

桥梁结构试验报告书

姓名：曹森茂

学号：060815

专业：桥梁工程

时间：2009-5-30

实验三 简支梁自振特性参数测定实验

一. 实验目的和要求

1. 学习用强迫振动法和自由振动法测结构物频率、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自振特性参数的方法。

二. 实验要求

1. 画出实验仪器配套框图，搞清实验原理，了解所用仪器的技术性能并学会操作。
2. 计算钢简支梁的各阶固有频率，作为实验的期望值，并将实验值与之比较。

三. 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

四. 实验内容和步骤

1. 熟悉仪器

由指导教师介绍实验仪器的性能指标以及他们之间的配套原理。

2. 实验准备

- (1) 熟悉 ZJY-601A 型振动教学实验仪上各键、钮、表头等，并将它们置开机前要求的状态（电源关闭）。
- (2) 把激振器安装在梁 $3L/8$ 位置。
- (3) 把两个传感器分别安置在梁跨中和 $L/4$ 断面上。
- (4) 全部仪器接线完毕，须检查确实无误，方可开机。
- (5) 根据被测振动的幅值、频率等选择合适的衰减档。
- (6) 用手轻轻点触实验梁使其自由振动，观察每个点是否都有输出，逐点调整。至此，全部准备工作就绪。

3. 实验步骤

(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，并观察信号采集仪上的输出，寻找共振峰值。每阶共振频率附近的输出信号会形成一个拍，在该拍最大幅值处，记录下对应的激振频率，顺序找出第 1、第 2 和第 3 阶频率。

②相位判别：在梁的 1 阶共振频率附近仔细扫描，确认 1 阶频率后，可进行相位观测。固定一个加速度计（如 $L/4$ 断面加速度计）不动，在梁上移动另一枚加速度计到其它位置，观测各测点的输出相位和幅值。如此继续做第 1、第 2 和第 3 阶……

③振型测试：将一枚加速度计从梁上取下，只剩一枚，继续做振型测试（也可以用 2 个加速度计一起测，但两个加速度计相互间要有标定值）。按前述方法，在各共振频率处，固定振源的频率、幅值不变，沿梁长度方向（按 $i/16$, $i=1, 2, \dots, 16$ ）逐点测量并记录幅值和相位；逐阶进行，直到完成前 3 阶振型测量和记录。要求绘制 3 阶振型曲线。

④绘制共振曲线：用一个通道（即一个加速度计）记录共振频率 f_1 （或 f_2 或 f_3 ）附近的频率响应。具体以 $1\sim 2\text{Hz}$ 为间隔，在共振频率前后扫描，并记录下响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。要求在曲线上用半功率带宽法求阻尼比。

(2) 自由振动衰减法

拆下激振器。

①用小激励锤在梁跨中单击，记录梁的自由振动曲线，重复三次。分析梁的一阶振动频率和阻尼比。

②用小激励锤在梁跨任意点单击，采集梁的随机振动响应曲线。对采集到的数据进行谱分析，可获得梁的多阶振动频率。

(3) 模态试验法由指导教师为同学演示模态试验。

五. 实验数据分析讨论

1、测量简支梁的几何尺寸，计算 1、2、3 阶固有频率，并与实测值比较。

(等截面简支梁的前三阶频率计算公式：

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

式中： 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。)

解：

钢简支梁的几何尺寸： $680 \times 50 \times 8\text{mm}$

钢梁的材料特性为：密度 $\rho = 7850\text{kg/m}^3$ ， $E = 2.06 \times 10^5\text{Mpa}$

故而：

$$I = \frac{50 \times 8^3}{12} = 2133.33\text{mm}^4,$$

$$m = 7850 \times 0.05 \times 0.008 = 3.14\text{kg/m},$$

$$\omega_1 = 1^2 \times \pi^2 \sqrt{\frac{2.06 \times 10^{11} \times 2133.33 \times 10^{-12}}{3.14 \times 0.68^4}} = 252.51\text{s}^{-1},$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = 40.19\text{Hz};$$

$$\omega_2 = 2^2 \times \pi^2 \sqrt{\frac{2.06 \times 10^{11} \times 2133.33 \times 10^{-12}}{3.14 \times 0.68^4}} = 1010.04\text{s}^{-1},$$

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = 160.8\text{Hz};$$

$$\omega_3 = 3^2 \times \pi^2 \sqrt{\frac{2.06 \times 10^{11} \times 2133.33 \times 10^{-12}}{3.14 \times 0.68^4}} = 2272.6\text{s}^{-1},$$

$$f_3 = \frac{\omega_3}{2\pi} = 361.7\text{Hz}.$$

实测结果测得一阶自振频率为 $f_1=39.5\text{Hz}$ ，二阶自振频率为 $f_2=158.5\text{Hz}$ ，三阶自振频率为 $f_3=359.0\text{Hz}$ 。实测值与理论值比较，结果相差很小，在误差允许范围内。

