

岩坡稳定性优势面分析法
——以太湖度假区休体公园渔洋山边坡为例

查俊, 阎长虹, 许宝田, 许菰, 孙亚哲

(南京大学地球科学系, 江苏南京 210093)

[摘要] 运用优势面理论层次分析法, 确定岩坡的控稳优势面, 通过对太湖度假区休体公园渔洋山边坡的研究得出 F_1 和软弱夹层是控稳优势面, 通过优势面组合分析, 得出 4 组优势分离体, 其中 F_1 、软弱夹层和边坡临空面组合为试算安全系数最小优势分离体。最后用 Sarma 法进行稳定性计算, 得出各种优势分离体组合模型在考虑地下水和地震加速度为 $0.15g$ 的情况下均是不稳定的。结果表明, 采用层次分析法对岩坡稳定性进行评价的方法是可行的。

[关键词] 岩质边坡; 优势面理论; 层次分析法; 边坡稳定性评价

[中图分类号] TU457 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)03-0038-06

[作者简介] 查俊(1979-), 男, 江西九江人, 硕士研究生, 从事城市环境岩土工程研究。

太湖度假区休体公园位于苏州市吴中区太湖之滨, 这里依山傍水, 风景宜人, 具有巨大的旅游开发价值, 是国家级的旅游度假胜地。公园内有 2 个面积较大的人工采石场, 呈东西向线性分布, 形成 2 个大型边坡。两边坡处在公园显耀位置, 影响了公园整体景观, 为了保证游人人身安全、美化公园环境、合理利用土地资源, 苏州太湖旅游度假区管委会提出对这 2 个边坡进行开发利用。其初步方案为东采坑边坡上修建人工瀑布景点, 并在坡顶修建给瀑布供水的大型蓄水池, 西采坑边坡上部修建观光长廊。这一边坡的评价与治理不仅要确保现行边坡安全, 同时要确保边坡利用后稳定, 因此, 这 2 处边坡稳定性与一般边坡相比有着更高的要求, 其研究具有极大的现实意义。笔者采用优势面理论对这 2 处边坡进行了稳定性分析, 即运用层次分析法确定控制边坡稳定性的控稳优势面, 通过组合分析, 建立岩坡工程地质模型和稳定性评价模型^[1]。

1 岩坡工程地质条件

东西两坡均由典型的成层状沉积岩构成, 东坡呈“U”型, 长约 190 m, 高约 50 m。主边坡成东西

走向, 岩性为泥盆系五通组粗粒石英砂岩, 中间夹有灰白色薄层粉砂质泥岩。地层走向为 $271^\circ \sim 291^\circ$, 倾向南西, 与边坡同倾, 倾角 $15^\circ \sim 22^\circ$ 小于坡角 (60° 左右)。西坡呈“L”型, 岩性为石英砂岩夹灰白色薄层粉砂质泥岩, 坡脚处为砂岩与泥岩互层。两边坡均有很大面积的崩塌, 处于不稳定状态。笔者以东坡为例, 为详细评价边坡的稳定性, 并有针对性提供边坡治理方案和设计参数, 根据边坡形态、岩体的岩性特征、结构面类型和优势面的发育特征进行了工程地质分区。综合考虑东坡的地质情况将其分为 4 个工程地质区, 均以断裂为界, F_1 以东为 I 区, F_1 断层破碎带为 II 区, 破碎带以西 F_2 断裂以东为 III 区, F_2 断裂破碎带为 IV 区(图 1), 东

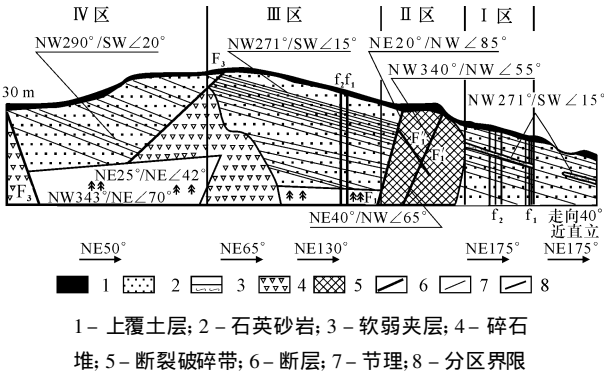


图 1 东坡剖面

Fig. 1 East slope bench section

[收稿日期] 2004 06 30

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

坡的主要特点为:

(1)宏观岩坡地质体较稳定,没有大的活动断裂经过,地震烈度为6度。

(2)场区内断裂较发育:东坡岩体中发育有4条压性断层(如图1): F_1 :产状北东 20° /北西 $\angle 80^\circ \sim 90^\circ$,断裂走向与坡面大角度相交,破碎带底宽约22.3 m,顶宽约10 m,岩体结构松散,岩性软弱,主要为泥质粉砂岩,泥质、铁质胶结,风化强烈。破碎带内发育两组小断裂, F'_1 产状北东 40° /北西 $\angle 65^\circ$, F''_1 产状北西 340° /北东 $\angle 55^\circ$; F_2 :产状北东 $25^\circ \sim 35^\circ$ /北西 $\angle 72^\circ$,破碎带顶部宽约6 m,岩性软弱,风化较强烈; F_3 :产状北西 343° /北东 $\angle 70^\circ$,层面有擦痕,泥质、铁质充填; F_4 :产状北西 290° /南西 $\angle 70^\circ$,破碎带宽3~5 m,断层带两侧见热变质作用。在坡底较远处,故不在图1中显示。

(3)地层成层性明显,层理清晰,为中厚层石英砂岩夹软弱粉质砂岩、泥岩类型(见图1)。软弱夹层出现在I区东侧,层厚0.2~0.3 m,软岩抗剪强度低,且遇水软化, c 值在0.1 MPa左右, φ 值在 20° 左右。

(4)节理发育: f_1 组:走向北东 40° ,节理面近垂直,张性,有走水痕迹,节理间距1 m左右; f_2 组:走向近南北,节理面近垂直,闭合,节理间距最小约2 m。

(5)边坡整体稳定性较差,I区已有多处发生倾倒崩塌,II~IV区都发生较大面积块石滑落、崩塌。

2 岩坡稳定性优势面分析法

经野外地质调查,对场区结构面进行分类^[2]:I类为宏观区域性深大断裂,本区无;II类为延伸数百米至数千米破碎带宽度几厘米到数米的断裂、不整合面、原生软弱夹层等,本区如 $F_1 \sim F_4$ 及软弱夹层;III类为规模较小断裂,如 F'_1 , F''_1 ,IV类为各节理面。地质分析认为,虽然节理面切割岩体也发生小规模崩塌,但边坡整体稳定性研究的主要工作还是找出规模大、性质软弱的控稳优势面。因此,此岩坡稳定性评价就是在 $F_1 \sim F_4$ 和软弱夹层这5个候选优势面中寻找最可能滑动的控稳优势面。

2.1 确定岩坡控稳优势面

经典的优势面理论在按A、B线工作原理,运用优势指标法找控稳优势面领域取得了巨大的成

功^[3,4],但权重取值的经验性给工程带来了一定的难度和不确定性,笔者运用层次分析法对岩坡优势面的寻找问题进行了研究,经过逐层对比(各个因素及各个因素水平之间的横向纵向对比),给出了优势面候选层(方案层)的综合权重,从而得出了优势面,即综合权重最大方案。

2.1.1 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process)是近30年迅速发展起来的决策分析方法,它把复杂问题分解成各个组成因素,又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性。整个过程体现了人们分解—判断—综合的思维特征^[5]。

将层次分析法运用到求优势面的过程是:

(1)确定目标层:对于评价岩坡稳定性这个复杂系统来说,评价目标即计算出各种因素影响下的最易滑动面即控稳优势面,然后通过优势面组合分析找出最易滑动体即优势分离体。

(2)确定准则层和子准则层:准则层即岩坡稳定性的各主要影响因素,根据以往的工程实例和具体的工程地质条件,认为断层和软弱夹层生成或最后一次活动的时间、空间形态、结构面性质、规模、地下水包括降雨作用这5个因素为主要影响因素(优势指标),即准则层。断层生成或最后一次活动的时间有老新活3类^[1,3~4],软弱夹层虽生成时间较早,但由于时间蠕变,应弱化处理。空间形态指各结构面产状、与其他结构面的空间关系、起伏度、粗糙度。结构面性质指 c 值、 φ 值、 γ 值。规模指断层延伸长度、断距、破碎带规模,对于软弱夹层分别按延伸长度、厚度、充填物性质对比取值。地下水作用指渗透作用和泥化作用。这些因素水平即组成子准则层。按地质统计资料用分级定量法^[6](1表示前者比后者相同重要,3表示前者比后者稍重要,5前者明显重要,7前者强烈重要,9前者极端重要)对准则层中各准则、子准则层中各子准则依次进行两两比较得出相对于每一个候选优势面的判断矩阵。

(3)确定方案层:即依次算出地质分析得出的各候选优势面的综合权重值^[7~11]。构成的优势面评价结构模型如图2。

2.1.2 构造判断矩阵

优势面理论在总结许多工程实例的基础上认为,断裂、软弱层的生成或最后一次活动的时间是

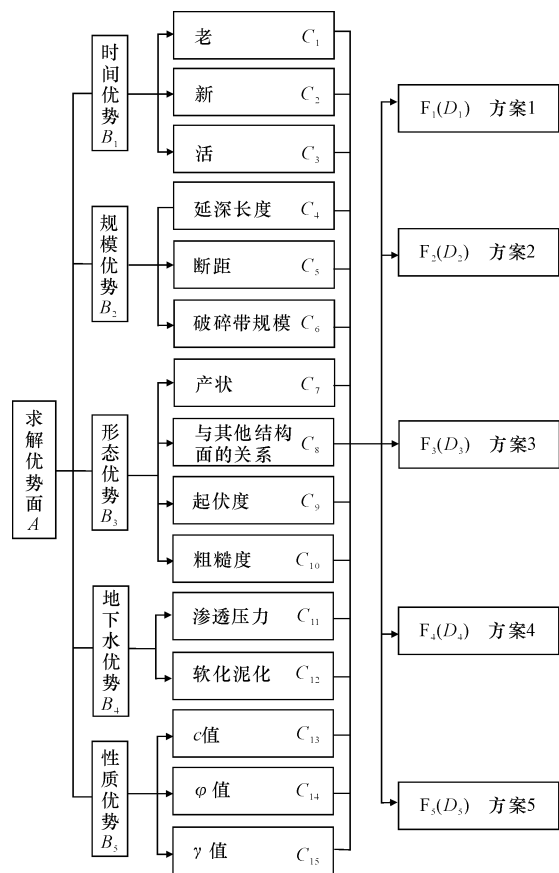


图 2 求解优势面结构模型

Fig. 2 Preferred plane's solution structure model

控制边坡稳定最重要的因素。结合本工程的实际地质情况,其次是结构面空间形态和性质,再次是结构面规模和地下水作用(包括地表降雨)。将这些因素两两对比,即可得到 $A-B$ 判断矩阵,同理依次可得到 $B-C$ 判断矩阵、 $C-D$ 判断矩阵(表 1,表 2)。再进行一致性检验,算出一致性指标 CI,平均随机一致性指标 RI,一致性比例指标 CR。计算公式如下^[9]

(1)
$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(2)
$$\lambda_{\max} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} w_j}{w_i} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

(3)
$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n \alpha_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$$

(4)
$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \text{ 满足一致性}$$

当 $n = 3$ 时, RI 为 0.52, 当 $n = 5$, RI 为 1.12。因素的相对权重值 w_{i0} 用几何平均法求得

$$w_{i0} = \frac{\left(\prod_{j=1}^n \alpha_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n \alpha_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad ij = 1, 2, \dots, n$$

