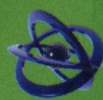


新编工科力学系列课程教材

# 实验力学

(第2版)



长安大学力学实验教学中心 编

SHI YAN LI XUE

西北工业大学出版社

新编工科力学系列课程教材

# 实验力学

(第2版)

长安大学力学实验教学中心编

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书是根据教育部工科力学指导委员会对力学系列课程的要求,结合作者多年的力学实验教学实践编写而成。

本书内容分为三个部分:第一部分为力学基本实验,共安排了18个实验项目,主要涉及单自由度和多自由度振动测试和材料基本力学性能试验。第二部分为综合性、设计性力学实验,共安排了6个实验项目,主要有桥梁静动态应变和位移测试实验。第三部分介绍了目前实验教学及工程检测常用的仪器设备及实验数据处理中的有关问题。

本书可供高等院校工科专业力学实验教学使用,也可供从事机械动力性能分析、材料性质研究及工程测试的技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

实验力学.第2版/长安大学力学实验教学中心编.一西安:西北工业大学出版社,2000.4  
ISBN 7-5612-1240-2

I. 实… II. ①长… III. 力学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. O3-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第21256号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

印 张:8.75

字 数:206千字

版 次:2006年11月第2版 2006年11月第1次印刷

定 价:11.00元

## 第 2 版前言

本教材是长安大学(2000年4月由原西安公路交通大学、西安工程学院和西北建筑工程学院合并组建的教育部直属的“211”工程建设大学)新编工科力学系列课程教材中的一本,是在由别永顺、郑碧玉编写的《实验力学》基础上,结合力学系列课程改革要求,在原有教材的基础上收录长安大学实验教学研究项目“结构静动态载荷综合实验台制作和开发”课题中的实验部分等内容,对学生创新能力、实践动手能力的培养以及科学素质和科学习惯的培养具有重要意义。

书中第一部分为基础力学实验,由单自由度振动测试及材料的基本力学性能实验组成,共计18个实验项目,主要加强对基本理论的验证和对新实验测试方法的推广。第二部分为综合性、设计性力学实验,共编写了6个实验项目。实验力求以工程实际为背景,属于测试技术较为复杂、测试方法较为实用的工程力学实验。通过这些实验来培养学生独立分析和解决工程实际问题的能力。第三部分重点介绍了目前实验教学及工程检测常用的仪器设备及实验数据处理中的有关问题,供学生在实验及工程检测中参考。本教材由郑碧玉、别永顺、王虎、李新波共同编写,郑碧玉任主编,并编写了第一章1-4节~1-11节;第三章。别永顺编写了第二章2-6节、第四章、附录。李新波编写了第二章2-5节、2-7节、第五章。王虎编写了第一章1-1节~1-3节;第二章2-1节~2-4节。

在本书的编写过程中,长安大学力学实验教学中心的教师提出了许多宝贵意见,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请广大师生和读者批评指正。

编者  
2006年10月

# 前 言

本教材是西安公路交通大学新编工科力学系列课程教材中的一本。在别永顺、郑碧玉编写的《材料力学实验》的基础上,作者结合力学系列课程改革要求,纳入理论力学课程实验,并且对内容进行修订、充实而成。

实验是教学过程中的重要环节之一,为了训练学生的实验技能,培养学生的实验能力(即实验方案的确定、实验结果的分析 and 实验报告的书写等),本书从实验目的、原理、仪器设备、方法步骤、注意事项、结果整理等方面对所述实验进行了介绍,并提出了要求。

书中第1部分为基本实验,由单自由度振动测试及材料的基本力学性能实验组成,共计15个实验内容,主要以加强对基本理论的验证和对新实验测试方法的推广。第2部分为多自由度振动测试及材料力学综合性实验,共编写了9个实验内容。实验力求以工程实际为背景,属测试技术较为复杂、测试方法较为实用的力学性能实验。通过这些实验可培养学生独立解决工程实际问题的能力。第3部分重点介绍了目前实验教学及工程检测常用的仪器设备及实验数据处理中的有关问题。以供学生在实验及工程检测中参考。

