

文章编号 10559-9342(2008)07-0038-05

适合山区水库松散堆积体库岸塌岸预测的图解模型探讨

郭维祥 封云亚 刘洪

(中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550008)

关键词 图解模型; 预测方法; 塌岸; 库岸

摘要 通过对国内已建成的山区水库松散堆积体库岸塌岸现状的资料收集和实地调查测绘, 系统收集了山区水库松散堆积体库岸各种状态下的水上(下)稳定坡角、实际塌岸情况及变形破坏形式等资料, 对影响塌岸的各种水文及地质因素进行了系统的分析, 通过对各种塌岸预测模型影响因素的对比分析, 找出适合于山区水库松散堆积体塌岸预测的图解模型并对模型参数进行了适当修正, 在此基础上制定了对塌岸预测具有指导意义的外业工作流程。

Discussion on Diagrammatized Model for Forecasting Bank Collapse of Incompacted Accumulation Mass in Reservoir of Mountainous Areas

Guo Weixiang, Feng Yunya, Liu Hong

(Guiyang Hydropower Investigation Design & Research Institute, CHECC, Guiyang Guizhou 550008)

Key Words: diagrammatized model; forecast method; bank collapse; bank of reservoir

Abstract: From the field survey and mapping of present condition of incompacted accumulation mass collapse in completed reservoir of mountainous areas in domestic, the authors collect plentiful datum of various stable slope angles above (under) water surface of reservoir bank, actual collapse conditions and patterns of distortion and destruction and analyses various hydrological and geological factors affecting bank collapse systematically, by comparing and analyzing all kinds of factors affecting the forecasting model of bank collapse to find out diagrammatized model that applies to collapse forecast of incompacted accumulation mass in reservoir of mountainous areas and amend parameters of the model properly, establish significative field work procedure for directing the collapse forecast on that base.

中图分类号: TV147.5

文献标识码: A

0 概述

水库塌岸系指水库蓄水后, 松散堆积体或遇水易冲刷、崩解的半岩质岩层, 受库水浸泡、风浪及船行波浪冲击、水流侵蚀以及干湿交替等的影响, 导致库岸岩土体风化加剧, 抗剪强度降低, 以及库水位涨落引起库岸地下水动水压力变化, 造成库岸侵蚀、剥蚀、崩塌、滑移等再造变形, 使库岸线不断后移的不良地质现象^[1, 2]。

目前, 国内外对塌岸的研究主要集中于一般土质(黄土、砂土)岸坡^[3, 4], 对山区型水库库岸稳定性的研究成果较少, 现有的塌岸预测方法基本上仅适用于平原地区冲(磨)蚀型库岸塌岸预测, 对山区河谷型水库库岸适用性差, 因此, 有必要对其适用性进行评价并对预测图解模型进行修正, 从而有效指导山区水库松散堆积体库岸塌岸预测工作的开展。

1 常用塌岸预测图解方法及其应用条件对比分析

1.1 常用塌岸预测图解方法

由于库岸再造是一个十分复杂的动力地质过程, 受诸多因素的影响和控制, 至今还无法用较精确的数学物理方程来描述其过程, 准确的塌岸预测必须对水库运行期间的塌岸剖面进行跟踪式水准测量, 用以检验、修正先期的预测结果和进行再预测。目前, 对于水库塌岸的后评价工作做得较少,

收稿日期: 2008-05-28

作者简介: 郭维祥(1968—), 男, 湖南涟源人, 教授级高工, 从事水利水电工程地质勘察工作; 封云亚(1955—), 男, 江苏徐州人, 教授级高工, 贵阳勘测设计研究院副院长; 刘洪(1975—), 男, 贵州印江人, 工程师, 从事水利水电工程地质勘察工作。

因此 ,水库塌岸的预测仍主要采用 E· 卡丘金法、·C· 佐洛塔廖夫法、两段法^[9]、库岸结构法^[10]等图解预测方法。

佐洛塔廖夫法是苏联学者 ·C· o 于 1955 年提出的 ,该方法认为水库库岸再造的主要作用力是波浪力 ,库岸再造后的岸坡可分为浅滩外缘陡坡、堆积浅滩、冲蚀浅滩、爬升带斜坡以及水上岸坡带等 5 段 ,通过作图得到上述 5 段岸坡 ,即为库岸再造的最终岸坡。

