

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0082

潘翔, 沈振中, 甘磊, 等. 大坝除险加固效果评价的时效性指标量化模型[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(3): 155-161. PAN X, SHEN Z Z, GAN L, et al. Quantitative model of time efficient indexes for evaluation of reinforcement effect of dam[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(3): 155-161. (in Chinese)

大坝除险加固效果评价的时效性指标量化模型

潘翔¹, 沈振中¹, 甘磊¹, 王凯², 卿文武³, 何芸³

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 江苏省水利勘测设计研究院, 江苏扬州 225127; 3. 江西省宜春市水利局, 江西宜春 336000)

摘要: 大坝除险加固效果评价指标包括时效性指标和非时效性指标两类, 时效性指标的量化是进行大坝除险加固效果定量评价的关键。针对现有大坝除险加固评价体系中时效性指标量化理论较为缺失的问题, 基于无量纲化的定量时效性指标, 研究了大坝性态变化以及指标等级变化对时效性指标评价的影响, 推导了安全度和等级提升系数的公式, 进而建立了时效性指标量化模型。以江西某水库除险加固为例, 分析除险加固前、后各时效性指标的变化情况, 并对模型的合理性进行了验证。结果表明, 应用本文建立的大坝除险加固时效性指标量化模型可合理评价除险加固过程中的时效性指标。

关键词: 大坝; 除险加固; 时效性指标; 量化模型; 安全度; 等级提升系数

中图分类号: TV3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)03-0155-07

Quantitative model of time efficient indexes for evaluation of reinforcement effect of dam

PAN Xiang¹, SHEN Zhenzhong¹, GAN Lei¹, WANG Kai², QING Wenwu³, HE Yun³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd, Yangzhou 225127, China; 3. Yichun Water Conservancy Bureau, Yichun 336000, China)

Abstract: The basic indexes for evaluation of a dam's reinforcement effect include time efficient indexes and non time efficient indexes. The quantification of time efficient indexes is the key to quantitative evaluation of the reinforcement effect of a dam. Since there is a lack of theory on quantification of time efficient indexes in the reinforcement evaluation system of dams, in this paper we studied the influence of the change of dam behavior and the change of index level on the evaluation of time efficient indexes, deduced the formulas for safety degree and grade promotion coefficient on the basis of the dimensionless quantitative time efficient indexes, and then established a quantitative model of time efficient indexes. The reinforcement of a reservoir in Jiangxi was taken as an example. We analyzed the changes of the time efficient evaluation indexes before and after reinforcement, and verified the rationality of the model. The results indicated that the time efficient indexes can be reasonably evaluated by the proposed quantitative model of time efficient indexes.

Key words: dam; reinforcement; time efficient index; quantitative model; safety degree; grade promotion coefficient

近年, 我国基本完成了水库的新一轮除险加固^[1], 消除了绝大部分水库的安全隐患, 但是仍有一

收稿日期: 2017-09-11 修回日期: 2018-02-28 网络出版时间: 2018-03-09

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180309.1633.018.html>

基金项目: 国家自然科学基金/雅砻江联合基金项目(U1765205); 江西省水利科技项目(KT201545)

Funds: National Natural Science Foundation of China/Yalong River Joint Fund (U1765205); The Water Conservancy Science and Technology Project of Jiangxi Province (KT201545)

