

# 山丘区工程滑坡分类与灾害防治

戴敬儒, 周泽平, 吴 昕

(四川省煤田地质局泸州 135 岩土工程公司, 四川 泸州 646000)

**摘 要:** 通过对山丘区由于基本建设过程中人为处置不当引发的工程滑坡实例的分析, 按滑坡成因将工程滑坡分为: 场地选址不当、切脚开挖且放坡过陡、斜坡加载填土不当和环山渠渗漏降低土体抗滑力等 5 类。在此基础上提出了工程滑坡灾害的防治对策和治理措施, 并建议在山丘区工程滑坡治理中, 优先选用预应力锚固桩。

**关键词:** 山丘区; 工程滑坡; 分类; 灾害防治

**中图分类号:** P642. 22

**文献标识码:** A

在自然地质作用过程中, 由地球内动力 (地质构造及地震活动) 和地表外营力 (气象、水文、土壤、植被等变化产生的侵蚀力) 综合作用孕育的滑坡现象称为自然滑坡; 由人类工程活动不当而诱发或参与诱发的滑坡称为工程滑坡。对后一类滑坡, 人类既是诱发工程滑坡事件的主体, 又是滑坡灾害的承受对象, 因此, 从防灾避灾与减灾治害的角度看, 工程滑坡的研究与防治, 具有重要的社会意义和应用前景。

## 1 工程滑坡成因分类

本文从工程建设实例中筛选若干工程滑坡实例, 从工程建设的规划、设计和施工等环节分析, 根据滑坡的成因将工程滑坡分为 5 种类型 (表 1), 并以实际工程为例, 对各类滑坡的特点分析如下。

### 1.1 建设场地选址不当

山丘区溪河两岸  $\geq 25^\circ$  山麓斜坡地带是滑坡发生的有利部位, 因主河深切使有效临空面增大, 卸荷作用可导致岩土体开裂并最终形成贯通性滑面引发滑坡活动。因此, 建设场地选址应避开潜在滑坡的危险区。

**工程实例:** 四川古蔺郎酒集团热电联产技改主体工程, 系扩建  $2 \times 1\,500\text{ kW}$  发电供热机组, 其机电主厂房、储煤仓库及中央控制楼建在赤水河左岸基岩上。水泵房、储水池、水化学处理重型设备及

车间等, 占地面积约  $5\,000\text{ m}^2$  (相当于厂区占地面积的  $1/3$ ), 选在一条冲沟与赤水河交汇处的台地上。场地地表为坡残积—冲洪积混杂堆积物, 下伏强风化碳酸盐岩和板岩, 不仅岩土层结构不均匀且地基承载力较差; 施工过程中虽采用局部加深桩基进行基础处理, 仍由于基础不均匀沉降过大而使屋墙、砼地面及储水池开裂, 裂缝宽  $8\sim 10\text{ mm}$ , 邻河一侧的护坡拉筋挡土墙出现外倾与凹肚现象。竣工前蓄水池在抽水试验中, 由于渗漏引发了滑坡灾害, 使建于堆积台地上的几幢建筑物和生产设备严重损坏而不能使用。该事故系由工程滑坡所引起, 不仅增大投资, 还延误了建设工程期 (图 1)。

其后, 在滑坡整治中发现, 只需将原建设场地上游作整体挪移<sup>[1]</sup>, 即可避开潜在滑坡危险区, 虽开挖量增加, 却能使热电联产项目的主辅厂房都置于基岩上, 可一举避免出现滑坡灾害, 达到事半功倍的效果 (图 2)。

### 1.2 斜坡超限开挖, 坡脚切坡过陡

天然斜坡的稳定坡度, 主要取决于坡体临空面高差和斜坡岩土体的物理力学性质与结构 (软弱结构面、层面倾向与倾角)。天然斜坡的在区域性规律方面, 既有同一性又有差异性; 边坡设计规范中根据岩土层特性与工程重要性提出的斜坡安全坡比, 应作为工程设计的重要依据, 采用不得随意变更。此外, 斜坡某些部分处在较为脆弱的平衡势态下, 是滑坡潜在危险性较大的地段, 工程建设之

