

# 双尾门潮汐模拟系统的设计

窦春晖,倪文军

(交通运输部天津水运工程科学研究院,天津 塘沽 300456)

**摘要:**为在大比例尺模型中模拟天然潮汐,设计了利用双尾门进行潮汐模拟的系统。该系统通过控制模型两侧尾门的方法控制模型边界水位,以实现模型中的潮汐变化。选定模型一侧的尾门作为主要控制尾门,采用基于水位的闭环控制回路;另一侧尾门作为辅助尾门,采用基于尾门开度的开环控制回路,两个尾门相互配合,以模拟天然潮汐变化。双尾门潮汐模拟系统在多组潮汐模型试验中的应用表明,该系统具有良好的稳定性、重现性以及潮汐控制精度。

**关键词:**潮汐模拟系统;尾门控制系统;模型试验

**中图分类号:**TP273+.5      **文献标志码:**B      **文章编号:**1006-7647(2012)S2-0025-03

在港口潮流物理模型试验中,潮汐、潮流的准确生成与控制是完成试验任务的重要条件之一。传统的潮汐模拟控制系统有潮水箱控制系统和尾门控制系统,这两种传统的控制系统一般设置在模型的开边界处,对于控制边界不是很宽的模型,能够很好地控制模型上的水位变化<sup>[1-2]</sup>。本文介绍了一种适用于较大港口模型试验的潮汐模拟系统——双尾门潮汐模拟系统,该系统在交通运输部天津水运工程科学研究院的潮汐模型试验中得到了广泛应用。

## 1 双尾门潮汐模拟系统的基本原理和控制过程

双尾门潮汐模拟系统一般采用下溢水式尾门作为主要控制设备,安放在模型边界处。当水从尾门下方的管道进入模型后,通过尾门的溢水口流回蓄水池。当水泵的流量大于尾门的溢水流量时,模型边界的水位上升;反之,模型边界的水位下降。因此可以通过控制水泵流量和调节尾门溢水流量两种方式来控制模型边界水位。在模型的两侧分别安装尾门控制系统,以控制模型两侧的水位。模型中的水在边界水位差的作用下流动,实现模型内潮位的变化以及流速的变化。

下溢水式尾门具有溢水量大的特点,可以应用于具有较大潮汐变化幅度的模型试验中。模型试验过程中需要根据模型边界的流量需求计算出水泵流

量和尾门长度,绘制模型两侧的水位曲线,模拟边界水位,得到试验潮位和流速。用户可以根据模型中观测点处流速和潮位数据与原型数据进行比对,调整模型边界水位曲线,以得到更好的试验结果。

## 2 双尾门潮汐模拟系统的模型布置和硬件组成

### 2.1 模型布置

双尾门潮汐模拟系统对试验模型有一定的要求,该系统需要布置在长度较大的模型中。这是因为长度较小的模型两个尾门之间相互影响过大,会在模型内产生较大的水位震荡,无法完成潮汐模拟试验。模型长度较大有以下3个优点:①可以在模型两侧设置较多的消波装置,降低水泵向模型供水、尾门调节时带来的纹波,减小模型中的水位震荡。②模型两侧的水需要经过一段时间才能到达试验区域,这样可以减少模型边界的水位变化对试验区域的水位变化影响,在一定程度上保证了试验区域内的水位稳定。③模型边界的距离较长,可以降低两个尾门调节时相互之间的影响,保证模型两侧的尾门在各自控制范围内有效,达到更好的控制效果。

为了提高潮汐模拟系统的精度,还要求试验模型具有容量较大的外接蓄水池,蓄水池和模型中的水位差尽量小,这样可以保证水泵一直处于良好的工作状态。

作者简介:窦春晖(1983—),男,天津人,工程师,主要从事港口模型试验系统开发研究。E-mail:douch83@163.com

2.2 硬件组成

双尾门的潮汐模拟系统主要由尾门控制系统和潮位、流速监测系统组成,两个子系统依靠工控机组成一个整体。工控机是整个系统的核心,系统的控制器、执行器以及采集传感器都通过工控机的 PCI/ISA 总线进行连接和扩展。工控机根据水文资料、模型比例等内容生成尾门控制的目标水位曲线;分析潮位、流速数据控制尾门完成试验;显示模型试验结果。

尾门控制系统中,潮汐控制箱是主要控制部件,可以接收 $\pm 5V$  的电压信号。当潮汐控制箱接收到正电压信号时,电机正转,电压值越大,则电机的转速越快;反之,负电压时,电机反转。潮汐控制箱可接收正负电压的设计,使其适用于经典的 PID 控制理论;具有最高有效电压的设计,可以防止由于与给定值差距过大造成系统过大的动作,从而引起系统震荡现象的发生。

