

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2015.04.010

长江三峡库区巴东县王家咀至观音桥段塌岸模式与预测

王世昌, 黄波林, 刘广宁, 陈小婷

WANG Shi-Chang, HUANG Bo-Lin, LIU Guang-Ning, CHEN Xiao-Ting

(中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205)

(Wuhan Centre of China Geological Survey, Wuhan, Hubei 430205, China)

摘要:三峡库区巴东段是岸坡塌岸的高发区,塌岸灾害在很大程度上影响了库区的安全生产生活。通过实际调查,选取深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸、沿基-覆界面滑移型塌岸、基岩崩塌型塌岸、沿结构面滑移型塌岸、冲刷浪坎型塌岸五种多发易发的典型塌岸进行研究,分析发生塌岸的斜坡地质环境条件及其塌岸后的形态特征。运用岸坡结构法与卡丘金法对典型塌岸进行预测,结果显示岸坡结构法更适用于山区水库的塌岸预测。通过实际调查发现,研究区内土质岸坡的稳定坡角在 26° 左右,该值可为巴东段岸坡塌岸预测与防治工程提供参考。

关键词:塌岸;发育特征;岸坡结构法;三峡库区

中图分类号:P642.21;P694

文献标识码:A

文章编号:1007-3701(2015)04-414-07

Wang S C, Huang B L, Liu G N and Chen X T. Bank collapse model and forecast of Wangjiazui to Guanyinqiao in Badong section of Three Georges reservoir. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(4):414-420.

Abstract: Badong section of Three Georges reservoir is a high incidence area of reservoir bank collapse, which is a catastrophe for daily life in reservoir. Through the actual investigation, selected five frequent incidental and typical bank collapse to study, (a) slip bank collapse in surface of thick and loose accumulation, (b) slip bank collapse along base cover interface, (c) rockfall type of bank collapse, (d) slip bank collapse along structural plane, (e) wave erosion type of bank collapse. Analysis the geological environmental conditions and morphological characteristics of reservoir bank collapse. Make predictions for the typical bank collapse by River Bank Structure Method and Kachugin method, the results showed that River Bank Structure Method more is applicable for reservoir bank collapse forecast in montanic reservoir. Through the investigation, the stable slope angle at approximately 26 degrees in soil slop of research area if found, and the figure is used to consult in prediction of the bank collapse and control works of Badong section.

Key words: Three Georges Reservoir; reservoir bank collapse; development characteristics; river bank structure method (RBSM)

水库在蓄水和退水过程中急剧改变了岸坡的地貌、结构、物质组成等发生变化,这些地质条件的水文地质条件,而周期性的调水,也使得岸坡的微小改变势必会造成岸坡变形,甚至形成新生地质灾害

收稿日期:2015-06-03;修回日期:2015-08-18.

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“三峡库区巴东段岸坡改造调查”(No. 12120114079301);国家自然科学基金项目(No. 41372321).

第一作者:王世昌(1981—),男,本科,工程师,主要从事地质灾害调查、环境地质调查、滑坡涌浪研究工作, E-mail: wsc811001@163.com.

害——塌岸。遭受改造的水库岸坡可能成为库区地质灾害的长期隐患,对航道安全运营以及当地经济造成巨大影响。对于塌岸的预测理论研究,最早起源于前苏联的水文地质学家萨瓦连斯基 1935 年提出的水库塌岸宽度的问题^[1]。此后,塌岸预测理论研究得到了普遍的重视,众多学者提出了许多的预测理论与方法,主要有卡丘金法、类比法、图解法、动力法、两段法、平衡剖面法等^[2]。2007 年许强教授等提出了类似三峡这种山区河道型水库的塌岸预测新方法——岸坡结构法(RBSM),并给出了详细的图解方法和预测步骤^[3],通过对二滩、宝珠寺和龚咀三个运行中的类比水库和三峡水库(139 m 蓄水)的塌岸预测检验,验证结果表明该方法适宜于三峡水库以及类似的山区河道型水库塌岸预测,从而为水库塌岸预测与防治工程提供重要依据。吴吉民等采用卡丘金法、工程地质类比法对三峡库区巴东县龙船河库岸不同成因的土质岸坡、岩土混合质岸坡、软硬相间的岩质岸坡在水库蓄水后的塌岸进行了预测,并采用不平衡推力法对其稳定性进行了计算分析与评价,根据预测评价结果进行的防治方案设计,通过了三峡水库三期蓄水的检验,取得了较好的防治效果^[4]。汤明高等通过大量调查实践,总结出了几种容易产生塌岸的岩土体塌岸预测参数特征值,这一成果为塌岸预测和岸坡稳定性评价提供了较强的参考和借鉴价值^[5]。尚敏等在总结库区的主要岸坡结构类型的基础上,分析了三峡库区几种典型的塌岸模式机理,针对岸坡的不同物质构成,提出了相应的防治措施,给库区库岸塌岸的防治提供借鉴^[6]。由于水库岸坡复杂的水文地质、工程地质条件,塌岸预测参数特征值具有较强的个性特征。