2、根据强迫振动和自由振动实测记录的数据，求出三阶频率和振型曲线，并求阻尼比。

(1) 找出三阶频率，并根据相位及振幅测量绘制振型图

转动频率按钮，扫描出梁的三个共振频率，依次为： $f_1=39.5\text{Hz}$ ， $f_2=158.5\text{Hz}$ ， $f_3=359.0\text{Hz}$

强迫振动各振型下的振幅测量数据为：

测点 \ 振型	1 阶	2 阶	3 阶
1	0	0	0
2	+180	+400	-68
3	+370	+860	-150
4	+550	+1210	-173
5	+710	+1320	-109
6	+830	+1260	-12
7	+910	+920	+64
8	+950	+440	+120
9	+970	0	+150
10	+950	-410	+102
11	+900	-940	+42
12	+820	-1210	-66
13	+710	-1270	-137
14	+500	-1200	-184
15	+320	-860	-142
16	+150	-370	-55
17	0	0	0

表 3-1

振型图如下图所示：

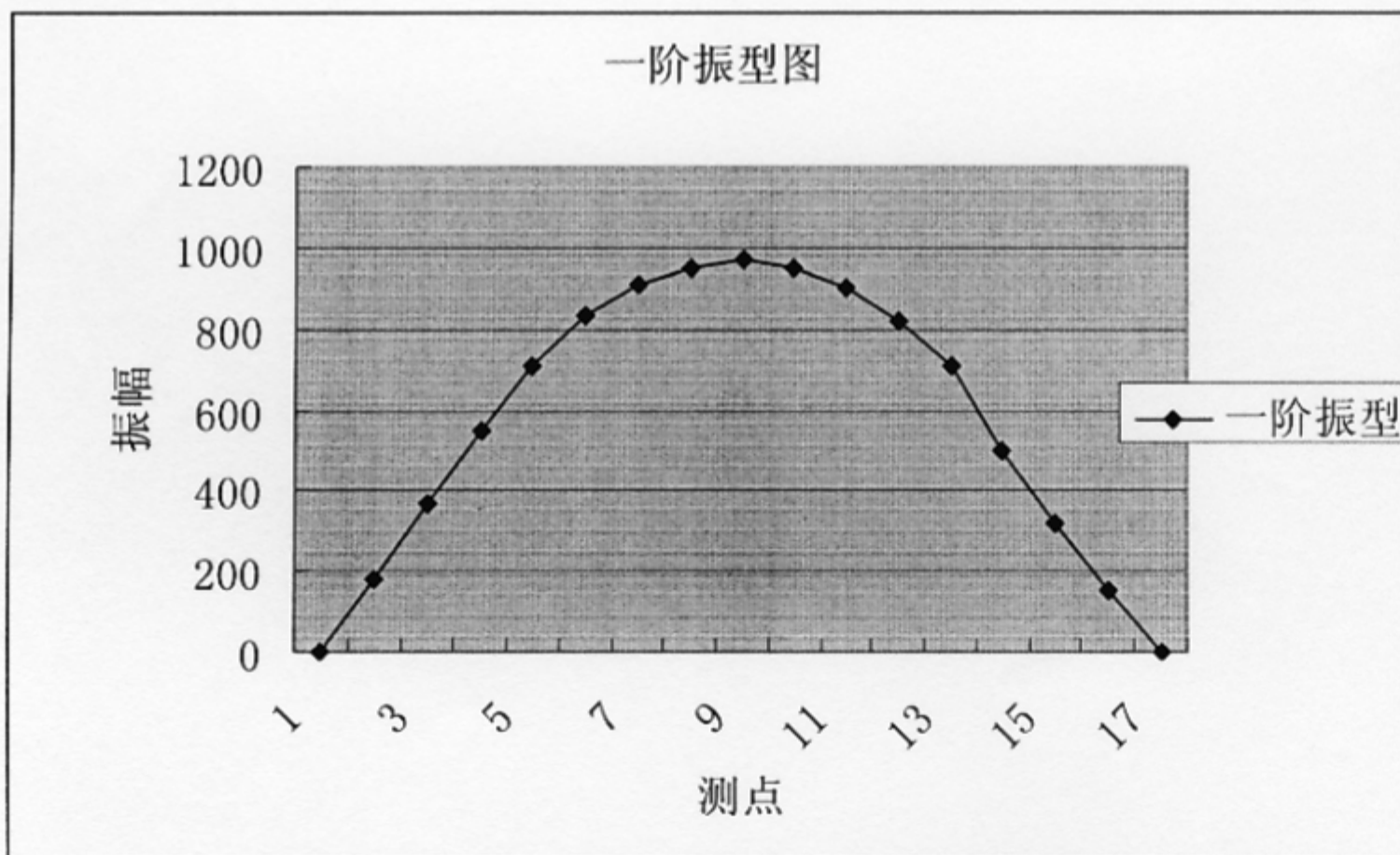


图 3-1

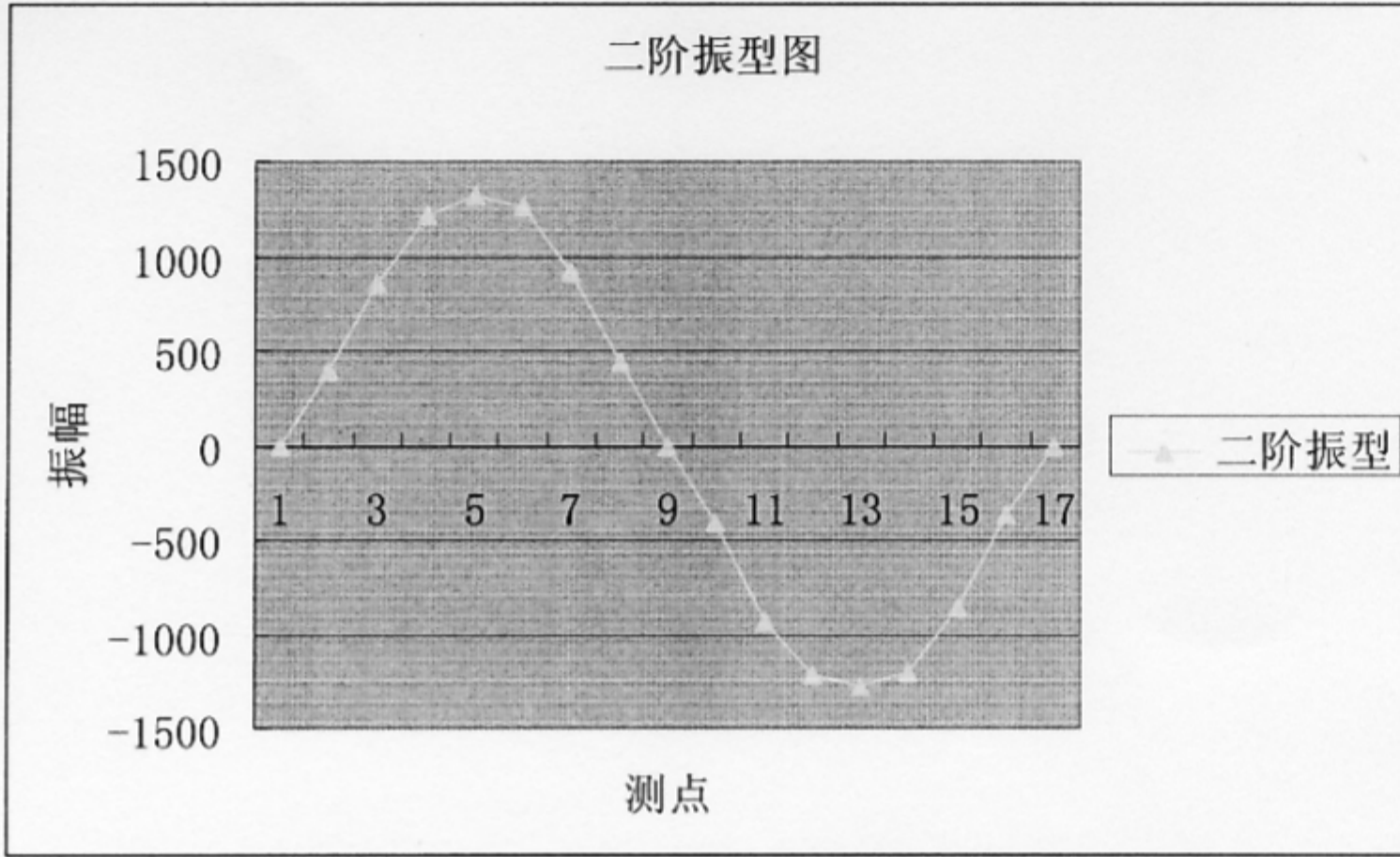


图 3-2

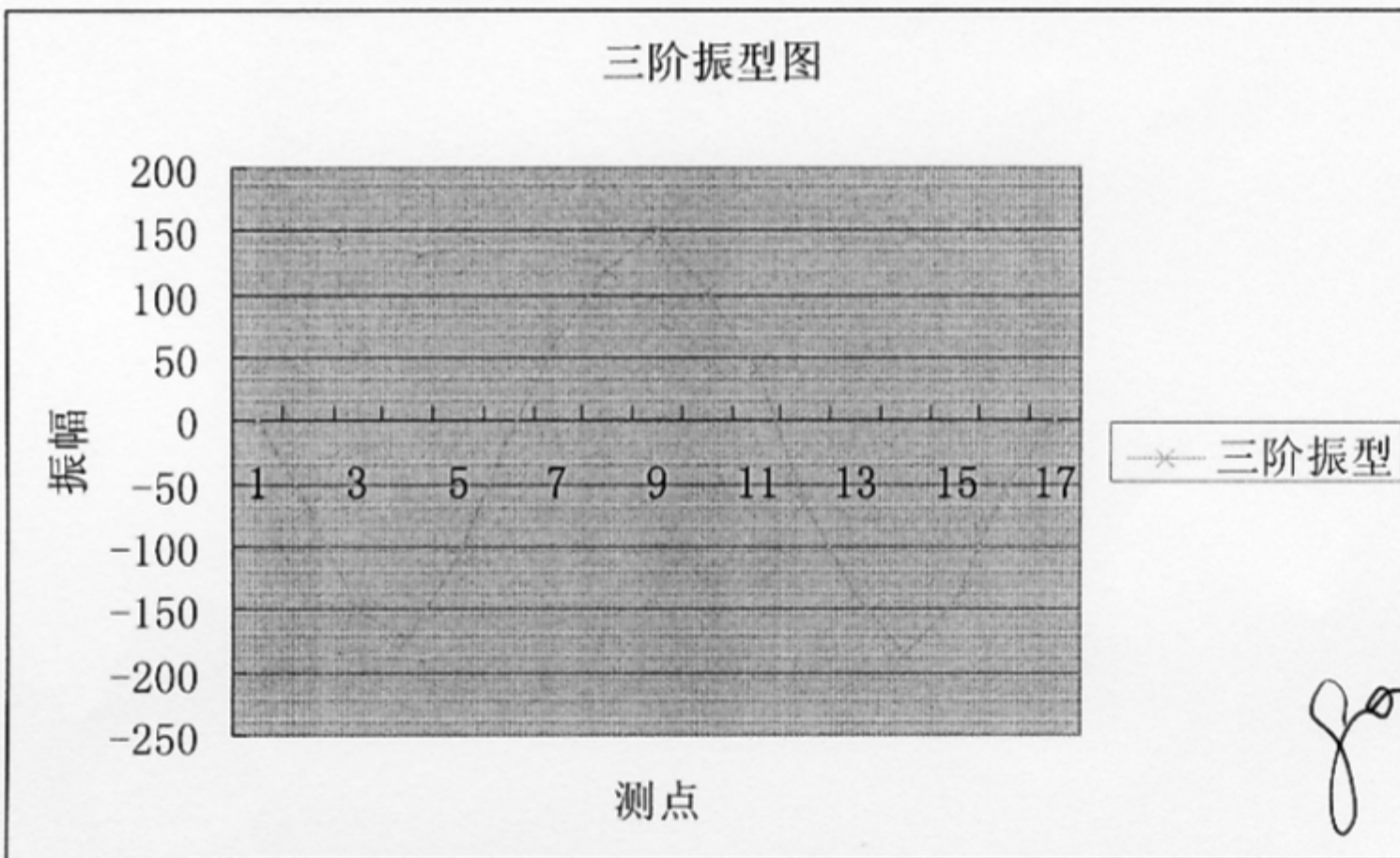


图 3-3

(2) 一阶强迫振动的共振曲线绘制
数据列表如下:

频率	20.5	26.5	30.5	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.5	39.5
幅值	2	3	7	12	15	20	27	39	60	135
频率	40.5	41.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	51.5	62.5	76.5
幅值	132	73	48	37	31	27	24	16	11	7

共振曲线如图 3-4 所示:

