

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2008.03.020

江河崩岸问题研究综述

张幸农^{1,2}, 蒋传丰^{1,3}, 应强², 陈长英²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098 ; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024 ;
3. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029)

摘要 天然江河崩岸问题十分复杂,崩岸的发生条件及机理尚不清楚。通过回顾以往的研究工作及成果,将其归纳为 4 种学术观点,指出目前研究中存在的问题,如各种观点均不能完全解释崩岸成因及机理,崩岸类型区分不明,未形成理论模式,缺乏多学科联合的专题研究,缺乏崩岸实测资料等,指明了进一步研究崩岸成因和机理的方向。

关键词 江河崩岸; 土坡失稳; 河岸侵蚀; 土体液化; 综述

中图分类号 :TV86 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)03-0080-04

Review of research on bank collapse in natural rivers//ZHANG Xing-nong^{1,2}, JIANG Chuan-feng^{1,3}, YING Qiang², CHEN Chang-ying² (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China ; 3. Jiangsu Province Water Conservancy Department, Nanjing 210029, China)

Abstract :The mechanisms of bank collapse in natural rivers are very complex, and the conditions under which bank collapse occurs are still not clear. Based on a review of previous research and achievements, four viewpoints or theories are presented and appraised. Some existing problems and limitations in the present study are also pointed out, such as unclear categorization of bank collapse types, lack of a theoretical model, lack of measured data, and the fact that any single viewpoint cannot clearly and singlehandedly interpret the mechanisms of bank collapse. Finally, the development trend for future study on bank collapse is proposed.

Key words :riverbank collapse ; slope instability ; bank erosion ; liquefaction of soil ; review

崩岸是一种几乎存在于世界上所有江河海岸的自然现象,如美国密西西比河下游、欧洲莱茵河历史上都发生多次崩岸,我国七大江河也普遍存在崩岸现象,以长江中下游中游河段最为典型,荆江河段、九江河段、官洲河段、嘶马河段等都曾出现过十分严重的崩岸险情。据不完全统计,20 世纪 90 年代以来长江中下游河道崩岸已发生数百起,其中较为严重的一年内达数十起,两岸岸线总长约为4 250 km左右,崩岸段的长度就达 1 520 余 km,占 35.7%。

崩岸受多种因素影响,其成因和机理十分复杂。长期以来,国内外虽有不少相关的研究工作,但对崩岸的发生条件及其过程至今认识尚不完全清楚,险情往往得不到及时预报,基本上无预防措施,治理工程也因科技含量低而存在较大盲目性。

1 国内外研究工作回顾

河道岸坡稳定性及其防护一直是土木工程领域中人们高度关注的问题,西方发达国家的理论研究

工作开始较早。20 世纪 70 年代中期以色列学者 Frydman 等曾进行过河岸失稳的离心模拟试验^[1],分析了土体滑移面以及岸坡土体的位移与应变;80 年代初期美国陆军工程兵团水道试验站针对密西西比河下游崩岸问题,开始了相关的实验和理论研究工作^[2]。80 年代以后英国学者提出了各类岸坡崩塌较为完整的物理模式^[3-7],Millar 等^[8]更具体探讨了河岸土体颗粒粒径和内摩擦角这 2 个关键因素对河岸稳定性的作用,Hemphill 等编著专著论述了河渠岸坡的稳定与防护^[9],荷兰多位学者对河海岸坡稳定问题也进行了专题研究^[10-11],直到 90 年代仍有大量欧美学者对河岸稳定问题进行专题研究^[12-13]。

国内相关的研究与西方同步,理论研究起步稍晚。自 20 世纪 70 年代后期进行河岸稳定与防护工程技术的研讨,至今已举行过 6 次全国性的河道护岸工程学术讨论会,期间有许多学者和工程技术人员分析研究了崩岸成因与机理,较有影响的工作有:中国科学院地理研究所分析了长江九江至河

口段河床边界条件及其与崩岸的关系^[14],尹国康^[15]分析了河道岸坡变形的机理,陈引川等^[16]从河流动力学的角度分析了崩岸的发生条件,丁普育等^[17]、许润生^[18]探讨了长江崩岸与沙体液化和渗透的关系,孙梅秀等^[19]进行了窝崩的水力、泥沙运动特征的试验研究,但总体而言,这些研究工作仍属于经验性的总结分析。90年代以后,特别是“98大洪水”之后,江河崩岸理论研究在国内受到更多关注,这一时期研究成果颇丰,如冷魁^[20]、吴玉华等^[21]、金腊华等^[22]等从河流动力学角度解释了崩岸成因与机理,张岱峰^[23]分析了沙土液化形成崩岸的动力条件,黄本胜等^[24]根据边坡稳定理论计算分析了几种因素对崩岸的影响;夏军强等^[25]利用Thorne模式计算分析了冲积河道冲刷过程的横向展宽,张幸农等^[26-28]系统地进行了崩岸机理的专题研究,取得了关于长江崩岸类型、崩岸形成原因与影响因素等系列成果。

