

基于改进 G1 - MCW 的西北地区渡槽病害 危险性灰色聚类分析

逯晔坤, 瞿浩

(中铁二局集团勘测设计院有限责任公司, 四川 成都 610031)

摘要: 构建改进 G1 - MCW 权重确定方法和灰色定权聚类模型对引大入秦工程总干渠、东一干渠及东二干渠中典型渡槽进行其病害危险性分析。分析得出土体冻胀为影响西北地区在役渡槽最为突出的外界病害因素, 外表状况对渡槽危险性影响最大, 分析确定总干渡槽为中度危险, 东一干渡槽为轻度危险及东二干渡槽病害危险程度较为复杂。通过与模糊综合评价结果进行对比, 确定其分析结果更加客观并符合现场调查结果, 为其后期监管提供有关依据, 并为西北地区其他渡槽病害危险性分析提供科学参考。

关键词: 混合交叉赋权; 灰色定权聚类; 渡槽病害; 危险性分析

中图分类号: TV672⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2020)06-0063-06

Grey Clustering Analysis of Aqueduct Diseases Risk in Northwest China Based on Improved G1 - MCW

LU Yekun, QU Hao

(China Railway Erju Group Corporation Survey and Design Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: An improved G1 - MCW (Mixed cross weighting) weight determination method and a gray fixed-weight clustering model was proposed to analyze the disease risk of typical aqueducts in the main canal, Dongyi main canal and Dongger main canal of Yinda - Qin Project. The results show that soil frost heave is the most prominent external disease factor which affects the active aqueduct in Northwest China, and the appearance condition has the greatest impact on the risk of the aqueduct. The analysis determines that the general aqueduct is moderately dangerous, the Dongyigan aqueduct is mildly dangerous and the Donggeran aqueduct is slightly dangerous. The risk of aqueduct diseases is more complicated. Through comparison with the fuzzy comprehensive evaluation results, it is determined that the analysis results are more objective and in line with the on-site investigation results, which could provide relevant basis for later supervision and scientific reference for the risk analysis of other aqueduct diseases in the northwestern region.

Keywords: mixed cross-weighting; grey fixed-weight clustering; aqueduct disease; risk analysis

渡槽是输送渠道水流跨越河渠、溪谷、洼地和道路的架空水槽^[1-2]。随着调水工程(南水北调、引黄入京、引滦入津、引黄入晋、引大入秦等)的实施, 渡槽作为一种重要的输水建筑物得到了大量的建设, 大型渡槽常采用预应力技术, 相关研究成果相继出现^[3]。我国西北地区的水资源较为短缺, 在相关调水工程建设中采用了大量渡槽进行输水, 受西北地

区条件影响, 渡槽病害的产生严重影响到渡槽的正常使用, 故对西北地区渡槽病害危险性进行分析尤为重要。

国外渡槽建造较少, 研究文献不多, 且多关注渡槽抗震设计^[4]。利用知识图谱可视化软件 CiteSpace 对国内渡槽研究现状进行分析, 得出国内渡槽研究多为地震响应、流固耦合及温度应力对渡

槽结构的影响问题。张威等^[5]通过混凝土连续介质损伤力学和概率密度演化理论,结合物理随机地震动建模方法和精细化有限元分析程序,建立了大型渡槽结构随机动力反应分析与可靠度评估框架;王海波等^[6]通过振动台试验研究渡槽与水体的动力相互作用,确定大型薄壁渡槽中水体对结构自振频率及渡槽两端支座力产生的重要影响;马虎迎^[7]对冬季封闭式箱型渡槽的温度与应力变化状况进行了研究;王永平等^[8]利用不确定层次分析法及群判断相关理论确定指标权重,构建渡槽综合评价体系;徐存东等^[9]将影响渡槽结构耐久性的要素分解为环境、材料、人力三方面,并利用模糊层次分析法对其耐久性综合评估;郭瑞等^[10]对模糊综合评价法的主因素突出型算子以及加权平均型算子加以改进得到两种新的 Fuzzy 合成算子,并在渡槽工程风险评估中进行应用;尚峰等^[11]运用有限元软件模拟了渡槽在各工况下静、动力状态,对钢筋混凝土渡槽局部与整体的安全稳定性进行多角度科学的评价与病害分析;祝彦知等^[12]以在役渡槽碳化深度为基本控制参数,利用一次二阶矩法建立碳化深度随时间变化的时变模糊可靠度模型。

