

桥梁结构实验实验报告

土木工程学院

桥梁工程系

胡鹏天

060985

简支梁自振特性参数测定实验实验报告

一. 实验目的

1. 学习用自由振动法和强迫振动法测定结构物频率、振型、阻尼比等自振特性参数的方法。
2. 了解电磁激振，加速度计测振两套仪器的功能和使用。
3. 初步了解用模态试验法测定测自振特性参数的方法。

二. 实验仪器和设备

| | |
|-------------------|-----|
| JZ-1 型电动式激振器 | 1 台 |
| ZJY-601A 型振动教学实验仪 | 1 台 |
| YJ-2 压电式加速度计 | 2 枚 |
| DASP 动态信号采集仪 | 1 套 |

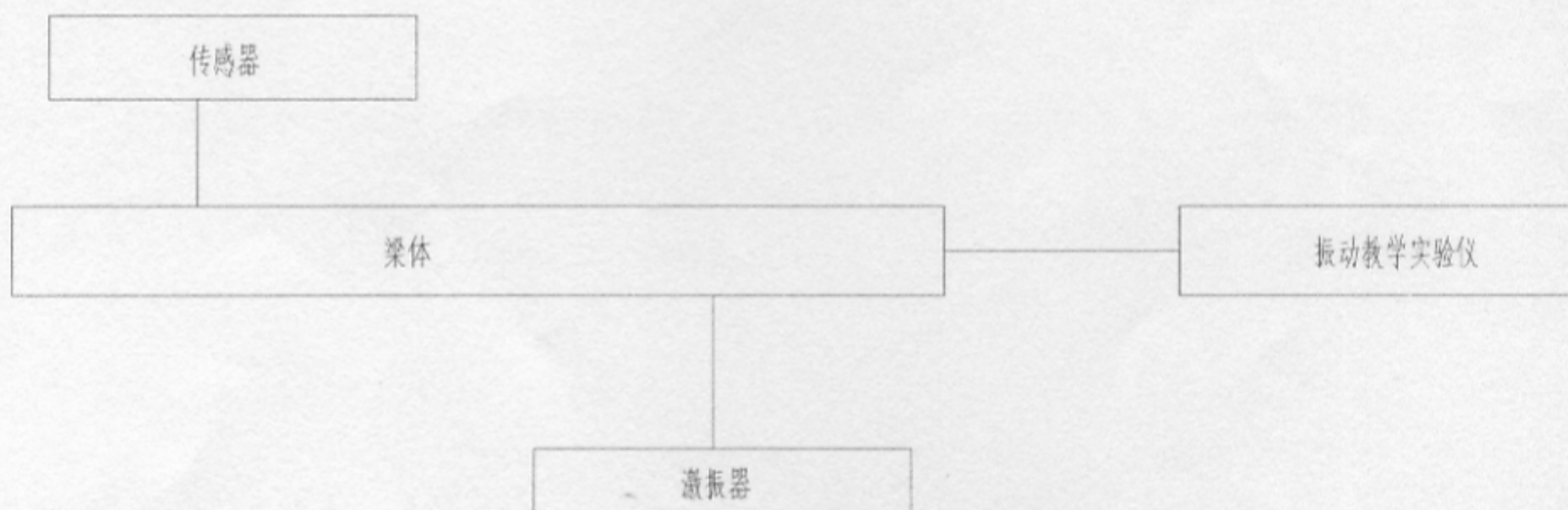


图 1

三. 实验内容和步骤

(1) 强迫振动法

① 频率测量:

逐级调拨振教仪上的频率调节钮，使激振器输出力推动梁体振动，并观察分析仪上的信号输出，寻找共振峰值，在确为最大幅值处，记录下相应频率，并观察、确定每个频率对应的各测点相位。如此继续，找出 2、3 频率。

② 振型测试:

将传感器从梁上取下, 只剩一枚, 继续做振型测试。按照前述方法, 在各共振频率处, 固定震源的频率, 幅值不变, 沿梁长度布点方向测量幅值, 从 f_1 、 f_2 到 f_3 为止, 并记录各相应值, 绘制振型曲线。

③ 绘制共振曲线:

用 1 个传感器记录共振频率 f_1 (或者 f_2 、 f_3) 附近的频率响应。具体以 0.5 赫兹为间隔, 在共振频率前后扫描, 并记录下相应信号的频率和幅值。以频率为横坐标, 输出幅值 A/f^2 为纵坐标, 绘制共振曲线。在曲线上用半功率带宽法求阻尼测量。

(2) 自由振动衰减法

以小橡皮锤在梁跨中附近单击, 记录梁的自由振动曲线。

重复记录三次。分析梁的频率和阻尼比。

四. 实验数据记录与分析

(1) 等截面简支梁的前三阶频率计算公式:

$$\omega_n = n^2 \pi^2 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} \quad n=1,2,3$$

ω_n 为各阶圆频率, EI 为抗弯刚度, m 为单位长度质量, L 为梁长。

梁的截面几何尺寸为 $50 \times 8 \text{mm}^2$, 梁长为 680mm

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{计算得 } I=2133.33 \text{mm}^4$$

