

比较风险评价在环境风险管理中的应用

杨 蕾, 马宗伟, 毕 军*

(污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学环境学院, 江苏南京 210023)

【摘 要】 在环境风险管理中, 需要针对不同的管理目标进行评估与排序, 实现有限资源供给下的风险管理效率最大化提升。作为环境风险优先管理中的一个重要内容, 比较风险评价是针对不同类型环境问题进行评估与排序的方法, 它可以从宏观尺度上有效识别出各类环境问题的风险大小顺序, 并有针对性地进行管理优先级的设置。本文在对国内外比较风险评价研究进行系统梳理的基础上, 分析其对我国环境风险管理的意义, 提出我国在开展环境问题的比较风险评价、建立与完善环境风险管理工作优先级等方面的建议。

【关键词】 比较风险评价; 环境风险管理; 优先级设置

【中图分类号】 X506; X507

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252 (2019) 03-0094-06

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2019.03.094

引言

近 40 年来, 在我国社会经济高速发展的同时, 由于环境风险管理体系的不完善, 各类突发环境事件频发^[1]。与此同时, 大气 PM_{2.5}、污染场地、新型污染物污染等各类累积性和长期慢性的环境风险也日益凸显, 对自然生态环境、人体健康、财产安全造成了严重的危害^[2]。在现实情况中, 环境问题往往错综复杂, 存在诸多不同类型、不同发生可能性与后果的环境风险, 环境风险管理者需要通过一定的方法确定环境风险的管理优先次序, 运用有限资源来实现不同环境风险之间的优化管理, 以实现最大程度的环境安全保障。

长期以来, 我国的环境风险优先管理以事件驱动型为主^[3]。例如: 2005 年松花江水污染重大事故发生后, 我国突发环境事件风险管理特别是应急管理处于高速发展期, 各种政策文件密集出台; 2009 年多起重金属污染事件引发了公众的广泛关注, 促使我国投入大量资源到重金属污染防治中, 重金属污染整体风险水平总体下降。然而, 事件驱动型的优先管理模式只能让我们被动地去识别环境风险管理优先序, 进而被动地采取措施, 使得风险控制效果有限。例如, 虽然在松花江水污染事故之后, 我国突发环境事件风险管理整体水平得到了很大提升, 突发环境事件风险有所下降, 但目前仍处于较高水平, 每年突发环境事件发生数量在 300 起左右, 并且重大突发环境事件仍时有发生。

总体来看, 我国缺乏全国性、综合性的环境风险分析与评估, 环境风险底数不清, 无法有效识别出现阶段主要的环境风险因子及管理优先级, 严重阻碍了环境风险的优先管理工作的开展^[3]。从宏观层面而言, 需要针对不同的环境问题进行风险评估, 建立起不同类型的风险管理优先序。比较风险评价 (Comparative Risk Assessment, CRA) 就是

出于识别哪一类的环境风险更应投入更多资源进行优先管理的目的, 对不同类型环境问题 (如突发环境事件、大气污染、场地污染等) 风险进行比较分析, 从环境问题类型的尺度上确定环境问题风险优先管理目标的一种分析方法, 最早由美国环保署 (EPA) 提出^[4]。本文通过系统梳理国内外已有理论研究和项目实践经验, 总结其经验、不足与发展方向, 论述其在我国环境风险管理工作中的重要性, 为我国进行比较风险评价、建立环境问题的风险管理优先级提供科学建议。

1 比较风险评价的内涵与意义

综合而言, 比较风险评价是连接风险评价与风险管理优先级及决策制定的一项重要政策分析工具, 它针对评估一定区域内不同环境问题所产生的环境风险进行比较与排序, 以确定优先管理的环境风险类型, 促进不同尺度 (全球、国家、区域) 环境保护、环境政策及环境管理工作良好开展^[5]。

1987 年 EPA 发表的《未完成的事业——环境问题的比较研究总结报告》^[4] 是世界上首个针对不同类型环境问题进行比较研究总结报告, 它开发了一套有效的方法体系, 为比较风险评价研究奠定了里程碑式的理论及实证研究基础。此后, 比较风险评价项目在美国各州^[6-8]、泰国、秘鲁等国及我国台湾等地区^[9-13] 开展, 旨在通过本地化的环境问题风险评估和排序, 进行区域风险管理优先级的设置。该方法已逐步成为在环境风险管理领域确定环境问题优先管理顺序的重要手段。综合而言, 比较风险评价主要具有以下三方面的意义:

一是从方法上而言, 比较风险评价提供了一个系统的

资助项目: 国家自然科学基金项目: 区域空气质量管理机制创新研究 (71433007)、中国环境治理模式转型的理论及实证研究 (71761147002)。

作者简介: 杨蕾 (1994—), 女, 研究生, 主要研究方向为环境规划与管理, E-mail: yanglei@smail.nju.edu.cn。

*** 责任作者:** 毕军 (1967—), 男, 教授, 主要研究领域为环境风险、环境政策等, Email: jbi@nju.edu.cn。

方法体系,针对不同类型环境风险综合地进行评价与排序,它是系统地衡量、比较和排序不同环境问题风险的一项必要的工具和分析过程^[14]。完整的比较风险研究往往涉及前期的工作组与人员确定、评估工作实施(包含研究边界确定、数据收集与分析及评估结果呈现)及后期的环境风险管理优先级及管理政策制定等阶段,涵盖了环境风险评价、管理优先级识别与政策制定的整个复杂的流程。同时,该方法融合现有的不同类型的环境风险的评价技术方法,在此基础上运用一定的综合方法得到不同环境问题的风险大小顺序,以进行环境管理优先级政策等的制定,其整体工作流程体现了环境风险评价与风险管理工作的衔接和统一。

二是从内容上而言,比较风险研究是基于不同的环境问题进行的综合性和整体性的风险评估。常规的环境风险研究往往着眼于单一的环境问题或风险类别,而比较风险评价针对不同环境问题的研究则基于环境质量、人口等基础数据,进行不同方面的风险评估工作:首先是针对各个环境问题,从不同的风险效应终点(如健康风险、生态风险等)出发,运用各自的评价标准对环境问题进行“摸底”,评估其各个方面的环境负面效应;其次是通过综合同一环境问题各个不同方面的环境风险的评价,识别出同一环境问题的风险管理方向和管理重点;最后是出于识别不同环境问题的风险大小的目的,按照一定的准则进行问题综合排序,以确定优先的环境问题管理类型。因此,比较风险分析可以从不同角度和层次对不同的环境问题风险进行评估与研究,有助于更全面地对环境问题造成的风险进行理解和认识。

三是从应用上而言,实现环境问题的风险优先管理是比较风险研究的最终目的。在《未完成的事业——环境问题的比较研究总结报告》中,EPA针对不同环境问题的风险评估与排序就是出于想要识别出环境保护工作中管理的优先级,以实现有限资源的更好利用的目的来开展的^[4]。从这个层面而言,比较风险评估具有宏观尺度的实用性和政策意义,它可以基于实际环境政策和管理需求,针对具体需要进行管控的各个区域和不同类型的环境问题进行定向研究,实现基于各类的环境风险评价的环境问题优先级制定工作,真正发挥其以风险控制为目标导向、解决实际环境优先管理诉求的作用。

2 比较风险评价研究现状

2.1 研究经验

目前,除我国台湾地区进行过初步研究外,我国尚未较为系统地开展过比较风险评价研究,而国外丰富的理论及项目案例研究可为我国开展此项工作提供研究和实践的参考经验。

EPA是进行比较风险研究的先驱,除《未完成的事业——环境问题的比较研究总结报告》外,EPA自1979年起先后出版《减小风险——为环境保护设置优先级和策略》^[15]《美国环保署通过风险评估排序来减小风险的方

法》^[16]《风险排序和设置环境优先级的指南》^[14]等专著和报告,介绍了比较风险评估的方法和EPA在风险评估排序过程中是如何减小环境问题的风险的。与此同时,30多个比较风险评价项目在美国各个州、城市与社区开展,通过识别不同环境问题的风险大小,建立起了本地化的环境问题的管理优先级^[6-8]。