式中: α_{ij} 是判断矩阵的元素值; n 是准则元素个数。

表 1 判断矩阵表 I

Table 1 Judgment matrix I

A	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	w_{i0}	B_1	C_1	C_2	C_3	w_{i0}
B_1	1	5	3	5	3	0.464	C_1	1	1/5	1/7	0.072
B_2	1/5	1	1/3	1/2	1/3	0.064	C_2	5	1	1/3	0.279
B_3	1/3	3	1	5	1	0.217	C_3	7	3	1	0.649
B_4	1/5	1/3	1/5	1	1/5	0.048					
B_5	1/3	3	1	4	1	0.207					
$\lambda_{\max}=4.89 \quad \text{RI}=1.12 \quad \text{CR}=0.025<0.1$							$\lambda_{\max}=3.065 \quad \text{RI}=0.52 \quad \text{CR}=0.063$				
B_2	C_4	C_5	C_6	w_{i0}		B_3	C_7	C_8	C_9	C_{10}	w_{i0}
C_4	1	1/3	3	0.258		C_7	1	1/3	3	5	0.265
C_5	3	1	5	0.637		C_8	3	1	5	7	0.567
C_6	1/3	1/5	1	0.105		C_9	1/3	1/5	1	2	0.107
						C_{10}	1/5	1/7	1/2	1	0.061
$\lambda_{\max}=3.04 \quad \text{RI}=0.52 \quad \text{CR}=0.037<0.1$							$\lambda_{\max}=4.068 \quad \text{RI}=0.89 \quad \text{CR}=0.025<0.1$				
B_4	C_{11}	C_{12}	w_{i0}		B_5	C_{13}	C_{14}	C_{15}	w_{i0}		
C_{11}	1	1/2	0.333		C_{13}	1	1/3	3	0.250		
C_{12}	2	1	0.667		C_{14}	3	1	6	0.655		
					C_{15}	1/3	1/6	1	0.095		
$\lambda_{\max}=2.00 \quad \text{RI}=0 \quad \text{CR}=0<0.1$							$\lambda_{\max}=4.02 \quad \text{RI}=0.52 \quad \text{CR}=0.017<0.1$				

表 2 判断矩阵表 II
Table 2 Judgment matrix II

C_{1-3}	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}	C_{4-6}	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}
D_1	1	1	1	1	1	0.200	D_1	1	2	3	5	3	0.420
D_2	1	1	1	1	1	0.200	D_2	1/2	1	2	3	2	0.244
D_3	1	1	1	1	1	0.200	D_3	1/3	1/2	1	2	2	0.157
D_4	1	1	1	1	1	0.200	D_4	1/5	1/3	1/2	1	1/2	0.075
D_5	1	1	1	1	1	0.200	D_5	1/3	1/2	1/2	1	1	0.104
$\lambda_{\max}=5.00$ RI=1.12 CR=0<0.1							$\lambda_{\max}=4.95$ RI=1.12 CR=0.012<0.1						
C_7	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}	C_8	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}
D_1	1	1	1	1	3	0.231	D_1	1	2	5	7	1	0.347
D_2	1	1	1	1	3	0.231	D_2	1/2	1	3	5	1/2	0.193
D_3	1	1	1	1	3	0.231	D_3	1/5	1/3	1	3	1/5	0.078
D_4	1	1	1	1	3	0.231	D_4	1/7	1/5	1/3	1	1/7	0.040
D_5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0.077	D_5	1	2	5	7	1	0.347
$\lambda_{\max}=5.00$ RI=1.12 CR=0<0.1							$\lambda_{\max}=5.07$ RI=1.12 CR=0.016<0.1						
C_9	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}	C_{10}	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}
D_1	1	1/3	1/3	3	1	0.124	D_1	1	1	3	1	1	0.231
D_2	3	1	1	7	3	0.353	D_2	1	1	3	1	1	0.231
D_3	3	1	1	7	3	0.353	D_3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	0.077
D_4	1/3	1/7	1/7	1	1/3	0.046	D_4	1	1	3	1	1	0.231
D_5	1	1/3	1/3	3	1	0.124	D_5	1	1	3	1	1	0.231
$\lambda_{\max}=5.01$ RI=1.12 CR=0.002<0.1							$\lambda_{\max}=5.00$ RI=1.12 CR=0<0.1						
C_{11}	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}	C_{12}	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}
D_1	1	2	5	7	2	0.410	D_1	1	1	3	5	1/3	0.194
D_2	1/2	1	3	5	1	0.229	D_2	1	1	3	5	1/3	0.194
D_3	1/5	1/3	1	3	1/3	0.089	D_3	1/3	1/3	1	3	1/7	0.076
D_4	1/7	1/5	1/3	1	1/5	0.044	D_4	1/5	1/5	1/3	1	1/9	0.038
D_5	1/2	1	3	5	1	0.229	D_5	3	3	7	9	1	0.499
$\lambda_{\max}=5.06$ RI=1.12 CR=0.014<0.1							$\lambda_{\max}=5.08$ RI=1.12 CR=0.019<0.1						
C_{13}	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}	C_{14}	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	w_{i0}
D_1	1	1	1	7	1/3	0.175	D_1	1	3	1	5	1	0.281
D_2	1	1	1	7	1/3	0.175	D_2	1/3	1	1/3	3	1/3	0.106
D_3	1	1	1	7	1/3	0.175	D_3	1	3	1	5	1	0.281
D_4	1/7	1/7	1/7	1	1/9	0.030	D_4	1/5	1/3	1/5	1	1/5	0.050
D_5	3	3	3	9	1	0.444	D_5	1	3	1	5	1	0.281
$\lambda_{\max}=5.087$ RI=1.12 CR=0.0194<0.1							$\lambda_{\max}=5.042$ RI=1.12 CR=0.0094<0.1						

