

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20210728001

王蕾, 汪贞, 古文, 等. 欧美日化学物质环境排放场景体系对比及启示(上)[J]. 生态毒理学报, 2021, 16(6): 26-36

Wang L, Wang Z, Gu W, et al. Comparative study and enlightenment on chemical environmental emission scenarios in Europe, America and Japan (part 1) [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2021, 16(6): 26-36 (in Chinese)

欧美日化学物质环境排放场景体系对比及启示(上)

王蕾, 汪贞, 古文, 范德玲, 周林军*, 刘济宁, 石利利[#]

生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042

收稿日期: 2021-07-28 录用日期: 2021-11-14

摘要: 化学物质源排放评估是环境风险评估的首要步骤, 环境排放场景作为源排放评估的重要技术工具, 已在欧美日等发达国家和地区广泛应用。本文结合化学物质环境风险评估技术要求, 系统解析了欧美日化学物质环境排放场景框架, 深入阐述了基于排放场景的源排放评估方法。在整个技术体系方面, 欧美是化学品环境排放评估的先行者, 相应的技术和模型更加丰富, 评估结果更趋精细化; 日本则在欧盟的基础上采取相对简化的保守评估方法, 缺少高层级的精细化排放评估模型。在具体排放评估技术方面, 基于模型的排放评估场景是各国重点发展和依托的手段。借鉴发达国家成功经验, 建立并完善排放评估场景体系必将成为我国化学物质环境风险管理的重要内容。

关键词: 化学物质; 源排放; 环境排放场景; 环境风险评估

文章编号: 1673-5897(2021)6-026-11 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Comparative Study and Enlightenment on Chemical Environmental Emission Scenarios in Europe, America and Japan (Part 1)

Wang Lei, Wang Zhen, Gu Wen, Fan Deling, Zhou Linjun*, Liu Jining, Shi Lili[#]

Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Nanjing 210042, China

Received 28 July 2021 accepted 14 November 2021

Abstract: To estimate the source emission is the first step of the chemical environmental risk assessment. As an important technical tool for the source release estimation, environmental emission scenarios have been widely applied in developed countries or regions, such as European Union (EU), USA and Japan. In consideration of the technical requirement of the chemical environmental risk assessment, the frame of environmental emission scenarios in EU, USA and Japan was systematically analyzed. Regards to the overall frame, the corresponding technologies and models of EU and USA are more abundant, and their assessment results are more refined. Japan, on the other hand, adopts a relatively simplified conservative assessment method based on that of EU, lacking a high-level refined emission assessment model. In terms of specific emission assessment technologies, model-based emission assessment scenarios are the key tools in the developed countries. Establishing and perfecting the emission assessment

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFC1801502)

第一作者: 王蕾(1983—), 女, 博士研究生, 研究方向为化学品环境风险评估, E-mail: wanglei@nies.org

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: zhoulj@nies.org

[#] 共同通讯作者 (Co-corresponding author), E-mail: sll@nies.org

scenario system based on the experience of developed countries will become an important content of environmental risk management of chemicals in China.

Keywords: chemicals; source emission; environmental emission scenario; environmental risk assessment

暴露评估是化学物质风险评估的重要内容之一,主要目的是评估化学物质对环境受体或人体的暴露浓度或剂量,一般可以用实测法和模型法进行评估^[1-2]。所谓实测法,是基于对暴露点浓度、频率的实际检测来表征暴露水平;所谓模型法是基于暴露场景将暴露量、暴露频率、周期等与暴露剂量关联,间接进行暴露评估,也称场景评估^[3]。其中排放场景是确定生产、配制、加工、个人使用及回收/处置过程中化学物质进入水、气和固废等介质的排放量的一系列条件,包括源排放条件、排放途径、生产过程和使用类型等^[4],属于暴露场景的一部分。

排放场景不仅能用来评估其生产、加工使用和废弃处置过程中向环境排放化学物质情况,而且能够用于对比化学物质及其替代品的风险情况,在污染物释放和转移登记(pollutant release and transfer register, PRTR)中估算化学物质排放量,化学物质排放途径的定性判断也有助于危害评估中识别重点评估对象,还有利于管理部门、上下游企业、消费者在化学物质环境暴露方面的信息共享和交流^[4]。

欧美发达国家或地区自20世纪90年代就开始开发化学物质环境排放场景,目前已经构建起比较系统的环境排放场景技术体系。日本环境排放场景主要参考欧盟方法建立,但在评估方法等方面做出一定调整。整体而言,欧美日均已建立了层级化的化学物质环境排放场景技术体系,设置了各层级排放估值原则,确立了从保守评估到接近实际排放评估的逐层精细化递进模式,满足了迭代风险评估的需求。但由于化学品环境管理法规、技术框架设计及理论方法的差异,欧美日环境排放场景技术体系在拥有共性框架结构的同时,在模型预测方法及构建原理、结果表征方法、场景内容等方面还存在一定差异。鉴于我国目前尚未建立系统的环境排放场景技术体系,深入调研欧美日发达国家或地区的环境排放场景体系,解析相关场景体系的差异及适用性,对于我国构建环境排放场景技术体系具有重要借鉴意义。

1 欧盟(European Union, EU)

为了支持新化学物质风险评估指令(93/67/EEC)和现有化学物质风险评估法规(EC No. 1488/94),欧

盟早在1996年就制订了指导新化学物质和现有化学物质环境风险评估的技术导则^[1]。后来根据已经完成的100余种现有化学物质和数百种新化学物质环境风险评估的实际经验,欧洲化学品管理局(European Chemicals Bureau, ECB)修订发布了化学物质风险评估技术导则^[1.5-7],该导则进一步满足了生物杀灭剂售卖指令(98/8/EC)下生物杀灭剂的风险评估要求。除了实测法之外,该导则给出了2种排放预测方法,即A-B表法(第3章附件I)和排放场景文件(Emission Scenario Documents, ESDs)法(第7章),并且规定在缺少目标化学物质实际的生产、加工使用等信息时,优先使用ESDs法评估化学物质排放量^[1]。