在评估方法和内容层面,部分研究针对比较风险项目中不同类型风险的评价方法^[17-19]、风险排序方法^[20-24]、评估过程中的不确定性处理^[25,26]、项目过程中的公众参与^[27-29]、风险管理决策制定^[30,31]、基于不同项目结果的环境问题风险综合比较^[32,33]等进行研究。部分研究基于已完成的或进行中的评估项目,进行项目的经验归纳总结及结论分析,如对EPA《未完成的事业——环境问题的比较研究总结报告》报告的分析评价^[34,35],美国各州与地区的比较风险项目比较^[34,36-38]等。近年来,随着环境健康风险和精细化暴露评估技术的发展,比较风险评价的内容和范围进一步拓展,针对不同污染物质、不同环境问题的健康风险、疾病负担及其相关研究不断深入,如全球疾病负担系列研究(GBD)针对不同类型的行为、环境和职业等风险,进行系统性的研究分析^[39,40];Danielle等对瑞士的交通噪声和空气污染造成的生命损失和发病率进行比较风险评估^[41]等等。

表1展示了部分具有代表性的比较风险研究成果。基于对区域环境风险管理优先级设置的实际需求,各个研究通常选择的环境问题类型及评估方式也往往存在较大的差异。

在评估内容上,考虑到评估的环境问题和区域的差异性,各研究用于进行环境问题的风险排序的评判标准和评判系统设置存在较大差异。但一般而言,选择排序的风险类型集中于健康(致癌、非致癌)、生态、福利三种风险类型,也有部分研究选择了单一的风险类型(如健康风险)作为环境问题排序的标准。在对风险的评价上,研究项目通常选择剩余风险(现阶段尚未被管理控制的风险)^[4]作为评价对象,最终运用排序、分类等方式得到不同类型环境问题的风险排序结果。

在评估人员架构上,参与比较风险评价的人员主要包含政府、咨询机构、环境专家等技术方,评估工作通常由技术专家完成。与此同时,还有部分研究收集了包括公众、受影响企业等多方相关利益群体的意见。如《未完成的事业——环境问题的比较研究总结报告》^[4]中纳入已有的公众环境风险感知情况的调研数据,将其与环境专家的技术评估结果进行比较与综合,得到最终的问题风险排序。因此,比较风险评估过程应该是一个审议民主的过程,在环境决策的制定过程中需要进行结合技术和民主两方的意见^[29]。

在评估结果的呈现方式上,不同的比较风险评价研究形成的结果往往是基于实际工作方法和现实需求进行呈现。如《未完成的事业——环境问题的比较研究总结报告》^[4]中采用问题综合排序说明、各类环境风险排序说明及各个环境问题详细说明3种不同的方式表征其评价结果;美国新泽西州的比较风险评价则着眼于具体的环境风险物质,除综

表1 比较风险评价的部分研究案例

研究区域	环境问题 个数	进行排序的 风险类型	是否评估剩 余风险	排序方式	项目参与者	风险排序方法的显著特点
美国全国 (USEPA,1987 ^[4])	31	致癌、非致癌、 生态、福利	是	部分排序、 部分分类	政府专家	每个工作组制定了自己的标准和评分系 统来进行排序
秘鲁利马 (Sessions S,1997 ^[12])	12	人体健康	是	部分排序、 部分分类	政府 / 非政府专 家、公众	在审查信息和数据后总结委员会的判断
泰国曼谷 (USAID,1990 ^[9])	11	人体健康	是	分类	咨询专家	采用估计的发病率和严重程度指数对问 题进行排序
保加利亚特罗扬 (ICLEI,1995 ^[42])	4	人体健康、 生态、福利	是	分类	项目官员、各部 门专家	技术委员会列出问题并根据风险排序
中国台湾地区 (Richard D,2000 ^[13])	15	致癌、非致癌、 生态、福利	是	部分排序、 部分分类	政府、高校、咨 询企业、研究机 构人员	专家基于各方的专业判断对问题进行识 别排序
美国新泽西州 (Daniel I. Rubenstein,2003 ^[43])	88	人体健康、生态、 社会经济 (福利)	是	部分排序、 部分分类	项目官员、 研究技术专家组	基于不同的应激物质设置环境问题；重 视不确定性的考虑，在评估与排序的过 程中运用蒙特卡洛方法进行不确定性分 析、敏感性分析等

合排序结果外，还呈现了不同风险类型的结果的排序、不确定性、变化趋势及潜在的灾难性大小，并针对不同的环境问题进行详细的说明^[43]。有学者提出，在对不同环境问题的风险排序过程中，最重要的不是得到一个单纯的问题风险排序，而是基于这项工作的开展厘清不同环境问题的实际风险情况，从不同角度刻画出环境问题的风险的“全貌”，以支撑后续的环境管理优先级及相关环境政策制定工作^[30]。

