

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20230214001

胡俊杰, 赵静, 葛海虹, 等. 美国替代品评估方法及其对我国新污染物治理的启示[J]. 生态毒理学报, 2023, 18(6): 68-78

Hu J J, Zhao J, Ge H H, et al. Chemical alternatives assessment in the United States and its implications for new pollutants control in China [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2023, 18(6): 68-78 (in Chinese)

美国替代品评估方法及其对我国新污染物治理的启示

胡俊杰, 赵静, 葛海虹, 潘寻, 李仓敏*

生态环境部固体废物与化学品管理技术中心, 北京 100029

收稿日期: 2023-02-14 录用日期: 2023-10-06

摘要: 国际社会日益关注生态环境与健康风险防控, 积极推动绿色替代技术创新, 新污染物治理、化学品全过程生态环境风险防控和各种绿色替代材料开发成为发达国家生态环境管理和研究重点。本文系统梳理了美国面向环境设计的替代品评估方法, 阐述分析了评估指标、分级标准、数据来源以及替代评估原则和步骤等, 从服务我国新污染物治理的角度总结分析了美国环境设计替代品评估方法的参考价值。本研究可为我国有毒有害化学物质环境管理和新污染物治理工作中建立新污染物绿色替代技术及评估体系提供借鉴。

关键词: 替代品评估; 新污染物治理; 化学品环境管理

文章编号: 1673-5897(2023)6-068-11 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Chemical Alternatives Assessment in the United States and Its Implications for New Pollutants Control in China

Hu Junjie, Zhao Jing, Ge Haihong, Pan Xun, Li Cangmin*

Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China

Received 14 February 2023 accepted 6 October 2023

Abstract: The international community has paid increasing attention to the prevention and control of ecological environment and health risks. Up to now, the development of green alternative technologies and materials, control of new pollutants, and the prevention and control of ecological environment risks in the whole service life of chemicals have become the focus of ecological environment management and research in developed countries. To promote the substitution of toxic and harmful chemicals in China, this paper systematically sorts out the evaluation methods of alternatives for environmental design in the United States, and elaborates the evaluation indicators, classification standards, data sources, as well as the principles and steps of alternative evaluation. In addition, this paper summarizes and analyzes the reference value of the evaluation methods of alternatives for environmental design in the United States from the perspective of new pollutants control in China. This study can provide references for the establishment of green alternative technology and assessment system of new pollutants in the environmental management of toxic and harmful chemicals and the control of new pollutants in China.

基金项目: 第二期长江生态环境保护修复联合研究项目“长江流域新污染物环境风险防控技术研究”(2022-LHYJ-02-0202); 国家重点研发计划“危险废物全过程环境风险评估技术方法研究”课题(2018YFC1902801)

第一作者: 胡俊杰(1981—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为化学品环境管理技术与政策, E-mail: hujunjie@meescc.cn

* 通信作者 (Corresponding author), E-mail: licangmin@meescc.cn

Keywords: chemical alternatives assessment; new pollutants control; environmental management of chemicals

化学品的生产使用为我们创造了丰富多彩的现代生活,但是也带来了潜在的环境和健康风险。如何以更安全的方式使用化学品,减少化学品对生态环境和人体健康的风险,是化学品管理领域亟待解决的问题之一^[1]。2022年5月,我国国务院办公厅印发《新污染物治理行动方案》(国办发〔2022〕15号)^[2],明确提出要推动将有毒有害化学物质的替代和排放控制要求纳入绿色产品、绿色园区、绿色工厂和绿色供应链等绿色制造标准体系。《“十四五”生态环境领域科技创新专项规划》指出更加关注生态环境与健康风险防控,积极推动绿色替代技术创新是国际生态环境科技发展趋势,各类新型污染物治理、危险废物全生命周期生态环境管理、化学品全过程生态环境风险防控、各种绿色替代材料和功能材料开发成为发达国家生态环境管理和研究重点。规划把加强新污染物有关化学品的绿色替代标准与技术创新列为该规划具体发展目标,把化学品优先排序及分级分类、绿色替代合成技术列为新污染物治理的重点任务^[3]。

