

地质工程施工过程的斜坡特性及防治技术研究

余超

(安徽圣合建设工程有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 在地质工程施工过程中, 经常会出现斜坡失稳现象, 进而导致崩塌、滑坡、溜塌、蠕滑等风险, 严重影响地质工程施工安全, 甚至会增加工程造价。基于此, 本文以地质工程施工过程的斜坡特性作为切入点, 简要论述斜坡失稳的演化机制与破坏形式, 并以 A 工程为例, 对开挖防控技术、支护防控技术以及排水防控技术进行分析, 旨在为地质工程施工过程的斜坡失稳防治工作提供参考, 确保地质工程安全施工。

关键词 地质工程施工; 斜坡特性; 防治技术; 力学特性; 几何形态

中图分类号: P642.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.037

0 引言

我国社会经济不断发展, 在进行地质工程建设时, 逐步朝着西部偏远山区地带转移, 各类地质工程所处的自然环境愈加复杂和恶化, 易出现斜坡失稳问题, 严重影响地质工程的安全施工。因此, 在施工过程中, 施工人员需要对其斜坡特性和斜坡失稳防治技术加以研究, 以制定较为详细的防治方案, 有效降低斜坡失稳风险, 确保地质工程安全施工。

1 地质工程施工过程的斜坡特性

1.1 力学特性

斜坡的力学特性主要包括三点: 其一, 含水量变化大。在地质施工过程中, 斜坡岩土体会受到地下水的影 响, 进而增加其含水量, 从而导致其孔隙度变大, 岩土体软化, 进而出现溜塌问题。其二, 岩土体密实度下降。在斜坡开挖施工中, 经常会开展爆破、回填等工作, 易对岩土体的原有结构造成破坏, 从而使其密实度下降, 影响其稳定性, 存在斜坡失稳的安全隐患。其三, 岩土体力学参数改变。斜坡开挖会对岩土体造成施工扰动, 进而使其抗剪强度下降, 易造成斜坡失稳问题。岩土体内部的含水量大小对其抗冻性具有较大影响, 尤其在北方地区, 冻融循环会降低斜坡岩土体的性能, 从而影响其稳定性^[1]。

1.2 几何形态特性

斜坡的几何形态特性包括四个方面: 其一, 坡高。随着斜坡开挖深度的不断增加, 其坡高越大, 当其高

度超过 20 m 时, 会造成更大的斜坡失稳风险。其二, 坡角。一般而言, 坡角越大, 斜坡所具有的下滑力越大, 从而影响斜坡稳定性。其三, 坡型。斜坡主要包括直线型、折线型、台阶型三种类型, 施工人员可根据施工区域的地质条件和具体的施工要求合理选择坡型。其四, 坡向。阳坡日照时间长, 会导致其岩土体风化过快, 稳定性差。阴坡含水量高, 稳定性差, 易出现失稳状况。斜坡类型会对其稳定性造成影响, 台阶型斜坡可以分散其下滑力, 直线型斜坡适用于坡高较低的区域。

1.3 变形特性

在地质工程施工初期, 是斜坡初始变形阶段, 由于受到开挖施工扰动而造成岩土体出现微小形变, 其变形速度为 0.1 ~ 1 mm/d, 此时斜坡相对稳定。在施工中期, 为斜坡加速变形阶段, 随着施工扰动的加剧, 使其变形速度达到 1 ~ 10mm/d, 易出现斜坡裂缝与下沉问题。在施工后期, 斜坡处于失稳破坏阶段, 其变形速度不低于 10 mm/d, 会造成斜坡岩土体出现整体滑动或崩塌问题, 引发地质灾害, 严重影响施工安全。在地质工程施工过程中, 施工人员应使用专业设备对斜坡的变形速度加以监控, 在初始阶段, 应重点监控其微小形变情况。在施工中期, 施工人员需要对其裂缝和沉降量进行监测记录。在施工后期, 施工人员应设定预警值, 若是发出警报, 需要立即采取支护方案, 以免造成斜坡失稳问题^[2]。

