

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.01.029

基于 MIDAS/GTS 的预应力锚索最优 锚固段长度优化设计

徐希强¹, 李 宁², 陈晓梅²

(1. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276004; 2. 临沂市国土资源局, 山东 临沂 276004)

摘 要: 为了充分发挥预应力锚索在边坡中的支护性能, 得出预应力锚索最优锚固段长度, 在原有地质勘探数据的基础上, 借助 MIDAS/GTS 对某高边坡所涉及到的预应力锚索支护结构锚固段长度做了相关的优化探讨, 以锚索轴力衰减为 0 时的锚索锚固段长度作为最优锚固段长度。得出锚索锚固段起始端轴力最大, 沿锚固段长度轴力迅速衰减, 在离锚固段起始端 0~1 m 的范围内衰减速率最快, 往土层越深衰减逐渐减缓, 与抗滑桩相连接的锚索所需锚固段最长。

关键词: MIDAS/GTS; 预应力锚索; 锚固段长度; 优化设计

中图分类号: TU757

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2014)01-0142-05

Optimization Design for Optimal Anchoring-section Length of Prestressed Anchor Cable Based on MIDAS/GTS

XU Xi-qiang¹, LI Ning², CHEN Xiao-mei²

(1. The 7th Geological & Mineral Exploration Institute of Shandong Province, Linyi, Shandong 276004, China;

2. Linyi City Bureau of Land Resources, Linyi, Shandong 276004, China)

Abstract: In order to give full play to the anchoring performance of the prestressed anchor cable in slope and obtain its optimal anchoring-section length, the anchoring-section length of the supporting structure in a high side slope is discussed for its optimization based on original geologic exploration data by using MIDAS/GTS, and the anchoring section length of the cable when its axial force attenuation is 0 would be taken as the optimal anchoring-section length. Simultaneously, it is obtained that the starting axial force of anchoring section is largest, the axial force along the anchoring-section length decay rapidly, the axial force decay most quickly within 0~1 m to the starting end of anchoring section, when the anchor cable is deeper into soil layer, the axial force decay slowly, and the required anchoring-section length connected to the anti-slide pile is longest.

Keywords: MIDAS/GTS; prestressed anchor cable; anchoring-section length; optimization design

预应力锚索是一种常用的边坡加固支挡结构, 在加固工程中已被广泛地应用, 尤其是在高陡边坡加固中, 预应力锚索以其使用灵活、加固深度大、能充分发挥岩土自身的强度、施工中不破坏原有边坡的整体性、占用空间少、见效快和造价低等特点显示了极大的优越性^[1]。由于岩土工程的施工, 大量的自然边坡和人工边坡需要加固处理, 因此, 为了获得良好的加固效果, 降低技术成本, 必须充分发挥锚索

的加固作用。

对于预应力锚索加固的边坡而言, 当荷载较小时边坡的稳定性主要通过土体本身固结强度维持, 此时, 锚索与土体的相对位移为零, 其摩阻力尚未开始发挥作用, 随着荷载的增加, 预应力锚索出现拉伸变形, 边坡稳定性开始转移为预应力锚索来维持, 预应力产生的张拉应力通过外锚头的锚墩作用使岩体达到加固的效果。其受力机理如图 1 所示。

肖世国等^[2]对非全长粘结型锚索的锚固段长度作了相关的研究,提出了锚固段最大剪应力不超过经过安全储备后的地层与注浆体间的粘结强度作为控制条件;白兵^[3]和朱宏伟^[4]等对拉力型预应力锚索的锚固段长度作了相关探讨,得出非全长粘结型锚索锚固段剪应力沿长度分布的二次抛物线模式,并提出锚索锚固段长度计算方法。

