

丁坝对弯道水流流态影响的研究现状

韦欣欣 曾媛媛 刘政昕 四郎巴登

北方民族大学土木工程学院, 宁夏 银川 750021

[摘要]丁坝属于河道弯道防护方面的关键工程举措, 其对于水流流态会产生颇为显著的影响。本论文对丁坝对弯道水流的研究成果进行了分析, 研究表明, 丁坝对弯道主流线的位置走向、流速的具体分布状况、水面线呈现出的形态以及回流区与漩涡结构等方面都做出改变, 进而对河道的冲刷以及淤积情况起到调节作用。已有的研究大多运用物理模型试验、数值模拟还有现场观测等手段, 剖析了丁坝的长度、高度、布置方式等诸多参数针对流场所起的作用规律。而且研究发现, 若丁坝布设不够合理, 就有可能引发局部流速出现集中现象或者回流区发生扩大的情况, 这就给河道带来新的冲刷风险。目前的研究正朝着将多种方法相互结合起来以及开展设计优化的方向不断发展前行, 以此为丁坝工程的设计工作以及弯道的整治事宜给予一定的参考依据。

[关键词]丁坝; 弯道水流; 流态影响

DOI: 10.33142/hst.v8i10.18060

中图分类号: TV131

文献标识码: A

Research Status of the Influence of Spur on the Flow of Curved Water Flow

WEI Xinxin, ZENG Yuanyuan, LIU Zhengxin, SILANG Badeng

School of Civil Engineering, North Minzu University, Yinchuan, Ningxia, 750021, China

Abstract: Spur is a key engineering measure in the protection of river bends, and it has a significant impact on the flow state of water. This paper analyzes the research results of the use of spur dikes on curved water flow. The study shows that spur dikes make changes to the position and direction of the main flow line in curved channels, the specific distribution of flow velocity, the shape of the water surface profile, and the backflow zone and vortex structure, thereby regulating the erosion and sedimentation of the river channel. Most existing studies have used physical model experiments, numerical simulations, and on-site observations to analyze the effects of various parameters such as the length, height, and layout of the spur dike on the flow field. Moreover, research has found that if the layout of the spur dike is not reasonable enough, it may lead to the concentration of local flow velocity or the expansion of the backflow area, which brings new scouring risks to the river channel. At present, research is constantly developing towards combining multiple methods and conducting design optimization, providing a certain reference basis for the design work of spur projects and the rectification of bends.

Keywords: spur; bend water flow; flow influence

引言

在河道治理以及岸防工程领域当中, 弯道区域因为水流受到离心力的作用, 往往会呈现出主流发生偏移、凹岸出现冲刷情况以及凸岸产生淤积等一系列较为复杂的水动力方面的特征, 这些特征会直接对河道的稳定性、航运的安全状况以及沿岸的生态环境产生影响。丁坝属于十分重要的河道防护构造, 在河道治理过程中, 通过将其沿着岸边或者是在弯道的内侧进行布置的方式, 可以对弯道水流的方向、流速的分布情况以及能量的传递起到调控的作用, 进而达成让河床保持稳定以及对冲刷情况进行控制这样的目的。近些年来, 伴随着水力学相关的研究以及河道整治工程不断发展, 学者们逐步察觉到丁坝不仅仅在控制局部的流速以及水流的方向方面发挥着作用, 而且还会对回流区、漩涡结构、水面线的形态以及流场的紊乱特征等产生颇为显著的影响, 而这些诸多的因素综合起来便共同决定了弯道所处的水力环境以及泥沙运移的规律。国内外

与之相关的研究借助物理模型试验、数值模拟以及现场观测等多种多样的方法, 针对丁坝给弯道水流流态带来的影响展开了较为广泛的探索活动, 这其中就涵盖了丁坝的长度、高度、布置角度以及群坝效应等相关参数对于流速场、主流线的位置以及漩涡分布所具有的调控作用。不过, 当前的研究依旧存在着一定的局限性, 像是在不同流量条件下流态的响应规律还没有完全清晰明确、对于丁坝与群坝耦合效应的长期演变机理研究还不够充分, 再者智能化优化设计方法的应用也并不普遍。所以, 全面且细致地梳理丁坝对弯道水流流态影响的研究实际状况, 深入剖析其作用的具体机理、参数的敏感程度以及方法技术的发展走向, 这对于指导河道整治工作、优化丁坝的设计方案以及确保河道的稳定状态而言, 有着极为重要的理论层面的价值以及工程实践方面的意义。

