

某临近高压电塔路堑边坡加固设计方案研究

李旭华, 唐勇斌

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510507)

摘要:以某临近高压电塔路堑边坡工程为背景,介绍了在临近重要结构物路段采用预应力锚索抗滑桩加固的设计及计算方法。利用理正岩土计算软件和 Geo-Studio 有限元岩土工程分析软件,采用极限平衡法及有限元数值模拟方法对边坡稳定性及位移进行分析。结果表明:采用预应力锚索抗滑桩边坡加固设计方案,边坡在天然工况及暴雨或连续降雨工况下的稳定安全系数均满足规范要求;边坡在开挖施工的各个阶段,土体内部最大水平位移为 0.026 3 m,桩顶最大位移为 0.020 6 m;锚索抗滑桩方案可确保边坡在开挖和运营中的稳定,且有效预估了边坡开挖对现有电塔塔基的影响。

关键词:边坡加固; 高压电塔; 锚索抗滑桩; 数值模拟; 稳定性分析

随着中国交通事业的不断发展,工程项目越来越复杂,不可避免地会出现路线临近重要结构物的情况。当公路与重要结构物相距过近且结构物无法迁改时,需着重考虑公路建设对结构物的影响。因此,合理设计和优化临近重要结构物路段道路边坡方案,减少工程建设对其不利影响,对保障公路建设施工期及运营期安全性具有重要意义。

目前,对临近重要结构物路段边坡加固方法主要有挡土墙、预应力锚索、注浆锚杆、抗滑桩等,一般采用极限平衡法和岩土数值模拟分析法对边坡加固稳定性进行分析。近年来,随着锚索技术的发展,“锚索抗滑桩”边坡加固方法已得到广泛应用,此方法通过在桩顶增设预应力锚索,改变了抗滑桩的悬臂受力状态,减小了抗滑桩的嵌固深度和截面积。同时,抗滑桩具有适应性强、对边坡扰动和周边地质环境影响小、施工周期短等优点,在多个项目中得到应用。太长高速公路设计过程中对相近环境条件下,不同抗滑桩结构的受力特性进行了对比分析,结果表明:采用锚索抗滑桩更符合实际要求;桂来高速公路某超高压电塔边坡工程,采用赤平极射投影、极限平衡法及数值模拟方法对该边坡进行稳定性分析,研究证明锚索抗滑桩方案合理可行;福建龙岩某高压电塔下路堑边坡设计方案采用了抗滑桩加桩顶放坡方案,坡顶采用框架锚杆及拱形骨架植草,取得了较好的边坡防护效果;吉怀高速公路王坡大桥高压铁塔边坡采用桩板式挡墙加固边坡技术,工程实践表明,桩板式挡墙加固高压铁塔边坡不仅提

高了边坡安全系数,且减少了对现有塔基的施工干扰。

基于上述背景,该文以广深高速公路新塘互通立交某高压电塔边坡工程为背景,采用极限平衡法及数值模拟方法对该边坡稳定性进行分析,研究临近高压电塔下路堑边坡加固设计,提出预应力锚索抗滑桩边坡加固设计及计算方法,为类似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 项目概况

新塘互通立交位于广州市增城区新塘镇,是广深高速公路与国道 G107 公路连接的互通立交,主要为实现广深高速与国道 G107、新塘地方路的交通转换。新塘立交为服务型立交,采用菱形+内、外环匝道的布置方式。现状新塘互通立交匝道存在绕行严重,交通组织复杂且不明确,通行能力及服务水平低的问题,不能满足交通量快速增长的交通需求,因此需对新塘互通立交进行改造。

现状新塘立交场区范围内有一条 220 kV 中新甲线高压线穿过,其中 18[#]、19[#] 和 20[#] 电塔位于匝道内,已实施迁改。该项目某挖方路段道路左侧边线距离 21[#] 电塔 3.78 m,与电塔加固基础最小距离 1.11 m,与加固后的电塔基础承台相邻,经多次协调,无法对电塔进行迁改,须采取支挡防护设施,对路堑边坡进行加固设计。

表 1 边坡工程岩土体参数

土质	模量/ MPa	泊松比	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)
砂质粉质黏土 1	10	0.30	19.7	12.4	25.3
砂质粉质黏土 2	12	0.25	19.7	12.4	25.3
全风化花岗岩	20	0.22	20.2	20.0	30.0

