

咸潮物理模型测控系统的开发及应用

吴华良,陈若舟

(水利部珠江水利委员会珠江水利科学研究院,广东 广州 510611)

摘要: 由于测控变量种类以及同类变量数量的增加影响系统数据端口间数据交换的效率,采用以太网技术来提高数据端口间数据交换的速率,分析测控系统数学模型中不同参数对测控结果的影响,探讨物理模型中不同几何比尺和时间比尺对测控结果的影响,同时提出减小这些影响的方法。采用数据库技术实时记录模型试验的各类变量测控结果,并对新增加的盐度变量的测量仪器和测量方法进行阐述。结果表明所研制的咸潮物理模型测控系统大幅度提高了测控设备和主机之间的数据交换速度,节省了模型调试时间,提高了咸潮观测控系统的控制精度和稳定性。

关键词: 物理模型试验;咸潮;测控系统;控制算法

中图分类号: TV131.66 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-7647(2012)S2-0001-03

随着国民经济的快速发展和大规模工程建设的展开,作为重要建筑材料的河沙从河底不断开采,致使上溯的咸潮滞留于内河河段,河口地区的生活用水遭受咸潮的严重侵袭。近年来珠江口咸潮上溯已成为制约当地经济发展的一大因素,咸潮的治理已成为珠江河口治理的重要内容之一。咸潮物理模型对研究咸潮上溯和沿途河流地形、流量、流速、潮位等之间的相互作用起到了重要的作用,是研究咸潮上溯规律的重要手段。和普通潮汐物理模型相比,咸潮物理模型增加了纳潮段盐度的测量,可提供盐度动态分布图,进而为各种咸潮治理手段的制定提供物理依据。为得出准确的纳潮段的盐度动态分布,所产生的潮汐过程应与实际潮汐过程相吻合,这就要求咸潮测控系统有较高的控制精度及响应速度。由于测控变量种类和同类变量数量的增加,加大了各数据终端(各变量的测量设备和控制设备)和主机之间的交换数据量。若主机采集的数据由于传输线路带宽的问题而延迟太多,必定影响输出控制值的实时性,从而降低控制品质。咸潮物理模型测控系统采用以太网为数据交换的通道,为其建立“高速公路”网,大幅度提高了模型控制品质。

1 系统硬件结构

基本潮汐模型一般仅有上下游两个控制边界。下游边界为出海口门,其受控变量为水位(潮位),

即潮汐的涨落过程,需配置用于测量潮位控制结果的水位仪及多台变频器和水泵等,以便根据给定的水位过程控制变频器运行频率,从而控制水泵进出流量的大小,使实测水位过程符合给定水位过程。上游边界采用流量控制,根据给定河流流入大海的流量过程,配置测量流量控制结果的流量计及控制设备,产生符合需要的流量过程。但在多边界模型中,下游潮位和上游流量的控制边界均不止一个,如果模型需要产生横向流,则在出海口的两侧都应作为控制边界并安装相应的测控设备,以产生除纵向流以外的横向流。本次咸潮模型研究在出海口的两侧都安装了测控设备。

咸潮物理模型测控系统采用以太网进行数据通信,高速可靠,克服了传统并行数据通信方式连线数量庞大、数据传输距离短的缺点以及串行通信方式数据传输速度受通信波特率、测控设备数量限制的缺点。图1是潮汐物理模型测控系统的硬件结构。

2 系统软件结构

咸潮物理模型中需测量并控制的变量有水位(潮位)、流量、盐度等。对于每个测控变量,都必须有数据采集、数据实时存入数据库、实时曲线显示变量过程及列表显示变量数据等功能。对监控软件的主要性能要求是具有稳定可靠的控制算法,能达到控制精度要求,所产生的控制过程在误差允许范围

