

# 三峡工程兴山峡口移民区滑坡防治与利用方案研究(续)

殷跃平<sup>1</sup>, 康宏达<sup>1</sup>, 黄学斌<sup>2</sup>, 程温鸣<sup>2</sup>

(1. 中国水文地质工程地质勘察院, 北京 100081; 2. 国土资源部三峡地质灾害防治工程指挥部, 湖北 宜昌 443000)

## 3.4 滑坡推力计算

根据设计标准, 考虑了未清除表层滑移体和清除表层滑移体, 天然与暴雨、地震、175 m 水位和移民迁建加载等因素。

### 3.4.1 公式的建立

$$P_i = K_i T_i + \Psi_i P_{i-1} - N_i$$

式中:  $P_i$  ——第  $i$  块剩余下滑力;  $T_i$  ——第  $i$  块下滑力;  $N_i$  ——第  $i$  块抗滑力;  $\Psi_i$  ——传递系数,  $\Psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i$ ;  $C_i$ 、 $\varphi_i$  ——第  $i$  块内聚力及内摩擦角;  $\alpha_i$  ——第  $i$  块滑面倾角;  $K_i$  ——设计滑坡推力安全系数。

#### 3.4.1.1 基本荷载情况下

$$T_i = W_i \sin \alpha_i$$

$$N_i = W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + C_i L_i$$

#### 3.4.1.2 自重+地震力+渗透压力

$$T_i = W_i (\sin \alpha_i + a \cos \alpha_i)$$

$$N_i = [W_i (\cos \alpha_i - a \sin \alpha_i) + H_i] \tan \varphi_i + C_i L_i$$

式中:  $a$  ——地震加速度;  $H_i$  ——滑带地下水渗透压力;  $L_i$  ——二维剖面第  $i$  条块滑带长度;  $W_i$  ——第  $i$  条块重力。

## 3.4.2 滑块推力计算结果分析

### 3.4.2.1 未蓄水时滑坡推力计算

将滑体划为 21 条块进行推力计算(图 1), 考虑基本荷载及自重加地震力, 与饱水组合情况。在基本荷载下, 滑坡剩余下滑力为 0。为了进行趋势分析和对比研究, 在理论上将剩余下滑力仍按计算结果考虑, 但在设计时, 实际值视为 0。在干燥状态下, 未削坡时, 滑坡推力为 1139.86 kN/延米(0.05  $g$ ), 但削坡后, 滑坡推力为 0(理论值为 -1113.6 kN/延米); 当滑坡体饱水, 未削坡时, 最大推力达 3546 ~ 6291 kN/延米, 当滑坡体削坡后, 滑坡推力明显降低, 为 0 ~ 1628.67 kN/延米。

### 3.4.2.2 蓄水至 175 m 时滑坡推力计算

三峡水库蓄水至 175 m 后, 最坏情况下, 假定 175 m 以下滑体失稳状态。将滑体划为 20 条块进行推力计算, 考虑基本荷载及自重加地震力, 与饱水组合情况。在基本荷载下, 滑坡推力为 0。为了进行趋势分析和对比研究, 在理论上将推力仍按计算结果考

虑, 但在设计时, 实际值视为 0。在干燥状态下, 未削坡时, 滑坡推力为 0 ~ 2170.47 kN/延米(0.05  $g$ ), 但削坡后, 滑坡推力为 0 ~ 472.27 kN/延米; 当滑坡体饱水, 未削坡时, 最大推力达 1614 ~ 4419 kN/延米, 当滑坡体削坡后, 滑坡推力明显降低, 为 112 ~ 2482 kN/延米。

根据计算结果, 滑坡推力为 472.37 kN/延米, 建议取为 500 kN/延米。

## 3.5 滑坡治理和开发利用方案

峡口滑坡结构特征明显, 具有深层和表层滑动特征, 表层残坡积层和人工地形出现多处溜滑或表层蠕动。由于兴建梯田和种植庄稼改变了坡体表部的结构特征, 也改变了地下水的赋存运移规律, 自 1996 年以来, 滑坡上覆的人工填土变形明显加剧, 出现了多条地裂缝。裂缝的产生为地表水的入渗提供了通道, 降低了滑坡的稳定性, 特别是滑坡前缘一带, 挡墙开裂、下沉和倾覆较为严重, 必须采取工程防治措施。大暴雨时, 该滑体将处于临界状态, 对县城构成严重威胁。对该滑体的治理, 总体上将阻止其在大暴雨、久雨以及中强地震条件下产生的整体滑动, 同时, 将控制滑体表层滑塌和表层滑移。

