

10-12, 27
TU 213.8
p642.22
预应力锚索抗滑桩在滑坡治理中的应用

余振锡

(马鞍山矿山研究院)

摘 要 为改善传统抗滑桩的受力状态,提高抗滑桩的利用率和加固效果,降低工程成本,将预应力锚索应用于抗滑桩,在铜山铜矿选矿厂滑坡治理中取得良好的效果。

关键词 预应力锚索, 抗滑桩, 滑坡治理

Application of Pre-stressed Anchor Rope Antislipping Piles in Slope Slipping Control

Yu Zhenxi

(Maanshan Institute of Mining Research)

Abstract To improve the stress state, the availability and the reinforcement effect of the traditional anti-slipping piles and to reduce the engineering cost, the pre-stressed anchor rope was used in antislipping piles and achieved good effects in controlling the slope slipping of Tongshan Copper Mine's concentrator.

Keywords Pre-stressed anchor rope, Antislipping pile, Slope slipping control

1 概 况

铜山铜矿选矿厂位于一山坡地上。因受暴雨影响,发生大面积滑坡,损坏了球磨至精矿车间厂房,若不及时治理,则可能导致更大范围的破坏。地质资料揭示滑体由残坡积碎石土和全风化闪长岩组成,滑面位于充水后呈流砂状的全风化闪长岩中,呈曲线型复合形态(图1)。

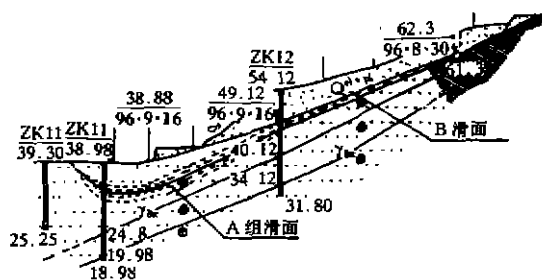


图1 滑体地质剖面

该项工程治理采用以抗滑桩为主体的支挡措施。由于传统的抗滑桩为悬臂式受力,桩体承受内力大,需要的抗滑截面大,为此,采用顶部加预应力锚索的抗滑桩,使其受力状态变成了上端铰支,下端近似弹性固结的梁式受力结构。

2 预应力锚索抗滑桩设计

2.1 抗滑力计算

根据滑面形态,采用剩余推力法计算抗滑力。

$$E_i = F_i W_i \sin \alpha_i + \Psi_i E_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i l_i \quad (1)$$

式中: E_i , E_{i-1} 为第 i , $i-1$ 条块的剩余下滑力; W_i 为第 i 条块的重力; α_i 为第 i 条块所在滑面的倾角; c_i , φ_i 为第 i 条块底面内聚力及摩擦角; Ψ_i 为传递系数, $\Psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i$; F_i 为设计选取的安全系数。

计算采用的岩土强度指标是通过实验并结合滑体反算后得出的。取用的强度参数见表1。

地下水按全饱水及实测水位分别计算,地震作用按Ⅵ度烈度考虑。

经计算,若加固后 F_i 需达 1.25, 则应提供 520 kN/m 的被动抗力。

余振锡, 马鞍山矿山研究院岩土工程研究所, 工程师, 243004
安徽省马鞍山市湖北路9号。

表1 选用强度参数

名称	内聚力 C / kPa	摩擦力 φ / (°)
残坡积碎石土	2.27	22.64
强风化闪长岩	20.2	18.45
强风化闪长岩(滑动带)	10.5	16.40~17.2
中风化闪长岩	1.2×10^4	37.99
石英砂岩	9.34×10^3	50.62

2.2 预应力锚固桩设计

根据预应力锚索抗滑桩的工作原理,由于锚索预应力是在滑坡推力出现最大值(设计值)之前施加的,锚索预应力在抵消了已产生的滑坡推力后,还要继续使中间地带的土体受到挤压,在滑坡推力出现最大值时,锚索和抗滑桩仅产生微小弹性变形,受力简图见图2。

