

索道建筑基于桩锚共同作用的悬臂桩加固设计

魏鹏飞^{1,3}, 汪子奇², 邵远爻³, 张 磊³

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 湖北 武汉 430074; 3. 湖北省地质局第八地质大队, 湖北 襄阳 441003)

摘要:结合武当山风景区某护坡工程,介绍了一种预应力锚索与悬臂桩(墙)组合补强加固高边坡变形的设计方案。通过对边坡地层的补充勘察,对护坡桩结构内力的受力分析,找出了高边坡变形加剧和桩身局部裂缝的原因,设计采用了预应力锚索补强加固悬臂桩(墙)。经过长期监测,加固后 3 年来的桩顶最大位移累计 30.1 mm,小于国家规定的规范要求。实践表明,桩锚支护补强设计安全可靠,其成功经验和体会对类似项目有借鉴意义。

关键词:高边坡加固;预应力锚索;护坡桩;桩锚共同作用;悬臂桩

中图分类号:P642.22;U213.1⁺52.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)12-0079-05

Reinforcement Design of Cantilever Pile Based on Combined Action of Pile and Anchor for Cableway Construction/WEI Peng-fei^{1,3}, WANG Zi-qi², SHAO Yuan-bo³, ZHANG Lei³ (1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Geological Survey Institute, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 3. Eighth Geological Brigade of Hubei, Xiangyang Hubei 441003, China)

Abstract: This paper introduces a design plan of the combined reinforcement of high slope deformation based on pre-stressed anchor cable and the cantilever pile (wall). By the supplementary investigations of the slope geological lithology and the stress analysis on the internal force of slope protection pile structure, the causes of the high slope deformation and the local cracks of the pile were found out; the reinforced cantilever pile (wall) was designed with pre-stressed anchor cable for use. After a long time monitoring, the maximum displacement of pile head is accumulative 30.1mm in 3 years, which is less than the national regulations. It shows that the design of pile-anchor reinforcement is safe and reliable and the successful experience can be reference for the similar project.

Key words: high slope consolidation; pre-stressed anchor cable; slope protection pile; combined action of pile and anchor; cantilever pile

0 前言

武当山风景区索道候车大厅及游客休息长廊下侧原始地形为北向斜坡,坡度约 25°~30°。2010 年在游客休息长廊外侧施工了人工挖孔钢筋砼护坡桩+挡土板,并经人工填土形成直立边坡,坡高 6.0~10.0 m。2012 年 2 月发现个别护坡桩及坡体出现裂缝,随后对护坡桩进行了水平位移和沉降监测,监测结果显示护坡桩桩顶累计变形超过 100 mm,且变形仍在不断扩展^[1]。如果对变形边坡处理不当,会影响到国家 5A 级景区的正常运营,造成的经济损失及社会影响难以估量。为了查明护坡桩变形的原因,襄阳地质工程勘察院收集了前期设计、施工、监测、安全鉴定等大量资料,并对坡体进行了补充勘察。勘察采用地形测量、综合工程地质测绘、钻探

(共 8 个孔,其中对桩体进行了 2 个抽心孔检验)、岩土试验等手段,基本查明了护坡桩变形的原因,经过反复分析比较,报业主及十堰市地质灾害防治专家组审查与审定,决定采用预应力锚索补强加固处理。

1 原护坡桩变形情况

1.1 原护坡桩设计简介

边坡原始地形为一北向斜坡,坡面原始坡度 20°~35°。

坡体表层分布崩坡积碎(块)石土,较松散,厚度为 6.3~19.5 m。其下为绢云母石英片岩,是软质岩石,片理发育。护坡桩上侧人工填土主要成份为碎石土,充填粉质粘土,土石比约 4:6,松散。

坡体汇水条件较好,雨水及生活污水多汇流于

收稿日期:2015-11-09; 修回日期:2015-11-19

基金项目:湖北省地质局科研基金资助项目“复杂地层钻探新工艺技术研究与应用”(编号:KJ2011-4)