收稿日期 (Received date): 2005- 07- 18; 改回日期 (Accepted): 2005- 10- 10。

作者简介 (Biography): 戴敬儒 (1965- ), 男, 四川眉山市人, 高级工程师, 长期从事岩土工程勘查设计与施工。1997 年至今在四川、贵州等地承接并完成 30 多项滑坡治理、高陡危险边坡支护、深基坑支护等岩土工程。[Dai Jingru (1965- ), male, born in Meishan City of Sichuan, senior engineer, works mainly on Geo-tech engineering reconnaissance design and construction]



图 1 郎酒集团热电厂联产厂滑坡

Fig. 1 Landslide threatens a factory of Langjiu Group



图 2 郎酒集团热电厂联产厂滑坡治理图

Fig2 Controlling Landslide of Langjiu's thermo-elect factory  
in Guling County

前,首先要对它做出危险性评价(危险区划);施工中要尽力维护斜坡稳定而忌人为破坏斜坡平衡,避免造成人为滑坡灾害。我国在基础建设中切坡过陡具有普遍性。

### 1.2.1 铁路、公路、引水渠等线路工程切坡过陡

我国山丘区铁路、公路建设多采用沿河布线,盘山引水渠也多系沿河走线。穿越陡坡地段的路基和渠道大都形成超过安全限度的放坡开挖,坡脚切坡过陡和爆破震动作用易使平台上部岩土体失去支撑,并产生卸荷裂隙而下滑;平台下方抛置的弃土形成松软堆积覆于坡上,其倾角虽为天然休止角,但在流水和动荷载作用下,极易发生崩滑。基础建设中切坡过陡是一类常见的工程滑坡灾害。

#### 工程实例 1: 宝鸡峡引渭灌溉工程滑坡

陕西省宝鸡峡引渭灌溉工程是我国一处特大型水利工程,灌溉农田  $11.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。总干渠长 98 km,渠道穿过黄土塬边的山坡附近有新老滑坡体 170 多处。工程于 1958 年兴建,1962 年被迫停工缓建,1968-11 复工兴建,1971 年基本建成通水。复工后由于工程任务重,时间要求紧,设计进

度赶不上施工要求,对黄土塬边高边坡的稳定问题未作深入细致地论证工作,即对原初设方案进行修改,对  $H > 30 \text{ m}$  高边坡一律采用 8 m 段高,4:1 坡率、1 m 宽平台的单一坡型设计。其后,在 1970-04~10 施工过程中,仅 K83+839~K92+878,长 9 039 m 地段就发生 12 处滑塌,累计塌方量约  $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中最大的一处达  $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,造成了人员伤亡及工程停、返工等质量事故。这是一类典型的人为滑坡灾害<sup>[2]</sup>,教训十分深刻。

#### 工程实例 2: 四川(古)蔺—郎(酒厂)公路永乐镇滑坡

蔺—郎公路是联系川黔两省干道中的一段,2003 年公路改扩建工程将过永乐镇局部路段南移,从永乐镇北侧山坡上通过。由于切坡后未对坡脚进行支护,该段顺向坡(岩层走向与公路平行,并倾向公路,倾角  $25^\circ$ )由于爆破裂隙、软弱夹层和渗漏水作用,2004-08-18 突发基岩滑坡,巨大岩块击破宅墙迫使住户弃屋搬家,公路停运,并危及运输安全。有关部门不得不采取应急措施,防止灾情扩大并着手勘察,申报治理项目(图 3)。



图 3 蔺郎公路永乐滑坡

Fig. 3 Yongle Landslide threatens LingLang Road

### 1.2.2 山丘区城市房建挖山切坡过陡

改革开放以来,我国中小城市数目剧增,2003 年底已达 667 个。山丘区许多城镇建设规模迅速扩展,平缓用地面积不足,遂挖山切坡拓展建设场地,造成了大量的人为滑坡灾害。

