

生命周期评价在政策环评中的应用 ——以海水淡化政策环评为例

苏丽娟¹, 杨轶婷¹, 徐鹤^{1,2}, 吴婧¹

1. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350; 2. 南开大学生态文明研究院, 天津 300350

摘要: 生命周期评价(LCA)作为定量分析产品(或服务)全生命周期环境影响的重要研究工具之一,广泛应用于政府管理、工业企业等部门,在环境管理及决策规划方面具有突出贡献。基于LCA方法与我国政策环评工作,探索了LCA方法在政策环评中的应用,介绍了将LCA应用于海水淡化政策环评中的定性及定量分析方法。研究发现,LCA在聚焦产业发展的计划类政策评价中具有很强的适用性。在开展该类政策环评工作时,可以采用LCA评估政策及其替代方案的环境影响,从而有针对性地提出减缓不良环境影响的政策优化建议。

关键词: 环境影响评价; 政策环评; 生命周期评价; 海水淡化

DOI: 10.14068/j.ceia.2022.05.004

中图分类号: X828 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-6444(2022)05-0017-06

Application of Life Cycle Assessment in Policy Environmental Impact Assessment: A Case Study of Desalination of Seawater Policy Environmental Impact Assessment

SU Lijuan¹, YANG Yiting¹, XU He^{1,2}, WU Jing¹

1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China;

2. Research Institute of Ecological Civilization, Nankai University, Tianjin 300350, China

Abstract: Life Cycle Assessment (LCA), as one of the important research tools to quantitatively analyze the environmental impact of products (or services) throughout their life cycle, is widely used in government management, industrial enterprises units, and has made outstanding contributions in environmental management and decision-making and planning. Based on the LCA method and current status of Chinese policy Environmental Impact Assessment (EIA) work, the application of the LCA method in policy EIA is explored, and the qualitative and quantitative analysis methods of LCA applied in the EIA of desalination of seawater policy is introduced. It is found that LCA has strong applicability in the plan-based policies focusing on industrial development. When conducting the EIA of such policies, LCA can be used to assess the environmental impacts of the policies and their alternatives, so as to make targeted policy optimization suggestions to mitigate the adverse environmental impacts.

Keywords: Environmental Impact Assessment (EIA); policy EIA; Life Cycle Assessment (LCA); desalination of seawater

我国当前处于实现碳达峰、碳中和(以下简称“双碳”)目标的关键时期,相关部门将出台大量的

有关碳污同治的政策,政策在出台和实施前应考虑到资源消耗和环境影响问题。开展政策环境影响评价(以下简称“政策环评”)工作,对政策及其替代方案开展系统评估,提出政策优化调整建议,可以有效降低政策实施产生的环境风险,实现经济与环境的协调发展。目前,我国开展的政策环评工作主要针对政策产生的环境影响开展定性分析,侧重于对政策环评机制的研究,而有关政策环评技术方法

收稿日期: 2022-07-14

基金项目: 重大经济、技术政策生态环境影响分析试点项目

作者简介: 苏丽娟(2000—),女,河南南阳人,在读硕士生,研究方向为环境评价与规划, E-mail: xifengwangsu@163.com

通讯作者: 徐鹤(1971—),男,黑龙江鹤岗人,教授,博士,研究方向为战略环境评价, E-mail: seacenter@nankai.edu.cn

的研究较浅,在实践中尚不能实现定性与定量分析的有机结合^[1]。因此,有必要深入探索政策环评的方法学,完善现有政策环评技术体系,为政策环评工作的开展提供技术支撑。生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)从全生命周期的系统视角出发,评估产品或服务对环境产生的潜在影响,可用于评估政策在制定及实施过程中产生的环境影响,并将评价结果应用于决策中,确保在决策前控制或减少环境污染与生态破坏。本文探索 LCA 在政策环评中应用的技术路线与方法,并对海水淡化政策环评中应用 LCA 进行案例分析,以期为我国政策环评工作的完善提供经验参考。

