



# 微型计算机在潜艇深度和纵倾控制系统仿真研究中的应用

冯 国 枢

(中国舰船研究院)

## 摘 要

作者对潜艇深度和纵倾微型机控制系统进行了程序设计，提出用最小二乘法曲线拟合建立参数调整模型，使系统具有一定的自适应能力。经仿真计算表明，该方法效果显著。此方法亦可供设计类似系统时参考。

文中主要讨论了单通道仿真计算，通过参数调整模型完成不同航速的参数自动调整过程，并在此基础上实现微型机实时控制系统的设计。系统由双通道构成。每一通道由一个微型机系统、首舵伺服系统和尾舵伺服系统及相应信号传感器构成。潜艇受扰动产生的信号，经过微型机数据处理后，分别发出首舵和尾舵动作信息。通过执行机构校正深度和纵倾偏差。键盘给出潜浮指令，纵倾限制在  $3^\circ$  以内，不同航速时系统参数能自动调整。整个系统的工作过程由程序控制。设计该系统的关键是正确写出系统软件。

## 一、仿 真 模 型

用下列方程描述潜艇模型<sup>[3]</sup>。

$$\dot{y}_1(x) = f_1(x, y_1 \cdots y_n) + g_1(x, D_1, D_2),$$

⋮

$$\dot{y}_n(x) = f_n(x, y_1 \cdots y_n) + g_n(x, D_1, D_2), \quad n = (1, 2 \cdots 9).$$

式中  $g_n(x, D_1, D_2)$  表示其它方程对第  $n$  个方程的关系。这是一组九阶潜艇空间运动方程。方程系数由风洞、水池试验确定，并经实际航行校核。

控制参数模型采用 PD 调节器，其中各系数均为经计算机整定的最佳参数。选择的两个子系统的参数方程分别为

$$x_1 = K_1 y_5(t) + BK \frac{dy_5(t)}{dt} - TB,$$

$$x_3 = K_1 y_5(t) + BK_1 \frac{dy_5(t)}{dt} + SK \frac{dy_7(t)}{dt} + K_4 y_7(t) - TS.$$

式中  $y_5(t)$ ,  $y_7(t)$ ,  $TB$  和  $TS$  分别为深度、纵倾、首舵角和尾舵角。

伺服机构由伺服阀、变量泵和液压舵机组成。根据伺服系统试验曲线得出伺服机构模型。

$$\text{首舵 } \dot{y}_1(t) = x_2/0.2 - y_1(t)/0.2, \quad \dot{y}_2(t) = 4.7y_1(t).$$

$$\text{尾舵 } \dot{y}_3(t) = x_4/0.2 - y_3(t)/0.2, \quad \dot{y}_4(t) = 4.7y_3(t).$$

其中  $x_2, x_4$  是  $x_1, x_3$  经过限幅的信号。

参数调整模型。不同的航速需要对控制参数作较大的调整。为实现自动调节, 首先要建立数学模型, 使调节过程按数学模型进行。为此要在计算机上精心调整不同航速时的最佳参数, 见表 1。

表 1

$u_1$	3	8	12	15	18
BK	1.05	0.8	0.62	0.55	0.51
SK	65	45	30	24	18
BK1	0.7	0.5	0.28	0.2	0.12

利用最小二乘法实行曲线拟合。根据公式<sup>[1]</sup>

$$\sum_{i=1}^N y_i x_i^k = \sum_{j=0}^m a_j \sum_{i=1}^N x_i^{k+j}, \quad (K = 0, 1, 2 \cdots m)$$

求解每组数据正规方程, 整理后得:

$$BK = 1.09 - 0.03373u_1 - 0.00006546u_1^2,$$

$$BK_1 = 0.8727 - 0.05697u_1 + 0.0008178u_1^2,$$

$$SK = 80.464 - 5.399u_1 + 0.107u_1^2.$$

用二次多项式拟合每组数据。BK, BK<sub>1</sub> 和 SK 分别为航速  $u_1$  的函数。

## 二、仿真系统软件和硬件

仿真微型机系统硬件是在 Z-80 系统机的基础上扩展而成的。为完成接口设计增加了 TU-ART 板和 D+7A 板。通过系统仿真完成程序设计。实时控制微型机系统以 Z-80, SCC 单板机为基础, 为增加存储量和扩大接口能力, 相应增加几块单板, 详见图 1。利用开发系统, 将编写好的系统软件固化在 EPROM 里。系统可带 CRT 和简易键盘。模拟口作各控制量的模数转换; 并行口作输出指示、中断控制及两通道联系。仿真模型用 FORTRAN 语言编写程序, 然后用 Z-80 机编译成目标程序。目标程序可以固化在 EPROM 里。用高级语言编写程序占机时间较长<sup>[3]</sup>, 采用 FORTRAN 语言进行 I/O 接口设计。本仿真系统中潜艇模型和两个子系统模型应是并行工作的, 由于所用计算机是单用户 CDOS, 没有多用户分时能力, 编写的程序仍然是串行的。

采用四阶龙格库塔法解方程以减少累积误差<sup>[2]</sup>。根据所建立的模型, 组成模块式程序结构, 程序功能框图见图 2。系统启动初始化以后, 键盘输入深度指令。给出航速  $u_1$ , 然后

