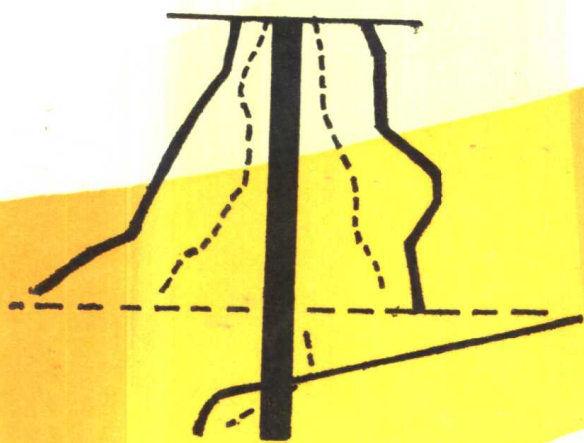


# 滑坡文集

(第六集)



中国铁道出版社

# 滑 坡 文 集

(第 六 集)

滑坡文集编委会 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 8 年 · 北 京

## 内 容 简 介

本文集选稿20篇,在滑坡防治方面有:支挡、减载、反压、排水等各类工程措施及抗滑刚架和单桩设计、施工经验;在滑坡分析研究及测试方面有:滑坡变形机理研究和抗滑桩模型试验等;此外,还讨论了海底滑坡新问题和对我国著名大滑坡的研究。

从各个方面对滑坡发生、发展规律及防治均进行了深入的探讨。反映了我国三十年来防治滑坡的经验总结和发展趋势,可资交流推广应用。

本文集可供工程地质研究及土建工程设计参考。

### 滑坡文集编委会

主任委员:李 嘉 副主任委员:徐邦栋  
委 员:居恢扬 刘祥海 唐永富 王少东  
陈自生 孟英喆 牟石轩 吴大复  
潘传爵 施以仁 晏同珍 刘光代  
王恭先 马 骥 程鸿寿  
常务编委:刘光代

### 滑 坡 文 集

#### (第六集)

滑坡文集编委会 主编  
中国铁道出版社出版、发行  
责任编辑 施以仁  
封面设计 翟 达  
各地新华书店经售  
中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 印张: 11.25 插页: 1 字数: 277千

1988年12月 第1版 第1次印刷

印数: 9001—4500册 定价: 5.00元

# 前 言

《滑坡文集》自1976年12月出版第一集以来，经中国铁道出版社与铁道部科学研究院西北研究所研究组成编委会，并在广大读者和作者的热情支持下，十年期间已不定期地出版了五集，共刊登各类论文153篇，1694千字。由于文集的内容集中反映了我国各个时期对滑坡防治方面的研究和实践水平，因而在国内深受欢迎，起到了学术交流和推动生产建设的作用。同时在国外也引起了同行们的注意并取得了一定的声誉，能以反映和交流我国在滑坡防治工程新技术和理论研究方面的新成果。展望未来，随着我国社会主义建设的深入蓬勃发展，城市、工矿、交通、水利、能源开发等建设工程项目的土地开发利用，很多地方将向山区、峡谷甚至海底方面发展，会遇到更多的滑坡问题。对滑坡性质、规律研究、滑坡预测预报和有效的防治措施的应用势必大量涌现。所有这些都为本《文集》的编辑出版，开拓更加广阔的源泉。我们希望能把这一专题论文集办得更好。值此文集出版十周年之际，希望继续得到广大读者和作者的更大支持和鼓励，使其更有生气，起到更大的作用。

本集选编的内容比较全面的反映了我国三十年来滑坡防治方面的经验总结和发展趋势，可供今后推广应用。

《滑坡文集》编委会

1986年10月

# 目 录

## 一、滑坡防治经验

1. 罗依溪抗滑刚架桩的设计与施工.....徐凤鹤 王金生
2. 滑坡的规律与防治.....铁道部科学研究院西北研究所滑坡室
3. 整治滑坡的减重反压措施.....黄辉华
4. 驷马山切岭滑坡地段地下水排渗措施的效果分析.....徐业平
5. 金鸡岩集中工业广场抗滑桩的施工.....陈启正
6. 关于抗滑桩计算的一个建议.....励国良
7. 对宝成线略上段滑坡的几点认识.....陈曰友

## 二、滑坡测试与分析研究

8. 铜川川口黄土滑坡介绍.....王泰书
9. 边坡破坏概率及其数值方法.....李文秀
10. 排架桩与双排单桩对比模型试验.....徐良德等
11. 滑体为松散介质时桩前滑体抗力的分布.....徐良德等
12. 膨胀土剪切性滑坡抗剪强度指标选择的一种方法.....徐瑞堂
13. 黄河小浪底地区河谷岸坡变形的探讨.....王崎庆
14. 滑坡堵江的基本类型、特征和对策.....卢鑫檀
15. 滑坡堆积物的基本特征及其研究意义.....卢鑫檀 陈自生
16. 顺层滑坡机理及滑动(层)面抗剪强度的研究.....刘祥海