1 LCA 与政策环评

LCA 是环境管理领域重要的研究工具之一。它是对贯穿产品(或服务)生命周期全过程——从获取原材料、生产、使用直至最终处置的环境因素及其潜在影响的研究^[2]。该方法可应用于战略部署、公共政策等方面,能够评估产品(或服务)全生命周期对环境的潜在负荷,是进行工艺改进,提高能源利用率、减少废弃物产生,从而实现可持续发展的有效方法。LCA 除了被广泛用于评估产品(或服务)生命周期影响外,还用于评估建设项目、区域和规划环评。

近年来,我国一直在积极推进政策环评的规范化工作。在 2014 年新修订的《中华人民共和国环境保护法》(以下简称《环境保护法》)中增加了政策环评的概念^[3],2019 年国务院发布的《重大行政决策程序暂行条例》规范了重大行政决策程序,该条例和《环境保护法》为我国政策环评工作的开展提供了法律依据^[4]。“十三五”期间,生态环境部组织环境工程评估中心、清华大学等单位针对区域、产业等典型政策开展政策环评研究。2020 年生态环境部印发《经济、技术政策生态环境影响分析技术指南(试行)》,提出了适用于政策环评的技术方法、内容框架和成果要求^[5]。在学术研究方面,蔡守秋^[6]、耿海清等^[1]对我国开展环评的必要性进行了讨论;徐鹤^[7]、庄汉^[8]等对政策环评的程序设计进行了探讨;任景明^[9]、毛显强^[10]等针对我国农业政策、贸易政策开展了政策环评案例研究。总体来说,

我国当前的政策环评研究多关注于定义和程序等方面,且采用定性研究方法居多,评价结果的不确定性较高,现有的政策环评技术支撑体系不足,需加强技术方法的研究。

政策环评是对政策可能产生的环境影响进行分析、评价以及预测的过程^[11]。政策环评要对政策的全生命周期,即对政策的颁布、实施直至废止全过程进行环境影响分析、评价和预测^[12-13]。这与注重全生命周期过程的 LCA 方法不谋而合,目前 Björklund 等^[14]、Wu 等^[15]将 LCA 运用于政策环评步骤中,探讨了 LCA 在备选政策的确定、范围确定及影响评价等过程中的作用。LCA 用于政策环评具有重要意义,主要表现在以下几个方面:一是有助于政策环境影响识别,可以明确政策实施可能带来的环境风险类别;二是可以量化政策实施的生态环境影响风险,有助于预测政策实施的环境影响程度;三是通过 LCA 结果分析,明确政策整个生命周期不同阶段的环境影响,评估政策不同阶段产生的环境影响并优化改进导致不利环境影响较严重的政策内容。

2 LCA 在政策环评中的应用

政策环评与 LCA 过程相辅相成、相互作用。LCA 可以作为一种技术手段应用于政策环评过程中,以达到定量评估政策生态环境影响的目的。对政策内容、目标的分析有助于 LCA 目标范围的确定,政策环评的影响识别过程有助于 LCA 目标范围及清单的确定,LCA 的清单分析、影响评价及解释阶段共同构成了政策环评的影响评价部分,LCA 的解释过程也可以为政策环评的建议部分提供参考。LCA 应用于政策环评的技术路线见图 1。

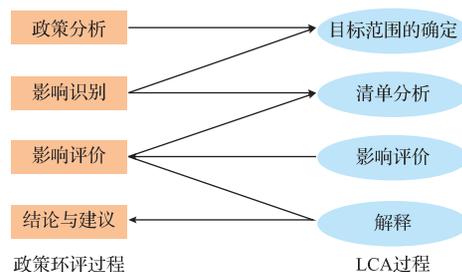


图 1 LCA 应用于政策环评的技术路线

Fig. 1 The technical route of LCA applied to policy EIA

2.1 政策要素分析

政策要素分析主要包括对政策目标、政策内容及目标政策与环境政策相符性的分析。该部分通过对目标政策的系统分析，确定政策实施的目标及意义。政策目标是政策制定和实施所要实现的目的，往往具有多样性。通过对政策内容的分析，确定政策内容的合理性，以及政策中哪些内容可能导致环境影响，从而确定政策环评的范围。通过前面两部分确定的政策目标和政策内容，将目标政策与当前我国的环境政策进行对比，明确政策目标与环境目标是否存在冲突。尤其在当下，我国全面进入“双碳”目标约束下的发展阶段，政策的实施要尽量符合“双碳”目标等环境目标。这一过程也是初步对政策环境影响进行定性分析的过程。