可按参数调整模型自动调整系统参数。

采样步长为 0.1 秒，小循环 2 秒，大循环 300 秒。

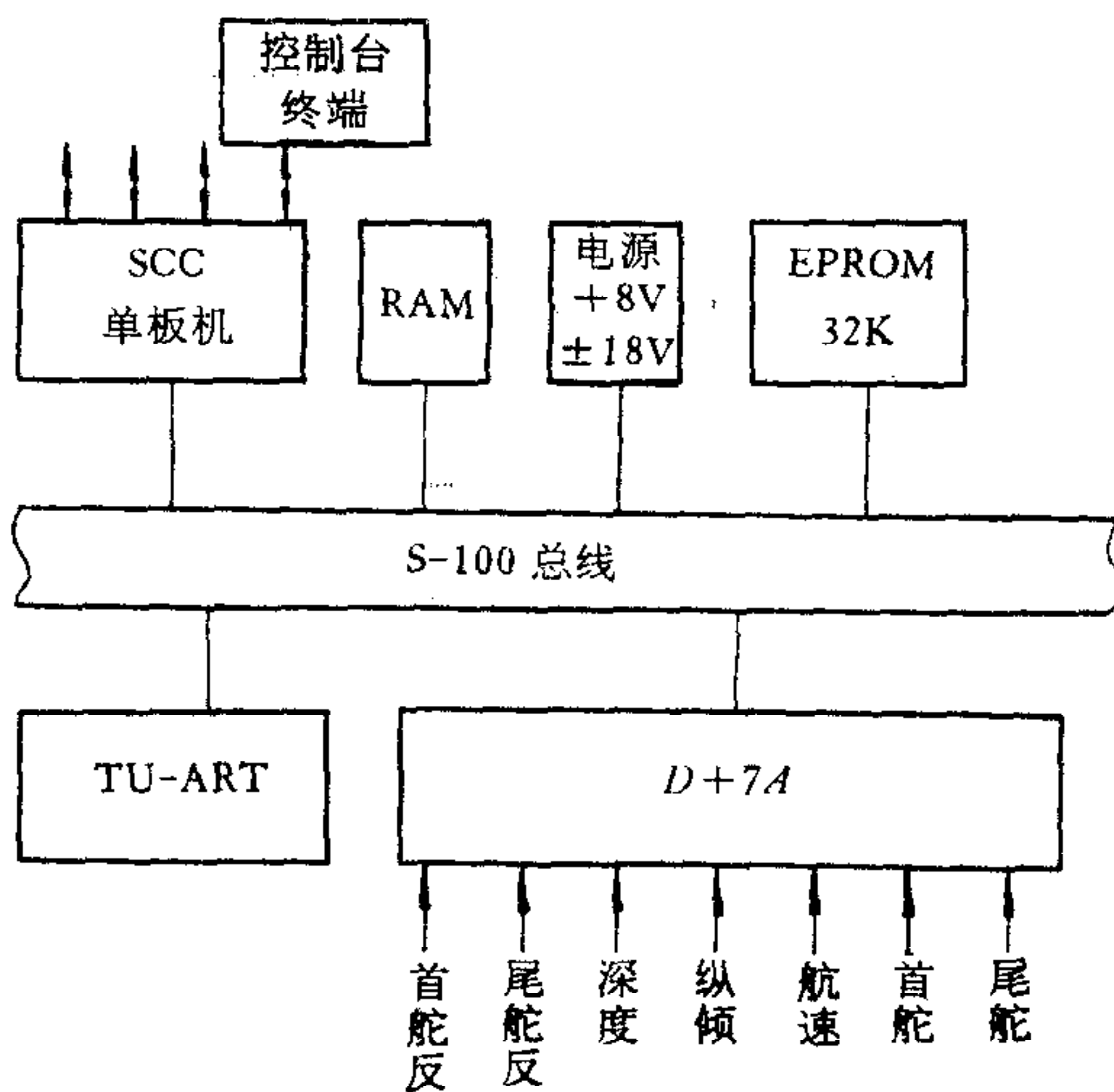


图 1 微型机系统框图

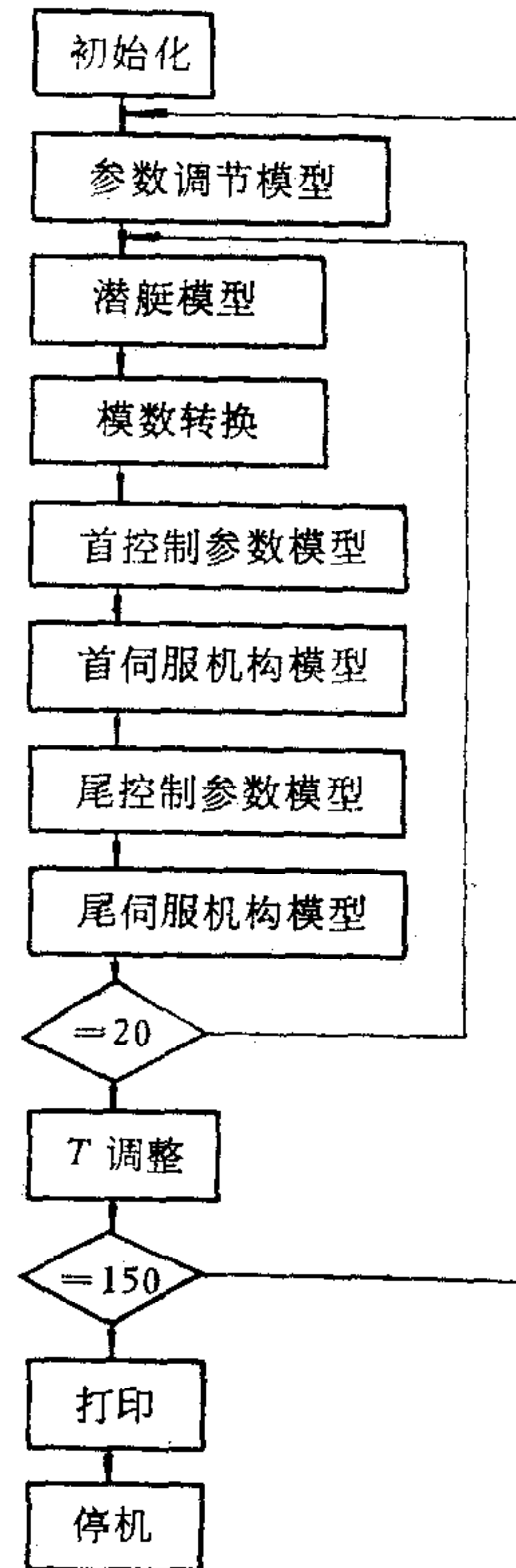


图 2 程序功能框图

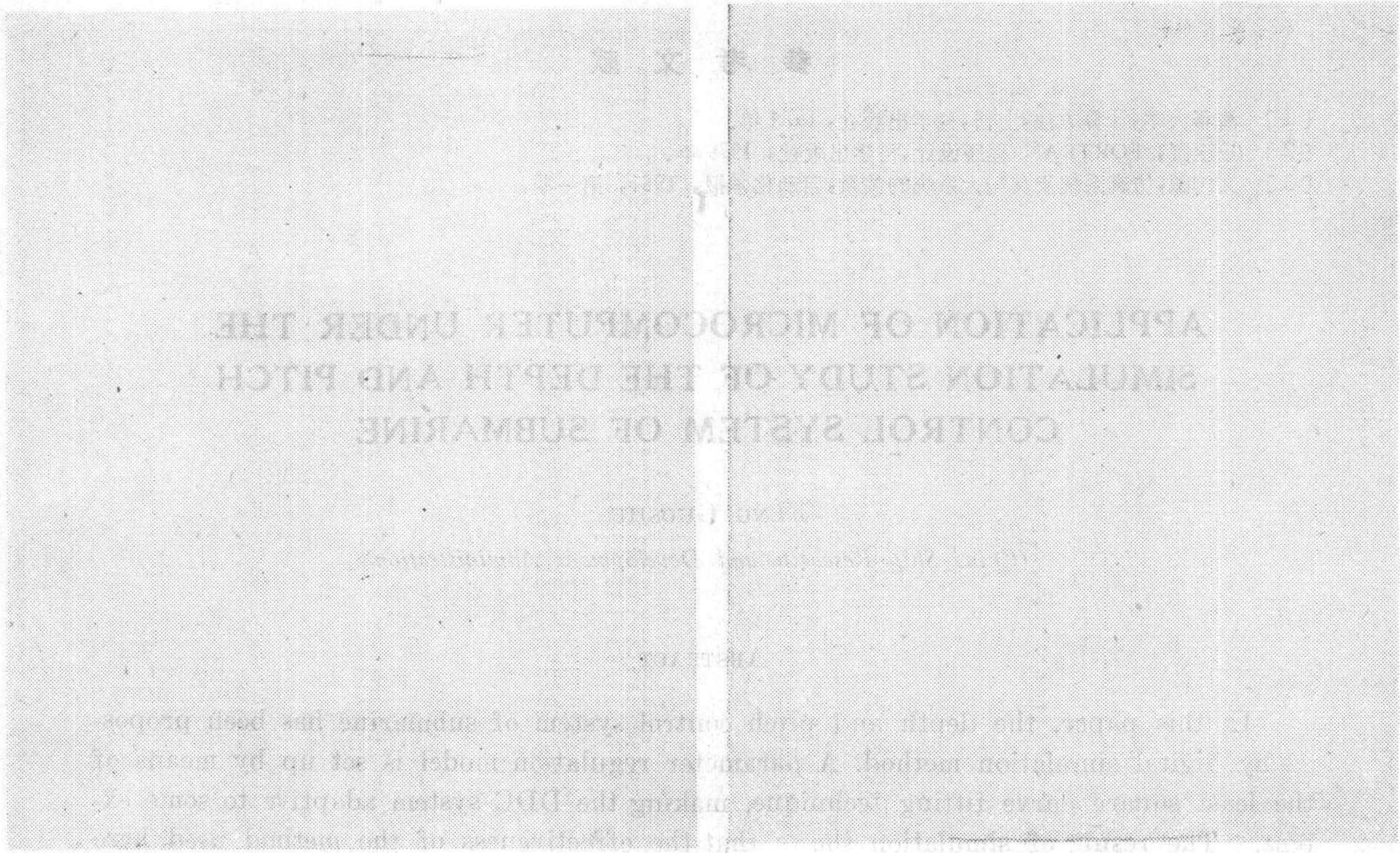
### 三、仿真计算结果

基本数据。键盘输入 10 米改变深度指令，18 节航速指令。打印出深度、纵倾、首舵和尾舵时间曲线如图 3 所示。深度变化 10 米，32 秒后稳态误差在 0.208 米以内；纵倾在  $0.2^\circ$  以内；过程平稳无振荡。最大纵倾角  $2.78^\circ$ ；首舵最大偏舵为  $-15.3^\circ$ ，一次反舵就衰减下来，实现最有效偏舵，即减少偏舵次数；尾舵最大偏舵  $11.3^\circ$ ，一次反舵又一次正舵  $+1^\circ$ 。深度改变 10 米时，纵倾适当，过渡过程较快，用舵量恰当，深度误差和纵倾误差较小，性能满足要求。