近年来,多国政府和非政府组织以白皮书、报告和文章等形式发布了替代品评估框架、指导文件,如美国环境保护局(United States Environmental Protection Agency, US EPA)环境设计计划、欧洲化学品管理局关于准备授权申请指南以及美国马萨诸塞大学洛厄尔分校洛厄尔可持续生产中心替代品评估框架等都从化学品管理角度提出如何开展替代品评估^[4-7]。多数替代品评估方法没有披露替代品评估的危害标准阈值、危害终点优先级和化学物质生命周期关注点等信息。为促进我国有毒有害化学物质替代品评估,本文重点研究了US EPA环境设计计划的替代品评估方法,对其评估指标、分级标准、数据来源、评估原则和评估流程等内容进行分析,以期为我国环境友好型化学替代品研发,推动从源头减少、消除或预防有毒有害化学物质污染提供技术参考。

1 面向环境设计的替代品评估 (Design for the environment alternatives assessments)

《有毒物质控制法》(TSCA)是美国通用的化学品控制法,授权US EPA采取行动解决目前市场上化学品对公众健康或环境造成的不合理风险。根据TSCA规定,对于经评估确认对健康或环境构

成不合理风险的化学物质,US EPA将采取禁止、限制、禁止或控制加工方式或处置方式、风险交流、信息传递等风险管理措施。风险管理决策时,应考虑到替代品可用性、成本费用及其他相关问题。

环境设计(Design for the Environment, DfE)计划是一个自愿性行动计划,属于US EPA污染防治和毒物办公室(Office of Pollution Prevention and Toxics, OPPT)职责。DfE计划替代品评估是美国化学品行动计划和化学品风险管理行动的主要组成部分,是一种多方利益相关者合作伙伴关系,通过评估优先化学品和替代品为行业和其他利益相关者提供了选择更安全化学品所需的信息,促进企业、州、部落和公众开发、生产、供应、购买和使用更安全、更绿色的化学品,最大限度地减少从潜在问题化学品转向可能更危险替代品的可能性^[5]。

DfE计划替代品评估是对于所需功能的知情替代评估,基于全方位的人类健康和环境信息来描述化学危害,将全生命周期思维纳入化学品决策,分析评估替代品从化学品制造、使用到产品制造、使用和处置等全生命周期各阶段危害,确保替代品对人体健康和生态环境更安全。评估替代品整个生命周期中关键暴露点的危害,可以更全面地考虑消费者、工人和环境的接触途径。

2 替代品评估标准 (Alternatives assessment criteria)

DfE计划的替代品评估方法提供了一套化学品比较评估的危害终点,为选择更安全的替代品提供信息。在预期类似的产品和化学品使用模式下,可以认为暴露是一个常数,通过减少化学危害来降低风险。通常,不必开展完整的替代品全生命周期评估,因该成本太高^[8]。

围绕描述替代品危害的人体健康和环境信息,分别从评估指标、分级标准、数据来源和选择等方面^[9]进行说明。

2.1 评估指标

替代评估的核心是对一组可靠的危害终点进行评估。危害评估指标主要分为3类:(1)健康毒理学指标,如急性哺乳动物毒性、致癌性、致突变性、生殖发育毒性、神经毒性、重复剂量毒性、致敏性、腐蚀刺激性等;(2)生态毒理学和环境行为指标,如水生生

物毒性、持久性、生物累积性等;(3)理化指标,如爆炸物、自反应性、氧化性、与水接触释放易燃气体等。评估指标涵盖所有相关暴露途径,包括经口、经皮和吸入以及其他可能存在暴露途径,如经胎盘传输、哺乳期转移以及腹膜内或皮下注射等。

