

预应力锚索框架梁边坡支护数值模拟

邵 勇¹, 覃仁辉²

(1 南京大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210093; 2 贵州大学 土木建筑工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 基于贵阳市小河区某公路滑坡, 拟采用预应力锚索框架梁进行治理。通过 FLAC-3D 软件对这一支护体系进行效果评价, 得出位于支挡面上部的结构体系受力较大, 其中竖梁所受弯矩要大于横梁, 运用时宜加强竖梁的设计。支挡面顶部的滑体位移要大于底部, 由于锚索不能承受压力, 致使框架梁发生转动, 因此设计时宜把底部一排的锚索换成全黏结锚杆。锚固长度为 6 m 时支护效果最佳, 增大锚固长度对支护效果没有实质性的提高。

关键词: 滑坡; 预应力锚索; 框架梁; 锚固; 数值模拟; FLAC-3D

中图分类号: TU45; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)03-0307-04

Numerical Simulation of Slope Supporting for Prestressed Anchor with Frame Beam

SHAO Yong¹, QIN Ren-hui²

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Guizhou University, Guiyang 550003, Guizhou, China)

Abstract: Prestressed anchor with frame beam was used to evaluate the stability of the highway landslide in Xiaohe District, Guiyang City. The slope supporting system was evaluated by the software FLAC-3D. The results showed that the stress of structure system on the top of supporting surface was larger than that on the bottom, flexural moment of the vertical beam was larger than horizontal beam, so the design of vertical beam should be enhanced; the landslide displacement on the top of supporting surface was larger than that on the bottom, frame beam rotated because prestressed anchor could not under stress, so the anchor on the bottom should be replaced with bonded anchor and supporting effect was best when the length of anchoring body was 6 m, and increasing the length could not improve the supporting effect.

Key words: landslide; prestressed anchor; frame beam; anchoring body; numerical simulation; FLAC-3D

0 引言

滑坡治理措施主要有抗滑桩和预应力锚索框架梁, 其中预应力锚索框架梁以其适用性和经济性在现代工程中得到广泛应用, 其设计理论近年来虽然得到很大发展, 但是目前还没有完善的理论体系出现。再加上框架梁、预应力锚索、岩土体的相互作用机理比较复杂, 对框架梁的结构设计只是采用一些近似的计算方法^[1-3], 对预应力锚索框架梁这种支护结构受力机制、岩土体在支护下变形方式都没有确切的理论支持⁴⁻⁶。基于上述原因, 笔者借助工程实例并运用 FLAC-3D 软件对预应力锚索框架梁结构进行模拟分析, 研究支护结构与滑体的受

力变形特点以及不同锚固角度、锚固长度对支护效果的影响。

1 工程概况

贵阳市小河区某公路边坡, 由于连日降雨产生滑动, 滑体位于山体斜坡的中下部, 平均厚度 13 m, 滑体总体地势东高西低, 地形坡度 10°~30°, 滑坡区自上而下为松散堆积体(包括采石弃渣、根植土、黏土、红黏土)、强风化层(包括层状白云岩、泥质白云岩)、弱风化层(包括砂岩、页岩)。滑坡区地下水类型为基岩裂隙水, 地下水埋深大于 30 m。在连续降雨数天后, 边坡上部松散堆积体产生滑动, 坡体上部出现较大裂缝, 边坡原来采用的挡土墙支护

形式已不能满足工程需要(图 1)。边坡无外部荷载仅受重力作用,安全等级为二级。

针对滑体为松散体、滑床为基岩的情况,考虑采用预应力锚索框架梁支护,支护面坡度为 50° 。框架梁横向间距为 5 m,竖向为 4 m,采用 C20 现浇砼浇筑。预应力设计值为 600 kN,锚索锚固长度为 6 m,注浆采用 M 25 砂浆。自上而下锚索长度分别为 19、17、14、11 m。锚索倾角 θ 采用最优锚固角公式^[7]

