



## 古滑坡辨识与复活机理研究

林灿阳

(福建省水文地质工程地质勘察研究院, 福建 漳州 363000)

**摘要:** 如何系统地认识、判别古滑坡, 避免将古滑坡误判为新近滑坡进行治理导致治理工程的失败一直是工程实践中的难题。文章从地形地貌、地质条件和变形迹象等方面系统地阐述了古滑坡的辨识技术, 研究总结几种常见的古滑坡复活的类型, 厘清了古滑坡复活机理, 以某公路工程为例, 介绍了因公路建设从古滑坡体前缘经过造成古滑坡体复活形成超大型滑坡, 并通过分析滑坡的变形和稳定状况成功地治理了该滑坡。研究成果表明: 重视古滑坡的危害, 正确认识古滑坡的变形机制, 并采用有针对性的工程治理措施, 是取得古滑坡治理成功的关键。

**关键词:** 古滑坡; 滑坡复活; 辨识技术; 复活机理; 滑坡整治

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)11-0088-07

doi:10.13402/j.gcjs.2025.11.143

## Research on reviviscence analysis and recognition technology of ancient landslide

LIN Canyang

(Investigation Institute of Hydrogeology and Engineering Geology of Fujian Province, Zhangzhou 363000, Fujian, China)

**Abstract:** Ancient landslide is treated as modern landslide which result in unsuccessful treatments due to its concealment and scale, so it has always been a conundrum in the identification of ancient landslide. According to the characteristics of geomorphology, geologic conditions and deformation evidences, identification technologies of ancient landslide are introduced, moreover, some conventional revival cases and their resurgent mechanisms of ancient landslide are studied and summarized. Ultimately, took some large-scale ancient landslide as an illustration, the landslide's toe was cut and relived owing to the construction of some highway engineering, nevertheless, stability analysis and targeted treating measures are carried out intimately on the basis of deformation and stability conditions, the landslide is treated successfully at last. Study achievements of this paper indicates necessary attentions should be paid for ancient landslide so that its deformation mechanisms could be understood and counter-measures could taken correspondingly which are crucial for ancient landslide treatment.

**Key words:** ancient landslide; landslide revival; identification technology; resurgence mechanism; landslide treatment

因古滑坡具备难以辨识、变形复活后治理难度大、治理费用巨大的特点, 给工程建设造成了巨大的困扰。因此, 正确认识古滑坡复活的诱因和变形机制, 才能采用针对性的治理措施, 消除滑坡隐患。

滑坡辨识系在具体的地质勘察工作之前, 通

过野外现场踏勘、调查, 根据坡体当前的地形地貌、水文特征、地表岩土层出露情况、岩土层物质组成及其特征、坡面和周围建构筑物的变形和破坏迹象等调查资料, 并结合一定的内业分析, 对滑坡的变形范围、规模、特征等作出初步的判断, 对有经验的工程技术人员作出此类判断是可

收稿日期: 2025-04-21

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2022J01155)

作者简介: 林灿阳(1985—), 男, 高级工程师, 从事岩土工程专业技术和地质灾害治理研究工作。

靠的, 可为后续工程建设提供可靠的依据<sup>[1-3]</sup>。郑颖人等<sup>[4]</sup>对滑坡支挡加固结构的计算与应用进行了详细的分析。韩旭东等<sup>[5]</sup>提出了小基线集雷达干涉技术解译、地质力学联合分析、动力过程数值模拟分析三者相结合的滑坡变形早期判识与风险评估全流程分析模型。张永双等<sup>[6]</sup>等综合大量地面调查、遥感解译和年龄测试资料, 总结了青藏高原东缘深切河谷区古滑坡的判识方法、主要发育特征、形成时代和分布规律。王伟等<sup>[7]</sup>研究发现降雨是诱发古滑坡复活变形的主要原因且变形后滑体整体成刚性滑坡, 研究成果与传统滑坡采用的刚体极限平衡分析法较一致。尚颜军等<sup>[8]</sup>采用多种技术手段揭示了区域地质构造作用下, 地震始发和强降雨诱发是造成古滑坡复活的综合因素。宋琨等<sup>[9]</sup>根据多年的监测数据分析深层古滑坡变形机制。上述研究方法对古滑坡的辨识均有一定的参考性, 但实操性一般。陈鸿等<sup>[10]</sup>分析了不同工况下古滑坡开挖前后的稳定性, 并提出以抗滑桩为主要支挡措施的滑坡治理方案。马定乐等<sup>[11]</sup>研究发现老滑坡体加断层破碎带的影响导致工程滑坡成因机理更为复杂, 提出了抗滑桩结合锚固工程的滑坡治理措施。抗滑桩是新近大型滑坡和古滑坡治理的有效措施<sup>[12-14]</sup>。

