

# 美国联邦实施的 TRI 与 RMP 两部有毒化学品环境管理制度之比较

于丽娜, 兰孝峰, 金 晶, 聂晶磊\*

(环境保护部固体废物与化学品管理技术中心, 北京 100029)

**摘要:**介绍了美国联邦实施的两部有毒化学品环境管理制度:有毒物质释放报告制度(TRI)与风险管理计划制度(RMP),详细分析了两个制度在受控企业范围确定、报告信息提供、制度管控要求、保障制度实施、已有信息利用以及两项制度的局限性等 6 个方面的差异。通过对美国两部制度对比的分析,增强了对美国对化学品日常排放和突发环境事故的不同管理理念和方法的理解,为我国有毒化学品防控体系构建提供参考。

**关键词:**环境管理; 化学品; TRI; RMP

中图分类号: X21

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)02-0001-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.02.001

## Comparison of TRI and RMP environmental management systems for toxic chemicals in the US

YU Li-na, LAN Xiao-feng, JIN Jing, NIE Jing-lei\*

(Solid Waste and Chemicals Management Center of MEP, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Two environmental management systems for toxic chemicals in US, toxic substance release reporting system (TRI) and risk management plan system (RMP), are introduced. The difference of TRI and RMP in the scope of the controlled companies, the report information, controlled requirements, implementation of guarantee system, usage of existing information and their limitations are analyzed in detail. Through the comparison of the two systems in the United States, the understanding of the different management concepts and methods in the daily discharge of chemicals and unexpected environmental accidents in the United States is improved, which can provide reference for the construction of the control system of toxic chemicals in China.

**Key words:** environmental management; chemicals; TRI; RMP

1984 年 12 月,印度博帕尔发生 40 t 甲基乙氧基酸酯泄漏 2 小时的灾难事件,即时造成周边约 1 430 多名居民丧命,后来更有 2 万多人直接、55 万人间接死于这次灾难。这是人类历史上迄今为止最严重的化学工业事故,是公认的“十大人为环境灾害”之首。作为造成此次灾难投资公司的所在国,美国于 1986 年 10 月 17 日——事故发生后的 23 个月,签署了《应急计划和社区知情权法》(Emergency Planning & Community Right-to-Know, EPCRA)。法律将社区知情作为防范事故风险的手段之一,通过强制的信息传递,能在一定程度上缓解公众对化学品的恐惧,体现了对公众知情权的尊重。在具体内容上,EPCRA 法吸收了美国联邦环保局(EPA)的自愿性化工应急响应项目经验,建立了针对危害化学物质的地方应急管理机构 and 多项制度体系,包括

EPA 没有介入的极危险物质 (Extremely Hazardous Substances, EHSs)<sup>[1]</sup> 的预案备案和泄漏报告制度 (40 CFR 355, 涉及 356 种急性毒性化学物质)、MSDS 报告制度、库存化学品年度报告制度,以及 EPA 组织实施的有毒物质释放报告制度 (Toxics Release Inventory, TRI, 40 CFR 372)<sup>[2]</sup>。EPCRA 实施后,美国本土又陆续发生了多起化工事故,这让国会认识到仅由地方实施应急制度并不能有效防范化工事故发生,在 1990 年《清洁空气法》(Clean Air Act, CAA)修订中,国会在第 112(r) 部分增加建立了由联邦 EPA 直接负责的风险管理计划制度 (Risk Management Plan, RMP, 40 CFR 68)<sup>[3]</sup>。

TRI 与 RMP 制度可以说都是在化学品事故发生后,在公众对化学品的恐惧压力和知情动力下,美国国会做出的反省后制订的管理体系。两者都包括

收稿日期: 2016-07-04

基金项目: 国家环境保护公益性行业科研专项——农药生产废物和大气污染物污染特征与控制对策研究(2015—2018 年)(201509052)

作者简介: 于丽娜(1981-),女,硕士,工程师,从事化学品法规、测试方法和 GLP 体系研究,010-84665464, yulina@mepscc.cn; 聂晶磊(1972-),男,硕士,副研究员,从事化学品环境管理及政策法规研究,通讯联系人,010-84636376, niejinglei@mepscc.cn。

