

The Index System of the Emergency Capability of Significant Water Environment Incidents in Watershed

Feifei WU, Xuan WANG

Key Laboratory of Water and Sediment Sciences of Ministry of Education, School of Environment,
Beijing Normal University, Beijing, China
Email: wangx@bnu.edu.cn

Abstract: Significant water environment incidents in watershed have frequently occurred in recent years. To solve the pollution problem, emergency management capacity needs to be improved urgently. Emergency capability assessment is the basis and development impetus of emergency management. On the basis of the overall-process management thought, the flow chart of emergency management and four-phase management mode of sustainable improvement, index system to assess emergency capability is set up. Then the weight of each index is obtained by the simplified G1 method. The research result can offer the scientific basis to quantitative evaluation of emergency capability.

Keywords: Significant water environment incidents; Emergency capability assessment; Four-phase management mode; Index system

流域重大水环境事故应急能力评估指标体系构建

武翥翥, 王 烜

北京师范大学环境学院, 水沙科学教育部重点实验室, 北京, 中国, 100875
Email: wangx@bnu.edu.cn

摘 要: 近年来, 流域重大水环境事故频发, 应急管理能力亟待提高。应急能力评估是应急管理工作的基础和发展的动力。基于事故全过程管理理念, 根据应急管理工作流程和“四阶段”持续改进式管理模式, 构建了流域重大水环境事故应急能力评估指标体系, 并采用简化 G1 法量化各级指标权重, 为应急能力定量评估提供科学依据。

关键词: 重大水环境事故; 应急能力评估; 应急管理流程; “四阶段”管理模式; 指标体系

1 引言

流域重大水环境事故为低概率、高风险、突发性事件, 其突出特点为流域扩散性。在水资源日益紧张的今天, 重大水环境事故频发, 常规性日常环境管理弊端逐渐凸显。应急管理能积极防范、及时处置, 以实现保障水安全的目的。因此, 将应急管理纳入到日常管理体系, 加强应急管理能力建设, 提高应急能力成为必然趋势。

在重大水环境事故应急管理中, 应急能力评估可以提供一个通用的准则, 以识别应急管理中较为满意和需要改进之处^[1], 促进应急管理能力持续改进。目前, 我国应急能力评估研究对象主要集中在城市突发

公共事件^[1-3], 如邓云峰和郑双忠^[1]构建了 18 类、76 种属性、405 个特征的城市应急能力评估指标体系, 并在南方城市开展应急能力评估; 铁永波等^[2]从系统论的角度出发, 建立城市灾害应急能力评估模型。而在水环境事故领域, 特别是重大水环境事故应急管理研究较少, 刘学应^[4]基于水利灾害灾前、灾中、灾后特点, 建立水利灾害三级指标体系。指标权重多默认各指标权重相同或采用层次分析法确定^[1,3,5]。默认指标权重相同使应急能力评估结果欠合理; 指标数量较多时应用层析分析过程较繁琐。针对以上问题, 本文结合流域重大水环境事故特点, 根据应急管理工作流程, 构建了应急能力评估指标体系, 并应用简化 G1 法实现指标权重的快速确定, 为完善重大水环境事故应急能力定量评估方法、推进水环境事故应急管理能力建设提供科学依据。

项目资助: 国家水体污染与控制科技重大专项 (2008ZX07209-009)
长江学者和创新团队发展计划 (IRT0809)

2 流域重大水环境事故应急管理工作流程

应急管理作为一门新兴学科，目前没有统一的定义，总体可归纳为狭义和广义两类。狭义应急管理为应急响应阶段，即事故发生后从事故报告开始，启动应急预案，展开应急救援，直到应急终止的过程。广义应急管理为事故全过程管理，将应急管理的整个过程分为若干阶段，主要有三阶段、四阶段、五阶段、六阶段管理模式^[6]。基于突发性水环境事故生命周期特点，本文采用“四阶段”持续改进式管理模式，即在事故预防、日常管理、应急响应和恢复重建应急管理阶段控制的同时，贯穿自学习过程，总结经验教训、科学评估应急管理过程，动态改进应急管理，促进应急管理能力的提高。

