

工业锅炉产品碳足迹评估方法研究

侯娜娜 笪耀东 刘雪敏 于吉明 常勇强

(国家市场监管重点实验室(特种设备安全与节能), 中国特种设备检测研究院 北京 100029)

摘要: 产品碳足迹评估以工业锅炉为对象, 基于生命周期视角, 确定工业锅炉的系统边界、功能单位及取舍原则, 将工业锅炉生命周期分为原材料获取阶段、生产阶段、使用阶段及处置回收阶段, 进行清单数据收集与分析, 建立各阶段的碳足迹计算方法。以某锅炉制造厂的燃气蒸汽锅炉为例, 对其生命周期各阶段的碳排放进行计算和分析, 结果表明: 在其生命周期的各个阶段中, 使用阶段的碳排在总排放中具有最大贡献, 占比超过 99%。通过敏感性分析, 发现燃料使用敏感度最高, 其次是电力和原材料; 运用蒙特卡洛方法进行不确定度分析, 确定并量化输入数据产生的不确定性, 优化清单数据收集方案, 从而更加真实地反映产品生命周期碳排放量。

关键词: 工业锅炉 生命周期 产品碳足迹 清单分析

Research on Carbon Footprint Assessment Method of Industrial Boiler Products

Hou Nana Da Yaodong Liu Xuemin Yu Jiming Chang Yongqiang

(Key Laboratory of Special Equipment Safety and Energy-saving for State Market Regulation, China Special Equipment Inspection & Research Institute Beijing 100029)

Abstract The product carbon footprint assessment takes industrial boilers as the object, and determines the system boundary, functional units and trade-off principles of industrial boilers based on the life cycle perspective, divides the life cycle of industrial boilers into raw material acquisition stage, production and manufacturing stage, operation and maintenance stage and disposal and recovery stage, collects and analyzes the inventory data, and establishes carbon footprint calculation method for each stage. Taking a gas steam boiler from a boiler manufacturing plant as an example, the carbon emissions at each stage of its life cycle were calculated and analyzed. The results showed that the carbon emissions during the use stage made the greatest contribution to the total emissions, exceeding 99%. Through sensitivity analysis, it is found that fuel use is the most sensitive, followed by electricity and raw materials; The Monte Carlo method is used to analyze the uncertainty, judge and quantify the uncertainty generated by the input data, optimize inventory data collection plan, and more truly reflect the carbon emissions of the product lifecycle.

Keywords Industrial boilers Life cycle Product carbon footprint Inventory analysis

中图分类号: X933.2

文献标志码: B

文章编号: 1673-257X(2024)05-0012-07

DOI: 10.3969/j.issn.1673-257X.2024.05.003

工业锅炉广泛应用于供热、石化、化工、造纸、食品、制药等行业, 是保障社会生产和人民生活的重要基础设施, 也是能源消费大户和重要的碳排放源^[1]。我国是世界上工业锅炉生产和使用最多的国家, 近 5 年

平均年产量约 3.74×10^5 蒸吨, 在用锅炉总量约 32.92 万台^[2]。工业锅炉作为重要的热能动力设备, 其生命周期包括原材料获取、生产、使用等环节, 消耗大量的金属材料、煤、油、天然气以及电力等能源资源, 造成大量的温室气体排放。产品碳足迹 (Carbon Footprint of Products, CFP) 是基于生命周期的视角且仅考虑气候变化单一环境影响类别, 计算产品系统内温室气体的排放量和去除量之和, 单位以二氧化碳当量 (CO₂e) 表示^[3]。产品碳足迹是温室气体排在产

作者简介: 侯娜娜 (1983 ~), 女, 硕士, 工程师, 从事碳排放、碳足迹等方面研究工作。

基金项目: 中国特检院内部重点项目 (2022 重点 11); 国家重点研发计划课题 (2021YFF0600603)。

通讯作者: 笪耀东, E-mail: 1350710510@qq.com。

(收稿日期: 2023-08-07)

