

# 广元市示范性综合实践基地滑坡特征及防治

张钰<sup>1</sup>, 韩俊<sup>2</sup>, 赵国华<sup>2</sup>, 董云<sup>2</sup>

<sup>1</sup>四川公路工程咨询监理有限公司, 四川 成都

<sup>2</sup>核工业西南勘察设计研究院有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2022年2月23日; 录用日期: 2022年3月16日; 发布日期: 2022年3月23日

## 摘要

由于场地坡脚开挖, 在暴雨影响下, 广元市示范性综合实践基地发生牵引式滑坡。通过现场勘查, 根据研究区斜坡滑坡情况及斜坡坡向不同的特点, 研究区分为滑坡区、斜坡I区及斜坡II区; 经地质分析及计算后, 对滑坡及斜坡区稳定性进行了评价。针对场地北侧滑坡区、斜坡I区采用桩板墙进行支护, 场地西侧斜坡II区采用护脚墙、格构进行支护, 于坡脚、坡顶适当部位设置截排水沟。

## 关键词

滑坡, 顺层岩质边坡, 稳定性分析

# Landslide Features, Prevention and Control at Demonstration Comprehensive Practice Base in Guangyuan City

Yu Zhang<sup>1</sup>, Jun Han<sup>2</sup>, Guohua Zhao<sup>2</sup>, Yun Dong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sichuan Highway Engineering Consult Supervision Co., Ltd., Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Nuclear Industry Southwest Survey and Design Institute Co., Ltd., Chengdu Sichuan

Received: Feb. 23<sup>rd</sup>, 2022; accepted: Mar. 16<sup>th</sup>, 2022; published: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2022

## Abstract

A retrogressive landslide occurred at the Demonstration Comprehensive Practice Base in Guangyuan City due to slope toe excavation and rainstorm. According to the landslide characteristics

and slope direction obtained through on-site investigation, the area under study is divided into landslide area, slope area I and slope area II. The stability of landslide and slope areas was evaluated based on geological analysis and calculation. In that consideration, sheet pile walls are taken for the landslide area and slope area I on the north side of the site; slope protection spats and lattice beams for slope area II on the west; and, proper intercepting and drainage ditches on the foot and top of the slope.

## Keywords

Landslide, Bedding Rock Slope, Stability Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国工程建设的大规模开展,对自然斜坡进行了大规模的改造[1],建设过程中,由于开挖坡脚等人为因素,导致原有斜坡应力状态发生变化,易产生滑坡等地质灾害[2]。国内外已有不少由于顺层岩质高边坡失稳的事故,对人民的生命财产安全造成了巨大的损失和威胁。1980年7月3日发生的成昆铁路西顺层滑坡,约 $2.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的滑体堵塞了铁西隧洞进洞口,堆积在路基上的滑体厚度达14 m,掩埋铁路长达160 m,中断行车40天[3]。湖北巴东白岩沟大桥左侧顺层边坡,由于不适当开挖切角,诱发了上部岩体顺层下滑,对大桥和下方建筑物构成严重威胁[4]。再例如国外1963年10月9日发生的著名意大利的瓦依昂水库滑坡,最终造成下游2600余人死亡。1995年蒋爵光等对国内12条铁路干线的岩石边坡进行了详细的调查统计后指出:铁路岩石滑坡比较多见到的类型为层状结构岩体的顺层滑坡,凡是顺层路堑边坡地段,不论边坡坡度陡缓,只要边坡坡度大于岩层倾角,而岩层倾角大于 $15^\circ$ 的情况下,几乎都发生过顺层滑塌或顺层滑动的破坏现象[5],从上述事例可以看出,顺层滑坡在工程建设中是较为常见的灾害现象,且造成的危害严重。本文基于广元市示范性综合实践基地建设项目滑坡工程实例,对顺层岩质滑坡的形成、发展过程进行分析的基础上,综合评价了其稳定性,针对研究区域不同特点,提出了相应的永久治理措施,为同类型的防治提供了一定的参考。

