
酸化	(a) 二氧化硫、(a) 二氧化碳
富营养化	(a) 二氧化氮、(w) COD、(w) 总氮、(w) 氨氮、(w) 总磷
人体毒性	(a) Cd、(a) Cr、(a) 二噁英、(a) Zn、(a) H ₂ S、(a) SO ₂ 、(a) HCl、(a) HF、(a) NO ₂ 、(a) VOC、(a) Pb、(a) PM10、 (w) 苯、(w) As、(w) Cd、(w) 总铬、(w) Cr ⁶⁺ 、(w) Pb、(w) Ni、(w) 苯酚、(w) Zn、(w) Hg、(w) F、(w) Cu
生态毒性	(a) Cd、(a) Cr、(a) 二噁英、(a) Zn、(a) HF、(a) Pb、(a) VOC、(w) 苯、(w) As、(w) Cd、(w) Cr ³⁺ 、(w) Cr ⁶⁺ 、(w) Pb、(w) Ni、(w) 苯酚、(w) Zn、(w) Hg、(w) F、(w) Cu

注: (r) 为资源类指标; (a) 为大气排放中的环境指标; (w) 为水体排放中的环境指标。

当然, LCIA 本身具有一些内在的局限性: 采用 LCIA 的分析方法, 仅涉及目的和范围中所识别的那些环境问题, 无法对宝钢不锈钢产品系统的所有环境问题进行全面评价。

4 宝钢不锈钢产品生命周期评价解释

生命周期解释主要是通过对 LCI 和 LCIA 的结果所提供的有关信息进行识别、量化、检验和评价, 得出结论, 并给出能减少环境负荷的改进意见和建议^[3]。宝钢不锈钢产品生命周期评价解释的内容包括: 环境影响的阶段分布、主要环境负荷因子及主要环境问题。

4.1 环境影响的阶段分布

基于宝钢不锈钢产品生命周期清单, 可进一步计算出八种影响类型在不锈钢内部(site)、运输(transport)、上游(upstream)、外卖副产品(by-product) 四个阶段的类型指标结果; 通过影响类型的阶段类型指标结果除以生命周期类型指标结果可以得出影响类型在四个阶段的分布情况, 从而可以分析宝钢不锈钢生产厂内部、运输、上游、外卖副产品各个阶段对各个影响类型的贡献以及影响情况。

4.2 主要环境负荷因子

每一影响类型包括多种环境因子, 不同的环境负荷因子对影响类型的贡献不同, 根据贡献的大小可以识别主要的环境负荷因子。

4.3 主要环境问题

根据宝钢不锈钢生产厂内部和整个生命周期的环境类型指数比较, 可以识别宝钢不锈钢产品

生产过程中主要的环境问题, 通过加权综合, 还可以得到宝钢每生产 1kg 不锈钢产品, 其生命周期总的环境影响潜力, 这个数字可以进行不同产品或同类产品的环境性能比较。

在以上解释过程中, 还需增强包括所识别的重大问题的 LCA 或 LCI 研究结果的可信性和可靠性的评估。评估过程中应考虑使用完整性检查、敏感性检查以及一致性检查。完整性检查的目的是确保解释所需的所有信息和数据已经获得并且是完整的; 敏感性检查的目的是通过确定最终结果和结论是否受到数据或类型参数结果的计算等的不确定性的影响来评价其可靠性; 一致性检查的目的是确认假定方法和数据是否与目的和范围的要求相一致。

5 结论和建议

综上所述, 依据 LCA 相关标准和规范的要求, 结合宝钢不锈钢产品生产特点, 已初步建立宝钢不锈钢产品生命周期评价方法, 包括建立了宝钢不锈钢产品生命周期评价的目标, 界定了评价范围, 确定了生命周期评价的步骤, 提出清单分析、生命周期环境影响评价、评价结果解释和评估的方法, 从而为不锈钢产品生命周期评价模型的建立提供依据。相关结论和建议如下:

(1) 评价目标的确定, 不仅包括对外的环境交流, 更侧重于对不锈钢内部的环境管理和决策分析。宝钢不锈钢产品生命周期评价方法根据宝钢不锈钢的生产现状, 将不锈钢生产系统划分为能源系统和主生产系统, 生命周期阶段为从“摇篮到厂门”, 包括上游阶段、运输阶段、生产阶段