为了梳理排放源类型,根据新化学物质登记法规实施首个7年内欧盟新化学物质登记的用途和功能,欧盟确立了化学品生产使用相关的行业类型(Industrial Categories, IC)、功能/使用类型(Function/Use Categories, FC/UC)清单。同时根据现有化学物质的优先级设定和风险评估框架,又增加了用以描述化学物质使用相关的暴露条件的主要类型(Main Categories, MC)清单,IC、FC/UC和MC被认为是化学物质固有特性之外能够影响化学物质环境排放的主要因素^[1],可以作为排放场景的主要描述符。目前,IC、FC分别包括16种和55种类型,MC主要包括密闭系统内使用、添加到物品内部或表面、非分散性使用和广泛分散使用4种类型^[1]。其中A-B表法覆盖了所有的行业类型,而ESDs法当时仅发布了化工合成、个人/家庭及公共领域等10个行业领域的9种工业化学物质ESDs,后续新建立的其他行业ESDs主要通过经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)发布(表1)。

2008年欧洲化学品管理局(European Chemicals Agency, ECHA)替代ECB开展化学物质风险评估与管理工作。为配合《化学品注册、评估、许可和限制》(Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, REACH)法规的实施,ECHA新颁布了化学物质用途描述^[8]、暴露场景中的风险控制措施和操作条件^[9]、职业暴露评估^[10]、消费者暴露评估^[11]和环境暴露评估^[12]等系列技术指南文件,

表1 经济合作与发展组织(OECD)发布的排放场景文件
Table 1 Emission scenario documents published by Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

序号 No.	文件名称 Guidance documents	文件编号 Document number
1	排放场景文件指导文件(2000) Guidance Document on Emission Scenario Documents (2000)	ENV/JM/MONO(2000)12
2	木材防腐剂(2013) Wood Preservatives (2013)	ENV/JM/MONO(2013)21
3	塑料添加剂的排放场景文件(2004,2009 修订) Plastic Additives (2004, revised in 2009)	ENV/JM/MONO(2004)8/REV1
4	水处理化学物质的排放场景文件(2004) Water Treatment Chemicals (2004)	ENV/JM/MONO(2004)9
5	胶片冲洗行业的排放场景文件(2004) Photographic Industry (2004)	ENV/JM/MONO(2004)10
6	橡胶添加剂的排放场景文件(2004) Rubber Additives (2004)	ENV/JM/MONO(2004)11
7	纺织整理的排放场景文件(2004) Textile Finishing (2004)	ENV/JM/MONO(2004)12
8	皮革加工的排放场景文件(2004) Leather Processing (2004)	ENV/JM/MONO(2004)13
9	半导体制造业中光致抗蚀剂使用的排放场景文件(2004,2010 修订) Photoresist Use in Semiconductor Manufacturing (2004, revised in 2010)	ENV/JM/MONO(2004)14/REV1
10	润滑油和润滑油添加剂的排放场景文件(2004) Lubricants and Lubricant Additives (2004)	ENV/JM/MONO(2004)21
11	汽车喷涂的排放场景文件(2004,2011 修订) Automotive Spray Application (2004, revised in 2011)	ENV/JM/MONO(2004)22/REV1
12	金属加工的排放场景文件(2004) Metal Finishing (2004)	ENV/JM/MONO(2004)23
13	防污剂排放场景文件的主要文件(2005) Antifoulants (2005)	ENV/JM/MONO(2005)8
14	畜禽棚舍和粪便存储系统中杀虫剂的排放场景文件(2006) Insecticides for Stables and Manure Storage Systems (2006)	ENV/JM/MONO(2006)4
15	牛皮纸浆厂的排放场景文件(2006) Kraft Pulp Mills (2006)	ENV/JM/MONO(2006)7
16	非集成造纸厂的排放场景文件(2006) Non-Integrated Paper Mills (2006)	ENV/JM/MONO(2006)8
17	回收纸造纸厂的排放场景文件(2006) Recovered Paper Mills (2006)	ENV/JM/MONO(2006)9
18	家庭用和专业用杀虫剂、除螨剂和用于控制其他节肢类动物的药物的排放场景文件(2008) Insecticides, Acaricides and Products to Control other Arthropods for Household and Professional Uses (2008)	ENV/JM/MONO(2008)14
19	排放场景文件编写的补充指南:“服务阶段”(2008) Complementing Guideline for Writing ESDs: The Life-cycle Step “Service-life” (2008)	ENV/JM/MONO(2008)41
20	粘胶剂配方的排放场景文件(2009) Adhesive Formulation (2009)	ENV/JM/MONO(2009)3
21	辐射固化涂料、油墨和粘合剂配方的排放场景文件(2009) Formulation of Radiation Curable Coatings, Inks and Adhesives (2009)	ENV/JM/MONO(2009)2
22	涂料工业(油漆、涂料和清漆)的排放场景文件(2009) Coating Industry (Paints, Lacquers and Varnishes) (2009)	ENV/JM/MONO(2009)24
23	纸浆、纸和纸板行业的排放场景文件(2009) Pulp, Paper and Board Industry (2009)	ENV/JM/MONO(2009)25
24	化学品运输和储存的排放场景文件(2009) Transport and Storage of Chemicals (2009)	ENV/JM/MONO(2009)26
25	电子产品行业化学物质的排放场景文件(2010) Chemicals Used in the Electronics Industry (2010)	ENV/JM/MONO(2010)37
26	商业和消费产品中香料的排放场景文件(2010) Blending of Fragrance Oils into Commercial and Consumer Products (2010)	ENV/JM/MONO(2010)38
27	辐射固化涂料、油墨和粘合剂的排放场景文件(2011) Radiation Curable Coating, Inks and Adhesives (2011)	ENV/JM/MONO(2011)17
28	金属加工液使用的排放场景文件(2011) Metalworking Fluids (2011)	ENV/JM/MONO(2011)18
29	工业和洗衣店水清洗用化学物质排放场景文件(2011) Water Based Washing Operations at Industrial and Institutional Laundries (2011)	ENV/JM/MONO(2011)19
30	化工行业排放场景文件(2011) Chemical Industry (2011)	ENV/JM/MONO(2011)49
31	油井作业所用化学物质排放场景文件(2012) Chemicals Used in Oil Well Production (2012)	ENV/JM/MONO(2012)7
32	热敏无碳复写纸的制造和应用(2014) Formulation and Application of Thermal and Carbonless Copy Paper (2014)	ENV/JM/MONO(2014)8

