

U 形弯道建闸对水流运动特性的影响试验

赵小娥,钟 杰,刘兴年,王协康

(四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室,四川 成都 610065)

摘要 :试验研究在 U 形弯道上建闸后水流运动特性的变化,结果表明弯道设闸使弯道不同位置凹岸、凸岸及中线水位产生显著差异,从而导致水面横比降变缓、水流动力轴线变光滑、流速分布变均匀,为深入分析建闸后弯道水流特性及建闸对泥沙运动、河床演变等的影响研究提供借鉴。

关键词 :弯道水流;建闸;水面横比降;水流动力轴线

中图分类号 :TV66 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2010)03-0047-03

Experimental study on influences of sluice construction in a U-shape bend on characteristics of flow motion//ZHAO Xiao-e, ZHONG Jie, LIU Xing-nian, WANG Xie-kang(State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract :The characteristics of flow motion in a U-shape bend after a sluice construction were studied through flume experiments. The experimental results show that there are obvious changes of water levels at the convex and concave sides and the center line of the bend before and after constructing a sluice. It results in gentle transverse gradient of water surface, smooth dynamic axis of flows and uniform distribution of flow velocity. It is in favor of deeply analyzing the characteristics of flows in bends with sluice construction as well as the influences on sediment motion and riverbed evolution, etc.

Key words :bend flow; sluice construction; transverse gradient of water surface; dynamic axis of flow

天然河流几乎都是弯曲的,弯道可以看成是组成河流的最基本单元^[1]。国内外大量学者对弯道特有的水流运动、河床演变规律进行了广泛的研究,这些研究成果已应用于水利枢纽布置、河道、航道整治、取、排水口选址以及码头、港口建设等领域中。关于如何利用弯道水流运动特性使其对工程有利,一些学者进行了试验和理论研究:陈树容^[2]通过模型试验研究了化州市江边拦河水闸凸岸电站的引水防沙问题;张海光^[3]针对华安水电站工程,借助水工模型试验,研究水电站取水口处于弯道河段的多孔拦河闸的水力特性,以确定多孔拦河闸启闭泄洪优化方案;徐国宾^[4]根据最小能耗率理论对引水弯道进行了优化设计;马有国等^[5]在研究弯道环流强度及泥沙运动规律的基础上,得到了弯道环流强度的判别数和人工弯道式取水枢纽的水力设计准则。此外,国内外学者也对如何改变弯道水流运动特性进行了详细的研究。郭维东等^[6]通过对弯道内有、无丁坝 2 种工况下的水流特性进行系统试验研究,分析了丁坝对弯道水流流态的影响;周阳^[7]通过模型

试验分析了丁坝对弯道自由水面形态、纵向流速分布、纵向紊动强度分布的影响;Fazli 等^[8]研究了在 90°弯道上设丁坝时丁坝附近的水流流场和水流冲刷情况;Jia 等^[9]分析了弯道水下堰的水流特性,并对水流运动进行数值模拟研究。由此可知,对于如何利用弯道水流和如何改变弯道水流,国内外学者进行了大量的试验研究和理论分析,但是对于在弯道上建闸或坝对弯道水流运动特性的影响研究相对较少,如建闸后水流动力轴线变化、纵向流速分布影响等的研究尚不多见。笔者基于强弯道(U 形弯道)试验测试对比分析了弯道建闸前后水流特性的变化规律,为深入研究弯道水利工程建设对水沙运动特性的影响及其灾害防治提供科学依据。

1 试验概况

U 形平底缓斜面弯道水槽(水槽坡降 $i = 0.005$)由水泥浆抹面制作,宽为 68 cm,深为 30 cm,试验段由 2 个 800 cm 的顺直段和 1 个内径为 80 cm、外径为 148 cm 的半圆组成,一共布置试验测试断面 25 个,

基金项目 :国家自然科学基金(40771022、50739002)
作者简介 :赵小娥(1986—),女,陕西渭南人,硕士研究生,从事水力学及河流动力学研究。E-mail :zhaoxiaoe@126.com