边坡处于天然状态下的工况及边坡处于暴雨或连续降雨状态下的工况。

利用理正岩土计算软件,建立路堑边坡稳定性计算模型,采用圆弧滑动面法对边坡稳定性进行验算,两种工况下边坡稳定安全系数如表 2 所示。

表 2 边坡稳定安全系数计算结果

工况	计算边坡稳定 安全系数	规范规定边坡稳定 安全系数最小值
天然工况	2.298	1.2~1.3
暴雨或连续 降雨工况	2.272	1.1~1.2

由表 2 可知:该项目采用预应力锚索抗滑桩边坡加固设计方案时,路堑边坡在天然工况及暴雨或连续降雨工况下的边坡稳定安全系数均大于 1.3,边坡稳定性满足规范要求。

3.3 数值仿真计算分析

为进一步研究路基边坡开挖对电塔的影响,该文采用了 Geo-Studio 有限元岩土工程分析软件,对路基边坡开挖过程及支护过程进行模拟。

3.3.1 几何模型

根据勘察资料,电塔位置的边坡土层主要分为 3 层。为简化计算,数值分析时将实际工程简化为二维平面应变模型进行计算分析。抗滑桩根据其桩间距,对截面惯性矩进行折减;锚索根据其间距和根数,对其锚固力进行折减。最终模型(图 3)宽 58.51 m,高 23.78 m,共有节点 4 636 个,单元 4 500 个。

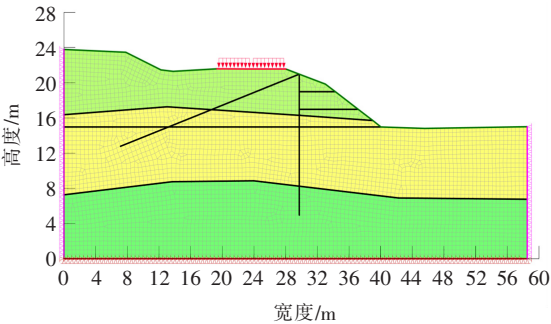


图 3 计算模型简图

3.3.2 材料参数

土层参数根据勘察资料取值(表 1)。分析中抗滑桩和锚索分别采用梁和杆单元进行模拟,锚索中施加预应力。锚索分为锚固段和自由段。抗滑桩和锚索的力学参数取值如下:

抗滑桩:桩身 C30 混凝土弹性模量 $E=3.0 \times 10^8$ kPa,钢筋弹性模量 $E=2.0 \times 10^9$ kPa,根据配筋率计算,抗滑桩等效弹性模量 $E=3.56 \times 10^8$ kPa,横截面积 $A=1.130 4 \text{ m}^2$,惯性矩 $M=0.101 736 \text{ m}^4$,按桩间距折减后的惯性矩 $M=0.033 912 \text{ m}^4$ 。

锚索锚固段:弹性模量 $E=6 \times 10^7$ kPa,横截面积 $A=1.766 25 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。

锚索自由段:弹性模量 $E=2.0 \times 10^8$ kPa,横截面积 $A=7.254 656 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 。

3.3.3 边界条件

数值分析采用二维平面应变模型,假设底部足够深,不受边坡开挖的影响,模型底部可采用水平位移和竖直位移为 0 作为边界条件;模型左右两侧距离开挖位置较远,假定其水平位移为 0;电塔荷载等效为边坡坡顶线性荷载,大小为 31.42 kPa;该处地下水位较深,地下水位对边坡开挖几乎无影响,数值分析中不予考虑。

3.3.4 结果分析

路基开挖至不同深度地层内部的水平位移云图及各阶段抗滑桩水平位移如图 4、5 所示。

由图 4、5 可以看出:① 在施工锚索抗滑桩时,桩顶由于预应力锚索的张拉,桩顶有向边坡侧挤压的趋势,在开挖至 2 m 时,桩顶仍有向边坡侧的位移。当边坡开挖至 4 m 深度时,桩顶位移已变为正值,为 0.004 2 m,桩身最大水平位移约为 0.012 7 m,位置约在深度为-9 m 的位置。当边坡开挖至 6 m 深度时,桩顶位移为 0.020 6 m,桩身最大水平位移约为 0.026 3 m,位置约在深度为-6 m 的位置;② 边坡在开挖施工的各个阶段,土体的水平位移均较小。由于预应力锚索的作用,抗滑桩存在较明显的“鼓肚子”现象,桩顶最大水平位移为 0.020 6 m,桩身最大水平位移约为 0.026 3 m,位移不大且可控,设计方案能够保