作者简介: 潘翔(1994), 男, 安徽宣城人, 主要从事水工结构设计分析理论方面研究。E-mail: 1947047390@qq.com

通讯作者: 沈振中(1968), 男, 江苏苏州人, 教授, 博士生导师, 主要从事水工结构工程方面研究。E-mail: zhzhshen@hhu.edu.cn

些水库大坝在加固后发生险情^[2],甚至发生溃坝事故,如山西曲亭水库,新疆联丰水库等。因此,进行水库大坝除险加固效果评价是十分必要的。

大坝除险加固效果评价是一项复杂的系统工程,涉及到指标体系构建、指标量化和综合评价等。针对于水库大坝除险加固效果评价体系研究,吴焕新^[3]提出了基于加速遗传的层次分析法(AGA-AHP),定量评价了病险水库除险加固治理效果的综合评价体系。王宁^[4]等提出了基于模拟退火层次分析法(SA-AHP),构建了病险水库除险加固评价体系。黄显峰^[5]等提出了基于 GA-AHP 和物元分析法,建立了水库除险加固的评价体系。在这些大坝除险加固评价体系中,针对于评价指标量化问题,多采用专家赋分法。评价指标根据其特点可以分为两类,一类指标不具有时效性,评价时只需对其某一时期的状态或整体状态进行评价,称为非时效性指标;另一类指标具有时效性,评价时需要分析该指标除险加固前、后的状态进行比较,称为时效性指标。对于非时效性指标,由于无法通过计算来确定,专家赋分法可以较好地解决这些指标的量化问题;对于可以通过计算确定的一些时效性指标,如渗流安全与边坡稳定方面的基础指标,若也使用专家赋分法来确定,无疑会大大削弱这些指标评价的准确性,从而会影响到大坝除险加固效果综合评价的结果。因此,实现时效性指标的量化是构建大坝除险加固效果评价体系的关键。

本文首先对加固前、后的时效性指标进行无量纲化处理,建立基于 Logistic 生长曲线的大坝安全度量化公式;然后考虑加固前、后评价等级对评价结果的影响,建立了安全度等级提升系数公式;最后建立了时效性指标评价的计算公式。本文提出的方法通过实际工程验证,有效解决了除险加固评价体系中时效性指标量化问题,使得评价结果更加科学可靠。

本文首先对加固前、后的时效性指标进行无量纲化处理,建立基于 Logistic 生长曲线的大坝安全度量化公式;然后考虑加固前、后评价等级对评价结果的影响,建立了安全度等级提升系数公式;最后建立了时效性指标评价的计算公式。本文提出的方法通过实际工程验证,有效解决了除险加固评价体系中时效性指标量化问题,使得评价结果更加科学可靠。

1 时效性指标量化模型

大坝除险加固效果评价体系中时效性指标的量化主要包括:(1)对评价指标进行无量纲化处理,确定指标加固前、后的评分;(2)根据指标无量纲化后的结果,在考虑大坝性态变化的前提下,推导出指标安全度公式。(3)在前面的结果之上,考虑加固前、后指标安全度提升对评价指标的影响,推导出等级提升系数公式。(4)根据时效性指标评价等级集判别标准,对指标安全度和等级提升系数,进行进一步数学处理,最终确定时效性指标的评价值及其评价

等级。

1.1 指标无量纲化

对于时效性指标中的定性指标即无法通过数据计算分析的指标,依然采用专家赋分的方法对其进行评价;对于时效性指标中的定量指标即可以通过数据计算分析准确评价的指标,如渗流安全和边坡稳定方面的指标,一般可通过渗流分析有限元法^[6-8]和刚体极限平衡法^[9-10]求得,但由于各指标之间量纲不同,无法直接进行比较或综合,因此还需要进行无量纲化处理,才能最终确定其评价值。

目前常规的无量纲化方法^[11-12]从几何的角度归结为三类:直线型无量纲化、折线型无量纲化、曲线型无量纲化。鉴于水库大坝除险加固效果评价的复杂性,无量纲化方法必然是非线性的。针对时效性指标中正向指标(即越大越优),当指标计算值远低于规范值时,计算值稍有增加,安全程度会大幅提升,随着指标计算值继续增加,安全程度提升幅度逐渐变小,当远远大于规范值时,即使指标计算值提升,安全程度也不会再增加,该过程可利用图 1 所示曲线近似表示。本文采用公式(1)对该曲线进行描述:

$$x = \begin{cases} \frac{t}{at+b} & t < 2.54 \\ 100 & t \geq 2.54 \end{cases} \quad (1)$$

式中: x 为时效性指标评分; t 为指标实际计算值与该指标对应规范规定值的比值; a 、 b 为该曲线函数的参数。本文根据以往工程经验,认为除险加固后的正向指标的实际计算值能够达到规范值的 2.54 倍及以上,则此指标的除险加固是完全成功的。即 t 值为 2.54 时, x 取 100; 当实际计算值刚好等于规范值时,认为此除险加固是刚好达到成功,即 t 值为 1 时, x 取 60。故可确定公式(1)中参数 a 和 b 的值分别为 $1/176$ 、 $1/100$ 。

