

微计算机控制的造波系统

张 铨 赵 晶 裴 润
兰朴森 王 彤
(哈尔滨工业大学)

摘 要

本文所述系统可在水池中产生单一频率规则波、周期不规则波及“随机波”，用于海洋、造船工程的模型试验，采用频域迭代法和成型滤波器法来产生模拟海浪。尽管这一控制系统是专为产生模拟海浪而设计的，但其控制方案也可直接用于其他测试技术领域，以产生“随机”信号。

一、引 言

随着造船与海洋工程的迅速发展，在水池中用规则波进行模型试验已不能满足要求。因此，产生预定谱成分的随机海浪这一问题正在本领域着手研究。为此，我们研制了一个微计算机控制的系统解决上述问题。

微计算机系统用以 Z-80 为 CPU 的 PS-85 组成，包括 256 k 内存、双磁盘驱动器、12 位 A/D、D/A 转换器、打印机与六笔绘图仪。

电液伺服系统用来驱动 8 个造波机，使压缩空气进入气室或由其中放出，从而在水池中产生模拟海浪。计算机用浪高仪 (WHM) 及 A/D 变换器采集浪高数据，而由计算机计算得出的驱动信号首先经 Butterworth 滤波器，以过滤无用的高频噪声。然后送至伺服系统以驱动造波机。这里用了两种方法产生模拟海浪：频域迭代法和成型滤波器法。

