

堤防险情严重程度划分与识别方法探讨

骆辛磊

(湖南省水利厅,湖南长沙 410007)

摘要:根据险情对堤防稳定安全威胁性大小将险情划分为早、中、晚期,在对不同险情破坏机理定性分析的基础上,制定了定性与定量相结合的划分险情严重程度参照表,进而采用模糊模式识别方法对险情进行定量评判,从而为选用和制定抢护防案提供依据。

关键词:堤防;险情划分;险情识别;模糊识别

中图分类号:TV871.3

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2003)02-0021-04

1 概述

在高洪水位防汛时,一旦遇到堤防发生险情,应抓紧抢“早”抢“小”,确保万无一失是首要的;但大量的实践经验也告诉我们,对于不同严重程度的险情所采取的抢护措施、抢护速度和由此而调动的人力、物力和财力,往往差别很大。因此如何恰如其分地认识把握险情的发展阶段(又称险情的严重程度)就显得十分重要^[2],这是选用或制定抢护方案的依据,也是设计预案的前提条件。

鉴于险情纷繁复杂,且分类缺乏独立性,本文为满足工程上的使用目的,把险情与堤防的稳定安全程度结合起来进行研究。首先,从宏观概念上不分险类对险情早、中、晚期作如下规定:对堤防稳定安全威胁性较小的险情统称之为早期险情,对堤防稳定安全威胁性很大的险情,统称之为晚期险情,介乎二者之间的威胁性不大不小的险情,则统称之为中期险情。为此,采用两个层次进行划分与识别,即先就险情自身发展全过程划分为轻、中、重三个级别,然后再综合权衡不同类别险情对堤防稳定安全威胁程度大小确定其归属于早、中、晚哪一个险期。这样做的好处在于不仅划分物理概念清晰,而且也有利于不同认识倾向的人在应用时灵活掌握。

2 破坏机理定性分析与判别

那么又如何评判高洪水位时出现的各种险情对堤防稳定安全威胁性大小呢?固然从经验上去把握是办法之一,但经验究竟是有限的,不仅具有丰富经

验的人不多,而且从总体上看,这些人所经历的堤防出险与抢护全过程的经验也是很有限的,为此,要求我们去分析堤防遭遇不同险情时破坏而溃决的机理演变过程^{[2]①},据此来认识其威胁性大小。

经分析,堤防溃决演变的机理过程在湖南洞庭湖区(湖堤或江堤)大体上可归纳成四种类型^①。

一是在高洪水位的渗流作用下从堤防土体内部一点一粒的流失破坏而逐步扩大穿通,最终造成塌陷而溃决,如管涌与渗漏等即属于此类险情。

二是高洪水位的水流经堤防土体外部一块一块的洗刷剥离破坏而逐步扩大加深,最终形成倒口而溃决,如风浪冲刷与漫溢洗刷等即属于此类险情。

三是高洪水位的渗透水长时间的饱和浸泡,导致局部土体承载力降低(抗拉抗剪力减小),此时外部稍加干扰,就可能造成大块土体被拉裂或脱坡,由微裂到宽裂,由小移到大离,最终也会失去整体稳定造成倒塌而溃决,如裂缝与滑坡险情等即属于此类险情。

四是高洪水位的渗流作用在紧挨穿堤建筑物的土体上,由开始的渗流推动细小颗粒逐步扩大到水流冲刷交界面上的土体,最终也会造成塌陷而溃决,此种接触冲刷险情也可归属于从堤防土体内部破坏这一类中;还有一种是建筑物自身遭到破坏,如闸门损坏、涵管断裂、挡土墙破裂倒塌等不能挡水,从而使建筑物的外部遭到水流或风浪的冲刷而可能引起一系列的破坏,此种冲刷破坏也可以归属于从外部破坏的一类。

由此可见,小面积散浸险情对堤防溃决威胁性很小,一般属早期险情;险况十分严重的也只能划归

作者简介:骆辛磊(1934—),男,湖南长沙人,高级工程师,主要从事防汛抢险技术与系统工程应用研究。

①湖南省防汛抗旱指挥部办公室.防汛工作手册,1997.157~211.