品层面的量化,是碳排放定量化管理的有效工具。开展工业锅炉产品碳足迹评估,准确核算生命周期各阶段碳排放量,对于推动锅炉产业链上下游节能降碳,优化能源结构,改进提升产品性能和制造加工工艺/装备,促进行业转型升级、形成绿色低碳的生产方式具有重要意义。

国际上在建筑、纺织、化学品、电子产品、饮品等诸多领域开展了产品碳足迹评估研究。Miah 等^[4]提出了一种新的生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 方法,将生命周期成本和环境影响混合计算,可帮助企业分析、改进产品,提升技术水平;Jonathan 等^[5]在产品系统的碳足迹建模和分析的基础上,引入综合生命周期分析技术,并在平板显示器中进行了验证,此方法可以展现回收、重用或处理的各个模块、部件和材料的环境影响。我国产品碳足迹评估的研究正处于起步发展阶段。沈卫国等^[6]基于生命周期的角度,对水泥的碳足迹进行了实证研究。伍英武^[7]针对轮胎,采用生命周期评价方法,建立了生命周期碳排放模型,得出每吨轮胎的碳足迹是 44.02 t。曹婷^[8]针对啤酒发酵罐,建立了碳足迹核算模型,并进行了清单的不确定性分析。赵钦新等^[9]以 LSS 型燃气蒸汽锅炉为例,研究锅炉重构实现低碳创新设计的转型思路,分析通过降低原材料、生产制造和运行过程碳排放强度,来实现产品生命周期碳减排的路径方法。

目前,国际上已有产品碳足迹核算的标准,其中最为权威最有代表性的主要有 3 项,分别是:1) 英国标准协会 (BSI) 于 2008 年发布的 PAS2050: 2008《产品与服务生命周期温室气体排放的评价规范》,该标准是世界上首个针对产品碳足迹的标准,也是目前使用率最高的标准(于 2011 年进行了修订);2) 世界资源研究所 (WRI) 和世界可持续发展工商理事会 (WBCSD) 于 2011 年联合发布的“GHG Protocol 产品生命周期核算和报告标准”;3) 国际标准化组织 (ISO) 于 2018 年发布的 ISO 14067: 2018《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》,该标准因其发布单位的国际权威性而被视作更具普适性的标准。国内目前关于产品碳足迹的研究已涉及电子、纺织、化工、建材、机械等多个领域,也相继发布了一些行业、地方和团体标准,如 SJ/T 11717—2018《产品碳足迹 产品种类规则 液晶显示器》、SJ/T 11718—2018《产品碳足迹 产品种类规则 液晶电视机》、DB11/T 1860—2021《电子信息产品碳足迹核算指南》、DB44/T 1503—2014《家用电器碳足迹评价

导则》、T/DZJN 77—2022《锂离子电池产品碳足迹评价导则》、T/DZJN 003—2019《电器电子产品碳足迹评价 第 4 部分: 移动通信手持机》等。

目前关于工业锅炉产品碳足迹评估的研究还比较匮乏,也缺乏相应的核算标准。本文基于生命周期视角,根据工业锅炉产品特性和生产使用特点,构建产品系统边界,确定功能单位及取舍原则,建立生命周期各阶段包括原材料获取、生产、使用及处置回收等的碳足迹计算模型,并通过一台工业锅炉产品碳足迹核算实例,分析生命周期各阶段碳排放量、占比及其影响因素,提出碳减排改进优化的建议。

1 产品碳足迹评估流程

根据 ISO 14067 的原则框架,对产品原材料及能源获取、生产、使用、处置回收等各生命周期阶段中产生的温室气体排放进行量化与计算。产品碳足迹评估包括 4 个关键阶段^[10-11],即目标与范围确定、清单分析、影响评价及结果解释,评估流程如图 1 所示。

