

预应力锚索组合抗滑墙治理滑坡的施工技术

陈六一

1 工程概况

重庆北碚白庙子滑坡体，位于北碚至水土镇观音峡背斜SE翼，岩层倾向 155° ，倾角 28° ，受构造作用，岩体破碎发育3组裂隙，将基岩切割成独立的巨大块体，出现滑移、崩落，滑坡面积 3055 m^2 ，体积近 1万m^3 ，滑体前后缘相对高差达 70 m ，滑移、崩落的巨大块体最大达 700 t 左右，滚落到水北公路上，滑体前缘每天外移 $3\sim 4\text{ cm}$ ，下沉 7 cm ，至使交通受阻，并砸坏兴府煤矿职工宿舍1幢，直接经济损失数十万元。1997年4月我院受北碚区交通局的委托，对该滑坡体进行了勘察、治理方案设计施工，采取了预应力锚索组合抗滑墙施工技术，并根据极限平衡原理，应用了间隔定点布桩，获得成功。工程平面示意图见图1。

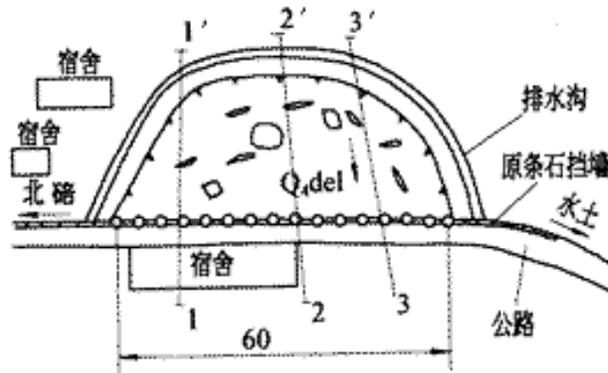


图1 预应力锚索组合抗滑墙治理滑坡示意图

2 滑坡基本特征及原因

该滑坡中段剪出口低，两侧剪出口高，滑坡变形破坏强烈，边界清晰，拉裂发育，其中纵向拉裂缝十分发育。尤其在走向 120° 和 55° 的两组裂缝最为发育，长 $6\sim 10\text{ m}$ ，宽 20 cm ，深度 $> 30\text{ cm}$ ，已切割成独立块体。滑体物质为块石、碎石夹粉质粘土，由于山体雨水入侵，施工期间已处于饱和状态，因此继续滑坡、毁路、毁房的潜在危险已经形成。

构成滑坡的主要原因是由于滑坡体处于陡坡上，高差达 70 m ，坡体前临嘉陵江，地势开阔，有较大临空面，加之滑坡地层松散，局部架空，块石夹粘土，被山体雨水入侵，抗剪强度降低，内聚力减少，又由于1995年修建水-北公路开挖坡脚，改变了原有应力状态，因此导致了滑坡(见图2)。

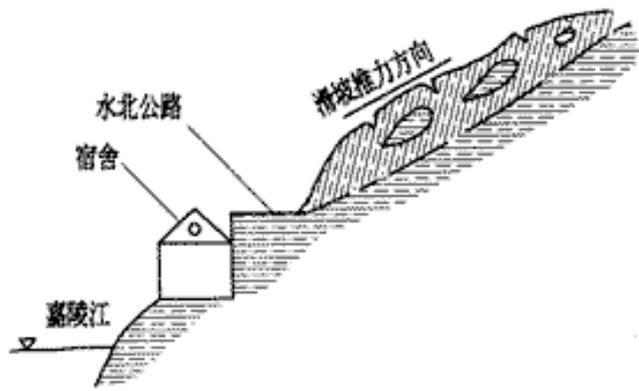


图2 滑坡危害体治理前剖面示意图

3 滑坡治理方案选择

3.1 滑坡推力(下滑力)计算

由于滑面为折线型，故采用传递系数法计算推力(下滑力)选择了有代表性的3个断面进行计算，(计算过程略)结果为：

2-2 剖面推力最大，为567 kN/m；1-1 剖面为82 kN/m；3-3 剖面为423 kN/m。

3.2 方案选择

对预应力锚索组合抗滑墙与抗滑支挡结构桩(1 m × 1.4 m)从受力机制、工程造价、施工周期等几个方面进行比较，其结果作为方案选择的依据。

原抗滑方桩截面积1.4 m²，桩心距2.5 m，嵌岩深度4~6 m，工程造价57万元，施工周期2.5~3个月，预应力锚索桩截面积0.785 m²，桩心距5 m，嵌岩深度2.5 m²，工程造价26万元，施工周期1.5个月。

