

# 船舶调距桨微机控制系统的实时混合仿真

邓振强 郭晨

(大连海运学院)

## 摘 要

本文介绍了一种用于船舶调距桨的微型计算机控制系统。为进行系统的软硬件联调和控制参数预整定,本文建立了调距桨自动控制系统各主要单元的仿真数学模型,并设计了调距桨微机控制实时混合仿真系统。实验证明,本微机控制系统的设计是合理可行的。

## 一、船舶调距桨微机控制系统的原理框图与仿真模型

采用微型机控制船舶可调螺距螺旋桨(简称-调距桨或 CPP)的原理方框图如图 1 所示。图中虚线框内所示 CPP 螺距、主机转速、主机负荷三个函数发生器,主机转速、自动负荷两个数字控制器及时间程序单元,是用 TRS-80 微型机和时钟接口电路实现的。系统的伺服装置和控制对象,在实时仿真系统中由模拟机组成。数字机与模拟机通过 A/D、D/A 界面相连接。

在 CPP 系统中, CPP 螺距是由螺距设定信号通过桨叶角调节装置和控制机液伺服执行机构进行调节的。主机转速设定信号经过电压/电流变换电路,送到电液执行器,去

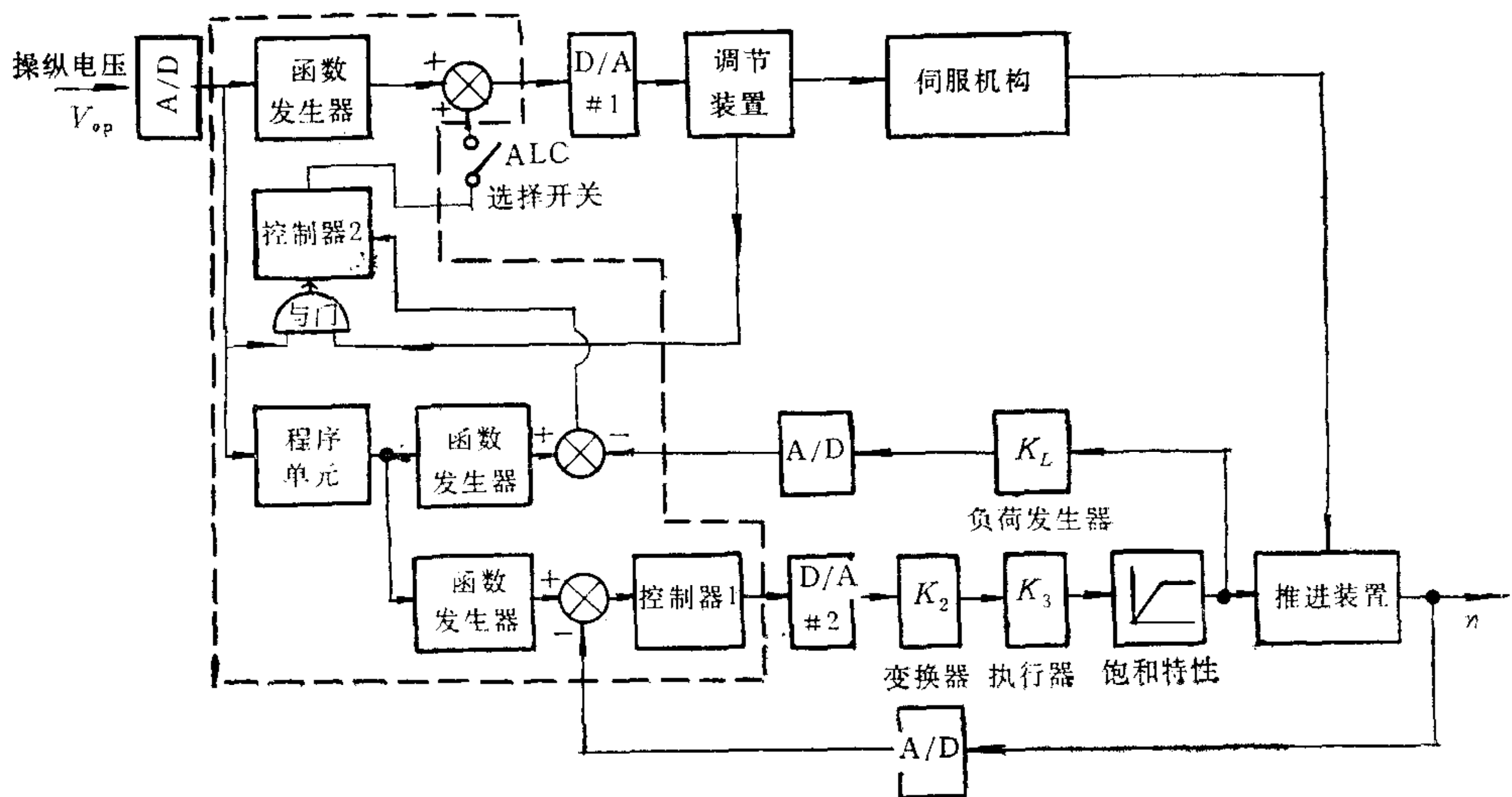


图 1 CPP 的微机控制系统原理方框图

调节主机供油量。以下导出的仿真数学模型是参考我国某轮的实船数据和作者所设计的 CPP 微机控制系统而建立的。

### 1. 桨叶角调节装置和机液伺服执行机构

桨叶角调节装置是一个具有位置反馈和测速反馈的电动随动系统，它由偏差信号放大器、伺服放大器、伺服电动机、同轴测速发电机、减速齿轮及曲柄连杆机构所组成。其闭环传递函数为

