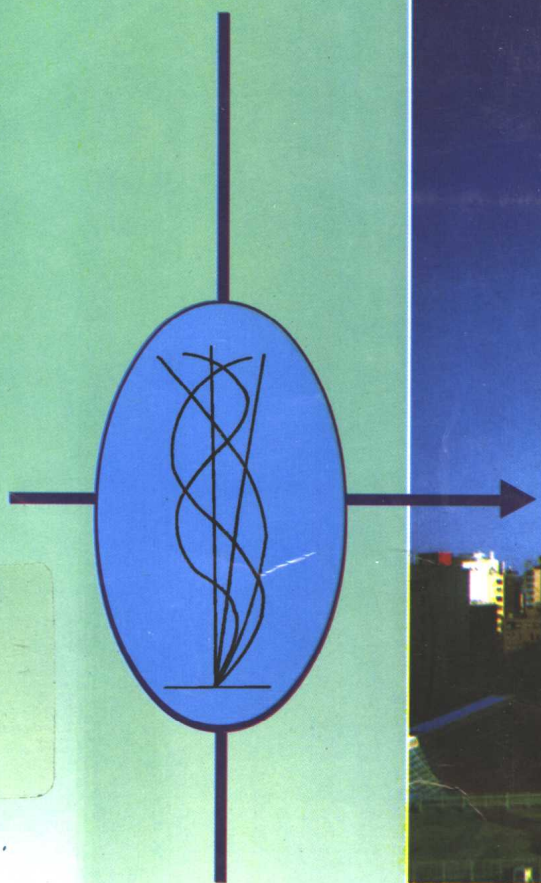


林丽川 郭少华 编著

# 力学实验、计算和仿真



中南大学出版社

# 力学实验、计算和仿真

林丽川 郭少华 编著

中南大学出版社

2001·长沙

## 力学实验、计算和仿真

林丽川 郭少华 编著

---

☐责任编辑 邓立荣

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8829482

电子邮件:csucbs @ public. cs. hn. cn

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 中南大学印刷厂

---

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 20.5 ☐字数 507 千字

☐版 次 2001 年 11 月第 1 版 ☐2001 年 11 月第 1 次印刷

☐印 数 0001—3000

☐书 号 ISBN 7-81061-462-2/O · 020

☐定 价 25.00 元

---

图书出现印装问题,请与经销商调换

## 前 言

最近二三十年来,由于计算机、计算和仿真技术以及现代工程测试技术飞速发展,工程结构分析和设计发生了重大的变化。结构由静态转向动态研究,由线性转向非线性研究,由安全系数设计转向可靠性设计,由确定性研究转向随机、混沌和模糊研究,由局部优化转向全局优化研究……总之,它已经由理论和试验两极向理论、计算和试验三极转化。这是当前工程技术发展最基本的特点。因此,与工程结构相关的专业的力学系列基础课程必须改革。为了适应现代工程技术发展的需要,必须从当前教改实际状况出发,努力将理论、计算和试验有机地结合起来。如何有效地提高实验、计算和仿真能力,是培养学生运用理论知识解决实际问题能力和创新能力关键的一环。为了达到这个目的,基本作法是:

第一,实验设置,不刚只是从课程要求出发,而应从培养 21 世纪高质量的工程技术人才出发。例如,理论力学实验设置为 4 个:动点、动系的选取,振型动画,简谐激励测自由板的固有频率,脉冲激励测自由板的固有频率。这些实验的设置,既考虑了课程教学的根本要求,又起点高。通过实验,学生能掌握现代振动测试两种基本测试方法,学习随机信号与振动分析系统的应用。

第二,合理选取和安排实验,使其贯穿于基础力学教学之中。例如,理论力学实验主要学习系统固有频率现代测试方法和基本技术;材料力学实验主要学习材料基本力学性能和破坏特点以及静态应力测试技术;结构力学实验主要学习挠度、转角、动力响应以及模态分析等测试技术;疲劳和断裂实验则在专题学习中安排,等等。这种安排在当前教学课时大为减少的情况下,将有助于保证学生实验动手能力的培养和提高。

第三,简明扼要介绍了 Fortran、MATLAB、Super SAP 在力学和工程中的应用。书中列举了基础和专业中大量的例题,供教师和实验技术人员指导学生和学生使用时使用。学生可结合理论力学、材料力学、结构力学、力学实验以及专业课等学习,进行科学计算,开展应力模拟和动态仿真,进行数据拟合,绘制图形和列出工程表格数据,进行实验和计算机计算的对比、组合和修正等,这样将大大提高计算、模拟和仿真能力。进行实验和计算机计算对比、组合和修正,将有助于引导学生解决工程实际问题能力的真正提高。