2.2 研究不足与展望

作为一种有效的风险排序的方法，比较风险评价可以有效识别出环境问题管理优先序，但其理论研究与实践项目集中在 20 世纪，其方法已不能完全满足当代环境风险管理的需求，总体而言，现有相关研究存在以下几点不足与局限性。下文针对其研究不足进行了讨论，并提出了解决建议。

首先，是相关理论研究不足。尽管美国等多个国家及地区已经开展比较风险研究，但已有研究多以实践项目研究为主，其模式及框架主要参照 EPA 发布年限较早的评估指南及其他已完成项目进行；在技术方法层面，缺乏完全适用于本地化的比较风险评估技术体系。考虑到不同国家及地区环境管理工作的差异性，各地的比较风险采取的技术框架和评估模式也应体现一定差异性，而目前具有前瞻性的比较风险的技术方法研究还比较缺失。因此，后续研究应该在已有理论的基础支撑之下，进行环境问题的优先管理识别技术指南和标准体系的构建与修订，推进适用于不同区域的比较风险评价整体工作流程、评价标准及具体评价方法等方面的理论及技术导则的制定，构建出适合不同区域特点的具备科学性、可操作性的评估方法体系。

其次，已有的比较风险评价研究多着重于前端的风险

评价工作，其工作主要是为得到不同环境问题的风险大小顺序，但最终结果对于实际的环境风险管理优先级政策制定的效果并不显著^[8]，其作为一项政策工具而言其功能性发挥不足。作为环境风险管理优先级制定的重要依据，今后的比较风险评价工作在帮助进行更好的环境风险现状情况了解的同时，应更加重视其评估结果在实际环境优先管理工作中的应用，通过结合成本效益等方法，研究各类环境问题的风险削减控制成本、生成新的或修正已有的风险优先管理策略，实现以运用最优的资源配置来进行环境风险管控。

再次，环境风险评价往往充满不确定性^[25]。考虑到环境问题的复杂性、风险计算及外推方法的科学性、数据的合理性等问题，不确定性分析应该贯穿于比较环境风险评价的整个流程当中，对评估方法、数据及评估结果等方面的不确定性并加以说明。除美国新泽西州项目在项目整个过程中采取了不确定性分析方法，并详细说明结果的不确定性^[43]之外，已有研究往往存在方法不确定性讨论或结果不确定性说明不足等问题。在后续的评估工作中，应强化各国的环境数据基础研究，以得到更为精确的环境风险评估及预测结果。同时，不断完善和修订环境风险评估模型及参数，以减少分析中的不确定性。在排序结果说明部分，应对评估过程及结果的不确定性进行详细的说明与分析，以求得到最为合理、充分的环境问题风险比较分析结论。

最后，已有的比较风险评价项目多由政府及环境保护机构主导，其整体评价及判断过程依赖于环境风险专家、政府官员等的专业考虑和价值判断。公众对项目参与度和对项目的了解程度均较低，对项目结果的报告与传播也大多局限在专业领域，严重阻碍了这项工作发挥其环境风险

交流和环境风险教育的作用。随着社会经济的发展,公众环境需求和环境风险水平的矛盾日益凸显,公众对风险的感知和判断越来越多地在环境管理决策中发挥作用。作为在环境风险管理政策制定工作中一个需要被重视的群体,公众对环境风险的判断可能与专业人士存在较大差异^[44]。因此,今后的比较风险分析研究应更加重视不同利益群体的多方意见,促进环境问题优先级制定的民主性的共识达成,促进环境保护政策的有效实施^[29]。