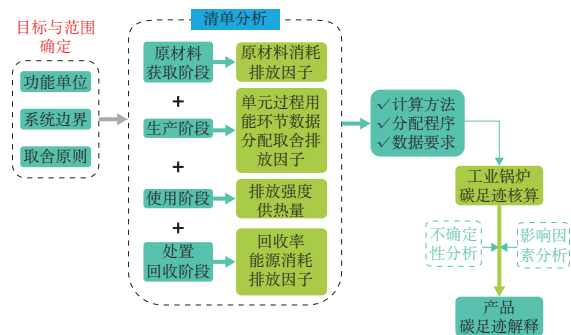


图 1 工业锅炉产品碳足迹评估流程

1.1 目标与范围确定

碳足迹评估首先是确定评估目标与范围。主要包括评估目的、产品系统及边界范围、功能/申明单位、相关假设条件以及分配程序等。

工业锅炉产品系统包括锅炉本体及辅助设备与系统,如给(补)水系统、水处理系统、鼓风机、引风机、再循环风机、燃料制备系统、燃料供给系统、灰渣废气处理与排放系统等。

系统边界确定了产品碳足迹评估的范围,即包括了哪些单元过程,并收集相关的数据^[12]。参照 PAS2050 相关要求,将工业锅炉生命周期分为以下 2 个边界^[13],如图 2 所示。

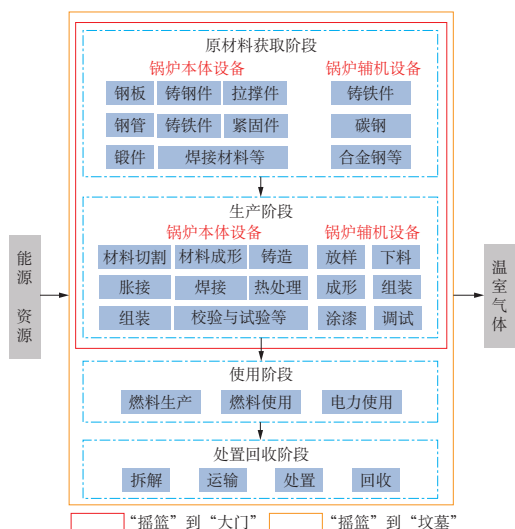


图2 工业锅炉生命周期系统边界示意图

1) 边界1: 从“摇篮”到“大门”, 包括原材料获取阶段、生产阶段;

2) 边界2: 从“摇篮”到“坟墓”, 包括原材料获取阶段、生产阶段、使用阶段、处置回收阶段。

功能/申明单位是量化产品系统性能的基准单位, 是碳足迹计算的基础^[14]。按照ISO 14067中的规定, 申明单位对应生命周期边界1, 为一台工业锅炉产品。功能单位对应生命周期边界2, 定义其功能单位为一台工业锅炉产品生命周期内提供1 GJ的热量。通过估算在用工业锅炉平均运行工况, 对使用阶段运行条件进行假设: 运行年限按20年计算, 年运行小时数为4000 h。

参考PAS2050, 确定取舍原则如下: 各阶段中若某材料或能源的排放估测值小于或等于该阶段碳排放估测值的1%, 则可进行删减。但所有删减项目的温室气体排放估测值合计不得超过该阶段碳排放估测值的5%。

按照ISO 14067中的分配程序, 确定分配原则如下: 通过细化过程或扩展系统边界, 尽量避免进行数据分配; 如不可行, 优先使用生产过程的物理关联(包括但不限于物料平衡关系方法、生产量、生产工时等)进行分配; 若物理关联难以建立时, 则依据经济价值进行分配; 若使用其他分配方法, 须提供所使用的基准参数及计算说明。

1.2 清单分析

清单分析(Life Cycle Inventory, LCI)是碳足迹评估的重要步骤。清单分析即收集碳足迹各阶段的相关

数据并量化, 得到产品碳足迹各阶段的输入输出数据, 如图3所示。目前国外各行业已建立了大量的碳足迹数据库, 例如各类原材料、能源的排放因子等, 但由于地域、技术、能源等多方面差异, 国外的碳足迹数据不宜直接使用, 应当逐步建立我国的碳足迹数据库, 为准量化碳排放提供数据支持^[15]。

