

2017 中国生命周期评价进展报告

北京生态设计与绿色制造促进会 编著

编者按：生命周期评价是一种重要的产品环境影响评价工具，它是产品生命周期管理和绿色设计的基础。其理念对于推动我国工业的绿色转型升级具有重要作用，并已经引起中央和各有关部委的高度重视和关心。近年来，生命周期评价在我国获得了较快的发展。本篇报告从政策支持、方法研究、平台建设和案例研究四个方面总结了2016年到2017年中国生命周期评价的进展情况。

生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）是对产品的整个生命周期——从原材料获取到设计、制造、使用、循环利用和最终处理等，定量计算、评价产品的资源能源耗竭以及污染物排放环境影响的技术和方法。生命周期评价既是一种环境管理工具，也是一种预防性的环境保护手段，其通过对产品“从摇篮到坟墓”的全过程所涉及的环境问题进行分析和评价，从而帮助决策者做出更优的选择。目前其应用已经覆盖了整个工业社会，既可用于企业产品开发与设计，又可以有效地支持政府制定工业发展战略及相关环境政策，同时也可提供明确的绿色设计产品判别标准，进而引导消费者的绿色消费行为。

与欧美发达国家相比，国内关于生命周期评价方面的研究与

应用起步相对较晚，但是发展非常迅速，目前已成为学术界关注焦点和研究热点。在政府的引导和支持下，国内科研机构围绕生命周期评价开展了卓有成效的工作。报告将从政策支持、生命周期评价相关方法研究、生命周期评价相关平台建设和生命周期评价案例研究这四个方面，总结 2016 年-2017 年的中国生命周期评价进展情况。

一、政府政策支持

由于生命周期评价在工业产品转型升级中能够最大限度地协助决策者减少产品对资源的直接和间接的负面影响，实现产品的环境效益、功能效益、社会效益和经济效益的多重目标，近年来，已经获得了中央和各有关部委的高度重视。

2016 年 7 月工业和信息化部正式发布的《工业绿色发展规划（2016-2020）》中指出，强化产品全生命周期绿色管理，到 2020 年，创建百家绿色设计示范企业、百家绿色设计中心、千家绿色示范工厂、百家绿色园区、力争开发推广万种绿色产品；加快建设覆盖工业产品全生命周期资源、能源消耗、污染物及温室气体排放、人体健康影响等要素的生态影响基础数据库。

2016 年 9 月 14 日发布的《绿色制造工程实施指南（2016-2020）》指出，要按照产品全生命周期绿色管理要求，强化生产制造全过程控制和生产者责任延伸；完善产品从设计、制造、使用、回收到再制造的全生命周期绿色标准；建立产品全生命周期基础数据库及重点行业绿色制造生产过程物质流和能量

流数据库。

2016年9月20日正式发布的《关于开展绿色制造体系建设的通知》指出，要落实供给侧结构性改革要求，以促进全产业链和产品全生命周期绿色发展为目的，以企业为建设主体，以公开透明的第三方评价机制和标准体系为基础；绿色产品侧重于产品的全生命周期的绿色化；按照产品全生命周期理念，加强供应链上下游企业间的协调与协作。

2017年5月26日，中共中央政治局就推动形成绿色发展方式和生活方式进行第四十一次集体学习，习近平总书记在主持学习时强调，推动形成绿色发展方式和生活方式是贯彻新发展理念的必然要求，要坚决摒弃损害甚至破坏生态环境的发展模式，加快构建政府企业公众共治的绿色行动体系，提出要树立节约集约循环利用的资源观，用最少的资源环境代价换取最大的经济社会效益。

二、生命周期评价方法研究

从上世纪七十年代生命周期评价方法开始成型以来，经过多年的发展，生命周期评价方法已经具备了较为成熟的方法学框架。目前，对生命周期评价方法学的研究开始从基础的清单分析框架和影响评价模型研究逐渐转向生命周期评价在特定领域的应用方法研究。近年来，以生命周期评价方法为基础，与具体领域相结合的理论方法研究越来越受到人们的重视。