作者简介:吴华良(1956—),男,浙江磐安人,高级工程师,主要从事水利水电自动化科研工作。E-mail:hitrzchen@gmail.com

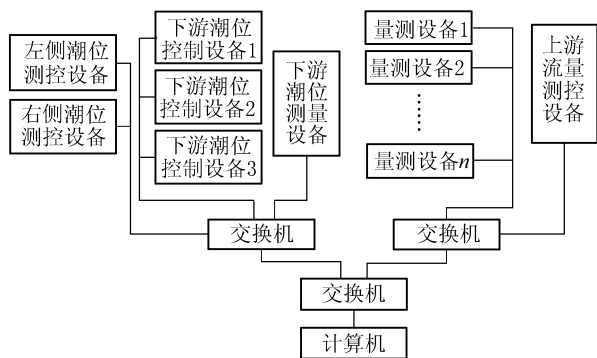


图1 潮汐物理模型测控系统硬件结构示意图

内完全符合给定的变量变化过程,同时各数据终端和计算机主机的数据交换快速无误^[1]。软件部分除了延续传统测控功能外,对各测控变量过程曲线的给定、实时修改及替换,以及过程的曲线和表格显示等功能,在原有的基础上进行了强化,方便试验者及时了解模型试验进程的所有情况。将模型试验的结果即所有测控变量的实时过程数据存入数据库。本咸潮物理模型测控系统采用 Microsoft 的数据库引擎对 Microsoft Excel 电子表格进行数据库读写,从各变量给定的控制曲线、配置的参数到试验结果都存入数据库^[2]。潮汐物理模型测控系统的软件结构设计见图2。

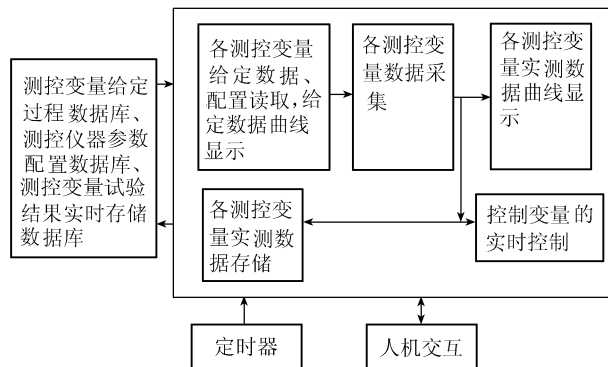


图2 潮汐物理模型测控系统的软件结构

3 控制算法

对于水位(潮位)控制过程如下:计算机给定下一时刻的水位值,水位仪测出当前的实时水位值,计算机用给定值与实测值的差值进行控制算法计算,得出下一时刻控制值的大小,并发送给控制设备,控制设备按该控制值运行,驱动水泵使实测水位符合给定水位。给定水位值随时间变化,控制等时间间隔发生,从而产生符合要求的给定水位过程。

有多种控制算法对误差进行计算^[3],最常用的算法是PID算法。PID算法中的比例系数、积分系数、微分系数的大小和组合对控制效果都有影响,所谓参数调试,就是调节上述参数,使控制产生的过程

很好地符合给定过程,但对控制效果影响最大的是被控对象(模型)的时间常数和纯滞后时间。改变变频器的运行频率时,并不能立即达到所要求的运行频率,这里存在一个加速或减速的时间问题。加速时间越短,所需的电流越大。在不引起过流的情况下变频器的加减速时间越短,变频器改变运行频率越快。但加减速时间不可能无限短,所以变频器的输出比输入滞后一个时间常数 τ_0 ,其数学模型可以作一阶模型处理:

$$F_0 = \frac{F_i}{1 + s\tau_0} \quad (1)$$

式中: F_0 为变频器经 τ_0 时间后的运行频率; F_i 为计算机给出的变频器运行频率; s 为拉普拉斯复变量。

从变频器达到所需运行频率时刻起至模型达到所需的水位需要一段较长的时间,即物理模型的输入输出之间存在一个纯滞后时间和一个时间常数 τ_1 ,根据以往的研究和实践,水位和变频器的运行频率之间的关系是一阶纯滞后模型:

$$H = \frac{Ae^{-s\tau}F_0}{1 + s\tau_1} \quad (2)$$

式中: H 为预期水位; A 为变频器的输出频率转换成水位的转换系数,即放大系数; τ 为纯滞后时间; τ_1 为时间常数。

水位仪检测控制是否达到所要求的水位。由于模型试验时,尤其对室外模型,被控变量如水位受到风和浪的干扰,使得当前测量的值不能准确反映实际值,而多次测量值的平均值滤除了干扰的影响,可代替实际值。但平均值是当前测量值和前几次测量值的平均,同样不能真实反映当前的实测值。从控制上讲,平均值滤波引入了滞后时间 τ_2 。当受控量的检测仪器具有很快的反应速度,且计算机采样频率也足够高时,采用平均值滤波而引入闭环控制的滞后时间可以忽略不计。但目前测控系统中采用的水位仪是机械式水位仪,不可能达到很快的反应速度,虽然系统采用以太网进行数据交换,但量测仪器本身还是通过RS485接口输出数据至以太网口。因此对于单台仪器,采样频率受串行通信的波特率限制,以太网只有在采集大批仪器测量值时,利用其可以并行采集的优点,才能发挥高速数据采集的优势。因此,目前的咸潮测控系统的数据采集结果不宜采用平均值滤波的方法。

