

# 浙东沉积岩顺层滑坡预应力锚索加固治理技术

虞利军

(浙江省岩土基础公司, 浙江 宁波 315040)

**摘要:**在浙江中东部地区,沉积岩分布较广泛,由于层面发育及存在软弱夹层,顺层滑坡时有发生。结合工程实例,对采用预应力锚索加固治理顺层滑坡的设计过程及施工方法进行了分析。监测结果表明治理措施安全有效。

**关键词:**预应力锚索;顺层滑坡;沉积岩;加固治理;浙东地区

中图分类号:P642.22 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2016)10-0049-04

**Design and Construction of Pre-stressed Anchor Cable in the Treatment of Bedding Landslide of Sedimentary Rock in Eastern Zhejiang**/Yu Li-jun (Zhejiang Geotechnical & Foundation Company, Ningbo Zhejiang 315040, China)

**Abstract:** In the Mid-eastern part of Zhejiang, sedimentary rocks are widely distributed, because of the bedding development and the weak interlayer, the bedding landslide is often occurring. Based on the engineering example, the design process and the construction method of the pre-stressed anchor cable to control the landslide are analyzed. The monitoring results show that the control measures are safe and effective.

**Key words:** pre-stressed anchor; bedding landslide; sedimentary rocks; control measures; Eastern Zhejiang area

## 1 工程概况

宁波市周公宅、皎口水库引水工程毛家坪水厂西北侧边坡是一个规模较大的有顺层滑动趋势的潜在滑坡,不稳定块体规模约  $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。山体开挖标高 52.00 ~ 118.00 m,开挖高度 66 m。分成 6 级坡,分级高度 12 m,坡度 1: 0.5,平台宽度 3 m(最下级平台宽度为 18 m)。地层为白垩系下统方岩组 ( $K_{1f}$ )凝灰质砂砾岩、凝灰质砂岩、沉凝灰岩。岩层层理十分发育,层面产状  $100 \sim 155^\circ \angle 12 \sim 24^\circ$ 。经勘察,在 78.00 m 高程处有一产状为  $120 \sim 135^\circ \angle 16 \sim 20^\circ$ ,厚度 10 ~ 50 cm 不等的泥化夹层(该层含泥量不均匀,局部夹较多块石,见图 1)。受此不利地质条件及爆破等影响,在边坡开挖过程中,标高 88.00 ~ 112.00 m 高程相继发现通长拉裂缝(位置见图 2),开挖至 76.00 m 高程时,112.00 m 平台处裂缝宽度增大到 40 cm。由于边坡下方为正在修建的水厂管网建筑设施,一旦边坡体下滑,将危及人民生命财产安全,社会影响巨大,经济损失惨重,必须及时治理加固。

边坡平面图见图 2。

## 2 边坡稳定性分析

边坡受断层的切割,分为 I 区及 II 区边坡(两区



图 1 泥化夹层

分界处为一产状  $25 \sim 30^\circ \angle 65^\circ \sim 80^\circ$  的  $F_1$  断层,位置见图 2),根据 I 区边坡地质环境条件和变形特征,取 I 区边坡作为单独块体进行稳定性计算分析,采用以下极限平衡公式计算安全系数:

$$F_s = (\gamma V \cos \theta \tan \varphi + Ac) / (\gamma V \sin \theta) \quad (1)$$

式中: $\gamma$ ——岩土体的重度,  $\text{kN/m}^3$ ;  $c$ ——泥化夹层的粘聚力,  $\text{kPa}$ ;  $\varphi$ ——泥化夹层的内摩擦角, ( $^\circ$ );  $A$ ——泥化夹层面的面积,本处为  $4458 \text{ m}^2$ ;  $\theta$ ——泥化夹层面的倾角, ( $^\circ$ );  $V$ ——块体体积,本处为  $78826 \text{ m}^3$ 。

根据试验数据,参考规范,结合与此边坡相类似地质条件的有关工程结构面及岩体强度参数,综合确定计算所需的岩土体的物理力学参数,见表 1。根据以上计算参数,进行稳定性计算,计算结果见表 2。

收稿日期:2016-07-17; 修回日期:2016-07-28

作者简介:虞利军,男,汉族,1973 年生,副总工程师,高级工程师,岩土工程专业,硕士,从事岩土工程勘察、设计、施工管理方面的工作,浙江省宁波市江东区宁穿路 448 弄 16 号,lijun0574@163.com。