2 现有相关理论与观点

天然河道岸坡一般是由冲积泥沙落淤固结所形成,其崩塌属于水土结合边界的稳定性问题,不仅与河道水流动力的冲刷有很大关系,而且与土体的组成、性质及其中渗流作用有关,同时还受人为荷载、地表侵蚀、冻融等因素的影响。纵观以往研究工作,大多从河流动力学或土力学角度进行分析和研究,目前主要有以下理论与观点。

2.1 土坡失稳观点

许多研究者认为,崩岸是土坡失稳破坏的一种表现形式,可用土坡稳定理论来解释和分析,即采用土体抗剪强度与承受剪应力的比值作为判别坡体是否稳定的安全系数。该理论认为当安全系数大于1,坡体稳定;当安全系数小于1,坡体失稳;当安全系数等于1,坡体处于临界失稳状态。

据文献[9]所载,1982年英国学者Thorne等提出了岸坡崩塌的各类模式,即浅层滑动、平面滑动和弧形滑动等失稳模式,通过建立土坡稳定理论模型提出了岸坡临界失稳状态下安全系数的表达式,进而以实测数据予以验证。近十多年来,Thorne等仍在致力于这方面的研究,不断提出新的计算公式,考虑因素更为全面,不仅有坡度、土体组成及其分层情况等物理因素,也有水流冲刷、渗流(孔隙水压力)作用等动力因素^[5-7]。

我国也有多位学者持土坡失稳观点。例如,尹国康^[15]分析了河道岸坡变形的机理,提出了采用弧形滑动稳定分析方法来预报崩岸的设想。黄本胜等^[24]认为引起岸坡失稳的主要因素有土体性质、岸

坡高度、河道水位变化及其引起的渗透压力,据此利用孤立因素法,通过土坡稳定分析方法分别计算了各因素对岸坡稳定的影响。最近,刘东风^[29]也进行了类似的研究,以长江安徽枞阳江堤三百丈崩岸为实例,采用瑞典圆弧滑动条分法,计算分析了坡度、岸坡高差、河道水位变化以及外加荷载情况下的河岸稳定安全系数,黄本胜等^[30]从土坡稳定理论出发建立本构方程,并进行了数值模拟计算;刘汉龙等^[31]也从这一观点出发,从不同角度分析了河岸稳定性。

2.2 河岸侵蚀观点

大量事实表明崩岸现象多发生在受水流剧烈冲刷的河岸,如长江中下游80%以上的崩岸发生在弯道顶点或迎流顶冲点。因而河流动力学和治河工程方面的许多研究者认为,崩岸主要是水流冲刷侵蚀河岸所造成。陈引川等^[16]指出主流顶冲形成深泓贴岸是长江窝崩的主要原因,具体有3个条件:一是单宽流量大,并在河岸抗冲薄弱区形成竖轴环流;二是河岸土质抗冲性能差,且易分解成散粒体而被水流带走;三是河岸存在不连续的抗冲段。冷魁^[20]、吴玉华等^[21]、金腊华等^[22]及徐永年等^[32]也都认为河岸冲刷、岸坡变陡是崩岸的先决条件,特别是岸坡坡脚被淘刷,局部深槽楔入,造成水下坡度变陡,当岸坡高度和坡度超过稳定限值后就会发生崩塌,而控制岸坡冲刷的水流条件即是泥沙颗粒起动的水流条件。