每个断面按等宽布置 5 条测速垂线,顺直段各断面的间距为 50 cm,弯道段各断面相邻夹角为 15°,沿水深方向按等深布置 3 个测点,供水系统为自循环系统,见图 1。5 孔平底平板闸门每孔净宽 12 cm,闸墩长 20 cm,中墩宽均为 2 cm。中墩墩头为半圆弧形,墩尾为圆弧曲线。闸室与弯道等底等高(均为 30 cm)。闸门刀口向下。整个闸室横向长 68 cm,纵向长 20 cm,可整体沿水槽纵向移动。试验进口流量控制为 59.9 L/s,用测压管测各断面上的凹岸、凸岸及中心线上的水位,用矩形堰测流量,用 LGY-III 型多功能智能流速仪和新型光电式流速旋桨传感器(旋桨直径为 12 mm,起动流速小于或等于 1 cm/s,精度为 0.01 cm/s)测垂线纵向流速,用三点法计算垂线平均流速。无闸门和有闸门 2 种工况下水深分别为 6.5~13.8 cm,9.0~15.0 cm;流速分别为 27.72~99.40 cm/s,51.72~85.64 cm/s;床面曼宁粗糙系数 n 均为 0.011。水流经过由矩形量水堰和进水设备组成的首部设备进入水槽。进水设备借光滑的喇叭口与水槽相连,水槽中流出来的水则流入实验室的水库内。

2 试验结果及分析

2.1 水面横比降

水面横比降 J_R 采用公式 $J_R = \frac{Z_{凹} - Z_{凸}}{B}$ 计算,式中 $Z_{凹}$ 、 $Z_{凸}$ 分别为凹岸和凸岸的水位, B 为弯道宽度。建闸后各孔口的水深和流速见表 1。

图 2 反映了无闸门和有闸门 2 种工况下平均横比降的变化。由图 2 可知,在弯道上设闸时整体水面横比降要比不设闸时的水面横比降小,且有闸时水面横比降变化要平缓些。这主要是因为弯道出口处的闸门对弯道水流有一定的壅水作用,在一定程

闸 孔	水深/cm	流速/(cm·s ⁻¹)
第 1 孔(凹岸)	13.1	77.80
第 2 孔		77.00
第 3 孔	12.8	76.36
第 4 孔		69.00
第 5 孔(凸岸)	11.8	52.20

度上调平了弯道上的水面横比降。图 3 为无闸门和有闸门 2 种工况下中线水面线的比较,结果表明靠近闸门的地方水面线相差最大,距离闸门越远,相差越小,在弯道进口(距闸门最远处)无闸门和有闸门时的水面线最接近,说明闸门对弯道水面线的影响在弯道进口处几乎消失。

为深入探讨弯道出口处设闸门对弯道水位的影响,采用公式 $H_R = \frac{Z' - Z}{Z}$ 表示设闸前后相同位置的水位变幅,式中 Z' 为有闸门时的水位, Z 为无闸门时的水位。弯道中线、凸岸及凹岸 H_R 的变化见图 4。试验结果表明闸门对凸岸水面的壅水影响最大,其次为中线水面和凹岸水面。在中线、凸岸和凹岸的 16 号断面以及中线和凸岸的 10 号和 7 号断面处 H_R 值较大,说明在这 3 个断面处闸门对水位的影响较大,相应的横比降也较大。由此可知,横比降较大区域,设闸对水位的壅水影响也较大,而从凹岸的 H_R 变化可以看到从 15 号断面以后闸门对凹岸的水位影响很小且 H_R 线也很平缓。

2.2 水流动力轴线

水流动力轴线是沿程各断面最大垂线平均流速所在点的连接线,又称主流线。图 5 为无闸门和有闸门时的水流动力轴线。在相同的流量下,无闸门和有闸门时的水流动力轴线在弯道进口段偏靠凹岸,进入弯道后逐渐向凸岸过渡,在弯道出口段又转向凹岸。根据弯曲型河流上水流动力轴线具有低水