前人对古滑坡的辨识和治理的研究已经较为深入, 但所采用的方法局限性太大, 未形成系统性的分析方法。因此, 本文将系统研究如何从地形地貌、地质条件和变形迹象等因素辨别古滑坡, 总结几种常见的古滑坡诱发变形机理, 并以某大型公路古滑坡为例, 通过分析其成灾机理后在滑坡中部和前部各设置一排预应力锚索抗滑桩为主要整治措施进行治理, 同时辅以锚索框架梁等措施成功治理该大型古滑坡, 以期可为类似大型古滑坡的认识与治理提供借鉴和参考。

## 1 古滑坡辨识

进行古滑坡调查需经过现场谨密调查, 结合已有资料作出正确的判断。对古滑坡的辨识, 可从地形地貌、地质条件和变形迹象 3 个主要方面进行分析和评价。

### 1.1 地形地貌

地形地貌的调查需远近相结合, 在调查区域

的对面选择合适的位置对滑坡全貌作一个总体观察, 再进入调查区域进行微地貌调查, 总体和局部相互佐证, 得到可靠的结论。典型古滑坡地貌如图 1 所示。

#### 1.1.1 地形紊乱

边坡区域范围内等高线紊乱, 且与边坡两侧等高线变化规律明显不一致, 由此可推断该边坡历史上经过多次的滑动变形或多次经过人类建设活动的影响, 从而改变了其与周围地形的一致性。

#### 1.1.2 后部陡壁(坎)

正常的地壳运动可能造成陡壁(悬崖)类地形, 但其周围地形一般无明显异常; 古滑坡在其经历最后一次滑动变形而达到稳定状态后, 后缘将形成一个明显的下错陡坎, 滑坡规模越大, 陡坎越明显; 虽然随着时间推移, 陡坎高度可能逐渐剥蚀降低, 但通过现场仔细调查依然可辨认真。

#### 1.1.3 负(凹)地形

古滑坡在平面上一般呈“圈椅”或“簸箕”状, 曾经的滑动变形破坏了坡面原有的平顺性, 这是由于裂缝贯通后滑体向前移动、下错, 使滑动边界内地形一般低于边界以外地面, 在滑体与不动体交界处可形成环状低洼状或“马鞍状”等负地形。

#### 1.1.4 陡缓相间地貌

古滑坡规模一般较大, 变形体从几十万到几百万甚至上千万立方均有可能, 历史上多次发生滑动变形, 每一次变形直接牵引其后部山体的变形滑动, 总体呈多级多次滑动, 而每一次滑动变形的规模不尽相同, 每一次变形将形成一个较大的缓坡平台, 在貌上除上述后缘陡坎外, 滑坡周界内各级陡坎高度相对较小, 由此在地貌上形成多级陡缓相间地貌。

#### 1.1.5 冲沟发育

古滑坡每一次整体或局部的变形滑动, 使得滑动周界内发育有多条冲沟, 各冲沟顶部位于最后一道陡坎附近, 顺着坡面向坡脚延伸, 呈“多沟同源”的地貌。

#### 1.1.6 前缘凸出

与滑体周界以外对比, 滑坡前缘明显前凸, 这是由于滑坡多次变形向前部临空面滑动的结果, 且

除非前缘有完整基岩阻挡,一般前缘凸出宽度大。

#### 1.1.7 阶地缺失

古滑坡前部通过河流进,若滑坡在河流阶地形成以后发生,将导致河流阶地的破坏、缺失,沿着滑坡两侧的河流调查可发现,同一级阶地在滑坡周界内外将发生明显的位移甚至缺失;此外滑坡区域内河岸两侧岩层产状明显不一致,也是发生古滑坡的判别依据。