Thorne等虽采用土坡稳定理论分析岸坡崩塌问题,但他们也认为水流冲刷导致河岸侵蚀是主导因素,河岸侧向冲刷使河道展宽、岸坡变陡,河床垂向冲深增加岸坡高度,均降低了河岸稳定性。侧向冲刷与垂向冲深都取决于水流条件、河床河岸土体组成及其形态,河岸稳定性随土体黏粒含量的增大而增大,随土体相对密度、岸坡角度、岸坡高度的增大而减小。文献[9]指出,水流冲刷常使岸坡失稳并引发大体积的崩塌。国内外多项研究成果表明,随着河宽增大,水流冲刷对河岸侵蚀甚至崩塌的作用最大。Millar等^[8]更具体探讨了河岸土体颗粒粒径和内摩擦角这2个关键因素对河岸稳定的影响,并分析了河岸植被对内摩擦角的重要影响,结果表明植被良好的河道可更窄、更深,其岸坡可更陡,其河宽和坡度分别是植被较差河岸的60%和90%,深度是植被较差河道的1.4倍。岳红艳等^[33]利用层次分析法根据长江中下游崩岸段资料对崩岸影响因素进行排序,其中排在首位的是纵向水流冲刷,其次为横向环流和回流的淘刷,从而说明水流冲刷是崩岸最主要的影响因素。

2.3 土体液化观点

许多崩岸河段岸坡土体呈现细沙或沙土相间的二元结构,由于沙土在某种条件下会出现液化现象,即处于松散状态(孔隙率大于 40%)的沙土在外界动力因素的作用下,沙土颗粒间超静孔隙水压力骤然增加,使土体颗粒之间的有效应力迅速减小直至失去颗粒间摩擦阻力,此时沙土就会出现类似液体一样的流动。因而,一部分学者的观点是沙土液化导致了崩岸。例如,荷兰西南河口海岸地区曾多次出现沙土液化塌岸的现象,荷兰等西方国家称之为流滑(flow slide)现象,一次流滑就可使上百立方米的沙土流失于潮汐通道中。Torrey 等^[2]也提出了类似观点,认为液化对河海岸的滑坡起很大的促进作用,认为密西西比河下游崩岸的原因是岸坡下卧沙层发生流滑,但这种破坏并非是由沙土内部变形积累的“自发液化”,而是由坡脚溯源冲刷引起,称之为“溯源液化”(retrogression liquefaction)。

丁普育等^[17]根据长江安徽段大量窝崩现象,从沙土液化的内在条件和影响因素出发,结合室内试验结果,证实了长江下游岸坡存在土体液化的可能性,同时认为产生液化的外界诱因可能是动水压力,而水流冲刷造成局部陡坡,为剪切液化和渗透液化创造了一定的条件。其后张岱峰^[23]持相同观点,以长江镇江段人民滩窝崩为例,进一步对窝崩的本质及其运动特性进行详细分析,认为土体液化失稳时,液化只在某一有限范围内发生,并与动水压力、持续时间、土体颗粒级配及紧密程度有关,而窝崩一般呈现阵发性和间歇性,一次窝崩由若干次中小规模的崩塌组成,每次崩塌引起的震动均对其后更大的液化崩塌有助推作用,而窝崩时土体搬运的主要动力就是滑动土体自身重力。

2.4 其他观点

a. 管涌造成崩岸发生。由于渗流对岸坡失稳的影响相当大,一般土体都不是均质土体,其中薄弱层渗透严重,因而形成管涌进而导致崩岸。美国学者 Hagerty^[12-13]深入阐述了这一观点,他认为虽然研究管涌的人很多,但很少有人将其与河道冲刷和崩岸联系起来,在列举了大量事实之后,他描述了管涌侵蚀破坏的过程与机理,分析了管涌的直接作用和间接作用,并探讨了与其他类型河岸冲刷崩塌的差别。我国长江中下游因管涌发生堤防破坏的例子很多,“98 大洪水”期间九江城市堤防溃决也基本与崩岸现象类似,中华人民共和国水利部组织的原因分析结果表明因堤身和堤基中缺陷所造成的管涌是堤防溃决的主要原因^[34]。

b. 降雨入渗导致崩岸。文献[9]指出,黏土河

岸多存在裂缝,降雨所形成的地表径流侵蚀坡面,尤其在植被较差的情况下裂缝会迅速增大加深,也是崩岸的重大诱因。谢守益等^[35]在长江新滩滑坡分析中也认为降雨是崩岸的主要因素。王小波等^[36]则分析了降雨强度及其持续时间对岸坡稳定性的影响。

c. 人为因素诱发崩岸。鉴于许多崩岸发生时都有突加荷载或受其他人为因素的影响,不少人认为人为因素是崩岸的重大诱因。张岱峰^[23]认为长江镇江段人民滩崩岸是附近挖沙导致的;金腊华等^[22]认为九江马湖堤崩岸与堤防上部前期加固及机械振动有关。据笔者调查,南京下关燕子矶附近近期崩岸与重型卡车压迫有关;岳红艳等^[33]在崩岸因素分析中将人为因素排在较为重要的位置上。