此外,对于非常规指标,表征化学品的标准和数据较为有限。如果可用于区分替代方案且数据可用,可在替代评估方案中酌情添加,如鸟类毒性、表观遗传毒性、富营养化、全球变暖潜能值、哺乳期或经胎盘移植、遗传多样性/生物多样性的丧失、非目标植物毒性、特定靶器官毒性-单次暴露、环境介质中的流动性、臭氧形成、野生动物发育障碍、野生动物生长障碍、野生动物生存障碍、野生动物生殖障碍和免疫毒性等指标。

2.2 分级标准

作为评估和区分替代品的透明工具,DfE 计划基于危害评估指标制定了一套替代评估标准,多数危害终点给出了极高、高、中等和低等危害分级。急性哺乳动物毒性、生殖发育毒性、致癌性、致突变性/遗传毒性、神经毒性、重复剂量毒性、致敏性、刺激性/腐蚀性等对人类健康影响的评估指标及其对应的分级标准具体如表1所示,水生毒性、生物累积性、环境持久性等环境毒性和环境行为的评估指标及其分级标准具体如表2所示,爆炸物、自反应物质、与水接触时释放易燃气体的物质、氧化性气体、氧化性液体和固体、有机过氧化物、自热物质、对金属有腐蚀性的物质等物理危害的评估指标及分类标准等具体如表3所示。

2.3 数据来源和选取

US EPA 开展替代品评估过程中收集替代品的危害信息主要有5个数据来源:(1)从文献综述中获得公开的测试数据;(2)US EPA 收到的机密商业信息中包含的测试数据;(3)基于US EPA 污染预防框架和可持续未来预测方法的结构-活性关系(SAR)估算数据;(4)具有数十年化学审评经验的US EPA 科学专家的专业判断;(5)化学品制造商提供的实验研究中的机密数据。

评估主要以现有最佳数据为基础,数据采用优先顺序为:被评估化学品的测试数据>经适当模拟的测试数据>来自适当模型的估算数据。US EPA 专家评估测试数据和估算数据的质量和可靠性。如果评估物质没有合适的类似物或者合适的类似物缺乏测试数据,且该物质或其类似物无法建模,也无法

评估危险指标,按无数据处理。

3 替代品评估原则和评估流程 (Principles and process of alternatives assessment)

为保障替代品评估有用,DfE 计划的替代品评估需要把握7项主要原则:(1)评估的替代品应具有可获得性;(2)替代品的使用在技术上可行;(3)与被替代品相比,替代品在成本和性能方面至少价值相当或者更具优势;(4)替代品应能改善人体健康和生态环境状况;(5)替代方案应考虑社会经济因素;(6)利益相关者有兴趣参与DfE 计划;(7)替代后应有可能带来持久改善^[8]。

基于上述7项原则,替代品评估过程包括研究替代评估可行性、收集替代品信息、召集利益相关者、制定替代方案、替代危害评估、经济和生命周期分析、支持化学替代品决策等7个步骤^[5]。

3.1 研究替代评估可行性

替代评估目的是为寻找比受关注化学品更安全的替代品,由行业或消费者要求、政策或监管等驱动。替代评估需要考虑替代品在商业上可用且成本可行,具有改善健康和环境状况的潜力,并可带来持久变化。此外,也需要考虑利益相关者的利益。

3.2 收集替代品信息

为了全面了解受关注化学品和潜在替代品,收集其在结构、功能、性能,化学制造过程,包括生产原料和污染物或生产残留物,以及产品功能用途的范围等信息。基于上述信息分析和初步的利益攸方协商,DfE 计划制定拟议项目范围和替代评估的方法。

3.3 召集利益相关者

利益相关者涉及受关注化学品的整个供应链和所有生命周期阶段,包括化学品制造商、产品制造商、非政府组织、政府机构、学者、零售商、消费者、废物处理和回收公司等。利益相关者整体参与有助于确保利益相关者为评估做出贡献、理解和支持,提高可信度并促进相关方采用更安全的替代方案。

