

The application of Plaxis in pile-anchor combined support

Qiang Zhao Liang Rao

1. Sichuan Zhongding Luda Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China
2. Huajie Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

With the construction and development of expressways, the height of slopes has been increasing. The combined support of anti - slide piles and anchor cables has been widely used in engineering. Combining with actual engineering cases, by using Plaxis and reasonably selecting the constitutive model, the stability coefficient and deformation of slopes supported by anti - slide piles and anchor cables were analyzed. The analysis results show that, compared with using only anti - slide piles, the combined support of anti - slide piles and anchor cables can reduce the scope of the tension zone and plastic zone of the slope, which is beneficial to improving the slope stability. At the same time, through the analysis of deformation coordination, the magnitudes of the forces acting on the anti - slide piles and anchor cables can be determined. By adjusting the prestress of the anchor cables, the force distribution on the anti - slide piles and anchor cables can be made more reasonable, which plays a certain role in the optimization of anchor cables and anti - slide piles.

Keywords

Anti-slide Pile; anchor cable; slope support; Plaxis

Plaxis 在桩锚联合支护中的运用

赵强 饶亮

1. 四川中鼎路达工程咨询有限公司，中国·四川 成都 610000
2. 华杰工程咨询有限公司，中国·北京 100000

摘 要

随着高速公路的建设开发，边坡高度越做越大，采用抗滑桩与锚索支护已经在工程中广泛运用，结合工程实际案例，利用 Plaxis 合理选择本构模型，对抗滑桩和锚索支护的边坡稳定系数和边坡变形进行了分析，分析结果表明，与单纯的抗滑桩相比，抗滑桩与锚索的联合支护可以缩小边坡张拉区和塑性区的范围，对提高边坡的稳定有利，同时经过分析可通过变形协调明确作用于抗滑桩以及锚索上力的大小，可调节锚索预应力大小使得抗滑桩与锚索受力更加合理，对锚索以及抗滑桩的优化有一定作用。

关键词

抗滑桩；锚索；边坡支护；Plaxis

1 引言

随着中国高速公路快速增长，边坡工程越来越多，通常采用抗滑桩与锚索进行支护，抗滑桩通常是悬臂式的，因此桩身承受的弯矩很大。为了降低弯矩，节省材料，近年来广泛采用锚拉抗滑桩的支挡方式，即在悬臂抗滑桩上部施加预应力锚索，也称为锚拉桩。锚拉抗滑桩也可采用传统方法进行设计，但精度相对较低，尤其是无法得知桩上推力与抗力的分布形式，更无法进行锚拉抗滑桩的优化，而采用有限元强度折减法则能较好地解决上述问题。本文主要结合实际工程，利用桩锚相互作用对边坡桩锚支护结构的受力和变形特性进行研究。

2 有限元法与传统方法计算区别

传统计算方法与现代计算方法在理念上存在显著差异。传统方法依赖于极限分析，计算出的推力为主动土压力；而现代方法则基于土体与支挡结构的相互作用，认为只要土体发生变形，无论其是否稳定或处于弹性状态，都会对支挡结构产生压力，这种压力被称为弹性形变压力。按照传统方法，此时土压力为零。随着支挡结构的位移，土压力会逐渐变化。当支挡结构为刚性时，土压力表现为静止土压力；随着位移的增加，土压力逐渐减小，直至土体达到极限状态，土压力转化为主动土压力。静止土压力为最大值，而主动土压力为最小值。若支挡结构允许足够的位移，现代方法中的有限元强度折减法与传统方法一样，计算出的推力也是主动土压力；反之，推力将大于主动土压力。此外，有限元强度折减法还能计算支挡结构上的抗力、推力及其分布规律，同

【作者简介】赵强（1986-），男，中国四川广元人，本科，工程师，从事道路设计研究。

时可以确定抗滑桩的合理长度，以及有支护条件下边坡或滑坡的安全系数等。然而，在支挡结构设计中，通常希望滑坡推力尽可能小，这就要求合理设计抗滑桩并选用符合实际的岩土体参数。依据以往的设计经验，只要参数和安全系数取值合理、计算正确，一般情况下采用有限元强度折减法算出的滑坡推力可与传统方法相当，因而在采用有限元法进行设计计算时可采用传统方法进行验证^[1]。

表 1 边坡地层参数表

岩土名称	容重 (kN/m ³)	粘聚力 C(kPa)	内摩擦角 φ°	变形模量 E(KPa)	泊松比 μ
粉质黏土	19	20	20	3720	0.35
全风化硅质岩	19.2	24	26	4440	0.35
强风化硅质岩	24.5	50	30	4540	0.30
中风化硅质岩	26.7	100	36	4650	0.30

将滑体强度参数按安全系数 1.2 进行折减，然后计算桩的内力，例如： $C=20/1.2=16.7, \tan 20^\circ / 1.2=\tan 16.87^\circ$ ，

