

加强暴露及其预测研究 满足中国化学物质风险管理和决策的需要

聂晶磊

(国家环境保护总局化学品登记中心,北京 100012)

摘要:化学物质环境暴露评估是实施化学品控制,减少有毒有害化学品风险必不可少的重要技术手段。传统认识环境暴露的手段主要是环境监测,但近来随着计算机技术的发展,利用暴露模型工具认识、预测化学物质在环境中实际暴露量的方法和技术正从科学研究后台走到管理决策前台。通过国内外对该技术领域与管理结合的情况介绍,提出在化学物质管理中规范暴露研究,运用暴露预测模型评估化学物质暴露性,实施化学物质风险管理的可行性和建议。

关键词:暴露评估;预测;环境监测;化学物质管理;风险评价;决策

中图分类号:TQ-9;X820.4

文献标识码:C

文章编号:0253-4320(2008)08-0010-05

Discussion about enhancing exposure prediction and assessment to satisfy chemical risk management and decision-making in China

NIE Jing-lei

(China Registration Center of SEPA, Beijing 100012, China)

Abstract: Chemical exposure assessment is an important technical method which is used to control and reduce the toxic chemical usage risk. The traditional method to know the exposure is environmental monitoring. With the computer technology developing, using models to know and predict the chemical environmental exposure is very popular in science and research field, and these new methods also appear in government management and in decision-making to reduce the chemical hazard and environment risk. The exposure and its prediction and assessment technology used in governments of the developed countries are introduced in this paper. The feasibility and proposes are given such as the standard of the exposure research in chemical management proposed, exposure prediction models to assess the exposure of chemicals used, and the chemical risk management in practice implemented.

Key words: exposure assessment; prediction; environmental monitoring; chemical management; risk assessment; decision-making

化学物质对环境安全和人类健康的风险取决于其环境排放、在环境中的转变、对环境和人体暴露以及由暴露而引起的负面危害影响程度。其风险可简单表示为危害性和暴露性的函数。控制两者中任何一个因素均可控制化学物质的风险。在同一功能下,通过用更安全、更友好的新化学物质替换现有化学物质来根本消除这种现有化学物质的风险是根本的解决办法,但同时也存在新化学物质的新危害性的风险。化学物质对不同生态系统或不同物种的危害不一样,可以将危害评估引入“本地化”而排他,制造壁垒,但最重要和最应值得重视“本地化”是研究和掌握化学物质的“本地化”暴露频率和暴露程度,这也是化学物质控制中最复杂和最难量化的领域。管理上从谨慎和保守出发,往往希望尽量使用已经存在的物质,通过暴露控制来降低现有化学物质的

风险,这就需要对暴露有正确的了解和评估。

1 暴露评估的基本情况

1.1 暴露评估的内容

暴露评估是对已经或可能暴露于人和环境化学物质的剂量或浓度进行定量或定性估计的一项技术工作。暴露评估包括源自生产或进口的化学物质生命周期的所有阶段,以及确定的所有用途。暴露评估主要包括2部分内容。

一是描述暴露场景。暴露场景(Exposure scenario)指化学物质在其生命周期中从生产进口、使用到最后处置的一系列条件,如使用方式等以及生产或进口单位如何控制或建议下游用户控制环境中浓度的具体措施。

二是估计暴露剂量。暴露剂量是化学物质在给

定时间和空间下实际环境中的存在量,一般以浓度表示。暴露剂量是否超过对人体的推导无作用剂量及对环境的预计无作用浓度,是判断对人和环境的暴露是否会引起危害或是否得到充分控制的基础。每个暴露场景下均应有对应的估计暴露剂量,包括化学物质正常排放量的估计;化学物质降解、转归、途径和环境分布的估计;化学物质对作业人员和环境的暴露水平估计和暴露途径描述等。

1.2 暴露评估的基础手段

暴露评估要回答的问题是环境和/或人体暴露于化学物质的暴露程度和可能的暴露趋势。但如何了解化学物质的暴露强度、暴露时长和暴露范围?

