

软土高边坡滑坡特性及成因分析与处治措施研究

朱俊俊

河南交投检测认证有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 软土高边坡滑坡特性与成因复杂,本文详细分析了变形发育、破坏运动形式、时序演化规律及独有特征,指出软土特性与外部因素共同作用导致滑坡。内在成因包括物质组成缺陷、物理力学性质弱化等,外在成因涉及水文、地形、植被及人为活动。针对滑坡问题,提出了坡面防护、土体加固、排水导水及坡体支护等处治措施,旨在为软土高边坡滑坡防治提供科学依据,保障工程安全。

关键词: 软土高边坡; 滑坡特性; 成因分析; 处治措施

引言: 软土高边坡在工程建设中广泛存在,其稳定性直接关系到工程安全与运营效益。软土具有高含水率、高压缩性、低抗剪强度等特性,使得高边坡在外部因素作用下易发生滑坡灾害。滑坡不仅会造成经济损失,还可能危及人员安全。因此,深入研究软土高边坡滑坡特性及成因,探索有效的处治措施,对于预防滑坡灾害、保障工程安全具有重要意义。

1 软土高边坡滑坡特性

1.1 滑坡变形发育特征

软土高边坡滑坡变形发育与软土自身物理力学性质及外部作用密切相关,呈现出明显的阶段性与层次性^[1]。变形多起始于坡体表层,随着作用因素持续影响,逐步向深层延伸拓展。表层变形以坡面蠕动、裂缝发育为主,初期表现为坡面土体的轻微鼓胀与位移,随后逐渐形成连贯的裂缝体系,裂缝延伸方向与边坡走向基本一致。深层变形则伴随滑裂面的形成与发展,软土的高压缩性的低抗剪强度使得滑裂面扩展速度与深度受外界条件影响显著,开挖扰动与雨水入渗都会加快变形进程,导致坡体内部应力状态不断调整,最终形成贯穿性滑裂面,引发整体变形加剧。

1.2 滑坡破坏运动形式

软土高边坡滑坡破坏运动形式受软土介质特性制约,以滑移式运动为主要表现,同时伴随蠕变、坍塌等辅助运动形式。滑移式运动依托形成的滑裂面开展,坡体沿滑裂面产生定向移动,移动过程平缓且持续时间较长,受软土黏滞性影响,运动速度呈现非线性变化。蠕变运动贯穿滑坡破坏全过程,软土在长期应力作用下发生缓慢变形,变形量随时间累积,当累积变形达到临界值时,会触发滑坡破坏。坍塌运动多发生于坡体前缘或坡面陡峭区域,因软土强度不足以支撑自身重量,在重力作用下发生局部土体脱落、下坠,进一步加剧整体滑坡破坏程度。

1.3 滑坡发育时序演化规律

软土高边坡滑坡发育时序演化具有明确的阶段性规律,可划分为初始变形、加速变形与破坏三个核心阶段。初始变形阶段持续时间较长,坡体变形速率缓慢,主要表现为表层土体的轻微位移与微小裂缝发育,此时坡体整体处于相对稳定状态,仅局部出现应力集中现象。加速变形阶段由外部因素触发,降雨入渗、开挖扰动等都会打破坡体原有平衡,导致变形速率显著提升,裂缝快速延伸并贯通,坡体内部滑裂面逐步形成,变形范围不断扩大。破坏阶段是时序演化的最终阶段,坡体变形达到极限,滑裂面完全贯通,坡体沿滑裂面发生整体性滑动,最终形成稳定的滑坡形态。

1.4 软土介质主导的滑坡独有特征

软土介质的独特物理力学性质决定滑坡具有区别于其他类型滑坡的独有特征。软土高含水率、高压缩性使得滑坡变形具有显著的时间效应,变形过程缓慢且持续,受外界扰动后恢复能力极差。低抗剪强度与高黏滞性导致滑坡滑裂面多形成于软土层内部或软土与下伏岩层接触面,滑裂面形态平缓,滑动阻力较小。软土颗粒细小且渗透性差,雨水入渗后难以快速排出,会进一步降低土体强度,加剧滑坡发育,形成“雨水软化-强度衰减-变形加剧”的恶性循环。此外,软土的触变性使得滑坡在受到扰动后,强度会急剧下降,易引发突发性滑坡破坏,这一特征也成为软土高边坡滑坡区别于其他岩土类型滑坡的核心标志。

2 软土高边坡滑坡内在成因

2.1 软土物质组成与结构缺陷

软土物质组成与内部结构特性是引发高边坡滑坡的基础内在因素,其成分构成与结构状态直接决定坡体稳定性水平^[2]。软土主要由黏粒、粉粒等细颗粒物质构成,富含蒙脱石、伊利石等亲水性黏土矿物,这类矿物颗粒