ω_1 实测值 39.9Hz ω_2 实测值 157.6Hz ω_3 实测值 363Hz

(2) 振型曲线

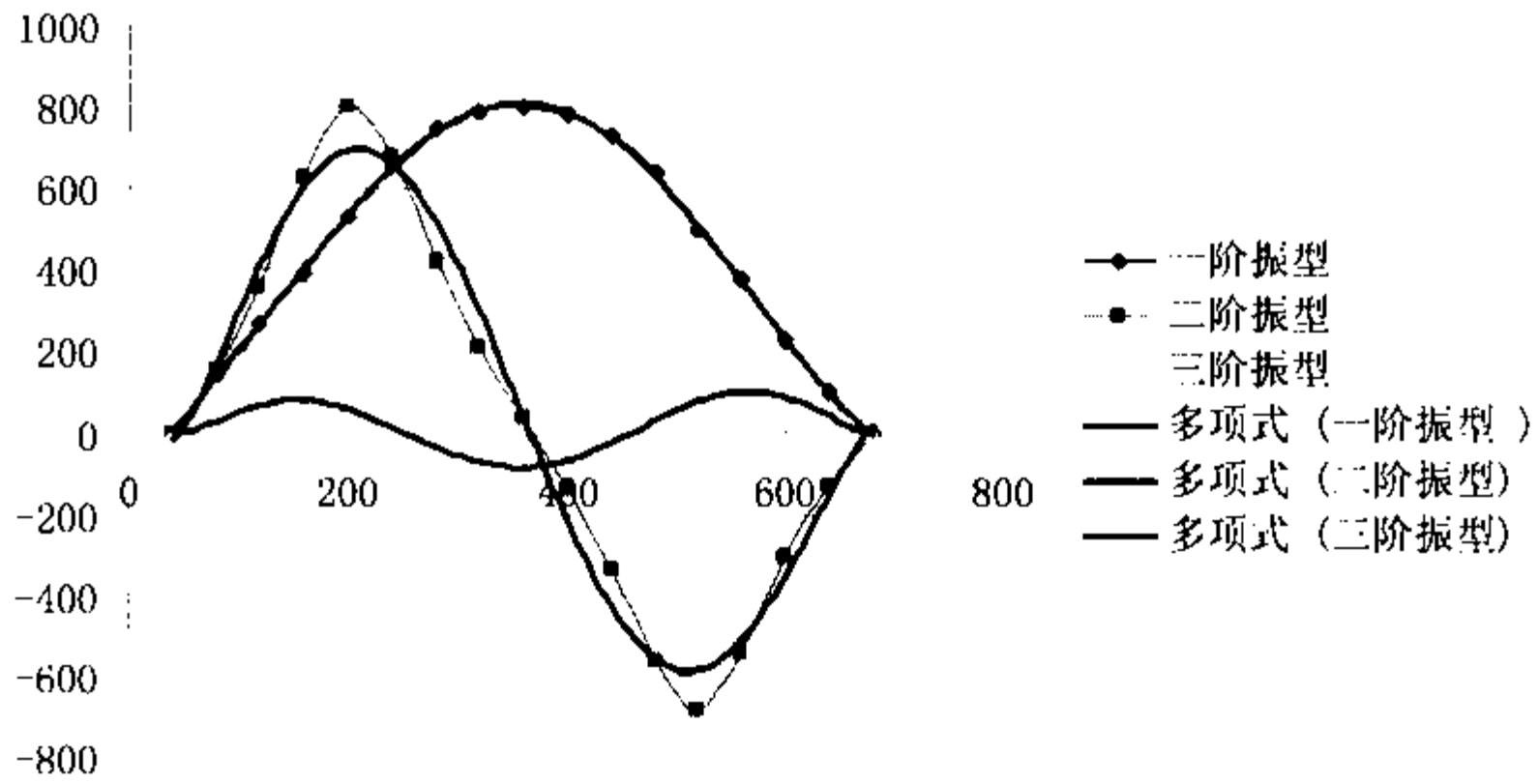
实验数据记录如下

表 1

| 点号 | 位移 (mm) | 一阶振型幅值 | 二阶振型幅值 | 三阶振型幅值 |
|----|---------|--------|--------|--------|
| 1 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 80 | 145 | 150 | 28 |
| 3 | 120 | 265 | 360 | 70 |
| 4 | 160 | 390 | 630 | 85 |
| 5 | 200 | 530 | 800 | 46 |
| 6 | 240 | 660 | 680 | 10 |
| 7 | 280 | 750 | 420 | -21 |
| 8 | 320 | 790 | 210 | -67 |
| 9 | 360 | 800 | 35 | -87 |
| 10 | 400 | 780 | -135 | -68 |
| 11 | 440 | 730 | -340 | -37 |
| 12 | 480 | 640 | -565 | 40 |
| 13 | 520 | 500 | -685 | 77 |
| 14 | 560 | 375 | -540 | 106 |
| 15 | 600 | 230 | -305 | 88 |
| 16 | 640 | 100 | -130 | 39 |
| 17 | 680 | 0 | 0 | 0 |