传统方法和理想情况下,暴露评估的基础数据来源于实际工厂排放、环境和人体的化学监测及生物监测。这些环境监测(水、气、土各介质)、食物监测、人体监测基于化学物质排放进入环境,通过生物蓄积进入动物植物、通过食物链进入人体的客观物质移动规律。因此实际监测是暴露评估的第一手段,但实际情况是,许多化学物质的暴露无法监测,没有标准方法、标准物质,采样布点难有代表性,而且监测只能代表采样的具体地点和时间点,要反映地域或长时间度的暴露情况,监测的成本和时间很难满足要求,这就需要进行估算。在这种情况下,利用计算机模拟技术估算化学物质的暴露量,成为暴露评估的第2种有效手段。在具体工作中,经常会充分利用实际监测的现场暴露数据,结合计算机模拟预测手段或考虑相似用途或相似特性的实际监测数据和预测估算数据。

1.3 暴露评估的种类

估算暴露性的种类可分为职业工作型和社区环境型,在这2类的暴露评估暴露源计算时,要考虑点暴露和面暴露,固定暴露和移动暴露。

职业工作型发生在工作场所,如化工厂的工人可能暴露在生产过程使用或产生的毒性物质中;考虑工作场所中所有的化学品暴露源清单;考虑化学物质通过工人呼吸车间里的空气、尘埃,食用被污染的食物,与皮肤或眼睛接触等方式而摄入人体内等的具体情况;考虑工人在操作过程中摄入化学物质,如反应釜的取样、将化学品从反应器转移到储存或运输容器的过程。

社区环境型是相对于职业工作型而言,比职业工作型更为复杂且范围更广,发生在周边环境,需要考虑公众可能暴露和接触在生产或使用过程中向环境排放的有毒物质;化学物质向大气和水体中排放

有害化学物质的情况;排放到河流、湖泊和小溪中的化学物质可能在鱼类和其他水生生物体内富集,而这些鱼类及水生生物随后被当作食物;排放的化学物质被饮用下游河水的人们摄入体内;生活在化工厂下风区的居民可能会暴露在排放的挥发性有毒化学物质中;固体有毒废弃物处置,无论是被当作垃圾掩埋,还是深井注入地下,如果没有与水源隔离,就会导致地下饮用水的污染,导致对社会环境的暴露等因素。

1.4 暴露评估在管理中的用途

暴露评估在化学物质环境管理中主要体现两方面用途:

第一是用于化学物质风险评价。体现的是对有用、有价值的化学物质或化学品管理。化学品风险评价由危害评估和暴露评估2部分组成,危害评估是认识化学物质固有性质的重要手段,主要针对固有性质不清的新化学物质;暴露评估是认识化学物质在实际使用中导致对环境的暴露程度,主要针对已经大量在实际生产使用中存在的现有化学物质。

要评估一种化学物质的暴露程度,首先要识别其暴露源,知道暴露强度和暴露时间。对于没有累积或残留效应的化学物质,受体能够较长时间耐受其低强度的暴露。然而,若是高浓度的暴露,即便时间很短,也会导致受体急性中毒。另外一些化学物质尽管在短期暴露时不产生急剧的中毒反应,但其低强度、长时间的暴露可能造成慢性中毒。其次,在了解暴露情况后,要对超出允许范围的暴露进行技术和/或管理控制,降低该化学物质的风险。OECD提出了4种暴露排放估计的类型^[1]:①限制的最坏暴露考虑(bounding or worst-case estimates);②合理的最坏暴露考虑(reasonable worst-case estimates);③典型的暴露量(typical exposure values);④真实的暴露量(actual exposure values)。

第二是用于化学污染物登记。体现的是对废弃的、排放的化学污染物管理。污染物释放和转移登记制度(PRTR, Pollutant Release and Transfer Register)是对潜在有毒有害化学物质原地(on-site)释放到环境(空气、水和土壤)和离地(off-site)转移到处理点进行登记管理的制度,排放的工厂被要求要有规律的(一般是每年)报告PRTR物质的释放和转移情况。

暴露评估的排放估计为企业满足PRTR要求提供了基本数据,也是实现PRTR必须依靠的技术之一。OECD专门结合各成员国的经验,编制了排放

情形文件指南(ESDs, Emission Scenario Documents)^[2]。ESD 提供了排放估计的方法和结果,为计算和确定化学污染物在环境中的实际水平提供了基础,以供企业和政府使用,满足 PRTR 及管理的要求,为确定这些化学污染物对环境和人体造成的风险提供技术保障。

2 美国化学品暴露政策

2.1 暴露的管理要求

美国对化学物质实施风险管理,对暴露评估的要求涉及化学品全过程管理,包括生产车间、职业卫生、环境释放、消费者、公众(特别是儿童)等可能接触对象。对于新化学物质申报要求企业在 PMN 表中提供大量关于物质暴露的信息,包括用途、用量、释放、生产地点及地理坐标等信息;要求提供生产地址、生产类型(生产、加工、使用)、工艺过程、职业暴露信息、暴露活动、人数、时间、暴露时物质状态及浓度、释放到环境中的点数及每个点新化学物质潜在释放量和释放介质、保护装置、控制技术和效率等;批量生产时提供每批最大量、每批生产时间、每年生产多少批等;连续生产时提供每天最大生产量、每天生产多少小时、每年生产多少天等信息。