3 存在问题分析

a. 各种观点出发点不同,虽均有论据、互有交叉,但分歧明显且存在缺陷,各种观点均且不能完全解释崩岸成因及机理。①土坡失稳观点理论性较强,较有说服力,尤其针对整体性滑坡可导出数学公式进行计算,能找出崩岸发生过程中各力学参数的变化规律。但是,许多缓坡(坡比 1:3 以上)同样发生崩岸现象,表现为渐进式破坏,而根据土坡稳定理论,安全系数远大于 1 的岸坡应处于稳定状态,因而难以对其进行解释。②河岸侵蚀观点较符合实际情况,相对容易被接受,同样也可利用泥沙运动和河床演变理论进行分析。但是,许多崩岸现象并未发生在河岸受冲严重的洪水期,而是发生在落水期甚至是枯水期。另一方面,水流动力也不可能在短时间内搬运几十万立方米甚至几百万立方米的崩落土体。因此,仅以河岸侵蚀观点来解释崩岸的形成显然不够全面。③土体液化观点尤其是“溯源液化”的解释似乎也有道理。但根据土力学理论,沙土液化需有外界动力因素诱导,如强烈震动等,但长江许多崩岸发生时并无外界震动等动力因素,相反在有关易崩河段附近发生地震时并未出现崩岸;另一方面,沙土液化理论也不成熟,力学指标难以准确确定。因而沙土液化导致崩岸的观点尚无足够的理论及实际依据。④管涌、降雨、人为活动等导致崩岸的其他观点均需在特定条件下才能成立,对长江众多崩岸现象的解释更缺乏说服力。

b. 崩岸类型区分不明,至今尚无公认的分类标准和方法,也未形成表达崩岸形成过程中土体力学指标变化规律的理论模式。

c. 缺乏多学科联合的专题研究,研究手段和方法也不够。以往研究多属于经验性的总结分析,并

且是从单一学科角度分析问题,所得认识比较片面,而且许多成果仅针对具体实例,未能从理论上提升和发展,缺乏推广使用价值。

d. 缺乏崩岸实测资料。许多崩岸在发生过程中未进行各项参数测量,甚至事后也没有进行测量,因而实测资料十分欠缺,同时对观测内容、方法和仪器设备也缺少研究。

4 结 语

综上所述,国内外针对江河崩岸问题的专题研究至今仅有 40 年左右的历史,关于崩岸成因和机理,因问题的复杂性以及投入的工作力度不够,对其认识尚不完全清楚。目前虽已形成一些理论或观点,但均存在一定的缺陷。今后的方向是应加强多学科联合,首先提出合适的分类标准和方法,并进行以理论研究、模型试验和现场资料分析相结合的专题研究,探索出正确描述各类崩岸的物理模式和相应的理论模式。

参考文献:

[1] FRYDMAN S, BEASLEY D H. Centrifugal modelling of riverbank failure[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1976, 102(5): 395-409.

[2] TORREY V H III, DUNBAR J B, PETERSON R W. Progressive failure in sand deposits of the Mississippi River, field investigations, laboratory studies and analysis of the hypothesized failure mechanism[R]. Corps of Engineers, USA: Department of the Army Waterway Experiment Station, 1988.

[3] OSMAN A M, THORNE C R. Riverbank stability analysis: I theory[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, 114(2): 134-150.

[4] OSMAN A M, THORNE C R. Riverbank stability analysis: II applications[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, 114(2): 151-172.

[5] DARBY S E, THORNE C R. Development and testing of riverbank-stability[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(8): 1052-1053.

[6] DARBY S E, THORNE C R, SIMON A. Numerical simulation of widening and bed deformation of straight sand-bed rivers: I model development[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(4): 184-193.

[7] DARBY S E, THORNE C R, SIMON A. Numerical simulation of widening and bed deformation of straight sand-bed rivers: II model evaluation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(4): 194-202.

[8] MILLAR R G, QUICK M C. Effect of bank stability on geometry of gravel rivers[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1993,

119(12): 1343-1363.

[9] HEMPHILL R W, BRAMLEY M E. Protection of river and canal banks[M]. London: Butterworth, 1989.

[10] PILARCZYK K W. Dikes and revetments[M]. Rotterdam: Balkema, 1998.

[11] SCHIERECK G J. Introduction to bed, bank, and shore protection[M]. Delft: Delft University Press, 2001.