（一）材料的绿色设计理论框架与评价方法的构建

绿色设计，又称生态设计、生命周期设计，是生命周期工程理论的主导与核心，其主旨是指将环境因素纳入到产品设计中，在保证产品使用性能与经济可行性的同时，最大限度降低产品全生命周期对环境影响的设计方法。研究表明，约80%的资源消耗和环境影响均取决于产品设计阶段，在设计阶段充分考虑现有技术条件，优化解决各个环节的资源环境问题，可以最大限度实现资源节约，从源头上削减甚至避免环境污染。材料行业是绿色设计应用的重要领域之一，其直接关系到下游行业(如建筑、交通等部门)产品的性能与环境表现。传统的材料生产方式侧重于产品本身的属性和市场目标，把生产和消费造成的环境问题留待以后的末端治理；而绿色设计从可持续发展的高度审视产品整个生命周期，在产品设计之初充分考虑资源和环境问题，从源头节能治污。

材料绿色设计理论与方法研究低环境负荷材料设计理论、方法与原则，揭示材料制备流程的物质—能量—环境效应的关联机制、材料性能对产品服役过程环境影响的作用机理等；研究资源循环工艺流程模型及循环模式的表征方法，探索资源循环与碳排放、资源耗竭等环境影响的关联性；开展材料绿色设计多态数据模型、信息表示、多维分析与决策、关联规则、推理机制与流程化自动仿真的研究，开发集成材料环境负荷基础数据、特征化方法和环境影响指标的材料绿色设计技术体系和基于人工智能的

专家系统，实现绿色设计的集成化与自动化；构建典型大宗材料及稀缺材料的绿色设计基本流程与指导原则，优化材料组分设计与制备工艺参数，从源头实现节约资源能源，减少环境污染。

材料绿色设计的实施步骤归纳为策划、方案制定、方案验证、实施 4 个阶段。策划阶段是确定设计目标与实施方案；方案制定为制定材料设计或改进方案；方案验证是为了验证原型方案可行性并择优；在方案验证完成后，可以进入实施阶段。但绿色设计是一个反复的过程，在生产实践中可能发现之前没有考虑到的问题，需要对方案再次进行修改与评估。

在材料绿色设计的实施过程中，如何对不同设计方案进行评判与择优是需要解决的关键问题之一，主要的技术难点在于如何科学量化材料的使用性能、资源与环境影响。研究建立了基于资源—环境—性能指标的多因素综合决策模型，通过集成生命周期评价等国际主流的可持续发展评估方法，实现对不同评估要素的量化分析，并通过多因素决策模型最终计算得到表征材料资源、环境和性能综合表现的绿色设计综合指标，量化不同材料设计方案得到单位使用性能造成的资源消耗与环境影响，进而对设计方案进行比较与择优。综合决策模型分为材料性能评价方法、资源影响评价方法、环境影响评价方法与综合决策方法 4 部分。

1. 基于性能—需求矩阵的材料性能综合评价模型

材料绿色设计中的性能评价旨在量化材料的性能表现对设计需求的满足程度。材料绿色设计中涉及的性能指标涵盖材料物

理性能、力学性能与化学性能，在进行设计实践时通常并不需要涵盖所有的性能指标，仅需包含与资源、环境、产品需求相关的主要性能即可。因此，很难建立一种可以通用于所有材料的性能指标体系，需要针对不同应用领域与材料在绿色设计的需求分析阶段予以确定。性能指标也可进一步细分达标指标与择优指标：达标指标仅需要达到一定的取值范围即可；而择优指标通常与产品的环境表现直接相关，如产品的寿命、保温材料的隔热系数等，这些指标的改变会显著降低产品的环境影响，故在设计中应该在不严重影响成本的前提下，持续改善此类指标。

2. 基于（火用）的资源影响综合评价模型

充足的自然资源供给是保证材料工业永续发展的物质基础。自然界中资源的存在形式是多样的，材料生命周期过程对矿产资源、化石能源、水资源、土地资源等多种自然资源均有一定影响；为了科学客观地表征材料生产所造成的各类自然资源损失、确定材料生产的资源依赖强度，有学者提出了基于热力学函数的资源耗竭特征化模型。该模型的应用一方面可以将材料生命周期过程所造成的矿产资源、化石能源、水资源以及土地资源的消耗与损害表征为统一指标（物理单位相同），另一方面还可以同时反映资源“量”与“质”在材料生产过程中的变化规律。在规定参考环境与元素化学计算模型的基础上，可对各类自然资源进行系统量化。