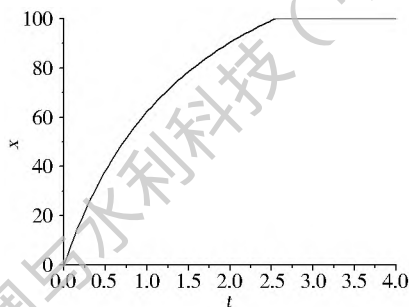


图 1 正向指标函数图

Fig. 1 Forward index function graph

逆向指标(指标值越小越好)正好与正向指标相反,需要做同向化处理。一般方法是,利用倒数法,将逆向指标转化为正向指标,即式(1)里面的参数 t

由原来的指标实际计算值与该指标对应规范规定值的比值更改为指标对应的规范规定值与实际计算值的比值。

1.2 指标安全度

大坝安全程度的变化过程是一个动态、非线性的变化过程^[13-15], 仅仅通过前文所用的无量纲化处理的方法来确定指标的评分是无法反应出大坝安全程度的变化规律。大坝安全程度的变化规律主要由以下五个阶段, 见表 1。可见, 大坝安全程度的变化过程类似于一条 S 型曲线。第一阶段和第五阶段发展平稳, 其他阶段发展较快, 其中第三阶段发展最快。

表 1 大坝性态与安全程度对应关系

Tab. 1 Corresponding relations between dam behavior and safety degree

发展阶段	安全程度	性态特征
Ⅴ	非常安全	大坝安全状态较为稳定
Ⅳ	基本安全	大坝局部有问题, 安全程度平缓降低
Ⅲ	不安全	大坝多处存在问题, 危险性快速发展
Ⅱ	很不安全	大坝多处存在明显问题, 危险性很大且发展较为平缓
Ⅰ	极不安全	大坝随时可能出现严重险情, 此时危险性发展到极致并趋于稳定

根据对大坝安全程度变化特性的分析, 大坝安全程度变化非常类似于 Logistic 生长曲线的特征, Logistic 模型的常用表达式为^[16-18]:

$$y = \frac{c}{1 + ae^{-bx}}, t \in (0, \infty) \quad (2)$$

式中: a, b, c 为参数。

本文中用 S 来表示大坝各评价指标所处的安全程度, 称为指标安全度; x 表示指标评分, x 的取值范围在 $[0, 100]$, S 的取值范围在 $[0, 1]$ 。 S 值越接近 1, 表示该评价指标的安全程度越高, 将式(2)自变量进行转换 $t = 0.2x - 10$, 让模型满足 S 和 x 的取值范围, 提出指标安全度量化基本公式:

$$S = \frac{c}{1 + ae^{-b(0.2x-10)}}, x \in [0, 100] \quad (3)$$

式中: S 为指标安全度; x 为指标评分; a, b, c 为待定参数。

指标安全度曲线应该具备以下特点^[13]: 在极不安全阶段, 大坝的安全性非常差, 随时可能出现严重险情, 此时的安全度降到最低基本上趋于零, 发展较为平稳; 在很不安全阶段, 大坝多处存在明显问题, 安全度较小, 但是在缓慢增加; 在不安全阶段, 安全度变化最大; 在基本安全阶段, 安全度增加速度放缓, 曲线上升速度开始下降; 在非常安全阶段, 大坝安全状态较为稳定, 安全度几乎不再增加, 曲线趋向

于水平。

根据安全度曲线发展的特点, 文献^[14-15]认为第一阶段与第五阶段安全度变化幅值相同, 范围小于 0.1, 第二阶段与第四阶段变化幅值相同且是第一阶段的两倍, 第三阶段变化幅值最大。本文根据工程实际情况依次取 $S_1 = S_5 = 0.08$, $S_2 = S_4 = 0.16$, $S_3 = 0.52$ 。

由此, 大坝安全度量化模型关键点评分与安全度对应关系见表 2。

表 2 指标安全度评分与安全度对应表

Tab. 2 Corresponding relations between index safety score and safety degree

项目	对应关系					
评分 x	100	80	60	40	20	0
安全度 S	1	0.92	0.76	0.24	0.08	0

根据确定的关键点, 采用 MATLAB 中 nlinfit 函数非线性拟合功能^[19], 可得到公式中的参数。拟合得到的参数为 $a = 0.9581$, $b = 0.5344$, $c = 0.9861$, 拟合决定系数为 0.9942, 可见拟合相似程度很高, 拟合曲线见图 2。