## 2. 研究区概况

研究区位于广元市利州区雪峰街道办事处九华村六组焦家沟,自2015年实践基地开始建设,场地经大面积开挖平整后,形成西侧、北侧人工边坡,边坡高度约5.0~20.0 m,坡度约 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。其中西侧边坡目前有零星掉块现象,未见整体失稳变形迹象;北侧斜坡开挖后在降雨影响下部分区段(东北部)于2015年10月14日发生滑坡,方量约 $2000 \text{ m}^3$ ;2016年4月25日暴雨后该段斜坡再次发生滑坡,方量约 $1500 \text{ m}^3$ 。该段边坡一旦发生失稳破坏将对下建建筑物、施工人员、机械及以后学校的运行、在校师生的生命财产安全造成较大威胁,见图1。

研究区位于龙门山印支褶皱带中的牛峰包复背斜南东侧,其岩层产状大致为 $220^\circ \angle 20^\circ$ 。区域内的龙门山断裂带在晚更新世以来的差异性活动不明显,其最新活动时期多在中更新世及其以前,活动性较弱。研究区内出露的主要地层为:①第四系全新统人工填土( $Q_4^m$ );②第四系全新统残坡积( $Q_4^{el+dl}$ );③侏罗系中统沙溪庙组( $J_2s$ )组成,分别由素填土、可塑粉质粘土、泥岩和砂岩等构成。



Figure 1. A general view of the study area

图 1. 研究区全貌图

### 3. 研究区工程地质特征

研究区为人工开挖后边坡，通过现场勘查，根据开挖后边坡是否发生滑动破坏，共分为两个大区即：滑坡区、斜坡区；其中斜坡区根据开挖后斜坡坡向不同，将其分为两个亚区，即：斜坡 I 区、斜坡 II 区，见图 2。

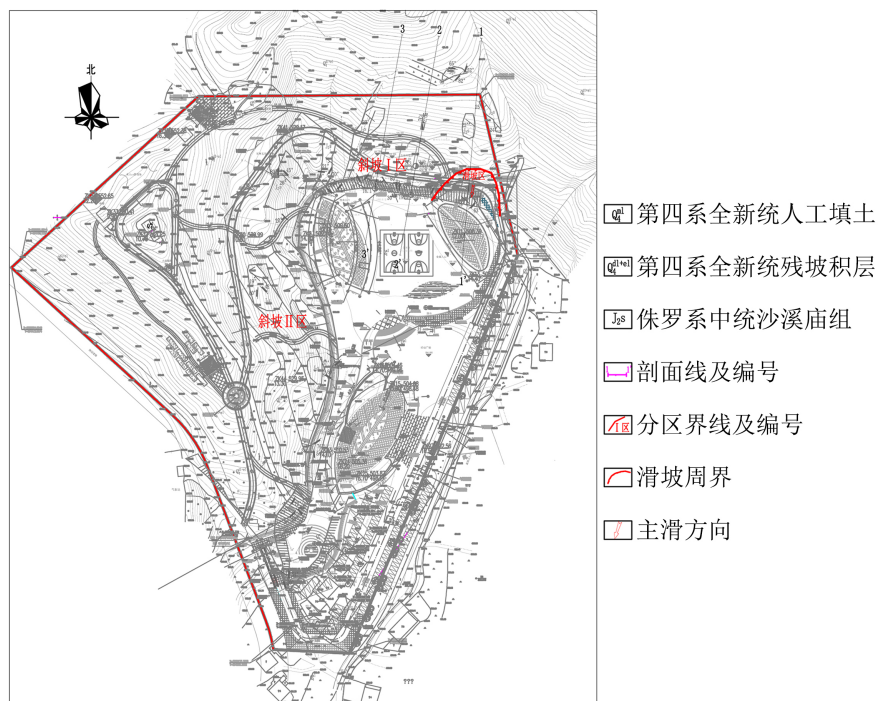


Figure 2. A plan view of the study area

图 2. 研究区平面图

#### 3.1. 滑坡区特征

滑坡区位于斜坡下部，斜坡整体呈折线形，下部区域坡度约  $35^\circ$ ，以上坡度约  $15^\circ\sim 20^\circ$ ，海拔高程约 509~552 m。滑坡平面上呈圈椅状，主滑方向为  $185^\circ$ ，前缘高程约在 509.0 m，已滑动后的后缘高程集中在 526.0~527.0 m，总体高差约 17 m，滑坡横宽 40~50 m。推测目前可能产生滑坡的后缘高程为 539 m，斜长约 75 m，平面面积约  $3400\text{ m}^2$ ，滑体平均厚约 5 m，总方量约  $1.7 \times 10^4\text{ m}^3$ 。滑坡呈上缓下陡状，坡