$$\frac{X_i(s)}{V_{pa}(s)} = \frac{333.33}{0.6s^2 + 21.16s + 333.33} \quad (1)$$

式中， $V_{pa}$  为桨叶角设定信号， $X_i$  为曲柄连杆输出位移。

CPP 机液伺服执行机构是一个位置反馈随动系统，它由滑阀、伺服油缸、三点跟随反馈机构及改变桨叶角的曲柄连杆机构组成。它的闭环传递函数可简化为

$$\frac{\alpha(s)}{X_i(s)} = \frac{219.90}{0.284s^3 + 7.51s^2 + 100s + 119.64} \quad (2)$$

式中， $\alpha$  为 CPP 的桨叶角，其对应的微分方程为

$$\ddot{\alpha}(t) = -26.41\ddot{\alpha}(t) - 352.1\dot{\alpha}(t) - 421.1\alpha(t) + 774.3X_i(t) \quad (3)$$

### 2. 船舶中速柴油机—调距桨推进装置

对于驱动 CPP 的中速柴油机推进装置，它的输入量为柴油机燃油泵齿条的位移信号  $x$  和 CPP 的桨叶角调节信号  $\alpha$ ，输出量为装置的转速  $n$ 。图 2 是推进装置的结构方框图。由图 2 可导出推进装置输出转速  $n$ ，对于输入信号  $x$ 、 $\alpha$  及外界扰动力矩  $M_f$  的传递函数为：

