

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.01.008

水力自动滚筒闸门动水压力的模型试验

李利荣^{1,2},文 恒¹,王福军²,周春生³

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,内蒙古 呼和浩特 010018 ;
2. 中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083 ;3. 内蒙古财经学院旅游管理学院,内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要 通过物理模型试验对圆筒闸体迎水表面的动水压力进行了研究,测试和分析各工况下圆筒闸体迎水面的时均压力和脉动压力,试验证明,其结果符合流体力学的基本理论,并对水力自动滚筒闸门的设计具有指导意义。

关键词 水力自动闸门 动水压力 横置圆筒 时均压力 脉动压力

中图分类号 :TV663+ .8 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2009)01-0026-05

Model experiment study on dynamic hydraulic pressure of hydro-automatic roller gate//LI Li-rong^{1,2},WEN Heng¹,WANG Fu-jun²,ZHOU Chun-sheng³(1. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China ;2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China ;3. Tourism College of Inner Mongolia Finance and Economics College, Hohhot 010051, China)

Abstract :The dynamic hydraulic pressure on the upstream face of a cylinder gate is studied with a physical model test. Time-averaged pressure and pulsation pressure of the upstream face under various working conditions are tested and analyzed. The experimental results accord with basic theory of fluid dynamics. They also have some degree of guiding significance to the design of hydro-automatic roller gates.

Key words :hydro-automatic gate ;dynamic hydraulic pressure ;transverse cylinder ;time-averaged pressure ;pulsation pressure

洪水资源中多泥沙和高含沙水流的利用问题,一直备受人们关注^[1],但由于其自身的特殊性,其利用过程中存在一系列难题。国内外众多的水力自动闸门^[2],除法国一种用于控制沉沙池末端自动排沙的水力闸门外,其余都是在清水条件下运行。

为此,笔者在闸前有泥沙淤积时,对设计水压力和泥沙压力作用下自动启闭的水力自动滚筒闸门^[3]进行研究,该闸门为圆筒状,两端封闭,放置在溢流坝顶。下游有 2 条向上逐渐抬高的轨道,与水平线的夹角可以调整。涨水时,在上游水压力作用下,滚筒沿轨道向下游滚动,滚动的同时闸体抬高,使超标洪水下泄。当水位回落时,滚筒在自身重力、轨道倾斜而产生的回复力矩作用下向上游滚动,同时,滚筒下的空隙逐渐减小,直至回到起始位置,将水流全部拦住。

1 试验目的

水力自动滚筒闸门的工作特点是根据上游来水量和水位变化情况,利用水压力产生的推动力矩与

闸门自重以及闸门配重产生的回复力矩进行自动启闭,以实现水流的自动调节、运行和排沙,是低水头引水枢纽的关键设施^[4]。该闸型在闸前有泥沙淤积的情况下能自动开启。为确保安全,在滚筒下游侧设一段用圆弧连接的直板,在不能开启时,继续壅高的洪水在圆弧段产生附加力矩,使闸门开启。闸门结构见图 1。该闸门能灵活适应上游不同来水量,实现自动启闭,闸门开启前后闸前水位变幅较小,调节性能和运行条件较好。当上游来水量较大时,闸门上、下能同时过水,保证了较大的过水能力和较小的上游水位壅高值,以更好地调节水流运行。

圆筒闸体顺水流方向滚动开启的动力是作用在闸体上水压力的合力。除 Anwar 对作用在弧形闸门上的动水压力^[5]和邱德修^[6]、钱声源^[7]、李火坤^[8]和曲锋^[9]等对其他形式自动闸门的水力特性进行研究外,目前对水力自动滚筒闸门的研究还处于初级阶段。戴绍仕^[10]、李寿英^[11]、McGraw^[12]等只对竖直圆筒迎水面的动水压力进行过研究,尚未查到对横置圆筒上下过水情况下圆筒迎水面动水压力的研究资