3. 基于生命周期评价的环境影响综合评价模型

生命周期评价是目前国际上分析产品环境问题的主流工具之一，该方法通过收集产品或材料在生命周期中的主要输入与输出清单(包括资源消耗、能源消耗以及各类污染物排放)，并将其与各类环境影响相关联，据此定量评价产品生命周期中造成的各类环境影响潜力(如全球变暖、酸化、人体毒性等等)，最终将各类环境指标通过损害评估与加权步骤综合为单一指标来反映产品全生命周期的环境表现。针对材料行业的特点，建立了基于生命周期评价的材料绿色设计环境影响指标体系。在绿色设计的数据收集过程主要针对指标项目进行数据的收集、计算与汇编，而后采用生命周期影响评价方法，将数据收集过程得到的各指标项目值进行逐级综合，最终形成评价对象的单一环境影响指标值，综合表征产品全生命周期中造成的各类环境影响。

4. 资源—环境—性能多因素综合决策方法

在获得资源影响、环境影响与材料性能 3 项单一指标值后，可以将三者相综合得到绿色设计综合指标值。考虑到绿色设计中通常会涉及多种方案的择优，且需要尽可能避免权重系数选取的主观性，建立了基于权重三角的方案择优模型，通过软件编程计算三角形内所有的权重取值后，可以得到几种方案各自的最优权重因子集，并可在图形中表示出来。

(二) 工业废弃物生命周期管理理论

工业固体废物指在工业生产活动中产生的固体废物，包括产

生的所有固态、半固态和除废水以外的高浓度液态废物。工业固体废物数量巨大，种类繁多，成分复杂，其在产生、贮存、运输、再循环和最终处置的过程中，对水体、土壤、大气和人体健康等多方面都可能产生危害，对其生命周期全过程进行综合管理十分必要。针对工业固体废物的生命周期过程及其定量化评价与管理方法，为促进我国工业固体废物管理的模式转变和系统优化，中国科学院生态环境中心在国家环保公益性行业科研专项“典型工业行业固体废物生命周期管理技术研究”项目的支持下，对工业固体废弃物生命周期管理的理论框架与概念模型进行了研究。

工业固体废物的生命周期从其产生开始，包括产生、预处理、内部再循环、运输、外部再循环和最终处置等多个阶段。基于对工业固体废物生命周期特点的分析，结合当前工业固体废物管理的实践，构建出工业固体废物生命周期管理的系统框架。该管理框架由生命周期子系统、综合评价子系统和管理决策子系统三大组块构成。

1. 生命周期子系统

生命周期子系统从工业固体废物产生、收集、贮存、综合利用和最终处置等生命周期过程入手，识别固体废物产生特征、物流走向和资源化潜力，并建立包括资源能源消耗和环境排放等信息的生命周期清单数据库。生命周期子系统既为综合评价子系统提供定量化清单数据，也支持管理决策子系统的固体废物综合管理方案确定。工业固体废物生命周期可划分为 7 个阶段：产生阶

段；收集阶段；贮存阶段；内部再循环阶段；运输阶段；外部再循环阶段；处置阶段。

2. 综合评价子系统

综合评价子系统是在生命周期子系统的基础上，考虑技术可行性，提出固体废物减量化、资源化或无害化处置技术和方案，并借助生命周期工具，采用生命周期清单分析、生命周期影响评价和生命周期成本分析等方法对物质输入输出、环境影响和成本效益等方面进行综合评估，筛选出技术可行、环境友好、经济合理的关键工艺、技术和优选方案。

3. 管理决策子系统

管理决策子系统是工业固体废物生命周期管理系统框架的重要组成部分。经综合评价子系统评估得到的关键技术和方案，一方面可直接指导工业固体废物生命周期的过程控制和物流走向，另一方面则应用于管理决策子系统，为综合管理过程提供决策依据，也为构建废物交换系统和决策支持平台提供技术支持。此外，基于生命周期清单数据，将固体废物产生量和资源化现值，分别与当前先进技术水平下固体废物产生量的最小值和综合利用的最大值进行比对，得到工业固体废物减量化和资源化潜力，可帮助企业合理挖掘固体废物减量和资源化的可能性，同时指导政府管理部门科学确定工业固体废物总量控制和综合利用率等预期指标。

