

扶壁结构在抗滑桩倾斜治理工程中的应用

钮洪亮¹, 王敏²

(1.中交第二公路勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430056; 2.江汉大学 机电与建筑工程学院)

摘要: 该文根据云南省某公路路堤桩板墙倾斜治理工程实践,提出了一种扶壁结构加固治理抗滑桩倾斜的工程措施,经过两年多的实践表明该方法安全可靠。扶壁结构主要由双排圆形抗滑桩、冠梁及扶壁构成,该方法施工简便快捷,加固效果安全可靠,无需对倾斜失效的抗滑桩进行纠偏复位及拆除,可应用于发生较大倾斜角度的悬臂式抗滑桩失效加固与修复。扶壁结构的提出,丰富了治理悬臂式抗滑桩失效这一实际工程问题的解决方案。

关键词: 扶壁结构; 抗滑桩倾斜; 加固治理

1 引言

抗滑桩作为稳定边坡和滑坡、加固不稳定山体的有效措施,在国内外都得到广泛应用,国内外学者对它的理论研究已经达到了一定的水平。无论在滑坡机理分析、滑坡推力计算,还是在新型抗滑桩设计等方面均有大量的研究及实践成果。但是在实际的工程中,受地质情况认识程度、施工质量以及各种未知情况(如地震、强降雨等)的影响,也不乏存在抗滑桩失效的工程事故。抗滑桩一旦发生失效破坏,其加固治理是必须面对的实际工程问题。

目前,针对抗滑桩失效的有关研究主要集中在失效机理、稳定性评价等方面。吴永等对地震波作用下抗滑桩的失效机理进行研究,分析了导致滑坡启动和锚固体系失稳的震波特征,并给出了其临界值的计算模式;孙岩平进行抗滑桩失效判断与滑坡稳定性分析研究,建立了抗滑桩稳定性分析体系;Lin Chen等利用有限元方法讨论了抗滑桩的失效机理及失效的主要原因;田义斌等对某高速公路上滑坡治理中桩板墙失效的原因进行了分析和论述;陈林等采用二维有限元强度折减法,对某边坡抗滑桩失效机理进行了研究;王伟德等、钟国辉对抗滑桩与扶壁式挡土墙联合支护技术进行了研究与应用等。而对于抗滑桩失效后的修复、纠偏等加固治理措施,除了中铁西北科学研究院有限公司公开发了一种将水泥注浆、预应力锚索加载与

掏土结合的抗滑桩倾斜复位纠偏与加固方法外(发明专利),中国国内很少有相关文献对此进行报道研究。

该文以云南省某公路路堤桩板墙倾斜治理工程为例,提出一种扶壁结构加固治理抗滑桩倾斜的方法。以解决发生较大倾斜角度的悬臂式抗滑桩失效加固修复工程的难题。

2 工程概况

云南省某公路一段长度为360 m的陡坡高路堤,位于山体坡脚斜坡地形上,中心填土高度为2~10 m,最大填方边坡高度为26 m,沿老路拓宽改建。设计采取路堤式桩板墙支挡方案,抗滑桩为2 m×3 m矩形抗滑桩,桩间距5.0 m,桩长22~24 m,悬臂长6~10 m,悬臂间设置挡土板,共设置70根抗滑桩;桩板墙墙顶以上填土高度16 m,结合地方改路采取台阶式边坡坡形,第一级边坡坡率为1:1.5,第二级边坡坡率为1:1.75,改路平台宽6.0 m,平台高度按改路纵断面标高设置,原设计路基典型横断面如图1所示。

路基施工期间,在桩板墙施工完毕,其上路堤土方填筑至桩板墙顶以上10 m时,受汛期连续降雨及强降雨的影响,14#~43#抗滑桩向坡外倾倒,填方路基下沉、开裂,失稳迹象明显。位移监测显示,26#抗滑桩倾斜幅度最大,倾斜角度约9°,桩顶水平位移达到1.0 m。事故发生后,立即通过卸载等应急处理措施,控制了桩体失稳变形的继续发展。

