

# 用多向概念分析滑坡稳定性的初步研究

蔡 贤 才

(铁道部第二勘测设计院)

## 提 要

本文以云南会泽县苏家坪滑坡为实例,用多向概念分析滑坡的稳定性。依据该滑坡防治工程的实践,总结出滑坡纵向和横向、深层和浅层推力的论证方法,以及安全系数的选择和整体稳定性分析的原则。

## 前 言

开展滑坡研究,目的之一在于寻找正确评价滑坡稳定性的途径,并采取相应的工程措施,减少灾害的损失,以最省的代价取得较大的经济效益。为此,在工程勘察中,除了要取得较为接近实际的力学数据外,还必须使用正确的计算办法。近年来,从工程实践中发展起来的“反算法”很有用处,它以现场勘察资料为基础,考虑到滑坡目前的发育阶段,并从工程实际需要出发,通过综合分析,正确选用设计指标。然而,目前的滑坡稳定检算大多把滑坡体简化成平面问题加以求解,这一简化对于形态简单、规模小和机理单一的滑坡是可行的;反之就难以奏效。采用多向概念分析滑坡稳定性乃是很有意义的。我们现以苏家坪滑坡为例,对多向概念的内容和应用进行初步研究,以便对滑坡的稳定性分析更为符合实际。

用多向概念分析滑坡的稳定性,要着重分析和注意以下几个问题。

## 一、认真查明滑坡各部位动态差异及诱因

滑坡动态,应当根据地质勘察所查明的地层岩性、地貌形态、滑床特征和位移观测等资料综合分析确定。滑坡从产生、发展到稳定,大致可以分为蠕变压密、滑动、剧滑和稳定压密四个阶段。

苏家坪滑坡,位于云南省会泽县境内盐水沟向斜河谷右岸的苏家坪平台上。1959年位于平台上的电站施工时,在场地后缘出现长40米、宽3—4厘米的裂缝,疑其失稳;经两次勘察定为古滑坡复活。1962年9月,后缘贯通裂缝长达220米。滑坡区地处滇东北高原,受金沙江水系强烈切割,造成了山高、坡陡、谷深的地貌景观。滑体前缘盐水沟为“V”型峡谷。深切于苏家坪平台之下400—900米,加之螃蟹沟和凝灰岩沟的侧蚀,使苏家坪山体三面临空(图1)。盐水沟向斜轴线与河谷基本一致,朝盐水沟岸坡倾斜的似层理面,是苏家坪斜坡岩体失稳的不利结构面。本区玄武岩组中的凝灰岩软弱夹层的存在,为苏家坪滑坡的形成奠定了物资基础(图2)。

苏家坪滑坡复活的主要原因,在于盐水沟和螃蟹沟的长期冲刷和下切作用,使古滑坡堆积体前缘及南缘坍塌严重,日益高陡;古滑坡形成之后发育起来的凝灰岩沟,逐渐切穿滑体,使滑床暴露,利于沟水渗入滑体,滑带土的抗剪强度进一步降低;电站施工过程中,在顺层段堆填工程

弃土、修建房屋和挡土墙，共加载约19万吨，使滑坡的整体稳定系数降低约5%；与此同时，施工破坏了地面缓坡，开挖地下厂房抽出的地下水，工程和生活废水以及大气降水大量渗入滑体，这不但降低了滑带土的抗剪强度，增加滑体重量，而且增大动水压力，使已三面临空接近极限平衡状态的古滑坡再次复活。

1984年的勘察工作，不但查清了滑坡的整体属性，而且研究了各部位的差异性。根据已查明的滑坡规模、岩性、成因、动态和滑面特征等条件分析，苏家坪滑坡是在大型深层破碎岩石顺层