在大多数工科专业的教学计划中,没有电测和光弹性测试方法。编者从学生能力的培养、未来的科研、工程试验检测等诸方面考虑,在第6章较为系统地介绍了这两种实验方法,作为试验检测工作者的知识储备。

在教材编写过程中,尹冠生博士对全部书稿作了仔细审阅,并提出了许多宝贵意见,在此致以衷心的感谢。

本教材的第1章、第4章由王虎编写;第2章、第6章及第8章由郑碧玉编写;第3章、第5章及第7章由别永顺编写;全书由别永顺主编。

编 者

1999年12月

# 目 录

## 第一部分 基础力学基本实验

第一章 基础力学基本实验	1
1-1 简谐振动幅值测量	1
1-2 单自由度系统模型参数和固有频率的测定	4
1-3 单自由度系统自由衰减振动的测定	7
1-4 材料的拉伸实验	11
1-5 材料的压缩实验	17
1-6 材料的扭转实验	19
1-7 金属材料拉伸时弹性常数 $E, \mu$ 的测定	23
1-8 低碳钢剪切弹性模量 $G$ 的测定	29
1-9 梁弯曲正应力实验	31
1-10 弯曲扭转组合变形时的主应力测定	33
1-11 压杆稳定试验	38
第二章 基础力学选做实验	41
2-1 单自由度系统强迫振动实验	41
2-2 多自由度系统各阶固有频率的测定	44
2-3 简支梁各阶固有频率及其主振型的测定	49
2-4 悬臂梁各阶固有频率及其主振型的测定	53
2-5 材料的冲击实验	57
2-6 光弹性观察实验	59
2-7 金属疲劳演示实验	63

## 第二部分 综合性、设计性力学实验

第三章 综合性、设计性实验	65
3-1 直杆、平面曲杆偏心拉伸实验	65

3-2	工字梁主应力的测定 .....	67
3-3	桥梁结构模型静载实验 .....	69
3-4	桥梁结构模型动载实验 .....	70
3-5	桥梁结构模型动态特性测试 .....	72
3-6	桥梁结构模型受力分析特性实验 .....	73

### 第三部分 电测、光弹方法及常用仪器介绍

<b>第四章</b>	<b>电测方法及光弹性测试法介绍 .....</b>	<b>75</b>
4-1	电测方法基本原理 .....	75
4-2	光弹性测试法基本原理 .....	85
<b>第五章</b>	<b>常用仪器设备介绍 .....</b>	<b>97</b>
5-1	液压式万能试验机 .....	97
5-2	微机控制电子万能试验机 .....	99
5-3	微机控制全自动压力试验机 .....	103
5-4	NJ-100B型扭转试验机 .....	105
5-5	微机控制扭转试验机 .....	108
5-6	电阻应变仪及记录器 .....	111
5-7	冲击试验机 .....	121
5-8	电液伺服试验机 .....	124
<b>附录</b>	<b>.....</b>	<b>126</b>
I-1	实验数据处理 .....	126
I-2	最小二乘法 .....	129
I-3	几种常用材料的主要力学性能 .....	130
I-4	国际单位换算表 .....	131

# 第一部分 基础力学基本实验

## 第一章 基础力学基本实验

### 1-1 简谐振动幅值测量

#### 一、实验目的

- (1) 了解并掌握简谐振动信号位移、速度、加速度幅值之间的关系。
- (2) 学会用速度传感器测量简谐振动位移、速度、加速度的幅值。
- (3) 正确理解和分析各种计算值与测试值之间的误差及其产生的原因。

#### 二、基本原理

振动体的位移、速度、加速度是系统振动的重要参数,正确测试其值对探索振动参量之间关系、全面了解和掌握振动规律有着重要的作用。它们的值可用位移传感器、速度传感器或加速度传感器来直接测取,也可根据位移、速度、加速度的关系,用一种传感器来进行测量,或者利用测振仪的微分、积分电路来测量。