由于抗滑桩的受力机制属传统的支挡结构，主要靠地基抗力平衡滑坡推力，同时桩的断面积以及嵌岩深度更大，才能抵抗滑坡推力，而预应力锚索可施加的预应力已经平衡了部分滑坡推力，从而使竖桩承受的剪力、弯矩大为减小(经计算可减小1/3左右)，同时桩断面积由1.4 m²减小到0.785 m²，嵌岩深度由4~6 m减小到2.5 m，其工程造价可减少1/3左右。悬臂桩受力机制和预应力锚索组合抗滑桩受力机制见图3。

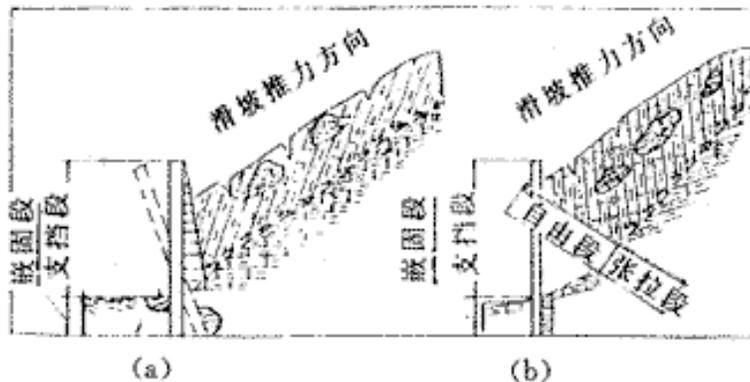


图3 抗滑桩结构示意图

(a)悬臂抗受力机制；(b)预应力锚索抗受力机制

4 间隔定点布桩法的采用

施工期间，由于滑坡推力作用，滑体前缘部分不断出现了位移、变形，给桩的施工带来极大困

难，经现场测量桩体在初凝期的变形达到3~4 m，轴线位移达5~6 m，对地表接桩以及桩的抗滑力都有影响，同时采用间隔定点布桩，保持滑体前缘的极限平衡后，再逐渐加密的施工方法，其优点在于桩体灌砼后，能够满足结构尺寸要求，有利于地表接桩。

具体方法：

(1)根据极限平衡理论计算：

$$K=G_f/G_t=(G\cos\alpha\cdot\mu+CL)/(G\sin\alpha)=1$$

式中：K——稳定系数；G——滑体质量； G_t ——下滑力； G_f ——沿滑面抗滑力；C——粘聚力；L——滑面长度； α ——滑面倾角； μ ——滑面摩擦系数， $\mu=\tan\phi$ 。

(2)通过计算，主剪应力区的桩先施工，并在灌注砼时加一定比例的早强剂(NNO)，使其尽快形成抗滑力，使滑体主剪应力处于极限平衡状态。

(3)建立完善的定点监测系统

5 预应力锚索组合抗滑墙施工工艺特点

5.1 危岩清除

由于施工人员及设备、桩位均处于滑体下方，被裂隙切割后的巨大危岩随时都有可能崩滑，因此施工前须作危岩清除，并要求“挂网”处理后，施工人员及设备方可进入桩位。

5.2 竖桩成孔

由于 $\varnothing 1$ m的基岩孔，岩石硬度大，可钻性级别高，钻进后岩心又无法提断。场地位置狭窄，无法动用大型设备，因而用XY2钻机与潜孔锤在桩孔的周边轮廓线上钻8~10个小孔，口径80 mm，下入胶质炸药作控制爆破，最后人工修整孔壁成孔。

爆破参数：

(1)最小抵抗线： $w=B/2$ (B为爆破断面中最小边长，取0.3 m)；

(2)药孔深度： $L=H-(0.2-0.5)w$ (H为爆破部分的高度)；

(3)孔间距： $s=(8\sim 10)d$ (d为药孔直径)；

(4)药量： $Q=R^3 [V/K_C]^{3/a}$ (Q为一次性装药量，g；R为爆破中心到孔壁间距离，m； K_C 为传爆介质系数，硬岩取70；V为滑体在地面允许震动波速，cm/s；a为爆破振动衰减系数)。

