

# 高速公路改扩建边坡支护方案及稳定性分析

凡子义, 贺炜

(长沙理工大学 土木与建筑工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 对某高速公路改扩建工程既有路堑边坡的现有服役状态进行调研, 针对改扩建工程的特点, 提出分级开挖法及抗滑桩支护两种土质高边坡加固方案, 采用 Plaxis 有限元强度折减法分析了两种支护方案下边坡各施工阶段的稳定性; 利用理正岩土软件计算了边坡下滑力, 根据桩身内力进行了抗滑桩截面配筋验算。

**关键词:** 公路; 土质高边坡; 支护方案; 稳定性; 强度折减法; 桩身截面配筋

中图分类号: U418.8

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)05-0114-03

在路堑边坡改扩建中对既有边坡支护结构进行改造加固会产生失稳破坏现象, 采用合适的边坡加固方案保证路堑边坡的稳定性、减小对既有边坡的不利影响是高速公路改扩建中的关键技术问题。目前, 土质边坡稳定性分析常采用极限平衡法和有限元强度折减法, 但极限平衡法无法研究边坡失稳的发生过程、未考虑土体间的应力应变关系。该文针对某高速公路改扩建工程的特点提出不同土质高边坡加固支护方案, 并采用 Plaxis 有限元强度折减法分析不用加固方案下边坡各施工阶段的稳定性。

## 1 工程概况

该边坡位于低缓丘陵区, 地形起伏大, 为山脊垂直于公路轴线的两面坡; 坡顶地表植被较发育, 主要为灌木及草本植物(见图 1)。该边坡长约 120 m, 位于线路的左侧, 最大坡高约 31.59 m。根据工程地质调绘成果, 其为土质高边坡。面坡勘察资料显示边坡顶部坡积层和全风化粉砂岩层之间存在一条潜在滑移面。



图 1 既有边坡样貌

根据地质勘察资料及周边钻孔结果, 边坡岩土体主要由第四系坡积亚黏土及石炭系上统粉砂岩风化层组成, 各土层情况如下: 1) 粉质黏土。黄色, 硬塑, 稍湿, 表层含植物根系, 坡积成因。2) 全风化粉砂岩。黄色, 母岩结构构造已风化, 岩芯呈土柱状, 遇水易软化。3) 强风化粉砂岩。黄褐色, 浅灰色, 岩芯呈半岩半土状, 夹少量岩块, 岩质软。4) 中风化粉砂岩。褐红色, 中厚层状构造, 岩质稍硬, 岩芯呈短柱状、碎块状。各土层参数见表 1。坡脚处及坡脚排水沟未见地下水, 地下水位低于现有地面。

表 1 边坡岩土体计算参数

土层	厚度/m	容重/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力/kPa	内摩擦角/( $^{\circ}$ )	弹性模量/MPa	强度折减因子
粉质黏土	1	18	15	20	18	0.50
全风化粉砂岩	13	20	25	26	50	0.60
强风化粉砂岩	16	20	30	30	80	0.67
中风化粉砂岩	4	20	60	30	90	0.70

## 2 土质边坡稳定性分析

### 2.1 既有边坡的稳定性

既有高边坡经过时间的自然沉降等已基本趋于

稳定, 但在工程勘察中发现边坡顶部存在一条潜在滑动面。对既有边坡通过 Plaxis 有限元进行计算分析, 得到其安全系数为 1.232, 略大于 1.2。由于边坡表面植被发育, 加上计算时未考虑植被根系的加

筋效应,判定边坡仍处于稳定状态。

## 2.2 支护方案及稳定性分析

根据现场实际情况,对该路堑土质高边坡提出分级开挖和抗滑桩支护后开挖两种施工方案。

### 2.2.1 分级开挖法

对高边坡采取分级台阶开挖法,从上往下分 5 级开挖,每级边坡台阶宽度为 2 m。1~4 级开挖高度为 6 m,坡率为 1:1.33;第 5 级开挖高度及宽度分别为 8、10 m。考虑到施工机械荷载对边坡稳定性的影响,每开挖一级台阶即在该台阶上施加一次 20 kPa 施工荷载。

Plaxis 计算时,考虑到边坡底部为中风化粉砂岩层,采用刚性边界,两侧则为水平约束,允许  $x$  方向位移,上部为自由边界;土体选取 15 节点平面应变单元模拟,土体材料模型为 Mohr-Coulomb,边坡各土层参数按表 1 取值。图 2、图 3 为第 5 级台阶开挖后的总位移增量及  $x$  方向等效塑性应变。从图 2、图 3 可看出:边坡的最危险滑动塑性区出现在强风化与中风化粉砂岩交界面处,该位置容易发生边坡滑动失稳。