对于位移、速度、加速度 3 个振动参量,只要知道其中 1 个,就可以通过微分和积分变换求出另外两个振动参量。在工程实践中,对有的参量,由于受条件限制无法测得时,可以通过参量变换求得。另外,当 3 个振动参量的时间过程都测得时,可以通过参数变换进行相互检验。如将实测波形与参数变换得到的波形比较,进一步分析测量精度和误差范围,可为测试波形的基线修正和测试结果的修正提供条件。

设某一简谐振动其固有频率为  $\omega_n$ , 初相位为  $\varphi_0$ , 该振动的位移、速度、加速度分别计为  $x$ ,  $v$ ,  $a$ 。

若

$$x = B\sin(\omega_n t + \varphi_0) \quad (1-1)$$

则

$$v = \dot{x} = B\omega_n \cos(\omega_n t + \varphi_0) = B\omega_n \sin(\omega_n t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}) \quad (1-2)$$

$$a = \ddot{x} = -B\omega_n^2 \sin(\omega_n t + \varphi_0) = B\omega_n^2 \sin(\omega_n t + \varphi_0 + \pi) \quad (1-3)$$

由式(1-1) ~ 式(1-3)可知,速度  $v$ 、加速度  $a$  与位移  $x$  具有相同频率,但是其相位角分



别超前  $\pi/2$  或  $\pi$ 。如果已知加速度  $a$ ，也可以通过积分求得速度  $v$  及位移  $x$  变化规律。

位移  $x$ 、速度  $v$  和加速度  $a$  的相应的幅值分别记为  $B, V$  和  $A$ ，则其幅值关系为

$$V = B\omega_n = 2\pi fB \quad (1-4)$$

$$A = B\omega_n^2 = 4\pi^2 f^2 B \quad (1-5)$$

式中， $f$  为简谐振动的频率。

本实验主要由激振信号源通过电动式激振器对振动实验台上的简支梁施加谐激振，用速度传感器测量简支梁上某一位置在不同激振频率条件下的振动响应的位移、速度和加速度的幅值，这相当于测量简支梁在谐激振作用下该位置的稳态振动响应的位移、速度和加速度的幅值。应用式(1-4)和式(1-5)对每一频率下的3种不同幅值进行相应理论计算，然后与仪器实测的对应结果进行比较，分析其相应的误差。

### 三、仪器和设备

- (1) SJF—3型激振信号源。
- (2) JZ—1型电动式激振器。
- (3) SCZ2—3型双通道测振仪。
- (4) ZG—1型磁电式振动速度传感器。
- (5) 简支梁机械振动实验台架。

实验仪器和设备装置框图如图1-1所示。

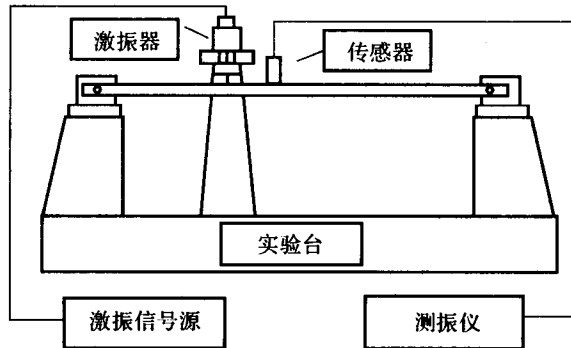


图1-1 实验仪器和设备装配框图

### 四、实验步骤和方法

- (1) 按仪器和设备装置框图，安装相应仪器并接好导线。
- (2) 激振信号源输出端与电动式激振器相接，应用电动式激振器对简支梁激振。
- (3) 运用速度传感器拾振，速度传感器与测振仪输入端相接。
- (4) 给激振信号源通电，电动式激振器即可对振动梁系统施加正弦激振力，使系统产生振动，调整激振信号源的输出调节开关可以改变振幅大小。
- (5) 用测振仪的位移、速度、加速度挡位旋钮，分别测量相应参数的幅值，并做好相应测试数据记录。
- (6) 拆除所安装的仪器和设备，使所有实验仪器和设备恢复实验前状态。