对峡口滑坡的防治包括前缘抗滑桩工程(阻滑 I 区)、滑坡中部抗滑桩工程(阻滑 II 区)、滑坡中下部承重抗滑工程(承重抗滑桩 I 区)、滑坡中下部承重抗滑工程(承重抗滑桩 II 区)、刷方减载压脚工程和滑坡地表排水工程 6 部分(见图 2)。



图 2 湖北兴山峡口滑坡防治和利用工程布置剖面

### 3.5.1 滑坡前缘锚拉桩工程(阻滑工程 I 区)

#### 3.5.1.1 基本参数

抗滑桩: 人工挖孔灌注桩, 断面 2 m × 3 m, 桩长 24 m(锚固段 8 m, 受荷段 16 m), 桩间距 6.0 m, 桩弹

性模量  $E = 26000 \text{ MPa}$ , 砼 C20, 锚固段地基系数  $K_d = 12000 \text{ t/m}^3$ 。

### 3.5.1.2 滑坡推力

$E_n = 500 \text{ kN/m}$ , 桩前剩余抗滑力  $E_n' = 0$ 。

### 3.5.1.3 抗滑桩刚度判定

$$\beta \times H_2 = (KB_p/4EI)^{1/4} = 1.332307 > 1.0$$

因此,按弹性桩进行设计。

### 3.5.1.4 桩体受力图计算

用“K”法计算。推力为三角形分布。抗滑桩受力状态见图 3。



图 3 抗滑桩受力状态图

其中:最大剪应力  $Q_A = 4146.5 \text{ kN}$ , 最大弯矩  $M_A = 17078 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , 最大侧应力  $\sigma_A = 1.47 \text{ MPa}$ 。

锚固段深度判断:取  $K = 0.7, C = 0.5, R = 10 \text{ MPa}$ 。则  $K \times C \times R = 3.5 \text{ MPa} \geq \sigma_A = 1.47 \text{ MPa}$ 。嵌固段满足要求。

### 3.5.1.5 抗滑桩结构设计(图 4)

#### (1)基本参数

C20 砼:弯曲抗压设计强度  $f_{cm}' = 11 \text{ MPa}$ , 轴心抗压设计强度  $f_{cm}'' = 10 \text{ MPa}$ , 抗拉设计强度  $f_{cm}''' = 1.1 \text{ MPa}$ 。  
II 级螺纹钢( $\Phi 28 \sim 40$ ):受拉设计强度  $f_y = 290 \text{ MPa}$ , 受压设计强度  $f_y' = 290 \text{ MPa}$ 。

#### (2)纵筋计算

抗滑桩按受弯构件和受剪构件考虑,钢筋保护层按  $100 \text{ mm}$  计,据《砼结构设计规范》(GBJ10—89),并与四川宜宾翠屏山坡滑坡治理工程进行类比,采用人工挖孔灌注桩,桩心距为  $6.0 \text{ m}$ ,桩间距  $4 \text{ m}$ ,用 9 根  $\Phi 32$  II 级螺纹钢(N1 筋)和 8 根  $\Phi 32$  II 级螺纹钢(N2 筋)作受弯钢筋。在滑带附近增加配筋,即用 8 根  $\Phi 32$  II 级螺纹钢(N3 筋)和 9 根  $\Phi 32$  II

级螺纹钢(N4 筋),N1 和 N4 双枝,N2 和 N3 双枝。素砼 C20、N1 筋、N2 筋、N1 + N4 筋、N2 + N3 筋、N1 + N2 + N3 + N4 筋的抗弯强度分别为  $2134.8$ 、 $4800.6$ 、 $4267.2$ 、 $9601.2$ 、 $8534.4$ 、 $18135.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。满足抗滑桩最大弯矩  $17078 \text{ kN}\cdot\text{m}$  的要求。

