

文章编号: 1000-7598(2009)02-0492-05

指标动态权重对边坡稳定性的影响研究

李克钢, 侯克鹏, 李 旺

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093)

摘 要: 从权重的涵义出发, 分析了传统权重评价方法存在的问题, 认为指标权重计算结果应是动态变化的, 即会随着指标实际取值的变化而变化。以此为出发点, 引入了可拓理论的简单关联函数对传统权重求解的 AHP(层次分析法)进行了改进。改进的方法一方面减少了边坡稳定性多因素评价方法中由于主观因素过多对指标权重结果合理性的影响, 使指标权重的求解结果更加客观; 另一方面, 充分反映了相同指标在不同取值的情况下对边坡系统稳定性影响程度的变化, 使评价结果更趋合理。对某具体边坡工程实例进行了分析, 研究结果表明: 指标权重具有动态变化的特征。也就是说, 即使评价指标相同, 指标权重值也会随着指标具体取值的不同而发生变化, 从而对边坡稳定性的评价结果产生影响。

关 键 词: 指标; 动态权重; 简单关联度; 边坡稳定性

中图分类号: O 152

文献标识码: A

Research on influences of factors dynamic weight on slope stability

LI Ke-gang, HOU Ke-peng, LI Wang

(Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: From the definition of weight, the weak point of weight calculation by traditional analytic hierarchy process (AHP) is analyzed. It is pointed out that the factor weight is not unchangeable, which can vary with the difference of actual values of factors. Taking this as starting point, the simple dependent degree of extension theory is introduced to improve the traditional AHP. The improved method not only can avoid the disadvantages which are caused by subjectiveness during the weight calculation but also can fully reflect the impact on slope stability when the same factor has different data, which should make the evaluation results more reasonable. Finally, a specific example of slope project is studied. The results show that the factor weight has a dynamic characteristic, that is, even if evaluation factors are same, the values of factor weight will also alter with the different data of factors, then the evaluation results of slope stability must be different.

Key words: factor; dynamic weight; simple dependent degree; slope stability

1 引 言

影响边坡稳定性的因素众多, 目前常用的边坡稳定性评价方法, 如: 模糊评判法、灰色理论等, 都是多因素评价方法, 在评价过程中也都存在指标权重确定的问题。因此, 评价指标权重的分配是否合理直接影响到评价结果的准确性, 而评价结果的好坏又直接关系到项目的安全程度、经济效益及相应的社会效益。所以, 如何正确、合理地对指标权重值进行分配是值得深入研究的问题。

目前, 文献[1-4]对如何确定权重进行了研究, 但笔者认为, 这些方法都忽视了对权重确切涵义的了解, 只考虑评价指标的选取, 而没有考虑到指标具体数值的变化对指标权重的影响, 这样势必会导致权重确定的不当, 从而影响到评价结果的准确性, 更为重要的是将会对决策产生不良后果。在此, 笔者试图对上述问题进行一些分析探讨, 通过对权重具体涵义的讨论, 引入确定指标权重的改进方法, 以使权重的求解结果更加客观, 并且使其更能反映出对边坡稳定性评价结果的影响程度。

收稿日期: 2007-05-09

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (No.07C40062); 昆明理工大学科学研究基金资助项目 (No.14118055)。

第一作者简介: 李克钢, 男, 1978 年生, 博士, 主要从事岩土工程及地下工程方面的研究。E-mail: likegang_78@tom.com

2 常用权重求解方法的不足

目前,常用的权重确定方法有专家估测法、统计分析法、主成分分析法、层次分析法及模糊逆方程法等,其中应用最为广泛的是层次分析法。在此笔者着重对采用传统的层次分析法确定指标权重的不足进行分析。

由权重的定义知,它具有随机性、模糊性,随着评价指标对系统影响程度的不同,应分配其不同的权重。但对于评价指标相同,而各指标的实际取值不同的情况又如何呢?以边坡稳定性评价系统为例,假如有两个待评价边坡A和B,其评价指标有岩体的质量等级、边坡所处的地质环境、坡形、坡高、结构面、降雨以及人为作用的影响等等,假定在这7个评价指标中除了降雨外,其他指标的实际取值完全相同,现对两组边坡评价指标的权重分配情况进行讨论。

