

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.01.001

夏云峰, 杜德军, 屈波, 等. 大型潮汐河工模型试验控制系统设计及应用[J]. 水利水运工程学报, 2018(1): 1-8. (XIA Yunfeng, DU Dejun, QU Bo, et al. Design and application of control system for large tidal river model tests[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(1): 1-8. (in Chinese))

大型潮汐河工模型试验控制系统设计及应用

夏云峰¹, 杜德军¹, 屈波², 缪张华¹

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学 水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 已有的长江河口段模型控制系统, 上游采用量水堰+扭曲水道进行流量控制, 下游采用潮水箱和尾门进行潮位控制, 通过 485 有线通讯方式采集数据。针对原有控制系统老化、量水堰控制流量时试验准备时间长、扭曲水道占用试验场地、485 有线通讯设备布置较为困难的特点, 考虑到大型潮汐河流模型河口边界条件复杂、长河段、受径潮流的共同作用, 对模型布置和自动化控制系统进行了研究。将网络技术、无线通讯技术和模块化设计成功应用于长江河口段模型的控制中, 形成由供水、径流流量控制、下游生潮控制等模块组成的标准化、模块化、无线化、智能化和远程化的控制系统。分析结果表明, 标准化的新控制系统重复性好, 控制精度高于现有规范要求; 模块化设计的系统工作稳定、维修方便; 智能化和远程化的控制系统操作简便; 无线通讯的试验设备布置方便。新的径流控制系统占用模型试验场地少、试验准备时间短, 模型试验效率大大提高。该系统具有很好的推广使用价值。

关键词: 潮汐; 河工模型; 控制; 网络; 无线通讯; 模块化

中图分类号: TV143

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2018)01-0001-08

大型潮汐河工模型, 受上游径流及下游潮汐共同影响^[1-2], 上游径流及下游潮汐都需要进行控制, 这对试验控制系统的稳定性和控制精度提出了很高的要求。一般上边界采用流量控制, 下边界采用潮位控制。上游径流控制的主要方式有量水堰+扭曲水道、双向泵等方式^[3-4], 下游潮汐需要生潮设备进行控制。现在使用较为广泛的生潮设备有潮水箱式、翻板尾门式、双向泵式或组合式。径流控制中, 量水堰+扭曲水道需要占用试验场地, 采用单级或多级流量进行概化处理, 而双向泵现阶段多采用开环方式进行控制, 精度都有待提高^[4-5]。针对以上问题, 依托国家重大仪器设备开发专项“我国大型河工模型试验智能测控系统开发”项目, 利用网络技术、无线通讯技术和模块化设计技术, 对大型潮汐河工模型的布置和自动化控制系统进行研究, 形成由供水模块、径流流量控制模块、下游生潮控制模块等组成的标准化、模块化、无线化、智能化和远程化的控制系统, 并应用在长江河口段模型中。

1 模型概况

本次大型潮汐河工模型试验控制系统设计在原有的长江河口段模型进行(图1)。模型水平比尺为 655, 垂直比尺 H 为 100。模型上边界在界河口, 下边界南支在吴淞口、北支在青龙港以下, 模型全长近 300 m, 相当于原型中的 190 km, 制模面积 4 000 m²。模型上边界采用流量控制, 用 3 000 m²的扭曲水道连接量水堰

收稿日期: 2017-03-16

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ070055); 江苏省水利科技项目(2015004); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(Y216016, Y216004, Y215006, Y214002, Y212009)

作者简介: 夏云峰(1965—), 男, 安徽芜湖人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事河流海岸泥沙工程研究。

E-mail: yfxia@126.com

和模型试验区,水量通过量水堰控制;下边界采用潮位控制,由中心计算机控制翻板式尾门和潮水箱来模拟下游潮^[6-8]。

根据模型上游大通水文站 1950—2014 年的资料统计分析,最大流量为 $92\,600\text{ m}^3/\text{s}$ (1954-08-01),最小流量 $4\,620\text{ m}^3/\text{s}$ (1979-01-31),平均流量约 $28\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 。防洪设计流量 $100\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 。长江口为中等强度潮汐河口,长江口南支河段潮汐属于非正规半日潮,一涨一落平均历时 12.4 h。在径流与河床边界条件阻滞下,潮波变形明显,涨落潮历时不对称,涨潮历时短,落潮历时长,潮差沿程递减,落潮历时沿程递增,涨潮历时沿程递减。模型下边界吴淞最高潮位 3.82 m,最低潮位-2.17 m,最大潮差 4.48 m^[5]。