将数据输入 EXCEL 并用其自带的多项式趋势线进行回归拟合，制图如下

图 2



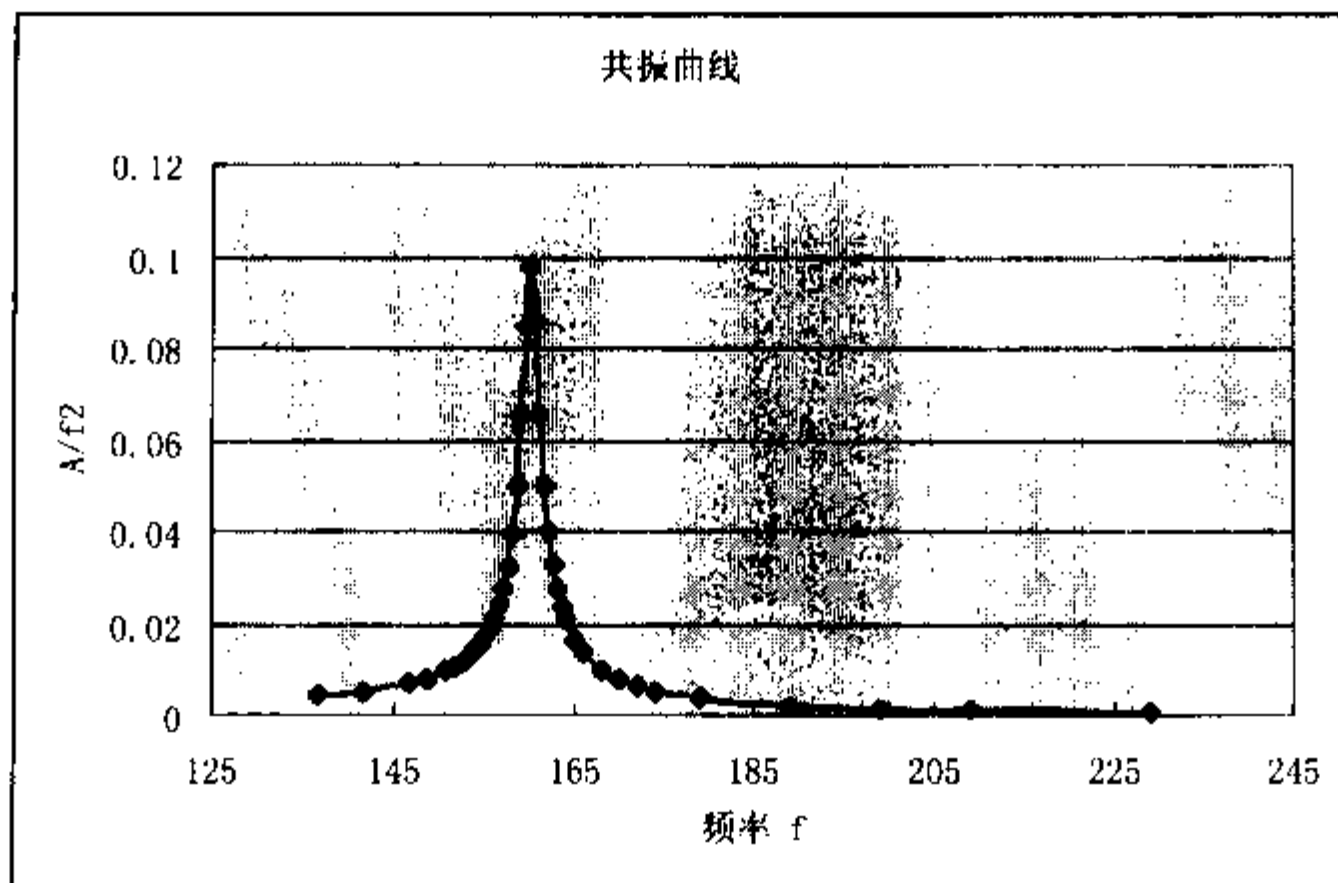
good

(3) 绘制共振曲线

其测量数据见附录 1

绘制共振曲线图 3

图 3



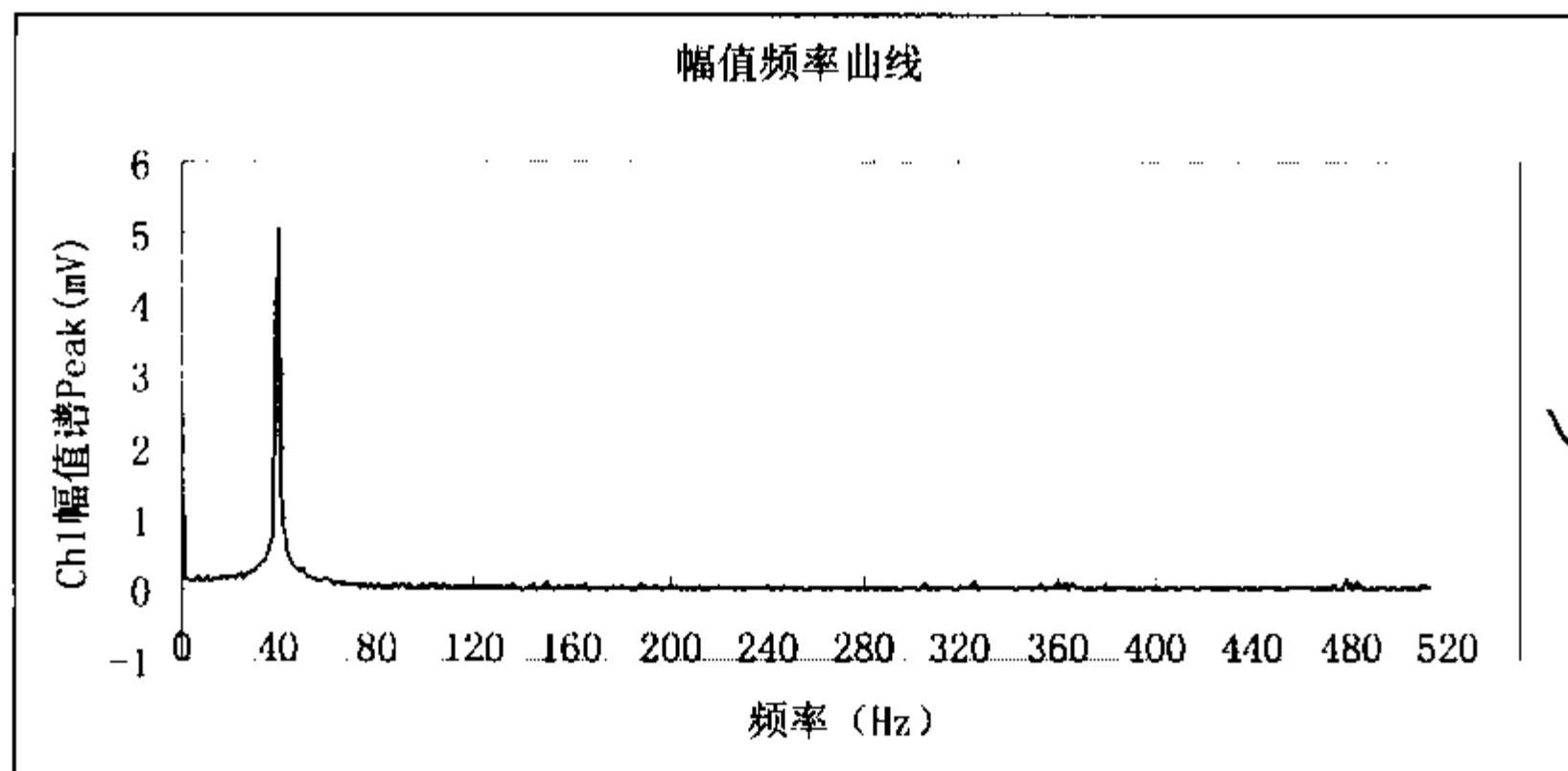
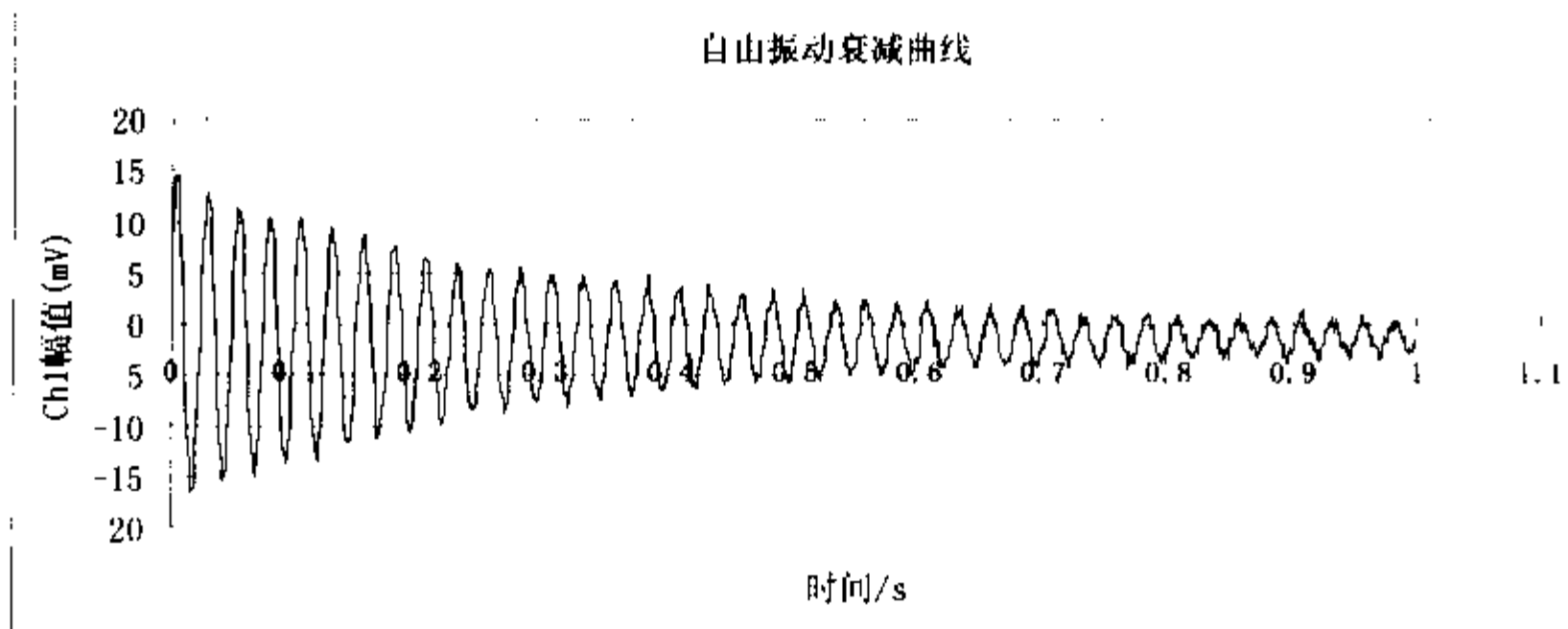
A/f^2 的最大值为 0.097534, 其 0.707 倍处为 0.06895, 对应的 f 值为 159.2Hz 和 160.7Hz

依据半功率带宽法求解阻尼比公式: $\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f}$ 得 $\zeta = 4.68 \times 10^{-3}$ 。

(4) 求自由振动下的振型曲线和阻尼比

将 3 组自由振动的实测数据分别绘制成自由振动衰减曲线如下：

第一组



数据以及图表分析：

I. 在幅值频率曲线中，可以分析出其中的一阶峰值频率接近于 40Hz，但是由于初始激振过小，在另外两阶频率处的幅值谱较小，在幅值频率曲线中的显示不明显。

II. 求解实测频率和阻尼比

i 求解频率

$$f = \frac{m}{L_m}$$

在 $t=0\sim 0.3s$ 的区间内取间隔 10 个较为稳定的波的波峰点为 (0.029297, 12.817383) 和 (0.256836, 5.493164), $m=10$, $L_m=0.227539s$, $f_1=43.94Hz$;

在 $t=0.3\sim 0.6s$ 的区间内取间隔 10 个较为稳定的波的波峰点为 (0.3307078, 4.882813) 和 (0.554688, 2.441406), $m=10$, $L_m=0.22461s$, $f_2=44.52Hz$;

