

Research on Scour Depth and Protective Measures of Spur Dikes—Taking the Lhasa River Urban Section of China as an Example

Jiujun Qi

Lhasa Municipal Water Conservancy Survey, Planning and Design Institute, Lhasa, Tibet, 850000, China

Abstract

Groyne is a typical river regulation structure, which is widely used in the construction of Control and guide project. In the actual construction, it is particularly important to study the problem of Groyne Scour and protection, it concerns the stability of spur dikes and toe guards and the safety of flood control in surrounding urban areas. In this paper, the scour depth of spur dikes and protective measures are discussed for reference.

Keywords

groyne; scour depth; protective measures

丁坝冲刷深度与防护措施研究——以中国拉萨河城区段为例

綦玖军

拉萨市水利勘察规划设计院, 中国·西藏 拉萨 850000

摘要

丁坝是一种典型的河道整治建筑物, 在控导工程施工中被广泛应用, 在实际施工中关于丁坝冲刷与防护问题的深入研究尤为重要, 关乎着丁坝和堤防护脚的稳定性以及周边城区的防洪安全。论文就丁坝冲刷深度与防护措施做出探究, 以供参考。

关键词

丁坝; 冲刷深度; 防护措施

1 引言

在河道整治和防洪工程中, 丁坝作为控导工程中最常见的水工建筑物, 起到了导流、缓流、维护堤防稳定的作用。中国拉萨河城区段所建丁坝, 在汛期防洪中发挥着重要作用, 用于保护堤防护脚免受冲刷, 而冲刷也是河道中的一个重要天然过程, 其一般被定义是从河道和堤坝中剥离沉积物, 这也是水流冲刷影响的直接结果。尤其是在汛期洪峰值出现时丁坝冲刷毁坏最严重。在水工建筑物周围的冲刷一般包括两种: 一般冲刷和局部冲刷, 其中局部冲刷是导致丁坝等控导工程建筑物水毁的最主要因素。因为丁坝的建设限制了水流的行进, 导致了丁坝坝头周围局部水流速度的增大, 上游水域壅高, 水面比降上升, 河道也被水流冲刷而形成了冲刷坑, 在冲刷深度过大时往往会造成基础淘刷引发控导工程建筑物的倒塌。所以关于对丁坝冲刷深度与防护措施研究, 在防洪工程中对丁坝的施工设计和安全运行有着重要意义, 也一直是水利工程建设领域所关心的重点。

【作者简介】綦玖军(1992-), 中国重庆人, 本科, 从事水利工程设计研究。

义, 也一直是水利工程建设领域所关心的重点。

2 丁坝冲刷机理研究

对于丁坝冲刷机理的探究, 中国不少研究者已经开展了大量物理实验, 部分研究者提出冲刷是由于行进水流受到了丁坝影响, 丁坝附近的流速进行了重新分布, 丁坝束水引起坝头附近流速增大导致坝头处泥沙的局部冲刷, 在近场河底产生了旋涡, 从而导致河道上的淤泥被水流冲起并挟运至下游形成淤积, 从而逐渐产生了冲刷坑; 但也有研究认为是由于丁坝的挑流作用明显, 水流的流速场和压力场都随之发生了改变, 使水流在丁坝附近产生了压力差, 部分水流向下运动, 同时产生下潜水流, 从而引起对丁坝底部河道的冲刷现象。

由于近年来科学研究的开展, 不少研究者提出丁坝冲刷应是多种原因综合影响的结果, 丁坝冲刷是由翻过坝头的水流和下潜水流以及它们的作用而形成的旋涡综合影响引起的。上游水流在流经丁坝时会受阻, 引起了坝头周围水流中剧烈的三维紊动现象和剪切层涡流的快速发展, 从而造成了水流流速和单宽流量的局部增大, 进一步加剧了水流的输