三峡库区巴东段是岸坡发生塌岸的高发区,随着库区的周期性调蓄水,塌岸问题已成为影响该库区安全生产生活的不利因素,尤其王家咀—观音桥段库岸,塌岸类型多样,塌岸规模大,是三峡库区巴东段岸坡发生塌岸的典型区域。

1 塌岸现状

巴东县王家咀—观音桥段库岸为嘉陵江组灰岩、巴东组(泥)灰岩、粉砂岩岸坡,右岸为顺向灰岩岸坡,左岸为逆向泥灰岩、粉砂岩、泥岩互层岸坡。受库水位波动影响,岸坡改造强烈,塌岸发育集中。根据现场的调查资料,考虑塌岸的类型规模,在

145 m 水位时,选取巴东县王家咀至观音桥段两岸进行塌岸统计。该段两岸总长度约 12.1 km,发生塌岸的岸坡长度约有 8.3 km,为岸坡总长度的 68.6%。其中深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸总长度约 8.68 km,为塌岸总长度的 10.5%。沿基—覆界面滑移型塌岸总长度约 1.69 km,占塌岸总长度的 20.4%。冲刷浪坎型塌岸总长度约 2.23 m,占塌岸总长度的 26.9%。沿结构面滑移型塌岸分布长度约 2.86 km,占塌岸总长的 34.5%。基岩崩塌型塌岸分布长度约 600 m,占塌岸总长的 7.2%。由统计数据可以看出,在该段岸坡,堆积体斜坡中以薄层堆积体塌岸及冲刷浪坎型塌岸为主,基岩斜坡中以顺向基岩小型岩块滑移为主。

2 发育特征

斜坡的物质组成和结构特征决定了塌岸的类型,不同类型的塌岸也往往表现出相异的发育特征^[6]。根据斜坡物质组成将巴东段岸坡分为堆积体岸坡和基岩类岸坡,分别讨论塌岸的发育特征。

2.1 堆积体岸坡塌岸发育特征

对于堆积体塌岸来说,随着堆积体的厚度、物质组成、松散程度及斜坡坡度的变化,可以发育不同规模和模式的塌岸。

在滑坡的前缘,往往形成厚度较大的堆积区,而由于堆积作用,前缘也会形成较陡的斜坡坡角。根据对石榴树包滑坡前缘的调查结果显示,发生塌岸区域的原始坡角大于或等于 30°,而塌岸后的斜坡坡角为 27°,也就是说,在自然状态下,该区域的斜坡稳定坡角应在 27° 以下。在碎屑岩分布区,由于岩层抗风化能力弱,表层形成的堆积层厚度较小,下部为强风化的岩层。在巴东段台子角一带为薄层堆积体区,斜坡的原始坡角为 33°,发生塌岸后的斜坡坡角为 29°,而在横包坪一带,由于斜坡坡角较小(27°),并没有发生大规模的塌岸,只表现为小规模塌滑,形成一系列的阶梯状地貌。根据现场调查结果,在相同水位下,厚层堆积体中发生塌岸后的稳定坡角更小,塌岸规模更大。

通过对斜坡塌岸后的地形剖面分析,发现塌岸的后缘一般在 175 m 水位线附近,在该位置通常形成陡坎。对于坡角较小的斜坡来说,通常不会发生大规模的塌岸,在水位变动过程中,斜坡物质受水体的淘蚀、浸泡、溶解,产生表层小规模塌滑,形

成一系列的阶梯状地形,根据调查资料显示,这一现象主要发育于坡角小于 27° 的堆积体斜坡上。此外,在有冲沟切割的位置,由于地形坡度变陡,冲沟两侧形成临空面,斜坡容易发生塌岸现象。