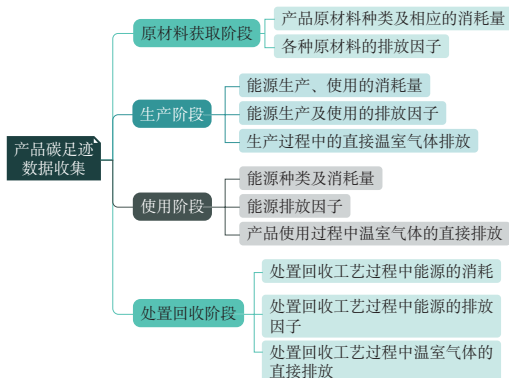


图3 碳足迹数据收集清单

1.3 影响评价

影响评价(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)是评估中的第三个步骤, 是依据清单分析结果来量化评价产品系统生命周期各阶段温室气体排放对气候变化的潜在影响, 通常以温室气体排放量与全球增温潜势(GWP)的乘积得到的二氧化碳当量来表示^[16]。

1.4 结果解释

结果解释是碳足迹评估中的最后一步。基于碳足迹研究的目标与范围, 根据清单分析和影响评价阶段中碳足迹的量化结果, 识别出重大问题, 并进行结果解释。解释包括敏感性和不确定性的评估、选定的分配程序、研究的局限性等。最后根据分析和检查的结果给出整体的结论和改进的意见建议。

2 产品碳足迹评估方法

2.1 锅炉产品碳足迹

锅炉生命周期系统边界1碳足迹按式(1)计算, 系统边界2碳足迹按式(2)计算:

$$E_1 = E_m + E_p \quad (1)$$

式中:

E_1 ——锅炉生命周期系统边界1的碳足迹, tCO_2e ;

E_m ——单台锅炉原材料获取阶段温室气体排放量, tCO_2e ;

E_p ——单台锅炉生产阶段温室气体排放量, tCO_2e 。

$$E_2 = (E_m + E_p + E_u + E_r) \times 10^3 / Q \quad (2)$$

式中:

E_2 ——锅炉生命周期系统边界 2 的碳足迹, $kgCO_2e/GJ$;

E_u ——锅炉使用阶段温室气体排放量, tCO_2e ;

E_r ——锅炉处置回收阶段温室气体排放量, tCO_2e ;

Q ——锅炉生命周期内产生热水、蒸汽或有机热载体折算的总热量, GJ 。

2.2 原材料获取阶段碳排放计算

原材料获取阶段即资源的获取和材料的生产阶段, 包括资源开采、加工提纯、生产制造等过程, 不包括使用与废弃环节。

该阶段温室气体排放按式 (3) 计算:

$$E_m = \sum_i AD_{m,i} \times EF_{m,i} \quad (3)$$

式中:

$AD_{m,i}$ ——第 i 种原材料的消耗量, t ;

$EF_{m,i}$ ——第 i 种原材料对应的生命周期温室气体排放因子 (“摇篮”到“大门”), tCO_2e/t ;

i ——原材料种类。

2.3 生产阶段碳排放计算

生产阶段, 即锅炉本体设备的生产制造阶段, 包括材料切割、材料成形、表面处理、焊接、热处理、检验与试验、包装、运输、安装等环节, 还包括辅机设备的生产制造阶段, 包括放样、下料、成形、组装、涂漆和调试等。

生产阶段温室气体排放按式 (4) 计算^[17]:

$$E_p = E_f + E_e + E_h + E_t \quad (4)$$

式中:

E_f ——燃料消耗产生的温室气体排放量, tCO_2e ;

E_e ——电力使用产生的温室气体排放量, tCO_2e ;

E_h ——热力使用产生的温室气体排放量, tCO_2e ;

E_t ——焊接保护气二氧化碳逃逸排放量, tCO_2e 。

燃料消耗温室气体排放量按式 (5) 计算:

$$E_f = \sum_x (AD_x \times EF_x + AD_x \times EF'_x) \quad (5)$$

式中:

