强烈砂化白云岩地质条件下边坡锚固效果探索分析

王世华 杨志敏 唐俊

云南省滇中引水工程有限公司 云南 玉溪 653100

摘要: 本文深入探讨了强烈砂化白云岩地质条件下边坡锚固的效果。首先分析了砂化白云岩的地质特性和物理力学性质,接着阐述了边坡锚固技术的原理及其适用性,并优化了锚固参数。通过数值模拟和曲江电站边坡实例的锚索布置、监测、拉拔试验及测力计验证,证明了合理设计的锚固措施能显著提高砂化白云岩边坡的稳定性。

关键词: 强烈砂化白云岩; 边坡锚固; 反拉法; 锚下有效应力; 工程案例

1 强烈砂化白云岩地质特性研究

1.1 白云岩砂化现象概述

白云岩砂化是指白云岩在地质作用过程中,岩体结构逐渐破坏,颗粒间胶结力减弱,形成类似砂土的物质现象。在强烈砂化条件下,白云岩的力学性能显著下降,岩体的整体性和稳定性受到严重影响,这给边坡工程带来了极大的挑战。砂化后的白云岩边坡容易发生滑坡、坍塌等地质灾害,因此,对强烈砂化白云岩地质条件下的边坡锚固技术进行研究具有重要的现实意义。

1.2 研究区地质背景

本次研究的工程区域位于曲江电站、螺峰山隧洞出口和扯纳直隧洞出口等地。该区域的地质构造较为复杂,白云岩分布广泛,且存在不同程度的砂化现象。在曲江电站边坡区域,地层主要由强烈砂化的白云岩组成,岩层走向与边坡走向存在一定的夹角,这进一步增加边坡的不稳定性。该区域的地下水活动较为频繁,地下水的渗透作用加剧了白云岩的砂化进程,对边坡的稳定性产生了不利影响。

1.3 砂化白云岩物理力学性质

通过对研究区强烈砂化白云岩的取样分析,得到了其主要的物理力学性质指标。该砂化白云岩的密度为 $2.45\text{--}2.60\text{g/cm}^3$,孔隙率较大,一般在 $15\%\text{--}25\%$ 之间,这导致岩体的强度较低^[1]。其抗压强度为 $15\text{--}30\text{MPa}$,抗剪强度也较小,内摩擦角为 $20^\circ\text{--}30^\circ$,粘聚力为 $5\text{--}15\text{kPa}$ 。这些物理力学性质表明,强烈砂化白云岩的力学性能较差,难以满足边坡稳定性的要求,需要采取有效的锚固措施来提高边坡的稳定性。

2 边坡锚固技术及其适用性分析

2.1 边坡锚固技术概述

边坡锚固技术是通过在边坡岩体中设置锚杆或锚索,将边坡岩体与稳定的地层连接起来,从而提高边坡稳定性的一种工程技术。该技术具有施工方便、效果显

著等优点,在边坡工程中得到了广泛的应用。边坡锚固技术的原理是利用锚杆或锚索的锚固力,将边坡岩体中的下滑力传递到稳定的地层中,从而达到加固边坡的目的。根据锚固方式的不同,边坡锚固技术可分为预应力锚索锚固、自进式锚杆锚固、砂浆锚杆锚固等。

2.2 锚固技术在砂化白云岩地质条件下的适用性

在强烈砂化白云岩地质条件下,由于岩体的力学性能较差,传统的锚固技术面临着诸多挑战。预应力锚索锚固技术由于能够提供较大的锚固力,在砂化白云岩边坡锚固中具有一定的适用性。通过施加预应力,锚索可以有效地抑制边坡岩体的变形,提高边坡的稳定性。自进式锚杆锚固技术适用于破碎和砂化的岩体,其自进式的施工方式可以减少对岩体的扰动,提高锚杆的锚固效果。砂浆锚杆锚固技术则可以通过砂浆的胶结作用,将锚杆与岩体紧密连接起来,增强岩体的整体性。然而,在强烈砂化白云岩地质条件下,锚固技术的适用性还受到岩体砂化程度、地下水条件等因素的影响,需要根据具体情况进行选择和优化。

2.3 锚固参数优化设计

为了提高锚固技术在强烈砂化白云岩地质条件下的效果,需要对锚固参数进行优化设计。锚固参数主要包括锚索的长度、直径、预应力值,锚杆的间距、排距等。在优化设计过程中,需要考虑岩体的力学性能、边坡的高度和坡度、地下水条件等因素。对于曲江电站边坡,通过理论分析和数值模拟,确定合理的锚固参数。预应力锚索的长度为 $30\text{--}35\text{m}$,直径为 15.24mm ,预应力值为 950kN ;自进式锚杆的长度为 $6\text{--}8\text{m}$,间距为 $2\text{--}3\text{m}$,排距为 $2\text{--}3\text{m}$;砂浆锚杆的长度为 $4\text{--}6\text{m}$,间距为 $1.5\text{--}2\text{m}$,排距为 $1.5\text{--}2\text{m}$ 。这些锚固参数的优化设计,提高边坡锚固的效果,确保了边坡的稳定性^[2]。

