

浅谈绿色设计产品中的生命周期评价作用*

鹿珂伟, 孙万意, 葛青, 李宝城, 孙泽明, 刘英

(国合通用测试评价认证股份公司, 北京 101407)

摘要: 绿色设计是指以环境和环境保护为核心概念的设计方法, 绿色设计即将或正在成为工业生产的行为规范。通过分析生命周期评价方法在绿色设计产品及评价中的应用和进展情况, 结合生命周期评价方法研究现状、局限性, 针对当前绿色设计产品评价进展以及评价标准中的问题进行了探讨, 并提出建议, 希望能为今后的绿色设计产品评价工作提供一定的参考, 更加准确合理地运用生命周期评价方法。

关键词: 绿色设计; 产品评价; 生命周期评价; 生态设计

中图分类号: F424

文献标识码: A

DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2020.17.012

1 绿色设计产品相关政策

在中国经济发展现阶段, 面对全球资源环境压力日益突出和绿色贸易壁垒的升级, 工业绿色发展既是中国建设制造强国的内在要求, 也是工业领域建设生态文明的必由之路。在国务院发布的《中国制造 2025》中, 将绿色发展作为制造业今后发展的五大方针之一, 全面推行绿色制造和强化产品全生命周期绿色管理, 以绿色标准为支撑, 开发绿色产品, 开展绿色评价, 加强试点示范企业的引领作用^[1]。

为支持企业开发绿色产品, 推行生态设计, 显著提升产品节能环保低碳水平, 引导绿色生产和绿色消费, 国家出台了一系列相关政策, 为绿色设计产品供给营造出了良好的制度环境。2013-02, 工信部会同有关部门发布的《关于开展工业产品生态设计的指导意见》, 明确提出建立产品生态设计标准体系框架, 组织编制产品生态设计通则, 研究制定生态设计标准^[2]。2015-10-13, 工业和信息化部节能司提出《生态设计产品评价通则》, 规定了生态设计产品评价的术语、定义、评价原则和方法、生命周期评价报告编制方法。2016-07, 《工业绿色发展规划(2016—2020年)》(工信部规[2016]225号)提出大力开展绿色设计示范试点, 加快开发绿色产品, 积极推进绿色产品第三方评价和认证, 发布工业绿色产品目录; 提出到2020年绿色制造标准体系基本建立, 制定100项绿色设计产品评价标准, 推广普及万种绿色产品。2016-09, 《绿色制造工程实施指南(2016—2020年)》提出搭建开放的绿色标准创制公共平台, 2017-07, 绿色制造公共服务平台投入使用。

实施绿色设计和绿色制造的关键是要对不同设计方案的环境影响进行综合分析和评价, 而绿色设计的最终结果是否满足预期的需求和目标, 是否还有改进的潜力, 如何改进

等是绿色设计过程中真正关心的问题, 需要对这些问题作出回答, 则必须进行绿色设计产品评价。产品全生命周期评价(LCA, Life Cycle Assessment)技术作为绿色设计及绿色制造领域的前沿技术之一, 也是关键和共性基础技术^[3]。

2 生命周期评价方法研究概况

生命周期评价是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价, 定量计算是LCA方法的主要特征之一。通过开展材料或产品生命周期评价, 可以帮助企业跳出单个工序, 站在全生命周期的角度来设计产品, 通过量化分析产品生产全流程环境绩效, 完成绿色制造全流程优化排产, 分析废弃物再利用的环境收益。因此, 绿色设计产品评价标准正是采用了指标评价和生命周期评价相结合的方法。

2.1 LCA方法概述

产品生命周期评价(LCA)的特点是系统化和量化, 研究范畴包含从“摇篮到坟墓”的产品生产全过程系统化, 数据收集以单元过程为基础, 从资源、能源和环境排放量化。根据全流程各生产工序, 通过对上游供应商和下游用户的数据采集, 同时开展基础性研究和应用性研究^[4]。国外在进行LCA分析的同时, 还进行经济评价, 显现出LCA与经济分析结合的发展趋势。而且可持续LCA研究较受瞩目, 这与传统的LCA研究不同, 评价内容包括环境、经济、社会三个方面。

