

# 某平推式滑坡形成机理及处置措施研究

李 姝<sup>1</sup>, 郑凯利<sup>1</sup>, 邹 立<sup>1</sup>, 张子晗<sup>2</sup>

(1. 四川水利职业技术学院, 四川 成都 611231;

2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘 要:**四川地区广泛分布有岩层倾角近水平的砂岩、泥岩地层,在开挖、地震、降雨等外部因素作用下,可能诱发平推式滑坡,这类典型滑坡有其特殊的成因和变形破坏特征。笔者以成都金堂县北环线某岩质路堑边坡工程为例,分析了该段滑坡变形破坏特征和形成机理,评价了不同工况下的稳定性,并结合软弱潜在滑面位置、施工作业条件等提出采用坡脚抗滑桩的处置措施。

**关键词:**平推式滑坡;软弱夹层;降雨;处置措施

中图分类号:P642.22

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2023)03-0016-04

## Study on the Formation Mechanism and Treatment Measures of a Translational Landslide

LI Shu<sup>1</sup>, ZHENG Kaili<sup>1</sup>, ZHOU Li<sup>1</sup>, ZHANG Zihan<sup>2</sup>

(1. Sichuan Water Conservancy Vocational College, Chengdu Sichuan 611231;

2. Chengdu Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610072)

**Abstract:** The sandstone and mudstone strata with nearly horizontal dip angle are widely distributed in Sichuan Province. Under the action of external factors such as excavation, earthquake and rainfall, it may induce translational landslide. This kind of typical landslide has its special causes and deformation and failure characteristics. Taking a rock cutting slope project in the north ring road of Jintang, Chengdu as an example, this paper analyzes the deformation and failure characteristics and formation mechanism of this section of landslide, evaluates the stability under different working conditions, and puts forward the treatment measures of anti-slide piles at the foot of slope considering the location of potential weak sliding surface and construction conditions.

**Key words:** translational landslide; weak rock strata; rainfall; treatment measure

## 0 引 言

伴随着经济的发展,许多公路、铁路等基础设施的建设如火如荼,修建中形成的许多边坡在降雨等诱因作用下将形成滑坡灾害<sup>[1]</sup>。在国内三峡库区和四川盆地普遍存在一类十分特殊的滑坡,这类型滑坡多发育于近水平的砂岩与泥岩互层的岩体中,且岩层倾角一般仅 3~5°,在暴雨、地震发生时易被水平推出,常被称为平推式滑坡<sup>[2]</sup>。地下水变化多数受降雨的影响,我国大量的滑坡产生均是降雨下渗引起地下水状态变化而直接诱发,其中以 1982 年万县地区云阳等地滑坡最为典型<sup>[3]</sup>。左昌虎<sup>[4]</sup>通过对万州区近水平地层滑坡的研究,提出了暴雨形成的坡体后缘内静水压

力是诱发滑坡的主要因素。杨以清<sup>[5]</sup>、王兴平<sup>[6]</sup>等对平推式滑坡治理措施、排水方案进行了探讨。

以成都金堂县北环线某岩质路堑边坡工程为例,分析该平推式滑坡的形成条件和变形破坏机理,通过稳定性计算,提出合理的处置措施,为类似的边坡工程设计及处置提供借鉴和参考。

### 1 工程概况

#### 1.1 工程基本条件

工程区为低山丘陵地貌,整体场地呈宽缓“U”形;年均降雨量 920.5 mm,74%的年份降雨量在 800 mm 以上,雨量较为丰富;施工区道路现状高程约为 420.6 m。坡体原始地貌见图 1。

边坡地表水主要为大气降水,局部低洼处有部分积水。地下水主要以覆土层上层滞水和基岩

收稿日期:2023-02-28

基金项目:四川水利职业技术学院校级课题(KY2022-25)