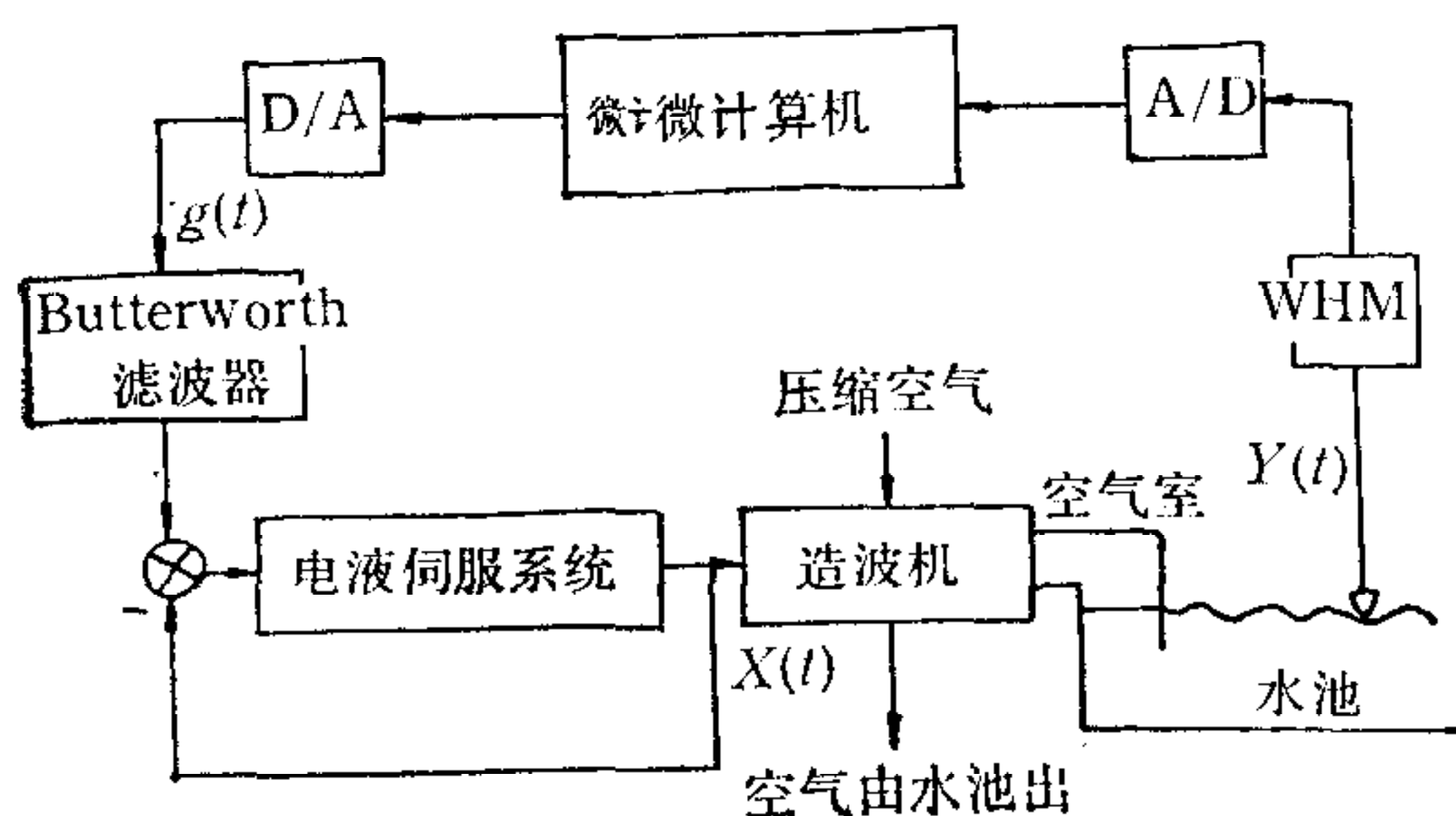


图1 海浪造波系统

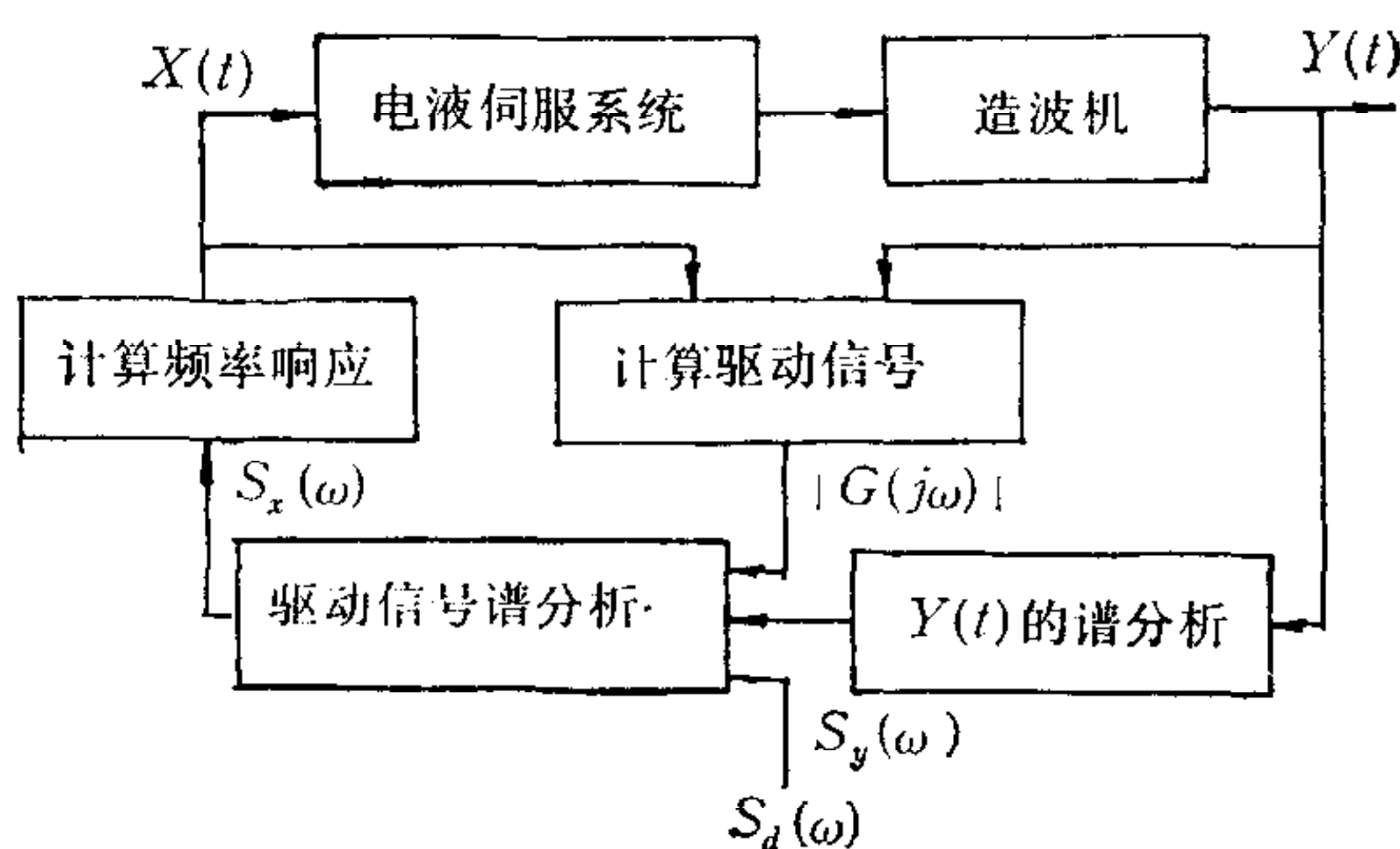


图2 频域迭代法原理图

二、频域迭代法

频域迭代法如图 2 所示。

由于电液伺服系统的快速性及 Butterworth 滤波器的低通滤波特性, 可以认为

$$g(t) \cong x(t).$$

如果忽略造波机的非线性特性, 则

$$S_y(\omega) = |G(j\omega)|^2 S_x(\omega), \quad (1-1)$$

其中, $S_x(\omega)$ —— $x(t)$ 的功率谱,

$S_y(\omega)$ —— $y(t)$ 的功率谱,

$G(j\omega)$ ——造波机的频率响应,

$$G(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}. \quad (1-2)$$

实际上在测试以前, $G(j\omega)$ 是未知的. 因此应预选一个 $G_0(j\omega)$ 做为初值. 当期望谱 $S_d(\omega)$ 给定以后, 由式(2-1)可得

$$S_x(\omega) = S_d(\omega) / |G_0(j\omega)|^2. \quad (1-3)$$

根据丹尼斯-皮尔逊公式, 可得