续表1

序号	文件名称	文件编号
No.	Guidance documents	Document number
33	工业清洗剂的工业使用(2015) Industrial Use of Industrial Cleaners (2015)	ENV/JM/MONO(2015)3
34	黏合剂的使用(2015) Use of Adhesives (2015)	ENV/JM/MON(2015)4
35	半导体行业的化学物质挥发沉降(2015) Chemicals Vapour Deposition in the Semiconductor Industry (2015)	ENV/JM/MONO(2015)5
36	纺织染料排放场景文件(2015) Emission Scenario Document (ESD) on the Use of Textile Dyes (2015)	ENV/JM/MONO(2015)50
	涂料行业排放场景补充文件:油漆溶剂在工业涂料中的应用(2015)	
37	Complementing Document for Emission Scenario Document (ESD) on Coating Industry: Application of Paint Solvents for Industrial Coating (2015)	ENV/JM/MONO(2015)51
	塑料添加剂:塑料添加剂在终端产品中的使用(2019)	
38	Complementing Document to the Emission Scenario Document on Plastic Additives: Plastic Additives during the Use of End Products (2019)	ENV/JM/MONO(2019)10
	汽车润滑油添加剂的使用(2020)	
39	Emission Scenario Document on Chemical Additives Used in Automotive Lubricants (2020)	ENV/JM/MONO(2020)28
	水成膜消防泡沫的使用(2021)	
40	Emission Scenario Document on the Use of Aqueous Film-Forming Foams in Firefighting (2021)	ENV/CBC/MONO(2021)5

其中环境暴露评估指南中再次明确了环境排放场景对于环境排放评估的支撑作用,同时将 A-B 表简化为一般环境排放类型(environmental release category, ERC)排放因子表,作为 ESDs 缺失时评估环境排放速率的保守默认值^[12]。值得注意的是,在环境排放场景方面,除了接受欧盟及 OECD 发布的 ESDs 外,环境暴露评估导则文件特别强调了特定环境排放类型 (Specific Environmental Release Categories, SPERCs)对环境排放评估的重要作用^[12]。

1.1 排放场景框架

欧盟化学物质环境排放评估考虑不同用途条件下化学物质通过不同途径进入不同空间范围的排放。特定用途的排放取决于操作条件(operating conditions, OCs;如温度、压强、设备的密闭性等)和风险管控措施。化学物质在不同用途条件下可以通过废水、废气、土壤、地下(适用直接进入地下的物质用途,如用于水力压裂的物质)和固体废弃物 5 种途径排放^[12]。

工业点源通过废水、废气排放的化学物质在局部和区域水平均予以考虑,直接排入土壤的化学物质仅在区域水平考虑,通过废气中化学物质的沉降以及污水处理厂处理相关废水后的活性污泥回用于农田造成的间接排放在局部水平考虑。对于个人/家庭消费等广泛分散特点的面源排放而言,其向大气和土壤的直接排放仅在区域尺度考虑,其通过生活废水进入污水处理厂(sewage treatment plant, STP)处理后的排放按照 STP 排放进行估算。对于 STP

这一特殊排放点源,其废气及通过土壤的排放参照工业点源排放处理,各类排放源排入 STP 的废水经处理后直接排入地表水,一般默认区域尺度上进入 STP 的废水占 80%^[12]。点源和面源产生的固体废物则通过回用或者专业固废处理处置机构进行处理,而这种固废处理处置机构又可以作为一类特殊的工业点源产生废水、废气等的排放^[13]。

在确定了排放场景的基础上,欧盟建立了局部和区域尺度的排放估算基本模型(式(1)和式(2)),对点源或面源排放均设定默认排放因子,该因子与点源、面源中化学物质的用量相乘得到该排放源的排放率。除此之外,欧盟还对涉及生物降解、化学转化等复杂过程的排放环节建立了专门的预测模型,如 STP Simple Treat 模型^[12]、固废处理处置排放模型^[13],从而构建起涵盖所有排放源的排放估算方法。

局部尺度排放率的计算^[12]

$$E_{\text{local},j} = Q_{\text{daily}} \cdot R_{\text{RF},j} \cdot 1000 \tag{1}$$

式中: $E_{\text{local},j}$ 为化学物质通过途径 j 在局部尺度的排放率($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$); Q_{daily} 为化学物质排放点源日用量或标准城镇日均用量($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$); $R_{\text{RF},j}$ 为化学物质排入环境介质 j 的排放因子(%或 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

区域尺度排放率计算公式^[12]

$$E_{\text{regional,IU},j} = Q_{\text{regional,daily,IU}} \cdot R_{\text{RF,IU},j} \cdot 1000 \tag{2}$$

式中: $E_{\text{regional,IU},j}$ 为化学物质的已知用途 IU 通过途径 j 在区域尺度的排放率($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$); $Q_{\text{regional,daily,IU}}$ 为化学物质已知用途 IU 的区域日均用量($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$);对于工业

点源,该用量为区域所有点源年用量除以时间(365 d);对于分散使用面源,该用量为区域年用量的10%除以时间(365 d); $R_{RF,IU,j}$ 为化学物质在已知用途IU上排入环境介质 j 的排放因子(%或 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