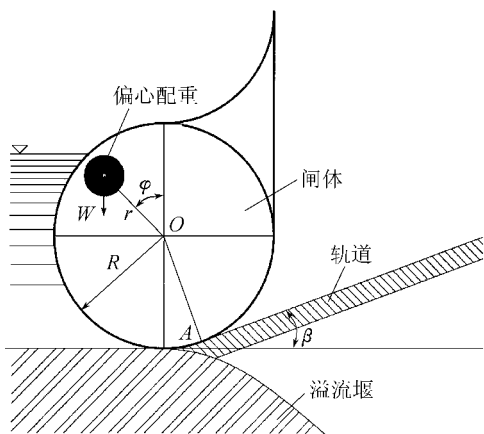


图1 水力自动滚筒闸门结构

料。为此,笔者首先对闸体上下过水时闸体迎水面动水压力的分布进行了物理模型试验。

2 试验装置和方法

试验在上游底坡 $i = 1.24 : 1000$ 、长为 $1500 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$ 的玻璃水槽中进行,闸体模型为 $\varnothing 20 \text{ cm}$ 的塑料圆筒,筒长为 47 cm 。筒两侧设闸槽,可使闸体垂直提升。筒下设 $R = 5 \text{ cm}$ 的半圆形闸坎,闸底板距玻璃槽底 20 cm ,以保证闸筒不受下游水位影响。

为了量测闸体迎水面的动水压力,在圆筒闸体模型中央横断面上游半圆周紧接测压孔处的 1 ~ 5 号测点上分别安装了 5 个与铅直向上方成夹角的压力传感器(图 2),夹角分别为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 和 180° 。压力传感器获得的瞬时压力变量,通过多功能数据采集卡,经 USB 接口和计算机连接,利用数据记录软件实时记录试验结果。该量测系统每秒可记录 5×1000 组数据。同时,在水槽上游距圆筒中心 300 cm 处安装探针以测试上游水位,过闸流量采用电磁流量计进行量测。

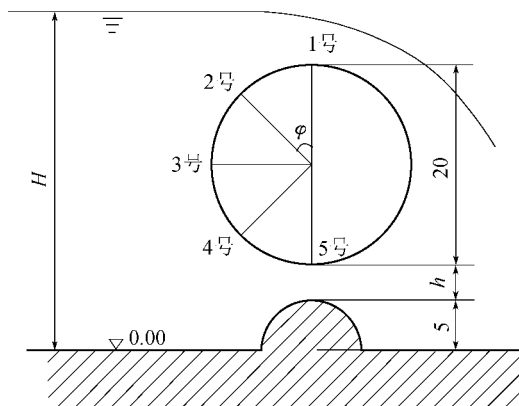


图2 模型尺寸及压力测点的布置(单位:cm)

3 试验结果及分析

圆筒闸体开启的动力是作用于圆筒迎水面动水压力的合力。因此,为研究横置圆筒不同工况下动水压

力的变化规律,结合实验室的条件,笔者对筒底不同开度和筒顶不同过水深度的各工况进行了试验研究。

3.1 时均压力分析

由于闸体附近的水体流动为湍流,实测中很难量测一个微小时段的最小压力。因此,为了提高试验精度,数据采集时对每个工况取 2 min 的数据(即 12 万个数据)来对各瞬时压力进行时均处理。

图 3 为筒底开度 $h = 2 \text{ cm}$ 、筒顶不同水深时圆筒闸体迎水面的动水压力分布(图中箭头表示压力方向,箭头后的长度表示压力的大小,A,B,C,D 分别表示筒顶水深为 $1.04 \text{ cm}, 3.02 \text{ cm}, 5.04 \text{ cm}$ 和 7.04 cm 时圆筒迎水面的动水压力分布曲线)。由图 3 可知,圆筒迎水面动水压力分布规律基本相似,且筒底开度一定时,圆筒迎水面各测点的动水压力随着筒顶水深,即上游水位的升高逐渐增大。由于圆筒上方流线为上凸曲线,沿铅垂于流线方向存在离心惯性力,而离心惯性力的方向与重力方向相反,故圆筒最上方(1 号测点)处的动水压力小于静水压力。

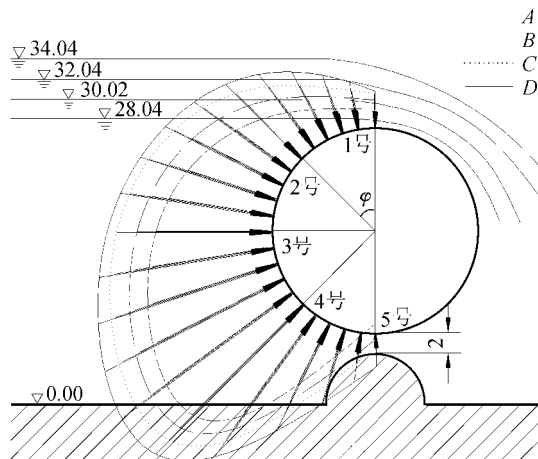


图3 筒底开度一定、筒顶不同水深时圆筒迎水面的动水压力分布(单位:cm)