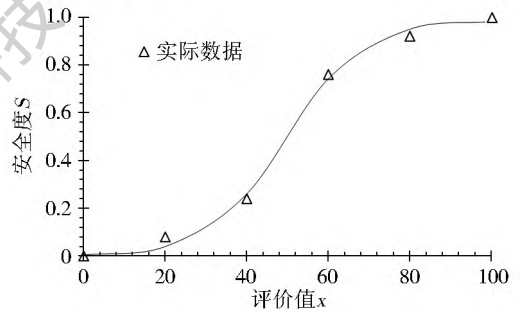


图 2 Logistic 方程拟合大坝安全度曲线

Fig. 2 Fitting curve of Logistic equation and dam safety

指标安全度量化公式:

$$S = \frac{0.9861}{1 + 0.9581e^{-0.5344(0.2x-10)}}, x \in [0, 100] \quad (4)$$

式中: S 为大坝安全度, x 为指标评分。

由此量化公式计算出的关键点评价价值与安全度的对应关系见表 3。

表 3 量化公式拟合关键点数据

Tab. 3 Key point data of quantitative formula

评分 x	0	20	40	60	80	100
安全度 S	0.0045	0.0380	0.2568	0.7452	0.9511	0.9820

1.3 指标安全等级提升系数

根据上述指标安全度量化公式, 可量化除险加固前、后时效性指标的安全程度, 但是时效性指标的评价不仅与加固后的安全度有关, 还与加固前、后的安全度的提升有关, 因此, 需要建立安全度的提升程

度在指标评价过程中的数学模型。现依据常理做出如下假设: (1) 当某项评价指标加固后的安全度确定, 加固前该指标安全度越低, 说明除险加固效果越好, 其评价价值应该越高; (2) 当某项指标加固前的安全度确定, 加固后该指标安全度越高, 说明除险加固效果越好, 其评价价值越高。

基于以上假设, 定义安全等级提升系数 C 见式 (5):

$$C = \frac{S_2 - S_1}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (5)$$

式中: C 是安全等级提升系数; S_2 是加固后指标安全度; S_1 是加固前指标安全度; S_{\max} 是安全度最大值, 取 0.9820; S_{\min} 是安全度最小值, 取 0.0045。故由式 (5) 有:

$$C = \frac{S_2 - S_1}{0.9775} \quad (6)$$

1.4 指标评价价值和评价等级的确定

现有的水库大坝安全评价技术^[20] 在各基础指标评价方面均是分为三级, 只能粗略地定性判断安全程度, 为了更加准确细致地对时效性指标进行评价, 将其细分为完全成功、基本成功、部分成功、不成功、失败共五个等级, 评价结果由高到低采用 100~0 的分数连续表示, 见表 4。

表 4 时效性指标评价等级集判别准则

Tab. 4 Criteria of evaluation grades of time efficient indexes

评价等级	指标评价值	判别准则
完全成功	[90, 100]	除险加固后, 指标安全度达到非常安全; 加固后指标安全度越高、安全等级提升程度越大, 指标评价值越大。
较成功	[80, 90)	除险加固后, 指标安全度达到基本安全, 且较加固前提升 2 个等级以上; 加固后指标安全度越高、安全等级提升程度越大, 指标评价值越大。
基本成功	[70, 80)	除险加固后, 指标安全度达到基本安全, 且较加固前提升 1 个等级及以上; 加固后指标安全度越高、安全等级提升程度越大指标评价值越大。
不成功	[60, 70)	除险加固后, 指标安全度接近基本安全; 加固后指标安全度越高, 指标评价值越大。
失败	[0, 60)	除险加固后, 指标安全度较基本安全仍有较大差距; 加固后指标安全度越高, 指标评价值越大。

根据时效性指标评价等级集判别标准, 对加固后安全度 S_2 , 安全等级提升系数 C , 进行进一步数学处理, 可以最终确定时效性指标的评价价值及其评价等级。

在完全成功、较成功、基本成功三个评价等级

下, 时效性指标评价价值 X 是与安全等级提升系数 C 呈线性关系的, 在不成功、失败两个评价等级下, 时效性指标评价价值 X 是与加固后安全度 S_2 成线性关系。由此, 可得到式 (7)、式 (8)。

$$X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} (C - C_{\min}) + X_{\min} \quad (7)$$

