

· 前沿评述 ·

# 风险排序及其在环境风险管控中的应用

戴婧, 毕军, 马宗伟\*

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

**摘要:**从风险排序的概念及应用需求出发,系统阐述了风险排序在当前风险管理特别是环境风险管控领域中的意义。指出风险排序是对风险定义在管理实践层面的应用深化。从风险排序影响因子的类别划分、来源构成、演化趋势以及排序方法的发展规律和优劣特征等角度进行系统综述,指出目前风险排序影响因子的界定及选取已呈现由风险理论限定过渡至突出服务风险管理为导向;风险排序方法学也逐步由单一方法排序过渡至多元方法互补排序的新阶段,逐步实现对风险排序结果的综合考量和准确度量。在此基础上,对风险排序方法在环境领域的实证研究进行归纳分析。总结指出了当前风险排序研究多以结果的量化表征为焦点,而其排序方法及配套排序指标选取的适用性、综合性及代表性检验仍需进一步研究分析,尤其是对排序机理、风险理论及风险管控需求间内在相互关系的系统解析将是未来实现风险排序客观全面提升的重要基础及意义所在。

**关键词:**环境风险, 风险排序, 风险等级, 风险管理

中图分类号:X32.022

文献标识码:A

文章编号:1674-6732(2016)01-0001-04

## Risk Ranking and Its Applications in Environmental Risk Management

DAI Jing, BI Jun, MA Zong-wei\*

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

**Abstract:**Based on the concept and practical demands of risks ranking, this work gives a systematic demonstration of risks ranking in the present risks management, especially in environmental fields by highlighting the pragmatic significances, and suggests that risks ranking is the deep understanding of the application of risk theory in risk management and prevention. Meanwhile, we have systematically reviewed the impact factors of risks ranking from the views of the classification, sources and evolutions, as well as the development laws and the characteristics of risks ranking, and indicated that the definition of impact factors associated with the risk ranking has evolved from rationalistic acknowledge into a stage emphasizing on services for risks management, while the methodology of risks ranking is gradually changing from single-factor into the complementation of multifactorial and integrated mechanism to obtain a more integrated and accurate risk ranking results. Then, the empirical studies of risks ranking methodology and their applications in environmental fields were reviewed and analyzed in this work. Finally, this work summarized that the present studies of risk ranking mainly focus on the measurability, while the applicability, comprehensiveness and representativeness of the ranking methodology and its associated ranking indexes still require further investigations. Most importantly, study on the internal interactions among the ranking mechanism, ranking theory and risk controlling is the key factor to improve the risks ranking in future.

**Key words:**Environmental risks; Risk ranking; Risk rating; Risk management

### 1 风险排序概念及在环境管理领域的应用需求

风险通常指遭受某种伤害或损失的可能性<sup>[1]</sup>,而环境风险则特指由自然原因或人类活动引起的,通过降低环境质量对人类健康、自然生态产生损害事件的可能性,其表征由环境事件发生概率及后果大小的综合结果来确定,即:环境风险水平=事件导致的损失大小×风险事件发生的概

率<sup>[2]</sup>。上述定义明确了环境风险表征的两个基本属性,也是风险辨识与风险管控在环境领域应用的

收稿日期:2016-01-05

基金项目:国家自然科学基金重点项目(71433007)

作者简介:戴婧(1985—),女,工程师,博士,从事环境规划与风险管理研究。

\* 通讯作者:马宗伟 Email:njumazw@163.com

重要理论基础<sup>[3]</sup>。由于环境风险源种类繁多,且风险源与风险受体之间的作用机制交错复杂,面对当前有限的环境风险管控能力和人员物资基础,为合理配置风险管控资源及提升管控效果,实现基于有限投入下环境风险管控效益最大化的目标,十分有必要对众多环境风险进行差别化评估,辨识出风险大小的水平级别和管控优先顺序,以最大限度地为环境风险管理层提供决策依据,确保风险管控对策实施的针对性和高效性<sup>[4]</sup>。

