

斜坡稳定性综合评价方法的集成式 因素权重赋值方法^①

夏元友 朱瑞赓

(武汉工业大学土木与建筑学院, 武汉 430070)

摘 要 以工程地质类比法为基础, 针对斜坡稳定性综合评价时因素权重赋值的困难, 在斜坡稳定性影响因素分析及系统总结一些权重赋值方法之后, 提出了一种集成式因素权重赋值方法, 并给出了赋值方法的选择策略及赋值过程的计算程序框图, 使综合评价过程的因素权重赋值更为合理。

关键词 斜坡稳定性 综合评价 集成式 因素权重

中图法分类号 P642.2

传统的工程地质综合评价方法是一种包含系统、统计、类比的方法, 它以定性描述和分析为主, 但应用时存在一定的不确定性。近年来随着应用数学的发展, 已使其实现定量或半定量评价成为可能^[1]。该方法应用成败的关键是其因素筛选和因素权重赋值, 而因素权重赋值的关键是针对具体情况采用合适的赋值方法。因此, 本文在斜坡稳定性影响因素分析基础上, 系统总结了工程地质综合评价方法的因素权重赋值方法, 提出了一种集成式择优选择权重赋值方法并给出了具体实施步骤; 最后, 结合实例说明了该方法的有效性。

1 综合评价方法的评价指标结构

工程地质综合评价是最基本的斜坡稳定性评价方法, 可细分为历史分析法与工程类比法两种。历史分析法是以分析斜坡的发育历史来看它的现在并推测它的未来, 在具体操作时常用地貌特征为评价指标^[2]; 工程类比法是在大量调查研究的基础上, 根据地质条件类似的斜坡的稳定性来评价待评价斜坡的稳定状

况, 并推测其未来的发展趋势。工程类比法在应用时的影响因素确定及其权重赋值是关键。一般斜坡稳定性影响因素都可以概括为内外两大因素, 其评价指标及层次基本上可用图1来概括; 但在具体到某一区域斜坡或某一类型斜坡时, 其指标选择要进行一定的取舍和细化, 因为上述指标并非对每一区域或类型的斜坡稳定性都起主要影响作用。因此, 在具体操作时常采用图2的结构。影响因素指标通常由地质分析进行初选和终选, 初选一般由地质工程师通过勘探研究决定, 终选一般采用专家确定或由统计分析获得。

2 斜坡稳定性影响因素(指标)权重赋值方法

目前常用的指标权重赋值方法是统计分析和专家打分法。统计分析法应用时必须具备一定量稳定性程度较清楚的实例。专家打分法相对说比较简单, 但应用时效果并不好^[3]; 究其原因可能是目前应用较多的是由专家直接给出权重(所谓的点估计法)。其实专家打分可由

① 收稿日期: 1996-10-17; 修回日期: 1997-04-30 夏元友, 男, 31岁, 副研究员, 博士

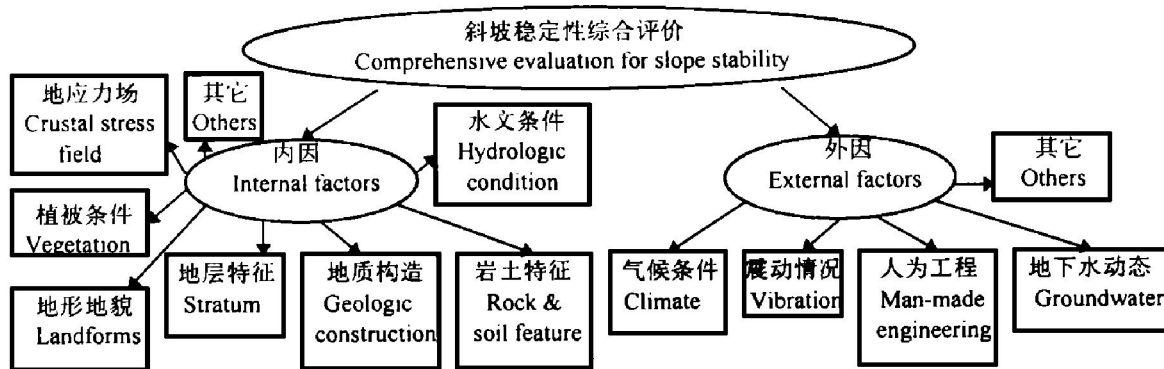


图1 斜坡稳定性综合评价指标及其层次结构

Fig. 1 Evaluation indexes and hierarchy structure for comprehensive evaluation of slope stability