式中: X_{\max} 为对应评价等级下指标评价价值上限; X_{\min} 为对应评价等级下指标评价价值下限; C_{\max} 为对应评价等级下安全等级提升系数上限; C_{\min} 为对应评价等级下安全等级提升系数下限; C 为安全等级提升系数。

$$X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{S_{2\max} - S_{2\min}} (S_2 - S_{2\min}) + X_{\min} \quad (8)$$

式中: $S_{2\max}$ 为对应评价等级下加固后安全度上限; $S_{2\min}$ 为对应评价等级下加固后安全度下限; S_2 为加固后安全度。

2 实例分析

江西省宜春市某水库洪水标准为 50 年一遇设计, 1000 年一遇校核, 设计洪水位 76.85 m, 校核洪水位 77.32 m, 总库容 1 640 万 m^3 , 多年平均年径流量为 1 446.8 万 m^3 , 是一座以灌溉为主, 兼顾防洪、发电、养殖等综合利用的中型水库。大坝为均质土坝, 坝顶高程 80.0 m, 最大坝高 21.2 m, 坝顶宽度 6.0 m, 坝顶长 404 m。该水库加固前存在的病险有: 坝体存在渗漏问题, 与坝基均存在接触渗漏问题; 溢洪道边墙及底板抗冲不满足规范要求; 主坝坝下涵管混凝土管身多处出现蜂窝、麻面、剥蚀现象, 管身存在多条环向裂缝; 西二副坝坝下涵管预制混凝土管长年有压运行, 混凝土老化, 剥蚀严重等。经安全鉴定, 确定该水库属三类坝, 需进行除险加固。主要加固内容有: 坝坡平整、上游护坡翻修、白蚁防治、坝顶混凝土路面、坝体坝基防渗处理、下游草皮护坡、下游反滤排水及坝顶排水设计、坝体坝基防渗处理设计。

为了进行该水库除险加固效果评价, 根据该水库的实际情况, 选取以下时效性指标进行量化。定性指标: 运行质量、管理制度与人员配置、水库运行环境、维修环境、安全监测; 定量指标: 出逸点高程、渗透坡降、渗透流量、稳定安全系数。对所选取的时效性指标按着定性与定量分别进行处理。

2.1 本模型的评价结果

(1) 定性指标的量化。采用专家赋分的方法确定加固前、后指标的评价价值, 再利用前文所述模型确定指标的评价价值。

a. 专家权重的确定。

该水库除险加固效果评价邀请了 5 位权威专家参与,表 5 是五位专家的权威性调查结果,基于权威性调查表确定各位专家在定性指标评价中的权重。

表 5 专家权威性调查表

Tab. 5 Experts' authority questionnaire

	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五
硬指标					
学历	90	90	90	90	90
资历 职称	90	80	80	85	80
行政职务	75	85	90	80	90
论文	90	85	85	85	80
学术 科研成果	90	80	85	80	75
获奖情况	90	85	80	85	80
会议情况	80	85	85	80	80
软指标					
实践经验	85	90	85	80	90
专业熟练程度	90	90	90	90	90
专家权重	0.2961	0.2544	0.2308	0.0871	0.1316

b. 加固前后评价确定

根据大坝的实际情况,五位专家在加固前和加固后对所选的定性指标分别进行赋分,然后利用专家权重算出加固前和加固后每一项定性指标的评价值 x_1, x_2 , 见表 6 和表 7。

表 6 加固前时效性定性指标评价

Tab. 6 Evaluation of qualitative indexes before reinforcement

专评价指标	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	评价
	0.2961	0.2544	0.2308	0.0871	0.1316	值 x_1
运行质量	50	55	52	58	54	52.96
管理制度与人员配置	65	70	73	68	71	69.17
水库运行环境	62	65	60	60	65	62.52
维修环境	65	62	64	60	60	62.91
安全监测	50	58	52	55	54	53.46