图1 坡体原始地貌

风化带中的裂隙水为主,主要由邻近地下水侧向补给,各地段富水性受基岩裂隙发育程度及裂隙充填物特征等因素影响。

该边坡为岩质边坡,岩体主要为侏罗系砂质泥岩,局部含泥岩软弱夹层,岩层产状  $343^{\circ}\angle 2^{\circ}$ 。岩芯呈柱状,岩质软,遇水易软化,日晒易崩解。边坡岩体发育两组节理:①节理1产状  $269^{\circ}\angle 87^{\circ}$ ,间距  $0.2\sim 0.8\text{ m}$ ,张开  $1\sim 3\text{ mm}$ ;②节理2产状  $185^{\circ}\angle 85^{\circ}$ ,倾坡外,间距  $0.3\sim 0.6\text{ m}$ ,张开  $2\sim 5\text{ mm}$ ,延伸长度  $0.3\sim 0.9\text{ cm}$ ;两组节理面均粗糙,无充填或岩屑岩块充填。边坡表部岩体风化裂隙较为发育,常形成均匀、密集、相互连通的网状风化裂隙带,风化裂隙主要沿边坡走向延伸,倾向坡外。

### 1.2 边坡开挖情况

该边坡位于北环线  $K0+160\sim K0+260$  段,为道路建设开挖形成的岩质路堑边坡(图2)。路堑边坡开挖后,场地微地貌呈台阶状,道路高程约  $425.00\text{ m}$ ;路堑边坡高约  $20\text{ m}$ ,长  $100\text{ m}$ ,坡向  $252^{\circ}$ ,呈  $2\sim 3$  级台阶状,坡度约  $40\sim 45^{\circ}$ ;路堑边坡开口线以上平台高程  $440\sim 448\text{ m}$ ,平台后缘为中陡斜坡山体,在平台后缘左侧残存有疑似拉陷槽的负地形发育。

## 2 滑坡变形破坏特征及原因分析

### 2.1 滑坡变形破坏特征

(1)浅表变形特征。据现场调查及工程地质测绘,边坡于2021年4月初步开挖形成,2021年6月降雨过后,坡体开挖后放坡平台位置出现变形裂缝(图3),坡面发生局部区域表面开裂、溜滑现象(如图4)。勘探资料显示坡体强风化层厚度

分别达到  $5.7\sim 10.0\text{ m}$ ,岩质软,加之岩体局部含有膨胀性的黏土质矿物,在强降雨或连续降雨情况下表层岩体易发生局部失稳破坏。



图2 开挖形成的路堑边坡



图3 放坡平台变形裂缝



图4 二级放坡平台失稳破坏

(2)深层滑动特征。变形破坏过程:边坡在2021年6月降雨后,在开挖管道基槽时,侧壁出现涌水现象,边坡局部开裂,坡体出现整体滑动失稳迹象。现场施工单位随即将污水管道基槽回填,并对边坡进行监测。据监测数据分析,该段边坡坡顶平台存在变形迹象,截至2021年12月8

日,平面位移量最大约 24.41 mm,沉降量最大约 12.49 mm。

通过钻孔勘察,结果表明可能形成的潜在滑坡横宽度约 100 m,纵向长度约 90 m,厚度约 20 m,方量约 18.0 万  $m^3$ ,为中型平推式岩质潜在滑坡。根据钻孔揭露,坡体内存在泥岩软弱夹层,降雨后出现岩石遇水软化,抗剪强度参数降低。同时,道路边坡及管道基槽开挖后出现临空面,存在整体发生失稳的可能。坡脚管道基槽回填和道路边坡反压施工后,各监测点数据显示变形速率逐渐变缓。

## 2.2 滑坡形成原因分析

根据现场情况分析,边坡开挖后形成滑坡的内因为:(1)该段路堑边坡地貌呈单斜地貌,降雨地表径流易发生汇聚并下渗坡体;(2)岩层为砂泥岩互层,在砂岩和泥岩交界面上有软弱夹层的存在;(3)岩体内节理裂隙的产状与路堑边坡坡向在空间上不利组合。外因为:(1)路堑、基坑开挖切坡、卸荷活动及工程扰动的影响,岩层被切断,路堑临空面给边坡变形提供了足够的变形空间;(2)工程区所在区域汛期降雨时间长,有利于地表水通过基岩裂隙入渗浸润软化层间软弱夹层,使该软弱夹层含水量增加,抗剪强度等物理力学指标进一步降低。