## 三、新技术、新方法报导

17. 抗滑模型桩试验用NWP型土压力盒的研制和使用.....车必达
18. 国外用离子交换理论稳定粘土滑坡的报导.....梁仁友
19. 海底滑坡问题初议.....陈自生

## 四、译 文

20. 用钢桩整治滑坡.....(原作者:中村浩之) 王恭先译

## 五、其 他

21. 滑坡照片

注:《滑坡文集》第五集中“西南山区铁路防治滑坡工程措施的回顾及体会”一文,系由铁二院吴宗俭编写,由车石轩在1982年铁道部崩坍、滑坡会议时代表设计院介绍,特此说明。

# Proceedings of Landslides

## Volume six

### Contents

- I. The experiences of controlling landslides**
1. Design and construction of rigid frame retaining structures for prevention of landslide at Luoyixi  
Xu Fenghe & Wang Jinsheng
  2. Law and control of landslides  
Landslide Division, Northwest Institute
  3. Measure of reduce Weight and counterweight filled for treatment of landslides  
Huang Huihua
  4. The analysis effectiveness of subsurface drainage measures of landslide region in Qieling section in Sima Mountain  
Xu Yeping
  5. Construction of antisliding pile in Jin Jiyan industrial square  
Chen Qizheng
  6. A suggestion on calculation of antisliding pile  
Li Guoliang
  7. Some cognitions for landslides of the section from Lueyang to Shang Xiba on the Baoji-Chengdu Railway  
Chen Yueyou
- II. The methods of measuring landslides and their analysing researches**
8. The introduction of loess landslide in Chuankou, Tongchuan  
Wang Taishu
  9. Failure probability of slopes and its numerical method  
Li Wenxiu
  10. The model tests for contrast of frame piles and single piles in two rows  
Xu Liangde, Xiang Ying, Yin Daocheng  
and Liu Huiming
  11. The distribution of resisting forces along piles in bulk medium slide  
Xu Liangde, Yin Baocheng and Liu Huiming
  12. Method of slecting parameters of shearing resistance strength of shearing landslide of expansive soil  
Xu Ruitang
  13. Approch to the deformation and failure of slope in the region of Xiaolangdi valley, Yellow River  
Wang Qiqing
  14. The main types and characteristics of river stoppage caused by slide and its countermeasures  
Lu Zhongyou
  15. Basic characteristics and the research significance of slide deposits  
Lu Zhongyou & Chen Zisheng
  16. Research upon the mechanism and shear strength of sliding layer of bed-sliding  
Liu Xianghai
- III. The information on the new techniques of measuring methods**
17. The making and using of NWP pressure cell for experiment of model pile

against landslide

Che Bida

18. Some reports from abroad on stabilizing the clay landslides by ion exchange theory

Liang Renyou

19. A preliminary discussion of the research on submarine landslides

Chen Zisheng

#### IV. Translation

20. Landslide control works by steel piles

(Hiroyuki Nakamura)

Translator, Wang Gongxian

#### V. The others

21. Landslide photographs

# 罗依溪抗滑刚架桩的设计与施工

徐凤鹤 王金生

(铁道部第四勘测设计院)

## 提 要

本文介绍一种整治特大滑坡的新型支挡结构物——抗滑刚架桩。它由两根桩和一根横梁连成一个整体，一起承受特大的滑坡推力。

作者提出了这种结构的新的计算方法——弹性地基中的刚架计算，并建立了新公式。本方法不仅考虑了桩与梁的相互作用，而且还考虑了桩与弹性地基的相互作用，较为合理。并把这种新型支挡结构物应用于整治罗依溪大滑坡上，取得了设计和施工的经验。

## 一、概 述

罗依溪大滑坡位于枝柳铁路罗依溪贮木场专用线半溪河东岸剥蚀低山区的左侧缓山坡上，植被情况很好。

表层由松散的碎石和粘土组成，其下为寒武系下统牛蹄塘组和把榔组的灰色和黄绿色页岩，风化严重，节理发育，岩石破碎而疏松。地下水很发育，由大气降水补给，为裂隙潜水。在滑坡前沿有3处下降泉出露，涌水量随季节变化很大。

1976年贮木场场地施工中，山坡滑动，位于滑坡体上的场部所有房屋等建筑物均遭严重破坏，后拆迁重建。1980年雨季连降暴雨，滑坡再度加速发展。滑坡沿枝柳铁路线宽270m (K1038+730~K1039+000)、纵向长(沿滑坡轴)250~350m，相对高差90m，局部地段滑坡壁高2~10m，滑动面深10~20m，滑坡体积约100~120万立方米。该滑坡直接危及枝柳线罗依溪大桥和专用线1号桥的安全(见图1-1)。