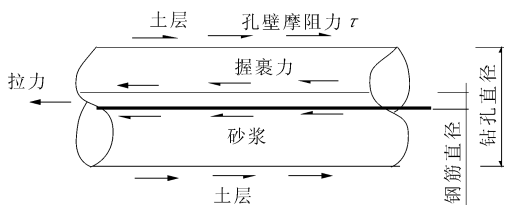


图 1 锚索受力机理图

本文在前人的研究基础上结合相关工程地质勘探资料,借助有限元分析软件 MIDAS/GTS 对某边坡所采用的预应力锚索支护结构最优锚固段长度做了相关的优化分析。

1 边坡工程概况

临沂某高速公路于 2005 年底建成通车。该公

路位于构造剥蚀的丘陵地区,高速公路以挖方路堑的形式通过此段,在路线的右侧形成了较高的人工边坡,边坡高度约为 50 m,实际高程约为 90 m。因高速公路建设而切割山丘坡脚形成长 406 m,高约 50 m 的人工边坡,呈“M”型。根据不同地段滑动坡体地形、地貌及坡体变形特征,边坡坡体变形较大,边坡防护工程破损严重。主要病害为:一级边坡挡墙墙顶以上坡面渗水严重,二、三、四和五级边坡坡面均出现程度不同的剪出口,剪出口处出水较大;三、四级平台局部地段下错,最大处下错约 50 cm 以上,在坡体后缘 30 m 的范围内形成了三条长大贯通裂缝,并出现了程度不同的下错,最大下错量达 100 cm 以上,裂缝宽度约 10 cm ~ 30 cm。此外在坡口线以外约 60 m 处,小型自然冲沟处地表水下渗严重,但裂缝并不贯通,形成滑坡的潜在后缘。该区采用锚索抗滑桩+预应力锚索框架方案进行处理。即在二级平台设置锚索抗滑桩,抗滑桩截面尺寸试桩采用 2.0 m × 3.0 m 型截面,桩后采用 C15 混凝土回填,锚索抗滑桩长为 19.0 m;在四级边坡设置锚索框架,锚索的锚固段锚入潜在深层滑动面以下,边坡工程地质剖面如图 2 所示。