针对西北地区渡槽病害危险性分析暂为缺少,本文提出改进 G1 - MCW 的渡槽病害危险性灰色聚类分析模型,并以引大入秦工程为例进行评价分析,以此为西北地区在役渡槽运行及维护提供一定参考。

1 研究方法

1.1 改进 G1 - MCW

改进 G1 - MCW (Mixed Cross Weighting, 混合交叉赋权) 是将 G1 法中人为主观确定相邻指标重要性程度用各评价指标的变异系数之比确定其重要性程度的方法代替,使主观赋权 G1 法和客观赋权变异系数法巧妙的有效组合,通过将指标层对准则层确定的权重和准则层对目标层确定的权重进行混合交叉确定出最终指标对总目标权重的赋权方法^[13-14]。具体步骤如下:

(1) 通过相关专家确定各评价指标重要性程度排序关系。

(2) 计算各指标的变异系数。

$$\sigma_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ki} - \bar{X}_k)^2 / n}, (k = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

$$C_k = \sigma_k / \bar{X}_k \quad (2)$$

式中: σ_k 为第 k 个评价指标的标准差; C_k 为第 k 个评

价指标的变异系数值。

(3) 确定相邻指标重要性程度比值 r_k :

$$r_k = \begin{cases} \frac{C_{k-1}}{C_k}, C_{k-1} \geq C_k \\ 1, C_{k-1} < C_k \end{cases} \quad (3)$$

(4) 根据上述确定的重要性程度比值,计算第 m 个评价指标的权重 ω_m :

$$\omega_m = \frac{1}{1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i} \quad (4)$$

(5) 依次计算第 $m-1, m-2, \dots, 2, 1$ 个指标的权重。

$$\omega_{k-1} = r_k \omega_k, k = m, m-1, \dots, 3, 2 \quad (5)$$

(6) 重复上述指标层对准则层的权重确定步骤,进行准则层对目标层的权重确定,最终确定指标对总目标的权重。

$$\omega_{kj}^* = \omega_{kj} \cdot \varphi_j \quad (6)$$

式中: ω_{kj}^* 为第 j 个准则层中第 k 个指标关于总目标的权重; ω_{kj} 为第 j 个准则层中第 k 个指标关于第 j 个准则层的权重; φ_j 为第 j 个准则层对总目标的权重。

1.2 灰色定权聚类

灰色定权聚类是有效解决聚类指标意义、量纲不同的一种评价方法,主要适用于“少数数据”、“贫信息”对象的类别划分和聚类分析^[15-16]。其分析评价步骤如下:

(1) 根据评价对象情况及评价重点选取聚类指标,并进行指标的灰类划分。

(2) 根据 j 指标灰类划分情况确定其 k 子类的可能度函数 $f_j^k(\bullet)$ ($j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, s$)。

(3) 确定评价指标的聚类权 η_j ($j = 1, 2, \dots, n$)。

(4) 根据上述确定的可能度函数 $f_j^k(\bullet)$ 、聚类权 η_j 以及对象 i 关于指标 j 的观测值 x_{ij} , 其中 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$, 计算灰色定权聚类系数 σ_i^k , 即:

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^n f_j^k(x_{ij}) \eta_j \quad (7)$$

由此可得到聚类系数矩阵 M , 即:

$$M = \begin{pmatrix} \sigma_1^1 & \sigma_1^2 & \dots & \sigma_1^s \\ \sigma_2^1 & \sigma_2^2 & \dots & \sigma_2^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_m^1 & \sigma_m^2 & \dots & \sigma_m^s \end{pmatrix} \quad (8)$$

(5) 根据公式(8)判断对象 i 所属灰类 k^* 。

$$\max_{1 \leq k \leq s} \{\sigma_i^k\} = \sigma_i^{k^*} \quad (9)$$

2 西北地区渡槽病害危险性评价理论体系

2.1 评价指标选取及等级划分

渡槽破坏原因主要包括地震、风毁、水毁、耐久性问题、超载破坏及设计不合理问题,较自然灾害所带来的危害外,自身病害所产生的危害为目前渡槽普遍面临的问题。根据西北地区特点和病害发生机理,确定典型病害因素,其中渡槽表面病害为最常见的病害之一,由于表面不同程度的受损,破坏结构整体性、削弱结构承载力,导致内部病害的产生及外界