收稿日期:2019-09-10(修改稿)

作者简介:钮洪亮,男,硕士,高级工程师.E-mail:114621365@qq.com

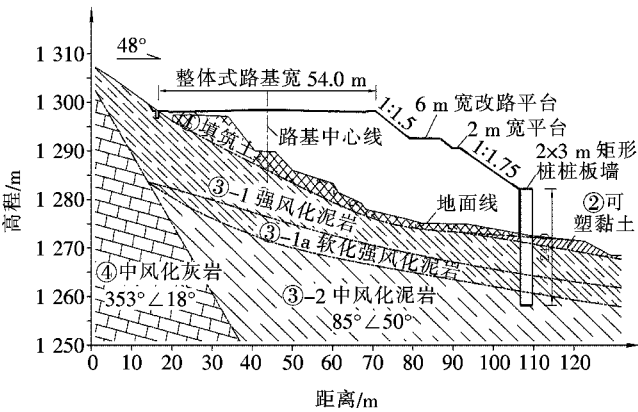


图 1 原设计路基典型断面图

3 抗滑桩倾斜机理分析

3.1 工程地质条件

通过补充地质勘察及抗滑桩挖孔记录,查明项目区工程地质条件。地表覆盖第四系人工填筑土、残坡积黏土,下伏花枝格组泥岩及砾岩,地层岩性及岩土体物理力学参数见表 1。原设计抗滑桩桩底端多位于③—1a 软化强风化泥岩层中,抗滑桩贯穿土层有②可塑黏土层、③—1 强风化泥岩层。②~③—1 层岩土体对地下水的作用较敏感,受水后易软化变形。

表 1 地层岩性及岩土体物理力学参数

层号	岩土名称	揭露厚度/m	重度/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
①	稍密筑填土	0.8~12.8	20.3	9.0	18.0
②	可塑黏土	1.5~3.4	19.2	20.0	12.0
③—1	强风化泥岩	2.2~9.8	20.2	35.0	17.0
③—1a	软化强风化泥岩	2.0~6.0	19.5	25.0	13.0
③a	强风化泥质砂砾岩	6.2~7.5	20.4	30.0	15.0
③—2	中风化泥岩	>18.6	21.2	55.0	22.0

3.2 抗滑桩倾斜形态特征

该案例抗滑桩倾斜主要集中在地表悬臂高度超过 8 m 的路段,并且倾斜幅度、桩顶水平位移与悬臂高度成正比。26# 抗滑桩悬臂高度为 12 m,是变形最为严重的位置。通过地表外观检查,抗滑桩悬臂段及桩间挡土板结构均未发现裂缝及破坏迹象。抗滑桩在地面处产生挤土效应,桩前土隆起变形,并伴随有地下水渗出,同时,桩板墙顶部填筑的路基下沉、开裂。通过对倾斜抗滑桩取芯检测和低应变反射波法检测,抗滑桩结构自身未发生剪断或折断现象,桩身结构完整性较好。变形特征表明,抗滑桩因支挡能力不足而被推歪,产生了整体倾斜变形。

3.3 抗滑桩倾斜机理

抗滑桩产生整体倾斜失效,主要是因抗滑桩锚固段长度不足,桩侧最大压应力超过桩前土体的横向容许承载力,桩前土被挤压失稳破坏或产生较大压缩变形所致。针对该工程案例,抗滑桩产生整体倾斜的内因主要是凹坡地形汇集地下水和地表水、强风化泥岩地层遇水软化;外因是桩基开挖扰动、连续降雨为泥岩浸水软化创造了条件。

