

# Summary of Rapid and Accurate Landslide Investigation System Methods for a Deep Excavation and High Filling Project in Tianshui

Zhiyuan Chu Peng Bai

Southwest Nuclear Industry Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610051, China

## Abstract

Tianshui City is located in the transitional zone between arid and semi-arid climates, with concentrated and intense rainfall within the year, and typical loess landforms. It is situated at the intersection of the north-south seismic belt, where earthquakes occur frequently with high intensity. Combined with special geological formations such as loess and recent mudstone, this area has complex and fragile engineering geological conditions. This paper takes a large project in the densely landslide-prone Beishan area of Tianshui as an example, summarizing landslide identification methods based on years of investigation work, aiming to provide inspiration for new professionals and targeted rapid investigation methods for similar projects.

## Keywords

systematic investigation method; landslide identification; geological environment

## 天水某深挖高填项目滑坡快速、精准勘查系统方法总结

褚智渊 白鹏

核工业西南勘察设计研究院有限公司, 中国·四川成都 610051

## 摘要

天水市地处干旱、半干旱气候的过渡区, 年内降雨集中, 强度大, 并且属于典型黄土地貌。区域上属于南北地震带交汇处, 地震频发, 高烈度, 加上黄土、新近系泥岩等特殊岩土, 造就了该区域复杂、脆弱的工程地质条件; 本文以滑坡密集发育的天水北山片区某大型项目为例, 基于本人多年勘查工作的基础上总结滑坡识别方法, 希望可以帮助新入同行, 有所启发, 并能为同类工程提供针对性快速勘查方法。

## 关键词

系统勘查方法; 滑坡识别; 地质环境

## 1 系统勘查方法综述

黄土滑坡是重要的滑坡类型之一, 根据滑坡体物质组成及滑面的发育位置, 黄土滑坡进一步划分为①黄土层内滑坡、②黄土-泥岩接触面滑坡、③黄土-泥岩顺层滑坡和④黄土-泥岩切层滑坡四种基本类型; 根据滑坡发生年代, 将黄土滑坡分为古滑坡、老滑坡、新近滑坡。本文以天水某深挖高填项目为依托, 系统的提出了黄土地区山区滑坡勘查方法, 即首先应用遥感影像, 圈定工程沿线的滑坡, 并提取重点滑坡的基本资料; 而后结合野外地质调查, 详细识别滑坡类型, 修正遥感解译结果, 并精确获取滑坡整体特征; 最后针对重点滑坡开展山地工程、钻探、与物探, 提取滑坡地质结构信息, 重点识别滑面(带), 为后续试验、计算和优化

设计提供基础数据。

## 2 黄土滑坡遥感调查、判别

为完成对场地稳定性和适宜性评价, 可采用遥感技术对场地工程地质条件进行解译分析, 其具有感测范围大、获取信息快、更新周期短、信息量大等优势。本项目则采用了傲视 XC-25 无人机航维智芯 NS-1350R 机载激光雷达进行航片影像拍摄。

### 2.1 遥感

准确识别滑坡是滑坡遥感调查的基础, 采用 DOM、DEM 等三维/正射影像, 不仅允许方向、多比例尺观察, 还提供高程、方位、坐标等数字信息, 具有更丰富的解译标志, 以先整体、后局部的研究思路, 建立模型中黄土、泥岩滑坡的解译标志。

#### (a) 滑坡整体特征

滑坡发生改变原始边坡连续性, 航片中表现为坡体

【作者简介】褚智渊(1984-), 男, 中国山西交城人, 本科, 高级工程师, 从事地质灾害防治、岩土工程研究。

不连续、不顺滑。其平面形态为簸箕形、舌形等。滑坡后部土体裸露，色调较浅，影纹粗糙，常有斑点状出现。滑坡前缘色调浅，但由于人工破坏，已不明显。

#### (b) 滑坡基本形态要素特征

①滑坡后壁与边界：滑坡周界呈弧形、圈椅形、马蹄形、不规则形等，阴坡标志较阳坡明显，表现为连续的地貌破坏，由陡坡和缓坡两种地貌单元组成，滑坡周界与周围耕地线条呈大角度相交。从滑坡上缘以低视角海拔高度观察，连续黑色线条呈明显的“U”形。

