

文章编号: 0451-0712(2006)12-0104-04

中图分类号: U416.1:P642.22

文献标识码: B

# 一个古滑坡的判断与治理

程 平

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司 武汉市 430056)

**摘 要:** 从人文历史调查、地形地貌、地层岩性和地下水条件等方面对该滑坡体的成因机制进行分析, 得出某高速公路林家溪路段是一个古滑坡的重要结论, 在暴雨及人工开挖条件下可能复活, 并对工程建设造成极大影响。对滑坡范围和滑动面位置进行了研究, 获取了滑坡稳定性计算模型。最后对滑动面抗剪强度参数进行了室内试验和反分析计算, 给出了滑坡体整体稳定和局部稳定的工程治理措施。

**关键词:** 古滑坡; 古滑坡特征; 成因机理; 预应力锚索; 抗滑桩

高速公路高边坡的稳定性, 特别是古滑坡的稳定性, 是目前公路建设中需要十分关注的问题。为防止滑坡发生, 一般需对此类边坡不够稳定(可能滑动)的地段采取一定的加固治理措施。如果由于工程措施不当, 引起古滑坡失稳, 产生的滑坡灾害将严重威胁行车安全。

上海~瑞丽高速公路林家溪路段位于地形狭窄的平溪江峡谷, 高速公路布置在平溪江南岸 G320 国道以南的山坡上。K82+090~K82+210 段采用路堑方式通过山坡, 挖方边坡设计坡比为 1:0.75, 每级间平台宽度为 2 m, 路线左侧挖方边坡最高约 30 m。

地质勘察结果表明, 本路堑位于一古滑坡体中, 但由于路线受平溪江峡谷地形及高速公路前后路段工程控制, 难以绕避滑坡体, 为保证路基稳定, 必须对滑坡体进行工程处治。

## 1 古滑坡体的特征

### 1.1 古滑坡体的现场访问调查

(1) 可以查证的与滑坡活动相关的历史可追溯至 20 世纪 40 年代, 在 1941 年~1942 年 G320 国道修建过程中, 滑坡体的坡脚部位附近被开挖、切方, 曾出现沿人工边坡肩部的小规模坍滑、塌方现象, 但未诱发滑坡整体复活。其后 60 年时间内, 未发生滑动变形破坏现象。

(2) 高速公路路基边坡开挖前, 滑坡体坡面坡度为  $15^\circ \sim 25^\circ$ , 长期风化剥蚀作用导致滑坡平台上的内倾平台早已消失, 成坡角低缓的外倾地形。滑坡后

缘带没有拉裂现象, 滑坡体上植被发育, 另辟有水田。植被生长正常, 未见马刀树、醉汉林等现象, 访问当地老农, 数十年来未发生过水田下滑、开裂漏水等现象, 说明该滑坡近代无蠕动变形。

(3) 滑坡后缘显见滑坡壁形态, 前缘保留向前伸出的弧状滑舌形态, 使该段平溪江向北弯曲, 河道变窄。该滑坡的整体形态为后缘陡峭、中间平缓、前缘挤出, 如图 1 所示。



图 1 滑坡全景

### 1.2 古滑坡体的地质依据及基本特征

由于古滑坡较古老, 表层的覆盖物较为严重, 必须进行区域调查、地形地貌观测、地表地质调研、水文地质调查, 辅以必要的钻孔、探孔(洞)等勘探手段综合进行评判。

(1) 地质调查发现滑坡前缘岩层产状呈反翘状, 如图 2 所示。

(2) 滑动带中发现有较厚的粘土层, 如图 3 所示。



图 2 滑坡前缘岩层产状



图 3 滑动带中的粘土层

(3)调查期间正值雨季,滑坡左边缘发现出露的泉点,如图4所示。滑坡西侧冲沟内的滑坡泉水量在短时间内没有发生变化,表明滑体比较密实,地表降雨入渗量小。



图 4 滑坡左边缘发现出露的泉点

### 1.3 古滑坡体调查勘察结论

(1)林家溪滑坡是一个古滑坡体,滑坡体具有两层滑动面,一层位于残积土与强风化岩之间、另一层位于强风化岩与微风化岩之间,滑动带均为土层。

(2)整个滑坡体近几十年甚至上百年并未出现整体和局部失稳现象,说明该滑坡体在高速公路路基开挖之前,不论是整体还是局部都处于安全状态,其安全系数大于1。

(3)高速公路从整个古滑坡体前部通过,路基开挖并未造成滑坡体下段的滑动,但造成滑坡体整体安全系数降低。从计算可知,上滑面上段处于临界滑动状态。高速公路路基开挖时,由于边坡过陡,如不采取

