

预应力锚索加固粘性土坡设计分析

孙 凯 孙学毅

(海南海凯岩土工程有限公司 海南海口 570206)

摘 要: 本文采用极限分析法导出求解粘性土坡稳定角试算公式。提出锚固粘性土坡要进行锚固系统的稳定性分析并引用设计实例, 验算锚固系统稳定性分析结果。

关键词:

1 问题提出

采用锚索加固粘性土坡传统设计是求出滑动面上总下滑力 S 和总抗滑力 R , 然后求出安全系数 $K=R/S$, 当 K 大于规范要求值时设计完成。上述设计思路并未考虑锚固系统的稳定性。工程实践表明, 长期曝露于自然界的土坡即使没有挖方、切坡脚等因素扰动也会因土的结构逐渐崩解或因透水层中孔隙水压力的增大而导致失稳。2008年中国四川汶川大地震导致多处锚索加边坡破坏。基于上述工程背景, 本文提出锚索加固粘性土坡要进行锚固系统稳定性分析的观点。

2 求解思路

如图1所示 OD 为一直立土坡, OF 为稳定角为 θ 的滑动面。 T_1 、 T_2 为二道预应力锚索, A 、 B 为锚索内锚端。当锚固系统失稳时最可能的滑裂面为 $OABC$ 。

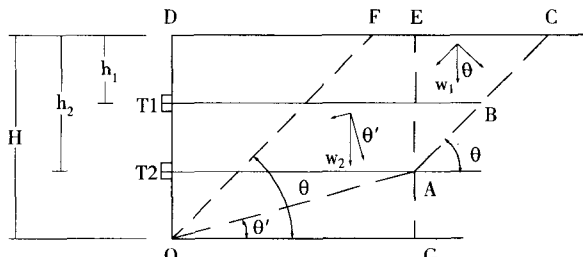


图1 锚固系统失稳状态

分析图1, 可把锚固系统失稳滑体分解为两块, 即 $OAED$ 块和 $ABCE$ 块。 $OAED$ 块的稳定角 $\theta' < \theta$, 因此是稳定的, 称稳定块。 $ABCE$ 块稳定角为 θ , 处于临界状态称转移块(不稳定块)。令锚索水平锚固, 二道锚索锚固段长度相等。进一步分析可以看出锚索锚固段越长, 转移块大小不变, 而稳定块增大; 这就说明锚索锚固长度对土坡稳定性的影响。

本文基于上述图示进行极限分析, 求出安全系数 K' , 要求 $K' \geq K$ 。若 $K' < K$, 须加长锚固段, 使 K' 不小于 K !

3 问题求解

某直壁土坡高10m, 已知 $\gamma=18\text{kN/m}^3$, $C=25\text{kPa}$, $\phi=24^\circ$ 。

3.1 求解稳定角 θ 值

如图2所示:

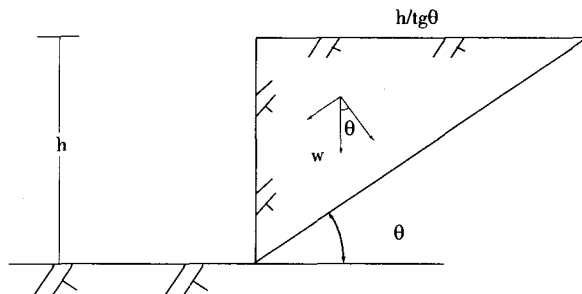


图2 滑体极限平衡

$$W \cdot \sin\theta = W \cdot \cos\theta \cdot \tan\phi + ch / \sin\theta \quad (1)$$

$$\text{式中: } W = \frac{\gamma H^2}{2} \cdot \frac{\cos\theta}{\sin\theta}$$

W 值代入(1)式得:

$$\cos\theta \cdot (\sin\theta - \alpha \cos\theta) - \beta = 0 \quad (2)$$

$$\text{式中: } \alpha = \tan\phi, \beta = \frac{2C}{\gamma h}$$

可用(2)式试算求解 θ 值。一般 $\theta > \phi$, 则

$$\theta' = 30^\circ \quad \Delta = -0.230$$

$$\theta' = 35^\circ \quad \Delta = -0.107$$

$$\theta' = 37^\circ \quad \Delta = -0.081$$

$$\theta' = 39^\circ \quad \Delta = -0.058$$

$$\theta' = 41^\circ \quad \Delta = -0.036$$

$$\theta' = 43^\circ \quad \Delta = -0.017$$

$$\theta' = 45^\circ \quad \Delta = -0.001$$

$$\theta' = 46^\circ \quad \Delta = +0.007$$

$$\text{取 } \theta = 45^\circ$$

3.2 求解滑动力S

取宽度1.0m单元, 则

$$W = 18 \text{ kN/m}^3 \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} / 2 \cdot \cos 45^\circ / \sin 45^\circ \\ \times 1.0 \text{ m} = 900 \text{ kN}$$

$$S = 900 \text{ kN} \times (\sin 45^\circ - \cos 45^\circ \cdot \tan 24^\circ) \\ = 353 \text{ kN}$$