3 控制算法

潮汐试验的过程中,如果两个尾门都采用以水位作为控制量的闭环控制系统,那么两个尾门都会受到对面尾门水位调节的影响,这样会使模型中出现震荡现象,影响潮汐模拟试验的结果。为了提高系统的可操作性和稳定性,采取的控制方案是选定流量变化较大、距离实际观测点较远的一侧尾门作为主要控制对象,采用以水位为控制量的闭环控制方式;另一侧尾门采用以尾门开度为控制量的开环控制方式,作为辅助控制系统。

3.1 闭环控制的控制方法

双尾门潮汐模拟系统可以看作是在单尾门控制系统的基础上增加一个可以预期的较大扰动。通过在闭环控制算法中增加修正算法的方式降低扰动,提高控制系统的稳定性,其控制框图如图 1 所示。

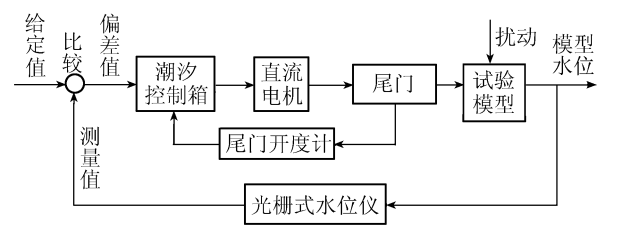


图 1 尾门控制的闭环控制框图

在构建控制策略的过程中主要考虑以下几个因素:①以水位控制作为主要控制回路,以尾门开度控制作为副回路,采用串级控制系统。副回路的加入提高了系统的稳定性和可靠性。②采用微分先行 PD 控制算法。PID 算法中的积分环节是用来消除稳态误差的。对于固定不变的目标,积分环节随时

间变化作用越来越强,效果越来越明显。但是在潮汐模型中,潮位的变化速度较快,需要不停的切换目标水位,在 5~10s 内目标水位就会发生变化。水位调节是一个具有较大滞后环节的控制过程,响应时间远大于目标水位切换的时间。控制过程在启动、结束或大幅度增减设定值时,短时间内系统输出会有很大的偏差,会造成 PID 运算的积分环节积累过大,致使计算得出的控制量可能超过执行机构允许的最大控制量,最终引起系统较大的超调,甚至引起系统的震荡<sup>[2]</sup>。因此在控制过程中不加入积分环节。③通过合理设计模型参数、优化模型试验资源配置以及安置合适的消波装置等方法,来降低水泵效率变化、管道出口泛波等现象带来的扰动因素,以最大限度地降低控制系统中扰动的方式,达到模型具有较好控制效果和良好重复性的目的,满足试验复现性的要求。④来自于另一侧尾门调节时造成的影响,在流量曲线中进行消除,避免控制算法过于复杂导致系统的可控性下降。

3.2 开环控制的控制方法

与闭环控制方法不同,尾门的开环控制主要是针对尾门的开度进行控制。由水文资料计算出模型边界的流量曲线,再由流量曲线推导出尾门控制的开度曲线。试验过程中,需要通过调节蓄水池水位和水泵频率的方式保证水泵流量稳定,使尾门的开环控制具有良好的重复性。

3.3 软件实现

本系统的控制软件采用 LabVIEW 编程环境开发,具有图形界面友好、操作简单的特点。软件中使用的多线程技术,保证系统可以采用多个传感器对模型试验中的潮位、流速、尾门开度等信息进行采集,同时进行分析和处理,控制尾门完成整个潮汐模拟试验,并将试验结果显示在屏幕上。

软件采用模块化的编程方式,提供的流量曲线生成、传感器标定、平潮、潮汐模拟、数据处理以及算法选定等模块,用户可以根据需要进行配置和选择,保证了系统的灵活性和可移植性。

4 工程应用

双尾门的潮汐控制系统多次应用于交通运输部天津水运工程科学研究所模型试验中,其试验结果证明该系统具有良好的稳定性、复现性以及潮汐控制精度。图 2 显示了具有较多潮位验证点的辽河口潮汐试验的一部分潮位结果,从图 2 中可以看出该系统可以实现具有较多验证点的天然潮汐在模型中复现。

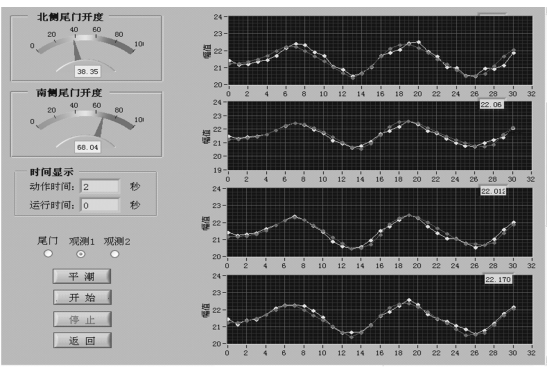


图2 潮汐模拟系统软件部分观测点潮位结果

5 结 语

为模拟天然潮汐,设计了双尾门潮汐模拟系统。

(上接第 13 页)