#### 1.1.8 坡面植被

古滑坡周界内的植被与周界外的坡面植被生长情况亦有明显区别,如大面积的“醉汉林”或“马刀树”均可作为古滑坡判定的证据。

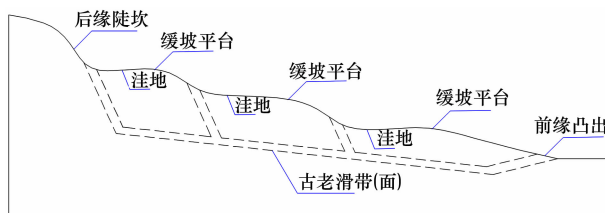


图 1 典型古滑坡断面

### 1.2 地质条件

边坡地质条件主要包括地层岩性、地质构造、水文地质等。

#### 1.2.1 地层岩性

滑坡易在软弱岩性产生,代表岩性有泥岩、泥岩与砂岩互层、煤系地层构造发育,此类岩层发育有层面、片理面等优势性软弱结构面,坡体易沿此类软弱结构面发生滑动变形,变形体规模取决于软弱结构面的位置与深度,一般情况下,具有顺倾软弱结构面的坡体发生滑动变形的规模较大。

此外,坡残积风化层(如花岗岩、凝灰岩等)可达几十至上百米,风化层内风化不均匀,层内含有大量的黏土、风化核(球)体等,软硬不均,发生滑动变形时其规模亦较大。

#### 1.2.2 地质构造

地质构造是判断古滑坡的重要基础条件,滑坡规模的大小,很大程度上取决于构造的发育状况;坡体破碎、节理裂隙发育的边坡更易产生滑坡,多组优势结构面(层面)组合,为滑坡的多次变形创造了条件,断层破碎带往往位于大规模古滑坡的后缘陡壁;若整个滑坡位于大型构造破碎带中,则可能造成古滑坡群的发生。

具有顺层构造的坡体中,常发生沿基岩面的顺层滑坡,基岩面以上的风化层厚度则决定了滑坡的规模与变形历史,此类基岩面一般埋深较大,需经过多次变形牵引才能沿基岩顶面发生滑动。

岩土体的风化程度、破碎情况和优势结构面(不利)的发育程度及其之间的空间形态分布与组合,是古滑坡产生的重要地质条件,也是分析古滑坡的变形趋势与稳定状态的重要依据。

#### 1.2.3 水文地质

坡面水系(冲沟)发育、泉眼出露、落水洞等,坡脚泉水出露可作为滑坡变形历史判断依据,地表水系(冲沟)发育说明滑坡经过多次变形,滑坡体后部的地表水系流经冲沟,即“多沟同源”,最终形成地表水系;泉眼(水)出露说明了由于滑坡的变形造成原有地下水通道被阻碍或阻断导致水流不通,从而坡面低洼临空出渗出;落水洞则系由于坡体滑动、坡面沿着坡体原来的地下水通道或空洞凹陷、沉降,最终形成垂直的过水通道;上述水系地质现象是滑坡的多次反复变形的后果,而在新近滑坡中较难发现。

此外,由于古滑坡的负地形地貌,降雨后,雨水汇集于坡面低洼处,坡面常发育有芦苇、竹子、杜鹃花等喜水植物。

### 1.3 变形迹象

根据工程滑坡的分类可知,古滑坡系由于人类新近建设活动引起的,当工程建设需要在滑坡前部或中部开挖山体,由于新的边坡防护不及时或防护无法平衡挖除后山体的力学平衡将产生边坡滑坡,进而向上逐级牵引引起更大的山体变形,随着变形加剧,滑坡后缘拉裂下错、两侧裂缝贯通、滑面向下发展至原有的滑面位置、整个滑体向下滑动挤压,在前缘形成明显的剪出口甚至反翘隆起,至此古滑坡完全复活;当工程建设在滑坡上部时,引起推移式滑坡,其变形发展特征亦如此,所不同的是其变形顺序由上往下发展。

在古滑坡变形过程中,表面裂缝容易调查发现,后缘和前缘亦较明显,但深部位移较难明确,需要有经验的工程技术人员在内业资料整理分析时进行滑面勾勒;由于滑面的深度直接关系着古滑坡体的复活情况和变形规模,当需要进行古滑