1988 年,美国对新化学物质管理实行以暴露为基础的政策(EBP, Exposure-Based Policy),1992 年又对此进行了修订^[3]。这个政策要求对较大产量、明显或重大人体暴露量或大量排放环境的新化学物质进行测试。从实施开始,EBP 为新化学物质管理提供了更多的测试数据,更好和更全面的为确定高产量/高暴露新化学物质的风险提供依据。另一方面,新化学物质申报报告申报审查后,EPA 会发布 5(e) 许可命令。命令中往往会通过基于暴露分析的结果,提出个人防护设备(PPE)要求,或提出该物质暴露限值(NCEL, New Chemical Exposure Limit)^[4],对暴露或释放的风险进行控制。

化学物质的用途直接决定其暴露情况,美国对新化学物质的用途有详细的要求和解释^[5]。EPA 认为用途包括功能(function)和运用(application),功能是物质固有性质,如去污剂、催化剂;运用是指在特殊过程或产品中使用此物质的功能,如用于构建金属部件时的去污剂。PMN 中提供的计划用途包括 4 类:原地使用、消费用、工业用、商业用。如果申报人要求用途保密,也可以提供类别用途(generic use),而不是具体的用途,类别用途应能表示出物质潜在暴露情况,如果不能表示,EPA 将认为是会造成一定

污染的用途。另外,EPA 还将化学物质用途分为以下几类:破坏用途(destructive use),如燃料、中间体;封闭用途(contained use),如催化剂;开放非分散用途(open non-dispersive use),如染料、墨水;分散用途(dispersive use),如汽车轮胎橡胶;高分散用途(highly dispersive use),如涂料;其他用途。如果申报物质可能有多种用途,EPA 会要求提供每种用途的产量、物质在该产品中的比例等信息。EPA 要求申报人提供第 1 年有理由估计的最大量;同时提供首个 3 年中每年有理由估计的最大量。EPA 认为生产量变化图和价格是决定是否开展测试[自愿或按 5(e)许可命令]的重要因素。

2.2 暴露技术

由于管理上的需要以及法律的间接要求,美国政府对化学物质暴露技术的研究,以及新方法、新工具的开发都非常重视。

EPA 研究和发发展办公室(ORD, Office of Research and Development)开发了暴露因子手册^[6],详细说明了暴露过程和需要考虑不同情况下的因子,提出开展暴露评价的基本步骤:①决定暴露的途径;②识别污染物可能转移的环境介质;③决定污染物的浓度;④决定暴露的时间、频率和时长;⑤识别暴露的人群。

EPA 有毒物质控制办公室(OPPT, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances)利用测量数据和模型估算数据结合的分层逐步深入法(tiered approach)来开展暴露评价^[7]。EPA 开发的暴露评估工具从简单到复杂分别如下:

特定优先设置工具(Specialized Priority Setting Tools)利用可量化的标准值快速比较和筛选大量的化学品,以对这些化学物质暴露程度进行分组分级。分级是粗放的,并不需要提供详细和准确的暴露评估,而后,管理者根据需要对分级在前的物质优先进行暴露评价,这类工具包括 SRD(Source Ranking Database)、UCSS(Use Cluster Scoring System)。

筛选工具(Screening Level Tools)利用已经获得的数据和简单的模型进行评估,其需要少量的数据输入,会进行保守的释放和暴露估计,如果预测的暴露值得关注,需要结合监测值和更精确的模型进行详细的评估。这类工具包括 Chemical Screening Tool For Exposures & Environmental Releases(ChemSTEER)、EPI(Estimation Programs Interface) EPI SuiteTM、Exposure and Fate Assessment Screening Tool(E-FAST)等。

高级工具(Higher Tier Tools)利用详细的数据和

更复杂的模型来模拟关注的实际暴露情形,产生的结果具有更高的准确度和可信度。Internet Geographical Exposure Modeling System (IGEMS)、Multi-Chamber Concentration And Exposure Model (MCCEM)、Wall Paint Exposure Assessment Model (WPEM)。