物理模型始建于 2005 年,此后,通过实测水文、地形资料,对模型进行了多次验证,验证结果均符合有关规范^[9]的要求。在此基础上,开展了有关水利、交通、能源等方面科学试验研究,研究成果为工程建设提供了关键科学技术支撑,有力推动了行业技术发展^[6-8, 10-12]。模型测控系统经过多年运行,有些方面需要进行改进,主要有:① 测控设备出现老化;② 上游径流采用量水堰+扭曲水道,试验准备时间偏长且占用宝贵的试验场地;③ 测量设备的数据传输采用 485 通讯等有线方式,测点较多时布置困难。

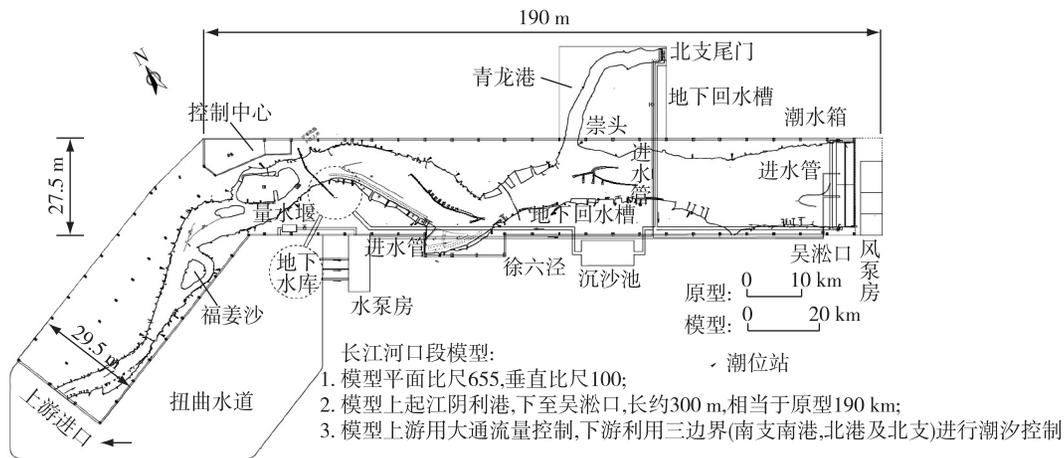


图 1 长江河口段模型布置

Fig. 1 Layout diagram of Yangtze River estuary model

2 控制系统原理及设计

2.1 控制系统整体设计

针对原控制系统存在的缺点,新一代河工模型试验测控系统基于传统河工模型试验测控系统进行改进,本着操控简易、性能高效、稳定可靠、检修便捷的原则设计。应用效果表明,具有以下特点:

(1) 高精度:按《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTS/T 231-2-2010),最高最低潮位值允许偏差为 $\pm 10\text{ cm}$,相当于模型 $\pm 1\text{ mm}$,本系统控制的最大偏差为 $\pm 0.5\text{ mm}$ 。

(2) 标准化:标准化包括测量仪器和控制设备的有线和无线接口标准化、采集数据格式的标准化、控制总线的标准化、试验管理过程的标准化等。

(3) 模块化:测控平台采用多台下位单元模块化分布控制与测量系统组配子集合,上位工控机集中控制、数据采集与通信管理架构总集合、HUB 数据传输通信技术系统,实现积木组合化多边界控制与数据采集和处理的功能,构成了串口服务器总线控制系统。

(4) 无线化:量测仪器通过无线方式发送到数据接收装置,再通过串口服务器总线送往总控平台,减少量测仪器的有线布置,减少环境对仪器设备的干扰。

(5) 智能化:智能化包括智能嵌入式终端、分布式下位机、嵌入式终端的自适应和自识别、测控系统的智

能模糊算法等。智能模糊算法可以将模型试验的参数进行记忆和分析,在试验过程中可以实时优化模型控制。

(6) 远程化:控制系统的远程化基于系统的网络化,进行内外网的数据交换、泵房无人值守和试验的自动控制、远程监控、试验数据的远程分析、试验方案的远程提交等。

长江河口段模型测控中心主要由智能控制系统、测量系统和监控系统组成。其中智能控制系统主要包括供水、径流、生潮等控制模块,由中心计算机主控,见图 2。本文主要对模型控制系统进行分析。