由于参数调整模型的建立，在艇的工作范围内系统具有一定自适应能力。仿真结果表明，仿真系统软件设计满足要求。在中断、保护等方面稍加完善，将有工程上的使用价值。

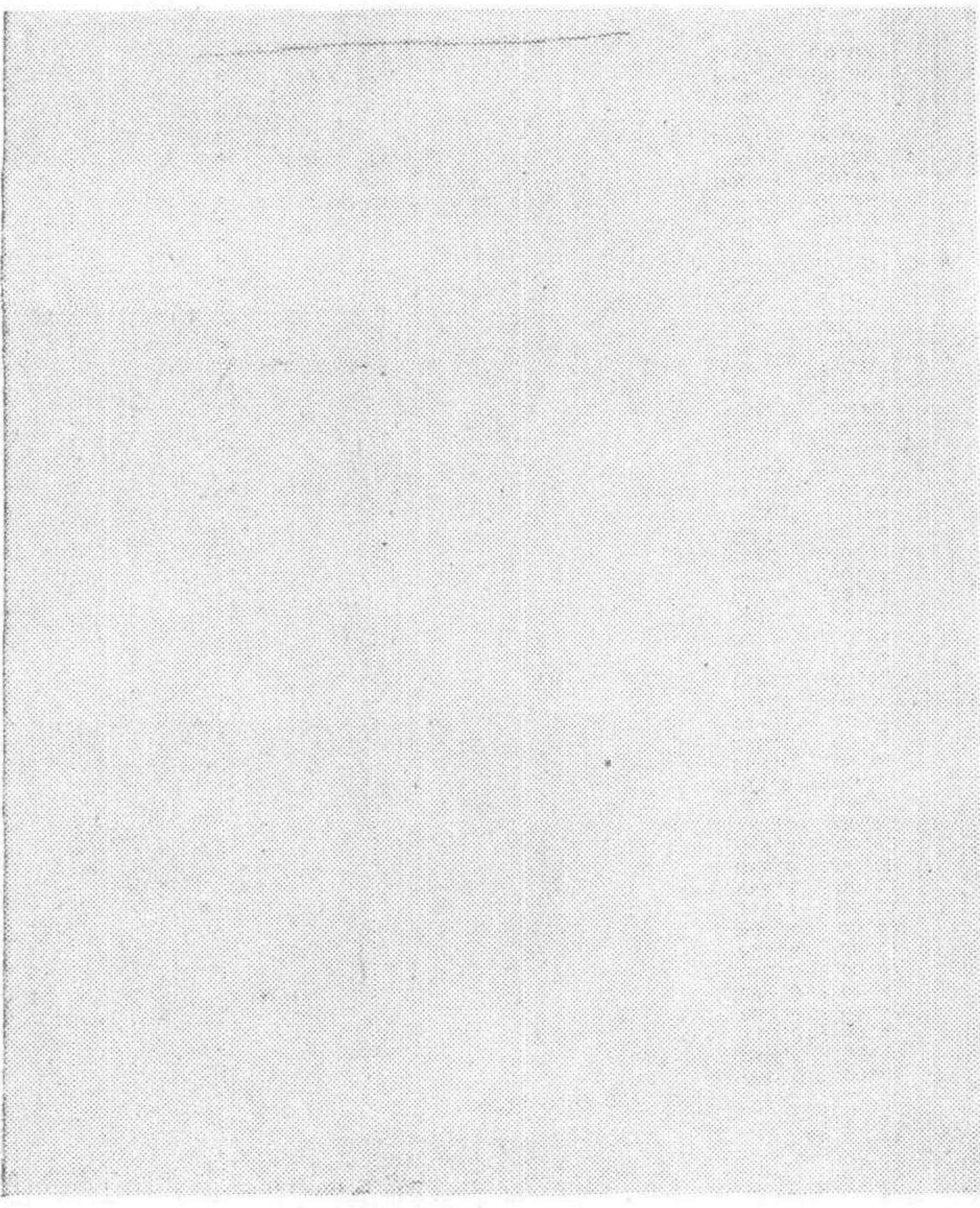
本文仿真结果和国外同类计算相接近，较符合潜艇实际控制状态。仿真程序较长，计算时间比实际时间长得多，未能实现实时仿真。