$$x(t) = \int_0^\infty \cos(\omega t + \varepsilon(\omega)) \sqrt{S_x(\omega)} d\omega, \quad (1-4)$$

其中 $\varepsilon(\omega)$ 是介于 0 与 2π 的随机数.

基于式(1-4), 驱动信号 $x(t)$ 可由 FFT 或数值计算得出.

既然 $G_0(j\omega)$ 是初选的, 因而 $y(t)$ 的频谱不可能十分接近期望谱 $S_d(\omega)$, 于是加以修正. 新的传递函数可用下式求出:

$$|G_N(j\omega)| = \sqrt{\frac{S_y(\omega)}{S_x(\omega)}}. \quad (1-5)$$

式(1-5)给出了修正后的传递函数, 用它可以校正驱动信号的频谱. 用新的传递函数, 可以再一次运行程序, 以便获得新的驱动信号. 这可以一直继续下去, 直到得到满足精度要求的频谱. 然后, 驱动信号的时间历程便存入数据文件, 在实验时操作人员即可调用该数据文件, 产生满足期望谱的模拟海浪. 仿真实验结果如图 3 所示.

用频域迭代法可以产生仿真海浪的周期不规则波. 当谐波数目很大时, 仿真海浪可几乎被认为是“随机”的. 但这要花费较多的时间来计算时间历程, 并要求有较大的内存来贮存时间历程的数据文件. 为了克服上述不足, 采用了带有伪随机信号 (PRBS) 发生器的成型滤波器法.