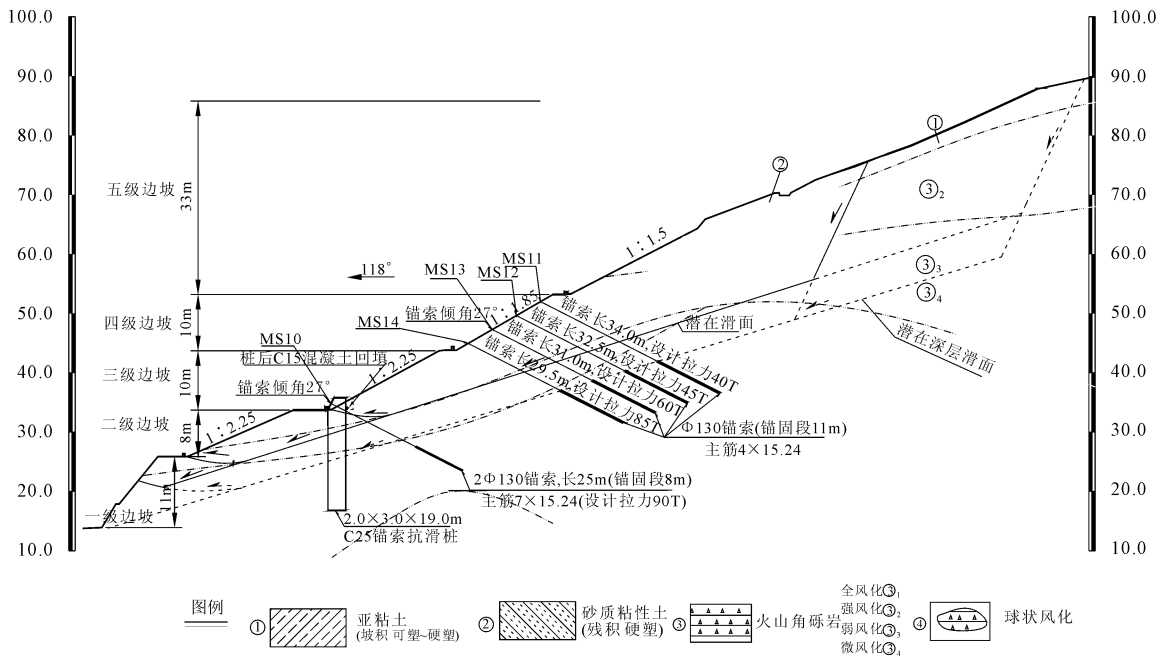


图 2 边坡工程地质剖面图

2 边坡模型的建立

实际工程对称布置两根抗滑桩,在抗滑桩桩顶中心部位加设一排预应力锚索,另外在中层滑面上布置 4 排锚索,每排 2 根。边坡模型尺寸为 170 m

(长) × 88 m (高) × 12 m (宽),抗滑桩桩长为 19 m,采用 2 m × 3 m 的矩形截面,并且短边为受力面,相邻桩中轴线间距为 4 m。

文中通过选取实体桩单元^[5]顶端节点再拓展,植入与实体抗滑桩耦合的二维无质量、无厚度的梁

单元,并在桩土之间以及软弱层和潜在滑裂面层设置了三维 Goodman 接触单元,接触面参数统一取值,预应力锚索采用 C15 混凝土,泊松比 $\mu = 0.2667$,天然重度 $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$ 。在建立边坡及实体抗滑桩模型时默认采用 M-C 本构模型,一维桁架及植入式桁架均采用线弹性本构模型来模拟。各土层物理力学相关参数见表 1。为了更真实的模拟实际工程

中的抗滑桩布置,在二维边坡模型的基础上沿法向方向拓展 12 m,拓展后所得的原边坡模型共有节点 43 084,单元 18 088,施加如下边界条件:边面无任何约束;两侧边界左右添加 DX,上下边界添加 DZ;底部边界添加 DX、DZ。具体边坡模型如图 3 所示,抗滑桩与预应力锚索网格如图 4 所示。

表 1 土层参数表

土层名称	厚度/m	弹性模量 E/MPa	泊松比 μ	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
亚粘土	0.50 ~ 1.60	60	0.30	19.0	24	19
砂质粘性土	0.60 ~ 6.90	20	0.40	19.0	20	21
全风化火山角砾岩	0.60 ~ 16.50	4000	0.25	19.5	24	26
强风化火山角砾岩	5.00 ~ 15.70	600	0.23	21.0	30	32
微风化火山角砾岩	1.30 ~ 13.50	10000	0.20	22.0	60	40

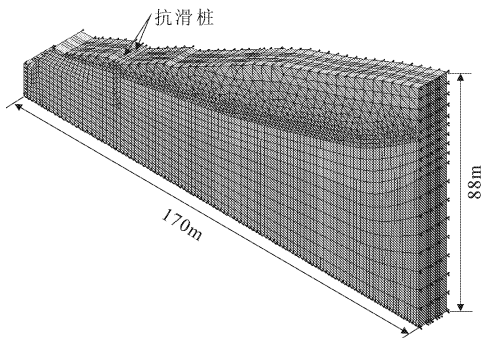


图 3 三维边坡有限元模型

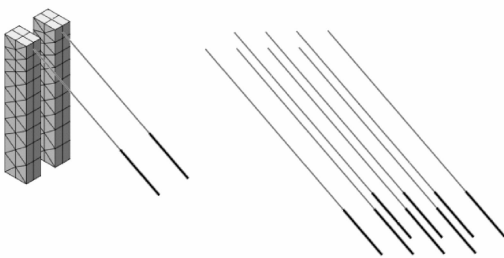


图 4 抗滑桩与预应力锚索网格

3 数值模拟结果分析

虽然预应力锚索在治理高边坡稳定性方面极为有效,然而在有限元分析中至今很难找到一种有效的方法来模拟预应力锚索的受力机制。常用的模拟预应力的方法有:① 等效连续模拟法^[6],但该方法对锚索间距及锚索嵌入土层深度无法进行合理的优化;② 直接施加预应力法^[7],该法能够很好的反映锚索的应力贡献,但对于边坡的开挖过程模拟则存在一定的缺陷。本文涉及到的是边坡稳定性分