$$\frac{n(s)}{X(s)} = \frac{K_e}{T_a s + 1} e^{-rs} \quad (4)$$

$$\frac{n(s)}{\alpha(s)} = \frac{-K_\alpha}{T_a s + 1} \quad (5)$$

$$\frac{n(s)}{M_f(s)} = \frac{-K_m}{T_a s + 1} \quad (6)$$

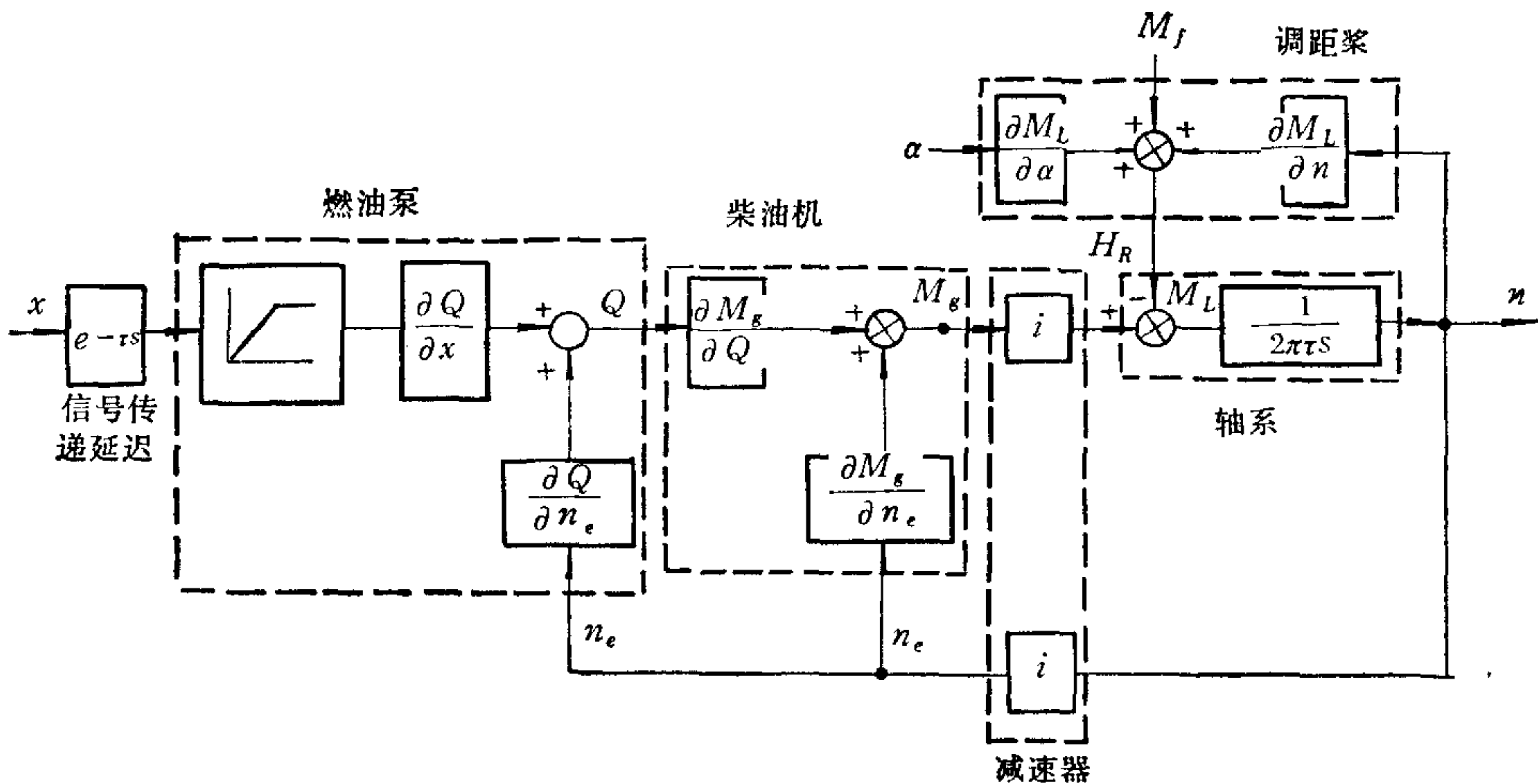


图 2 柴油机—调距桨推进装置结构方框图

上式中,  $K_c$ 、 $K_a$ 、 $K_m$  为输出对不同输入的传递系数,  $T_a$  为装置的时间常数。

## 二、CPP 微机控制实时混合仿真系统的实现及实验结果

为进行 CPP 微机控制系统的硬、软件联调和闭环控制实验, 本文采用两台 XM-1 型系统模拟仪, 对桨叶角调节伺服系统、柴油机燃油调节机构和柴油机一调距桨推进装置进行仿真, 并通过 A/D、D/A 界面与 TRS-80 微型计算机相连。在系统中用可编程实时时钟电路 (8253) 向控制系统提供周期为 20ms 的时基信号。从并行输入-输出电路 (8255A) 读取控制系统的四种功能开关信息, 操纵电压  $V_{op}$ 、桨叶角  $\alpha$ 、主机转速  $n_c$ 、扰动信号  $M_f$ 、主机负荷和推进装置转速反馈信号, 从 A/D 输入; 螺距设定信号和主机转速设定信号从 D/A 输出。

在本仿真系统实验中, 采用扩充临界比例带法整定采样周期, 测得系统等幅振荡周期为  $T_u = 0.22\text{sec}$ 。在取控制度 = 2.0 时, 对 PID 控制律, 采样周期

$$T_1 = \frac{1}{6} T_u = 36.7\text{ms};$$

对 PI 控制律, 采样周期

$$T_2 = \frac{1}{5} T_u = 44\text{ms}.$$