作者简介: 余超 (1979-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 地质工程。

1.4 稳定性特性

斜坡稳定性具有动态变化的特点,会受到施工活动、施工工艺、气候环境、地质条件等方面的影响,施工剧烈程度会影响斜坡稳定度,同时,南方地区降水量较大,易引发岩土体土质疏松,会存在较高的斜坡失稳风险。对北方地区而言,受到寒冷气候的影响,岩土体会出现冻融破坏问题,严重影响其斜坡稳定性。对山区施工区域而言,因其地质条件较为复杂,从而造成其岩体破碎,其斜坡失稳风险更高。此外,斜坡的稳定性还与植被覆盖程度息息相关,植被根系对斜坡岩土体具有一定的固定作用,可以避免雨水对斜坡的直接冲刷,若是当地斜坡植被覆盖率较低,会增加其失稳概率。

2 斜坡失稳的演化机制与破坏形式

2.1 演化机制

斜坡失稳为动态演化过程,主要在三个机制相互作用下发生:其一,应力重力分布机制。在斜坡开挖施工中会影响斜坡岩土体的平衡状态,使其应力重新分布,若是应力集中,会造成土体变形开裂。其二,岩土体软化机制。在地下水渗透和雨水冲刷的影响下,水体会逐步渗入岩土体中,从而使其发生软化,有效降低其黏聚力,使其抗滑力下降,进而出现斜坡失稳问题。其三,施工扰动机制。在地质工程施工过程中,需要进行开挖、爆破、荷载施加等作业,对斜坡岩土体造成扰动,破坏其原本结构,降低其强度,从而造成斜坡失稳问题。

2.2 破坏形式

在地质工程施工过程中,斜坡破坏形式分为四种:其一,崩塌。崩塌指的是斜坡土体在自身重力的作用下,岩土体快速脱离母体而进行快速下落或滚动,具有极强的破坏力。其二,滑坡。滑坡是指岩土体在固定的滑动面上进行滑动,其破坏面较大,会导致停工、场地损毁等风险。其三,溜塌。溜塌指的是在雨水和地下水的作用下沿坡面快速流动,其破坏面较小,但会对斜坡造成缓慢侵蚀。其四,蠕滑。蠕滑指的是岩土体在自身重力下出现形变和滑动,其变形速度一般在 $0.1 \sim 1 \text{ mm/d}$ 之间,初期变化不明显,长期发展会造成斜坡失稳^[3]。

3 地质工程施工过程的斜坡失稳防治技术应用

3.1 工程概况

A工程为某山区公路施工项目,该工程全长12 km,其中,K3+200~K3+500路段为斜坡开挖段,斜坡的长

度为300 m,最大坡高为35 m,坡角处于 $40^\circ \sim 45^\circ$ 之间。该斜坡的岩土体大部分为强风化页岩与粉质黏土,是土石混合类型的斜坡。该施工路段所具有的地下水资源十分丰富,地下水位埋深为2~5 m,该施工区域的年降水量超1 200 mm,在施工期间出现斜坡失稳的风险较高。