## 五、注意事项

(1) 电动式激振器安装在支架上, 激振器顶杆对被激振试件要有适当预压力, 不得超过红线。

(2) 调整信号源的输出调节开关时, 开始调置在最小值, 然后逐渐增大, 注意不要过大, 以免出现过载。

(3) 测定某一频率下的位移、速度、加速度幅值过程中, 不能再随意改变仪器输入电流量。

## 六、实验数据处理

### 1. 数据记录

将位移、速度、加速度幅值的实测结果填入表 1-1。

表 1-1 实验测试结果记录表

序号	频率 $f/\text{Hz}$	位移 $B/\mu\text{m}$			速度 $V/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$			加速度 $A/(\text{cm}/\text{s}^2)$		
		实测值			实测值		误差 (%)	实测值		误差 (%)
		实测值			实测值		误差 (%)	实测值		误差 (%)
		理论值			理论值			理论值		
		实测值		误差 (%)	实测值			实测值		误差 (%)
		理论值			理论值			理论值		
		实测值		误差 (%)	实测值		误差 (%)	实测值		
		理论值			理论值			理论值		

### 2. 幅值计算

(1) 根据测试位移幅值  $B$  及频率  $f$  值, 由式(1-4) 和式(1-5) 计算速度幅值  $V$  与加速度幅值  $A$ 。

(2) 根据测试速度幅值  $V$  及频率  $f$  值, 由式(1-4) 和式(1-5) 计算位移幅值  $B$  与加速度幅值  $A$ 。

(3) 根据测试加速度幅值  $A$  及频率  $f$  值, 由式(1-4) 和式(1-5) 计算位移幅值  $B$  与速度幅值  $V$ 。

最后比较理论计算和实验测试结果的误差。

## 七、思考题

(1) 测定某一频率下的位移、速度和加速度幅值时, 为什么不能再随意改变仪器输入电流量? 若改变会出现什么情况?

(2) 为什么电动式激振器顶杆对被激振构件要适当有预压力, 但不得超过红线?

(3) 位移、速度、加速度幅值的实测值与计算值误差如何? 为什么?

(4) 调整激振信号的输出值不宜过大, 防止过载, 为什么?

## 八、实验报告要求

(1) 实验名称。

- (2) 实验目的。
- (3) 仪器与设备名称。
- (4) 实验数据记录表格。
- (5) 理论计算结果。理论计算和实测值的误差分析。

## 1-2 单自由度系统模型参数和固有频率的测定

### 一、实验目的

单自由度系统振动问题是工程中最常见的一种振动形式。实际工程中的许多振动都可以简化抽象为由一个独立坐标来描述的振动模型。本实验对简支梁承载运动系统进行简化并作相应测试分析,主要目的:

- (1) 学会单自由度系统模型简化与抽象的基本方法。
- (2) 掌握振动模型刚度和固有频率的测定技术与方法。
- (3) 初步学会处理和消除理论解与实验结果之间误差的方法。

### 二、基本原理

实验模型是将集中质量和偏心电机安装在简支梁上,如图 1-2(a) 所示。当电机和质量块一起沿垂直方向运动时,梁由于有弹性而相当于一个弹簧,如果梁的质量比集中质量和电机的质量小得多,则可忽略梁的质量,则整个系统就可以简化为一个自由度系统振动的力学模型,如图 1-2(b) 所示。