堆积体斜坡的塌岸现象是一个复杂的过程,很多情况下并不是单一的存在某一种塌岸,而是多种类型的塌岸相互影响共存。

2.2 基岩类岸坡塌岸发育特征

基岩相对于堆积体来说,具有较稳定的结构和物质组成,较高的抗拉抗剪性,抗风化能力强,因此在斜坡稳定性评价中基岩斜坡一般认为是稳定的。水位变动带的基岩岸坡蓄水时受水体浸润,退水时受阳光曝晒,经过多次干-湿循环后,其强度和完整性都会下降,在水体的侵蚀、溶解下,岩层进一步被破坏,当形成贯通的结构面后,就容易形成塌岸^[7]。巴东段主要发育沿结构面滑移型和基岩崩塌型两种典型的基岩塌岸,沿结构面滑移型塌岸主要发育于碎裂的基岩斜坡中,岩体节理裂隙发育,前缘具临空面,发生塌岸后往往形成大面积的基岩光面^[8];基岩崩塌型塌岸分布面积较小,主要发育在切割深的冲沟两侧及峡谷区,地形坡度较陡,岸坡岩体具有上硬下软、裂隙发育的结构特点,塌岸范围逐渐向斜坡内部延伸。

3 塌岸模式

许强等将三峡库区塌岸类型总体上分为冲

(磨)蚀型、坍(崩)塌型和滑移型^[3,9],对每种塌岸类型又进行了细致划分,基本上涵括了库区的塌岸模式。经过对巴东段岸坡的详细调查,根据岸坡的物质组成和结构特点,将该段岸坡发生塌岸的形式进行研究,塌岸的分布情况见图 1。

3.1 深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸

该类型的塌岸主要发育在原有的滑坡、崩塌堆积体前缘岸坡地形较陡(坡角大于 30° 左右)的位置。该类型的塌岸一般规模较大,较典型的有石榴树包滑坡堆积体塌岸,斜坡物质组成为碎块石土,以碎石成分为主,土质含量在 30%左右,碎石成分多为紫红色泥岩粉砂岩,抗风化能力差,呈棱角碎裂状,堆积体松散堆积。斜坡表层堆积体在库水的浸泡、侵蚀及风浪的淘蚀作用下顺软弱层形成贯通的滑移结构面,在重力作用下形成塌岸。塌岸后缘处多以 175 m 水位线为界,上部形成 60~80° 的陡壁状地形,陡壁高度多在 8~12 m,下部形成约 27° 左右的较平缓斜坡,塌岸后缘及侧缘边界清晰,整个塌岸区域整体下陷(图 2)。塌岸区近江边长 160 m,宽 115 m,厚约 10 m,方量约 18 万方,自 2003 年发生首次塌岸后,塌岸形态基本未发生改变。该类型的塌岸约占调查区塌岸总长度的 10.5%。

