

岩石高边坡工程中埋入式抗滑桩的应用

Application of embedded anti-slide pile in high rock slope projects

肖世国, 周德培, 宋从军
(西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 在说明岩石高边坡开挖工程中最下一级坡通常采用悬臂式抗滑桩结构的一些弊端的基础上, 提出在桩前仍适当保留部分岩土体而形成埋入式抗滑桩结构, 以改善桩身受力状况。对比分析了埋入式与悬臂式抗滑桩的优缺点, 阐明埋入式抗滑桩应用的经济合理性。以工程实例说明埋入式抗滑桩的分析计算以及与悬臂式抗滑桩的具体比较情况, 实践表明埋入式抗滑桩的应用有较好效果。

关键词: 岩石高边坡; 埋入式抗滑桩; 悬臂式抗滑桩

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)05-0638-04

作者简介: 肖世国(1973-), 男, 博士研究生, 从事岩土体大变形理论与实践的研究工作。

XIAO Shi-guo, ZHOU De-pei, SONG Cong-jun

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Cantilevered anti-slide piles are generally used on the last step of slope in many high rock slope projects. However, there are some shortcomings in this structure. One of the most important disadvantages is that internal force of the pile is so large as to make its cross section big too. In fact, the rock mass or soil in front of the pile can be properly remained. In this condition the pile is so called embedded anti-slide pile. Its mechanical characteristics are rationally improved. According to its comparison with cantilevered anti-slide pile, the benefits and rationality of the embedded anti-slide pile are given in detail by a practical project. The application of the embedded anti-slide pile is very effective in the high rock slope project.

Key words: high rock slope; embedded anti-slide pile; cantilevered anti-slide pile

0 引言*

在岩石高边坡开挖工程中, 最下一级坡经常采用抗滑桩类结构支挡坡体。通常选用的是悬臂式抗滑桩结构^[1,2], 其主要特点是桩后作用有坡体推力^[3~5], 桩前没有岩土体, 桩后坡体推力直接作用于桩身非锚固段, 通过桩体将外力传递给桩身锚固段并传递至下部稳定地层中。这种情况下, 常常使桩身内力分布不尽合理, 造成抗滑桩的锚固段较深, 尤其当坡体推力较大时, 其问题更为突出。有时为了改善这种桩身截面较大, 锚固段较深的不利状况, 在桩顶端附近再设置锚索而形成预应力锚索桩结构^[6], 但此时也可能产生新的问题, 如设置锚索后不仅可能增加工程造价, 而且也增加施工难度等。鉴于此, 可以考虑最下一级坡设抗滑桩时桩前仍保留部分岩土体, 即形成埋入式抗滑桩结构。此时, 在桩身非锚固段作用有桩前岩土体抗力, 其方向与桩后坡体推力方向相反, 可以改善桩身受力状况, 并避免因设锚索而带来的若干不便问题。尤其当桩后坡体推力不是特别大时, 其合理性更能充分展现出来。在京珠高速公路粤境北段岩石高边坡开挖工程的某些工点采用了这种埋入式抗滑桩结构, 取得了较好效果。本文主要通过悬臂式抗滑桩的对比, 讨论在岩石高边坡开挖工程中埋入式抗滑桩的特点。

1 力学分析模型

埋入式抗滑桩桩前与桩后均有岩土体, 在正常工作状态下, 桩前侧承受岩体抗力, 桩后侧承受坡体推力。对于开挖边坡而设置的埋入式抗滑桩结构的非锚固段部分, 桩前为有一定坡率的小部分坡体, 而且顶端处岩体较少, 底端处则岩体较多, 故此为简化计算, 假定桩前岩体抗力沿桩长(非锚固段)呈三角形分布。非锚固段部分后侧直接承受坡体推力, 由于桩后侧存在潜在滑动坡体, 所以桩后侧顶端作用有坡体推力, 但其数量应比底端小些, 同时由于底端的支挡抗滑效应比顶端强, 所以常常会形成桩后侧坡体推力呈顶端小, 中下部最大, 底端较大的分布形式。根据对京珠高速公路粤北段的一些岩石高边坡工程有限元分析结果的整理(如图 1 所示, 其中 q , p 分别表示桩后坡体推力与桩前岩体抗力), 也基本反映了这样的特点。为了简化计算, 假定桩后坡体推力沿桩长(非锚固段)呈矩形分布。由此可得埋入式抗滑桩的受力模型如图 2 所示。其中, 非锚固段按桩后作用均布荷载 q_0 、桩前作用三角形分布荷载(底端量值为 p_0)的悬臂梁模型计算, 如此将滑面处桩身内力(剪力、弯矩)计算出之后, 锚固段