2.2 上游径流控制模块

2.2.1 上游径流控制模块设计 对于大型潮汐河工模型来说,上游径流控制可采用:①量水堰+扭曲水道;②双向泵式。量水堰+扭曲水道方法中,上游径流变化采用多级流量概化,精度有待提高;扭曲水道用来模拟模型上溯的潮蓄量,需要较大面积的模型试验场地,同时会加长模型试验准备时间。而双向泵的控制方式中,以往大多采用开环控制,精度较差。

新研制的上游径流控制模块,由电磁流量计、双向泵、触摸屏和 PLC (Programmable Logic Controller 的简称,可编程逻辑控制器)组成(图 3)。模块独立工作时由 PLC 进行控制。PLC 根据电磁流量计实测流量与试验给定的流量进行比较,经计算送出控制信号至变频器控制双向泵,使模型中的流量接近给定的流量,直至达到误差范围之内,形成一个闭环自动控制系统。该模块存储多个流量过程线,可以自身独立控制,又可以通过网络通讯由中心主控计算机进行远程控制,实现了本单元的智能化和模块化。

2.2.2 控制参数及设备选择 各种水文条件下,受上游径流和下游潮汐大小的影响,模型进口处流量各有不同,这需要对上游进口处水流进行分析,选择能满足试验要求的双向泵和电磁流量计。

满足模型最大进出流量要求是双向泵和电磁流量计选择的一个要素。据前所述,上游大通站历年最大流量为 92 600 m³/s,长江防洪设计流量 100 400 m³/s,按较大值考虑,相当于模型流量 550 m³/h。由于模型进口受潮汐影响,实际最大流量较此值要大。根据数学模型计算^[6],最大涨、落潮流量可达 250 和 660 m³/h(图 4)。按 660 m³/h 进行估算并考虑一定的富余,双向泵和电磁流量计最大量程选定 1 000 m³/h。

图 5 为 OPTIFLUX2300W 几种型号电磁流量计的测量精度曲线。由图中曲线 2 可见,流量较小的测量误差较大,如 10 m³/h 可达 2.74%,这会影响模型转流前后流量的测量精度。为减小试验误差,实际控制过程中,可由 2 台双向泵协同工作。如需 10 m³/h 的流量

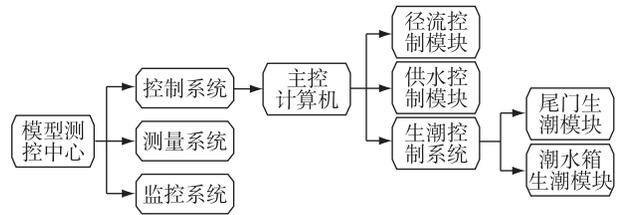


图 2 长江河口段模型智能控制系统
Fig. 2 Intelligent control system for Yangtze River estuary model

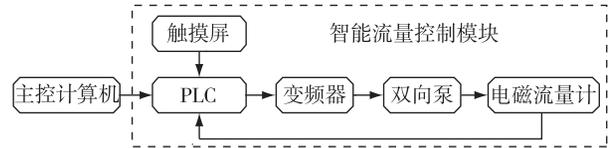


图 3 智能流量控制模块框图
Fig. 3 Block diagram of intelligent flow control module

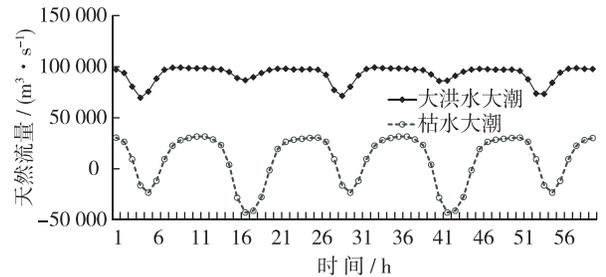


图 4 模型进口流量过程线
Fig. 4 Model import discharge hydrograph

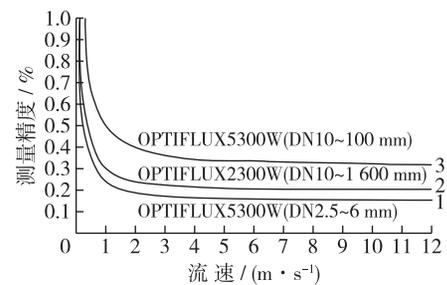


图 5 OPTIFLUX2300W 电磁流量计测量精度
Fig. 5 Measurement accuracy of OPTIFLUX2300W electromagnetic flow meter