信息收集、传递与公开的要素,但两者又有不同,TRI 偏重于日常排放,强调有毒物质排放与转移数据的真实,对企业的管理性要求较少,每年回顾性地报告一次,属于信息公开的管控手段,与应急管理关系不大;而 RMP 针对事故应急泄漏,强调事故场景设计与事前后果分析的模拟,对企业的规范性管理要求较多,每五年预测性地报告一次,更多属于企业标准的管控手段,直接与应急管理相关<sup>[4]</sup>。

当前,我国环境应急预案制度不完善、排污许可制度不健全,详细考察两个制度的差异,将对美国在此领域制度设计的理解为我所用,对构建我国有毒化学品防控体系是非常有益的。下面从六个方面比较 TRI 与 RMP 制度的异同。

## 1 如何确定受控企业

通过受控物质与量限值来确定受控企业是两个制度的共同特点。TRI 的受控物质全部为毒性化学物质,气液固体均有,最初有 329 种物质包括了危险废物中的 153 种危险组分,CERCLA 的 205 种报告物质,废水控制的 75 种优先污染物,以及 20 种群体化合物名称(如铅及其化合物)<sup>[2]</sup>。这些物质涉及健康急性、健康慢性、环境毒性效应,其中还包括慢性的 123 种致癌化学物质。后经 10 多次扩充和删减,目前已有 650 多种。TRI 的量限值分为企业年生产清单中每个物质的加工量与使用量。对于使用(原料不进入产品),量限值均为每年 10 000 lb (1 lb ≈ 0.454 kg,下同);对于生产(产品)与加工(原料进入产品),从 1987 年开始,第 1 年报告,量限值为每年 75 000 lb;第 2 年(1988 年)报告,量限值为每年 50 000 lb,第 3 年(1989 年)及以后报告,量限值为每年 25 000 lb,以便企业与政府逐步适应管理要求,但其没有考虑不同物质毒性大小的差异,直至 2000 年,在引入了持久性、生物累积性的有毒物质(PBT)后,才实施了 10 lb 或者 100 lb 的低量限值报告政策。

1993 年 1 月 19 日,在征求 RMP 受控物质的意见时(58 FR 5102),EPA 提出了 100 种有毒物质、62 种易燃物质、若干爆炸物质三大类,并说明了筛选受控物质的考虑,如毒性物质主要从极危险物质(EHSs)中选择,同时考虑物质的物理状态、蒸气压、产量和事故历史。EPA 最终接受了工业界删除爆炸类物质的意见,确定了 77 种急性毒性物质和 63 种易燃物质。这 140 种 RMP 受控物质,只有气体与液体,没有固体,体现了应急对物质流动性的关注,

其中 16 种是在 CAA 法律中直接列明的,53 种也是 TRI 物质,140 种物质名单至今没有调整过。在量限值的设计上,63 种易燃物质统一规定为 10 000 lb 的量限,而 77 种毒性物质分为 500、1 000、2 500、5 000、10 000、15 000、20 000 lb 的 7 种量限类别。在确定有毒物质质量限值时,EPA 只是考虑了物质特性(如毒性、挥发性),并没有考虑工厂特性(如位置)等因素<sup>[5]</sup>。

除了考虑化学物质品种名与量限值以外,TRI 还用行业类别(SIC 的 29 至 39 之间)与企业规模(10 名全职员工以上)来选定受控企业,而 RMP 则没有此考虑。相反,RMP 有通责条款,要求所有非 RMP 受控企业(140 种受控物质以外)均适用防范风险和自我遵守的要求(没有清单也无量限值),这些企业在遵守规定时,并不需要向政府提供证明信息,而 TRI 则没有类似的条款。另外,除了生产使用企业外,RMP 还特别关注仓储、分销企业,而 TRI 则更关注生产和使用企业。2014 年约有 2 600 家工厂同时遵守 TRI 与 RMP。