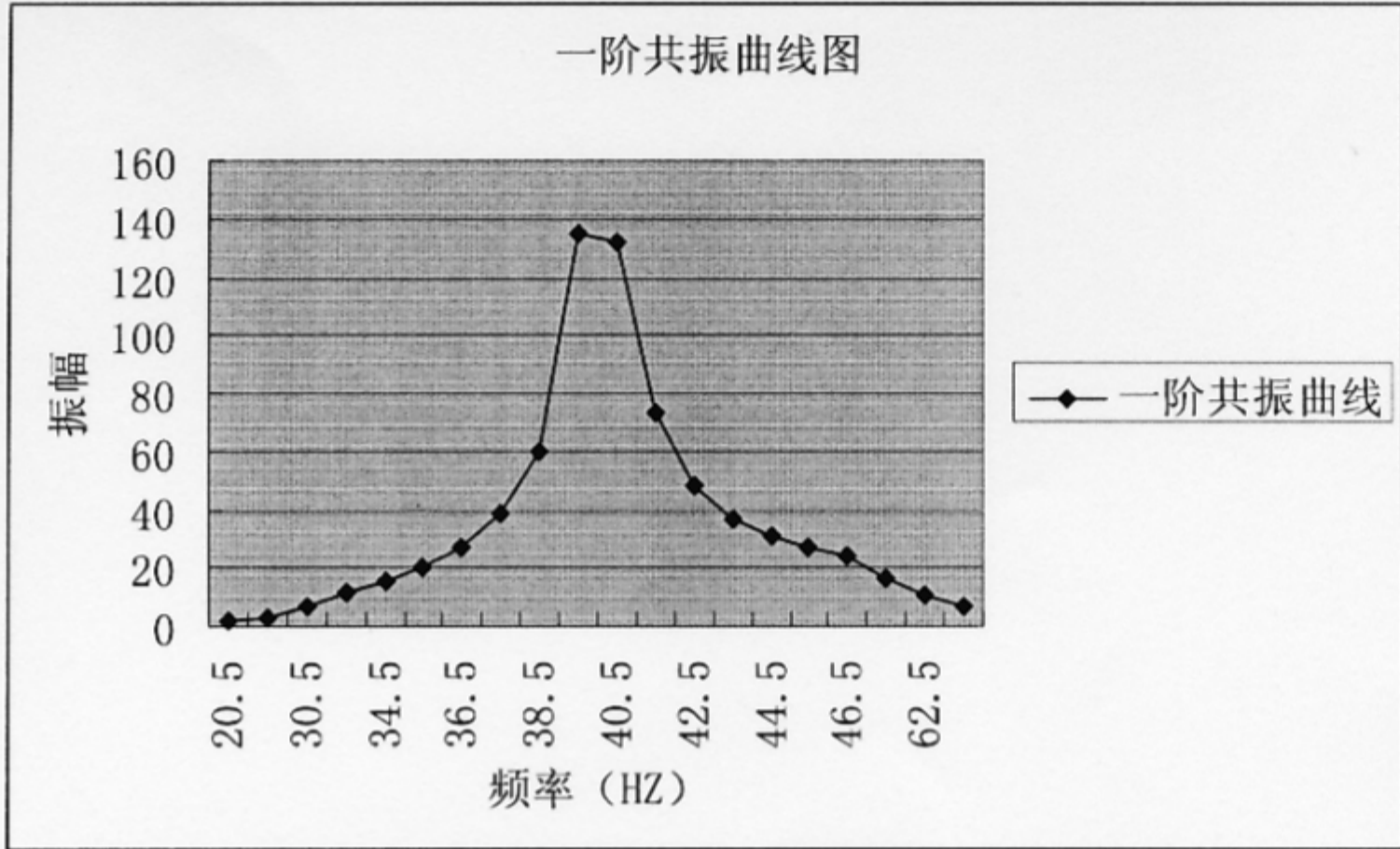


图 3-4

利用一阶共振曲线半功率带宽法计算阻尼比:

一阶共振曲线图

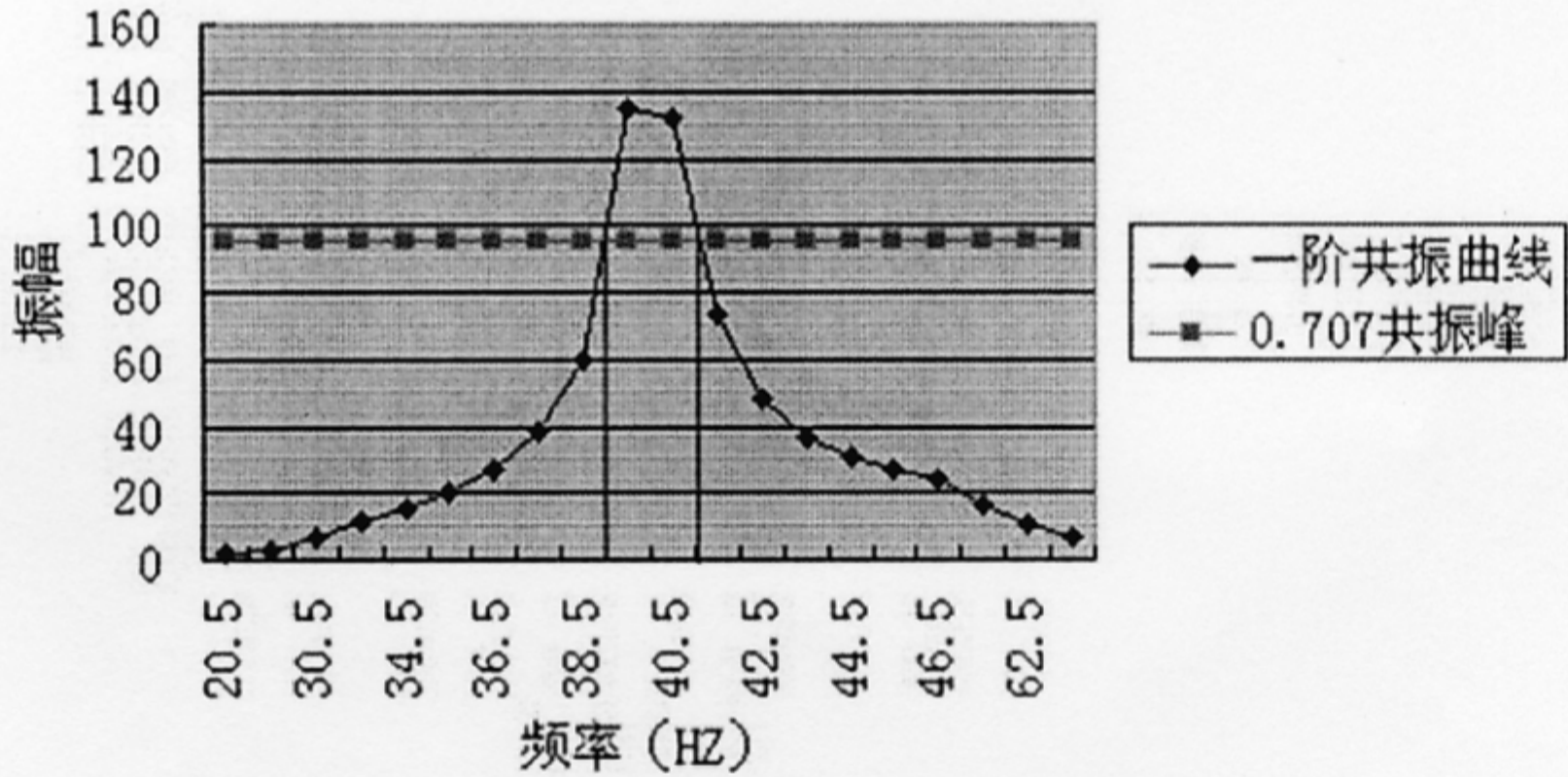


图 3-5

可以从共振曲线上获得，0.707 峰值处在共振频率左右对应的频率为：

$$f_1 = 39.0\text{Hz}, f_2 = 41.0\text{Hz}$$

由此可求的：

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f} = \frac{41.0 - 39.0}{2 \times 39.5} = 0.02531$$