3 比较风险评价在我国环境风险管理中的应用价值

在我国目前的环境风险优先管理的工作中,对于区域环境风险评价与优先管理^[45-47]、风险源识别与分级^[48,49]、各环节风险全过程分析^[50,51]等方面已经开展了一系列的研究,但总体而言,我国环境风险管理仍处于事件或问题驱动的环境管理优先级设置模式^[2]。2015年中国环境与发展国际合作委员会专题政策研究项目的《生态环境管理研究报告》从突发污染事故等7个方面选取代表性的指标对不同环境问题的风险进行了半定量的分析与比较,运用风险玫瑰图表征中国环境风险的总体水平^[52]。但目前我国针对不同环境问题的比较风险识别与排序,无论是理论方法研究还是工作实践,均还基本处于空白状态^[3]。比较风险评价研究的开展,可为厘清我国环境风险现状、识别不同类型环境问题的优先级等方面工作开展提供有效技术和方法支持,对于我国的环境风险管理而言,具有重大的应用价值。

3.1 有助于厘清我国环境风险现状

对环境风险清晰的认识,是制定目标与战略、有效开展环境风险防控与管理的重要前提和基础^[2]。目前,我国对于环境风险的评价与管理研究主要集中在突发环境风险方面,对累积性/慢性环境风险问题分析评价不足。在全国和各个区域层面针对不同环境问题开展比较风险评价研究,可以系统、综合地对各个不同类型环境问题的环境风险现状进行梳理,识别主要环境风险因子,有助于厘清我国各类环境风险问题的风险水平及严重性,从根本上解决我国的环境风险评估、累积性和长期慢性的环境风险问题评估和识别不足的问题,为我国环境风险管理各项工作的开展提供研判基础。

3.2 有助于环境风险管理优先级识别

长期以来,我国的环境风险管理属于“事件驱动”模式,尚未实现向以风险控制为目标导向的环境管理模式的转变。就环境风险优先管理工作而言,我国现有的优先管理研究和实践工作往往集中在尺度较小的区域、风险源和风险环节层面,且相关技术指南可操作性有待进一步提升。比较风险评价工作的开展可以有效地填补我国目前在环境问题优先管理工作中的空白,从更为宏观的尺度上实现环境风险管理的优先序的制定,推进环境风险优先管理战略的构建与开展,为环境风险的分区、分类、分级管理工作提供支撑,实现自上而下的环境风险优先管理体系的构建。

3.3 有助于环境风险交流工作开展

现阶段我国的环境风险交流体系仍在初步建设当中,风险信息公开机制尚不完善,相关信息公开度与公众可信度不高。环境风险评估工作、特别是环境风险分级的标准大量依赖于专家学者的研究和判断,公众参与度较低,说服力不足^[53]。从这个层面上讲,比较风险评价工作的开展可有效提升环境风险管理工作中的公众参与度。同时,比较风险评价结果提供更为综合全面的环境风险信息和防控内容,有助于更好地开展风险交流、风险防控教育工作。

4 我国比较风险评价体系的构建与完善

通过比较风险评价研究,可以确定我国不同环境问题的风险排序,建立我国环境问题风险管理优先级清单,支撑后续更为精细化的区域、行业及特征因子的风险评价与优先管理工作。基于已有研究理论和实践经验,本文提出构建我国环境风险比较评价与风险优先级管理体系的几点建议。

4.1 健全我国环境数据研究体系

环境数据(如环境质量数据、风险源数据、人口暴露数据等)是支撑比较风险评价工作的基础。目前,我国环境基础数据库建设不足,国家和区域尺度的特征污染物、风险源的整体性的数据监测和调查程度较低。同时,我国目前的暴露参数种类仍然较少,暴露参数手册暴露参数的区域精细化程度不够^[54]。这些问题阻碍了比较风险评价工作的有效开展。因此,我国应在现有的工作基础之上,完善环境基础数据的收集和整合工作,建设更为全面和综合的环境数据库;同时,进一步开展暴露参数的细化和修订工作,以支撑环境风险评价工作的有效开展。

4.2 建立适用于我国的比较风险评价指南

目前,我国尚未发布关于比较风险评价、环境问题风险优先级确定的技术方法和指南,这直接导致了对环境问题的评价和管理优先级制定上的不足。因此,首先我国应在借鉴国外比较风险评价方法和研究的经验的基础之上,结合本国实际情况及发展需求,制定适用于本国的比较风险评价技术导则或评估指南,为环境问题的比较评价工作提供根本的技术支持,保证环境问题优先级评价工作开展的一致性和公信力。其次,我国应在已有的健康风险评价指南基础上,结合国内外已有的研究和科学知识,制定各类不同类型环境风险的评估技术导则和方法,以推动不同类型环境问题风险评估工作进一步的开展,为环境风险排序研究提供工作基础。

