

复合模型实时耦合计算机控制系统

苏杭丽¹,张东生²,蔡 辉²,马洪蛟²

(1.南京经济学院计算机系,江苏 南京 210003 2.河海大学交通与海洋工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 通过计算机控制系统将物理模型和数学模型两部分耦合在一起.该控制系统有两条控制回路,即流量控制回路和水位控制回路.其中流量控制回路实现了物模和数模在耦合边界处水位和流量的交换.水位控制回路实现了入海口潮汐水位的模拟.同时根据采样和控制的高精度要求,分别在软件和硬件中采取滤波措施.试验结果表明,计算机控制系统实现了物理模型和数学模型的实时耦合,试验精度达到工程要求.

关键词 复合模型 实时耦合 控制系统

中图分类号 :TV131.6 ;TP273+ .3 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2002)05-0041-03

水工复合模型是物模(物理模型)和数模(数学模型)的实时耦合模型.复合模型成功的关键是物模部分和数模部分之间的实时耦合.20世纪80年代,国外曾对复合模型做过一些研究^[1~3],国内也有关于复合模型的构想.但由于种种原因,复合模型的进一步研究及推广应用被搁置.随着计算机技术、控制理论以及数模计算技术的发展,复合模型作为一种新型的水工模拟技术成为可能.在此前的复合模型应用中,由于条件限制只能采用模拟控制,因此很难保证物模和数模耦合时的精度.笔者将改进的PID控制和Smith控制相结合,使复合模型采样控制的实时性得到了较好解决,提高了复合模型的精度.

1 复合模型的耦合及控制要求

1.1 复合模型的耦合过程

复合模型的耦合是通过物模和数模实时交换耦合边界变量信息实现的.耦合边界是物模和数模的公共边界.复合模型耦合的实施是由计算机的控制系统实现的.复合模型中的控制与一般的工业控制有所不同.一般的工业控制过程根据工艺曲线进行,即把工艺曲线的值作为期望值,在开始控制前,把控制的所有期望值输入计算机,每次控制根据实测值与期望值之差进行,因此,每次控制的结果与期望值之间没有关系.但在复合模型中,控制的期望值是由数模部分根据物模先前提提供的实测值计算出来的,因此,期望值与实测值之间是直接相关的.复合模型开始运行后,首先物模部分测量耦合边界的水位 H_1 ,并传送给控制系统,控制系统中进行数模计算的计算机根据 H_1 计算出耦合边界下一时刻的流量 Q_2 ,并传送到耦合边界进行控制.在采样时间达到后,水位仪测出在流量 Q_2 控制下的水位 H_2 ,并传送到控制系统,数模根据 H_2 再计算出下一个时刻耦合边界的流量 Q_3 ,如此反复,实现复合模型中物模和数模的耦合,再现一个完整的原型.因此,控制的实时性与精确性直接影响到水位的采样值,间接影响下一次的流量控制,从而影响整个模型模拟的精确性.

1.2 系统的控制要求

对于一个简单的复合模型,其计算机控制系统的功能应为:把物理模型测量的耦合边界处的水位信息传递给数学模型;把数学模型计算出的耦合边界的流量值传送给物理模型,并进行耦合边界流量控制;其他物理量的采集与控制.相应地,测量控制点的布置为:(a)必须在物模部分的耦合边界处设置一个水位测点,以便提供数模计算所需的耦合边界水位条件;(b)根据数模计算出的耦合边界的流量,对物模部分耦合边界处的流量实行控制;(c)根据试验要求在物模另一个边界及需要处设置多个水位测量点;(d)在物模的另一条边界处设置水位控制点,根据(c)中测量的物模的另一边界水位及实际值之差实时控制水位.