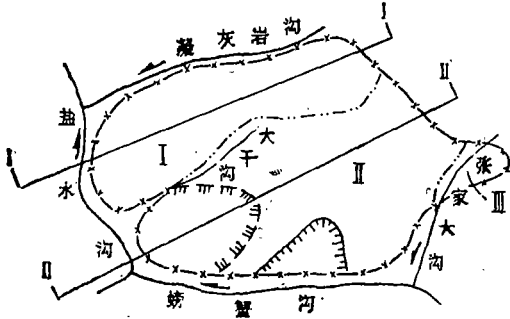


图1 苏家坪依山三面临空图

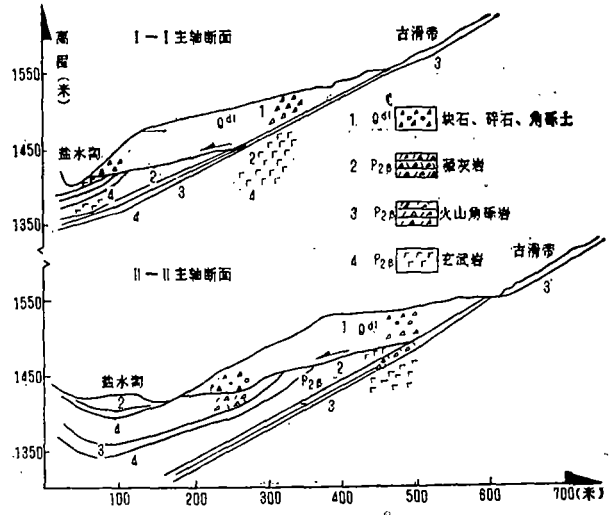


图2 苏家坪滑坡形成的物质基础

古滑坡堆积体上复活的滑坡。滑带与古滑带基本重合。20多年的地面位移观测资料还表明，苏家坪滑坡各部位具有明显的差异运动迹象。结合滑坡周界和滑床形态，将苏家坪滑坡划分为三个滑块，分别分析其稳定性。从受力条件分析，第I和第II滑块是滑坡的主体部分，属古老滑坡堆积体上复活的推移式滑坡；从滑面(带)性质分析，上段为顺层，下段为切层。下滑力主要来自滑体上部顺层段(图3)。顺层段滑面已基本形成，切层段则处于压密、剪切蠕变向滑动阶段发展，抗滑建筑物主要设于顺层段。第I滑块的位移方向为NW84°—SW83°，第II滑块的位移方向呈折线型SW74°—SW86°。第I滑块的水平位移量大于第II滑块，同一滑块顺层段的水平位移量大于切层段的位移量。这一现象符合推移式滑坡的运动规律。第III滑块，则是受第I和第II滑块影响，在1967年以后发生在新堆填土部位的牵引式滑坡。

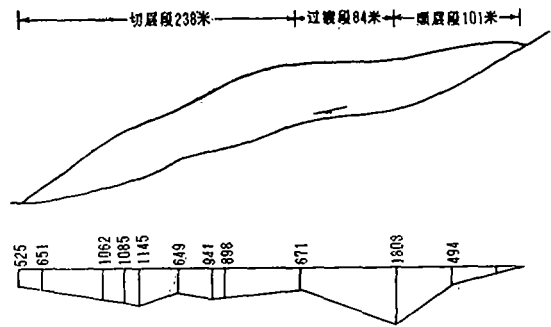


图3 I—I剖面下滑力曲线 单位:吨力

## 二、正确分析各滑块主轴位置

滑坡主轴断面，是反映滑坡的内部结构特征，并用以分析滑坡稳定性、推力计算和抗滑工程设计的主要依据。这可通过地质勘察、地面位移观测和力学检算综合分析，确定主轴断面位置。

根据苏家坪滑坡各滑块明显的差异运动迹象，滑坡后缘贯通裂缝分布和顺层段试坑所揭示的滑床走向、滑坡舌部动态以及微地貌等资料，分别初拟各滑块的主轴位置，并选择多个断面计算下滑力。第Ⅱ滑块中Ⅱ—Ⅱ断面的下滑力最大，位置正处于该滑块滑床等高线凹槽部位，滑动面最长，系控制第Ⅱ滑块稳定性的主轴断面。用同样的办法可以确定其它滑块的主轴断面。因为对于一个滑坡体来说，主轴附近是主滑体，下滑力理应最大，而两侧则是被带动的，下滑力次之。检算断面的间距越小，主轴位置的准确度也就越高，由此得到的稳定分析资料也就越可靠。