沙能力,这也是丁坝局部冲刷产生的最直接原因。而下潜水流和旋涡的产生对河道冲刷的加剧和局部冲刷的形成则产生着关键作用,一方面流经丁坝上的水流受阻后,在丁坝迎水面上形成停滞,同时产生压力梯度变形,从而产生下潜水流,水流的运动形式则相似于直角射流,直接冲刷河床底沙;另一方面,坝头附近流量的增大也造成了河道下部流量的增大以及旋涡的形成,由于旋涡有很大的河道剪力和挟运淤泥的力量,从而形成局部冲刷。

3 拉萨河资料分析

拉萨河为雅鲁藏布江中游左岸一级支流,发源于念青唐古拉山中段南麓、澎错东南约 15 公里的孔玛朵山峰下,发源地高程为 5200 米。流域范围在东经 90° 05' ~93° 20'、北纬 29° 20' ~31° 15' 之间,全流域面积为 32875 平方公里,占雅鲁藏布江流域面积的 13.7%,河流全长 551 公里。拉萨河为雅鲁藏布江最大的支流,流域西部和北部以念青唐古拉山为界,东南部与雅鲁藏布江流域相邻。拉萨河干流呈“S”形,由东北向西南延伸,依次流经当雄县、林周县、墨竹工卡县、达孜区、堆龙德庆区、拉萨市城区以及那曲市的色尼区、嘉黎县的一部分,在拉萨市曲水县附近汇入雅鲁藏布江。

通过对拉萨河城区段河道分析,由于河道宽浅,河床比降大,主流在 220~1100m 的河宽内摆动不定,水流综合稳定性差,平面形态具有散乱的游荡型河道特点,河道两岸修建的护岸提防极易受到主流的顶冲,所以在修建的护岸提防都配合丁坝来改变水流形态,减小水流对提防护脚的冲刷。

通过观察修建在拉萨河城区段的丁坝冲刷水毁情况,坝头与主流交角较大,水流流速大,流态紊乱,在下潜水流作用下,坝头处河床淘刷严重,坝体块石被水流带走,出现较大冲刷坑,坝体块石松动、脱落,滚入冲刷坑二次被水流带走,造成坝头严重破坏。

丁坝上游阻水作用明显,在汛期高水位水流翻坝下切,背水坡流速增大,冲刷力强,造成背水坡外侧河床冲刷,形成明显冲刷坑,背水坡坡面块石出现松动、脱落,造成不均匀沉降、倒塌;在水流持续作用下破坏面不断向坝轴线方向发展,引起坝面下部出现掏空,同时坝面还受到水流顶冲作用、河床推移质磨损、漂浮物的撞击,在着力点处坝面产生破坏,极易形成缺口,导致坝体断裂,造成坝体倒塌损毁。

丁坝周围的水流形态还受到河道是否处于顺直岸、凹岸、凸岸的情况有关。

通过现场勘察,在汛期由于上游凸岸的阻挡作用,打乱了水流的流态,水流受阻改变流经方向而折冲到河道的对岸,在汛期形成急流顶冲。拉萨河城区段建在凹岸处的丁坝,在汛期防洪中丁坝投入使用后,河道的河势随着水文条件的变化而不断变化,水流中挟运大量泥沙,导致对向河床大量

淤积,从而改变主流位置和方向,在凹岸处冲刷作用增强,加剧了丁坝的水毁。

4 丁坝冲刷深度计算

4.1 模型试验

根据何凤华^[2]模型试验研究,流量由日本产 KIB-0200 型电磁流量计量测,并以 DC-4000 型控制器组成闭合回路,自动控制试验流量,精度 0.1m³/h;流速由日本产 VO-203A 型旋浆流速仪测定,精度为 0.1cm/s,并可测定正负流速值;水位由日本产 NS-103D 型跟踪式水位计量测,精度为 0.1mm;冲刷地形由日本产 NST-30 型跟踪式水下地形仪测定,精度为 0.1mm。经 200 多场模型试验分析得出,平台加齿坎防护措施保护丁坝基础效果较好。

4.2 丁坝冲刷深度计算

4.2.1 丁坝局部冲刷深度计算

影响丁坝冲刷深度的因素有:

河宽 B , 丁坝长度 D_n , 丁坝挑角 θ , 丁坝头部冲刷前水流速度 V , 坝头冲刷前水深 h , 最大冲刷深度 h_B , 重力加速度 g , 水的容重 γ , 水的动力粘度 μ , 平均粒径 d_{50} , 标准偏差 σ , 水中容重差 $\Delta\gamma_s$ 。

何凤华^[2]根据量纲分析方法,丁坝未设基础防护措施时,丁坝局部冲刷深度的计算公式为:

$$\frac{D_n}{h} \leq 1 \text{ 时, } h_B = 2.15 \left(\frac{D_n}{h} \right)^{0.75} \frac{V - V'_0}{V_0} \bullet k_m \bullet k_\theta \bullet h \quad (1)$$

$$\frac{D_n}{h} > 1 \text{ 时, } h_B = 2.15 \frac{V - V'_0}{V_0} \bullet k_m \bullet k_\theta \bullet h \quad (2)$$

式中, h_B ——丁坝局部冲刷深度 (m);

h ——坝头冲刷前水深 (m);

D_n ——丁坝阻断水流长度,即丁坝在垂直于水流方向上的投影长度 (m);

V ——丁坝头部冲刷前水流速度 (m/s);

V_0 ——床沙起动流速 (m/s)。

采用武汉水利学院公式计算:

$$V_0 = \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{0.14} \left(17.6 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} d_{50} + 0.00000605 \frac{10 + h}{d_{50}^{0.72}} \right)^{0.5} \quad (3)$$

式中, V'_0 ——床沙起冲流速 (m/s), $V'_0 = 0.75 \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{0.1} V_0$;

d_{50} 为床沙中值粒径 (m);

K_m ——丁坝上游侧边坡影响系数,根据试验资料验证,采用 $k_m = e^{-0.2m}$;

m ——丁坝上游边坡坡度;

k_θ ——丁坝轴线与水流斜交的影响系数,

$$k_\theta = \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0.32}。$$

4.2.2 丁坝基础防护局部冲刷深度计算

根据水流与河床相互作用和抗冲消能原理,在丁坝基础周围设置平台加齿坎防护措施,削弱坝头水流能量,防止

水流直接冲刷丁坝基础河床。

丁坝基础周围设置了平台加齿坎防护措施后的减冲程度除受水流条件影响外,还与平台宽度($B_{平}$)、齿坎高度($h_{齿}$)及齿坎后缘与坝体间距离($B_{间}$)有关,何凤华^[2]根据量纲分析方法,丁坝设平台加齿坎防护措施时,丁坝局部冲刷深度的计算公式为:

$$h'_B = 0.22 \left(\frac{B_{平}}{h}\right)^{-0.46} \bullet \left(\frac{h_{齿}}{h}\right)^{-0.24} \bullet \left(\frac{B_{间}}{h}\right)^{-0.20} \quad (4)$$

式中, h'_B ——设平台加齿坎防护措施后丁坝局部冲刷深度(m);

h ——坝头冲刷前水深(m)。

根据模型试验,只有当 $\frac{h_{齿}}{h} \leq 0.33$ 、 $\frac{B_{间}}{h} \leq 0.20$ 时平台加齿坎防护措施才有减冲作用。

5 丁坝基础防护措施

分析丁坝水毁原因发现,丁坝在汛期防洪过程中的水毁大多是因为坝头冲刷造成的。张玮^[3]等提出丁坝损毁可分为直接损毁和间接损毁两类:直接损毁主要是由于散抛石坝护面块石的粒径偏小,稳定重量不足,在受到不稳定的中洪水主流、横向环流或斜向水流的强烈冲击时,坝体表面块石逐渐被水流冲移,形成缺口,继而扩大冲深,从而导致坝体的损毁;间接损毁主要是因为散抛石坝周边基础被破坏,导致坝体损坏。有些散抛石坝经常会由于坝基(多为砂卵石)处理不当,导致坝体基础在水流作用下被掏空,使坝体外侧失去支撑,从而导致坝体倒塌损毁。论文从改变丁坝附近水流特点、增强坝体自身抗冲性出发,针对丁坝基础、坝头冲刷的破坏提出以下两点防护措施。