为中期险情;而穿孔险情一般属晚期险情,险况较为稳定的也应划为中期险情。

对于滑坡,不论是堤脚空虚或是堤基松软而产生大块土体移动总是先有裂缝,后有滑动,从时间先后或从对堤身稳定安全影响大小衡量,滑坡一般应划为中期险情,较为严重的(如滑体较大,削减堤身断面达50%以上时)则应划为晚期险情。而裂缝则应视其部位、性质与量级划分为相对较低一个等级的险情。

对于管涌险情,就洞庭湖区(湖堤和江堤)而言,一般发生在堤防的砂性基础部位。当高洪水位出现时,由于渗透坡降陡然增大,在堤防内坡脚覆盖土层不厚的薄弱地方,如超过土层允许坡降,很可能被顶破,产生渗流挟带泥沙溢出,此乃人们所常称之为的管涌险情。其实在堤防地基内部早已有细沙粒在渗透压力作用下缓慢地在粗颗粒间隙移动,它的危险性在于日积月累,久而久之得不到制止而形成贯穿式通道(即穿孔),继而会造成塌陷、跌窝等更为严重的险情,因此,对于管涌险情,可视其发展阶段选列一些外部症状参数来区别其早、中、晚期。

对于渗漏险情(又称漏洞险情),其情况更为复杂,它的成因有蚁穴、蛇洞、兽窝、树茆,甚至还埋有暗引、棺木、迎水侧堤脚人工构筑物等,也还可能在堤身填筑时个别部位夹有砂层、架空砖石块以及新旧交界处留有柴草腐杂物未作清理等。为此,只能抓住不同堤段各自不尽相同的一些主要险症参数,以判别对堤身安全稳定性威胁的大小。

基于传统的统计思路和定性分析,由若干具有丰富抢险经验和水利工程理论知识的专家,采取独立思考、交叉审议的方法,汇集多数专家的共识,可制定出具体堤段各种险情严重程度划分参照表(见

表1,表中只列出6类险情)。再综合考虑各种险情在历史上对具体堤段造成溃决的频率大小、距离溃决的时间长短以及险情抢护的难度大小等影响条件对大堤的稳定安全威胁程度予以早、中、晚期的划分(表2)。

表2 具体堤段综合权衡早、中、晚期险情判别参照

险情	险情严重程度	历史溃决频率 p	自然溃决时间 t/h	综合抢护难度 d
早期	轻度	很小 (<0.02)	>72	很易(认真去做容易完成)
中期	中度	较大 ($0.02 \sim 0.2$)	$24 \sim 72$	较难(特别努力才能完成)
晚期	重度	很大 (>0.2)	<24	很难(缺乏外援无法完成)

由于表1和表2是针对每个具体堤段(一般取50~100m)做出来的,这样不仅可以简化判别条件,而且具有较高的可信度和可操作性。所以,就其思路和模式来说有普遍参考价值,但其划分数据只对具体堤段有使用价值。

3 模糊模式识别定量评判

传统办法在这里把各类险情的严重程度的级别划分成绝然分开的3个不同区间,可是实际发生的险情严重程度究竟该划为哪个区间,其界限往往是不清晰的,因此要求我们引入模糊模式识别方法,采用隶属度概念将险情严重程度的3个级别(轻度、中度、重度)用隶属函数表示出来,以此表达出边界的模糊状态。同时从表1中可以看到,任何一类险情的严重程度都受多个因素制约,因而,它又是一个多因素模糊模式识别问题。还应看到多因素(即多个条件)制约下所发生的具体险情症状组合并非像表1中所列数据那样规范,实际发生时往往大小交叉,需

