

河岸稳定性评估指标体系初探

邓彩云, 李凌云, 朱勇辉

(长江科学院 水利部江湖治理与防洪重点实验室, 武汉 430010)

摘 要: 河岸稳定性影响因素众多, 各因素间的相互作用机理复杂, 现阶段的已有研究深度尚难以满足定量计算河岸稳定性的需求。采用定性分析与定量计算相结合的方法, 初步构建了河岸稳定性评估指标体系。在此过程中, 分析河岸稳定性评估指标选取的基本原则, 将河岸稳定性评估指标体系分为目标层、属性层和指标层 3 个层次, 依据河岸稳定性现状、影响因素和变化过程对岸线现状、岸坡地质条件、护岸完备性条件、河势变化情况、近岸河床冲刷程度和近岸河床坡度情况等指标进行了分析, 初步探讨了河岸稳定性评估结果可靠性问题。讨论分析结果表明: 河岸稳定性评估体系是基于对多个动态可变因子的量化尝试; 评估的有效性依赖于近岸河床变化监测数据的可靠性和代表性; 下一步研究可针对具体河段开展指标量化或优化计算方法探讨, 以及河道岸坡稳定性评估体系的验证。

关键词: 河岸稳定性; 评估指标体系; 岸坡现状; 崩岸影响因子; 岸坡变化过程

中图分类号: TV861 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-5485(2019)10-0127-04

Preliminary Study on Riverbank Stability Evaluation Index System

DENG Cai-yun, LI Ling-yun, ZHU Yong-hui

(Key Laboratory of River Regulation and Flood Control of Ministry of Water Resources,
Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Due to numerous influencing factors and complexity of the interaction mechanism among these factors, current study on riverbank stability is still difficult to meet the demand of quantitative calculation. In this paper, a riverbank stability evaluation index system is constructed by combining qualitative analysis with quantitative calculation. In this process, the basic principle of selecting the evaluation indexes of riverbank stability is analyzed. The evaluation index system of river bank stability is divided into three layers: target layer, attribute layer and index layer. According to the current situation, influencing factors and change process of riverbank stability, the current situation of bank line, the geological condition of bank slope, the condition of bank protection completeness, the change of river regime, and the scour degree and slope of river bed near bank are analyzed. The reliability of evaluation results in the process of river bank stability assessment is also discussed. The discussion and analysis demonstrate: the riverbank stability evaluation index system is based on the quantitative attempt of multiple dynamic variable factors; the validity of the system depends on the reliability and representativeness of the monitoring data of the nearshore riverbed; further study can be performed in terms of quantitative or optimal calculation methods for specific river sections as well as the verification of the riverbank stability evaluation index system.

Key words: riverbank stability; evaluation index system; current situation of bank; influencing factors of bank collapse; change process of bank slope

收稿日期: 2019-07-04; 修回日期: 2019-08-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1502602); 长江科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(CKSF2017053/HL); 三峡水库科学调度关键技术第二阶段研究项目(SXSN/4384)

作者简介: 邓彩云(1984-), 女, 湖南新田人, 高级工程师, 博士, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: dengcaiyun@mail.crsri.cn

通信作者: 李凌云(1982-), 男, 湖南慈利人, 高级工程师, 博士, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: lilinyun@mail.crsri.cn

1 研究背景

崩岸是冲积性河道演变过程中平面变形的一种表现形式,同时也是河道主要灾害形式之一。根据历年《长江泥沙公报》的崩岸统计,自三峡水库蓄水运用以来,截至 2018 年 11 月,长江中下游干流河道累计发生崩岸 900 多处,长度 700 余千米。岸线崩退不仅改变河道平面形态、引起上下游河势的调整变化,严重时可能直接影响防洪、航运、涉水建筑物的安全与岸线的保护和利用。随着河流两岸国民经济与社会的发展,对河势、航道、堤岸稳定及河岸带生态环境等方面的要求愈来愈高,相应崩岸所构成的威胁与造成的损失也愈来愈大。