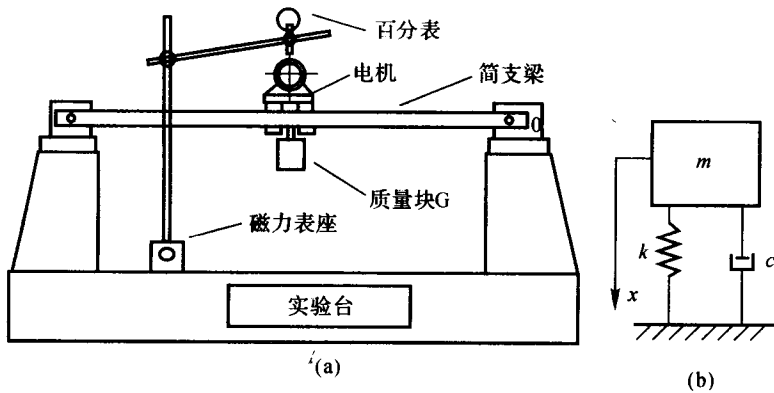


图 1-2 简支梁振动系统及其简化模型

图 1-2(a) 中,  $c$  为阻尼元件的阻尼系数,  $k$  为刚度元件的弹性系数, 质量元件的质量  $m$  等于集中质量和电机质量之和, 则有单自由度系统受迫振动微分方程为

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad (1-6)$$

式中,  $F$  为偏心电机施加给振动系统的正弦激振力。

弹性系数

$$k = \frac{w(\text{静荷载})}{\delta(\text{静位移})} \quad (1-7)$$

固有频率

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1-8)$$

只要确定了模型参数  $k, m, c$ , 力学和数学模型就完全确定了。本实验主要分析  $k, m$  参数的测定和计算, 并且应用李萨如图形法测定振动系统的固有频率。阻尼系数  $c$  在以后的实验中讨论。

### 三、仪器和设备

- (1) 磁力表架 1 只。
  - (2) 百分表或千分表 1 只。
  - (3) 集中质量块  $G$  1 个。
  - (4) SJF-3 型激振信号源 1 台。
  - (5) JZ-1 型电动式激振器 1 个。
  - (6) ZG-1 型磁电式振动速度传感器 1 个。
  - (7) SCZ2-3 型双通道测振仪 1 台。
  - (8) 单相偏心电机 1 台, 调压器 1 只。
  - (9) 微型计算机系统 & 振动测试软件 1 套。
  - (10) 简支梁机械振动实验台架 1 座。
- 仪器和设备装配框图如图 1-3(a) 所示。

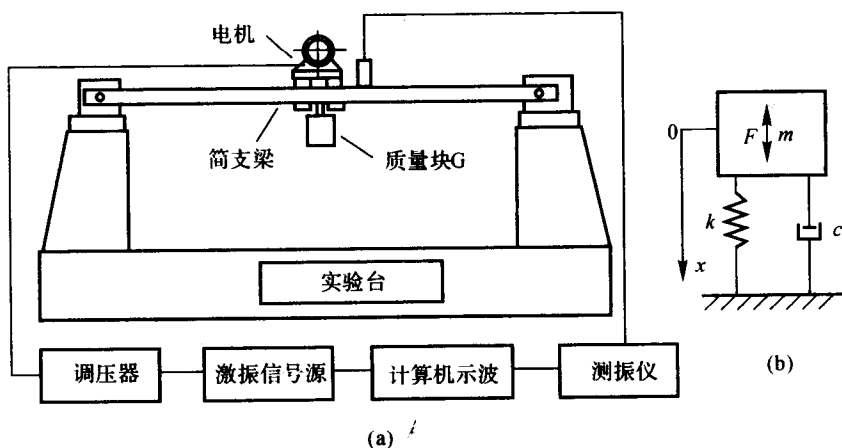


图 1-3 系统振动测试仪器和设备装配框图及其力学模型

### 四、实验步骤

- (1) 用磁力表座将百分表或千分表置于电机(即集中质量位置)顶部上侧, 调整表架, 使表内指针具有 5 ~ 10 刻度左右的初始值, 然后调整百分表或千分表刻度盘, 使指针归零。
- (2) 将质量块  $G$  轻轻安装在简支梁中部螺孔内。
- (3) 从百分表或千分表盘上读取刻度, 按刻度值换算成变形量  $\delta$ 。

(4) 取下质量块 G, 重新调整指针归零。重复步骤(2)和(3), 反复测试数次, 一般不少于 10 次。最后剔除不合理的数据(离差太大的数), 取平均值作为真值, 即

$$\delta = \bar{\delta} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{n} \quad (1-9)$$