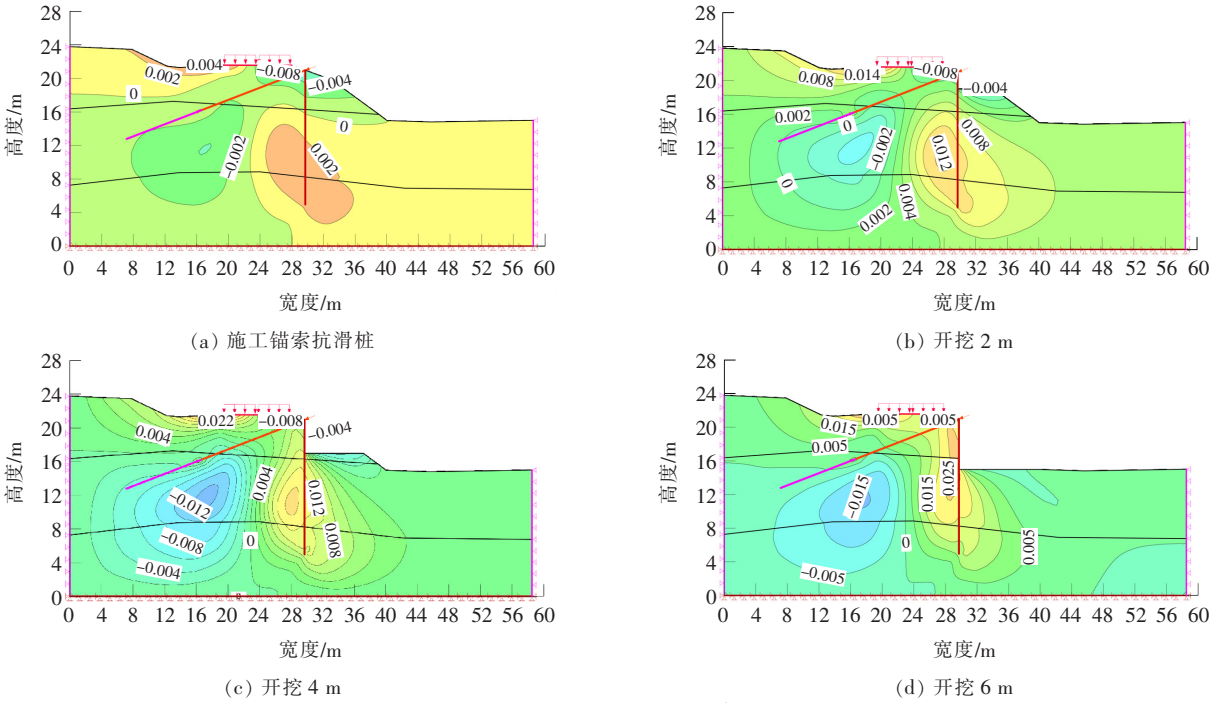


图 4 地层水平位移场云图(单位:m)

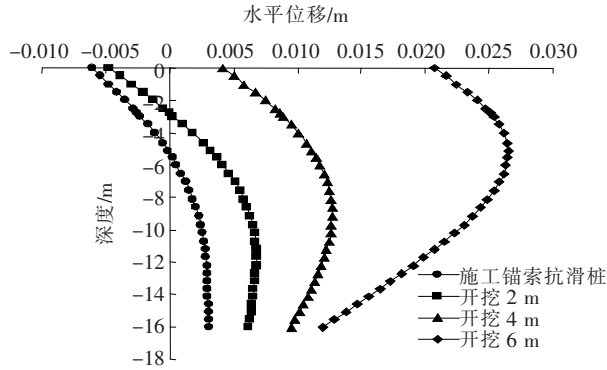


图 5 各阶段抗滑桩水平位移曲线图

证边坡稳定,且对电塔影响甚微。

4 结 论

- (1) 采用极限平衡法对预应力锚索抗滑桩边坡加固设计方案的稳定性进行了计算,在天然工况及暴雨或连续降雨工况下的边坡稳定安全系数均大于 1.3,边坡稳定性满足规范要求。
- (2) 采用有限元数值分析方法对路基边坡开挖过程及支护过程进行数值模拟研究,研究结果表明:边坡在开挖施工的各个阶段,土体内部最大水平位移为 0.026 3 m,桩顶最大位移为 0.020 6 m,水平位移及抗滑桩位移均不大且可控。
- (3) 计算了预应力锚索抗滑桩边坡加固设计方案

的稳定性及土体和抗滑桩的水平位移,确保边坡在开挖和运营中的稳定,且有效预估了边坡开挖对现有电塔塔基的影响,对类似工程设计计算具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 巨能攀,赵建军,邓辉,等.公路高边坡稳定性评价及支护优化设计[J].岩石力学与工程学报,2009(6).

[2] 许宝田,钱七虎,阎长虹,等.多层软弱夹层边坡岩体稳定性及加固分析[J].岩石力学与工程学报,2009(S2).

[3] JinYuancheng. Slope Stability Analysis Based on the Limit Equilibrium Method and Strength Reduction Method [J]. IOP Conference Series:Earth and Environmental Science,2021,631(1).

[4] Chao Zhang. Analysis of the Research Status and Trends of Anti-Slide Pile with Prestressed Anchor Cable[J]. Applied Mechanics and Materials,2014(638-640):338-342.

[5] 王会永.锚索抗滑桩在太长高速公路的运用与对比研究[J].中外公路,2018(4).

[6] 李三明,阎波,安海堂,等.高压电塔下路堑边坡加固及防护设计[C].中国建筑学会工程勘察分会.2017年第九届边坡工程大会论文集,2017.

[7] 谢康和,周健.岩土工程有限元分析理论与应用[M].北京:科学出版社,2002.

[8] 赵尚毅,郑颖人,张玉芳.极限分析有限元法讲座——Ⅱ有限元强度折减法中边坡失稳的判据探讨[J].岩土力学,2005(2).