对于环境风险排序的需求,实质上是对环境风险定义在管理实践层面的应用和深化。近年来国内外众多学者在“风险排序”理论研究与实践应用中给出了较为一致的解析<sup>[5-9]</sup>,Turner<sup>[6]</sup>认为风险等级是基于风险影响排序结果而得出,这一表述在界定风险内涵的同时描述了风险排序过程<sup>[5]</sup>;Simon等<sup>[7]</sup>即将风险的概率和影响量化赋分以形成“风险排列次序”;Ward等<sup>[8]</sup>通过“风险重要性”和“风险排列次序”来表达风险水平的差异化;多英全等<sup>[9]</sup>提出基于“事故概率和后果分析”的风险排序方法,并在应用至重大危险源监察和管理的优先序确定时得到了很好的验证效果。由此可见,风险排序的核心思想是对风险概率和风险影响集成效应的量化评估,从一定程度上看,评估结果越高,风险排序位次越高,其管控的重要性和紧迫性越强。

## 2 风险排序的影响因子

风险排序的影响因子是风险排序中用于衡量风险等级的作用因子,通常以“风险排序指标”的形式进行量化表征。而环境风险排序的影响因子则是针对环境类风险事件在排序过程中对评估结果产生作用的相关因子。风险排序结果通常受到风险发生的概率与后果的严重性两个维度指标的影响。张镭<sup>[10]</sup>等在医药领域对药瓶风险管控表征时,从风险发生的可能性及后果的严重性出发,采用德尔菲法实现药品管理风险等级排序;黄凌等<sup>[11]</sup>在评估工程建设安全风险时借助大坝溃坝概率和溃坝后果系数两项指标计算出不同大坝建设过程的风险指数,并将该指数指标作为表征不同类型水坝建设安全风险排序的依据;学者张亚东等<sup>[12]</sup>在交通运输类风险排序中从危害事件的发生频率和后果严重度两方面构建风险评价指标体系,并在此基础上针对列车运行控制系统中风险事件进行排序。上述方法的共同特征是:风险排序的影

响因子由风险概率与后果的二维指标度量,与风险定义的内涵十分吻合。此外,Charette<sup>[13]</sup>提出了风险二维指标之外的风险排序影响因素的第三维度——风险“预见性”,目的是在包含风险排序客观影响因子的基础上增加工程运营后对实际管理的主动性考量。上述指标变化趋势已在近期相关研究中得到肯定或借鉴,如Haimes<sup>[14]</sup>发现仅使用二维常规的客观性指标评价风险期望值并不充分。Wynne<sup>[15]</sup>针对风险衡量标准的表征与排序提出了基于“风险、不确定性、无认知和不明确”的细化影响因子,使得对风险排序影响因子的研究进入更加细致深入的探究阶段。近年来我国学者在针对常规风险值计算公式中忽略了风险是否能被监测到的问题,引入“风险监测能力”指标来增加对风险水平及排序结果的进一步优化<sup>[16]</sup>。

从上述针对风险排序影响因子的分解研究不难看出,对于风险排序的客观评价通常是基于风险认知的二维影响因子来确定,而环境风险排序的主观管理需求则不仅需要考量风险影响的大小和风险出现的可能性这些客观因子,还需依据风险类型和特征的差异识别其他主观需求下的环境管理响应因子,如环境风险发生的可控性和可监测性、环境风险发生后可行的响应措施性质以及可以用于响应的的需求等<sup>[8]</sup>,这些因子的引入为后续风险排序结果的解读及应用提供了更充分的现实基础与可行性依据。

## 3 风险排序方法比较

风险排序方法通常是在识别风险排序影响因子基础上,对风险大小及管控优先程度进行定量、半定量或定性判别的具体手段。通常受风险类型、影响因素以及风险发生的规律性差异等客观因素影响,对风险排序时通常采取不同的表征方式,现行的常规排序方法有:层次分析法、风险矩阵法、蒙特卡罗法、模糊逻辑方法等四大类。其中,(1)层次分析法主要用于在多因素情况下集中确定主要风险因素,具体而言是将组成复杂问题的多个元素权重的整体判断转变为对这些元素进行“两两比较”,然后再转为对元素的整体权重进行排序判断,最后确立各元素的权重<sup>[17]</sup>;(2)风险矩阵法是依据风险定义的二维影响因子来判定危险有害因素分级的方法,该方法依据事故发生的可能性和后果的严重度,针对各种不同类型(如人失误、设备