(5) 将所测数据  $\delta$  和质量块 G 质量代入式(1-23)中, 即可求得  $k$  的值。

(6) 取下电机、质量块 G 及夹板等零件, 称出其质量。则

$$m = \frac{W_1(\text{质量块质量}) + W_2(\text{电机质量}) + W_3(\text{附件质量})}{g}$$

(7) 将所算  $k$  和  $m$  代入式(1-8)中, 即可求得固有频率  $\omega_n$  的值。

(8) 拆除百分表或千分表与磁性表座。

(9) 按照图 1-3(a) 框图接好导线, 将激振信号源输入端与计算机  $x$  轴通道线相接。用传感器测量质量块 G 的振动, 其信号经测振仪放大后接入计算机  $y$  轴通道。

(10) 用调速电机给系统施加一频率未知的激振力。在测量过程中, 不改变调压器电压, 使电机转速保持不变。

(11) 接通激振信号源的电源并调整频率, 计算机屏幕打开时, 屏幕上出现李萨如图形轨迹曲线。当图形为直线、椭圆或圆时, 根据共振相位判别法, 激振信号源所显示的频率即为系统的固有频率  $\omega_n$ 。

## 五、注意事项

- (1) 千分表或百分表测试时, 事先调整一定要有初始值, 然后调整表盘使其显示零刻度。
- (2) 质量块安装时要轻拿轻放, 拆卸时防止砸伤手指。
- (3) 偏心电机接通电源后, 偏心质量块一侧严禁站人, 以防偏心质量块飞脱伤人。

## 六、实验数据处理

(1) 将多次测出的静变形数据, 填入记录表 1-2 中。

表 1-2 静变形  $\delta_i$  记录表

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
静变形 $\delta_i/\text{mm}$												

(2) 弹性系数  $k$  与固有频率  $\omega_n$  计算表。将理论计算结果和测试值填入表 1-3 中。

(3) 分析系统误差及其产生的原因。

表 1-3 数据计算表

静变形 $\delta/10^{-3} \text{ m}$	质量块 G/N	弹性系数 $k/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	质量 m/kg	固有频率 $\omega_n$	
				理论值	实测值

## 七、思考题

(1) 为什么不将偏心电机和集中质量一起拆卸多次来测试静位移?

- (2) 单自由度振动模型简化时,应注意的主要问题是什么?  
 (3) 分析集中质量块对系统振动测试结果可能有什么影响?

## 八、实验报告要求

- (1) 实验名称。  
 (2) 实验目的。  
 (3) 仪器和设备。  
 (4) 实验结果记录表格和计算结果分析。  
 (5) 分析影响测试结果的可能因素,并且总结本实验过程中应注意的主要问题。

## 1-3 单自由度系统自由衰减振动的测定

### 一、实验目的

- (1) 深刻理解单自由度系统衰减振动的基本规律。  
 (2) 掌握应用计算机软件跟踪和记录单自由度系统自由衰减振动波形,并打印其波形。  
 (3) 根据衰减振动波形图确定系统的固有频率、阻尼比和振幅减缩率。

### 二、基本原理

质量为  $m$ 、阻尼系数为  $c$ 、弹性系数为  $k$  的单自由度系统自由衰减振动时,其运动微分方程为

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

可改写为

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_n^2 x = 0 \quad (1-10)$$

式中,  $\omega_n$  为系统固有频率;  $\zeta$  为阻尼比。

且

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1-11)$$

$$\zeta = \frac{n}{\omega_n} \quad (1-12)$$

$$n = \frac{c}{2m}$$

小阻尼 ( $\zeta < 1$ ) 时,微分方程式(1-10)的解可写为

$$x = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_s t + \theta) \quad (1-13)$$

式中,  $A, \theta$  为由初始条件确定的积分常数;  $\omega_s$  为自由衰减振动的圆频率。

$$\omega_s = \sqrt{\omega_n^2 - n^2} = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (1-14)$$