值得注意的是,两项制度还有三点细节上的差异,可充分体现出日常排放与应急泄漏的不同,一是,两种量值的单位虽然都是 lb,但 RMP 的量限值不像 TRI 是每一年积累的量,而是企业在任何时刻的实际存在量;二是,借助 RMP 受控物质与量限值确定的是企业中的受控工艺,而不是整个企业(对于复杂的大企业,一个企业往往有能多个受控的工艺),而 TRI 则针对整个企业;三是,RMP 的毒性受控物质中个别物质同时以气态和液态两种状态存在,则需要分别评估风险,如盐酸和氯化氢,而 TRI 则没有此情况,反而是一种物质会包括多种形态及其化合物,如铅及其化合物。

## 2 提供什么信息

TRI 主要是每种有毒物质排放总量与转移总量的信息(TRI 要求事故泄漏量纳入排放量)。这些信息包括分别进入大气(有组织与无组织),进入水体(直接排入受纳水体与纳管排入公共污水处理厂),进入固体废物(工厂内处理与转移出工厂处理)的年度重量,是对过去一年实际发生量的回顾与汇总。由于不可能集中且无表观,可以理解为“阴量”(累积量)。计量释放量的方法主要是物料平衡、排放因子(如 AP-42)、工程核算等估算技术,也包括传统的采样分析环境监测技术。

RMP 主要是场景泄漏源强量(lb)及影响距离

(英里,1英里 $\approx$ 1.61 km)等厂外后果分析(off-site consequences analysis, OCA)的信息<sup>[6]</sup>。OCA 要求针对事故已经发生的假设场景,按受控物质与场景类别(毒物泄漏与易燃物质)及数目,分别制订最坏场景与可能场景。最坏场景通常认为不可能发生,只是起到最坏打算的预警作用,而可能场景则是实际中可能发生或是历史上已经发生过的场景。RMP 将受控生产过程分为三级,一级风险最低;三级风险最高;二级风险介于两者之间。OCA 要求的场景数量如下:毒物泄漏最坏场景、易燃物质最坏场景与可能场景分别各做1个;当企业属于一级时,则不需要继续做可能场景;当企业工艺属于二级或者三级时,毒物泄漏可能场景数目与毒物数目相等。影响距离是每种场景分析产出的最重要参数(最远影响距离通常由最坏场景分析得出)。在预测影响距离时,EPA 根据每种毒物的毒性大小,规定了不同的毒物终点值,以预测毒物泄漏后产生毒性作用的影响距离。此外,EPA 还要求考虑气体密度、周边障碍、气象条件、有无减缓措施,以及主动或被动的减缓措施等参数,以便得出更精准和更符合实际情况的预测结果。对于毒物泄漏场景分析,除影响距离外,还要报告泄漏量、泄漏时长、泄漏速率等核心数据。泄漏量的来源及确定,通常由企业任何时刻的在线存在量推导而出,由于此量值可集中且可观,可以理解为“阳量”(一次量),将容器管道中的“阳量”转换为进入环境的泄漏量,是场景假设与预测分析的主要任务。在此转换过程中,RMP 并不考虑发生的概率,而假设场景已经发生、已经造成后果来预测泄漏量。

### 3 有什么管控要求

TRI 只要求企业每年7月1日前提供信息。除排放与转移量的数据外,TRI 也要求企业填选采取的减排措施(EPA 将常见减排措施分 W 编码与 T 编码,供企业选择),但这些措施并不是 TRI 制度要求的,其本身只是一份回顾性的报告。相反,RMP 则要求企业提供证明落实 RMP 要求的信息,包括事前的防范措施、防备措施及事后的应对减缓措施,特别是主要体现在分级管理的措施方面,如二级企业必须提供安全信息、危害综述、操作步骤、培训、维修、事故调查、服从审查等证明信息;三级企业还需细化过程的安全信息与过程危害分析(PHA)、机械完整性、变更管理、项目启动前检查、承包商与雇员管理、热加工许可证等更多的证明信息。在预案内容方

面,RMP 只是要求企业与地方应急机构保持合作,密切沟通,如果有公共应急服务,企业可以不用编制环境应急预案。因此,RMP 本身更像是一份证明企业遵守法规并有能力处置的证明报告。在大气许可制度(CAA title V air permits)中,许可机关将企业是否完成 RMP 报告作为许可的前置条件<sup>[7]</sup>,而 TRI 并没有与其他制度进行捆绑。两个制度的防控措施对比,如表1所示:

表1 TRI 与 RMP 的防控措施示例对比

TRI 的减少排放措施示例	RMP 的防备控制措施示例
T 编码的 11 种	事前防备
污染防治内审	无减缓措施
污染防治外审	被动减缓措施(围堰、堤坝等)
物料平衡审核	主动减缓措施(水幕、洗涤等)
参与团队的管理	
员工建议(独立程序)	事发后减缓处置
员工建议(正式程序)	不干扰
州政府技术援助	补救措施
联邦政府技术援助	气体泄漏
协会/行业技术援助	抑制、通风等
供应商的帮助	液体泄漏在地面上
其他	吸附、转移、固化、中和、封盖等
W 编码的 九类	泄漏在水体中
良好操作实践	围挡、转移、吸附、驱散等
库存管理	主动措施
气液泄漏的防范	堵漏、引燃、转移、流量限制等
原料优化	
过程优化	
清洗与脱脂	
表面制备和喷涂	
产品优化	
其他	

为保证下游企业能够分析估算毒物在使用过程中的释放量,TRI 还要求上游企业要将其产品中毒物品种及含量等信息传递至下游企业,而 RMP 则无此企业间“上至下”的信息传递要求。另外,RMP 会根据最远影响距离内的受体、企业事故历史记录、行业类别等因素,对受控企业中的工艺风险等级进行快速划分(不是对企业的等级进行划分),不同等级的企业工艺,信息与管控要求不一样,一级企业工艺的要求最低,而 TRI 则没有设计对企业或其下游工艺的等级划分。

### 4 如何保障制度的实施

TRI 与 RMP 都有非常详细和众多的指南性文件,以供企业理解并遵守制度。TRI 核算排放量的指南主要按行业进行划分,不同行业有不同指南,同时也有少量针对重点物质的指南。每年开展 TRI 报

告前,EPA 也会更新填报表格及填表指南。RMP 通用指南和后果分析指南直接针对受控物质的泄漏或燃爆,不按行业进行划分,但在液氨冷冻、公共处理设施、化工仓库、丙烷用户等少数行业上也有针对性的指南。另外,为了协助企业开展后果分析,EPA 还与 NOAA 共同开发了 CAMEO、RMP \* Comp、ALOHA 等软件。

为有效应对两种制度的海量数据,EPA 分别建立了 RMP \* e Submit 与 TRI-ME web 的电子信息系统,以收集处理信息。TRI 的表格有 5 页,而 RMP 除了 27 页表格外,还有摘要、预案文本等内容。

两项制度还建立了政府检查的机制。TRI 主要检查不报、迟报与数据质量,而 RMP 则有详细的现场检查指南,包括检查程序和检查对照表等内容,以方便检查员逐项核实企业是否落实了 RMP 的规定。另外,两项制度均对“应提供但不提供”信息的企业给予严厉处罚,如,违反 RMP 要求的民事处罚,不超过每天 32 500 美元;有意违反 RMP 的刑事处罚,关押不超过 5 年。

## 5 如何利用信息

TRI 在没有借鉴已有制度的基础上,于 EPCRA 要求后的第 2 年就收到了第一批数据(涉及 19 266 家工厂),而 RMP 在借鉴了 1987 年开始实施的 EHS 制度,1992 年开始实施的过程安全管理(Process Safety Management,PSM)制度后,于 CAA 要求后的第 9 年才收到第一轮数据(涉及 15 430 家工厂)。对于 TRI 数据,EPA 会在其网站上每年全部公开企业提供原始信息,以供社会与个人使用与查阅。EPA 还发布区域风险初筛(risk screening environmental indicators,RSEI)指南,纳入 TRI 多年的数据,指导地方初筛本地环境风险。美国有毒办公室(OPPT)和固废应急办公室(OSWER)也分别基于 TRI 信息开展了两个自愿项目:33/50 有毒污染物排放降低项目(涉及 12 种有机物、5 种金属,于 20 世纪 90 年代初开始)和优先危害化学组分(Priority Chemicals,PC)危废量消减项目(涉及 28 种有机物、3 种金属,于 20 世纪 90 年代末开始),并取得了成功。