环境影响加重,从而影响渡槽正常运行,故将渡槽病害按外表状况、内部状况和外界环境进行划分。外表状况为混凝土裂缝 Z_1 、混凝土碳化 Z_2 、混凝土剥蚀 Z_3 ;内部状况为渗漏 Z_4 、钢筋锈蚀 Z_5 、结构承载力 Z_6 ;外界环境为冻融循环 Z_7 、土体冻胀 Z_8 。参考《水工混凝土建筑物缺陷检测和评估》^[17](DL/T 5251—2010)、《水工混凝土结构缺陷检测技术规范》^[18](SL 713—2015)、《渠系工程抗冻胀设计规范》^[19](SL 23—2006)及文献[20],将渡槽病害危险性评价的指标进行等级划分,见表 1。

表 1 病害指标及危险等级划分

目标层	准则层	指标层	不同危险等级状况描述及取值			
			轻度	中度	重度	极度
渡槽病害	外表状况	混凝土裂缝	$\delta < 0.2$	$0.2 \leq \delta < 0.3$	$0.3 \leq \delta < 0.4$	$\delta \geq 0.4$
		混凝土碳化	$h \leq 1/2t$	$1/2t < h \leq 3/4t$	$3/4t < h \leq t$	$h > t$
		混凝土剥蚀	轻微剥蚀	明显剥蚀,局部骨料外露	中度剥蚀,局部骨料脱落	严重剥蚀,混凝土骨料外露,磨损面连成一片,钢筋外露
	内部状况	渗漏	无明显渗漏	轻微渗漏	中度渗漏	严重渗漏
		钢筋锈蚀	钢筋保护层完好,钢筋无锈蚀	轻微锈蚀,混凝土保护层厚度完好,钢筋局部出现锈蚀	中度锈蚀,混凝土未出现顺筋开裂剥落,钢筋锈蚀范围较广,截面损失小于 10%	严重锈蚀,钢筋表面大部分或者全部锈蚀,截面损失大于 10% 或者承载力失效,或者钢筋出现顺筋开裂破坏
		结构承载力	≥ 1.2	1.0 ~ 1.2	0.9 ~ 1.0	< 0.9
外界环境	冻融循环	≥ 120.0	80.0 ~ 120.0	40.0 ~ 80.0	< 40.0	
	土体冻胀	< 2.0	2.0 ~ 5.0	5.0 ~ 12.0	> 12.0	

注: t 为钢筋保护层厚度,按照《混凝土结构设计规范》^[21](GB 50010—2010),结合环境情况,取 $t = 25$ mm;结构承载力计算为设计抗拉强度与静荷载下实际抗拉强度之比。

上述指标中,混凝土剥蚀、渗漏及钢筋锈蚀三项较难定量划分等级范围,故采用专家赋值(分值为 0 ~ 100,分值越大代表越危险)的方法进行划分等级,其划分范围依次为:轻度[0,29]、中度[30,59]、重度[60,89]、极度[90,100]。

2.2 改进 G1-MCW 的渡槽病害危险性灰色聚类评价流程

(1) 根据西北地区在役渡槽情况及上述选取的聚类指标,将指标划分为 4 个灰类,即:轻度危险(灰类 1)、中度危险(灰类 2)、重度危险(灰类 3)、极度危险(灰类 4)。

(2) 建立病害指标对各灰类的可能度函数。各病害指标对于轻度危险和极度危险分别构造相应的下限测度可能度函数 $f_j^1[-, -, \lambda_j^1, \lambda_j^2]$ 和上限测度可能度函数 $f_j^4[\lambda_j^3, \lambda_j^4, -, -]$;对于中度危险和重度危险分别构造相适应的适中测度可能度函数 $f_j^2[\lambda_j^1,$

$\lambda_j^2, -, \lambda_j^3]$ 和 $f_j^3[\lambda_j^2, \lambda_j^3, -, \lambda_j^4]$ 。