图 4 为筒顶水深一定(约 5 cm)、筒底不同开度时圆筒迎水面的动水压力分布(图中箭头表示压力方向,箭头后的长度表示压力的大小, A_1, B_1, C_1 和 D_1 分别表示筒底开度为 $0 \text{ cm}, 2 \text{ cm}, 4 \text{ cm}, 5 \text{ cm}$ 时圆筒迎水面的压力分布曲线)。由图 4 可知,圆筒中心线以下($90^\circ < \varphi < 180^\circ$)各测点的动水压力随着筒底开度的加大逐渐减小,而中心线以上各测点的动水压力变化较小。当开度加大时,筒底流速增大,由于流体的黏性作用,圆筒表面形成边界层,边界层发生分离后形成涡,故圆筒中心线以下各测点的动水压力减小。根据伯努利方程,位置水头一定,流速加大,压力减小,与试验值结果相吻合。

3.2 脉动压力分析

闸门开启泄流时,受闸门周围边界条件影响,水

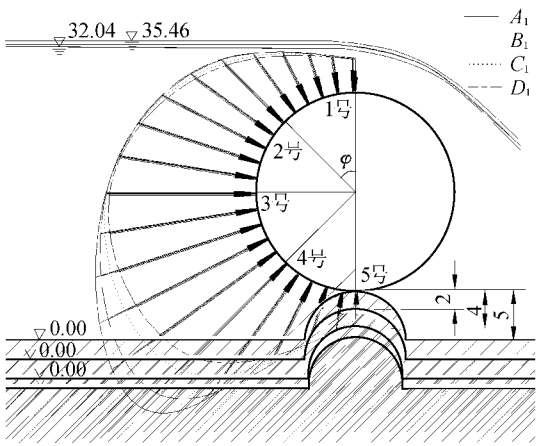


图4 筒顶水深一定、筒底不同开度时
圆筒迎水面的动水压力分布(单位:cm)

流作用于闸门将产生脉动压力,脉动压力的存在给闸门运行带来很多不利因素,使闸门在运行时摆幅较大,闸门系统不能自调节等。因此在模型试验中对圆筒在各工况下的脉动压力进行了分析。

3.2.1 同一工况下不同测点的脉动压力分析

图5给出了筒底开度 $h = 2\text{ cm}$ 、上游水位 $H = 32.04\text{ cm}$ 时,1号、2号、4号和5号测点的压力脉动

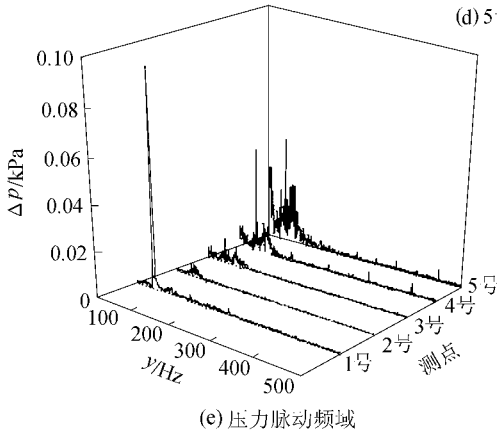
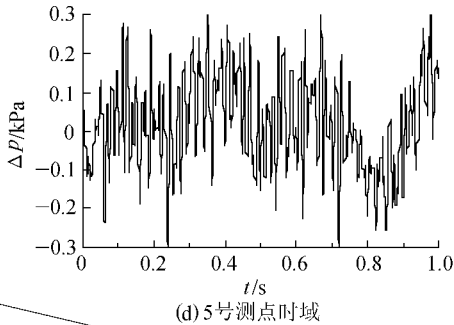
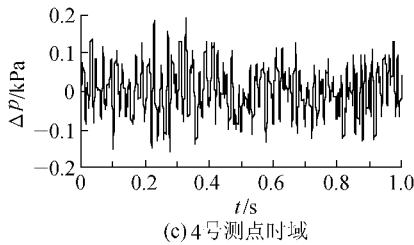
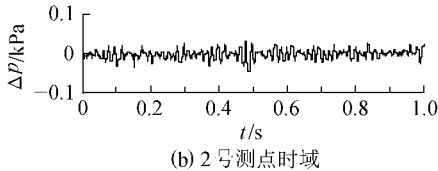
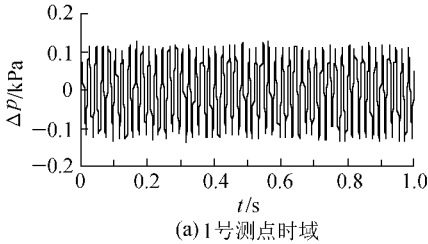


