

# 预应力锚索抗滑桩在边坡加固中的应用

缪荣辉

福建高速路桥建设发展有限公司 福建厦门 361000

**摘要:** 滑坡灾害治理在公路工程中具有重要的应用需求, 本文以京台线建瓯至闽侯高速公路 K85+100~K85+500 段边坡滑坡治理为例, 详细分析了滑坡产生的原因, 阐述了预应力锚索抗滑桩在边坡滑坡治理方面的设计思路和稳定性计算方法, 并通过工程实践验证了所提治理方案的合理性。

**关键词:** 预应力锚索; 抗滑桩; 边坡稳定

Application of prestressed anchor cable anti-skid pile in slope reinforcement

Ronghui Miao

Fujian Expressway Road and Bridge Construction and Development Co., LTD. Fujian Xiamen 361000

**Abstract:** Landslide disaster management has important application requirements in highway engineering. In this paper takes the slope landslide control of K85 + 100~K85 + 500 section of Beijing-Taiwan line expressway as an example, analyzes the causes of landslide in detail, expounds the design idea and stability calculation method of prestressed anchor cable anti-skid pile in slope landslide control, and verifies the rationality of the proposed treatment scheme through engineering practice.

**Key words:** prestressed anchor cable; anti-skid pile; slope stability

## 引言

抗滑桩应用于治理边坡已有 90 多年的历史, 我国于 20 世纪 90 年代形成第一版抗滑桩设计规范(铁路系统)<sup>[1]</sup>, 它的优点是抗滑能力强, 支挡效果好, 对滑体稳定性扰动小, 施工安全, 缺点是混凝土强度低、抗弯主筋或抗剪箍筋配置不足、桩截面或桩体锚固长度欠缺等<sup>[2]</sup>。为了更好地发挥抗滑桩在阻滑方面的能力, 学者将预应力锚索与抗滑桩结合, 构成了复合型抗滑系统——预应力锚索抗滑桩<sup>[3-4]</sup>。

预应力锚索抗滑桩出现时间较晚, 但由于它同时继承了二者的长处, 具有受力计算简明、刚柔结合、经济灵活等一系列优点, 因此迅速在工程实践中得到广泛应用。汶川地震震害调查显示, 预应力锚索抗滑桩在边坡稳定加固方面具有很好的效果<sup>[5]</sup>。但目前对其静力条件和动力条件下的研究还比较少, 相关理论还不完善, 因此, 还有待进一步研究<sup>[6-7]</sup>。

## 1 工程概况

京台线建瓯至闽侯高速公路 K85+100~K85+500 段边坡是本文的研究对象, 其中 K85+100~K85+360 段为主线边坡, K85+360~K85+500 段位于排头枢纽互通起点。边坡原设计为八级边坡(地面线有变化, 实际为七阶), 最高约 63.1m。因该边坡上部风化土层厚, 地质较差, 原设计采用预应力锚索(杆)+锚索抗滑桩加固的方案。第二阶预应力锚杆框架, 第三~七阶预应力锚索框架, 其中抗滑桩位于第三阶平台, K85+100~K85+360 段左侧边坡 10 根, K85+360~K85+500 段左侧边坡 15 根, 设计桩长均为 24 米, 间距 6m, 桩截面为 2×2.5m。

2015 年 2 月, 该边坡已基本开挖到底, 抗滑桩已成桩完毕, 但桩顶锚索未进行施工, 四级坡面以下锚固工程未施工, 四级坡面以上已完成了锚固工程。2015 年 2 月 3 日, 该边坡二三阶坡面出现开裂及局部小溜塌, K85+358~K85+412 段边坡第三阶平台抗滑桩桩顶出现位移。根据观测资料, 桩顶最大位移累计达 14.6cm。现场踏勘发现, 局部地下水丰富, 框架梁及平台多处开裂, 锚头未见受力反应。如图 1 所示, 坡顶截水沟外侧发育有数道裂缝, 并有贯通趋势, 裂缝宽度最大约 30cm, 裂缝主要分布于 K85+340~440 范围。从裂缝形态来看, 边坡变形已经发育为长约 100 米高约 65 米的滑坡病害。



图 1 滑坡病害照片

## 2 边坡滑坡成因分析

经专家分析评估, 造成滑坡的原因基本来自以下三个方面:

### (1) 地质原因

如图 2, 该边坡地质条件较差, 坡体上覆残坡积土层较厚, 风化深度大, 约 20~30 米, 且风化极其不均匀, 在 K85+340~440 段落风化极其剧烈, 且孤石发育, 土质松散, 含水量较大, 第 2、3 阶坡面极其潮湿, 该段坡体稳定性最差; 大桩号侧风化深度较浅, 小桩号侧基岩面埋深较大。

VI-VI 工程地质剖面图(第三阶平台纵断)