流域重大水环境事故“四阶段”持续改进式应急管理工作流程见图 1。应急管理中日常管理是基础，应急响应是重点，事故预防是关键，恢复重建是后盾。在整个应急管理中，日常管理历时最长，为应急响应提供一系列的基础保障，例如应急预案管理、组织体系建设、基础保障等；应急响应历时最短，但在整个救援过程中处于重要地位；凡事预则立，不预则废，监测预警可降低事故风险，此阶段事故最容易控制且代价最小；恢复重建作为事故应急管理的终端，通过调查评估及善后处置，识别应急管理中较为满意和需要改进的地方，指导今后应急管理各个阶段，特别是日常管理阶段，加强预案改进、组织体系建设等，以实现应急管理持续动态改进。四个阶段紧密联系，相互影响。

3 应急能力评估指标体系的构建

突发水环境事件应急能力评估指标体系建立应遵循“五个结合”的原则：科学性与客观性相结合、通用性与兼容性相结合、简明性和完备性相结合、层次性与系统性相结合、灵活性与动态性相结合^[3,4]。根据应急管理工作流程及重大水环境事故特点，选择能综合反映水环境事故应急能力且互相独立的指标，构建应急能力评估三级指标体系框架。其中一级指标 4 个，二级指标 11 个，三级指标 26 个。

基于事故全过程管理理论基础及应急管理“四阶段”持续改进管理模式，突发水环境事故应急能力评估一级指标分别为：事故预防能力，日常管理能力，应急响应能力及恢复重建能力。

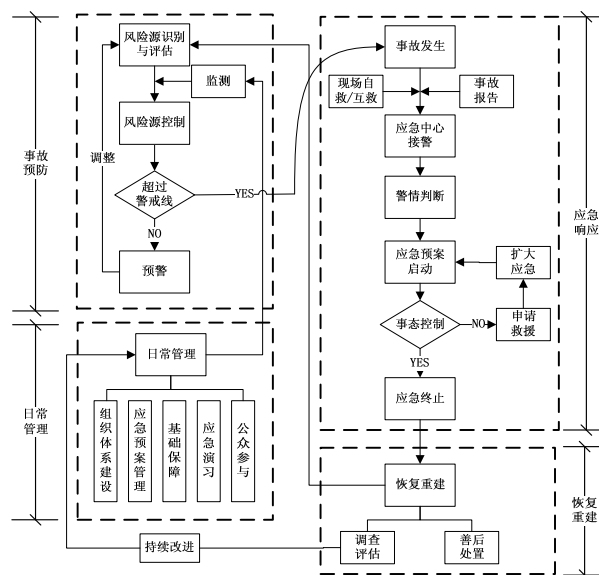


Figure 1. The flow chart of emergency management

图 1. 应急管理工作流程图

3.1 事故预防能力

事故预防作为应急管理的起点，采取有效预防措施，可降低事故风险或避免突发事件的发生。事故预防主要包括风险源管理和监测预警。其中，风险源管理的重点是风险识别及控制，其下属指标为风险源辨识与评估、重要保护对象脆弱性分析及风险源控制。监测预警强调监测结果准确性及预警通知及时性。

3.2 日常管理能力

日常管理工作建设在为应急管理其它阶段提供组织体系保障、法律保障、基础保障的同时，为全面提高事故应急能力，应进行日常性应急演练及加强公众参与。因此，日常管理其主要指标包括：组织体系建设，应急预案管理，基础保障，应急演练及公众参与。其中，组织体系建设主要为流域应急管理机构和应急培训中心的建设；应急预案管理强调预案体系的完整性及预案可操作性；基础保障包括应急救援队伍、应急物资储备保障、医疗卫生保障、交通运输保障、通信系统保障及资金保障；应急演练注重组织与实施；公众参与主要指标为参与意识及能力、公众信息流通。