时,1台以 $-100\text{ m}^3/\text{h}$ 的流量运行,一台以 $110\text{ m}^3/\text{h}$ 的流量运行,流量测量误差可减小至1%内。

2.3 生潮控制系统

潮汐河工模型试验中,利用生潮设备对模型进行控制,复演天然潮汐现象。使用比较广泛的生潮设备有潮水箱式、双向泵控制流量式、翻板尾门式和组合控制流量式。本模型下边界北支采用翻板式尾门,南支采用潮水箱。

2.3.1 潮水箱控制模块 潮水箱是本模型的主要生潮设备,其体积按《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》^[5]估算,综合模型场地、试验要求对潮水箱的体积进行估算,同时考虑了1倍以上的富余。智能潮水箱潮汐控制系统由鼓风机、压力传感器、水位仪、两台起泄流作用的电动阀门、触摸屏和PLC组成。潮水箱控制模块工作时,水位仪采集水位变化,之后传送给PLC,再与给定的水位值进行比较,然后由PLC控制风机的变频器以调节鼓风机的进气量、控制排气阀的开度以调节潮水箱的排气量。试验过程中,水量是平衡的,假定模型中和潮水箱中的总水量为 Q ,模型中和潮水箱中的水量分别为 Q_1 和 Q_2 ,那么有 $Q=Q_1+Q_2$ 。模型中水位 h_1 与 Q_1 相关,箱体内水位 h_2 与 Q_2 相关,当模型水位 h_1 过高时,减小鼓风机的进气量或加大潮水箱排气量,箱内 Q_2 增加,箱体内 h_2 升高,反则反之,从而实现潮位过程的自动控制。图6为潮水箱的截面图。

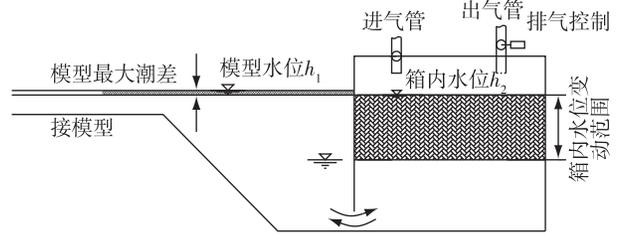


图6 智能潮水箱截面示意

Fig. 6 Schematic diagram of intelligent water tank section

实际调试时,需要掌握风机进气量从最大到最小对应的压力关系曲线,在潮水箱内装有压力传感器以测定不同进气量时潮水箱内的气压力,还需要掌握电动阀门的开度对应水位过程的关系曲线,以及掌握这两个控制参量的相关性以达到精确控制潮位的目的。

当远程控制时,由中心控制计算机通过串口服务器给PLC控制参数,实现控制鼓风机变频器以及电动阀门调节功能,本控制单元可以自身独立控制,又可以由中心主控计算机远程控制,实现了本单元的智能化和模块化。

2.3.2 尾门潮汐控制模块 矩形尾门式生潮设备,因其设备简单,是模型试验中普遍采用的生潮方式,其布置见图7。试验过程中,尾门上部有水流下泄,通过调节尾门位置来控制下泄水量的多少,从而在模型上形成需要的潮汐水流。尾门长度和宽度主要根据口门处的河宽和潮汐大小确定。为提高控制精度,避免尾门板对水流的反射,需满足堰上水头 $H>0$, H 值可根据堰流公式进行估算:

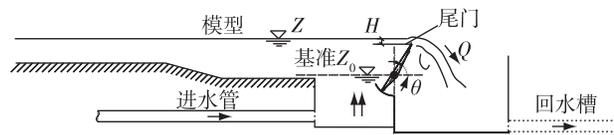


图7 尾门布置示意

Fig. 7 Layout of tailgate

$$Q = m_0 B \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (1)$$

式中: Q 为流量; m_0 为流量系数,根据经验公式计算; B 为宽度; H 为堰上水头。

实际控制过程中,通过尾门的转动控制下泄流量 Q ,达到堰上水头 H 变化的目的,从而实现涨落潮过程。水位的变化值 ΔH 与尾门的转角 θ 和转动臂 R 之间存在如下关系:

$$\Delta H = R [\sin(\theta + \Delta\theta) - \sin\theta] \quad (2)$$

式中: ΔH 为水位变化值; R 为转动臂; θ 为尾门转动前的角度; $\Delta\theta$ 为尾门转动的角度。

由式(2)可见,不同的尾门转动起始值,同样的转动角 $\Delta\theta$, ΔH 的变化值不一样。图8是尾门在不同转动起始角度下,每转动 1° 的 ΔH 值。尾门角度 θ 较小时, θ 的变化带来的 ΔH 的变化较大,说明角度较小时控制比较敏捷,根据实际情况,尾门的转动角度可以控制在 $15^\circ \sim 60^\circ$,此时,最大水位差达13 cm,可满足模型各水文条件的生潮需要。