3.2 防治技术

3.2.1 开挖防控技术

在A工程斜坡开挖过程中,为了能够防治斜坡出现失稳问题,需要制定相应的技术措施。其一,控制开挖顺序与速度。施工人员可通过自上而下的方式进行斜坡的分层开挖,可将斜坡分为3级台阶进行开挖施工,每一级台阶的高度为10~12 m,其宽度为3~4 m,可以解决应力集中的问题。同时,每日开挖深度应限制在2 m以下,每次开挖一级台阶便需要对其进行支护,并做好排水工作,当其稳定后才能继续进行开挖施工。其二,坡角与坡型的优化。为了有效降低斜坡的下滑力,施工人员可将其坡角由 $40^\circ \sim 45^\circ$ 调整为 $30^\circ \sim 35^\circ$,使其稳定性系数提高至1.15~1.20。同时,施工人员还可将斜坡调整为台阶型,并在每级台阶中设置挡水坎,其高度为0.5~0.8 m,不仅可以使径流速度放缓,还能减少雨水的冲刷。其三,优化开挖工艺。在强风化页岩区域进行斜坡开挖时,施工人员可利用光面爆破技术对岩体加以破坏,一般选取2#岩石乳化炸药,确保药卷直径为32 mm,装药密度在 $0.8 \sim 1.0 \text{ kg/m}$ 之间,炮孔间距设置为1.2~1.5 m,排距设置为1.0~1.2 m,孔深设定在2.5~3.0 m之间,并将其爆破振动速度控制在 $0.5 \sim 0.8 \text{ cm/s}$ 之间,以免爆破施工对岩体造成过度扰动,避免斜坡失稳。其四,清理松动岩土体。在每开挖一个台阶后,施工人员可对坡顶和坡面上松动的岩土体进行清理,并及时将其运送至指定弃土场,以免其坠落造成安全事故^[4]。

3.2.2 支护防控技术

为了避免斜坡出现失稳风险,施工人员可通过“锚杆+挂网喷混凝土+抗滑桩”的复合支护方式加以固定。其一,锚杆支护。为了提高斜坡岩土体的整体性,施工人员可选择 $\Phi 25 \text{ mm}$ HRB400E级钢筋作为锚杆,其长度为4.5~5.0 m,锚固段长度控制在3.0~3.5 m之间,自由段长度为1.5~2.0 m。同时,施工人员选择42.5 MPa硅酸盐水泥作为注浆材料,要求其水灰比为0.35~0.40,注浆压力控制在0.3~0.5 MPa之间。当水泥强度超过设计强度的70%时,施工人员可安装垫板与螺母,并对其施加15~20 kN的预应力,进而提高

其抗滑作用。其二,挂网喷混凝土支护。为了对斜坡表层岩土体进行有效保护,防止雨水冲刷问题,施工人员可选择 $\Phi 6$ mm HPB300 级钢筋材料制作钢筋网,其规格为 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ 。在进行钢筋网铺设时,需要紧贴斜坡表面,要求钢筋网之间的搭接长度不低于 10 cm ,并对其进行绑扎固定。在钢筋网铺设结束后,施工人员可向其喷射混凝土,喷射压力为 $0.2\sim 0.4\text{ MPa}$,每段的喷射长度为 $5\sim 8\text{ m}$ 。混凝土喷射结束后,需要养护 7 d ,确保其混凝土强度满足设计要求,从而在斜坡表面形成防护层,以免受到雨水冲刷。其三,抗滑桩支护。为了阻止斜坡岩土体滑动,施工人员可采用抗滑桩支护技术加以防治。施工人员可选择钢筋混凝土现浇桩作为抗滑桩,要求其桩长为 $15\sim 18\text{ m}$,桩径为 1.2 m ,并使其嵌入岩层 5 m 以上,桩间距为 5.0 m ,主要采用直线型进行抗滑桩布置。施工人员可通过回旋钻机钻开直径为 1.3 m 的孔洞,要求孔洞垂直度不超过 1% 。在此基础上,将钢筋笼放置于孔洞内,并进行混凝土浇筑,通过振捣处理后进行混凝土养护,当其强度高于设计强度的 80% ,才能继续进行斜坡开挖施工^[5]。