假如请了10位专家对影响边坡A和B的7个指标进行重要度排序,由于评价指标一样,那么这10个专家出于自身的经验肯定会对这两组7个因素得出完全一样的排序结果,即各个因素对边坡稳定性的影响程度是相同的,而实际情况并非如此。根据前面的假定,边坡A和B在降雨量方面是显著不同的,假设A边坡某月的降雨量为30 mm,而B边坡某月的降雨量为100 mm,那么在其他因素不变的情况下,边坡B发生失稳破坏的概率肯定是要远远大于边坡A的破坏概率,也就是说,降雨对边坡稳定性的影响程度不是固定的,而是随着指标实际取值的变化而变化的。根据权重的概念可知,由于同一指标的不同数值对边坡稳定性的影响程度不同,那么理应分配不同的权重值来区别对待,即两个边坡稳定性评价系统A和B虽然有着相同的评价指标,但由于各评价指标对两个系统稳定性的贡献率不同,其权重值的大小是不同的。

通过上述分析不难发现,在传统的AHP权重确定法中,通常是把更多的关注点放在评价指标的选取上,一旦确定了系统的评价指标,那么不管各指标实际取值如何,所计算出的权重结果都是一致的,这样做的结果往往忽视了由于评价指标实际取值的变化造成的对系统影响程度的差别,使得对权重值的求解产生偏差,从而降低了最终评判结果的合理性。

3 基于可拓简单关联度的改进AHP法

在传统的层次分析法的分析当中,判断矩阵的构造,无疑是影响最终计算结果准确性的关键环

节。常规方法是请若干有经验的专家对各评价指标的重要性进行主观判断,然后根据该判断结果来建立判断矩阵,这种方法有个弊端,那就是没有具体考虑各评价指标在不同取值条件下对系统影响程度的差异性,没有做到具体问题具体分析。

3.1 简单关联函数^[5-6]介绍

(1) 正域为有限区间 $<a, b>$ 的简单关联函数

设区间 $X = <a, b>$, 点 $x \in (-\infty, +\infty)$, 点 $M \in X$, $\max_{x \in (-\infty, +\infty)} K(x) = K(M) = 1$, 则

①当 $M = a$ 时, 取

$$K(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & x < a \\ \frac{b-x}{b-a}, & x > a \\ K(a) = 0/1, & x = a \end{cases} \quad (1)$$

②当 $M = b$ 时, 取

$$K(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & x < b \\ \frac{b-x}{b-a}, & x > b \\ K(b) = 0/1, & x = b \end{cases} \quad (2)$$

式中: $K(x)$ 为 x 关于区间 X 的关联度。

(2) 正域为无限区间 $<a, +\infty>$ 的简单关联函数

设区间 $X = <a, +\infty>$, 点 $x \in (-\infty, +\infty)$, 点 $M \in X$ 若 $\max_{x \in (-\infty, +\infty)} K(x) = K(M) = 1$, 则

当 $M = a$ 时, 取

$$K(x) = \begin{cases} x-a, & x < a \\ \frac{a}{2x-a}, & x > a \\ K(a) = 0/1, & x = a \end{cases} \quad (3)$$

若 $K(x)$ 在 $X = <a, +\infty>$ 没有最大值, 取

$$K(x) = x - a \quad (4)$$

3.2 改进方法及步骤

(1) 计算各指标相对于各评价等级的关联度

可拓学中的简单关联函数^[5-6]可以用来评价某个数值相对于某个实际区间的关联度,再通过对关联度大小的判断可以很清晰地给出某指标对所评价等级的关联情况,指标所关联的等级越大,代表着该指标对系统的稳定性越不利,对系统的影响程度越大。

假如在边坡稳定性评价系统中有 $i(i=1, 2, \dots, n)$ 个评价指标和 $j(j=1, 2, \dots, m)$ 个评价等级,通过式

(1)~(4) 建立各指标相对于各等级的简单关联函数, 计算出其相应的关联度 $K_{ij}(v_i, X_{ij})$ 大小。比如: 关联度 $K_{12}(v_1, X_{12})$ 表示待评指标 v_1 对应于第 2 个评价等级区间 $X_{12}(X_{12} = [a_{12}, b_{12}])$ 的关联度。

(2) 确定最大关联度

若有 $K_{ij_{\max}}(v_i, X_{ij}) = \max_j(K_{ij}(v_i, X_{ij}))$, 则可确定出各评价指标的最大关联度 $K_{ij_{\max}}$ 及相对应的评价等级 $j_{\max}$ 。