作者简介:魏鹏飞,男,汉族,1972 年生,硕士研究生在读,高级工程师,注册岩土工程师,一级建造师,注册造价工程师,注册监理工程师,岩土工程专业,主要从事岩土工程及地质灾害勘察、设计工作,湖北省襄阳市人民西路 160 号湖北省第八地质大队,963229520@qq.com。

此,地下水位埋深一般在 2.0 ~ 10.0 m,随季节变化而不同。

原护坡桩布置在游客长廊 F 轴线以北 14 m 处,护坡桩轴线与 F 轴平行。共布置护坡桩 22 根。方桩截面为 1.5 m × 2.5 m。桩长 15.0 ~ 24.7 m,悬臂长度 4.2 ~ 9.8 m,仅有两侧 9 根桩入岩,其余桩桩端均为碎石土。护坡桩顶部设联系梁,桩上坡侧在填土范围内设挡土板,挡土板与桩身同时浇筑,形成连续板。

1.2 变形情况

坡体变形主要发生在填土区范围内,变形区后缘距桩顶一般在 10.0 m 左右。在 11 号桩位置硬化地坪与桩体脱开,最大宽度为 80 mm,填土区砖砌水

沟上见多处裂缝,宽度一般在 15 ~ 40 mm。

护坡桩总体向北倾斜明显,有 10 条护坡桩最大倾斜率 > 1%,最大倾斜值达到 17.5%。

19、18、17 号 3 根护坡桩发生裂缝。其中 19 号护坡桩有裂缝最为典型,在外露 3 个侧面均有裂缝,面对桩身,裂缝均为右高左低的斜向裂缝,呈明显的受扭特征。裂缝详细特征见图 1,一条长 3 m,最大宽度为 0.77 mm 的裂缝,另一条长 2.2 m,最大宽度为 0.68 mm 的裂缝,2 条裂缝延伸方向与水平方向呈 45° 左右;桩身西侧有一条长 3 m,最大宽度为 0.58 mm 的裂缝,裂缝延伸方向与水平方向呈 45° 左右;桩身北侧有一条长 1 m,最大宽度为 0.11 mm 的裂缝,裂缝延伸方向与水平方向呈 45° 左右^[2]。

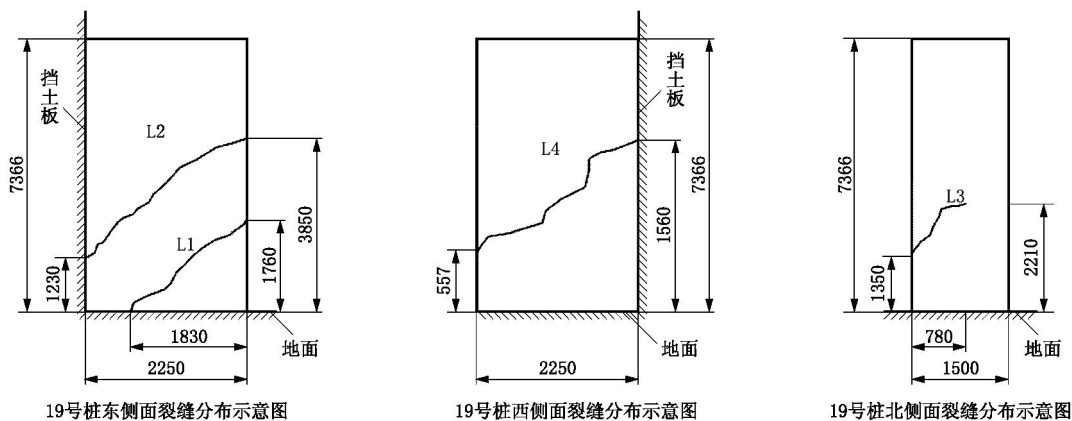


图 1 19 号护坡桩上的裂缝

2 变形原因分析

2.1 护坡桩倾斜过大原因

2.1.1 水土压力过大

由于挡土板上泄水孔排水不畅,填土区在雨水增加及生活污水排放过多时易形成较高的地下水位,增大对挡土板及桩的压力。如图 2 所示,17 ~ 18 号桩之间的挡土板低位排水孔也很少见排水痕迹,高位排水孔排水痕迹明显,排水孔距地表埋深约 2.0 m。