* 收稿日期: 2002-12-02

部分就可按弹性抗滑桩计算^[3,7]。下面以一个工程实例简要说明埋入式抗滑桩的分析计算。

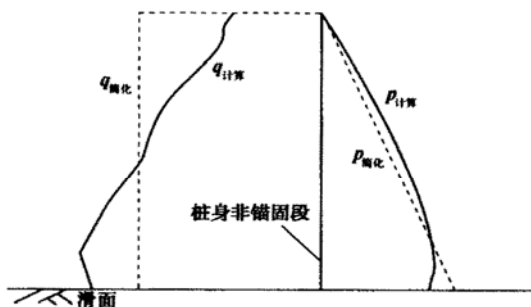


图1 有限元法分析桩侧坡体压力的分布规律

Fig. 1 Distribution of lateral pressure on some embedded anti-slide piles analyzed by FEM

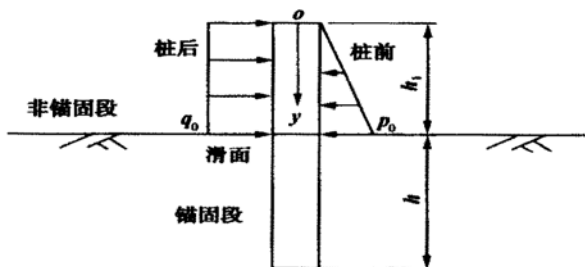


图2 埋入式抗滑桩受力模型

Fig. 2 Mechanical model of embedded anti-slide pile

京珠高速公路粤境北段 K101+240 工点岩石高边坡工程采用埋入式抗滑桩结构支撑开挖后的坡体。该工点处于薄层至中层的砂岩、泥岩夹炭质页岩和煤层的煤系地层地带,节理极发育,加之密集层理面将这层地层切割成碎裂岩至散裂岩状,节理裂隙的发育又为风化提供了有利条件,致使该地层的风化程度普遍较高,强全风化层厚度可达 40 余 m。炭质页岩、泥岩遇水易软化,形成软弱面,降低岩体强度,因而该工点地层的工程地质性质较差。其坡体支撑结构如图 3 所示。坡顶自然坡度较缓,边坡分 4 级开挖,每级坡率为 1:1,开挖高度 8 m,台阶宽度 4 m。二、三级坡设预应力锚索加固坡体,一级坡设埋入式抗滑桩支撑坡体,锚固段长 $h = 10$ m,非锚固段长 $h_1 = 8$ m,抗滑桩间距 $s = 6$ m。桩横截面尺寸在平行线路方向一侧宽为 2 m,另一侧宽为 3 m。

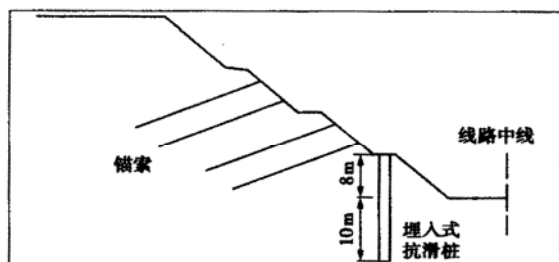


图3 实例工程坡体支撑结构示意图

Fig. 3 Structures of cutting slope in a practical project

首先对一级坡施工完成后的坡体进行松弛区分析,确定出开挖潜在的最危险滑面位置。然后,根据该最危险滑面用传递系数法计算桩后坡体的滑坡推力 E_q ,对于桩前岩体的剩余抗滑力 E_p ,则由传递系数法、弹性抗力及被动极限平衡压力三者计算的最小值确定^[1]。依据具体情况,算得 $E_q = 146.71$ kN/m, $E_p = 138.07$ kN/m。按相邻两桩间的桩后坡体推力及桩前岩体抗力作用于桩非锚固段上可求得桩侧线分布力 $q_0 = 110.025$ kN/m, $p_0 = 207.108$ kN/m。这样,对于非锚固段按悬臂梁可算得滑面处桩身截面剪力 Q_1 与弯矩 M_1 分别为: $Q_1 = 51.77$ kN, $M_1 = 1311.65$ kN·m。进而桩体锚固段的内力就可按弹性抗滑桩计算。桩侧岩体反力 σ 分布如图 4 所示(非锚固段桩前抗力未画),整个桩身截面的剪力与弯矩分布如图 5 中。由上述计算结果可见,桩身最大弯矩出现在距顶端 8.6 m 处,而在距顶端 4 m 与 17 m 处剪力均较大,所以在配筋设计时这些位置要予以充分考虑。