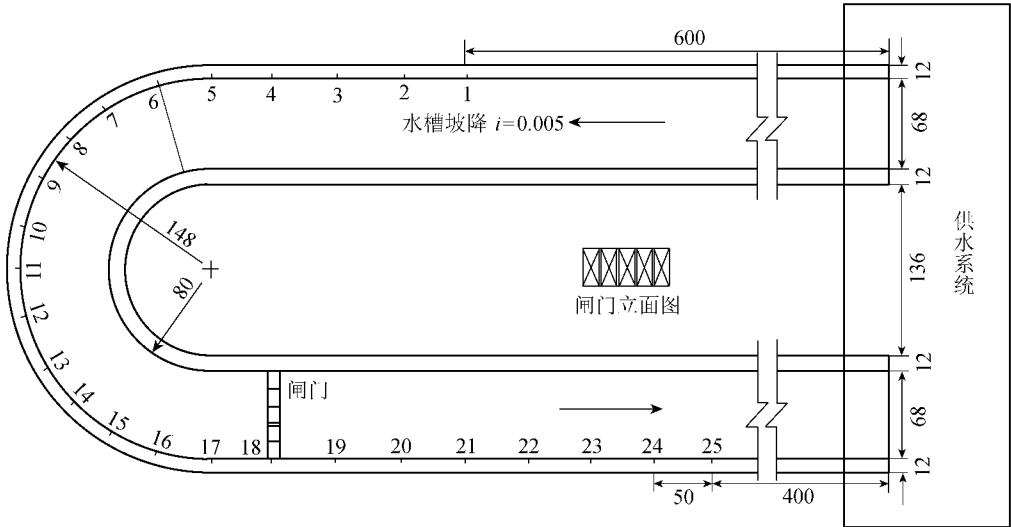


图 1 U 形弯道水槽示意图(单位:cm)

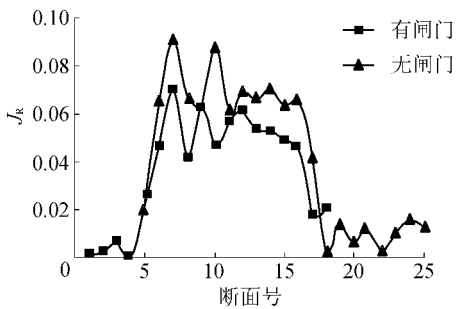


图2 无闸门和有闸门下的横比降

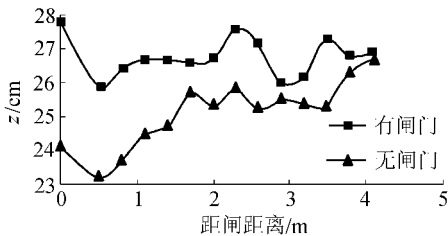


图3 无闸门和有闸门下的中线水面线

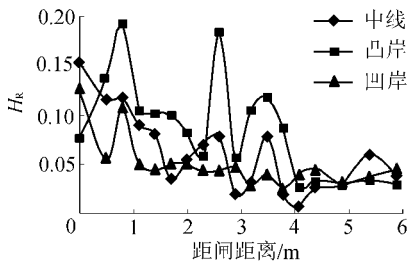


图4 设闸门后中线、凸岸及凹岸 H_R 的变化

傍岸、大水走中泓的规律,此流量应是比较大的流量。无闸门下水流顶冲点在6号断面处,有闸门下的水流顶冲点稍向下移,在无闸门情况下的16号断面处也发生了水流顶冲。

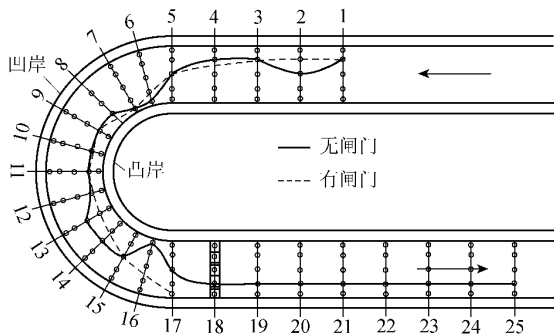


图5 无闸门和有闸门时的水流动力轴线

定义水流动力轴线偏离系数 a 为凹岸纵向垂线平均流速 $\bar{u}_{凹}$ 与凸岸纵向垂线平均流速 $\bar{u}_{凸}$ 的比值。当 $a > 1.0$ 时,表明主流线偏向凹岸; $a < 1.0$ 时,主流线偏向凸岸; $a = 1.0$ 时,主流线居中^[10]。图6为 a 沿程变化曲线,无闸门时 a 在15号断面以前均小于1.0,表示主流线偏向凸岸。而设闸之后 a 变化很明显,在入弯前 $a > 1.0$,主流线偏向凹岸;入弯后, $a < 1.0$,表示主流线向凸岸转移,过了弯顶, a 值增大且接近于1.0,表明过弯顶后闸门前的弯道水