3.4 确定可行的替代方案

通过文献审查和与利益相关者的讨论,收集一系列潜在替代方案的可行性信息,重点是寻找对制造过程干扰最小的可行替代方案。为了确定最可能的替代方案,还可能与化学品和产品制造商进行可行性论证。

表 1 对人类健康影响的评估指标及其分类标准
Table 1 Assessment indicators and classification criteria for human health effects

评估指标 Assessment indicators	分类标准 Classification criteria				
	极高 Very high	高 High	中 Moderate	低 Low	极低 Very low
急性哺乳动物毒性 Acute mammalian toxicity	经口 LD ₅₀ /(mg·kg ⁻¹) Oral LD ₅₀ /(mg·kg ⁻¹)	≤50	50 ~ 300	300 ~ 2 000	>2 000
	经皮 LD ₅₀ /(mg·kg ⁻¹) Dermal LD ₅₀ /(mg·kg ⁻¹)	≤200	200 ~ 1 000	1 000 ~ 2 000	>2 000
	吸入 LC ₅₀ (蒸气/气体)/(mg·L ⁻¹) Inhalation LC ₅₀ (vapor/gas)/(mg·L ⁻¹)	≤2	2 ~ 10	10 ~ 20	>20
	吸入 LC ₅₀ (粉尘/雾气/烟雾)/(mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹) Inhalation LC ₅₀ (dust/mist/fume)/(mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	≤0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 5	>5
	经口 ED ₅₀ /(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹) Oral ED ₅₀ /(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	<50	50 ~ 250	250 ~ 1 000	>1 000
	经皮 ED ₅₀ /(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹) Dermal ED ₅₀ /(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	<100	100 ~ 500	500 ~ 2 000	>2 000
	吸入 EC ₅₀ (蒸气/气体)/(mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹) Inhalation EC ₅₀ (vapor/gas)/(mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	<1	1 ~ 2.5	2.5 ~ 20	>20
	吸入 EC ₅₀ (粉尘/雾气/烟雾)/(mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹) Inhalation EC ₅₀ (dust/mist/fume)/(mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	<0.1	0.1 ~ 0.5	0.5 ~ 5	>5
	致癌性 Carcinogenicity	已知或推定的人类致癌物(全球化学品统一分类和标签制度 1A 和 1B 类) Known or presumed human carcinogen (equivalent to Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals Category 1A and 1B)	疑似人类致癌物(相当于 GHS 第 2 类) Suspected human carcinogen (equivalent to GHS Category 2)	动物致癌性证据有限或微不足道(人类证据不足) Limited or marginal evidence of carcinogenicity in animals (inadequate evidence in humans)	阴性研究或基于稳健机制的 SAR Negative studies or robust mechanism-based SAR