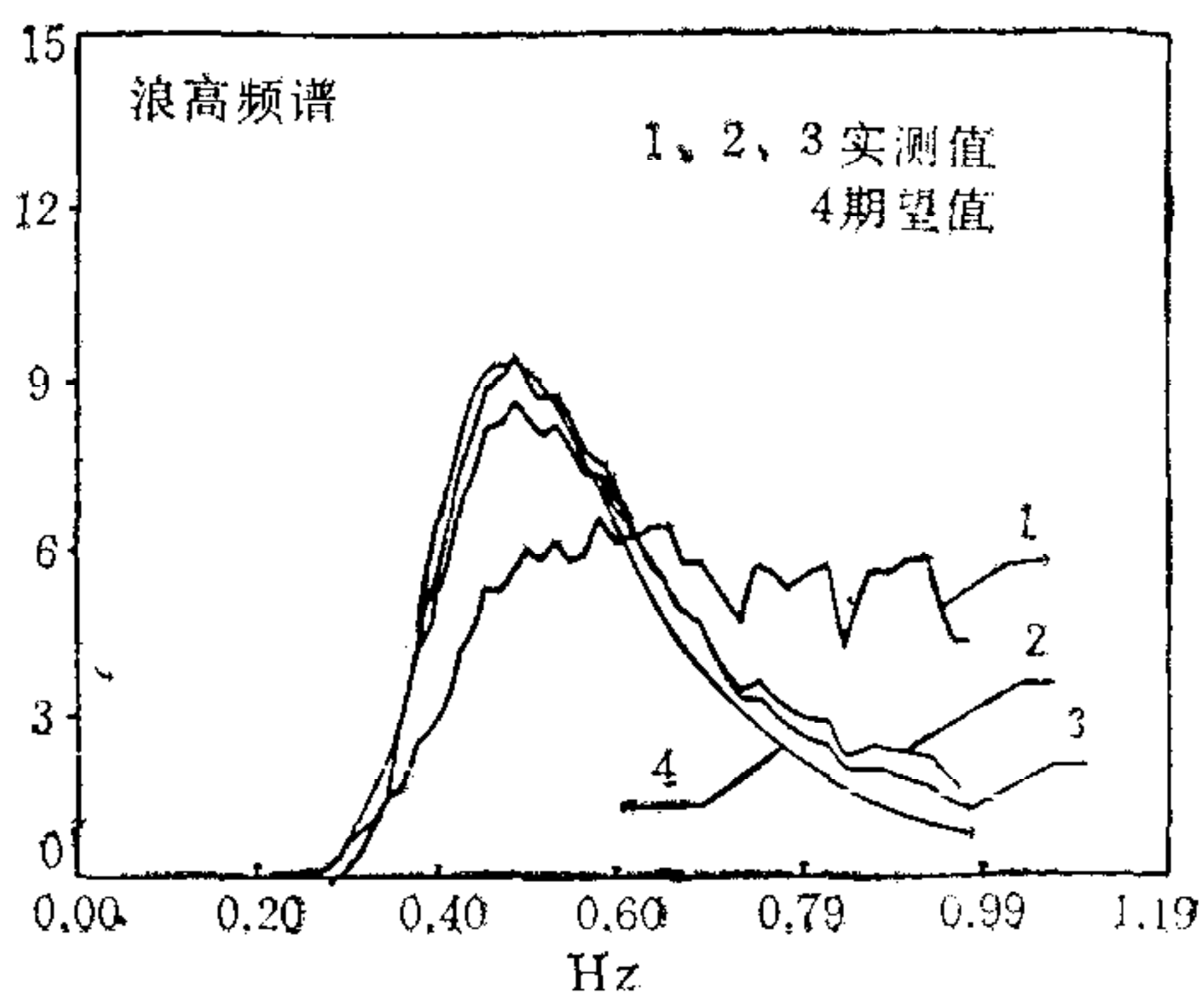


图 3 仿真结果

三、成型滤波器法

这一方法可以产生“随机”海浪，其核心部分是用软件实现的伪随机信号发生器和数字成型滤波器。