1.2 排放估算方法

欧盟现有化学物质排放评估方法主要包括A-B表法、ESDs法、ERCs法和SPERCs法。这些方法主要基于排放估算基本模型,并在不同程度上完善了排放场景相关参数。

A-B表法的核心内容是A表和B表2个数据集,1995年由欧盟在化学物质风险评估导则开发过程中提出,并于2003年纳入化学物质风险评估导则中发布,在缺少实际环境排放信息和环境排放场景的情况下供风险评估者参考使用。其中,A表列出的是化学物质向废水、废气、土壤和(或)固体废物中的排放因子,这些排放因子根据不同的IC、UC、MC、化学物质理化特性及产量/用量等因素设定;B表列出的是化学物质的环境排放周期、排放源区域占比等排放源规模参数^[1]。A-B表最早的来源是20世纪90年代的荷兰新化学物质风险评估系统^[14-15]和现有化学物质优先级设定系统^[16],列入ECB技术导则文件(Technical Guideline Document, TGD)时,增加了MC或特定使用类型等参数及相应的排放因子,增加了工业活动规模参数的B表以适用高产量物质(high production volume chemicals, HPVCs)的排放评估,同时新增了第16种工业类型——“engineering industries”。使用A-B表开展排放评估时,需要首先确认待评估化学物质生产使用场景所属的MC、IC和UC类别,据此查找A-B表,获得相应的排放因子、排放周期等参数,利用式(3)或式(4)进行计算。

化学物质生命周期 i 阶段局部尺度的排放速率^[1]

$$E_{\text{local},ij} = F_{\text{mainsource},i} \cdot \frac{1000}{T_{\text{emission},i}} \cdot R_{ij} \quad (3)$$

化学物质生命周期 i 阶段区域尺度的排放

$$E_{\text{regional},j} = \frac{1000}{365} \cdot \sum_{i=1}^6 R_{ij} \quad (4)$$

式中: $E_{\text{local},ij}$ 为化学物质生命周期 i 阶段在局部尺度向环境介质 j 的日排放率($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$); $E_{\text{regional},j}$ 为化学物质在区域尺度向环境介质 j 的年均总排放率($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$); $F_{\text{mainsource},i}$ 为化学物质生命周期 i 阶段局部主要排放源占比(量纲为1); $T_{\text{emission},i}$ 为化学物质生命周期 i 阶段的年排放时间($\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$); R_{ij} 为化学物质生命周

期 i 阶段向环境介质 j 的日排放量($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$),通过相应排放场景中化学物质生产使用量乘以相应的排放因子得到。

由此可见A-B表的排放估算公式主要是对排放估算基本模型进一步细化,增加了排放周期、排放源占比的考虑,使其能够适用HPVCs的排放评估。

ESDs法是基于ESDs文件规定的模型和参数进行排放评估的方法。这些ESDs文件由不同的成员国主管部门和相关行业组织在开展相关研究的基础上开发,并由OECD暴露评估工作组审核,主要反映实际最坏排放情形(常用90th位数)或者代表性排放情形下的排放浓度^[17],目前开发的ESDs文件如表1所示。ESDs对相应行业特定用途的化学物质排放环节和途径进行了更有针对性的详细分析,为了更加精确地估算排放量,有些ESDs中根据特定操作条件和工艺对排放估算基本模型进行了修正,并给出了相应参数默认值。如纺织整理ESDs文件^[18]印染过程中,浸染工艺处理排放废水中的化学物质排放量利用公式(5)计算, $Q_{\text{textile}} \times F_{\text{product}} \times Q_{\text{product}} \times C_{\text{substance}}$ 的结果即相当于基本模型中的 $Q_{\text{daily}} \cdot (1 - F_{\text{fixation}})$ 相当于基本模型中的排放因子,但公式(5)中的参数与纺织印染实际操作直接相关,更便于应用。

$$E_{\text{local water}} = Q_{\text{textile}} \times F_{\text{product}} \times Q_{\text{product}} \times C_{\text{substance}} \times (1 - F_{\text{fixation}}) \quad (5)$$

式中: $E_{\text{local water}}$ 为局部尺度的废水中化学物质日排放量($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$); Q_{textile} 为每日处理的纺织品量($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$); F_{product} 为含待评估化学物质的染料、助剂或基础化学品每日处理纺织品的比率(量纲为1); Q_{product} 为单位质量织物的染料、助剂或基础化学品用量($\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$); $C_{\text{substance}}$ 为制剂中有效成分质量含量($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$); F_{fixation} 为固着度(量纲为1)。

ERCs法属于一种保守的简化排放估算方法,包含12大类排放场景和排放因子,其中7类属于工业生产、配制和使用场景,5类属于广泛分散使用和物品耗损场景,未考虑固体废物利用处置场景。每一类场景的排放因子都是代表性用途的最高排放因子,取自于A表的一般性排放场景。为了确保排放因子设计的保守性,ERCs法假定未采取任何风险控制措施,在大气、水和土壤三相的分配过程也不考虑化学物质的理化特性^[12]。

SPERCs是对特定良好操作条件及该条件下化学物质向水、气、土和废物中的排放因子的描述,是由上下游行业性组织或相关研究机构共同开发,用

以根据行业实际情况修正基于最坏情况保守假设的 ERCs 排放因子^[1]。SPERCs 由欧洲化学工业委员会 (European Chemical Industry Council, Cefic) 统一组织开发管理, 目前已经吸引欧洲汽车工业协会、全球汽修国家贸易组织全球联合会等多个行业协会或研究机构开发了涂料在汽车工业的使用等 14 类用途的 SPERCs 文件(表 2)^[19], 成为 ECB ESDs 的有益补充。因此, SPERCs 和 ESDs 类似, 均属于环境排放场景; 然而由于现有 ESDs 主要基于实际最坏排放情形假设^[17], 因此其排放浓度预测结果一般比基于 SPERCs 的预测结果保守。

2 美国 (United States)

2.1 排放场景框架

美国环境保护局 (U.S. Environmental Protection Agency, US EPA) 认为暴露评估是估计或测量试剂发生暴露的强度、频率及持续时间, 以及种群发生暴露的规模和特征^[20], 暴露是应激源环境浓度、迁移和转化过程以及时间的函数。美国暴露评估概念框架始于化学物质的源排放, 经环境介质的迁移和转化、人体暴露, 最终导致一定生物效应和结局。因此源排放一般在暴露评估方案设计时同时考虑, 源排放影响的地理范围、待评估的环境介质等相关要素均根据评估目标、待评估排放源及受体情况、成本及其他限制因素等实际情况确定。