度  $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ , 近坡脚 0.8~1.5 m 处近直立, 坡高 15.0~18.0 m, 共分为两级, 一级坡高 8~10.0 m, 台阶宽 3.0~5.0 m, 坡脚为人工开挖形成的平台, 坡顶为原始地貌, 由于人工开挖影响, 斜坡已发生滑动变形, 坡脚有滑坡堆积物及削坡减载后残留的堆积物, 滑坡坡顶表层有少量粉质粘土, 滑坡中上部为灰黄色砂岩、下部为灰绿色砂岩, 目前滑坡的变形破坏主要是受节理裂隙切割沿灰黄色砂岩外倾层面发生滑动破坏。

该滑坡后缘以已形成的拉张裂缝为界, 后由于削坡处理对坡体结构造成一定扰动, 目前裂缝已被掩盖, 后缘高程约 527.0 m; 前缘为已开挖形成的坡脚, 高程约为 509.0 m; 滑坡左侧边缘以近冲沟处的剪切裂缝为界, 后由于削坡处理对坡体结构造成一定扰动, 目前裂缝已被掩盖; 滑坡右侧边界以灰黄色砂岩与紫红色泥岩接触面为界, 滑坡沿该接触面滑动破坏形成剪切裂缝, 后由于削坡处理对坡体结构造成一定扰动, 目前裂缝已被掩盖; 滑坡剪出口位于滑坡前缘灰黄色砂岩与灰绿色砂岩接触面处, 见图 3。



Figure 3. The status quo after slope cutting in north slope section of the site

图 3. 场地北侧滑坡段削坡后现状

滑坡体为灰黄色砂岩, 岩层产状约为  $226^{\circ} \angle 26^{\circ}$ , 强风化, 矿物成分主要为石英、长石, 粗粒结构, 薄~中厚层状构造, 岩体强度较低、遇水后手捏为粉砂状, 岩体类型为 IV 类, 岩体裂隙面发育, 部分呈灰黑色, 见图 4。滑床体为灰绿色砂岩, 岩层产状约为  $226^{\circ} \angle 26^{\circ}$ , 强-中风化, 矿物成分主要为石英、长石, 粗粒结构, 薄~中厚层状构造, 岩体完整程度相对较好, 强度较高、岩芯多呈柱状, 岩体类型为 II 类, 见图 5。



Figure 4. Fracture plane diagram of rock mass

图 4. 岩体裂隙面图

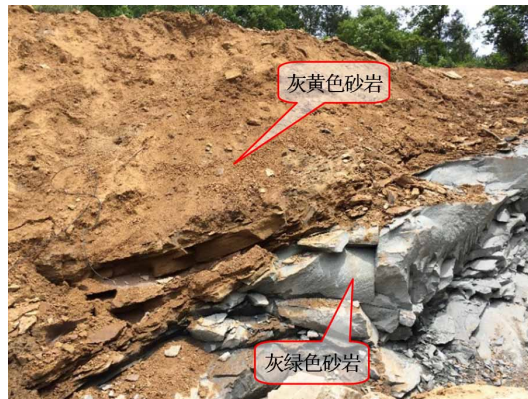


Figure 5. Contact of grayish yellow and grayish green sandstone in landslide area

图 5. 滑坡区灰黄色、灰绿色砂岩接触

### 3.2. 斜坡 I 区基本特征

斜坡 I 区分布在场地北侧靠近西侧段，位于滑坡区西侧，人工开挖斜坡后坡面裸露。斜坡横宽 60~70 m，斜长约 60~110 m，平面面积约 6000 m<sup>2</sup>，潜在滑体平均厚约 4 m，总方量约  $2.4 \times 10^4$  m<sup>3</sup>。斜坡坡向约 180°~190°，斜坡呈上缓下陡状，坡度 35°~55°，坡高 10.0~18.0 m，共分为两级，一级坡高 8~10.0 m，台阶宽 3.0~5.0 m，坡脚为人工开挖形成的平台，坡顶为原始地貌，斜坡坡顶表层有少量粉质粘土，斜坡中上部为灰黄色砂岩、紫红色泥岩互层，下部为灰绿色砂岩，目前斜坡坡面有零星掉块现象，未发生明显的滑动变形破坏。