众多学者对河道崩岸机理和崩岸影响因子开展的大量研究,积累了丰硕的研究成果。崩岸与不同河型特性的河势条件有关,早在 20 世纪 50 年代开展对荆江河道特性研究的过程中,研究人员就指出,下荆江河道平面横向变形剧烈,引起崩岸频发甚至裁弯取直,与其“九曲回肠”的蜿蜒型河势条件密不可分^[1]。一些学者则更具体地从水流强度和河床组成物的抗冲强度来分析崩岸机理影响因素^[2-6]。对崩岸过程的研究,余文畴和卢金友^[7]认为崩岸首先由水流刷深近岸河床,冲陡坡脚,使岸坡失去稳定,发生崩塌。夏军强等^[8]分析了上、下荆江二元结构河岸崩岸发展过程的差异。综合分析已有研究成果可知,尽管近年来人们认识崩岸影响因素、崩岸机理及过程方面获得了一定的进展,但现有的研究深度尚不能从崩岸物理机理的层面上来量化各崩岸影响因子之间的相互作用,以及定量分析各因子对岸坡稳定性影响程度。

评估(评价)体系通常由表征评价对象各方面特性及其相互联系的多个指标,构成具有内在结构的有机整体,本文综合考虑了崩岸多个方面的影响因素,初步探讨了河道岸坡稳定性评估指标体系。

2 河岸稳定性评估体系

2.1 评估指标选取的基本原则

河岸稳定性评估体系难以采用单一的标准或指标,而需要基于众多因素,从岸坡自身形态、水流动力条件、人类活动影响等多方面开展对岸坡稳定性的影响评估。建立河岸稳定性评估体系,选取评估指标时需遵循以下基本原则:

(1)科学性原则。评价指标要能客观反映河岸

稳定性的内涵,能较好地度量河岸稳定性影响因子的特性,指标本身应涵义明确,简便易测,评价方法科学规范,评价结果真实、客观。

(2)代表性原则。构成河岸稳定性的影响因素很多,选取的指标应能够体现河岸稳定性影响因子在某一方面的主要状况和特征,具有较好的代表性和最大可能的集成度,反映问题深刻且具有实际意义。

(3)综合性原则。选取的指标不仅能够较全面地反映和测评各类因素对河岸稳定性的影响,同时也反映各影响因子间的相互关系,具有足够的涵盖面。尽可能采用标准和名称、概念和计算方法,使得评价指标体系清晰易懂,能同时被专业人士和相关行政管理人员所理解和接受。

(4)发展性原则。所选取指标既要反映河岸稳定性的现状,又要反映其发展过程与趋势,动态性与静态性相结合,符合空间和时间上的可比性,使得评价结论能够从纵向自我比较和横向上与其他河段进行比较。

(5)定性与定量相结合原则。选取的指标应既有定性描述又有定量分析,应尽量使定性问题量化,便于后期的数据处理,保证综合分析的客观性,难以量化的重要指标可采用分等(或分类)进行定性分类评价。

(6)可操作性原则。选取指标时应充分考虑到数据资料的来源及获取的现实可能性,尽量选取数据可得、成本低、概念明确、计算方法简单的指标,使得评价方法易操作易理解,避免指标过于庞杂,无法操作。

2.2 评价指标体系的基本框架

根据河岸稳定性评估体系设置的基本原则,初步拟定河岸稳定性评估体系分为 3 个层次:目标层、属性层和指标层。

(1)目标层。河岸稳定性评估的目标在于综合分析各类因素对河道岸坡稳定性的影响,对河道岸坡稳定性现状及发展趋势予以评估,为崩岸预警提供参考依据。

(2)属性层。河岸稳定性可从现状、影响因素及变化过程 3 方面属性进行评估。

①河岸稳定性现状属性反映了现状条件下各类影响因子对河道岸坡稳定性综合作用的结果。

②宏观上,河岸稳定性影响因素可从河道边界条件、水流动力条件和人类活动等方面进行分析。河道边界条件属性反映了河岸的抗冲性;水流动力条件属性反映了水流破坏河道岸坡稳定性的强弱程度;除突加荷载外,一般情况下人类活动往往引起河

道边界条件和近岸水流条件的变化,从而对河岸稳定性产生影响,可根据具体河段情况,把人类活动影响归并为河道边界条件属性或水流动力属性。

③河岸稳定性变化过程属性反映了水流动力与河道边界交互作用的过程中,引起的岸坡稳定性累积变化过程。

(3)指标层:依据属性层提出的分类标准,提出具体的评价指标,具体反映各个因素对河道岸坡稳定性增强或破坏的程度。指标层是评价指标体系的最基本的组成单元。

2.3 评价指标分析

依据河岸稳定性现状、影响因素及变化过程,从以下 3 个方面对具体评价指标进行分析。

2.3.1 河岸稳定性现状属性指标

选取岸线现状作为评价指标。岸线现状是评估岸坡稳定性最为直接的指示器,主要考察所评估河段的岸线崩退现状。由于影响河道岸坡稳定性的因素十分复杂,目前对河道崩岸机理研究深度尚难以定量分析各因素对河道岸坡稳定性的影响,而河道岸线现状无疑可作为反映现状各种因素对河道岸坡稳定性综合作用的指示指标。例如,若所评估河段现阶段正处在岸线崩退的过程之中,表明该河段目前已具备了岸坡失稳的各方面条件,至于导致岸坡失稳的条件究竟是河岸的抗冲性减弱,还是水流动力条件增强,抑或是其他方面的条件,以及这些条件究竟是如何相互作用的,则可作为“黑箱”进行整体综合评估。