US EPA 根据排放特征将排放源分为点源和非点源, 从相对较小的区域或点释放化学物质的情形适用于点源排放, 如工厂烟囱、焚烧炉、锅炉和污水排管等的排放; 从多个小点源释放、或者是很大区域释放化学物质的情形适用于非点源排放, 如城市汽车尾气排放及农田农药施用排放。除此之外, US EPA 还根据暴露评估的需要定义了室内源、背景源。其中, 室内源包括室内燃料、建筑材料、家具、消费品等的使用以及室外挥发性化学物质或者放射性元素的侵入, 背景源指化学物质的存在背景, 包括自然本底含量水平(如地下水中的砷)以及具有远距离传输能力、能够持久存在于环境中的化学物质浓度(如多氯联苯、多环芳烃和汞)^[21]。

US EPA 推荐采用从筛选水平到具体场地模拟的 3 层次化学物质暴露评估策略, 评估的复杂性、成本随层级升高而升高。大多数化学品的评估都是以筛选水平及保守形式开展, 如果风险不可接受, 可再开展更高水平的暴露模拟确定更加准确的环境浓

度^[20]。作为工业源排放筛选水平暴露评估的支撑文件, 一般性排放场景描述了常用工业或商业操作, 并给出一系列相关过程的默认参数, 可评估相关操作导致化学物质向空气(有组织排放和无组织排放)、水或进入填埋、焚烧等处置设施的排放量, 以及职业暴露评估^[22]。在实际排放数据缺失时, 一般性场景可以保守预测化学物质的排放量和职业暴露量。目前, US EPA 开发了 60 个排放场景文件(表 3), 主要依据行业及操作类型^[22]进行分类, 同时考虑挥发性液体、非挥发性液体和固体的差异。US EPA 暴露场景文件不仅定义了化学品生产、使用过程中向水、气、土壤的排放量计算方法, 也定义了作业场所职业工人的吸入、经口、经皮暴露计算方法甚至暴露量。其中 12 份 US EPA 排放场景文件已转化为 OECD ESDs, 3 份已经形成 OECD ESDs 草案。

对于消费品中化学物质, US EPA 开发了筛选水平的消费者暴露评估场景, 包括一般消费品暴露场景和用户自定义的暴露场景, 其中包括了家用清洁剂、乳胶漆、衣物保护剂、喷涂剂、液体衣物消毒剂、固体空气清新剂、肥皂和机油等产品的暴露场景^[23]。但这些场景主要用于评估消费者经皮和吸入途径的暴露量, 未明确室内环境暴露量, 本文不再展开论述。

2.2 排放估算方法

对于工业源排放, US EPA 主要通过将生产场所的生产、加工操作过程(operation)逐个分解, 再识别出各个过程包含的活动(activity), 最后采用相关的环境排放模型或职业暴露模型预测各个活动的排放和暴露^[24]。对于排放源而言, 一般场景包含默认的排放源以及其中贡献率较为显著的排放途径的排放模型, 如转移、运输和设备清洗等操作产生的排放, 模型参数可以根据容器容量、化学物质状态等选择默认值, 同时允许根据实际操作或暴露条件选择其他替代模型或自定义新的模型。对于汽车喷涂、循环水冷凝和电镀等行业性的特征操作也预设了默认的特定排放源模型, 但这些模型一般不建议更改。

一般排放场景的排放计算方法包括单点源日排放量(D_{DR}) ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$) 和多点源年度排放量(A_{AR}) ($\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$) 的计算, 不同排放源的 A_{AR} 计算方法相同(公式(11)), 但 D_{DR} 有所不同。一般性的转移、运输和清洗过程主要采用公式(6)和公式(7)计算, 容器中化学物质向水中的排放适用于公式(8)。除此之外, 对于电镀行业的特征操作导致的气相和非气相排放量, 还制定专门的计算公式(9)和公式(10)^[24]。

单点源化学物质日排放量(D_{DR}) ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$) 计算公式包括式(6)~式(10):

空气排放模型:

$$D_{DR} = G \times O_{\text{OHa}} \times (3600 \text{ s} \cdot \text{h}^{-1}) / (1000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (6)$$

多介质排放模型:

$$D_{DR} = L_{LF} \times A_{\text{Amt1}} \quad (7)$$

水饱和损失排放模型:

$$D_{DR} = W_{\text{WSchem}} \times C_{\text{CF}} \times A_{\text{Amt2}} / 1000 \quad (8)$$

表2 已开发的特定环境排放类型 (SPERCs) 文件

Table 2 Specific environmental release categories (SPERCs) developed

名称 Title	开发者 Developer
涂料在汽车工业的使用 Industrial use of coatings in the automotive industry	欧洲汽车工业协会(ACEA) European Automobile Manufacturers' Association (ACEA)
涂料在汽修厂小范围工业使用 Small scale industrial use of coatings in car repair body shops	全球汽修国家贸易组织全球联合会(AIRC) Global Federation of National Trade Organisations in the Area of Vehicle Repairs (AIRC)
洗衣、清洁和保养产品的配制及工业使用和广泛分散使用 Formulation of and industrial and wide dispersive use of laundry, cleaning, and maintenance products	国际肥皂、洗涤剂和洗护产品协会(AISE) International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products (AISE)
涂料及油墨的配制和工业使用 Formulation of coatings and inks, industrial applications	欧洲油漆、印刷油墨、工业涂料和艺术颜料的生产者和用户联合会(CEPE) European Sector Group of the Producers and Users of Paints, Printing Inks, Industrial Coatings and Artists' Colors (CEPE)
个人护理产品的配制和广泛分散使用 Formulation of and wide dispersive use of personal care products	欧洲化妆品行业贸易联合会(Cosmetics Europe) European Trade Association of the Cosmetics Industry (Cosmetics Europe)
金属可剥涂层的工业使用(卷涂) Industrial use of coatings in strip coating of metals (coil coating)	欧洲预涂层金属生产商联合会(ECCA) European Trade Organization of Producers of Pre-coated Metal (ECCA)
植物保护产品中非活性组分的广泛分散使用 Wide dispersive use of non-active ingredients of plant protection products	欧洲作物保护协会(ECPA) European Crop Protection Association (ECPA)
建筑化学产品的配制和工业使用及广泛分散使用 Formulation of and industrial and wide dispersive uses of construction chemical products	欧洲建筑化学品联合会(EFCC) European Federation for Construction Chemicals (EFCC)
油漆和涂料在金属包装中的工业使用 Industrial uses of paints and coatings in metal packaging	欧洲金属包装(EMPAC) European Metal Packaging (EMPAC)
所有溶剂的使用 All uses of solvents	欧洲溶剂工业及下游用户联合会(ESIG/ESVOC) European Solvents Industry Group/Downstream Users of Solvents (ESIG/ES-VOC)
橡胶制品的生产 Manufacture of rubber products	欧洲轮胎和橡胶制造商联合会(ETRMA) European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (ETRMA)
胶黏剂和密封剂的配制及工业使用、广泛分散使用 Formulation of and industrial and wide dispersive uses of adhesives and sealants	欧盟胶黏剂和密封剂生产商联合会(FEICA) EU Federation of Adhesive and Sealant Manufacturers (FEICA)
金属及金属化合物的生产、配制和工业使用 Manufacturing, formulation and industrial uses of metal and metal compounds	欧洲金属工业联合会(Euro-metiaux) European Association of Metals (Euro-metiaux)
纺织整理化学品的工业使用 Industrial applications of textile treatment chemicals	纺织化学工业联合会及德国纺织工业协会(TEGEWA) Federation of the Textile Chemical Industry and German Textile Industry Federation (TEGEWA)