### 3.3. 斜坡 II 区基本特征

斜坡 II 区分布在场地西侧靠近东侧边缘段，人工开挖后斜坡坡面裸露。斜坡横向宽度约 310~320 m，斜长约 5~10 m，平面范围面积约 2500 m<sup>2</sup>。斜坡坡向 78°~120°，斜坡多呈上缓下陡状，坡度 20°~65°，坡高 5.0~20.0 m 不等，坡脚为人工开挖形成的平台，坡顶为原始地貌，斜坡坡顶表层有少量粉质粘土，斜坡主要为紫红色泥岩构成，砂岩为泥岩中夹层或砂泥岩互层，目前斜坡坡面有零星掉块现象，未发生明显的滑动变形破坏。

## 4. 成因分析

### 4.1. 滑坡区稳定性分析

根据调查，研究区原始地貌为斜坡，场地自 2015 年 5 月开始开挖，由于前缘坡脚开挖，形成坡高约 10 m，坡度为 45°~60°，开挖后导致表层岩体原有处于相对应力场产生重新分布，致使后缘坡顶发生卸荷回弹并产生相应的拉张应力区，进而岩体松弛形成相应的拉张裂缝，6 月下旬滑坡中后部出现裂缝及局部滑塌现象，后在 2015 年 6~10 月降雨影响下，滑坡变形加剧并逐步向斜坡后缘发展，随着降雨影响，于 2015 年 10 月 15 日发生滑移现象。2015 年 10 月下旬雨季过后，对坡脚滑坡堆积体进行了清除。之后滑坡体上裂缝宽度加剧，并有新的裂缝出现，该滑坡段于 2016 年 5 月 4 日再一次产生滑移现象。

根据现场调查，灰黄色砂岩岩层层面为薄 - 中厚层状，层理发育，层面较平直，较粗糙，层间胶结极差，为软弱结构面，在暴雨、地震等不利工况下斜坡易沿该软弱结构面发生滑动破坏，斜坡体受裂隙切割可沿一到数个层面产生滑动破坏。同时灰黄色砂岩与下部灰绿色砂岩接触面较平直(图 5)，粗糙，结合极差，为软弱结合面，斜坡极有可能沿该接触面产生较大规模滑动破坏。经分析，该段滑坡层面倾

向与滑坡倾向一致，且倾角小于坡角，易产生整体滑移，故顺层滑坡可能的潜在滑动面由层理面、灰黄色砂岩与灰绿色砂岩接触面构成，同时根据以上原则建立滑坡稳定性计算的模型，稳定性计算结果详见表 2。

滑坡区斜坡开挖后，由于斜坡高陡，受到卸荷及降雨影响，同时岩体在结构面(L1、L2、L3)切割影响下，在岩体层面、灰黄色砂岩与灰绿色砂岩接触面控制(岩层产状  $226^{\circ} \angle 26^{\circ}$ )下，发生顺层滑动，综合评价其破坏模式为顺层滑坡，见图 6。该滑坡类型主要从以下几个方面划分：① 从物质组成和结构形式上划分属于岩质滑坡；② 从厚度上划分属于浅层滑坡；③ 从运动形式上划分属于牵引式滑坡；④ 从现今稳定程度上划分属于活动滑坡；⑤ 从发生年代上划分属于新滑坡；⑥ 从滑体体积上划分属于小型滑坡。