通过现场地质测绘，钻探、挖探、电测井和孔内电视等综合勘探手段，基本查明该滑坡系大型的牵引式滑坡。产生滑坡的原因：一是该处受地质构造运动影响严重，岩层断裂破碎；二是泥质页岩质软，在地下水作用下极易软化并形成软弱面；三是施工过程中进行大爆破，且在山脚大量挖方(约7.8万立方米)，严重破坏了天然状态下的山体平衡。

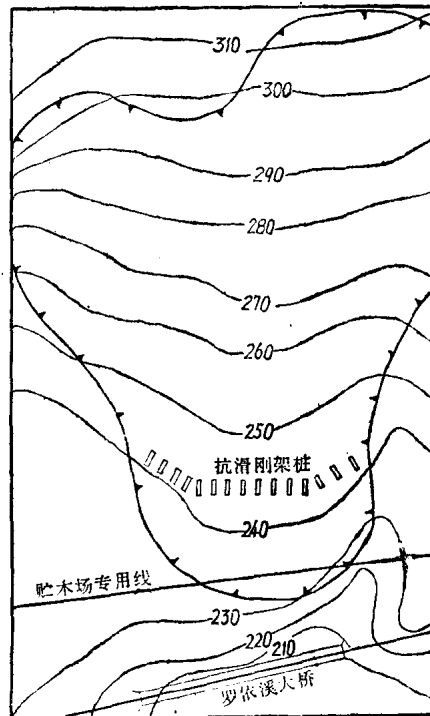


图1-1 罗依溪滑坡



## 二、设计方案的选择

滑坡危及铁路行车安全，治理工作成为当务之急。首先我们考虑了以一般全埋式抗滑桩为主的综合治理方案。根据本滑坡推力大。滑面深的特点，需采用 $4\text{m} \times 6\text{m}$ 的桩截面，桩的内力大，圬工数量也大，很不合理。于是我们又考虑了一种新的方案——抗滑刚架桩方案（图1—2）。它由两根桩和一根横梁连结成一个整体刚架，一起来承受滑坡推力。左桩

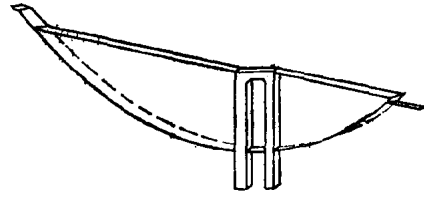


图1—2 抗滑刚架桩示意图

（直接承受滑坡推力）截面为 $2\text{m} \times 3\text{m}$ ，右桩 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，左右桩等长（也可不等长），平均桩长 $33\text{m}$ ，最大桩长 $36.2\text{m}$ 。横梁截面为 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，长度为 $9\text{m}$ 。总共设15排刚架，间距 $6\text{m}$ ，滑动面以下桩长 $10\text{m}$ 、以上 $23\text{m}$ 。经大量的理论分析比较和实践证明，抗滑刚架桩优于单桩。它比单桩方案节省圬工 $49\%$ ，总造价可节省 $121\text{万元}$ （见表1—1）。最后我们采用了抗滑刚架桩方案。

方案比较表

表1—1

项目	方案	刚架桩	单桩	备注
桩长(m)		33	33	
桩截面(m <sup>2</sup> )		左桩 $2 \times 3$ 右桩和横梁 $2 \times 2$	$4 \times 6$	
最大弯矩(kN·m)		11594	32980	1:3
钢筋混凝土用量(m <sup>3</sup> )		5246	10296	节省49%
工程造价(万元)		126	247	节省121万元

## 三、抗滑刚架桩的内力计算

### (一) 计算方法

抗滑刚架桩系弹性地基中的刚架。由于刚架本身在外力作用下的分析已属结构力学中的超静定结构范畴，加之尚需考虑刚架与弹性地基的协同作用，所以，问题更加复杂。现在尚未有合宜的分析计算方法。

我们应用文克尔理论，根据差分原理，借助于材料力学和矩阵代数的基本知识，建立了弹性地基中刚架计算的差分公式，并编制了电算源程序。现将该方法介绍如后。

首先给出抗滑刚架桩的计算图式（图1—3，a），然后将左桩底联系去掉，代之以相应的横向位移 $X_0$ 、转角 $\phi_0$ 、弯矩 $M_0$ 和剪力 $Q_0$ ，并具有横向位移 $X_0$ （ $X_0 = 0$ ）和转角 $\phi_0$ （固端时 $\phi_0 = 0$ 。铰支时 $\phi_0 \neq 0$ ），而另一端为固端或铰支的弹性地基悬臂折线梁（图1—