1 丁坝的作用

丁坝是广泛使用的河道整治和维护建筑物, 其主要功

能为保护河岸不受来流直接冲蚀而产生掏刷破坏,同时它也在改善航道、维护河相以及保护水生态多样化方面发挥着作用。它能够阻碍和削弱斜向波和沿岸流对海岸的侵蚀作用,促进坝田淤积,形成新的海滩,达到保护海岸的目的。按丁坝的作用和性质又分为控导型和治导型两种。控导型丁坝坝身较长,一般坝顶不过水,其作用是使主流远离堤岸,既防止坡岸冲刷又改变河道流势。治导型丁坝工程的主要作用是迎托水流,消减水势,不使急流靠近河岸,从而护岸护滩、防止或减轻水流对岸滩的冲刷。

2 丁坝对弯道水流流态的影响研究现状

2.1 丁坝对主流线位置的影响

丁坝对弯道主流线位置产生的影响属于河道整治以及防护工程研究范畴内的关键课题,它主要是借助改变弯道内部水流的分布特点以及流向构造的方式去对主流线在空间当中的位置加以调节。弯道水流在受到离心力的作用之下,原本的主流线多数情况会偏向于凹岸这一侧,然而丁坝的设置会改变弯道局部水流的状态,致使来流在坝体周边出现较为明显的偏折以及分流的情况。相关研究显示,丁坝迎水侧的水流会被迫改变自身方向,有一部分水流受到阻碍之后会形成绕流,进而使得弯道主流线出现偏移的现象。当丁坝朝着上游进行布设的时候,能够有效地引导主流远离河岸,削弱弯道凹岸的冲刷作用;而当丁坝朝着下游进行布设的时候,则有可能将主流推向外侧,加剧局部的冲刷程度。不同形态的丁坝(像T型、L型、透水式等等)针对主流线所起到的调节效果也会存在差异,其中T型丁坝因为具备分流以及导流这两种作用,通常能够在控制主流偏移以及减缓流速等方面获取较好的综合成效^[1]。与此丁坝的长度、高度、与岸线的间距以及群坝的布置方式都会对主流线的稳定位置产生重要的影响。物理模型以及数值模拟的研究发现,当丁坝长度增加或者间距减小的时候,主流线更易于远离凹岸,河槽中心流速带的位置趋向于稳定;但是布置过于密集的话,会导致水流出现紊乱的情况、回流区不断扩大,最终引发新的冲刷中心的产生。

2.2 丁坝对流速分布的影响

丁坝对弯道水流流速分布产生的影响,主要表现在其对弯道内部水流速度场重新分配以及能量传递过程加以改变。在弯道当中,原本就存在着较为明显的横向流速梯度,靠近凹岸的地方流速相对较大,而凸岸处流速则较小,丁坝的设置使得这种原有的流速分布平衡状态被打破。相关研究说明,丁坝在迎水面位置会形成局部的高流速区域,水流受到阻碍之后会绕着坝体流动,进而使得丁坝下游以及背水侧出现低速回流区域,最终致使整个弯道的流速分布呈现出“高-低-高”这样复杂的变动格局。物理模型以及数值模拟方面的研究情况表明,当丁坝的长度以及高度比较大的时候,来流受到的阻碍会更加明显,坝头处的流

速会急剧增加,并且在坝头下游会出现强烈的剪切流以及涡旋区域,局部的紊动能也会有显著的增强;而在丁坝尾部以及背流区域,流速会大幅度降低,形成滞流或者回流带。在群坝布设的情况下,坝间的水流会相互产生干扰,在间隙处可能会形成加速流通道,从而在局部形成高流速带,对下游河床会产生较强的冲刷作用。丁坝的形态、间距以及布设角度对于流速分布的影响十分敏感,迎水角度过大或者间距过小都有可能导致主流集中、冲刷强度增强;与之相反,适度的布设能够有效地削弱弯道内部流速不均的情况,让流速分布趋向于平缓,这对于河势稳定以及岸坡防护都是有利的。