2.1.3 综合分析

各判断矩阵均符合一致性要求。对于各候选优势面,将准则层中每个因素的权重与其相对的子准则层的权重分别相乘,再把准则层各个因素相乘的结果求和即可得到各个候选优势面的综合总权重。结果为 $W=(0.245, 0.194, 0.191, 0.133,$

$0.237)^T$ 。综合总权重的结果表明: F_1 和软弱夹层控稳优势远远高于 $F_2 \sim F_4$ 。而 F_4 离坡面较远,不参加组合成优势分离体。需要说明的是:

(1)各准则、各方案的比较值都是在各种调查数据基础上产生的,它有一定的交差主观性,但它能够符合工程实践需要^[11,12]。

(2) $F_1 \sim F_4$ 生成年代相同, 而软弱夹层生成年代要早, 但考虑软弱夹层的时间蠕变效应, 故取相同值。

(3) F_1 空间位置附近存在很多结构面, 能与坡面软弱层及破碎带形成各种破坏, F_2 易与坡面及 F_3 组合形成破坏体, F_3 除小部分和 F_2 组合外, 其余部分较稳定, F_4 离坡面较远, 比较稳定。软弱夹层能与坡面、 F_1 断层、节理面构成破坏面。

(4) 软弱夹层 c 值在 0.1 MPa 左右, φ 值在 20° 左右; F_1 的 c 值为 0.2 MPa, φ 干值 28° , φ 饱水值 20° ; F_2 的 c 值为 0.2 MPa, φ 干值 31° , φ 饱水值在 25° ; F_3 的 c 值为 0.2 MPa, φ 干值 29° , φ 饱水值 20° ; F_4 离边坡较远不考虑。

2.2 岩坡破坏模式

在优势面确定之后, 进行优势面组合分析, 找出优势分离体, 从而确定边坡破坏模型。针对该边坡的结构面发育情况, 从优势面的空间关系来看, 一共有 4 种优势分离体, 而且由于每个工程地质分区均以断裂为界, 所以每个工程地质分区和优势分离体一一对应, 即优势分离体 1 为 I 区软弱优势面、边坡临空面及 F_1 组合。优势分离体 2 为 II 区 F_1 断裂破碎带。优势分离体 3 为 III 区中 F_2 、缓倾的软弱面、与坡面同倾节理面、坡面组合。优势分离体 4 为 F_2 切割 F_3 部分、层面、坡面组合。为了更好地做整体评价又具有代表性, 计算时都以工程地质区来计算。通过简化算法(平面滑动法), 求出了 4 种优势分离体的安全度(表 3)。