图5 同一工况下不同测点的压力脉动时域和频域

时域和频域。 Δp 为各相应测点的瞬时压力与时均压力之差。由图5(a)~(d)可知,各测点的脉动压力均随时间变化很快,2号测点的脉动幅值最小,其最大压力脉动幅值为时均压力的4% 5号测点的脉动幅值最大,其最大压力脉动幅值为时均压力的290% 1号测点的压力脉动周期性最为明显,且比较平稳,其最大压力脉动幅值为静压的28%。由此可知,5号测点的压力脉动最不稳定,这是由于靠近槽底处的流速梯度和切应力都较大,加之壁面粗糙度干扰的影响也较强,因此在靠近槽底附近容易形成涡体,导致压力脉动增强。

由图5(e)可知,在该工况下,各测点的压力脉动主频值约为50 Hz,且圆筒最上方1号测点的主频幅值最大,其次是圆筒最下方的5号测点,主频幅值最小的是2号测点。2~5号测点在低于100 Hz的低频脉动幅值逐渐增大。这主要是由于湍流强烈的不规则运动、筒底开度小、流体黏性和壁面间的影响所致。

3.2.2 筒底开度一定、筒顶不同水深时同一测点的脉动压力分析

图 6 为筒底开度一定($h = 2\text{ cm}$)、上游不同水位时,4 号测点的压力脉动时域和频域。由图 6(a) ~ (d)可知,在筒底开度一定、上游不同水位时,压力变化所呈现波的形状较一致,且脉动压力随时间变化很快,周期性不是很明显。随着上游水位的升高,最大压力脉动幅值有增大趋势,但其最大脉动幅值相对于时均压力有所减小。当 $H = 28.04\text{ cm}$ 时,最大脉动幅值为 0.17 kPa ,为时均压力的 11% ; 当 $H = 34.04\text{ cm}$ 时,最大脉动幅值为 0.20 kPa ,为时均压力的 9% 。这是由于随着上游水位的升高,该测点的压力时均值增加幅度大于最大压力脉动幅值增加幅度。

3.2.3 筒顶水深一定、筒底不同开度时同一测点的脉动压力分析

图 7 为筒顶水深一定(约 5 cm)、筒底开度分别为 0 cm , 2 cm , 4 cm 和 5 cm 时,4 号测点的压力脉动时域和频域。由图 7(a) ~ (d)可知,在筒顶水深一定、筒底不同开度时,压力脉动没有明显的周期性,并显示出一定的不稳定性。最大压力脉动幅值随着筒底开度的加大逐渐增大。当 $h = 0\text{ cm}$ 时,最大脉动幅值为 0.15 kPa ,为时均压力的 8% ; 当 $h = 5.0\text{ cm}$ 时,最大压力脉动幅值达到 0.24 kPa ,为时均压力的 20% 。