智能尾门控制系统具有模块化和通讯网络化的特点,其控制较潮水箱的控制简单——没有变频器控制

鼓风机的模块,其他的控制过程类似。由触摸屏、PLC、水位仪、尾门位置编码器和交流伺服电机驱动系统构成,通过 PLC 采集尾门水位值和尾门位置,然后与设定值比较,由 PID 计算从而控制尾门电机驱动系统。

2.4 控制系统智能化设计

在大型潮汐河工物理控制系统的研究中,引入智能自适应控制功能。智能自适应控制能够修正自己的特性以适应对象和扰动的动特性变化,依靠不断采集控制过程中的水位值信息,确定被控仪器的当前实际工作状态,优化性能准则产生自适应控制规律,从而实时调整控制器结构或参数,使系统始终自动工作在最优或次最优的运行状态。

模型参考自适应控制系统的典型结构如图 9 所示。它主要由参考模型、可调系统和自适应机构组成,其中可调系统包括被控对象和可调整器。控制过程中可调整器通过反馈的水位值误差经过 PID 运算来调节伺服电机的转速以达到可控误差范围之内,同时不断地把实时水位值进行分析并记忆到数据库。在不断的重复试验过程中,有时会产生一些非人为的误差,这时系统自动检测并通过自适应机构在数据库中查找之前分析好的数据,实时自动修改潮型模型的 PID 参数以达到参考模型的控制曲线。试验过程中不断优化模型控制,最终达到理想的控制模型。

3 控制系统的应用

图 10 为模型试验中实际控制过程。蓝色曲线为给定的控制过程线,红色曲线为潮汐控制系统实际生成的潮位过程线。控制误差为:

$$\Delta h_i = 10 \times (h'_i - h_i) \tag{3}$$

式中: Δh_i 为*i*时刻的控制误差(mm);*i*为控制时间(s); h'_i 为第*i*时刻实测潮位(cm); h_i 为第*i*时刻给定潮位(cm)。

控制误差 Δh_i 见图 10(b)和图 11(b),控制曲线为原型 1 d 的时间,相当于模型 1 375 s,共 4 个周期。由图可见,控制系统刚启动时控制偏差稍大,经过半个周期的运行,控制偏差稳定在 ± 0.3 mm 内,局部时刻的最大偏差达 0.5 mm,但持续时间一般不超过 3 s。表明潮汐控制系统的精度较高。

图 10 和图 11 为潮水箱和尾门的控制效果,可见,周期 2,3,4 的控制效果基本一致,涨落潮的控制偏差接近。图 12 为这 3 个周期的控制对比结果,可见控制系统有着较好的稳定性和重复性。

下面对模型的控制偏差进行进一步分析。图 13 为潮水箱和尾门控制偏差的控制偏差 FFT 频域分布(周期 3 和周期 4 的 FFT 频域分布与周期 2 基本一致,此处略)。由图 13 可见,潮水箱的 Frequency 值一般在 ± 0.5 mm 内,主要分布在 $-0.08 \sim 0.08$ mm;尾门的 Frequency 值一般在 ± 0.5 mm 内,主要分布在 $-0.05 \sim 0.05$ mm。这表明潮汐控制系统的精度较高。

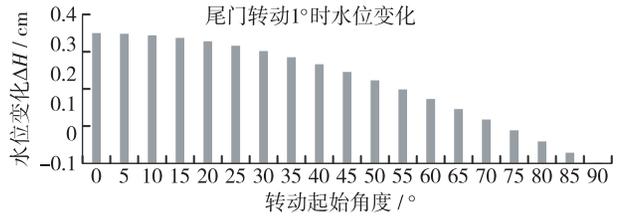


图 8 尾门在不同位置时每转动 1° 的 ΔH 值 ($R=20$ cm)
Fig. 8 ΔH value ($R = 20$ cm) per rotation of the tailgate at different positions