以指标混凝土裂缝 Z_1 为例,建立可能度函数图像(见图 1),根据图 1 分别构造其相对应的可能度函数,即:

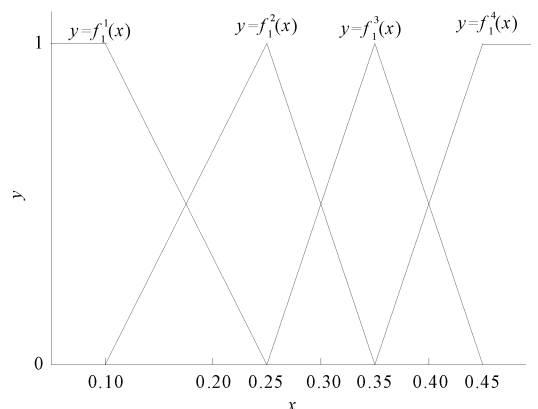


图 1 Z_1 的可能度函数

具体情况见表 2。

(3) 采用改进 G1 - MCW 确定各病害指标的聚类权。

(4) 根据各病害指标的可能度函数、聚类权和观测值,确定渡槽病害危险性的灰色定权聚类系数,进而判断其危险性程度。

表 2 病害指标对应各灰类的可能度函数

指标	不同病害的可能度函数			
	轻度危险	中度危险	重度危险	极度危险
Z_1	$f[-, -, 0.10, 0.25]$	$f[0.10, 0.25, -, 0.35]$	$f[0.25, 0.35, -, 0.45]$	$f[0.35, 0.45, -, -]$
Z_2	$f[-, -, 0.63, 1.57]$	$f[0.63, 1.57, -, 2.19]$	$f[1.57, 2.19, -, 2.81]$	$f[2.19, 2.81, -, -]$
Z_3	$f[-, -, 14.50, 44.50]$	$f[14.50, 44.50, -, 74.50]$	$f[44.50, 74.50, -, 95.00]$	$f[74.50, 95.00, -, -]$
Z_4	$f[-, -, 14.50, 44.50]$	$f[14.50, 44.50, -, 74.50]$	$f[44.50, 74.50, -, 95.00]$	$f[74.50, 95.00, -, -]$
Z_5	$f[-, -, 14.50, 44.50]$	$f[14.50, 44.50, -, 74.50]$	$f[44.50, 74.50, -, 95.00]$	$f[74.50, 95.00, -, -]$
Z_6	$f[1.10, 1.25, -, -]$	$f[0.95, 1.10, -, 1.25]$	$f[0.45, 0.95, -, 1.10]$	$f[-, -, 0.45, 0.95]$
Z_7	$f[100.00, 140.00, -, -]$	$f[60.00, 100.00, -, 140.00]$	$f[20.00, 60.00, -, 100.00]$	$f[-, -, 20.00, 60.00]$
Z_8	$f[-, -, 1.00, 3.50]$	$f[1.00, 3.50, -, 8.50]$	$f[3.50, 8.50, -, 15.50]$	$f[8.50, 15.50, -, -]$

3 实例分析

3.1 工程背景及数据

引大入秦工程是将流经青海、甘肃两省交界处的大通河水调至 100 km 以外,兰州市以北 60 km 处干旱缺水的秦王川地区的大型跨流域自流灌溉工程,其具有长距离、跨流域、大流量的特点,被称为“中国的地下运河”,工程以引水枢纽总干渠、东一干渠和东二干渠为主,穿越多种地层结构,地质条件复杂(风化、坍塌、滑坡、风积流动砂丘,地表湿陷

等),运行多年后干渠中各渡槽相继出现沉陷、止水老化、填料局部脱落等各种病险问题。选取引大入秦工程总干渠渡槽中的菜子湾渡槽 A_1 、铁城沟渡槽 A_2 、天王沟渡槽 A_3 和大沙沟渡槽 A_4 ;东一干渠渡槽中的南支沟渡槽 A_5 和碾子沟渡槽 A_6 ;东二干渠渡槽中的香炉山渡槽 A_7 、林坪沟渡槽 A_8 、四湾沟渡槽 A_9 、庄浪河渡槽 A_{10} 、红沙川渡槽 A_{11} 、王海沟渡槽 A_{12} 、邓家咀渡槽 A_{13} 和黄羊川渡槽 A_{14} 共 14 座渡槽为典型对象,进行病害危险性评价,其基本数据见表 3。