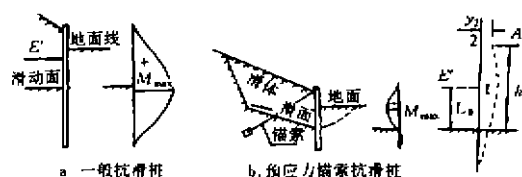


图2 预应力锚索抗滑桩受力分析

预应力锚索抗滑体的变形条件为:桩顶锚索设置不妨碍桩顶的转动,只限制它的水平位移;桩在弹性地基中受力变形;受力类似简支梁,设计按弹性桩考虑。

基本设计参数为桩长16 m(滑面埋深8.2 m),桩间距4 m,下滑力 $E_T = 920$ kN/m, $\alpha = 20.41^\circ$ (设桩处滑面倾角), $h_1 = 8.2$ m(滑面以上土层厚), $h_2 = 7.8$ m(滑面下土层厚),桩形为圆形,净径1.6 m,桩截面积 $S = 2.01$ m²,截面惯性矩 $I = 0.322$ m⁴,截面模量 $W = 0.402$ m³,计算桩宽 $B_p = 2.34$ m,地基弹性抗力系数 $m = 30\,000$ kN/m⁴, $k = 80\,000$ kN/m⁴, C_{30} 混凝土弹性模量为 3.0×10^7 kN/m²。

锚索沿桩顶设置,每桩一根,距桩顶0.25 m,锚索与水平方向夹角 30° ,孔径 $\phi = 130$ mm,采用 ϕ_5^{15} 钢绞线,用 M_{20} 砂浆锚固。

2.2.1 桩体计算

(1) 桩体计算。按铁道科学研究院西北研究所推荐的方法,用作用在每根桩上的滑坡推力 E_T ,桩前滑面上岩土抗力 E_p ,计算出滑面处

剪力 Q_0 ,再确定锚索设计拉力 A 。

$$Q_0 = E_T - A - E_p, \quad (3)$$

$$M_0 = E_T \times \frac{h_1}{2} - E_p \times \frac{h_2}{3} - Ah_1, \quad (4)$$

式中: Q_0 , M_0 为滑面处剪力和弯矩, kN, kN·m; A 为预应力锚索提供的锚固力, kN; 其余符号意义同前。

根据研究, A 一般取 $\frac{1}{2} \sim \frac{4}{7} Q_0$, 常用 $\frac{4}{7} Q_0$ 。

本工程实例中, $E_T = 3\,459.8$ kN, $E_p = 1\,499.6$ kN, 求得 Q_0 为 1 247 kN, $A = 712.8$ kN, $M_0 = 4\,241.3$ kN·m。

(2) 计算桩身内力。将 A 视作外力作用在桩顶,滑体推力按矩形分布,桩前滑面以上岩土抗力按主动压力计算。

滑面以上桩身内力按一般静力学法计算,本工程实例中求得最大剪力 $Q_{\max} = 1\,255.2$ kN, 最大弯矩 $M_{\max} = 5\,146.3$ kN·m。

滑面以下桩身内力按无量纲法计算,求得最大正应力 $\sigma_{\max} = 283.0$ kN/m²; 最大剪力 $Q_{\max} = -1\,955.0$ kN; 最大弯矩 $M_{\max} = 6\,903.6$ kN·m。

若按一般悬臂式抗滑桩设计,求得的 M_{\max} 为上述值的 2~3 倍,不得不增大桩径,并配置大量钢筋才能满足内力计算要求。

(3) 配筋计算。按一般抗滑桩计算方法配筋。经计算,受拉侧设 36 根 $\phi 25$ mm II 级螺纹钢,受压侧设 13 根 $\phi 12$ mm 圆钢。对桩身上部受锚索作用而产生的部分负弯矩处配 13 根 $\phi 25$ mm II 级螺纹钢。箍筋设为每组 2 根 $\phi 10$ mm 每组间距 200 mm。

2.2.2 锚索锚固强度计算

由于桩顶施加的预应力必须通过锚索,锚索同砂浆之间的握裹力,砂浆同孔壁岩石之间的摩阻力才能传递到滑面下稳定岩土层中,因而对上述各项均要进行验算。

(1) 锚索承载力计算

$$P_1 = nS[\sigma],$$

式中: n 为钢绞线根数; S 为每根钢绞线折算

面积, mm^2 ; $[\sigma]$ 为钢绞线设计强度 N/mm^2 , 按规范取值。

因 $A = 712.8 \text{ kN}$, $\alpha = 30^\circ$, 即 $P_0 = 823.1 \text{ kN}$, 取 $n = 6$, 钢绞线 $\phi_1^{15}(7\phi 5)$, 单根拉断强度取 200 kN , 则 $P_1 = 1200 \text{ kN} > P$ 。