AD_x ——第 x 种燃料的净消耗量, t 或万立方米 ($10^4 m^3$) 等, 根据具体能源品种确定;

EF_x ——第 x 种燃料生产过程对应的生命周期温室气体排放因子 (“摇篮”到“大门”), tCO_2e/t 或 $tCO_2e/10^4 m^3$, 根据具体能源品种确定;

EF'_x ——第 x 种能源使用的温室气体排放因子, tCO_2e/t 或 $tCO_2e/10^4 m^3$ 等, 根据具体能源品种确定, 按式 (6) 计算:

$$EF'_x = NCV_x \times CC_x \times OF_x \times 44 / 12 \times 10^{-2} \quad (6)$$

式中:

NCV_x ——第 x 种燃料的低位发热量, GJ/t 或 $GJ/10^4 m^3$;

CC_x ——第 x 种燃料的单位热值含碳量, tC/GJ ;

OF_x ——第 x 种燃料的碳氧化率, %。

电力使用产生的温室气体排放量按式 (7) 计算:

$$E_e = AD_e \times EF_e \quad (7)$$

式中:

AD_e ——电力的用量, MWh ;

EF_e ——电网年平均供电排放因子, tCO_2e/MWh 。

热力使用产生的温室气体排放量按式 (8) 计算:

$$E_h = AD_h \times EF_h \quad (8)$$

式中:

AD_h ——热力的用量, GJ ;

EF_h ——热力供应排放因子, tCO_2e/GJ 。

焊接保护气二氧化碳逃逸排放量按式 (9) 计算:

$$E_t = \sum_k \left(\frac{P_k \times W_k}{22.4} \times 44 \times 10^{-8} \right) \quad (9)$$

式中:

P_k ——第 k 种混合保护气体中 CO_2 的体积百分比, %;

W_k ——第 k 种混合保护气的体积, L ;

k ——保护气类型。

2.4 使用阶段碳排放计算

使用阶段, 即锅炉本体及辅机的使用、维修保养、改造等环节。

使用阶段的温室气体排放按式(10)或式(11)计算, 优先选用式(10):

$$E_u = Q \times E_a / 1000 + C_m \times EF_m \quad (10)$$

$$E_u = Q \times E_{ad} / 1000 + C_m \times EF_m + AD_{cu} \times EF_c \quad (11)$$

式中:

E_a ——温室气体排放强度, $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{GJ}$;

E_{ad} ——温室气体直接排放强度, $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{GJ}$;

C_m ——锅炉使用阶段的燃料消耗量, t 或 10^4 m^3 ;

EF_m ——燃料生产的温室气体排放因子, $\text{tCO}_2\text{e}/\text{t}$ 或 $\text{tCO}_2\text{e}/10^4 \text{ m}^3$;

AD_{cu} ——锅炉产品系统耗电量, MWh 。

锅炉服役(使用)阶段产热量按式(12)~式(13)计算。

对于热水或有机热载体锅炉为:

$$Q = 3.6\beta \cdot Q_r \cdot hr \cdot yr \quad (12)$$

式中:

β ——锅炉平均运行负荷率, 一般取 70%;

Q_r ——锅炉额定热功率, MW ;

hr ——锅炉年运行小时数, h/a ;

yr ——锅炉运行年数, a 。

对于蒸汽锅炉为:

$$Q = \beta \cdot D_r \cdot (h_{st} - h_{fw}) \cdot 10^{-6} \cdot hr \cdot yr \quad (13)$$

式中:

D_r ——锅炉额定蒸发量, kg/h ;

h_{st} ——设计参数下蒸汽焓, kJ/kg ;

h_{fw} ——设计参数下给水焓, kJ/kg 。

锅炉使用阶段的燃料消耗量按式(14)计算:

$$C_m = \frac{100Q}{\eta \cdot NCV} \quad (14)$$

式中:

NCV ——燃料收到基低位发热量, GJ/t 或 $\text{GJ}/10^4 \text{ m}^3$;