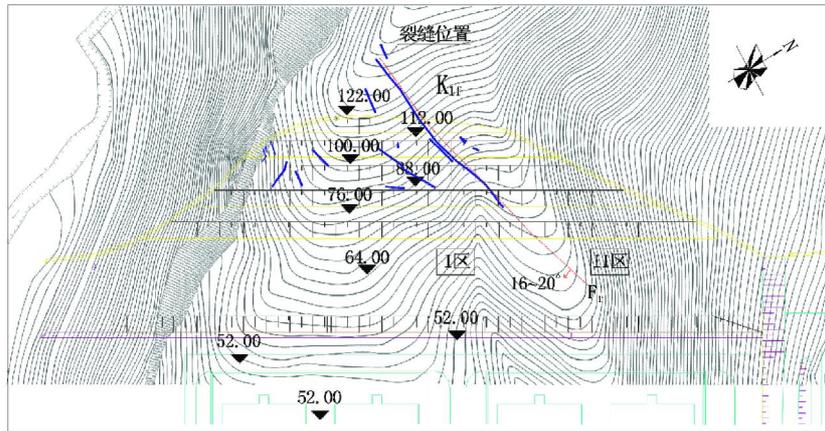


图2 边坡平面图

表1 边坡稳定性计算参数表

岩土名称	状态	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	内聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
凝灰质砂岩	自然	24	45	12
	饱水	25	36	9.6

表2 块体稳定性系数计算结果表

边坡区段	底面标高/m	工 况	
		自然	饱水
I 区	78.00	1.058	0.832

由表2看出,取I区边坡作为单独块体进行计算分析,其稳定性系数天然状态下为1.058,边坡处于极限平衡状态;饱水状态下为0.832,边坡处于不稳定状态。

### 3 治理思路

根据以上分析,对边坡采用如下治理方案。

(1)76.00 m 高程以上坡体:分为I、II两个区,I区为不稳定块体所在区域,采用预应力锚索加固。根据变形监测资料和裂缝走势,II区整体稳定性情况相对较好,对I区进行加固后,也有利于II区的稳定,故II区不进行锚索加固。

(2)76.00 ~ 52.00 m 高程之间坡体:未发现类似于78.00 m 高程处的泥化夹层,岩层层面均为硬性接触结构面。由于层面发育,采用锚杆格构梁加固。

### 4 治理方案设计

主要对76.00 m 高程以上的I区不稳定坡体进行治理设计及稳定性验算。预应力锚索设计按照有关规范进行锚索长度、锚固段长度、锚固力等计算设计,其中锚固段长度设计计算公式如下:

$$L_m \geq P_1 / (\pi d \tau_1) \quad (2)$$

式中: $L_m$ ——锚索有效锚固长度,m; $P_1$ ——单根预应力锚索锚固力,kN; $d$ ——锚索孔换算直径; $\tau_1$ ——水泥浆同孔壁岩体之间抗剪强度,kPa。

计算出锚固长度+自由段长度=锚索设计长度。锚索设计有关力学参数见表3。

表3 锚索设计有关参数

工作荷载/MPa	锚索钢绞线强度标准值/MPa	水泥浆与岩石粘结强度设计值/MPa	水泥浆与钢绞线线粘结强度设计值/MPa	水泥浆强度/MPa
0.75	1860	0.55	2.95	M40

注:(1)锚索抗拉工作条件系数取0.69(永久性锚索);(2)钢筋与水泥浆强度工作条件系数取0.60(永久性锚索);(3)边坡工程重要性系数 $r_0$ 取1.1(一级边坡)。

根据计算下滑力、抗滑力、单根锚索锚固力及所需的安全系数,按经验确定锚索间距和锚索总数,再根据规范公式验算治理后块体稳定性系数。

治理后块体稳定性系数验算公式为:

$$F_s = \frac{(\gamma V \cos \theta + T \sin \beta) \tan \varphi + Ac}{\gamma V \sin \theta - T \cos \beta} \quad (3)$$

