

文章编号:1001-1986(2006)01-0050-03

# 蓝小公路边坡防护中的预应力锚索技术

徐秀华 (福建交通职业技术学院, 福建 福州 350007)

**摘要:**预应力锚索作为高危边坡加固的一种有效措施,在公路建设事业中得到了广泛的应用。本文结合蓝小公路边坡防治实例,介绍了锚索的作用机理及优越性、锚索的设计计算、锚索施工等一系列问题,对同类工程具有重要的参考意义。

**关键词:**锚索;边坡加固;机理;蓝小公路

**中图分类号:**U416.14 **文献标识码:**A

## Pre-stress anchor wire technology used in disposing Lanxiao highway slope

XU Xiu-hua (Fujian Communication Technology College, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** As an effective way of disposing steep slope, pre-stress anchor wire technology is widely used in the road construction. Combining Lanxiao highway slope, this paper introduces its mechanism and advantage, and how to design, calculate and construct it. This will provide a good reference for the same engineer.

**Key words:** anchor wire; dispose slope; mechanism; Lanxiao highway

## 1 引言

目前,国内外已有多种治理边坡病害的方法,包括各种挡墙、挂网喷锚、抗滑桩、预应力锚索等等,其中,预应力锚索<sup>[1,2]</sup>作为一种主动受力结构,它能够合理利用岩土自身的强度和自稳能力,简化结构体系,减小结构体积,提高结构物的稳定性,与其他处理方法相比,具有更灵活、施工更方便、强度更高、稳定性更可靠等优点。目前,预应力锚索已广泛应用于交通、能源、采矿、地下工程及工业与民用建筑工程中,尤其在山区公路、铁路高危边坡的防护治理方面正在发挥着愈来愈大的作用。

## 2 预应力锚索加固边坡的作用机理及优越性

### 2.1 作用机理

预应力锚索加固边坡,实际上是通过对锚索进行预张拉,主动对边坡施加一个作用力  $T$ ,使之在可能的滑动面上产生一个主动正压力  $T \sin \alpha$  和切向力  $T \cos \alpha$ ,二者组成抗滑力  $P$  借此平衡下滑力  $T_m$ 。

$$P = T \sin \alpha \tan \varphi + T \cos \alpha.$$

### 2.2 优越性

预应力锚索是主动受力结构,与常规的结构物

相比,其优越性在于:

- a. 可以在坡面上形成一个双向受压力区,约束边坡变形;
- b. 可以部分改善岩体力学性质,提高软弱面上的抗剪强度。据有关资料介绍,某工点在使用锚索之后,其软弱结构面上的  $c$ 、 $\varphi$  值分别提高了 16% 和 11%。
- c. 预应力锚索作为一个力系,其大小、方向、作用点均可自由选择,因而,可以充分发挥工程材料和岩土自身的强度。
- d. 锚索受力可靠,当锚索施加预应力锚固后,对被锚固的岩体或建筑物立即产生主动压力,发挥锚固效应。
- e. 采用锚索可以使作用力均匀分布于需加固的边坡上,对地形、地质条件适应力强,施工条件易得到满足。
- f. 锚索施工无需开挖、放炮,对岩土体基本不产生扰动破坏,能维持滑动面本身的力学性质不变,施工干扰少,安全易得到满足。
- g. 锚索还具有占地少、工期短、造价低等优点。

收稿日期:2005-08-11

作者简介:徐秀华(1972—),女,山东诸城人,福建交通职业技术学院讲师,硕士,工程地质专业。

## 参考文献

- [1] 钱鸿缙,王继唐,罗宇生,张彦钧,涂光祉,师管孝,等.湿陷性黄土地基[M].北京:中国建筑工业出版社,1987.
- [2] Phillips S H E. Factors affecting the design of anchorages in rock [R]. London: Cementation Research Ltd., 1970.