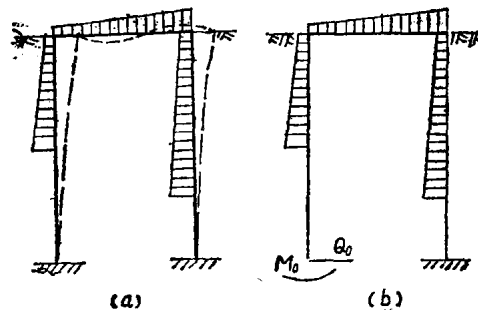


图1—3 计算简图

（固端时 $\phi_0 = 0$ 。铰支时 $\phi_0 \neq 0$ ），而另一端为固端或铰支的弹性地基悬臂折线梁（图1—

3, b)。

把左桩、横梁和右桩分别划分成有限的段数  $n$ 、 $n'$  和  $n''$ ，每段长  $\Delta y = H/n$ 、 $\Delta y' = H'/n'$  和  $\Delta y'' = H''/n''$  (图 1-4)。实践证明，取段长等于 0.01m 即可满足设计精度要求。

根据差分原理的一阶差分公式：

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_{i-1} = X_{i-1} + \frac{dX_{i-1}}{dy_{i-1}} \cdot \Delta y \quad (1)$$

我们可以近似地建立任意相邻两截面，如第  $i-1$  截面的横向位移  $X_{i-1}$ 、转角  $\phi_{i-1}$ 、弯矩  $M_{i-1}$  和剪力  $Q_{i-1}$  与第  $i$  截面之间的关系如下：

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_{i-1} + \frac{dX_{i-1}}{dy_{i-1}} \cdot \Delta y \\ \phi_i &= \phi_{i-1} + \frac{d\phi_{i-1}}{dy_{i-1}} \cdot \Delta y \\ M_i &= M_{i-1} + \frac{dM_{i-1}}{dy_{i-1}} \cdot \Delta y \\ Q_i &= Q_{i-1} + \frac{dQ_{i-1}}{dy_{i-1}} \cdot \Delta y + d_{i-1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中  $d_{i-1}$  为第  $i-1$  截面处的荷载密度  $g_{i-1}$  乘段长  $\Delta y$ ，即  $d_{i-1} = g_{i-1} \cdot \Delta y$ 。

根据材料力学中各截面的位移、转角、弯矩和剪力四个变量之间的关系式，可将式 (2) 写成如下的矩阵形式：

$$\begin{Bmatrix} X_i \\ \phi_i \\ M_i \\ Q_i \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta y & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{\Delta y}{(EJ)_{i-1}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta y \\ -C_{i-1}b_{i-1}\Delta y & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} X_{i-1} \\ \phi_{i-1} \\ M_{i-1} \\ Q_{i-1} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ d_{i-1} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

式中  $(EJ)_{i-1}$ 、 $C_{i-1}$  和  $b_{i-1}$  分别为第  $i-1$  截面处的弯曲刚度、地基系数和桩的计算宽度。将式 (3) 写成更简单的形式：

$$A_i = B_{i-1}A_{i-1} + D_{i-1} \quad (4)$$

式中  $A_i$  和  $A_{i-1}$  分别为第  $i$  截面和第  $i-1$  截面的横向位移、转角、弯矩和剪力的  $(4 \times 1)$  阶列向量； $B_{i-1}$  为  $(4 \times 4)$  阶的系数矩阵； $D_{i-1}$  为分布荷载引起的  $(4 \times 1)$  阶常数项列向量。

利用式 (4) 经过推演，可以建立由左桩底截面的  $A_0 (X_0, \phi_0, M_0 \text{ 和 } Q_0)$  求桩身任一截面的横向位移、转角、弯矩和剪力的公式：

$$A_i = F_{i-1}A_0 + G_{i-1} \quad (5)$$

式中  $F_{i-1}$  和  $G_{i-1}$  分别为对第  $i$  截面的横向位移、转角、弯矩和剪力有影响的参数矩阵和常数项矩阵。

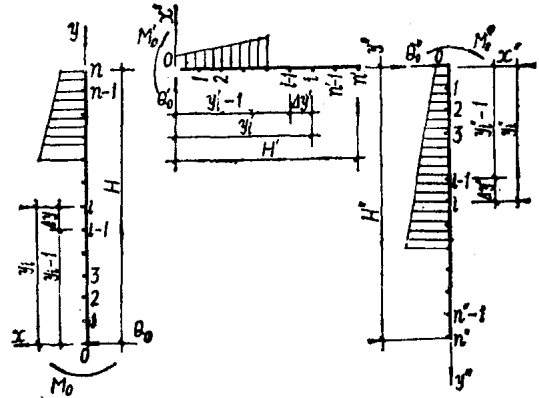


图 1-4 刚架分段图

$$F_{i-1} = B_{i-1}F_{i-2} = B_{i-1}B_{i-2}\cdots B_2B_1B_0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} G_{i-1} &= B_{i-1}G_{i-2} + D_{i-1} \\ &= B_{i-1}G_{i-2}\cdots B_2B_1D_0 + B_{i-1}B_{i-2}\cdots B_3B_2D_1 \\ &\quad + \cdots + B_{i-1}B_{i-2}D_{i-3} + B_{i-1}D_{i-2} + D_{i-1} \end{aligned} \quad (7)$$