式中: $T$ ——锚索设计锚固力,kN; $\beta$ ——锚索与滑面的夹角, $32^\circ$ ;其余参数同式(1)。

根据不稳定块体规模,在不稳定坡体上共布置 $12 \times \emptyset 15.24$  钢绞线锚索196根,长度18~45 m,其中锚固段长度12 m,典型治理设计剖面见图3。锚索采用压力分散型,锚孔孔径150 mm,设计每孔锚索锚固力1500 kN, $T$ 为294000 kN。按式(3)计算,治理后不稳定块体稳定性系数(饱水情况下)为: $F_s = 1.546$ ,超出《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)中一级边坡的稳定性系数要求。考虑到泥化夹层物理力学指标难以准确确定,随着卸荷后时

间推移,地下水渗入导致夹泥层物理力学性质将随时间进一步弱化,稳定性系数在满足规范要求的基

础上,需要保证一定的安全裕度。

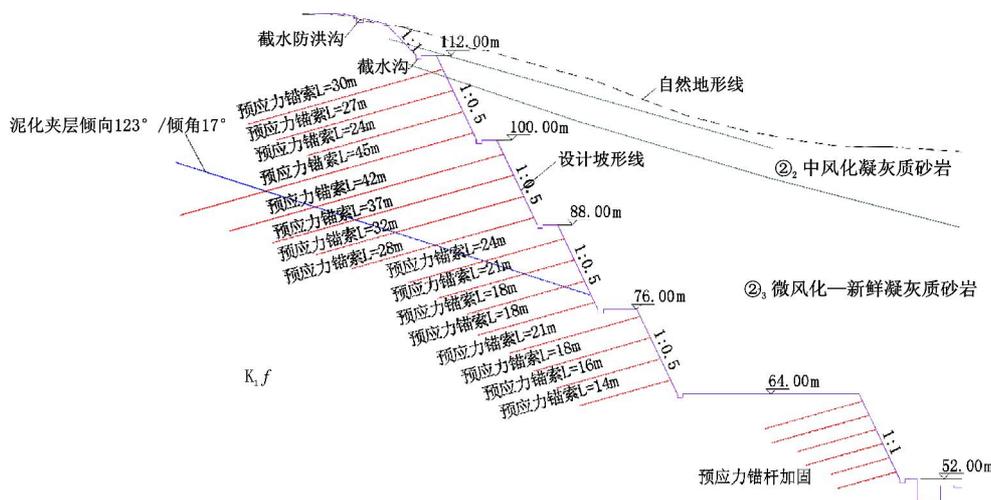


图 3 典型设计剖面图

## 5 预应力锚索施工技术要求

(1) 锚索孔位测放力求准确,偏差不得超过  $\pm 3$  cm, 钻孔倾角为内侧下倾  $15^\circ$ , 倾角允许误差不超过  $\pm 1^\circ$ ; 水平投影方向 78.00 m 高程以上锚索为垂直于 78.00 m 高程泥化夹层施工(端部倾向  $303^\circ$ ), 78.00 m 高程以下锚索为垂直于该处层面施工, 水平投影允许误差不超过  $\pm 2^\circ$ ; 考虑沉渣影响, 为确保锚索深度, 实际钻孔深度应大于设计深度 1.0 m。

(2) 锚索成孔禁止用水钻进, 以确保钻孔施工不致恶化边坡条件, 钻进过程中, 对地层变化、进尺情况及一些特殊情况做现场记录, 若遇塌孔, 立即停钻, 进行固壁灌浆处理 24 h 后重新钻进。

(3) 锚索孔径  $\leq 150$  mm, 钻孔完成后用高压空气清孔, 以免降低水泥浆与孔壁岩体的粘结强度。

(4) 锚索材料要求顺直、无损伤、无死弯。

(5) 锚固段必须除锈、除油污, 按设计要求绑扎架线环和箍线环(箍线环用 8 号铅丝绕 2 圈), 架线环与箍线环间距 1 m, 相间分布, 箍线环仅分布于锚固段。

(6) 锚索的承载体采用厚度  $\leq 20$  mm 钢板(45 号钢), 并与 P 锚相配套, 不得使用铸铁板替代。

(7) 锚索的承载体(内锚头)进行防腐处理, P 锚与外露钢绞线涂水柏油、油脂, 再外套 PVC 软管。

(8) 锚索下料采用砂轮切割机切割, 实际锚索长度要比设计长度多留 2.0 m。锚具采用 OVM-15 型(包括锚板、垫板、螺旋筋等)成套锚具, 垫板不得

使用铸铁板替代。

(9) 锚索孔内灌注 M40 号水泥浆, 水灰比 0.38 ~ 0.45, 具体以试验确定, 浆体强度  $\leq 40$  MPa。注浆采取二次高压注浆, 注浆压力  $\leq 2.0$  MPa, 在一次注浆形成的水泥结石体强度达到 5 MPa 后进行二次注浆, 二次注浆采用同强度的水泥浆。当水泥浆体强度达到设计强度后, 方可进行张拉锁定, 在浆体未完全固化以前不得拉拔和移动锚索。