根据环境毒理学与化学学会(SETAC)归纳和ISO确立的LCA技术框架, 即生命周期评价的基本结构归纳为4个有机联系的部分: ①定义目的与确定范围(goal and scope definition)。包括产品系统功能及功能单元的定义、产品系统及系统边界的定义、系统输入输出的分配方法、采用的环

* [基金项目] 国家新材料测试评价平台(主中心)资助

境影响评估方法及其相应的解释方法等。②清单分析 (inventory analysis)。目前常用的面向流程的过程分析方法和基于输入-输出的清单分析方法。Heijungs 利用线性方程系统解决清单问题,用矩阵符号描述过程和计算 LCI 之间的关系。这种方法限制了过程的数量,而且系统边界的选择都是主观的,这就产生了不确定性。而基于输入-输出的清单分析方法相对于面向流程的过程分析方法的系统边界更加完整,但是使用的数据较旧。③影响评价 (impact assessment)。是 LCA 的核心内容,也是难度最大的部分。目前,对于产品的生命周期影响评价没有形成统一的方法,虽然国外常用的有 CML、ReCiPe 和 EDIP 方法等,但这些评价模型并不完全匹配中国生态和工业环境,国内也一直研究影响评价方法,也有部分机构和高校开发了本土化因子,但并没有推广使用。④结果解释 (interpretation)。寻找减小环境影响、改善环境状况的时机和途径,并对改善环境途径的技术合理性进行判断和评价,给出与研究目标与范围相一致的合理结论与建议^[5-7]。

2.2 局限性

系统边界选择的主观性导致其具有不完整、不统一的特性,数据收集与数据缺口的矛盾依然存在,且数据质量和完整性要求较高,无疑增加了人力和时间成本。

清单分析具有不确定性,清单过程的分配存在争议并且涉及到物质平衡问题,目前的解决方法是按物理的因果关系对环境负荷在产品或功能之间进行分配。但是,以物理关系为基础的分配仍然会产生显著不同的结果,例如垃圾焚烧是可以根据输入物质 A 的浓度或者热值建立因果关系,显然会导致不同的结果。

清单数据输入的不确定性和数据的变化产生的复合效应导致清单结果具有不确定性,当前的研究人员和软件中采用蒙特卡洛等分布区间或概率分布数学方法对清单中影响不确定性的数据进行辨识。

影响评价具有局限性,尚不存在统一的标准在清单数据和具体的潜在环境影响之间建立一致、准确的联系。影响类型、参数和特征化模型的选择,还有地域特征、时间尺度上的限制,同时造成评价结果的主观性和不确定性。

2.3 LCA 用于绿色设计产品评价的研究

关于 LCA 在绿色产品评价中的应用,国内外学者进行了大量研究,并给出了一些评价方法,对于这些方法目前还没有统一的分类。目前绿色设计评价策略主要基于 LCA 的思想和方法,有些行业根据自己的行业特征制定了相应的绿色产品评价指标。

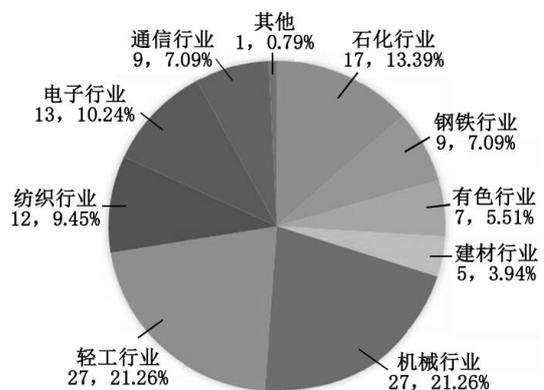
在绿色产品评价指标体系方面,德国用于绿色产品评价的绿色标志名为“蓝色天使 (Blue Angel)”,它强调对产品整个生命周期过程的各种环境危害进行分析评价;英国采用简化生命周期评价法评价绿色产品,该方法不强调对产品生