第四,与已出版的力学实验教材不同的是,该书比较系统地介绍了应力和模态实验基本技术以及 CRAS 随机信号与振动分析系统。学生在教师和实验技术人员指导下,可更好地发挥主动性,较好地掌握这两项基本实验技术,并能制定实验方案以及独立组织和进行实验。

本教材分 3 篇 10 章:第一篇是力学基本实验,第二篇是计算、模拟与仿真,第三篇是应力和模态测试技术。

第一篇分为理论力学、材料力学、结构力学、疲劳和断裂、流体力学等实验,共 5 章。其中理论力学实验为新开实验,共 4 个,它着重培养学生掌握现代振动测量的基本能力,学会使用 CRAS 随机信号与振动分析系统,需 2~4 课时;材料力学实验是在我室原有实验基础上进行了改革,删去原有的光弹性实验,着重加强力学性能和电测试验,设置了一些研究和分析实验以培养学生独立思考和创新能力,实验共 10 个,需 6~10 课时;结构力学实验为新开实验,共

3个,旨在培养学生进行结构实验的基本能力,需2~4课时;疲劳断裂实验3个,它吸取了一些新的研究方法,对原有的实验进行了改编和扩充,需2~4课时;流体力学实验4个,它增加了形象化教学内容,需2~4课时。本教材中的理论力学和结构力学实验为新增加的实验教学内容,它将有利于学生了解现代测试手段和方法以及多种实验动手能力的培养,同时还要求学生用MATLAB、Super SAP等大型程序进行数值模拟,数据处理,计算、拟合以及绘图,这将大大提高实验研究能力。

第二篇内容包括:Fortran语言在理论力学中的应用;MATLAB在力学和工程中的应用;Super SAP在力学和工程中的应用等。

在计算、模拟与仿真技术飞速发展的今天,认真学习这些内容是极其重要的。学生学习时,可先从Fortran语言开始,结合理论力学学习了解高级语言在专业学习中应用的基本方法和思路,继而联系力学和工程中的问题学习MATLAB和Super SAP。相信你会被其强大而简捷的功能所吸引,从而产生无穷的乐趣。这样,只要经过一定时间的努力,你会发现自己应用基本理论去联系工程实际以及解决工程实际问题的能力明显提高。

第三篇内容包括:应变仪电测法、振动测试技术、随机信号与振动分析系统及其应用等。

该篇较系统地介绍应变仪电测法和振动测试基本技术。当进行力学基本实验和其他有关科研实验时,学习它,有助于掌握实验技术和方法,制定实验方案,组织并进行试验。书中提供的测试例题,可作为备用实验,供某些对测试要求高的专业选用,学生也可提出测试例题经同意后进行测试。现场测试和模拟实验,是为学生进行科研和鉴定性的实验而编写,以便制定实验方案和写出实验大纲。

本教材可供力学、土木、机械和其他有关专业学生、研究生以及工程技术人员使用,也可供教师和实验技术人员在进行教学改革时参考。

本书第5章由谢晓晴编写,其余9章由林丽川编写。

本教材出版前曾作为讲义在我校工民建97级等进行过二届教学,深受学生欢迎,并取得较好的效果。由于时间仓促,难免有缺点和错误,敬请读者批评指正。

在此书编写的过程中,得到了南京安正软件有限责任公司郑万泔教授(CRAS创始人)很大的支持和帮助,在此深表感谢。

编 者

2001年10月于长沙岳麓山下

# 目 录

## 第一篇 力学基本实验

### 1 理论力学实验

|         |               |   |
|---------|---------------|---|
| 1.1 实验一 | 动点、动系的选取      | 1 |
| 1.2 实验二 | 振型动画          | 2 |
| 1.3 实验三 | 谐波激励自由板固有频率测试 | 4 |
| 1.4 实验四 | 脉冲激励自由板固有频率测试 | 9 |