原设计抗滑桩锚固段长度为 12 m 以上,均超过

了桩长的一半,但锚固段所贯穿的地层主要是强风化泥岩,该地层对地下水的作用较敏感,受水后软化崩解。抗滑桩桩基开挖过程中,导致强风化泥岩与外界大面积接触,爆破加剧了结构扰动破坏。同时,施工期连续降雨及强降雨,凹坡地形汇集雨水,地基被雨水冲刷、浸泡、地下水位上升,进一步加剧了泥岩浸水饱和而软化、泥化,进而导致抗滑桩桩前土体的强度降低,抗滑桩的有效锚固长度减短。在路基填土土压力的作用下,抗滑桩因桩前土体抗力不足而被整体推歪。

4 稳定性计算

4.1 稳定性分析

根据补充地质勘察报告及 c 、 φ 值反演分析,稳定性计算采用的岩土体物理力学参数如表 1 所示。选取 19#、26#、37# 抗滑桩 3 个代表性典型断面作为计算剖面,采用简化 Bishop 法,运用理正岩土计算软件进行路堤整体稳定性分析计算。自动搜索最危险滑面结果表明,受泥岩软化强度降低的影响,最不利滑面均位于软化强风化泥岩层,路堤及桩板墙发生深层整体失稳变形。

在施工期抗滑桩发生倾斜的状态下,26# 桩位路堤整体稳定性计算断面及最不利滑面搜索结果如图 2 所示。坡体整体稳定系数为 0.977,抗滑桩有效锚固段长度仅为 4.2 m,受荷段长度 19.8 m。在此状态下进行抗滑桩验算,其桩顶位移为 240 cm(理论计算值),结果表明抗滑桩产生了较大的位移,与桩体倾斜实际情况吻合。

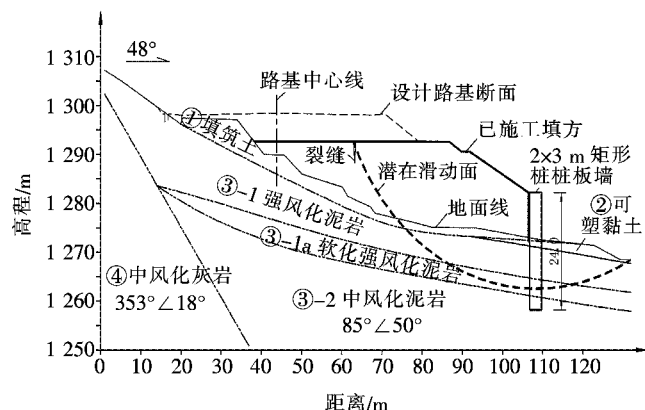


图 2 抗滑桩发生倾斜状态整体稳定性计算断面(26# 桩)

通过稳定性定量分析,进一步确定了抗滑桩倾斜的机理,同时为该工程的加固治理提供了设计依据。

4.2 设计剩余下滑力计算

根据 JTG D30—2015《公路路基设计规范》,路堤沿斜坡地基或软弱层滑动的稳定性分析工况及稳定安全系数为:① 正常工况为 1.30;② 非正常工况 I,稳定安全系数 1.20。在路基填筑至设计标高及运营期间车辆荷载状态下,抗滑桩支挡处设计剩余下滑力计算结果如表 2 所示。

表 2 加固设计剩余下滑力计算结果

计算剖面	计算工况	稳定性系数	抗滑桩支挡处剩余下滑力/(kN·m ⁻¹)
26# 桩断面	正常工况	1.30	1 345.985
	非正常工况 I	1.20	678.052
37# 桩断面	正常工况	1.30	1 164.088
	非正常工况 I	1.20	304.987

根据计算结果,该案例加固治理设计剩余下滑力取为 1 400 kN/m。

5 扶壁结构治理方案

5.1 治理方案的拟定

该案例桩板墙桩体倾斜治理方案的拟定主要考虑

以下几个因素:

(1) 已倾斜的抗滑桩锚固段深度明显不足,无法提供有效支挡,需增设抗滑桩等强支挡结构。

(2) 桩体倾斜幅度大,纠偏矫正难度极大,即使采用锚索等措施纠正,抗滑桩依旧因锚固段深度不足而无法提供有效抗力,无法实现加固效果。

(3) 路基填土已基本完成,若考虑拆除倾斜抗滑桩重新施做,无论在工期、施工难度、还是工程投资上均不可行。

(4) 若在原有抗滑桩之间增设矩形抗滑桩加固,可以实现治理加固效果,但已倾斜的抗滑桩没有得到扶正修复,难免会在外观上对工程质量及工程验收产生影响。

(5) 对于已经失稳破坏的坡体加固,若采用人工挖孔的矩形抗滑桩加固,存在施工工期长、人工挖孔施工存在一定安全性风险等问题。

针对该案例的实际情况及特点,提出了采用机械成孔的双排圆形抗滑桩与扶壁相结合的治理方案。

5.2 扶壁结构设计

根据工程实际,经比选设计确定采用的扶壁结构由双排圆形抗滑桩、桩顶冠梁及扶壁等组成,整体附着于倾斜桩板墙外侧设置,三维结构示意图如图 3 所示。

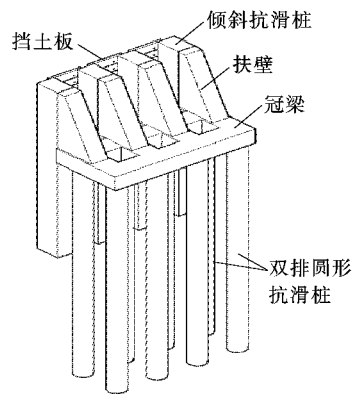


图 3 扶壁结构三维构造示意图

双排圆形抗滑桩锚固于滑动面以下稳定岩土体中,为坡体加固提供有效支挡抗力。圆形抗滑桩采用机械成孔施工,设置于每根倾斜抗滑桩正外侧,矩形布设,第一排距离倾斜抗滑桩 4.0 m,第二排与第一排桩间距 5.0 m,每根抗滑桩设计抗滑力 700 kN/m,桩径设计 2.0 m,桩长 30 m,滑动面以下锚固段长 20 m。

圆形抗滑桩桩顶设置横、纵冠梁连接,冠梁以 4 根倾斜抗滑桩为一个加固单元分段受力,以提高双排桩的整体性及适应差异变形能力。横向冠梁与倾斜抗滑桩一一对应,并与倾斜抗滑桩间植筋固结,传递水平抗

力,冠梁设计宽度 2.4 m,梁高 2.0 m。

扶壁用于将抗力传递至倾斜抗滑桩的悬臂段,并实现对不同倾斜程度的桩身进行修正。扶壁设置于横向冠梁与倾斜抗滑桩所形成的三角区内,与倾斜抗滑桩间植筋固结。扶壁厚度与倾斜抗滑桩宽度相同,厚 2.0 m,顶部宽 1.0 m,设置坡率为 1:0.5 的外倾面坡。

圆形抗滑桩、冠梁、扶壁均采用钢筋混凝土结构,结构尺寸及配筋通过理正岩土计算软件和 Midas 结构计算软件辅助计算确定。从工程安全性及设计明确性角度,对已倾斜抗滑桩按不提供支挡抗力构造物考虑。扶壁结构加固倾斜抗滑桩立面图、平面图分别如图 4、5 所示。

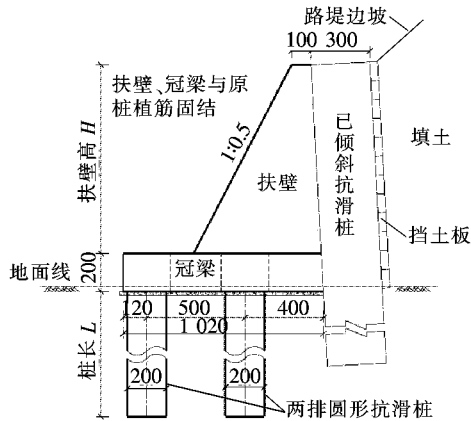


图 4 扶壁结构加固倾斜抗滑桩立面图(单位:cm)

