

节能技术

基于生命周期的钢锻件产品碳足迹核算

杨广林

(忻州市综合检验检测中心, 山西 忻州 034000)

摘要: 为顺应锻造企业向绿色低碳转型的发展趋势, 以山西定襄某锻造企业的活动水平数据为参考, 以钢锻件从原材料到产品的“摇篮到大门”范围为系统边界, 对 1 t 钢锻件生产期间的碳足迹进行核算。结果显示, 生产 1 t 钢锻件的生命周期碳足迹为 1.14 tCO₂e, 其中, 购入电力和天然气的碳足迹占比为 62%, 钢材损耗产生的碳足迹占比为 30%。基于碳足迹核算结果, 提出钢锻造企业的重点减排路径为节能降耗, 其次为提高原材料利用率和良品率, 以期为实现企业的绿色、可持续发展提供参考。

关键词: 生命周期; 钢锻件; 碳足迹; 排放因子; 标准化

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.12.022

中图分类号: TG302

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2024) 12-0176-04

Carbon footprint accounting of steel forgings product based on life cycle

Yang Guanglin

(Xinzhou Comprehensive Inspection and Testing Center, Xinzhou 034000, China)

Abstract: In order to follow the development trend of green and low-carbon transformation for forging enterprise, taking the actively level data of a forging enterprise in Dingxiang, Shanxi as a reference, and taking the “cradle-to-gate” of steel forgings from raw materials to products as the system boundary, the carbon footprint during the production period of 1 t steel forgings was calculated. The results show that the carbon footprint of life cycle for producing 1 t steel forgings is 1.14 tCO₂e, of which the carbon footprint from purchasing electricity and natural gas accounts for 62%, and the carbon footprint from steel loss accounts for 30%. Based on the results of carbon footprint accounting, it is proposed that the emission reduction path of steel forging enterprises should focus on energy conservation and consumption reduction as the key and core, followed by improving the utilization rate and yield rate of raw materials to provide reference for achieving green and sustainable development of enterprises.

Key words: life cycle; steel forgings; carbon footprint; emission factor; standardization

产品碳足迹, 属于碳排放核算的一种, 一般指产品从原材料加工、生产到出厂销售等流程所产生的碳排放量总和, 是衡量生产企业和产品绿色低碳水平的重要指标^[1]。2023 年底, 国家发展改革委等 5 部门联合印发了《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》, 要求加快制定产品碳足迹核算基础通用国家标准, 到 2025 年, 国家层面出台 50 个左右重点产品碳足迹核算规则 and 标准, 一批重点行业碳足迹的背景数据库初步建成; 到 2030 年, 国家层面出台 200 个左右重点产品碳足迹核算规则 and 标准, 一批覆盖范围广、数据质量高、国际影响力强的重点行业碳足迹背景数据库基本建成, 主要产品碳足

迹的核算规则、标准和碳标识得到国际广泛认可, 产品碳足迹管理体系为经济社会发展全面绿色转型提供有力保障^[2]。

锻造行业在我国工业体系中至关重要, 直接影响航空、航天、航海、电力、石化和重型设备等多个领域的发展^[3]。目前, 锻造行业上游金属材料冶炼企业生产的碳钢、不锈钢、合金钢的钢锭、钢棒和型钢等产品均有碳足迹核算方法^[4]或数据库, 而下游锻造企业生产的钢锻件的碳足迹核算却很少见到相关的核算规则 and 标准。我国锻造企业数量众多, 大部分锻造企业主要从事普通碳钢、合金钢和不锈钢等锻件的生产^[5]。这些从事钢锻件锻造的企业属于传统高耗能企业, 在加热、锻压、机加工和热处理等生产过程中的高燃料消耗和高动能消耗导致钢锻件产品的碳排放