4.3 开展初步的比较风险评价研究

我国应在借鉴国外比较风险评价理论和实际研究的基础之上,通过整合历史环境数据资料、分析已有环境风险评估结果、咨询专家及公众意见等技术方法,对现阶段的各类较为常见、危害较大及关注度较高的环境风险类型和

问题,开展整体(全国)和不同区域层级(各省、各重点区域及城市)的比较风险分析试点工作,以初步厘清我国现阶段不同类型环境问题的风险相对大小及需要重点关注和控制的环境风险类型的优先顺序。适当条件下,可将评价结果运用于实际的环境风险管理优先级制定工作中,推进目标导向的环境风险管理模式构建。

4.4 构建更为完善的环境风险交流体系

公众是比较风险项目的一个重要的参与方和利益群体,在进行不同环境问题的风险比较时应该纳入公众对环境问题的评价与认识;另外,比较风险评价结果的一个重要作用就是对公众进行环境风险教育与风险交流。我国应强化公众在环境风险管理中的参与角色作用,通过比较风险评价等的开展,协调参考公众在风险管理中的各项意见和建议,并向公众进行更为全面的信息公开和教育。此外,应进一步开展环境风险感知研究,通过了解公众对于不同环境问题的风险感知现状和其与性别、年龄、职业等人口学、社会经济变量的相关性,制定出更具有针对性的环境风险管理和风险交流策略。

5 结语

比较风险评价是制定不同类型环境问题的风险管理优先级的一个重要且有效的方法,它可以在一定程度上实现环境风险的综合评价及排序,促进我国环境风险管理模式从事件导向型向目标导向型的转变。为识别我国环境问题的风险管理优先级,提高我国环境风险评价和管理水平,需要在借鉴国外优秀研究经验的基础之上建立适用于我国的比较风险评价指南,通过建立健全现有的环境数据体系,开展初步的比较风险评价研究工作,识别目前我国环境风险管理的优先级。同时,建立更为完善、有效的环境风险交流体系,重视公众、企业等多个相关利益群体的不同观点,使风险交流贯穿于比较风险评价的全过程并在后续的环境风险教育和交流工作中持续发挥作用。通过比较风险评价研究实践工作的开展,推动我国环境风险评价与风险优先管理模式的发展与转型,提升与丰富我国环境风险管理的深度和内涵。