#### 工程实例: 四川泸州纳溪区江南职业中学冠山公园滑坡

1999 年,学校由于建设用地不足,便向校园南侧冠山公园山麓扩展,切坡加宽场地修建教学综合楼及三幢教师宿舍楼。山坡高 35~40 m,坡度  $30^\circ \sim 40^\circ$ ,地表为残坡积物,下覆紫红色强—中风化侏罗系砂岩—泥岩互层。原设计 6 层宿舍楼为条形浅基础,开挖后发现地基承载力和侧向稳定性均

不足, 遂改为嵌入中风化岩内桩基础。2000 年雨季, 斜坡中上部山坡出现多条平行顺坡纵向裂缝, 最大裂缝宽 80~100 mm, 深度>3 m。在一场强降雨过程中产生坡面泥石流顺坡而下, 将大量泥沙碎屑倾入刚竣工的楼房底层, 新建楼房濒临滑坡泥石流威胁, 房主拒绝入住。其后, 对滑坡灾害进行治理, 才使校园教学与人居环境转危为安。

### 1.3 斜坡加载填土不当形成地基滑移

为了有效地利用山前缓坡地建房, 常在基建工程场地平整中沿山坡轴方向进行不等厚填土。由于填土过程中土料选用、接槎处理、压实控制、截渗排水等措施不当, 极易由地基下卧土层滑移引发工程滑坡灾害。

工程实例: 四川古蔺郎酒厂酿酒一车间, 位于赤水河谷的山前堆积扇上。厂址选在一舌状形且两侧临空的缓倾山麓缓坡堆积地上, 原始地面坡度 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ , 两侧有小冲沟。出露地层为志留系下统石牛栏组灰岩、泥质灰岩和砂质泥岩; 岩层产状: $185^{\circ}\sim 215^{\circ}/8^{\circ}\sim 11^{\circ}$ 。地基从上自下由人工素填土和老崩塌碎石堆积土组成。该人工素填土厚 0~8.42 m, 系基建平场之人工堆填土; 粘土—砂质粘土中含有少量碎、块石, 填筑过程中未进行分层夯实, 靠自重压密。虽历经 4 a (1993~1997 年), 但仍结构松散, 孔隙率高, 渗透性强。填土层下部为崩坡积碎石土层, 结构中密, 渗透性相对较弱; 两土层之间为 $8^{\circ}\sim 11^{\circ}$ 之天然倾斜界面。由于山坡地表径流与酒厂发酵—烤酒过程中的渗漏水补给, 使填土层下部常年湿润, 呈软塑—可塑状, 成为滑带土。在厂房与设备荷载作用下, 地基变形增大, 产生不均匀沉降并向北侧平移而蠕滑, 其最大裂缝宽 80~150 mm。滑体长 130 m, 宽 35 m, 厚 8.42 m, 体积达 $3.2\times 10^4\text{ m}^3$ , 属粘性土堆积层滑坡。该滑坡造成的灾害有: 厂房北侧圻工挡土墙产生多

条垂直裂缝, 将条石拉断、错开、墙体外斜, 顶上围墙倾倒; 厂房地坪下沉, 最深处达 25 cm, 门窗、墙体开裂, 屋檐上翘, 盖瓦揭落且破损严重 (图 4)。该滑坡进行整治后已停止活动。

### 1.4 环山引水渗漏导致老滑坡复活

由黄土、粘性土、页岩、泥岩、千枚岩、板岩、片岩等强亲水性的松散土—软质岩易滑岩层构成的斜坡, 其稳定性不仅与 C、 $\Phi$ 、 $\gamma$  等岩性要素有关, 还随岩土含水量的变化而增减。我国许多小型人工引水渠道没有防渗措施, 渠水渗漏常是诱发古、老滑坡复活的重要原因。