在本汇编语言控制算法中, 主要应考虑乘法时间。TRS-80 微机时钟频率为 1.774 MHz, 一次 16 位有符号定点数乘法时间在 0.9ms 以下, 两个回路控制算法的六次乘法时间在 5.4ms 以下。为保证不产生采样信号的频谱混迭现象并使系统动态品质校正得到满意结果, 应选采样角频率  $\omega_s$  远大于系统的截止频率  $\omega_c$ 。从减小系统数字计算部分的时延和采样误差的角度考虑, 在数字机计算速度允许的前提下, 采样周期  $T_s$  应尽可能选得小。本实验中  $T_s$  取为 40ms, 这样  $\omega_s = 18\omega_c$ 。实验结果表明  $T_s = 40\text{ms}$  对本仿真系统是适宜的。

在 CPP 的实时混合仿真系统中, 由于数据在两种计算机之间进行交换和转换, 因此将产生混合计算误差, 其中最主要的是采样和信号恢复误差及数字计算的时延误差。因本系统采用石英晶体振荡器作为定时信号, 并采用双缓冲 D/A 转换器传送数据, 所以定时误差可忽略不计。本系统还采用 8 位 A/D、D/A 转换器, 采用零阶保持输出, 其量化误差和信号恢复误差均在允许范围之内。本系统控制程序采用 Z-80 汇编语言, 实时性好, 算法也不复杂, 因此可保证数字计算时间与 A/D、D/A 转换时间之和小于  $T_s$ 。因本系统的实际控制对象是柴油机-调距桨推进装置, 它的时延与时间常数较大, 与之相比, 数字计算的时延要小几个数量级, 所以不会对仿真结果产生明显影响。

由光线示波器得到的在操纵电压  $V_{op}$  和外加扰动  $M_f$  作用下的动态响应曲线示于图 3。由曲线可知桨叶角  $\alpha$  和主机转速  $n_c$  的超调量在 (10—20)% 以下, 过渡过程时间为 1—4sec。可见系统具有良好的动态品质, 其跟随特性和抗干扰特性是能满足实船 CPP 控制系统要求的。