析,采用第二种方法。

为了更好的模拟锚索开始布设时的受力状况,在模拟过程中将锚索分为自由段和锚固段,在进行 MIDAS/GTS 计算过程中,如果采用传统的 SRM 法分析工况来分析锚索轴力,所得锚固段起始端轴力必将大于自由段初始施加的预应力,为避免这一结果,文中统一采用添加线性静态的分析工况进行模拟。其中,锚索自由段采用直径为 0.1 m 的圆截面一维植入桁架单元模拟,且在自由段两端施加一对大小反向的集中力,锚固段则选用直径为 0.13 m 的圆截面一维桁架单元。采用单因素法^[8]模拟所得锚索 (MS10 ~ MS14) 初始施加预应力阶段时的锚固段轴力分布如图 5 所示。

由图 5、图 6 可得到如下结论:

(1) 锚索锚固段轴力在锚固段起始端达峰值,且最大值与所施加的预应力值存在微小差别,主要是因为锚索自由段受滑坡的下滑推力后会发生一定位移。当位移过大时,自由段可能会被拉断而使其丧失传递预应力的功能,位移较小时,一定程度上也会损耗实际所施加的预应力值。

(2) 锚固段的轴力沿着锚固段逐渐衰减,且在离始端 0 ~ 1 m 范围内轴力衰减最快,如果锚固段足够长,则衰减后的最远端轴力为 0^[9-10]。图 5 中锚索 MS10 ~ MS14 的最远端轴力都未衰减到 0,其中锚索 MS10 最远端轴力最小,最小值为 61.48 kN,这一结果表明锚索的设计长度还可适当的延长。

(3) 由图 5(e)可知,因存在实际模拟过程中微小参数误差,使得锚索模拟轴力最大值会出现大于

实际施加的预应力值。当锚索 MS10 自由段施加 900 kN 的预应力时,轴力衰减为 61.486 kN,表明抗滑桩一定程度上改变锚索的轴力分布,抗滑桩水平方向的变形能加速锚索轴力的衰减速度,使抗滑桩与锚索共同发挥各自的支护性能。

(4) 由图 6 可知,靠边坡顶端的 3 排锚索轴力变化曲线走势大致相同,三者之间的轴力差值较小,锚固段最远端的轴力都远小于锚索 MS14 的最小轴力值。这一结果表明锚索 MS11 ~ MS13 锚固段的设计长度及锚索设计拉力值是合理的,而锚索 MS14 则应当适当减小初始预应力值或是延长设计长度,

以便充分发挥锚索的性能。

以上模拟结果完全符合锚索锚固段轴力变化规律^[9-10],表明采用在锚索自由段直接施加预应力是可行的,同时也验证所选参数是合理的。

4 锚固段长度优化分析

实际工程中锚固段长度设计过长,会给工程施工造成一定麻烦,同时也增加工程成本;而长度过短又无法达到加固效果。所以,合理地设计锚固段长度至关重要。本文以锚索锚固段轴力衰减为 0 时对应的长度值作为最优锚固段长度。