工程实例: 四川茂县岷江左岸周仓坪滑坡

四川汶川—茂县之间岷江沿岸广泛出露志留系茂县群和泥盆系月里寨群地层。这是一套以千枚岩为主的浅变质岩地层, 抗风化力弱, 其风化碎屑物浸水后即成粘土, 强度和稳定性都很低。本区处在新构造运动的强烈升降区, 岭谷高差 $\geq 400\text{ m}$ , NE 向茂汶断层贯穿本区, 次级断层、节理发育, 极易发生滑坡。威 (州)—茂 (县) 公路于 1957 年建成通车, 初期运输尚能保持通畅。其后, 岷江左岸修建的环山引水渠灌溉凤毛坪一带农田, 由于土渠渗漏, 1980 年周仓坪多处公路边坡发生蠕移, 此后每年雨季都要加宽公路, 向内侧强行挖山改推车道以维持通行。1982—06 周仓坪滑坡复活且活动加剧, 先后共推了 10 多条临时车道通行, 随推随用随毁。06—16 滑坡体侵入岷江河床 $\geq 30\text{ m}$ , 将河道过流断面压缩减半, 上游形成一个 $25\times 10^4\text{ m}^3$ 的小型水库。鉴于滑坡规模巨大, 整治难度大, 耗资资金多。因此, 经有关部门多次研究比较, 于上世纪 90 年代末, 在公路扩改建中采用增建两座桥梁的跨河绕避方案, 将该段公路改在岷江右岸, 保障了公路畅通<sup>[1]</sup>。

### 1.5 斜坡脚减载不当造成地基滑移

处于极限平衡状态下的斜坡, 其脚趾部位的建筑物或压重对维持斜坡平衡有重要作用, 一旦在脚趾处进行开挖或拆除建筑物, 将使斜坡原有的脆弱平衡遭到破坏, 引发地基滑移。

工程实例 1: 四川泸州江阳长挖厂子弟校滑坡

长江挖掘机厂子弟校位于长江南岸二级阶地上, 校园位踞南高北低的缓坡地上, 北以校园围墙为界, 建有运动场和第二教学楼, 南为办公—第一教学楼、实验室和仓库。校区南侧与高差约 20 m 的斜坡阶地为邻, 缓坡上有农耕地和桂圆林, 坡顶藕塘常年蓄水。为扩建体育场, 2001 年学校将实验室和仓库拆除, 在下挖地基和平整场地过程中,



图 4 古蔺郎酒厂酿酒一车间滑坡

Fig. 4 Landslide threatens a workshop of Lang Vintage Factory

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



斜坡坡脚地面隆起, 将新铺就的砼拱裂。与此同时, 坡脚新修的圬工挡土墙墙体产生水平位移并出现多条垂直贯通裂缝, 缝宽 15~20 mm。勘察发现, 校区南侧斜坡上产生多条环形裂缝, 缝宽 75~100 mm, 垂直落距 250~300 mm, 斜坡中部一坟地墓碑严重歪斜, 倾斜度  $72^\circ$ 。这是一个在渗漏水浸润下, 由于坡脚减载不当而诱发的堆积层蠕移型滑坡。在滑坡推移作用下, 第一教学楼西北隅基础下沉, 砖墙开裂, 教室无法正常使用 (图 5)。该滑坡于 2002 年立项治理后, 校园转危为安。



图 5 长控厂子弟校滑坡

Fig. 5 Landslide threatens school of Changwa Factory

## 工程实例 2: 四川泸州市公安局灯杆山滑坡

泸州市公安局利用老公路南侧山麓缓坡地修建住宅楼。场址斜坡地层构造单一, 产状为  $120^\circ \angle 8^\circ$  缓倾斜岩层。斜坡高 21 m, 其顶部为住宅小区道路, 篮球场、门球场, 地势平坦; 中部较陡, 坡度约  $45^\circ$ ; 下部较缓, 约  $20^\circ$ 。岩层自上而下由杂填土、粉质粘土、全风化中砂岩、强风化中砂岩和中风化中砂岩构成。斜坡植被茂密, 天然状态下粉质粘土呈潮湿状, 砂岩中地下水含量较丰富, 主要为风化裂隙水; 受地表水补给, 动态变化较大。宅基