3.2 沿基-覆界面滑移型塌岸

该类型的塌岸主要发育于斜坡表层堆积体厚度不是很大、地形坡度较陡的库水位变动带。以秦家沱塌岸为例,斜坡物质以粉砂岩、泥岩碎块石为

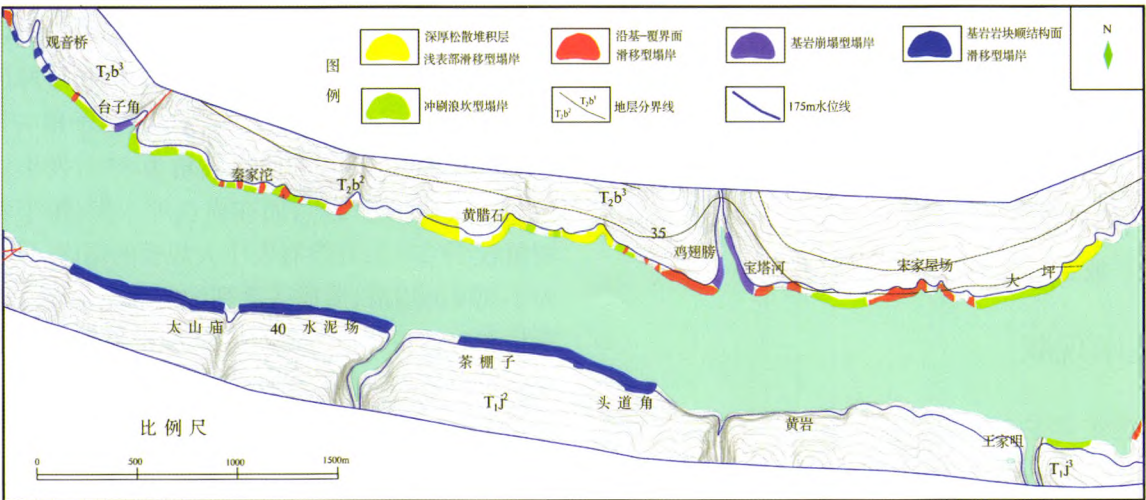


图1 王家咀观音桥段岸坡塌岸分布图

Fig. 1 Distribution map of bank collapse between Wangjiazui and Guanyinqiao

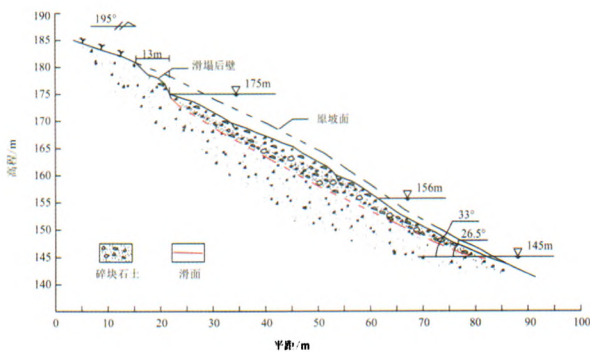


图2 深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸(石榴树包)
Fig. 2 Slip bank collapse in surface of thick and loose accumulation (Shiliushubao)

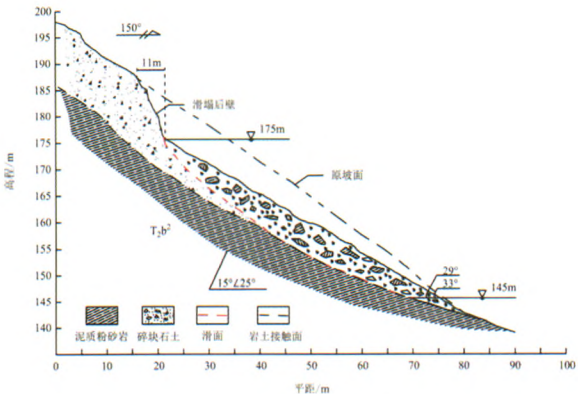


图3 沿基-覆界面滑移型塌岸(秦家沱)
Fig. 3 Slip bank collapse along base cover interface (Qinjiatuo)

主,夹杂少量粉土,土质含量在 30%左右,结构松散。上部堆积体具有较强的透水性,下部泥岩粉砂岩具有隔水性,在库水影响下,尤其是在退水过程中,上部饱水堆积体中的孔隙潜水向下渗透至相对隔水的岩土接触面,顺岩土接触面排泄至长江,在这一过程中可能会形成贯通的滑动结构面而导致斜坡塌岸(图 3)。塌岸后缘形成高约 13 m 的滑塌后壁,塌岸区长 140 m,宽约 55 m,平均厚度约 10 m,滑移距离约 11 m,塌岸方量约 7.7 万方,发生塌岸后地形坡角为 29°。该类型的塌岸在巴东段普遍发育,塌岸后缘形成陡壁,堆积体整体下滑,局部位置出露底部基岩或强风化层。塌岸该类型的塌岸约占调查区塌岸总长度的 20.4%。

3.3 基岩崩塌型塌岸

该类型的塌岸主要发育于切割较深的冲沟两侧及斜坡陡峭的位置,以宝塔河河口塌岸为例,斜坡物质以中-强风化基岩为主,岩层产状 155°∠20°,岩层节理裂隙发育,节理裂隙与层理面相互切割,岩层表现为碎裂块状结构,完整性较差。斜坡底部以软弱的泥岩、页岩、粉砂岩为主,底部岩层受库水浸泡、淘蚀,逐渐变形破坏,当下部软弱基座无法承受上部岩体的重力作用时,就会形成软弱基座型塌岸(图 4)。该类型的塌岸约占调查区塌岸总长度的 7.2%。