η ——锅炉效率, %。

2.5 处置回收阶段碳排放计算

处置回收阶段, 即锅炉本体及辅机报废后的拆解、运输、处置、回收等环节。

处置回收阶段温室气体排放按式(15)计算:

$$E_r = \sum_n AD_{r,n} \times EF_{r,n} - AD_c \times EF_c \quad (15)$$

式中:

$AD_{r,n}$ ——第 n 种材料处置回收的量, t ;

$EF_{r,n}$ ——处置回收第 n 种材料的温室气体排放因子(只包含废弃、回收运输、拆卸与废弃物最终处置, 不包含材料的再制造过程), $\text{tCO}_2\text{e}/\text{t}$;

n ——处置回收材料种类;

AD_c ——锅炉产品可回收部件中的原材料含量, t ;

EF_c ——锅炉产品可回收部件中所含原材料的生命周期温室气体排放因子(“摇篮”到“大门”系统边界), $\text{tCO}_2\text{e}/\text{t}$ 。

3 核算实例及分析

以某锅炉制造厂设计制造的燃气蒸汽锅炉(锅炉设计燃料为天然气, 额定蒸发量为 35 t/h , 额定出口压力为 1.25 MPa , 额定出口温度为 $300 \text{ }^\circ\text{C}$) 为例, 进行产品碳足迹核算。

设定锅炉产品碳足迹功能单位为 $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{GJ}$, 即: 锅炉生产 1 GJ 热量排放二氧化碳当量。系统边界采用边界 2 计算, 包括原材料获取、产品生产及使用阶段。

具体地, 原材料获取阶段主要包括钢板、钢管、铸钢件、紧固件、拉撑件、型材、焊丝等的使用量, 排放因子来源于 Ecoinvent 数据库, 根据式(3), 计算出原材料获取阶段的碳排放量为 $141.84 \text{ tCO}_2\text{e}$;

产品生产阶段主要包括电力的使用及二氧化碳保护气的使用, 根据式(4)、式(7)和式(9), 可计算出生产阶段的碳排放量为 $17.27 \text{ tCO}_2\text{e}$;

产品使用阶段包括天然气的生产和使用以及电力的使用产生的排放, 根据式(11)可计算出使用阶段的碳排放量为 $322492.94 \text{ tCO}_2\text{e}$, 根据式(13)可计算出供热量为 5101527.20 GJ 。

由于锅炉拆解、废弃物处置以及循环再利用等过程数据缺乏, 且评估其碳排放占比小, 故处置回收阶段暂不列入本次核算范围。

综上, 该锅炉生命周期总碳排放量为 $322652.05 \text{ tCO}_2\text{e}$, 生命周期的供热量为 5101527.20 GJ , 碳足迹为 $63.2462 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{GJ}$ 。其中原材料获取阶段的排放占比为 0.0440% , 生产阶段的占比为 0.0053% , 使用阶段的占比较大为 99.9507% , 见表 1。

将占锅炉产品碳足迹比例较大的活动数据数值减少 10% , 考察对整体碳足迹的影响。通过分析发现, 天然气、电力和原材料是主要影响因素, 因此对天然气、

电力、原材料的消耗量进行敏感性分析,考察 3 种主要能源、资源消耗量的变化对碳足迹变化的敏感程度,结果见表 2。敏感度排名为天然气 > 电力 > 原材料,说明天然气的消耗量变化对锅炉产品总碳足迹的变化影响最大。

表 1 工业锅炉生命周期各阶段排放量及占比

生命周期阶段	原材料获取阶段	生产阶段	使用阶段		
			燃料燃烧	燃料生产 ^c	电力使用
排放量 /tCO ₂ e	141.84	17.27	295 971.59	19 371.56	7 149.79
			322 492.94		
排放占比 /%	0.0440	0.005 3	91.7309	6.003 9	2.215 9
			99.9507		
总计 /tCO ₂ e	322 652.05				

