

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.02.012

张士辰, 龙智飞. 水库突发事件应急预案可行性评价方法再研究[J]. 水利水运工程学报, 2016(2): 83-88. (ZHANG Shi-chen, LONG Zhi-fei. Further studies of feasibility evaluation method for reservoir emergency preparation plan[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(2): 83-88.)

# 水库突发事件应急预案可行性评价方法再研究

张士辰<sup>1,2</sup>, 龙智飞<sup>1,2</sup>

(1. 南京水利科学研究院 水利部土石坝破坏机理与防控技术重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 水利部大坝安全管理中心, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 目前,我国水库突发事件应急预案普遍存在可行性不强、可行性评价技术不过关的问题,难以在技术层面监督指导应急预案的编制工作,一定程度上影响了水库突发事件应急预案的实施。已有大坝突发事件应急预案可行性评价方法初步研究中,由于指标体系的不完备,可行性评价具有显著灰色特征,为减弱指标体系不完备带来的灰色特征的影响,有必要研究新方法以降低指标体系不完备对评价结果的影响。基于水库突发事件应急预案可行性评价的已有研究成果,考虑到可行性指标体系的不完备性等灰色特征,建立了基于灰色关联度的可行性评价方法,通过案例模拟验证了可行性评价方法的实用性。该方法完善了已有水库突发事件应急预案可行性评价技术,降低了可行性指标体系不完备等灰色特征对评价结果准确性的不利影响。

**关 键 词:** 水库; 突发事件; 应急预案; 可行性; 灰色关联度

**中图分类号:** TV697      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-640X(2016)02-0083-06

根据水利普查统计,全国共有水库90 082座(不含港澳台地区),水库突发事件特别是溃坝事件可能导致极其严重的后果。通过事前周密的分析和准备,作为紧急时刻应急管理依据,结合具体情况安排抢险和组织人员转移,不仅可以避免一些溃坝事故的发生,而且即使失事,也可有效减少生命与财产损失,缓解溃坝对社会经济发展的巨大冲击。水库突发事件应急预案正是为避免或降低下游生命、财产、生态环境灾难而预先制定的方案。

目前,特别是2003年非典之后,我国对应急预案制度越来越重视<sup>[1]</sup>。2006年我国发布了《国家突发公共事件总体应急预案》,同年国家防办发布了《国家防汛抗旱应急预案》。2007年水利部发布了《水库大坝安全管理应急预案编制导则(试行)》。目前大中型水库均已编制了应急预案。但同时,水库突发事件应急预案存在的问题也十分突出,主要包括:应急预案可行性、有效性、可操作性不强;应急演练严重不足;应急管理信息化水平低;可行性、有效性、可操作性难以评估。

应急预案评价技术是保证其科学、有效,实现“预防为主”的关键技术。针对上述问题,并考虑到目前已积累了相当丰富的应急预案编制的实践经验,有必要开展水库突发事件应急预案评价技术方面的深入研究。

## 1 国内外研究现状

国外在水库突发事件应急预案评价技术方面发展不明显,主要集中在化工、运输等领域<sup>[2-6]</sup>。B. V. Rambramam等<sup>[2]</sup>通过介绍氨气泄漏事故应急预案的制作,给出了制作流程、应急计划的体系以及各个单位

收稿日期: 2015-05-04

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201501033, 201201051); 南京水利科学研究院基金资助项目(Y915001, Y715016, Y715013)

作者简介: 张士辰(1977—),男,河北涿州人,高级工程师,博士,主要从事大坝安全评估、风险管理及应急管理研究工作。

E-mail: sczhang@nhri.cn

的职责、任务,但未对应急预案评价方法进行研究;L.Jenkins<sup>[3]</sup>认为,鉴于人力和物力的限制,有毒物质泄漏处置应急预案的编制不可能对所有可能发生的灾害进行全覆盖考虑,在此限制下,选择一些污染情景进行研究并制定应对措施,再将选择的情景进行组合,形成所有可预知的污染灾害;Boppana V Rambrahmam 等<sup>[4]</sup>认为主要按照化工厂常规的检查列表来识别可能发生的泄漏事故,通过演练进行检验,识别预案的不足并进行修正,演练主要目的是检验应急计划中的规定、通讯交流的程序和各部门协作情况;Yuko 等<sup>[5]</sup>针对运输机构应急预案评价方法进行了研究,给出了评价应急准备和响应的结果考核指标;David<sup>[6]</sup>针对目前应急预案编制缺乏同质性、一致性及质量控制的问题,为预案编制提出了 18 条建议,作为基准和模板用于评价预案质量。上述主要评价方法包括通过演练检验、按照检查列表检验、事先拟定考评指标检验和事先提供标准模板对比检验等评价模式,这些方法对大坝突发事件应急预案评价技术研究具有参考价值。