(3) 自由衰减振动曲线

用小激励锤在梁跨中单击，记录梁的自由衰减振动曲线，同种工况下重复三次，分析梁的一阶振动频率和阻尼比。

通道 1 实测自由衰减振动曲线如下图所示：

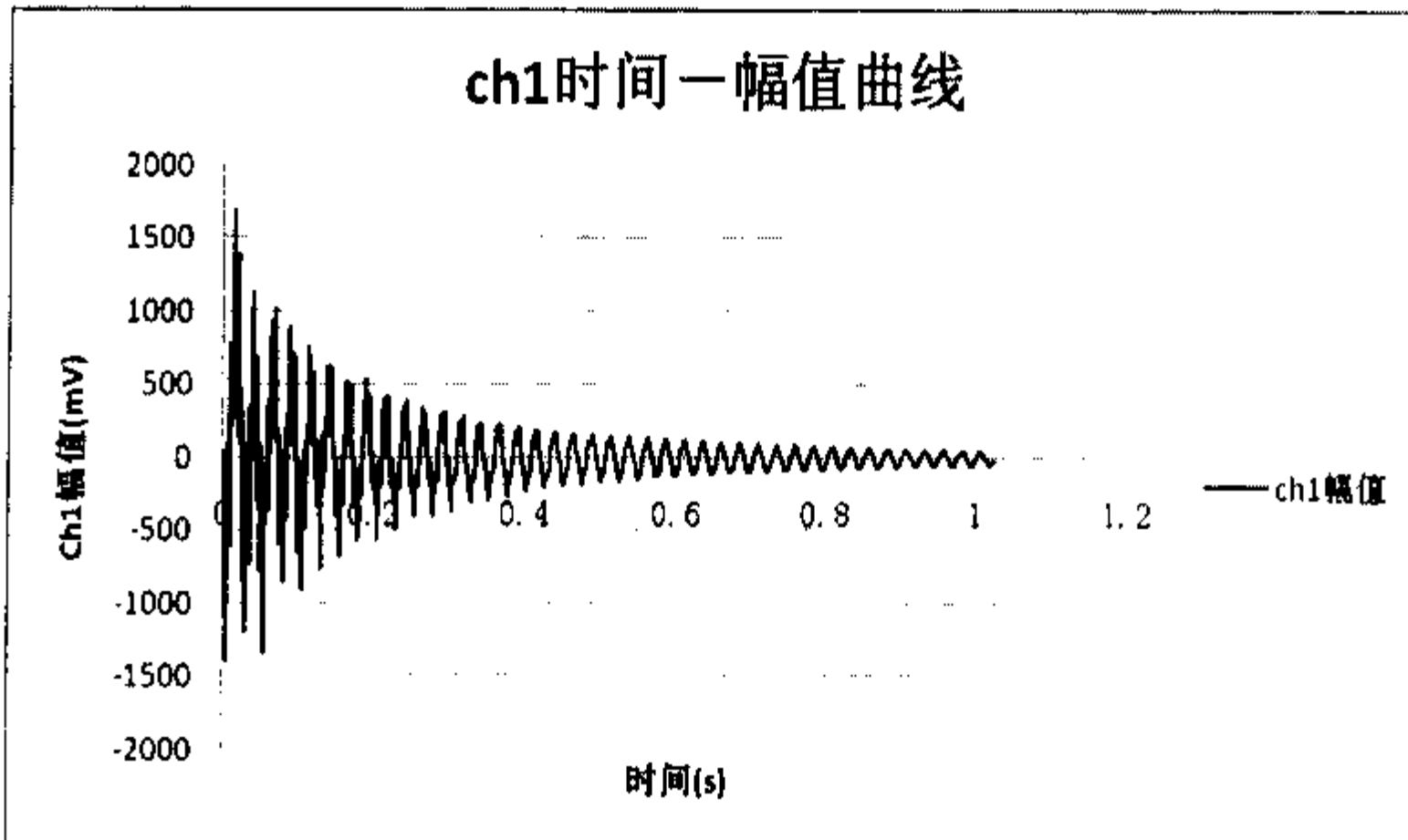


图 3-6

通道 2 实测自由衰减振动曲线如下图所示：

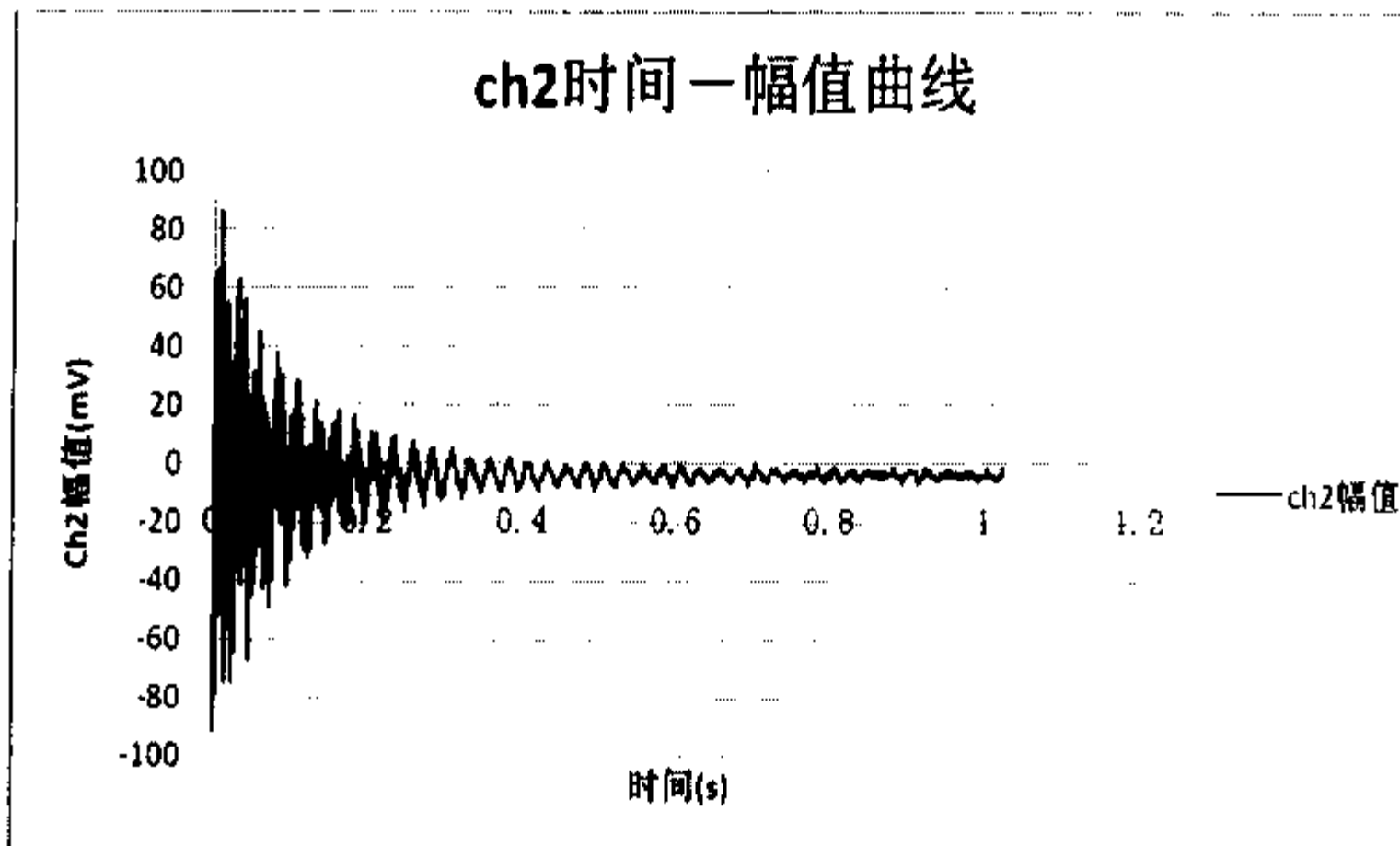


图 3-7

自由振动衰减法求阻尼比（根据通道 1 实测自由衰减振动曲线）：

在 1 通道中取两个振幅峰值 $y_4 = 850mV$, $y_9 = 450mV$, 则 $m=5$, 由此求得阻尼比：

$$\zeta = \frac{\delta}{2m\pi} = \frac{\ln(y_2 / y_8)}{2m\pi} = \frac{\ln(850 / 450)}{2 \times 5 \times \pi} = 0.02025$$