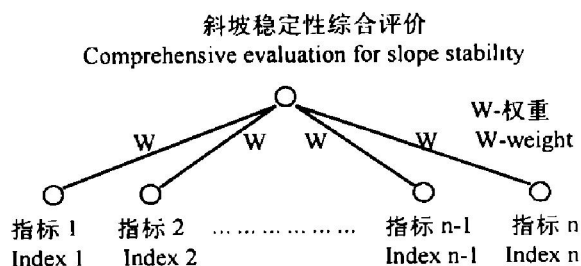


图2 斜坡稳定性综合评价过程图

Fig. 2 Comprehensive evaluation process for slope stability

多种方法诱导专家给出更合适的权重。如：层次分析法(AHP)^[4]、比较矩阵法(CMM)^[5]重要性排序法(IOM)、模糊区间映射法(FIM)^[6]、模糊子集法(FSM)等等。这些方法已在许多领域广泛应用。本文将这些方法引入斜坡稳定性综合评价过程，并建立一方法库。方法库内容包括统计分析和专家打分法。

2.1 统计分析法

统计分析法包括：线性回归分析法(LRM)、特征向量法(CVM)、概率统计法(PSM)、信息量模型法(IMM)。现将作者扩展的CVM及IMM介绍如下。

2.1.1 特征向量

设有 n 个不稳定的斜坡，将斜坡的影响因素根据经验再分级变成影响因素指标 X_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)， X_{ij} 采用二值逻辑表示，即：第 j 个斜坡存在指标 i ，则 X_{ij}

$= 1$ ，否则 $X_{ij} = 0$ 。那么，因素权重 $(W_i)_{1 \times m}$ 可由各指标的特征向量长度 $(L_i)_{1 \times m}$ 来表示，即：

$$W_i = L_i = \left(\sum_{j=1}^n X_{ij}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

$(W_i)_{1 \times m}$ 经归一化处理后即可获得标准化权重集。这种方法是以不稳定斜坡实例中某一指标的出现频率来确定权重的。它常用于区域边坡或某一类型且已有大量失稳实例的边坡稳定性评价。

2.1.2 信息量模型法 IMM

信息量模型法中的斜坡影响因素处理方法同 CVM，则评价指标的权重可由下式获得：

$$W'_i = \lg \frac{S_i/N_i}{S/N} \quad (2)$$

式中 N 表示区域斜坡总数或统计的斜坡总数， S 表示不稳定或发生滑坡的斜坡总数， N_i 表示含有因素 i 的斜坡总数， S_i 表示含有因素 i 的不稳定或发生滑坡的斜坡总数。

这样计算出的 W'_i 有正有负， W'_i 为负可认为第 i 因素有阻止滑坡的作用。假设因素指标为 m 个，则 W'_i 可按下式进行归一化处理：

$$W_i = \frac{(W'_i + |W'_{i\min}|)}{\sum_{i=1}^m (W'_i + |W'_{i\min}|)} \quad (3)$$

式中 当 $W'_{i\min} \geq 0$ 时，取 $|W'_{i\min}| = 0$ ； $W'_{i\min}$ 为 W'_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 的最小值，适用条件为具有一定数量不同稳定程度的斜坡实例。

2.2 专家打分法

专家打分法包括点估计法(DDM)、比较

矩阵法(CMM)^[5]、环比分法(CCM)^[7]、模糊区间映射法(FIM)、重要性排序法(IOM), 模糊子集法(FSM)。DDM法是指专家有把握对评价指标权重直接赋值时, 直接给出权重的方法; CMM和CCM法都是通过对评价指标重要性的两两比较来获得指标权重的, 具体方法可参阅文献[5]和[7]; FIM法则是由多专家对每一评价指标权重给出一区间估计, 然后经迭加和 λ 值映射方法来获得权重的^[6]; FSM法则是由专家对所有评价指标给一评语集, 然后由对评语集的量化来确定指标权重; IOM法是由所有评价指标的重要性排序来求权重的, 该方法适用于多专家评价; 其具体计算为: 设有 n 个专家, m 个指标, 假定第 i 个专家对 m 个评价指标做重要性排序时, 排在第 j 个指标后的指标数目为 N_{ji} , 则第 j 个指标的权重为:

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^m N_{ji} + 1}{m+1} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

W_j 经归一化处理后即可获得标准权重集。

3 斜坡稳定性综合评价的集成式权重赋值方法及其赋值过程

所谓集成式权重赋值方法即是上述多种权重赋值方法集中在一个方法库并配以适当的方法选择策略, 从而使权重赋值更简单、方便、合理。斜坡稳定性综合评价的集成式权重赋值过程框图见图3。图3的方法选择策略是用于引导专家或分析者选择合适的权重赋值方法, 其具体实施过程见图4。