管理者、科学家和工程师利用这些工具了解化学物质使用或释放到环境中时,该化学物质发生了什么变化,有多少的工人、公众、消费者和水生生态系统暴露于该化学物质等内容,以设定和选择产品和过程中考虑潜在的暴露,评估污染预防的时机,结合危害评估,实施降低风险的措施。特别是当没有监测数据或需要补充监测数据时,这些工具的作用尤为重要。

3 欧盟的化学品暴露评估

3.1 暴露的管理要求

欧盟在 REACH 法规中,明确将物质管理范围扩大至已经大量存在的现有化学物质,明确要求这些现有化学物质的下游企业提供暴露信息,将供应链上所涉及的企业考虑进来,并制订传递信息的规则,保证上下游用户沟通暴露和危害信息,编写暴露场景说明(ES)。在 REACH 执行方案(Reach Implementation Projects, RIP)的第3部分(RIP3 企业导则)中,明确提出了企业准备化学品安全报告(CSR)导则(RIP3.2),其中特别含有暴露评估和说明的部分^[8]。

REACH 法规 RIP 实施文件将暴露说明书定义为:描述物质如何生产以及在其生命周期中如何使用;生产商或进口商如何控制,或者建议下游用户如何控制人和环境暴露的整套文件。暴露说明书应包括下列内容:制造工艺,该物质在生产、加工和使用时的物理形态;与加工过程有关的工人的活动,该化学物质的持续暴露的时间和频率;消费者的行为和接触与该化学物质的持续时间和频率;该物质的排放物在不同的环境部分和污水处理系统中的持续时间和频率,其在环境中的稀释效果;制造商或者进口商为了减少或者避免该物质与人体和环境的暴露接触,所执行的风险管理措施;在废弃物处理和/或循环过程中,制造商或者进口商为了减少或者避免该化学物质与工人和消费者,以及环境的暴露接触,所采取的废弃物风险管理措施等信息。

3.2 暴露的技术要求

为了实现管理上对暴露说明书的要求,欧盟也提出了对暴露评估的技术要求。

首先,对暴露场景(ES)进行描述。即对化学物

质的使用条件,包括使用过程和用量描述,使用的操作频率和持续时间等条件以及使用时风险控制措施等内容进行系统和规范性的描述。其中使用时的风险控制措施又包括过程控制,如在封闭体系内操作、排放控制、个人防护设备、良好的卫生等。

其次,按以下要素进行暴露量评估。①排放估计。排放估计应考虑制造、使用该物质的过程中所有环节的排放情况;②化学品的环境转归与分布。对某种化学物质降解可能性、变质或者反应过程的特性进行描述,并对它的环境分布和在环境中最终结果进行估计;③暴露程度的估计。应对该物质与所有接触人群和环境范围的已知接触程度的可合理预见暴露程度进行评估,充分考虑对暴露模式在空间上和时间上的变化。

4 暴露预测评估工具研究的必要性和优点

化学品风险评价就是暴露评估和危害评估的结合。暴露评估技术是化学品风险管理的基础,也是与实际情况结合最为紧密和复杂的技术。暴露评估模型能推进实现降低化学品风险,并能提供前后可对比的一致技术和暴露数据,对风险管理的效果进行后评估。环境监测、人体监测固然是一种可靠暴露信息来源的技术,但考虑到实际环境的复杂性、监测技术、成本、时间,通过监测来了解众多化学物质的暴露情况还是显得力不从心。更何况监测数据的获取只是化学物质管理的开始和基础,还需要有基于数据的风险管理、风险降低措施、效果评估等后续行动。

因此,需要科学寻找替代和了解暴露的捷径,开发暴露评估的工具,保证决策的有效性和有效率性就显得十分重要^[9]。随着计算机技术的发展,利用暴露模型工具结合监测数据认识、预测化学物质的环境暴露的方法和技术正在从科学研究后台走到管理决策前台。模型是数学统计和/或概念方法描述真实世界现象的一种表述和预测,他们将真实世界简单化,提出主要问题给予充分和真实说明。模型的价值在于:

(1)能调查大规模的场景。对于环境管理和决策而言,面对的是大尺度的问题,是总量的问题。我们经常不是关心具体某监测点在某时间点的浓度和沉降信息,而是关心整个水体或部分生态系统在一个时间段的总体情况。因此需要了解大尺度和大规模场景的暴露情况,实际中,监测手段很难满足以上要求。

