

反算法在某边坡稳定性评价中的应用

高丽娜, 严 明  
(成都理工大学, 成都 610059)

摘 要: 重点探讨了反算法的基本原理、反算的具体方法步骤、反算法建立联立方程的条件、应用边坡稳定性反算分析原理, 依据工程实例对边坡滑移面的抗剪强度参数进行反算, 给出了抗剪强度参数的建议值。  
关键词: 反算; 稳定性系数; 边坡稳定性; 抗剪强度指标  
中图分类号: S 157; P 642. 15 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2006) 02-0075-03

The Application of the Back Calculation  
Method in the Evaluation of the Slope Stability

GAO Li-na, YAN Ming  
(College of Environment and Civil Engineering of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The basic principles of the back calculation method, the step of back calculation method and the condition of constructing simultaneous equations of the back calculation method are presented. Applying the basic principles of the back calculation analysis, according to the engineering example, back calculating the anti-shear strength index of the slope slip plane, the recommended value of the anti-shear strength is given.  
**Key words:** back calculation method; coefficient of stability; slope stability; anti-shear strength index

对斜坡(滑坡或变形斜坡)的稳定性评价, 稳定程度的计算以及提出合理的、经济的预测和防治方向、防治对策, 都必须涉及其物理力学指标  $C$  (岩土体, 滑带土的粘聚力)、 $\varphi$  (岩土体, 滑带土的内摩擦角)、 $\gamma$  (岩土体的容重)。 $\gamma$  通过试验或凭经验均易于确定, 其值的变化范围不大, 而且选用值的误差给滑坡推力带来的误差也远小于  $C$ 、 $\varphi$  带来的误差, 所以计算参数  $C$ 、 $\varphi$  的选取合理与否, 是边坡稳定性评价的关键。

目前确定滑坡抗剪强度指标  $C$ 、 $\varphi$  值的方法主要有: 试验手段、经验数据对比和极限平衡状态下的反算法。

试验法因受各种条件限制有时出于土的结构性, 取样扰动的影响, 使得室内土工试验结果离散性较大或与实际情况误差较大, 而经验数据对比法过多的强调经验, 实际上却很难把握, 因此, 反算法是一种行之有效的办法。

1 反算法的基本原理

反算法又称反演分析法或逆演法, 它是在极限平衡原理的基础上, 假定边坡处于极限平衡状态, 此时边坡稳定安全系数  $K = 1$ , 用边坡滑动力与抗滑力的平衡, 计算滑动面抗剪指标, 反算法的常用公式源于边坡稳定分析传统条分法(即库伦理论)的各种演变公式, 一般常用传递系数法, 即将地质剖面上的单宽滑体分为若干条块, 由滑体后部逐条向前部计算, 直至最后一块滑体, 且假定最后一块滑体的剩余下滑力等于或接近于零。正确的运用反算法, 要选择滑动前瞬间极限平衡断面, 此时滑坡稳定性系数  $K = 1$ 。

反算法求得的滑面抗剪指标, 是滑体滑动现象的反映, 尽管选取不同的计算剖面或采用不同的反算公式, 所得到的

抗剪指标不尽相同, 但只要用相同的方法在相同的剖面上做正演稳定分析, 都能得到可信的相似的结果。反算法所得的抗剪指标包含了滑体稳定的多种影响因素, 诸如空间效应、侧向约束、起伏差、滑体内部力的传递影响、分析计算所用剖面方向与滑动方向不吻合时的影响等。

2 反算的方法及步骤

反算可以采用对一个断面的反算, 也可以对多个断面建立联立方程反算求解。对一个断面反算时, 常常需要假定其中一个变化幅度不大容易掌握其范围者, 来反求另一个。如果要同时反求主滑段的  $C$  值和  $\varphi$  值, 要采用类似条件下两个或多个断面方程联立求解的方法, 其基本条件是断面必须相似。主要包括有: ①地质条件类似。特别是滑面的物质组成和含水状态。②状态和滑动过程。③滑坡的发育阶段要相似。实践证明, 同一个滑坡的主轴断面和其两侧的辅助断面可以进行联立方程求解。

反算分析的步骤:

- (1) 确定反算模型。需要根据滑坡目前的变形发展阶段及可能的失稳方式综合确定出最危险滑体, 并依据工程地质判断给出该滑体的稳定性系数。反算模型可以是一个, 也可以是多联合反算;
- (2) 反算求解。反算求解可以针对一个模型进行, 也可以选择几个剖面联合求解。采用一个模型时, 一般先依据工程地质经验和判断, 或依据试验确定其中的一个强度参数, 然后反算另外一个强度参数;
- (3) 强度参数选择。对于反算的大量成果, 需要进行综合判断, 最终确定出用于深化分析设计的强度参数。

### 3 工程实例

#### 3.1 工程地质条件概况

##### 3.1.1 地形地貌

某水电站堆积体边坡平面上呈似舌形分布,并略呈现上宽下窄,南北方向平均宽度约 190 m。前缘高程为 1 130 m,后缘高程 1 620 m,东西方向长约 700 m。堆积体平均厚度约为 50~60 m,总方量约 50 m<sup>3</sup>,坡体较平顺,平均坡度为 32~35°。

##### 3.1.2 物质组成与结构特征

堆积体主要是由块石和特大弧石(3~5 m)组成,另夹碎石质砂壤土(碎石含量 20%~40%)或碎石,结构比较紧密。块石成分为弱、微风化片麻岩,块石间相互嵌合、堆砌,而碎石质砂壤土不成层,主要填塞在块石缝隙之间。

##### 3.1.3 边坡基岩岩性

堆积体分布区域下伏基岩及周围地区出露的基岩,主要为黑云花岗片麻岩夹薄层状、透镜体状片岩。

##### 3.1.4 水文地质条件

堆积体物质成分主要为块石和碎石,且存在不同程度的架空现象,透水性强。而且底部的接触带大部分土层颗粒相对较细,且较密实,透水性微弱,具有相对隔水层特征,但空间分布不均匀,局部为透水性强的碎石层,所以,该相对隔水层在空间上分布不连续。

##### 3.1.5 地震

根据国家地震局地质研究所复核,坝区地震基本裂度为

度。

#### 3.2 强度参数的反演分析

首先进行强度参数的反演分析,然后根据反算分析得到的强度参数,评价其它工况下的稳定系数,并用于滑坡的治理方案设计。

##### 3.2.1 计算剖面及工况条件

对于堆积体滑坡,选定四个反算分析剖面:1—1,2—2,3—3,4—4。

根据前期勘察得到的接触带强度参数为: $\varphi=30\sim32^\circ$ ;  $C=0.04\sim0.05$  Mpa。

另根据前期勘察资料,滑坡范围内的钻孔中,部分钻孔有地下水变化,而部分钻孔无地下水;堆积体内的地下水主要为分布不均匀的上层滞水。从目前坡面的出水点分布可以看出,坡体内的地下水分布很不均匀。为了能较全面的认识滑带土强度参数,为设计服务,我们根据对地下水的不同认识,确定了多个方案。

表 1 参数反算分析时对地下水位的考虑方案

编号	方案说明
W-1	不考虑地下水
W-2	1360 m 以上不考虑地下水,以下北区考虑 2 m 水位,南区考虑 1 m 水位
W-3	1360 m 以上考虑 1 m 水位,以下北区考虑 3 m 水位,南区考虑 2 m 水位
W-4	1360 m 以上考虑 2 m 水位,以下北区考虑 5 m 水位,南区考虑 2 m 水位
备注	2—2 和 3—3 剖面位于北区,1—1 和 4—4 剖面在南区