表 3 渡槽病害指标基本数据

干渠名称	渡槽代号	桩号	Z_1/mm	Z_2/cm	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	$Z_7/次$	Z_8/cm
总干渠	A_1	14 + 874—14 + 944	0.17	1.68	50	46	28	1.41	50	2.34
	A_2	32 + 198.35—32 + 303.35	0.27	1.53	46	52	25	1.13	54	3.13
	A_3	42 + 061.87—42 + 167.3	0.18	1.30	54	48	20	1.14	60	2.47
	A_4	62 + 267.85—62 + 617.51	0.17	1.47	50	50	24	1.14	63	1.94
东一干渠	A_5	0 + 091.40—0 + 185.26	0.16	1.60	20	40	26	1.24	61	1.87
	A_6	22 + 500—22 + 720	0.13	1.54	20	72	25	1.37	64	1.43
东二干渠	A_7	0 + 028—0 + 063	0.14	1.55	50	68	25	1.13	58	2.87
	A_8	6 + 342.66—6 + 522.66	0.22	1.64	52	66	27	1.18	57	2.13
	A_9	8 + 256.08—8 + 481.08	0.37	2.00	80	92	50	0.87	49	7.72
	A_{10}	8 + 508.61—10 + 673.16	0.47	3.50	92	92	70	0.73	42	9.54
	A_{11}	18 + 098.02—18 + 503.02	0.24	2.35	46	72	58	1.15	50	3.46
	A_{12}	21 + 208.06—21 + 700.39	0.26	2.41	40	78	60	1.17	54	4.58
	A_{13}	27 + 477.34—27 + 987.34	0.32	2.46	66	92	64	0.93	45	6.12
	A_{14}	37 + 285.61—37 + 692.25	0.24	1.96	48	80	56	1.13	56	2.74

3.2 确定各指标的聚类权

通过评判各指标的重要性进行排序,外表状况指标排序为 $Z_1^{(1)} > Z_2^{(3)} > Z_3^{(2)}$;内部状况指标排序

为 $Z_4^{(6)} > Z_5^{(5)} > Z_6^{(4)}$;外界环境指标排序为 $Z_7^{(8)} > Z_8^{(7)}$ 。对其基本数据进行标准化处理(见表 4)从而确定出各指标的权重(见表 5),即:

正向指标标准化处理:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (9)$$

负向指标标准化处理:

$$x_{ij}^* = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (10)$$

通过上述采用改进 G1 - MCW 计算出排序后各病害指标的权重,故指标 $Z_1 \sim Z_8$ 的聚类权为 $\eta_j = (0.147\ 9, 0.104\ 3, 0.104\ 3, 0.083\ 8, 0.118\ 9, 0.118\ 9, 0.128\ 6, 0.193\ 1)$ 。其中指标层中土体冻胀权重最大,突出了西北地区气候寒冷导致土体对渡槽产生破坏的重要影响;准则层中外表状况权重最大,符合渡槽表现出的大多病险问题,在建设及后期监管中,应加大对外界环境因素土体冻胀及渡槽自身外表状况的检测,确保渡槽安全运行。