在工业固体废物生命周期管理系统中，通过对工业固体废物

生命周期的分析,可得到工业生产过程和固体废物资源化过程的清单数据库;同时采用资源化潜力指数评估工业固体废物资源化的潜力;并基于生命周期评价工具筛选出合理可行的包括减量化、资源化和无害化处置的关键技术和综合管理方案。工业固体废物生命周期管理的总体策略是“源头削减、过程控制、高效利用、安全处置”,采取的管理手段包括法律法规、政策措施、控制标准和技术导则等。

工业固体废物生命周期管理系统框架整合了减量化、资源化和无害化的原则,考虑了固体废物从产生、贮存、运输、资源化到安全处置的全过程,综合运用了法律、管理制度、技术、标准等手段,注重经济效益、环境效益和社会效益的统一,体现出废物全过程管理和可持续管理的要求。

(三) 用于评价城市生活垃圾处理技术的生命周期能源-环境-经济多目标耦合评价方法

随着可持续发展思想的不断深化,其对于城市生活垃圾管理系统提出了新的挑战:生活垃圾不仅需要实现清洁、高效的处理技术创新,且同时需达到能源-环境-经济的生活垃圾全过程综合管理优化。实际的能源系统结构复杂、物料流和能量流众多,针对不同方案、或不同单元模块构成的集成处理系统,其全过程能量与环境排放受到多方面因素的影响。单纯针对某一具体单元过程或环节进行的能量转化、环境排放等的优化及改进很难保证对整个系统带来质的提升。此外,系统的经济性因素也会对其运行

产生极其重要的影响。因此,建立综合的评价模型,全面、系统地评估能源系统运行情况,深入探究系统整体优化机制,以期达到能源系统的清洁高效利用显得尤为必要。

为了全面评估生活垃圾管理系统运行情况及整体优化机制,浙江大学能源工程学院的董隽建立了生命周期能源-环境-经济多目标耦合评价模型。模型以传统生命周期能源、环境评价的理论方法为基础,通过融入经济性评价模块,实现生命周期成本分析各项指标的全面整合,并通过优化多目标决策分析的数学算法,实现能源、环境、经济多目标因素的科学耦合。

目前,生命周期评价与生命周期成本分析的集成研究都会遇到目标之间的不可公度性和矛盾性等问题。也就是说,需要选择合适的决策方法,解决生命周期评价应用于决策分析中能量、环境、经济三者不可公度性及矛盾性。优劣解距离法(TOPSIS)对于指标的无量纲化方式可以有效解决三个因素间的不可公度性,是一种较为适合的能源、环境、经济目标耦合方法。

优劣解距离法的原理是建立初始化决策矩阵并对其进行规范化,通过计算各方案相对于最优方案和最劣方案的距离,从而获得各方案与最优方案的接近程度,并以此为根据进行方案的排序,从而确定最优方案。采用优劣解距离法方法作为多目标耦合评价方法的基础,并在此基础上改进和优化现有数学模型:通过融入多目标决策分析方法中的AHP法进行科学的赋权;并对模型增加敏感性分析模块,综合考虑管理决策者、企业、公众等不同

决策者对于能量、环境、经济三因素的不同意愿,从而建立模块化程度高、赋权公平、应用灵活的能源系统全生命周期能量、环境、经济多目标耦合评价模型。研究通过对 LCC 及 LCA 整合方法的探究,模型实现了生命周期能源、环境及经济指标的平行分析;而后,通过改进的多目标决策方法,对三因素各指标进行了集成计算,并融入敏感性分析模块,从而达到了三因素耦合评价模型模块化程度高、赋权公平、应用灵活的目的。

三、生命周期评价应用平台建设

(一) 工业大数据应用技术国家工程实验室

依据国家发展和改革委员会办公厅文件(发改办高技[2017]152号)和北京市发展和改革委员会文件(京发改[2017]188号)“关于开展工业大数据应用技术国家工程实验室组建工作的通知”,北京工业大学联合中国质量认证中心、北京金隅股份有限公司、北京化工大学等单位共同建设工业大数据应用技术国家工程实验室。项目将充分利用各单位现有资源,在现有研发和试验条件基础上,建设集产学研用为一体,涵盖钢铁和有色冶金、建材和化工流程及大宗基础材料产品,以及关键零部件制造业全流程的生命周期多维质量管控和评价工程化技术的国家工程实验室,以支撑流程工业全链条的制造水平提升和高效低耗的绿色循环发展,满足经济社会发展和国家重大工程需求。