目前国内主要从大坝突发事件应急预案的可行性和有效性角度,对预案评价技术展开初步研究。关于应急预案可行性与有效性的概念尚无准确的定义,程翠云<sup>[7-9]</sup>、杨道军<sup>[10]</sup>等认为两者有较大区别,可行的应急预案并不一定就是有效的。应急预案可行性主要是从其完整性角度考虑,不考虑执行后果,程翠云<sup>[7-8]</sup>、杨道军<sup>[9-11]</sup>等将应急预案是否可行定义为预案编制得是否完整、考虑得是否周全,取决于应急预案中涉及的人力、物力资源、救援方案等各个环节“有或无”或“是否完备”,并构建了指标体系、确定了指标权重、建立了线性加权和综合评价模型,其中指标体系及其权重详见表 1。可行性是预案的基本要求,通过有效性评价可以分析应急预案是否能够实现预定目标。

已有大坝突发事件应急预案可行性评价方法初步研究中,主要基于水库突发事件及其应急过程人为构建指标体系,然后利用层次分析法开展可行性评估,这一评价模式中,由于指标体系是人为建立的,其不完备性是必然的,可行性评价具有灰色特征,有必要研究新方法以降低指标体系不完备对评价结果的不利影响。信息不完备条件下,采用灰色关联度理论建立评价模型,可降低不完备性对评价结果的影响程度。基于水库突发事件应急预案可行性评价的已有研究成果,对应急预案可行性评价方法开展再研究,建立新方法,以降低指标体系不完备等缺陷对评价结果准确性的不利影响。

表 1 指标层权重及基于灰色关联度评价方法的《预案》可行性评分结果

Tab. 1 Weights of index and EPP feasibility evaluation results based on grey relational analysis method

| 编号                   | 指标              | 指标权重    | 打分     |        |        | 参考标准 |
|----------------------|-----------------|---------|--------|--------|--------|------|
|                      |                 |         | 第 1 个人 | 第 2 个人 | 第 3 个人 |      |
| 组织体系<br>(权重 0.245 5) | A1 建立相应的组织体系    | 0.156 4 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | A2 建立相应的应急指挥机构  | 0.153 6 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | A3 建立相应的工作小组    | 0.120 1 | 0      | 0      | 0      | 100  |
|                      | A4 明确指挥机构职责     | 0.128 5 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | A5 明确工作小组的职责    | 0.103 4 | 0      | 0      | 0      | 100  |
|                      | A6 具备专家组        | 0.103 4 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | A7 具备抢险队伍       | 0.128 5 | 50     | 50     | 50     | 100  |
|                      | A8 建立应急救援机构     | 0.106 1 | 100    | 50     | 50     | 100  |
| 运行机制<br>(权重 0.263 6) | B1 预测预警系统运行情况   | 0.088 0 | 100    | 100    | 50     | 100  |
|                      | B2 有无预测预警能力     | 0.095 0 | 100    | 50     | 100    | 100  |
|                      | B3 已有灾害监测预报能力   | 0.071 5 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | B4 预警设施情况       | 0.077 4 | 100    | 100    | 50     | 100  |
|                      | B5 监测设备的监测结果    | 0.080 6 | 100    | 100    | 50     | 100  |
|                      | B6 险情发生时,险情及时发布 | 0.098 5 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | B7 有无常规的监测仪器    | 0.065 7 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | B8 规定部位的巡视检查    | 0.084 4 | 100    | 100    | 50     | 100  |
|                      | B9 有无常规的监测内容    | 0.064 5 | 50     | 50     | 50     | 100  |
|                      | B10 险情发生时,有无负责人 | 0.083 3 | 50     | 50     | 50     | 100  |
|                      | B11 制定应急行动方案    | 0.105 5 | 100    | 100    | 100    | 100  |
|                      | B12 信息传递的准确性    | 0.085 6 | 50     | 50     | 0      | 100  |