3.3 按传统模式进行锚索锚固设计

3.3.1 基础数据

钻孔直径135mm, 水平锚固, 锚固体与孔壁粘结力60kPa, 安全系数1.3。

3.3.2 确定锚固段总长度

$$L = 1.3 \times 353 \text{ kN} / 60 \text{ kN/m}^2 \times 0.135 \text{ m} \times 3.14 = 18 \text{ m}$$

3.3.3 锚固系统布置

设置2道锚索, 第一道 $h_1 = 3.5 \text{ m}$, 第二道 $h_2 = 7 \text{ m}$ 。2道锚索锚固段长度相等为9m, 由此求得 $L_1 = 15.5 \text{ m}$, $L_2 = 12 \text{ m}$ 。

3.4 考虑锚固系统稳定性设计锚索

如图3所示, 当锚固系统失稳时沿OABC滑移。显然滑移体OAED是稳定的, 因为角 θ' 小于稳定角 θ ; 而滑移体ABCE是不稳定的, 因为滑移角等于 θ 角。当我们进一步观察可看出加长锚索锚固段长度, 滑移块大小不变而稳定块增大。因此增加锚索锚固段长度使稳定块增大, 从而会满足锚固系统稳定的要求。

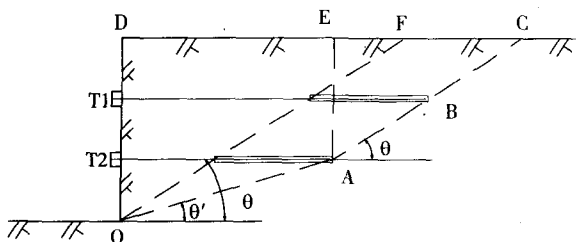


图3 锚固系统稳定分析

现分析如下:

① 不稳定块ABCE产生的下滑力

$$S = W_1 (\sin \theta - \cos \theta \cdot \tan \phi)$$

$$W_1 = \gamma \cdot h_2^2 / 2 \tan \theta$$

$$= 18 \text{ kN/m}^3 \times 7 \text{ m}^2 / 2 \tan 45^\circ = 441 \text{ kN}$$

$$S = 441 \text{ kN} \times (\sin 45^\circ - \cos 45^\circ \cdot \tan 24^\circ) = 173 \text{ kN}$$

② 稳定块OAED产生的抗滑力

$$R = W_2 (\sin \theta' - \cos \theta' \cdot \tan \phi)$$

$$\tan \theta' = (H - h_2) / L_2 = (10 \text{ m} - 7 \text{ m}) / 12 \text{ m} = 0.25$$

$$\theta' = 14^\circ$$

$$W_2 = \gamma \cdot (H + h_2) / 2 \times L_2$$

$$= 18 \text{ kN/m}^3 \times (10 \text{ m} + 7 \text{ m}) / 2 \times 12 \text{ m}$$

$$= 1836 \text{ kN}$$

$$R = 1836 \text{ kN} (\sin 14^\circ - \cos 14^\circ \cdot \tan 24^\circ)$$

$$= -349 \text{ kN}$$

$$K' = 349 \text{ kN} / 173 \text{ kN} = 2.02 > K$$

上述计算表明锚固系统是稳定的。

4 讨论

(1) 本文提出的考虑锚固系统稳定设计观点固然是抛砖引玉, 但笔者认为这个思路是重要课题, 值得今后进一步研讨。笔者还认为这个课题, 不单对粘性土坡锚固设计具有重要意义, 对岩体边坡锚固设计也具有同样重要意义。特别是采用大吨位预应力锚索加固岩体边坡时, 由于岩体存在节理、裂隙, 很可能在锚固体端部发生破坏导致边坡失稳。

(2) 本文仅讨论了二道锚索锚固段等长($l_1 = l_2$)布置场合。当采用 $l_1 > l_2$ 布置锚索时稳定块的滑移角度增大, 稳定块分解的下滑力也增大, 不利于锚固系统稳定。当采用 $l_2 > l_1$ 布置锚索时, 稳定块的滑移角变小, 稳定块分解的下滑力也小, 有利于锚固系统稳定。这一观察提示我们锚索布置方式对锚固系统稳定具有重要影响。

(3) 考虑锚固系统稳定设计所揭示的锚索布置要点与传统锚固设计锚索布置遵守的要点是一致的。比如传统锚固设计第一道锚索最大高度不超过 $H_0 = \frac{2c}{\gamma} \tan(45^\circ + \phi/2)$ 。考虑锚固系统稳定设计第一道锚索位置 h_1 过大时不稳定块会增大, 对锚固系统稳定不利。又比如传统锚固设计强调在土坡高度2/3处设置第二道锚索, 要求第二道锚索要加强锚固, 因为此处是土压力的合力点。考虑锚固系统稳定设计第二道锚索锚固段加长会使稳定块滑移角变小, 有利于锚固系统稳定。

本文承蒙河南大学傅作新教授审阅