收稿日期: 2024-03-14; 修订日期: 2024-06-17

作者简介: 杨广林 (1986-), 男, 硕士, 高级工程师

E-mail: guanglin990@126.com

居高不下^[6-7]。因此，对于钢锻件产品进行碳足迹核算研究十分必要。本文按照 PAS2050 生命周期评价法（Life Cycle Assess, LCA）^[8]中的“摇篮到大门”方法对钢锻件产品碳足迹进行研究，结合山西定襄某锻造企业的活动水平数据，核算生产 1 t 钢锻件的碳足迹数据。

1 钢锻件碳足迹核算流程

1.1 系统边界的确定

一般选取钢锻造企业的全年为核算周期，研究的系统边界为钢锻件从原材料到产品的全过程生产造成的温室气体排放，具体流程包括下料、加热、锻造、热处理、机加工和检验等。生产流程如图 1 所示。

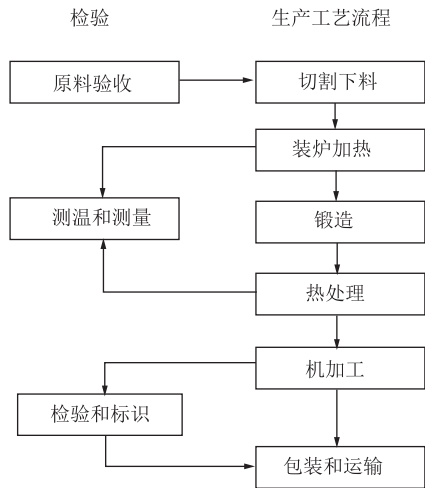


图 1 钢锻件生产流程图
Fig. 1 Production flow chart of steel forgings

根据钢锻件生产工艺流程，其生产所涉及的活动有以下 5 个：（1）锻件生产过程，包括加热、锻造、热处理、机加工和检验过程中消耗的天然气或电力等；（2）锻造所用模具的生产；（3）包装存储；（4）整个生产过程中的原材料损耗，包括氧化皮、机加工除去多余的钢材和废品；（5）原材料及锻件运输。

根据钢锻件生产工艺，其碳排放主要来自以下 4 个方面：（1）能源消耗，包括天然气加热炉、油压机、辗环机、电热处理炉、各种机床和检验仪器等设备的能源消耗，主要为天然气和电力等；（2）辅助材料消耗，如锻造模具和包装材料等；（3）原材料及锻件运输；（4）废弃物的处理，主要为钢材损耗。

1.2 碳足迹核算方法

碳足迹计算公式为：碳足迹 = 活动水平数据 × 排放因子。

钢锻件产品碳足迹为各个环节碳足迹数据的总和，所以，核算碳足迹需要两类数据：活动水平数据和排放因子数据。活动水平数据来自企业现场实测，需要依靠各种计量器具进行测量。碳排放因子的选取显著影响碳排放量的核算结果，采用不同区域的碳排放因子可能导致碳足迹核算结果的差异。本文使用的排放因子主要查询《中国产品全生命周期温室气体排放系数集（2022）》^[9]，同时参考了已公开发表的文献 [4] 和文献 [9]。表 1 为钢锻件各生产环节的排放因子数据。

表 1 钢锻件各生产环节的排放因子数据
Table 1 Emission factor data for each production process of steel forgings

生产环节	活动水平参数	排放因子	数据来源
能源消耗	生产用电/ (tCO ₂ e · MWh ⁻¹)	0.8952	文献 [9]
	天然气/ (tCO ₂ e · m ⁻³)	2.16×10 ⁻³	文献 [4]
辅助材料	模具/(tCO ₂ e · t ⁻¹)	2.38	文献 [9]
	木托盘/(tCO ₂ e · t ⁻¹)	312	
废弃物	钢材损耗/ (tCO ₂ e · t ⁻¹)	2.38	文献 [9]
原材料及锻件运输	运输公里数/ (tCO ₂ e · km ⁻¹)	5.98×10 ⁻⁴	文献 [9]