坡治理时，则应通过深部位移监测确定滑面位置。

## 2 古滑坡复活机理

在没有外界不利因素干扰下，古滑坡在很长一段时间均处于暂时稳定状态。当工程建设在滑坡后部堆载、中前部开挖、滑体内部洞室开挖、持续强降雨导致地表地下水未能及时排泄而富集于坡体内部、水流冲蚀河岸和地震等不利因素影响下，滑坡体原有力学平衡条件遭到破坏，容易造成古滑坡的复活，滑坡的复活可能是部分也可能是整体的，滑坡复活后将产生新的滑坡次生灾害。

### 2.1 上部堆载诱发

当工程建设从古滑坡体上部通过时(图2)，上部堆载引起的推移式滑坡亦可诱发古滑坡的复活；堆载破坏了已自稳的古滑体的力学平衡条件，不但加大了潜在滑体的规模和下滑力，同时因为变形启动也降低了抗滑力，相当于人为减少了古滑坡的安全系数。堆载的位置和堆载的大小决定着滑坡的复活程度。

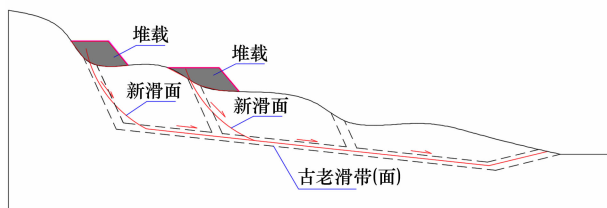


图2 堆载引起古滑坡复活

### 2.2 中前部开挖诱发

当工程建设从原有古滑坡体中下部通过时(图3、4)，人工开挖边坡引起的牵引式滑坡，可诱发古滑坡的复活；中前部开挖形成临空面，使原有滑面裸露，各级滑体坡前被动土体减少，抗滑力大大减少，滑体前部剪出口失去有效支挡，滑坡稳定系数随之降低从而产生滑移，不同开挖位置引起的滑坡复活程度亦不相同。

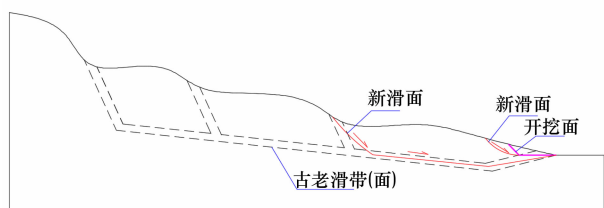


图3 前部开挖引起古滑坡复活

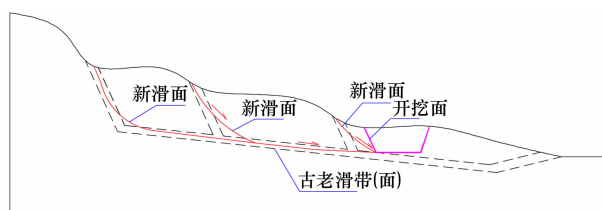


图4 中部开挖引起古滑坡复活

### 2.3 地下洞室开挖诱发

当地下洞室部分或全部穿过滑面时(图5)，在滑面位置形成新的临空面，滑面前部无支撑，地下洞室开挖引起的滑体变形复活与中前部开挖机理相似，地下室开挖的部位位于滑面位置，使得滑面裸露，且滑面前部有效被动土体支撑力减少，滑体力学平衡破坏后，抗滑力小于下滑力，从而引发古滑坡复活变形。

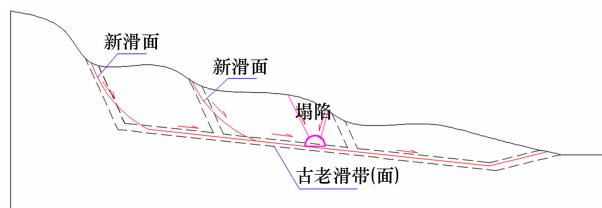


图5 地下洞室开挖引起古滑坡复活

### 2.4 持续降雨诱发

由于古滑坡坡面水系发育，裂缝、落水洞较多，持续强降雨情况下，地表水沿裂缝或落水洞入渗坡体内部，坡体含水率相应增加，加大了潜在滑体的重量即增加下滑力；坡体含水率增加后，边坡岩土体抗剪强度亦将随之减少，安全系数亦大幅度减少；降雨入渗至坡体内部后将使孔隙水压力加大，静水压力亦加大，有利于滑体滑动变形；在持续外部水源补给下，地表水可入渗至滑带造成滑带土软化而滑动(图6)，从而触发古滑坡的复活，降雨的持续性和强度，将直接决定滑坡的复活规模。