命周期各阶段的投入产出进行定量分析,而是依据研究人员的判断积获得的数据来估计产品在生命周期的各阶段可能产生的影响。

国内学者们对绿色产品评价做了多方面的研究,为绿色设计产品评价奠定了一定的理论基础。张青山等人研究了制造业绿色产品评价指标体系、评价流程和评价方法,并给出了评价系统软件开发的总体框架^[8];王跃进提出建立绿色产品全寿命周期的信息、资料知识数据库,时间跨度可以延伸至产品的全生命周期或多生命周期,构建绿色设计产品评价体系;庄恒国等人结合中国汽车企业现状,提出了中国新能源汽车整车绿色设计产品评价体系,为制订新能源汽车整车统一的绿色设计产品评价标准奠定基础^[9];姬莉等人结合钢铁产品的生产流程和上下游的相关产品需求,提出基于 LCA 清单模型输入不同的技术参数变量,预测环境指标变量,通过模型诊断发现改进点与先进水平的差异,将设计参数转化为环境参数^[4]。2015 年中国参考国际先进经验,并充分考虑中国当前发展阶段和产品生命周期评价数据基础,建立了阶段性的评价指标体系与生命周期评价相结合的方法,并制订了《生态设计产品评价通则》,为中国建立和完善生态设计产品评价制度提供坚实的技术支撑。

3 绿色设计产品评价进展

绿色设计评价是绿色设计的重要环节之一,对指导设计过程的进行和对设计方案的完善具有重要作用。绿色设计产品需要去判定和认证,这就需要相应的标准,做到有据可依。近些年,在工业和信息化部的大力推动下,特别是《工业节能与绿色标准行动计划(2017—2019年)》的推出和实施,催生了一大批绿色设计产品评价标准。截至 2020-03 工业和信息化部发布的《绿色设计产品标准清单达 127 项》(其中产品评价团体标准 124 项),已发布的 4 批绿色制造体系建设示范名单,其中绿色设计产品总计 1 097 种。



注:数据来源为工信部节能与综合利用司。

图1 绿色设计产品评价标准发布情况

通过对发布的绿色设计产品评价标准进行分析,发现尽管已发布的绿色设计产品标准数量已超过 2020 年的目标值 (100 项标准),但是其中机械行业和轻工行业分别占了

21.26%和 21.26%，石化行业达到了 13.39%，上述行业已经占比 50%以上，这与中国庞大的制造业体系相比，现有绿色设计产品标准的覆盖面较窄，基础有色冶炼行业和超大量建材行业总和不到 10%，绝大多数工业品的生产、使用及评价依旧无标准可依。以上情况也导致中国绿色设计产品供给水平相对较低，难以满足社会发展需求。同时根据已发布的绿色设计产品名单分析发现，其产品类别仅约占 2020 年目标值的 10%，距离万种绿色设计产品的目标还很遥远。

通过分析绿色设计产品标准清单产品数量较多的种类和企业数量，已知通过绿色设计产品评价的企业 337 家，其中最多的产品类别依次为铅酸电池、可降解塑料、家用电冰箱等；通过评价的绿色设计产品数量为 1 097 种，其中最多的产品类别依次为家用电冰箱、家用洗涤剂、房间空气调节器等，有 60 多类产品没有企业通过绿色设计产品评价。

目前各地方对绿色制造体系提出了众多的补贴政策，但是绿色消费市场尚未形成，消费者缺乏主动购买绿色产品的积极性；企业一开始参与热情不高，生产绿色设计产品，企业需要开展绿色设计、绿色改造、绿色采购等工作，比普通产品增加了额外投入，导致主动从事绿色生产的意愿不强。

4 评价过程中面临的问题和建议

根据目前发布的绿色设计产品评价标准及评价现状，首先生命周期评价作为绿色设计产品评价的必要条件，按照全生命周期思想进行环境影响评价，目的是得到产品全生命周期的原料获取阶段、产品生产、产品使用、废弃后处理等阶段的资源消耗、生态环境、人体健康的量化信息，作为产品研发设计的考虑条件之一。