1.3 典型锻造企业分析

山西定襄县是亚洲最大的法兰锻造基地，也是世界最大的法兰出口基地，全县主要产品涉及锻造法兰、风电配套产品、压力容器锻件、环形锻件、盘类锻件、工程机械配件、精密模锻件和航空航天锻件等。2023 年生产的锻造法兰占全国法兰产量的 44%，锻造风力发电塔筒法兰占全国法兰产量的 60% 左右，是名副其实的“中国锻造之乡”。本文选取定襄县某典型锻造企业为分析案例，其基于 5G 技术，致力于打造数字化、网络化、智能化的锻造生产，基本能代表定襄县的锻造工业水平。其钢锻件生产活动水平及其碳足迹见表 2，各活动水平碳足迹所占比例见图 2。

从表 2 可以看出，此锻造企业的钢锻件总碳足迹为 11665.6 tCO₂e，2023 年该企业的钢锻件产量为

表 2 钢锻件的生产活动水平及碳足迹数据

Table 2 Data of production activity level and carbon footprint of steel forgings

活动水平参数	活动水平数据	排放因子	碳足迹/ tCO ₂ e
生产用电量/MWh	4680	0.8952 tCO ₂ e · MWh ⁻¹	4189.5
天然气/m ³	1420000	2.16×10 ⁻³ tCO ₂ e · m ⁻³	3067.2
模具/t	282	2.38 tCO ₂ e · t ⁻¹	671.2
钢材损耗/t	1486	2.38 tCO ₂ e · t ⁻¹	3536.7
木托盘/t	214	312 tCO ₂ e · t ⁻¹	66.8
运输公里数/km	224362	5.98×10 ⁻⁴ tCO ₂ e · km ⁻¹	134.2
合计	—	—	11665.6

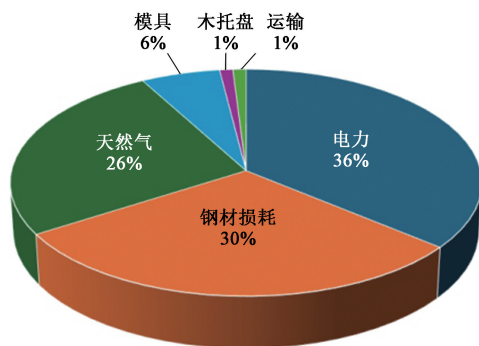


图 2 钢锻件各活动水平碳足迹所占比例

Fig. 2 Percentage of carbon footprint by each activity level of steel forgings

10264 t, 故该企业生产 1 t 钢锻件的碳足迹为 1.14 tCO₂e。从图 2 可以看出: 钢锻件碳足迹构成主要是电力、天然气和钢材损耗, 其中, 电力对钢锻件产品碳足迹的贡献最大 (占比 36%), 电力生产以燃烧煤炭为主, 且钢锻件热处理加热温度高达 1000 ℃ 以上, 保温时间也长达数小时, 故会造成温室气体大量排放; 其次, 钢材损耗贡献了 30% 的产品碳足迹, 这是因为产生的废钢量大, 且钢材生产过程需要燃烧大量化石燃料; 此外, 天然气也贡献了 26% 的产品碳足迹。电力和天然气为主的能源消耗占总碳足迹的 62%。

2 分析与讨论

2.1 钢锻件碳足迹

通过以上分析可以看出, 能源消耗占总碳足迹的 62%, 钢材损耗占 30%, 因此, 锻造企业应该从以下两方面来降低碳排放。

(1) 节能降耗。锻造企业应优化生产计划、合理安排人员配置、减少设备空载运行, 提高设备利用率; 优化生产工艺, 实现锻造工艺环节的节能降耗; 加强高耗能设备能耗监控, 提升计量器具的准确度等

级; 引入节能设备和技术, 如余热回收技术, 可将锻造过程中产生的余热用于锻件的预热或其他生产环节。

(2) 提高原材料利用率和良品率。应优化锻造毛坯的设计和制造工艺; 优化热处理工艺, 减少加热时间, 减轻氧化皮的生产程度; 采用自动化和智能化设备, 提高生产效率和产品良品率。