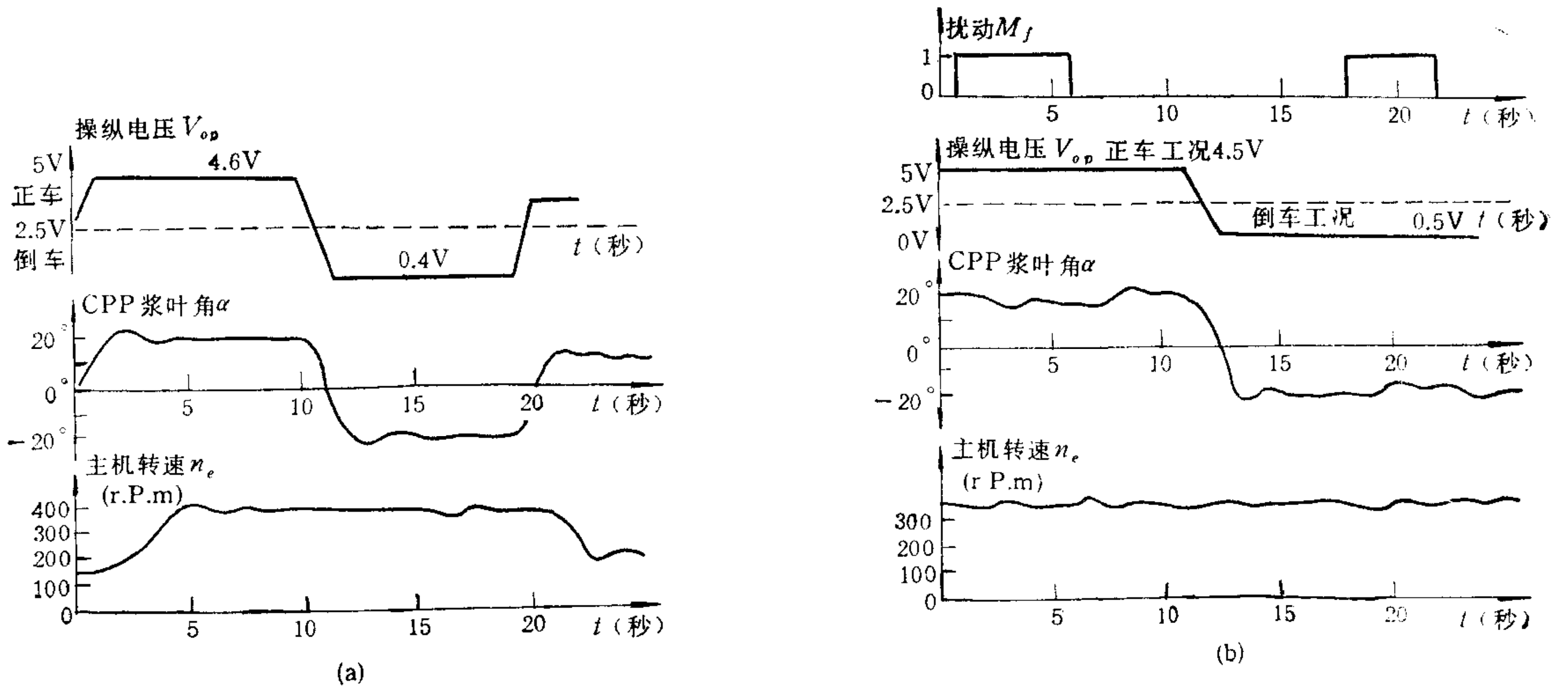


图 3

- (a) 实时混合仿真系统在操纵电压作用下的响应曲线  
 (b) 实时混合仿真系统在加减阶跃扰动时的响应曲线

## 参 考 文 献

- [1] 山本 茂,北浦久义,调距桨自动负荷控制系统的研究,舰船特辅机电设备,5,1978.  
 [2] 郭晨,船舶调距桨的微型计算机控制系统及其实时仿真,大连海运学院硕士研究生毕业论文,1984年12月.  
 [3] 孙国基,李人厚编著,计算机仿真技术,国防工业出版社,1980.  
 [4] 周炎勋,王正中,邱陶国编著,模拟与混合仿真技术,国防工业出版社,1980.

## REAL-TIME HYBRID SIMULATION OF MICROCOMPUTER CONTROLLED SYSTEM FOR SHIP CONTROLLABLE PITCH PROPELLER

DENG ZHENQIANG GUO CHEN

(Dalian Marine College)

### ABSTRACT

A microcomputer control system for a ship controllable pitch propeller (CPP) is presented in this paper. The simulation mathematical models for the main units of the automatic control system for CPP are established. A real-time hybrid simulation system for microcomputer-based CPP control has been designed. Experiments show that the design is feasible.