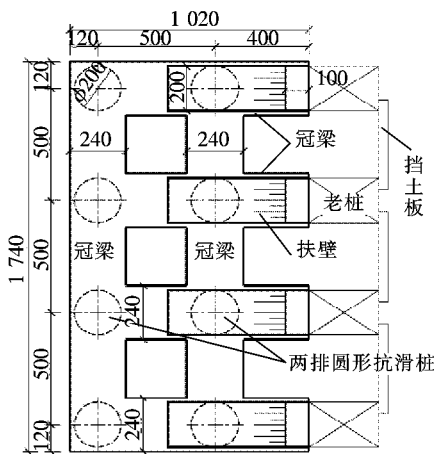


图 5 扶壁结构加固倾斜抗滑桩平面图(单位:cm)

5.3 扶壁结构治理效果及优势

该案例实施效果如图 6 所示。道路已建成通车运营 2 年多时间,经历了罕见暴雨期考验。运营期间对抗滑桩桩顶位移和桩身深层侧向位移进行监测,其中 19#、26#、37# 桩顶累计位移过程曲线如图 7 所示。图 7 表明加固结构受荷后桩顶产生外移位移,变形量

小,最大桩顶累计位移量为 105 mm,且变形发展趋势明显收敛,坡体整体稳定。扶壁结构的采用有效地解决了大倾斜角度失效抗滑桩的加固和治理这一实际问题。

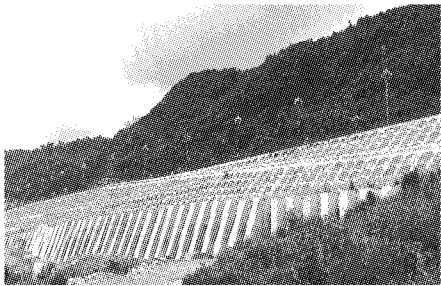


图 6 扶壁结构加固倾斜抗滑桩实际效果图(案例)

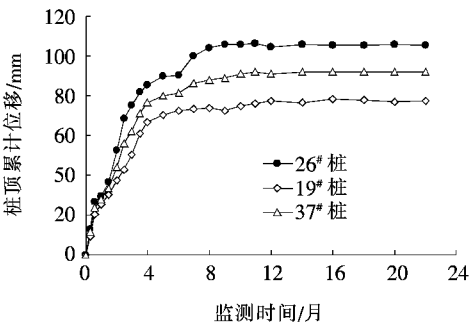


图 7 运营期桩顶位移过程曲线图

通过实际工程的验证,采用扶壁结构治理倾斜失效抗滑桩具有以下优势:

- (1) 不需对倾斜抗滑桩进行纠偏或拆除处理,能适用于倾斜角度大、锚固深度不足甚至桩身断裂等无法提供有效抗力的失效抗滑桩的加固治理工程。
- (2) 圆形抗滑桩机械成孔,施工效率高、工期短、安全风险可控,具有抢险工程的时间优势和安全优势。
- (3) 冠梁结构不仅增强了双排圆形抗滑桩的整体刚度,有效控制变形及应力分配,而且为上部扶壁结构的实施创造了基础条件。
- (4) 扶壁结构不仅可以传递抗力,而且可有效“治理”桩体倾斜这一工程事故,使倾斜抗滑桩在结构受力及外观修复上均得到有效解决。

6 结论

- (1) 提出了一种扶壁结构加固治理抗滑桩倾斜的工程方法。扶壁结构主要由双排圆形抗滑桩、冠梁及扶壁构成。
- (2) 通过实际工程的应用,扶壁结构有效地解决了抗滑桩倾斜失效这一工程事故。实践证明:该方法

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.06.006

酶石灰技术加快稳定软土路基试验研究

刘海鹏¹, 陈冠一^{1,2}, 杨和平¹ 编译

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.广东鸿高建设集团有限公司)