| (续表)                 |     |              |         |        |        |      |     |
|----------------------|-----|--------------|---------|--------|--------|------|-----|
| 编号                   | 指标  | 指标权重         | 打分      |        |        | 参考标准 |     |
|                      |     |              | 第 1 个人  | 第 2 个人 | 第 3 个人 |      |     |
| 保障体系<br>(权重 0.240 9) | C1  | 抢险人力数量       | 0.128 4 | 100    | 100    | 50   | 100 |
|                      | C2  | 应急物资保障       | 0.138 3 | 100    | 100    | 50   | 100 |
|                      | C3  | 影响区域医疗和防疫站数量 | 0.059 3 | 50     | 50     | 50   | 100 |
|                      | C4  | 险情发生时,交通工具数量 | 0.111 1 | 50     | 0      | 50   | 100 |
|                      | C5  | 险情发生时,通信器材数量 | 0.111 1 | 50     | 50     | 50   | 100 |
|                      | C6  | 备用电力系统       | 0.101 2 | 50     | 50     | 50   | 100 |
|                      | C7  | 备有其它的通讯方式    | 0.079 0 | 100    | 100    | 50   | 100 |
|                      | C8  | 专业救援队员人数     | 0.093 8 | 100    | 50     | 50   | 100 |
|                      | C9  | 医疗救助能力       | 0.076 5 | 100    | 100    | 100  | 100 |
|                      | C10 | 灾民的安置能力      | 0.101 2 | 100    | 100    | 100  | 100 |
| 应急措施<br>(权重 0.250 0) | D1  | 明确大坝下游受影响总人数 | 0.106 2 | 100    | 100    | 50   | 100 |
|                      | D2  | 具有水库应急调度方案   | 0.118 2 | 100    | 100    | 100  | 100 |
|                      | D3  | 具备专业的抢险队伍    | 0.108 2 | 50     | 50     | 0    | 100 |
|                      | D4  | 具体的人员和财产转移方案 | 0.094 2 | 100    | 50     | 50   | 100 |
|                      | D5  | 公共防灾意识的普及程度  | 0.082 2 | 50     | 50     | 50   | 100 |
|                      | D6  | 公众对应急预案的了解情况 | 0.068 1 | 50     | 50     | 0    | 100 |
|                      | D7  | 居民的应急能力      | 0.068 1 | 50     | 50     | 50   | 100 |
|                      | D8  | 紧急物资生产与调拨能力  | 0.088 2 | 100    | 100    | 50   | 100 |
|                      | D9  | 专用物资交通运输保障能力 | 0.088 2 | 100    | 100    | 50   | 100 |
|                      | D10 | 相关应急小组调动能力   | 0.094 2 | 100    | 100    | 50   | 100 |
|                      | D11 | 维护现场秩序的能力    | 0.084 2 | 100    | 100    | 50   | 100 |
| 关联度 $r$ /优劣次序        |     |              | 0.83/1  | 0.78/2 | 0.64/3 |      |     |

## 2 基于灰色关联度的可行性评价方法

### 2.1 可行性评价方法

对于两个系统之间的因素,其随时间或不同对象而变化的关联性大小的量度,称为关联度。在系统发展过程中,若两个因素变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,则可谓二者关联程度较高;反之,则较低。因此,灰色关联法,是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,亦即“灰色关联度”,作为衡量因素间关联程度的一种方法。此处借用灰色关联度理论思想,可以在指标信息不全条件下,将应急预案可行性评价指标值与参考值进行对比,通过比较与参考系列关联度大小,反映应急预案可行性评价结果。

基于灰色关联度的水库应急预案可行性评价主要分为以下几个步骤:

(1) 确定评价对象或评价主体。评价对象可以是多个水库的应急预案;评价主体也可以是多个。

(2) 确定评价标准。针对指标体系各指标优劣条件,确定各指标的评分标准。针对本研究,按照上述表 1 所列指标,已有研究<sup>[7-8]</sup>中按以下标准进行评分:应急预案中没有提及,0 分;应急预案中提及,但说明不详细,50 分;应急预案中提及且有详细的说明,100 分。因此,各指标在应急预案中详细描述情况下,相应评价价值最高,且均为 100 分,当存在“应急预案中提及,但说明不详细”或“应急预案中没有提及”时,评价价值最低。