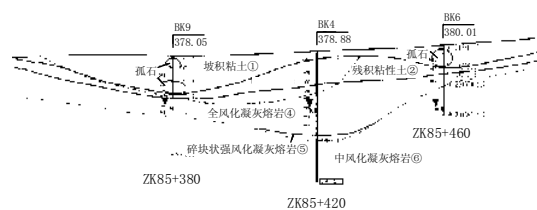


图 2 地质剖面图

### (2) 人类工程活动影响

根据检测情况, 本边坡第 5、6、7 阶大部分锚索无锚固力, 且大部分锚索外锚头未见受力反应, 可见锚索框架没有对坡体起到有效加固作用(见图 3(a))。在第三阶平台抗滑桩桩顶锚索未施工情况下, 边坡部分继续向下开挖到底(因桩顶锚索未施工, 锚索抗滑桩成为悬臂桩, 受力状态急剧恶化, 故抗滑桩产生了较大变形, 部分桩甚至发生断裂现象), 使得坡体应力场产生较大变化, 变形不断发展, 进而牵引后部变形开裂而产生滑坡病害(见图 3(b))。

### (3) 雨水影响

该坡体土层松散, 孤石发育, 后缘山体较为高陡, 地下水补给来源较大, 加之降雨时雨水入渗坡体, 使土体饱水软化, 增加土体自重, 降低其抗剪强度, 使得边坡易发生变形失稳现象。

## 3 边坡滑坡治理

病害出现后, 省高速公路指挥部立即组织专家进行考察论证, 根据论证的滑坡原因考虑, 最终确定采用“刷坡卸载+预应力锚索框架+补抗滑桩”的综合治理方案。

### 3.1 应急处理措施

(1) 立即对坡顶裂缝采用粘土回填夯实并用彩条布覆盖, 防止雨水和地表水直接渗入坡体。

(2) 对边坡进行反压, 高度至第 3 阶平台(抗滑桩位置平台), 顶宽 8~10 米, 面坡 1:2, 压实度不小于 80%。已施打的排水水平孔, 用管接长引至反压路基外。

(3) 在坡顶裂缝范围外设置截水沟, 地表水往滑坡体范围外截排, 防止地表水直接渗入坡体, 进一步降低边坡的稳定性。

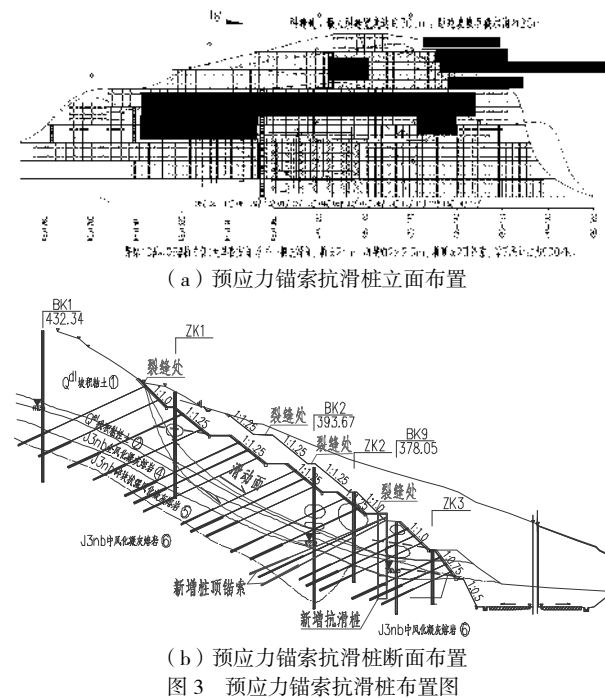
(4) 进行变形监测, 密切监视滑坡动向。

### 3.2 刷坡卸载

对边坡中、上部三阶以上已变形坡体进行适当的刷方卸载, 卸载后边坡最高为九阶, 并在边坡第四、五、六阶平台及新增抗滑桩位置设置宽平台。

### 3.3 预应力锚索抗滑桩加固

为了增加边坡的稳定性, 设置预应力锚索抗滑桩进行补强加固。在紧贴第三阶受损桩(IV、II类桩)内侧补充设置7根锚索抗滑桩, 桩长26m, 桩截面 $2 \times 2.5\text{m}$ , 间距6m, 桩顶设2孔锚索, 单孔设计拉力900KN。抗滑桩嵌固段进入中风化凝灰熔岩不小于6米。要求桩坑开挖时采用跳一挖一的方式, 跳槽施工, 同时加强桩坑护壁变形监测, 若有变形迹象, 立即采用槽钢和角钢, 按照对撑或剪刀撑的方式进行加强支撑。若桩坑开挖需要爆破时, 应采用小剂量爆破, 严禁放大炮, 建议采用静态或准静态爆破施工。在开挖抗滑桩时, 进一步确认原设计抗滑桩受损位置, 对受损桩采用注浆、置筋加强的方法对桩身进行补强。具体布置如图3所示。