(5)采用延期电雷管起爆，其爆破效果能够有效控制对孔壁的损伤和振动冲击。

炮孔布置见图4。

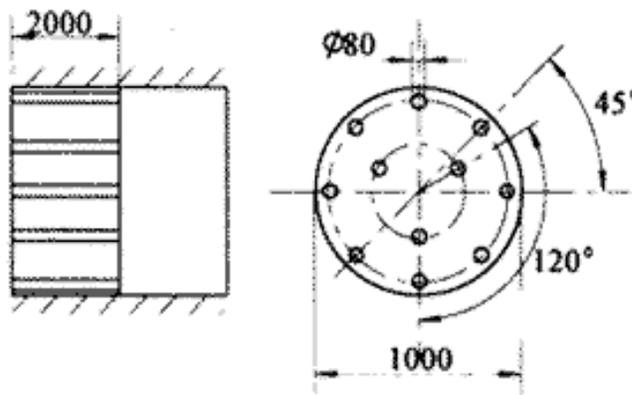


图4 竖桩控制爆破布孔图

5.3 气动潜孔锤在锚索孔中钻进

在锚索孔中采用J100气动潜孔锤, \varnothing 130 mm球齿钻头成孔, 优点在于无施工用水入侵滑体及滑面, 可避免滑体及滑面所夹粘土软化; 内聚力、抗剪强度减小, 加速滑体位移带来的危害。此外, 气动潜孔锤钻进硬岩的最高钻速可达8~10 m/h, 比普通回转钻进速度提高5倍以上。

5.4 锚索的制作及安放

锚索为7根 \varnothing 5 mm无粘接高强度钢丝束。中心钢筋 \varnothing 22 mm, 对称分布4根锚索, 然后捆扎成一根完整的锚索。底部作内锚头, 每隔1.5 m焊定位筋, 保持锚索定位于孔中心。锚索下入前应作钢丝的抗拉试验, 7根 \varnothing 5 mm钢丝抗拉强度 1470 MPa方可下入。

5.5 注浆锚固

为保证灌浆质量, 先用空压机吹洗孔, (下锚索前进行), 再用孔底反向连续压浆法, 即将注浆管下入距孔底0.3~0.5 m后, 连续向孔内压浆, 压力控制在0.3~0.4 MPa, 并逐渐向外拔管。砂浆强度M30, 搅拌3 min用泵压入孔内。

5.6 锚索张拉、锁定

先进行锚索的超张拉, 吨位大于锁定吨位(45 t)的30%~40%, 对锚索进行拉伸、调直处理, 以消除锚索在张拉中的自身变形, 然后千斤顶卸荷至零位后再采用分级加载法, 每级加载10 t, 并观测5~10 min, 加载至60 t卸载回缩至45 t后锁定, 张拉中对墙体桩体注意应力、应变观察, 并作观察记录。

张拉设备为YCW150型液压千斤顶, 钢垫板规格340 mm × 340 mm × 14 mm, 外锚具为OVM155。

6 滑坡处理效果

预应力锚索组合抗滑墙施工结束, 在砼的终凝期后, 按要求分别对 \varnothing 1000 mm竖桩和 \varnothing 130 mm锚索孔进行了超声波瞬时动态无损检测和预应力锚索张拉试验。由于本次施工竖桩采用干灌, 孔底沉渣清理干净, 砼灌注连续, 并分层振动捣实, 因此检测效果良好, 桩身质量符合要求。

对锚索孔进行了超张拉试验, 其位移量 < 4 mm, 张拉曲线出现回弹, 检测结果符合设计要求。

该工程完工已经1年多时间, 治理后的滑坡经受了1998年特大暴雨的考验, 经对滑体前缘部分的抗体以及组合墙体进行变位测量, 墙体轴线变形仅25 mm, 无位移、下沉, 危岩崩滑已得到控制, 水-北公路车辆运行状况良好, 滑体下的芙蓉煤矿职工宿舍的人身财产安全得到保障。

预应力锚索组合抗滑墙与传统悬臂式支挡结构相比较, 由于受力机制发生变化, 由被动型阻滑变为主动型抗滑, 并与桩、墙、锚组合成联合受力体系, 治滑效果好。由于剪力、弯矩减小, 竖桩嵌岩深度可减少1/3, 投资减少, 同此在滑坡治理工程上有较大的推广价值和应用前景。

作者简介: 男, 1952年生, 重庆南江岩土工程勘察设计院高级工程师; 1980年毕业于成都地质学院探矿工程专业。

作者单位: 631147 重庆市渝北区松树桥。

收稿日期: 1998-07-27 改回日期: 1999-04-07