[12] HAGERTY D J. Piping/sapping erosion: I basic consideration[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(8): 991-1008.

[13] HAGERTY D J. Piping/sapping erosion: II identification-diagnosis[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(8): 1009-1025.

[14] 中国科学院地理研究所. 长江九江至河口段河床边界条件及其与崩岸的关系[M]. 武汉: 科学出版社, 1978: 8-18.

[15] 尹国康. 长江下游岸坡变形[C]//水利部长江水利委员会. 长江中下游护岸工程论文集: 第二集. 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1981: 95-104.

[16] 陈引川, 彭海鹰. 长江下游大窝崩的发生及防护[C]//水利部长江水利委员会. 长江中下游护岸工程论文集: 第三集. 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1985: 112-116.

[17] 丁普育, 张敬玉. 江岸土体液化与崩塌关系的探讨[C]//水利部长江水利委员会. 长江中下游护岸工程论文集: 第三集. 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1985: 104-109.

[18] 许润生. 堤基渗漏与长江崩岸关系的探讨[C]//水利部长江水利委员会. 长江中下游护岸工程论文集: 第三集. 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1985: 110-111.

[19] 孙梅秀, 吴道文, 李昌华. 长江八卦洲洲头控制工程及江岸崩窝的试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1989.

[20] 冷魁. 长江下游窝崩岸段的水流泥沙运动及边界条件[C]//第一届全国泥沙基本理论学术讨论会论文集. 北京: 中国水利水电科学研究院, 1992: 492-500.

[21] 吴玉华, 苏爱军, 崔政权, 等. 江西省彭泽马湖堤崩岸原因分析[J]. 人民长江, 1997(4): 28-30.

[22] 金腊华, 王南海, 傅琼华. 长江马湖堤崩岸形态及影响因素的初步分析[J]. 泥沙研究, 1998(2): 38-43.

[23] 张岱峰. 从人民滩窝崩事件看长江窝崩的演变特性[R]. 镇江: 镇江市水利学会, 1996: 25-28.

[24] 黄本胜, 李思平, 邱静, 等. 冲积河流岸坡的稳定性计算模型初步研究[C]//李天义. 河流模拟理论与实践. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1998: 50-55.

[25] 夏军强, 袁欣, 王光谦. 冲积河道冲刷过程横向展宽的初步模拟[J]. 泥沙研究, 2000(6): 16-24.

[26] 张幸农, 杨红. 长江下游崩岸及其治理[C]//中华人民共和国水利部, 荷兰交通、公共工程与水管理部. 中荷水管理研讨会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 1999: 494-499.

(下转第 94 页)

[27] 王新建,陈建生. 温度探测土坝圆柱状集中渗漏模型研究[J]. 水文地质工程地质,2006,33(4) 31-36.

[28] 王新建,陈建生. 堤坝集中渗漏温度场探测模型及数值试验[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(S2) 81-86.

[29] 王新洲. 非线性模型能否线性化的使用依据[J]. 武汉测绘科技大学学报,1999,24(2) 145-148.

[30] 肖庭延,于慎根,王彦飞. 反问题的数值解法[M]. 北京: 科学出版社,2003 13-69.

[31] 段永刚,陈伟,黄诚. 井筒与油藏耦合条件下的水平井非稳态产能预测(I) 数学模型[J]. 西南石油学院学

报,2004,26(1) 11-15.

[32] 黄涛,杨立中. 隧道裂隙岩体温度-渗流耦合数学模型研究[J]. 岩土工程学报,1999,21(5) 554-559.

[33] 黄涛,杨立中,陈一立. 工程岩体地下水渗流-应力-温度耦合作用数学模型的研究[J]. 西南交通大学学报: 自然科学版,1999,34(1) 11-15.

[34] 韦立德,杨春和. 考虑饱和-非饱和渗流、温度和应力耦合的三维有限元程序研制[J]. 岩土力学,2005,26(6) : 100-104.

