

堤防质量探测资料多维灰色综合评估方法

石林珂¹, 冷元宝², 孙文怀¹, 毋光荣³, 孙懿斐¹

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450008; 2. 水利部黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003;

3. 黄河水利委员会物探总队, 河南 郑州 450003)

摘要:根据多维灰色系统综合评估理论, 提出一套堤防隐患的评估方法, 并编制了相应的计算机软件. 根据工程实际情况, 确定了物探资料、土层性质、加固措施3个影响堤防安全的主要因素及相应的评价指标体系和权系数. 用该方法对黄河下游某段堤防已探测到的隐患进行了综合评估, 结果表明, 在203处堤防隐患中, 有约15%的隐患危害程度比较严重, 这与实际情况相符.

关键词:多维灰色理论; 堤防隐患; 综合评估

中图分类号: TV871

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2004)03-0024-03

1 多维灰色评估方法的基本理论

多维灰色评估由评估目标、评估指标、评估类别与被评估对象(即样点或因子)组成. 若评估目标只有一个, 可称单层次灰色评估. 若不止一个, 且对这些评估目标还要进行多层次的综合分析, 则称多层次灰色评估. 各层次中还可有多个指标. 因此, 灰色评估也是一种多层次、多指标的综合决策方法. 邓聚龙^[1]的多维灰色系统综合评估理论, 可将评估对象进行多层次、多指标的综合分析, 这为科学、合理地评价堤防隐患的危害程度提供了一种有效的手段.

1.1 多维灰色评估方法的数学模型

多维灰色评估方法以建立数学模型为基本手段, 其数学模型就是灰色类型的白化权函数.

一般白化权函数分为高、中、低3种基本类型, 假设高类下限为 H , 中类中限为 Z , 低类上限为 L , 并以 d_{ij} 代表 i 样点 j 指标值, 则三类白化权函数数学模型为^[2]

$$\begin{aligned} \text{高类型 } f_1 &= \begin{cases} 1 & d_{ij} \geq H \\ \frac{d_{ij} - Z}{H - Z} & Z < d_{ij} < H \\ 0 & d_{ij} \leq Z \end{cases} \quad (1) \\ \text{中类型 } f_2 &= \begin{cases} 0 & d_{ij} \geq H \\ \frac{H - d_{ij}}{H - Z} & Z < d_{ij} < H \\ 1 & d_{ij} = Z \\ \frac{d_{ij} - L}{Z - L} & L < d_{ij} < Z \\ 0 & d_{ij} \leq L \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\text{低类型 } f_3 = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq L \\ \frac{Z - d_{ij}}{Z - L} & L < d_{ij} < Z \\ 0 & d_{ij} \geq Z \end{cases} \quad (3)$$

1.2 多维灰色评估方法的特征

1.2.1 原始数据的预处理

在进行灰色评估计算之前, 对原始数据中各层次、各指标要作等权、等测度与等极性处理.

a. 所谓等权就是指各序列在概念或意义上具有同级可比性, 同时在数值的大小上要比较接近.

b. 所谓等测度是指不同的指标序列, 数据的变化所反映的意义和带来的效果不同, 因而人们有不同的选择或要求. 在进行评估前, 要对原始数据作某种变换, 使数据的变化趋势都朝着目标所要求的方向, 这就是等测度化. 等测度变换一般有3种计算方法: ①对于期望越大越好的数据列, 应采用上限效果测度, 即 $\delta = d_{\max}$; ②对于期望越小越好的数据列, 应采用下限效果测度, 即 $\delta = d_{\min}$; ③对于要求居中或适宜的数据列, 则应用中心效果测度, 即 $\delta = \frac{d_0}{|d - d_0|} + d_0$. 其中, δ 为测度值; d 为指标原始数据; $d_{\max}$ 为该数据列中最大值; $d_{\min}$ 为该数据列中最小值; d_0 为适中值.

显然, 经等测度变换后的数据均落入 $0 \sim 1$.

c. 所谓等极性是指同一因子常具有两种相反的表现形式, 这两种形式对主行为的作用是不同的, 这就是说它们的极性相反.

1.2.2 类别界限的确定方法

a. 自动方式:若分成 3 个类别,可参考样本数据的平均值与标准差来确定.即以平均值作为中类的中限,加上标准差作为高类的下限,减去标准差作为低类的上限.

b. 手动方式:可以根据先验信息确定各类别的界限,如依据专业知识和专家的实践经验进行归纳.

1.2.3 建立灰类型的白化权函数

白化权函数的建立,确定了各层次、各指标权系数向量的归一化,可提高决策的准确性.