故障)的危险有害因素进行分级,同时兼顾人员伤亡和设备损坏等方面的危险后果<sup>[18]</sup>; (3) 蒙特卡罗法(又称为统计试验方法)是针对历史统计数据充分、具有较强可控规律的各类风险,在排序时通过该法构建风险排序评估模型。其基本思想是将所求风险变量作为某一特征随机变量,通过某一给定分布规律特征的大量随机数值,解算出相应统计量(即所求风险变量的近似解构建分析模型)。该法通常在全面考虑风险事件影响因素基础上,利用计算机进行处理且对概率分析要求一般最小<sup>[19]</sup>,且该法能通过大量模拟提高结果的有效性和可信度<sup>[20]</sup>; (4) 面对风险发生概率和后果缺乏足够历史数据情景下,通常需要借助专家基于经验分析的主观判断开展风险排序,此时对风险因素的估计难以用数字精确定量,往往以定性方式表征,比如模糊逻辑方法<sup>[21]</sup>。该法能够避开精确描述风险概率及其后果的困难,同时定性分析结果在某种程度上会比量化方法增加了除风险发生概率及其后果以外的更多信息,但同时不确定性也随之增加。

上述风险排序的主要方法因方法论构建的理论基础和适用条件不同,在实际操作中也具有各自的特点和局限性。(1) 层次分析法缺陷是判断矩阵的建立很困难,不适合大型复杂系统的风险排序<sup>[19]</sup>; (2) 风险矩阵法虽应用过程简便但通常不够精准,且评估得到的风险等级较少;在危险有害因素数量较多时,大量存在不同危险有害因素处于同一风险等级的情况,不能实现危险有害因素的精细化排序,影响风险防控对策的合理制定<sup>[18]</sup>; (3) 蒙特卡罗法具有较高的精准度,但往往对适用条件要求苛刻,通常需要满足大量的风险样本统计基础且具有明确的概率分布表征<sup>[22]</sup>; (4) 而模糊逻辑方法虽可以提供超出风险概率排序方法的信息和判定要素,但对风险排序分析人员的理论基础和工作经验往往要求较高,且存在不同专家对于相同结果会做出不同解释的主观性差异性<sup>[21]</sup>。

鉴于上述风险排序方法的优劣特征,目前许多风险研究学者通过方法改进或配合使用,实现不同方法在风险排序过程中的互补。具体改进有:(1) 集对分析(SPA)法,即运用模糊集排序方法对风险进行排序,说明风险事件发生可能性中模糊的一面;该方法虽不能说明风险事件发生的随机特性,但能够有效处理模糊、随机以及其他方法无法处理的中介不确定性问题<sup>[23]</sup>; (2) 改进后的风险矩阵

法(即:风险矩阵法 + Borda 序值法),该方法最初由美国空军电子系统中心将投票原理引入到风险矩阵中<sup>[24]</sup>,并提出运用 Borda 序值法(即:结合风险事件发生的后果严重度及可能性进行排序的方法)处理众多的风险结或风险模块。改进后的风险矩阵法在一定程度上改进了风险分级时的精细化程度,但该法对于距离真正实现风险水平的逐个降序排列还有一定差距<sup>[18]</sup>; (3) 基于直觉模糊多属性群决策的风险排序方法(即:运用直觉三角模糊数与多属性群决策理论的结合法)<sup>[25]</sup>,是在考虑了隶属度、非隶属度和犹豫度三方面信息基础上,实现对风险模糊性本质的进一步描述和客观表征,在表征不确定风险影响因子时具有更强的表现能力。具体而言,运用直觉三角模糊数进行风险排序,对于全面匹配决策者的信息和需求具有良好的效果和借鉴意义,不过该法通常只能由一位专家打分,受个人影响较大。为此,借助群体决策理论可以综合群内所有专家意见形成群体偏好,是解决直觉三角模糊数结果存在个体差异的有效方法。因此基于直觉模糊多属性群决策的风险排序方法对于风险排序的准确度具有较好的提升效果。