5.1 平台加齿坎防护措施

丁坝出现水毁的外部因素主要是由水流顶冲和强涡流产生的底部淘刷作用,因此丁坝附近的水流结构对坝体的影响至关重要。何凤华^[2],方达宪^[4]等为了削弱坝头水流能量,避免水流直接冲刷丁坝基础,在丁坝附近设置平台或平台加齿坎防护措施,比较设置平台前后的冲刷深度结果发现:丁坝防护措施以平台加齿坎型式效果较好。布置示意图如图1所示。

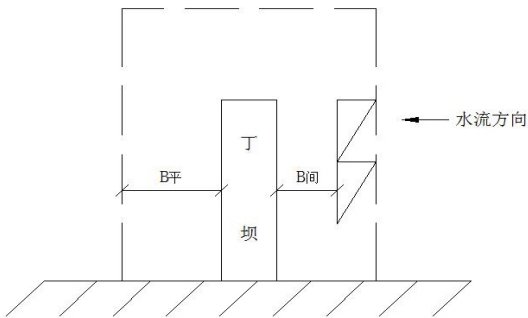


图1 平台加齿坎防护措施布置示意图

5.2 优化丁坝结构形式和改进坝体结构材料

丁坝的坝型和结构应根据水流条件,河床地质和丁坝的工作条件,因地制宜进行选择,林发永^[5]等通过研究迎流顶冲丁坝附近的水流流态和局部冲刷变形特点,为迎流顶冲点的丁坝提出了新的结构形式。研究表明,工程中采用阶梯型丁坝和勾头丁坝时,丁坝坝头附近的冲刷强度减弱,冲刷坑的深度和规模也相应减小。

实际水利工程中运用的丁坝主要有以下4种结构形式:

①抛石丁坝;②沉排丁坝;③土工织物丁坝;④混合类丁坝。其中,抛石丁坝运用比较广泛,它具有坚固耐用、施工和维护简单的优点,适用于盛产石料的地区。拉萨河城区段所建丁坝所使用的就是钢筋石笼骨架抛石丁坝。

6 结语

通过对丁坝冲刷深度与防护措施研究,在丁坝工程设计中着重对坝体基础整体性加强工程措施,同时增强坝体自身抗冲性,使坝体底部附近尽量减少河床因冲刷导致基石的流失,这样坝体底部附近即使产生局部冲刷也能使坝体保持整体稳定性。

根据模型试验,丁坝基础平台的布设不需要在基础周边满布,丁坝自坝头开始,迎水面长度应为坝长的1/3、背水面长度应为坝长的1/5范围内布设即可;齿坎平面为直角三角形,长边与坝体平行,齿坎斜边与水流流向的夹角为 60° , 60° 齿角置于迎水端,齿坎后缘与坝体间距离 $B_{间} \leq 0.20h$,齿坎高度 $h_{齿} \leq 0.33h$,减冲效果非常明显,可在实际施工中推广与应用。

参考文献

- [1] 应强,焦志斌.丁坝水力学[M].北京:海洋出版社,2004.
- [2] 何凤华.丁坝、导流堤基础冲刷防护措施研究[J].公路交通科技,1995(4):9-17.
- [3] 张玮,瞿凌峰,徐金环.山区河流散抛石坝水毁原因分析[J].水运工程,2003(4):10-12.
- [4] 方达宪.丁坝基础冲刷机理和防护措施[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2006(11):1436-1439.
- [5] 林发永.丁坝坝身侧冲刷坑控制与治理工程措施初探[J].人民长江,2004(2):29-31.
- [6] 喻涛,王平义.非恒定流条件下丁坝水利特性及冲刷机理研究[M].北京:科学出版社,2018.
- [7] 谢鉴衡.河床演变及整治[M].武汉:武汉大学出版社,2013.
- [8] 拉萨河流域综合规划报告[R].