但是由于生命周期评价方法具有的专业性和局限性，通过调研和参与发现部分绿色设计产品评价标准及评价过程中一些问题及建议：①首先在系统边界的划分上不够清晰。通过研究对比发现，部分制定的产品标准没有理解生态设计产品评价通则中应该根据供应链关系划定，即缺少过程单元或者产品供应链相关的所有过程和满足预期用途的要求，并无详细说明评价范围。②影响类型的选择上，影响类型名称参差不齐、类型参数错误和特征化模型混乱。建议根据具体行业和产品生产工艺特点排放特征进行影响类型的选取，影响类型名称建议选取通则中的示例，标注所选取的影响评价方法（特征化模型），比如 CML、ReCiPe 或国内的影响评价方法。③LCA 报告的编写已经在相应的绿色设计产品评价标准中进行了规范，部分 LCA 报告没有严格遵循；生命周期评价报告是否合格并没有明确的规定，目前的参考标准是 GB/T 24044，审核方面对具体产品的 LCA 产品种类规则相对匮乏，这就造成了报告多样，同类产品没有可比性。④完整的清单数据收集是很难达到的，尤其是复杂产品来说消耗大量的精力、时间和经济成本，因而实施简化型的 LCA 可能更适合于中国企业的现状，更有利于减轻企业负担和评价

工作的顺利开展；另一方面，国内现有的产品生命周期评价软件多针对某一领域或某一类产品，操作比较复杂，且缺乏通用性。

生命周期评价过程需要对生产工艺工序、收集的数据进行确认，并且根据反馈的数据来重新评估评价范围，建立产品的系统模型，应用生命周期评价方法（LCA）优化原料选择、产品设计和制造方案。因此，当前要做的是建立关键的行业和企业数据库及健全面向产品全生命周期的绿色设计信息数据库，探索符合中国环境影响效应的特征化模型和影响评价方法，在此基础上深入研究数据质量方法，未来将继续丰富基础数据库的数据集类型和数量；开发、应用和推广产品生命周期资源环境影响评价技术和软件工具，加强本地化软件工具的研发，推动已开发软件的商业化应用。

5 总结

绿色设计产品评价运用生命周期评价方法，从企业生产过程中对环境的影响入手，计算分析企业生产全过程的环境负荷，能够直观识别出物料消耗大、能耗高及污染物产生量大的环节的环境影响信息，帮助设计人员做出正确的决策，改变企业以往经济发展与环境保护相矛盾的观念。本研究针对当前绿色设计产品评价进展情况及生命周期评价方法问题进行了探讨和建议，在 LCA 方法和报告编写上进行了分析，生命周期评价有其优势也有其难以克服的困难，要根据产品特点及评价要求的精度选择评价模型，做好数据质量分析，扬长避短。绿色设计产品因其优良的环境友好性更适应可持续发展的需要和市场的竞争，产品全生命周期的绿色化理念也会逐步深入，通过识别环境热点和比较不同的替代方案，LCA 将在改善环境性能和推动新兴技术发展方面具有极大的潜力。

参考文献：

- [1] 杨檬, 查丽, 杨宇涛. 中国绿色制造政策与标准体系研究 [J]. 信息技术与标准化, 2017 (21): 12.
- [2] 李敏, 王璟. 绿色制造体系创建及评价指南 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2018: 4, 143-165.
- [3] 李方义, 李剑峰, 颜利军, 等. 产品绿色设计全生命周期评价方法研究现状及展望 [J]. 现代制造技术与装备, 2006 (1): 8-13.
- [4] 姬莉, 王梦鹿, 汪志佳. LCA 评价方法在钢铁产品绿色设计中的应用研究 [J]. 智库时代, 2019 (7): 263-264.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 24040—2008 环境管理生命周期评价原则与框架 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [6] ISO. ISO 14040. Environmental management-Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006) [J]. International Standard Iso, 2006 (7): 20.