2.1.2 挡土板水压力计算

采用水土分算的方法,对作用于挡土板上的水土压力计算如表 1。计算以 15 号桩为例,悬臂段高度取 9.8 m。

从表 1 中可以看出,水位由 5.0 m 上升至 2.0 m 时,土压力增大至 139%,水压力占到水土压力合力的 61%^[3]。

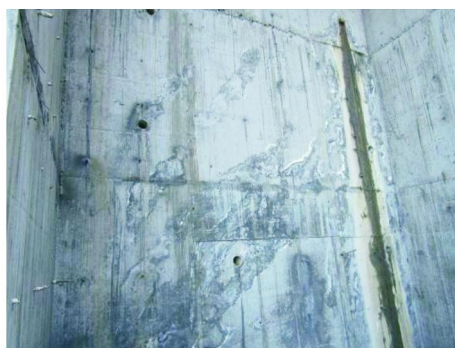


图 2 低位排水孔未有效排水

表 1 不同水位埋深土压力计算

水位埋深/ m	主动土压力合力/ (kN · m ⁻¹)	水压力合力/ (kN · m ⁻¹)	水土压力合力/ (kN · m ⁻¹)
2.0	190.95	304.20	495.15
3.0	209.89	231.20	441.09
4.0	226.23	168.20	394.43
5.0	239.97	115.20	355.17

2.1.3 嵌固端表层被动土抗力不足

从地质剖面图(图 3)可以看出,桩下侧为一斜坡地形,总体坡度 30°,局部坡度在 35°左右。斜坡上嵌固端的被动土压力会明显小于水平地面。从图 4 可以看出,在嵌固端上部,桩上侧土压力较大,而