卡丘金法依据实测的洪、枯水位变幅带各类岩土岸坡长期稳定坡角 ,根据几何关系 ,用图解法求解库岸最终塌岸宽度。

两段法系王跃敏等通过近 10 年对数十处水库塌岸的调查、研究提出来的预测塌岸的方法。该方法认为预测塌岸线由水下稳定岸坡线和水上稳定岸坡线的连线组成 ,水上稳定岸坡线的起点所对应的同高度的原始岸坡点与该线终点之间的水平距离即为预测的塌岸宽度 S_0 。水下稳定岸坡线由原河道多年最高洪水位 h 及倾角 确定 ,水上稳定岸坡线由设计洪水位和毛细水上升高度 H 及倾角 确定。

库岸结构法是成都理工大学环境与土木工程学院刘天翔等针对三峡库区所提出的塌岸预测方法 ,是针对三峡库区冲 (磨)蚀型和坍 (崩)塌型库岸提出的。库岸结构法的主要原理就是根据岸坡上各种不同物质的水下堆积坡角、冲磨蚀角、水上稳定坡角 ,结合水库的设计低水位、设计高水位来进行预测 ,也是一种图解法和类比法。

1.2 各种塌岸预测图解方法的应用条件对比分析

图解法预测水库蓄水后塌岸范围的关键是各控制点和控制角度的确定 ,为此 ,从塌岸预测起点、控制角度、塌岸预测方法的适用性等方面 ,对各种塌岸预测图解方法的应用条件进行了综合比较 (见表 1)。

1.2.1 预测起点分析

各种塌岸预测图解方法中对塌岸范围预测的起点规定均有所不同 ,也就是蓄水后水能影响的下限不同。其中 ,佐洛塔廖夫法中考虑了水下堆积浅滩的存在 ,而塌岸预测范围的起点并没有明确标示 ,需要通过塌岸和堆积平衡关系式来确定 ,这里我们可以认为塌岸的起点在最低水位线附近 ,该方法认为 ,水库蓄水后塌岸首先发生在水位变动带范围内 ,而塌岸物质并没有被水流全部带走 ,有一部分堆积在水下 ,形成浅滩 ;卡丘金法认为 ,塌岸影响范围的起点是水库最低水位线以下波浪影响深度线与原始坡面线的交点 ,该方法强调

水库波浪的影响作用 ,认为水位变动、波浪作用是塌岸形成的主要原因 ,塌岸发生在波浪最大影响深度以上范围 ;两段法认为塌岸起点的高程相当于原河道的历史最高洪水位或蓄水后第一年的淤积高程 ,取两者中的高位 ,该方法同时考虑了历史塌岸和未来塌岸堆积的作用 ,是一种综合因素的反映 ,但用历史最高洪水位作为预测起点 ,预测宽度偏小 ,也不合理 ,一般历史最高洪水位作用岸坡的时间短 ,未达到水下稳定坡角 ,用该方法预测时存在预测宽度偏小、预测起点偏高两大风险 ;库岸结构法认为塌岸起点为死水位与岸坡的交点 ,该方法认为水库运营最低水位以上均存在塌岸。

1.2.2 预测坡角分析

佐洛塔廖夫法预测需要 5 个坡角 ,即浅滩外缘陡坡坡角、堆积浅滩坡角、水位变动带冲蚀角、波浪爬升带坡角、水上岸坡稳定坡角。这 5 个坡角充分考虑了水库塌岸和堆积的综合作用 ,塌岸部分包括 3 个影响带 ,即水位变动带、波浪爬升带和水上岸坡带 ,分别采用不同的坡角。该方法需要确定的坡角参数太多 ,应用时存在一定的困难。

卡丘金法和两段法均采用 2 个坡角 ,虽然考虑的角度不同 (卡丘金法把波浪影响的最低和最高线之间定义为水位变动带坡角 ,而两段法认为设计洪水位线+毛细水线以下属水下坡角 ,前者认为波浪和水位变动是水下塌岸角的主要影响因素 ,而后者认为地下水位是主要影响因素) ,但从坡角的获取角度考虑 ,采用工程类比法时两者得到的结果应该是一样的 ,但影响范围不同。另外 ,两段法还可以通过工程计算获得坡角参数 ,应用起来较为方便。