参考文献

- [1] CAO G, YANG L, LIU L, et al. Environmental incidents in China: Lessons from 2006 to 2015 [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 633: 1165-1172.
- [2] 毕军, 马宗伟, 刘苗苗, 等. 我国环境风险管理的现状与重点 [J]. *环境保护*, 2017, 45(5): 13-19.
- [3] 毕军, 马宗伟, 杨蕾, 等. 中国环境风险优先管理: 现状及未来战略 [M]// 李金惠. 中国环境管理发展报告(2017). 北京: 社会科学文献出版社, 2017.
- [4] USEPA. Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems[R]. Washington, DC: USEPA, 1987.
- [5] MCCALLUM D B, SANTOS S L. Comparative risk analysis for priority setting[J]. *Human and ecological risk assessment: an international journal*, 1997, 3(6): 1215-1234.
- [6] FELDMAN D L, HANAHAN R A, PERHAC R. Environmental priority-setting through comparative risk assessment[J]. *Environmental management*, 1999, 23(4): 483-493.
- [7] GERRARD M B, GOLDBERG D. Comparative Risk Assessment in New York [J]. *Albany Law Journal of Science & Technology*, 1996, 171-183
- [8] ANDREWS C J, APUL D S, LINKOV I. Comparative risk assessment: past experience, current trends and future directions[M]//LINKOV I, RAMADAN A B, eds. *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*. Dordrecht: Springer, 2004.
- [9] USAID. Ranking Environmental Health Risks in Bangkok, Thailand[R]. Washington, DC: USAID, PDC-1008-I-00-9066-00, 1990.
- [10] USAID. Comparing Environmental Health Risks in Cairo, Egypt[R]. Washington, DC: USAID, Project 398-0365, 1994.
- [11] USAID. Comparative Risk Assessment for Central America: Executive Summary[R]. Washington, DC: USAID, ANE-0178-Q-00-1047-00, 1996.
- [12] SESSIONS S, ZUCCHETTI A, ALEGRE M, et al. Proyecto Ecoriesgo: Ranking Environmental Health Risks in Metropolitan Lima, Perú [R]. Prepared for USAID//Perú by Project in Development and the Environment, ANE-0178-Q-00-1047-00, 1997.
- [13] MORGENSTERN R D, SHIH J S, SESSIONS S L. Comparative risk assessment: an international comparison of methodologies and results[J]. *Journal of hazardous materials*, 2000, 78(1-3): 19-39.
- [14] USEPA. A Guidebook to Comparing Risks and Setting Environmental Priorities[R]. Washington, DC: USEPA, 1993.
- [15] USEPA. Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection[R]. Washington, DC: USEPA, 1990.
- [16] USEPA. U.S. Environmental Protection Agency's Approach to Risk Reduction Through the Process of Comparative Risk Assessment [R]. Washington, DC: USEPA, 1993.
- [17] TAL A, LINKOV I. Role of comparative risk assessment in addressing environmental security in the middle east[J]. *Risk analysis*, 2004, 24(5): 1243-1248.
- [18] ROBSON M, TOSCANO W. Risk Assessment for Environmental Health[M]. San Francisco: Jossey-Bass, 2007.
- [19] BOBYLEV N. Comparative risk assessment and environmental impact assessment: similarity in quantitative methods[M]//LINKOV I, RAMADAN A B, eds. *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*. Dordrecht: Springer, 2004.
- [20] FISCHHOFF B. Ranking risks[J]. *RISK: health, safety & environment (1990-2002)*, 1995, 6(3): 191-202.
- [21] DEISLER JR P F. A score comparison method as an aid to integrating separate comparative risk rankings into a single, comparative risk ranking[J]. *Risk analysis*, 1997, 17(6): 797-806.
- [22] MORGAN M G, FLORIG H K, DEKAY M L, et al. Categorizing risks for risk ranking[J]. *Risk analysis*, 2000, 20(1): 49-58.
- [23] FLORIG H K, MORGAN M G, MORGAN K M, et al. A deliberative method for ranking risks (I): overview and test bed development[J]. *Risk analysis*, 2001, 21(5): 913-921.
- [24] MORGAN K M, DEKAY M L, FISCHBECK P S, et al. A deliberative method for ranking risks (II): evaluation of validity and agreement among risk managers[J]. *Risk analysis*, 2001, 21(5): 923-937.
- [25] ANDREWS C J, HASSENZAHN D M, JOHNSON B B. Accommodating uncertainty in comparative risk[J]. *Risk analysis*, 2004, 24(5): 1323-1335.
- [26] ANDREWS C J. Lessons from the new jersey comparative risk project[M]//LINKOV I, RAMADAN A B, eds. *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*. Dordrecht:

- Springer, 2004.
- [27] MOFFET J. Environmental priority setting based on comparative risk and public input[J]. Canadian Public administration-administration publique du canada, 1996, 39(3): 362-385.
- [28] PERHAC R M JR. Comparative risk assessment: where does the public fit in?[J]. Science, technology, & human values, 1998, 23(2): 221-241.
- [29] APPLGATE J S. Comparative risk assessment and environmental priorities projects: a forum, not a formula[R]. Maurer School of Law: Indiana University. 1998, 25(1):71-109.
- [30] JONES K. Can comparative risk be used to develop better environmental decisions?[R]. Duke Environmental Law & Policy Forum, 1997, 8(1): 33-46.
- [31] LINKOV I, SATTERSTROM F K, KIKER G, et al. From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: recent developments and applications[J]. Environment international, 2006, 32(8): 1072-1093.
- [32] KONISKY D M. Comparative risk projects: a methodology for cross-project analysis of human health risk rankings[R]. //Resource for the future Discussion papers. Washington, DC: Resource for the future, 1999.
- [33] KONISKY D. Over a decade of comparative risk analysis: a review of the human health rankings[J]. RISK: health, safety & environment, 2001, 12(1-2): 41-58.
- [34] JONES K, KLEIN H. Lessons from 12 years of comparative risk projects[J]. Annual review of public health, 1999, 20: 159-172.
- [35] MORGENSTERN R, SESSIONS S. Weighing environmental risks: epa's unfinished business[J]. Environment: science and policy for sustainable development, 1988, 30(6): 14-39.
- [36] MINARD R A. A focus on risk: states reconsider their environmental priorities[J]. Maine policy review, 1991, 1(1): 13-27.
- [37] JONES K. A Retrospective on ten Years of Comparative Risk[R]. Montpelier, VT: American Industrial Health Council, 1997.
- [38] JOHNSON B L. A review of health-based comparative risk assessments in the United States[J]. Reviews on environmental health, 2000, 15(3): 273-287.
- [39] LIM S S, VOS T, FLAXMAN A D, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010[J]. The lancet, 2012, 380(9859): 2224-2260.
- [40] FOROUZANFAR M H, AFSHIN A, ALEXANDER L T, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015[J]. The lancet, 2016, 388(10053): 1659-1724.
- [41] VIENNEAU D, PEREZ L, SCHINDLER C, et al. Years of life lost and morbidity cases attributable to transportation noise and air pollution: a comparative health risk assessment for Switzerland in 2010[J]. International journal of hygiene and environmental health, 2015, 218(6): 514-521.
- [42] INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES(ICLEI). Risk-based planning: the trojan environmental action project[M]//ICLEI. The Local Agenda 21 Planning Guide. Toronto, ON, Canada: ICLEI, 1995.
- [43] DANIEL I. R, SHERYL T, et al.. Final Report of the New Jersey Comparative Risk Project[R]. Trenton, NJ: New Jersey Department of Environmental Protection, 2003.
- [44] ROCKS S A, SCHUBERT I, SOANE E, et al. Engaging with comparative risk appraisals: public views on policy priorities for environmental risk governance[J]. Risk analysis, 2017, 37(9): 1683-1692.
- [45] 王静, 钱瑜. 区域环境风险评价方法初探 [J]. 污染防治技术, 2009, 22(01): 19-21,27-27.
- [46] 唐征, 吴昌子, 谢白, 等. 区域环境风险评估研究进展 [J]. 环境监测管理 与技术, 2012, 24(01): 8-11.
- [47] 曲常胜, 毕军, 葛怡, 等. 基于风险系统理论的区域环境风险优化管理 [J]. 环境科学与技术, 2009, 32(11): 167-170.
- [48] 袁鹏, 许伟宁, 宋永会. 企业突发环境事件风险等级评估与实践探索 [J]. 环境保护, 2013, 41(21): 39-40.
- [49] 宋永会, 袁鹏, 彭剑峰, 等. 突发环境事件风险源识别与监控技术创新进展——(I) 环境风险源识别技术与应用 [J]. 环境工程技术学报, 2015, 5(5): 347-352.
- [50] 李凤英, 毕军, 曲常胜, 等. 环境风险全过程评估与管理模式研究及应用 [J]. 中国环境科学, 2010, 30(6): 858-864.
- [51] 张剑智, 李淑媛, 李玲玲, 等. 关于我国环境风险全过程管理的几点思考 [J]. 环境保护, 2018, 46(15): 41-43.
- [52] BI J, ZHANG S Q, ZHANG J L, et al. Special Policy Study Report on Eco-Environmental Risk Management[R]. Beijing: China Council for International Cooperation on Environment and Development (CCICED), 2015.
- [53] 吕培辰, 李舒, 马宗伟, 等. 中国环境风险评价体系的完善: 来自美国的经验和启示 [J]. 环境监控与预警, 2018, (2): 1-5.
- [54] 环境保护部. 中国人群暴露参数手册 (成人卷) [M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.

Application of Comparative Risk Assessment in Environmental Risk Management

YANG Lei, MA Zongwei, BI Jun*

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: In the field of environmental risk management, it is necessary to rank different management tasks and set priorities to maximize the risk management efficiency under the limited resources. As a useful tool of environmental risk management, comparative risk assessment is a method for evaluating and ranking different types of environmental problems, which can effectively identify the order of different kinds of environmental risks and set priority for different environmental problems different environmental problems. Based on reviewing analysis, this paper analyzed significance of comparative risk assessment to the environmental risk management in China, and proposed some suggestions on how to carry out the future comparative risk assessment in China, aiming to help improve the priority setting in current environmental management.

Keywords: comparative risk assessment; environmental risk management; priority setting