设初始时刻  $T = 0$  时,初始位移  $x = x_0$ ,初始速度为  $v_0$ ,则

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{(v_0 + nx_0)^2}{\omega_s^2}} \quad (1-15)$$

$$\theta = \arctan \frac{x_0 \omega_s}{(v_0 + n x_0)^2} \quad (1-16)$$

$Ae^{-nt}$  称为自由衰减振动的振幅。式(1-13)所表示的振动的振幅随时间不断衰减,其图形如图1-4所示。由其图形变化特点知,这种振动不符合周期振动的定义,因而不是周期振动。但振动仍然是围绕平衡位置的往复运动,仍具有振动的特点。

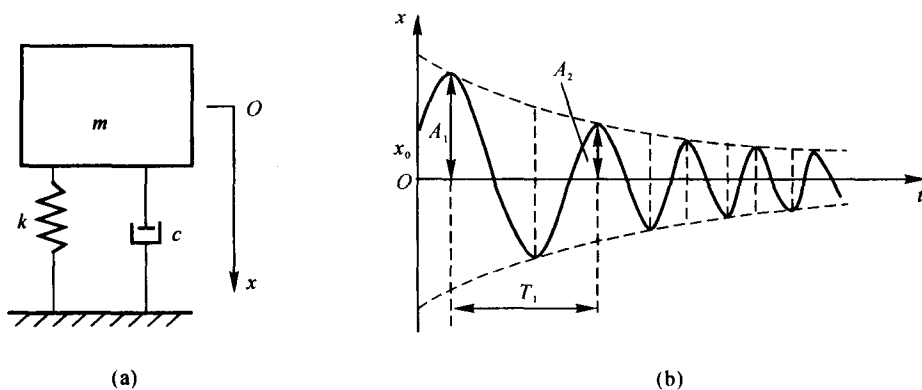


图1-4 单自由度系统自由衰减振动力学模型和衰减振动曲线

(1) 振动周期  $T_d$  大于无阻尼自由振动周期  $T$ 。

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_s} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_n^2 - n^2}} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} = \frac{T}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (1-17)$$

式中,  $T$  为不计阻尼时自由振动周期, 且  $T = 2\pi/\omega_n$ 。

(2) 振幅按几何级数衰减。任意两个相邻振幅之比, 称为振幅减缩率, 即

$$\eta = \frac{A_i}{A_{i+1}} = \frac{Ae^{-nt_i}}{Ae^{-n(t_i+T_d)}} = e^{nT_d} \quad (1-18)$$

对式(1-18)取对数, 得对数减缩率

$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}} = nT_d \quad (1-19)$$

根据实验所得的衰减振动曲线(见图1-4(b)), 可量得相邻的两个位移最大值及周期  $T_d$ 。由式(1-18)可求得振幅减缩率。若阻尼较小, 或系统的固有频率较大, 则相邻两位移最大值相差不大。为了减小测量误差, 一般取同侧相隔  $j$  个周期的两个振幅值之比来计算  $\eta$  或  $\delta$ , 这时

$$\frac{A_i}{A_{i+j}} = e^{jnT_d}$$

所以

$$\delta = \frac{1}{j} \ln \frac{A_i}{A_{i+j}} \quad (1-20)$$

$$\eta = \sqrt[j]{\frac{A_i}{A_{i+j}}} \quad (1-21)$$

因而得

$$n = \frac{1}{jT_d} \ln \frac{A_i}{A_{i+j}} \quad (1-22)$$

$$c = \frac{2n}{m} = \frac{1}{jmT_d} \ln \frac{A_i}{A_{i+j}} \quad (1-23)$$

$$\zeta = \frac{1}{j\omega_n T_d} \ln \frac{A_i}{A_{i+j}} \quad (1-24)$$

由于阻尼做负功,系统的能量不断消耗,使振幅迅速衰减。当系统运动至  $A_i$  与  $A_{i+1}$  极端位置时,其动能为零,于是其机械能就是势能,分别为