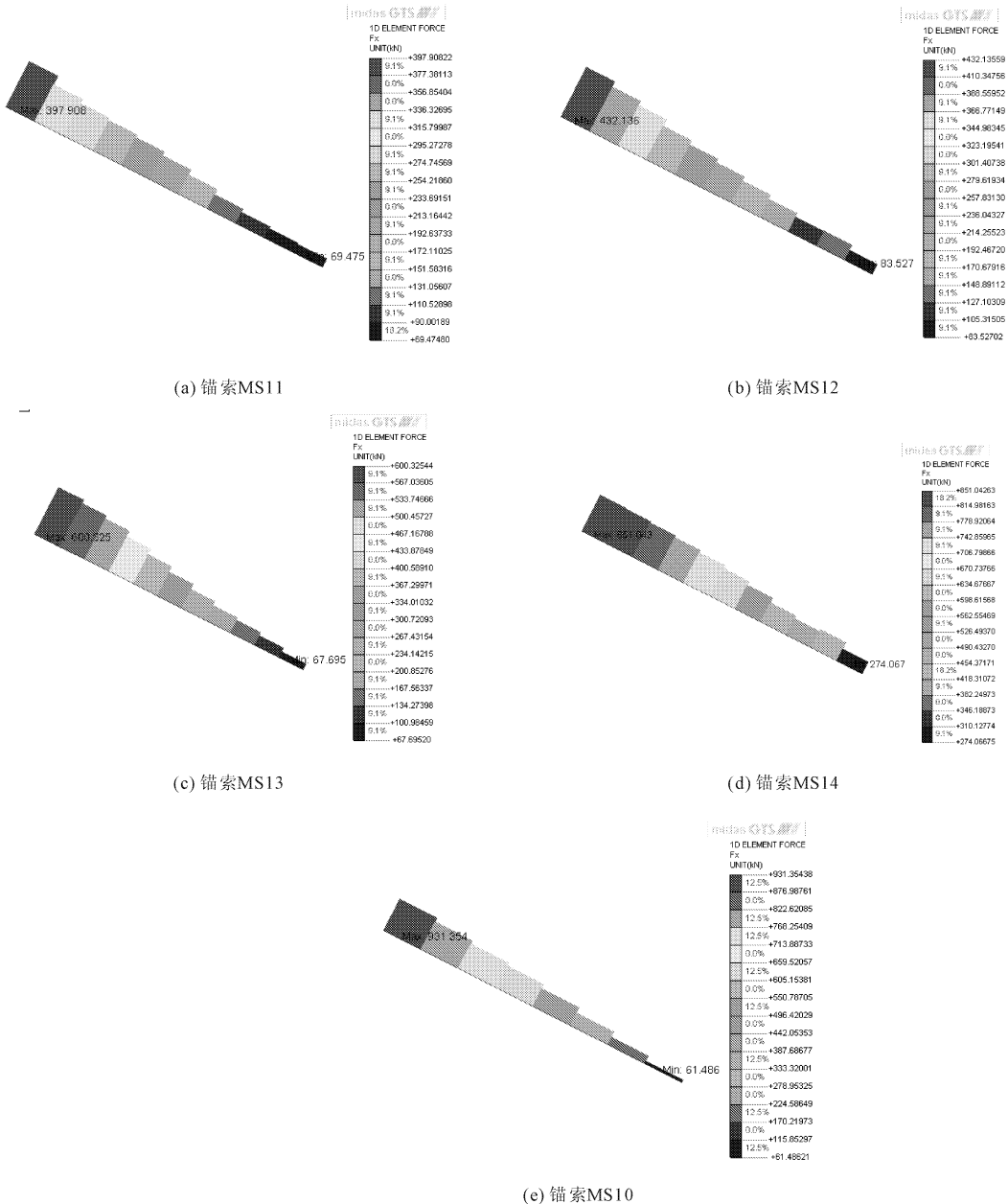


图 5 锚索 MS10 ~ MS14 轴力分布云图

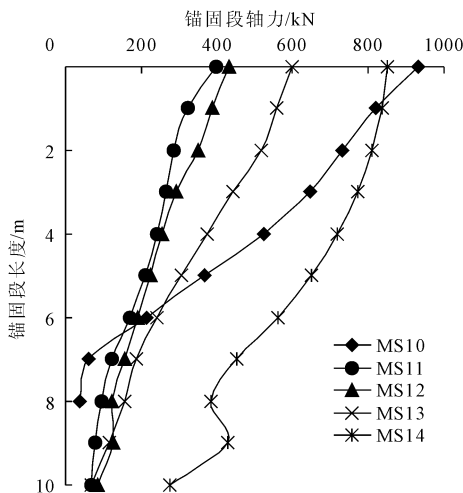


图 6 锚索 MS10 ~ MS14 轴力变形曲线

在原模型的基础上,单一变动锚索锚固段长度,分别取 6 m、8 m、10 m、12 m、14 m、20 m 共建立 6 组模型,原模型默认参数为:MS11 ~ MS14 锚索自由段施加大小为 500 kN 的预应力、相邻锚索间距为 5 m、锚索倾角为 27°、锚固段长度为 9 m 的 4 排预应力锚索,MS10 的设计拉力值为 800 kN。模拟所得锚索锚固段轴力衰减为 0 时的锚固段长度如表 2 所示,锚固段轴力随锚固段长度变化曲线图如图 7 所示。