相比之下,RMP 的信息公开受到限制,只有周边公众能在附近的公共图书馆中可能查到零散信息。1999 年 8 月 5 日,美国特别通过了《化学安全信息、工厂安保与燃油管理法》(Chemical Safety Information,Site Security and Fuels Regulatory Relief Act,CSISSFRRRA),限制 RMP 中后果分析信息的广

泛公开,以防止恐怖组织利用 RMP 后果分析信息开展恐怖活动。2000 年,EPA 还公开发布支持 RMP 后果分析信息公开的报告,但 2001 年 911 恐怖事件后,EPA 也不再坚持 OCA 的信息公开。

## 6 两项制度的局限性

两项制度虽然经过实施证明有效果,但也有局限性。TRI 的局限性表现在:每年报告的数据是估计而非监测而来。释放数据只是报告一年的总数(以重量体现),并不能反映即时释放的浓度信息,不能得知企业排放的高峰时段和排放速率。TRI 数据只是释放量的信息,并没有考虑公众的暴露情况。估算数据的方法可能因时而异,因厂而异,因此对于结果的解释要谨慎。TRI 的化学物质名单和行业变化频繁,导致数据的可比性降低,如 1994 年 11 月,新增 286 种新的 TRI 物质;1997 年 5 月,新增 7 个行业纳入 TRI 报告。相同化学物质的不同名称较多,可能导致统计有误。TRI 的受控对象有限,并不包括所有企业<sup>[4]</sup>。RMP 的局限性表现在:RMP 并没有纳入全部有危害的化学物质;RMP 并没有要求列全所有的场景;RMP 只考虑了急性的危害及风险,并没有考虑慢性的危害与风险;RMP 只考虑了固定源的风险,没有考虑移动源风险。

## 7 结语

通过以上比较,可以看到美国防止有毒物质进入环境的制度考虑,面对数量众多、不可能一一制订控制标准的有毒物质,其防控核心可总结为递进的第四步。

第一步区分日常排放与应急泄漏,这反映了有毒物质进入环境两种不同方式的特点,避免了含混不清和措施针对性不强;

第二步通过化学物质确定受控企业,这抓住了化学污染的本质,受控物质与企业也都清楚,不至于落入泛泛而谈;

第三步计量和预测有毒物质进入环境中的“阴量”或“阳量”,这是实现有效管理必需掌握的技术,不至于落入无“数字”的盲目管理;

第四步采取具体措施防范其进入环境,这样基于以上三步而采取的措施才更有可操作性和实用性。

总之,RMP 强调事前掌控有毒物质的位置与量,避免时间和空间上的平均化,从某时某处的存在量预测泄漏量,有针对性地防范其突发泄漏,而 TRI

(下转第 6 页)

迁移能力及明显的生物累积性和毒性等 POPs 属性<sup>[2]</sup>。

## 1.2 氯化石蜡的分析检测方法

氯化石蜡在生产过程中氯化位点选择特异性低、氯化比例不固定,正构烷烃氯化后产生大量氯化同系物、对映及非对映异构体,无法在分析色谱柱上实现完全分离,给 SCCPs 的准确定量带来极大困难<sup>[2]</sup>。近年来各国研究人员尝试多种方法对 SCCPs 进行分析检测,并取得了一定的成果。目前普遍采用气相色谱(GC)方法对 SCCPs 进行分离,但由于 SCCPs 成分复杂,无法达到各组分完全分离,大量的共流出物常使色谱峰呈现一个驼峰形状,对其定量分析产生极大影响。

为了解决大量共流出物对定量分析的困扰,许多研究工作者尝试对常规 GC 方法进行改进。Coelhan<sup>[3]</sup>采用缺少足够色谱分离能力的短柱气相色谱方法,使 SCCPs 作为一个峰流出色谱柱。此方法分析速度快,灵敏度较好,但无法避免 MCCPs 的干扰,且对环境样品的净化处理要求苛刻。随后, Korytár 等<sup>[4-6]</sup>采用全二维气相色谱方法分离氯化石蜡,通过改变色谱柱的极性优化分离效果。该方法分析组分单一的氯化石蜡样品时分离效果较好,而对于复杂样品,相邻色谱峰边界出现明显重叠,难以得到有效分离。尽管目前多数研究工作者用气相色谱法对 CPs 进行分离,也有文献报道采用高效液相色谱(HPLC)分析 CPs<sup>[7]</sup>,但是由于液相色谱柱分离能力有限,难以将 SCCPs 与 MCCPs 和其他干扰物