3.3 应急响应能力

事故发生后，迅速展开有效救援以为减少事故损失至关重要。应急响应能力主要包括快速反应能力及

应急救援能力。其中，快速反应能力体现在事故报告、接警与信息公布及应急预案启动两方面；应急救援能力强调现场指挥协调能力，特别是对人力、物力、财力资源的有效协调。

3.4 恢复重建能力

事故响应终止后，应立即着手现场恢复工作，并展开调查评估及善后处置。恢复重建能力体现在调查评估和善后处置。其中，调查评估重点为中长期环境影响评价、事故损失调查评估及应急过程回顾性评估；善后处置包括环境修复及居民正常生产生活恢复。

4 基于简化 G1 法的应急能力评估指标权重确定

G1 法是郭亚军^[7]提出的一种主观赋权法。通过对层次分析法（AHP）进行改进，在指标权重确定过程中无需构造矩阵，无需一致性检验，计算量明显减少。特别当被比较元素超过 9 个时，该方法判断结果仍然准确。目前，该方法已成功应用于城市综合应急能力评估^[8]、燃气事故应急能力评估^[9]等。本文将 G1 法简化并应用于重大水环境事故的应急能力评估中。

4.1 简化 G1 法基本原理

第一，确定序关系

对于评价指标集 $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$ ，按以下步骤确定序关系：(1)专家在指标集 $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$ 中，选出最重要的一个指标，记为 X_1 ；(2)在余下的 $m-1$ 个指标中，选出最重要的一个指标，记为 X_2 ；(3)在余下的 $m-(k-1)$ 个指标中，选出重要的一个指标，记为 X_k ；(4)最后一个指标记为 X_m 。这样，可以确定唯一一个序关系。

第二，确定相邻指标之间的重要程度

相邻指标 X_{k-1} 和 X_k 之间的重要程度之比表示为：

$$r_k = \frac{w_{k-1}}{w_k} \quad (k=m, m-1, \dots, 3, 2) \quad (1)$$

式中， r_k 为指标 X_{k-1} 和 X_k 相对重要程度之比， w_k 为第 k 个指标的权重系数。

一般情况下，G1 法指标间相对重要程度分为九级， r 取值为 1.0, 1.1, ..., 1.9^[7]。根据专家调查问卷统计分析结果，本文将指标间重要程度 r_k 简化为五级， r_k 赋值如表 1 所示。

Table 1. Relative importance degree between indexes

表 1. 指标间相对重要程度

r_k	说明
1.0	指标 X_{k-1} 和指标 X_k 同样重要
1.2	指标 X_{k-1} 比指标 X_k 稍微重要
1.4	指标 X_{k-1} 比指标 X_k 明显重要
1.6	指标 X_{k-1} 比指标 X_k 强烈重要
1.8	指标 X_{k-1} 比指标 X_k 极端重要

第三，计算各指标权重系数

基于以上步骤，可计算各指标权重系数。

$$w_m = (1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i)^{-1} \quad (2)$$

$$\text{且 } w_{k-1} = r_k w_k \quad (3)$$

式中， $k=m, m-1, \dots, 3, 2$ 。

4.2 应急能力评估指标权重确定

采用简化 G1 法，对应急能力评估指标进行权重确定。各指标权重见表 2。

Table 2. The assessment index system of emergency capability on significant water environment incidents

表 2. 重大水环境事故应急能力评估指标体系

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重
事故预防能力 A	0.166	风险源管理 A1	0.357	风险源辨识与评估 A11	0.463
				重要保护对象脆弱性分析 A12	0.207
				风险源控制 A13	0.330
		监测预警 A2	0.643	监测结果准确性 A21	0.643
				预警通知及时性 A22	0.357
				流域应急管理机构 B11	0.583
日常管理能力 B	0.477	组织体系建设 B1	0.241	应急培训中心 B12	0.417
				预案体系完整性 B21	0.357
		应急预案管理 B2	0.288		