(3) 指标重要性排序

通过对比各指标的最大关联度值进行重要度的排序, 若 l 个指标的关联等级相同, 则通过考察其相应的最大关联度大小再进行比较, 从而得到所有评价指标的重要性排序。

(4) 判断矩阵的构造

在给出各指标相对重要程度的排列顺序后, 可以构造其重要性判断矩阵, 避免了全凭人为的经验来确定各指标重要性的不足, 有助于更合理的确定权重。

4 应用实例

渝黔高速公路某边坡位于丘陵斜坡地貌区, 坡高约 46 m, 边坡角约 64°。边坡岩体结构为上部砂岩下部泥岩互层, 岩层倾向为 55°, 倾角为 23°。经钻探发现, 砂岩与泥岩结合性较差, 存在软弱夹层, 且软弱层的倾向与边坡倾向相同, 对边坡稳定不利, 边坡岩体质量一般, 节理裂隙不发育。该地区降水丰富, 并且季节性明显。据统计, 多雨季节日平均最大降雨量达 120 mm。

以渝黔高速公路某岩质边坡为评价对象, 参考文献[7-8], 并考虑到现有技术条件下易于获得和便于实际应用的特点, 选择以下 7 项主要因素作为边

坡稳定性评价指标, 即岩石质量指标 RQD 、岩体结构特征、地应力、黏聚力、内摩擦角、坡高和日最大降雨量, 分别记为 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 、 v_6 和 v_7 , 根据相关文献[7]把岩质边坡工程的稳定性分成 5 个等级, 即稳定 I、稳定 II、基本稳定 III、不稳定 IV 和极不稳定 V, 经无量纲化后的分类标准见表 1。

4.1 相同指标不同取值时的权重计算

为了验证本文所提出的“虽然评价指标相同, 但如果指标取值不同, 则指标权重值不同, 对边坡稳定性的影响程度也不同”的观点, 以日最大降雨量为分析对象, 分别对各指标在日最大降雨量不同取值时的权重及边坡稳定性进行计算。在此, 根据该边坡工程的地勘资料了解到该地区历史上日平均最大降雨量为 120 mm, 因此, 本文拟分 3 种情况对此进行分析计算, 即日最大降雨量为 0、日最大降雨量为 75 mm 以及日最大降雨量为 120 mm。3 种条件下各指标的实际取值经无量纲化处理后的结果见表 2 所示。

根据前面介绍的基于简单关联度的指标排序计算方法, 当日最大降雨量为 0 时, 排序结果为 $v_2 > v_4 > v_5 > v_6 > v_1 > v_3 > v_7$; 日最大降雨量为 75 mm 时, 排列顺序为 $v_2 > v_4 > v_5 > v_7 > v_6 > v_1 > v_3$; 而当日最大降雨量为 120 mm 时, 排序结果为 $v_2 > v_7 > v_4 > v_5 > v_6 > v_1 > v_3$ 。求解出的 3 种条件下各指标权重值列于表 3。由表 3 可以看出, 经一致性检验, 认为各指标权重值分配合理, 具有满意一致性。

4.2 指标动态权重对边坡稳定性影响分析

以日最大降雨量为分析对象, 根据边坡稳定性可拓评价方法^[6, 9]计算的 3 种不同状态下的边坡稳定性评价结果见表 4, 图 1 为各指标权重随日最大降雨量的变化对比图。

表 1 边坡稳定性分类标准 (无量纲)

Table 1 Classification standards of slope stability (nondimensional)

评价指标	权重指标符号	稳定 I	较稳定 II	基本稳定 III	不稳定 IV	极不稳定 V
岩石质量指标 RQD	v_1	0.90~1.00	0.75~0.90	0.50~0.75	0.25~0.50	0~0.25
岩体结构特征	v_2	0.90~1.00	0.75~0.90	0.50~0.75	0.30~0.50	0~0.30
地应力	v_3	0.92~1.00	0.68~0.92	0.44~0.68	0.20~0.44	0~0.20
黏聚力	v_4	0.69~1.00	0.38~0.69	0.25~0.38	0.16~0.25	0~0.16
内摩擦角	v_5	0.82~1.00	0.64~0.82	0.47~0.64	0.13~0.47	0~0.13
坡高	v_6	0.70~1.00	0.55~0.70	0.40~0.55	0.20~0.40	0~0.20
日最大降雨量	v_7	0.87~1.00	0.73~0.87	0.60~0.73	0.33~0.60	0~0.33

表 2 评价指标值 (无量纲)

Table 2 Evaluation factors value (nondimensional)

待评对象	日最大降雨量 /mm	v_1	v_2	v_2	v_4	v_5	v_6	v_7
N1	0	0.72	0.15	0.98	0.08	0.27	0.54	1.00
N2	75	0.72	0.15	0.98	0.08	0.27	0.54	0.50
N3	120	0.72	0.15	0.98	0.08	0.27	0.54	0.20