项目的主要任务是建立我国流程工业全生命周期大数据应用技术平台,建成流程工业及产品全生命周期的国际权威数据中

心；提供流程工业产品全生命周期大数据的高效管理和应用服务，促进产品全生命周期设计和柔性制造的智能化与集成化，为工业流程多目标优化与产品多维质量科学管控提供关键技术；打造一批流程工业大数据应用的行业领军企业，带动我国大宗基础材料和重大装备产品高性能化与节能减排发展；引领流程工业全生命周期多维管控的绿色发展，推动我国绿色制造体系建设。

（二）绿色制造生命周期大数据应用技术工程平台

绿色制造生命周期大数据应用技术工程平台依托工业大数据应用技术国家工程实验室，建立了适合我国国情的工业流程及产品多维评价方法与指标体系，实现了工业流程产品性能、资源消耗与环境影响指标体系的综合集成，建成了产品全生命周期绿色设计与评价技术平台，是国内最大的材料产品生命周期评价国家科学数据平台，网站访问量超过数十万次。平台发布的数据已应用于中国质量认证中心、中国建材工业规划研究院等国家级检验认证机构的标准制定和产品评估，服务于有色金属、建材等行业协会指导生产工艺改进、技术优选、制定国家/行业标准和准入条件以及企业生产线工艺设计和生产参数优化等，为典型复杂多组份材料产品的制备和开发由经验化向科学化、集成化转变提供了有力的技术支撑。

工程平台联合北京金隅集团，在固体废弃物处置生产线的基础上进一步研究了水泥窑协同处置固体废弃物技术，优化协同处置过程中污泥等废弃物预处理工艺、生产过程控制、产品质量控

制等技术，开发出了多种废弃物预处理工艺，大大提高了固废的处置量，降低了固废处置成本，为北京金隅集团处置工业固废提供了理论支持。利用工业大数据多维评价技术，指导低环境负荷的高强高耐久性水泥材料的制备，形成了自主技术体系，产品成功应用于北京地铁 4 号、5 号和 10 号线及京广铁路等多项国家重点工程；支撑了 3 项水泥清洁生产国家和行业标准的制定和修订；助力水泥厂实现了综合能耗降低 5%、总体温室效应降低 53.6%、不可再生资源消耗降低 2.2%；形成了年处理危险废弃物 5.1 万吨和城市污泥 20.2 万吨的硅酸盐胶凝材料制备技术体系，创经济效益 5 亿元以上，具有很好的市场推广前景。工程平台的产学研结合，提升了北京金隅集团在水泥行业的竞争力，推进了我国水泥窑处置固废工作的开展。由北京工业大学独立完成的“面向材料生产流程的环境负荷定量评价技术及应用”获得 2012 年国家科技进步二等奖。

（三）基于工业流程及产品全生命周期多维评价技术平台

北京工业大学与武汉理工大学等单位合作，建立了建筑材料绿色设计评价系统与水泥产品生命周期能耗分析系统，提出了重大工程建筑材料绿色设计方法，为利用非传统资源生产高性能建筑材料提供了理论和方法指导，解决了重大工程建筑材料生产造成的资源短缺、能源消耗、环境恶化的难题。形成了理论-支撑体系-技术实践相结合的材料绿色设计与应用原始创新体系，促进了废弃物的高效及安全利用。技术成果已在葛洲坝水泥有限公

司、湖北环宇化工有限公司等多家企业实现了产业化，近3年经济效益超过40亿元；相关产品已在湖北、广东、内蒙、四川等省的道路工程与水利工程中应用，实现吨胶结料综合能耗降低6%、总体温室效应降低7%、不可再生资源能耗降低10%。项目成果在交通与水利行业中的应用，既解决了优质建筑材料资源匮乏的难题，保护了环境，又提升了工程质量，降低了工程造价，具有极为广阔的推广应用前景。“基于绿色设计的高性能道路建筑材料制备与应用关键技术”成果，获得2015年度中国建材行业科技进步二等奖；“重大工程建筑材料绿色设计、制备与应用关键技术”获得2016年湖北省技术发明一等奖。