表1 具体堤段险情严重程度判别参照

险情严重程度	散 浸				裂 缝				滑 坡				
	渗浸面积/m ²	渗浸水况	土质松软	洪水位	裂缝方向	裂缝宽度/mm	裂缝长度/m	缝中水况	洪水位	滑体错位/cm	滑体大小/m ³	滑弧底渗水情况	洪水位
轻度	< 20	少量汗珠 (< 50%)	无感或不显	低于警戒水位	表面龟裂、纵向	< 2	< 3	未见	低于警戒水位	< 1	< 10	未见	低于警戒水位
中度	20 ~ 100	大面积汗珠 (> 50%)	较大面积松软 (> 50%)	低于危险水位	纵向 横向	3 ~ 10 2 ~ 5	3 ~ 10 2 ~ 5	微量	低于危险水位	1 ~ 5	10 ~ 50	微量	低于危险水位
重度	> 100	渗浸水汇集流动 (> 10%)	软烂面积很大 (> 50%)	低于超危水位	纵向 横向	> 10 > 5	> 10 > 5	较多	低于超危水位	> 5	> 50	较多	低于超危水位

险情严重程度	管 涌					渗 漏				穿 孔			
	涌口距堤脚/m	涌口直径/cm	涌水柱高/cm	涌水夹沙量/(kg·L ⁻¹)	洪水位	漏水出口直径/cm	漏水量/(L·s ⁻¹)	漏水混浊度	洪水位	出水口直径/cm	出水量/(L·s ⁻¹)	夹泥沙量/(kg·L ⁻¹)	洪水位
轻度	> 100	< 5	< 2	< 0.1 (很少)	低于警戒水位	< 5	< 0.5	尚清	低于警戒水位	< 2	< 3	< 0.2	低于警戒水位
中度	50 ~ 100	5 ~ 30	2 ~ 10	0.1 ~ 0.2 (较多)	低于危险水位	5 ~ 10	0.5 ~ 10	色浓	低于危险水位	2 ~ 10	3 ~ 10	0.2 ~ 5	低于危险水位
重度	< 50	> 30	> 10	> 0.2 (很多)	低于超危水位	> 10	> 10	混浊	低于超危水位	> 10	> 10	> 5	低于超危水位

要加以综合表达。

鉴于本研究对象给予的待识别对象是一组点数据,为此采用按最大隶属度原则^[3]来确定待识别抢险现场测报上来的险情严重程度,首先就单因素进行识别。

若存在

$$\mu_{A_{ij}}(x_j) = \max\{\mu_{A_{11}}(x_j), \mu_{A_{21}}(x_j), \dots, \mu_{A_{m1}}(x_j)\} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

则认为 x_j 相对归属于对应的 $\max \mu_{A_{ij}}(x_j)$ 的 A_{ij} ;再引入权重系数 $\alpha_j (j = 1, 2, \dots, m)$, 对多因素的影响加以综合。若存在

$$\mu_{A_i}(x) = \max\left\{\sum_{j=1}^m \alpha_j \mu_{A_{ij}}(x_j), \sum_{j=1}^m \alpha_2 \mu_{A_{ij}}(x_j), \dots, \sum_{j=1}^m \alpha_m \mu_{A_{ij}}(x_j)\right\} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

则认为 $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ 相对归属对应于 $\max \sum_{j=1}^m \alpha_j \mu_{A_{ij}}(x_j)$ 的 A_i 。式(1)和式(2)中: $\mu_{A_{ij}}(x_j)$ 表示待识别模糊集单因素 x_j 对第 i 个标本模式的隶属函数或隶属度; $\mu_{A_i}(x)$ 表示待识别模糊集 $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ 加权后对第 i 个标本模式的综合隶属函数或隶属度。

举例:某具体堤段发生散浸险情,拟识别严重程度。首先由专家反复论证能描述散浸险情严重程度的4个主要影响因素(即模糊特征:散浸面积、渗浸水况、土质松软和洪水位, $j = 4$)对应于3个级别的险情严重程度(即轻度、中度与重度, $i = 3$)的单因素标本模式如下(为简化计算,隶属函数以梯形分布表示):

a. 散浸面积:

$$\begin{aligned} \text{轻度} \quad \mu_{11}(x_1) &= \begin{cases} 1 & (0 < x \leq 20) \\ \frac{50-x}{30} & (20 < x \leq 50) \\ 0 & (x > 50) \end{cases} \\ \text{中度} \quad \mu_{21}(x_1) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 20) \\ \frac{x-20}{30} & (20 < x \leq 50) \\ 1 & (50 < x \leq 80) \\ \frac{80-x}{30} & (80 < x \leq 110) \\ 0 & (x > 110) \end{cases} \\ \text{重度} \quad \mu_{31}(x_1) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 80) \\ \frac{x-80}{30} & (80 < x \leq 110) \\ 1 & (x > 110) \end{cases} \end{aligned}$$

b. 渗浸水况:

$$\begin{aligned} \text{轻度} \quad \mu_{12}(x_2) &= \begin{cases} 1 & (x \leq 1) \\ \frac{2-x}{2} & (1 < x \leq 2) \\ 0 & (x > 2) \end{cases} \\ \text{中度} \quad \mu_{22}(x_2) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 1) \\ \frac{x-1}{2} & (1 < x \leq 2) \\ 1 & (2 < x \leq 3) \\ \frac{4-x}{2} & (3 < x \leq 4) \\ 0 & (x > 4) \end{cases} \\ \text{重度} \quad \mu_{32}(x_2) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 3) \\ \frac{x-3}{2} & (3 < x \leq 4) \\ 1 & (x > 4) \end{cases} \end{aligned}$$

c. 土质松软:

$$\begin{aligned} \text{轻度} \quad \mu_{13}(x_3) &= \begin{cases} 1 & (x \leq 1) \\ 2-x & (1 < x \leq 2) \\ 0 & (x > 2) \end{cases} \\ \text{中度} \quad \mu_{23}(x_3) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 1) \\ x-1 & (1 < x \leq 2) \\ 1 & (2 < x \leq 3) \\ 4-x & (3 < x \leq 4) \\ 0 & (x > 4) \end{cases} \\ \text{重度} \quad \mu_{33}(x_3) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 3) \\ x-3 & (3 < x \leq 4) \\ 1 & (x > 4) \end{cases} \end{aligned}$$

d. 洪水位高低:

$$\begin{aligned} \text{轻度} \quad \mu_{14}(x_4) &= \begin{cases} 1 & (x \leq 34) \\ \frac{35.5-x}{1.5} & (34 < x \leq 35.5) \\ 0 & (x > 35.5) \end{cases} \\ \text{中度} \quad \mu_{24}(x_4) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 34) \\ \frac{x-34}{1.5} & (34 < x \leq 35.5) \\ 1 & (35.5 < x \leq 36.5) \\ \frac{38-x}{1.5} & (36.5 < x \leq 38) \\ 0 & (x > 38) \end{cases} \\ \text{重度} \quad \mu_{34}(x_4) &= \begin{cases} 0 & (x \leq 36.5) \\ \frac{x-36.5}{1.5} & (36.5 < x \leq 38) \\ 1 & (x > 38) \end{cases} \end{aligned}$$

现有一组待识别(判别)的散浸险情特征参数:散浸面积 $x_1 = 75 \text{ m}^2$, 渗漏水况为 $x_2 = 4.2$ 级, 土质松软为 $x_3 = 3.2$ 级, 高洪水位 $x_4 = 37.9 \text{ m}$; 分别代入标本模式的隶属函数中, 得到单因素影响评判结果如下:

$$\begin{aligned}\mu_{11}(x_1) &= 0, \mu_{21}(x_1) = 1.0, \mu_{31}(x_1) = 0 \\ \mu_{12}(x_2) &= 0, \mu_{22}(x_2) = 0, \mu_{32}(x_2) = 1.0 \\ \mu_{13}(x_3) &= 0, \mu_{23}(x_3) = 0.80, \mu_{33}(x_3) = 0.20 \\ \mu_{14}(x_4) &= 0, \mu_{24}(x_4) = 0.067, \mu_{34}(x_4) = 0.933\end{aligned}$$