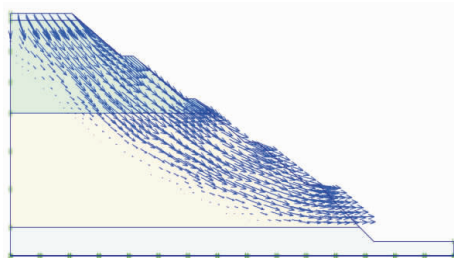


图 2 第 5 级台阶开挖后的总位移增量

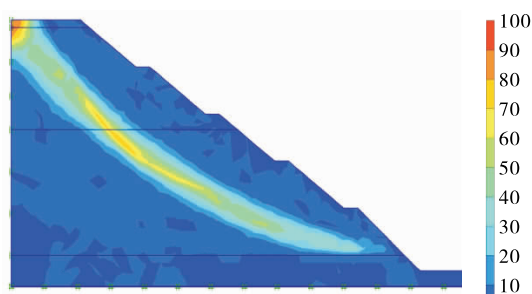


图 3 第 5 级台阶开挖后  $x$  方向等效塑性应变

通过 Plaxis 强度折减法计算,1~5 级台阶开挖后边坡的稳定系数依次为 1.185、1.366、1.635、1.651、1.542。除第 1 级外,其余各级的安全系数均大于 1.2,故第 1 级台阶开挖后还需采用锚杆、锚索或其他支护方法进行加固。

### 2.2.2 抗滑桩支护后开挖

在开挖前采用抗滑桩对边坡土体进行加固,之后再开挖桩前土体,达到拓宽路基的目的。抗滑桩的设计总长为 20 m,嵌入中风化粉砂岩层 10 m;其截面形状为圆形,桩径 2 m,间距 3 m;桩端头设置为固定刚接;桩身设计砼强度等级为 C40;桩纵筋合力点距桩外界面 35 mm;纵筋采用 HRB400,箍筋采用 HPB235;箍筋间距 200 mm;桩身纵筋为非均匀配筋。对抗滑桩进行截面验算,确定抗滑桩桩身内力及截面配筋在库伦土压力和最危险滑动面滑坡推力作用下能否满足设计要求。

(1) 最不利滑动面滑坡推力。利用理正岩土软件中的边坡稳定模块分析该边坡的最危险滑动面。输入相应土层信息,软件自动选取最不利滑动面进行计算,结果如下:滑动安全系数为 0.873;滑坡体剩余下滑力的水平分量为 515 kN·m。抗滑桩桩身最大弯矩为 10 524.33 kN·m,最大弯矩作用点距离桩顶 12.91 m;最大剪力为 3 286.92 kN,距离桩顶 17.64 m;最大位移为 54 mm。根据计算结果和文献[5]中钢筋计算面积计算各截面所需配筋,结果如下:抗滑桩挡土侧设置 8 根直径 36 mm 贯穿桩身的纵筋;临空侧设置 7 根直径 40 mm 贯穿桩身的纵筋,9~18 m 加 7 根直径 32 mm 纵筋;设置 7 根直径 12 mm 贯穿桩身的箍筋。

(2) 库伦土压力(一般情况)。高度 10 m 处的库伦主动土压力为 1 333.51 kN,水平方向的分力为 1 253.09 kN,竖直方向的分力为 456.09 kN,作用点高度为 4.68 m。抗滑桩桩身最大弯矩为 23 877.76 kN·m,最大弯矩作用点距离桩顶 12.91 m;最大剪力为 7 529.21 kN,距离桩顶 17.64 m;最大位移为 124 mm。配筋结果为挡土侧设置 8 根直径 36 mm 贯穿桩身的纵筋;临空侧设置 9 根直径 32 mm 贯穿桩身的纵筋,6~18 m 处加 8 根直径 50 mm 的钢筋和 9 根直径 40 mm 的纵筋;设置 5 根直径 16 mm 贯穿桩身的箍筋。

抗滑桩采取 Plaxis 软件中的板单元模拟,选择弹性材料属性,主要参数包括轴向刚度和抗弯刚度,桩身与桩周土体的相互作用采用界面单元实现。模型总位移、剪应变和应力计算结果见图 4~7。从图 4~7 可看出:边坡的最危险滑动面位于抗滑桩与新建路基交界处,该位置容易发生边坡滑动失稳,整个边坡的剪应变塑性区比分级台阶开挖法的小。在未开挖前,该路堑高边坡的安全稳定系数为 1.232,处

于稳定状态;设计抗滑桩后,由于抗滑桩对边坡土体的加固作用,边坡安全系数增大到 1.328。抗滑桩后土体开挖高度及宽度为 10 m,开挖后由于土体卸荷,抗滑桩后存在临空面,使边坡的原有平衡应力受到破坏,应力重分布后安全系数降低为 1.256,但边坡仍处于稳定状态且安全系数大于开挖前。

