

基于G1模糊评价法的尾矿库应急救援能力评估

刘永,肖弘君^①,雷波^②,李国辉^③,何叶^①
(南华大学 环境保护与安全工程学院,湖南 衡阳 421001)

[摘要] 为了能够对尾矿库的事故应急救援能力进行评估,文章依据相关文献和规范建立了尾矿库的应急救援能力评估指标体系。在此基础上,通过问卷调查法对某尾矿库各指标的实际状态进行了打分,并结合模糊评价法对统计结果进行了量化计算和分析。结果表明该尾矿库的应急救援能力处于中等水平,仍需进一步加强应急人员的培训演练及安全管理工作。

[关键词] G1法; 尾矿库; 应急救援

[中图分类号] X822 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2016)06-0005-04

截至目前我国已有各类尾矿库12655座,其中约有40%为非正常库,尾矿堆积量超过100亿吨,而尾矿库作为重大危险源,一旦失事不仅会造成重大的人员伤亡、财产损失,同时还会带来巨大的环境污染问题。因此,如何加强尾矿库的安全管理水平,提高尾矿库的事故处理能力及应急救援能力成为人们日益关注的问题和研究的热点。

针对此问题,相关学者展开了大量的研究,如李爽等^[1]运用GIS技术构建尾矿库数字化应急管理体系,并从四个方面构建了尾矿库风险评价体系,系统地分析了尾矿库的风险特征,为加强尾矿库的应急管理提供了参考依据。刁非等^[2]建立了尾矿库应急能力评估三级指标体系,运用模糊综合评价法构建了应急能力的评估模型,并结合AHP和Delphi指标赋权法对实例进行了分析,验证了该方法的有效性。陈凯等^[3]在现有尾矿库在线监测系统的基础上,开发了一套尾矿库应急指挥软件平台,利用建模实现了现场的三维形态仿真,可有效预防和减少尾矿库灾害事故的发生。李学民等^[4]从国内外典型尾矿库事故出发,对漫顶、管涌及滑坡等事故的应急抢险措施进行了分析和总结,为尾矿库的安全管理及应急救援提供了指导。施正盼等^[5]依据“急性-慢性污染理论”提出了尾矿废水的处理措施,并结合

尾矿安全管理现状建立了事故应急体系,实现了环境污染与事故应急的有机结合,有效地降低了尾矿库的环境风险。门永生、柴建设等^[6]及何衍兴等^[7]分别对我国当前的尾矿库事故类型、事故数量、典型事故及安全现状等进行了分析,并分别从事故防治和安全管理两个层面提出了相应的技术措施。

虽然目前对尾矿库进行了大量的研究并取得了较大的进展,然而对尾矿库应急能力进行评估并提出相应技术措施的研究还较少,有文献提出了基于模糊理论的尾矿库应急能力评估方法,虽然评价指标采用专家打分与实地调研相结合,利用加权平均型算子,使评价结果客观。但是计算过程复杂,尤其指标集数量较多时,存在分辨率不高的现象^[3]。G1法是东北大学郭亚军教授提出的一种主观评价法,它通过对AHP方法进行改进,避开了AHP方法中的缺点,无需构造判断矩阵和进行一致性检验^[8]。目前,该方法已经在安全及环境事故评估等方面得到了广泛的应用^[9-11]。因此,本文将在前人研究的基础上进一步引进G1评价法对尾矿库的应急能力进行系统的分析并提出相应的技术措施。

一 G1评价法的基本原理及步骤

层次分析法的基本原理是把研究的复杂问题看

[收稿日期] 2016-10-10

[基金项目] 环境保护部科研基金项目“铀矿冶与伴生矿核与辐射安全监管技术支持”资助(编号:JG1509);环境保护部科研基金项目“272厂退役铀尾矿库松林坝渗水中污染物变化规律及污染预测研究”(编号:JG1620-52);南华科研启动基金项目“C₂-ECBM过程中元素迁移及环境安全研究”资助(编号:2013XQD13)