3.4 沿结构面滑移型塌岸

在基岩斜坡中,当岩体发育有两组或两组以上相互切割的节理裂隙时,岩层的完整程度将显著下降,斜坡表层岩体常表现为顺斜坡分布的拼接块石。如果斜坡下部的软弱岩层或岩层层理面在风

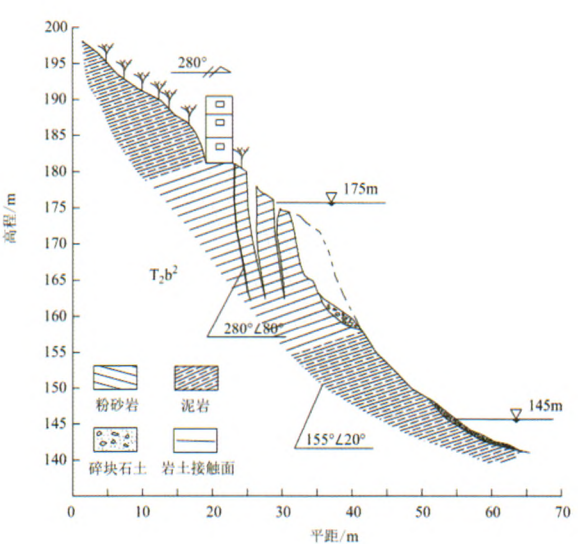


图4 基岩崩塌型塌岸(宝塔河口)
Fig. 4 Rockfall type of bank collapse(Baotahekou)

化、溶蚀、浸泡等作用下形成贯通面,当斜坡前缘形成临空面时,在水位变动过程中,由于斜坡地质环境发生剧烈变化,可能会形成沿结构面滑移的塌岸(图 5),这种类型的塌岸常形成大面积分布的单面坡,在顺向斜坡中(头道角—太山庙段)滑面为层里面(图 5a),在逆向或斜向斜坡中(观音桥段),滑面为贯通的结构面(图 5b)。该类型的塌岸约占调查区塌岸总长度的 34.5%。

3.5 冲刷浪坎型塌岸

在水流冲刷、浪蚀、浸泡等作用下,库水变动带的薄层堆积体斜坡中常发生小规模的塌滑或者斜坡上部土体被侵蚀掉,形成小型陡坎。这种变形由于规模较小,仅发生于水位线附近。随着库水位的