2.3 丁坝对水面线与流态结构的影响

丁坝对于弯道水面线以及流态结构所产生的影响,重点在于其对局部水流能量分布情况、流向所发生的改变以及水位梯度的调节方面。在弯道内部,水流受到离心力的作用,其水面线原本呈现出外侧较高而内侧较低的倾斜特点。在设置了丁坝之后,因为丁坝具备对水流起到阻挡、分流以及导向的作用,所以弯道内部的水面线形态产生了颇为显著的变化。相关研究显示,在丁坝迎水的那一侧,由于流速有所增大,动能也出现了上升的情况,这就使得水面在局部位置抬高起来;然而在丁坝背水的那一侧,流速降低了,压力却上升了,进而形成了相对较为低洼或者说是回水的区域,如此一来,水面线便呈现出“凸-凹”相互交替的波动形态。随着丁坝群的布置设置,弯道内部的水面线不再是单调且平滑的状态,而是呈现出周期性的起伏特点,这实际上反映出了水流能量分布存在着空间上的不均匀状况。丁坝还将会对弯道流态结构带来深远的影响,在其迎水面会形成强烈的绕流以及分离流区域,而在下游部位则会出现比较明显的回流、涡旋以及二次流的结构,流态从原本单一的主流模式转变为了复杂的多流区体系^[2]。无论是物理模型还是数值模拟所得出的结果都说明,丁坝的长度、间距以及形态方面的不同情况,会直接对分离流区域以及回流区域的范围和强度产生影响,尤其是在弯道凹岸所在的区域,要是丁坝过长或者间距过于密集,那么就有可能导致紊流区域相互叠加,进而引发局部水面出现不稳定的情况以及产生强烈的冲刷现象。与之相反的是,经过合理布置设置的丁坝群,能够平衡水面线的坡降程度,对流态结构加以优化,让流速分布变得更加均匀,推动河道纵向能量的衰减,最终实现减缓弯道冲刷以及稳定河势的综合水动力效果。

2.4 丁坝对回流区与漩涡分布的影响

丁坝在弯道水流当中进行设置时,会对回流区以及漩涡的分布特性产生颇为显著的影响,这种影响重点体现在弯道内侧回流区形成的大概范围、所具备的强度还有漩涡呈现出的结构形态方面。相关研究说明,丁坝借助阻断以及偏转主流这样的方式,促使部分水流在坝子后面形成比

较明显的回流区，并且这个回流区的范围同丁坝的长度、间距以及布置角度之间存在着紧密的关联。随着丁坝群数量不断增多，弯道内侧的回流区往往变得更加复杂起来，会呈现出多级漩涡结构，水流在坝子后面也显示出十分明显的三维流动特点。在这个过程当中，丁坝下游的漩涡强度会随着水流速度以及来流攻角发生改变而有所变化，在流速较高的情况下，漩涡区会朝着外侧进行扩展，进而增强局部的紊动能以及泥沙再悬浮的作用。有一部分学者通过把物理模型和数值模拟相互结合起来的方式察觉到，要是能够合理地去布置丁坝，那么就可以有效地对弯道内侧那种强回流以及大尺度漩涡的形成起到削弱的作用，如此一来便能够使弯道内的水流分布变得更为均匀一些，同时也有助于稳定河床的形态。