从上述风险排序方法的发展脉络和比较研究不难得出,风险排序准确度的完善已经从应用单一方法逐渐向组合评估方法过渡,且不同方法及组合应用的效果具有不同的特点和适用性。通常可以依据目标排序风险的所属领域、复杂程度、排序目的和数据基础差异,选取满足排序需求的方法进行风险评估与排序。

#### 4 风险排序方法在环境领域的研究应用

随着风险排序方法应用研究的逐渐深入,其应用范围和对象也不断拓展。鉴于目前严峻的环境风险形势及风险管控压力、多元复杂的环境风险源构成,环境风险已逐步成为风险排序研究的重要应用焦点,其研究结果对于指导环境风险管控具有重要的现实意义。目前风险排序方法在环境风险管控领域的研究应用多集中在基于单一风险源的风险影响排序和区域综合风险排序两大类。前者多以环境污染物、危险化学品等单一要素类目标为对象,采用模糊逻辑与多标准决策分析(MCDA)结合法<sup>[26]</sup>、环境风险源分级矩阵法<sup>[27]</sup>以及风险评估指数模型<sup>[28-29]</sup>等方法,通过定性和定量的影响指标分析以及专家判断,识别基于该要素的风险管理优

先顺序。通常该类风险排序方法对风险表征指数的量化要求不高,省去了其他方法所需更多表征健康影响的大量实验数据。而对于区域综合风险排序的应用,目前的研究成果多基于多群体准则的层次分析法<sup>[30]</sup>、蒙特卡洛模拟<sup>[31-32]</sup>等方法为基础:其中多群体准则的层次分析法是以环境风险管理者、环境风险源(如企业)、环境风险公众受体为对象,分别构建指标体系及权重分析后,利用层次分析结果制定围绕风险源管控(如:源头准入)、风险过程监管(如:分级管理、日常监管、生态安全防控)等多方面的环境风险管理建议;而蒙特卡洛模拟通常用于大区域且受多项因素影响的综合性风险排序,如同时考虑风险的时空分布规律、风险所在环境的属性特征及其对风险水平的压力响应关系等,通常蒙特卡洛模拟的风险排序结果能够为宏观和区域层面提供风险管控政策、预防策略的科学参考依据。

## 5 结语

综上所述,目前的风险排序研究及其在环境领域的应用在排序指标(影响因素)选取和量化方法论层面均进入到以需求为导向、日趋综合的完善阶段。其中排序指标的设置已不再局限于风险度量中“概率和影响”双维度的理论限制,并逐步延展至综合风险可预见性、管理边际效率、风险承受能力等现实管控需求,重复体现了风险排序研究已日渐趋向于服务当前风险管理的有效性和匹配性。同时,对于风险排序方法论的研究与应用目前也开始进入由单一方法向多元方法综合应用的新阶段,由于系统科学、模糊理论方法、决策论等相关学科的理论方法在风险排序研究中得到深入实践,使得风险排序的对象范围逐步拓展至多要素、多层次和大尺度的综合评估。然而,目前针对不同类型及具体风险对象的排序研究多以排序方法的精确性为焦点,其排序方法及配套排序指标选取的符合性、全面性及代表性检验仍不够充分,尤其是排序机理、风险理论及风险管控需求的内在相互关系尚缺乏系统解析,这也是实现未来风险排序结果更加客观全面的重要前提。

### [参考文献]

[1] WILLIAMS C A, HEINS R M. Risk Management and Insurance [M]; 陈伟,张清寿,王铁等译. 风险管理与保险[M]. 北

京:中国商业出版社,1990.