图 6 四川泸州灯杆山滑坡治理图

Fig. 6 The chart of controlling for Denggan hill landslide in Luzhou  
City of Sichuan

南侧临空面开挖后形成前置深 12 m 的高陡边坡; 事前对边坡开挖后果未作预测, 仅按当地经验类比, 采用半重力式圬工挡土墙支护。当下挖 8~9 m 深时, 开挖段坡体出现严重拉裂变形, 中部 18 m 地段产生蠕移, 剪出口水平位移 8~12 cm, 坡上部垂直位移达 36 cm, 崖边碗口粗的樟树随土体下垮并被连根拔起。为防止快速剧滑产生使事故扩大, 于坡角剪出口以堆载反压措施作应急处理 (图 6)。

经勘查, 滑坡长 100 m, 宽 40 m, 平均厚约 10 m, 体积约  $40\,000\text{ m}^3$ , 属粉质粘土和风化中砂岩滑坡, 滑面呈折线形。原有天然斜坡处在临界平衡状态, 人工开挖切坡是导致平衡破坏, 产生滑坡的主因。该滑坡经过治理已趋于稳定, 住宅楼现已竣工并投入使用。

## 2 工程滑坡防治

### 2.1 防治对策

山丘区工程滑坡防治应以预防为主。在山丘区建设中, 应增强生态环境保护意识宣传教育, 使爱护家园, 保护人居环境的意识深入人心, 变成人们的自觉行动。一切工程都要严格按国家有关规定进行勘测、设计, 并处理好眼前效益和长远利益的关系; 特别要重视工程立项的前期准备工作, 切实做好建设场区勘察与地质灾害危险性评估; 工程建设中要严格按设计图施工, 不得随意乱挖、乱弃、乱堆、乱排, 注意保护施工场区良好的生态环境, 避免酿成工程滑坡灾害。

### 2.2 治理措施

工程滑坡一旦发生, 首先必须控制事态发展, 尽量减少灾害损失。迅速查明滑坡成因, 消除诱发滑坡的人为因素是防灾应采取的关键措施。通常滑坡一旦开始活动, 仅仅消除人为的诱发因素难以保障斜坡稳定, 必需要增加强力支挡措施, 以促使滑面愈合, 修复受损土体强度, 使  $\gamma$ 、 $C$ 、 $\varphi$  等土体的抗滑力参数增强, 从而改善斜坡稳定性。对滑坡进行综合治理, 其关键在支挡, 在现有各种滑坡支挡措施中, 从安全、有效、方便施工来看, 预应力锚固桩的综合优势明显, 目前采用较为普遍。其主要技术措施的实施步骤如下:

1. 根据滑坡体规模及灾害危险性级别, 确定防治工程的重要性等级。

2. 按照工程地质勘察结果, 取滑动主轴为计算断面, 两侧取平行滑面为辅助断面进行滑坡稳定

性计算; 划分足够数目的垂直条块, 用传递法<sup>[3]</sup>对滑坡稳定性进行计算, 计算公式为

$$T_i = K \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i + \Psi T_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \cdot \tan \phi_i - C_i L_i \quad (1)$$

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

式中  $T_i$  为第  $i$  个条块末端的滑坡推力 (kN/m);  $K$  为安全系数, 根据工程重要性、滑坡规模及灾害后果综合考虑取 1.05~1.25;  $W_i$  为第  $i$  个条块滑体的重力 (kN/m);  $\alpha_i$  为第  $i$  个条块所在滑动面的倾角 (°);  $\alpha_{i-1}$  为第  $i-1$  个条块所在滑动面的倾角 (°);  $\phi_i$  为第  $i$  个滑动面上的内摩擦角 (°);  $C_i$  为第  $i$  个条块所在滑动面上的单位粘聚力 (kPa);  $L_i$  为第  $i$  个条块所在滑动面的长度 (m);  $\Psi$  为传递系数。