流由于闸门的调节作用已趋于均匀。

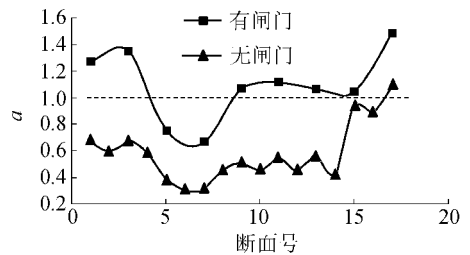


图6 水流动力轴线偏离系数 a 沿程的变化

从水流动力轴线的总体曲率变化可知,有闸门时的水流动力轴线要比无闸门时的平缓、光滑。这主要是因为建闸后由于闸门的挡水作用使闸前水流出现壅水现象,影响到整个弯道的水流,从而改变了水流流速的大小及其分布。

2.3 纵向流速沿横向的分布

图7为无闸门和有闸门时的弯道纵向流速分布。由图7可知,在进口段无闸门时流速横向分布比较均匀,中间大,两侧小;有闸门时流速横向分布与无闸门时流速分布大致相同。在弯顶上段,无闸门凸岸的流速增大,凹岸保持较小的流速;有闸门时凹岸和凸岸的流速都在增加,流速的横向分布较均匀。在弯顶下段,无闸门工况在15~17号断面间水流发生折冲,而有闸门工况由于18号断面处闸门的阻挡作用,从13号断面水流就开始偏向凹岸,闸门前的17号断面处凹岸流速明显大于凸岸流速。

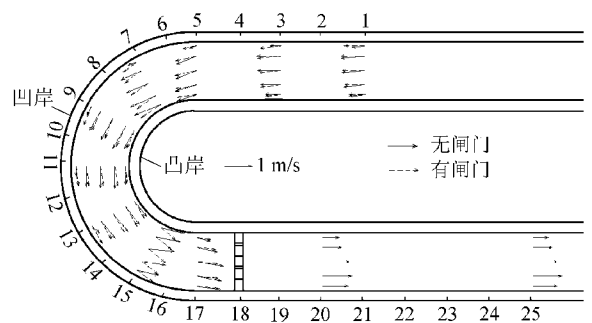


图7 无闸门和有闸门时的弯道纵向流速分布

3 结 论

a. 弯道上建闸将使弯道不同位置凹岸、凸岸及中线水位产生显著差异,其中对凸岸水面的壅水影响最大,其次为中线水面和凹岸水面。

b. 弯道出口处的闸门对整个弯道的水面横比降有一定的影响,使横比降变化曲线变平、变缓;闸门对弯道水面的壅水作用随着与闸距离的增大不断减小,一般到弯道进口处就几乎消失。

c. 弯道出口处的闸门使水流动力轴线变平滑,纵向流速的横向分布更均匀,且在靠近闸门处流速偏向凹岸。

(下转第57页)

[2] SCHLEISS A J. Design of pervious pressure tunnels[J]. Water Power and Dam Construction ,1986 38(5) 21-26.

[3] SCHLEISS A. Design criteria for pervious and unlined pressure tunnel[R]. Oslo :Underground Hydropower Plants ,1987 :22-25.

[4] 曹克明 ,刘世明.高内水压力作用下隧洞钢筋混凝土衬砌设计理论的探讨[J].华东水电技术 ,1991(3) :1-13.

[5] 彭守拙.水电站设计的新进展[M].北京 :中国水利水电出版社 ,2007 :259-284.

[6] SCHLEISS A J. Design of reinforced concrete linings of pressure tunnels and shaft[J]. Hydropower and Dams ,1997 4

(3) 88-94.