4 参数的设置

在输入 PLaxis 软件时，按照《有限元分析法在边坡中的应用》提到，模型边界应取坡角到左端边界的距离为坡高的 1.5 倍，坡顶到右端边界的距离为坡高的 2.5 倍，且上下边界总高不低于 2 倍坡高时，计算精度较为理想。剪胀角可取内摩擦角 φ 值的一半，本案例中锚索和抗滑桩的间距均为 5.0m，PLaxis 中平面应变计算宽度只有 1m，在计算预应力锚索与抗滑桩的安全系数时，将岩土重度乘以 5；同时为了保证原有稳定安全系数不发生偏差，将岩土体以及结构面的黏聚力也乘以 5，即保证 γ/c 不发生变化。

由于 PLaxis 二维分析采用的是平面应力、应变分析，对预应力锚索框架横梁的模拟难以实现。考虑到框架的力学作用主要是将锚索锚固力传递给岩土体，同时将边坡岩土体的侧向压力传递给锚索，由于横梁的作用增加了框架的刚度，因此本次分析时采用一个等效分析的办法，即将框架中竖肋的惯性矩乘以 1.5，以此来考虑横梁的作用^[2]。

抗滑桩的惯性矩可根据以下公式或得

圆形截面 I_0 按式(13)计算：

$$I_0 = \frac{W_0 d_0}{2}, W_0 = \frac{\pi d}{32} [d^2 + 2(\alpha_E - 1)\rho_s d_0^2]$$

矩形截面 I_0 按式(14)计算：

$$I_0 = \frac{W_0 b_0}{2}, W_0 = \frac{b}{6} [b^2 + 2(\alpha_E - 1)\rho_s b_0^2]$$

锚索的组合弹性模量可根据以下公式或得

E_s —— 杆体弹性模量 (kN/m²)；

E_m —— 注浆体弹性模量 (kN/m²)；

E_c —— 锚固体组合弹性模量， $E_c = \frac{AE_s + (A_c - A) E_m}{A_c}$ ；

3 边坡基本情况

本文研究边坡位于鹿寨 - 钦州港公路横县至钦州港段灵山县内，该段边坡总高度约 40.72m，坡脚采用 20m 长 φ2.2m 抗滑桩进行支护，第一、二、三级边坡采用锚索框架护坡，坡率 1:1.0，第四级边坡采用拱形骨架护坡，坡率 1:1.0，分级高 8m，边坡平台宽 1.5m，每级边坡平台均设平台截水沟，平台采用 10cm 厚 C20 混凝土封闭处理。边坡地层参数如下：

5 PLaxis 程序中求解

在 PLaxis 中求模拟边坡开挖过程由 10 部分组成，工序 (1)：进行原位状态重力激活；工序 (2)：开挖五级边坡，并激活框架梁；(3)：开挖四级边坡；(4)：施做四级锚索，并施加预应力；(5)：开挖三级边坡；(6)：并施做三级锚索，并施加预应力；(7)：开挖二级边坡；(8)：并施做二级锚索，并施加预应力；(9)：施做抗滑桩并开挖一级边坡；(10)：施工抗滑桩锚索并施加预应力。