表 3 边坡稳定性评价参数

Table 3 Parameter of slope stability evaluation					
分区	c/MPa	$\varphi/(^\circ)$		岩体重量 γ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	地下水位
		干燥	饱和		
I 区	0.1	30	18	25	按坡体在竖向裂隙内充满水; 地震加速度为 0.1 g
II 区	0.2	28	20	25	
III 区	0.2	31	25	25	
IV 区	0.2	29	20	25	

从边坡整体稳定性的角度上, 又系统地提出 5 种机制:

(1) 倾倒、崩塌破坏, 在 I 区, 节理与软弱面及岩层层面形成的边坡分离体, 由于坡面高、陡, 节理面近于直立, 在水的作用下软弱夹层或软弱结构面软化, 发生倾倒破坏和崩塌破坏。

(2) 平面滑动破坏, I, III 区中粉砂质泥岩、软

弱夹层、岩层层面等构成的优势体与边坡倾向一致, 构成潜在分离体。

(3) 楔形体破坏, IV 区中由 F_2 , F_3 断层与层面组合构成楔形优势分离体。

(4) 滑塌破坏, 在 I, III 区, 岩体中节理、层理发育且层面倾向与坡向一致, 裂隙所切割形成的岩块直径达 1 m。岩块在裂隙水动水压力(后缘推力)作用下, 岩块沿倾斜的层面或软弱面滑动, 然后沿坡面崩塌滚落。

(5) 松动滚落在 II, IV 区, 断层节理发育, 岩体破碎, 风化程度中等, 岩体松动, 局部岩块在重力作用下, 小岩块沿坡面发生滚落或跳跃下落。

3 岩坡稳定性计算

3.1 岩体结构面力学参数的选择

优势面理论认为, 优势面控制优势分离体的力学参数的确定是决定数值分析结果可靠性的最基本问题^[13]。在测试优势结构面的力学参数时, 要注意优势面的围压效应, 以免测得的参数偏小, 目前测试优势结构面力学参数的方法主要有: 综合分析法、工程地质类比法、加权位移反演法、经验估算法。

本工程根据室内岩石剪切试验、现场原位大型岩体剪切试验以及野外边坡破坏模拟反演, 结合岩体质量分级情况, 综合给出岩体力学参数, 具有低内聚力和高摩擦角的特性, 特别在饱水状态下软弱结构面和泥岩即使在没有外力作用时, 仍然极易开裂, 所以, 根据本边坡的特殊用途和安全等级, 在边坡稳定性评价中, 其力学参数应取饱水状态下的力学参数值, 岩体力学计算参数见表 3。

3.2 稳定性计算^[14]

在得出分离体破坏的 5 种机制中, 倾倒、崩塌、松动、滚动有其特殊稳定性计算方法, 这里不加叙述, 而对于平面滑动、楔形体滑动、滑塌破坏这 3 种形式, 选用 Sarma 法进行评价。Sarma 法可根据滑体的地质特征、结构面构造, 对滑体进行按节理构造的斜分条及不等距分条, 使各条块尽量模拟实际岩体, 可较详尽地模拟节理、断层造成的滑体强度特点, 滑体滑动时, 不仅滑动面上的各力达到了极限平衡, 侧面也达到了极限平衡^[15]。

Sarma 法的基本步骤: 用三角形或四边形单元的角点坐标描述滑体的几何形状。地下水位面用其与条块边界交点坐标定义, 然后用闭式解诱导出

边坡处于极限平衡时的临界水平震动加速度系数 K_c , 接着通过把 $\tan \varphi$ 和 c 减小到 $\tan \varphi/f$ 和 c/f (其中 f 为边坡组合安全度), 直到 $K_c=0$ 为止, 从而求出边坡的安全度^[16]。当然, 对于不考虑地震或人为震动的边坡计算, 初始时 $K_c=0$ 。本边坡虽然地震烈度为 6, 不考虑地震作用, 但是由于其特殊的工程意义, 应考虑人为动荷载作用, 分别取 $K_c=0.05\text{ g}$, $K_c=0.1\text{ g}$, $K_c=0.15\text{ g}$ 3 种情况求出安全度并做比较分析。