2.2 政策环境影响识别

基于政策要素的分析进一步进行政策环境影响识别，确定政策主要通过哪些方面对环境产生影响，从而确定政策对环境产生影响的机制。如政策是通过影响资源消耗、增加/减少污染物排放、扩大产能等对环境产生影响，这有助于 LCA 边界范围的确定并且为清单分析阶段收集的数据分类提供参考。除此之外，这一步骤也是确定评价类别的关键。依据政策对环境产生影响的机制，识别出环境影响的类型，结合 LCA 评价方法中 CML2001 模型的环境影响指标，选定适用政策环评的评价指标。

2.3 环境影响评价

环境影响评价是政策环评的核心环节，在该环节中采用不同的评估方法对政策制定及实施产生的环境影响进行定性及定量评价。LCA 主要应用于政策环评的影响评价环节，评估政策可能产生的环境影响。在该阶段需要借助情景分析与 LCA 相结合的方法对政策的环境影响进行量化。依据政策产生环境影响的内容及识别出的环境影响类别设立不同情景^[16]，根据不同情景的物质、能源等输入及产品、污染物等输出开展清单收集，基于清单收集的数据使用软件进行量化。最后对 LCA 量化结果进行分析，明确政策实施的有利环境影响，同时对不良环境影响提出减缓方案或就替代方案提供反馈。但 LCA 可能存在无法兼顾所有环境影响类别的不足，

因此有必要借助其他定性分析方法予以补充。

3 LCA 在海水淡化政策环评中的应用案例

《海水淡化利用发展行动计划(2021—2025 年)》(以下简称《行动计划》)是“十四五”期间海水淡化产业发展的纲领性政策。海水淡化产业是目前我国耗能较高的产业，同时也是实现淡水资源增量的重要产业，是实现国家水资源安全的核心产业，有必要对该政策实施产生的环境影响进行量化分析。因此，该案例借助政策环境影响分析这一工具，基于 LCA 从全生命周期的视角对《行动计划》的生态环境影响进行量化分析，明确《行动计划》指引下海水淡化产业发展未来可能产生的生态环境影响，并就减缓负面生态环境影响提出切实可行的政策建议，助力海水淡化产业的低碳化、清洁化发展。