- [3] GB50330—2002. 建筑边坡工程技术规范[S].
- [4] 闫冀明,徐祯祥,苏自约,等.岩土锚固技术手册[M].北京:人民交通出版社,2004
- [5] 夏柏如,谢建清,王贵和.岩土锚固技术与挡墙工程[M].北京:中国地质大学,1997.

### 3 预应力锚索的设计与计算

#### 3.1 锚索破坏的形式

锚索的设计计算和锚索的破坏有密切的关系,理论和实践证明,锚索破坏有以下5种方式:钢绞线或钢丝被拉断;锚索体连同岩体呈倒锥型拔出;锚索从浆体中拔出;浆体沿孔壁接触面滑出;外锚头破坏。

锚索的设计必须保证锚索不会发生以上任何一种情况的破坏。

#### 3.2 锚固段长度的设计

根据对上海太平洋饭店和北京京城大厦,两个深基坑工程的拉力型锚杆锚固段粘结应变的分布形态的测定得知,粘结应力主要分布在锚固段前端的8~10 m范围内,即使在最大的张拉荷载下,锚固段远端的相当一段长度内几乎测不到粘结应力值,这说明当锚固段的长度超过某值(该值与岩土种类有关)后,锚固段长度的增加对锚索承载力的提高就极其有限了。

另外,笔者在陕西蓝小公路K41路段对锚固段分别为2、3、4 m的3根锚索进行过拉拔试验,结果是所有的锚索钢绞线被拔断,却没有1根被拔出。这说明即使是2 m的锚固段,它所产生的粘结力和握裹力都超过了钢绞线本身的抗拉强度,也就是说锚索受力最先达到锚索本身的抗拉强度而破坏,过长的锚固段对提高锚索的极限承载力不起作用。结合岩土体的类型、破碎及风化程度等锚固段的长度一般不易超过10 m。具体计算方法如下:

a. 假定锚索体从胶结体中拔出,按(1)式计算锚固段长度  $L_m$ :

$$L_m = \frac{KP}{n\pi d c_1} (\text{mm}) \quad (1)$$

b. 胶结体与锚索体一起沿孔壁滑移时,则按(2)式计算  $L_m$ :

$$L_m = \frac{KP}{n\pi D c_2} (\text{mm}) \quad (2)$$

式中  $P$  为锚索设计承载力(N);  $K$  为安全系数;  $n$  为钢绞线根数;  $d$ 、 $D$  分别为锚索材料和钻孔直径(mm);  $c_1$  为钢绞线与胶结材料的粘结力(握裹力)(MPa);  $c_2$  为胶结材料与孔壁之间的粘结力(MPa)。 $L_m$  最小不能小于3 m, 安全系数  $K$  至少大于2~3,  $c_1$ 、 $c_2$  的取值应根据岩土性质及胶结材料性质合理选定。

#### 3.3 锚固力及锚索倾角的计算

如图1所示,施加预应力锚索作用力为  $T$ ,滑体处于极限平衡时有:

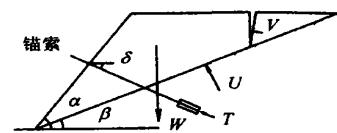


图1 锚索加固分析

Fig. 1 Principle of anchor wire reinforce

$$\begin{aligned} & W \sin \beta + V \cos \beta - T \cos(\delta + \beta) \\ & = cA + (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \tan \varphi + T \sin(\delta + \beta) \tan \varphi \\ \text{则: } & T = \frac{W \sin \beta + V \cos \beta - cA - (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \tan \varphi}{\cos(\delta + \beta) + \sin(\delta + \beta) \tan \varphi}; \end{aligned}$$

若稳定安全系数为  $F_s$ , 则:

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \tan \varphi + T \sin(\delta + \beta) \tan \varphi}{W \sin \beta + V \cos \beta - T \cos(\delta + \beta)}, \quad (3)$$

$$T = \frac{F_s W \sin \beta + F_s V \cos \beta - cA - (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \tan \varphi}{\cos(\delta + \beta) + F_s \sin(\delta + \beta) \tan \varphi},$$