[作者简介] 刘永(1971-),男,湖南衡阳人,南华大学环境保护与安全工程学院教授,博士。

①南华大学环境保护与安全工程学院硕士研究生。②南华大学环境保护与安全工程学院讲师。③中国核电工程公司郑州分公司助理工程师。

作一个大系统,通过对系统的多个因素的分析,划出各因素间相互联系的有序层次;再请专家对每一层次各因素进行客观判断后,相应地给出重要性的定量表示;构造(需进行一致性检验)保证结论的合理性并求解比较判断矩阵,进而建立数学模型,计算出每一层次全部因素的相对重要性的权值,最后进行综合排序和评判。

在多层次、复杂的指标体系中,层次分析法通过采集专家意见构建的判断矩阵,能很好地反映各指标的相对重要程度,因而具有良好的实用性;而在尾矿库应急救援能力各个单因素质量体系评判中,通过专家给出的判断矩阵具有不确定性。其基本计算原理和步骤如下:

步骤1:确定指标间的序关系。 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ($n \geq 2$) 是系统中 n 个相异的极大型指标集合,若指标 x_i 相对评价准则的重要程度不劣于 x_j ,则记为 $x_i \geq x_j$ (“ \geq ”表示不劣于关系),若指标集 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 相对评价准则具有关系式 $x_1^* \geq x_2^* \geq \dots \geq x_n^*$,则称评价指标集合按“ \geq ”确立了序关系,此处 x_i^* ($1 \leq i \leq n$) 表示序关系中的第 i 个评价指标。

步骤2:确定指标间的相对重要程度。设专家组给定序关系中相邻评价指标 x_{k-1}^* 与 x_k^* 的重要程度之比 w_{k-1}/w_k ,其理性判断值可用公式(1)表示:

$$w_{k-1}/w_k = r_k (k = n, n-1, \dots, 2) \quad (1)$$

其中: w_k 为序关系中第 k 个指标的权重, r_k 的赋值可参考文献[10]。

步骤3:计算指标权重系数 w_k 。根据步骤2中专家组给出的各指标间 r_k 的理性赋值参数,则权重 w_n 可用公式表示为:

$$w_n = \left(1 + \sum_{k=2}^n \prod_{i=k}^n r_i\right)^{-1} \quad (2)$$

步骤4:计算评价等级结果 S 。将各评价指标的权重乘以相应的等级隶属矩阵即可得到最终的评价结果,计算过程可用公式表示:

$$S = W_{1 \times n} \cdot F_{n \times 1} \quad (3)$$

其中: W 为步骤3计算所得的权重矩阵, F 为等级隶属矩阵。

二 工程实例及分析

(一)尾矿库应急救援能力评估指标体系的建立

根据《尾矿库安全技术规程(AQ 2006-2005)》、《尾矿库安全监督管理规定(2015修订)》和《尾矿库事故灾难应急预案》的相关条例,并结合文献[2]

和[12]及相关专家的建议建立了尾矿库应急救援能力评估指标体系,如图1所示。该体系中包含应急人员、应急物资、应急预案及应急保障四个方面的12个二级指标。应急人员是指直接或间接参与到应急救援工作中的相关人员,主要包含应急救援人员、应急指挥人员及人员的培训及演练等;应急物资是指直接或间接用于事故救援当中的各类物资及设施等,主要包括基本应急物资、专项应急物资及物资的管理维护等;应急预案是指针对可能发生的事故,为有效地开展应急救援行动而预先制定的计划,主要包括应急响应、应急预案的编写与更新及事故预警与监控等;应急保障是指为确保应急救援工作快速、有序进行而采取的一系列组织协调等工作,主要包括组织协调能力、后勤保障能力及公众宣传教育等。