摘要: 因自身强度低、承载能力弱、渗透性差及压缩性大,软土是工程中的一类常见问题土,在软土中添加石灰,对改善其工程性质的影响显著。为了解石灰加固软土的效果,该文采用5种不同类型土样,对每种土分组进行掺固化剂改良的对比试验,第1组添加石灰;第2组添加酶,第3组掺石灰+酶。采用加州承载比(CBR)作为加固效果评价指标,对3组试验结果开展对比分析。结果表明:添加石灰与生物酶固化的软土,在石灰稳定土壤期间其强度提升加快,能形成高强度的土质基体。路面设计时采用这种酶石灰加固软土技术,路面路基结构层的设计厚度可适当减薄。

关键词: 酶石灰; 固化剂; 软土; 路基; 加固; CBR 值

修建公路时,外借土或现场改良土均须满足强度标准,改良现场土常用石灰、水泥和粉煤灰作添加剂。尽管石灰易制取成本低,且稳定土施工工艺简单,但因对环境有害,如今在国外已不再大量采用(Little 1995; Najmiah 和 Razap, 2007)。

中国土壤改良技术研究仍较薄弱,添加剂多采用石灰、水泥、粉煤灰及其这类材料的拌和物,近些年来虽也在引进、消化国外固化剂技术,并研制了 TFISS 等几种新型固化剂,不过因制作工艺、成本等原因,其实用性较差无法大面积推广。发达国家 1980 年就开

始生物酶固土技术研究,并取得了良好经济环保效益且得到国内外业界的认可,但中国将其引进至今只铺筑了几条生物酶固土低等级道路,其研究应用仍在起步阶段,缺乏成型且适合中国国情的技术和施工工艺。近年来,深圳、东莞等沿海城市掀起了新一轮大规模“围海造陆”热潮,同时为处置城市建筑渣土,采用了“推填挤淤”技术构筑陆域工作面,不少废渣土因质量差,加之对海相淤泥需做加固处治,采用常规添加剂因污染环境被海洋局严控使用,给围海造陆工程建设带来极大困扰。随着中国对海洋环境保护的日益重视,

施工简便快捷,加固效果安全可靠,无需对倾斜失效的抗滑桩进行纠偏复位及拆除,可应用于发生较大倾斜角度的悬臂式抗滑桩失效加固修复工程。

(3) 扶壁结构的提出,丰富了治理悬臂式抗滑桩失效这一实际工程问题的解决方案,可为类似工程提供了治理思路,具有较强的实用借鉴价值。

参考文献:

- [1] 孙岩平.抗滑桩失效判断与滑坡稳定性分析[D].长安大学硕士学位论文,2013.
- [2] Shangyi Zhao, Lijun Deng. Analyses of Embedded Piles Reinforced Landslides Using Strength Reduction Finite Element Method[J]. International Journal of Geotechnical Engineering, 2017(2): 389-401.
- [3] 吴永,何思明,李新坡.地震波作用下抗滑桩的失效机理

[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2009(5).

- [4] Lin Chen, et al. Failure Mechanism of a Slope Anti-Sliding Pile[J]. Advanced Materials Research, 2013, 639-640: 593-597.
- [5] 田义斌, 厚行霞. 某滑坡治理中桩板墙失效原因的分析与探讨[J]. 路基工程, 2007(2).
- [6] 陈林, 姚勇, 杨炯, 等. 某边坡抗滑桩失效机理研究[J]. 四川建筑科学研究, 2014(4).
- [7] 王伟德, 刘前进. 抗滑桩+扶壁式挡土墙联合支护的工程应用[J]. 工程建设与设计, 2013(1).
- [8] 钟国辉. 高填方区双排桩叠加扶壁式挡墙边坡支护技术[J]. 建筑监督检测与造价, 2017(7).
- [9] 中铁西北科学研究院有限公司西南分院. 一种抗滑桩倾斜复位纠偏与加固方法: 中国, CN105887948A[P]. 2016-08-24.
- [10] JTG D30-2015 公路路基设计规范[S].

收稿日期: 2019-04-19