岸线现状指标可根据所评估河段近年来是否发生岸线崩退,以及崩退范围大小、强弱程度等情况,进行综合评定赋分。一般认为,多年来均未发生崩岸的河段岸坡稳定性优于现阶段正在发生崩岸的河段。

2.3.2 河道边界和水流动力条件属性指标

选取岸坡地质条件和护岸工程完备性条件作为河道边界条件属性指标,选取河势变化情况作为水流动力条件属性指标。

岸坡地质条件:不同地质结构和物质组成的河岸,其抗冲性不同,其中岩石结构的河岸抗冲性最强,沙质结构的河岸抗冲性较弱,多元结构河岸抗冲性不仅受河岸物质组成的影响,同时也与河岸分层结构有关。以长江中游荆江河段为例,河岸基本上属于上部黏土和下部中细沙的二元结构,但上、下荆江河岸黏土和沙土的分布厚度和高程均有一定的差异,表现为对河岸抗冲性的影响程度也有所不同^[6,8]。因此,岸坡地质条件指标可根据所评估河段河岸的物质组成和结构进行综合评估赋分。

护岸完备性条件:河道是否实施了护岸工程,已经护岸工程是否完备,是评价河岸抗冲性的另一个重要指标。以长江中游荆江河段为例,根据 2018 年度荆江河段的崩岸河长资料统计^[9],现阶段荆江河道崩岸主要发生在未实施护岸工程的自然岸段(占崩岸总长的 92.8%),以及部分已实施护岸工程的薄弱岸段(占崩岸总长的 7.2%)(图 1),充分说明了护岸工程完备条件对河岸稳定性的影响。护岸完备性条件指标可根据是否有护岸工程、护岸工程施工年限及现今的完好程度等综合评定赋分。

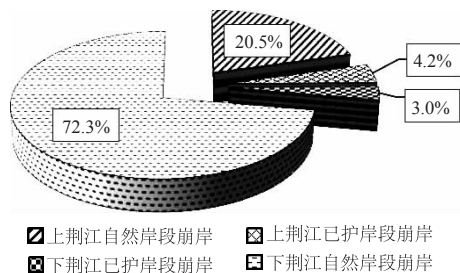


图 1 2018 年度荆江河段崩岸分布图

Fig. 1 Distribution of bank collapse in Jingjiang segment of Yangtze River in 2018

河势变化情况:局部河势的调整是导致河道崩岸的重要因素,河势调整过程中河道主泓靠近或远离河岸,以及顶冲部位的上移下提等,引起近岸水流结构和水流动力的变化,可作为水流动力条件的宏观属性指标。常年贴流顶冲的近岸段水流动力作用相较于非贴流顶冲段更为强劲,对岸坡稳定性的破坏作用也更大。河势变化情况指标可根据所评估河段河势是否稳定以及主流是否贴岸、常年性贴岸或季节性贴岸等进行综合评定赋分。

2.3.3 河岸稳定性变化过程属性指标

河道岸坡失稳往往存在近岸河床受到冲刷后泥沙输移直至岸坡变陡的一个变化累积过程。选取近岸河床冲刷程度和近岸河床坡度情况作为岸坡稳定性变化过程属性指标。

近岸河床冲刷程度:近岸河床冲刷程度一方面反映了近岸水流动力条件的强弱,另一方面也反映了岸坡滩槽高差的变化。近岸河床冲刷越深,表明近岸水流动力条件越强,滩槽高差越大,岸坡越不稳定^[7]。近岸河床冲刷程度指标可根据近年来水下坡脚前沿冲刷深度及变化趋势进行评估赋分。

近岸河床坡度情况:近岸河床坡度越大,表明岸坡在自身重力及外界扰动作用下失稳的可能性越大。唐金武等^[10]曾提出用稳定坡比作为河岸稳定性判别指标。因此,近岸河床坡度情况指标可根据近年来水下变坡坡度及变化趋势进行评估赋分。

