



长江上游沙卵石河床整治建筑物 损毁原因与对策分析

邓良爱¹, 曾涛², 张文江²

(1. 长江航道局, 湖北武汉 430010; 2. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 长江上游多沙卵石滩险, 水流湍急, 泥沙输移强度大, 航道整治建筑物水毁现象较为常见。通过归纳建筑物损毁部位, 分析发生损毁的原因, 总结近年维修实践成果, 提出了混凝土坝面、扭王字混凝土块护面和抛石踩体等能适应类似于长江上游河床地质和水沙条件, 有利于建筑物稳定的结构设计, 可为整治工程建设和维护提供参考。

关键词: 沙卵石河床; 航道整治建筑物; 损毁; 维修;

中图分类号: U 617.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)10-0092-04

Damage cause of waterway regulating structures and countermeasure analysis for sand-pebble shoal in upper of the Yangtze River

DENG Liang-ai¹, ZENG Tao², ZHANG Wen-jiang²

(1. Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang Chongqing Harbor and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: There are many sand-pebble shoal in the upper stream of the Yangtze River. Because the hydraulic power and sediment transport are strong, regulating structures are usually destroyed. The paper sums up the damage position and analyses the reason of damage. Stabilization fabrics are recommended on the basis of maintaining practice for several years, including dam concrete surface, accropode, and riprap-stack, etc., which have been applied to the upper reach of the Yangtze River etc. The conclusion may be referred to for maintenance or construction of waterway regulation engineering.

Key words: sand-pebble bed; regulating structures; damage; maintain

长江上游宜宾至宜昌河段1 045 km范围习惯上称为“川江”, 以急流、乱水、多滩险闻名。截至目前, 川江经过6次较系统的长河段治理工程, 共计治理滩险50余处, 建成大量航道整治建筑物, 其通航条件也发生根本性改观。

川江碍航滩险多为沙卵石河床, 坡降陡、水流急、卵石运动强度大, 输移量大, 水流的傍蚀力和底蚀力常常引起河床变形, 如新滩的萎缩和发展、滩脊的冲刷与淤积、汉道的衰亡与生长、碛嘴的延伸与缩短、暗滩的消失与再现等。沙卵石河床

的常见变形现象主要有冲刷、淤积、萎缩消亡、拓宽发育、切割河漫滩、隐含沙洲、沙水凝聚等。对于沙卵石上建设的整治建筑物来说, 沙卵石河床形态变化与整治建筑物的安全、稳定息息相关, 也将直接影响到航道整治建筑物整治功能的正常发挥。为此, 对建筑物加强观测, 对发生损毁的建筑物及时采取工程措施, 以确保建筑物的稳定和功能持续有效发挥是非常必要的。长江航道维护单位在近年通过建筑物检查观测、技术状况分析评价, 尤其是维修工程的实施, 对航道整治建筑物的损毁规律有

收稿日期: 2012-07-31

作者简介: 邓良爱(1974—), 女, 高级工程师, 从事港航维护管理工作。

了较深认识, 并且在维修结构优化设计方面积累了宝贵经验, 取得了良好的维修效果。

1 整治建筑物损毁形式和原因

川江已建航道整治建筑物类型主要包括丁坝、顺坝、锁坝和潜坝等。整治建筑物在改善滩段航道条件的同时也承受着外界环境的巨大反作用, 由于受到水流顶冲、淘刷、推移质撞击、磨蚀、河床演变以及其他外界因素作用, 整治建筑物易发生损毁。此外, 川江已建坝体类整治建筑物大多建成于20世纪70, 80年代, 受当时经济技术条件的制约, 大部分均采用抛石坝体形式。散粒状抛石结构坝体在水流的作用下易发生损毁, 据近年川江坝体整治建筑物技术状况评价资料显示, 川江已建的整治建筑物损毁在其各部位均有出现, 究其损毁原因主要多由水流顶冲和坡脚冲刷坑发育引起坝体坍塌变形所致^[1]。