### 三、分别确定各部位滑带土的抗剪强度

在滑坡勘察中，需要测定滑带土的含水量、容重、液限、塑限和颗粗组成等物理性质，还要通过剪切试验测定其抗剪强度。在同一个滑坡的各个部位，滑带土的结构、成分、砾石含量、含水量以及滑体的发育阶段，是不尽相同的。这些因素直接影响到粘聚力C和内摩擦角 $\phi$ 值的大小。C、 $\phi$ 值的确定，对滑坡稳定性的分析和抗滑工程的设计影响极大。

苏家坪滑坡顺层段的滑带土为紫红和棕红色粘土，角砾含量为15—30%。角砾呈次圆或圆棱状，略具定向排列现象；粘土中见滑动镜面，擦痕清晰。切层段滑带土中的角砾呈圆棱和次棱状，含量高达50—70%；顺层段滑面已基本贯通，而切层段则处于压密、剪切蠕变向滑动阶段发展。第Ⅱ滑块切层段较长，其上段滑床呈平缓台阶（图3），处于顺层段和切层段的过渡部位，工程地质和水文地质条件介于两者之间；第Ⅰ滑块滑床受大干沟隆脊影响，切层段抗剪强度略高于第Ⅱ滑块。滑带土抗剪强度指标及稳定计算成果表1所示。

表1中的资料，符合滑体接近极限平衡状态和运动差异性的特征。抗滑工程设计时，已考虑了各种不利因素（如地震力和动水压力等）的作用，可采用比表1中稍高的抗剪强度指标。

### 四、合理分析抗滑建筑物的受力

用多向概念分析抗滑建筑物的受力条件，应包括纵向力和横向力的分配，以及浅层力和深层力的分配两个方面。

1、纵向力和横向力的分配。一般说来，大型滑坡较多的是轴长大于横宽。沿轴长方向滑体厚度和发育阶段差异大，而沿横向则地形变化剧烈。无论采用何种计算方法和建筑物，引入多向概

表1 滑带土抗剪强度及稳定系数表

滑 块号	主轴断面位置	滑段名称	滑段长度(米)	计 算 指 标		段末推力 (吨力/米)	安全系数
				$\phi$	C (吨力/平方米)		
I	I—I	顺 层	210	12°	1.6	2,281.24	0.980
	SW68°	切 层	202.5	19°	1.4	7.40	
II	I—I SW54°	顺 层	112	12°	1.6	1,528.14	1.001
		过 渡	85	14°	1.5	128.06	
		切 层	250	17°	1.3	2.00	
III	A-A' o+506 SW79°30'			17°	1.3		

念分析抗滑建筑物的受力条件则是可取的。

在可能的条件下，一个滑坡的推力计算应采用尽可能多的断面，并绘制出沿横向推力的X—E曲线，然后再按照工程实际（如挡土墙节长或抗滑桩间距），取相应段柱状图所代表的推力作为设计推力，这就是横向力的分配。图4为苏家坪滑坡第Ⅱ滑块下排桩滑坡推力横向分配柱状图。显而易见，不同路段的工程量可随其面积的大小而增减。

如果设置多排建筑物或对建筑物前土体的稳定性有不同的要求（是否允许产生变形），就出现了纵向力分配问题。纵向力分配可采用纵向推力逐级分配图（图5）。图中B、C分别为上下排建筑物的位置，对于刚性（如挡土墙工程而言），上排建筑物如不考虑被动土压力的影响，它无疑应当承担AB段滑体由 $K=A$ 所产生的全部推力，即图中 $BB''$ 线段所代表的推力 $E_B$ ；对于具有一定刚度又允许产生一定的弹性变形的抗滑桩，则其所承受的推力可以小于 $E_B$ ，其差值下传给下排抗滑桩承受。下传力不能大于下段土体所能提供的被动抗力或弹性抗力（以较小者控制设计，如图中 $BB'''$ ），以策安全。下排抗滑桩所承受的推力应从 $B'''$ 出发，按 $K=A$ 向下绘制推力曲线至 $CB'''$ 处，当 $CD$ 段滑体可能滑走时，则 $CC''$ 线段所代表的推力 $E_C$ ，即为下排抗滑桩的设计推力。若 $CD$ 段土体基本稳定，并能提供一定的抗力 $CC'$ ，则设计推力为 $C'C''$ 值。建筑物多于两排，亦可参照上述办法分配设计推力。