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \alpha$$

式中: φ 为滑面岩土体内摩擦角; α 为滑面倾角。计算后取倾角为 22° ,框架梁支护见图 2。为了便于说明,给出分析区域的支护结构编号,图 2 中横向代码 1~5 为竖梁编号,竖向代码 1~4 为横梁编号。锚索编号对应为 11[#] (第一行第一列锚索,下同)、21[#]、31[#]……,以此类推。

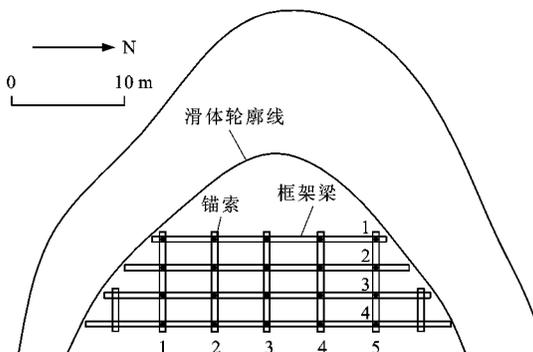


图 2 滑坡立面及支护

Fig. 2 Landslide Elevation and Supporting

2 模型构建

边坡概化模型(图 3)的尺寸为 $60\text{ m} \times 35\text{ m} \times 22\text{ m}$,滑体高度为 25 m,宽度为 22 m,边坡岩土体自上而下分别简化为松散堆积体、强风化岩层、弱风化岩层。岩土体参数见表 1。

采用新型锚索单元法^[8]模拟预应力锚索张拉、锁定工作过程,该方法与工程实际情况比较接近。模型边界条件为:对底部采用三向约束,类似于刚接;对侧边采用单向约束,类似于铰接。

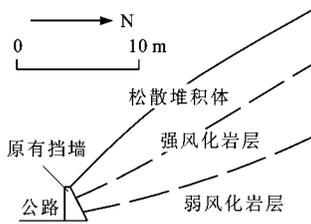


图 1 工程地质剖面

Fig. 1 Engineering Geological Profile

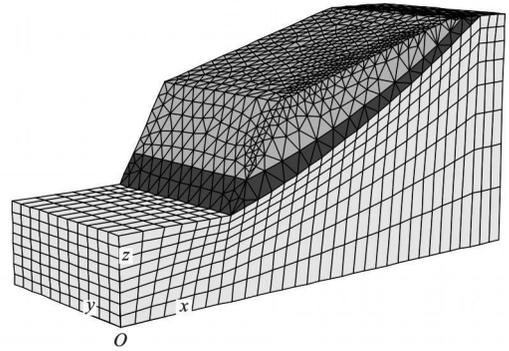


图 3 数值概化模型

Fig. 3 Numerical Estimate Model

表 1 模型选取的岩体参数

Tab. 1 Rock Parameter of Model

岩体分类	体积模量/ MPa	剪切模量/ MPa	内聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^\circ$)
松散堆积体	4.66	2.15	10	6
强风化岩层	14.7	9.27	16	12
弱风化岩层	139	104	200	27

3 计算结果分析

3.1 支挡结构与滑体变形机制分析

边坡在全断面开挖后无支挡情况下,通过 FLAC-3D 软件自带强度拆减法^[9]程序求得安全系数仅为 0.71,说明需要分段开挖实时支护。支护后安全系数为 1.33,边坡最大位移为 3.16 cm,满足工程要求。从图 4 可以看出滑体在 y 为 11 m 处沿 x 向最大位移在支护面以上一定距离,在支挡面处位移很小,仅为 0.2~0.8 cm,预应力锚索框架梁体系形成了一道锚固墙^[10],有效抵挡了滑体下滑的趋势。