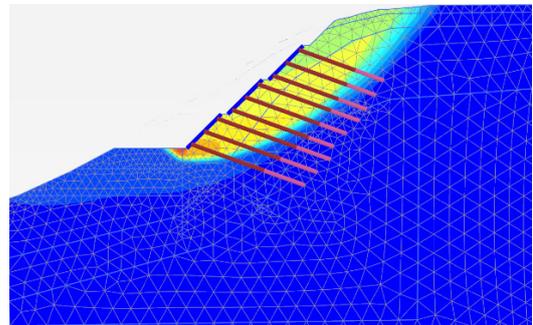


图 1 开挖至二级边坡塑性图

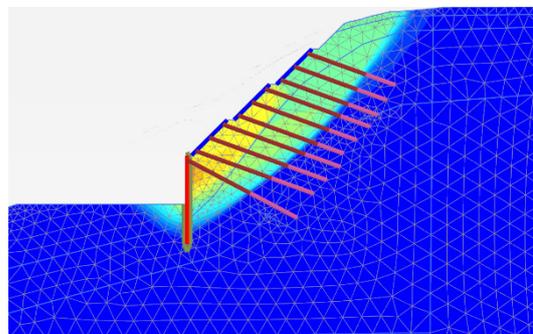


图 2 开挖至一级边坡塑性图

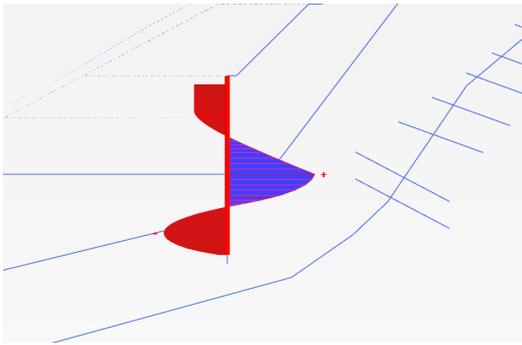


图 3 抗滑桩剪力分布图

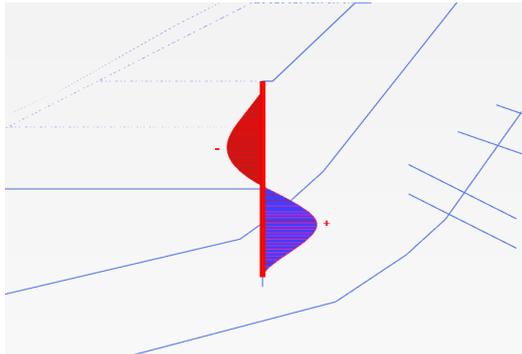


图 4 抗滑桩剪力弯矩分布图

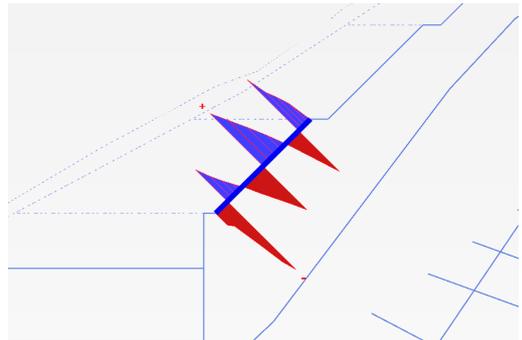


图 5 框架梁剪力分布图

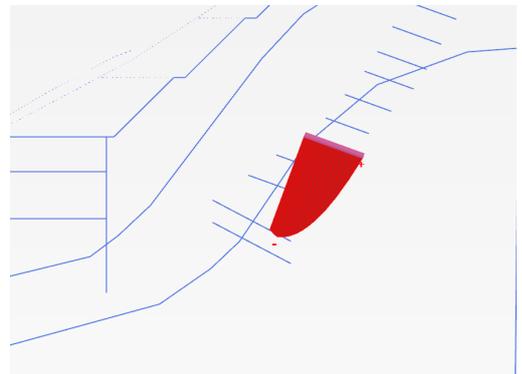


图 6 锚索锚固段轴力分布图

有限元数值模拟揭示了影响框架竖肋弯矩的若干关键

因素，包括锚索的锚固力、框架下覆岩土体的弹性模量以及竖肋的截面积等。研究表明，锚固力的增加会导致竖肋弯矩的增大；而框架下覆岩土体的弹性模量越小，竖肋弯矩则越大；同时，竖肋截面积的增加会提高其刚度，进而使竖肋弯矩增大。此外，对竖肋与岩体之间土压力分布规律的分析显示，框架节点处的土压力较大，尤其是在边坡岩体弹性模量较高的情况下更为显著。传统方法因采用不同的滑坡推力分布形式，导致计算结果存在较大差异。有限元强度折减法的计算结果与传统方法中假定滑坡推力为矩形分布时的结果较为接近，而采用三角形分布假定时，计算结果则偏于保守。通过施加锚索锚固力后，桩上的弯矩和剪力均显著减小，这表明锚索与抗滑桩的联合使用有效改善了桩的受力状态，使其从被动受力转变为主动加固，从而显著减小了桩的截面积和埋置深度，节约了工程材料并降低了造价。锚固力的大小对桩的内力有重要影响，设计中可通过多方案对比进行优化，以实现结构的经济性与安全性。然而，在实际应用中需注意合理控制锚固力的大小及其分布，以避免因过度加固而导致不必要的浪费或潜在风险，实际工程中锚固力会随时间而松弛，不易控制，而且锚固点的位置在施工中也不能做到绝对准确，因而优化后算得的内力应酌情增大^[3]。

6 结语

本文结合算例，利用 Plaxis 进行模拟边坡开挖支护，有限元数值模拟结果清晰地表明，锚索与抗滑桩的联合使用显著改善了桩的受力状态，使其从传统的悬臂被动受力转变为主动加固状态。这种转变不仅优化了桩的受力性能，还使得桩的截面积和滑动面以下的埋置深度得以显著减小。具体而言，锚索通过施加锚固力，有效分担了桩体承受的滑坡推力，从而大幅降低了桩身的弯矩和剪力。这种协同作用不仅提升了结构的整体稳定性，还显著减少了工程材料的用量，降低了工程造价。此外，锚固力的大小对桩的内力分布具有重要影响，设计中可通过多方案对比优化锚固力的施加方式，以实现结构的经济性与安全性的最佳平衡。然而，在实际工程中，需注意合理控制锚固力的分布和大小，以避免因过度加固而导致资源浪费或潜在风险。同时明确作用于支护结构的大小，以及分布规律，及时调节锚索预应力与支护强度，使得桩锚结构受力合理。

参考文献

- [1] 郑颖人,赵尚毅,李安洪,唐晓松[M].有限元极限分析法及其在边坡中的应用,2011.05
- [2] 年廷凯[M].桩-土-边坡相互作用数值分析及抗滑桩设计计算方法. 2014.09
- [3] {英}David M.Potts Lidija Zdravkovic[M].岩土有限元分析:应用. 2012.07