3.2.3 排水防控技术

为了确保地质工程斜坡的稳定性,施工人员需要采用排水防控技术加以解决。施工人员可通过地表排水、地下排水以及坡面排水的方式进行综合防治,以免对斜坡岩土体带来影响。其一,地表排水。地表排水主要是将斜坡表面与坡顶的雨水进行排出,以免雨水渗透斜坡岩土体内。施工人员可在斜坡顶外侧 $5\sim 8\text{ m}$ 处打造一条截面尺寸在 $0.6\text{ m}\times 0.8\text{ m}$ 的截水沟,主要通过浆砌片石加以砌筑,截水沟的坡度为 $2\%\sim 3\%$,方便雨水排放。同时,施工人员可在每级台阶的边缘设置断面尺寸为 $0.4\text{ m}\times 0.6\text{ m}$ 的排水沟,其坡度为 $3\%\sim 5\%$,并与截水沟之间加以连通,方便对坡面雨水进行收集,统一排放至周边排水系统中。其二,地下排水。地下排水主要是对斜坡内部的地下水进行排放,从而有效降低地下水位,减轻孔隙水压力。施工人员可在斜坡内部打造断面尺寸为 $0.8\text{ m}\times 1.0\text{ m}$ 的排水盲沟,并利用碎石对其进行填充,确保随时粒径在 $20\sim 40\text{ mm}$ 之间,要求其含泥量不超过 3% ,盲沟间距为 10.0 m ,并采用梅花的形状加以布置,排水孔倾角设置为 $5^\circ\sim 10^\circ$ 。施工人员通过地下盲沟将地下水引入地表排水系统,有效实现地下水位控制目标。施工人员还可在斜坡下部打造集水井,要求其深度在 $6.0\sim 8.0\text{ m}$ 之间,其直径为 1.5 m ,间距为 20.0 m ,用于存储排出的地下水,并利用水泵将其抽出至地表

排水系统,进而提高地下水位控制效果,以便确保斜坡的稳定。

3.3 应用效果

在 A 工程中,斜坡防治技术的应用取得了良好成效。其一,有效遏制斜坡变形。在施工 1 个月后,斜坡的水平移动速度和垂直移动速度均有所下降,裂缝扩展速度减慢,表面溜塌问题得以控制。施工 3 个月后,水平移动速度和垂直移动速度稳定,裂缝宽度基本不变,斜坡稳定系数提高至 $1.25\sim 1.30$ 。其二,有效控制地下水。通过对排水防控技术的运用使地下水位降低至滑动面以下的 $0.8\sim 1.0\text{ m}$,孔隙内部的水压力明显下降,斜坡岩土体抗剪强度得以恢复。同时,快速排出雨水,有效控制雨水渗漏问题。其三,施工安全得到保障。在多种斜坡防治技术的综合运用下,斜坡状态一直处于稳定状态,未出现崩塌、滑坡、溜塌、蠕滑等现象,确保地质工程安全施工。

4 结束语

在地质工程施工过程中,斜坡防治技术的应用具有重要意义,不仅可以确保斜坡的稳定,还能确保地质工程顺利开展,实现安全施工目标。斜坡主要以崩塌、滑坡、溜塌、蠕滑等形式对地质工程造成破坏,从而威胁施工安全。施工人员需要对其基本情况加以了解,并通过开挖防控技术、支护防控技术以及排水防控技术进行斜坡失稳的防治,有效实现地质工程安全施工目标。未来,施工人员可将 GIS 技术、BIM 技术以及物联网技术融入斜坡失稳防治工作中,打造斜坡数字孪生体,进而将物理实体和数字模型加以交互,有效提高斜坡失稳防治效果。

参考文献:

- [1] 夏晨皓.自然灾害背景下地质工程中的斜坡稳定性分析与预防措施[J].中国减灾,2024(12):56-57.
- [2] 简鹏,李文彦,郭红东,等.基于拟静力法的不同地震工况斜坡单元危险性评价方法研究[J].甘肃地质,2023,32(01):76-86.
- [3] 王冠,刁丽颖,刘国全,等.黄骅凹陷斜坡区耦合控产规律与有序成藏模式[J].录井工程,2021,32(03):130-135,140.
- [4] 王治平,张庆,刘子平,等.斜坡型强非均质页岩气藏高效开发技术:以川南威远地区龙马溪组页岩气藏为例[J].天然气工业,2021,41(04):72-81.
- [5] 高芳芳.斜坡抗滑结构的地质工程分析[J].世界有色金属,2018(02):267-268.