(下转第 40 页)

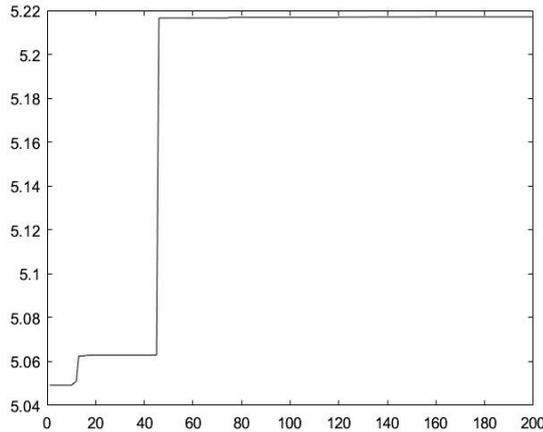


图4 适应度随迭代次数的变化

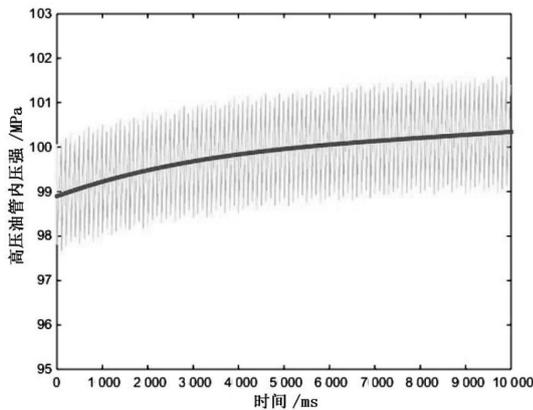


图5 高压油管内压强随单向阀开启时长的关系

参考文献:

- [1] 弘光, 戚赉茂, 刘华秀, 等. 柴油机燃油喷射过程计算的研究及应用 [J]. 内燃机学报, 1984 (2): 93-102.
- [2] 毛范海. AD 型喷油泵燃油喷射系统计算机建模和仿真分析研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2003.
- [3] 王国正. TY3100 柴油机燃油喷射系统建模仿真研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
- [4] 雷德明, 操三强, 李明. 求解约束优化问题的新型帝国竞争算法 [J]. 控制与决策, 2019, 34 (8): 1663-1671.
- [5] 田垅, 刘宗田. 最小二乘法分段直线拟合 [J]. 计算机科学, 2012, 39 (Suppl 1): 482-484.
- [6] 李夏云, 陈传森. 用龙格-库塔法求解非线性方程组 [J]. 数学理论与应用, 2008 (2): 62-65.
- [7] 高慧. 基于帝国竞争算法的 Web 服务组合研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2019.
- [8] 郭婉青, 叶东毅. 帝国竞争算法的进化优化 [J]. 计算机科学与探索, 2014, 8 (4): 473-482.

作者简介: 何昊晨 (1999—), 男, 研究方向为控制科学与工程。

[编辑: 严丽琴]

(上接第 34 页)

- [7] ISO. ISO 14044. Environmental management-Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044: 2006) [J]. International Standard Iso, 2006 (7): 46.
- [8] 张青山, 乔芳丽, 马军, 等. 制造业绿色产品评价研究 [J]. 沈阳工业大学学报 (社会科学版), 2008 (1): 64-70, 82.
- [9] 庄恒国, 武佳丽, 张诗建, 等. 新能源汽车绿色设计产

品评价体系构建思路 [J]. 时代汽车, 2019 (14): 71-72.

作者简介: 鹿珂伟 (1992—), 男, 硕士研究生, 初级职称, 研究方向为生态环境材料, 主要从事产品生命周期评价、绿色评价。

[编辑: 张思楠]

(上接第 36 页)

果表明, 本文提出的 MRAS 能较好的辨识转速, 动态响应速度较快。

参考文献:

- [1] WROBEL R, BUDDEN A, SALT D, et al. Rotor design for sensorless position estimation in permanent-magnet machines [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58 (9): 3815-3824.
- [2] YONG H P, KANG H P, SEUNG C B, et al. Sliding mode

observer with parameter estimation for sensor-less induction motor [C] // IEEE Region 10 Conference, 2010.

- [3] 杨灵芝. 无位置传感器永磁同步电机的参数辨识与仿真研究 [D]. 太原: 中北大学, 2018.

作者简介: 刘书云 (1996—), 男, 江西宜春人, 本科生, 研究方向为控制工程。

[编辑: 严丽琴]