②滑体：坡体下方由于土体挤压，形成鼓丘，影像中其高程信息特征明显。缓坡部分深冲沟发育。滑体由于后期地质作用，常形成多级台地构造，可利用高程信息的突变特征予以识别。

#### (c) 其他形态要素特征

①剪出口：俯视图中与航片特征一致，侧壁两端形成的明显开口，向外地形展布。

②滑坡舌：位于滑体前缘，剪出口附近，呈扇形、舌形等。古、老滑坡由于遭受长期剥蚀和人工破坏已很难发现，需要通过山地工程、钻探揭露。

③滑坡台地与鼓丘：整体特征与航片一致。台地表现为高程突变，鼓丘高程呈明显的抛物线型变化，个别形成反坡平台。

④滑坡裂隙与沟谷：高视角海拔高度下，二者的特征与航片中基本一致，在地平面视图模式中，据自带高程信息，可观察到沟谷区地形的起伏变化。

## 2.2 新老滑坡的判别

(a) 古老滑坡后壁较高细小冲沟发育；仅见滑坡后壁遗迹，坡面较为平整，滑坡两侧自然沟谷较深，多出现“双沟同源”，滑坡舌多远离河道，有的滑坡舌外有河漫滩阶地，滑坡体多辟为耕地。

(b) 新滑坡坡体完整，周界完整，后壁无植被，影像色多为白色，高度较低，土体裸露，地形起伏不平，坡体坡度较大，地面裂缝发育，滑坡冲沟不发，滑坡各要素基本完整。

## 3 滑坡野外地质调查

本研究通过对场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水与地表水，不良地质现象进行调查研究，为评价场地工程地质条件以及合理布置后续勘查工作提供依据。

### 3.1 野外滑坡识别

新近产生的滑坡地形地貌特征十分明显，对其识别并不难。但古、老滑坡由于滑坡发生的时代久远地形地貌改造强烈，往往容易与其它成因的第四系堆积体相混淆，常造成误判和漏判。

古、老滑坡的识别可参照下表。迹象愈多，则判别的可靠性愈强。

表 1 古、老滑坡识别标志

标志		内容
类别	亚类	
形态	宏观形态	1. 圈椅状地形
		2. 双沟同源
		3. 坡体后缘出现洼地
		4. 大平台地形 (与外围不一致、非河流阶地、非构造平台或风化差异平台)
		5. 不正常河流弯曲
	微观形态	6. 圈椅状地形后壁、侧边出现擦痕面、镜面 (非构造成因)
		7. 反倾向台面地形
		8. 小台阶与平台相同
		9. 马刀树
		10. 浅层地表滑塌广泛
地层	老地层变动	11. 明显的产状变动 (除了别的原因)
		12. 架空、松弛、破碎
		13. 大段孤立岩体掩覆在新地层之上 (多为红层掩覆第三、四系黄土)
		14. 大段变形岩体位于土状堆积物中 (红层与黄土)
	新地层变动	15. 山体后部洼地内出现局部湖相地层
		16. 变形、变位岩体被新地层掩覆
		17. 变形、变为岩体上掩覆湖相地层
		18. 上游方向出现湖相地层
变形等	19. 古墓、古建筑变形	
	20. 构成坡体的岩土结构零散、强度低	
	21. 开挖后易坍塌	
	22. 斜坡前部地下水呈线状出露	
	23. 古树等被掩埋	
历史记载 访问资料	24. 发生过滑坡的记载或口述	
	25. 发生过变形的记载或口述	

### 3.2 滑面 (带) 野外调查

除识别出滑坡外，确定滑面和识别潜在滑面最为困难。本文提出地质特征分析方法和冲沟 (坑探) 勘查法，开展滑面 (带) 的勘查工作，以提高精度和效率。

#### 3.2.1 串珠状落水洞 - 拉裂错落

潜在黄土滑坡在变形初期，后缘首先出现的是串珠状落水洞，边坡继续变形，顺落水洞发展为裂缝，将落水洞串联起来，裂缝临坡一侧有下错现象，拉裂缝的位置就是其后缘边界。前缘剪出口根据大量实际调查发现主要可分为两类：一类是潜在黄土层内滑坡，一般沿坡脚剪出；一类是黄土 - 红层滑坡，一般沿基覆界面剪出。确定了滑动面的前后缘位置，滑动面近似按圆弧考虑，通过给定的  $c$ 、 $\phi$  值，使其稳定系数在 1.0~1.05 之间，所确定的滑动面就是理论上的最危险滑动面。