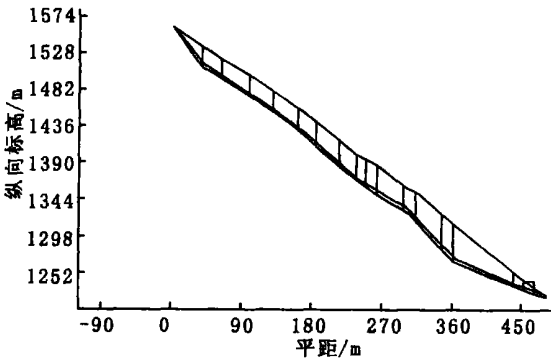


图 1 2—2 反算模型

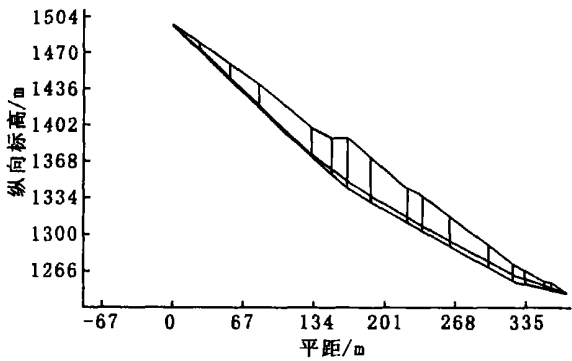


图 2 3—3 反算剖面

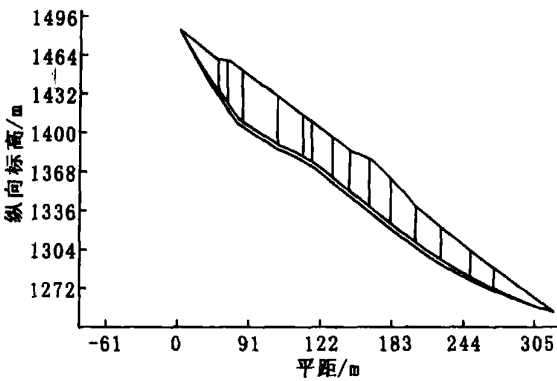


图 3 1—1 反算剖面

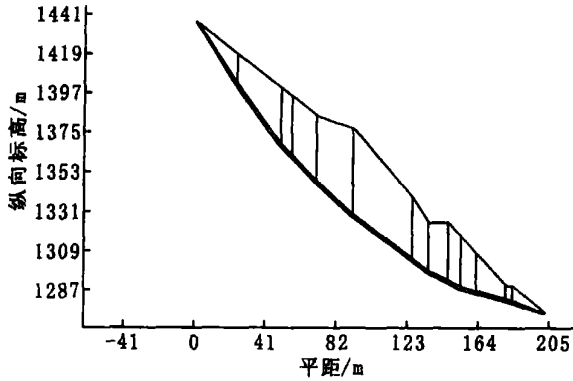


图 4 4—4 反算模型

##### 3.2.2 滑面参数反算

为了能较全面的认识滑带土的强度参数,根据对地下水的不同认识,进行了多方案的参数反算分析。假定滑体处于极限平衡状态。采用剖面联立分析与综合分析相结合的方法,联立计算时采用瑞典条分计算,综合分析时以传递系数

法校核。

一般情况下,滑带土的内摩擦角较为稳定,所以我们在分析中,始终以内摩擦角作为分析的基准。表 2 所列结果为综合考虑前期试验成果可能变化范围而选取的反算结果,反算的内聚力、内摩擦角大体为前期试验成果的 95% 左右。

表 2 参数综合分析反算成果表

方案	内聚力 kPa	内摩擦角/ °	稳定性系数							
			1—1 剖面		2—2 剖面		3—3 剖面		4—4 剖面	
			1	0	1	0	1	0	1	0
W- 1	35	28	0. 949	0. 975	0. 920	0. 981	0. 947	0. 975	0. 921	0. 968
W- 2	35	28. 5	0. 953	0. 980	0. 923	0. 985	0. 948	0. 977	0. 923	0. 972
W- 3	36	29	0. 957	0. 983	0. 931	0. 993	0. 959	0. 988	0. 931	0. 980
W- 4	36	29. 5	0. 962	0. 989	0. 924	0. 988	0. 945	0. 974	0. 933	0. 983

备注: ① 为瑞典条分法; ④为传递系数法。

参考文献:

[ 1] 马骥. 滑坡推力计算中强度指标的反算[ A]. 第三届土力学及基础工程学术会议论文集[ C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.

[ 2] 潘家铮. 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[ M]. 北京: 水利出版社, 1980.

[ 3] 祝玉学. 边坡可靠性分析[ M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.

( 上接第 53 页)

[ 32] 谢运球. 恢复生态学[ J]. 中国岩溶, 2003, 22( 1): 28- 34.

[ 33] 吴祥云. 荒漠化防治中的恢复生态学研究热点[ J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31( 3): 290- 294.

[ 34] 章家恩, 徐琪. 恢复生态学研究的一些基本问题探讨[ J]. 应用生态学报, 1999, 10( 1): 109- 113

[ 35] 杜晓军, 高贤明, 马克平. 生态系统退化程度诊断: 生态恢复的基础和前提[ J]. 植物生态学报, 2003, 27( 5): 700- 708.