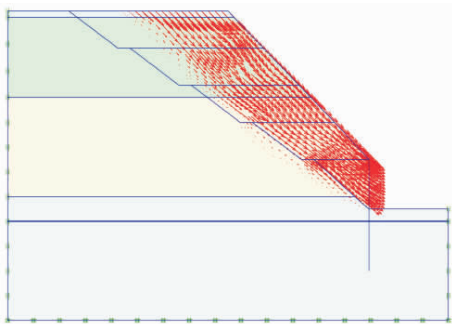


图4 第5级台阶开挖后总位移

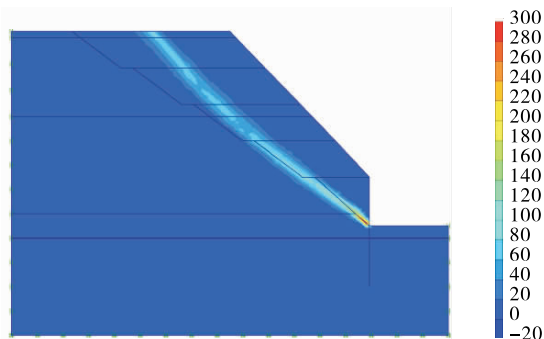


图5 抗滑桩支护后开挖剪切应变

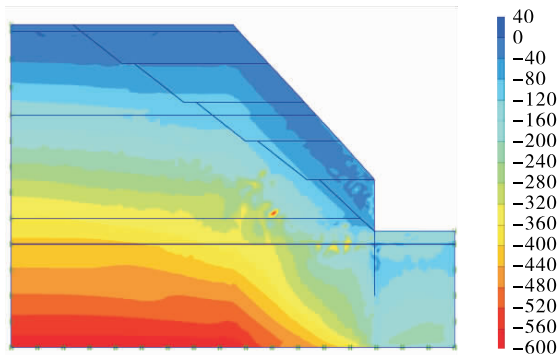


图6 抗滑桩支护开挖后  $x$  方向应力(单位:kPa)

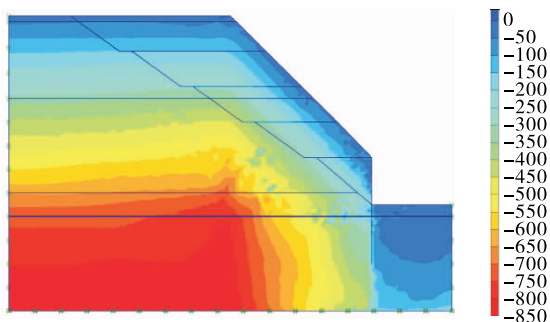


图7 抗滑桩支护开挖后  $y$  方向应力(单位:kPa)

### 2.2.3 开挖方案对比

根据边坡稳定性分析结果,两种加固方案均满足工程安全要求。分级开挖方案较简单,但其挖方量大,削坡与弃土均需额外征用土地,并且会破坏原有绿化植被;施工机械对边坡稳定性的影响较大;边坡开挖时组成边坡的岩土在卸荷、应力释放、尤其是在降雨等因素的影响下其抗剪强度会有所降低;开挖后放置时间过长,全风化及强风化粉砂岩层易软化,不利于整个边坡的稳定。抗滑桩方案虽然桩体造价较高,但可避免征用土地,且挖方量较小,能减小对边坡的大范围扰动,保护原有边坡生态。因此,推荐采用抗滑桩支护后进行开挖的方案。

## 3 结语

该文结合改扩建工程实例,采用 Plaxis 有限元强度折减法分析分级开挖法及抗滑桩支护后开挖时边坡的稳定性,结果表明抗滑桩支护后开挖与分级开挖法均满足边坡稳定性要求,考虑到抗滑桩方案可减少对原有边坡的破坏、避免征用土地、开挖量较少,根据实际工程状况,建议采用抗滑桩支护后开挖边坡方案。

### 参考文献:

- [1] 陈祖煜.土质边坡稳定分析[M].北京:水利水电出版社,2003.
- [2] 柳林超,梁波,刁吉.基于 ANSYS 的有限元强度折减法求边坡安全系数[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(5).
- [3] 赵尚毅,郑颖人,时卫民,等.用有限元强度折减法求边坡稳定性安全系数[J].岩土工程学报,2002,24(3).
- [4] GB 50010—2002,混凝土结构设计规范[S].
- [5] 叶见曙.结构设计原理[M].北京:人民交通出版社,2014.
- [6] 王张军.基于数值模拟的顺层岩质边坡抗滑桩支护设计[J].公路与汽运,2016(4).
- [7] 李立锋,王桂尧,张永杰,等.h形抗滑桩内力变形机理数值分析研究[J].公路与汽运,2016(4).
- [8] 罗渝,何思明,何尽川.路堤边坡抗滑桩超前支护研究[J].四川大学学报:工程科学版,2009,41(6).
- [9] 李仁平,蔡爱国,盛初根.有限元法分析抗滑桩—土坡相互作用系统的稳定性(英文)[J].三峡大学学报:自然科学版,2007,29(5).

收稿日期:2017—04—24