

# 黔东南浅变质岩库区库岸边坡变形破坏过程机制初探

## ——以三板溪库区为例

沈成思

贵州省地质矿产勘查开发局101地质大队

**摘要:**影响边坡变形破坏的因素复杂多样,但重力是最根本原因,库水位变化是失稳的关键性因素,在边坡破坏过程中起多重作用。水库蓄水后,为满足防洪和发电的要求,库水位将在一个较大的范围内反复升降变化,很可能使稳定的库岸边坡向不稳定方向发展,因此,有必要对库岸边坡的水-岩作用机理进行系统的研究。分析可知,库岸边坡水-岩作用机理应根据水位变化情况分阶段考虑,同时应该重点考虑浸泡-风干的循环作用,本文以三板溪库区为例,全面的分析库岸边坡的水-岩作用机理和作用效应,为库岸边坡的变形稳定分析提供了有效地依据。

**关键词:**黔东南;浅变质岩库区;边坡变形;破坏机制;三板溪库区

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.21.094

边坡的破坏并不是瞬间就完成的,它是一个缓慢的过程,影响边坡失稳的因素错综复杂。内在因素包括地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质条件、坡体物质的组成及其结构特征,这些因素决定了边坡的破坏模式<sup>[1]</sup>。外在因素分为不良地质现象和不良地质作用,主要包含有气候、降雨量、地下水位的变化等。大量数据证明,地下水以多种方式对边坡稳定性产生不利的影响,以三板溪库区为例,分别分析不同地下水位对边坡稳定系数的影响,研究结果可为边坡支护提供一定的参考。

### 一、黔东南浅变质岩的地质构造概况

在贵州东部、东南部均出露有面积古老的元古宙变质岩系地层,主要由变质火山岩及陆源碎屑岩组成,多属陆缘海相沉积类型。黔东南浅变质岩地层形成于远古代晚期,武陵运动之后,距今7.6-10亿年前,与下伏梵净山、四堡群不整合接触<sup>[2]</sup>。在漫长的地质历史中,黔东南地区形成了以北东-南西向构造为主的构造变形区,一级构造单元属华南褶皱带。由于经过多期构造运动叠加,在高温、高应力挤压作用下,该区域浅变质岩地层在小范围内呈现构造特征多样化,构造复杂,小型褶皱、断裂非常发育,结构面离散性大,多无规则可循。岩体受风化、切割破坏严重,表层岩体破碎。

### 二、库水位变化对三板溪库岸边坡破坏影响机理研究

#### (一) 库水位上升期

随着库水位的上升,水分子沿着裂纹、裂隙和颗粒之间接触面等结构面向岩体内部渗透,是个渗入的过程,在这个阶段,由于孔隙水压力的增加,减小了裂纹、裂隙结构面上的有效应力,同时,由于润滑、软化作用降低了岩体的摩擦系数和黏聚力,库岸边坡的稳定

性趋于降低。由于物理吸附是由于分子间的力引起的,其速率非常快,化学吸附需要活化能,吸附速率很慢,而水位上升的速率一般远大于水分子在岩体渗透扩散、水化学反应的速率,因此,这个阶段的水-岩化学作用对岩体的影响相对不是很明显,主要表现为物理、力学作用。当然,库水的入渗,也改变了边坡岩体内的渗流场,破坏了原有的可能已经趋于平衡的化学场,促使新的化学损伤加速发展<sup>[3]</sup>。

#### (二) 库水位相对稳定期

在库水位相对稳定的时期,库水位变化引起的坡体内地下水位的调整基本到位,库水位变化引起的边坡岩体的荷载效应也基本趋于平衡,这个阶段主要是水-岩物理、化学作用的阶段,以往研究的水-岩相互作用通常也是指这个阶段。在这个阶段,主要发生溶解、扩撒、沉淀、离子交换等各种水-岩物理、化学反应<sup>[4]</sup>。水-岩物理、化学作用对岩体的作用是一种复杂的应力过程,是一种从微观结构的变化导致其宏观力学性质改变的过程,库水向岩体内部渗透时,一方面矿物颗粒发生溶解、溶蚀等化学反应,另一方面矿物颗粒间接触面或胶结物发生溶解和化学迁移,导致矿物颗粒之间接触面的宏观尺寸逐渐变大,而且轮廓线更加趋于光滑。

#### (三) 库水位消落期

库水位下降时一般有两种情况:水位骤降和缓降。如果水位下降的速度很慢,或者库岸岩体渗透系数较大,地下水位随库水位下降速度较快,渗流浸润线位差不大,对库岸边坡的稳定性影响是相对较小的<sup>[5]</sup>。当库水位骤降时,由于坡体内部孔隙水压力不能及时消散,从而使地下水位下降过程与库水位下降呈现滞后现象,会形成超孔隙水压力,一方面会使岩土体产生渗透变形;另一方面,使水-岩物理化学作用产生的矿物颗粒和化学物质沿着腐蚀的裂纹、孔隙、颗粒间接触面外渗,产生新的次生孔隙。