### 2 材料力学实验

|          |                           |    |
|----------|---------------------------|----|
| 2.1 实验一  | 拉伸实验                      | 18 |
| 2.2 实验二  | 压缩实验                      | 23 |
| 2.3 实验三  | 扭转实验                      | 25 |
| 2.4 实验四  | 梁弯曲正应力实验                  | 31 |
| 2.5 实验五  | 薄壁圆筒悬臂梁弯扭组合变形及主应力测定       | 33 |
| 2.6 实验六  | 材料弹性常数 $E$ 、 $\mu$ 的测定    | 39 |
| 2.7 实验七  | 叠梁应力分析和研究实验               | 44 |
| 2.8 实验八  | 冲击韧性实验                    | 45 |
| 2.9 实验九  | 压杆稳定实验                    | 47 |
| 2.10 实验十 | 条件屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 的测定 | 50 |

### 3 结构力学实验

|         |                 |    |
|---------|-----------------|----|
| 3.1 实验一 | 桁架杆件内力和节点的位移测量  | 55 |
| 3.2 实验二 | 桁架在动荷载作用下的响应测量  | 56 |
| 3.3 实验三 | 六层框架模型结构的试验模态分析 | 59 |

### 4 疲劳和断裂实验

|         |                       |    |
|---------|-----------------------|----|
| 4.1 实验一 | 疲劳实验                  | 63 |
| 4.2 实验二 | 平面应变断裂韧性 $K_{IC}$ 的测定 | 65 |
| 4.3 实验三 | 裂纹尖端张开位移 COD 测试       | 69 |

## 5 流体力学实验

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 5.1 实验一 流谱流线演示实验      | 73 |
| 5.2 实验二 流体静力学实验       | 74 |
| 5.3 实验三 能量方程(伯诺里方程)实验 | 76 |
| 5.4 实验四 雷诺实验          | 77 |

## 第二篇 计算、模拟与仿真

## 6 Fortran 语言在理论力学中的应用

|                  |    |
|------------------|----|
| 6.1 利用微机解题的基本步骤  | 79 |
| 6.2 编程和算例        | 80 |
| 6.2.1 矢量合成运算     | 80 |
| 6.2.2 物体系统的平衡问题  | 82 |
| 6.2.3 点的速度和加速度合成 | 87 |
| 6.2.4 动力学普遍定理    | 90 |
| 6.2.5 求刚体的转动惯量   | 92 |

## 7 MATLAB 在力学和工程中的应用

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 7.1 高性能的科技应用软件                | 97  |
| 7.2 MATLAB 命令行窗口的进入和退出        | 98  |
| 7.3 MATLAB 在力学和结构工程中的常用计算     | 98  |
| 7.3.1 计算结果的输出格式               | 98  |
| 7.3.2 指令的续行输入                 | 99  |
| 7.3.3 常用计算和仿真                 | 99  |
| 1. 数字乘法                       | 99  |
| 2. 数字除法                       | 99  |
| 3. 矩阵输入                       | 99  |
| 4. 向量点积(内积)和叉积(外积)            | 100 |
| 5. 矩阵转置、乘方和乘法                 | 100 |
| 6. 线性方程组(正定方程组)求解             | 101 |
| 7. 矩阵的逆、行列式以及特征值和特征向量         | 102 |
| 8. 多项式的表示及其根                  | 106 |
| 9. 矩阵的特征多项式                   | 107 |
| 10 多项式的曲线拟合、多项式的值以及不同拟合的比较和绘图 | 108 |
| 11. 数据的图示和基本处理                | 109 |
| 12. 曲线拟合或回归分析                 | 112 |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 13. 快速傅立叶分析 .....        | 117 |
| 14. 函数曲线的绘制和工程图表数据 ..... | 119 |
| 15. 求函数零点 .....          | 130 |
| 16. 求函数的极值 .....         | 134 |
| 17. 函数的数值积分 .....        | 138 |
| 18. 常微分方程的初值问题 .....     | 141 |
| 19. 仿真及其分析 .....         | 144 |

## 8 Super SAP 在力学和工程中的应用

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1 引言 .....                                                               | 155 |
| 8.2 Super SAP 功能模块和运行框图 .....                                              | 155 |
| 8.2.1 功能模块组成情况 .....                                                       | 155 |
| 8.2.2 Super SAP 91 运行框图 .....                                              | 156 |
| 8.3 屏幕分区、功能键等概述 .....                                                      | 158 |
| 8.3.1 进入和退出 Super Draw II .....                                            | 158 |
| 8.3.2 屏幕分区 .....                                                           | 158 |
| 8.3.3 输入数据方式 .....                                                         | 159 |
| 8.3.4 功能键 .....                                                            | 159 |
| 8.3.5 一些比较重要的菜单(包括主菜单、重要的一级或二级子菜单) .....                                   | 160 |
| 8.4 计算和仿真例题 .....                                                          | 160 |
| 8.4.1 上端自由下端固定三维柱(4cm×4cm×48cm, A <sub>3</sub> 钢)受力应力分析 .....              | 160 |
| 8.4.2 一端固定铰支一端可动铰支板(100cm×10 cm×1cm, A <sub>3</sub> 钢)的 12 阶<br>模态分析 ..... | 161 |
| 8.4.3 门架的内力分析——梁工具箱的应用 .....                                               | 162 |