(2)能解释监测的结果,填补空间和时间上的空缺,提供发生源和接受者的关联信息。监测结果能告诉我们某监测点在某时间点,化学物质在某介质中的浓度信息,但是测量的代表性、准确性和可靠性如何,影响测量的主要原因是什么,是否考虑到空间和时间的变化,如何解释相同点不同样品数据的变化,不同点样品数据变化。监测手段很困难或不可能给出这些信息,而模型则可以。

(3)能对已有积累信息进行管理、收集和测试或验证。模型的主要功能是对现有大量信息进行组合、分类、检索、汇总和管理,特别是从局部的点信息快速汇总为全局的面信息。

(4)能提出管理决策关注和需要的信息。在已掌握信息基础上,预测管理决策关注和需要信息,这些信息包括化学物质对人和环境的危害信息、化学物质对人和环境的暴露信息、化学物质风险降低的手段和治理相关信息。

5 对暴露评估研究的几点建议

随着计算机技术在各领域的渗入,暴露模型已经发展为化学品管理决策的重要工具和手段。但这不是忽略监测手段,模型手段和监测手段是认识化学物质暴露的 2 种相互影响、相互完善的技术手段。如没有模型,监测所获得的信息不能完全被利用;如没有真实的监测数据作为补充,模型结果不可能可靠。监测数据能支持预测环境暴露水平和多介质转移环境模型的需要。为推进化学物质暴露评估技术的发展,满足保护公众健康和保护生态环境安全的化学物质管理需求,笔者提出以下几点建议:

(1)管理上提出暴露评估的要求和需求,拉动暴露评估研究的发展。

化学品立法实施化学物质风险管理是推进暴露评估及相关技术发展的根本。在化学物质管理中,细化和量化暴露信息,明确提出暴露评估的管理要求,支持暴露评估的技术研究,引进暴露评估工作。在拉动暴露评估研究发展的同时,为实现化学品风险管理建立起相关的技术支持机构和人员力量。

(2)完善环境监测和生物监测,积累暴露评估的底层数据。

将化学品暴露评估中的环境监测(包括生物监测)纳入国家环境监测的整体方案中,配合国家整体方案的发展,完善化学品暴露评估中环境监测。同时,先期投入对人体监测的研究,用新方法、新技术

认识化学物质的存在形式和存在量,积累暴露评估的底层数据,做好背景数据的储备工作。

(3)研究建立暴露预测的模型,丰富暴露评估的数据来源。

在发展环境和人体监测的同时,要平行推进、积极研究开发暴露预测模型,重视计算机技术发展带来的技术革命和观念革命。科学机构应在国家支持下组织力量开发一些自主知识产权的暴露预测工具,并在企业和管理中试用,对化学物质“发生源”到“接收者”全过程各环节链的情况进行暴露评估,优化和补充当前的监测项目,丰富暴露评估的数据来源。

(4)建立暴露评估指南,规范暴露评估。

在实际工作基础上,研究制订暴露评估的规范或指南,规范暴露评估从业单体和人员,保证暴露评估为管理决策科学性、准确性和前后一致性,强调通过 2 种手段建设与发展,相互补充,相互完善,规范暴露评估的技术内容和步骤等内容。

通过暴露评估技术的完善和发展,工具使用的快捷和方便,实现减少有毒有害化学品使用风险的管理战略目标,团结一切力量,运用一切技术实施化学物质环境管理,持续提高人们生活水平质量,解决经济发展和环境保护之间的不和谐关系,将会带给管理者和技术工作者广阔的舞台和机会。

参考文献

- [1] Approaches to exposure assessment in OECD member countries: Report from the policy dialogue on exposure assessment in June 2005, OECD environment health and safety publications, series on testing and assessment, No. 51
- [2] Comparison of emission estimation methods used in pollutant release and transfer registers and emission scenario documents: Case study of pulp and paper and textile sectors, OECD environment health and safety publications, series on testing and assessment, No. 52
- [3] <http://www.epa.gov/oppt/newchems>
- [4] <http://www.epa.gov/opptintr/newchems/pubs/ncelmain.htm>
- [5] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2002) Child-specific exposure factors handbook. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/P-00/002B. <http://www.epa.gov/ncea>
- [6] <http://www.epa.gov/oppt/exposure>
- [7] Richard A. Jourdenais, Th. D. TSCA Hand Book Fourth Edition[M]. The United States of American: The Scarecrow Press, Inc; 2006.
- [8] Regulation (Ec) No 1907/2006 of The European Parliament And of The Council, Official Journal of the European Union, L 396/1, 2006 - 12 - 30.
- [9] Selection Criteria for Mathematical Models Used in Exposure Assessments (U.S. EPA 1988b) ■