加固措施会引起边坡局部滑动。当路基开挖至设计标高,在雨水的作用下有可能使得整个古滑坡复活。

(4)路基开挖时会破坏植被,地表水可能侵入土体,将使土体含水量增大,抗剪强度降低,进一步加大滑动的可能性。

## 2 滑坡整治工程设计

### 2.1 设计原则

高速公路滑坡整治工程设计是以“一次根治,不留后患”为原则,要求技术可行、工程可靠、经济合理、有利于工期。采取临时应急措施与永久加固措施、排水和支挡相结合的措施治理滑坡,根据滑坡不同区域的地质条件和变形破坏特征来分别采用不同的加固措施。整治后滑坡稳定安全系数不小于1.2,确保滑坡稳定和高速公路营运安全。

### 2.2 滑坡体地层岩性组成

#### 2.2.1 水文地质条件

(1)本区属资江一级支流平溪江流域,地表水主要来源于大气降水,降雨主要集中在每年的3月~6月,约占年平均降雨量的75%以上。因此,与水动力条件有关的地质灾害多发生在这一时期。

(2)地下水主要有第四纪松散堆积物孔隙滞水、基岩裂隙水两种类型。

①孔隙滞水季节性赋存于山坡表层第四纪含碎石亚粘土层中,补给来源是大气降雨,水量受季节控制而变化。在滑坡体左边界中部土岩接触面见滑坡泉出露,流量为0.3 l/s,水量较小,动态随降雨及季节影响而变化。降雨后泉水迟滞1~2 d后增大但不浑浊,久旱无雨则持续减小甚至干涸,表明滑坡体透水性较差。

②基岩裂隙水主要赋存于板岩的裂隙及构造破碎带中,受构造裂隙发育程度的影响,其补给来源为大气降雨和下渗的孔隙水。浅部岩层风化破碎或裂隙发育,含水性和透水性较强,易造成含泥质高的岩层处于饱和状态。深部岩层较完整,裂隙相对封闭,含水性和透水性差。

#### 2.2.2 工程地质条件

(1)第四系残坡积物厚3.1~20.0 m,呈灰褐、黄褐、土红褐色,为粉砂质亚粘土、粘土及碎块石土。该层属松散透水的均质工程地质堆积土体。

(2)志留系的灰~青灰色砂板岩、薄片状泥质板岩、粉砂岩呈不等厚互层。

强风化层厚度一般为3.3~19.0 m,岩石破碎,局部地段有软弱夹层,岩石强度低。岩芯呈块状、短柱状。

微风化板岩、粉砂岩,新鲜面为灰~青灰色,风化表面为灰~浅灰色,节理发育,岩石较坚硬,岩芯完整性好,工程力学性能良好。钻孔揭示其埋深一般在 5 m 以下。

## 2.3 岩土工程参数的选取

### 2.3.1 基本原则

(1)林家溪滑坡体主要受土体强度控制。

(2)由于古滑坡体尚未滑动,不宜选用土的残余强度指标。

(3)选用的土体抗剪强度指标,必须大于恢复原地表后局部或整体稳定反算的土体强度指标。

(4)综合考虑后,选用土体饱和直剪和固结快剪试验所得的抗剪强度指标。土的容重取饱和容重。

### 2.3.2 岩土主要物理指标推荐值

岩土主要物理指标推荐值见表 1 所示。

表 1 岩土主要物理指标推荐值

岩土层	天然容重 kN/m <sup>3</sup>	粘聚力 $c$ kPa	内摩擦角 $\varphi$ (°)
残坡积土层	20.0	18.0	22
强风化板岩、粉砂岩	21.0	40	26
弱风化板岩、粉砂岩	24.6	4 300	39
残坡积土层滑动带	19.0	15	20
弱风化粉砂岩、板岩滑面	21.2	28	28

## 2.4 滑坡剩余下滑力计算的传递系数法

滑坡剩余下滑力计算采用传递系数法,计算公式如下:

$$T_i = KW_i \sin \alpha_i + \psi_i T_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i L_i \quad (1)$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (2)$$

式中:  $T_i$ 、 $T_{i-1}$  分别为第  $i$  和第  $i-1$  滑块剩余下滑力, kN/m;  $K$  为安全系数;  $W_i$  为第  $i$  滑块的自重, kN/m;  $\alpha_i$ 、 $\alpha_{i-1}$  分别为第  $i$  和第  $i-1$  滑块对应滑面的倾角, (°);  $\varphi_i$  为第  $i$  滑块滑面内摩擦角, (°);  $c_i$  为第  $i$  滑块滑面岩土粘聚力, kPa;  $L_i$  为第  $i$  滑块滑面长度, m;  $\psi_i$  为传递系数。