1.1 整治建筑物损毁形式

坝体损毁形式按其发生的位置可以分为坝面损毁、边坡损毁、坝头损毁、坝根损毁和坝体外侧冲刷坑等^[2]。坝面损毁主要是指坝面材料的磨损和表层结构滑动、剥离、掀翻等形式, 分析其损坏的原因主要包括固体颗粒的磨蚀、水流的冲击和漂浮物的撞击等。瞿凌风^[3]结合试验资料分析了坝体不同部位在水流泥沙的作用下表层结构材料脱落引起坝体损毁的有关问题。坝头损毁主要是指筑坝材料脱位和外侧冲刷坑引起坝头的坍塌变形。坝根常见的破坏部位出现在坝体接岸处下游侧的三角形区域。坝体外侧冲刷坑一般以坝根处背水坡和坝头外侧最为常见, 韩玉芳^[4]、荣学文^[5]通过研究丁坝周围的水流结构特点, 结合相关试验详细地分析了丁坝周围的冲刷坑形成过程。叶楨^[6]通过三维数值模拟的方式从理论角度揭示了局部冲刷的动力学过程。川江筑坝基础河床质一般均为沙卵石, 由于川江流速大、水流急, 筑坝后改变局部河势条件, 坝体周围河床冲刷比较常见(见图1~3)。

1.2 主要损毁原因

1) 坝体外侧冲刷坑发展, 引起边坡溯源破坏。依据以往的实践资料和科研成果, 坝体外侧



图1 小南海生板堆上丁坝坝头破坏



图2 砖灶子黄家碛丁坝坝头破坏



图3 关刀碛上丁坝背水坡破坏

和背水坡在水流的持续作用下常形成较为明显的冲刷坑, 由于冲刷坑的存在发展, 坝体边坡从坡脚开始在溯源冲刷的作用下, 连续破坏。目前主要存在以下3种学说: 由坝体附近的漩涡造成, 由于坝体周边的下潜水流的动力作用引起, 由坝体的修建增大坝体附近断面的单宽流量引起。坝体外侧冲刷坑引起坝体损毁原理如图4所示。

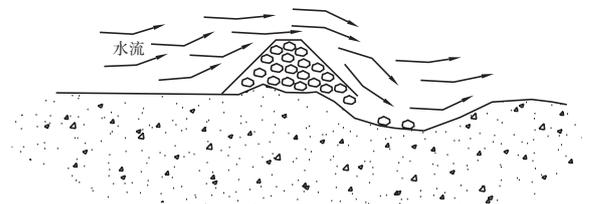


图4 坝体外侧冲刷坑引起坝体损毁

参考文岑等^[7]关于坝体下游冲刷计算的有关研究成果,结合松散堆积体稳定边坡理论^[8],以大罐口锁坝为例分析坝体背水坡脚外侧冲刷坑发育对坝体稳定性的影响程度。

$$d_s = 0.33 \frac{\Delta h^{0.35}}{d^{0.33} h^{0.02}} p \quad (1)$$

式中: d_s 为锁坝后最大冲刷深度; Δh 为锁坝前后的水位差; d 为河床泥沙粒径; h 为锁坝下游水深; p 为自床面起算的锁坝高度。

根据河床质坑测地质勘察资料,大罐口锁坝所处的神背嘴滩河床质以卵石夹细沙为主,河床质中值粒径为120~170 mm,粒径小于50 mm的河床质约占25%~30%。其中锁坝所在的右汊河床主要由密实的卵石、砾石、细中沙组成。采用式(1)计算可知,坝后冲刷坑最大深度约为6 m。