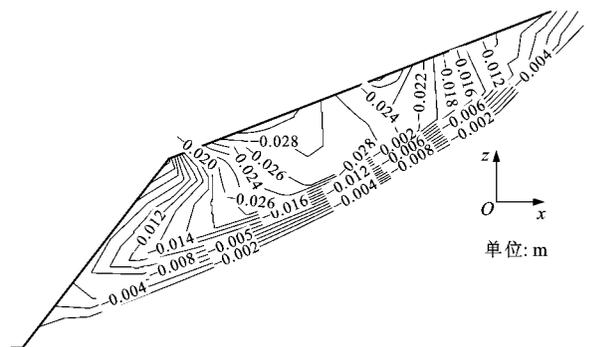


图 4 支护后滑体位移

Fig. 4 Displacement of Landslide After Supporting

图 5 为 31[#]~34[#] 锚索自由端轴力变化趋势,可以看出,31[#]~33[#] 锚索预应力值在计算过程中是先减小后增大,最后趋于稳定。这是由于锚索在锁定后有一个预应力损失的过程,随后由于位

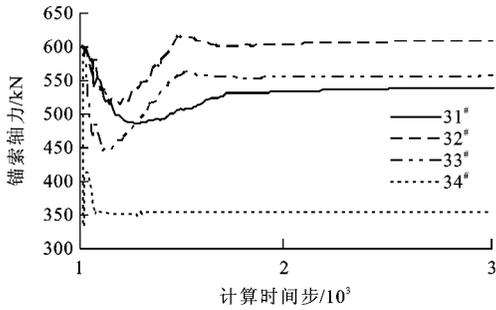


图 5 加载过程中锚索轴力变化

Fig. 5 Anchor Axial Force Variation Under Loading

移增大, 锚索被拉伸, 所以轴力也随之增大。而 34° 锚索只是减少后趋于稳定, 这是由于第四排锚索位于支护面底部, 在边坡滑动过程中, 支护面顶部位移大于底部, 底部发生了很小位移(图 4), 产生相对位移。而框架梁是一个近于刚性的整体结构, 在滑体变形过程中框架梁发生了转动(图 6), 第四排锚索发生回缩现象^[11], 导致预应力减小后没有增大, 这与 Fig. 6 Deformation of Frame Beam 实际工程相吻合。

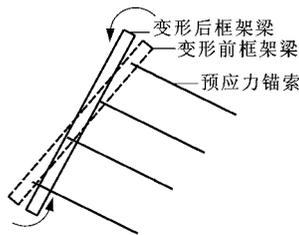


图 6 框架梁变形

从图 7 可以看出支挡面顶部 y 为 11 m 处沿 x 向位移, 先沿 x 正向增大, 再减小, 最后沿 x 负向增大至稳定, 这就可以与锚索的轴力变化相对应。预应力锚索锁定以后, 锚索带着土体产生回缩现象, 最后在重力作用下土体沿 x 负向产生滑移, 锚索应力也随之增大。该点沿 z 向位移是先沿 z 负向增大, 再减小, 最后沿 z 正向增大至稳定。这是由于滑体在重力和预应力作用下先发生沉降, 随后在支挡结构作用下被向上挤出。这种被向上挤出只是局部现象, 滑体内绝大部分区域

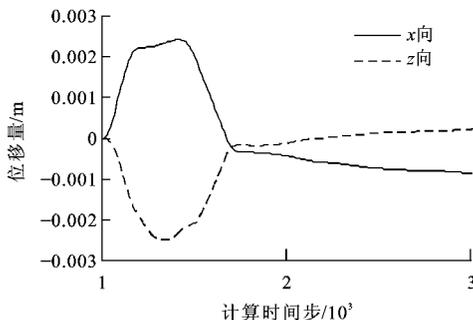


图 7 支挡面顶部位移变化

Fig. 7 Displacement Variation on the Top of Supporting Surface

的 z 向位移还是向下增大至稳定。

图 8 所列弯矩均为弯矩最大方向的数值, 即沿 z 向弯矩。可以看出竖梁的最大弯矩明显大于横梁。第一根横梁弯矩最大, 第二根次之, 第四根框架梁的弯矩要明显小于前三根横梁。这是由于框架梁对应处的锚索预应力和滑体位移不同导致在第四根出现了对称现象。第二根与第四根竖梁弯矩最大, 因为每一根竖梁对应的锚索预应力和位移没有显著差别。图 9 为第一根横梁和第二根竖梁的弯矩分布, 其他各梁与此类似, 其中竖梁中部弯矩较大。