库岸结构法采用 3 个坡角 ,主要是针对水库调度 ,并没有考虑波浪因素。该方法综合考虑了水库的各水位之间存在的联合作用 ,认为水位变化主要源于水库的调度。

1.2.3 各种塌岸预测图解方法的综合评价

佐洛塔廖夫法充分考虑了水下堆积浅滩的作用 ,且以考虑地形、地貌、水文等各方面资料为基础 ,是一种较为普遍适用的塌岸预测方法 ,但这种方法在实际运用中必须查明有多少比例的冲磨蚀土可组成堆积浅滩 ,因而实际运用较为复杂。此外 ,在山区型水库的塌岸过程中 ,很多岸坡初始坡度就很陡 ,在周期性的水位大幅变化时 ,冲磨蚀下的破碎物质向陡坡脚移动并被水流带走 ,较难在岸边形成堆积浅滩 ,所以如不加以修正直接运用佐洛塔廖夫法进行山区型水库的塌岸预测 ,其结果会与实际相差甚远。

表 1 各种塌岸图解预测方法应用条件比较

预测方法	起点位置	适用条件	不足之处
佐洛塔廖夫法	水下淤积浅滩预测顶点位置	库水水流缓慢 ,水库低水位线附近能形成就近堆积浅滩	通过试算确定 ,应用不方便
卡丘金法	低水位波浪影响深度线与坡面交点	波浪对塌岸影响大 ,相对静水带内岸坡稳定 ,水下岸坡以密实土质或基岩坡为主	未考虑波浪影响范围以下部分的塌岸 ,对弯曲凹岸环流侧向侵蚀和易软化岸坡的塌岸考虑不足
两段法	历史最高洪水位或蓄水第一年淤积顶点与坡面交点	综合考虑了历史塌岸形态和蓄水淤积作用 ,适合松散易塌岸和易形成稳定淤积浅滩岸坡	对蓄水后相对静水带不够重视 ,第一年淤积浅滩顶点位置不易确定
库岸结构法	水库死水位	强调库水位变动对塌岸的作用 ,与卡丘金法的假定基本相同	没有考虑水位变动的频次

卡丘金法适用于黄土类土层及平原地区水库的塌岸预测,用于南方山区峡谷型水库的塌岸预测时,其结果往往与实际相差甚远,实际塌岸宽度要比预测的小得多,其预测结果偏于安全。

两段法综合考虑了蓄水前后塌岸、淤积过程。该方法认为蓄水前洪水线以下部分已达到水下稳定坡角,而洪水线以上为水上稳定坡角。一般水上稳定坡角大于水下稳定坡角,水库蓄水后,蓄水前洪水线以上部分将处于不稳定状态而产生塌岸,这一假设符合作图法的基本要求。该方法适合于我国南方山区的峡谷型水库,在均质或者类均质岸坡中有较好的预测效果,但不适合于岸坡结构复杂的库岸。

库岸结构法以水库死水位为预测起点,概念较明确,但未考虑历史洪水对天然岸坡的影响,需结合库岸形态分析论证天然洪水对库岸的影响程度。该方法适合于大型水库的长期趋势预测,将库岸结构进一步细化,考虑了最低水位以下长期冲磨堆积作用,预测时需要的参数较多,使用时有一定难度。

2 适合山区水库松散堆积体库岸塌岸预测的图解模型选择及模型参数修正

图解法预测塌岸范围的关键是预测方法的确定及预测模型控制点(预测起点和正常蓄水位以上影响高度线)和控制角度(各岩土类型水上、水下稳定坡角)的选择。为此,根据已有库岸塌岸预测方法的对比分析,找出适合于山区水库松散堆积体库岸塌岸预测的图解模型,并根据山区水库的特点对模型参数进行适当修正。

2.1 预测方法选择

卡丘金法、佐洛塔廖夫法、两段法、库岸结构法等现有预测水库塌岸或水库边坡再造范围和规模的方法均有一定的应用基础。由于水库塌岸随不同的岸坡结构、岩土类型和不同的影响因素将会呈现不同的塌岸变形破坏模式,不同类型的水库、不同的塌岸地质条件下的库岸再造过程也是迥异的,上述塌岸预测方法都是前人针对特定研究对象的水库而提出的,均有一定的适用条件,因此直接运用以上方法进行山区水库松散堆积体库岸塌岸预测时,结果往往差别很大。为此,根据大量的实例预测验证分析,结合贵州省已蓄水水库的塌岸现状实地调查,选择适用于山区水库松散堆积体的塌岸预测图解模型。