#### (3)箍筋配筋

用  $\Phi 16$  II 级螺纹钢筋,间距  $@250$ 。最大剪力  $Q_{\max} = 4146.5 \text{ kN}$ ,斜截面基本安全系数  $K_3 = 1.3$ 。因此,斜截面上受压区砼和箍筋的抗剪强度:

$$V_{cs} = 0.07f_cBH_0 + 1.5f_{yv}(A_{sv}/S)H_0 = 6229 \text{ kN}$$

而  $K_3Q_{\max} = 5390.45 \text{ kN}$ ,即  $V_{cs} > K_3Q_{\max}$

式中: $f_{yv}$ ——箍筋设计抗拉强度; $f_c$ ——砼设计抗压强度; $A_{sv}$ ——同一斜面上箍筋面积; $S$ ——箍筋间距; $H_0$ ——砂浆保护层厚度; $B$ ——斜截面宽度。

因此,在抗滑桩下部  $10 \text{ m}$  为双枝配,共  $2 \times 31$  枝箍筋( $2 \times N7\Phi 16@250$  II 级螺纹钢筋),其余为单枝配,共 70 枝箍筋( $N6\Phi 16@250$  II 级螺纹钢筋)。根据滑坡具体情况,桩长可分为  $24 \text{ m}$  和  $18 \text{ m}$  两种。这样,在高程  $180 \text{ m}$  附近沿公路外侧布置一排人工挖孔灌注桩,线长  $170 \text{ m}$ ,共 29 根,穿过中风化地层,单根桩长平均按  $18 \sim 24 \text{ m}$  计,其中,  $18 \text{ m}$  桩 12 根,  $24 \text{ m}$  桩 17 根,总长度  $624 \text{ m}$ ,需 C20 砼  $3744 \text{ m}^3$ ,钢筋  $170 \text{ t}$ 。由于位于公路处,桩将埋入地下  $0.5 \text{ m}$ ,桩顶之间可考虑用钢筋砼梁联系为一体,断面  $1.0 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ ,桩用 C20 砼浇筑,纵向钢筋采用 16 根  $\Phi 16$  II 级螺纹钢筋,钢筋间距  $225 \text{ mm}$ ,需 C20 砼  $168 \text{ m}^3$ ,钢筋  $5.1 \text{ t}$ 。

为了提高抗滑桩的抗弯能力,在桩上部  $1.5 \text{ m}$  处

图 4 抗滑桩材料图

增设了设计锚固力为 500 kN 的预应力锚索,形成锚拉桩。共 29 根锚索,平均长度 35 m,进尺 1015 m,总锚固吨位 507500 kN·m。滑面综合考虑,锚索倾角定为 35°,与滑面交角 45°,与岩层面交角 10°,单根锚索沿滑面提供的阻滑力为 250 kN,抗弯矩约为 4000 kN·m,即阻滑力 41 kN/延米,抗弯矩 666 kN·m/延米。锚索用钢绞线加工,锚索体由 3 根  $\Phi 15.24$  高强钢绞线构成,内锚固段取 10 m,最终由现场拉拔试验确定,但是必须确保内锚固段穿过滑带 2 m,并锚入稳定基岩中。

### 3.5.2 滑坡中部抗滑桩工程(阻滑工程 II 区)

为了增强滑坡稳定性,并结合道路建设,专门在滑坡中部 230 m 高程沿公路 II 一带布设一排抗滑桩,桩结构与阻滑工程 I 区相似,但由于滑带埋深不超过 10 m,可不施加预应力锚索。人工挖孔灌注桩断面 2 m $\times$ 2.5 m,桩心距为 6.0 m,桩间距 4 m,用 9 根  $\Phi 32$  II 级螺纹钢(N1 筋)和 8 根  $\Phi 32$  II 级螺纹钢(N2 筋)作受弯钢筋。在滑带附近增加配筋,即用 8 根  $\Phi 32$  II 级螺纹钢(N3 筋),N2 和 N3 双枝。抗滑桩布置线长 140 m,共 24 根,穿过中风化地层,单根桩长平均按 12~15 m 计,其中,12 m 桩 5 根,15 m 桩 19 根,总长度 345 m,需 C20 砼 2070 m<sup>3</sup>,钢筋 82 t。由于位于公路上,桩将埋入地下 0.5 m,桩顶之间可考虑用钢筋砼梁联系为一体。

### 3.5.3 滑坡中下部承重抗滑工程(承重抗滑桩工程 I 区)

为了增加滑坡体上的土地资源,结合移民房屋迁建和道路建设,专门在滑坡中下部 200 m 高程一带布设承重抗滑桩。一方面为建筑物提供良好的桩基础,另一方面也起到抗滑作用。