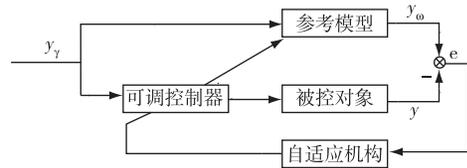


图 9 自适应控制系统的典型结构
Fig. 9 Typical structure of adaptive control system

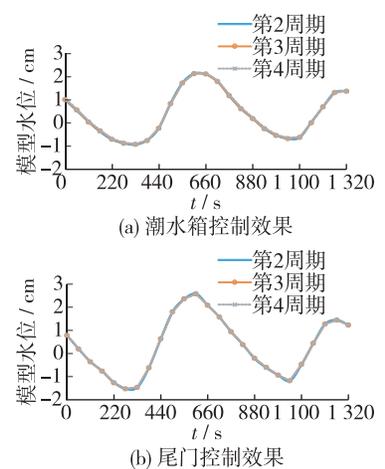


图 10 潮水箱潮汐控制效果
Fig. 10 Tidal control effect of tank

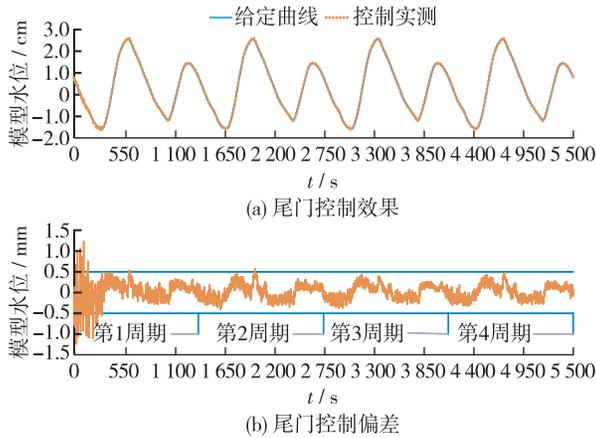


图 11 尾门潮汐控制效果

Fig. 11 Tidal control effect of tail gate

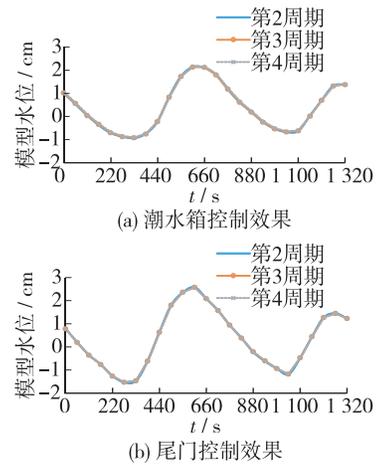


图 12 模型重复性试验

Fig. 12 Model repeatability tests

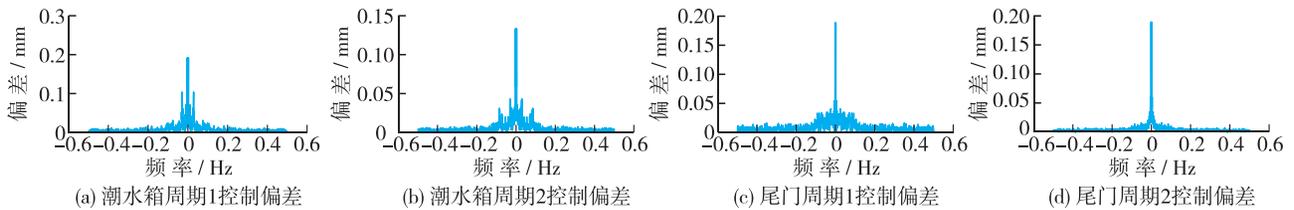


图 13 潮水箱和尾门控制偏差的控制偏差 FFT 频域分布

Fig. 13 FFT frequency domain distribution of control deviation of tidal tank and tailgate control deviation

利用测量数据求均值和总体方差。潮水箱和尾门控制偏差分析见表 1。由表 1 可见,4 个周期的控制偏差均值为 0.19~0.25 mm,相差不大,但标准差和最大偏差各个周期略有不同,主要表现在周期 1 的控制精度稍差,潮水箱的标准差和最大偏差分别为 0.085 和 1.530 mm,尾门的标准差和最大偏差分别为 0.068 和 -1.238 mm,第 2 周期中,上述数字明显减小,潮水箱和尾门的最大控制偏差为 0.620 和 0.675 mm,接近本系统的 ± 0.5 mm 控制精度要求;第 3 周期中,上述统计值均比第 1 周期有进一步减小趋势,潮水箱控制偏差的均值、标准差和最大偏差分别为 0.21,0.033 和 0.495 mm,尾门控制偏差的均值、标准差和最大偏差分别为 0.23,0.028 和 0.443 mm,最大控制偏差满足控制要求;第 4 周期的数据与第 3 周期基本一致。这也反映本控制系统经过 1 个控制周期的运行调整,第 2 个周期开始基本满足控制精度要求,第 3 周期及以后的周期,满足控制要求且重复性很好。