3.1 政策要素分析及环境影响识别

以海水淡化工程为切入点分析目标政策环境影响机理。政策主要通过影响工程规模、技术及布局来对资源环境产生影响(见图 2)。

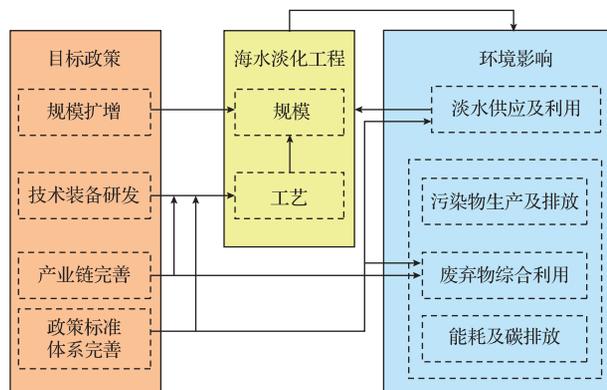


图 2 目标政策环境影响机理

Fig. 2 Target policy environment impact's mechanism

政策可能产生的环境影响分析如下。

(1) 政策可通过影响海水淡化产业的规模及工艺(设备、材料等)对资源环境直接产生影响。

(2) 政策可通过影响海水淡化的需求(利用)影响海水淡化产业的发展，进而影响资源环境。

(3) 可以通过激励性政策或措施的出台促进海水淡化产业规模的扩大及工艺的升级，从而对资源环境产生影响。

(4)政策从减少海水淡化产业资源环境影响的角度,就相关资源环境问题从产业发展及标准体系完善两方面提出了一定的要求,有利于改善相关资源环境问题。

3.2 环境影响评价

基于以上对政策环境影响机理的分析,本研究运用 LCA 评估规模化扩增海水淡化工程不同工艺、不同能源所产生的环境影响。在 LCA 研究中,确定研究范围及环境影响评价指标是其关键步骤。LCA 过程的研究边界见图 3,选取能源消耗、碳排放量以及浓盐水排放量进行评价。

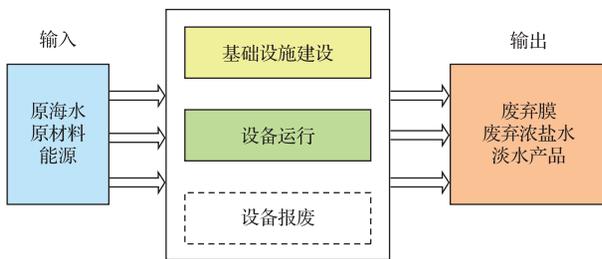


图 3 LCA 过程的研究边界

Fig. 3 Research boundary of LCA process

由于政策是通过影响海水淡化工程的规模与工艺从而对环境产生影响,政策中规定未来海水淡化规模要扩增 125 t/d,而未对技术的选择进行明确规定。本研究基于低温多效(MED)和反渗透(RO)两种工艺的不同占比设立 4 种情景,每种情景又依据传统火电和清洁能源占比的不同设立 3 种子情景,见表 1。

其中情景 1 设立 100% MED 工艺,情景 4 设立 100% RO 工艺,情景 1 和情景 4 属于两种极端情景;情景 2 设立当前 MED 工艺与 RO 工艺的不同占比;情景 3 设立未来政策约束下 MED 工艺与 RO 工艺的可能占比。3 种子情景中,子情景 1 假设能源全部由火力发电提供;子情景 2、子情景 3 分别依据 2020 年我国的能源消费结构、“十四五”规划中预计的 2025 年我国电力结构占比进行设定。

依据以上设定情景进行计算,得到能耗、浓盐水排放及碳排放新增情况,见图 4。MED 工艺每生产 1 m³ 淡水的能耗约为 18.5 kW·h,RO 工艺每生产 1 m³ 淡水的能耗约为 3.8 kW·h。RO 工艺的能耗远低于 MED 工艺,因此 RO 工艺的占比越高,能耗越

低。提高 RO 工艺以及清洁能源的占比,将大幅度减少海水淡化的能耗和碳排放。然而,RO 工艺的浓盐水排放比例较高,过高的 RO 工艺占比会带来较多的浓盐水排放,由此可能会增加浓盐水的处理难度。

表 1 海水淡化政策不同工艺、能源占比情景设立

Table 1 Scenarios based on different processes and energy shares of desalination of seawater policy

情景	子情景	工艺占比	电力结构占比	
			火力发电	清洁能源发电
1	1.1		100%	0
	1.2	100% MED 工艺	71.16%	28.84%
	1.3		60%	40%
2	2.1		100%	0
	2.2	36.11% MED 工艺 63.89% RO 工艺	71.16%	28.84%
	2.3		60%	40%
3	3.1		100%	0
	3.2	15% MED 工艺 85% RO 工艺	71.16%	28.84%
	3.3		60%	40%
4	4.1		100%	0
	4.2	100% RO 工艺	71.16%	28.84%
	4.3		60%	40%

为减少海水淡化工艺的能源消耗及环境影响,考虑从改变供能方式、预处理方法和末端废弃物处置方法的途径优化海水淡化工艺。如开发利用清洁能源、采用蒸汽联产提高能源利用效率是减少化石燃料燃烧、减少二氧化碳排放的重要途径;优化进水的预处理环节是减少海水淡化对环境负面影响的有效途径;将末端废弃物如废弃膜和浓盐水妥善处