式中  $c$  为滑动面上的粘聚力(kN);  $\varphi$  为滑动面内摩擦角(°);  $A$  为滑动面积( $\text{m}^2$ );  $W$  为滑动岩体的重量(kN);  $V$  为张裂隙中的水压力(kN);  $U$  为滑动面上的渗压力(kN);  $\beta$  为滑动面与水平面的夹角(°);  $\delta$  为锚索与水平面的夹角(°)。

若  $T$  值一定时, 锚索的最优方向可从式(3)求得, 该式对  $\delta$  求导后当  $\tan(\delta + \beta) = \tan \varphi$  时, 求得  $F_s$  的最大值。 $\delta$  通常为水向下 10~45° 之间。为了便于注浆一般不宜小于 10°。

#### 3.4 单根锚索的设计承载力(抗拔力)

设计锚索的承载力必须满足  $P \geq T$ , 同时受3个方面因素的制约, 即: 钢绞线与砂浆的粘结力, 即握裹力; 钢绞线的抗拉强度; 有效锚固段砂浆与岩土间的粘结力。即锚索的抗拔力必须同时满足:

$$\begin{cases} P \leq \pi d f_{cs} L_e n \\ P \leq \frac{\pi d^2}{4} f_{st} n \\ P \leq \pi D f_{ct} L_e \end{cases},$$

式中  $P$  为单根锚索的极限承载力(kN);  $f_{cs}$  为钢绞线与砂浆的设计粘结强度(kPa);  $f_{st}$  为钢绞线的设计抗拉强度(kPa);  $f_{ct}$  为砂浆与孔壁岩石间的设计粘结强度(kPa)。

若以现场拉拔试验的屈服拉力作为设计依据时, 采用的安全系数不得小于 1.5, 若以极限拉力作为依据, 临时性锚索安全系数取 1.5~2.0, 永久性锚索安全系数应取 2.5~3.0。

#### 3.5 外锚头设计

外锚头设计包括垫凳、垫板和锚具。锚具是维持锚索预应力的重要组件, 应选取质量优, 事故率少的锚具。目前国内工程多选用QM、OVM 锚。

垫凳是锚索体的纯受压构件,它把锚具的集中荷载均匀的传到岩石面,一般为钢筋混凝土制作而成。垫凳为一上小下大的梯形断面,底面积的大小主要取决于锚索设计承载力和岩土的允许承压能力。

垫板有大小两块,根据工程需要可以选择两块或大垫板。它是一块具有一定厚度和一定面积的方形钢板,厚度一般大于 2 cm,大垫板的面积与垫凳的顶面相同。垫板的中间有一个直径不小于锚索体直径的圆形孔洞。为了确保垫凳上表面与锚索轴线垂直,预先将一根内径与钻头直径相同的薄壁钢管和垫板正交焊接,在浇筑混凝土之前,将钢管的另一端插入钻孔即可。

#### 4 锚索施工

锚索施工工序如下:

钻锚孔→编制锚索→锚索安装固结→锚索张拉→锁定锚索→封堵锚头。

##### 4.1 钻孔

根据不同的岩土性质选用不同的钻具,锚索孔距误差不能超过 10 cm,锚索插入孔内净深不能小于设计深度,钻孔轴线与设计偏差不应大于 2°。

##### 4.2 编锚

锚索采用多束低松弛钢绞线制作,其长度等于孔深、外挡墙、垫凳垫板的厚度之和,编制长度应比设计长度长 1.5 m 左右;锚头焊接于钢管制作的锥形管套上,长度为 10 cm;锚固段每 2 m 放置一个定位扩张环,并扎紧在钢绞线上,扩张环用 12# 铅丝扎紧;自由段涂黄油,套装塑料管,塑料管端头用防水胶布扎紧。