表 7 加固后时效性定性指标评价

Tab. 7 Evaluation of qualitative indexes after reinforcement

评价指标	专家一	专家二	专家三	专家四	专家五	评价
	0.2961	0.2544	0.2308	0.0871	0.1316	值 x_2
运行质量	82	85	82	84	86	83.46
管理制度与人员配置	80	82	78	77	86	80.58
水库运行环境	80	82	80	85	84	81.47
维修环境	86	85	87	84	85	85.67
安全监测	80	82	78	80	80	80.05

c. 定性指标评价。

利用前文所述的方法确定最终时效性指标的评价值 X , 结果见表 8。

表 8 定性指标评价

Tab. 8 The value of qualitative evaluation indexes

评价指标	x_1	x_2	S_1	S_2	C	X
运行质量	52.96	83.46	0.5807	0.9604	0.3884	93.88
管理制度与人员配置	69.17	80.58	0.8777	0.9514	0.0754	90.75
水库运行环境	62.52	81.47	0.7880	0.9544	0.1702	91.70
维修环境	62.91	85.67	0.7945	0.9657	0.1750	91.75
安全监测	53.46	80.05	0.5933	0.9495	0.3643	93.64

(2) 定量指标的量化。

a. 出逸点高程。

根据《碾压式土石坝设计规范》(SL 274-2001)要求,贴坡排水体顶部高程应高于坝体下游出逸点高程,由于本水库枢纽等级为 3 等,出逸点高程应低于排水体顶部高程不小于 1.5 m。在本文实例中,排水体顶部高程为 63 m,在考虑最不利工况下,加固前下游出逸点高程 61.92 m,加固后下游出逸点高程 60.43 m,分别低于顶部高程 1.08 m 和 2.57 m。利用公式(1),计算可得加固前、后出逸点高程指标的评价值 x_1, x_2 , 利用公式(2)~(8)可得最终该指标的评价值 X , 见表 9。

b. 渗透坡降。

该水库坝体材料允许渗透坡降为 0.3,加固前后实际坝体渗透坡降通过渗流计算,取最不利工况下的值分别为 0.413、0.177。利用公式(1),计算可得加固前、后渗透坡降指标的评价值 x_1, x_2 , 利用公式(2)至式(8)可得最终该指标的评价值 X , 见表 9。

表 9 定量指标评价

Tab. 9 The value of quantitative evaluation indexes

评价指标	x_1	x_2	S_1	S_2	C	X
出逸点高程	51.10	86.82	0.5324	0.9680	0.4456	94.46
渗透坡降	51.42	86.34	0.5408	0.9670	0.4360	94.36
渗透流量	70.66	80.92	0.8921	0.9526	0.0618	72.55
稳定安全系数	71.84	78.40	0.9023	0.9427	0.0413	72.38

c. 渗透流量。

本文取多年平均年径流量的 5% 作为水库年渗透流量的规范值,该水库多年平均年径流量为 1 446.8 万 m^3 , 则年渗透流量规范值为 72.34 万 m^3 , 年渗透流量实际值以典型断面的单宽流量乘以坝长作估算。在本例中,加固前后水库年渗透流量分别为 61.28 万 m^3 、48.30 万 m^3 。运用公式(1),计算可得加固前、后渗透流量的评价值 x_1, x_2 , 利用公式(2)至式(8)可得最终该指标的评价值 X , 见表 9。

d. 稳定安全系数。

根据《碾压式土石坝设计规范》(SL 274-2001)

要求,坝体抗滑稳定安全系数在正常运行条件下为1.3,非常运行条件下为1.2。本例各个工况下稳定安全系数实际值采用刚体极限平衡法计算求得,在最不利工况(设计洪水位)下,加固前、后稳定安全系数分别为1.52、1.79。运用公式(1),计算可得加固前后稳定安全系数的评价值 x_1 、 x_2 ,利用公式(2)至式(8)可得最终该指标的评价值 X ,见表9。

对照表4时效性指标评级等级集,由表8、表9的计算结果可知,该水库所选取的9个时效性指标中5个定性指标以及定量指标中前2个定量指标都达到了完全成功标准,渗透流量指标和稳定安全系

数指标达到了基本成功标准。结合该水库除险加固的实际情况,利用模型计算得到的结论符合工程实际情况。

2.2 本模型的合理性验证

本文利用文献[15]所提的模型对江西省某水库除险加固效果进行评价,与本文所提的模型的评价结果进行对比,以验证本模型的科学合理性。选取的评价指标与上文保持一致,运行质量、管理制度与人员配置、水库运行环境、维修环境、安全监测,出逸点高程、渗透坡降、渗透流量、稳定安全系数。评价结果见表10。

