



长江上游小米滩丁坝坝根水毁成因及其防治^{*}

张 玉，张秀芳，王平义

(重庆交通大学 河海学院，重庆 400074)

摘要：以小米滩丁坝为例，通过实地调研，并运用计算流体力学软件 FLUENT 对该坝周围的水流流场进行模拟分析，探求水毁原因。结果表明：长江上游丁坝坝根出现水毁现象的可能原因是河道地形对水流产生挑流作用从而影响坝根处流速，并提出丁坝选址时尽量避免水流冲刷区，采取坝根加固、将坝根嵌入岸坡等相应的坝根保护措施。

关键词：长江上游；丁坝；坝根水毁；防护

中图分类号：U 656.35⁺2

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2015)10-0079-04

Damage cause and countermeasures of spur dike's root on Xiaomi beach in the upper reaches of the Yangtze River

ZHANG Yu, ZHANG Xiu-fang, WANG Ping-yi

(College of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Taking Xiaomi beach as a study case, we carry out the site investigation and simulate the fluid flow by the software CFD (FLUENT 6.3.26) to seek the reasons for the washout of the dike root. The result shows that the damage causes of the spur dike's root in the upper reaches of the Yangtze River may be the influence of river terrain's deflecting flow on the velocity of the dike root. We thus propose the protection measures including siting the spur dike as far to the flow erosion area as possible, reinforcing the dike root or embedding the root into the bank slope, etc.

Keywords: upper reach of the Yangtze River; spur dike; root's washout; protection

长江上游属于典型的山区通航河段，坡陡流急，航道弯曲狭窄，泥沙颗粒较大，浅滩处多为砂卵石结构，通航条件差。位于长江上游泸州段小米滩处的航道地形复杂，流速较快，流态紊乱。该处用于航道整治的 2 座丁坝经多年的水流冲刷损毁较严重，尤其是和岸坡相接的坝根处完全被冲毁，致使丁坝丧失整治功能，严重影响到船舶的安全通行。因此，针对长江上游航道的水沙运动特点，结合小米滩段的地形特征，应重点对丁坝坝根处的水毁成因进行研究。

目前，国内对丁坝水毁成因的研究较多：苏伟等^[1]对不同类型的丁坝进行水槽概化模型试验，

得出各类丁坝的水毁成因；张明进等^[2]通过建立非静压水流模型，对丁坝局部水流的流态及坝体压力进行模拟，分析了压强及流速变化对丁坝水毁的影响；张秀芳等^[3]深入研究了非恒定流作用下丁坝坝体周围的水位、流速、比降以及流场的变化特性；唐银安等^[4]通过对嘉陵江、岷江等河道中已建的整治建筑物损毁进行实地的考察，总结出相应的损毁原因及防治措施。以上大都以丁坝坝头和坝身的水毁研究为主，而针对坝根水毁的研究较少。杨火其等^[5]对钱塘江河口护塘丁坝坝根防冲工程措施进行概化试验研究，找出护塘护坝根、且防冲效果最佳的坝根结构；朱俊凤^[6]

收稿日期：2015-01-27

^{*}基金项目：国家自然科学基金项目（51079165）

作者简介：张玉（1990—），女，硕士研究生，从事航道整治科研工作。

以实际的丁坝坝根整治工程为例,分析卵石河段丁坝坝根水毁的成因,并提出对于不同的河滩岸类型的坝根处理方法。本文通过对长江上游叙渝段位于泸州河段的小米滩进行实地调研,并应用计算流体力学软件 FLUENT 对该处丁坝周围的水流流场进行模拟,初步探讨了丁坝坝根出现水毁的可能原因,并提出相应的防护措施。