表 3 美国环境保护局(US EPA)一般排放场景
Table 3 Generic emission scenarios developed by United States Environmental Production Agency (US EPA)

名称 Title	文件形式 Publication number
半导体行业光刻 Photoresist use in semiconductor manufacturing	OECD ESD 9
涂料-汽车修复喷漆 Automotive spray application	OECD ESD11
胶粘剂配制和使用 Adhesive formulation, use of adhesives	OECD ESD 20 和 34
香精油在商品或消费品中的添加 Blending of fragrance oils into commercial and consumer products	OECD ESD26
辐射固化涂料、墨水和粘合剂 Radiation curable coating, inks and adhesives	OECD ESD 27
金属清洗和脱脂-金属加工液的使用 Metalworking fluids	OECD ESD 28
表面活性剂-专业洗衣店水洗 Water based washing operations at industrial and institutional laundries	OECD ESD29
油井开采 Chemicals used in oil well production	OECD ESD 31
热敏纸和无碳复写纸的生产和使用 Formulation and application of thermal and carbonless copy paper	OECD ESD32
半导体行业化学物质挥发沉降 Chemicals vapour deposition in the semiconductor industry	OECD ESD 35
纺织染料的使用 Use of textile dyes	OECD ESD 36
水成膜泡沫剂 Aqueous film-forming foams	OECD ESD draft
汽车润滑油添加剂 Chemical additives used in automotive lubricants	OECD ESD draft
挥发性脱脂剂的使用 Use of vapor degreasers	OECD ESD draft
生物加工 Bioprocessing; 电镀 Electrodeposition; 电镀金属处理 Electroplating for metal treatment; 皮革染色 Leather dyeing; 皮革鞣制 Leather tanning; 金属清洗和脱脂 Metal cleaning and degreasing; 金属制品和机械 Metals products and machinery; 矿石加工和矿物 Processing ores and minerals; 纸张染料生产和使用 Manufacture and use of paper dyes; 石油-钻井泥浆 Drilling muds; 石油-蒸汽吞吐法、蒸汽驱动和聚合物/表面活性剂复合驱动法 Steam stimulation, steam flooding and polymer/surfactant flooding; 石油冶炼、粗分、催化裂解 Petroleum refining processing, crude separation processes and catalytic cracking; 钻井加强和凝结 Well casing and cementing; 胶片生产 Manufacture of photographic film/ paper; 印刷电路板-材料制备 Material fabrication processes for manufacture of printed circuit boards; 集成电路制造中薄膜沉积 Film deposition in integrated circuit fabrication; 印刷电路板组装生产 Printed circuit card assembly manufacturing; 变压器生产 Transformer manufacturing; 集成电路制造中湿法清洗 Wet cleaning process in integrated circuit fabrication; 半导体行业光刻 Semiconductors/photolithography; 光刻胶配制 Formulation of photoresist; 机动车喷涂 Automotive spray application; 溶胶/溶液涂料配制 Formulation of latex/emulsion coatings; 粉末涂料 Powder coatings; 辐射涂料 Radiation coatings; 家具喷涂 Coatings of conventional furniture spray; 喷涂聚氨酯绝缘泡沫 Polyurethane foam blowing; 工商业清洗用表面活性剂 Surfactants in industrial-commercial laundries; 生产和使用油墨 Manufacture and use of printing ink; 报纸印刷中使用油墨 Printing ink in newspaper printing; 颗粒状洗涤剂生产 Granular detergents manufacture; 人造纤维生产 Synthetic fiber manufacture; 织物染色 Textile dyeing; 织物整理 Fabric finishing; 水处理消毒剂使用 Water treatment disinfectants application; 水处理絮凝剂 Water treatment coagulants; 木材防腐剂 Wood preservatives; 汽车刹车片更换 Automotive brake pad replacement; 固体粉末的转移、卸载和装载 Dust releases from transfer, unloading, loading operations of solid powders; 过滤和干燥操作 Filtration and drying unit operations; 釜底残留排放 Environmental releases from container residue for drums containing liquids; 运输设备清洗 Transportation equipment cleaning; 泡沫塑料添加剂的使用 Use of additives in foamed plastics; 造纸添加剂的使用 Use of additives in papermaking; 塑料复合添加剂的使用 Use of additives in plastic compounding; 热塑行业添加剂的使用 Use of additives in the thermoplastic converting industry	
EPA draft scenarios	