(收稿日期 2007-04-18 编辑 骆超)

(上接第 69 页)在防洪决策支持系统中,单纯利用水文学模型不能有效地模拟干流水位和淹没范围;单纯利用水力学模型无法模拟流域内复杂的产汇流情况,也不能准确地计算河道的区间入流情况。基于此,本文尝试采用分布式概念性水文模型与一维洪水演进模型、二维洪水淹没模型相嵌套,以松散结合方式组成防洪决策支持系统,进而模拟了青岛大沽河流域干流洪水演进和淹没情况。

本文建立的系统已在青岛大沽河流域实际的防洪任务中发挥了积极作用,通过未来几年洪水资料的率定和验证,能够不断提高预报精度和水平。但是该系统还有较大的发展空间,具体表现在:基础资料和数据还需要更新和完善,包括土壤类型、植被情况以及铁路、公路的地形更新等。同时,该流域实测流量过程非常少,很多关键参数只能凭借使用者的经验,使得系统的准确性有所降低。另外模型结果的直观显示等方面也有待完善,有必要开发表达更形象的三维立体显示功能等。

参考文献:

[1] 李纪人. 数字地球与数字水利[J]. 水利水电科技进展,

2000,20(1) 14-16.

[2] 芮孝芳,石朋. 数字水文学的萌芽及前景[J]. 水利水电科技进展,2004,24(6) 55-58.

[3] 芮孝芳. 洪水预报理论的新进展及现行方法的适用性[J]. 水利水电科技进展,2001,21(5) 1-4.

[4] 贾仰文,王浩,倪广恒,等. 分布式流域水文模型原理与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2005.

[5] ARNOLD J G, FOHRER N. SWAT 2000 :current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling[J]. Hydrological Processes,2005,19(3) 563-572.

[6] NEITSCH S L, ARNOLD J G, KINIRY J R, et al. Soil and water assessment tool[R]. Texas :Grassland Soil and Water Research Laboratory,2005.

[7] 周学漪. 计算水力学[M]. 北京: 清华大学出版社,1995.

[8] 黄炳彬,方红卫,刘斌. 复杂边界水流数学模型的斜对角笛卡尔方法[J]. 水动力学研究与进展 :A 辑,2003,18(6) 679-685.

[9] 余常昭. 水力学:下册[M]. 北京: 高等教育出版社,1996.

[10] 滕胜叶. 青岛市大中型水库防汛控制运用资料汇编[G]. 青岛: 青岛市水利局,1999.

[11] 青岛市水利勘测设计研究院. 青岛市大沽河防洪工程规划[R]. 青岛: 青岛市水利局,1999.

[12] 万洪涛,周成虎,万庆,等. 地理信息系统与水文模型集成研究述评[J]. 水科学进展,2001,12(4) 560-568.

(收稿日期 2007-07-12 编辑 骆超)

(上接第 83 页)

[27] 张幸农,应强,陈长英,等. 江河崩岸现象形成原因和机理的研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院,2003.

[28] ZHANG Xing-nong, YING Qiang, CHEN Chang-ying, et al. Experimental study on mechanism of bank collapse in the Yangtze River[C]//SHAO Xue-jun. Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation :volume III . Beijing :Tsinghua University Press,2004 1654-1658.

[29] 刘东风. 长江安徽段崩岸原因分析及工程防护方案思考[C]//长江护岸工程及堤防防渗工程技术经验交流会(第六届)论文汇编. 武汉: 长江重要堤防隐蔽工程建设管理局,长江科学院,2001 70-75.

[30] 黄本胜,白玉川,万艳春. 河岸崩塌机理的理论模式及其计算[J]. 水利学报,2002(9) 49-60.

[31] 刘汉龙,朱伟,高玉峰. 堤防崩岸机理及其对策探讨[C]//堤防加固技术研讨会论文集:下册. 南昌: 水利部

国际合作与科技司,1999 41-45.

[32] 徐永年,梁志勇,王向东,等. 长江九江河段河床演变与崩岸问题研究[J]. 泥沙研究,2001(4) 41-46.

[33] 岳红艳,余文晴. 层次分析法在崩岸影响研究中的应用[C]//长江护岸工程及堤防防渗工程技术经验交流会(第六届)论文汇编. 武汉: 长江重要堤防隐蔽工程建设管理局,长江科学院,2001 23-30.

[34] 成昆煌,张荣国,姜树海,等. 长江九江市城防大堤溃口技术原因分析报告[R]. 武汉: 水利部长江水利委员会,1998.

[35] 谢守益,徐卫亚. 降雨诱发滑坡机制研究[J]. 武汉水利水电大学学报,1999,32(1) 21-23.

[36] 王小波,刘红星. 影响长江中下游干流河段岸坡稳定的因素分析[C]//长江护岸工程及堤防防渗工程技术经验交流会(第六届)论文汇编. 武汉: 长江重要堤防隐蔽工程建设管理局,长江科学院,2001 65-69.

(收稿日期 2007-05-28 编辑 骆超)