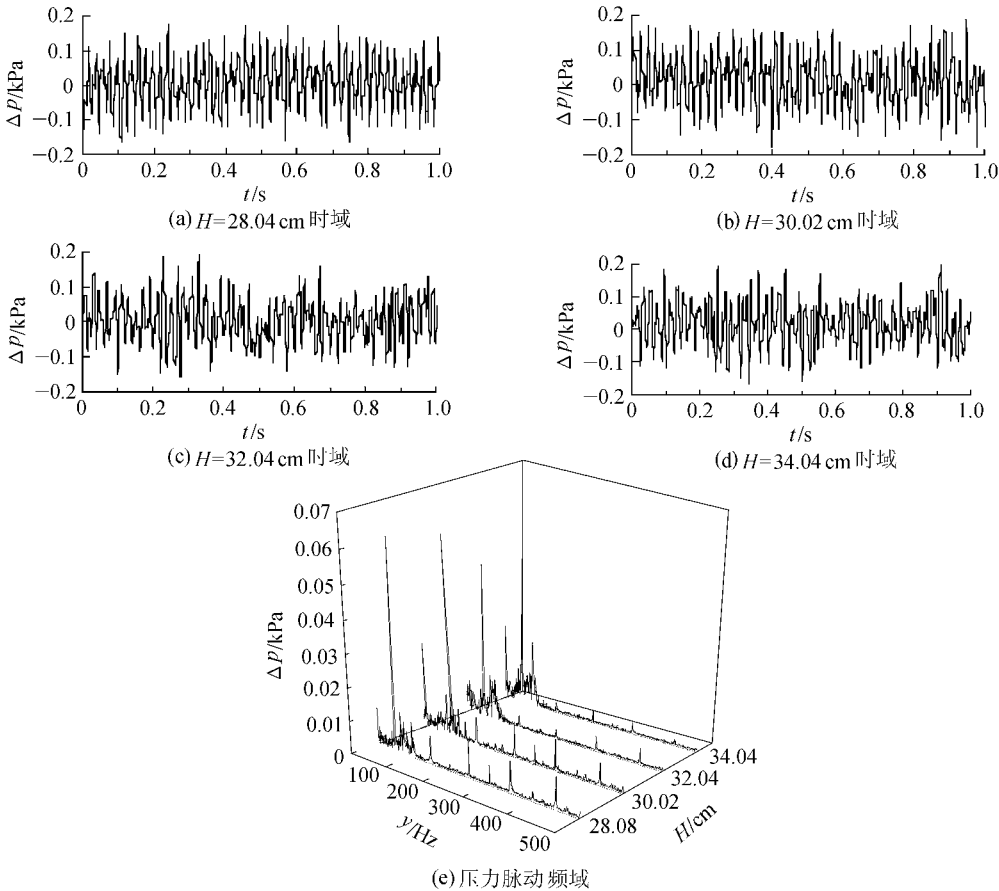


图 6 筒底开度一定、上游不同水位时 4 号测点的压力脉动时域和频域

由图 7(e)可以看出,4 号测点在筒底不同开度时,压力脉动主频值仍为 50 Hz ,且主频幅值随着筒底开度的加大逐渐增大,开度由 $h = 0\text{ cm}$ 增加到 $h = 5\text{ cm}$ 时,主频幅值由 0.04 kPa 增加到 0.06 kPa ,增加了约 50% 。

4 结 语

对圆筒闸体迎水面的时均压力和脉动压力进行了试验研究,由试验结果可知,圆筒迎水面的压力随时间变化呈现出强烈的非定常特性,在各工况下压力脉动主频值均约为 50 Hz 。当筒底开度一定时,随着上游水位的升高,各测点的时均压力和最大脉动幅值逐渐增大,而主频幅值逐渐减小; 当上游水位一定时,随着筒底开度的加大,圆筒中心线以上各测点时均压力基本保持不变,但圆筒中心线以下各测点的时均压力逐渐减小,最大压力脉动幅值和主频幅值都逐渐增大。

水流中横置圆筒迎水面动水压力的计算对水力自动滚筒闸门的设计具有重要意义,只有求得水流中圆筒闸体的受力情况,才能对圆筒闸体及其细部结构进行正确设计。但由于物理模型的局限性,不能对圆筒迎水面进行更多的布点测试,在以后的研究中,拟进行数值模拟,以作为对物理模型试验研究的补充。