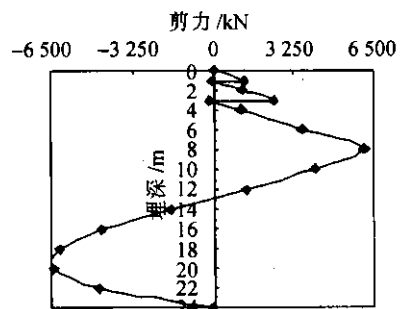
## 2.5 半坡上抗滑桩的设计

计算条件: 预应力锚索抗滑桩的桩间距取 5 m, 取桩长  $\geq 24$  m 并进入下滑面不少于 5 m。抗滑桩的受荷段长度为 8 m, 锚固段长度为 16 m, 桩体主筋采用 II 级  $\phi 32$  冷拉钢筋共 108 根。滑坡推力为 2 000 kN/m。

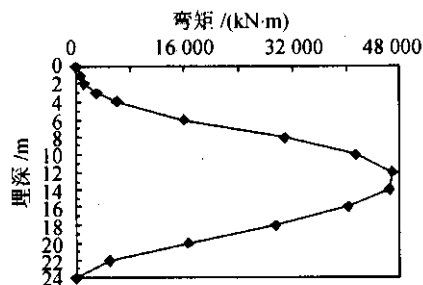
抗滑桩内力计算结果如图 5 所示。

## 2.6 预应力锚索设计

设计锚固力应根据滑坡下滑力计算确定。锚索设计锚固力计算公式为:



(1) 桩身剪力



(2) 桩身弯矩

图 5 抗滑桩内力计算结果

$$P_d = T / [\sin(\alpha + \beta) \tan \varphi + \cos(\alpha + \beta)] \quad (3)$$

式中:  $P_d$  为锚索设计锚固力, kN;  $T$  为边坡不稳定力(下滑力), kN;  $\varphi$  为滑动面内摩擦角, (°);  $\alpha$  为锚索与滑动面相交处滑动面倾角, (°);  $\beta$  为锚固倾角, (°)。

预应力锚索采用粘结型锚固体, 其锚固段长度是按地层与注浆体间粘结长度和注浆体与锚索体间粘结长度计算确定。地层与注浆体间粘结长度计算公式为:

$$L_r = P_d K / (\xi \pi d f_{rb}) \quad (4)$$

式中:  $L_r$  为地层与注浆体间粘结长度, m;  $K$  为安全系数, 取 2.0;  $P_d$  为锚索设计锚固力, kN;  $d$  为锚固段钻孔直径, m;  $\xi$  为锚固体与地层粘结工作条件系数, 对永久性锚索取 1.00;  $f_{rb}$  为地层与注浆体间粘结强度, kPa。

注浆体与锚索体间粘结长度计算公式为:

$$L_g = P_d K / (\xi n \pi d_g f_b) \quad (5)$$

式中:  $L_g$  为注浆体与锚索体间粘结长度, m;  $P_d$  为锚索设计锚固力, kN;  $n$  为锚索体根数, 根;  $d_g$  为锚索体材料直径, m;  $f_b$  为注浆体与锚索体间粘结强度, kPa;  $\xi$  为锚索体与砂浆粘结工作条件系数, 对永久性锚索取 0.60。

影响锚索预应力损失的因素很多, 既有材料性能、锚具、张拉设备引起的损失, 也有地层、结构物的

压缩和徐变引起的损失。另外,还与张拉顺序、外界环境条件等有关。设计中对锚索的预应力损失问题进行了分析研究,并采取了相应措施来尽量减小预应力损失,主要措施有以下两点。

(1)锚索材料的优选。选用强度为1 860 MPa 的高强度低松弛无粘结钢绞线和与之配套的锚固体系。

(2)合理地确定锚索的张拉顺序,并对锚索进行超张拉和补偿张拉。每根锚索抗滑桩上的所有锚索和每片地梁上的所有锚索,张拉时必须同步加载,同时张拉。为克服地层徐变等因素造成的预应力损失,锚索张拉后第 7 d 和第 21 d 再分别进行一次整体补张拉。封锚之前,对于预应力损失较大的锚索,进行一次整体补张拉。