表10 模型的计算结果

Tab. 10 Calculation results of the model

评价指标	专家评分		安全程度影响系数 L		加固效果量化公式	评价值 C	评价等级
	加固前	加固后	加固前 L_1	加固后 L_2			
运行质量	4.5	8.5	0.40	0.95	$C = \frac{L_2 - L_1}{1 - L_1} \times 100$	91.06	完全成功
管理制度与人员配置	4.8	8.5	0.50	0.95		89.33	完全成功
水库运行环境	5.5	9.0	0.60	0.97		91.55	完全成功
维修环境	5.7	9.0	0.63	0.97		90.68	完全成功
安全监测	5.5	9.0	0.60	0.97		91.55	完全成功
出逸点高程	4.5	9.0	0.40	0.97		94.30	完全成功
渗透坡降	4.5	9.0	0.40	0.97		94.30	完全成功
渗透流量	6.0	8.0	0.69	0.92		74.16	基本成功
稳定安全系数	6.0	8.0	0.69	0.92		74.16	基本成功

注:在文献[15]的除险加固效果量化体系中,专家评分的范围是0—10。

由表10的计算结果可知,本文所提的量化模型的评价结果与文献[15]所提的量化模型的评价结果完全一致。

3 结论

(1) 本文针对水库大坝除险加固效果评价体系中时效性指标量化问题,建立了时效性指标量化模型。

(2) 利用本文所提的时效性指标量化模型对江西省某水库除险加固后的时效性指标进行评价,评价结果与该水库实际加固效果吻合,并与其它模型的评价结果进行对比,评价的结果一致,验证了模型的合理性。

(3) 在大坝除险加固效果评价体系中,运用本文所提模型,可有效地减少人为等主观因素对时效性指标评价的影响,使得最终评价结果趋于更加合理。

参考文献(References):

[1] 钮新强. 水库病害特点及除险加固技术[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(1): 153-157. (NIU X Q. Characteristics of reservoir defects and rehabilitation technology in China [J]. Chinese

Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(1): 153-157. (in Chinese))

[2] 盛金宝, 刘嘉妍, 张士辰, 等. 病险水库除险加固项目溃坝机理调查分析[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(11): 1620-1625. (SHEN J B, LIU J X, ZHANG S C, et al. Investigation and analysis on mechanism of danger breaking of dangerous and reinforce project of dangerous reservoir [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(11): 1620-1625. (in Chinese))

[3] 吴焕新. 病险水库除险加固治理效果综合评价体系研究[D]. 济南: 山东大学, 2009. (WU H X. Study on comprehensive evaluation system of dangerous and reinforce treatment effect of dangerous reservoir [D]. Jinan: Shan Dong University, 2009 (in Chinese))

[4] 王宁, 沈振中, 徐力群, 等. 基于模拟退火层次分析法的病险水库除险加固效果评价[J]. 水电能源科学, 2013(9): 65-67. (WANG N, SHEN Z Z, XU L Q, et al. Reinforcement effect evaluation of dangerous reservoir based on simulated annealing analytic hierarchy process [J]. Hydropower Energy Science, 2013(9): 65-67. (in Chinese))

[5] 黄显峰, 黄雪晴, 方国华, 等. 基于GA-AHP和物元分析法的水库除险加固效益评价[J]. 水电能源科学, 2016(10): 141-145. (HUANG X F, HUANG X Q, FANG G H, et al. Benefit evaluation of reservoir reinforcement based on GA-AHP and mat-