## 第三篇 应力和模态测试技术

### 9 应变仪电测法

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 9.1 电阻应变片(简称应变片) .....       | 165 |
| 9.1.1 应变片的种类、构造及转换原理 .....   | 165 |
| 9.1.2 应变片的工作特性及周围环境的影响 ..... | 168 |
| 9.1.3 应变片的选用、粘贴和保护 .....     | 172 |
| 9.2 电阻应变仪 .....              | 175 |
| 9.2.1 概述 .....               | 175 |
| 9.2.2 电阻应变仪的测量原理 .....       | 175 |
| 9.3 应力应变测量 .....             | 185 |
| 9.3.1 简单应力状态的应力应变测量 .....    | 185 |
| 9.3.2 复合抗力下对某应变成分的测定 .....   | 189 |



|           |                                     |     |
|-----------|-------------------------------------|-----|
| 9.3.3     | 平面应力状态下的应力应变的测定 .....               | 192 |
| 9.4       | 力、扭矩和位移的测定 .....                    | 197 |
| 9.4.1     | 测力传感器 .....                         | 197 |
| 9.4.2     | 扭矩传感器 .....                         | 199 |
| 9.4.3     | 位移传感器 .....                         | 201 |
| 9.5       | 测试例题和现场测试 .....                     | 201 |
| 9.5.1     | 测试例题 .....                          | 201 |
| 9.5.2     | 现场和模拟测试 .....                       | 210 |
| <b>10</b> | <b>振动测试和分析</b>                      |     |
| 10.1      | 概述 .....                            | 213 |
| 10.1.1    | 振动测试的意义 .....                       | 213 |
| 10.1.2    | 振动现象的描述及测试内容 .....                  | 214 |
| 10.1.3    | 振动测试仪器的概述 .....                     | 215 |
| 10.2      | 常用传感器 .....                         | 217 |
| 10.2.1    | 相对式传感器 .....                        | 217 |
| 10.2.2    | 绝对式传感器(或称惯性式传感器) .....              | 218 |
| 10.3      | 测振仪器 .....                          | 233 |
| 10.3.1    | 引言 .....                            | 233 |
| 10.3.2    | 双对数坐标、分贝和倍频程 .....                  | 233 |
| 10.3.3    | 微积分电路及其放大器 .....                    | 238 |
| 10.3.4    | 电压放大器和电荷放大器 .....                   | 244 |
| 10.3.5    | 滤波器 .....                           | 251 |
| 10.3.6    | 激振器和振动台 .....                       | 253 |
| 10.3.7    | 测振仪器的标定 .....                       | 257 |
| 10.4      | 随机信号与振动分析系统(CRAS)及其应用 .....         | 259 |
| 10.4.1    | 概述 .....                            | 259 |
| 10.4.2    | 随机信号采集及处理 .....                     | 260 |
| 10.4.3    | 信号分析和系统分析 .....                     | 269 |
| 10.4.4    | 试验模态分析 .....                        | 295 |
|           | <b>参考文献</b> .....                   | 303 |
|           | <b>附录</b>                           |     |
| 附录 1      | 理论力学实验报告 .....                      | 304 |
| 附录 2      | 拉伸实验报告 .....                        | 305 |
| 附录 3      | 压缩实验报告 .....                        | 307 |
| 附录 4      | 扭转实验报告 .....                        | 308 |
| 附录 5      | 梁弯曲正应力测定的实验报告 .....                 | 309 |
| 附录 6      | 弯扭组合变形和主应力测定的实验报告 .....             | 310 |
| 附录 7      | 弹性常数 $E$ 、 $\mu$ 测定的实验报告(电测法) ..... | 311 |

|       |                                    |     |
|-------|------------------------------------|-----|
| 附录 8  | 弹性常数 $E$ 、 $\mu$ 测定的实验报告(机械法)..... | 312 |
| 附录 9  | 叠梁应力分析和研究实验报告 .....                | 313 |
| 附录 10 | 流体静力学实验报告 .....                    | 314 |
| 附录 11 | 能量方程(伯诺里方程)实验报告 .....              | 316 |
| 附录 12 | 雷诺实验报告 .....                       | 318 |