当坡脚处冲刷坑坡度超过一定临界值时,坝基也就发生了崩塌,随后水流将崩塌堆积的泥沙冲刷带走,冲刷坑坡度继续变陡。当坝基淘空至一定程度时,坝体失稳而坍塌。

2) 坝面漫水期跌水冲击严重,渗透压力大。

坝体两侧水位差引起的坝体损毁在丁坝、锁坝等坝体中都较为常见,在水位逐步抬高到刚漫过坝面时,背水坡水流跌水撞击筑坝块石现象十分明显。根据调查资料,如果该水位当年维持的时间长,则汛后坡面损毁就相对严重。背水坡坡面的破坏是由于渗透水流压力与翻坝水冲击综合作用造成的。即漫坝水形成初期,坝体迎水面与背水面的压力差最大,水流渗透作用最强,渗透水压力最大,对背水侧坡面的顶托作用最显著;由于坝体上下游落差最大,翻坝水流速最大,在坡面产生的冲击力也就最大;背水坡面上水流覆盖层薄,水流保护作用弱。

3) 筑坝块石松动塌落,引起连锁破坏。

坝体背水坡的损坏通常为单块块石松动脱落后引起邻近块石塌落,进而造成大面积连锁破坏。对单块筑坝材料起动问题,目前国内一些学者已经推导出能较为准确反映单块块石起动问题的经验与半经验公式。

4) 其他原因,如山区河流推移底沙颗粒较粗,输移时间长,与建筑物的相互作用激烈,建

筑物砌体面层磨损严重,加剧了建筑物的破坏作用。再如漂浮物的撞击,尤其在山区河流中洪水期流速较大,常有木材漂浮物顺流而下,这些漂浮物依赖于水流的水力作用,对整治建筑物形成强大冲击力,造成建筑物砌体从顶部或坡面开始破坏,然后逐层剥落,出现断裂,形成溃缺。

2 整治建筑物维修思路

对损毁的坝体类航道整治建筑物进行及时维修是保证其整治功能正常发挥,航道安全畅通的重要手段。近年随着川江已竣工坝体数量和维修工程量的不断增加,通过不断总结经验教训,逐渐总结出了能较好适应砂卵石河床特点的坝体维修结构形式及材料,以减少损毁坝体的重复维修次数,降低维修成本^[9]。

1) 坝面维修。

造成坝面损坏的常见原因主要有漂浮物的撞击、水流的冲击和推移质磨损等。在维修思路可以从增强坝面结构强度和耐磨性、添加耐磨材料;在坝面上覆盖保护层;提高坝面材料之间的咬合力;坝前导沙导石;管理漂浮物等方面来预防坝面的损毁。采用钢筋混凝土坝面,既可以增强坝面结构强度又可以增强坝面和坝体的整体性,在水流湍急,磨损严重的川江河流效果显著。

2) 坝体坡面维修。

坝体坡面损坏通常是指筑坝材料在受到撞击或者水流长期冲击作用下松动、滑落,引起坝体连锁破坏的情况。针对以上损毁情况可以从增加筑坝材料稳定性和连接力角度来保证坝体的稳定。可以考虑加大筑坝材料尺寸,增加块体间连接力(咬合力),覆盖保护层等。目前主要的加固方式为在坝体坡面上增加护面,或直接使用稳定性较好扭王字砗磲块修复坝体损毁部位。

3) 坝体外侧冲刷坑修复。

近年针对坝体外侧冲刷坑引起坝体损坏的维修主要采用的方式有:回填冲刷坑、坝体坡脚设置镇脚棱体、采用混凝土浇筑坡面等。

①回填冲刷坑是对由冲刷问题引起坝体损毁的最直接的方法,在早期坝体维修工作中一般是利用与筑坝材料类似或者稍大的块石回填,维修

后通常在一定时间内能维持坝体的稳定与安全, 但在水流的持续作用下, 冲刷坑一般会再次出现影响坝体的稳定。

②在坝体边坡外侧设置镇脚棱体是一种对坝体外侧边坡进行加固的有效措施。选用何种材料的镇脚体需根据坝体外侧边坡冲刷强度和边坡材料稳定特性来确定。根据以往的维修经验, 钢丝石笼镇脚体和扭王字块镇脚体, 镇脚效果明显好于块石镇脚体。