下侧土压力较小,造成抗力不足,引起桩体过大变形。变形进一步发展有可能造成嵌固端上部土体不断蠕滑。

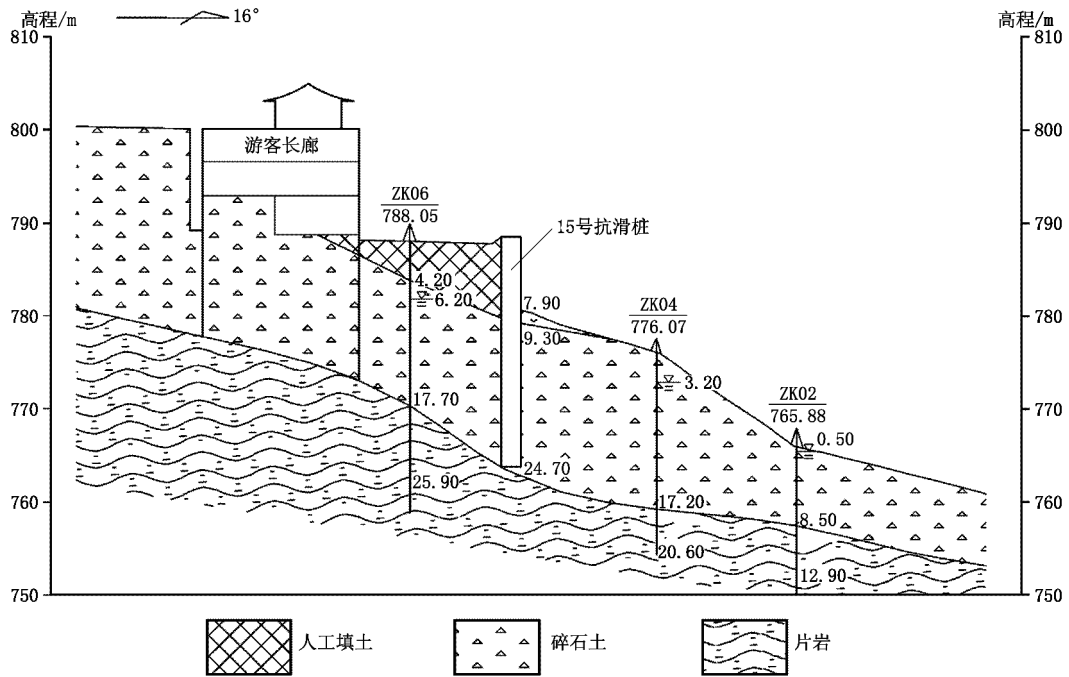


图 3 工程地质剖面图

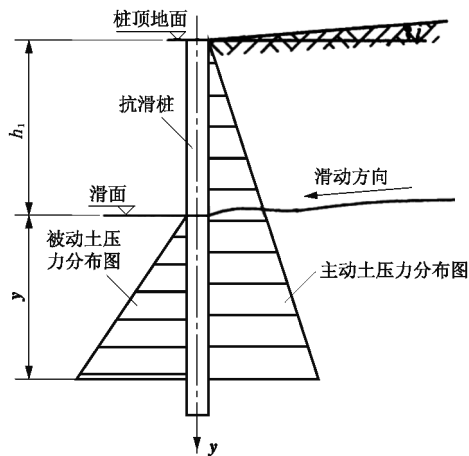


图 4 护坡桩侧土压力示意图

2.2 护坡桩扭力裂缝产生和变形原因分析

如前所述,在 19 号护坡桩的 3 个临空面均产生了约 45°的斜向裂缝,面对桩体裂缝呈现右侧高左侧低的特征,高度位于悬臂端底部。18 号护坡桩在北侧和东侧、17 号护坡桩在东侧均有类似裂缝。

在护坡桩悬臂端受嵌固端限制,受北偏西向土压力影响产生扭转裂缝。护坡桩在悬臂端受挡土板(连续板)、桩顶梁及相邻桩共同限制;嵌固端受到

与桩长轴方向斜交(北偏西)土压力的作用产生逆时针扭转(详见图 5)。扭力裂缝的产生表明护坡桩在嵌固端浅层存在蠕滑。

3 预应力锚索加固设计

3.1 加固方法的选择

采用通用岩土有限元计算软件 PLAXIS 2D 对护坡桩变形进行了计算,详见图 6。土体采用莫尔-库仑模型,抗滑桩采用弹性板。计算结果表明,桩变形模式为倾倒变形,在悬臂端通过锚索施加预应力能有效限制桩体进一步变形^[4]。对抗滑桩抽心检验表明,桩身混凝土强度虽低于 C30,但强度高于桩身实际内力。因此采用锚索加固是安全的。