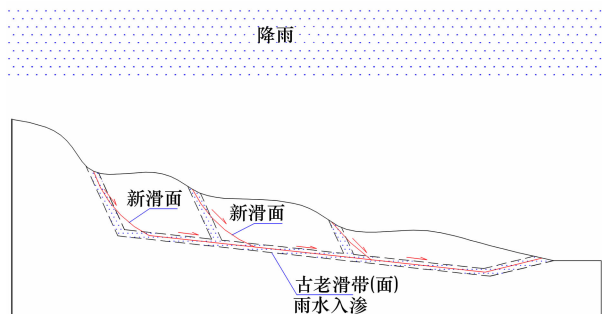


图6 降雨引起古滑坡复活

### 3 工程实例

#### 3.1 项目概况

某公路工程从古滑坡前缘开挖通过,造成古滑坡复活,滑动体主轴长度约为 300 m、宽度约为 200 m,平均厚度约为 22 m,总体积约为 130 万  $\text{m}^3$ ,滑坡主轴断面如图 7 所示,属超大型古滑坡地质灾害。滑坡场区地质构造复杂多变,岩体整体呈破碎状,风化深度大,主要岩性为泥质粉砂岩;根据现场踏勘和监测资料分析该古滑体共有三级错台,两层滑面、浅层滑面位于强风化层内、深层滑面主要位于强风化与弱风化层分界处。滑带岩土体成分复杂、排序无规则、具有明显挤压搓揉状,黏粒含量较高、呈可塑~软塑状,滑面处有明显擦痕。

#### 3.2 滑坡稳定性分析

滑坡后缘下错裂缝、两侧羽状裂缝、前缘剪出口较明显,但尚未完未贯通,根据滑坡变形现状,可知滑坡处于滑动变形阶段但尚未到剧滑阶段,为扼制滑坡进一步变形,采用坡脚反压的应急抢险措施。对主轴断面进行稳定性反算分析,根据滑坡专项勘察成果资料及反算成果修正得岩土体参数如表 1 所示。滑坡稳定性分析采用更为严格的刚体极限平衡法即 Morgenstern-Price 法(同时满足力和力矩的平衡条件,适用于任意滑面的滑坡),Morgenstern-Price 法假定土条垂直剪力与

法向作用力之间的关系,并使用 Newton-Raphson 迭代法进行迭代以求解最优解,稳定性计算采用 geostudio 软件的 slope 模块进行分析计算。本工程以深层滑面为控制滑面,得到滑坡当前稳定系数为 1.011、1.003、0.976(图 8~10),稳定系数介于 0.95~1.05,说明滑坡处于挤压~滑动阶段,尚未进入剧滑阶段,需及时进行滑坡治理,避免滑坡规模进一步扩大。

表 1 主要岩土体参数值

| 岩土层  | 容重/<br>( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 饱和容<br>重重度/<br>( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 抗剪强度        |                         |
|------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------|-------------------------|
|      |                                          |                                                  | 黏聚力/<br>kPa | 内摩擦<br>角/( $^{\circ}$ ) |
| 坡残积土 | 19.5                                     | 20.0                                             | 20.0        | 25.0                    |
| 强风化岩 | 22.0                                     | 22.5                                             | 30.0        | 32.0                    |
| 弱风化岩 | 23.0                                     | 23.5                                             | 45.0        | 45.0                    |
| 微风化岩 | 25.0                                     | 25.2                                             | 100.0       | 80.0                    |
| 牵引段  | 18.0                                     | 18.5                                             | 5.0         | 25.0                    |
| 主滑段  | 20.0                                     | 20.5                                             | 10.0        | 15.0                    |
| 抗滑段  | 20.0                                     | 210.5                                            | 15.0        | 20.0                    |

#### 3.3 治理措施

由于古滑体规模大、变形机理复杂,在对坡面裂缝进行回填夯实和坡脚应急反压后;永久治理时,在一级坡设置矮挡墙;在二级平台设置一排预应力锚索抗滑桩,桩长度为 24.0 m、截面尺寸为 2.0 m $\times$ 2.5 m、锚索长度为 40.0 m、锚固段长度为 12.0 m、设计拉力为 1 500 kN、锁定荷载为