1.2.4 复杂系统的评价

可以进行多目标、多层次、多指标的综合与归纳,从而得出对系统的全貌与整体水平的评价.

1.2.5 利用三角坐标图分类划区

在评估的 3 个基本类别基础上,对各类别进行归类处理,并把处理结果用图形方式显示出来,使结果一目了然.

1.2.6 综合排序

根据综合矩阵中权系数向量进行评分,对评估对象进行重新排序.

1.3 多维灰色评估方法的计算步骤

a. 整理与归纳原始数据,构造样本矩阵.

设评估样点数为 m , 评估指标数为 n , 则原始数据的样本矩阵为

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

b. 对原始数据做等权、等测度和等极性变换.

c. 确定各指标的类别界限.

d. 构造各指标的白化权函数.

e. 赋予各指标权重.

f. 计算综合权系数矩阵.

g. 根据综合权系数向量确定各评估对象的综合评分值(百分制),计算公式为

$$f_i = (0.5f_{i1} + 0.3f_{i2} + 0.2f_{i3}) \times 200 \quad (5)$$

依据分值大小,将评估对象进行重新排序.

h. 单层次评估.

i. 多层次综合评估.

j. 综合判断各样点所属灰类,并绘三角坐标图.

2 堤防隐患多维灰色评估方法的可视化软件设计

根据多维灰色综合评估方法,笔者采用 VB 6.0 程序设计语言编制了 Windows 风格的可视化计算机软件,其主界面见图 1.

该软件系统有如下功能:原始数据的预处理;构

造数据样本矩阵;确定类别界限;构造各指标的白化权函数及计算权系数;形成综合权系数矩阵;确定各评估对象评分分值;单层次评估、分类及排序;多层次综合评估、分类及排序;绘三角坐标图.

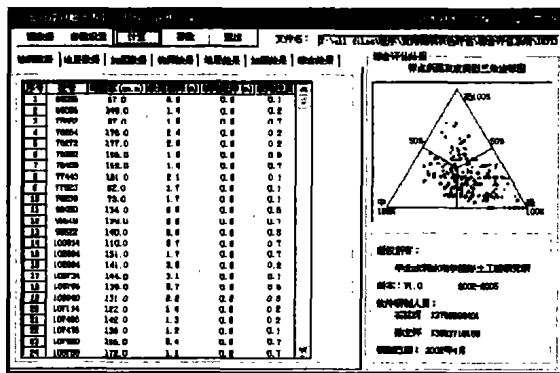


图 1 可视化软件主界面

该软件采用可视化编程技术,各层次、各指标的原始数据及计算、评估结果均在主界面上显示,包括桩号、评分值、排序结果、单层次及多层次综合分类结果柱状图、三角图等,图文并茂、一目了然.

3 工程应用

利用多维灰色综合评估方法,对黄河下游某河段的堤坝隐患探测资料进行综合评估.在该河段堤坝内,利用物探方法、工程勘察方法及其他方法共探测到 203 处隐患.综合评估的目的是把这些隐患按其危险程度进行定位和综合分类,为下一步重点治理提供决策依据.

3.1 评估指标体系的建立

为客观、科学地对堤坝隐患进行全面的综合评估,从不同层次、不同角度选择一些能够反映堤坝隐患危害程度的指标,组成评估指标体系.主要从以下 3 个层次考虑:①物探资料:可选取电阻率异常值、异常埋深、异常延伸、异常性质 4 项指标;②土层性质:可选取土层类型、渗透系数、塑性指数 3 项指标;③加固措施:可选取有无截渗墙、机淤固堤、帮宽等加固措施为评估指标.

上述各项指标可归纳为一个评估指标体系.

3.2 指标的量化

上述指标中,电阻率值、异常埋深、异常延伸可按高密度电阻率法探测的实测指标取值.土层类型、渗透系数、塑性指数可按工程地质勘察的实测值取值.而隐患性质、工程加固措施等非量化指标要根据专家的经验进行指标量化.如加固措施中的截渗墙、机淤固堤、帮宽等措施对隐患的处理结果与防护程度,可根据专家打分进行量化.

3.3 数据库系统的建立

对于黄河某河段堤防工程,根据物探资料、大堤

土层性质及大堤加固措施建立了灰色评估分析数据库.数据库分3个表,分别为物探资料表、土层性质资料表和加固措施表.各表的数据结构见表1,其中桩号为关联字段.