续表1

评估指标 Assessment indicators	分类标准 Classification criteria						
	极高 Very high	高 High	中 Moderate	低 Low	极低 Very low		
神经毒性 Neurotoxicity	吸入 EC ₅₀ (粉尘/雾气/烟雾) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)(每天 暴露总时长 6 h)	90 d	-	<0.02	0.02 ~ 0.2	>0.2	-
	Inhalation EC ₅₀ (dust/mist/fume) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	40 ~ 50 d	-	<0.04	0.04 ~ 0.4	>0.4	-
	(Total exposure time is 6 h per day)	28 d	-	<0.06	0.06 ~ 0.6	>0.6	-
	经口 ED ₅₀ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	90 d	-	<10	10 ~ 100	>100	-
	口服 ED ₅₀ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	40 ~ 50 d	-	<20	20 ~ 200	>200	-
重复剂量毒性 Repeated dose toxicity	经皮 ED ₅₀ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	28 d	-	<30	30 ~ 300	>300	-
	吸入 EC ₅₀ (蒸气/气体) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	90 d	-	<20	20 ~ 200	>200	-
	(每天暴露总时长 6 h)	40 ~ 50 d	-	<40	40 ~ 400	>400	-
	Inhalation EC ₅₀ (vapor/gas) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	28 d	-	<60	60 ~ 600	>600	-
	(Total exposure time is 6 h per day)	90 d	-	<0.2	0.2 ~ 1.0	>1.0	-
神经毒性 Neurotoxicity	吸入 EC ₅₀ (粉尘/雾气/ 烟雾) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹) (每天暴露总时长 6 h)	90 d	-	<0.2	0.02 ~ 0.2	>0.2	-
	Inhalation EC ₅₀ (dust/mist/fume) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)(Total exposure time is 6 h per day)	40 ~ 50 d	-	<0.4	0.04 ~ 0.4	>0.4	-
	(Total exposure time is 6 h per day)	28 d	-	<0.6	0.6 ~ 3.0	>3.0	-
	吸入 EC ₅₀ (粉尘/雾气/ 烟雾) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	90 d	-	<0.02	0.02 ~ 0.2	>0.2	-
	(每天暴露总时长 6 h)	40 ~ 50 d	-	<0.04	0.04 ~ 0.4	>0.4	-
重复剂量毒性 Repeated dose toxicity	Inhalation EC ₅₀ (vapor/gas) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	28 d	-	<0.6	0.6 ~ 3.0	>3.0	-
	(Total exposure time is 6 h per day)	90 d	-	<0.2	0.2 ~ 1.0	>1.0	-
	吸入 EC ₅₀ (蒸气/气体) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	90 d	-	<0.2	0.2 ~ 1.0	>1.0	-
	(每天暴露总时长 6 h)	40 ~ 50 d	-	<0.4	0.4 ~ 2.0	>2.0	-
	Inhalation EC ₅₀ (vapor/gas) (mg·L ⁻¹ ·d ⁻¹)	28 d	-	<60	60 ~ 600	>600	-

续表1

评估指标 Assessment indicators	分类标准 Classification criteria				
	极高 Very high	高 High	中 Moderate	低 Low	极低 Very low
皮肤致敏性 Skin sensitization	-	人类高致敏频率和/或基于动物测试存在高致敏发生可能(GHS 1A 类) High frequency of sensitization in humans and/or high potency in animals (GHS Category 1A)	人类低至中等致敏频率和/或根据动物实验存在低至中等致敏发生可能(GHS 1B 类) Low to moderate frequency of sensitization in human and/or low to moderate potency in animals (GHS Category 1B)	充足可用数据,不是 GHS 1A 或 1B 类 Adequate data available and not GHS Category 1A or 1B	-
致敏性 Sensitization		基于动物或其他测试在人类中发生或人类致敏的证据(GHS 1A 和 1B 类) Occurrence in humans or evidence of sensitization in humans based on animal or other tests (equivalent to GHS Category 1A and 1B)	存在警示结构等有限证据 Limited evidence including the presence of structural alerts	充足的数据表明缺乏呼吸道致敏 Adequate data available indicating lack of respiratory sensitization	-
眼刺激性/腐蚀性 Eye irritation/Corrosivity	刺激持续>21 d 或具有腐蚀性 Irritation persists for > 21 d or corrosive	8 ~ 21 d 清除,严重刺激 Clearing in 8 ~ 21 d, severely irritating	7 d 或更短时间内清除,中度刺激 Clearing in 7 d or less, moderately irritating	24 h 内清除,轻度刺激 Clearing in less than 24 h, mildly irritating	无刺激性 Not irritating
刺激性/腐蚀性 Irritation/Corrosivity		72 h 严重刺激 Severe irritation at 72 h	72 h 中度刺激 Moderate irritation at 72 h	72 h 时轻度或轻微刺激 Mild or slight irritation at 72 h	无刺激性 Not irritating

注: LC₅₀ 表示半数致死浓度, LD₅₀ 表示半数致死剂量, ED₅₀ 表示半数效应剂量, EC₅₀ 表示半数效应浓度; -表示无此类。

Note: LC₅₀ stands for median lethal concentration; LD₅₀ stands for median lethal dose; ED₅₀ stands for median effect dose; EC₅₀ stands for median effect concentration; - stands for no such category.