和副产品回用阶段。

(2) 宝钢不锈钢产品生命周期评价方法结合了不锈钢产品生产系统投入产出物料的特点,确定了宝钢不锈钢产品的生命周期清单指标,具体分成六类: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、能耗分析指标。

(3) 宝钢不锈钢产品生命周期评价方法依据不锈钢生产过程对环境影响的特点,确定了不锈钢产品生命周期评价的环境影响指标,具体为资源损耗、能源损耗、气候变化、酸化、富营养化、光氧化剂形成、人体毒性和生态毒性八种环境影响类型,其中全球性环境影响类型指标三种,区域性三种,局地性二种。

(4) 宝钢不锈钢产品生命周期评价方法对不锈钢产品的数据类型进行了详细的划分,包括上游阶段数据、运输数据、副产品数据、不锈钢生产单元过程投入产出数据、清单数据、环境影响数据。而对不锈钢生产单元过程的投入产出数据,具体分为产品、原料、能源、耐材、辅料、废弃物、大气排放、水体排放八类。

(5) 由于客观条件的限制,模型中数据清单的收集会存在收集数据质量不高,数据来源与实际情况有出入等问题,而数据质量问题将导致最

终 LCA 结果存在一定的误差。在研究中要对数据质量进行进一步评估,并对 LCA 结果要开展不确定性分析,尽量消除由于数据质量问题带来的误差,提高研究的可靠性。

(6) 由于宝钢不锈钢产品的工艺流程、制造技术和产品结构具有一定的代表性,因此我们应进一步深入开展宝钢不锈钢产品的生命周期评价研究,积极推进 LCA 在钢铁企业环境管理、节能减排等相关决策中的应用,促进数据累积、方法研究的创新和完善,并反过来再支持应用研究,最终形成良性循环。

参 考 文 献

- [1] 王四喜. 不锈钢的发展及其焊接接头腐蚀问题[J]. 内蒙古石油化工 2013(8): 90-92.
- [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): 25-27.
- [3] 刘颖昊,黄志甲,沙高原,等. 电镀锌产品的生命周期清单研究[J]. 中国冶金 2007, 17(2): 20-24.
- [4] 刘颖昊,刘涛,郭水华. 从 LCA 视角评估钢铁产品改进的环境效益[J]. 环境工程 2012, 30(增): 437-439.

(收稿日期: 2014-08-20)



推焦车推焦电机减速装置

专 利 号: ZL02265757.6

专利权人: 宝钢集团上海梅山有限公司

发明(设计)人: 王忠健

本实用新型涉及一种电动机,特别涉及一种推焦机推焦电动机减速装置。解决了原有采用电动机转子串接频敏变阻器无法控制电动机减速,使得推焦杆并未达到理想的推焦部位,导致产生拦焦车的导焦栅内积红焦的缺陷。技术解决方案是:推焦机推焦电动机减速装置,包括推焦接触器(KM1、KM2)、电流继电器、推焦电动机、保险丝、报警铃,KM1 主触头和 KM2 主触头并联后与电流继电器串联,电流继电器与绕线式推焦电动机串接,其特征是:电动机 M 的转子引出线分别与 KM6 触头并联联接、与 R1 串联联接;R1 分别与

KM6 触头、KM5 触头并联,与 R2 串联联接;R2 分别与 KM5 触头、KM4 触头并联,与 R3 串联联接;R3 与 KM4 触头并联联接。主要用于推焦机推焦电动机控制推焦杆移动。

一种带销引锭头垫块

专 利 号: ZL200420114079.2

专利权人: 宝钢集团上海梅山有限公司

发明(设计)人: 王鸿盛 刘 为

一种带销引锭头垫块,解决现有带销引锭头垫块装、卸困难的技术缺陷。一种带销引锭头垫块,由整块、插销组成,垫块和插销焊接连接,垫块上设有连接定位销和螺栓孔,垫块上和插销同侧表面上设有二个启口,沿插销外表面对称铣两个空气导槽。本实用新型使更换引锭头垫片更为便捷,降低了劳动强度,缩短了更换时间。

(宝山钢铁股份有限公司科技发展部供稿)