控制环中的3个时间参数中, τ_0 由于变频器的固有特性不可能消除, τ_1 由于模型的地形和几何结构及布控设备的数量受客观条件限制,也不可能完全消除,只有 τ_2 可以尽量消除。由于以往对滤波引起的数据严重滞后问题缺乏足够的认识,采用时间

常数足够长的数据滤波器对控制的测量结果进行滤波,以消除风浪等干扰引起的数据波动,结果使得一部分物理模型的控制频繁出现振荡现象,降低了控制精度。实际上,对于室内潮汐物理模型,基本上不存在风浪的干扰,对测试结果无需进行数据滤波。因此在咸潮物理模型测控系统中,经反复试验,摒弃数据滤波程序,极大地改进了控制品质,当加大算法中的其他参数时,也不会出现振荡现象。

4 模型时间比尺的影响

首先按模型时间比尺转换时间,如模型时间比尺是 70,则模型每小时的时间 $t=3600/70\text{ s}\approx 52\text{ s}$ 。 t 越大越有利于控制精度的提高; t 越小,控制效果较差,其原因是 t 较大时,单位时间内控制变量的变化较小,控制设备有足够的时间改变运行状态,响应速度不是很快的测量设备也能及时测得控制变量的实时值,使实测值及时跟踪给定值,产生一个符合要求的受控变量过程。当 t 较小时,单位时间内受控变量的改变较大,控制设备没有足够的时间改变运行状态,即使能及时改变运行状态,也因前后两时刻控制变量的突变,容易使受控变量的变化产生波动,影响测量结果的准确性,从而降低整个控制品质。

就潮位控制而言,当 t 较小时(本次咸潮物理模型为 25 s),只有在条件允许的情况下增加水泵的数量,或者提高试验的水池水位,使得在相同的控制输出量时,获得较大的进出流量以提高控制的精度。

5 盐度的测量和存储显示

咸潮物理模型和潮汐物理模型的区别是,在咸潮物理模型中,除水位和流速等常规水力变量必须控制准确外,盐度的测量是试验的主要任务。自行研制的盐度仪采用电导率传感器由采集盒管理数据采集、计算和发送等,接入测量网络后,盐度仪响应主机呼叫,向其发送安装点的电导率、盐度、水温等数据。主机以图形方式显示各盐度测点的盐度变化

过程的历史曲线和当前曲线,并存入相应的数据库。为了获得详细的动态盐度分布,在纳潮段盐度仪的布置密度较大,加重了测控系统数据采集、显示和存储的任务。本测控系统将 Excel 表格作为网址、参数配置及数据采集结果读取存储的数据库,为后处理中结果的提取和处理提供了极大的方便。

6 系统在珠江口盐潮物理模型中的应用

基于以太网的潮汐模型测控系统在 2008 年就已成功应用于珠江电厂温排水物理模型试验。在珠江河口咸潮上溯物理模型的试验研究中,作为咸潮物理模型试验的监控系统,对掌握咸潮上溯规律,即咸潮上溯和沿途河流地形、流量、流速、潮位等关系相互作用的了解发挥了重要的作用。

7 结 语

咸潮物理模型测控系统具有以下特点:所有测控变量的数据采集通过以太网,大幅度提高了测控设备和主机之间的数据交换速度;所有测控变量的历史和当前过程都以图形曲线的方式显示;所有测控变量给定过程的给出和实测过程的存储都采用数据库技术;增加的盐度变量的测量和显示为咸潮上溯过程的盐度动态分布研究提供了方便;改进的控制算法节省了模型调试时间,提高了控制精度和稳定性;明确了模型时间比尺和控制精度的关系。

参考文献:

[1] 吴华良,林俊,吴娟. 潮汐模型监控软件研制[C]//水利量测技术论文选集:第四集. 郑州:黄河水利出版社,2005:126-131.
[2] MIANO J, CABANSKI T, HOWE H. BORLAND C++ BUILDER 编程指南[M]. 郝杰,崔晓东,龚惠,等,译. 北京:电子工业出版社,1998.
[3] OGATA K. Modern control engineering[M]. 3rd Edition. London:Prentice Hall,1997:669-709.

(收稿日期:2012-07-10 编辑:骆超)

+++++

《水利水电科技进步》征订启事

(邮发代号:28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊,A4 开本)

《水利水电科技进步》由河海大学主办,是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,RCCSE 核心期刊,全国水利系统优秀期刊,华东地区优秀期刊,江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等,适合水科学、水工程、水资源、水环境领域的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进步》由邮局发行,邮发代号:28-244,2013 年每期定价 12 元,全年 6 期共计 72 元。可在全国各地邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 E-mail:jz@hhu.edu.cn 邮政编码:210098
电话/传真:025-83786335 http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexjz.asp? d_id=5