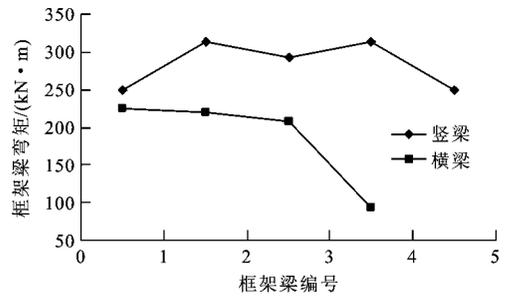


图 8 框架梁最大弯矩比较

Fig. 8 Comparison of Maximum Flexural Moment of Frame Beam

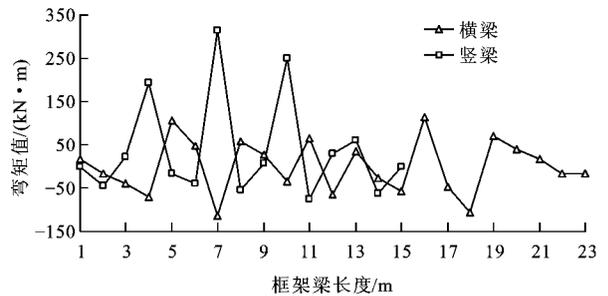


图 9 框架梁弯矩分布

Fig. 9 Distribution of Flexural Moment of Frame Beam

3.2 不同锚固角度对滑体位移及框架梁受力影响

取锚固角度分别为 18°、20°、22°、24°、26°, 其他条件不变, 进行计算分析。从图 10 可以看出, 锚固角度为 22° 时滑体位移最小。建议在实际工程中采用最优锚固角度公式进行设计计算。如果锚固角度取的过大会降低支护效果又增大锚索长度, 所以最优锚固角度的选择非常必要。从图 11 可以看出, 框架梁弯矩随锚固角度增大有增加的趋势, 在最优锚固角度 22° 处框架梁弯矩出现极值, 说明最优锚固角度不仅能保证支护效果, 还能极大发挥框架梁结构的效用。

3.3 不同锚固长度对锚索轴力影响

取预应力锚索锚固长度分别为 4、6、8、10 m, 其他条件不变, 分别进行计算分析。从图 12 可以

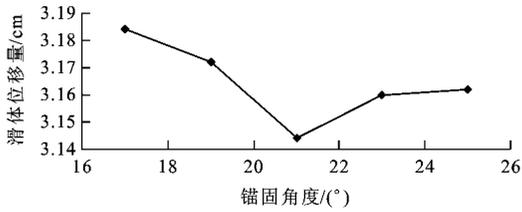


图 10 不同锚固角度下滑体位移变化

Fig. 10 Displacement of Landslide Under Different Anchoring Body Angle

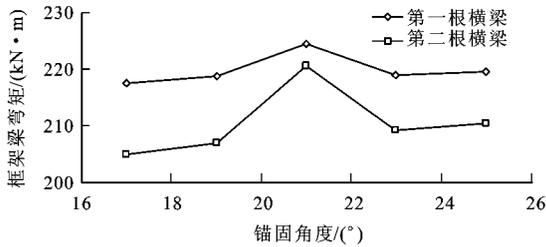


图 11 不同锚固角度下框架梁弯矩变化

Fig. 11 Flexural Moment of Frame Beam Under Different Anchoring Body Angle

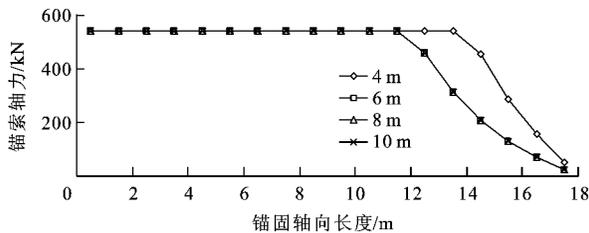


图 12 不同锚固长度下锚索轴力分布

Fig. 12 Distribution of Anchor Axial Force Under Different Anchoring Body Length

看出锚固长度为 4 m 时, 锚固端的 4 m 全部承受拉力, 且锚固末端的轴力比其他要大。锚固深度为 6、8、10 m 时的有效锚固长度都为 6 m, 增加锚固长度, 锚索受力形式并没有改变。这是由于锚固的始端砂浆被拉坏, 实际锚固长度仍为 6 m。