2 控制系统的设计

a. 水位采集. 水位仪测量的是水位数字信号, 工控机通过 PC720 选通并读取水位仪测得的水位值.

b. 水位控制. 水位的控制是间接实现的, 需要在尾门附近安装一台水位仪跟踪水位的变化, 然后由尾门配合, 通过尾门的翻转达到控制边界水位的目的. 水位的控制信号也是由工控机输出 $-5\text{ V} \sim +5\text{ V}$ 电压到 PC728 后, 经过 PC728 D/A 转换, 输送到电机的伺服装置, 控制尾门的转动. 电压的正负变化实现了尾门的正反转.

c. 流量采集. 电磁流量计(25070 型)将测得的流量形成的微弱电信号转换成 $4 \sim 20\text{ mA}$ DC 标准信号输送到信号调理器, 信号调理器把 $4 \sim 20\text{ mA}$ DC 信号转换成 $1 \sim 5\text{ V}$ DC 信号送到 32 路 12 位光电隔离 A/D 板 PC813(试验中只用到一路), 从而实现流量的数据采集.

d. 流量控制. 自动控制是通过电动阀实现的, 通过电动阀自动调节阀门的开度, 从而实现流量的调节, 达到控制流量的目的. 在流量控制的输出通道中, 采用 2 路 12 位光电隔离 D/A 板 PC728, 将工控机输出的控制量转换成 $1 \sim 5\text{ V}$ DC 信号送至操作器, 由操作器输出 $4 \sim 20\text{ mA}$ DC 信号送至电动阀, 实现流量的控制.

其中水位采样和控制、流量的采样和控制分别形成了两个闭环的控制回路, 如图 2 所示, 分别完成了物模非耦合的边界处水位的控制以及耦合边界处流量的控制.

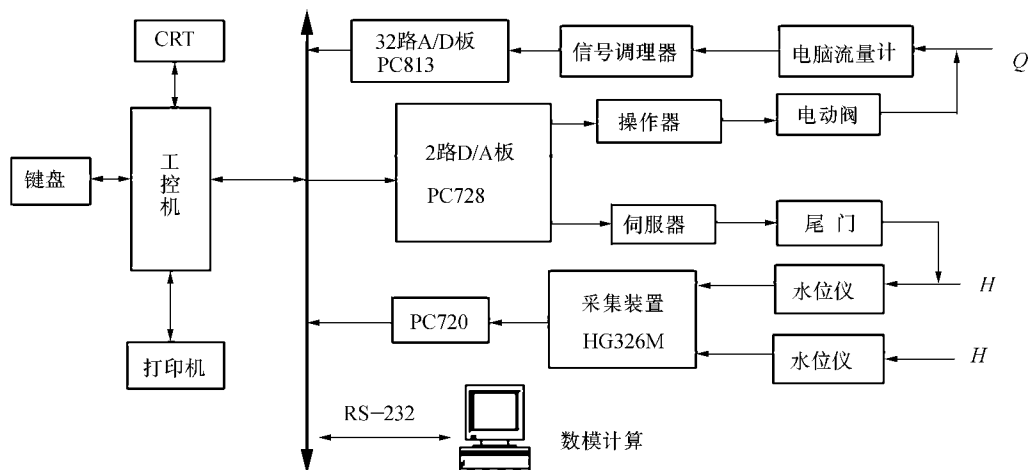


图 1 复合模型系统结构

Fig.1 Frame of hybrid model system

e. 数据的通信. 数模的计算需要物模提供其耦合边界处的水位, 同样, 数模计算出的耦合边界流量值也要传送给物理模型, 作为其耦合边界的控制条件. 物理模型的采样和控制是由工控机控制实现的(图 1), 因此数模需要与工控机进行数据交换, 亦即数模计算的计算机与工控机进行数据交换, 所以数模接口首先需要具备与工控机进行数据通信的功能, 两台计算机之间采用 RS-232 通信.

复合模型软件的功能主要有两个: 实现复合模型的控制功能, 实现复合模型中数模部分的计算. 复合模型耦合的特点决定了复合模型对控制精度要求很高, 但其中的流量控制又有滞后的特点, 因此, 采用了改进的 PID 和 Smith 控制方法相结合的控制策略. 在数学模型部分建立一维数学模型, 采用菱形差分网格计算.