3 强烈砂化白云岩边坡锚固效果数值模拟

3.1 数值模拟方法简介

数值模拟作为一种先进且高效的研究手段,在边坡锚固效果评估领域发挥着关键作用。它能够借助数学模型,精准模拟边坡在锚固措施实施后的应力场、位移场等关键物理场的分布与变化情况,进而为锚固效果的定量评估提供科学依据。本次数值模拟工作选择有限元法作为核心方法,该方法在边坡工程数值分析中具有显著优势,具备计算精度高、适应性强等诸多优点。

有限元法的基本原理在于将连续的岩体进行离散化处理,把原本连续的岩体划分为有限个单元。这些单元通过节点相互连接,形成一个整体的离散化模型。在模拟过程中,针对每个单元建立平衡方程,该方程综合考虑了单元内部的应力-应变关系、单元之间的相互作用以及外部荷载等因素。通过求解这些单元的平衡方程,进而得到整个岩体的应力和位移分布。在开展数值模拟时,需要全面考虑多种因素。岩体的物理力学性质是模拟的基础,它包括岩体的密度、弹性模量、泊松比、抗剪强度指标等,这些参数直接决定了岩体在受力情况下的变形和破坏特性。锚固结构的力学特性同样至关重要,锚索和锚杆的直径、弹性模量、抗拉强度等参数会影响其传递和分散应力的能力。此外,边界条件的设置也不容忽视,合理的边界条件能够准确模拟边坡所处的实际工程环境,确保模拟结果的真实性和可靠性。

3.2 数值模拟模型建立

本次数值模拟以曲江电站边坡为具体研究对象,针对强烈砂化白云岩边坡的锚固效果展开深入研究,并精心建立了相应的数值模拟模型。在确定模型范围时,充分考虑了边坡的实际规模和工程特点。沿边坡走向选取100m的长度,垂直边坡走向选取80m的宽度,深度方向选取50m,这样的模型范围能够有效涵盖边坡的主要影响区域,确保模拟结果能够准确反映边坡的整体行为。模型的边界条件设置遵循实际工程情况,底部固定,模拟边坡基础与稳定岩层的紧密接触,限制其在垂直方向的位移;四周施加法向约束,模拟边坡周围岩体对其的约束作用,防止边坡在水平方向发生过度变形。对于岩体的模拟,采用弹塑性本构模型。该模型能够充分考虑岩体在受力过程中的弹性变形和塑性变形阶段,准确描述岩体从弹性状态到塑性破坏的转变过程,更符合岩体的实际力学行为。锚索和锚杆则采用杆单元进行模拟,杆单元能够精确反映锚固结构的轴向受力特性,有效模拟锚索和锚杆在边坡中的应力传递和分散作用。

3.3 模拟结果分析

通过数值模拟计算,成功获得了强烈砂化白云岩边

坡在锚固后的应力场和位移场分布情况,为深入评估锚固效果提供了直观且详细的数据支持。从应力场分布来看,锚固后边坡的最大主应力和最小主应力分布更加均匀合理。在未进行锚固时,边坡内部存在明显的应力集中现象,特别是在边坡的坡脚和坡顶等部位,应力集中可能导致岩体发生破坏。而锚固措施实施后,应力集中现象得到明显改善,应力在边坡内部更加均匀地分布。锚索和锚杆通过与岩体的相互作用,将高应力区域的应力传递到低应力区域,使得整个边坡的应力状态更加稳定,降低了岩体发生局部破坏的风险;在位移场分布方面,锚固后边坡的位移量显著减小。模拟结果显示,最大位移量出现在边坡的顶部,约为15-20mm。这一位移量在工程允许的范围内,满足工程要求。这表明锚固结构有效地限制边坡的变形,提高了边坡的整体稳定性。锚索和锚杆的锚固作用使得边坡岩体形成一个整体,共同抵抗外部荷载和自身重力引起的变形^[3]。

数值模拟还清晰地表明,预应力锚索的锚固力能够有效地传递到边坡岩体中。锚索通过施加预应力,使岩体在受力初期就处于受压状态,提高岩体的抗剪强度和整体性。锚固力在岩体内部的传递和分散作用,使得岩体之间的连接更加紧密,增强了岩体的整体稳定性。

4 案例分析:曲江电站边坡锚固效果

4.1 锚索布置与监测

曲江电站边坡共五级,坡比为1:1,设置241束预应力锚索,其中监测锚索共12束。锚索的布置遵循了“均匀分布、重点加强”的原则,在边坡的顶部和底部以及地质条件较差的部位进行了加密布置。监测锚索的布置考虑了边坡的受力特点和变形规律,能够全面反映边坡的锚固效果。监测仪器采用高精度的测力计和位移计,能够实时监测锚索的应力和边坡的位移变化。