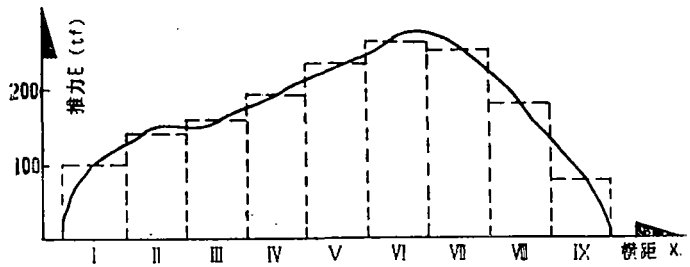


图4 滑坡推力横向分配X~E曲线图

**2、浅层力和深层力的分配。**对于具有明显特征的多层次“套式”滑坡，各排建筑物相应地承受各层滑坡推力。上述推力曲线也要相应地改为“套式”曲线，如AC和BD分别为两滑动面，其下滑力曲线AC与BD应为相交形式。苏家坪滑坡第Ⅱ滑块的前缘，有一新生小滑坡，在该部位的抗滑工程设计中，必须充分注意到有两层滑动面同时存在，分别计算下滑力，并以较大者控制设计。

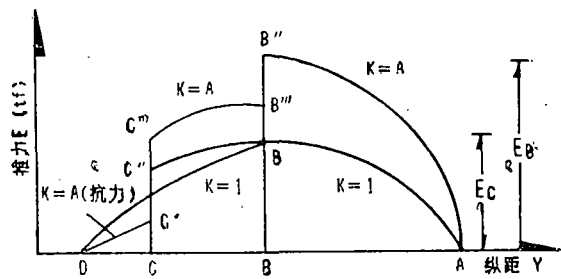


图5 滑坡推力纵向分配Y~E曲线图

确定滑坡推力的分布图形，实为沿滑体的不同深度进行推力分配的问题。以内摩擦角为主要抗剪特征的苏家坪滑坡，根据多年工程实践和室内模型试验，滑坡推力采用三角形分布图形。在苏家坪滑坡体上先后安装了钻孔多点挠度计和测斜仪。前者的初步观测资料表明，滑体上部位移量大于下部，但还缺乏按梯形分布的定量依据。桩前滑体抗力分布图形，也应根据滑体抗剪特性分别选用。

## 五、安全系数K值的选择

滑坡推力计算中的安全系数K值，其物理意义就是根据对滑坡的认识程度，在设计中给定一

个大于1.0的系数。由提高工程治理的安全性。由于对滑坡的复杂性质和各种影响因素的变化等不易掌握得准确。再加上计算公式的假设条件与实际情况并不十分吻合，只好将这些还未搞清楚和限于目前科学水平尚不能解决的问题，一律以安全系数加以考虑。

安全系数的选用，应以勘察资料的可靠程度、滑坡发育演变阶段的发展趋势、滑坡规模大小、外界条件变化后对滑坡的影响和工程的重要性与治理的难易程度等综合考虑。一般规定 $K=1.05-1.20$ 。苏家坪滑坡采用钻探、物探、原位测试等多种手段，互相印证。该滑坡周界（特别是后缘和凝灰岩沟）清楚，取土样60多组，积累了20多年的地面位移观测资料，分析资料较为可靠。设计中考虑了地震力和动水压力的影响，选用了较小的K值。鉴于滑坡规模大，变形复杂，具有分块滑动的特征，顺层段与切层段滑面的发育阶段各异，各排抗滑桩的受力性质也不尽相同。据此，设计中各部位采用不同的K值。