根据滑坡具体情况,桩长平均为 18 m。承重抗滑桩虽然以承重为主,但结构与阻滑工程 I 区相似,穿过滑带约 6 m,在滑带附近增加受弯钢筋。桩径 0.5 m,桩心 0.47 m,共布置 4 排钻孔灌注桩,单排桩心距为 1.5 m,桩间距 1.0 m,桩长 120 m,单排共 80 根,排间距平均 5 m,根据移民迁建规划具体确定,总长度 320 根,总进尺 5760 m。这样,可为移民迁建提供一个以承重抗滑桩为基础的面积达 120 m $\times$ 20 m 的稳定平台。

### 3.5.4 滑坡中上部承重抗滑工程(承重抗滑桩工程 II 区)

与承重抗滑桩工程 I 区相同,又专门在滑坡中上部 260 m 高程一带布设承重抗滑桩。一方面为建筑物提供良好的桩基础,另一方面也起到抗滑作用。

根据滑坡具体情况,桩长平均为 13 m。承重抗滑桩虽然以承重为主,但结构与阻滑工程 II 区相似,

穿过滑带约 4 m,在滑带附近增加受弯钢筋,桩径 0.5 m,桩心 0.47 m,砼保护层厚 150 mm,用 11 根  $\Phi 32$  II 级螺纹钢(N1 筋)作受弯钢筋。在滑带附近增加配筋。共布置 4 排钻孔灌注桩,单排桩心距为 1.5 m,桩间距 1.0 m,桩线长 120 m,单排共 80 根,排间距平均 5 m,根据移民迁建规划具体确定,总长度 320 根,总进尺 4160 m。由于位于建设区,桩将埋入地下 0.5 m,桩顶之间用钢筋砼梁联系为一体。可为移民迁建提供一个以承重抗滑桩为基础的面积达 100 m $\times$ 30 m 的稳定平台。

### 3.5.5 滑坡刷方减载压脚工程

峡口滑坡变形可分为深层和浅层 2 套系统。研究表明,清除浅层变形体,滑坡整体稳定性大为提高,同时,也为建筑物提供良好的地表环境,将刷除的弃土回填于滑坡前缘,可起压脚作用,有利于增强稳定性。清除滑坡体积约 11.5 万 m<sup>3</sup>。以人工清方为主,辅以必要的机械工程。在滑坡后缘和前缘等地,出现人工陡坎处,修建浆砌块石挡土墙,平均按高 5 m、底宽 2 m、顶宽 1 m、长 480 m 计,总方量为 3600 m<sup>3</sup>。

### 3.5.6 滑坡地表排水工程

(1)在滑坡后缘将外围水截留并引出区外。(2)完善地表排水系统。(3)提高居民区上下水道设计标准并保证施工质量,避免生活用水乱排放现象。

排水沟总长按 400 m 计算,过水断面平均为 600 m $\times$ 800 m,矩形,厚 400 mm,浆砌毛石。需浆砌毛石 500 m<sup>3</sup>,砂浆抹面 2000 m<sup>2</sup>。

## 4 结语

本文对三峡库区湖北省兴山县峡口镇移民迁建新址滑坡防治和开发利用方案进行了研究。在控制滑坡整体稳定的基础上,形成了 4 个平台,为移民安置提供了安全平缓的场地。与完全清除的方案相比,节省了约 50% 的造价。

致谢:感谢段志德、于永平、李铁平、刘真、黄定国、岳世勇、余祖浩、姚启乐、梁福庆、黄喜洋、崔政权、苏爱军、邓永泰、赵时华等同志以及湖北省、兴山县移民局等单位。

### 参考文献:

- [1] 殷跃平.中国滑坡防治工程理论与实践[J].水文地质工程地质,1998(1).
- [2] 殷跃平.机遇与挑战:从三峡库区移民看工程地质的发展[J].水文地质工程地质,1999(4).
- [3] 崔政权.三峡工程库区城、镇建设中的岩土工程实施要点[A].崔政权,邓清祿.岩土工程论文集[C].武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [4] Richard Dikau, et al. Landslide Recognition: Identification, Movement and Cause[A]. John Wiley & Sons Ltd, 1996.

(全文完)