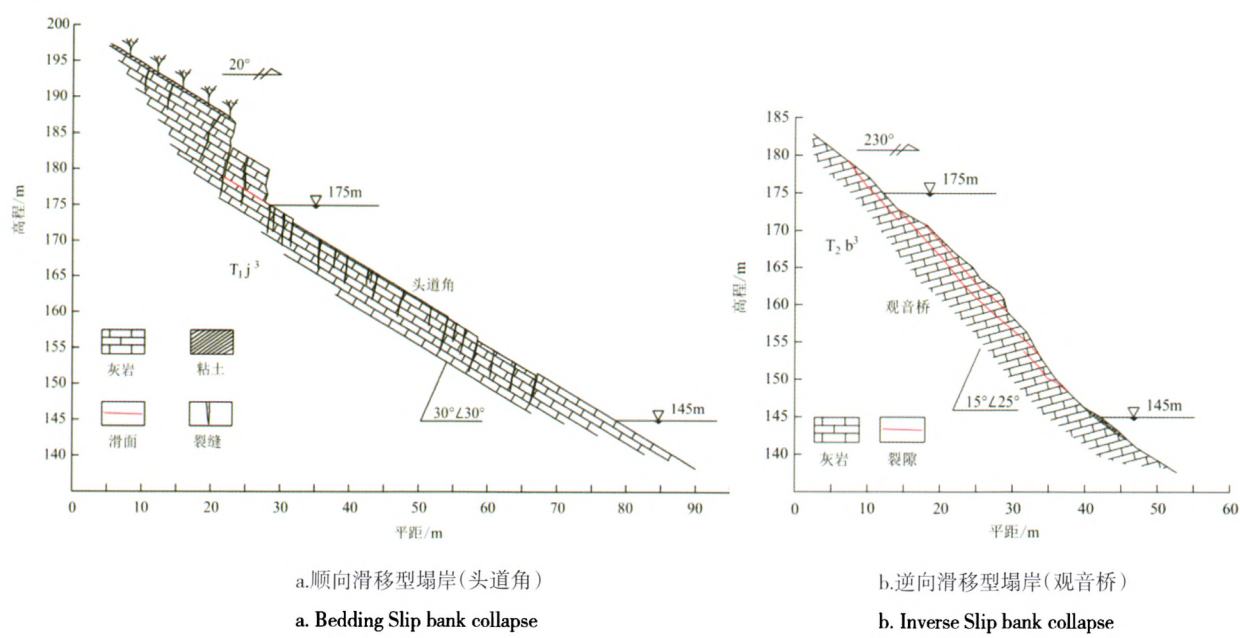


图5 沿结构面滑移型塌岸
Fig. 5 Slip bank collapse along structural plane

持续下降,斜坡上不断重复这一过程,最终当降至设计低水位时,就会形成一系列的阶梯状地貌(图6)。在同一水平位置,常形成窄而长的平台。发生这一现象的斜坡,物质组成一般以碎石土为主,表层土质含量较高,下部块石、碎石成份逐渐增多,在斜坡塌岸过程中沿陡壁面多发育有裂隙。这一类型的塌岸在巴东段普遍发育,常与沿基-覆界面滑移型塌岸伴生,塌岸长度约占调查区塌岸总长度的26.9%。

4 塌岸预测

由于地质环境的复杂多变性,前人多以定性、定量或者二者相结合的方式进行塌岸预测,比较常用的塌岸预测方法有卡丘金法和岸坡结构法。卡丘金法由前苏联学者卡丘金提出,根据几何关系用计算图解法求解岸坡最终塌岸预测宽度^[10]。岸坡结构法以死水位为起算点,根据斜坡物质的水下堆积坡角、冲磨蚀角、和水上稳定坡角,确定塌岸再造线,从而进行塌岸预测,该方法属于类比图解法,在实际应用中取得了良好的效果^[11]。

通过对五种塌岸模式的对比发现,深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸的失稳方量最大,一般位于滑坡的前缘处,发生塌岸后容易诱发滑坡复活;沿

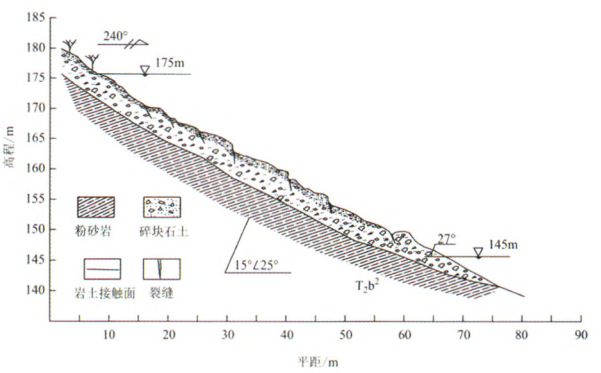


图6 冲刷浪坎型塌岸(秦家沱)
Fig. 6 Wave erosion type of bank collapse (Qinjiatuo)

基-覆界面滑移型塌岸在工作区普遍发育,相比其他三种类型,其塌岸规模较大,更具危害。因此以这两种塌岸模式为例,在工作区选取几处较为典型的塌岸进行调查研究,统计其塌岸宽度、后缘高程和塌岸后的斜坡坡角。以175 m水位为设计高水位,145 m水位为设计低水位,在原地形基础上,选取适当的预测参数^[3,11],分别使用岸坡结构法和卡丘金法,对这些发生塌岸区域进行预测(图7、8),预测值和实际值见表1。

经过对比发现,两种预测方法获得的预测塌岸宽度均大于实际调查的塌岸宽度,其中使用岸坡结

表1 调查区典型塌岸特征值统计表

Table 1 Characteristic value statistics of typical bank collapse in investigation areas

地名	塌岸类型	物质组成	岸坡结构法预测 塌岸宽度(m)	卡丘金法 (m)	目前实际塌 岸宽度(m)	后缘高 程(m)	斜坡坡角(°)	
							原始	目前
黄腊石滑坡前缘	1	碎块石土	28.5	35.2	26.1	181.8	29	26.5
黄腊石滑坡东侧	1	碎块石土	22.4	30.8	12.5	181.5	30	26
横包坪	2	碎石土	17.4	26.4	12.1	182.8	31	29
横堰坪西	2	碎石土	19	21	7.9	177.6	33	31
台子角 1	2	碎块石含砾土	32.8	37.2	17.8	197.2	34	28
台子角 2	2	碎块石含砾土	31.1	35.4	18.1	186.2	30	29
台子角 3	2	碎块石含砾土	23.5	28.2	15.7	186.3	28	26