除了以上加固措施外, 还要做好防排水工程, 坡面采用TBS镀锌网植草灌、客土喷播植草灌防护。通过上述系统解决方案, 保证边坡稳定性。

### 4 稳定系数计算

本工程利用稳定系数来评价预应力锚索抗滑桩的加固效果。如表1和图4所示, K85+380典型断面边坡加固后稳定系数提高了20.1%, 说明加固效果明显。

表2 加固前后稳定系数比较

桩号	加固前 $F_s$	加固后 $F_s$	提高百分比
K85+380	1.005	1.207	20.1%

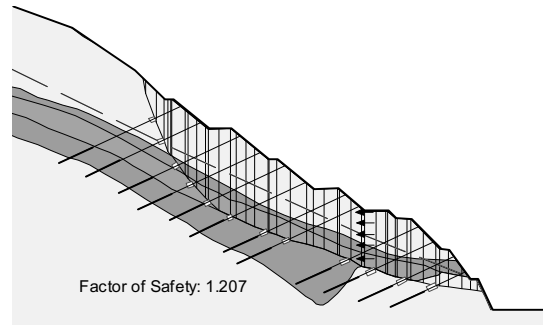
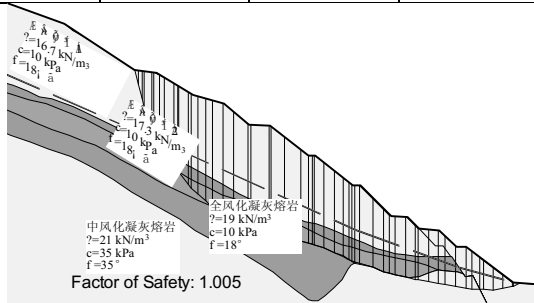
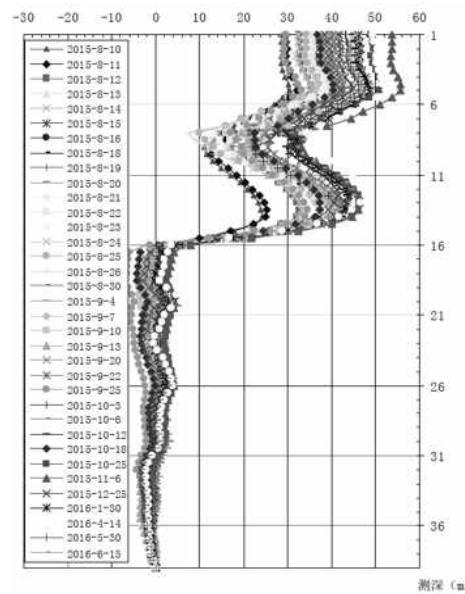


图4 加固前后稳定系数比较

### 5 工程实践验证

设计方案虽然在理论上具有良好的效果, 但应用到工程实践中的效果还需要进行验证。本项目预应力锚索抗滑桩于2015年12月实施完毕, 之后持续进行监测, 监测数据如图6所示。根据监测结果, 可见加固后边坡趋于稳定。



### 6 结论

本文基于京台线建瓯至闽侯高速公路K85+100~K85+500段边坡的加固治理, 详细阐述了预应力锚索抗滑桩在边坡加固中的设计方案, 同时对加固前后的稳定系数进行了比较研究, 结果表明预应力锚索抗滑桩对边坡加固具有显著效果, 实践也证明了设计方案的合理性。

### 参考文献:

[3]付晓. 框架锚索及框架锚索-抗滑桩加固岩质边坡的动力特性研究[D]. 西南交通大学, 2017.

[4]周勇, 王天, 王秀丽."品"字型抗滑桩治理锁儿头滑坡效果分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2016(4): 7.

[5]金布格, 依申柯. 锚索抗滑桩组合结构的计算滑坡文集(第五集), 北京: 中国铁道出版社, 1986: 117-120.

[6]尹静, 邓荣贵, 王金梅, 王园园, 李凯甜. 锚索抗滑桩内力计算的传递矩阵法[J]. 岩土力学, 2017, 38(12): 3517-3523+3531.

[7]冯帅, 吴红刚, 艾挥, et al. 预应力锚索抗滑桩抗震优化设计与试验研究[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(12): 8.

[8]姜成童. 桩锚-框锚边坡组合支护结构力学特性研究及优化设计[D]. 武汉大学, 2019.

[9]董建华, 吴晓磊, 连博等. 预应力锚索抗滑桩滑坡防治结构的动力计算方法研究[J]. 土木工程学报, 2022, 55(11): 72-82.

作者简介: 缪荣辉(1968年-), 男, 汉族, 福建寿宁人, 工程硕士, 高级工程师, 福建高速路桥建设发展有限公司, 主要从事交通运输工程、新材料应用、道路工程等领域的专业技术和研究工作。