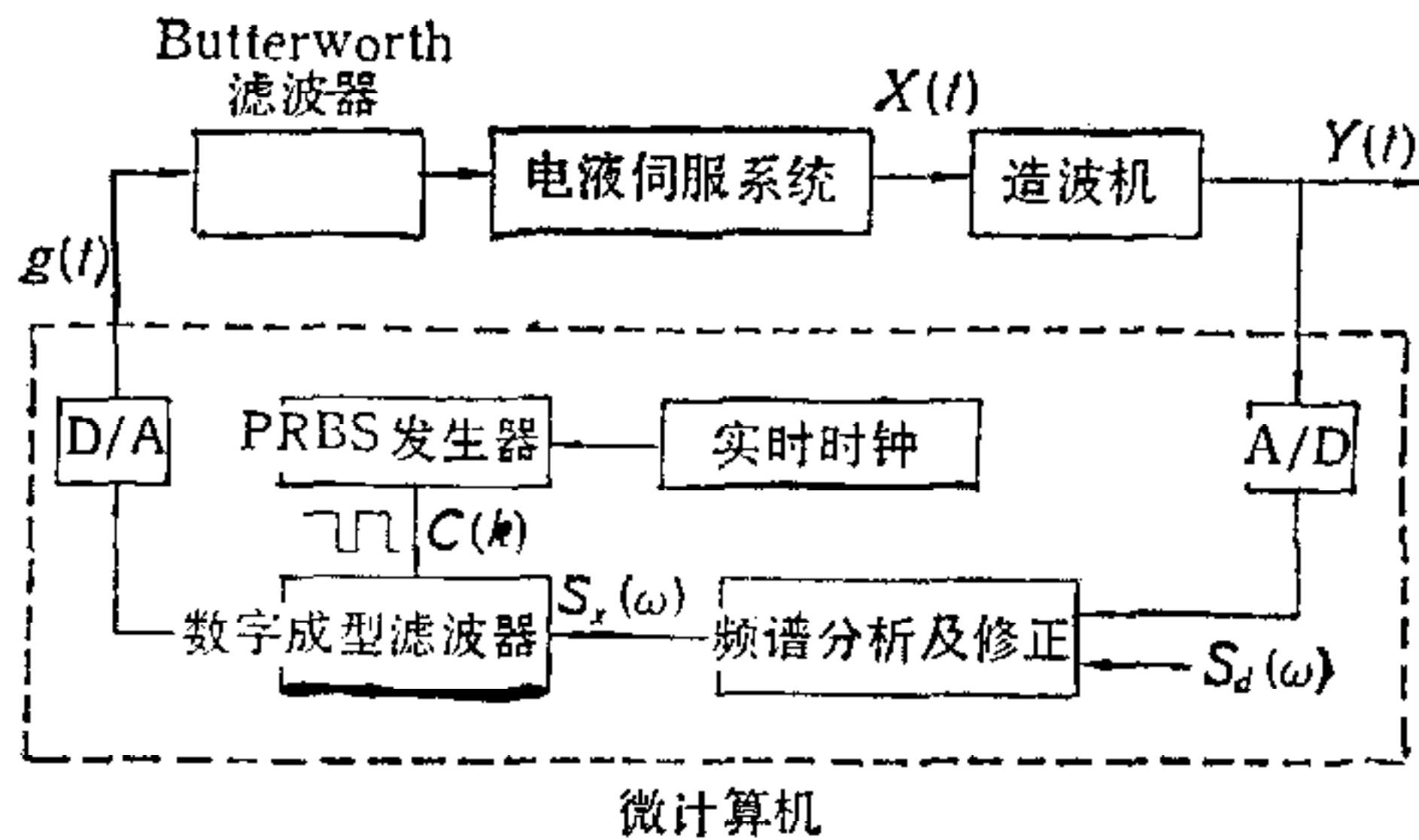


图4 成型滤波器法原理图

就可准确的得到具有要求频谱的信号。然后经一个低通 Butterworth 滤波器，滤掉无用的高频分量，即可用来驱动电液伺服系统，从而在水池中产生具有预定频谱的海浪。