(2) 砂浆同锚索间握裹力计算

$$P_2 = \pi d L_{\text{效}} \tau_2,$$

式中: τ_2 为钢绞线同砂浆间抗剪强度, kPa ; d 为锚索换算直径, cm ; $L_{\text{效}}$ 为锚索有效锚固长度, m 。

τ_2 取砂浆极限抗压强度的一半, 当 $L_{\text{效}} > 6 \text{ m}$ 时, $P_2 > P$ 。

(3) 砂浆同孔壁岩土摩阻力

$$P_3 = \pi D L_{\text{效}} \tau_3,$$

式中: τ_3 为砂浆同孔壁间平均摩阻力, kPa ; D 为孔径, cm 。

τ_3 按经验取值, 当 $L_{\text{效}} > 8 \text{ m}$ 时, $P_3 > P$ 。考虑孔内沉渣及安全储备, 可超深 2 m , 取 $L_{\text{效}}$ 为 10 m 。

设计中, 必须满足 A 同时小于 P_1 、 P_2 、 P_3 , 且一般用 P_3 控制锚固深及最大张拉荷载控制吨位, 同时必须满足 $P_i/A \geq 1.2 (i = 1, 2, 3)$ 的安全储备公式。

根据上面的计算, 最后确定的预应力锚索抗滑桩各项参数见图 3。

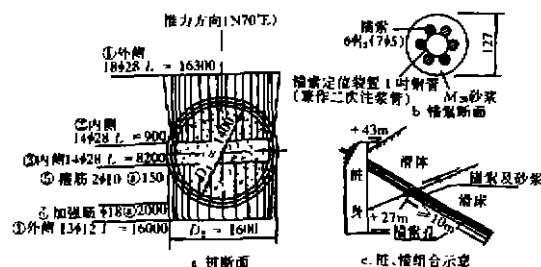


图 3 预应力锚索抗滑桩结构示意图

3 预应力锚索抗滑桩的施工

3.1 桩身部分

成孔采用人工挖孔。由于孔壁易坍塌, 采用了钢护筒进行支护。因各处滑面埋深不一, 施工中均要求准确鉴定滑面位置, 一般每班均须有人跟班描述。滑面位置对桩嵌入滑面下深

度起着至关重要的作用。

混凝土浇筑同一般抗滑桩, 但成桩后桩顶须作成斜面, 斜面与锚索孔方向垂直。绑扎钢筋, 浇注混凝土之前要在桩顶设定部位留大于设计直径 10 mm 的预留孔。桩体与锚索张拉固定之前, 必须养护 28 d , 然后才可施加预应力。

3.2 锚索部分

(1) 成孔。专用锚孔钻机对准桩顶预留孔钻进, 孔径 $\phi 130 \text{ mm}$ 。钻进地层情况根据返浆及钻进速度判定。一般需达设计深度, 孔底留 1 m 左右沉渣段, 并保证滑面以下孔深 $\geq 10 \text{ m}$ 。

(2) 锚体的加工和安装。锚体采用 ϕ_1^{15} 钢绞线制作, 对于自由段, 为防腐, 外涂 1.2 mm 黄油, 然后外套厚 1.5 mm 、 $\phi 20 \text{ mm}$ 的聚乙烯塑料管。各根钢绞线中间夹有 1 寸钢管, 作导正架及二次注浆管。导正架每隔 2 m 、定位架每隔 4 m 设置 1 付, 焊于二次注浆管上。二次注浆管端部每隔 0.5 m 钻 4 个 $\phi 8 \text{ mm}$ 小孔作二次注浆用。为保证锚索顺利入孔, 端部还设有导向套 1 付。

当钻进到位, 清孔返清后, 即可下入锚索。锚索下至距孔底 $0.5 \sim 0.8 \text{ m}$ 即可终止。下索时一定要注意对正, 轻压慢下, 以防对孔壁扰动造成塌孔。

(3) 注浆。注浆是锚索施工的重要环节, 其好坏直接关系到锚索施工的成败。锚索入孔口, 马上从一次注浆管用注浆机注进清水, 直至孔口溢水返清。

注浆时水灰比严格控制在 0.45 左右, 配合比视具体情况而定, 一般采用水泥: 砂 = $1: 1$ 。施工中注浆的工作压力控制在 $300 \sim 500 \text{ kPa}$ 。