③对于坝根部位水流结构复杂、翻坝水和螺旋流发育的坝体, 坝根背水坡易形成冲刷坑, 威胁坝体稳定, 除了可以对坝根采用护面和镇脚外, 还可以通过对坝根易损坏部位采用混凝土加固并与护岸相接的方式来提高坝根稳定性, 如青岩子丁坝采用浆砌块石护面结构与护岸相接, 从其运行情况来看目前坝体保存良好。

3 近年维修的经验和教训

3.1 丁坝维修

丁坝多建于水流顶冲部位, 坝体背水坡及坝

头外侧易垮塌损坏。近年在不断的摸索和尝试的过程中, 发现采用插筋混凝土压顶、背水坡镇脚以及扭王字混凝土块护面等维修结构形式(图5)能够明显增强坝体稳定性, 防止丁坝坝头及背水坡坡面的破坏, 维修后效果良好。

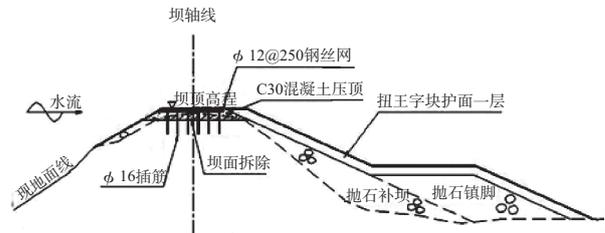


图5 丁坝维修示意图

3.2 锁坝维修

以大罐口锁坝为例, 大罐口锁坝处在河段凹岸顶冲部位, 周边水流结构复杂, 以前曾多次维修过, 但每次维修不久就再次出现损毁情况。2008年枯水期该坝采用放缓边坡坡比、增设镇脚棱体、混凝土浇筑背水坡坡面并设消能坎等措施进行了维修(图6)。目前该坝整体仍保持稳定, 背水坡保存完好, 整治功能发挥正常。

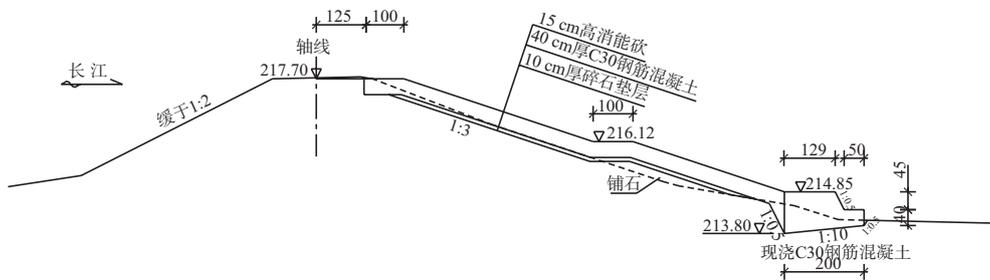


图6 锁坝维修示意图

3.3 顺坝维修

神背嘴滩称杆碛顺坝和风簸碛滩碛头倒丁顺坝近年均发生了坝体坡面损毁严重, 混凝土坝面悬空破坏的情况。在近年的维修工程中, 在上述两座顺坝坝体迎水面增设了抛石垛体结构(图7), 以减小坝体坡面外侧次生流态的破坏, 改善坡面水流条件, 增强整治建筑物稳定性。工程实施后,

坝体迎水面水流结构发生了明显变化, 次生流对坡面作用明显减弱。

4 结语

造成坝体损毁的影响因素众多, 其中主要包括自然因素和人为因素两大类。本文主要分析了损毁的自然原因, 即水流动力作用、基础变形和推移质及漂浮物撞击等。而无序、超量开采砂石、撬取坝体石材、无序围河造地及护岸保土和各种涉水建筑物的修建等人为原因也会造成坝体建筑物稳定性降低, 从而出现破损, 因此人为原因同样不可忽视。

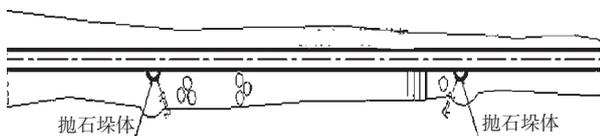


图7 顺坝维修示意图

(下转第114页)