表 2 环境毒性和环境行为的影响评估指标及分类标准

Table 2 Assessment indicators and classification criteria for environmental toxicity and fate

评估指标 Assessment indicators	分类标准 Classification criteria				
	Very high 极高	High 高	Moderate 中	Low 低	Very low 极低
水生毒性 Aquatic toxicity	急性水生毒性 Acute aquatic toxicity (LC ₅₀ or EC ₅₀)/(mg·L ⁻¹)				
	<1.0	1 ~ 10	10 ~ 100	>100	-
生物累积性 Bioaccumulation	慢性水生毒性 Chronic aquatic toxicity (NOEC or LOEC)/(mg·L ⁻¹)				
	<0.1	0.1 ~ 1	1 ~ 10	>10	-
环境持久性 Environmental persistence	BAF/BCF				
	>5 000	5 000 ~ 1 000	1 000 ~ 100	<100	-
环境持久性 Environmental persistence	log BAF/BCF				
	>3.7	3.7 ~ 3	3 ~ 2	<2	-
环境持久性 Environmental persistence	在水、土壤或沉积物中的持久性 Persistence in water, soil or sediment				
	半衰期>180 d 或难生物降解物 Half-life >180 d or recalcitrant	半衰期为 60 ~ 180 d Half-life of 60 ~ 180 d	60 d>半衰期≥16 d Half-life < 60 d, but ≥ 16 d	半衰期<16 d 或通过快速生物降解性测试,不含 10 d 窗口期 Half-life < 16 d OR passes ready biodegradability test not including the 10 d window	通过含 10 d 窗口期的快速生物降解性测试 Passes ready biodegradability test with 10 d window
环境持久性 Environmental persistence	空气中的持久性 Persistence in air				
	对于该指标,不适用高/中/低等分类标准,应对已有数据进行定性评估 For this endpoint, High/Moderate/Low etc. characterizations will not apply; a qualitative assessment of available data will be prepared				

注: NOEC 表示无可观察效应浓度, LOEC 表示最低可观察效应浓度, BAF 表示生物蓄积系数, BCF 表示生物浓缩系数。

Note: NOEC stands for no observed effect concentration; LOEC stands for lowest observed effect concentration; BAF stands for bioaccumulation factor; BCF stands for bioconcentration factor.

表 3 物理危害等评估指标及分类标准
Table 3 Other assessment indicators and classification standards such as physical hazards

评估指标 Assessment indicators	分类标准 Classification criteria			
	Very high 极高	High 高	Moderate 中	Low 低
爆炸物 Explosives	GHS 不稳定的爆炸物 GHS unstable explosive	GHS 爆炸物 1.1 类(大规模爆炸危险)、 1.2 类(严重投射危险)或 1.3 类(火灾、 爆炸危险或投射危险) GHS Explosive Division 1.1 (mass explo- sion hazard), 1.2 (severe projection ha- zard), or 1.3 (fire, blast hazard or projec- tion hazard)	GHS 爆炸物 1.4 类(火灾或投射危险)或 1.5 类(可能在火灾中发生大规模爆炸) GHS Explosive Division 1.4 (fire or pro- jection hazard), or 1.5 (may mass explode in fire)	GHS 爆炸物 1.6 类(没有大规模爆炸危 险的极不敏感物品)或不可被 GHS 归 为爆炸物 GHS Explosive Division 1.6 (extremely insensitive articles with no mass explo- sion hazard) or not classifiable as an ex- plosive by GHS
自反应物质 Self-reactive substances	GHS A 型(爆炸/迅速爆燃)或 B 型(可能 发生热爆炸) GHS Type A (detonates/deflagrates rapid- ly) or B (liable to undergo thermal explo- sion)	GHS C 型(具有爆炸性)或 D 型(在密闭 中加热时部分引爆) GHS Type C (possesses explosive pro- perties) or D (detonates partially when heated in confinement)	GHS E 型(在密闭中加热时不引爆)或 F 型(密闭加热时无影响,不爆炸) GHS Type E (does not detonate when heated in confinement) or F (no effect when heated in confinement, not explo- sive)	GHS G 型(热稳定)或 GHS 非此类 GHS Type G (thermally stable) or GHS not classified
遇水放出易燃气体的物质 Substances which on contact with water emit flammable gases	GHS 类别 1 GHS Category 1	GHS 类别 2 GHS Category 2	GHS 类别 3 GHS Category 3	GHS 非此类 GHS not classified
氧化性气体 Oxidizing gases	-	GHS 类别 1 GHS Category 1	-	GHS 非此类 GHS not classified
氧化性液体和固体 Oxidizing liquids and solids	GHS 类别 1 GHS Category 1	GHS 类别 2 GHS Category 2	GHS 类别 3 GHS Category 3	GHS 非此类 GHS not classified
有机过氧化物 Organic peroxides	GHS A 或 B 型 GHS Type A or B	GHS C 或 D 型 GHS Type C or D	GHS E 或 F 型 GHS Type E or F	GHS G 型或非此类 GHS Type G or not classified
自热物质 Self-heating substances	-	GHS 类别 1 GHS Category 1	GHS 类别 2 GHS Category 2	GHS 非此类 GHS not classified
对金属有腐蚀性的物质 Substances corrosive to metal	-	-	GHS 类别 1 GHS Category 1	GHS 非此类 GHS not classified
	-	-	GHS 类别 1 GHS Category 1	GHS 非此类 GHS not classified