3.3 稳定性计算结果

边坡稳定性评价按 4 个工程地质区分别进行, 计算结果见表 4。

表 4 优势体安全度计算结果

优势分离体		Table 4 Calculation results of preferred objects							
		平面滑动法		Sarma 法					
		考虑地震和水的作 用	不考虑地震和水的 作用	$K_c=0.05\text{ g}$		$K_c=0.1\text{ g}$		$K_c=0.15\text{ g}$	
		考虑地 下水	不考虑地 下水	考虑地 下水	不考虑地 下水	考虑地 下水	不考虑地 下水	考虑地 下水	不考虑地 下水
1	1.30	<1	1.592	2.200	1.024	1.39	<1	<1	
2	1.42	<1	1.508	1.744	<1	1.32	<1	<1	
3	2.24	1.52	1.096	1.492	<1	1.266	<1	1.07	
4	1.68	1.22	1.220	1.472	1.01	1.36	<1	1.20	

当 K_c 取 0.05 g 时, 如不考虑地下水作用, 边坡安全系数高, 安全性较大, 考虑地下水时 III 区的安全系数均接近临界值; 当 K_c 取 0.1 g 时, 如果有地下水的作用, 边坡肯定发生滑动, 如不考虑地下水时, 边坡各区安全系数尽管均 >1 , 但已接近临界值, 当考虑 K_c 为 0.15 g 时, 边坡各区均不稳定。

4 结语

(1) 太湖休体公园渔洋山边坡是由典型地层状沉积岩构成, 构造发育, 且处于不稳定状态。

(2) 采用层次分析法对无法共同量化的多种因素给出了一套权重值, 实现了边坡稳定性评价定性与定量有机结合, 实践表明这种方法具有可行性。

(3) 采用层次分析法结合优势指标法找出控制东坡稳定性的优势面, 即 F_1 断层以及软弱夹层。通过优势面组合分析, 得出边坡破坏模式, 即倾倒崩塌、平面破坏、楔形破坏、崩塌破坏和岩体松动破坏模式。

(4) 根据边坡变形破坏形式, 选用 Sarma 法对边坡进行了稳定性计算, 得出各种优势分离体组合

模型在考虑地下水且地震加速度为 0.15 g 的情况下均是不稳定的。

通过该边坡的工程地质研究, 发现其层状岩体边坡稳定性受多种因素的控制和影响。如何找出控制边坡稳定性的主导因素, 建立合理地边坡工程地质模型, 是边坡稳定性评价和治理设计的关键。应用优势面理论来分析评价层状边坡工程地质问题是行之有效的。

由于地质条件的复杂性, 在应用层次分析法结合优势指标法时, 虽然结合了地质分析法、类比法, 但对于各类指标之间的交叉作用关系及其取值大小有待进一步完善。

[参 考 文 献]

[1] 罗国煜, 王培清, 陈华生, 等. 岩坡优势面分析理论与方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1992

[2] 蔡美峰, 何满朝, 刘东燕. 岩石力学与工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2002

[3] 罗国煜, 陈新民, 李晓昭, 等. 城市环境岩土工程 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2000

[4] 罗国煜, 阎长虹. 岩坡系统分析与可靠性评价 [J]. 地质学报, 1994, 68(2): 185 ~ 195.

[5] 汪应洛. 系统工程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003

[6] 黄克安. 管理系统工程概论 [M]. 北京: 中国经济出版社, 1990

[7] 谢全敏, 夏元友. 边坡治理决策的改进层次结构模型及其应用 [J]. 岩土工程学报, 2002, 24(1): 86 ~ 88.

[8] 谢全敏, 夏元友. 岩体边坡治理决策的模糊层次分析方法研究 [J]. 岩土力学与工程学报, 2003, 22(7): 1117 ~ 1120.

[9] 谢全敏, 夏元友. 边坡治理方案评价体系的层次结构模型及其应用 [J]. 岩土力学与工程学报, 2001, 20(增 1): 1064 ~ 1065.

[10] 吕小平. 岩石边坡稳定性层次类比评价方法 [J]. 工程地质学报, 1994, 2(1): 55 ~ 61.