2.4 评估体系的建立

根据所确立的评价指标体系的目标、分类属性和对具体指标的分析,在层次分析和比较借鉴的基础上,确立了由1个目标、3个属性和6个具体指标所构成的河岸稳定性评估体系(图2)。

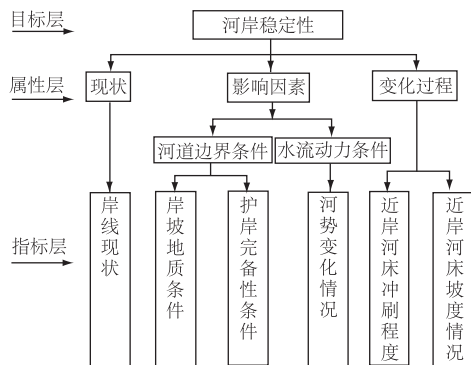


图2 河岸稳定性评估指标体系结构

Fig.2 Framework of the riverbank stability evaluation index system

3 讨论

(1)河岸稳定性评估体系,考虑了多个方面的影响因素,是对河岸稳定性进行综合定量分析的尝试。需要指出的是,该体系是一个开放式的系统,各个指标的赋分取值,以及指标或属性之间的权重分布,乃至指标层和属性层内容的设置,均可根据具体河段岸坡稳定影响因素分析进行相应的调整。

(2)河岸稳定性评估涉及到对多个动态可变因子的考量,是建立在对评估河段近岸河床连续多年监测对比分析结果基础之上,一定程度上反映了河道岸坡稳定性的变化过程和发展趋势,对于掌握河道岸坡稳定性变化情况,防止岸坡突然失稳有一定的指示意义。

从绝对意义上来说,各种动态变化的因子无时无刻都在对河岸稳定性施加效力不同的影响,而近岸河道监测通常集中在某一个具体的时间段,因此,河岸稳定性变化趋势评估的有效性,依赖于近岸河床变化监测数据的可靠性和代表性。

(3)在河岸稳定性评估的基础上结合岸坡失稳后的可能致灾损失分析,进一步划分河岸稳定性风险等级,从而更好地指导崩岸预警工作的开展,为预防崩岸的发生赢得先机。

4 结论

(1)分析了河岸稳定性评估指标选取的基本原则,即指标选取应遵循科学性、代表性、综合性、发展性、定性与定量相结合及可操作性等基本原则。

(2)将河岸稳定性评估指标体系分为目标层、属性层和指标层共3个层次。

(3)依据河岸稳定性现状、影响因素和发展过程,对岸线稳定性现状属性指标、河道边界和水流动力条件属性指标和岸坡稳定性变化过程属性指标进行分析,构建了由1个目标、3个属性和6个具体指标组成的河岸稳定性评估指标体系。

下一步可针对具体的河段展开指标的量化或优化计算方法探讨,以及河道岸坡稳定性评估体系的验证研究工作。

参考文献:

- [1] 长江流域规划办公室水文处河流研究室. 荆江河道特性初步研究(续)[J]. 泥沙研究, 1959, 4(3): 15-52.
- [2] THORNE C R, TOVEY N K. Stability of Composite River Banks[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1981, 6(6): 469-484.
- [3] OSMAN A M, THORNE C R. Riverbank Stability Analysis. I: Theory[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, 114(2): 134-150.
- [4] 余文畴. 长江中下游河道崩岸机理中的河床边界条件[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(1): 8-11.
- [5] 余文畴, 岳红艳. 长江中下游河道崩岸机理中的水流泥沙运动条件[J]. 人民长江, 2008, 39(3): 64-66.
- [6] 夏军强, 宗全利, 许全喜, 等. 下荆江二元结构河岸土体特性及崩岸机理[J]. 水科学进展, 24(6): 800-820.
- [7] 余文畴, 卢金友. 长江河道崩岸与护岸[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 260.
- [8] 夏军强, 邓珊珊, 周美蓉. 荆江河段崩岸机理及多尺度模拟方法[J]. 人民长江, 48(19): 1-11.
- [9] 长江科学院. 湖北荆江河段 2018 年度河道监测成果分析报告[R]. 武汉: 长江科学院, 2019.
- [10] 唐金武, 邓金运, 由曲莹, 等. 长江中下游河道崩岸预测方法[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2012, 44(1): 75-81.

(编辑:王 慰)