3. 当滑体有多层滑动面时, 按推力最大者确定滑坡推力; 根据滑动面选择代表性断面, 一般不得少于 2 个, 且其中一个应是主轴断面。

4. 根据滑坡形态规模和不同断面推力计算结果, 计算滑坡总推力并据以进行抗滑工程设计。

5. 预应力钢筋砼抗滑桩为超静定结构, 通常采用的桩身直径  $D \geq 1$  m, 锚固端嵌入中风化基岩深  $h \geq 3D$ , 桩身外露段长  $L = (10 \sim 15D)$  ( $D$  为桩直径); 锚索水平夹角  $45^\circ > \alpha > 30^\circ$ , 锚固(索)端长  $\geq 7$  m, 桩顶一般用钢筋砼盖梁连成整体, 桩间修剪力墙挡土封闭。

预应力锚固桩能将材料潜能充分利用, 强度储备大, 安全性好, 且受工人劳动强度影响较小, 施工质量容易控制, 风险相对较小。目前, 在滑坡治

理中预应力锚固桩被广为采用并受到好评, 有良好的应用前景。

### 3 结语

我国每年由滑坡灾害造成的人员伤亡逾数百人, 经济损失达数十亿元, 其中 50% 以上的滑坡是不合理的工程建设所引发的。本文对工程建设引起的滑坡问题进行初步分析, 并按滑坡成因将工程滑坡分为: 场地选址不当、切脚开挖且放坡过陡、斜坡加载填土不当和环山渠渗漏降低土体抗力等 5 种类型, 并提出了相应的防治对策, 供有关工程技术人员参考。

本文承蒙中科院水利部成都山地灾害与环境研究所李德基、王士革研究员审阅修改, 谨表谢忱。

### 参考文献 (References):

- [1] Cheng Xiaoqing, Li Deji, Cui Peng. Controlling landslide of Langjiu's Thermoelectricity Factory in Guling County, Sichuan Province. *Journal of mountain science* [J], 2002. 20 (5): 621 ~ 627. [陈晓清, 李德基, 崔鹏, 等. 古蔺郎酒热电联产厂场区滑坡治理. 山地学报 [J], 2002. 20 (5): 621~ 627.]
- [2] Wang Taishu. Landslide hazards and prevention prospect in Shaanxi Province [A]. *Landslide conference corpus in Lanzhou* [C]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press. 1988. 27~ 31. [王泰书. 陕西省的滑坡灾害及治理展望 [A]. 见: 兰州滑坡会议文集 [C]. 兰州: 甘肃科技出版社. 1988. 27~ 31.]
- [3] The First Design Academy of Railroad Department. Roadbed [M]. Beijing: People Railroad Press, 1965. 135~ 136. [铁道部第一设计院主编. 路基. 北京: 人民出版社. 1965. 135~ 136.]

## Classification and Controlling on Human Effected Landslides

DAI Jingru, ZHOU Zeping, WU Xin

(No. 135 Geotech Engineering Corporation of Coalfield Geologic Bureau of Sichuan, Luzhou, Sichuan 646000, China)

**Abstract:** Landslide hazard is a serious problem during the engineering construction. It not only has brought about many-side harms to construction, but also has formed a serious threat to the ecological environment. On the basis of the latest survey data of landslide hazard, the concept of "engineering landslide" is put forward in the paper, which is the major factor influencing social disaster of landslide. This paper also particularly analyses the driving force. The natural condition, climatic changes and human effects play a key role in the process of landslide hazard. The human activities are the main triggering force, which include selecting in the improper engineering place, cutting in the high and steep hill-slopes of roadbed; filling and loading in unreasonable forms et al. At last, the author thinks that in order to control engineering landslides, the pre-stressed anchoring cables & anti-sliding piles are the better measure.

**Key words:** engineering landslide; classification; hazards prevention