- ter element analysis [J]. *Hydropower Energy Science*, 2016 (10): 141-145. (in Chinese)
- [6] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990. (MAO C X. Analysis and control of seepage flow [M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1990. (in Chinese))
- [7] 杜延龄. 渗流分析的有限元法和电网络法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992. (DU Y L. Finite element method and electric network method for seepage analysis [M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1992 (in Chinese))
- [8] 朱军, 刘光廷, 陆述远. 饱和非饱和三维多孔介质非稳定渗流分析[J]. 武汉大学学报工学版, 2001, 34(3): 5-8. (ZHU J, LIU G T, LU S Y. Unsteady seepage analysis of saturated and unsaturated three dimensional porous media [J]. *Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering*, 2001, 34(3): 5-8. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1671-8844.2001.03.002.
- [9] 陈丽丽, 王宏超, 陈建武, 等. 基于刚体极限平衡法与有限元法的边坡稳定性分析[J]. 云南水力发电, 2011, 27(4): 31-33. (CHEN L L, WANG H C, CHEN J W, et al. Slope stability analysis based on rigid body limit equilibrium method and finite element method [J]. *Yunnan Water Power*, 2011, 27(4): 31-33. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1006-3951.2011.04.008.
- [10] 方建瑞, 朱合华, 蔡永昌. 边坡稳定性研究方法进展[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(2): 343-349. (FANG J R, ZHU H H, CAI Y C. Research methods and progress of slope stability [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2007, 3(2): 343-349. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1673-0836.2007.02.033.
- [11] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J]. 统计科学与实践, 2003(4): 24-25. (YE Z Y. The selection of the method of index forward and dimensionless in multi-index comprehensive evaluation [J]. *Statistical Science and Practice*, 2003(4): 24-25. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1674-8905.2003.04.009.
- [12] 蒋维杨, 赵嵩正, 刘丹, 等. 大样本评价的定量指标无量纲化方法[J]. 统计与决策, 2012(17): 4-9. (JIANG W Y, ZHAO S Z, LIU D, et al. The non dimensional method for quantitative evaluation of large sample [J]. *Statistics and Decision*, 2012(17): 4-9. (in Chinese))
- [13] 张国栋, 李雷, 彭雪辉. 基于大坝安全鉴定和专家经验的病险程度评价技术[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(9): 158-166. (ZHANG G D, LI L, PENG X H. Appraising techniques for dam severity based on dam safety appraisal and experience [J]. *China Safety Science Journal*, 2008, 18(9): 158-166. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1003-3033.2008.09.027.
- [14] 李雷, 王昭升, 张士辰. 大坝性态危险程度判别模型研究[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(3): 149-152. (LI L, WANG Z S, ZHANG S C. Study on identifiable mode of dam performance hazard degrees [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2007, 7(3): 149-152. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1009-6094.2007.03.038.
- [15] 张计. 土石坝安全与除险加固效果量化评价体系研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2011. (ZHANG J. Study on the quantitative evaluation techniques for the reinforcement effect of embankment dam [D]. Wuhan: Yangtze River Scientific Research Institute, 2011 (in Chinese))
- [16] 黄豪, 马斐, 马玉华. Logistic 曲线模型在区域经济长期预测中的应用[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2011, 33(1): 94-97. (HUANG H, MA F, MA Y H. Logistic curve model for regional economy medium term and long term forecast [J]. *Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering)*, 2011, 33(1): 94-97. (in Chinese)) DOI: 10.3963/j.issn.1007-144X.2011.01.025.
- [17] 刘艳萍, 朱延林, 康向阳, 等. 电导法协同 Logistic 方程确定不同类型广玉兰的抗寒性[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(10): 69-71. (LIU Y P, ZHU Y L, KANG X Y, et al. Cold resistance determination of different type Magnolia grandiflora with synergistic electrical conductivity method and Logistic equation [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2012, 32(10): 69-71. (in Chinese))
- [18] 徐传保, 赵兰勇, 张廷强, 等. 以电导法配合 Logistic 方程确定四种竹子的抗寒性[J]. 北方园艺, 2009(2): 182-184. (XU C B, ZHAO L Y, ZHANG T Q, et al. Cold resistance of four bamboo species determined by conductance method combined with logistic equation [J]. *Northern Horticulture*, 2009(2): 182-184. (in Chinese))
- [19] 张兵, 魏义长, 刘作新, 等. 土壤持水曲线 van Genuchten 模型求参的 Matlab 实现[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 380-386. (ZHANG B, WEI Y C, LIU Z X, et al. Parameters estimation of van genuchten model for soil water retention curves using matlab [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(3): 380-386. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:0564-3929.2004.03.009.
- [20] 钮新强. 水库大坝安全评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. (NIU X Q. Reservoir Dam Safety Evaluation [M]. Beijing: China Water and Power Press, 2007. (in Chinese))