3.2 桩锚受力分析

按水土分算考虑填土压力;采用理正岩土 6.5 版边坡计算软件对桩受力及变形进行计算,结果见表 2。

锚索设计拉力的选取除考虑加固后坡体的稳定性要达到规范规定的安全系数外,还要使桩身所受内力合理,即锚索达到设计拉力后,桩体内力不超出

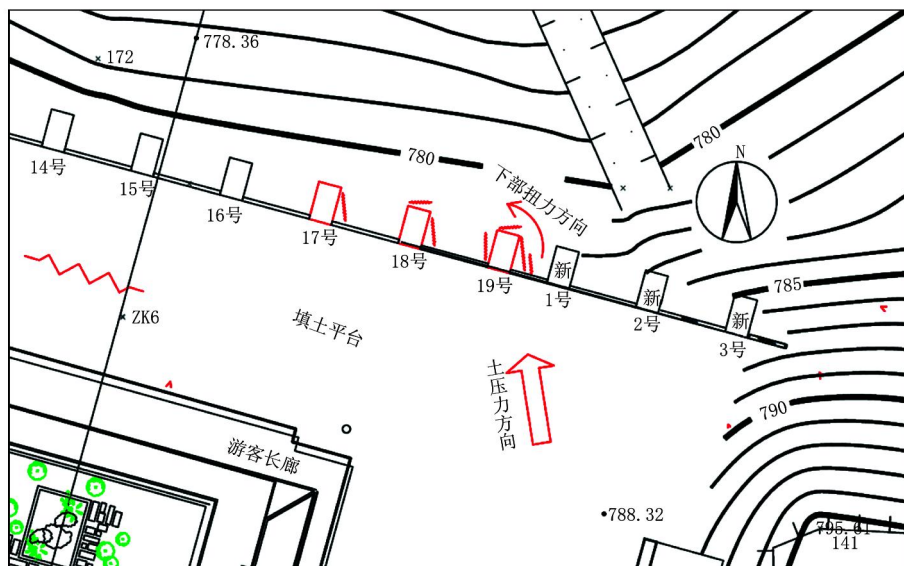


图5 护坡桩受扭力示意图

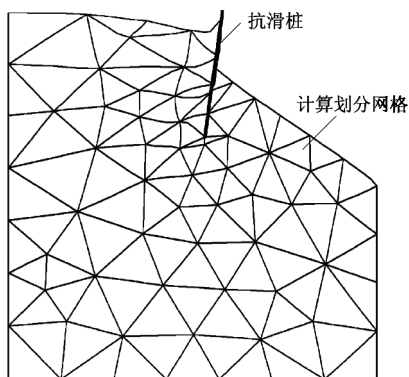


图6 桩土共同作用变形网格图

原设计内力范围。锚索位置选择在悬壁端1/3高的位置,目的是使锚索抗力点与水土压力合力尽可能重合,尽量减少桩身内力(见图7)。

3.3 预应力锚索设计

预应力锚索采用压力分散性锚索。预应力锚索布置一排,每条抗滑桩两侧设2根,设计拉力选取800 kN/根,施加预应力450 kN。预应力锚索按《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)有关规定设计,锚索倾角选取 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$,采用标准值1860级钢绞线,取10束钢绞线,锚索长度取40 m,锚固段

表2 15号桩加固前护坡桩受力计算

地下水埋深/m	单位宽度水土压力/ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$			桩身受力		桩顶最大变形/mm
	主动土压力	水压力	水土压力合力	最大弯矩/ $(\text{kN} \cdot \text{m})$	最大剪力/kN	
2.0	190.95	304.20	495.15	25385.104 (距离桩顶 14.767 m)	4009.500 (距离桩顶 9.800 m)	138
5.0	239.97	115.20	355.17	18205.479 (距离桩顶 14.767 m)	2875.500 (距离桩顶 9.800 m)	99