表1 数据库结构

表名	字段1	字段2	字段3	字段4	字段5
物探资料	桩号	电阻率	异常埋深	异常延伸	异常性质
土层性质	桩号	土层类型	渗透系数	塑性指数	
加固措施	桩号	加固类型			

3.4 各层次、指标的权重系数

考虑隐患探测中数值的准确程度及各指标对隐患的影响程度取权重系数.物探资料的各指标中,电阻率值资料是根据实测获得的,可靠程度较高,取权重系数为0.5;而异常埋深、异常延伸和异常性质由物探方法难以确定,往往凭经验,可靠性较差,故赋予较小的权重系数,分别为0.2、0.1和0.2.对土层性质资料的各指标,主要由工程地质勘察和室内土工实验方法获得,同时考虑数值的准确度和影响程度确定其权重系数.对工程加固措施资料,主要看有无工程加固措施.另外,对上述3个层次而言,根据各层次的重要性及可靠性,确定其权重系数分别为0.5、0.2和0.3.评估时,3个层次、8个指标的权重系数取值见表2.

表2 各层次及指标权重系数

层次	指标	指标权重系数	层次权重系数
物探资料	电阻率值	0.5	0.5
	异常埋深	0.2	
	异常延伸	0.1	
	异常性质	0.2	
土层性质	渗透系数	0.5	0.2
	塑性指数	0.2	
	分布百分比	0.3	
加固措施	有无加固措施	1.0	0.3

3.5 评估结果

根据前述原理可进行物探资料、土层性质资料及工程加固措施资料3个层次的综合评估.

采用多维灰色综合评估程序首先对单一层次分别依据物探资料、土层性质和加固措施进行评估分类,然后又对上述3个层次进行了综合评估.评估结果见表3,多层次综合评估分类结果三角图见图2.各类别隐患的位置由它们的桩号确定.

从以上结果不难看出,应用这个指标体系对堤坝隐患进行综合评估的结果,并不是把单层次的指标分类结果做简单的相加,而是各层次因素相互作用、相互渗透、相互影响的综合结果.它不仅提供的信息量大、实用面广、综合性强,而且比较接近实际.比如表3中,根据物探资料、土层性质和加固措施得到的严重隐患的比例分别为19.211%、21.182%和

表3 隐患程度评估分类结果

层次	不同隐患所占比例/%		
	一类(严重)	二类(中等)	三类(轻微)
物探资料	19.211	35.467	45.320
土层性质	21.182	7.882	70.935
加固措施	20.689	44.827	34.482
综合评估	14.285	25.615	60.098

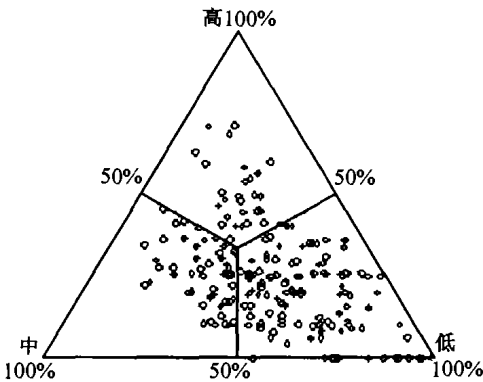


图2 多层次综合评估分类结果三角图

20.689%,而综合评估的结果为14.285%,它并不是上述3个单一层次结果的平均值.中等和轻微隐患的比例也是这种情况.根据综合评估结果,该河段的整体情况为中等和轻微隐患的比例在85%以上,而严重隐患的比例不到15%.这个结果还是比较符合实际的.

可见,多维灰色综合评估是一种有效的科学方法.

4 结 语

a. 采用多维灰色系统理论综合评估堤防质量是一种科学、有效的方法,具有信息量大、综合性强的特点,而且比较接近实际,适用于多层次、多指标的堤坝隐患评估问题.

b. 利用综合评估结果,能为决策者提供治理堤防隐患的科学数据,准确划定需要重点治理的地段.

c. 在利用多维灰色系统理论综合评估堤防质量时,关键问题是要获得大量、准确的探测数据.希望相关管理部门及科研、生产单位,严格遵守国家现行规范和规程,采用先进的设备和方法,通过标准化的勘察方法获得准确的数据,为堤坝隐患的治理服务.

d. 对各层次、各指标权重系数的确定,应充分利用专业知识和前人的经验,并广泛征求专家的意见,给出合理的数据.

参考文献:

- [1] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [2] 王学荫.灰色系统分析及实用计算程序[M].武汉:华中科技大学出版社,2001.

(收稿日期:2003-11-29 编辑:张志琴)