

川藏铁路沿线高陡斜坡稳定性及灾害链演化机制研究

罗福腾

中煤浙江测绘地理信息有限公司 浙江杭州 311100

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12290

[摘要] 川藏铁路作为我国连接四川省与西藏自治区的关键交通干线,在区域经济发展、社会交流等方面发挥着举足轻重的作用。然而,其建设与运营之路充满艰难险阻,沿线面临着极为复杂的地质环境挑战。其中,高陡斜坡稳定性及灾害链演化问题尤为突出,高陡斜坡的失稳可能引发滑坡、泥石流等地质灾害,且这些灾害相互关联形成灾害链,破坏力巨大。本文聚焦于此,通过深入剖析川藏铁路沿线高陡斜坡的稳定性影响因素和灾害链演化机制,为铁路的安全建设和稳定运营提供科学、可靠的依据,助力川藏铁路发挥更大效能。

[关键词] 川藏铁路;高陡斜坡稳定性;灾害链演化机制

一、引言

川藏铁路对于推动地区经济发展、加强民族团结以及完善中国铁路网布局具有重要意义。然而,该铁路穿越了地球上地质条件极为复杂的地区,沿线多山地和高原,地势陡峭,坡面松散堆积物丰富,高陡斜坡稳定性问题显著,且由此引发的灾害链可能对铁路建设和运营造成长期威胁。因此,研究川藏铁路沿线高陡斜坡稳定性及灾害链演化机制具有重要的现实意义。

二、川藏铁路沿线地质环境概况

2.1 地形地貌

川藏铁路宛如一条巨龙,穿梭于复杂多样的地形之中,沿线地形起伏极为巨大。它依次跨越四川盆地的富饶平坦、横断山脉的巍峨险峻以及青藏高原的广袤高远等多个特色鲜明的地形单元。整体地势西高东低,巨大的落差触目惊心。高山峡谷星罗棋布,高陡斜坡随处可见。这些高陡斜坡坡度陡峭,坡体高耸入云,为滑坡、崩塌等地质灾害的发生提供了极为有利的地形温床。

2.2 地质构造

川藏铁路所在区域紧邻板块碰撞带,地质构造活动异常强烈且频繁。鲜水河断裂带、金沙江断裂带等多条大型断裂带如同一把把利刃,无情地贯穿铁路沿线。这些断裂带的长期活动使岩石支离破碎,地层结构变得错综复杂。原本稳定的斜坡岩体在这样的影响下,稳定性大幅降低,就像一座根基不稳的大厦,极大地增加了地震、山体滑坡等地质灾害发生的潜在风险。

2.3 岩土体类型

川藏铁路在建设进程中,不可避免地遭遇蚀变岩、泥质岩、粘土岩、软土等不良地质状况。蚀变岩历经地质变迁,工程地质性质显著弱化;泥质岩的可塑性和吸水性,使其在外界条件变化时极易变形;软土天然含水量高、孔隙比大、压缩性高且抗剪强度低。这些岩土体犹如隐藏在地下的定时炸弹,严重威胁着高陡斜坡的稳定性,给铁路建设带来了巨大挑战。

三、川藏铁路沿线高陡斜坡稳定性影响因素分析

3.1 内在因素

3.1.1 岩土体性质

岩土体的强度、抗风化能力、透水性等性质直接影响高陡斜坡的稳定性。例如,软质岩石和松散堆积物组成的斜坡更容易发生滑坡、崩塌等地质灾害。软质岩石本身强度较低,在长期风化和重力作用下,其结构容易被破坏;松散堆积物之间的粘结力较弱,稳定性差。而透水性强的岩土体在降雨时,大量雨水迅速下渗形成地下水渗流。这不仅增加了坡体的重量,还会降低岩土体颗粒间的摩擦力和粘聚力,进而降低坡体的抗剪强度,使斜坡更易失稳。

3.1.2 地质构造

地质构造对斜坡稳定性的影响主要体现在断层、节理、褶皱等方面。断层和节理破坏了岩体的完整性,它们就像岩体中的“脆弱地带”,形成了软弱结构面。这些软弱结构面在重力和其他外力作用下,很容易成为斜坡失稳的滑动面。褶皱构造则会使地层产生弯曲和变形,这种变形改变了斜坡原本的应力状态。原本处于平衡状态的应力分布被打破,导致局部应力集中,增加了斜坡失稳的风险,使得斜坡在较小的外力作用下就可能发生破坏。

3.1.3 地形地貌

斜坡的坡度、坡高、坡型等地形地貌因素对斜坡稳定性有重要影响。一般来说,坡度越大,重力沿坡面的分力就越大,坡体下滑的趋势也就越明显;坡越高,坡体自身的重量越大,对坡脚的压力也越大,稳定性就越差。从坡型来看,凸形坡上部较陡,下部较缓,上部岩土体的下滑力较大,而下部的支撑力相对不足,所以比凹形坡更容易发生失稳现象。凹形坡下部较陡,能提供较大的支撑力,相对更稳定一些。