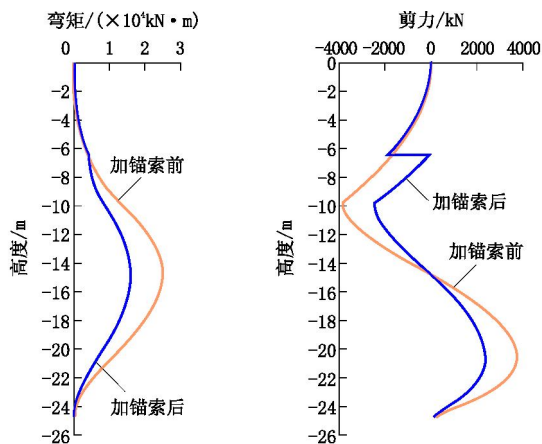


图7 锚固前后桩身内力对比图

长度8.0 m,锚固段要求置于中风化石英片岩中。

锚索在锚头位置的最近距离为2.0 m,锚索长达40.0 m,为了避免施工偏差锚固段可能“相遇”,锚索倾角采用 25° 和 30° 间隔设置^[5]。

在桩外侧设钢筋混凝土腰梁,锚固力通过腰梁传递到桩身^[6]。

计算表明,在施加预应力后桩身内力明显减小,弯矩及剪力相当于原来的2/3(参见表3),嵌固端上部桩侧土反力 <300 kPa。

3.4 其他措施

表 3 15 号桩设锚索前后护坡桩内力对比

条 件	地下 水埋 深/m	水土压 力合力/ (kN·m ⁻¹)	桩身受力	
			最大弯矩/ (kN·m)	最大剪力/ kN
未设锚索	2.0	495.15	25385.104 (距离 桩顶 14.767 m)	4009.500 (距离 桩顶 9.800 m)
单桩锚索(水平 拉力 1447 kN)	2.0	495.15	16182.998 (距离 桩顶 14.767 m)	2562.572 (距离 桩顶 9.800 m)

除预应力锚索外,还设计了排水工程和监测工程^[7]。

排水工程是沿挡土板向填土内打水平排水孔,用以排除填土层中的地下水。共设置 8.0 m 长排水孔 30 个。在桩顶设 3 个监测墩,对桩体进行大地变形监测,为期 3 年。

设计文件还对各分项工程施工工艺进行了要求。例如对于锚索的张拉,要求对所有锚索均衡施加预应力,对锚索进行检验时也要求其它锚索锁定设计预应力状态下才能对单根锚索超张拉^[8]。张拉时要对桩体位移进行实时监测。

设计对施工管理、工程监理、施工地质、锚索抗拔等功能性检验等都进行了详细要求。

4 效果

从表 4 可知,经过长期监测,加固后近 3 年来的桩顶最大位移累计 30.1 mm,小于国家规范规定的要求。

表 4 监测墩点位累计位移统计

观测时间	监测墩点位累计位移/mm				
	1	2	3	4	5
2012-10-15	3.5	4.2	3.5	4.9	3.9
2013-07-04	6.6	8.4	9.5	11.9	9.0
2013-12-01	8.7	7.3	14.5	20.3	16.2
2014-06-05	8.9	9.7	18.5	23.8	21.0
2014-11-07	8.5	11.3	22.5	30.1	25.8
2015-08-06	9.4	12.2	25.0	30.1	25.8

5 结语

在加固工程设计前,必须进行详细补勘工作、综合分析所有资料,找准桩顶变形的真正原因。

基于预应力锚索与原护坡桩共同作用,设计时要充分考虑原护坡体的受损程度及可能产生的受力幅度变化,并留足安全系数,才能有效发挥新增的预应力锚索的作用。

对施工工艺、工程管理、检验等提出要求,是设计文件不可或缺的重要组成部分,可靠的施工手段、正确的施工方法是达到设计目的和效果的必要保障。

要认真做好竣工桩顶位移监测并综合分析,一旦发现问题,必须立即采取加固补强措施。

参考文献:

- [1] 魏鹏飞. × × 景区索道建筑边坡变形监测报告[R]. 湖北襄阳:襄阳地质工程勘察院,2012:45-46.
- [2] 韩腾飞. × × 游客长廊北侧挡墙安全性鉴定报告[R]. 北京:中冶建筑研究总院有限公司,2012:37-40.
- [3] 魏鹏飞,邵远交,张磊,等. × × 景区索道建筑边坡变形加固初步设计报告[R]. 湖北襄阳:湖北地建正发桩基工程有限公司,2012:10-17.
- [4] 赵长海,董在志,陈群香,等. 预应力锚固技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001:75-79.
- [5] 李斌,黄芬,等. 福堂水电站震后厂房边坡锚索加固及应力监测与分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):67-71,76.
- [6] 袁波,吴国华,周富荣,等. 边坡工程中压力分散型锚索施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):70-73.
- [7] 周霞,焦向阳,张练红,等. 巴东滩坪滑坡治理工程锚索抗滑桩施工技术[A]. 湖北省三峡库区地质灾害防治工程论文集[C]. 湖北武汉:湖北人民出版社,2005:439-445.
- [8] 俞敏,李旺珍,胡华敏,等. 预应力锚索在公路高陡边坡加固整治工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(8):38-41,44.