[ 36] 米文宝, 等. 宁夏西海固贫困少数民族地区可持续发展研究[ M]. 西安: 西安地图出版社, 2001. 96- 98.

[ 37] 彭少麟, 陆宏芳. 恢复生态学焦点问题[ J]. 生态学报, 2003, 23( 7): 1251.

[ 38] 刘培哲. 可持续发展理论与中国 21 世纪议程[ M]. 北京: 气象出版社, 2001. 31.

( 上接第 65 页)

的应急治理要做好以下几点: ( 1) 通过堪察的地质资料和监测资料找准滑坡的原因和滑动带, 然后有针对性的进行制定有效的治理方案; ( 2) 要根据现场的施工条件进行制定方案;

( 3) 后缘被拉裂的裂缝一定要进行灌浆处理, 做好排水系统。

( 4) 前缘进行堵截; ( 5) 用预应力锚索进行对滑坡体加固处理是科学的; ( 6) 配合信息化施工, 指导施工设计。

参考文献:

[ 1] 徐邦栋. 滑坡分析与防治[ M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001. 63- 72.

[ 2] 二滩水电开发有限责任公司. 岩土工程安全监测手册[ S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999. 458- 483.

( 上接第 68 页)

[ 22] 江忠善, 王志强, 刘志. 应用地理信息系统评价黄土丘陵区小流域土壤侵蚀的研究[ J]. 水土保持研究, 1996, 3( 2): 84- 97.

[ 23] 江忠善, 王志强, 刘志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[ J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2( 1): 1- 9.

[ 24] 游松财, 李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算- 以江西省泰和县灌溪乡为例[ J]. 自然资源学报, 1999, 14( 1): 62- 68.

[ 25] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[ J]. 水土保持学报, 2000, 16( 2): 19- 24.

[ 26] 倪九派, 傅涛, 李瑞雪, 等. 应用 ARC/INFO 预测芋子沟小流域土壤侵蚀量的研究[ J]. 水土保持学报, 2001, 15( 4): 46- 50.

[ 27] 徐天蜀, 彭世揆, 岳彩荣. 基于 GIS 的土壤侵蚀评价研究[ J]. 南京林业大学学报( 自然科学版), 2002, 26( 4): 43- 46.

[ 28] 陈一兵. 土壤侵蚀建模中 ANSWERS 及地理信息系统 ARC/ INFOR 的应用研究[ J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3( 2): 1- 13.

[ 29] 马修军, 谢昆青. GIS 环境下流域降雨侵蚀动态模拟研究- 以 PCRaster 和 LISEM 模型为例[ J]. 环境科学进展, 1999, 7( 5): 137- 144.

[ 30] 李清河, 孙宝平, 孙立达. 黄土区小流域土壤侵蚀系统模拟的研究[ J]. 水土保持学报, 2002, 16( 3): 1- 4.

[ 31] 卫海燕, 张科利, 王敬义. 分布式侵蚀预报模型中网格面积的选定- 以黄土高原丘陵沟壑区为例[ J]. 地理研究, 2002, 21( 5): 578- 584.

[ 32] 曹瑜, 杨志峰, 袁宝印, 等. 基于 GIS 黄土高原土壤侵蚀因子的厘定[ J]. 水土保持学报, 2003, 17( 2): 93- 96.

[ 33] 李锐, 杨勤科. 空间信息技术在水土保持规划中的应用[ J]. 水土保持通报, 1999, 16( 1): 114- 118.

[ 34] 门宝辉. VB5. 0 在初步开发小流域水土保持规划信息体统中的应用[ J]. 水土保持通报, 1999, 19( 6): 36- 38.

[ 35] 史志华, 蔡崇法, 丁树文, 等. 基于 GIS 和 RUSLE 的小流域农用地水土保持规划研究[ J]. 农业工程学报, 2002, 18( 4): 172- 175.

[ 36] 刘高焕, 刘俊卫, 朱会义. 基于 GIS 的小流域地块单元划分与汇流网络计算[ J]. 地球科学进展, 2002, 21( 2): 139- 145.

[ 37] 杨联安, 杨凯. GIS 软件在小流域规划与管理中的应用初探[ J]. 西北大学学报( 自然科学版), 2002, 32( 6): 672- 676.