(5) 用小激励锤在梁跨任意点单击，采集梁的随机振动响应曲线。由此可以得到前三阶振型的频率—幅值谱曲线如图 3-8 所示：

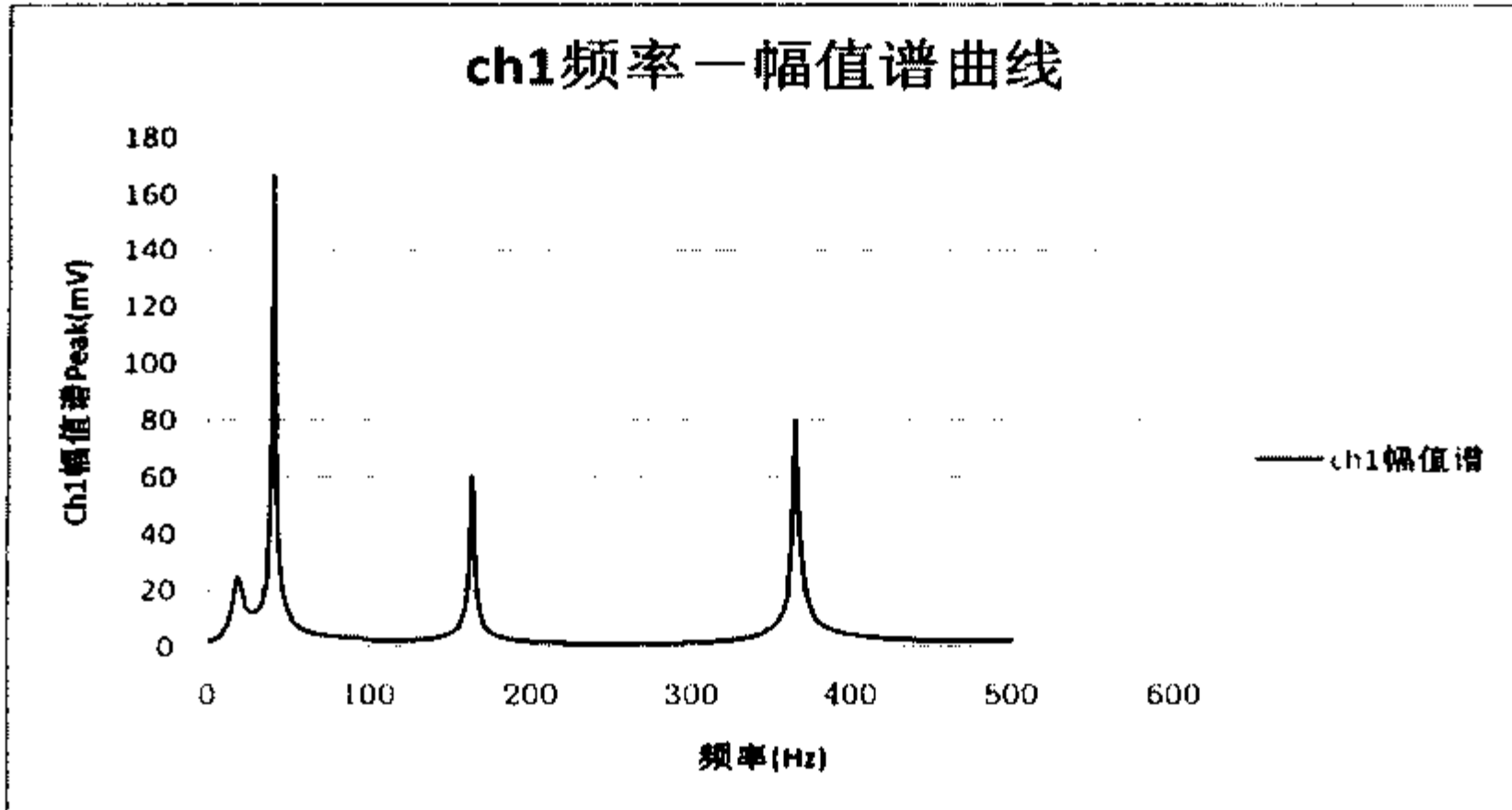


图 3-8

在曲线上读出前三阶的共振频率为： $f_1 = 40.1\text{Hz}$ ， $f_2 = 161.0\text{Hz}$ ， $f_3 = 365.5\text{Hz}$ 。

注：由于本组实验中实验仪器所限，自由振动衰减法和和模态实验法没有做，相应数据来自其他组同学。