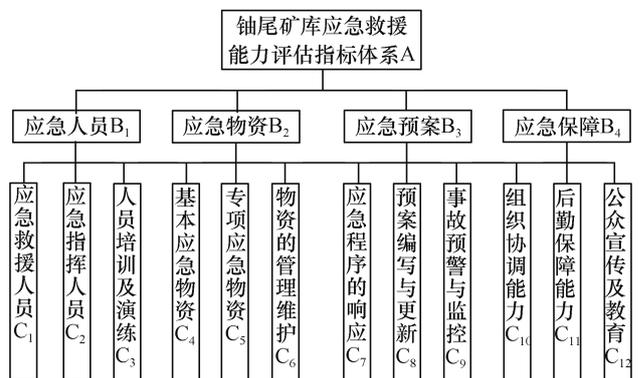


图1 尾矿库应急救援能力评估指标体系

(二)工程概况及原始数据来源

某平地型尾矿库位于中国南部,国家第二个五年计划期间的重点建设项目之一,是我国铀水冶系统中生产系统最完整、生产规模最大、生产多种铀产品的大型铀水冶纯化厂,是为制备各种类型的核燃料提供原料的重要基地。现在,该厂的主要工艺生产线已停产封存,该尾矿库已失去配套工程的功能,于是需对尾矿库进行退役治理,以消除其对环境的污染和对人民健康的影响。在保证治理工程质量的前提下,治理工程要尽快完成。根据该尾矿库的实际状态,向该尾矿库的工作人员、管理人员及有关的研究人员共发放问卷50份,实际42份有效问卷(有效率为84%),并对各指标实际打分情况进行了统计,如表1所示,并以该统计结果作为本文分析的原始数据。同时,将表1中各指标评分等级所对应的专家人数除以专家总人数再乘以各等级的得分,即

可得到尾矿库各二级指标的平均得分等级隶属矩阵。

表 1 尾矿库应急救援能力评估打分人数统计表

评价指标	评分等级				总得分	平均得分
	0'	5'	F10'	15'		
C ₁	3	5	13	17	4	490
C ₂	3	7	16	11	5	460
C ₃	10	18	9	3	2	265
C ₄	1	8	19	12	2	450
C ₅	3	9	10	15	5	470
C ₆	2	16	7	16	1	410
C ₇	8	15	11	4	4	325
C ₈	4	7	20	5	6	430
C ₉	6	13	11	8	4	375
C ₁₀	5	10	14	9	4	405
C ₁₁	6	12	17	5	2	345
C ₁₂	15	17	6	3	1	210

(三) 应急能力的计算与分析

针对以上尾矿库应急救援能力评估指标体系,根据 G1 评价法的基本原理和步骤,和表 1 评估打分人数统计表分析得出一级指标中存在如下序关系:

$$B_1^* > B_3^* > B_2^* > B_4^*$$

且给出了各指标间重要性程度的理性判断,并取赋值的平均值作为最终的结果,如下所示:

$$r_2 = \frac{W_{B1}}{W_{B3}} = 1.25 \quad r_3 = \frac{W_{B3}}{W_{B2}} = 1.43 \quad r_4 = \frac{W_{B2}}{W_{B4}} = 1.14$$

于是,根据 G1 评价法中计算权重的公式(1)可算出:

$$W_{B4} = \left(1 + \sum_{k=2}^4 \prod_{i=k}^4 r_i\right)^{-1} = 0.16$$

根据公式(2)可进一步得到其它各一级指标的权重,分别为:

$$W_{B1} = 0.34 \quad W_{B2} = 0.21 \quad W_{B3} = 0.30$$

同理,可算出各一级指标下二级指标的权重,分别为:

$$W_{B1} = (0.26 \ 0.34 \ 0.40) \quad W_{B2} = (0.28 \ 0.35 \ 0.38)$$

$$W_{B3} = (0.25 \ 0.36 \ 0.40) \quad W_{B4} = (0.24 \ 0.30 \ 0.46)$$

将计算所得的二级得分隶属矩阵和二级指标的权重代入公式(3),即可得到各一级指标的得分隶属矩阵,分别为:

$$S_{B1} = [0.26 \ 0.34 \ 0.40] \cdot [11.67 \ 10.95 \ 6.31]^T = 9.28$$

$$S_{B2} = [0.28 \ 0.35 \ 0.38] \cdot [10.71 \ 11.20 \ 9.76]^T = 10.52$$

$$S_{B3} = [0.25 \ 0.35 \ 0.40] \cdot [7.74 \ 10.24 \ 8.93]^T = 9.09$$

$$S_{B4} = [0.24 \ 0.30 \ 0.46] \cdot [9.64 \ 8.21 \ 5.00]^T = 7.08$$

将计算所得的一级指标得分隶属矩阵和各一级指标的权重再次代入公式(3),即可得到最终的尾矿库应急救援能力的评估值,结果为:

$$S_A = W_B \cdot S_B = [0.34 \ 0.21 \ 0.29 \ 0.16] \cdot [9.29 \ 10.52 \ 9.10 \ 7.08]^T = 9.12$$