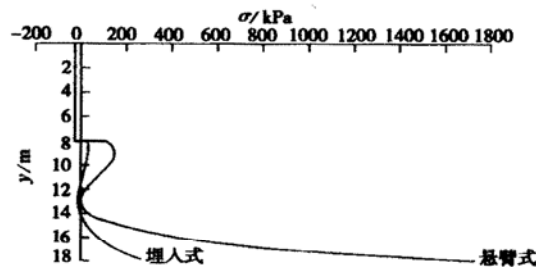
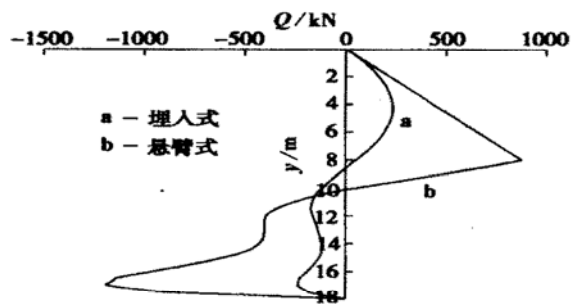
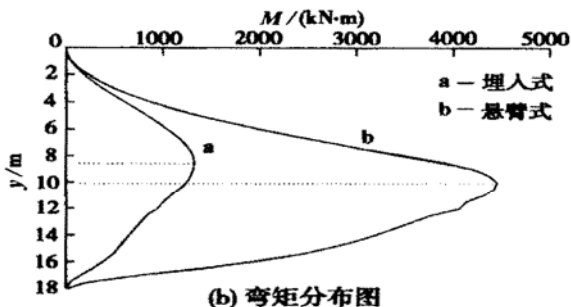


图4 桩侧岩体反力沿桩长分布图

Fig. 4 Distribution of lateral pressure of rock mass along the length of pile



(a) 剪力分布图



(b) 弯矩分布图

图5 桩身剪力与弯矩沿桩长分布图

Fig. 5 Distribution of shear force and moment along the length of pile

2 与悬臂式抗滑桩的比较

为了具体阐明二者之间的差异,仍以京珠高速公路粤境北段 K101+240 工点岩石高边坡开挖工程为例,将埋入式抗滑桩与悬臂式抗滑桩进行对比。

2.1 桩身内力及桩侧反力的比较

在悬臂式抗滑桩情况下,桩前岩体抗力 $p = 0$,此时桩侧反力与桩身内力将较埋入式抗滑桩有所变化,其计算结果及二者对比情况如图 4 与图 5 所示。

由图 4 与图 5 可以看出,桩身截面最大弯矩的大小与位置在这两种情况下有所不同,悬臂式抗滑桩的最大弯矩为 $4457.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$,而埋入式抗滑桩的最大弯矩为 $1327.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$,位于距桩顶 8.6 m 处,比前者(距桩顶 10.1 m)上移了 1.5 m 。同时,二者的最大剪力大小亦不同,悬臂式抗滑桩的最大剪力在非锚固段与锚固段则分别为 880.2 和 1190.6 kN ,而埋入式的最大剪力在非锚固段与锚固段则分别为 233.5 kN 与 235.2 kN 。二者的桩侧反力分布也有所不同,最大压应力均出现在桩底端,悬臂式为 1773.3 kPa ,而埋入式则为 285.2 kPa 。所以,从桩身内力来看,埋入式的最大弯矩与剪力都比悬臂式的最大弯矩与剪力小很多,埋入式的桩身受力更为合理;从桩侧反力来看,埋入式的最大压应力也比悬臂式的小很多,远小于桩侧岩体抗压强度,安全储备更大。

2.2 锚固段长度比较

由前面比较可以知道,埋入式的桩身截面最大弯矩不仅较小而且其位置也比悬臂式的上移了 1.5 m ,由此可以推断此时靠近桩底的一段未能充分发挥作用,因而可以将埋入式的锚固段长度缩短一些。对此工点,将锚固段长度缩短 3 m ,即锚固段长度为 7 m 时的桩侧反力与桩身内力如图 6 与图 7 所示。

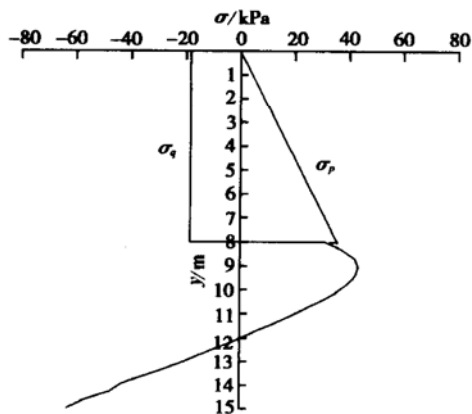


图 6 缩短锚固长度时埋入式抗滑桩桩侧反力图

Fig. 6 Distribution of lateral pressure of rock mass along the length of pile with shortened length of anchorage