对于刚架之横梁和右桩，采用前述相同的推导方法，可以得到：

$$A'_i = F'_{i-1}A'_0 + G'_{i-1} \quad (8)$$

$$A''_i = F''_{i-1}A''_0 + G''_{i-1} \quad (9)$$

式中  $F'_{i-1}$ 、 $G'_{i-1}$ 和 $F''_{i-1}$ 、 $G''_{i-1}$ 的意义同式(6)和(7)。

$$A_n = F_{n-1}A_0 + G_{n-1} \quad (10)$$

$$A'_n = F'_{n-1}A'_0 + G'_{n-1} \quad (11)$$

$$A''_n = F''_{n-1}A''_0 + G''_{n-1} \quad (12)$$

为了使桩底的 $A_0$ 与右桩底的 $A''_0$ 建立关系，需作如下的推导：

$$\begin{Bmatrix} X_n \\ \phi_n \\ M_n \\ Q_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_0 \\ \phi_0 \\ M_0 \\ Q_0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \end{Bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{Bmatrix} X'_n \\ \phi'_n \\ M'_n \\ Q'_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f'_{11} & f'_{12} & f'_{13} & f'_{14} \\ f'_{21} & f'_{22} & f'_{23} & f'_{24} \\ f'_{31} & f'_{32} & f'_{33} & f'_{34} \\ f'_{41} & f'_{42} & f'_{43} & f'_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X'_0 \\ \phi'_0 \\ M'_0 \\ Q'_0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} g'_1 \\ g'_2 \\ g'_3 \\ g'_4 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{Bmatrix} X''_n \\ \phi''_n \\ M''_n \\ Q''_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f''_{11} & f''_{12} & f''_{13} & f''_{14} \\ f''_{21} & f''_{22} & f''_{23} & f''_{24} \\ f''_{31} & f''_{32} & f''_{33} & f''_{34} \\ f''_{41} & f''_{42} & f''_{43} & f''_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X''_0 \\ \phi''_0 \\ M''_0 \\ Q''_0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} g''_1 \\ g''_2 \\ g''_3 \\ g''_4 \end{Bmatrix} \quad (15)$$

由于变形仅仅是弯曲引起的，不考虑轴向变形，由此可得 $X_n = -X''_0$ ， $X'_0 = X'_n = 0$ ；又由于桩顶与梁端为刚性连接，则 $\phi_n = \phi'_0$ ， $\phi'_n = \phi''_0$ ，考虑到力的平衡条件，可得 $M_n = M'_0$ ， $M'_n = M''_0$ ， $Q''_0 = -Q_n$ 。

利用这些条件，从式(13)、(14)和(15)可以推得基本公式(16)：

$$A''_n = DA_0 + W \quad (16)$$

式中  $D = F''_{n-1}R \quad (17)$

$$W = F''_{n-1}S + G''_{n-1} \quad (18)$$

式(17)中 $R$ 为(4×4)阶系数矩阵，各元素分别为

$$\begin{aligned} r_{11} &= -f_{11}, & r_{12} &= -f_{12}, & r_{13} &= -f_{13}, & r_{14} &= -f_{14} \\ r_{21} &= e_{22}f_{22} + e_{23}f_{31}, & r_{22} &= e_{22}f_{22} + e_{23}f_{32} \\ r_{23} &= e_{22}f_{23} + e_{23}f_{33}, & r_{24} &= e_{22}f_{24} + e_{23}f_{34} \\ r_{31} &= e_{32}f_{21} + e_{33}f_{31}, & r_{32} &= e_{32}f_{22} + e_{33}f_{32} \\ r_{33} &= e_{32}f_{23} + e_{33}f_{33}, & r_{34} &= e_{32}f_{24} + e_{33}f_{34} \\ r_{41} &= -f_{41}, & r_{42} &= -f_{42}, & r_{43} &= -f_{43}, & r_{44} &= -f_{44} \\ e_{22} &= f'_{22} - \frac{f'_{24}f'_{12}}{f'_{14}}, & e_{23} &= f'_{23} - \frac{f'_{24}f'_{13}}{f'_{14}} \end{aligned}$$

$$e_{32} = f'_{32} - \frac{f'_{34}f'_{12}}{f'_{14}}, \quad e_{33} = f'_{33} - \frac{f'_{34}f'_{13}}{f'_{14}}$$

式 (18) 中  $S$  为  $(4 \times 1)$  阶列向量, 各元素分别为:

$$S_1 = -g_1$$

$$S_2 = e_{22}g_2 + e_{23}g_3 + u_2$$

$$S_3 = e_{32}g_2 + e_{33}g_3 + u_3$$

$$S_4 = -g_4$$

$$u_2 = g'_2 - \frac{f'_{24}}{f'_{14}}g'_1, \quad u_3 = g'_3 - \frac{f'_{34}}{f'_{14}}g'_1$$