综上分析,该段地形地貌为单斜地貌,岩土体内砂泥岩交界面存在软弱土层,岩体内节理裂隙的产状与路堑坡坡向在空间上呈不利组合,路堑开挖切断岩体,形成临空条件。降雨时,雨水浸入岩体内部,沿裂隙汇集到软弱夹层,顺砂质泥岩与夹层接触面一带径流,并长期沿该面运移,造成接触面岩体软化,潜在滑动面附近岩体力学参数降低。在地下水产生的静水压力和扬压力作用下,坡体形成了平推移动式变形体;同时,坡前开挖使变形体前缘形成临空面,从而进一步为滑体剪出创造了条件。

## 3 滑坡处置方案

### 3.1 平推式滑坡计算模型

平推式滑坡受力作用原理图见图 5<sup>[7]</sup>,该类滑坡滑面近于水平,常在暴雨期间,受后缘岩体裂缝中充水的静水压力  $V$  和沿滑移面水头扬压力

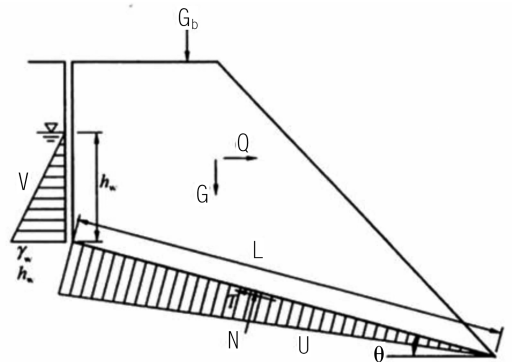


图 5 平推式滑坡受力原理图

$N$  的联合作用而被水平推出,是一类典型的降雨诱发型滑坡。

在进行治理时,滑坡体自重  $G$  可产生抗滑摩擦力,抵抗下滑力。若对前缘边坡进行削坡减载,反而会降低坡体的抗滑力,因此该类型滑坡处置时常采用抗滑桩等支挡结构进行支护。

### 3.2 稳定性计算结果

考虑天然、暴雨、地震三种工况,选取具有代表性的剖面 1-1'、2-2'、3-3' 进行计算,代表性计算剖面见图 6。采用极限平衡法进行稳定性计算,稳定性计算结果见表 1。

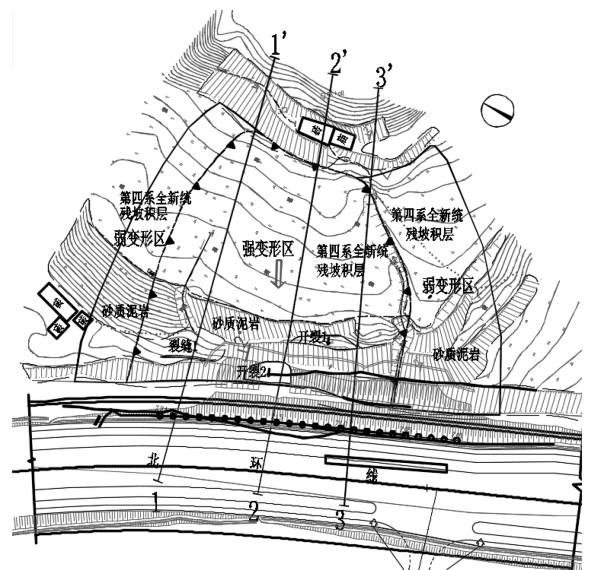


图 6 代表性计算剖面

### 3.3 处置方案设计

对于浅层表部,先对既有边坡破碎岩体进行清表,并对地表裂缝进行封堵填实,防止地表水渗入。

对于深层变形,根据勘察结果,坡体存在 3 个

潜在滑动面,通过计算分析,边坡及坡前管线沟槽开挖后,坡体在暴雨工况下安全系数小于1.2,可能沿潜在滑动面3滑动。因此,对于深层滑动,拟采用坡脚设置抗滑桩进行处置。抗滑桩设置在坡脚,桩长10 m,直径2.0 m,桩间距5.0 m,桩体配筋以该滑坡最危险工况下满足安全系数时的下滑力800 kN进行计算,处置断面见图7。