表面具有强烈吸附水能力,易导致土体结构松散。软土内部存在大量孔隙,孔隙结构多呈现不规则分布,且连通性较差,使得土体整体结构强度偏低,抗变形能力不足。同时,软土形成过程中易出现层理、裂隙等原生结构缺陷,这类缺陷会成为应力集中区域,削弱土体整体性,在外界轻微扰动下,极易发生结构破损,进而诱发坡体变形滑坡。

2.2 软土物理力学性质弱化效应

软土物理力学性质的先天不足及弱化趋势,是滑坡发生的核心内在诱因。软土普遍具有高含水率、高孔隙比的物理特征,水分填充于土体孔隙中,会降低颗粒间黏结力,导致土体抗剪强度大幅下降。随着时间推移,软土在长期自重应力与外部荷载作用下,物理力学性质会进一步弱化,压缩性持续增大,抗剪强度逐步衰减。水分的迁移与蒸发会引发土体干缩、湿胀交替,破坏土体原有结构,加剧力学性质恶化,使得软土难以支撑坡体自身重量,最终导致坡体失稳滑动。

2.3 坡体内部应力分布失衡

坡体内部应力分布失衡是软土高边坡滑坡的重要内在驱动因素,应力状态的异常变化会直接打破坡体原有平衡。软土高边坡自身重力作用会形成竖向应力,坡体表层与内部应力分布存在明显差异,表层应力集中现象更为突出。软土低弹性模量特性导致应力传递能力较弱,易在坡体转折处、坡脚等部位形成应力集中区域,这类区域土体受力超出自身承载极限时,会发生塑性变形。此外,软土的高压缩性会导致坡体在应力作用下产生不均匀沉降,进一步加剧应力分布失衡,促使滑裂面形成与扩展,最终引发滑坡。

2.4 岩土体长期流变作用

软土岩土体的长期流变作用是滑坡发生的关键内在因素,流变特性会导致坡体变形随时间持续累积。软土在长期恒定应力作用下,会发生缓慢的流变变形,这种变形具有不可恢复性,且变形速率随时间呈现阶段性变化。流变过程中,软土颗粒会发生缓慢位移、重新排列,导致土体结构进一步松散,抗剪强度持续降低^[3]。长期流变会使坡体内部变形不断累积,当变形量达到坡体稳定临界值时,会打破原有平衡状态,引发坡体整体性滑动,且流变作用持续时间越长,滑坡发生的可能性越大。

3 软土高边坡滑坡外在成因

3.1 水文环境条件作用

水文环境条件变化是诱发软土高边坡滑坡的最主要外在因素,水分作用直接改变软土物理力学性质与坡体受力状态。降雨是水文作用的核心表现形式,雨水入渗

会填充软土内部孔隙,稀释颗粒间黏结物质,降低土体抗剪强度与整体性。雨水在坡体内部形成渗流,产生渗透压力,打破坡体原有应力平衡,加速滑裂面扩展。地下水位升降同样影响显著,水位上升会使软土处于饱和状态,进一步弱化力学性能,水位骤降则会导致坡体有效应力重新分布,引发土体收缩变形,增加滑坡风险。

3.2 地形地貌条件制约

地形地貌条件通过影响坡体受力状态与水分分布,间接诱发软土高边坡滑坡。边坡坡度与高度是关键影响因素,坡度越陡、高度越大,坡体自重产生的下滑力就越大,软土难以承受该类荷载,易发生变形失稳。一般来说,坡度大于30°、高度超过20m的软土高边坡,滑坡发生的概率会显著增加。坡体形态也会改变应力分布,坡脚转折处、坡面凸起部位易形成应力集中,长期作用下会导致土体破损。此外,区域地貌单元差异会影响雨水汇流与排泄,汇流集中区域易出现雨水淤积,加剧软土软化,而排水不畅则会使水分长期滞留坡体内部,持续弱化土体强度。

3.3 地表植被覆盖影响

地表植被覆盖状况对软土高边坡稳定性具有显著调控作用,覆盖不当会成为滑坡外在诱因。植被根系可固定表层土体、减缓雨水冲刷,但植被覆盖率过低时,坡面缺乏保护,雨水直接冲刷坡面会破坏土体结构,加剧水土流失,导致坡体表层失稳。植被过度生长会增加坡体自重,且根系生长过程中可能破坏软土原有结构,形成微小裂隙,为雨水入渗提供通道。植被枯萎腐烂后会产生有机质,改变软土酸碱度,间接弱化土体黏结力,增加滑坡发生概率。

3.4 外部人为活动干扰

外部人为活动干扰是引发软土高边坡滑坡的重要外在驱动因素,各类人类活动会直接打破坡体原有稳定状态。边坡开挖是最常见干扰形式,开挖过程中会移除坡体部分土体,改变坡体几何形态与应力分布,导致应力集中区域出现塑性变形,进而诱发滑坡。工程荷载作用会增加坡体附加应力,超出软土承载极限后,会加速土体压缩与变形^[4]。此外,地下管线铺设、植被砍伐等活动会破坏坡体结构与水文环境,进一步弱化软土力学性能,为滑坡发生创造条件。