3.5 替代品危害评估

替代评估的核心是对一组可靠的危害终点进行评估。根据文献中可获得或可以建模的最佳数据,为每种替代品的一系列终点分配了高、中、低等危害关注水平的描述符,包括急性和重复剂量毒性、致癌性和致突变性、生殖和发育毒性、神经毒性、致敏和刺激、急性和慢性水生毒性、持久性和生物累积性,也包括潜在内分泌活动的定性描述。当危害终点的测试数据不可用或者信息不足时,根据结构-活性关系和专家判断确定危害关注级别,确保在评估中考虑所有危害终点,并尽可能全面地了解其人类健康和环境特征来评估替代品。最有指导意义的危害终点是可以揭示关注化学品和潜在替代品之间毒性差异的终点,从而为区分是否更安全提供依据。

3.6 经济和生命周期分析

分析替代品使用成本和相关的潜在经济影响,以及可能使化学品、制造工艺和做法更安全的替代技术,连同替代品危害评估以及可能引起特殊暴露问题的制造过程、使用模式和生命周期阶段,形成一份告知利益相关者、公众和决策者的报告。

3.7 支持化学替代品决策

替代品评估综合了功能、危害评估、经济 and 全生命周期考虑以及以促进行业和其他方面的决策,将评估结果应用于支撑获得更安全化学替代品的决策。

4 对我国新污染物治理的启示 (Implications for new pollutants control in China)

新污染物治理是一项系统工程,涵盖有毒有害化学物质危害测试、环境风险评估、绿色替代品研发推广、产业政策调整等多个方面。《新污染物治理行动方案》关注石化、涂料、纺织印染、橡胶、农药、医药等行业绿色替代,提出在长江、黄河等流域和重点饮用水水源地周边,京津冀、长三角、珠三角等区域,选取一批重点企业和工业园区开展新污染物治理试点工程,形成一批有毒有害化学物质绿色替代示范技术,并鼓励有条件的地方制定激励政策,推动企业开展替代技术和替代产品研发和推广应用。

替代品的开发不仅要考虑经济可行性和使用功效,还要考虑到环境可接受性,以及对生产者、使用者和消费者的安全性。替代品评估是根据危害、暴露、性能和经济可行性来识别、比较和选择更安全的替代品的过程。与在用化学品相比,更安全的替代品代表了一种对人体健康和环境危害更小的选择。通过替代品评估,可帮助利益攸关方确定可能对人

