

文章编号:1005-0523(2006)04-0015-03

锚索锚杆联合加固高边坡方案优化研究

朱光涛,刁心宏,官 伟

(华东交通大学 土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:针对长锚索—短锚杆联合加固高陡边坡方案优化研究,提出了位移安全储备度这一新概念,并引入经济学中性价比即效益与消耗之比作为优化指标.基于上述概念,提出了一种新的优化评价体系,并给出了优化公式.

关键词:长索锚;短锚杆;联合加固;高边坡;优化;性价比;位移安全储备度

中图分类号:TU3

文献标识码:A

1 引言

边坡工程加固的优化分析对于节省工程造价和提高工程安全性有着极其重要的作用.传统的评价体系^[1]是以安全指标为唯一评价标准,这些评价指标包括安全系数、安全概率、位移、能量等.这些评价方法都是“一刀切”的做法,即大于安全阈值即为安全,并在此基础上,优化经济指标.这样做似乎太绝对,因为安全和危险本身属于一模糊问题,安全相对于更安全即为危险,危险相对于更危险就是安全,这一现象在工程中表现为边坡的重要等级不同,其安全储备度也不同.

本文将提出一种基于技术经济学性价比^[1]、灰色系统理论^[2]中的默认原理和模糊数学^[3]、位移安全储备度评判的边坡加固优化评价新方法.

2 优化评价方法

2.1 几个概念

(1) 绝对危险状态:指坡体处于临界平衡时的状态,即安全系数 $FS=1$ 的状态.所有存在暂时稳定的、安全系数大于1边坡均不属于此状态.

(2) 绝对安全状态:处于稳定状态,在所设计的加固方案中,使边坡处于最稳定安全性最高的一个状态.按照灰色

系统理论中默认承认原理,若没有出现比现有更稳定更安全的状态,则认为目前状态最安全.只有找到更稳定的状态,则此状态自动转入相对安全状态或相对危险状态.当安全度足够高时,即可.

默认承认原理的内容:若没有理由认为P不成立,则默认为P成立.它有如下性质:

a. 暂时性:在默认原理下,对P的承认是暂时的,当肯定理由出现时,默认承认转化为承认,当否定理由出现时,默认承认转化为否认.当默认转化为确认时,暂时性消失.

b. 信息不完备性:默认承认是在缺少足够认定信息下的承认.

c. 不确定性:默认为不确定的承认.在同样P下,默认承认的内容越多,默认知的确定性越大,因为默认承认的内容越多,以为着P不成立的理由(至少是暂时的)越少.

(3) 相对最经济:在所有加固后稳定的方案中,费用最高,即认为此方案最经济.

(4) 绝对经济:所有加固后稳定的方案中,费用最低,即认为此方案最经济(默认承认原理).

(5) 安全储备度:位移安全储备值和最大位移安全储备值比值,即 $\frac{D}{\max D}$.安全储备度 $u_s(ij)$ 与安全系数 F_s 和破坏概率的区别如下:

安全系数 F_s 是指通过极限平衡分析法,计算出的可能滑动面上的综合抗滑力与综合下滑力的比值.理论上下限为1,没有上限,但实际是有上限的,因为任何岩体或土体在地

收稿日期:2006-01-08

作者简介:朱光涛(1982-),男,湖北襄樊人.

质条件和施工因素一定的情况下,不可能无限制的承受外力,即使这种外力是利坡体稳定的抗滑力也是如此。

安全储备度 $u_s(\ddot{y})$:是一种安全程度大小的评价指标,理论上其下限 0 对应于临界平衡状态,其上限 1 对应于坡体各分指标都处于最高水平,如没有节理,弹性参数和强度参数处于可能的最好水平时,坡体在自然沉降固结后的状态。

可靠概率:是指基于影响安全的因素的概率分布所得到的一个概率函数值。

安全系数法是基于力的分析方法,安全储备度是基于边坡位移分析方法,他们间有紧密的联系,也有很大的区别。他们的关系类似于广义塑性力学中应力和应变的关系。安全储备度和工程有更为直接的联系,便于使用。同时安全储备度在概念上更接近于可靠概率,但二者区别在于其基础不一样。安全储备度基于灰理论的默认原理和位移安全判别法则,而可靠概率基于安全因素变量的概率分布。安全储备度兼有二者优点。