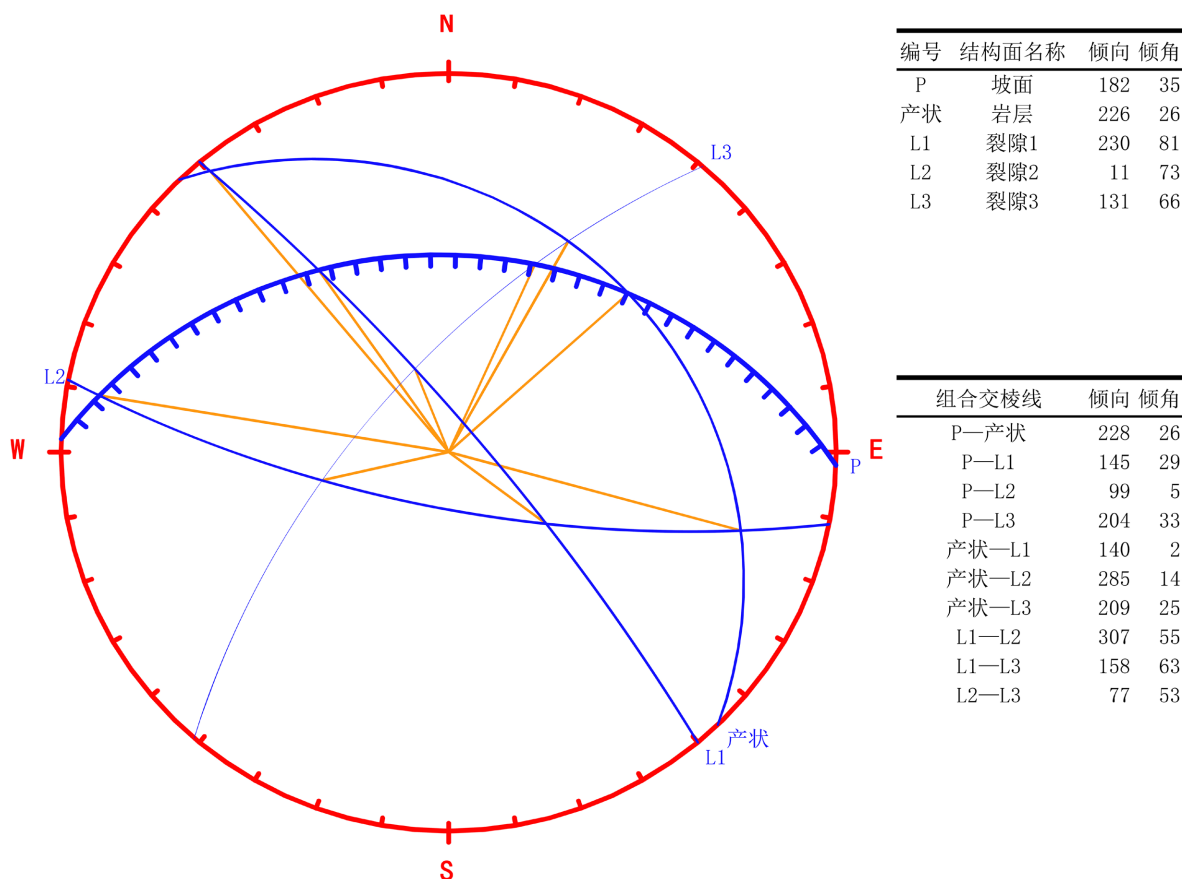


Figure 6. Stereographic projection of landslide area

图 6. 滑坡区极射赤平投影图

#### 4.2. 斜坡区稳定性分析

两斜坡区域开挖后表层岩体在受到降雨等风化剥蚀作用下，受节理裂隙控制坡面有零星掉块现象，目前未发生整体滑动破坏。但随着时间的推移，岩体松弛形成相应的拉张裂缝，在受降雨等不良工况的作用下，裂缝变形加剧，斜坡 I 区最终极有可能沿层面发生整体顺层滑动失稳破坏。

#### 5. 稳定性计算和评价

根据前述分析，该斜坡为顺层坡，发育多层节理结构面，斜坡受裂隙切割影响可沿岩层面发生顺层

滑动，其滑面形态为直线形，因此采用岩质滑坡稳定性评价计算滑坡的整体稳定性和滑坡推力[6]。计算参数的选取主要以室内剪切试验的成果为基础，并结合宏观变形行迹判断、岩体及结构面类型，工程类比和地区经验，参照相关规范[7]综合取值，结构面抗剪强度计算参数见表 1，滑坡及斜坡稳定性计算结果见表 2。