2.5 丁坝对弯道水流能量与紊动特征的影响

丁坝对弯道水流能量以及紊动特征所产生的影响，主要表现在对局部能量分布加以改变、使紊动强度得以增加，还有重塑能量耗散结构等方面。弯道水流原本就有离心力的作用以及横向环流的特性，其流速分布以及能量状态呈现出不均匀的特点，而丁坝的设置更是进一步打破了原有的流场平衡。通过研究可以发现，在丁坝上游区域，水流受到阻碍进而形成了局部的高能区，水流在坝头附近会产生强烈的剪切以及紊动现象，这就使得局部的湍动能有了较为显著的增长，流体能量在空间方面呈现出十分明显的梯度分布情况。在坝后区域，因为形成了回流与漩涡结构，所以能量传递的效率出现了下降的情况，呈现出低能耗区的特点，不过紊动扩散的作用却有所增强，这使得局部流场变得更加复杂了^[3]。除此之外，丁坝群对于弯道水流能量的影响还存在着累积效应，随着丁坝布置数量以及密度的不断增加，流场的能量耗散程度不断加剧，主流能量逐步向着中下层进行扩散，如此一来便能够改善弯道外侧冲刷、内侧淤积这种不均衡的状况。数值模拟以及实测的结果都说明，对丁坝尺寸、间距以及入射角度等关键参数进行合理优化，是控制弯道紊动结构、调节能量分布的核心手段。科学的布置方式可在保证河道行洪安全的前提下，提高能量耗散效率，稳定河床形态，并改善河道演变趋势。由此可见，丁坝布设的参数化设计对于弯道水流动力结构调控具有重要的工程意义和实践价值。

3 研究方法与技术发展趋势

当下针对丁坝给弯道水流流态所造成的影响展开的研究方法，呈现出多样以及技术集成方面的特性，主要涵盖物理模型试验、数值模拟还有现场观测这三大类别，并且正逐步朝着高精度、多尺度以及耦合分析这样的方向去发展。物理模型试验依靠着缩尺水槽以及可调丁坝装置，

可直观地把弯道流场、回流区、漩涡以及水面线的变化展现出来，再结合像 PIV（粒子图像测速）、激光多普勒流速仪还有高速摄影这类先进的测量技术，便能够获取到高分辨率的速度场、涡结构以及水面波动方面的数据，进而为弄清楚丁坝对于局部流动的机理给予直观的依据。就数值模拟方法来讲，随着计算流体力学技术不断取得进展，RANS（雷诺平均 Navier – Stokes）模型、大涡模拟还有体积法捕捉自由面方法得到了广泛的应用，其主要用于预测复杂的三维流态、流速分布以及泥沙输移的相关特征，并且还能够针对不同的丁坝形态、布置参数以及流量条件展开敏感性分析以及优化设计。近些年来，多方法耦合研究渐渐变成了一种趋势，比如把物理模型实验所得到的数据应用于数值模型的校正与验证，或者把数值模拟的结果同现场流量监测、声学多普勒流速剖面仪观测数据相互结合起来，以此达成对弯道水流长期演变以及泥沙输移的高精度再现效果^[4]。除此之外，智能化以及数据驱动的方法也开始逐渐被引入进来，像是借助机器学习算法来开展参数反演、流场预测以及最优丁坝布置方案的辅助设计工作。

4 结语

丁坝对于弯道水流流态有着十分重要的调控作用，其能够通过改变主流线所处的位置、流速的分布情况、水面线呈现出的形态以及回流区与漩涡结构的状态，进而对弯道的冲刷以及淤积过程产生有效的影响，最终达到提升河道稳定性以及岸防安全的目的。就现有的相关研究情况来看，在物理模型试验、数值模拟以及现场观测等诸多方面都已收获了颇为丰富的成果，然而在丁坝参数的优化、群坝耦合效应的分析以及长期演变规律的研究等方面依旧存在着一定的局限性。在未来的研究当中，应当进一步将多种方法加以耦合运用，并且融入智能化分析手段，同时紧密结合工程实践实际情况，去深入探索丁坝布设方式与弯道流态调控之间最为理想的策略，以此来为河道整治工作以及丁坝工程的设计事宜给予更为科学合理的依据。

【参考文献】

- [1] 刘红标.河道整治工程中丁坝对弯道水流特性影响研究[J].内蒙古水利,2024(11):37-39.
 - [2] 郭相军,胡方方,郭海洋.丁坝对弯道水流特性影响分析[J].河南水利与南水北调,2024,53(1):85-87.
 - [3] 张浩南,景何仿.多级丁坝影响下弯道水流运动三维数值模拟研究[J].宁夏工程技术,2023,22(1):73-79.
 - [4] 李苏.透水丁坝对弯道水流特性影响的三维数值模拟研究[D].陕西:西安理工大学,2021.
- 作者简介：韦欣欣（2005.4—），女，毕业院校：北方民族大学，所学专业：水利水电工程专业。