待一次注浆养护 12 h 以后, 即进行二次压浆, 以保证浆液饱满, 密实地充填于各孔中, 并增加与孔壁摩阻力。压浆工作压力可比一次注浆大, 一般 $500 \sim 1000 \text{ kPa}$ 即可。

(4) 张拉。对每根养护到期的锚索按设计荷载的 50% 进行了张拉, 并进行锁固。张拉时采用的是 OVm 型锚具, $YCD-70$ 穿心千斤顶,

(下转第 27 页)

降到0.355%。

(4) 脱硫浮选时间。脱硫浮选生产中仅有2~6槽正常浮选,同等条件下选4 min,铁精砂含硫1.71%,再选8 min,铁精砂含硫可降到1.03%。由此可见,脱硫浮选正常运转的重要性。增大浮选机电机功率后,可保证脱硫浮选机正常运转,也即保证了脱硫浮选的时间。

3 工业试验指标及生产实践

按小试确定的工艺条件进行了20多天的工业试验,得到铁精砂含硫0.994%的指标,其结果见表1。

表1 工业试验及生产指标

指 标	原矿品位		脱硫进料品位		铁精砂品位		铁回收率
	S	Fe	S	Fe	S	Fe	
工业试验	3.97	27.13	4.05	61.85	0.994	63.77	65.49
生 产	3.28	38.11	-	-	1.34	63.92	72.44

虽然工业试验指标铁精砂含硫可降到0.994%,但该矿处于试生产期,各方面条件极不完善,生产中很难达到工业试验的指标,在工

业试验后的几年中,该矿在铁精砂降硫方面作了许多工作。

(1) 预报原矿中磁黄铁矿含量。原矿中磁黄铁矿含量在30%~47%之间波动,对铁精砂脱硫影响较大,提前预报,可根据其含量调整脱硫浮选的药剂种类和用量。

(2) 完善铜硫浮选工艺。提高原矿磨矿细度,保证矿物解离度,改变了中矿返回地点,降低铜硫浮选作业pH值,不仅提高铜硫指标,同时也为铁精砂脱硫创造了有利条件。

(3) 完善加药条件。铁精砂脱硫三段加药由人工加药改为自动加药,可准确控制加药量。

在逐步完善的两年中铁精砂含硫平均可降到1.34%,安庆铜矿根据市场的需求、矿石磁黄铁矿的含量来决定铁精砂降硫的工艺条件,在满足市场需求的前提下,尽量提高铁精砂的回收率,获得了较好的经济效益。

(收稿日期 1997-12-08)

(上接第12页)

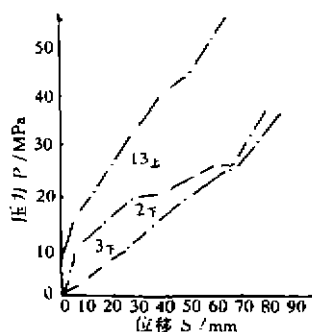


图4 锚索性能检验曲线

张拉最小吨位为571.2 kN,最大吨位为734.4 kN,位移变化均在弹性范围及规范允许范围内,考虑到预应力损失,均进行了二次补拉。

为检验锚索性能,对其中的3根锚索进行了张拉性能试验,曲线见图4,数据见表2。

3条曲线中3下符合虎克定律,2下和13上刚开始张拉曲线和后面曲线有一拐点,究其原因这是由于2下孔口较软,而13上孔口较硬。排除这些因素后,后面的曲线均是正常的,表明锚索性能符合要求。

表2 锚索张拉试验结果

编 号	钢绞线根数	压力表最大读数	最大张力 /kN	千斤顶面积 /cm ²
2下	6	36	734.4	2 041.4
3下	6	37	755.0	2 041.4
13上	4	55	487	0.885 5

4 结 语

(1) 预应力锚索抗滑桩改变了传统抗滑桩的受力状态,变悬臂梁为类简支梁,使桩身内力大幅下降,节省工程造价。据本次工程核算,平均投资约节省45%。

(2) 改变了桩的受力机制。传统抗滑桩为被动式,即在滑体位移后才起作用,而预应力锚索抗滑桩则为主动式,人为地通过锚索给滑体预应力,提高了滑坡稳定性,对于滑体上有重要建筑物的滑体加固来讲,优点明显。

(3) 预应力锚索抗滑桩可灵活地与其它加固方式,如格栅状梁体系通过锚索设于交点处联成整体,组成一个加固支撑体系,同时起到深浅部共同加固的作用。

(收稿日期 1997-12-10)