3 电磁流速仪测试 results 分析

自动测流系统直接测量的与流量有关的参数包括水位、流速和泥位,其中水位数据可以通过超声波水位计得到,精度能够有效保证,泥位数据通过接近传感器和步进电机测量,精度也在可控范围内,而系统设计中流速传感器使用了新型的电磁流速仪,因此需要对电磁流速仪的测试结果进行数据分析。

首先是对电磁流速仪实验室环境下的线性度进行分析,数据见表 1。

表 1 电磁流速仪率定

| 序号 | 标准流速/<br>( $m \cdot s^{-1}$ ) | 测量流速/<br>( $m \cdot s^{-1}$ ) | 相对误差/% |
|----|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| 1  | 0.10                          | 0.09                          | -0.20  |
| 2  | 0.20                          | 0.18                          | -0.40  |
| 3  | 0.50                          | 0.50                          | 0.00   |
| 4  | 0.80                          | 0.78                          | -0.40  |
| 5  | 1.00                          | 1.01                          | 0.20   |
| 6  | 1.20                          | 1.21                          | 0.20   |
| 7  | 1.50                          | 1.49                          | -0.20  |
| 8  | 1.80                          | 1.82                          | 0.40   |
| 9  | 2.00                          | 1.99                          | -0.20  |
| 10 | 2.50                          | 2.55                          | 1.00   |
| 11 | 3.00                          | 3.02                          | 0.40   |
| 12 | 4.00                          | 3.99                          | -0.20  |
| 13 | 5.00                          | 4.92                          | -1.60  |

其次对电磁流速仪与人工测量结果的现场数据对比分析,结果见表 2。

由表 2 可以看出,使用电磁流速仪进行测量,精度能够满足实际需要,测量结果与传统的旋浆流速仪测量结果没有明显差异。

介绍了双尾门潮汐控制系统的基本原理、模型布置、硬件组成及控制算法。该系统在交通运输部天津水运工程科学研究所的多组潮汐模型试验中得以应用,应用情况表明该系统具有良好的稳定性、重现性以及潮汐控制精度。在模型试验中还可以在模型边界上增加径流、流量控制系统等以提高系统的整体性能。

参考文献:

[1] 刘其奇. 流量控制型潮汐控制系统[J]. 测控技术,2001, 20(5):38-40.  
[2] 吴昌林,崔建峰. 潮汐模型尾门的串联控制系统[J]. 机床与液压,2006(3):182-184.

(收稿日期:2012-08-10 编辑:骆超)

表 2 电磁流速仪与人工测量结果对比 m/s

| 序号 | 旋浆测量流速 | 电磁流速仪测量流速 | 误差    |
|----|--------|-----------|-------|
| 1  | 0.31   | 0.30      | -0.01 |
| 2  | 0.52   | 0.53      | 0.01  |
| 3  | 0.56   | 0.57      | 0.01  |
| 4  | 0.59   | 0.61      | 0.02  |
| 5  | 0.50   | 0.49      | -0.01 |
| 6  | 0.40   | 0.39      | -0.01 |

4 结 语

本文设计的自动测流系统通过集成采用 PLC 控制技术、选用新型电磁流速传感器、角形轨道、无线数据传输技术等,避免了以前自动测流系统的缺点,提高了系统的自动化水平,减轻了相关工作人员负担,具有较大的推广价值。

参考文献:

[1] 苏红鲁,张扩成,张厚芹. 邢家渡灌区自动测水量水系统研制[J]. 山东水利,2011(10):14-15.  
[2] 楚恩国. 三河闸全自动水文缆道测流系统及其应用[J]. 水利水电技术,2008(1):32-35.  
[3] 周振华. EKL-3 型全自动水文缆道测流系统的应用与改进[J]. 河南水利,2002(5):116.  
[4] 戴建国,姚刚,唐炜. 一种新型水文缆道综合测量装置的研究[J]. 水利水电自动化,1999(4):44-46.  
[5] 李渡峰,崔新华,徐文翔. 全自动水文缆道测流系统简介[J]. 河南水利,2001(6):24.  
[6] 张孝兵,沈晓红. PLC 在步进电机控制中的应用[J]. 机电工程技术,2008(1):104-106.  
[7] 吴嘉. 流速测量方法综述及仪器的最新进展[J]. 计测技术,2005(6):1-4.  
[8] 刘晓凤,张滨. 电磁流速仪在水文测验中的应用[J]. 气象水文海洋仪器,2008(4):47-49.

(收稿日期:2012-07-30 编辑:熊水斌)