四、生命周期评价案例研究

随着生命周期理念被越来越广泛的接受，生命周期评价的应用正在向多个行业领域扩展。2016年1月至2017年11月，中国知网以生命周期评价为主题的案例研究论文超过四百篇，材料、建筑、能源依然是具有较多研究的方向。在材料领域中，钢铁、建材等具有较大生命周期环境负荷的领域依然是研究关注的重点；在建筑领域则更加侧重建筑结构对全生命周期环境负荷的影响；能源领域则开始更加注重水电、生物燃料等可再生能源。汽车领域的生命周期评价研究数量稳步增加，对于新能源汽车的研究开始获得越来越多的关注。同时，农林领域也开始有更多的研究人员关注生命周期评价方法。

黎瑶等人研究了外保温系统对建筑生命周期能耗的影响；刘

福成等人用生命周期评价方法分析了建筑用岩棉的环境影响及节能减排潜力；王强基于生命周期评价对化工建材产品做了碳足迹分析；刘洪强研究了钢铁生产过程的二氧化碳排放计算方法；高成康等人则分析了中国典型钢铁企业的环境负荷；曹晓明等人对包钢稀土钢进行了生命周期评价研究。

胡家航等人基于生命周期评价方法研究了井干式结构建筑环境影响；邱乾林对下钢结构与混凝土结构建筑的生命周期环境性能进行了对比分析；陈楠等人研究分析了结合 BIM 的工程项目全生命周期环境影响评价与决策方法；王卫锋等人以厦门某分拨交易中心为例研究了混凝土架构的可持续性；陈祺雅等人进行了寒冷地区农村住宅围护结构节能优化研究；韩晓莉等人研究了黄土沟壑地区典型窑洞建筑全生命周期碳排放计算方法。

丁宁等人分析了中国省级电力供应生命周期清单；樊金璐等人研究了我国煤炭行业全生命周期碳排放与碳流通；韩海忠等人对生物质型煤与褐煤进行了全生命周期对比研究；贾亚磊等人基于生命周期评价对风力发电、光伏发电及燃煤发电的环境负荷进行了分析；方位提出了基于生命周期评价的水力发电碳排放思路；杜海龙等人对长江上游某水电项目碳足迹进行了分析；吕子婷等人对稻壳热解提质制取生物油进行了生命周期分析；王斯一等人对生物质能源项目环境价值计量及潜在经济影响进行了分析；刘凯瑞等人研究了生物柴油全生命周期的能耗和环境排放评价；严军华等人对大豆油与地沟油制备生物柴油进行了全生命周期评

价。

冯超等人对中长期私人电动汽车规模化发展常规大气污染物排放进行了研究；梁炉等人对不同动力系统的插电式混合动力汽车全生命周期能耗和排放进行了对比分析；刘秀兰等人对纯电动汽车与其他类型汽车的技术经济进行了比较分析；沈万霞等人研究了轻型纯电动汽车生产和运行能耗及温室气体排放。对于汽车部件，刘凯辉等人对纯电动汽车驱动电机，赵明楠等人对汽车白车身，王兆君等人对汽车轮胎分别进行了生命周期研究。

曾永健等人对农村分布式资源化利用系统进行了生命周期评价；刘松等人对关中平原饲料作物生产的碳足迹及影响因素进行了研究；周祖鹏等人对广西桂林水稻种植进行了生命周期评价；王方等人对河北省曲周县不同时期夏玉米生产的环境代价进行了分析；杨肖等人以张掖市为例对干旱区绿洲制种玉米进行了生命周期环境影响评价研究；蔡宇杰等人对有机和常规苹果生产环境影响的生命周期评价比较研究；惠晓红等人和孔凡斌等人分别对湖北和江西的生猪养殖生命周期环境影响进行了分析；付晓洋等人研究了大黄鱼网箱养殖系统的碳足迹。

五、结束语

尽管我国生命周期评价的研究与应用起步较晚，但是在政府的引导和支持下，相关研究获得了非常快速的发展。国内的科研单位围绕生命周期评价方法开展了卓有成效的研究工作，并在取得了大量的成果，并开始逐渐从相对宽泛的理论研究转向更加具

体细分领域探索，并取得了优秀的成果，并应用到了具体的科研项目中。同时，各科研机构面向不同的领域里建立了具有各有特色的研究方法与数据积累。这些都为生命周期评价的进一步应用打下了坚实的基础。随着研究的深入以及应用的推进，生命周期评价工具将不断走向成熟，生命周期评价将获得更加广泛的应用，成为推动我国制造业调整结构、转型升级、提质增效的有力推手。