这样, 我们根据刚架两桩底的边界条件, 并借助基本公式 (16) 可求得  $A_0$  的各元素 ( $X_0$ 、 $\phi_0$ 、 $M_0$  和  $Q_0$ )。然后由式 (5)、(8) 和 (9) 求出左桩、横梁和右桩任一截面的横向位移、转角、弯矩和剪力。

## (二) 计算原则

- (1) 滑坡推力沿滑面以上均匀分布;
- (2) 考虑桩前滑体之弹性抗力, 但总和不应大于桩前滑体之抗滑力;
- (3) 本工点刚架两桩底边界条件都按铰端考虑;
- (4) 刚架的变形系由于力矩、剪力与轴向力所引起, 但后者对变形的影响远较前者为小, 因此不计轴向力对变形的影响;
- (5) 不考虑桩与岩土之间所产生的摩擦力和粘聚力;
- (6) 桩之侧壁应力不应超过桩周岩土之允许水平承载力;
- (7) 考虑梁的自重而不考虑两桩的自重影响;
- (8) 考虑双桩之间的相互影响。

## (三) 计算原始资料

- (1) 桩间距 (每排刚架中至中): 6m;
- (2) 桩长 (计算图式中桩长): 左桩滑面以上22m、滑面以下10m, 右桩滑面以上24m、滑面以下8m;
- (3) 梁长 (计算图式中梁长): 6.5m;
- (4) 桩截面: 左桩2m × 3m, 右桩2 × 2m;
- (5) 梁截面: 2m × 2m;
- (6) 桩和梁的弹性模量:  $E = 26000 \text{MPa}$ ;
- (7) 滑体弹性地基系数随深度成正比增加的比例系数  $m_1 = 15000 \text{kN/m}^4$ ;
- (8) 稳定地层地基系数随深度成正比增加的比例系数  $m_2 = 80000 \text{kN/m}^4$ ;
- (9) 梁的容重:  $r = 2.5 \text{kN/m}^3$ ;
- (10) 稳定地层岩石极限抗压强度:  $R = 4 \times 10^3 \text{kPa}$ ;
- (11) 稳定地层岩石强度折减系数:  $K = 0.7$ ;
- (12) 稳定地层岩石强度换算系数:  $C = 0.4$ ;
- (13) 滑面以上滑坡推力沿左桩按矩形分布  $q = 2180 \text{kN/m}$ 。

## 四、计算成果

利用我们建立的新公式, 采用TQ-16电子计算机计算。根据罗依溪

数据所算得的结果汇总于表 1—2、表 1—3 和表 1—4 内。我们并绘制了抗滑刚架桩的位

抗滑刚架水平位移、弯矩、剪力、抗力、允许抗力图(左桩)

表 1—2

截面 (m)	水平位移 (mm)	弯矩 (kN·m)	剪力 (kN)	抗力 (kPa)	允许抗力 (kPa)
0	-10.9181	3761.8	-4989.6	165.4	1763.8
1.0	-11.0604	7839.1	-3230.2	333.5	
2.0	-11.1366	10301.4	-1756.9	502.8	
3.0	-11.1255	11434.8	-568.6	669.2	
4.0	-11.0174	11520.1	343.9	828.0	
5.0	-10.8114	10825.6	997.3	974.6	
6.0	-10.5133	9598.8	1415.2	1105.5	
7.0	-10.1335	8060.6	1627.3	1217.5	
8.0	-9.6851	6400.5	1666.9	1308.9	
9.0	-9.1821	4772.6	1570.1	1378.7	
10.0	-8.6383	3294.9	1373.8	1426.6	
11.0	-8.0663	2048.3	1114.5	1453.1	
12.0	-7.4767	1077.7	827.9	1459.1	
13.0	-6.8777	393.1	548.1	1445.4	
14.0	-6.2753	-28.9	307.4	1412.9	
15.0	-5.6729	-243.2	137.2	1362.4	
16.0	-5.0726	-335.6	67.4	1294.3	
17.0	-4.4752	-421.3	127.5	1209.0	
18.0	-3.8814	-644.9	346.4	1106.8	
19.0	-3.2934	-1179.6	752.1	988.5	
20.0	-2.7159	-2225.3	1370.6	855.9	
21.0	-2.1581	-4006.3	2223.3	712.5	8818.9
22.0	-1.6355	-6764.4	3323.8	1308.4	
23.0	-1.1705	-9081.5	1434.2	936.4	
24.0	-0.7478	-9816.6	20.2	598.3	
25.0	-0.4769	-9474.3	-717.8	381.5	
26.0	-0.2521	-8487.0	-1201.3	201.7	
27.0	-0.0995	-7152.7	-1430.8	79.6	
28.0	-0.0078	-5678.3	-1496.7	06.2	
29.0	0.0355	-4188.8	-1472.9	-28.4	
30.0	0.0431	-2743.6	-1416.3	-34.5	
31.0	0.0273	-1354.1	-1366.8	-21.8	
32.0	0.0000	0.0	-1347.9	0.0	