表 2 产品碳足迹敏感性分析

参数	原碳足迹 / (kgCO ₂ e/GJ)	变化后的碳足迹 / (kgCO ₂ e/GJ)	碳足迹变化量 / (kgCO ₂ e/GJ)	碳足迹减少 比例 /%	敏感度 系数
天然气消耗 减少 10% 时	63.2462	57.0648	6.1814	9.773	0.9773
电力消耗减 少 10% 时	63.2462	63.1057	0.1405	0.222	0.0222
原材料消耗 减少 10% 时	63.2462	63.2434	0.0028	0.004	0.0004

本文采用数据质量指标 (DQI) 法与蒙特卡洛模拟 (Monte Carlo Simulation) 相结合的数据不确定度分析方法^[18],基于对锅炉产品碳足迹主要数据的辨识结果,对碳足迹评估结果进行不确定度分析,该锅炉产品碳足迹核算的整体不确定度为 6.76%,见表 3。

表 3 产品碳足迹不确定度分析结果

项目	原材料消耗量	原材料排放因子	电力消耗量	电力排放因子	天然气消耗量	天然气排放因子
统计代表性 q_1	4	4	4	5	5	5
时间代表性 q_2	5	5	5	5	4	5
数据来源 q_3	5	3	4	4	5	5
地理代表性 q_4	5	3	5	4	5	4
技术代表性 q_5	5	4	5	4	5	5
单个投入不确定度(蒙特卡洛模拟) /%	8.20	25.80	8.03	11.88	5.40	4.31
碳排放量 /tCO ₂ e	141.84		7 166.86		315 343.15	
单一排放结果不确定度 U_i /%	27.07		14.34		6.91	
总体不确定度 U /%	6.76					

4 结论

产品碳足迹评估对促进温室气体减排有积极作用,是企业与上下游产业链进行有效沟通的途径。本文以工业锅炉产品为研究对象,基于 LCA 方法进行碳足迹分析,建立了各个阶段的碳排放计算模型。通过对一台燃气蒸汽锅炉进行产品碳足迹评估,结果表明:

1) 对比工业锅炉生命周期各阶段的排放量,使用阶段碳排放占比最高,达到 99.9507%,其中由于燃料燃烧产生的直接碳排放占 91.7309%,燃料生产间接碳排放占 6.0039%,辅机电耗间接碳排放占 2.2159%,其次为原材料获取阶段。

2) 通过对锅炉碳足迹的敏感性分析,发现敏感度最高的为天然气的使用,次之为电力的使用。

3) 为了减少该锅炉的产品碳足迹,采用“低/零碳”燃料,如掺烧氢/氨等,可显著降低燃料燃烧导致的直接碳排放,但此时应注意氢、氨生产过程的碳排放;此外,通过技术创新改进产品系统设计、优化受热面结构与布置、配置高效辅机设备等措施,来提高锅炉热效率、减少辅机电耗也是温室气体减排的重要手段。例如,该锅炉产品能效测试热效率为 98.48%,假设热效率达到天然气冷凝锅炉目标值 103%,使用阶段可减少约 15 054 tCO₂。虽然原材料获取和生产阶段碳排放占比不高,但仍然可以通过一些措施来降低碳排放,如采购碳排放因子较低的原材料,优化生产工艺和装备,调整生产用能结构,提高绿电的使用比例等。此外,还可通过设计工艺一体化过程中碳排放的协同控制,在产品的设计时就要同时考虑因地制宜地优化降低生产工艺过程中的碳排放强度,来降低锅炉出厂前的碳足迹。

参考文献

- [1] 赵钦新,周屈兰.工业锅炉节能减排现状、存在问题及对策[J].工业锅炉,2010(1):1-6.
- [2] 李军,笪耀东,刘雪敏,等.我国锅炉装备绿色低碳发展路径研究[J].中国工程科学,2022,24(4):212-221.
- [3] ISO 14067:2018 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南[S].
- [4] Miah J H, Koh S C L, Stone D. A hybridized framework combining integrated methods for environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing[J]. Journal of Cleaner Production,2017,168(1):846-866.
- [5] Jonathan S, Choong L, Tobias B, et al. Adaptation of the Product Structure-based Integrated Life Cycle Analysis (PSILA) technique for carbon footprint modeling and analysis of closed-loop production systems[J]. Journal of Cleaner Production,2016,120(1):105-123.
- [6] 沈卫国,蔡智,刘志民,等.浅淡水混凝土工业低二氧化碳排放技术[J].新世纪水泥导报,2008(4):1-6,25.
- [7] 伍英武.轮胎碳足迹分析与研究[D].上海:上海师

范大学, 2012.