2. 软件实现的成型滤波器

如果造波机的频率响应 $G_0(j\omega)$ 已选定，则驱动信号的功率谱 $S_x(\omega)$ 便可由式(1-2)得出。为了计算幅值谱，可将 $S_x(\omega)$ 的截止频率 f_{\max} 分为 N 份，分辨率即为 $\Delta f = f_{\max}/N$ ，则 $S_x(\omega)$ 的幅值谱为

$$S_{xm}(\omega_k) = \sqrt{2\Delta f S_x(\omega_k)}, \quad (2-1)$$

其中 $k = 0, 1, \dots, N$ 。

至于相位，可有不同的选择，例如 0° 或 $\pi/2$ 。

成型滤波器的频率响应定义做

$$\begin{aligned} H(j\omega) &= \alpha(\omega) + j\beta(\omega) \\ &= |H(j\omega)| e^{j\theta(\omega)}. \end{aligned} \quad (2-2)$$

如果 $|H(j\omega)| = |H(-j\omega)| = S_{xm}(\omega)$ ，且

$$\theta(\omega) = \theta(-\omega),$$

$$|\theta(\omega)| = \pi/2,$$

则 $\alpha(\omega) = 0$ ，

于是成型滤波器的脉冲传递函数为

$$h(n) = \sum_{k=0}^{M-1} H(\omega_k) e^{j\omega_k n}, \quad (2-3)$$

$$n = 0, 1, \dots, M-1,$$

$$\omega_k = 2\pi k/M.$$

PRBS 发生器的输出为 C_i ，($i = 0, 1, \dots$)，则成型滤波器的输出为

$$x_n = \sum_{k=0}^{M-1} h_k C_{n-k}, \quad n = 0, 1, \dots. \quad (2-4)$$

由于 C_i 只可能为“0”或“1”，则式(2-4)只要求进行逻辑判读及相加运算。因而可在实时控制中节省大量时间。这也是选用 PRBS 发生器的另一重要原因。

3. 频谱修正

由于造波机的频率响应 $G_0(j\omega)$ 是事先选定的，因此它一定不同于实际值 $G(j\omega)$ 。结果，实际的海浪谱与期望谱之间一定有区别。因此必须对驱动信号加以修正。修正后的频谱记为 \tilde{S}_{xk} ，

$$\tilde{S}_{xk} = S_{xk} + \bar{W}_k(S_{\alpha k} - S_{0k}) \quad (2-5)$$

其中， S_{xk} ——造波机输入频谱，

$S_{\alpha k}$ ——海浪期望谱，

S_{0k} ——实际的海浪谱，

\bar{W}_k ——权系数。

经过几次修正以后，水池中海浪的实际频谱即可相当接近期望频谱。仿真结果如图 5 所示。

为了实现该系统，同时使用了汇编语言与 FORTRAN 语言。这样即可兼顾汇编语言较强的实时功能和 FORTRAN 语言的计算能力。

这一工作得到中国船舶研究中心领导和同志们的支持，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Anderson, C. H. and Johnson, B., A Computer Controlled Wave Generation System For the US Naval Academy, Proc. 18th American Towing Tank Conf., 1977.
- [2] Funke, R., Random Wave Signal Generation by Minicomputer, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng.
- [3] Kimura, A. and Iwagaki, Y., Random Wave Simulation in A Laboratory Wave Tank, Proc. 15th Conf. on Coastal Eng., 1976.

A MICROCOMPUTER BASED WAVE GENERATION SYSTEM

ZHANG QUAN ZHAO JING PEI RUN

LAN PUSEN WANG TONG

(Harbin Institute of Technology)

ABSTRACT

The system, which consists of an electro-hydraulic servosystem and a microcomputer-based controller, is used to generate single frequency, periodic and random waves in a water tank. Two approaches, the recursive approach and the shaping filter approach, are used.