注:塌岸类型中1为深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸,2为沿基-覆界面滑移型塌岸。

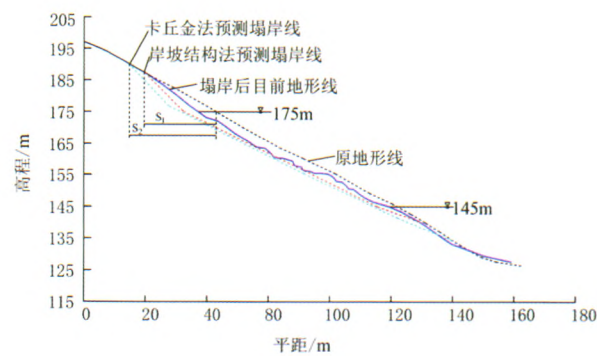


图7 深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸

Fig. 7 Slip bank collapse in surface of thick and loose accumulation

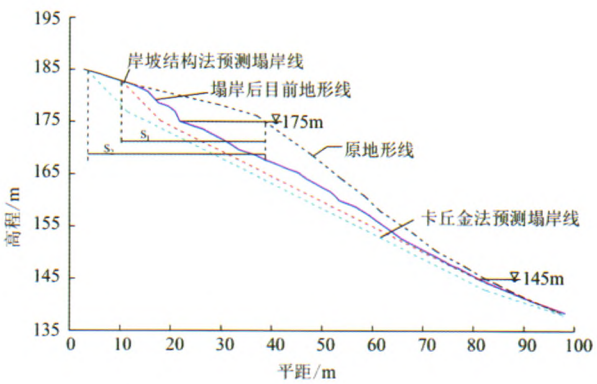


图8 沿基-覆界面滑移型塌岸

Fig. 8 Slip bank collapse along base cover interface

构法预测的塌岸宽度更接近于实际值,这可能与以下几种因素有关:(1)选择的预测参数值偏小,形成的塌岸再造线后移,使得预测值变大;(2)斜坡堆积物质不均匀,碎石、块石的磨圆度、粒径及充填物存在差异;(3)塌岸现象是一个岸坡逐渐演化的过程,目前的塌岸形态并不一定是岸坡最终稳定形态。

5 岸坡改造趋势与防治

随着三峡库区蓄水,库水位的周期性变化,岸坡形态也相应发生局部改变。根据对研究区的调查结果,结合岸坡塌岸预测,对未来该段岸坡的改造趋势进行预测,这对库区的正常水上航运和沿岸居民的安全生产生活具有积极的作用。

5.1 岸坡改造总体趋势

对于岩质岸坡来说,在地形陡峭的冲沟、峡谷内,由于水的浸泡、侵蚀、动水压力作用,加速岩体

劣化和结构面贯通,易形成基岩的滑移或崩塌,由于上部岩体脱落后向下堆积,斜坡坡角逐渐变缓^[2]。在堆积体和强风化碎屑岩岸坡中,水位变动带的坡角逐渐变小变缓,调查统计显示堆积体的稳定坡角在26°左右,岸坡线整体向斜坡内延伸。

5.2 已塌岸区域变化趋势

在已发生塌岸的区域,岸坡的改造形式主要以冲蚀磨蚀为主。受库区水位变动及波浪的淘蚀作用,消落带内的堆积体斜坡坡角进一步变缓(26°左右),斜坡随水位升降形成多级阶梯状地貌。受水体的淘蚀作用,岸坡物质组成发生变化,表层堆积体以碎块石为主,土质含量减少,空隙度增大;在发生塌岸的基岩斜坡内,受水体作用,岩体进一步劣化,逐渐形成新的塌岸,斜坡坡角逐渐减小趋于稳定。