4.2 锚索拉拔试验过程

本次试验对曲江电站边坡的CD1、CD3、CD6、230#共4束锚索采用反拉法进行锚下应力检测。反拉法的试验过程如下:首先,安装反拉设备,包括智能油泵、穿心千斤顶和测力计等;然后,对锚索进行预紧,消除锚索中的松弛应力;接着,分级施加反拉荷载,每级荷载施加后,稳定一段时间,记录油压表读数、张拉吨位、伸长值和测力计实测剩余应力值;最后,根据反拉力与位移曲线确定锚下有效应力值。在试验过程中,严格按照试验方案进行操作,确保试验数据的准确性和可靠性。

4.3 试验结果与分析

曲江电站边坡锚索锚下有效应力检测结果如下:

锚索号	锚下有效应力 (KN)	检测结果
CD1	950	符合设计要求, 合格
CD3	950	符合设计要求, 合格
CD6	950	符合设计要求, 合格
230#	1000	符合设计要求, 合格

从检测结果可以看出, 曲江电站边坡的锚索锚下有效应力均满足设计要求的950KN, 其中230#锚索的锚下有效

应力达到了1000KN, 高于设计值。这表明该边坡的锚固工程设计和施工是合理的, 能够保证边坡的稳定性。通过对试验结果的分析, 发现锚索的锚下有效应力与锚索的施工质量、所处的地质位置等因素有关。在强烈砂化白云岩地质条件下, 锚索的锚固效果受到岩体砂化程度的影响, 砂化程度较轻的部位, 锚索的锚下有效应力相对较高。

4.4 测力计辅助验证结果

CD1测力计辅助验证统计表

拉拔前应力值 (KN)	分级	油压表读数 (MPa)	张拉吨位 (KN)	伸长值 (mm)	测力计实测剩余应力值 (KN)
892.6	1	35.3	800	2	188
	2	39.6	900	2.8	99
	3	41.8	950	3.2	56

CD3测力计辅助验证统计表

拉拔前应力值 (KN)	分级	油压表读数 (MPa)	张拉吨位 (KN)	伸长值 (mm)	测力计实测剩余应力值 (KN)
754	1	35.3	800	3.6	134
	2	39.6	900	4.8	102
	3	41.8	950	5.2	21

CD6测力计辅助验证统计表

拉拔前应力值 (KN)	分级	油压表读数 (MPa)	张拉吨位 (KN)	伸长值 (mm)	测力计实测剩余应力值 (KN)
836	1	35.3	800	3.2	167
	2	39.6	900	4.0	192
	3	41.8	950	4.4	58

230#测力计辅助验证统计表

拉拔前应力值 (KN)	分级	油压表读数 (MPa)	张拉吨位 (KN)	伸长值 (mm)	测力计实测剩余应力值 (KN)
-	1	17.6	400	3.2	-
	2	35.3	800	6.8	-
	3	39.6	900	8.0	-
	4	41.8	950	8.8	-

通过测力计辅助验证结果可以看出, 随着张拉吨位的增加, 测力计实测剩余应力值逐渐减小。这是因为在张拉过程中, 锚索发生弹性变形, 当张拉吨位达到一定值时, 锚索的弹性变形达到极限, 剩余应力值随之减小。同时, 试验结果还表明, 测力计测量应力值小于锚索实际应力值, 这是由于锚索施工和测力计安装无法做到绝对水平, 导致测力计偏心受力所致^[4]。在强烈砂化白云岩地质条件下, 岩体表面的不平整进一步加剧了测力计偏心受力的问题, 因此, 在实际工程中, 需要采取有效的措施来减少测力计偏心受力的影响, 提高应力测量的准确性。

结束语

综上所述, 通过对强烈砂化白云岩地质条件下边坡锚固效果的深入探索和案例分析, 本文揭示了锚固技术在提高边坡稳定性方面的重要作用。数值模拟和现场试

验的结果表明, 优化设计的锚固参数和合理的锚索布置方式, 能够有效地将边坡的下滑力传递到稳定地层中, 从而提高边坡的整体稳定性。未来, 在类似地质条件的边坡工程中, 充分考虑岩体的砂化程度和地下水条件, 对锚固技术进行进一步优化和创新, 以满足工程实践的需求。

参考文献

- [1]蒋丹丹,张顺飞.复杂地质条件下边坡稳定性分析及治理措施研究[J].岩土工程学报,2020,42(3):505-512.
- [2]朱洪涛.水工环地质勘察重点及其新技术分析[J].冶金管理,2021(05):72-73.
- [3]王刚.水工环地质的现状和发展探索[J].华北自然资源,2021(01):20-21.
- [4]姚学军.探究水工环地质技术在地质灾害治理中的应用[J].低碳世界,2020,10(8):65-66.