由图3、图4可知, 集成式指标权重赋值

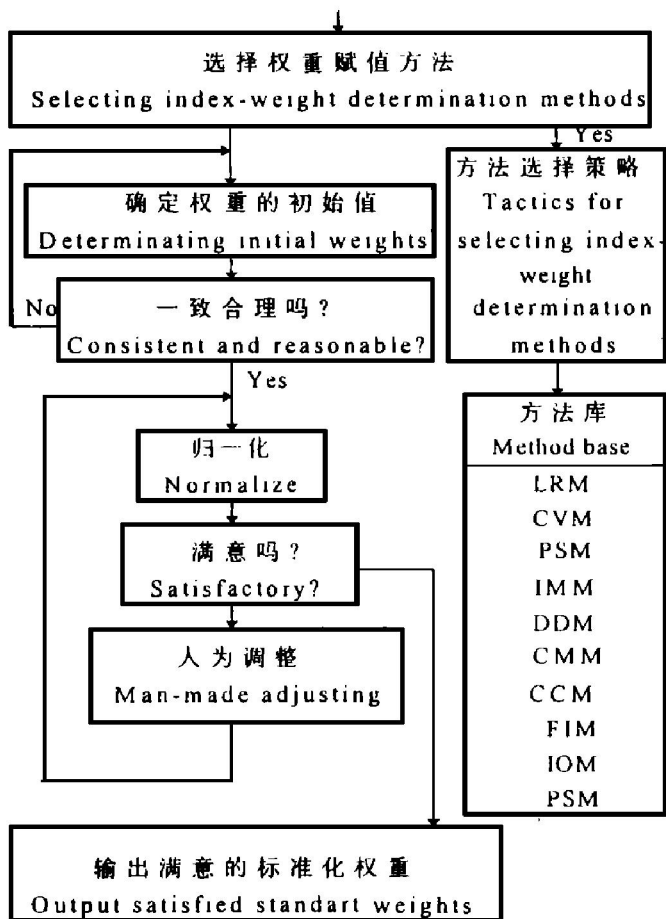


图3 斜坡稳定性综合评价集成式权重赋值过程框图

Fig. 3 Integrated Index-weight determination process for comprehensive evaluation of slope stability

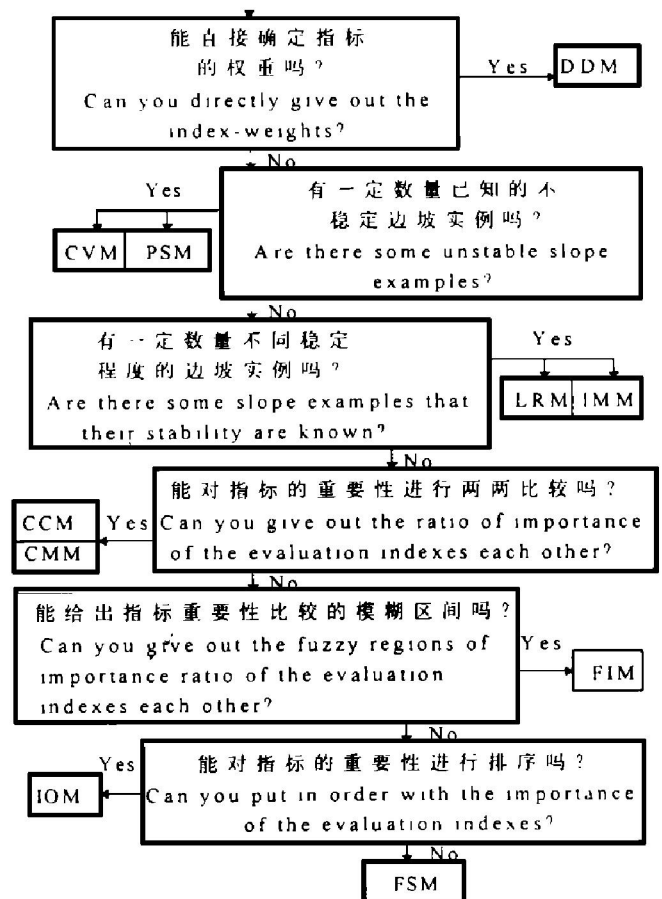


图4 集成式指标权重赋值方法选择策略框图

Fig. 4 Strategy for selecting index-weight determination methods

方法,有利于各种赋值方法优势的发挥,克服了在斜坡稳定性综合评价时权重赋值难的问题,特别是对于专家打分法,解决了评价者在没有把握直接赋值时权重确定的困难。

4 实例分析

实例引用三峡库区研究程度较高的 20 个斜坡^[8],稳定性影响因素经二值处理后列于表 1(具体指标意义参见文献[8]),表 1 还给出了斜坡的稳定性评价结果。由于有一定量的斜坡实例(但失稳斜坡数相对于评价指标数却较少),根据图 4 的选择策略,假如不能直接给出指标赋权值,斜坡影响因素权重宜采用线性回