抗滑刚架水平位移、弯矩、剪力、抗力、允许抗力图 (右桩)

表 1-3

截面 (m)	水平位移 (mm)	弯矩 (kN·m)	剪力 (kN)	抗力 (kPa)	允许抗力 (kPa)
0	10.9181	-13925.8	4989.6	-163.8	1763.8
1.0	10.0230	-9113.3	4592.7	-299.2	
2.0	8.8625	-4802.5	3995.3	-397.5	
3.0	7.5607	-1159.5	3267.9	-452.5	
4.0	6.2226	1721.8	2483.2	-465.8	
5.0	4.9317	3817.9	1707.6	-443.1	
6.0	3.7485	5165.6	994.9	-393.0	
7.0	2.7125	5848.3	383.7	-325.1	
8.0	1.8437	5979.8	-103.9	-248.6	
9.0	1.1464	5688.5	-460.4	-171.8	
10.0	0.6126	5103.9	-691.0	-101.0	
11.0	0.2259	4345.6	-809.8	-40.6	
12.0	-0.0355	3515.6	-836.9	06.9	
13.0	-0.1951	2694.8	-794.8	40.9	
14.0	-0.2766	1941.0	-705.8	62.2	
15.0	-0.3017	1290.9	-590.5	72.4	
16.0	-0.2891	762.0	-465.7	73.7	
17.0	-0.2541	357.0	-344.4	68.6	
18.0	-0.2084	67.8	235.5	59.4	
19.0	-0.1604	-120.9	-144.2	48.1	
20.0	-0.1157	-228.0	-72.6	36.4	
21.0	-0.0774	-273.1	-20.2	25.5	
22.0	-0.0468	-274.6	15.0	16.2	
23.0	-0.0242	-248.3	35.8	8.7	8818.9
24.0	-0.0086	-206.8	45.6	3.2	
25.0	0.0010	-157.8	50.3	-0.8	
26.0	0.0060	-109.5	45.1	-4.8	
27.0	0.0079	-69.0	35.4	-6.3	
28.0	0.0077	-38.9	24.7	-6.1	
29.0	0.0063	-19.0	15.2	-5.1	
30.0	0.0044	-07.7	7.9	-3.5	
31.0	0.0022	-02.3	3.3	-1.8	
32.0	-0.0000	00.0	1.8	0.0	

抗滑刚架水平位移、弯矩、剪力、抗力、允许抗力图（横梁）

表 1—4

截面 (m)	水平位移 (mm)	弯矩 (kN·m)	剪力 (kN)	抗力 (kPa)	允许抗力 (kPa)
0	0.0000	3761.8	-2396.7	0.0	0
1.0	0.2076	1315.6	-2496.7	0.0	
2.0	0.4536	-1230.6	-2596.7	0.0	
3.0	0.6646	-3876.7	-2696.7	0.0	
4.0	0.7643	-662.29	-2796.7	0.0	
5.0	0.6736	-9469.0	-2896.7	0.0	
6.0	0.3103	-12415.2	-2996.7	0.0	
6.5	0.0000	-13925.8	-3046.7	0.0	

移、弯矩和剪力图（图 1—5）。

### 五、抗滑桩的配筋设计

抗滑刚架桩是截面较大的地下钢筋混凝土结构，其受力情况和工作条件，建筑材料和施工工艺均有其特点。因此，抗滑刚架桩的配筋设计除参照《钢筋混凝土结构设计规范》中的有关规定外，另有特殊考虑。

#### （一）材料

混凝土标号采用 200 号；除了横向钢筋采用 I 级外，其余采用 II 级钢筋。

#### （二）强度安全系数

因为在计算滑坡推力时，已考虑了一定的安全储备，故构件受弯时的强度安全系数  $K_1=1.1$ ；斜截面受剪时的强度安全系数  $K_2=1.3$ 。

#### （三）受力钢筋计算

直接承受滑坡力的左桩在外力作用下受拉受弯（图 1—5），所以按拉弯构件进行配筋设计；而右桩和横梁在外力作用下受压受弯，所以按压弯构件设计。钢筋的详细计算就不在本文介绍了。

#### （四）箍筋计算

根据斜截面强度计算结果表明，左桩和横梁按构造配置箍筋，采用双肢  $\phi 14\text{mm}$  的 I 级钢筋，间距  $S=60\text{cm}$ ；右桩仅在刚架腋与桩的分界附近设置抗剪箍筋，采用双肢  $\phi 14\text{mm}$  的 I 级钢筋，间距  $S=25\text{cm}$ ，从桩顶 4.3m 以下，按照构造要求配置箍筋（同左桩和横梁）。