应急响应能力 C	0.265	基础保障 B3	0.241	预案可操作性 B22	0.643
				应急救援队伍 B31	0.236
				应急物资储备保障 B32	0.169
				医疗卫生保障 B33	0.236
				交通运输保障 B34	0.140
				通信系统保障 B35	0.140
		应急演习 B4	0.134	资金保障 B36	0.079
				组织与实施 B41	1
				公众参与意识及能力 B51	0.5
		公众参与 B5	0.096	公众信息沟通 B52	0.5
				事故报告、接警与信息公布 C11	0.357
		快速反应能力 C1	0.357	应急预案启动 C12	0.643
				应急救援能力 C2	0.643
		调查评估 D1	0.5	中长期环境影响评价 D11	
				事故损失调查评估 D12	0.294
应急过程回顾性评估 D13	0.353				
环境修复 D21	0.5				
善后处置 D2	0.5			居民正常生产生活恢复 D22	0.5

4 结论

本文基于应急管理工作流程和“四阶段”持续改进式管理模式，建立了流域重大水环境事故应急能力评估指标体系，并应用简化 G1 法对指标进行权重的快速确定。该指标体系涵盖了事故预防、日常管理、应急响应及恢复重建四个阶段的工作重点，可定量评估流域重大水环境事故综合应急能力。通过对指标体系的分析，可识别出应急管理中的优势与不足，达到以评促建的目的。本文研究得到的指标体系已在白洋淀流域取得了较好的应用效果，将另文专载。

References (参考文献)

[1] DENG Yunfeng, ZHENG Shuangzhong. Capability Assessment for Urban Emergency Incident Readiness [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2006, 2(2), P9-13(Ch).
邓云峰, 郑双忠. 城市突发公共事件应急能力评估——以南方某市为例[J]. *中国安全生产科学技术*, 2006, 2(2), P9-13.

[2] TIE Yongbo, TANG Chuan, ZHOU Chunhua. The Application of AHP to Emergency Response Capability Assessment in Urban Disaster [J]. *Journal of Catastrophology*, 2006, 21(1), P8-11 (Ch).
铁永波, 唐川, 周春花. 城市灾害应急能力评价研究[J]. *灾害学*, 2006, 21(1), P9-13.

[3] ZHOU Jinjun, LI Hongquan, DENG Yunfeng, et al. Research on Assessment of Comprehensive Emergency Capacity for Earthquake Disaster [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2009, 5(3), P56-60(Ch).

周进军, 李洪泉, 邓云峰等. 地震灾害综合应急能力评估研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2009, 5(3), P56-60.

[4] LIU Xueying. The Construction of the Evaluation Index System of the Emergency Response Capability to Water Conservancy Disaster [J]. *Journal of Anhui Agricultural University(social science edition)*, 2010, 19(1), P40-43 (Ch).
刘学应. 水利灾害应急能力评价指标体系的构建[J]. *安徽农业大学学报(社会科学版)*, 2010, 19(1), P40-43.

[5] MA Maodong, HAN Yao, ZHANG Qian. Evaluation Method of Emergency Response Capabilities Based on FAHP [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2009, 5(2), P98-102 (Ch).
马茂冬, 韩尧, 张倩. 基于模糊层次分析法的应急能力评估方法探讨[J]. *中国安全生产科学技术*, 2009, 5(2), P98-102.

[6] WANG Zhan. Public Emergency Management Processes and Capacity Evaluation [D]. Wuhan University of Technology, 2008(Ch).
王湛. 突发公共事件应急管理过程及能力评价研究[D]. 武汉理工大学, 2008.

[7] GUO Yajun. Comprehensive Evaluation Theory and Method [M]. Beijing: Science Press, 2002.
郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[8] LIU Jian, ZHENG Shuangzhong, DENG Yunfeng, et al. Weight Determination of Indexes in Evaluation of Emergency Response Ability Based on G1 [J]. *China Safety Science Journal*, 2006, 16(1), P30-33 (Ch).
刘建, 郑双忠, 邓云峰等. 基于 G1 法的应急能力评估指标权重的确定[J]. *中国安全科学学报*, 2006, 16(1), P30-33.

[9] YIN Yilin, LIN Guangli, FU Gong, et al. Research on Evaluation of City Gas Emergency Capability Based on G1 Method [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2009, 5(4), P96-100(Ch).
尹贻林, 林广利, 付聪等. 基于 G1 法城市燃气事故应急能力评价研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2009, 5(4), P96-100.