$$E_i = \frac{1}{2} k A_i^2, \quad E_{i+1} = \frac{1}{2} k A_{i+1}^2$$

每振动一次机械能之比为

$$\frac{E_i}{E_{i+1}} = e^{2\delta} \quad (1-25)$$

每振动一次机械能的损失与原有机械能之比,即能耗率可表示为

$$\psi = \frac{\Delta E_i}{E_i} = 1 - \frac{E_{i+1}}{E_i} \quad (1-26)$$

将式(1-25)代入式(1-26),得

$$\psi = 1 - e^{-2\delta}$$

展开为泰勒级数

$$\psi = 2\delta - \frac{4\delta^2}{2} + \frac{8\delta^3}{2 \times 3} - \dots$$

当  $\delta$  为微小值时,则上式可近似为

$$\psi = \frac{\Delta E_i}{E_i} \approx 2\delta \quad (1-27)$$

故每振动一次损失的机械能与原有机械能的比值为常量,且近似等于对数减缩率的 2 倍,因而,对数减缩率不仅反映振幅衰减的快慢程度,而且也反映了振动系统机械能消耗的快慢程度,是反映阻尼特性的一个参数。

### 三、仪器和设备

- (1) ZG-1 型速度传感器 1 只。
- (2) SCZ2-3 型双通道测振仪 1 台。
- (3) 2 kg 集中质量块 1 个。
- (4) 手锤 1 把。
- (5) 计算机及其测试软件 1 套或光线示波器 1 台。
- (6) 简支梁机械振动实验台架 1 套。

仪器及设备安装框图如图 1-5 所示。

### 四、操作步骤和方法

(1) 安装质量块于简支梁跨中。用传感器测振,其信号经过测振仪放大后,输入计算机信号通道入口或光线示波器输入端。

(2) 给测振仪和计算机或光线示波器通电启动。用手锤敲击一下简支梁使其受扰动后产生自由衰减振动。



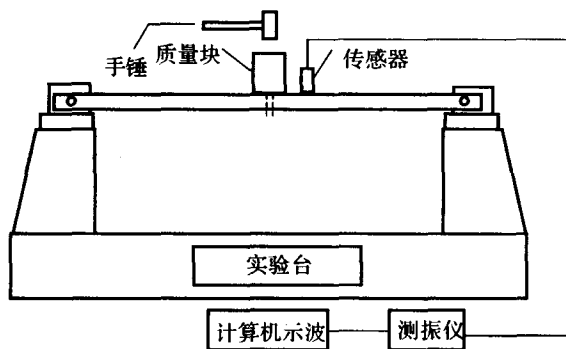


图 1-5 单自由度系统自由衰减振动实验仪器安装框图

(3) 将速度传感器所测信号经测振仪放大后送入计算机或示波器显示和记录。若记录曲线不便计算,可重复以上步骤,敲击后重新记录、显示。

(4) 打印出衰减振动曲线。画出振动衰减波形图上下两条包络线(见图 1-4),然后,设定  $j$ ,并读出  $j$  个波形经历的时间  $t$ ,量出相距  $j$  个周期的两个振幅  $A_j$  和  $A_{j+j}$ 。按照式(1-11),式(1-22),式(1-23),式(1-24)和式(1-26)计算系统的固有频率、阻尼比、对数减缩率和能耗率。

(5) 拆除仪器设备,恢复实验前原状。

## 五、注意事项

- (1) 手锤敲击时,要用力适度,敲后迅速拿开。
- (2) 测振仪电流量要控制适当,一般为 150 mA,测试频率选择要合适,一般采用中频测试。

## 六、实验数据处理

- (1) 打印衰减振动波形图。
- (2) 根据衰减振动波形图计算系统固有频率、阻尼比、对数衰减缩率和能耗率。
- (3) 将计算结果整理后填入表 1-4。

表 1-4 分析计算数据表

$j$	时间 $t$	周期 $T_d$	$A_j$	$A_{j+j}$	阻尼比 $\zeta$	固有频率 $\omega_n$	减缩率 $\delta$

## 七、思考题

手锤敲击轻重对系统衰减规律是否会产生影响?为什么?

## 八、实验报告要求

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。