3.3 各渡槽病害危险性评价结果

对上述构造的各指标对应各灰类的可能度函数、各指标的聚类权及各对象关于各指标的基本数据,采用公式 7 计算出评价对象对应各灰类的聚类

系数,并利用公式 8 确定出最终评价结果,同时与模糊综合评价结果进行对比(见表 6)。

表 4 指标数据标准化处理结果

渡槽代号	$Z_1^{(1)}$	$Z_2^{(3)}$	$Z_3^{(2)}$	$Z_4^{(6)}$	$Z_5^{(5)}$	$Z_6^{(4)}$	$Z_7^{(8)}$	$Z_8^{(7)}$
A1	0.1176	0.4167	0.3276	0.0000	0.16	0.1154	0.1122	0.6364
A2	0.4118	0.3611	0.1983	0.4118	0.10	0.2308	0.2096	0.4545
A3	0.1471	0.4722	0.0000	0.3971	0.00	0.1538	0.1282	0.1818
A4	0.1176	0.4167	0.1466	0.3971	0.08	0.1923	0.0629	0.4545
A5	0.0882	0.0000	0.2586	0.2500	0.12	0.0000	0.0543	0.1364
A6	0.0000	0.0000	0.2069	0.0588	0.10	0.6154	0.0000	0.0000
A7	0.0294	0.4167	0.2155	0.4177	0.10	0.5385	0.1776	0.2727
A8	0.2470	0.4444	0.2931	0.3382	0.14	0.5000	0.0863	0.3182
A9	0.7059	0.8333	0.6034	0.7941	0.60	1.0000	0.7756	0.6818
A10	1.0000	1.0000	1.8966	1.0000	1.00	1.0000	1.0000	1.0000
A11	0.3235	0.3611	0.9052	0.3824	0.76	0.6154	0.2503	0.6364
A12	0.3824	0.2778	0.9569	0.3529	0.80	0.7308	0.3884	0.4545
A13	0.5588	0.6389	1.0000	0.7059	0.88	1.0000	0.5783	0.8636
A14	0.3235	0.3889	0.5690	0.4118	0.72	0.7692	0.1615	0.3636

表 5 指标权重计算结果

准则	指标	指标变异系数	指标重要性之比	指标对准则权重	准则变异系数	准则重要性之比	准则对目标权重	指标对目标权重
外表状况	$Z_1^{(1)}$	0.8519	1.4171	0.4147	0.7846	1.1081	0.3565	0.1479
	$Z_2^{(3)}$	0.6011	1.0000	0.2926				0.1043
	$Z_3^{(2)}$	0.9009	—	0.2926				0.1043
内部状况	$Z_4^{(6)}$	0.6030	1.0000	0.3697	0.7081	1.0000	0.3217	0.1189
	$Z_5^{(5)}$	0.8923	1.4186	0.3697				0.1189
	$Z_6^{(4)}$	0.6290	—	0.2606				0.0838
外界环境	$Z_7^{(8)}$	1.0112	1.5009	0.6002	0.8425	—	0.3217	0.1931
	$Z_8^{(7)}$	0.6737	—	0.3998				0.1286

表 6 渡槽病害危险性评价结果

A_i	σ_i^k				σ_i^{k*}	评价结果	模糊综合评价结果
	轻度危险	中度危险	重度危险	极度危险			
A ₁	0.3913	0.4766	0.1383	0.0322	0.4766	中度	中度
A ₂	0.1341	0.6814	0.1651	0.0193	0.6814	中度	轻度
A ₃	0.3073	0.5211	0.1714	0.0000	0.5211	中度	轻度
A ₄	0.3234	0.5743	0.1534	0.0000	0.5743	中度	中度
A ₅	0.4967	0.3727	0.0983	0.0000	0.4967	轻度	轻度
A ₆	0.5629	0.2443	0.1926	0.0000	0.5629	轻度	轻度
A ₇	0.2604	0.5260	0.2069	0.0064	0.5260	中度	中度
A ₈	0.2682	0.5051	0.2169	0.0096	0.5051	中度	中度
A ₉	0.0000	0.1592	0.6571	0.1835	0.6571	重度	重度
A ₁₀	0.0000	0.0178	0.4303	0.5516	0.5516	极度	重度
A ₁₁	0.0526	0.5788	0.3094	0.0591	0.5788	中度	重度
A ₁₂	0.0711	0.4940	0.3640	0.0336	0.4940	中度	重度
A ₁₃	0.0000	0.2075	0.6224	0.1699	0.6224	重度	中度
A ₁₄	0.0923	0.5717	0.3004	0.0353	0.5717	中度	中度

采用改进 G1 - MCW 权重确定方法和灰色定权聚类模型对引大入秦工程总干渠、东一干渠及东二干渠的典型渡槽进行病害危险性评价,得出总干渠渡槽为中度危险,东一干渠渡槽为轻度危险,东二干渠渡槽情况复杂,中度、重度及极度危险均有存在,其结果与现场勘查结果基本符合,但与模糊综合评价结果具有一定区别。模糊综合评价法具有较大的主观性,评价结果具有一定的随机性,结合实际调查情况,本文提出的评价模型降低了主观性,提高了客观性,评价结果更加符合实际状况。