表 1 天生港潮位重复性测量数据误差分析

Tab. 1 Analysis of error of repeatability measurement data of tide level

统计周期	潮水箱控制偏差统计			尾门控制偏差统计		
	均值/mm	标准差	最大偏差/mm	均值/mm	标准差 S_{12}	最大偏差/mm
周期 1	0.025	0.085	1.530	0.024	0.068	-1.238
周期 2	0.019	0.038	0.620	0.019	0.033	0.576
周期 3	0.021	0.033	0.495	0.023	0.027	0.443
周期 4	0.019	0.033	0.495	0.022	0.028	0.480

注:每周期的统计数据数为 1 375 个;控制系统要求的最大控制偏差为 ± 0.5 mm。

以上分析可见,本模型控制系统的控制精度满足设计要求,而设计的控制精度较《海岸与河口潮流泥沙

模拟技术规程》(JTS/T 231-2—2010)^[5]的精度高1倍。

4 结 语

潮汐河口同时受到径流和潮流的双重作用,大型潮汐河流模型,其河口边界条件复杂,下边界口门宽,潮水量大,水流流态复杂。模型自动化控制显得尤为重要。

针对原有控制系统老化、占用试验场地、试验准备时间长、485有线通讯设备布置较为困难的特点,将网络、无线通讯和模块化等技术成功运用到长江河口段模型控制中,形成由供水模块、径流流量控制模块、下游生潮控制模块等组成的标准化、模块化、无线化、智能化和远程化的控制系统。新控制系统控制精度高、维修方便、测点布置较方便;能减少模型占用的试验场地、缩短试验准备时间,从而提高模型试验效率。新试验控制系统可方便地应用于径潮流共同作用的各种模型中,具有很好的推广使用价值。下一步将对模型测量系统和监控系统进行研究,以形成一整套大型潮汐河工物理模型测控系统。

参 考 文 献:

- [1] 夏云峰, 闻云呈, 徐华, 等. 长江河口段水沙运动及河床演变[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015. (XIA Yunfeng, WEN Yuncheng, XU Hua, et al. Water and sand movement and river bed evolution in the estuary of the Yangtze River[M]. Beijing: People's Communications Press, 2015. (in Chinese))
- [2] 杜德军, 夏云峰, 闻云呈, 等. 福姜沙水道双涧沙守护工程水动力特性[J]. 水运工程, 2015(4): 1-7. (DU Dejun, XIA Yunfeng, WEN Yuncheng, et al. Hydro-dynamic characteristics of Shuangjian shoal protection engineering in Fujiang shoal reach [J]. Port and Waterway Engineering, 2015(4): 1-7. (in Chinese))
- [3] 屈波, 杜德军, 彭涛. 河口潮汐模型潮水箱潮位控制策略研究[C]//第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 2007(4): 1234-1237. (TU Bo, DU Dejun, PENG Tao. River tide model tidal tank tide control strategy research[C]//The 14th China Ocean (Shore) Engineering Symposium Proceedings. Beijing: Ocean Press, 2007(4): 1234-1237. (in Chinese))
- [4] 蔡守允, 刘兆衡, 张晓红. 水利工程模型试验量测技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2008. (CAI Shouyun, LIU Zhaoheng, ZHANG Xiaohong. Hydraulic engineering model test and measurement technology [M]. Beijing: Ocean Press, 2008. (in Chinese))
- [5] 夏云峰, 闻云呈, 吴道文, 等. 河口海岸水沙模拟技术及应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015. (XIA Yunfeng, WEN Yuncheng, WU Daowen, et al. Estuarine coastal water and sediment simulation technology and application[M]. Beijing: People's Communications Press, 2015. (in Chinese))
- [6] 杜德军, 夏云峰, 吴道文, 等. 长江南京以下12.5米深水航道建设一期工程(太仓~南通段)潮流泥沙物理模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2011. (DU Dejun, XIA Yunfeng, WU Daowen, et al. Physical model experiment study report on tidal current and sediment on 12.5 m deepwater channel regulation (from Taicang to Nantong section) in the lower reaches of the Yangtze River downstream Nanjing[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [7] 夏云峰, 杜德军, 吴道文, 等. 长江下游福姜沙河段深水航道双涧沙守护工程初步设计方案潮流泥沙河工模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010. (XIA Yunfeng, DU Dejun, WU Daowen, et al. Tidal current and sediment physical model test research report on Shuangjian Shoal protection engineering preliminary design scheme in deepwater channel of Fujiang Shoal reach in lower reaches of Yangtze River[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [8] 杜德军, 夏云峰, 吴道文, 等. 通州沙和白茆沙12.5 m深水航道整治方案试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2013(5): 1-9. (DU Dejun, XIA Yunfeng, WU Daowen, et al. Experimental studies on 12.5 m deep waterway regulation of Tongzhou shoal and Baimao shoal[J]. Hydro-Science and Engineering, 2013(5): 1-9. (in Chinese))
- [9] JTS/T 231-2—2010 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程[S]. (JTS/T 231-2—2010 Technical regulation of modelling for tidal current and sediment on coast and estuary[S]. (in Chinese))
- [10] 闻云呈, 夏云峰, 吴道文, 等. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程总平面方案优化[J]. 水运工程, 2015(2): 202-212. (WEN Yuncheng, XIA Yunfeng, WU Daowen, et al. Optimization on general layout scheme of 12.5 m deepwater channel phase I project from Nanjing down the Yangtze River[J]. Port and Waterway Engineering, 2015(2): 202-212. (in Chinese))