卡丘金法适用于黄土类土层及平原地区水库的塌岸预测,而用于南方山区峡谷型水库的塌岸预测,其结果往往与实际相差甚远,实际塌岸宽度要比预测的小得多,其预测结果偏于安全;佐洛塔廖夫法充分考虑了水下堆积浅滩的作用,且以考虑地形、地貌、水文等各方面资料为基础,是一种较为普遍适用的塌岸预测方法,但这种方法在实际运用中必须查明有多少比例的冲磨蚀土可组成堆积浅滩,因而实际运用较为复杂。此外,在山区型水库的塌岸过程中,很多岸坡初始坡度就很陡,在周期性的水位大幅变化时,冲磨蚀下的破碎物质向陡坡脚移动并被水流带走,较难在岸边形成堆积浅滩,运用该方法进行山区型水库的塌岸预测,其结果与实

际相差甚远;两段法适合于我国南方山区的峡谷型水库,在均质或者类均质岸坡中有较好的预测效果,但对岸坡结构复杂的库岸适用性差;库岸结构法适合于水库的长期趋势预测,将库岸结构进一步细化,考虑了最低水位以下的长期冲磨堆积作用,该方法需要的参数较多,使用起来有一定难度。

综合以上研究成果认为,两段法和库岸结构法均适合山区型水库库岸再造预测,在选择预测方法时,应结合水库的特点、库岸结构及物质组成确定。其中,两段法主要适用于均质或类均质松散堆积体岸坡的水库塌岸预测;库岸结构法主要适用于松散堆积体岸坡物质结构复杂和水库死水位以上存在相对静水带(在死水位以上存在设计低水位的情况)的水库塌岸预测。

2.2 预测起点修正

在进行塌岸预测起点确定时,两段法选择历史最高洪水水位作为蓄水后预测起点,因历史最高洪水水位作用岸坡时间短,未达到水下稳定坡角,因此采用此水位作为预测起点存在预测宽度偏小且不合理的问题,而库岸结构法应用死水位作为预测起点,强调库水位变动对塌岸的影响,该方法未考虑历史洪水对库岸的塌岸影响。

为此,综合考虑水库水深、悬移质及岸坡塌岸物质的堆积作用、历史洪水对岸坡的影响及库水位变动对岸坡的影响等,认为采用5年一遇洪水水位高程作为塌岸预测起点较合理。对于水库堆积作用对库岸稳定的影响可结合水下稳定坡角选择考虑。

2.3 库水影响高度修正

在波浪作用和洪水影响下,正常蓄水位以上一定高度库岸将受库水或洪水作用的影响,一般波浪作用的高度有限,且处于洪水影响范围内,考虑到洪水作用的频次及强度,取5年一遇设计洪水水位作为正常蓄水位以上库水影响高度线。

2.4 水上(下)稳定坡角选用

两段法预测图解模型需提供水下岸坡稳定坡角和水上岸坡稳定坡角两个参数。该方法的预测起点考虑了历史洪水的的影响及岸坡物质结构特征,因此,水下岸坡稳定坡角宜采用同类型土5年一遇天然洪水水位高程以下的实测斜坡坡角统计平均值,水上岸坡稳定坡角可根据现场实测的同类型土20年一遇洪水水位线以上的未经人工改造过的斜坡坡角统计平均值。

在水下稳定坡角选用时,考虑到水库中下游段库水较深、水流速度较慢,水库蓄水后,库水携带的悬移质及库岸塌岸物质的堆积作用较明显,水库的淤积在一定程度上能起到护岸作用,因此,水库长期塌岸预测时应考虑堆积的影响,而水库中上游段库水较浅、水流纵向流速较快,塌岸物质及悬移质不易就地堆积。

库岸结构法图解模型需提供水下岸坡稳定坡角、水位变动带稳定坡角和水上岸坡稳定坡角3个参数。该方法考虑了水库运行调度及相对静水带的影响,因此,水下岸坡稳定坡角宜采用天然河床常水位以下的斜坡坡角,水位变动带坡角对应两段法的水下岸坡稳定坡角,水上岸坡稳定坡角的概念

与两段法完全一致。

2.5 常见的松散堆积体塌岸稳定角建议值

综合国内已建水库的经验及库岸地形坡度实测资料 ,结合库岸松散堆积物的成因、物质组成和结构特点 ,提出各种堆积物岸坡的水上(下)稳定坡角建议值(见表 2)。

3 塌岸预测工作流程

通过总结历年来水库塌岸预测工作的经验 ,参考已有水库塌岸预测方法 ,制定了山区水库松散堆积体库岸塌岸预测工作流程(见图 1)。在应用此工作流程时应注意以下几点:

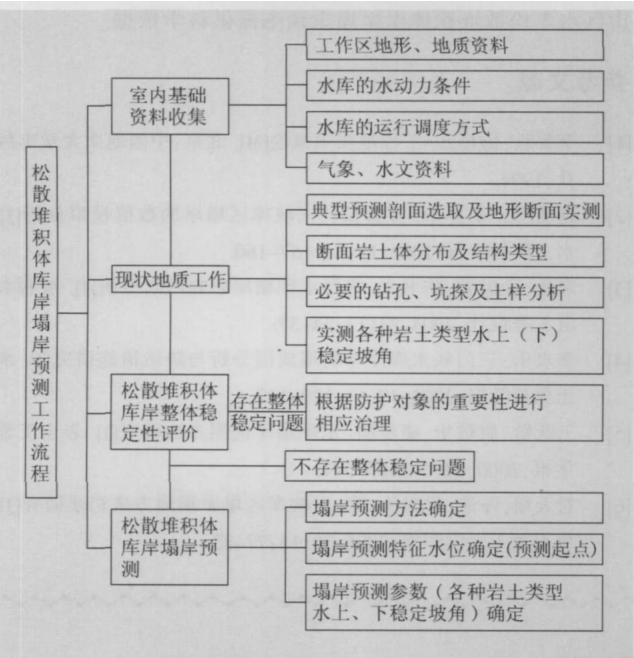


图 1 塌岸预测工作流程示意

(1)对松散堆积体库岸进行塌岸预测时 ,应根据具体库段松散堆积体的分布特征及防护对象的重要性选择典型断

面 ,针对典型断面进行地形、岩土体结构等地质资料实测。实测地形断面可直接采用激光测距仪进行断面测量 ,条件不具备时也可采用皮尺和罗盘配合进行断面测量。实测地质断面时 ,应了解岸坡的岩土体分布、物质组成及结构特征、厚度、地下水分布等 ,一般库段典型断面地质资料可通过现场地质测绘获得 ,重要库段典型断面应有适量的钻孔、坑探、取样试验或物探工作进行控制 ,钻孔或坑探沿典型断面布置 ,靠近岸边的坑、孔应深入水库死水位或相当于陡坡脚高程以下 ,为了解松散堆积体的规模及厚度 ,可在典型断面位置布置一定的物探工作 ,为了解松散堆积体的物质成分、级配、密实度及物理力学参数等 ,可取少量土样进行室内土工试验。

②现场实地分段(要求把 5 年一遇天然洪水影响范围线~常水位线之间的地形坡度分出来)收集各种岩土类型的水上(下)稳定坡角数据 ,为塌岸预测参数的确定提供可靠依据。

4 结 论

(1)通过国内外已建水库库岸塌岸情况资料收集及拟建水库天然河道岸坡稳定状态实地调查 ,山区水库松散堆积体库岸的塌岸破坏形式主要表现为冲蚀-磨蚀型和坍塌后退型两类。其中 ,冲蚀-磨蚀型为缓慢的变化过程 ,多发生在自然斜坡平缓、物质松散的岸坡地带 ,而坍塌后退型经历了渐变~突变过程 ,多发生在陡坡库岸的起始再造阶段。

②目前国内外水库塌岸预测方法多属于经验性或半经验性方法 ,由于自然条件的复杂多变 ,尚无法通过严格的物理方程来解决水库塌岸的定量计算问题。为此 ,属于经验性的图解法在生产中得到了广泛应用 ,常用的水库塌岸预测图解法主要包括佐洛塔廖夫法、卡丘金法、两段法和库岸结构法等 4 种。通过对这 4 种塌岸预测方法的适用性的对比分析认为 ,两段法和库岸结构法较适合山区水库松散堆积体的库岸塌岸预测。