# 第一篇 力学基本实验

## 1 理论力学实验

### 1.1 实验一 动点、动系的选取

#### 1.1.1 目的

通过理论力学课件的运行,配合课堂教学,更深入理解和学习动点、动系的选取方法。

#### 1.1.2 设备和软件

设备: 586 微型计算机。

软件: 采用北京大学、清华大学、国防科技大学、华中科技大学等 10 所大学联合研制的理论力学课件。整个课件分静力学、运动学和动力学三大部分, 9 个专题, 10 张软盘。本实验采用其中部分软件进行。

#### 1.1.3 动点、动系的选取讨论

用复合运动方法研究物体或物体系统的复杂运动时, 若动点、动系选取不当, 则动点的相对运动不清楚, 这将导致分析错误; 或者解题变得非常复杂, 甚至解不出来。根据学生解题时常出现的错误, 总结选取动点、动系的一般原则如下:

(1) 动点、动系不能选在同一物体上, 否则无相对运动。

(2) 动点、动系的选取不是惟一的, 但应使动点的相对运动简单明了或易于想象, 即相对轨迹简单清楚, 以简便而正确地分析动点的相对速度和相对加速度。因此, 动点、动系选取的关键在于相对轨迹简单清楚。

(3) 对于机构传动问题: 动点一般选在两运动构件连接点上, 但在不变连接点的那边, 而动系固结在限制此动点运动的另一运动机构上, 常见的如滑槽、导板和凸轮等, 容易知道其相对轨迹为直线和轮廓线。但是, 有时无论取哪边构件的连接点为动点, 另一构件为动系, 其相对轨迹都不易观察清楚, 如在同一平面上滚动圆轮推动一摇杆运动, 则宜取圆轮中心为动点, 摇杆为动系, 易知轮心相对于摇杆的轨迹为平行于摇杆的直线。

总之,动点、动系的选取,关键的是第二条,应通过若干典型例题掌握其内涵和外延。采用该软件实验,能形象地描绘出相对轨迹,从而使认识更加深刻。

#### 1.1.4 操作步骤

(1)将 CCDOS 盘插入 A 驱动器,可直接开机,或重启动,屏幕出现:

请选择驻留字库:

0. 不驻留    1. 一级字库    2. 二级字库    3. 任意

请选择(0—3):      2  

键入 2,再按 Enter 键,出现提示符 A 后,取出 CCDOS 盘。

(2)将第 9 张软盘(清华大学研制,专题)插入 A 驱动器,键入 9,再按 Enter 键。

(3)进入专题后的操作,根据屏幕提示进行,主要由  $\uparrow$ 、 $\downarrow$ 、 $\leftarrow$ 、 $\rightarrow$  键和空格键来实现。

(4)看完第 9 张软盘的动点、动系的专题后,再插入 CCDOS 盘,按回车键,出现 A 后,插入第 6 张盘,键入 6,接着按 Enter 键。通过  $\uparrow$ 、 $\downarrow$ 、 $\leftarrow$ 、 $\rightarrow$  键,选择 2~3 个机构看,至此试验完毕。(Windows 版本尚未问世,出版后待修改)

## 1.2 实验二 振型动画

### 1.2.1 目的

通过观察矩形板(rp)、圆环(yp)、圆筒(hgd)、五质量块梁(sas)、雷达(rd)、盒子(box)、齿轮轴(ger)等结构物的各阶振动形态仿真,深刻了解结构的固有特性:各阶振型或称模态(有横向振动和扭转振动等模态,对应的各阶固有频率和阻尼值)以及节点、节线等概念;初步了解进行实验模态分析的意义。

### 1.2.2 设备和软件

设备:586 微型计算机。

软件:采用 CRAS 随机信号与振动分析系统之中的模态几何和动画(MAGEO)和 DAT 软件。

### 1.2.3 原理和方法

所谓振型,是指结构固有的振动形态。一个连续体的结构物,其固有频率有无穷多个,振型相应有无无穷多阶,振型阶次是按固有频率的大小排列,依次称为一阶振型,二阶振型,……,N 阶振型等。在实际工程中,往往只需了解前几阶振型,如房屋结构中,底部剪力法只用到第一阶固有频率;振型组合法中,一般应取前 9 阶或前 15~18 阶振型,或者更多。又如航空和机械结构中,至多 30~40 阶。