- [11] 杜德军, 夏云峰, 闻云呈, 等. 沪通长江大桥桥墩布设水动力特性试验研究[J]. 水道港口, 2016, 37(1): 12-17. (DU Dejun, XIA Yunfeng, WEN Yuncheng, et al. Experimental study on hydrodynamic characteristics of layout of piers of Shanghai-Nantong Yangtze River Bridge[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2016, 37(1): 12-17. (in Chinese))
- [12] 徐华, 夏益民, 夏云峰, 等. 潮汐河工模型三角块梅花形加糙试验研究及其应用[J]. 水利水运工程学报, 2007(4): 55-61. (XU Hua, XIA Yimin, XIA Yunfeng, et al. Research on roughness of quincunx-pasted triangle blocks and its application in tidal river model[J]. Hydro-Science and Engineering, 2007(4): 55-61. (in Chinese))
- [13] 李昌华, 吴道文, 夏云峰. 平原细沙河流动床泥沙模型试验的模型相似律及设计方法[J]. 水利水运工程学报, 2003(1): 1-8. (LI Changhua, WU Daowen, XIA Yunfeng. Similarity criteria and design method of hydraulic model with a movable bed for plain rivers carrying fine sediment[J]. Hydro-Science and Engineering, 2003(1): 1-8. (in Chinese))

Design and application of control system for large tidal river model tests

XIA Yunfeng¹, DU Dejun¹, QU Bo², MIAO Zhanghua¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The existing Yangtze River estuary model control system upstream of the amount of water weir plus twisted channel for flow control, the downstream use of tidal tank and tailgate for tide control, data collection using 485 wired communication. In this paper, the design of the control system for the aging of the original control system is very difficult to control the flow time, and the design of the 485 cable communication equipment is more difficult. Considering the complicated large tidal river model, the complicated boundary condition of the river, and combined action of the runoff and tidal current on the tidal river mouth, an in-depth study of the model layout and the automatic control system is carried out. The network technology, wireless communication technology and the modular design is successfully applied to the control of the Yangtze River estuary model, modules such as water supply, runoff control, and downstream tide control, and a standardized, modular, wireless, intelligent and remote control system is composed of. Experimental results show that the new control system has good repeatability and high control precision, which is higher than the existing specifications. The application results show that the system design of the modular design is convenient and the test equipment of the wireless communication is convenient. The new runoff control system occupies the model the analysis results show that the standardized new control system has good repeatability, high control precision and higher than the existing specification. The control system of modular design is stable and convenient for maintenance. The intelligent and remote control system is easy to operate. The test equipment equipped with wireless communication is convenient, the new runoff control system takes up less model test sites, the test preparation time is short, and the model test efficiency is greatly improved. The system has a very good use value.

Key words: tide; model test of river engineering; control system; network; wireless communication; modularization