- [2] 毕军,杨洁,李其亮. 区域环境风险分析和管理[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006.
- [3] COOPER D F, GREY S, RAYMOND G, et al. Project risk management guidelines; managing risk in large projects and complex procurements [M]. Chichester: John Wiley & Sons, England, 2005.
- [4] ACCARINI D, ARCHER R. The risk ranking of projects: a methodology [J]. International journal of project management, 2001, 19: 139-145.
- [5] 李少明. 项目风险排序研究综述[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(1): 158-160.
- [6] TURNER J R. The handbook of project-based management [M]. London: McGraw-Hill professional, England, 1993.
- [7] SIMON P, HILLSON D, NEWLAND K. Project risk analysis and management guide (PRAM) [M]. APM Group, England, 1997.
- [8] WARD SC. Assessing and managing important risks [J]. International journal of project management, 1999, 17(6): 331-336.
- [9] 多英全,吴宗之,魏利军,等. 重大危险源事故风险排序研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2006, 6: 19-23.
- [10] 张镭,毕宏焱,解丽娜,等. 综合应用Delphi法、风险矩阵法与Borda序值法评估医院病区药品管理风险[J]. 临床药物治疗杂志, 2015, 13(2): 29-33.
- [11] 黄凌,宋洋. 公明水库大坝风险排序研究[J]. 三峡大学学报:自然科学版, 2013, 35(3): 31-35.
- [12] 张亚东,邹波,郭进,等. 基于TOPSIS法的列车运行控制系统风险排序模型研究[J]. 中国铁道科学, 2012, 6: 96-101.
- [13] CHARETTE R N. Software engineering risk analysis and management [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, America, 1989.
- [14] HAIMES Y Y. Risk of extreme event and the fallacy of the expected value [M]. Published Online: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [15] WYNNE B. Misunderstood misunderstanding: social identities and public uptake of science [J]. Public understanding of science, 1992, 1(3): 281-304.
- [16] 左美云,周彬. 实用项目管理与图解[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [17] 秦锐锋,史文强. 渤海湾海洋石油开采过程溢油风险预警管理[J]. 船海工程, 2015, 44(5): 133-137.
- [18] 李树清,颜智,段瑜. 风险矩阵法在危险有害因素分级中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(4): 83-87.
- [19] 毛月秋. 项目风险度量、排序和评价方法的研究评述[J]. 西南农业大学学报:社会科学版, 2011, 9(6): 42-43.
- [20] 陶静. Monte-Carlo方法在科研项目定量风险分析中的应用[J]. 价值工程, 2012, 31(24): 74-76.

(下转第18页)

夏季是太湖蓝藻大量繁殖时期,水生植被大面积密集生长可能会对藻类的迁移起到阻隔作用。若沉水植被繁殖密度和分布面积达到一定程度,会积滞水体中的藻类,造成藻类迅速富集,形成“草—藻”共存的现象。因此建议春末夏初在重点湖区应加密地面巡查频次,一旦发现“草—藻”聚集现象,应及时清理打捞,避免水草及藻类死亡腐烂,威胁水质安全。同时随着近年不断涌现的新卫星传感器,如我国高分二号、欧空局的哨兵2A等,这些新发射的高分系列卫星图像清晰、色彩分明、层次感强,充分体现了高分辨率卫星影像的特点。今后需要利用多颗高分卫星进行协同观测,形成长时间序列,可有效地提高水生植被动态监测的“时谱”能力。

#### [参考文献]

[1] 杨清心. 东太湖水生植被的生态功能及调节机制[J]. 湖泊科学, 1998, 10(1): 67-72.

[2] 李俊生, 吴迪, 吴远峰, 等. 基于实测光谱数据的太湖水华和 水生高等植物识别[J]. 湖泊科学, 2009, 21(2): 215-222.

[3] 林川, 宫兆宁, 赵文吉. 基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植 被提取[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6460-6469.

[4] 谷孝鸿, 张圣照, 白秀玲, 等. 东太湖水生植物群落结构的演 变及其沼泽化[J]. 生态学报, 2008, 25(7): 1541-1548.

[5] 刘伟龙, 胡维平, 陈永根, 等. 西太湖水生植物时空变化[J].

生态学报, 2007, 27(1): 159-170.