众所周知,对于结构物(如梁、板、桥梁、飞机等),当激励频率和它的固有频率一致时,将产生共振,利用共振方法可测出固有频率和振型。如果你想肉眼观察振型,最简单的演示是手持一根 1 m 长钢尺一端,用手慢速抖动,这样可观察到一阶振型,加快抖动,可看到二、三阶振型。二阶振型有一个节点(不动点),三阶振型有两个节点。实际上,肉眼观察不到结构物的振型,以前测量振型的方法很多,而现代测量方法是实验模态分析方法。实验模态分析的结果可获得振型动画。

振型动画就是将人们研究所需结构的固有振动的各阶振型形象地演示出来,给人以非常

直观的认识,同时给出研究所需相应的各阶固有频率和模态阻尼比。振型动画显示出振动形态是横向振动、纵向振动,或扭转振动,比较精确且不遗漏地给出所需各阶固有频率及其谱值和模态阻尼比,以便进行振动和噪声控制,改进结构设计,研究和了解结构损伤,提供改进有限元数学模型的依据等等;振型动画明确显示节点、节线和波峰位置,了解振动试验有关现象,改进试验,确定振动时效有效的激振器和支承的安装位置,还可改进隔振效果等等。这些是仅作频率分析而不能相比。

#### 1.2.4 操作步骤

(1)进入CRAS软件 MAGEO(模态几何与动画)的步骤:

开机 → (以下双击鼠标左键) 我的电脑 → (D:) → add44 → MAGEO

MAGEO 窗口分标题栏、菜单栏、工具栏、任务栏、说明栏与主窗口,画面如图 1.1 所示。

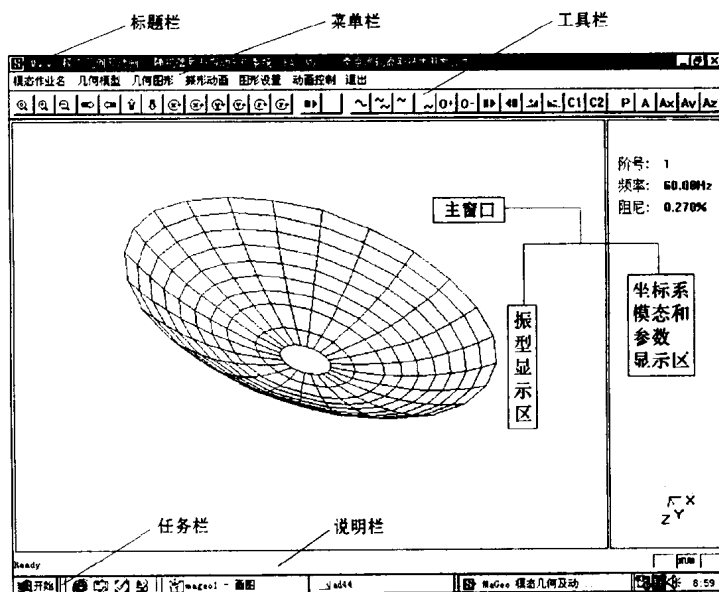


图 1.1

由上面模态几何和动画的画面来说明各栏和主窗口的内容和功能:

**标题栏:**用于显示你所应用的是什么程序。这里应用的是模态几何和动画程序。最右边是你所熟知的最小化、最大化/还原和关闭按钮。所谓最小化即单击它使该应用程序窗口缩减为任务栏上的一个按钮。

**菜单栏:**将有效工作全部命令分成若干菜单组成。该程序分模态作业名、几何模型、几何图形、振型动画、图形设置、动画控制和退出等菜单,有的还有下拉式菜单。该菜单中的各命令一看就能明了,不再赘述。

**工具栏:**各形象化的图标按钮代表菜单命令的快捷键。从左至右各键分别为窗口重置、放大、缩小、水平向右移动、水平向左移动、垂直向上移动、垂直向下移动、绕 X 轴正向转动、绕 X 轴逆向转动、绕 Y 轴正向转动、绕 Y 轴逆向转动、绕 Z 轴正向转动、绕 Z 轴逆向转动、连续运动或停止、标记结点号、单图形动画、双图形动画、激活左上图、激活右下图、模态阶号递增、模态阶号递减、模态单步正向、模态单步反向、振幅加大、振幅减小、动静位置比较、正反向比较、透视、轴测、X 轴测、Y 轴测、Z 轴测等。其实只要你移动鼠标至图标位置,其上的文字显示就