表 3 评价指标权重计算值
Table 3 Calculation values of factor weight

待评对象	权重							CI	RI	CR
	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7			
N1	0.068	0.352	0.045	0.241	0.160	0.104	0.031	0.033	1.36	0.024
N2	0.044	0.348	0.030	0.239	0.158	0.077	0.103	0.068	1.36	0.050
N3	0.035	0.388	0.023	0.154	0.094	0.057	0.250	0.056	1.36	0.041

注：CI 为一致性指标； n 为判断矩阵的阶数；RI 为随机一致性指标，其值与 n 有关，可查相关表获得；CR 为一致性比率，且 $CR = CI / RI$ 。若 $CR = CI / RI < 0.10$ ，则说明判断矩阵一致性满足要求，即权重求解结果是可靠的。

表 4 不同降雨量时边坡稳定性评价计算结果对比
Table 4 Comparisons of evaluation results of slope stability at different rainfalls

关联度	N1	N2	N3
$K_1(N_i)$	-0.64	-0.66	-0.72
$K_2(N_i)$	-0.61	-0.59	-0.67
$K_3(N_i)$	-0.49	-0.47	-0.57
$K_4(N_i)$	-0.36	-0.26	-0.38
$K_5(N_i)$	0.07	0.12	0.26
评价等级 j	V	V	V
级别变量特征值 j^*	4.21	4.30	4.47

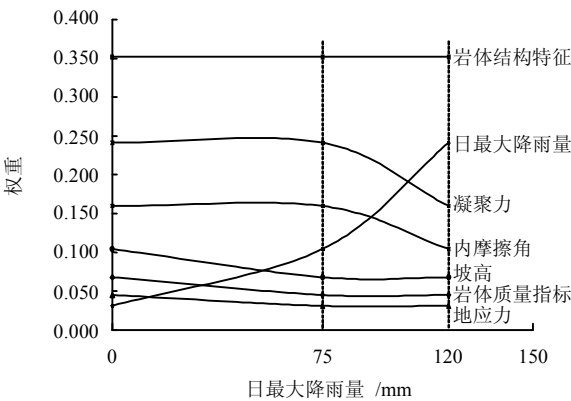


图 1 各指标权重随日最大降雨量变化对比图
Fig.1 Comparisons curve of weights with the maximum daily rainfall

从表 4 及图 1 中可以看出，虽然 3 种情况下的评价指标相同，但由于“日最大降雨量”指标的具体取值发生了变化，造成了 7 个指标权重值计算结果的相应变化，即这 7 个指标的权重并不是一成不变的，而是随着指标取值的变化呈现出动态变化的特点，如日最大降雨量指标的权重随着取值的不同依次为 0.031、0.103、0.250；黏聚力指标的权重依次为 0.241、0.239、0.154 等。

再来看 3 种情况下的边坡稳定性评价结果，虽然 3 种不同降雨量状态时的边坡稳定性评价等级（即最大关联等级）均为 V 级，即极不稳定状态，但 3 种情况下最大关联度值以及级别变量特征值却

并不相同。当日最大降雨量从 0 增大为 75 mm，再增大到 120 mm 时，最大关联度值从 0.07 变为 0.12，再到 0.26；级别变量特征值也从 4.21 增到 4.30，再增大为 4.47。也就是说，随着日最大降雨量的增大，虽然边坡都处于极不稳定状态，但边坡属于极不稳定的程度却逐渐上升，失稳的可能性依次增大。

通过以上分析，可以解释在通常状态下随着降雨量的增大而边坡失稳概率增大的现象，这种现象产生的原因首先是由于指标权重发生了变化，从而导致对边坡系统影响程度的增大。如果按照传统的权重计算方法，由于指标相同，则无论指标具体取值如何变化，始终会得出指标权重相同的结果，于是在采用同一种评价方法的基础上求解出的边坡稳定性等级必然相同，这也就反映不出由于指标实际状态的不同引起的边坡稳定程度的变化。

以上研究结果表明，当某一指标的实际取值不同时，各指标的权重并不是一成不变的，并且边坡稳定的程度也会随着发生变化，这充分印证了本文提出的权重会随着指标实际取值的变化而变化，进而导致边坡稳定性评价结果不同的观点。

5 结 论

权重是指标对评价系统影响程度的一个定量化的表征，它是相对性的数值，是动态的，是随着实际取值的变化而变化的。因此，在对指标权重进行判断时不能只考虑各评价指标对系统的影响，更应该重点考虑同一指标在不同取值时对边坡稳定性的影响程度并不相同这一特点，只有在这样的基础上得到的权重分配方案才更客观，系统评价结果也才更合理。