式中: O_{OHa} 为每个场所每天该活动的持续时间(h); G 为化学品挥发速率($\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$), 通过化学物质的蒸汽压以及表面积计算; L_{LF} 为损失比例(%); A_{Amt1} 为用于计算排放的操作过程使用的化学物质质量($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$); A_{Amt2} 为容器中溶解化学物质的水的质量($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$); W_{WSchem} 为化学物质的水溶解度($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); C_{CF} 为校正因子, 包括已知的 A_{Amt} 、水溶解度等的校正因子。

电镀件清洗操作的化学物质排放模型:

$$D_{\text{DR}} = V_{\text{rinse}} \times Y_{\text{rinse}} \times D_{\text{rinse}} \times (1 - R_{\text{rinseE}}) \quad (9)$$

式中: V_{rinse} 为每点源每日产生的清洗水体积($\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$); Y_{rinse} 为清洗水中化合物预申报浓度(量纲为 1); D_{rinse} 为清洗水的密度($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$); R_{rinseE} 为清洗水回用率(量纲为 1)。

电镀液更换操作的化学物质排放模型:

$$D_{\text{DR}} = V_{\text{bath}} \times Y_{\text{bath}} \times D_{\text{bath}} \quad (10)$$

式中: V_{bath} 为每日更换电镀液体积($\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$); Y_{bath} 为电镀液中化学物质浓度(量纲为1); D_{bath} 为电镀液密度($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)。

多源化学物质年排放量(A_{AR}) ($\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$)计算公式:

$$A_{\text{AR}} = D_{\text{DR}} \times F \times N_{\text{NS}} \quad (11)$$

式中: F 为化学物质排放频率($\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$); N_{NS} 为点源数量。

3 日本(Japan)

日本的化学物质风险评估采用层级评估法,包括对所有优先评估化学物质的一级风险评估、对获得长期毒性数据的目标优先化学物质的二级风险评估,其中一级风险评估又包含 I、II 和 III 3 个阶段。在排放量评估方面,第 I 和 II 阶段均利用申报信息(如生产/进口量)乘以相关用途分类的排放因子估算每个假设排放源的排放量,不同的是第 II 阶段除基于申报信息(如生产/进口量)进行排放量预测外,还考虑现有的污染物排放与转移登记制度(pollutant release and transfer register, PRTR)数据(针对 PRTR 目标物质)和监测数据(针对环境监测目标物质);第 III 阶段则重点考虑第 II 阶段确定的风险关注排放源的实际排放情况。此外,第 I 和第 II 阶段,考虑的排放源类型和尺度有所不同:第 I 阶段主要基于生产量、进口量等申报数据估测供应链上游至中游固定排放源的局地排放情况,第 II 阶段则还要估算区域排放情况,如已申报信息中涉及的家庭使用、商业使用和产品长期使用的排放量^[25]。

日本将化学物质目标排放源分为化学物质生产使用(制备或工业用途)源和终端产品排放源(例如家用/专业使用、长期使用的产品),相应的排放场景分别作为基本场景和基于用途的场景。基本场景主要基于欧盟排放因子 A 表,根据化学物质实际排放情况调整后形成日本的风险评估排放因子表^[26]。该排放因子表涵盖 50 个使用类型(use category),从筛选水平和常规评估水平分别设置评估因子,其中常规评估水平将 50 个 UC 细分成更多的使用亚型(sub use category),并从生产、配制、工业使用、家用/专业使用和长期使用阶段分别设定排放因子;筛选水平仅给出一般化学物质和聚合物在 50 个使用类型下的排放因子,不细分化学物质生命周期阶段和使用亚型。需要指出的是,日本排放因子表仅给出大气和水中的排放因子,土壤中化学物质主要考虑大气

中化学物质经沉降进入土壤的量。在确定上述排放因子的基础上,生产阶段向大气、水中的排放量以生产量乘以对应的大气和水中的排放因子计算得到,特定用途的配制及使用阶段的排放量以该用途使用量乘以该用途对应的大气和水中的排放因子计算得到。基于用途的场景目前主要有非点源水生场景、非点源大气场景、船底漆和鱼网防污剂使用场景、地下水污染场景。

由此可见,日本排放场景在欧盟排放场景基础上进一步简化。在实际操作时,日本排放场景为基本场景和基于用途的场景,其中基本场景未按行业细分,而是先分为常规评估水平和筛选水平;常规评估水平再按生产、配制、使用阶段细分,生产阶段排放因子简并为一类,配制、使用阶段的排放因子按照中间体、溶剂和非溶剂三大类简化区分,每一类排放因子再根据水溶解度分别设定;筛选水平排放因子仅以中间体、溶剂和非溶剂三大类区分,不再考虑不同生命周期、水溶解度和蒸气压的影响。

4 小结与展望(Summary and prospect)

欧美日等发达国家化学物质环境管理起步早,包括环境排放评估技术体系在内的风险评估技术体系已比较成熟完善。在整个技术体系方面,欧美是化学品环境排放评估的先行者,相应的技术和模型更加丰富,评估结果更趋精细化;日本则在欧盟的基础上采取相对简化的保守评估方法,缺少高层级的精细化排放评估模型。在具体排放评估技术方面,基于模型的排放评估场景是各国重点发展和依托的手段。

由于化学物质环境排放评估涉及公式和参数较多,为便于计算、降低计算失误率,ECB 组织荷兰国家公共卫生及环境研究院开发了欧盟化学物质评估系统(European Union Chemical Substances Assessment System, EUSES),并将 A-B 表的环境排放参数嵌入。用户可根据行业分类、用途直接调用相关的评估参数,并能够根据排放源实际情况自定义排放周期、区域占比等参数值,优化了用户体验,促进了 A-B 表法的推广和应用。2016 年,为便于企业在 REACH 法规下开展化学物质安全性评估,在整合 EUSES 和另外的职业暴露与消费者暴露工具 ECE-TOC TRA 基础上,ECHA 组织开发了 Chesar 软件。类似地,为了实现基于场景的源排放评估,US EPA 开发了 EPA 暴露工具箱(EPA ExpoBox),涵盖了一系列不同排放源排放情况的信息平台以及针对人体