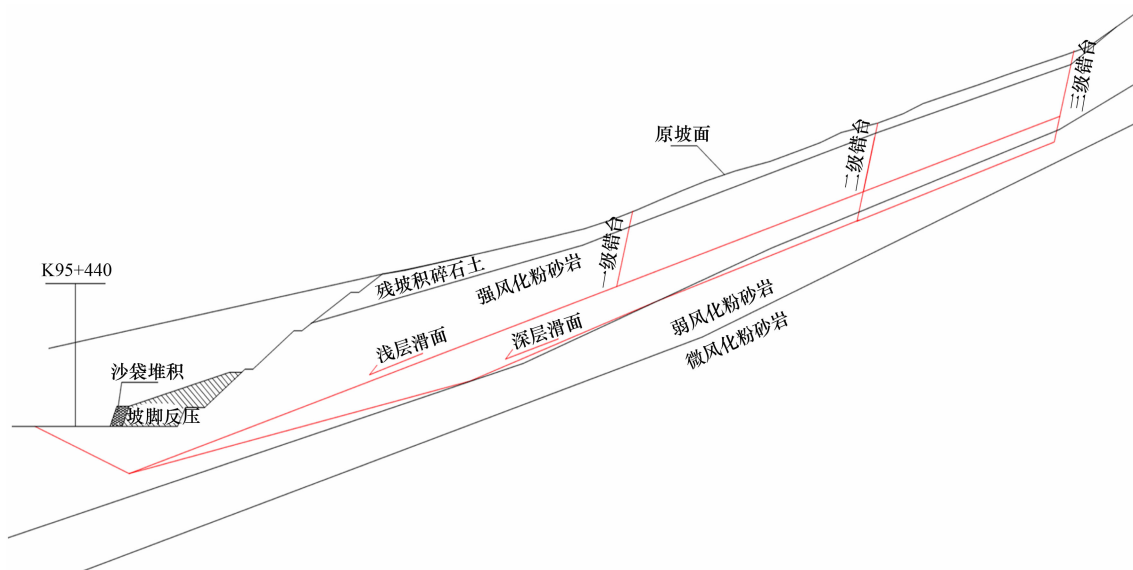
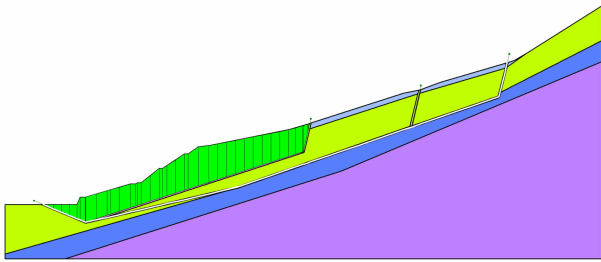
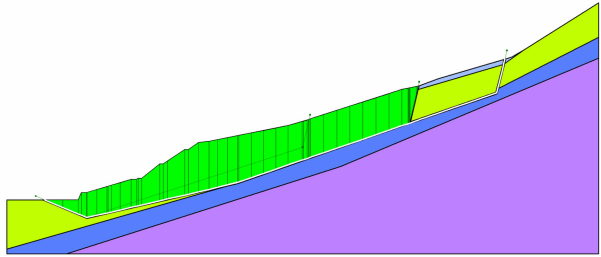
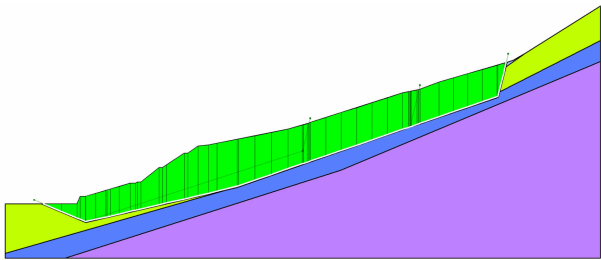


图 7 K95+440 滑坡主轴断面



图 8 一级滑面稳定系数  $F_s = 1.011$ 图 9 二级滑面稳定系数  $F_s = 1.003$ 图 10 三级滑面稳定系数  $F_s = 0.976$ 

1 000 kN；三~四级坡面设置预应力锚索框架、锚索长度为 42.0~52.0 m、锚固段长度为 12.0 m、设计拉力 1 000 kN；在一级下错裂缝后缘设置一排预应力锚索抗滑桩、桩长度为 36.0 m、截面面积为  $2.4 \text{ m} \times 3.6 \text{ m}$ 、锚索长度 ( $L$ ) 为 42.0 m、锚固