##### 4.3 注浆固结

锚索固结一般用水泥净浆或砂浆,注浆压力不小于 0.5 MPa,为了确保钢筋的保护层,注浆用注浆管从孔底向外压浆,注满为止,并进行二次补浆。

##### 4.4 张拉

锚索张拉采用分级逐根张拉,为了克服夹片回缩、地层变形以及其他因素造成预应力的损失,可以采用超张拉或二次补拉,以确保锚索吨位满足设计要求。

##### 4.5 封锚

张拉结束后,锁定锚索,外锚头做防腐、防锈处理,并用混凝土封闭。

#### 5 应用实例

陕西省蓝小公路 K41+90—K41+180 路段如图 2,全长约 90 m,中部相对路面最高处约 33 m(斜

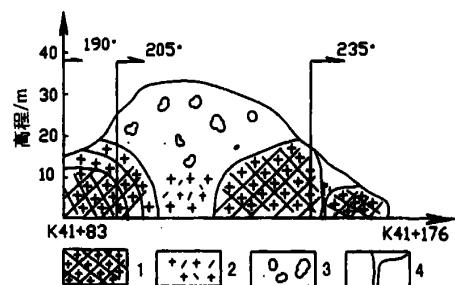


图 2 K41+90—K41+180 纵剖面图

Fig. 2 K41+90—K41+180 longitudinal section

1—节理发育的花岗岩体;2—风化破碎的花岗岩体;

3—夹有块石的坡积物;4—断层带

高),边坡平均坡度约 50°,上部可达 60~70°,左侧花岗岩体高约 18 m,右侧平均高约 15 m。出露的主要地层为花岗岩,主要发育 4 组节理:第一组:倾向 115°∠75°;第二组:倾向 348°∠41°;第三组:倾向 286°∠73°;第四组:倾向 10°∠55°。其中第三、四两组节理的倾向与坡向一致,是造成岩体失稳的主要因素。另外,右侧边坡为一由上层滑动和深层古滑坡组成的复合型滑坡。目前,该处的主要问题是雨水条件下的上层滑坡。在山顶破碎带已发现 3 级张拉裂缝,宽约 40 cm,后壁高约 30 cm,连续延伸呈圈椅状,围绕成大约 6 000 m<sup>3</sup> 的滑坡体,说明该处边坡碎石层已处于蠕动变形阶段,随着时间的推移及其他因素的影响,有可能产生大规模的滑动破坏。并可能诱发深层古滑坡的复活。

针对该处的实际情况,选择以预应力锚索为主的锚拉式井字梁挡墙及坍落台的治理方案。锚索深达古滑坡面以下,平均长度约 32 m,有效锚固段  $L_e=6\sim8$  m,锚索设计抗拔力为 800 kN,预应力为抗拔力的 100%,单根锚索采用 6 束 7Φ5 的低松弛钢绞线,锚孔孔径  $D\geq90$  mm,锚索倾角为 15~20°锚孔水平间距 5 m,纵向间距 4 m,梅花形布置,设计锚索 130 根,实际施工 134 根;锚索固结采用水泥净浆,水灰比 0.45,采用标号不低于 425# 的硅酸盐水泥。锚具采用 OVM 型锚;钻机潜孔锤成孔;用 1 200 kN 双向千斤顶及电动油泵带压力表分根逐级张拉,张拉完毕后锁定锚索,并用 C20 混凝土封闭外锚头。

到现在为止,该处已完成施工 4 a 时间,表现出的治理效果很好,坡顶裂缝已消失,坡面上长满了植被,不仅实现了人为加固坡面的目的,而且也达到了自然固化坡面的目的。

#### 参考文献

- [1] 汉纳 T H. 锚固技术在岩土工程中的应用 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,1987.
- [2] 齐丽云,徐秀华. 工程地质 [M]. 北京:人民交通出版社,2002.