庄浪河渡槽 A_{10} 评价结果最为突出,主要兰武铁路二线穿过庄浪河渡槽,对其产生共振荷载及外界环境的影响使得其病害危险性为极度危险。

4 结 论

(1) 本文通过构建改进 G1 - MCW 权重确定方法和灰色定权聚类模型,着重对数据本身存在的关系进行挖掘,避免了人为主观因素的干扰,更加有效的解决了渡槽病害危险性评价指标归属于不同危险类别时,渡槽病害危险性综合评价结果的客观性。

(2) 通过确定渡槽病害指标权重,得出土体冻胀影响因素最为突出,其符合西北地区自然环境特点,但通过准则层权重的确定,其外表状况因素权重占比最大,故而应对西北地区在役渡槽所处环境的土体冻胀性及自身外表状况进行不定期检测,对出现问题采取有效方法进行解决,保障渡槽安全运行,充分发挥出长距离调水工程中的利用率,提高经济性。

参考文献:

- [1] 李建伟,洪振国. 引水工程大流量渡槽结构型式选择[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(3):193-197.
- [2] 张建伟,曹克磊,赵 瑜,等. 基于流固耦合模型的 U 型渡槽模态分析及验证[J]. 农业工程学报,2016,32(18):98-104.
- [4] 顾培英,王岚岚,邓 昌,等. 我国渡槽结构典型破坏特征研究综述[J]. 水利水电科技进展,2017,37(5):1-8.
- [5] 张 威,王 博,徐建国,等. 随机地震作用下大型渡槽结构可靠性求解方法[J]. 水力发电学报,2018,37(10):113-120.
- [6] 王海波,李春雷,朱 璨,等. 大型薄壁输水渡槽流固耦合振动台试验研究[J]. 水利学报,2020,51(6):653-663.
- [7] 马虎迎. 封闭式箱形渡槽冬季输水期热力研究[J]. 水利与建筑工程学报,2018,16(2):189-193.
- [8] 王永平,马小刚,陆立国. 宁夏引黄灌区渡槽工程安全综合评价研究[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(6):89-94.
- [9] 徐存东,姚志鹏,李 振,等. 基于模糊层次分析法的混凝土结构耐久性等级评估模型及应用[J]. 水电能源科学,2019,37(3):95-99.
- [10] 郭 瑞,李同春,宁昕扬,等. 改进的模糊综合评价法在渡槽风险评价中的应用[J]. 水利水电技术,2018,49(4):109-116.
- [11] 尚 峰,祝彦知,纠永志. 在役钢筋混凝土渡槽安全评价与病害处理[J]. 水利水电技术,2018,49(12):208-214.
- [12] 祝彦知,尚 峰,纠永志. 在役钢筋混凝土渡槽时变模糊可靠度分析[J]. 水利水电技术,2019,50(2):128-132.
- [13] 鲍学英,柴乃杰,王起才. 基于 G1 法和改进 DEA 的铁路绿色施工节能措施综合效果研究[J]. 铁道学报,2018,40(10):15-22.
- [14] 祝志川. 基于变异系数 - G1 法的混合交叉赋权方法[J]. 统计与决策,2017(12):78-81.
- [15] 龙 岩,雷晓辉,徐国宾,等. 基于 AHP - 灰色定权聚类的长距离输水工程闸门应急调控方式研究[J]. 南水北调与水利科技,2018,16(4):184-188.
- [16] 姚兰飞,钱德玲,方成杰,等. 基于灰色定权聚类模型的泥石流危险性评价[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2017,40(6):803-808.
- [17] 水工混凝土建筑物缺陷检测和评估:DL/T 5251—2010[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [18] 水工混凝土结构缺陷检测技术规程:SL 713—2015[S]. 北京:中国水利水电出版社,2015.
- [19] 渠系工程抗冻胀设计规范:SL 23—2006[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [20] 张文剑,杜应吉,张 岩. 渡槽健康状态的模糊综合评价[J]. 灌溉排水学报,2018,37(6):86-91,116.
- [21] 混凝土结构设计规范:GB 50010—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.