段长度为 ( $L_0$ ) 12.0 m、设计拉力为 1 500 kN、锁定荷载为 1 000 kN；同时辅以地表地下排水措施。滑坡主轴断面治理设计如图 11 所示，根据拟采用工程治理措施后，通过稳定性分析得滑体稳定系数提升至 1.344、1.278、1.202，如图 12~14 所示，稳定系数满足设计与规范的相关要求。

该滑坡经治理后，施工期及工后监测未发现进一步变形迹象，说明处于稳定状态，古滑坡病害得以根治。

#### 4 结 论

古滑坡是一种常见的地质灾害，由于其发生年代久远、隐蔽性强，历史上经过多次变形滑动、规模大，如何准确识别古滑坡并进行治理一直以来都是山区工程建设活动中的难题。本文基本古滑坡的特点和治理取得了一定的成果，可得出结论如下。

(1) 古滑坡辨识应从古滑坡特有的地形地貌特征、地质条件和变形迹象等因素综合判断。地形地貌是认识古滑坡的关键，通过地形地貌可筛选疑似古滑坡病害，再借助地质条件和变形迹象特征可准确辨识古滑坡，为工程选址或古滑坡治理提供可靠依据。

(2) 诱发古滑坡复活的因素较多，在古滑体上部堆载和中前部开挖、古滑体内部地下洞室开挖、持续强降雨是诱发古滑坡复活变形的主要因

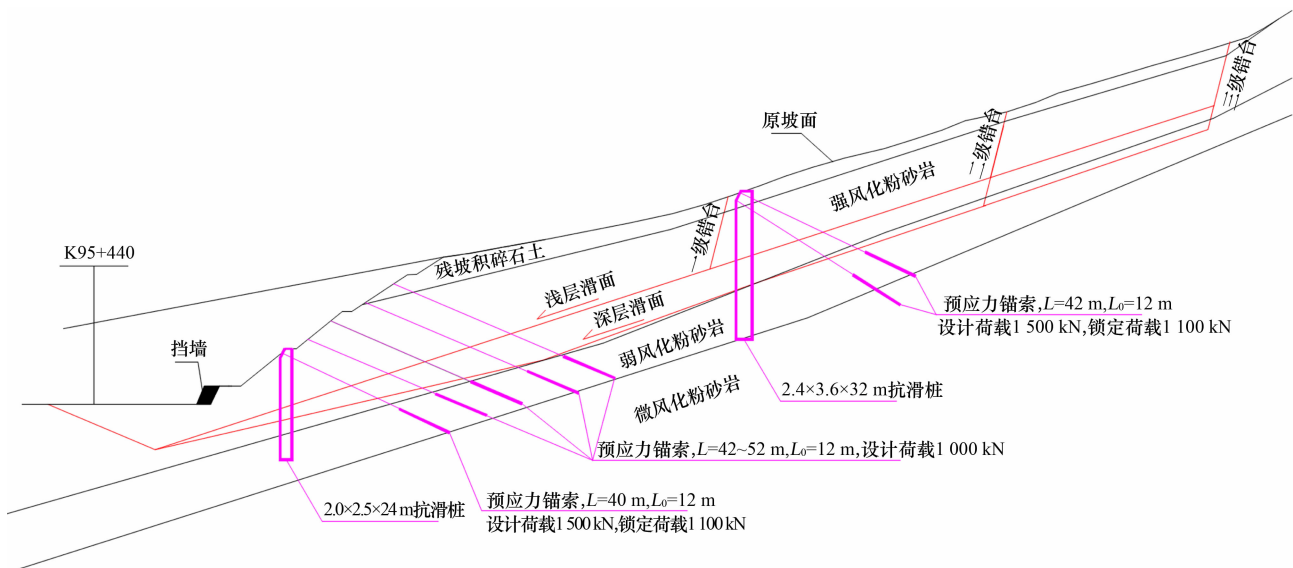


图 11 滑坡主轴断面治理设计

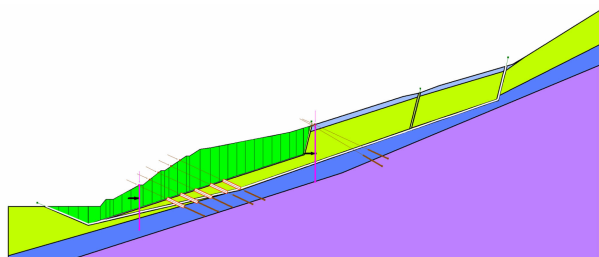


图 12 一级滑面治理后稳定系数  $F_s = 1.344$

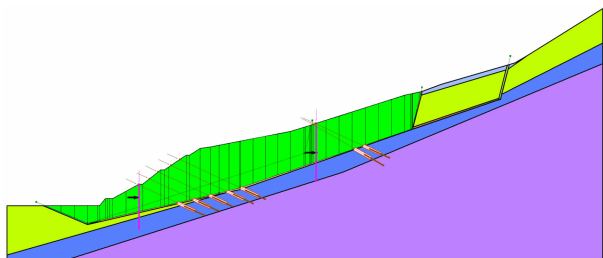


图 13 二级滑面治理后稳定系数  $F_s = 1.278$

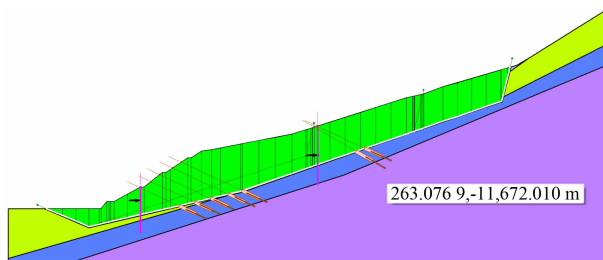


图 14 三级滑面治理后稳定系数  $F_s = 1.202$

素,不同情况下诱发的古滑坡变形规模亦不尽相同,须从滑坡的变形特征分析滑坡复活的诱因,切忌将古滑坡当成新近滑坡进行治理。

(3) 古滑坡复活后一般具有多级多层滑动的特点,应根据滑坡的变形特征分析其变形阶段和当前稳定状况,以最深层不利滑面作为控制滑面进行反演分析;滑坡整治时,可在其中前部设置大型抗滑支挡结构(如锚索抗滑桩、重力式挡土墙等),并在滑体其他部位设置锚固工程和排水工程进行综合治理。