[6] 张浩, 葛小青, 冯旭祥. Landsat 8 影像像元地理坐标计算 [J]. 遥感信息, 2013, 28(5): 52-58.

[7] SESNIE S E, GESSLER P E, FINEGAN B, et al. Integrating Land- sat TM and SRTM-DEM derived variables with decision trees for habitat class ification and changedetection in complex neotropi- cal environments [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112: 2145-2159.

[8] 金相灿, 颜昌宙, 许秋瑾. 太湖北岸湖滨带观测场水生植物 群落特征及其影响因素分析[J]. 湖泊科学, 2007, 19(2): 151-157.

[9] 李继影, 孙艳, 侍昊, 等. 太湖水草监管体系构建初步研究 [J]. 环境监控与预警, 2014, 6(5): 54-56.

[10] 李旭文, 牛志春, 姜晨, 等. Landsat 8 卫星 OLI 遥感影像在生 态环境监测中的应用研究[J]. 环境监控与预警, 2013, 5 (6): 1-5.

[11] 王莉雯, 卫亚星. 湿地生态系统雷达遥感监测研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(9): 1107-1117.

[12] MA R H, DUAN H T, GU X H, et al. Detecting Aquatic Vegeta- tion Changes in Taihu Lake, China Using Multi-temporal Satel- lite Imagery[J]. Sensors, 2008(8): 3988-4005.

[13] OYAMA Y, MATSUSHITA B, FUKUSHIMA T. Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 157: 35-47.

[14] 张寿选, 段洪涛, 谷孝鸿. 基于水体透明度反演的太湖水生 植被遥感信息提取[J]. 湖泊科学, 2008, 20(2): 184-190.

栏目编辑 李文峻 周立平

(上接第4页)

[21] 向鹏成, 赵艳玲, 王林. 项目风险的多维描述与度量[J]. 重 庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(4): 148-153.

[22] COWLES M K, CARLIN B P. Carlin. Markov chain Monte Carlo convergence diagnostics: a comparative review [J]. Journal of the American statistical association, 1996, 91(434): 883-904.

[23] 高峰, 陈英武. 基于集对分析的项目风险排序方法[J]. 基建 优化, 2005, 26(1): 1-4.

[24] 谈立峰, 郝东平, 孙樾陵, 等. 综合应用风险矩阵法与 Borda 序值法评价区域性大型活动公共卫生突发事件风险[J]. 环 境与职业医学, 2012, 29(9): 556-560.

[25] 蔡久顺, 张执国, 师鹏, 等. 基于直觉模糊多属性群决策的 风险排序方法[J]. 工程数学学报, 2015, 32(5): 650-658.

[26] GIUBILATO A E, ZABEO A A, CRITTO A, et al. A risk-based methodology for ranking environmental chemical stressors at the regional scale [J]. Environment International, 2014, 65, 41-53.

[27] 周新荣. 工业园区环境风险源识别与分级研究[J]. 环境监 控与预警, 2013, 5(4): 4-8.

[28] 赵小健. 基于 Hakanson 潜在生态风险指数的某垃圾填埋场土

壤重金属污染评价[J]. 环境监控与预警, 2013, 5(4): 43-44.

[29] MA Z W, CHEN K, YUAN Z W, et al. Ecological risk assess- ment of heavy metals in surface sediments of six major Chinese freshwater lakes. Journal of environmental quality, 2013, 42 (2): 341-350.

[30] 李艳萍, 乔琦, 柴发合, 等. 基于层次分析法的工业园区环境 风险评价指标权重分析[J]. 环境科学研究, 2014, 27(3): 334-340.

[31] KANWAR P, BOWEN W B, GREENHALGH S. A regional eco- logical risk assessment of the Kaipara Harbour, New Zealand, u- sing a relative risk model [J]. Human & ecological risk assess- ment, 2015, 21(4): 1123-1146.

[32] QU C S, SUN K, WANG S R, et al. Monte carlo simulation- based health risk assessment of heavy metal soil pollution: a case study in the Qixia mining area [J]. China. Human & ecological risk assessment, 2012, 18(4): 733-750.

栏目编辑 李文峻