[7] 彭守拙.压力隧洞透水衬砌裂缝宽度计算的探讨[J].水利水电科技进展 ,2009 29(3) :46-48.

[8] 刘秀珍.关于圆形有压水工隧洞衬砌裂缝计算的探讨[J].水力发电学报 ,1983(3) 91-101.

[9] 张有天 ,张武功 ,王镭.再论隧洞水荷载的静力计算[J].水利学报 ,1983(3) 22-31.

[10] 潘家铮.水工隧洞和调压室(水工隧洞部分) [M].北京 :水利电力出版社 ,1990.

(收稿日期 2009-07-29 编辑 骆超)

(上接第 46 页)

应力量级远超过材料的屈服极限 ,需要对结构进行局部修改优化。

c. 涌潮冲击响应模型试验取得了闸门关键部位的位移和应力分布数据 ,其结果与仿真计算值基本一致 ,验证了仿真计算结果的合理性。

d. 优化修改后的闸门结构动力响应仿真计算结果显示 ,在相同涌潮荷载作用下 ,推荐方案最大应力集中区消失 ,最大应力由 620 MPa 下降为 150 MPa ,取得了满意的抗振效果。

(上接第 49 页)

参考文献 :

[1] 钱宁 ,张仁 ,周志德.河床演变学[M].北京 :科学出版社 ,1987.

[2] 陈树容.布置于凸岸的江边村拦河闸电站引水防沙试验研究[J].人民珠江 ,2005(4) 29-30.

[3] 张海光.多孔拦河闸坝泄洪方案水力特性研究[J].水利科技 ,2007(3) 37-39.

[4] 徐国宾.弯道式引水枢纽中弯道的优化设计[J].泥沙研究 ,1993(3) 65-69.

[5] 马有国 ,周素真.弯道环流在取水防沙中的作用[J].农田水利与水电 ,1993(2) 34-38.

参考文献 :

[1] 古华 ,严根华.水工闸门流固耦合自振特性数值分析[J].振动测试与诊断 ,2008 28(3) 242-246.

[2] YAN Gen-hua. Study of design techniques for dynamic safety of radial gates in hydraulic engineering [C]//Structure Engineering World Wide. San Francis :Elsevier Science Ltd. , 1998.

[3] 严根华 ,陈发展.曹娥江大闸枢纽工程闸门流激振动试验研究[R].南京 :南京水利科学研究院 ,2006.

[4] DL/L5039—95 水利水电工程钢闸门设计规范[S].

(收稿日期 2009-07-13 编辑 骆超)

[6] 郭维东 ,周阳 ,张云清 ,等.丁坝对弯道水流影响的分析[J].沈阳农业大学学报 ,2006 37(4) 666-668.

[7] 周阳.丁坝对弯道水流流态影响的试验研究[D].沈阳 :沈阳农业大学 ,2006.

[8] FAZLI M ,GHODSIAN M ,NEYSHABOURI S A S. Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend[J]. International Journal of Sediment Research ,2008 23(1) 56-68.

[9] JIA Ya-fei ,STEVE S ,XU Yi-chun ,et al. Three-dimensional numerical simulation and analysis of flows around a submerged weir in channel bendway [J]. Journal of Hydraulic Engineering ,ASCE ,2005 131(8) 682-693.

[10] 徐桂英.闸前弯道水流特性的试验研究[J].武汉水利电力大学学报 ,1995 28(3) 338-341.

(收稿日期 2009-03-01 编辑 高建群)

· 简讯 ·

全国第八届水文泥沙学术讨论会将在长沙召开

由中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会主办、中国水电工程顾问集团公司中南勘测设计研究院承办的全国第八届水文泥沙学术讨论会将于 2010 年 10 月中旬在湖南省长沙市召开。会议主要议题包括 : ①水文、泥沙学术交流、工程技术经验总结 ; ②水文泥沙数学模型的研制与应用 ; ③水文、泥沙与环境影响 ; ④工程设计、运行中有关水文泥沙方面需帮助咨询的技术问题。 <http://www.hydropower.org.cn/info/shownews.asp?newsid=1829>。

(本刊编辑部供稿)