2.2 评价指标

1) 评价指标建立基本思路

本文采用边坡安全储备度作为安全评价指标,以支护成本的经济程度作为经济指标,以性价比,即安全指标和经济指标的比值的高低作为优化的指标。按下列方法完成优化评价。

第一步:根据文献[3]中计算的结果,计算出由于加固作用所提高的安全储备位移,这里以加固后的边坡整体平均位移量和开挖后不加固时绝对危险状态(即极限平衡态时)的边坡平均位移量差值的相反数作为安全储备位移。绝对危险状态的边坡平均位移量也就是文献[4]中边坡判据中的安全阈值。关于安全阈值的取得问题,这里采用专家评议的方法给出。因为边坡的问题是个极其复杂的工程问题,有很多问题尚不明确,所以根据专家的经验评判出来的安全阈值应该具有最高的可信度。

第二步:用安全阈值作为安全“筛子”,筛除掉不安全的加固方案,保留安全的方案,同时计算保留方案的经济成本。

第三步:计算保留的安全方案的安全指标——安全储备度 $u_s(\ddot{y})$,计算相应的经济指标——经济程度 $u_c(\ddot{y})$ 。

第四步:计算其性价比 $F_V(\ddot{y})$,即安全指标和经济指标比值,并找出性价比和安全储备度的关系, $F_V(\ddot{y}) = f[u_s(\ddot{y})]$ 。

第五步:在地质因素、开挖因素一定的情况下,根据人们的需要,给出安全储备度 u_s ,便可找到性价比最优的加固方法。

第六步:因为性价比 F_V 是地质因素、加固参数及安全储备度的函数,所以可以在地质因素—开挖因素—支护因素组成的总样本空间内拟合 F_V 与地质因素、加固参数及支护因素的函数关系,以便在地质因素—加固参数—支护因素大系统内建立优化模型。

2) 公式表述

$$D(\ddot{y}) = [D(i) - D_0(\ddot{y})]$$

其中:

$D(\ddot{y})$ —由于加固作用所减少坡体平均位移量

$[D(i)]$ —专家评议出的安全阈值

$D_0(\ddot{y})$ —加固坡体后稳定时的平均位移量

i —地质因素、开挖因素组合编号

j —地质因素、开挖因素组合编号

如果 $D(\ddot{y}) > 0$, 则保留,同时计算相应的经济指标。

$$C(\ddot{y}) = K_1 N_{bolt} + K_3 L_{cb}, \text{ 如果 } L_{bolt} = 2 \text{ m}$$

$$C(\ddot{y}) = K_2 N_{bolt} + K_3 L_{cb}, \text{ 如果 } L_{bolt} = 3 \text{ m}$$

其中: $C(\ddot{y})$ —经济成本(单位:元)

K_1 —2 米长锚杆总成本,

K_2 —3 米长锚杆总成本,

K_3 —每米锚索的总成本,

N_{bolt} —锚杆根数

L_{bolt} —锚杆长度

L_{cb} —锚索总长度

$$u_s(\ddot{y}) = D(\ddot{y}) / \max\{D(\ddot{y})\}$$

$$u_c(\ddot{y}) = \frac{C(\ddot{y}) - \min\{C(\ddot{y})\}}{\max\{C(\ddot{y})\} - \min\{C(\ddot{y})\}}$$

$$F_V(\ddot{y}) = \frac{u_s(\ddot{y})}{u_c(\ddot{y})}$$

如果 $D(\ddot{y}) \leq 0$ 则

$$u_s(\ddot{y}) = 0, F_V(\ddot{y}) = 0$$

其中: $u_s(\ddot{y})$ —安全储备度

$u_c(\ddot{y})$ —经济程度

$F_V(\ddot{y})$ —性价比

2.3 锚索锚杆联合加固高边坡方案优化

(1) 优化的数学模型

选取设计变量,列出目标函数,给定约束条件,然后便可构造最优化设计的数学模型。即在满足给定的约束条件(决定 n 维空间 E^n 中的可行域 U)下,选取设计变量 X ,使其目标函数 $f(X)$ 达到最优值。其数学表达式为:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T, X \in U \subset E^n$$

在满足约束方程 $h_v(x) = 0, v = 1, 2, \dots, p$ 及 $g_u \leq 0, u = 1, 2, \dots, m$ 的条件下,求目标函数 $f(X)$ 的最优值。