3 可靠性措施

3.1 软件处理

数模接收耦合边界的水位信息, 并将该信息传送给数模进行计算. 当数模接口接收的水位出现正常或不正常的突变时, 导致数模计算出的流量出现突变. 由于流量计与耦合边界的水位计相距不是很远, 水位计易受流量变化的干扰. 突变的流量加上水流的扰动, 使得水位振荡很厉害. 例如, 当物模和数模刚开始连接时, 二者的初始条件不匹配, 或者物模的另一个边界条件是非恒定并且变化剧烈, 或者耦合边界的水位计受其他干扰, 造成耦合边界处的水位计周围水位变化剧烈. 不论什么原因引起的耦合边界水位突变, 都必须进行有效处理, 否则很容易使得模型的运行恶化乃至失控. 为避免模型失控, 研究中在数模接口处对接收的水位数据

据进行处理.方法是判断本次接收的水位数据与上一次的差,当二者之差超过给定的极值(该极值可以经过多次试验确定),只将上一次的水位加上极值作为本次接收的水位值传给数模.这种方法确保了耦合边界水位的正常和不正常的突变.当耦合边界确实出现水位突变时,这种方法也能保证模型模拟原型,只是反应有些滞后.当耦合边界水位出现不正常的突变时,这种方法可以保证耦合边界的流量避免跟随水位突变,使得水位、流量的连锁关系变得松懈.对于一般的非恒定流,或者耦合边界水位有突变但一直等到流态稳定后,再次产生突变的情况,复合模型都是可以承受的.

3.2 硬件处理

复合模型的物理模型部分可以模拟任意复杂的地形,耦合边界处的水位不仅受耦合边界流量变化的控制,还受物模另一条边界条件以及物模其他方面的影响.为减小耦合边界流量变化带来的水流扰动,能让耦合边界水位的变化代表耦合边界处水位的真实变化,在耦合边界处加消波处理是至关重要的.在采集控制系统中经过简单的消波处理后,耦合边界的水位变化在 $0.4 \sim 1.2 \text{ mm/s}$ (模型值)之间.加两道消波网后,耦合边界的水位变化在 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm/s}$ (模型值)之间.

耦合边界流量的控制要求流量计的分辨率要达到试验要求,否则流量的控制值在期望值两侧有一个较大的波动.例如,流量计的分辨率为 4 L/s (模型值),当相邻两次流量值相差小于 5 L/s (模型值)时流量计不动,等流量差值一直累积到 5 L/s (模型值)时才有一个控制的动作.因此分辨率粗的流量计,模拟的精度低,而且流量的每次变化较大,容易产生干扰波动,影响耦合边界的水位精度.

4 结 论

复合模型运行后,数模部分和物模部分实时相互传递数据,耦合过程稳定.流量实时控制,控制结果与数模提供的流量值之差小于 1 L/s .潮汐水位实时跟踪控制,误差小于 1 mm .复合模型试验结果表明:复合模型的方法是可行的.它综合了物模和数模的优点,可以模拟单一的数模、物模不能模拟的原型.

参考文献:

- [1] Holz K P. Analysis of time conditions for hybrid models[A]. In: Proceedings 15th ICCE[C]. New York: ASCE, 1976. 3460 ~ 3470.
- [2] Funke E R, Crookshank N L. A hybrid model of the St. Lawrence River Estuary[A]. In: Proceedings 16th ICCE[C]. New York: ASCE, 1978. 2855 ~ 2869.
- [3] Barthel V, Funke E R. Hybrid modeling as applied to hydrodynamic research and testing[A]. In: Recent Advances in Hydrodynamic Research and Testing[C]. New York: Kluwer Academic, 1989. 303 ~ 389.

Hybrid model microcomputer-control system

SU Hang-li¹, ZHANG Dong-sheng², CAI Hui², MA Hong-jiao²

(1. Department of Computer, Nanjing Economic Univ., Nanjing 210003, China;

2. College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: A hybrid model consists of a physical model part and a mathematical model part, linked by a micro-computer control system. The control system has two control loops, i.e. a flux control loop and a water level control loop. The flux control loop realizes the exchange between the water level value and flux value at the coupling boundary, and the water level control loop realizes tidal level simulation. To meet the high requirement of precision of sampling and control, some filtering measures are taken in software and hardware. The experimental results show that the micro-computer control system realizes the real-time coupling between the physical model and the mathematical model, and the requirement of precision can be satisfied.

Key words: hybrid model; real-time coupling; control system