(3) 确定评价指标对应的权重。各指标权重见表 1。

(4) 计算灰色关联系数  $\xi_i(k)$ ,进而计算灰色加权关联度  $r_i$ ,公式如下:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (1)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w \xi_i(k) \quad (2)$$

式中:  $\xi_i(k)$  为灰色关联系数;  $X_0$  为参考数列;  $X_i$  为被比较数列;  $\xi_i(k)$  是比较数列  $X_i$  与参考数列  $X_0$  在第  $k$  个评价指标上的相对差值,  $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$  和  $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$  分别为各时刻  $X_0$  与  $X_i$  的最小绝对差值与最大差值;  $r_i$  为第  $i$  个评价对象对理想对象的灰色加权关联度;  $w_i$  为权重。

(5) 基于灰色关联度的可行性评价分析。根据灰色加权关联度的大小, 对各评价对象进行排序, 可建立评价对象的关联序, 关联度越大其评价结果越好。

若 1 位专家对多个预案进行关联度计算分析、可行性评价排序, 关联度大者较优, 关联度小者偏劣; 若多个主体针对 1 个水库突发事件应急预案的可行性评价排序, 则结果为不同主体对同一预案的评价程度, 关联度大者表明评价主体对该预案评价价值较高, 关联度小者表明评价价值较低。据此方法, 可相对客观地获得某一水库突发事件应急预案可行性情况。

## 2.2 案例分析

假定 3 人运用基于灰色关联度的可行性评价方法, 针对贵州省贵阳市松柏山水库、花溪水库大坝安全管理突发事件应急预案(以下简称《预案》)<sup>[12]</sup> 开展了可行性评价, 对结果进行分析, 获得不同个人的可行性评价结论。

对应急预案可行性指标体系的评分主要是通过认真阅读应急预案, 然后根据其叙述的详细程度, 参照前述的评价标准确定其得分; 分别计算每个人对该预案可行性评价的灰色加权关联度  $r_i$ , 最后对计算结果进行排序, 作出可行性排序评价。针对 3 人的评价情况, 分别获得各指标对应的评分值, 具体见表 1。

从表 1 可知, 基于第 1 个人的评分结果, 计算得到灰色关联度  $r_1 = 0.83$ , 类似地,  $r_2 = 0.78$ ,  $r_3 = 0.64$ , 显然  $r_1 > r_2 > r_3$ , 表明第 1 个人给出的可行性评价结果最高, 即对该《预案》可行性在 3 个人中的评价最高, 最低的是第 3 个人。

在多人针对某预案进行可行性评价时, 可以按照一定规则(如平均值)计算该预案可行性的灰色关联度。类似方式, 可以对多个预案进行基于灰色关联度的可行性评价, 通过横向对比各预案灰色关联度大小, 并进行大小排序, 从而获得哪一预案可行性较优, 哪一预案可行性不足, 为改进预案提供决策支持。

## 3 结 语

基于水库大坝突发事件应急预案可行性评价的已有研究成果, 考虑到可行性指标体系的不完备性等灰色特征, 建立了基于灰色关联度的可行性评价方法, 通过案例模拟验证了可行性评价方法的实用性。研究改善了水库突发事件应急预案可行性评价技术, 降低了可行性指标体系不完备等灰色特征对评价结果准确性的影响。

本文是在已有的水库突发事件应急预案可行性评价方法研究成果基础上的再研究, 也是降低水库突发事件应急预案评审过程中主观性<sup>[13]</sup>的可行方法。在缺少绝对评价标准的条件下, 该方法具有一定的实践意义。当多位专家对某水库应急预案进行可行性评价时, 且专家专业背景、工作经历和工作能力等基本统一时, 采用该方法可以获得相对客观的评价结果。