在 $t=0.6\sim 1.1s$ 的区间内取间隔 10 个较为稳定的波的波峰点为 (0.606445, 2.441406) 和 (0.833008, 0.610352), $m=10$, $L_m=0.226563s$, $f_3=44.14Hz$;

$\bar{f}=44.2Hz$, ω_1 实测值 39.9Hz, 相对误差为 10.78% ;

分析原因是缺少记录仪器给定的时标 T_b 和标距 L_b 以及仪器测量精度导致的误差。

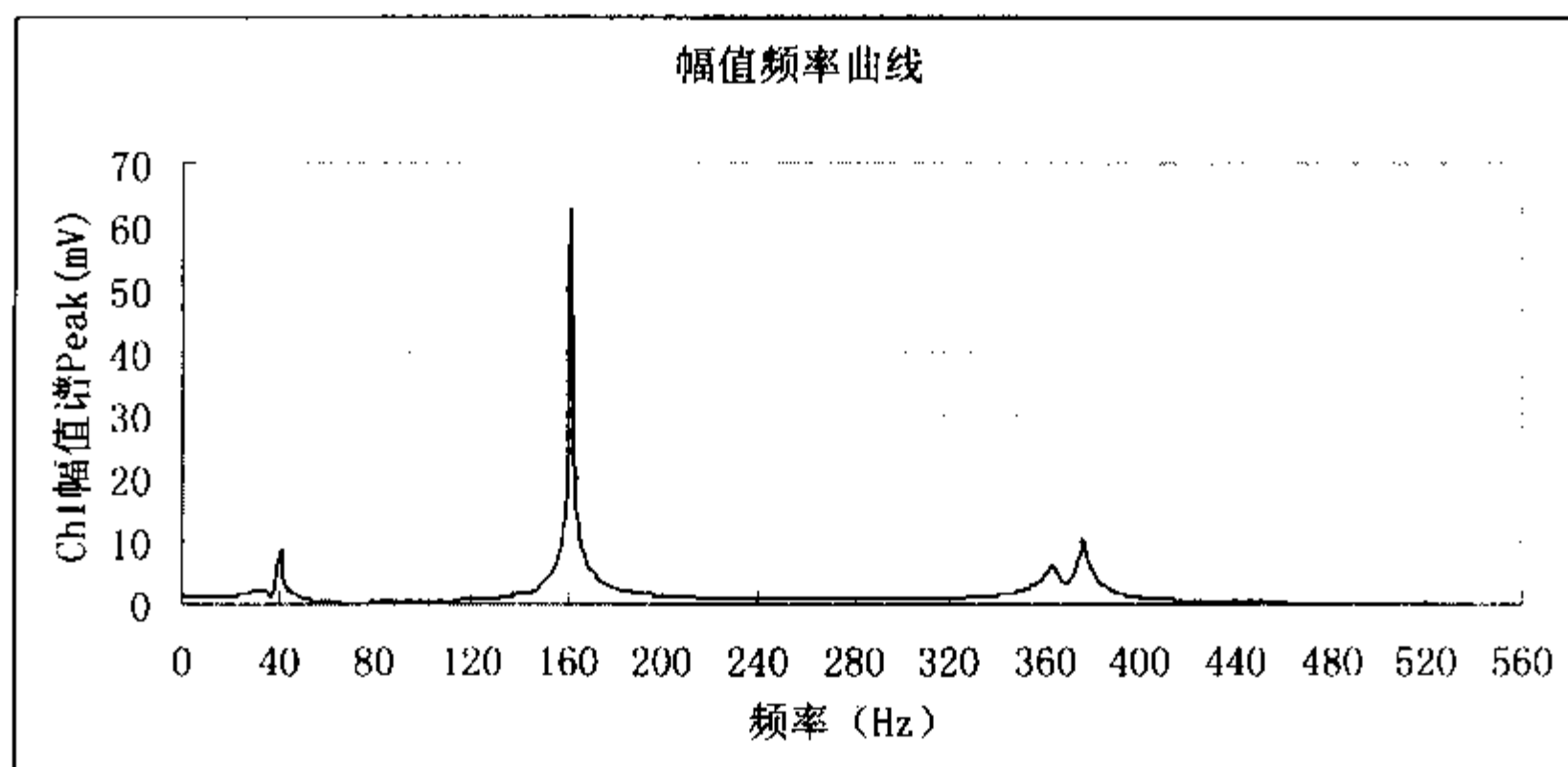
ii 求解阻尼比

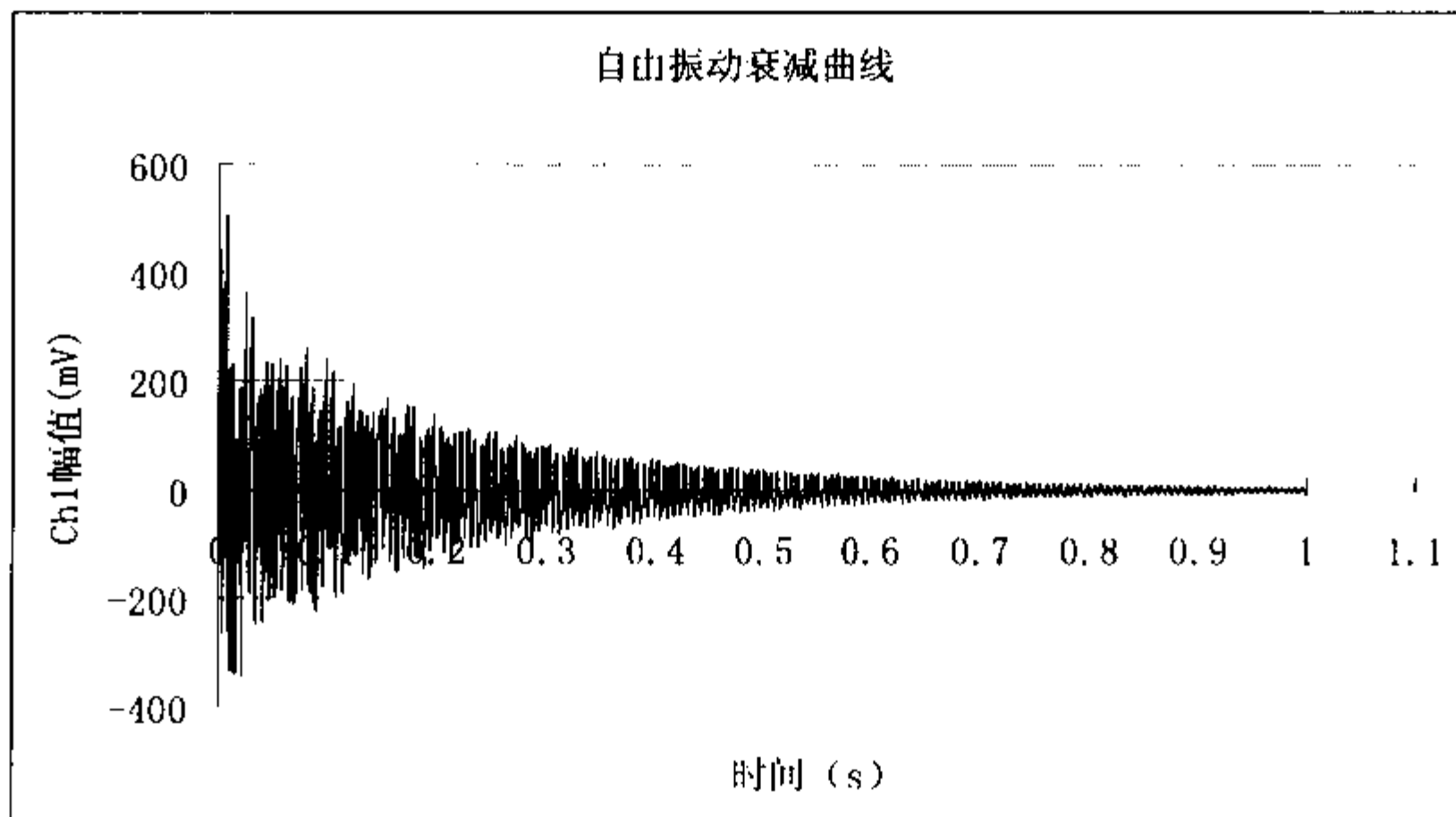
$$\zeta = l_n \frac{y_n}{y_{n+m}} \frac{1}{2\pi}$$

利用以上三组数据, 求得 $\zeta_1=0.0845$ $\zeta_2=0.0715$ $\zeta_3=0.1442$

ζ_3 的值偏差较大, 舍去, $\bar{\zeta}=0.078$, 此值与经验值相比是偏大的, 分析原因是此方法估算阻尼比的精度在低频阶段存在误差较大的问题, 也有可能是仪器测量精度不足导致误差较大。

第二组





数据以及图表分析:

I. 在幅值频率曲线中, 可以分析出峰值频率为 40Hz、162Hz 以及 376Hz, 与 ω_1 实测值 39.9Hz、 ω_2 实测值 157.6Hz、 ω_3 实测值 363Hz 的相对误差都较小, 分别为 0.25%、2.79%、3.58%, 说明吻合的相当好。

II. 求解实测频率和阻尼比

i. 求解频率

$$f = \frac{m}{L_m}$$

在 $t=0.1\sim 0.3s$ 的区间内取间隔 10 个较为稳定的波的波峰点为 (0.136719, 138.549805) 和 (0.192383, 110.778809), $m=10$, $L_m=0.055664s$, 求得 $f_1=179.65Hz$;

在 $t=0.3\sim 0.6s$ 的区间内间隔 10 个较为稳定的波的波峰点为 (0.353516, 56.152344) 和 (0.408203, 44.555664), $m=10$, $L_m=0.054687s$, 求得 $f_2=182.86Hz$;

在 $t=0.6\sim 1.0s$ 的区间内间隔 10 个较为稳定的波的波峰点为 (0.613281, 14.953613) 和 (0.65625, 14.648438), $m=10$, $L_m=0.042969s$, 求得 $f_3=232.73Hz$;

f_3 的值较大, 不符合实际情况, 故舍去, 取前两种情况的 f 平均值为 181.26Hz, 与 ω_2 实测值 157.6Hz 的相对误差为 15%, 误差较大, 分析原因是缺少记录仪器给定的时标 T_b 和标距 L_b