的暴露、危害等信息的软件工具。化学品暴露和环境排放筛选工具(ChemSTEER)是其中预测化学物质环境排放的重要工具,内置了一般性排放场景模型和参数,用户也可以根据需要自定义操作场景。由于上述评估软件工具的开发和应用,环境排放场景模型在欧美化学物质环境风险评估中得到广泛应用,相应的行业性精细化 SPERCs 也得到充分的发展。

欧美的排放场景技术体系已成为企业参与化学物质环境风险评估,提高企业工艺水平、风险管理水平的重要工具,也是企业和政府之间完成风险沟通、达成风险控制协定的重要途径,这一作用将在未来全球化学品环境管理精细化过程中更加凸显。在我国构建以企业为主体的现代化污染治理体系的今天,借鉴发达国家成功经验,建立并完善排放评估技术体系必将成为化学物质环境风险评估管理的重要内容。

通讯作者简介:周林军(1984—),男,博士,副研究员,主要研究方向为化学品环境风险评估。

共同通讯作者简介:石利利(1965—),女,硕士,研究员,主要研究方向为化学品环境风险评估与管理。

参考文献 (References):

- [1] European Chemicals Bureau (ECB). Technical Guidance Document on Risk Assessment. In Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances, Commission Directive (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of Council Concerning the Placing of Biocidal Products on the Market. Part II [S]. Ispra: Institute for Health and Consumer Protection/European Chemicals Bureau, 2003
- [2] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Exposure Assessment Tools by Approaches [EB/OL](2020-11-12) [2021-07-25]. <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-approaches>
- [3] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Exposure Assessment Tools by Approaches: Direct Measurement (Point-of-Contact Measurement) [EB/OL](2020-11-12) [2021-07-25]. <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-approaches-direct-measurement-point-contact-measurement>
- [4] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Guidance Document on Emission Scenario Documents. OECD Series on Emission Scenario Documents, No.1 [S]. Paris: Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology/OECD, 2000
- [5] European Chemicals Bureau (ECB). Technical Guidance Document on Risk Assessment. In Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances, Commission Directive (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of Council Concerning the Placing of Biocidal Products on the Market. Part I [S]. Ispra: Institute for Health and Consumer Protection/European Chemicals Bureau, 2003
- [6] European Chemicals Bureau (ECB). Technical Guidance Document on Risk Assessment. In Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances, Commission Directive (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of Council Concerning the Placing of Biocidal Products on the Market. Part III [S]. Ispra: Institute for Health and Consumer Protection/European Chemicals Bureau, 2003
- [7] European Chemicals Bureau (ECB). Technical Guidance Document on Risk Assessment. In Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances, Commission Directive (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of Council Concerning the Placing of Biocidal Products on the Market. Part IV [S]. Ispra: Institute for Health and Consumer Protection/European Chemicals Bureau, 2003
- [8] European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment, Chapter R12: Use description [S]. Helsinki: European Chemicals Agency, 2015
- [9] European Chemicals Agency (ECHA). REACH Technical Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment, Chapter R13: Risk Management Measures and Operational Conditions [S]. Helsinki: European Chemicals Agency, 2012
- [10] European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment, Chapter R14: Occupational Exposure Estimation [S]. Helsinki: European Chemicals Agency, 2016
- [11] European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment, Chapter R15: Consumer Exposure Estimation [S]. Helsinki: European Chemicals Agency, 2016

- [12] European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on Information Requirements and chemical Safety Assessment, Chapter R16: Environmental Exposure Estimation [S]. Helsinki: European Chemicals Agency, 2016
- [13] European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment, Chapter R18: Exposure Scenario Building and Environmental Release Estimation for the Waste Life Stage [S]. Helsinki: European Chemicals Agency, 2012
- [14] Toet C, de Nijs A C M, Vermeire T G, et al. Risk Assessment of New Chemical Substances; System Realisation and Validation II [S]. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), 1991
- [15] Vermeire T G, van Iersel A A J, de Leeuw F A A M, et al. Initial assessment of the hazards and risks of new chemicals to man and the environment [J]. *Science of the Total Environment*, 1993, 134: 1597-1615
- [16] Van de Meent D, Toet C (eds.). Dutch Priority Setting System for Existing Chemicals: A Systematic Approach for Ranking Chemicals According to Increasing Estimated Hazards [S]. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), 1992
- [17] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). OECD Series on Testing and Assessment No. 294, Matrix between Emission Scenario Documents (ESDs) and Specific Environmental Release Categories (SPERCs) [S]. Paris: Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology/OECD, 2018
- [18] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). OECD Series on Emission Scenario Documents, No. 7, Emission Scenario Document on Textile Finish Industry [S]. Paris: Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology/OECD, 2004
- [19] European Chemical Industry Council (Cefic). Cefic Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs) Chemical Safety Assessments, Supply Chain Communication and Downstream User Compliance [S]. Brussels: Cefic SPERCs Core Team/Cefic, 2012
- [20] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Guidelines for Exposure Assessment [S]. Washington DC: US EPA, Risk Assessment Forum, 1992
- [21] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Exposure Assessment Tools by Approaches: Indirect Estimation (Scenario Evaluation) [EB/OL] (2020-11-12) [2002-07-25]. <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-approaches-indirect-estimation-scenario-evaluation>
- [22] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Chemical Engineering Branch Compilation of Generic Scenarios [For Industry-specific Workplace Release and Exposure Estimation] [S]. Washington DC: US EPA, 1997
- [23] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Exposure and Fate Assessment Screening Tool (E-FAST) (Version 2.0) Documentation Manual [S]. Springfield: Versar, Inc./US EPA, 2007
- [24] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Chemical Screening Tool for Exposures and Environmental Releases (ChemSTEER) User Guide [S]. Washington DC: US EPA, 2015
- [25] Ministry of Health, Labour and Welfare; Ministry of Economy, Trade and Industry; Ministry of Environment, Japan. Methods for the Risk Assessment of Priority Assessment Chemical Substance [S]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare; Ministry of Economy, Trade and Industry; Ministry of Environment, 2012
- [26] Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan. Emission factor tables for risk assessment under the CSCL (Chemical Substance Control Law) [EB/OL] (2019-7-16) [2021-07-25]. http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/information/ra_emissionfactor.html
- ◆