5.3 可能发生塌岸区域变化趋势

岸坡形成塌岸是一个水对岩土体累积破坏的结果,在未发生塌岸的危险区域,随着水对岸坡物

质的物理、化学作用累积,斜坡的完整性和稳定状态逐渐被破坏^[13-14],最终形成塌岸,使斜坡形成新的平衡状态。

5.4 塌岸防治

塌岸是库区常见的一种地质灾害现象,其规模一般较小,主要集中于斜坡坡角位置,其本身造成的影响与危害较小,但随着塌岸发生,其上部斜坡的平衡状态相应发生改变,容易形成新的地质灾害。参考简文星等提出的塌岸防护方案^[15-16],结合研究区实际情况,提出以下塌岸防治建议:(1)对于基岩崩塌型塌岸,宜以喷锚工程为主,结合局部支撑与挖方等进行防护;(2)对于沿结构面滑移型塌岸,宜以抗滑桩工程为主,结合护坡与地表排水等进行防护;(3)对于沿基-覆界面滑移型塌岸,宜以挡土墙工程为主,结合地表排水等进行防护;(4)对于冲刷浪坎型塌岸,宜以干砌条石护坡工程为主,结合石笼、水下抛石压脚等进行防护;(5)对于深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸,宜以格构锚工程为主,结合地表排水等进行防护。

6 结论

三峡库区巴东段是岸坡塌岸的高发区,根据岸坡的形态和物质组成,将巴东县王家咀至观音桥段岸坡塌岸分为深厚松散堆积层浅表部滑移型塌岸、沿基-覆界面滑移型塌岸、基岩崩塌型塌岸、沿结构面滑移型塌岸、冲刷浪坎型塌岸五种类型。运用卡丘金法与岸坡结构法对已发生的塌岸进行塌岸预测,与实际调查值对比发现,岸坡结构法更适用于山区水库的塌岸预测。通过实际调查发现,研究区土质岸坡的稳定坡角在 26° 左右,该值可为巴东段岸坡塌岸预测与防治工程提供参考。

参考文献:

[1] 汤明高,许强,黄润秋,李渝生.三峡库区塌岸预测参数及其影响因素研究[J].成都理工大学学报(自然科学版),

2006,33(5):460-464.

[2] 刘天翔,许强,黄润秋,汤明高,范宣梅.三峡库区塌岸预测评价方法初步研究[J].成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(1):77-83

[3] 许强,刘天翔,汤明高,黄润秋.三峡库区塌岸预测新方法-岸坡结构法[J].水文地质工程地质,2007,(3):110-115.

[4] 吴吉民,许模.三峡库区巴东县龙船河库岸塌岸预测及稳定性评价[J].安全与环境工程,2008,15(3):15-18.

[5] 尚敏,易庆林,王征亮,叶良斌.三峡库区库岸塌岸机理与防治措施研究[J].人民长江,2008,39(12):1-3.

[6] 伏永朋,吴吉民,王树丰,闫举生,李明.三峡库区曾家棚滑坡变形特征与成因机制分析[J].华南地质与矿产,2015,31(1):89-95.

[7] 殷跃平.三峡库区边坡结构及失稳模式研究[J].工程地质学报,2005,13(2):145-154.

[8] 黄波林,刘广宁,彭轩明.三峡库区巫山县望霞乡廖家坪高陡斜坡失稳机制研究[J].华南地质与矿产,2008,24(4):49-55.

[9] 何元宵,许强,朱占雄.典型山区河道型水库塌岸模式研究[J].地质灾害与环境保护,2011,22(1):63-66.

[10] 肖威,沈华,李玥.三峡库区某库岸斜坡塌岸预测[J].工程地球物理学报,2010,7(1):120-124.

[11] 彭仕雄.水库塌岸预测的现状与冲堆平衡法[J].岩石力学与工程学报,2014,33(11):2332-2340.

[12] 王世昌,陈小婷,黄波林,刘广宁.龚家方崩滑体与滚石运动特征的对比分析[J].华南地质与矿产,2013,29(2):156-161.

[13] 常宏,谭建民,李明,程昌和.三峡库区秭归县张家湾滑坡群基本特征及形成机制探讨[J].华南地质与矿产,2004,20(2):66-72.

[14] 霍志涛,张业明,金维群,汪发武,陈晓婷.三峡库区滑坡监测中的新技术和新方法[J].华南地质与矿产,2006,22(4):69-74.

[15] 简文星,殷坤龙,刘礼领,汪洋,桂树强.三峡库区三期塌岸防护规划典型设计[J].岩石力学与工程学报,2005,24(18):3292-3298

[16] 唐辉明.长江三峡工程水库塌岸与工程治理研究[J].第四纪研究,2003,23(6):648-656.