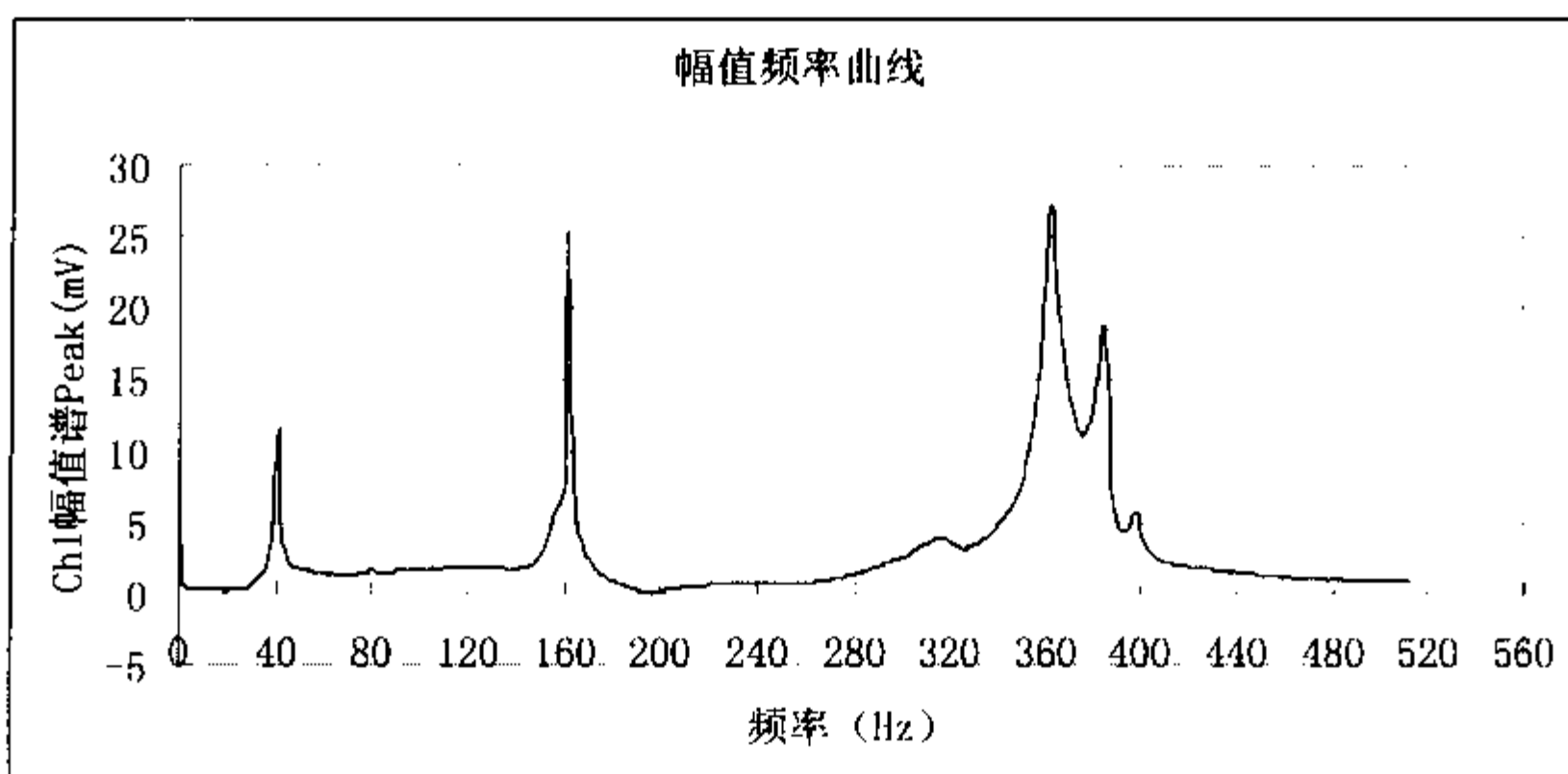
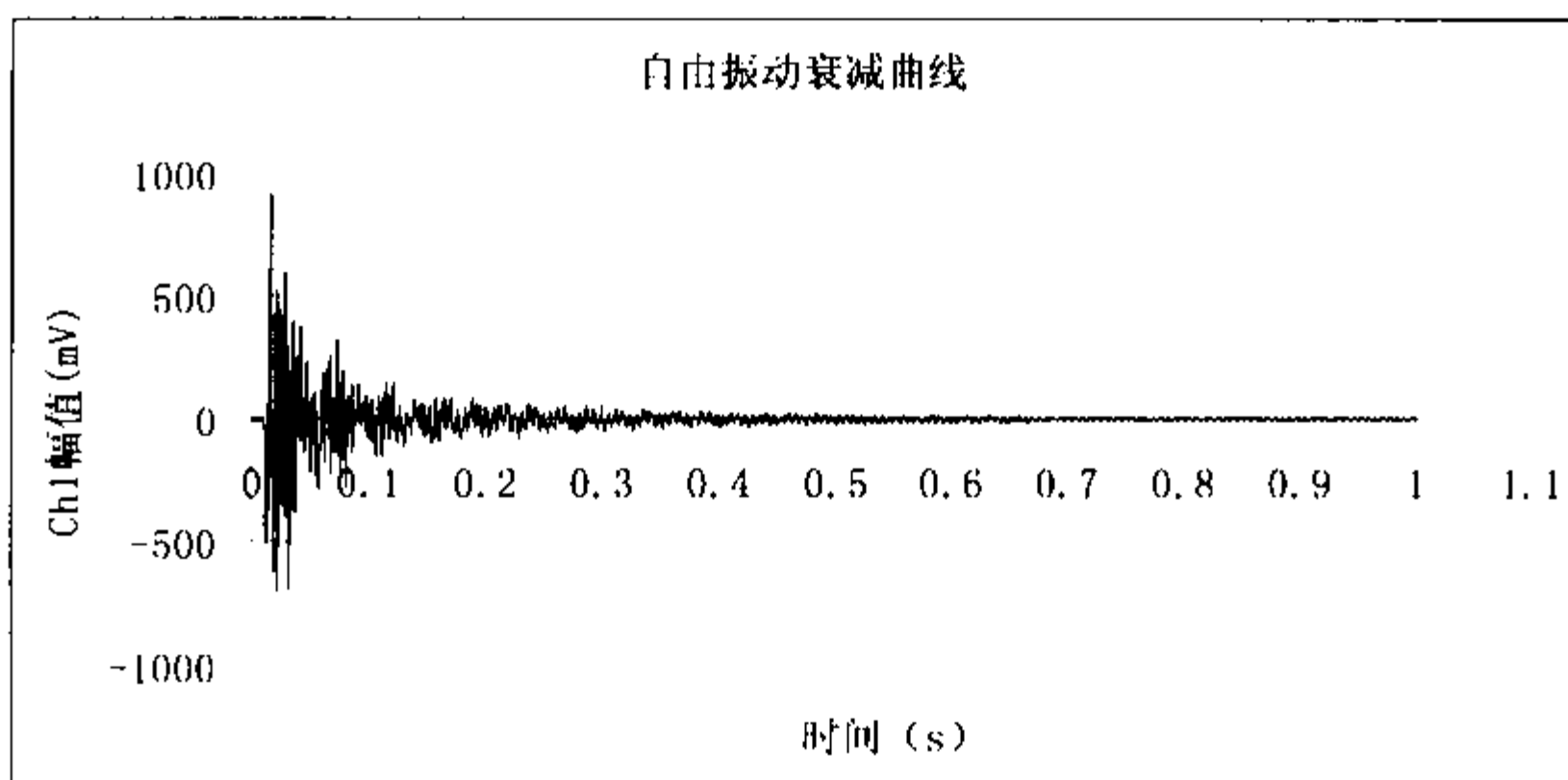
以及仪器精度的误差。