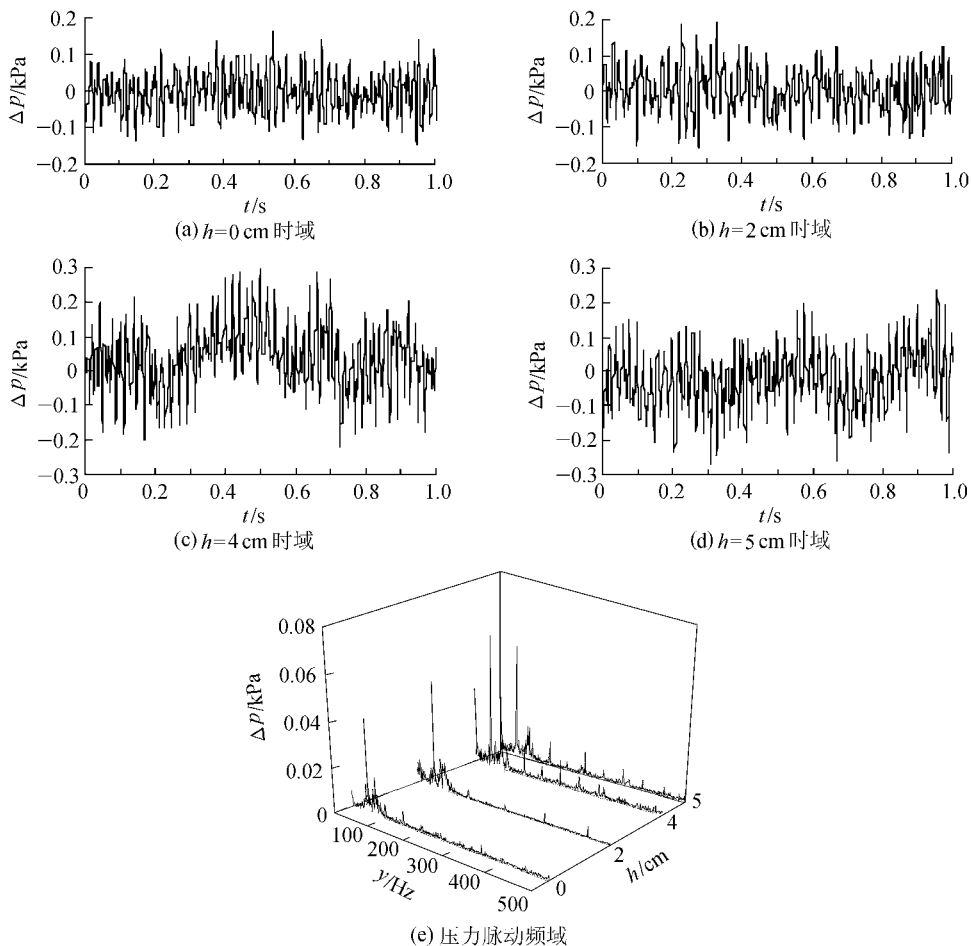


图7 筒顶水深一定、筒底不同开度时4号测点的压力脉动时域和频域

参考文献：

- [1] 文恒,牟献友,赵宇明.多泥沙和高含沙洪水资源的利用[C]//黄河水利科学研究院.第六届全国泥沙基本理论学术会议论文集.郑州:黄河水利出版社,2005.
- [2] LITRICO X, BELAUD G, BAUME J P, et al. Hydraulic modeling of an automatic upstream water-level control gate[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2005, 131(2): 176-189.
- [3] 赵宇明.高含沙洪水资源利用中的自控闸门的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2005.
- [4] 刘旭东,李贵后.我国低水头引水枢纽引水防沙问题的实践及其试验研究[J].泥沙研究,1983(2): 11-18.
- [5] 李宗健,江仪贞.水力自动闸门[M].北京:水利水电出版社,1987: 1-15.
- [6] 邱德修,朱召泉.弧形钢闸门主框架的动力稳定分析[J].水利水电科技进展,2006,26(3): 49-52.
- [7] 钱声源.偏心铰弧形闸门静动力分析与结果优化研究[D].南京:河海大学,2006.
- [8] 李火坤,练继建,杨敏.新政航电泄洪弧形闸门水动力特性模型试验研究[J].中国农村水利水电,2006(10): 61-65.
- [9] 曲锋.水利自动翻板闸门的理论分析与研究[D].南京:河海大学,2005.
- [10] 戴绍仕.孤立圆柱及串列双圆柱水动力数值模拟实验

研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2004.

- [11] 李寿英,顾明.斜、直圆柱绕流的CFD模拟[J].空气动力学学报,2005,23(2): 222-227.
- [12] MCGRAW C M, BELL J H, KHALIL G, et al. Dynamic surface pressure measurements on a square cylinder with pressure sensitive paint[J]. Experiments in fluids, 2006, 40: 203-211.

(收稿日期:2008-06-17 编辑:方字形)

·简讯·

河海大学获6项江苏省科技进步奖

在2008年度江苏省科技进步奖评审中,河海大学主持或参与的6项科技成果获奖,其中唐洪武教授主持的“平原河流水动力理论及防洪安全技术创新与实践”项目因在解决苏中、苏北平原地区防洪问题上取得了突破,荣获江苏省科技进步一等奖。郑源教授主持的“应用于水动风机冷却塔的高效节能水轮机开发研究与应用”、王慧敏教授主持的“水利枢纽信息化系统工程建设的理论与实践”、顾冲时教授主持的“碾压混凝土坝安全监控理论、方法与工程实践”、岳东杰教授主持的“苏通大桥塔梁结构形态测控技术研究”、陈志坚教授参与的“苏通大桥超大型钻孔桩群桩基础承载性能研究”等5项成果获三等奖。

(本刊编辑部供稿)