3.2 外在因素

3.2.1 降雨

降雨是诱发川藏铁路沿线高陡斜坡地质灾害的重要因素之一。当大量的雨水渗透坡体时,首先会增加坡体的重量,就像给坡体额外增加了一个向下的力。同时,雨水的渗透会降低岩土体的抗剪强度,因为水会填充岩土体颗粒间的空隙,减小颗粒间的摩擦力和粘聚力。此外,雨水的渗透还可能引发地下水位上升,产生动水压力和静水压力。动水压力会推动岩土体向下滑动,静水压力则会增加坡体内部的孔隙水压力,进一步降低坡体的稳定性,从而导致斜坡失稳。

3.2.2 地震

该区域地震活动频繁,地震产生的地震力会使斜坡岩土体的应力状态发生急剧改变。地震力是一种强大的外力,它会增加斜坡的下滑力,使得原本处于临界稳定状态的斜坡更容易发生滑动或崩塌。而且地震还会对岩土体结构造成破坏,使原本完整的岩土体变得破碎、松散。这种结构破坏降低了斜坡的稳定性,即使地震结束后,斜坡也可能因为结构受损而在后续受到其他外力作用时,更容易发生地质灾害,为后续地质灾害的发生埋下了隐患。

3.2.3 人类工程活动

川藏铁路的建设过程中,如开挖坡脚、填方加载等人类工程活动会改变斜坡的原始应力状态。开挖坡脚会削弱坡体的支撑力,使得上部坡体的稳定性降低;填方加载则会增加坡体的重量,改变坡体内部的应力分布,破坏斜坡的稳定性。此外,铁路运营过程中的车辆振动等也可能对斜坡稳定性产生一定影响。车辆振动会使岩土体颗粒之间的相对位置发生微小变化,长期积累下来,可能会导致坡体内部结构松动,从而降低斜坡的稳定性。

四、川藏铁路沿线高陡斜坡灾害链演化机制

4.1 灾害链的类型

川藏铁路沿线高陡斜坡区域,地质环境复杂,形成了多种具有严重破坏力的灾害链。主要的灾害链类型有滑坡-泥石流链、崩塌-滚石-堆积物堵塞河道-堰塞湖链等。以滑坡-泥石流链为例,当滑坡发生后,滑坡体在水流持续冲刷、侵蚀作用下,会逐渐转化为泥石流。泥石流具有强大的冲击力和携带能力,能裹挟大量土石,顺着地势向下游迅猛流动,给铁路及其周边环境带来更为严重的破坏。而崩塌-滚石-堆积物堵塞河道-堰塞湖链中,崩塌产生的滚石堆积在河道,阻断水流形成堰塞湖,堰塞湖溃决还会引发洪水灾害,危害极大。

4.2 灾害链的演化过程

灾害链的演化往往以高陡斜坡失稳为开端,像滑坡或崩塌的出现就是常见起始点。在降雨等外部因素持续作用下,失稳的岩土体获得更多动能和水分,极易进一步转化为泥石流。泥石流顺着沟谷向下游奔涌,其内部裹挟着大量泥沙、石块等物质,犹如一条破坏力巨大的“巨龙”,对沿途的铁路设施、桥梁等重要基础设施造成严重破坏。倘若泥石流或崩塌堆积物在河道堆积,形成堰塞湖,随着湖水不断汇聚,水位持续上升,堰塞湖的稳定性会不断降低。当达到临界值时,堰塞湖便会溃决,引发洪水,给下游地区带来灾难性影响。

4.3 影响灾害链演化的因素

灾害链的演化是一个受多方面因素综合作用的复杂过程。地质条件是基础,它决定了灾害链最初的类型以及后续演化的可能性,比如岩石的坚硬程度、地层的稳定性等影响着滑坡、崩塌是否容易发生。地形地貌则像一个“引导者”,控制着灾害链的传播路径和影响范围,陡峭的山谷会加速泥石流的流动速度和扩大其影响区域。气象条件如降雨能为灾害链的发生提供触发条件,过多的降雨会使岩土体饱和,增加失稳风险;气温变化也可能导致岩石风化、冻融等,间接影响灾害链。人类活动如工程建设、不合理的土地利用等,可能改变原有的地质和地形状况,从而改变灾害链的演化过程和强度。

五、川藏铁路沿线高陡斜坡稳定性及灾害链的监测与防控措施

5.1 监测方法

5.1.1 地面监测

地面监测作为川藏铁路沿线高陡斜坡监测的基础手段,包含全站仪监测、水准仪监测、裂缝计监测等多种方式。全站仪凭借其高精度的测量性能,能够精确测定斜坡在不同方向上的位移情况;水准仪可以对斜坡的高程变化进行持续观测,敏锐捕捉微小的垂直位移;裂缝计则专注于斜坡表面裂缝的发展监测。通过这些监测手段的协同作用,就像给斜坡安装了一个全方位的“监控系统”,能够实时、精准地获取斜坡的位移、变形、裂缝发展等信息,以便第一时间发现斜坡的不稳定迹象,为后续的危害防控争取宝贵时间。