**Table 1.** Recommended table of calculation parameters for rock surface stability

**表 1.** 岩层面稳定性计算力学参数推荐表

岩层面名称	建议值			
	天然状态		饱和状态	
	C(kPa)	$\varphi(^{\circ})$	C(kPa)	$\varphi(^{\circ})$
灰黄色砂岩与灰绿色砂岩岩层接触面	18	12	16	11
泥岩岩层	29	19	27	18
灰黄色砂岩与泥岩岩层接触面	23	14	21	13

**Table 2.** Landslide stability calculation results

**表 2.** 稳定性分析计算成果表

计算区域	计算工况	稳定性系数	剩余下滑力 (kN/m)	安全系数	边坡稳定性	滑坡稳定性
1-1'剖面 (滑坡区)	天然	1.22	272.73	1.35	基本稳定	稳定
	暴雨	1.08	580.72	1.35	基本稳定	基本稳定
	地震	1.14	26.16	1.15	基本稳定	基本稳定
2-2'剖面 (斜坡 I 区)	天然	1.35	0.00	1.35	基本稳定	稳定
	暴雨	1.26	310.59	1.35	基本稳定	稳定
	地震	1.27	0.00	1.15	稳定	稳定
3-3'剖面 (斜坡 I 区)	天然	1.35	0.00	1.35	基本稳定	稳定
	暴雨	1.23	244.79	1.35	基本稳定	稳定
	地震	1.27	0.00	1.15	稳定	稳定

由于斜坡地质结构的复杂性和多样性，其稳定性计算方法还是综合采用工程地质分析比拟法、力学计算法和经验法。研究区斜坡结构具有复杂性，非一般的均质土坡，故确定其不利滑面时，未采用滑面搜索法进行确定。本工程目前已开挖形成坡高 10~18 m，且层理倾角沿坡向为 20°~23°，结合当地类似工程条件的比拟，后缘拉裂面结合地形以 3~5 倍坡高为边界起算[8] [9] (图 7)。通过各剖面稳定性计算成果可以得出：从边坡规范上判断[7]，滑坡整体在天然、暴雨工况下处于基本稳定状态，部分区段在地震工况下处于稳定状态；从滑坡规范上判断，滑坡各剖面在各工况下处于基本稳定-稳定状态。对比各剖面稳定性计算可以看出，1-1'剖面在暴雨工况下稳定性系数最小，滑坡区坡体处于最不稳定状态，定量计算分析与现阶段滑坡变形发育特征相吻合。

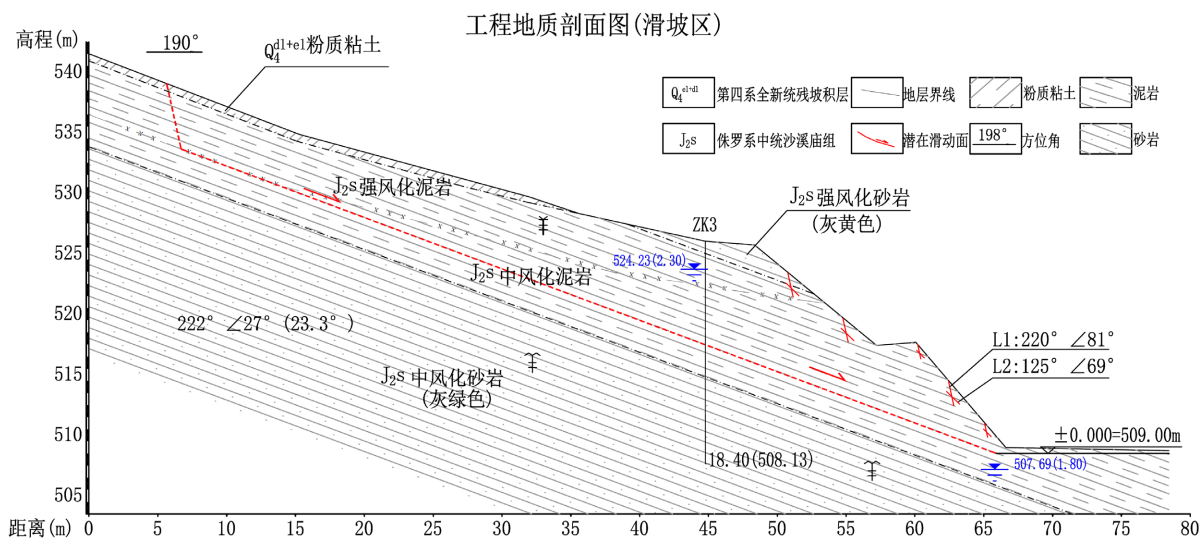


Figure 7. Engineering geological profile (landslide area)