类和生态健康更为友好的化学品,从源头替代有毒有害化学物质,减少新污染物的产生。

美国 DfE 计划应用替代品评估方法已指导化学品向更安全的替代品过渡,如家具泡沫中阻燃剂五溴二苯醚、清洁产品中使用的溶剂、表面活性剂和香料等成分^[5,8]。DfE 计划在选择更安全的替代品方面奠定了评估方法和实践基础。(1)将受关注化学品的整个供应链和所有生命周期阶段的利益相关者召集在一起,在评估和选择更安全的替代方案时发挥作用,提高评估可信性的同时,也可促进替代品实际应用;(2)把风险意识和生命周期管理结合起来,有效实现对高风险化学品的管理,可作为指导未来化学品风险管理和创新的关键工具;(3)在预期类似的产品和化学品使用模式的情况下,对每种替代方案进行简化评估、减少全面风险评估方面具有重要的参考价值。

加强新污染物治理是提升绿色制造水平、增加绿色产品有效供给的重要举措,是持续改善生态环境质量、有效防控有毒有害化学物质的环境风险、切实保障生态环境安全和人民群众身体健康安全的重要抓手,也是实现绿色高质量发展与高水平生态环境保护相协调的必然要求。加大对替代品和替代技术的支持,将为我调整产业结构、促进清洁生产、发展循环经济和建设环境友好型社会提供新的契机。

通信作者简介:李仓敏(1982—),女,硕士,高级工程师,主要研究方向为化学品环境管理政策。

参考文献 (References):

- [1] 王亚韡,梁勇,麻东慧,等.加强高风险化学品全生命周期风险管控,促进环境友好型替代品研发[J].中国科学院院刊,2020,35(11):1351-1357
Wang Y W, Liang Y, Ma D H, et al. Strengthen risk management and control of high-risk chemicals, promote development of environmentally friendly alternatives [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(11): 1351-1357 (in Chinese)
- [2] 中共中央国务院办公厅.中共中央国务院办公厅关于印发新污染物治理行动方案的通知[EB/OL]. (2022-05-04) [2023-02-13]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-05/24/content_5692059.htm
- [3] 中国科学技术部,中国生态环境部,中国住房和城乡建设部,中国气象局,中国国家林业和草原局.关于印发《“十四五”生态环境领域科技创新专项规划》的通知

- [EB/OL]. (2022-05-04) [2023-02013]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-11/02/content_5723769.htm
- [4] Jacobs M M, Malloy T F, Tickner J A, et al. Alternatives assessment frameworks: Research needs for the informed substitution of hazardous chemicals [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2016, 124(3): 265-280
- [5] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Design for the environment alternatives assessments [EB/OL]. [2023-02-13]. <https://www.epa.gov/safer-choice/design-environment-alternatives-assessments>
- [6] European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on the preparation of an application for authorisation [EB/OL]. [2023-08-13]. https://www.echa.europa.eu/documents/10162/17235/authorisation_application_en.pdf/8f8fdb30-707b-4b2f-946f-f4405c64cdc7?t=1610458546310
- [7] Rossi M, Tickner J, Geiser K. Alternatives assessment framework of the Lowell center for sustainable production [EB/OL]. [2023-08-13]. <http://www.chemicalspolicy.org/downloads/FinalAltsAssess06.pdf#:~:text=The%20Lowell%20Center%20for%20Sustainable%20Production%20has%20developed,alternatives%20to%20chemicals%2C%20materials%2C%20and%20products%20of%20concern>
- [8] Lavoie E T, Heine L G, Holder H, et al. Chemical alternatives assessment: Enabling substitution to safer chemicals [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44(24): 9244-9249
- [9] Office of Pollution Prevention & Toxics of US EPA. Design for the Environment Program Alternatives Assessment Criteria for Hazard Evaluation (Version 2.0) [EB/OL]. [2023-02-13]. <https://www.epa.gov/saferchoice/alternatives-assessment-criteria-hazard-evaluation> ◆