表 2 轴力衰减为 0 时的锚固段长度 单位:m

锚索编号	MS11	MS12	MS13	MS14	MS10
锚固段长度	10	11	13	14	16

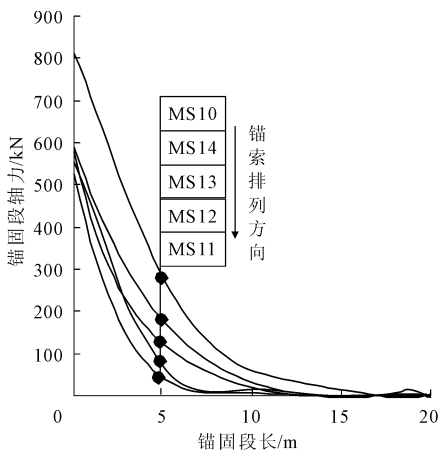


图 7 锚固段轴力随锚固段长度变化曲线图

由表 2 和图 7 可知,当对 MS11 ~ MS14 施加相同的预应力时,各自的衰减速度并不相同,越往边坡顶部衰减速度越快,也即施加相同预应力的情况下,越靠近边坡顶部,锚索锚固段的长度越不过长。主要是因为越靠边坡顶部锚索承担的滑坡下滑推力

越小,边坡带动锚索产生的位移也减小,相应的由自由段传递到锚固段起始端的轴力也变小。锚索锚固深度越长,工程造价越高,施工越困难,所以综合经济、施工以及锚索利用率等因素考虑,锚索 MS10 适宜选取 14 m 为最佳锚固段长度,锚索 MS11 ~ MS14 则适宜选取 10 m 为最佳锚固段长度。

5 结 论

(1) 预应力锚索轴力峰值一般出现在锚索自由段与锚固段连接处,且在自由段起始端轴力最大,沿锚索锚固段轴力逐渐衰减。

(2) 锚固段轴力始端最大,末端最小,轴力大小也随锚固段长度的增加逐渐衰减,在离锚固段始端 0 ~ 1 m 的范围内衰减速率最快,往土层越深衰减逐渐减缓。

(3) 对靠近边坡顶端锚索 MS11 ~ MS14 施加相同的预应力时,各自的衰减速度并不相同,越往边坡顶部衰减速度越快,即施加相同预应力的情况下,越靠近边坡顶部,锚索锚固段的长度越不过长。

参考文献:

- [1] 毛德华. 高速公路边坡防护中预应力锚索施工探讨[J]. 交通标准化, 2013, (4): 28-30.
- [2] 肖世国, 周德培. 非全长粘结型锚索锚固段长度的一种确定方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(9): 1530-1534.
- [3] 向兵, 白波. 拉力型锚索锚固段长度的一种确定方法[J]. 交通标准化, 2009, (13): 135-138.
- [4] 朱宏伟, 白波. 拉力型锚索锚固段长度的一种确定方法[J]. 西部交通科技, 2008, (6): 49-51.
- [5] 石广斌. 实体单元与梁单元数值分析的差异性剖析及应用[J]. 西北水电, 2012, (1): 61-65.
- [6] Khac-Duy N, Po-Young L, Jeong-Tae K. Automated monitoring of cable-anchorage force by imote2-platformed impedance sensor node [J]. Advanced Science Letters, 2012, 14(1): 136-140.
- [7] 王忠昶, 杨庆, 赵德深. 预应力锚固机制数值模拟研究[J]. 大连理工大学学报, 2009, 49(2): 254-260.
- [8] 陈新, 胡吉权. 单因素变动对抗滑桩极限承载力的影响[J]. 四川联合大学学报(工程科学版), 1997, 1(1): 18-23.
- [9] 战玉宝, 毕宣可, 尤春安. 预应力锚索锚固段应力分布影响因素分析[J]. 土木工程学报, 2007, 40(6): 49-53.
- [10] 尤春安, 战玉宝. 预应力锚索锚固段的应力分布规律及分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(6): 925-928.