(10) 锚索张拉作业前对张拉设备进行标定。正式张拉前先对锚索进行 1 ~ 2 次试张拉, 荷载等级为 0.1 倍的锚索设计拉力。

(11) 锚索张拉分 5 级进行, 每级荷载分别为设计拉力的 0.25、0.5、0.75、1.0、1.1 倍, 除最后一级需要稳定 10 ~ 20 min 外, 其余每级需要稳定 5 min, 并分别记录每一级钢绞线的伸长量。在每一级稳定时间里必须测读锚头位移 3 次。张拉后若发现有明显的预应力损失, 应及时进行补张拉。

(12) 由于采用压力分散型锚索, 为消除在相同荷载作用下因自由段长度不等而引起的弹性伸长差, 应先张拉单元锚索, 再同时张拉各单元锚索并锁定。

(13) 当张拉到最后一级荷载且变形稳定后, 卸荷至锁定荷载锁定锚索。锚索锁定后, 切除多余钢绞线, 用 C30 砼及时封闭锚头。

(14) 锚墩采用 C30 钢筋砼现浇, 浇注时预埋 OVM 锚具及空口 PVC 管, 节点处务必振捣密实。

(15) 验收试验的锚索检验数量不少于锚索总数的5%。

(16) 对贯通性裂缝及泥化夹层应进行封闭, 封闭时, 需设置一定数量的排水管。

(17) 鉴于滑面倾角有一定的起伏, 为了保证边坡治理工程的安全进行和弥补勘察工作的不足, 施工及钻进过程中应做好和加强地质编录工作, 注意滑动面(泥化夹层)的位置和滑动带土体的状态, 做到反馈设计, 信息施工。

## 6 治理效果

根据边坡水平位移、垂直位移、地表裂缝的各次监测成果, 在开挖过程中及开挖后初期, 边坡变形逐渐加大, 在后期, 由于对边坡进行加固, 变形趋于稳定。根据锚索拉力变化监测成果, 施工后初期由于预应力损失导致锚索拉力变小, 中期由于边坡缓慢变形导致锚索受力加大, 后期锚索拉力稳定, 表明边坡应力达到平衡。综合边坡锚固好后的监测数据分析, 边坡稳定性在治理后得到改善, 边坡加固后至今已6年, 一直未见有异常现象。治理后照片见图4。



图4 治理后的边坡照片

## 7 结论

(1) 对沉积岩地区的不稳定边坡, 首先应查明边坡失稳原因, 特别需根据层面产状和结构面特点, 搞清滑面位置, 并选择合理的滑面力学参数。

(2) 对急需进行加固处理的不稳定边坡, 应根据地质、地形、环境条件和边坡特点, 在保证安全的前提下, 从施工难易程度、造价、工期等方面综合考虑治理方案。

(3) 预应力锚索具有抗拉能力强、施工方便、效果直接、费用较低等优点, 是一种安全、高效、经济的加固技术, 在应用于顺层滑坡治理时, 具有显著优势。

## 参考文献:

- [1] 杨志庆, 虞利军, 诸葛盛世. 预应力锚索+框架梁结构在边坡治理中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(2): 37-39.
- [2] 周国锋, 陈红刚, 刘才高. 无粘结预应力锚索在乌江索风营水电站 Dr2 危岩体加固中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(10): 61-63.
- [3] 水利部水利水电规划设计总院. 预应力锚固技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [4] 程良奎. 岩土锚固·土钉·喷射混凝土——原理、设计与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [5] 编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [6] 刘兴远, 雷用, 康景文. 边坡工程——设计·监测·鉴定与加固[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [7] GB 50330—2013, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [8] DZ/T 0219—2006, 滑坡防治工程设计与施工技术规范[S].
- [9] CECS 22:2005, 岩土锚杆(索)技术规程[S].