>>基于 LCA 从全生命周期的视角对《行动计划》进行量化分析,助力海水淡化产业的低碳化、清洁化发展。



理也是减缓海水淡化环境影响的重要环节。

3.3 结论与建议

从LCA的结果来看,政策提出的规模扩增所产生的负面影响主要体现在两方面:一是作为高耗能产业,海水淡化产业的规模化增加将带来能耗的增加并直接或间接增加碳排放;二是伴随着海水淡化产业的规模化增加,浓盐水的产生量将明显增加。当前我国全面进入“双碳”目标约束下的发展时期,虽然促进海水淡化大规模发展的《行动计划》与“双碳”政策存在一定的冲突,但不论是水资源的增加还是“双碳”目标的实现,都是目前发展需要遵循的发展规则。“双碳”目标对海水淡化产业而言不仅是挑战也是机遇,可以倒逼海水淡化产业通过工艺升级、技术装备革新实现产业的低碳化发展,

做到水资源稳定供应和节能降碳的平衡。在当下浓盐水综合利用水平较低且成本、工艺、技术局限性较强的现实约束下,浓盐水短期内通过稀释排海、直接排海等方式处理的可能性非常高,大规模浓盐水的排海可能会对海洋生态环境造成规模化效应及长期累积效应,影响海洋生态环境的质量及海洋生态系统的稳定性。未来可以从绿色预处理、能源供应绿色化及加强废弃物综合利用三方面着力降低海水淡化产业的负面环境影响。

基于以上结论,对政策提出以下优化建议。

(1)增加海水淡化产业尤其是海水淡化工程布局的相关政策内容。在充分分析海水淡化工程现有布局的基础上,基于各地淡水资源需求以及淡水供应现状,从资源环境禀赋和环境质量现状出发,列出海水淡化产业布局优先名录,引导海水淡化产业合理布局。

(2)强化与海水淡化节能降耗相关的政策措施。海水淡化产业作为高耗能产业,其未来的发展在实现淡水资源有效供给的同时,还应遵循“双碳”目标及相关约束。未来政策应增加促进海水淡化产业低碳化发展的具体内容,可从强化海水淡化产业低碳化技术、加强低碳化管理、统筹考虑需求及清洁能源布局等方面入手提出具体的政策举措。

4 结语

LCA适用于明确的计划类政策。计划类政策具有两个鲜明的特点:一是聚焦于某一具体行业(或产业)发展的计划;二是具有明确的资源环境目标。LCA在聚焦于此类产业发展的计划类政策的生态环境影响分析中具有较强的适用性,是促进行业/产业政策低碳化、清洁化调整的重要工具。对于决策中的政策,可以采用LCA评估不同政策替代方案的环境影响,从而筛选出基于生态环境视角考量的最优方案,为政策决策提供支撑。对于已经实行的政策,可以在评估政策实施可能带来的环境影响的同时,为减缓政策实施可能产生的环境影响,从工艺升级和流程优化的视角提出切实可行的建议。因此,未来政府在制定政策时可以考虑针对不同类型的政策开展政策环评试点^[17],形成一批可复制、可推广的案例库。为充分发挥政策环评中LCA定量评价环境