## 六、整体稳定性分析

对于形态复杂，各部位滑体具有明显差异运动特征的大型滑坡，可根据各滑块动态和发育阶段，按形态较为单的几个小型滑坡，分别进行稳定性分析；设置相应的抗滑建筑物，而后再进行滑坡整体稳定性分析。苏家坪滑坡治理工程设计中，着重分析第Ⅰ和第Ⅱ两个滑块的稳定性。

第Ⅰ滑块的滑坡前缘下滑力总计为18,557吨，若以40米宽度分配，下滑力为464吨/米。拟设5根抗滑桩，间距为9米，单桩抗剪强度为3,096吨，设计下滑力为4,176吨，其差值120吨/米传给桩前土体。经检算，在8度地震情况下，桩前土体可提供211吨/米的剩余抗滑力。若视第Ⅰ滑块为整体同步滑动，按上述要求设桩，是能够满足稳定要求的。

第Ⅱ滑块分设上下两排抗滑桩，其中上排抗滑桩按换算地基系数法，把整根桩视为弹性地基梁，作用于桩身自由段的外力有桩背滑坡推力和桩前滑体抗力。下排桩按悬臂桩考虑受力，桩身自由段仅受到上下两排桩间滑体推力的作用，不计桩前滑体剩余抗力的影响。单桩设计推力为480吨，设6根可承受5,040吨的滑坡推力。经检算，上排桩至滑坡前缘的总下滑力为4,749吨，已满足第Ⅱ滑块整体稳定性的要求。

因第Ⅱ滑块设上下两排抗滑桩，还须考虑上下两排抗滑桩间滑体的稳定性，经假设多个可能滑动面检算，其安全系数最小值 $K_{\min}=1.06$ ，可认为是安全的。

以上讨论，虽有理论分析，但更多的是工程实践体会，希望引起探讨和得到指正，以有益于研究的深化和指导工程。

本项工程和研究工作得到吴宗俭高级工程师的指导，谨此致谢！

### 参 考 文 献

- 〔1〕吴宏祉、吴宗俭：“关于在滑坡检算中运用‘反算法’的研究”，1983年。
- 〔2〕铁道部科学研究院西北研究所：《滑坡防治》，1977年。
- 〔3〕铁道部第二勘测设计院抗滑桩专题组：“单排抗滑桩设计原则的讨论”，1986年。

（以下英文提要转第87页）

本文承艾南山教授提出宝贵意见，敬致谢忱。

#### 参 考 文 献

- [1] 艾南山：“侵蚀流域系统的信息熵”，《水土保持学报》第1卷第2期，1987年。  
[2] 蒋忠信：“滇西北三江河谷纵剖面的发育图式与演化规律”，《地理学报》第42卷第1期，1987年。

## Exploring and discussing of the geomorphical information entropy in rectangle basin

*Jiang Zhongxin*

*(the Third Main Group of the Second Surveying and Designing Institute  
under the Ministry of Railway)*

#### Abstract

This paper compares and studies the strahler integral value  $S$ , the information entropy value  $H$  and the shape index  $N$  of river gully longitudinal section in rectangle basin, considers  $N$  as the index of the rectangle basin geomorphy developing stage. At the same time, this paper utilizes the information of the three rivers (Jinsha River, Lancangjiang River and Lujiang River) basin in the northwest of Yunnan, demonstrates the indexes above all, at last draws the information of the developing stage in the cause of eroding circle and the information of the stability in erosional basin.

---

(Continued from page 82)

## Preliminary research to analyse landslide stability in multiple orientation concept

*Cai Xiancai*

*(the Second Surveying and Designing Institute under Ministry of Railway)*

#### Abstract

Relying on the Sujiapin landslide of Huize county in Yunnan province, this paper analyses the landslide stability with the multiple orientation concept. It summarizes the demonstration method of pushing force of crosswise and lengthwise, deep and shallow layers, the principles of selecting safety coefficient and the whole stability analysing on the basis of the control engineering practices of the landslide.