钢锻件产品碳足迹核算, 使锻造企业知晓自身产品碳足迹状况^[10], 寻找节能减排机会, 有效控制企业成本, 建立绿色环保的竞争优势, 为低碳产品认证^[11]、温室气体审定与核查做信息储备, 同时满足了日益增长的环保法规要求和消费者对可持续商品的需求, 可以实现更加透明的环境信息披露, 在全球范围内促进绿色经济的发展。

2.2 数据来源的不确定性

本文选取的活动水平数据和排放因子数据的质量存在不确定性。单一的锻造公司活动水平数据容易受到订单饱和量、工艺水平、自动化、信息化和智能化程度的影响, 本身不具有全国代表性。排放因子通过的查询《中国产品全生命周期温室气体排放系数集 (2022)》^[9] 确定, 但排放因子并不是唯一且统一的, 不同国家、不同行业均有自己的排放因子数据库, 并且各排放因子结果存在较大差异。建议从钢锻件产品全生命周期碳足迹出发, 依据国际碳排放核算方法体系建设规范要求, 制定中国锻造碳排放核算方法及钢锻件全生命周期碳足迹技术标准^[12]。同时, 通过广泛的国际合作, 寻求与碳核算国际通用规范接轨, 推动技术标准被不同国家、区域市场及应用场景广泛认可, 为下一步设置碳标签^[13]、提升中国钢锻件产品竞争力打下坚实的基础。

3 结论

(1) 选取山西定襄某锻造企业进行研究, 发现钢锻件碳足迹的构成主要是电力、天然气和钢材损耗, 能源消耗 (主要为电力和天然气) 占总碳足迹的 62%。

(2) 以生命周期评价法为依据, 可以帮助锻造企业理清生产流程碳足迹占比情况, 知晓自身产品碳足迹状况, 通过节能降耗、提高原材料利用率和良品率等方式, 降低整个生产流程的碳足迹。

(3) 建议制定符合中国国情的锻造碳排放核算方法及钢锻件全生命周期碳足迹技术标准。

参考文献:

[1] 秦于茜. 水泥产品碳足迹核算研究 [D]. 西安: 西安理工大

- 学, 2020.
- Qin Y Q. Research on Accounting of Carbon Footprint of Cement Products [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- [2] 宫仁. 五部门联合发文加快建立产品碳足迹管理体系 [J]. 建筑工人, 2023, 44 (12): 54.
- Gong R. Five departments jointly issued a document to accelerate the establishment of product carbon footprint management system [J]. Builders' Monthly, 2023, 44 (12): 54.
- [3] 郑文达, 权晓惠, 李俊辉. 锻造液压机的现状及其展望 [J]. 重型机械, 2012 (3): 2-10.
- Zheng W D, Quan X H, Li J H. Development history and trend of forging hydraulic press [J]. Heavy Machinery, 2012 (3): 2-10.
- [4] 宋晓聪, 杜帅, 邓陈宁, 等. 钢铁行业生命周期碳排放核算及减排潜力评估 [J]. 环境科学, 2023, 44 (12): 6630-6640.
- Song X C, Du S, Deng C N, et al. Life cycle carbon emission accounting and emission reduction potential assessment of steel industry [J]. Environmental Science, 2023, 44 (12): 6630-6640.
- [5] 王宝忠. 大型锻件制造缺陷与对策 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- Wang B Z. Manufacturing Defects and Countermeasures of Large Forgings [M]. Beijing: China Machine Press, 2019.
- [6] 高峻, 李森泉. 精密锻造技术的研究进展与发展趋势 [J]. 精密成形工程, 2015, 7 (6): 37-43, 80.
- Gao J, Li M Q. Research progress and development trend of the precision forging technology [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2015, 7 (6): 37-43, 80.
- [7] 田亚丁, 朱绘丽. 基于有限元分析的汽车法兰盘连接件精密锻造工艺 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (12): 9-17.
- Tian Y D, Zhu H L. Precision forging process on automotive flange connection part based on finite element analysis [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (12): 9-17.
- [8] 甘欣, 钟纪狄, 邱凌, 等. 基于生命周期的四川省钢铁产品碳足迹核算研究 [J]. 环境科学与管理, 2023, 48 (9): 20-25.
- Gan X, Zhong Q D, Qiu L, et al. Discussion on carbon footprint accounting of steel products in Sichuan province based on life cycle [J]. Environmental Science and Management, 2023, 48 (9): 20-25.
- [9] 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心. 中国产品全生命周期温室气体排放系数集 (2022) [EB/OL]. <https://leca.cityghg.com> (2024-03-14).
- Research Center for Carbon Peaking and Carbon Neutrality, Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment. Collection of greenhouse gas emission factors for the whole life cycle of Chinese products (2022) [EB/OL]. <https://leca.cityghg.com> (2024-03-14).
- [10] 李新创, 李晋岩, 霍咚梅, 等. 关于中国钢铁行业产品碳足迹评价标准化工作的思考 [J]. 中国冶金, 2021, 31 (12): 1-7.
- Li X C, Li J Y, Huo D M, et al. Concerns on drafting standard for evaluating product carbon footprint of China's steel industry [J]. China Metallurgy, 2021, 31 (12): 1-7.
- [11] 童俊军, 孟早明, 张丽, 等. 我国低碳产品认证及其案例分析 [J]. 资源信息与工程, 2012, 35 (3): 123-125, 128.
- Tong J J, Meng Z M, Zhang L, et al. Analysis and case study of low carbon products certification in China [J]. Resource Information and Engineering, 2012, 35 (3): 123-125, 128.
- [12] 许立杰, 陈秉楠, 吴薇群. 产品碳排放数据库标准化建设浅析 [J]. 中国标准化, 2023 (5): 68-72, 82.
- Xu L J, Chen B N, Wu W Q. Analysis of the standardization of product carbon emission databases [J]. China Standardization, 2023 (5): 68-72, 82.
- [13] 陶天凤, 王洪才, 刘志强. 关于我国开展有色金属行业碳标签认证的思考 [J]. 有色金属 (冶炼部分), 2023 (7): 1-4.
- Tao T F, Wang H C, Liu Z Q. Reflections on carbon labeling certifying in China's nonferrous metals industry [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2023 (7): 1-4.

关于中国机械工程学会塑性工程分会发展会员的通知

中国机械工程学会塑性工程(锻压)分会成立于1963年,是全国性的锻压科学技术工作者的学术性社会团体。经本会理事会研究决定:凡承认本会章程并符合条件者,可申请为本会会员。

会员的权利与义务: 1. 颁发个人/单位会员证书及铜牌,铜牌由秘书处统一制作并颁发,可申请定制; 2. 参加本学会组织的年会会议费可享受适当优惠; 3. 优先参加本会组织举办的国内外有关学术活动和其他活动; 4. 优先获得本会的有关学术资料,免费获赠会刊《锻压技术》杂志(个人会员6期/年,单位会员12期/年); 5. 在学会网站主页进行企业宣传、logo链接; 6. 享有本会的选举权、被选举权和表决权(学生会员除外); 7. 接受本会委托,进行论证、评议、咨询等工作; 8. 享有入会、退会的自由。

申请手续: 1. 通过学会官网(www.cstp-cmes.org.cn)点击立即注册在线提交入会申请; 2. 经审批通过后,将邮件通知申请单位或个人进行会费缴纳; 3. 会员缴纳会费后正式登记,自行登录个人中心首页-我的证书预览或下载会员证书。

地 址: 北京市海淀区学清路18号711室塑性工程分会

电 话: 010-62920654

网 址: www.cstp-cmes.org.cn

联系人: 李世龙

邮 箱: duanya@cmes.org

中国机械工程学会塑性工程分会