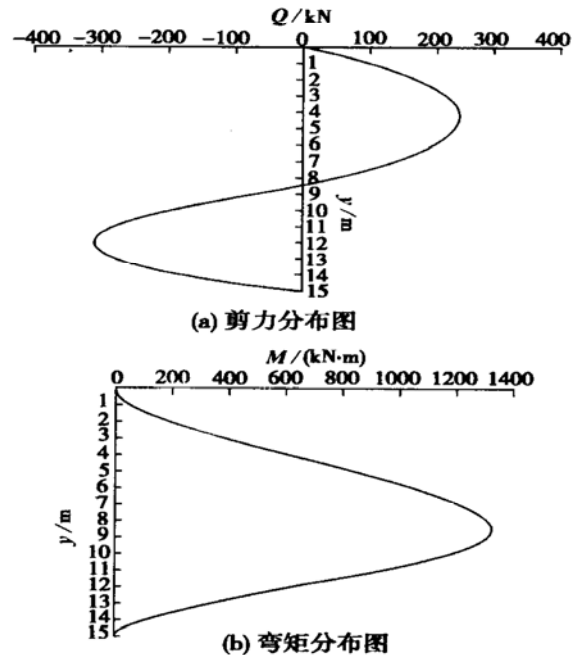


图 7 缩短锚固长度时埋入式抗滑桩的内力分布图

Fig. 7 Distribution of shear force and moment of pile along the length of pile with shortened length of anchorage

由图中可见,此时的桩身截面最大弯矩为 $1323.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$,位于距桩顶 8.35 m 处,非锚固段与锚固段的最大剪力分别为 233.5 kN 与 309.4 kN ,同锚固段长度未缩短时比较,桩身受力仍较合理,桩侧最大反力也远小于岩体抗压强度,仍可保证抗滑桩安全正常发挥作用。可见,此时把锚固段长度缩短 3 m 是合理的。由此说明,埋入式可以比悬臂式的锚固段长度短,有利于减少工程造价,提高经济效益。

2.3 坡面防护圬工量比较

在最下一级坡设置埋入式抗滑桩时,由于桩前保留有一定坡率的岩土体,所以此时只需在坡面进行适当的防护便可,一般可采用绿色植被防护,需要很少的圬工量。当在最下一级坡设置悬臂式抗滑桩时,由于桩前没有岩土体而呈竖直面形式,所以必须对该桩间竖直面进行防护。此时一般不便进行植被防护,而多采用喷混凝土或浆砌片石等护坡形式,就需要较多的圬工量。具体如对该 K101+240 工点而言,使用两种抗滑桩时圬工量的差别主要在最顶与最底两级坡面上。由最底级坡的坡率与开挖高度可以算得,用埋入式抗滑桩时,该级坡面长度为 11.31 m ,而用悬臂式抗滑桩时,相应最底级坡面长度即为该级开挖高度 8 m ,二者相差 3.31 m 。同理可算得在最顶级坡面,埋入式比悬臂式长 2.97 m 。这样,沿线路方向每延米的坡面防护量,埋入式比悬臂式多 6.28 m^2 。虽然其中最顶级坡的防护埋入式比悬臂式要多些,但最底级坡的防护占多数,于是埋入式此时可以用而悬臂式则不便采用。

的有利于环保的植被防护(如铺草皮)的许多优势就可以发挥出来,同时埋入式比悬臂式坡面防护的圬工量也有所减少。总的比较起来,使用埋入式时在坡面防护上更具有社会经济综合意义。可见,埋入式抗滑桩比悬臂式抗滑桩更有利于最底级坡的防护及环境保护,在坡面防护上一般更具长远的社会效益。

2.4 坡体开挖高度的比较

边坡工程一般为辅助工程,其开挖位置多受主导工程控制。在道路工程中,一般是当线路中线位置确定后,再根据路肩宽度、路边排水沟等因素确定边坡坡脚位置,进而进行边坡的开挖工程设计。所以,在这种情况下,当坡体最下一级采用悬臂式抗滑桩时,由于桩前没有岩土体,其上各级坡体就会在离原始坡面较近位置处以一定的设计坡率与坡高开挖,于是整个坡体的开挖高度 H 会相对较小。而用埋入式抗滑桩时,由于桩前存在一定坡率的坡体,所以其上各级坡体在离原始坡面较远位置处开挖,在与前者坡率与坡高相同的情况下,就会使得整个坡体的开挖高度 H 比前者有所增加。两者关系如图8所示。