#### 3.2.2 冲沟

冲沟是间断流水在滑坡体冲刷成的沟槽，从上缘到剪

出口,切割滑体或伴随侧壁发育,切割较深,多数可达滑面(带)以下数米。冲沟勘探与坑探效果相似,勘查人员能直

接观察到地质构造,准确可靠,且便于素描及环刀取样。相较其他方法,沟探具有明显的成本和工期优势。



图1 沟探、坑探在滑坡勘查中应用

## 4 钻探

滑面(带)的识别是滑坡勘查中的关键性问题之一,主要方法包括钻探、物探、野外地质特征法、数值模拟和简力学等。本着准确度最高、应用成本最低、操作最简便为目的,本文着重研究方法。

### 4.1 钻探方法选择

滑坡钻探方法不能采用正循环钻探方法,因为对于黄土滑坡,特别是层内滑坡,由于滑体和滑床都是非饱和黄土,此钻探方法对土芯扰动大,岩芯采取困难,很难直接识别滑面。一般采用干钻和无泵反循环钻探方法,它的优点是岩芯采取率高,不会漏掉软弱夹层和滑带,能保持岩芯的含水状态,及时发现含水层的位置。

### 4.2 滑面(带)的确定

应用钻探确定滑面,除岩芯判别外,还可根据钻进的情况定性判别。在总结工程经验与前人研究成果的基础上,提出以下几点识别特征。

#### (1) 岩芯鉴定

岩芯是最可靠的鉴定依据,但应注意所采取的岩芯要至少风干一天以上,因为黄土在湿润状态时,特别是含水量高时,颜色和结构差异不明显,颜色总体上呈深褐色,结构均匀,风干后其差异才表现出来。

(a) 对于黄土泥岩接触面滑坡,软弱地层,粘性土含量较高,含水量较其上下地层明显偏高。对于黄土-红层滑坡,本区红层一般以泥岩、粉砂质泥岩为主。

(b) 对于黄土层内滑坡,滑动面附近有不同程度的结构扰动现象,物质成分比较复杂,颜色混杂,黄土呈揉碎状,其厚度一般不大(几厘米到十几厘米)、密度较其上下两层

黄土小。

(c) 同一地区的同类滑坡常沿同一地层滑动,可作为一种标志层分析判断。

(d) 可见具滑动擦痕的光滑破裂面,或贯穿整个岩芯。

(e) 新老地层倒置,如古老地层覆盖在第四系地层之上。地下水隔水底板常是岩性软弱易形成滑带的地层。

#### (2) 钻进特征

钻探过程的特殊现象,如缩孔、钻速变快、塌孔、漏浆部位,可能是滑动带的间接反映。

## 5 总结

在开展黄土山区滑坡勘查时,采用航片/卫片遥感解译、面波、地质特征分析的方法,可以在满足精度的条件下降低成本、缩短工期。结合本文推荐的特征识别古、老和潜在滑坡能在一定程度上提高识别精度和效率,但也与调查人员的工作经验、研究区有关,应结合实际调查情况不断调整和补充滑坡的识别特征。在黄土山区滑坡勘查中,应选择具有较高精度,基本可以确定第三系红层与第四系黄土的分界面的物探手段,进而可确定滑坡主滑动面及次滑动面,但针对重点大型滑坡还应采用山地工程、钻探。冲沟是大自然为我们开挖的天然坑探工程,应充分利用。

### 参考文献

- [1] 吴玮江. 黄土-泥岩接触面滑坡的特征与成因[J]. 冰川冻土, 2014, 36(5).
- [2] 张国磊. 探索高填深挖路基设计和施工要点分析研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023.
- [3] 陈东. 山区高速公路填石路基填筑施工要点探究[J]. 数码精品世界, 2023(5):396.