## 参 考 文 献:

- [1] 国务院办公厅国务院应急管理办公室. 全国应急预案体系建设情况调研报告[J]. 中国应急管理, 2013(1): 8-11. (Emergency Management Office of the State Council. Survey on emergency planning systems construction[J]. China Emergency Management, 2013(1): 8-11. (in Chinese))
- [2] RAMABRAHMAM B V, SREENIVASULU B, MALLIKARJUNAN M M. Model on-site emergency plan. Case study: toxic gas release from an ammonia storage terminal[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 1996(4): 259-265.
- [3] JENKINS L. Selecting scenarios for environmental disaster planning[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 121(2): 275-288.
- [4] RAMABRAHMAM B V, SWAMINATHAN G. Disaster management plan for chemical process industries. Case study: investigation of release of chlorine to atmosphere[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2000, 13(1): 57-62.
- [5] YUKO NAKANISHIY. Assessing emergency preparedness of transit agencies: A focus on performance indicators [C]// The 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D C, January, 2003.
- [6] ALEXANDER D. Towards the development of a standard in emergency planning[J]. Disaster Prevention and Management, 2005, 14(2): 158-175.
- [7] 程翠云. 水库大坝突发事件应急预案评价研究[D]. 南京: 南京大学, 2010. (CHENG Cui-yun. Study on evaluation method of dam safety emergency preparation plans[D]. Nanjing: Nanjing University, 2010. (in Chinese))
- [8] 程翠云, 钱新, 万玉秋, 等. 水库大坝突发事件应急预案可行性评价方法初探[J]. 水利水运工程学报, 2009(1): 71-75. (CHENG Cui-yun, QIAN Xin, WAN Yu-qiu, et al. A study of feasibility evaluation for emergency plan of emergent events of reservoirs[J]. Hydro-Science and Engineering, 2009(1): 71-75. (in Chinese))
- [9] 程翠云, 钱新, 杨珏, 等. 溃坝应急预案有效性评价[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(11): 1729-1733. (CHENG Cui-yun, QIAN Xin, YANG Yu, et al. Effectiveness evaluation of dam failure emergency preparation plan[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(11): 1729-1733. (in Chinese))
- [10] 杨道军. 水库大坝突发事件应急预案可行性评价[D]. 南京: 南京大学, 2008. (YANG Dao-jun. Feasibility reevaluation of dam safety emergency preparation plan[D]. Nanjing: Nanjing University, 2008. (in Chinese))
- [11] 唐玮, 姜传胜, 余廉. 提高突发事件应急预案有效性的关键问题分析[J]. 中国行政管理, 2013(9): 51-54. (TANG Wei, JIANG Chuan-sheng, SHE Lian. Analysis of key problem in improving effectiveness of emergency preparation plan[J]. Chinese Administration, 2013(9): 51-54. (in Chinese))
- [12] 周克发, 王晓航. 贵州松柏山水库、花溪水库大坝突发事件应急预案[R]. 1版. 南京: 南京水利科学研究院, 2009. (ZHOU Ke-fa, WANG Xiao-hang. EPP for Guizhou Songboshan reservoir and Huaxi reservoir[R]. 1st ed. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009. (in Chinese))
- [13] 康亚, 刘泽功, 王怀义. 生产安全事故应急预案评审存在问题及改进措施[J]. 中国安全生产科学技术, 2011(8): 221-224. (KANG Ya, LIU Ze-gong, WANG Huai-yi. Problems of production safety accident emergency plan assessment and improvement measures[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011(8): 221-224. (in Chinese))

## Further studies of feasibility evaluation method for reservoir emergency preparation plan

ZHANG Shi-chen<sup>1, 2</sup>, LONG Zhi-fei<sup>1, 2</sup>

(1. *Key Laboratory of Failure Mechanism and Safety Control Techniques of Earth-Rock Dam of MWR, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *Dam Safety Management Center of MWR, Nanjing 210029, China*)

**Abstract:** At present, the feasibility of the emergency preparation plan (EPP) for dam reservoirs is uncertain; and the appraisal technology of EPP feasibility is still inadequate, which leads to difficult supervision of EPP making and in some extent affects the EPP making and relevant enforcement work. In the researches on EPP appraisal methods which have been studied by other experts and scholars, EPP feasibility appears to have a notable characteristic that comes from index incompleteness. This incompleteness can affect the implement results of EPP feasibility appraisal. In order to reduce the effects given by the index incompleteness, it is necessary for us to carry out studies of new appraisal methods for EPP feasibility. Based on the existing research findings of reservoir EPP feasibility evaluation methods, considering a gray feature in the feasibility evaluation system with the index incompleteness, a new evaluation method is established based on a grey correlation degree, and its availability is verified through the simulation of case histories. This method is used to improve reservoir EPP feasibility evaluation technology and reduce the impact extents for the evaluation results considering the incompleteness of the feasibility index system.

**Key words:** reservoir; emergency event; emergency preparation plan (EPP); EPP feasibility; grey correlation degree