[11] 蒋建平, 章杨松, 阎长虹, 等. 地下工程中岩移的断层效应探讨 [J]. 岩土力学与工程学报, 2002, 21(8): 1259 ~ 1260.

[12] 张发明, 陈祖煜, 弥宏亮. 深开挖岩石边坡三维随机模体的稳定性分析 [J]. 地球科学与环境学报, 2002, 24(2): 13 ~ 16.

[13] 蒋建平, 章杨松, 罗国煜, 等. 优势结构面理论在岩土工程中的应用 [J]. 水利学报, 2001, (8): 90 ~ 93.

[14] 高德彬, 倪万魁, 郭社锋, 等. 延安市凤凰山东北麓滑坡危险斜坡的变形特征及稳定性分析 [J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 54 ~ 57.

[15] 崔政权, 李宁. 边坡工程 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.

[16] 刘传正, 张明霞, 邹正盛, 等. 宝鸡市狄家坡滑坡稳定性研究 [J]. 工程地质学报, 1998, 6(2): 104 ~ 112.

(下转第 48 页)

理和基本过程, 可得结论:

(1) 以基坑土体塑性区连通性来评价基坑抗隆起的方法, 是一条验算基坑抗隆起的新途径。

(2) 根据基坑土体的应力状态直接求出最可能的潜在破裂面, 适应不同土层; 不需要对土体中的作用力进行简化。

(3) 本文方法较准确反映围护桩插入比对基坑抗隆起安全系数的影响。

[参 考 文 献]

- [1] 罗嗣海, 谭昌明, 李忘. 水土合算法土压力计算时的强度指标 [J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 59~64.
- [2] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

- [3] Espinoza R D. Unified formulation for analysis of slopes with general slip surface [J]. Geotechnical Engineering, 1994, 120(7): 1185~1204.
- [4] Zhang X L, Chen W F. Limity analysis of slopes with general nonlinear failure criterion [J]. International Journal of Numeric Analysis Methods in Geomechanics, 1987, 11(1): 33~50.
- [5] Feng Z L. Optimal estimation of in situ ground stresses from displacements [J]. International Journal of Numeric Analysis Methods in Geomechanics, 1987, 11(2): 251~258.
- [6] Xie Y M, Steven G P. A simple evolutionary procedure for structural optimization [J]. Computers and Structures, 1993, 49(5): 885~896.

Optimization of bulge fracture plane searching in foundation pit

H U Zhi ping¹, YAO Hai ming², LUO Li juan¹

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China;

2. Shanghai Second Municipal Engineering Corporation, Shanghai 200092, China)

Abstract: Stress status of supporting structure and the retained soil was analyzed with FEM in foundation pit, and the value of limiting status function of retained soil was calculated. With "artificial participation" optimization, the shape and position of potential bulge fracture plane in foundation pit were calculated with the dijkstra algorithm and the relative safety coefficient was proposed. Large scale numeric calculation and in situ measurements show that the end point of potential fracture plane is insensitive to the insertion ratio of supporting pile, that the start point of potential fracture plane is near the supporting pile when the insertion of pile is increasing. The in situ measurements show the availability and utilization of method of the potential bulge fracture plane searching based on the optimization algorithm in composite optimization.

Key words: supporting structure; bulge fracture; optimization; insertion ratio of supporting structure; safe index

[英文审定: 马致远]

(上接第 43 页)

Stability analysis in rock slope by preferred plane theory Base on stability evaluation of rock slope in Yuyang Mount rest park Tai Lake vocation village

ZHA Jun, YAN Chang hong, XU Bao tian, XU Song, SUN Ya zhe

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: This paper studied the stability of rock slope in Yuyang Mount by Analytic Hierarchy Process (AHP) of preferred plane theory. Firstly, ascertained the preferred plane that control the slope's stability by AHP. Fault 1 and soft plane are preferred plane. Then, put these preferred plane together to assemble preferred objects and built an engineering geological model. Lastly, computed the stability of the rock slope. If seismic accelerate velocity are 0.15 g and ground water are effected, the slope is instability. The results indicate that AHP is workable.

Key words: rock slope; preferred plane theory; AHP; evaluation of slope stability

[英文审定: 马致远]