目标函数的最优化值一般可用最小值(或最大值)的形式来体现。因此最优化设计的数学模型可简化表示为:

$$\min f(X), X \in U, U \subset E^n$$

$$s.t. h_v(x) = 0, v = 1, 2, \dots, p$$

$$g_u \leq 0, u = 1, 2, \dots, m$$

式中: X 是 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 组成的向量, $\min$ 表示极小化, $s.t.$ 表示满足约束条件, $h_v(x)$ 为等式约束条件, p 表示其数目, $g_u \leq 0$ 表示不等式约束条件, m 表示其数目。

(2) 建立地质因素—开挖因素—支护因素大系统内的加固优化模型

优化模型公式

因为评价指标 F_V 是安全指标和经济指标的综合体现,而安全指标又是地质因素、开挖因素和加固方案的函数,所

以 F_V 也是地质因素、开挖因素和加固方案的函数,用公式表述如下:

$$F_V=f(u_s, E, c_j, \varphi_j, \beta_j, H, \alpha, BL, BD, CL, CD, \dots)$$

其中: F_V —性价比

u_s —安全储备度

E —岩块的弹性模量,体现岩性的影响

c_j —节理粘聚力

φ_j —节理摩擦角

β_j —节理倾角

H —坡高

α —边坡倾角

BL —锚杆长度

BD —锚杆间距,体现布置锚杆密度

CL —锚索长度

CD —锚索间距,体现布置锚索密度

其他因素如节理密度,锚索预应力等因素是定值,这里无法体现出来.另外还有水的因素没有考虑,目的都是为了有效简化模型.

在地质因素、开挖因素一定时,在给定需要的安全储备度的情况下,加固优化可表示为:

$$\frac{\partial F_V}{\partial BL}=f_1(BL, BD, CL, CD)=0$$

$$\frac{\partial F_V}{\partial BD}=f_2(BL, BD, CL, CD)=0$$

$$\frac{\partial F_V}{\partial CL}=f_3(BL, BD, CL, CD)=0$$

$$\frac{\partial F_V}{\partial CD}=f_4(BL, BD, CL, CD)=0$$

用张量表示如下:

$$F_{v,j}=f_i=g_i+K_{ij}X_j=0(i,j=1,2,3,4)$$

$$\text{求解得:}[X_j]=-[K_{ij}]^{-1}\times[g_i]$$

$[X_j]$, $[K_{ij}]$, $[g_i]$ 都表示相应的矩阵

上述方程组,可得到特定地质条件下,给定安全储备度的最优化 BC 加固方案.

3 结论

本章重点研究长锚索短锚杆联合加固高陡岩质边坡方案优化.其理论基础是建立在大规模样本空间实验模拟的基础上,运用了灰色系统和统计学手段,从中找出地质因素—开挖因素—支护因素大系统内的优化规律.并得出如下成果:

(1) 提出了位移安全储备度的概念.位移安全储备度为位移安全储备值和最大位移安全储备值比值,即 $D/\max D$.它是一个既不同于安全系数,也不同于安全可靠度的概念,但兼有二者优点.

(2) 把工程技术经济学里的性价比 F_V 引用到了优化分析中,并在此基础上提出了一种新的优化评价体系.

参考文献:

[1] 石兴国,毛良虎,丁云伟.技术经济学[M].北京:中国电力出版社,2004.
[2] 邓聚龙著,灰色理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
[3] 谢季坚,刘承平编,模糊数学[M].武汉:华中科技大学出版社,2000.
[4] 沈良峰,廖继原,张月龙.边坡稳定性分析评价方法综述,矿业研究与开发[J].2005,2.
[5] 刘宏友,等.MATLAB 6[M].重庆:重庆大学出版社,2004.

Research to Coreinforceent High Slope with Shaort Bolts and Longcables Scheme Optimization

ZHU Guang-tao, DIAO Xin-hong, GUAN wei

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract :Paper here, having analyzed the optimization of possible choice of reinforcement with blot and cable, has creat-ed a new conception(ratio of displacement security reserve), and has introduced ratio, which, yield/consumption, is used usually in Economics, as aim of the optimization. Based on above it has put forword a new optimization evaluation system, has araised a fomulation of optimization.

Key words : short-bolt ; long-cable ; coreinforcement ; high-slope ; optimization ; yield / consumption ; ratio of displacement se-curity reserve