5.1.2 遥感监测

利用卫星遥感、航空遥感等先进技术进行的遥感监测,为川藏铁路沿线高陡斜坡的监测提供了广阔的视野。卫星遥感可以周期性地对大片区域进行观测,获取斜坡的宏观地形地貌信息,如山脉走向、坡度变化等;航空遥感则能够在必要时进行高分辨率的局部监测,清晰呈现斜坡的植被覆盖情况以及地表的细微变形。这些丰富的数据信息为斜坡稳定性分析提供了全面的依据,通过对这些信息的深入解读,可以提前预判潜在的灾害风险,为灾害预警工作提供坚实的数据支撑。

5.1.3 传感器监测

在川藏铁路沿线的高陡斜坡上安装位移传感器、应力传感器、渗压传感器等各类传感器,构建起了一个实时、精准的监测网络。位移传感器能够精确感知斜坡的微小移动,及

时反馈斜坡的动态变化;应力传感器可以监测岩土体内部的应力状态,判断斜坡是否处于受力临界状态;渗压传感器则能实时掌握地下水压力的变化情况,了解地下水对斜坡稳定性的影响。这些传感器所提供的准确数据,为斜坡稳定性评价和灾害预警提供了科学依据,使监测人员能够及时发现潜在的安全隐患。

5.2 防控措施

5.2.1 工程措施

针对川藏铁路沿线高陡斜坡的稳定性问题,工程措施是一种直接有效的防控手段。挡土墙通过阻挡坡体下滑的力量,增强斜坡的稳定性;抗滑桩深入稳定地层,如同坚固的支柱,起到锚固作用,防止斜坡滑动;锚索则对坡体施加预应力,拉紧岩土体,提高斜坡的整体稳定性。对于可能发生泥石流的沟谷,修建拦挡坝可以拦截泥石流中的大块石和泥沙,减少泥石流的冲击力;排导槽则能引导泥石流按照预定方向流动,避免其直接冲击铁路。这些工程措施相互配合,为铁路的安全运行提供了有力保障。

5.2.2 生物措施

在川藏铁路沿线的高陡斜坡上种植植被是一种环保且可持续的防控方法。植被的根系能够深入岩土体中,像细密的网一样将岩土体紧紧固定在一起,增加岩土体的抗侵蚀能力,有效减少水土流失。随着植被的生长,斜坡的植被覆盖度逐渐增加,能够减缓雨水对坡面的冲刷速度,降低坡面径流的能量。同时,植被还具有涵养水源的作用,能够调节地下水的水位和流量,对气候也有一定的调节作用。这些生态功能相互作用,对灾害链的演化起到了一定的抑制作用,有助于维护斜坡的生态平衡和稳定性。

5.2.3 管理措施

加强对川藏铁路沿线高陡斜坡的日常管理是保障铁路安全的重要环节。建立健全地质灾害监测预警体系和应急预案,能够及时发现潜在的地质灾害隐患,并在灾害发生时迅速启动应急响应,减少灾害造成的损失。在铁路建设和运营过程中,加强地质灾害风险评估,根据评估结果制定相应的防范措施,可以从源头上降低灾害发生的可能性。此外,加强对沿线居民的地质灾害宣传教育也至关重要。通过开展各种形式的宣传活动,提高居民的防灾减灾意识,使他们能够在灾害来临前做好自我保护,积极配合相关部门的防灾工作,形成全社会共同参与的防灾减灾格局。

六、结论

川藏铁路沿线高陡斜坡稳定性及灾害链演化机制是极为复杂的系统问题,受多种内外部因素综合影响。内在因素如地质构造、岩土体特性等,外在因素包括气象条件、人类活动等。通过对沿线地质环境全面且深入的分析,不仅清晰明确了高陡斜坡稳定性的关键影响因素,还精准掌握了灾害链的具体类型、详细的演化过程以及各类影响因素。

基于此研究成果,针对性地提出了一系列全面的监测和防控措施。监测方面涵盖地面监测、遥感监测、传感器监测等多种方法,防控手段包含工程措施、生物措施和管理措施。这些措施的有效实施,对于保障川藏铁路的安全建设与稳定运营意义重大。未来,需持续加强相关研究,不断完善监测和防控技术,为川藏铁路的长期安全运行筑牢坚实保障。

【参考文献】

[1]姚杰,李秀珍,徐瑞池.降雨条件下拟建川藏铁路典型段潜在滑坡三维稳定性动态识别研究[J].防灾减灾工程学报,2021,41(3):357-364.

[2]周洪福,冯治国,石胜伟,王保弟,徐如阁,冉涛.川藏铁路某特大桥成都侧岸坡工程地质特征及稳定性评价[J].水文地质工程地质,2021,48(6):147-154.

作者简介:罗福腾(1995.07-)男,苗族,贵州人,本科学历,无职称,研究方向:土木工程地质勘察。