ii. 求解阻尼比

$$\zeta = l_n \frac{y_n}{y_{n+m}} \frac{1}{2\pi}$$

利用以上三个数据, $\zeta_1 = 0.01108$ $\zeta_2 = 0.01097$ $\zeta_3 = 0.00698$ 求得 $\bar{\zeta} = 0.00968$

第三组



数据以及图表分析:

I.在幅值频率曲线中,可以分析出峰值频率为 40.9Hz、162 Hz 和 362.2 Hz,与 ω_1 实测值 39.9Hz、 ω_2 实测值 157.6Hz、 ω_3 实测值 363Hz 的相对误差都较小,分别为 2.51%, 2.79%, 0.22%, 吻合的相当好,说明用此法测量其共振频率精度较高。

II.求解实测频率和阻尼比

i 求解频率

$$f = \frac{m}{L_m}$$

观察此自由振动衰减曲线,衰减速度很快,在 0.1s 以后的衰减曲线形状极不规律,故在 $t=0\sim 0.1s$ 的区间内取间隔 10 个较为稳定的波的波峰点为 (0.014648, 602.722168) 和 (0.039063, 243.520272), $m=10$, $L_m=0.024415s$, 求得 $f_1=409.58Hz$

与 ω_3 实测值 363Hz 的相对误差为 12.83%,误差较大,分析原因是缺少记录仪器给定的时标 T_b 和标距 L_b 以及仪器精度的误差,另外,取值的组数只有一组,代表性较差。还有一个原因是此曲线衰减的速度极快,而采样的频率较低,使得求解频率的数据误差精度较低,产生了较大的误差。

ii 求解阻尼比

$$\xi = l_n \frac{y_n}{y_{n+m}} \frac{1}{2\pi}$$

利用以上得数据, $\xi = 0.0096$,如上分析,误差亦与此自由振动衰减曲线的衰减速度过快、取样数过少和采用此方法求阻尼比的精度有关。

(5) 综合分析

综上实验结果, $\bar{\xi}_1 = 0.078$, $\bar{\xi}_2 = 0.00968$, $\bar{\xi}_3 = 0.0096$, $\bar{\xi}_1$ 偏离较大,舍去,可以认为 ξ 的值为后两者的平均值 0.00964。

五. 实验结论:

自由振动法和强迫振动法测量构件的自振特性参数,测量共振频率的精度较高,但是在自由振动时,受到衰减速度和采样速度和精度的影响,推得的共振频率和阻尼比的精度较差,

误差较大，特别是在衰减后期的误差更大。

另外，用半功率带宽法求结构阻尼比，一般认为，对各阶频率靠的不是很近的情况下，精度较高，此构件的 $\omega_1=39.9\text{Hz}$ ， $\omega_2=157.6\text{Hz}$ ， $\omega_3=363\text{Hz}$ ，可以认为计算而得的 $\zeta=4.68\times 10^{-3}$ 是比较精确的。

六. 实验的改进:

1. 以适当增加采样频率值，以解决构件在自由振动时由于衰减过快而产生的衰减曲线不规则、精度较低的问题。
2. 细做好实验前的标定，在实验过程中尽量做到安静，不对实验仪器和实验台进行干扰、碰撞，使得测量的结果更接近于真实值。

附录 1:

在梁上的第五点布置传感器测量幅值，在 $\omega_2=157.6\text{Hz}$ 附近调节频率值，数据如下:

| 频率值(Hz) | 幅值 | 频率值(Hz) | 幅值 |
|---------|------|---------|------|
| 136.6 | 83 | 160.1 | 2500 |
| 141.6 | 110 | 160.6 | 2210 |
| 146.6 | 152 | 161.1 | 1710 |
| 148.6 | 178 | 161.6 | 1310 |
| 150.6 | 217 | 162.1 | 1050 |
| 151.6 | 242 | 162.6 | 870 |
| 152.6 | 275 | 163.1 | 740 |
| 153.6 | 318 | 163.6 | 640 |
| 154.1 | 345 | 164.1 | 563 |
| 154.6 | 377 | 165.1 | 452 |
| 155.1 | 415 | 166.1 | 377 |
| 155.6 | 462 | 168.1 | 282 |
| 156.1 | 519 | 170.1 | 225 |
| 156.6 | 592 | 172.1 | 185 |
| 157.1 | 687 | 174.1 | 159 |
| 157.6 | 805 | 179.1 | 119 |
| 158.1 | 990 | 189.1 | 82 |
| 158.6 | 1246 | 199.1 | 62 |
| 159.1 | 1660 | 209.1 | 49 |
| 159.6 | 2160 | 229.1 | 36 |