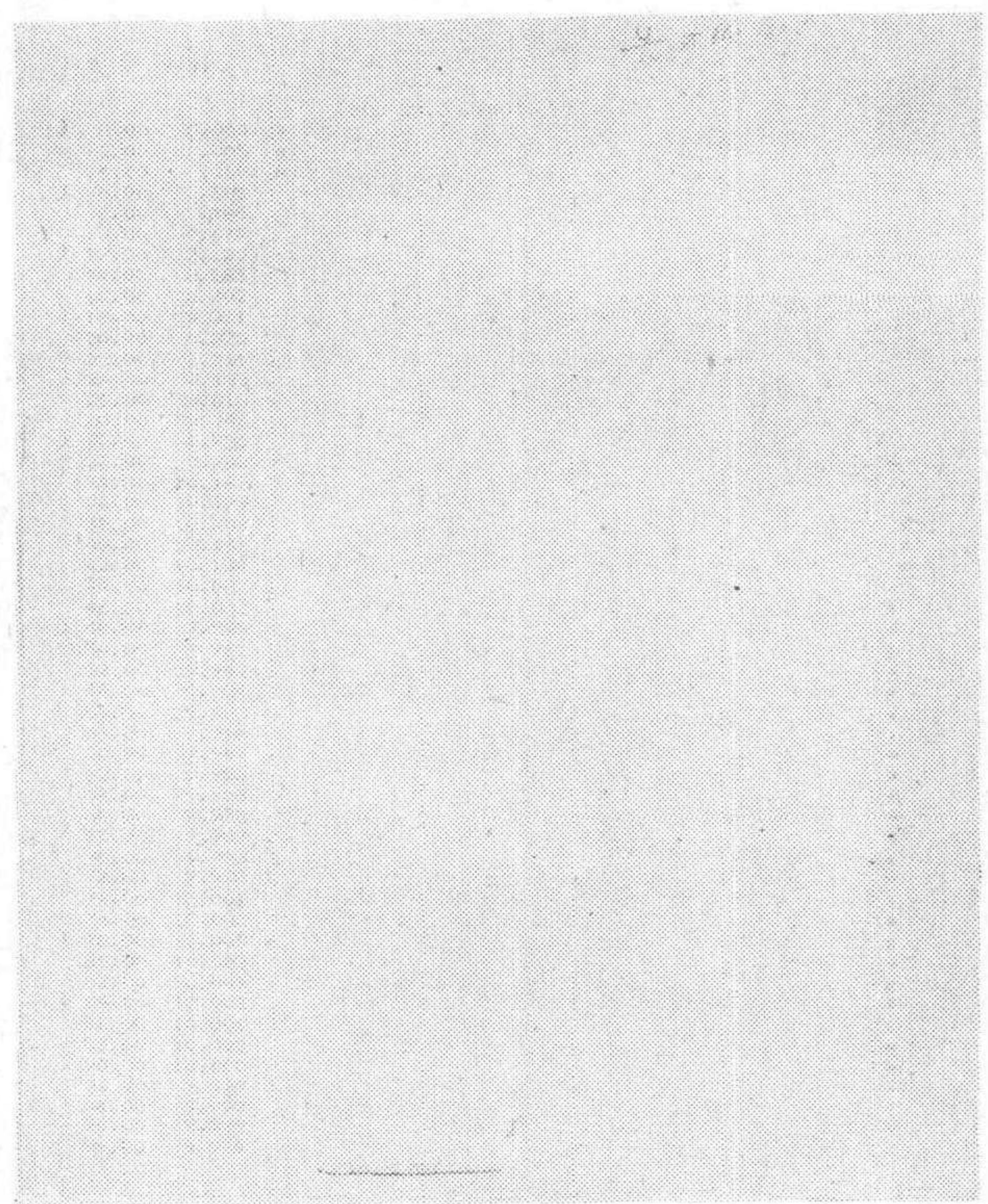


3.1, 深度曲线

3.2, 纵倾曲线



3.3, 首舵曲线



3.4, 尾舵曲线

图3 潜艇深度纵倾控制系统仿真结果



### 参 考 文 献

- [1] 清华大学, 计算方法, 上册, 科学出版社, 1974 年.
- [2] 丘玉圃, FORTRAN 程序设计, 科学出版社, 1979 年.
- [3] 文传源, 仿真系统及其与大系统的关系, 自动化学报, 1981, 第一期.

## APPLICATION OF MICROCOMPUTER UNDER THE SIMULATION STUDY OF THE DEPTH AND PITCH CONTROL SYSTEM OF SUBMARINE

FENG GUOSHU

*(China Ship Research and Development Administration)*

### ABSTRACT

In this paper, the depth and pitch control system of submarine has been proposed by digital simulation method. A parameter regulation model is set up by means of the least square curve fitting technique, making the DDC system adaptive to some extent. The result of simulation shows that the effectiveness of the method used here is evident. It can also be made reference for design of similar systems.