图 13 为注浆分别采用 M25、M30 时的锚索轴力分布, 锚固长度均为 8 m。结果表明, 砂浆强度

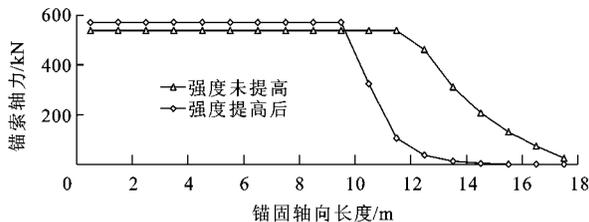


图 13 砂浆强度提高前后锚索轴力分布

Fig. 13 Distribution of Anchor Axial Force Before and After Improving Mortar Strength

提高后锚索轴力有所提高, 但有效锚固长度仍为 6 m 这也验证了徐前卫等^[12]提出的预应力锚索在锚固的应力主要分布在锚固深度 6 m 范围内。砂浆等级为 M25 时有效锚固长度分布在锚固的末端; 砂浆等级为 M30 时有效锚固长度分布在锚固的始端, 末端 2 m 范围内基本不受力。

4 结语

(1)在滑体主要由松散堆积体组成的条件下, 滑体底部位移大于上部, 框架梁结构会发生相对转动, 建议把底部预应力锚索换成全黏结锚杆来增加支护效果。

(2)框架梁中的横梁位于支挡面上部受力较大, 竖梁在位于支挡面中部受力较大, 其中就单根竖梁来讲, 梁中部的受力要大于两侧。

(3)文中最优锚固角度计算方法是合理的, 不仅能提高支护效果还能提高框架梁的效用。

(4)在所选的工程地质条件下加大锚固长度没有必要, 容易造成材料浪费。

参考文献:

[1] 肖世国, 周德培. 岩石高边坡一种预应力锚索框架型地梁的内力计算[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(4): 479-482.

[2] 田亚护, 刘建坤, 张玉芳. 预应力锚索框架内力计算的有限差分法[J]. 北京交通大学学报, 2007, 31(4): 22-25.

[3] 蒋楚生, 李 军, 李庆海, 等. 路堑边坡锚杆(索)框架梁设计存在的不足及对策[J]. 铁道工程学报, 2009(10): 16-19.

[4] 罗丽娟, 赵法锁, 王爱忠. 某变质岩滑坡及支护结构变形破坏特征[J]. 地球科学与环境学报, 2008 30(2): 177-182.

[5] 贺汇文, 龙建辉, 苏生瑞, 等. 某高速公路滑坡的数值模拟及后缘坡体稳定性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(2): 183-187.

[6] 蒋楚生, 周德培, 周应华. 预应力地梁锚索改善边坡受力状态的理论分析[J]. 岩土工程学报, 2005 27(8): 974-976.

[7] 赵明阶, 何光春, 王多垠. 边坡工程处置技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[8] 李 宁, 张 鹏, 于 冲. 边坡预应力锚索加固的数值模拟方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 254-261.

[9] 郭军辉, 阎长虹, 许宝田, 等. 马三峰土质边坡稳定性分析与评价[J]. 防灾减灾工程学报, 2007, 27(1): 101-106.

[10] 丁秀丽, 盛 谦, 韩 军, 等. 预应力锚索锚固机理的数值模拟试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 980-988.

[11] 丁多文, 白世伟, 罗国煜. 预应力锚索加固岩体的应力损失分析[J]. 工程地质学报, 1995, 3(1): 65-69.

[12] 徐前卫, 尤春安, 朱合华. 预应力锚索的三维数值模拟及其应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增刊2): 4941-4945.