## 参考文献:

[1] 黄润秋,许强.中国典型灾难性滑坡[M].北京:科

学出版社出版,2008.

- [2] 徐邦栋.滑坡分析与防治[M].北京:中国铁道出版社,2001.
- [3] 王恭先.滑坡学与滑坡防治技术[M].北京:中国铁道出版社,2004.
- [4] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等.边坡与滑坡工程治理(第二版)[M]北京:人民交通出版社,2010.
- [5] 韩旭东,付杰,李严严,等.舟曲江顶崖滑坡的早期辨识及风险评估研究[J].水文地质工程地质,2021,48(6):180-186.
- [6] 张永双,刘筱怡,吴瑞安,等.青藏高原东缘深切河谷区古滑坡:辨识、特征、时代与演化[J].地学前缘,2021,28(2):94-105.
- [7] 王伟,王卫,戴雄辉.四川美姑拉马阿觉滑坡复活特征与影响因素分析[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(4):9-17.
- [8] 尚彦军,金淮浚,伊学涛,等.新源县加朗普特特大型滑坡地质结构探测及老滑坡影响综合研究[J].工程地质学报,2022(30)3:760-771.
- [9] 宋琨,陈伦怡,刘艺梁,等.降雨诱发深层老滑坡复活变形的动态作用机制[J].地球科学,2022,47(10):3665-3676.
- [10] 陈鸿,吴娟.古滑坡开挖稳定性分析及治理研究[J].山东理工大学学报(自然科学版),2022,36(4):65-70.
- [11] 马定乐,万琪,晏长根,等.老滑坡和断层影响下滑坡特征及处治措施研究[J].防灾减灾学报,2021,37(2):18-24.
- [12] 曾毅,左文贵,谭婧.米易县某滑坡成因机制及其稳定性分析[J].工程建设,2018,50(7):51-56.
- [13] 黄良洁,常晋沙.某高速公路高边坡滑坡加固抗滑桩施工技术[J].工程建设,2019,51(3):60-64.
- [14] 吴阿龙,董晨辉,邓友生,等.悬臂双排抗滑桩边坡治理综述[J].工程建设,2024,56(1):1-7.