表 2 松散堆积物分类及水上(下)稳定坡角建议值

岩性及成因		状 态	水下堆积稳定坡角/(°)	水位变动带冲磨蚀坡角/(°)	水上稳定坡角/(°)
残坡积	粉质粘土夹角砾	粘土含量 70%~90% ,硬塑~可塑	14~21	16~25	20~33
	粉质粘土夹块碎石	硬塑 ,稍湿~湿	16~19	24~27	39
	碎石夹粘土		18~21	22~25	27~40
崩坡积	块碎石夹少量粘土	略具胶结或密实	18~22	23~30	35~46
	块石堆积	稍密 ,钙质弱胶结	29	32	41
	块石、角砾及岩屑、泥质堆积	钙- 泥质弱胶结	22	30	40
	巨砾卵石层	大于 0.8 m 的巨砾含量为 40%		46	
冲洪积	砂卵石		11~13		
	卵石层	分选、磨圆好		35	
	卵石、角砾及粗砾	密实		38	
	含砾粘土	卵石约占 15% ,粘土坚硬 ,稍湿	22	32	
	粉质粘土		6~10	14~23	23~31
	粉土		11~15		
	淤泥质粉质粘土		4~6		
滑坡堆积	大块石夹碎石	大块石有架空现象	23~29	25~31	43~55
崩坡积(滑坡堆积)	碎块石		20~27	22~32	30~39

③ 针对初步选定的山区水库松散堆积体库岸塌岸预测图解模型,对其适用条件及预测参数等进行了修正。适用条件。两段法主要适用于均质或类均质松散堆积体岸坡中的水库塌岸预测;库岸结构法主要适用于松散堆积体岸坡物质结构复杂和水库死水位以上存在相对静水带的水库塌岸预测。塌岸预测起点修正。综合考虑历史洪水影响、水库运行调度情况、水库流态特点、水库水深及水库淤积情况等,以5年一遇天然洪水作用高程作为塌岸预测起点较合理。库水塌岸影响高度修正。在波浪作用和洪水影响下,正常蓄水位以上一定高度库岸将受库水或洪水作用的影响,一般波浪作用的高度有限,且处于洪水影响范围内,考虑到洪水作用的频次及强度,取5年一遇设计洪水位作为正常蓄水位以上库水影响高度线。塌岸预测水上(下)稳定坡角值修正。两段法预测图解模型需提供水下岸坡稳定坡角和水上岸坡稳定坡角两个参数,水下岸坡稳定坡角采用同类型土5年一遇天然洪水位高程以下的实测斜坡坡角统计平均值,水上岸坡稳定坡角可根据现场实测的同类型土20年一遇洪水位线以上的未经人工改造过的斜坡坡角统计平均值,其中水下稳定坡角的确定应考虑水库中下游段塌岸物质及悬移质的堆积作用;库岸结构法图解模型需提供水下岸坡稳定坡角、水位变动带稳定坡角和水上岸坡稳定坡角3个参数,水下岸坡稳定坡角采用天然河床常水位以下的斜坡坡角,水位变动带坡角对应两段法的水下岸坡稳定坡角,水上岸坡稳定坡角的概念与两段法完全一致。

④ 在研究山区水库适用松散堆积体库岸塌岸预测图解

模型的基础上,通过总结历年来水库塌岸预测的工作经验,参考已有水库塌岸预测方法,制定了山区水库松散堆积体库岸塌岸预测工作流程及应用说明。

⑤ 通过已建、拟建典型山区水库实测库岸地形坡度资料及收集到的国内外水库塌岸实测地形坡度资料,结合库岸松散堆积物的成因、物质组成和结构特点,提出了常见松散堆积物岸坡的水上(下)稳定坡角建议值。

⑥ 准确的水库塌岸预测需有完整的蓄水前和蓄水后库岸塌岸观测资料,鉴于目前水库塌岸的后评价工作开展得较少,建议在条件具备的水库,建立典型库岸塌岸观测断面,为山区水库松散堆积体库岸塌岸预测提供科学依据。

参考文献:

- [1] 李智毅,杨裕云.工程地质学概论[M].北京:中国地质大学出版社,1994.
- [2] 赵晓彦,胡厚田.万县长江三峡库区塌岸的数值模拟分析[J].水土保持学报,2003,15(5):157-160.
- [3] 宋岳,段世委,陈书文.官厅水库塌岸影响因素分析[J].水利水电工程设计,2004,23(1):34-37.
- [4] 李永乐.三门峡水库库岸坍塌成因分析与防治措施研究[J].水土保持学报,2003,17(6):129-132.
- [5] 王跃敏,唐敬华,凌建明.水库塌岸预测方法研究[J].岩土工程学报,2000,22(5):569-571.
- [6] 刘天翔,许强,黄润秋,等.三峡库区塌岸预测方法初步研究[J].成都理工大学学报,2006,33(1):77-83.