归分析或信息模型法获得。由于线性回归分析还需要对表 1 的稳定性程度进行量化处理,因此,不妨采用信息量模型法。由式(2)和式(3)对表 1 数据统计分析后,获得各指标的影响权重见表 2。

由表 2 的权重重新对表 1 的斜坡进行稳定性综合评价(加权和方法),其评价结果见表 3。综合判别系数相对于 A、B、C 三种状态的分级界限值是由表 1 已知的稳定性程度与判别系数做频率直方图确定的,即得:当判别系数 a 大于或等于 0.5 时属潜在不稳定斜坡(A);判别系数 $a \in [0.30, 0.50]$ 属基本稳定斜坡(B);判别系数 $a < 0.3$ 属稳定斜坡(C)。由表 3 的评价结果与表 1 的对比分析,不难发现用信息量模

表 1 斜坡实例

Table 1 Examples of slope in Sanxia hydroelectric station

Slope No.	Slope name	Indexes influencing slope stability (evaluation indexes)														Results of Comprehensive evaluation
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Yajiangwan	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	Potentially unstable(A)
2	Huanglashi	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	Xintan	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
4	Cicaotuo	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	
5	Sandunzi	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	
6	Jipazi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	Xicheng	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	
8	Baota	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	
9	Guanmiaotuo	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	Almost stable(B)
10	Gaojiazui	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	
11	Longwangmiao	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	
12	Liulaiguan	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	
13	Baiyan	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
14	Zuojituo	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	
15	Xiangjiawan	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	
16	Liujiawuchang	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
17	Baihuangping	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	Stable(C)
18	Fanjiaping	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	
19	Jiuxianping	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
20	Shuizhuyuan	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	

表 2 评价指标权重

Table 2 Weights of evaluated index

Indexes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Weights	0.007	0.106	0.055	0.022	0.055	0.093	0.035	0.055	0.088	0.055	0.155	0.076	0.143	0.055

表 3 综合评价结果

Table 3 Results of comprehensive evaluation

Slope No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Comprehensive evaluation coefficients	0.55	0.99	0.89	0.50	0.63	1.00	0.75	0.70	0.62	0.44	0.35	0.49	0.31	0.37	0.36	0.23	0.27	0.48	0.17	0.28
Evaluation results	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	C	C	B	C	C

型获得的评价指标权重是合适的, 用此指标权重进行综合评价, 其评价结果正确率达 95% 。

REFERENCES

1 Xia Yuanyou(夏元友) *et al.* Matal Mine (金属矿
山), 1995, (12): 9- 12.

2 Kong Xianli(孔宪立). Engineering Geology of Rock
Mass and It's Disaster(岩体工程地质及其灾害).
Shanghai: Tongji University Press, 1993.

3 Zheng Liming(郑黎明). Chinese J Eng Geol(工程地
质学报), 1995, 3(3): 73- 78.

4 Xu Shubo(许树柏). Principles of the Analytic Hier-

archy Process(层次分析法原理). Tianjing: Tianjing
University Press, 1988.

5 Yang Shenhong(杨圣宏) *et al.* System Engineering
Theory and It's Application(系统工程理论与实践),
1988, 8(1): 19- 26.

6 Wang Zongjun(王宗军) *et al.* J Huazhong University
of Science & Technology (华中理工大学学报),
1995, 23(Supplement II): 64- 68.

7 Lu Mingsheng(陆明生). System Engineering Theo-
ry and It's Application(系统工程理论与实践),
1986, 6(4): 77- 78.

8 Huang Runqiu(黄润秋) *et al.* Hydrogeology and En-
gineering Geology(水文地质工程地质), 1992, 19
(1): 15- 20.

AN INTEGRATED INDEX-WEIGHT DETERMINATION
METHOD FOR COMPREHENSIVE EVALUATION
ON SLOPE STABILITY

Xia Yuanyou and Zhu Ruigeng
Civil & Architecture College,
Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, P. R. China

ABSTRACT An integrated index-weight determination method (I^2 WDM), which is based on the analyses about the influence indexes of slope stability and summary of many kinds of index-weight determination methods, was proposed to solve the difficulties of index-weight determination using comprehensive evaluation methods to evaluate slope stability. The authors put forward a selective strategy of many index-weight determination methods and a computer program structure of I^2 WDM which is simple, flexible and integrated, and makes index-weight determination in comprehensive evaluations more reasonable. At last, an example was applied to indicate that I^2 WDM is effective.

Key words slope stability comprehensive evaluation integrated index-weight

(编辑 何学锋)