### 2.7 工程设计方案

根据计算结果,林家溪滑坡工程治理方案如表2所示,剖面图如图 6 所示,工程平面布置示意图如图 7 所示。

表 2 设计方案汇总

计算模式	整体稳定	局部稳定
采用分析方法	传递系数法	Bishop 法
滑坡推力	2 000 kN/m	
工程措施	锚索抗滑桩,截面尺寸为 2.5 m×3.5 m,桩上设 3 根预应力锚索,施加张拉力为 650 kN。	放坡坡率为 1 : 1.5;上部边坡锚固采用 3~5 排的锚杆,设计张拉力为 320 kN/根。

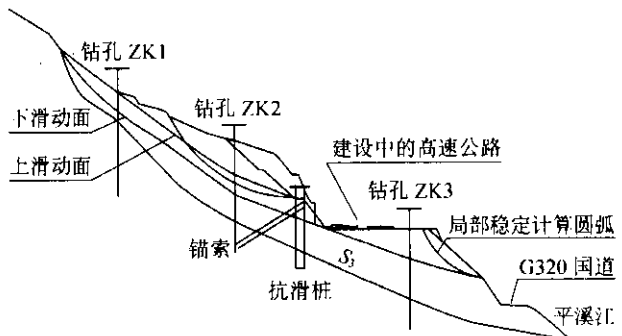


图 6 工程计算剖面

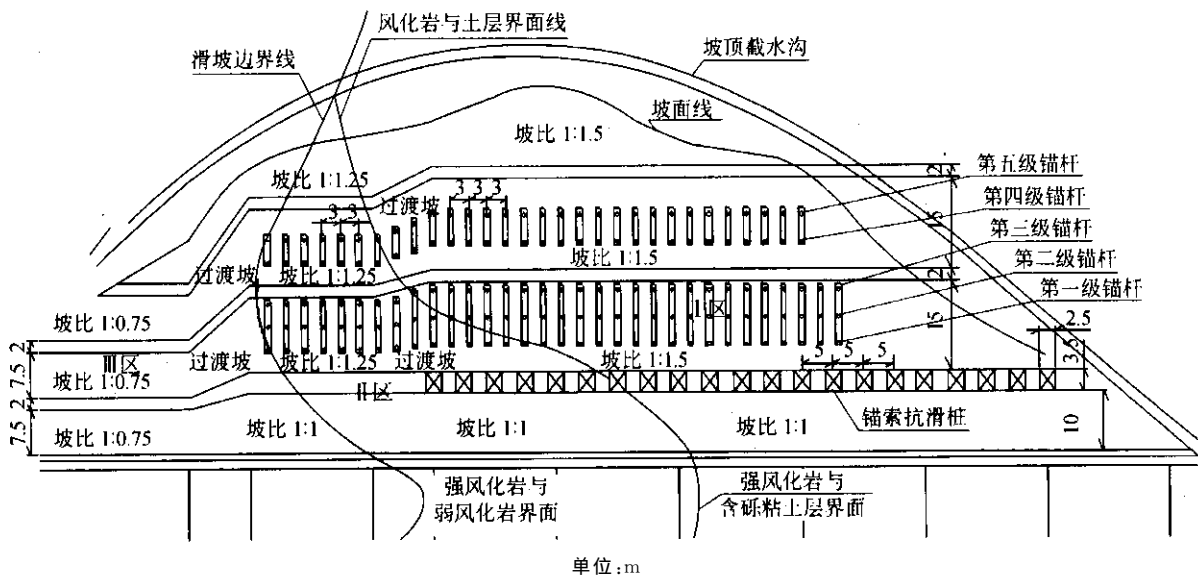


图 7 工程平面布置示意

目前,该滑坡已经完成施工,现场监测工作正在进行中。从目前情况来看,滑坡初期变形较大,经过处理后,滑坡处于稳定状态。

### 3 几点体会

(1)滑坡勘察应采取综合勘察方法,对于较大规模的滑坡,应进行位移变形监测,为滑坡防治设计提供可靠的地质参数。为避免地质勘察结论失误给高速公路建设带来工程损失,引进经验丰富的第三方地质勘探单位对地质勘察工作进行监理是十分必要的。

(2)动态设计是滑坡和边坡设计的基本原则。当地质勘察参数难以准确确定、设计理论和方法带有经验性和类比性时,根据施工中反馈的信息和监测资料完善设计,是一种客观求实、准确安全的设计方法。动态设计应贯穿于高速公路建设的始终。

(3)预应力锚索宜采用压力分散型锚索和无粘结钢绞线,锚索防腐处理和预应力损失是设计中不容忽视的问题,应特别注意。

(4)“半坡桩”(半坡上抗滑桩)设计时,应注意桩前岩土体稳定问题。