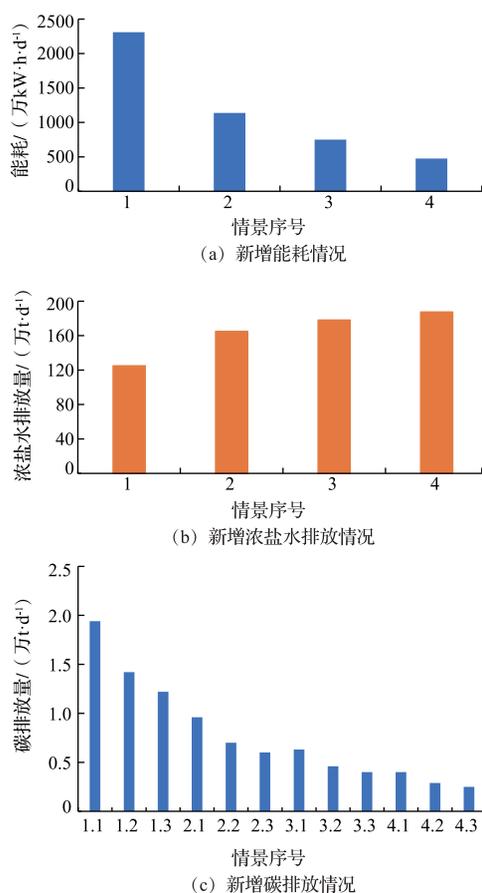


图4 海水淡化政策不同情景下的能耗、浓盐水排放及碳排放新增情况

Fig. 4 Addition energy consumption, concentrated brine discharge and carbon emission under different scenarios of desalination of seawater policy

影响的优势,未来建议探索将该方法应用于未发布政策,从而实现源头预防不良环境影响。由于LCA用于政策环评时存在环境影响类别不够全面的局限,需要开展与其他定性分析方法结合的相关研究^[18],在实践中进一步健全我国政策环评技术支撑体系,推进我国新时期政策环评发展。

参考文献(References):

- [1] 耿海清,李天威,徐鹤.我国开展政策环评的必要性及其基本框架研究[J].中国环境管理,2019,11(6):23-27.
- [2] 段宁.生命周期评价在矿产资源开发利用规划环评中的应用[D].武汉:中国地质大学,2009.
- [3] 汪自书,谢丹,李洋阳,等.“十四五”时期我国环境影响评价体系优化探讨[J].环境影响评价,2021,43(1):7-12,16.
- [4] 耿海清,任景明,李天威.中国开展政策战略环境评价的关键问题探讨[C]//中国环境科学学会学术年会论文集(第一卷).深圳:中国环境科学学会学术年会,2015.
- [5] 生态环境部.生态环境部环评司有关负责人就《经济、技术政策生态环境影响分析技术指南(试行)》有关问题答记者问[EB/OL].(2020-11-10)[2022-06-14].https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk15/202011/t20201110_807290.html.
- [6] 蔡守秋.论健全环评法律制度的几个问题[J].环境污染与防治,2009,31(12):6.
- [7] 徐鹤,朱坦,吴婧.天津市污水资源化政策的战略环境评价[J].上海环境科学,2003,22(4):241-245.
- [8] 庄汉.我国政策环评制度的构建:以新《环境保护法》第14条为中心[J].中国地质大学学报(社会科学版),2015,15(6):46-52.
- [9] 任景明,喻元秀,王如松.中国农业政策环境影响初步分析[J].中国农学通报,2009,25(15):223-229.
- [10] 毛显强,宋鹏.探路中国政策环评:贸易政策领域先行实践[J].环境保护,2014,42(1):37-40.
- [11] 徐鹤,陈永勤,林健枝,等.中国战略环境评价理论与实践[M].北京:科学出版社,2010.
- [12] 马晓利.基于产业低碳化发展的产业政策战略环境评价研究[D].天津:南开大学,2012.
- [13] 王彬辉,郑福田.台湾科学园区政策环评执行现况与检视[J].环境影响评价,2016,38(5):23-26,34.
- [14] BJÖRKLUND A E, FINNVEDEN G. Life cycle assessment of a national policy proposal - the case of a Swedish waste incineration tax[J]. Waste Manage, 2007, 27(8): 1046-1058.
- [15] WU Y Y, MA H W. Analysis of strategic environmental assessment in Taiwan energy policy and potential for integration with life cycle assessment[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2018, 71: 1-11.
- [16] BORGHINO N, CORSON M, NITSCHELM L, et al. Contribution of LCA to decision making: A scenario analysis in territorial agricultural production systems [J]. Journal of Environmental Management, 2021, 287, 112288.
- [17] 陆中杜,李巍.重大经济、技术政策环境影响分析要点与建议[J].环境影响评价,2022,44(5):6-11.
- [18] 李苗,耿海清,安镛霏,等.我国政策环评技术体系建设的问题与对策研究[J].环境影响评价,2022,44(5):1-5.