#### （五）纵向构造钢筋

在左桩的两侧，各布置 5 根  $\phi 14\text{mm}$  的纵向构造钢筋；而在右桩和横梁两侧，各布置 3 根  $\phi 14\text{mm}$  的纵向构造钢筋（图 1—6）。

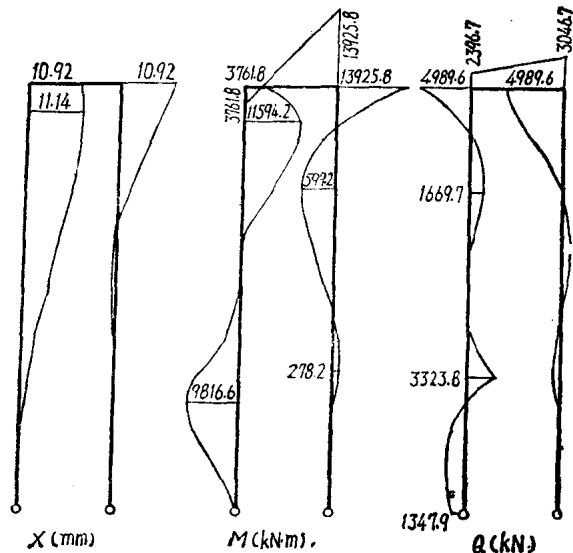


图 1—5 位移 X，弯矩 M 和剪力 Q 图





坑壁坍塌，危及施工人员安全，采用25cm厚的素混凝土护壁支撑。随着基坑的开挖，逐段灌注护壁。

滑动面以上的松散体，直接采用风镐开挖，较坚硬岩层则采用风钻打眼，放小炮开挖。本工点开挖中，一般一次钻5个炮眼，深1.0~1.5m，每眼装1~2管炸药，每管药重150g左右。采用电引爆，即用220V交流电烧红电阻丝，再引燃系在电阻丝上的导火索。这样避免了人工点炮所带来的不安全影响。每次放炮后，用小型鼓风机和皮管送风排烟。因本工点基坑开挖较深，正常开挖中，也需送风。当基坑内有地下水汇集时，采用大吊桶提水；水量较大时，用潜水泵抽水，本工点桩身开挖进度（包括打护壁混凝土）为每天0.5~1.0m。

由于本工点地质勘探工作较为认真，施工中滑动面出露标高与原设计出入不大，当有出入时，桩长和配筋均相应改变。以33m为标准桩长，配筋只改变中段钢筋设计的长度（见图1-7）。其上下段配筋（布置及长度）不变。钢筋接长在地面钢筋棚中完成，采用搭接周边焊或对接帮条焊接。焊接后的整根钢筋由高扒杆吊入基坑（每立一次高扒杆，可吊4根桩的钢筋），或利用现场地形加低扒杆吊钢筋。钢筋笼在基坑中制作。为了使箍筋吊装就位方便，将箍筋改设在纵向钢筋内侧。为了使纵向钢筋准确定位，事先在基坑口护壁上预埋短钢筋，然后逐一将纵向钢筋悬吊在短钢筋上。平均每24小时可完成一根桩的钢筋吊入就位工作。混凝土搅拌机置于基坑口，基坑内安装混凝土传输筒，混凝土通过传输筒灌入基坑内。严格控制最下一节传输筒距已灌注混凝土面间的高度（一般为1~5m，视桩深而定），否则，混凝土粗骨料会打弯甚至打断纵向钢筋。用插入式振捣器分层捣实混凝土，每层捣实厚度一般不超过0.5m。

当左右两根桩的混凝土灌完后，架立连接两根桩的横梁的钢筋，并立模板，然后浇注横梁混凝土，并分层用插入式震捣器捣固。为了美观起见，最后将横梁顶面抹平。

## 七、结 语

我们埋设了13付位移计以监测滑坡在施工中和竣工后的位移。竣工三年多量测了大量数据，分析这些数据表明，整个滑坡已稳定。我们认为这种结构形式，对于整治推力大，滑动面深的特大滑坡最为适宜，而且技术合理，经济效益显著，可在使用中总结提高，进一步完善。

## 参 考 文 献

- (1) ЗАВРИЕВ, К. С., "Расчет Свай ма Прогольшо-Попореный Измд п Усмойгцьосмь" 《ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ И МЕХАНИКА ГРУНТОВ》, 1975.
- (2) 徐凤鹤“桩的矩阵分析及计算”《中国土木工程学会第三届土力学及基础工程学术会议论文集》，中国建筑工业出版社，1981年。
- (3) 徐凤鹤“具有拉杆的锚固桩的计算方法”《岩土工程学报》第3卷 第四期，1981年。