[8] 曹婷. 啤酒发酵设备的 LCA 碳足迹分析及其不确定性研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2019.

[9] 赵钦新, 邓世丰, 王善武, 等. 锅炉生命周期碳减排和企业创新转型 [J]. 工业锅炉, 2022(1): 1-11.

[10] GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架 [S].

[11] GB/T 24044—2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南 [S].

[12] 王吉凯. 基于产品生命周期的碳排放计算方法研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.

[13] PAS2050:2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范 [S].

[14] 姜高超. 可拓知识分类方法及其在产品低碳设计中的应用 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2014.

[15] 王欣, 李文强, 李彦. 生命周期评价视角下的机电产品碳足迹分析模型研究 [J]. 天津科技大学学报, 2017, 32(6): 65-72.

[16] 王长科, 罗新正, 张华. 全球增温潜势和全球变暖潜势对主要国家温室气体排放贡献估算的差异 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(1): 49-54.

[17] GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则 [S].

[18] 陈莎, 李魏佩, 曹磊, 等. 产品碳足迹评价中不确定度与敏感度相结合的数据质量分析 [J]. 中国环境科学, 2014, 34 (4): 1 067-1 072.

(上接第 11 页)

[15] GB/T 27699—2023 钢质管道内检测技术规范 [S].

[16] API std/1163—2013 In-line inspection systems qualification third edition [S].

[17] 冯庆善. 高钢级管道环焊接头强度匹配的探讨与思考 [J]. 油气储运, 2022, 41(11): 1 235-1 249.

[18] 美国 X70 及以上钢级管道失效原因与统计分析 [EB/OL]. (2020-09-17)[2023-07-10]. http://guandaobaohuchina.com/htm/20209/20_2870.htm.

[19] 专访何仁洋博士: 国外高钢级管道环焊缝失效研究进展及相关建议 [EB/OL]. (2019-07-12)[2023-07-10]. http://guandaobaohuchina.com/htm/20197/124_2137.htm.

《中国特种设备安全》2024 年特种设备智能化技术发展专题征文通知

为促进特种设备行业智能化技术交流, 加快传播特种设备智能化技术研究成果, 积极推进智能化技术在特种设备行业的不断发展, 《中国特种设备安全》杂志社拟开展 2024 年特种设备智能化技术发展专题征文活动。欢迎广大作者踊跃投稿, 现将有关事项通知如下。

一、征文要求

1. 论文应未在国内外期刊和学术会议上发表;
2. 征文内容围绕锅炉、压力容器、压力管道、气瓶、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场(厂)内专用机动车辆等特种设备的设计、制造、使用、检验检测和政府监管等环节中智能化技术研究。

二、投稿及收录要求

1. 请投稿人员于 2024 年 7 月 31 日前以电子邮件方式将一页论文摘要(用于制作论文摘要集, 见附件 1)、论文全文(按照《中国特种设备安全》期刊论文模板, 见附件 2)和作者信息表(见附件 3)同时发送至投稿邮箱 cses_bjb@163.com, 邮件主题为“2024 年特种设备智能化技术发展专题征文-题名-作者姓名”。
2. 投稿论文通过“三审”后将优先被《中国特种设备安全》正刊或增刊收录。

三、联系方式

《中国特种设备安全》杂志社编辑部

陈佩佩 010-59068619; 周全芳 010-59068618

相关附件请到杂志社官网 (www.csespub.cn) 下载



《中国特种设备安全》杂志社公众号