1 工程概况

小米滩位于宜昌上游 906.5 km 处,居两反向河湾之间且整个滩段航槽呈“S”型:上滩段左岸有突入江中的石梁将主流挑向右岸,水流流速较快;过望滩石梁后江面逐渐变宽,流速放缓,大量卵石在此堆积形成下滩段右岸宽阔的关刀碛卵石边滩,该滩突入江中,其阻水作用产生强烈的横流冲向左岸并在雨丘石附近产生剪刀水、泡漩水以及急流,因此该处复杂的地形条件导致整个航道上浅下险、流速上快下缓、船舶通行困难。通过上浅滩时要防擦浅,过下段时为避免横流作用得抱碛行驶。20 世纪 80 年代未曾对此进行过整治,在右岸建 2 座丁坝:上丁坝坝顶高程 224.4 m,坝宽 3 m,迎水坡 1:1.5,背水坡 1:2;下丁坝坝顶高程 224.2 m,坝宽 3 m,迎水坡 1:1.5,背水坡 1:2。通过上、下丁坝联合作用将主流挑入主航槽,使之冲刷浅滩,同时对浅区进行清淤处理。采取一系列的整治措施之后,小米滩的航行条件大大改善——横流减弱,流速分布较均匀,且航槽水深明显增大(图 1)。

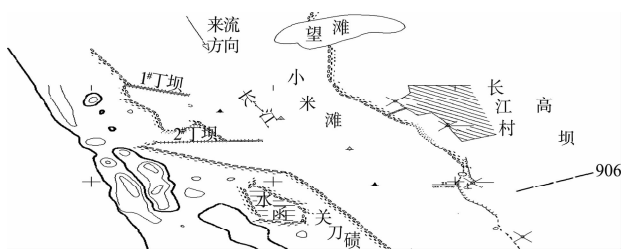


图 1 小米滩整治方案平面布置

但是,经过多年的观测发现,小米滩上、下丁坝在水流冲刷后损毁比较严重,主要表现在丁坝坝头和坝身表面局部被冲毁,部分坝脚被水流掏空呈悬空状,坝根处石块剥落较多,且坝根与

岸坡交接处被冲毁断裂,出现了 2 m 以上深的大缺口(图 2),丁坝挑流作用受到影响,水流对航槽冲刷能力逐渐降低,泥沙在下游航槽逐渐沉积形成浅滩,船舶在此易擦浅。



图 2 小米滩丁坝坝根水毁情况

2 丁坝坝根水毁原因分析

2.1 模型的验证

FLUENT 软件作为目前开发的 CFD(computational fluid dynamics)软件之一,其适用性较广,功能也比较全面。它包括 GAMBIT 前处理、数值求解以及后处理几部分,可用于二维平面、二维轴对称和三维流动分析等。本模型采用二维平面模拟。

试验水槽长 30 m,宽 2 m,丁坝布置在试验水槽 3#断面处。丁坝长度为 50 cm,挑角为 90°,试验的入口流量为 95 L/s,出口水深为 14 cm(图 3)。

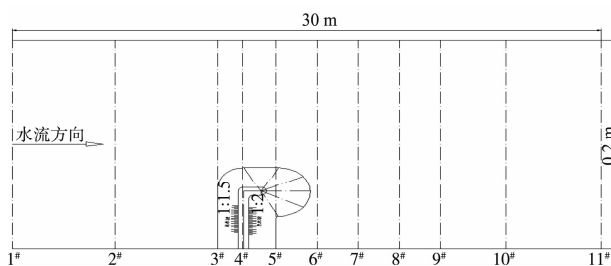


图 3 试验水槽丁坝布置

通过前处理 GAMBIT 软件对模型进行网格剖分后可知,该模型共有 20 769 个节点,20 409 个网格单元。采用张可^[7]所测的试验资料对模拟的流场流速进行 11 个断面的对比验证,验证结果表明,计算值与实验值均吻合较好。将具有代表性的丁坝上下游 3#和 7#两个断面的计算流速与试验资料相比较(图 4)。由图 4 可知,模拟的二维平面流场能较好地反应出实际情况。