表1 稳定性计算结果

计算剖面	计算工况	下滑力 kN/m	抗滑力 kN/m	稳定性系数	稳定性评价
1-1'剖面	天然工况	4 123.3	10 444.9	2.53	稳定
	暴雨工况	5 576.3	5 689.9	1.02	欠稳定
	地震工况	4 757.6	10 440.1	2.19	稳定
2-2'剖面	天然工况	3 239.1	8 257.9	2.54	稳定
	暴雨工况	4 554.4	4 506.0	0.98	不稳定
	地震工况	3 728.2	8 254.3	2.21	稳定
3-3'剖面	天然工况	2 101.1	7 966.1	3.79	稳定
	暴雨工况	3 946.1	4 103.8	1.04	欠稳定
	地震工况	2 540.2	7 962.8	3.14	稳定

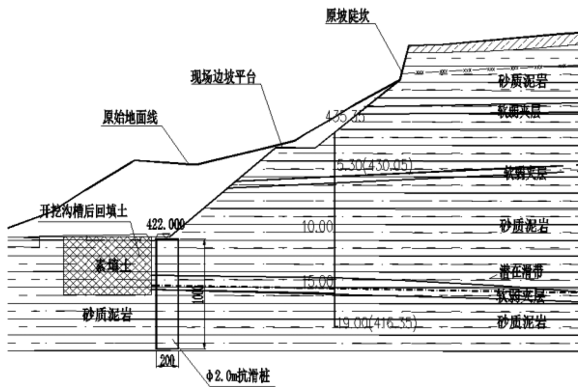


图7 坡脚抗滑桩支护方案

此外,在滑坡后缘、两侧、放坡平台及滑坡中部设置完善的截排水沟,及时引排坡体表面雨水。

#### 4 结 语

(1)平推式滑坡一般岩层倾角较缓,人工开挖

边坡形成后,临空面与岩层层面和坡体内裂隙构成不利组合,在降雨入渗后,潜在滑面层强度降低,同时在边坡后缘基岩中形成静水压力和滑面托浮力,几种原因共同作用下形成滑坡。

(2)在存在软弱夹层地层中开挖边坡,且存在岩体层面或裂隙产状与坡面存在不利组合时,建议选择非雨季施工。若无法避开,一定要加强边坡监测及坡体地表裂缝观测,一旦发现变形或开裂,应及时采取措施。

(3)在处置滑坡设计时,对滑坡体内有多个软弱夹层时,应分别评价各软弱夹层的安全性,以提出最经济、合理的处置措施。

#### 参考文献:

- [1] 张年学,盛祝平,孙广忠,等.长江三峡工程库区顺层岸坡研究[M].北京:地震出版社,1993.
- [2] 胡泽铭.四川红层地区缓倾角滑坡成因机理研究[D].成都:成都理工大学,2012.
- [3] 王少东.四川雨季滑坡规律的初步探讨[A].滑坡文集[C],北京:中国铁道出版社,1984.
- [4] 左昌虎.万州区近水平地层滑坡和堆积体成因机制与防治工程研究[D].武汉:中国地质大学,2008.
- [5] 杨光清.平推式岩质滑坡形成机理及治理措施[J].中国煤炭地质,2014,26(3):39-45.
- [6] 范宣梅,许强,黄润秋,等.四川宣汉天台特大滑坡的成因机理及排水工程措施研究[J].成都理工大学学报,2006,33(5):448-454.
- [7] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1997.

#### 作者简介:

- 李 妹(1977-),女,四川宜宾人,硕士,副教授,从事岩石力学与土力学教学和研究工作;  
 郑凯利(1981-),女,陕西宝鸡人,学士,副教授,致力于水土保持研究工作;  
 邹 立(1986-),男,四川营山人,学士,实验师,从事工作:岩土工程勘察;  
 张子晗(1990-),男,四川成都人,硕士,工程师,从事隧道、基坑设计工作。

(责任编辑:吴永红)

## 华电金沙江上游昌波水电站获核准

2023年5月24日,中国华电金沙江上游昌波水电站项目取得国家发展和改革委员会核准批复,成为国家“十四五”重点工程——金沙江上游川藏段清洁能源基地核准开工的第五个水电站。该项目位于四川省甘孜州巴塘县和西藏自治区昌都市芒康县境内,是金沙江上游水电规划“一库13级”开发方案中的第11级电站,工程总投资141.26亿元,总装机容量82.6万千瓦。

(摘自《北极星电力网》)