4 软土高边坡滑坡处治措施

4.1 坡面防护措施

坡面防护是软土高边坡滑坡处治的基础措施,核心目的是减少坡面土体侵蚀、抑制雨水直接冲刷,维持坡体表层稳定性。坡面防护需结合软土特性选择适配方式,

常用手段包括坡面喷护、铺设防护网等。喷护技术通过将水泥浆与骨料混合喷洒于坡面,形成致密防护层,可有效隔绝雨水入渗,增强表层土体整体性。实际应用中,喷护层的厚度一般控制在5-10cm,强度可达10-20MPa。防护网铺设则能约束坡面土体,防止局部土体脱落下坠,同时减缓雨水对坡面的冲刷力度。合理的坡面防护可减少软土表层结构破损,避免表层变形向深层延伸,为后续处治措施发挥作用提供保障。

4.2 土体加固技术

土体加固技术通过改善软土物理力学性质、增强土体强度,从根本上提升坡体稳定性,是处治软土高边坡滑坡的核心手段。常用加固技术涵盖换填加固、深层搅拌加固等。换填加固通过移除坡体内部劣质软土,回填强度较高的素填土、砂石等材料,替换原有软弱土层,提升坡体承载能力。深层搅拌加固则利用搅拌设备将水泥等固化剂与软土充分混合,通过固化反应改变软土颗粒结构,提高土体抗剪强度与压缩模量,减少土体流变变形,从而抑制坡体失稳趋势。

4.3 排水导水系统布设

排水导水系统布设的核心任务是排出坡体内部滞留水分、降低地下水位,削弱水分对软土力学性质的软化作用,恢复坡体内部应力平衡状态。水分是诱发软土高边坡滑坡的关键外在因素,科学布设排水系统可有效阻断水分对软土的不利影响。排水系统主要分为地表排水与地下排水两大类。地表排水通过在坡面、坡顶及坡脚布设排水沟、截水沟等设施,及时汇集并排出坡面汇水,避免雨水长时间滞留坡面或大量渗入坡体内部,减少软土软化范围。地表排水沟的间距一般根据坡面汇水面积和降雨强度确定,一般为20-50m。地下排水可采用渗沟、排水盲管、排水廊道等形式,引导坡体内部孔隙水与浅层地下水顺利排出,降低土体含水率,提升软土抗剪强度与整体性。合理设计排水系统的布设位置与走向,能有效阻断水分在坡体内部的积聚路径,减少渗透压力对坡体的不利作用,保障坡体稳定。

4.4 坡体支护结构应用

坡体支护结构通过提供额外支撑力,平衡坡体下滑力,约束坡体变形,是保障软土高边坡长期稳定的关键措施。支护结构需结合坡体高度、坡度及软土特性合理选型,常用形式包括挡土墙、抗滑桩等^[5]。挡土墙依托自身刚度与重量抵御坡体下滑力,可有效约束坡脚土体变形,防止坡脚隆起或滑动。挡土墙的高度一般根据坡体高度和下滑力大小确定,一般不超过10m。抗滑桩深入坡体内部稳定土层,通过桩体与土体的相互作用,传递坡体下滑力至稳定地层,抑制滑裂面扩展,阻止坡体整体性滑动。合理应用支护结构,能有效弥补软土强度不足缺陷,维持坡体长期稳定状态。

结束语

软土高边坡滑坡的防治需综合考虑其特性与成因,采取科学合理的处治措施。坡面防护可减少表层侵蚀,土体加固能提升坡体强度,排水导水可削弱水分影响,坡体支护则提供额外支撑。各项措施相互配合,形成完整的防治体系,有效遏制滑坡发生。通过系统分析与综合防治,可保障软土高边坡的长期稳定,为工程建设提供可靠的安全保障。

参考文献

- [1]王建东,樊刘洋,孙自豪.软土高边坡滑坡特性及成因分析与处治措施研究[J].广东水利水电,2026(1):106-111.
- [2]章玉平.软土高边坡复合防护措施施工及应用效果评价[J].工程技术研究,2025,10(22):148-150.
- [3]李立锋,李彬,马春燕.降雨入渗条件下软土高边坡稳定性分析及处治防护措施研究[J].广东建材,2025,41(10):114-117.
- [4]朱艳,战少晨,李国生.不同地下水位、不同抗滑桩方案对软土路基边坡稳定的影响分析[J].城市道桥与防洪,2025(2):255-259.
- [5]卢照磊.桩基加固位置及长度对软土地基边坡的影响分析[J].西部交通科技,2024(3):93-95.