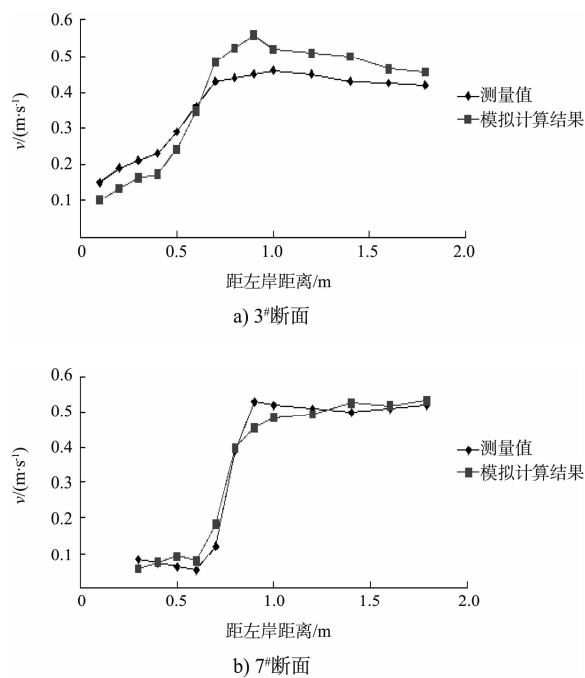


图 4 计算流速与测量值的比较

2.2 小米滩丁坝流场模拟及水毁原因分析

在用试验数据对二维平面水槽模型计算数据进行对比验证的基础上，将小米滩概化成二维平面模型，以模拟出该段大致的流场分布情况。小米滩河段上起杨公背，下到关刀碛，全长 8.9 km，河宽 750 ~ 1 000 m，丁坝位于河道右岸。该河段一般洪水流量为 16 500 m³/s，一般洪水水位为 235.14 m。建模时，通过前处理 GAMBIT 软件对小米滩处的河道地形按 1:5 000 的比例进行二维平面模型构造。网格剖分完毕后可知，整个计算区域共有 14 778 个节点，14 362 个网格单元。考虑到洪峰期水流对丁坝坝根产生的影响比枯水期大，取进口流量为一般洪水流量 16 500 m³/s，出口水位设为 235.14 m。

应用 FLUENT 软件对上述几何模型进行后处理，可以得到小米滩河段速度矢量图（图 5）、小米滩河段速度分布图（图 6）。根据流场的模拟，并结合实地调研，分析认为其损毁原因如下：1) 由图 5 可以看出，洪水期时，河道的流量较大，流态比较混乱，主流归于主航槽，但由于河道左岸有猫石盘、望滩石梁突入江中，其产生的挑流作用使该河段的主流略微偏向右岸。而小米滩的两道丁坝建于右岸且距离石梁不远，坝根刚

好处于水流冲刷的区域，受洪水的反复冲刷，坝根处的局部块石容易被洪水冲走，造成坝体块石的缺失；且在洪水退去时，坝前及坝后的泥沙将受到水流的不断淘刷作用，丁坝坝脚处易产生冲刷坑，致使局部坝体处于悬空状态。2) 由图 6 可知，河中心偏右岸区域的流速最大，往两岸逐渐减小。对于丁坝坝根的流速而言，由于突入江中的石梁束窄了该河段，导致坝根处的水流流速较正常地形河段大。而小米滩丁坝坝头及坝身处采用水泥抹面加固处理，坝根处于泥沙上，施工时未进行基础处理，因此坝根处容易被水流淘刷而下陷，且该处流速的增大会加快坝根的水毁。3) 小米滩处的丁坝坝体为整体性能较差的散抛石结构，而相比长江中游，长江上游河道较窄，水流湍急，且该处复杂的地形使水流的流态比较紊乱，坝体在水流长时间的冲刷作用下容易产生松动。在以上原因耦合作用下，久之坝根处易形成缺口，最终导致丁坝完全丧失其整治功能。

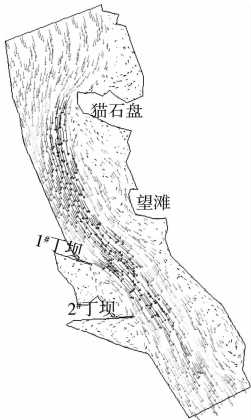


图 5 小米滩河段速度矢量图

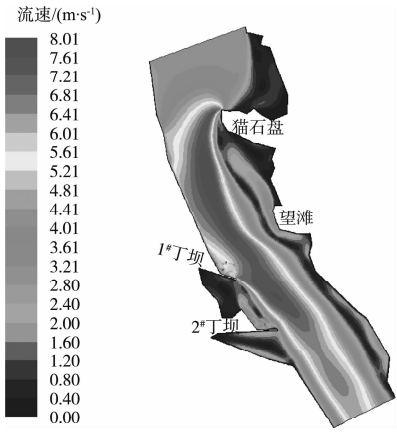


图 6 小米滩河段速度分布

3 坝根防护措施

针对于此类坝根损毁较严重的情况,应从以下几个方面进行防护:

1) 坝根处为砂卵石结构的河滩段,由于其地质的不稳定性,容易使坝根被淘刷,因此最好进行地基基础处理,或者将坝根嵌入岸坡中,如有必要应进行护坡或者削坡工作。

2) 针对长江上游段河窄水急的特点,在满足经济预算的前提下,尽量避免采用散抛石丁坝,而应采用整体性能较好的混凝土丁坝,如预制的钢筋混凝土空箱作为丁坝的外表面、将散抛石块等密度较大的材料填于其中以增加丁坝的自重。

3) 此处的小米滩为“S”型的航道,洪水时期,其上游有突入江中的石梁将主流挑向对岸并冲刷对岸的岸坡,因此对建于对岸的航道整治建筑物选址时应充分考虑洪水时期水流冲刷的作用,尽量避开水流冲刷较严重区域,将丁坝建于冲刷相对较轻的地方,如水流冲刷点的下游处,从而从根本上减缓水流对坝根作用的同时也能起到丁坝应有的束水归槽作用。

4) 如丁坝的选址受地形等因素的影响,不能避开水流顶冲区,此时应对丁坝的坝根进行加固处理,如将坝根处做成八字脚弧线形式(图7),在增大其承受水流冲击力作用面积的同时,也可使水流平缓过渡到江心;或者在坝根周围采用扭王字块进行保护以防水流将坝根基石掏空,同时也可减少部分水流的冲刷力;亦可适当提高纵坡,让坝根的溢流后于坝身,这样有助于在坝根形成后坡水垫,减少坝后冲刷,有利于坝根稳定。

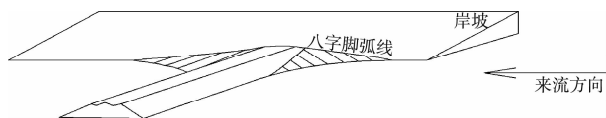


图7 八字脚弧线形式护坝根

4 结语

丁坝坝根的水毁由该处河段的地质、地形条件以及丁坝的类型、选址等因素共同耦合作用的结果,其中地形条件是造成丁坝坝根出现水毁最主要的原因,以小米滩为例,该处的丁坝坝根水毁主要由于上游左岸的石梁束窄了河道,增大了该段流速,且洪水期将水流挑向右岸并冲刷建于此处的丁坝坝根,使坝根出现大缺口。因此对于此类情况,坝根的防护应从主要原因入手,在丁坝选址时注意与突入江中的石梁间隔适当的距离,从而避免建于水流冲刷最严重区;或者选择整体性能较好的丁坝类型,以此增加坝根自身的抗冲性;对于已建好或者选址无法避开水流冲刷区的丁坝,应进行坝根的加固处理,如将坝根处做成八字脚弧线形以及将坝根嵌入岸坡等。

参考文献:

- [1] 苏伟,王平义,喻涛,等.不同结构形式丁坝水毁过程分析[J].水运工程,2012(11):118-123.
- [2] 张明进,白玉川,张华庆,等.基于非静压三维数值模型的丁坝水毁研究[J].水力发电学报,2014(6):179-188.
- [3] 张秀芳.非恒定流作用下丁坝水毁试验研究[D].重庆:重庆交通大学,2012.
- [4] 唐银安,吴安江.山区冲积性河流整治建筑物水毁原因及防治初探[J].水运工程,1997(4):37-40.
- [5] 杨火其,蒋纬.涌潮作用下漫水丁坝根部防冲措施试验研究[J].河口与海岸工程,1999(2):30-36.
- [6] 朱俊凤.长江宜宾至重庆卵石河段丁坝的坝根处理[J].水运工程,2013(2):157-159.
- [7] 张可.不同结构型式丁坝水流特性研究[D].重庆:重庆交通大学,2012.
- [8] 王平义,陈昌华,荣学文.航道整治建筑物水毁理论及模拟技术[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [9] 王平义,荣学文,程昌华,等.山区河流航道整治建筑物遭受异相耦合破坏作用的特征及仿真探讨[J].重庆交通学院学报,2001(S1):109-112.

(本文编辑 郭雪珍)