质分离,因此应用较少。

SCCPs 最常用检测手段是电子捕获负化学源(ECNI)-高/低分辨质谱(HRMS/LRMS)。经过近 15 年的研究,这一方法已基本完善。在 ECNI 电离模式下,CPs 在质谱中主要产生  $[M-Cl]^-$ 、 $[M-HCl]^-$ 、 $[M+Cl]^-$  以及  $[Cl_2]^-$  和  $[HCl_2]^-$  离子<sup>[8]</sup>,该方法可以获得 SCCPs 同系物组分分布及氯含量信息。其中 HRMS 检测灵敏度高,但无法避免其他有机氯化物如氯丹、毒杀芬、PCBs 等对 SCCPs 的干扰,且设备昂贵。LRMS 检测成本相对较低,但其缺点在于分辨率较低,分子量相近的同系物组分彼此存在干扰,如 SCCPs 的  $C_{10}H_{14}Cl_8$  和 MCCPs 的  $C_{15}H_{26}Cl_6$ ,因此需要选择干扰尽可能小的碎片离子进行定量分析,并且严格控制保留时间和同位素丰度比,避免定量结果偏高。另一方面,采用 LRMS 分析环境样品时,其他有机氯化物的干扰较 HRMS 更为严重,对前处理要求苛刻。但无论是 HRMS 还是 LRMS 都无法避免的问题就是 ECNI 模式下,SCCPs 的响应因子依赖氯原子的数量和其在碳链上的位置,甚至有些低氯代组分无法检测。当采用不同组成的 SCCPs 混合物做定量标样时会对分析结果造成相当大的偏离。为了减小氯原子个数及取代位置的影响,Zencak 等<sup>[9]</sup>采用甲烷/二氯甲烷作为反应气,该方法在 ECNI 模式下不同氯含量的 SCCPs 组分具有相似的响应因子,可检测到低氯代(3~5 个氯原子)组分。但在电离过程中容易形成炭黑残留物,导致离子源快速衰减,因此不适于作为常规分

(上接第 4 页)

则强调事后报告有毒物质与工艺相关的日常排放信息,从年度的生产量推算年度累积的排放量,通过信息公开,既加强了公众对化学品的理解,又达到了减排的效果。两项制度相互补充,共同构成了阻止有毒物质进入环境的防线。两项制度设计的理念和管理方法都为我国制订有关有毒化学物质防控的制度提供了借鉴。

## 参考文献

[1] U. S. Environmental Protection Agency, Federal Emergency Management Agency, U. S. Department of Transportation. Technical guidance for hazards analysis, emergency planning for extremely hazardous substances[M]. USA: December 1987.

[2] United States Environmental Protection Agency. Toxics in the community, national and local perspectives [M]. USA: EPA,

560491014, September, 1990.

[3] United States Environmental Protection Agency. Chemical accident prevention provisions[M]. USA: 40 CFR (Code of Federal Regulations), June, 20, 1996: 68.

[4] United States Environmental Protection Agency. Chemicals, the press, and the public: A journalist's guide to reporting on chemicals in the community, toxic chemical release inventory reporting forms and instructions (Revised 2011 Version) [M]. USA: EPA 260-R-10-001, December, 2011.

[5] United States Environmental Protection Agency. General guidance on risk management programs for chemical accident prevention (40 CFR Part 68) [M]. USA: EPA 555-B-04-001, March, 2009.

[6] United States Environmental Protection Agency. Risk management programs guidance for offsite consequence analysis [M]. USA: EPA 550B99009, March, 2009.

[7] U. S. Environmental Protection Agency. Guidance on the application of refined dispersion models for hazardous/toxic air release [M]. USA: EPA-454/R-93-002, May 1993. ■