根据计算结果并结合表 2 可知,该尾矿库的应急救援能力处于中等水平,能够较好地处理一般的尾矿库事故,对于溃坝等重大事故的应急救援能力还有待进一步提高,建议对各类事故的应急救援预案进行细化,并明确各应急救援人员的具体职责,而对于尾矿库常发的各类重大事故,应邀请相应的专家对应急预案进行修改和更新;同时,对四个一级指标进行反分析可知,该尾矿库的应急保障能力得分最低,应重点加强公众宣传及教育等相关方面的管理工作,发现安全隐患也要及时排查并处理。

表 2 尾矿库应急能力值分级及表征

序号	分级区间	表 征	等级
1	15 ≤ S ≤ 20	有专业的应急救援队伍,有系统的应急救援预案,有完备的应急救援物资,有良好的应急保障体系	优
2	10 ≤ S ≤ 15	应急救援队伍执行力较强,应急救援预案较完整,应急救援物资较丰富,应急保障体系较好	良
3	5 ≤ S ≤ 10	应急救援队伍执行力一般,应急救援预案较不系统,应急救援物资不完整,应急保障体系不健全	中
4	0 ≤ S ≤ 5	应急救援队伍人员不齐,缺乏经验,应急救援预案不完整,应急救援物资缺乏,应急保障体系效率低下	差

三 研究结论

通过 G1 评价法对铀尾矿库的应急能力进行了评估,主要得到了以下结论:

(一)建立了尾矿库的应急救援能力专家评估

等级体系,以避免不同专家或人员在评判标准上的不统一。

(二)通过 G1 评价法并结合问卷调查统计数据,对尾矿库的应急能力进行了量化计算和分析,结

果表明该尾矿库的应急救援能力值处于中等水平,应加强尾矿库应急人员的培训管理并提高相应部门的应急保障能力。

[参考文献]

- [1] 李爽.尾矿库数字化环境应急管理体系研究[D].长春:东北师范大学,2014.
- [2] 刁非.用模糊综合评价法评估钽水冶厂尾矿库应急能力[J].钽矿冶,2015,34(1):25-29,34.
- [3] 陈凯,张宣,张晓朴,等.尾矿库灾害应急指挥平台研究[J].中国矿业,2015,24(S1):426-429.
- [4] 李学民.尾矿库突发事件的处置与经验[J].有色金属(矿山部分),2010,62(6):39-41,59.
- [5] 施正盼.尾矿库污染防治与事故应急处理措施研究[D].西安:长安大学,2009.
- [6] 门永生,柴建设.我国尾矿库安全现状及事故防治措施[J].中国安全生产科学技术,2009,5(1):48-52.
- [7] 何衍兴,梅甫定,申志兵.我国尾矿库安全现状及管理措施探讨[J].安全与环境工程,2009,16(3):79-82.
- [8] 郭亚军.综合评价理论与方法[M].北京:科学出版社,2002:1-29.
- [9] 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):96-100.
- [10] 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):30-33.
- [11] 盛武,高明中,杨力,等.煤矿紧急避险体系构建与应急救援模型研究[J].中国安全科学学报,2011,21(4):171-176.

Emergency Rescue Capability Evaluation of the Tailing Pond Based on G1 Method

LIU Yong, XIAO Hong-jun, LEI Bo, LI Guo-hui, He Ye
(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: To evaluate the accident emergency rescue capability of the tailing pond, this paper established the emergency rescue capability evaluation index system of the tailing pond in accordance with related literature and criteria. Based on that, the actual state of each index of a certain tailing pond was given a score through the questionnaire method, and the statistics was analyzed quantitatively through G1 fuzzy evaluation method. According to the results, the emergency rescue capability of the chosen tailing pond was in the medium level, further reinforce of emergency personnel training and safety management were needed.

Keywords: G1 method; tailing pond; emergency rescue capability