图 7. 工程地质剖面图(滑坡区)

滑坡区滑体在天然工况下整体处于稳定状态；削坡后岩体扰动，变形迹象不明显，但岩体裂隙发育，在暴雨等其它不利工况情况下，受水的影响，滑体重度增加，滑带抗剪强度进一步降低，该滑坡极有可能出现牵引式滑动破坏，并引发滑坡范围向后扩张。

斜坡 I 区在天然工况下整体处于稳定状态，暴雨工况下处于基本稳定状态；其岩体裂隙较发育，随着时间的推移，岩体应力进一步释放，在暴雨等其它不利工况情况下，受水的影响，滑体重度增加，滑带抗剪强度进一步降低，该区极有可能出现与滑坡区一样的牵引式滑动破坏。

斜坡 II 区岩体裂隙发育，在多组结构面切割下形成不稳定块体，在斜坡坡度大，外倾结构面的影响下，极易发生掉块，崩落等局部破坏现象。

## 6. 防治措施建议

本次设计根据滑坡的特点，本工程拟采用桩板墙 + 护脚墙 + 截排水沟 + 格构(局部锚杆)护坡对该灾害点进行治理。对场地北侧滑坡区和斜坡 I 区采用桩板墙进行支护，对场地西侧斜坡 II 区采用护脚墙、格构进行支护，于坡脚、坡顶适当部位设置截排水沟。

## 7. 结论

1) 滑坡形成的原因是由于前期滑坡前缘坡脚被开挖，致使后缘坡顶产生相应的拉张应力区，进而岩体松弛形成相应的拉张裂缝，后在降雨及坡脚堆积体清除的作用下，岩体两次发生滑移。

2) 滑坡为岩质顺层小型牵引式滑坡，从现今稳定程度上划分属于活动滑坡，从发生年代上划分属于新滑坡。

3) 该滑坡已经发生过滑动，滑体中岩体破碎、裂隙发育，滑坡中裂缝发育，张开、下错明显，削坡后前缘临空，滑坡处于蠕滑变形阶段，有进一步滑动的趋势，目前滑坡区坡体在天然工况下整体处于稳定状态，在暴雨等其它不利工况情况下，该滑坡极有可能出现牵引式滑动破坏，并引发滑坡范围向后扩张。因此对其进行工程治理是十分必要的。

4) 斜坡 I 区于天然工况下处于整体稳定状态，于暴雨工况下处于基本稳定状态，在暴雨等其它不利工况情况下，该区极有可能出现与滑坡区一样的牵引式滑动破坏。斜坡 II 区岩体受多组结构面切割形成



块体, 这些由多组结构面切割形成块体在斜坡坡度大, 外倾结构面的影响下, 极易发生掉块, 崩落等局部破坏现象。

5) 根据该滑坡及斜坡特点, 对场地北侧滑坡区和斜坡 I 区采用桩板墙进行支护, 对场地西侧斜坡 II 区采用护脚墙、格构进行支护, 于坡脚、坡顶适当部位设置截排水沟。

### 参考文献

- [1] 成永刚. 公路工程斜坡病害防治理论与实践[M]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [2] 韩俊, 李晓龙, 叶常勇, 等. 南充市国道 212 线猫儿山段滑坡特征及防治[J]. 土木工程, 2019, 8(3): 605-610.
- [3] 胡余道. 铁西滑坡发生发展规律与整治工程实践[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 329-335.
- [4] 殷跃平. 长江三峡库区移民迁建新址重大地质灾害及防治研究[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [5] 蒋爵光. 铁路岩石边坡[M]. 北京: 铁道出版社, 1997.
- [6] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 32864-2016. 滑坡防治工程勘察规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [7] 中华人民共和国建设部. GB 50330-2013. 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [8] 王恭先. 滑坡防治方案的选择与优化[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增 2): 3867-3873.
- [9] 李安洪, 周德培, 冯君, 等. 顺层岩质边坡稳定性分析与支挡防护设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.