由专家论证,给出4个模糊特征的权重系数分别为: $\alpha_1 = 0.20, \alpha_2 = 0.20, \alpha_3 = 0.25, \alpha_4 = 0.35$;对4个影响因素采用 $M(\cdot, \oplus)$ 运算模型加以综合,则可求得

$$\begin{aligned}\mu_1(x) &= \sum \alpha_j \mu_{1j} = 0 \\ \mu_2(x) &= \sum \alpha_j \mu_{2j} = 0.423 \\ \mu_3(x) &= \sum \alpha_j \mu_{3j} = 0.577\end{aligned}$$

按最大隶属度原则,该散浸险情仅就自身严重程度(x)而言,应判定相对归属重度范围.但根据本文早、中、晚期的定性划分规定,还应当综合考虑另外3个判别条件,即溃决频率(p)、距溃时间(t)及抢护难度(d).对举例堤段依照表2,还求得一组隶属度与权重数据(A)为

$$\begin{aligned}\mu(x) &= (0, 0.423, 0.577) \\ \mu(p) &= (0.45, 0.45, 0.10) \\ \mu(t) &= (0.45, 0.40, 0.15) \\ \mu(d) &= (0.55, 0.35, 0.10) \\ A &= (0.35, 0.30, 0.20, 0.15)\end{aligned}$$

为突出主因素的作用,采用广义模型运算中的 $M(\wedge, \oplus)$ 进行综合,则可求得第二层综合评判向量为(归一化后) $B = (0.28, 0.42, 0.30)$,这也与采用加

权平均型 $M(\cdot, \oplus)$ 综合结果一致,据此可评定该散浸险情相对归属中期险情.以上评判识别可以在计算机上进行.

4 结 语

为满足不同险类的险情严重程度判别需要,还应对所有险类(如散浸、裂缝、滑坡、管涌、渗漏、坍塌、穿孔、减压井堵死、压穿、前池翻沙鼓水、闸门故障、风浪及漫溢)分别制定出各自的轻、中、重三个级别的标本模式的隶属函数(略),才能满足今后现场抢险需要.

有了险情早、中、晚期的划分,便可在抢护措施上和抢护速度上予以区别对待.一般而言,对晚期险情的抢护结构强度要求比中期险情的抢护结构强度要高,安全裕度要更大一些;对晚期险情的抢护速度要求比中期险情更快一些,时间更短一些;对于早期险情的抢护要求则较为宽松,甚至只需加强观察而暂不作处理.

参考文献:

- [1] 骆辛磊.防汛抢险技术的几个认识问题[J].水利水电科技进展,1999,19(4):12~20.
- [2] 张英,李宪文.防汛手册[Z].北京:中国科学技术出版社,1992.357~432.
- [3] 李洪兴.工程模糊数学方法及应用[M].天津:天津科学技术出版社,1993.195~258.

(收稿日期:2002-06-02 编辑:熊水斌)

(上接第10页)

发挥经济杠杆对节约水资源的作用,调整水价是核心.提高城市现状用水水价,可为开源节水工程筹集建设资金,也可促进节水机制的形成.目前我国城市供水水价普遍偏低,提高水价还有较大空间.现状居民生活用水的水费支出占可支配收入的比例偏低(大部分城市在0.6%左右),参考有关国际组织的建议并与有关部门研究,这个比例可逐步提高到2%左右.提高城市用水水价,还可促使城市和企业内部加大节水和中水回用力度,减少地表水和地下水的取水量,减少污水排放,促进生态环境改善.

建立新的、合理的水价形成机制,必须体现“定额用水,差别水价,超额累进加价”的原则.要根据水资源情况确定居民基本生活用水定额,定额以内的用水水价,要考虑群众的承受能力,超过定额用水的提价幅度要高于定额内用水的提价幅度.对高消费用水,要大幅度提高水价.提高水价的工作,需要进行充分的调查研究,慎重决策.

3 结 语

水利建设是我国可持续发展战略的一个重要组成部分,应该从我国的国情和水利建设的实际情况出发,针对存在的突出问题,在技术、经济、管理体制、运营机制等方面不断创新,并合理借鉴国外有益的先进经验,使水利建设在规模、质量和效益上不断上新台阶,为国家整体的可持续发展做出更大的贡献.

(收稿日期:2003-01-13 编辑:傅伟群)