通过以上研究，可以得到如下结论：

- (1) 权重是指标对系统影响程度的定量化的表征，它是动态的，会随着指标具体取值的不同而不同。
- (2) 在进行边坡稳定性评价过程当中，指标权

重的求解不能仅仅考虑选用哪些指标,还应重点考虑各指标实际取值的不同。

(3) 通过引入简单关联度概念来对指标的重要性进行排序,可以充分反映由于指标具体取值的不同引起的指标对系统影响程度的变化情况,避免了传统权重求解过程中人为主观因素影响过多的弊端,使权重的求解结果更加客观。

(4) 即使评价指标相同,但如果各指标的实际状态发生了变化,各指标对边坡稳定性的影响程度也会相应改变,最终导致边坡稳定性评价结果的不同。

参 考 文 献

- [1] 王凡,张耀良. 关于“权”及确定权重分配方法的探讨[J]. 系统工程, 1993, 11(5): 11—15.
WANG Fan, ZHANG Yao-liang. Investigation about the “weight” and the method of its distribution[J]. **Systems Engineering**, 1993, 11(5): 11—15.
- [2] 闫家杰. 确定多因素权重分配的 AHP 方法[J]. 郑州工学院学报, 1994, 15(1): 102—107.
YAN Jia-jie. Determination of multi-factor weight by AHP method[J]. **Journal of Zhengzhou Institute of Technology**, 1994, 15(1): 102—107.
- [3] 刘沐宇,朱瑞庚. 基于模糊相似优先的边坡稳定性评价范例推理方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(8): 1188—1193.
LIU Mu-yu, ZHU Rui-geng. Case-based reasoning approach to slope stability evaluation based on fuzzy analogy preferred ratio[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2002, 21(8): 1188—1193.
- [4] 姜彤,黄志全,赵彦彦. 动态权重灰色归类模型在南水北调西线工程岩爆风险评估中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1104—1108.
JIANG Tong, HUANG Zhi-quan, ZHAO Yan-yan. Dynamically weighted grey optimization model for rockburst risk forecasting and its application to western route of south-north water transfer project[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(7): 1104—1108.
- [5] 蔡文,杨春燕,林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京:科学出版社, 1997.
- [6] 蔡文. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [7] 刘端伶,谭国焕,李启光,等. 岩石边坡稳定性和 Fuzzy 综合评判法[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(2): 170—175.
LIU Duan-ling, TAN Guo-huan, LI Qi-guang, et al. The stability of rock slope and fuzzy comprehensive evaluation method[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 1999, 18(2): 170—175.
- [8] 刘沐宇. 基于范例推理的边坡稳定性智能评价方法研究[博士学位论文 D]. 武汉: 武汉理工大学, 2001: 26—27.
- [9] 贾超,肖树芳,刘宁. 可拓学理论在洞室岩体质量评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(5): 751—756.
JIA Chao, XIAO Shu-fang, LIU Ning. Application of extenics theory to evaluation of tunnel rock quality[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2003, 22(5): 751—756.

《工程岩石力学》中文版近日由科学出版社出版

《工程岩石力学》中文版于 2008 年 11 月 20 日由科学出版社正式出版。

本书(上、下册)翻译工作由国际岩石力学学会副主席、我会副理事长冯夏庭教授全面负责与策划,黄理兴具体组织实施,王可钧负责全书的校对工作。我会副理事长李宁,常务理事李海波、盛谦、李术才,理事李小春、焦玉勇、李建林、王金安、李新平、卢文波等负责部分章节的翻译工作。

由国际岩石力学学会主席、英国皇家工程院院士、英国帝国学院的终生教授约翰·哈德逊(J. A. Hudson)博士与 J. P. Harrison 博士合著的《工程岩石力学》(Pergamon 出版社出版),在国际上产生了重要而广泛的影响。《工程岩石力学》共分两本,主要取材于英国帝国学院岩石力学课程笔记及作者在工程中的实践经验。上册主要介绍工程岩石力学相关原理,重点强调对概念的理解。下册与上册在章节上相对应,把这些原理与特定工程问题联系起来,采用问答方式,准备了丰富多彩的例题并作了细致的解答,更便于读者学习、理解与应用。这本书上下两册形成一体,在岩石力学原理表述上深入浅出、工程问题解答上完整清晰。该书译成中文,推荐给我国岩石工程界及相近领域的科研、技术人员参考,特别是对刚进入岩石力学研究领域的学生可作为岩石力学引论和高级岩石力学教程。

《工程岩石力学》中文版定价单册为 68 元。我学会网站“新书征订”栏目里正在征订,并有详细介绍。如有需要者请登录学会网站(www.csrme.com)查看。

(摘自 中国岩石力学与工程学会网站)