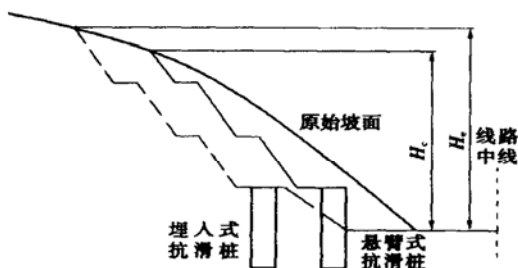


图8 采用两类抗滑桩时对坡体开挖高度的影响比较

Fig. 8 Comparison of excavation heights of slope with embedded anti-slide pile and cantilevered anti-slide pile

可见,采埋入式抗滑桩时的坡体开挖高度要比悬臂式抗滑桩时大。当坡体开挖范围内原始坡率很陡时,这种差别会很明显,若坡体开挖范围内原始坡率不是很陡,则两者的开挖高度差别就不会很大。但由于两者距原始坡面的位置关系不同,因而采用埋入式抗滑桩会造成坡体开挖工程量比悬臂式抗滑桩时的大。具体如对K101+240工点而言,根据各级坡的坡率与开挖高度以及台阶宽度,可以算得采用埋入式抗滑桩时的整个坡体开挖高度比采用悬臂式时增加2.1 m,而整个坡体的开挖工程量在沿线路方向上每延米则增加262.5 m³。因此,从开挖工程量角度说,埋入式抗滑桩会比悬臂式抗滑桩增加部分工程投资,这是其不利的一面。但同减小桩身截面尺寸且缩短锚固段长度而降低工程投资这一重要经济效益相比,它对工程造价的影响一般处于次要地位。也就是说,综合比较起来,通常还是有利于降低工程造价的。

总之,在岩石高边坡开挖工程中,最下一级坡设埋入式抗滑桩比悬臂式抗滑桩的桩身内力更为合理,桩侧岩体抗力有所减小,受力条件得到很好的改善,而且可以缩短锚固段长度,有时还可以减少坡面防护所需圬工量,并适合采取有利于环境保护的植被护坡措施。虽然可能造成坡体开挖量有所增大而增加部分工程投资,但是其很多长处更具有重要的经济效益和社会意义,尤其是当开挖范围内原始坡率较缓时,采用埋入式抗滑桩的优点就更十分明显了。因此,经过综合比较,这种抗滑桩结构一般有利于降低工程造价,使工程建设更加经济合理,具有一定的社会效益。

3 结 语

对于实际的岩石高边坡开挖工程,在最下一级坡体使用抗滑桩支挡时,为了避免桩身截面过大等不便因素,使设计效果更为经济合理,可以考虑采用桩前仍保留部分岩土体的埋入式抗滑桩结构。

本文结合实际工程的具体特点,对比分析了埋入式抗滑桩与悬臂式抗滑桩的优缺点。埋入式抗滑桩除了易造成坡体开挖量较大这一不利因素之外,具有桩身内力与桩侧反力分布合理,锚固段长度可以缩短,坡面防护圬工量通常可以减少并有利于环境保护等优点。因此,在具体选择何种结构时,一般要进行技术经济比较以综合确定。但在坡体开挖范围内原始坡率较缓的情况下,建议采用埋入式抗滑桩结构支挡坡体。总之,在岩石高边坡开挖工程中使用埋入式抗滑桩结构是一种较新的方法,具有很多特点,常常可以降低支挡工程的造价,使工程建设更为经济合理,具有一定的社会经济意义。

参考文献:

- [1] 罗 强. 公路抗滑桩的类型及应用[J]. 公路, 2001, (8): 113-114.
- [2] 叶 涛. 抗滑桩在边坡治理中的应用[J]. 西部探矿工程, 2002, 74(1): 113-114.
- [3] 铁道部第一勘测设计院. 路基[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995. 162-221.
- [4] 王士川, 陈立新, 张 进. 抗滑桩的弹塑性理论分析(II)[J]. 西安建筑科技大学学报, 1997, 29(4): 426-429.
- [5] 戴自航. 抗滑桩滑坡推力和桩前滑体抗力分布规律的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(4): 517-521.
- [6] 周德培, 王建松. 预应力锚索桩内力的一种计算方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(2): 247-250.
- [7] 贺建清, 张家生, 梅松华. 弹性抗滑桩设计中几个问题的探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(5): 497-502.