#### (四) 库水位反复升、降的浸泡-风干循环作用

岩体内部往往存在着大量弥散分布的细观缺陷,岩石(体)的结构,如节理裂隙及裂纹分布区,尤其是裂隙尖端的塑性区,是水-岩物理、化学、渗透作用的活跃带,库水位的反复升降循环过程,是对库岸边坡岩体损伤的一次次累积。库水位的上升,库水入渗,促使水-岩物理、化学作用的产生,岩体渗透、水化学作用加剧了岩体裂隙相互作用及裂隙聚集效应;库水的下降,产生更多新的次生孔隙,而裂隙的聚集、扩展又为水化学作用和渗透提供了更有利的环境,为下一次水位上升时的物理、化学作用提供更多的反应表面。而且在库水位大幅度变化情况下,不仅会改变水-岩作用中的溶解模式及强度,还反复改变溶解-沉淀方向,加剧水-



图1 典型岸坡消落带岩体破坏图

岩反应,使岩体不断产生新的物理、化学损伤,导致岩体的强度逐渐降低。每一次的效应可能并不一定很显著,但多次重复作用后,损伤效应可能会累积性发展,很可能使稳定的滑坡向不稳定方向发展<sup>[6]</sup>。这个循环过程逐渐导致岩体内的细微观裂隙的集中化及扩展,向宏观裂纹、裂隙的转变,在宏观裂纹、裂隙形成以后,水-岩物理、化学作用愈加强烈,其细观的损伤不断演化,推动宏观缺陷的发展,而宏观裂纹在扩展过程中引起的细观损伤区域,又是水-岩化学作用强烈的区域。如果在这个过程中考虑不可溶性盐的沉淀和可溶性岩的结晶、干缩湿胀、崩解等其他作用,岩体的累积损伤将会更加严重。统计发现,很多库岸边坡的失稳并非发生在首次蓄水,而是发生在经历几次库水位升、降循环作用之后。这一点我们也可以从一些库岸边坡的岩体实际破坏现象中得到印证,图1是三板溪库区库岸边坡消落带岩体破坏的图片。

### 三、库岸边坡水-岩循环作用机制分析

根据前面的详细分析讨论,把水库正常运营过程中库岸边坡的水-岩作用机制概括为以下五个方面:一是力学弱化机制,由于裂隙水压力的增加,减小了裂纹、裂隙结构面上的正应力;二是局部应力集中机制,自然界的岩体饱含各种各样的节理、裂隙,各向异性非常明显,容易导致局部应力和增量孔隙压力的集中;三是物理弱化机制,水分子沿着岩体中的微裂纹、微裂隙和颗粒之间接触面等结构面在岩体内部渗透,水的润滑、软化作用降低岩体的摩擦系数和黏聚力;四是化学弱化机制,主要包括化学溶解和沉淀、水合和水解、吸附作用和离子交换、氧化-还原、脱碳酸与脱硫酸作用等,产生次生矿物,引起岩体内部结构、孔隙率的变化;五是浸泡-风干循环作用累积损伤机制,库水位的升降循环过程,是对库岸边坡岩体损伤的一次次累积,这个循环

过程逐渐导致岩体内的细微观裂隙的集中化及扩展,向宏观裂纹、裂隙的转变。

### 结束语

在库岸边坡变形稳定性分析中,除了考虑短期的、宏观的效应,微观的、长期的效应也必须要考虑,除了要考虑水位升、降的宏观影响,也要考虑库岸边坡岩体在长期水-岩循环作用下的力学参数劣化效应,而不能仅仅考虑岩体饱水时的参数弱化。每一次库水升、降循环作用的损伤效应可能并不一定很显著,但多次重复作用后,损伤效应可能会累积性发展,很可能使稳定的滑坡向不稳定方向发展。

### 参考文献

- [1]赵建军,解明礼,余建乐,等.工程荷载诱发填方边坡变形破坏机制试验研究[J].工程地质学报,2019,27(2):426-436.
- [2]姬同旭,杨根兰,吴维义,等.丹霞地貌区某软硬互层公路边坡变形破坏机制物理模拟研究[J].公路,2020,65(4):23-28.
- [3]赵建军,余建乐,解明礼,等.降雨诱发填方路堤边坡变形机制物理模拟研究[J].岩土力学,2018,39(8):2933-2940.
- [4]安晓凡,李宁,孙闻博.岩质边坡倾倒变形机理及稳定性研究综述[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(3):1-11.
- [5]张硕,裴向军,黄润秋,等.黄土填方边坡降雨入渗特征及变形破坏模式的模型试验[J].中国公路学报,2019,32(9):32-41,50.
- [6]陈权川,朱爱军,殷博,等.缓倾顺向软弱夹层岩体边坡变形机理及稳定性研究[J].水力发电,2020,46(5):56-61.