Although the system is specially designed for simulated ocean wave generation, the control scheme can also be directly applied to generating random signals in many other fields of test engineering.

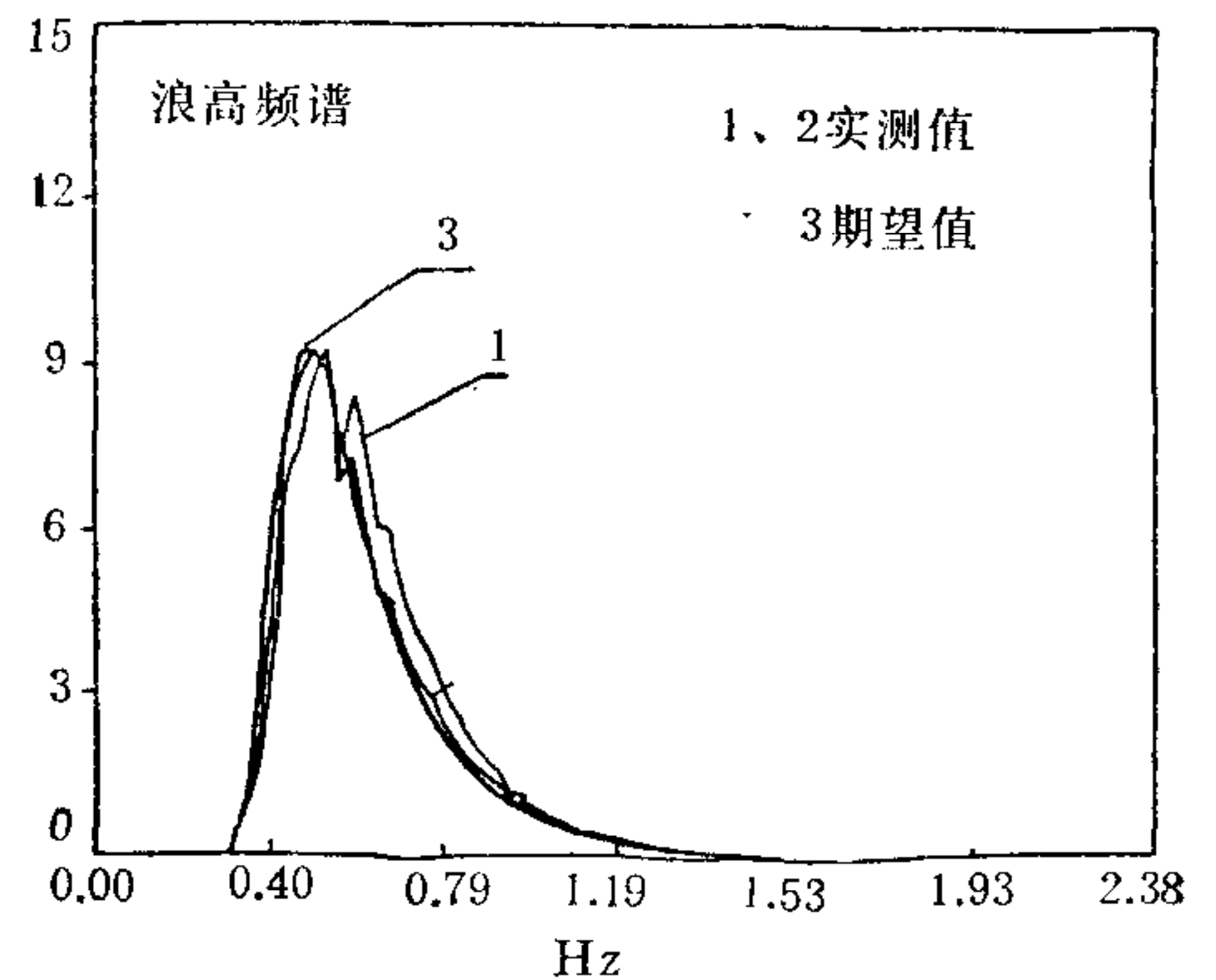


图 5 仿真结果