可以看到。

**任务栏:**在屏幕最下面一栏,其上出现按钮,使用它们,可将已经打开的窗口进行切换。

**说明栏:**对工具栏中各形象化图标键的操作含义加以较详细说明。

**主窗口:**分两部分,左侧(约占 4/5)称振型显示区,它可显示图形或动画,右侧(约 1/5)称坐标系和模态参数显示区,它可显示坐标系、模态频率和模态阻尼比。

(2)调用各结构振型的步骤:

单击菜单栏中的“模态作业名”→输入作业名

键入 d:\dat\ma\rp\rp 调用矩形板振型

或 d:\dat\ma\yp\yp 调用圆环振型

或 d:\dat\ma\hgd\hgd 调用圆筒振型

或 d:\dat\ma\sas\sas 调用五质量块振型

或 d:\dat\ma\rd\rd 调用雷达振型

或 d:\dat\ma\box\box 调用盒子振型

或 d:\dat\ma\ger\ger 调用齿轮轴振型

此时,屏幕主窗口显示出相应结构的网格形状图。

⇒ 单击菜单栏中的‘振型动画’屏幕主窗口左侧显示出相应结构的振型,而右侧显示出坐标系、相应固有频率和模态阻尼比。

⇒ 如若图形不在屏幕中央,单击工具栏中的“←”“→”“↑”“↓”等键,即可将图形左移、右移、上移、下移,调至屏幕中央。

⇒ 如若观察角度不合适,单击工具栏中的“”“”“”“”“”“”等键,即可分别绕 X 轴、Y 轴、Z 轴顺时针或逆时针旋转,调至振型显示清楚。

⇒ 观察各阶振型,单击工具栏中的“0+”或“0-”键,则模态阶号递增或递减,可观察到各阶振型和相应各阶固有频率和模态阻尼比。

至于其他各键,移动鼠标至工具栏各图标键位置,可见简要中文提示,单击各键,观察振型的变化,不难掌握其操作,这里不再多述。

## 思考题

1. 比较频率分析和模态分析的异同,频率分析能否取代模态分析?
2. 观察节点、节线有何意义?

## 实验三 谐波激励自由板固有频率测试

### 1.3.1 目的

通过对一 600 mm×100 mm×6 mm 普通钢板,在一阶振型节线位置用弹性海绵支承,测定该钢板的横向振动和扭转振动前七阶固有频率,掌握测试系统的配置和使用,以达到了解这一现代振动测试的基本方法——谐波激励法,将测试结果与另一现代振动测试的基本方法——脉冲激励法的测试结果,甚至与试验模态分析结果以及有限元分析(解析模态分析)结果比较。

### 1.3.2 设备

激振装置:JZK-2 永磁激振器、YE1312 扫频信号源。拾振和显示装置:CA-YD-103 压电加速度计、YE5852 电荷放大器、SS-7802 示波器(或 ADCRAS 的实时示波)。

实验框图如图 1.2 所示。

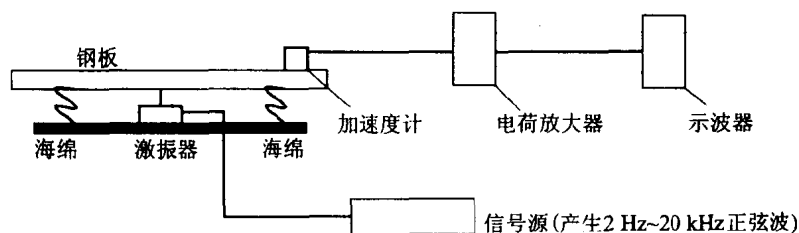


图 1.2

### 1.3.3 原理和方法

当激振力的频率与结构的固有频率相等时,结构将处于共振状态,振幅达到最大值;这时测到的激振力的频率,就是结构的固有频率。激振力是由 YE1312 扫频信号源,提供 2 Hz~20 kHz 正弦信号推动激振器而得到的。本实验是在手动下进行的,以便较好地获得固有频率。结构共振时的波形,由安装在结构上压电加速度计获得,经电荷放大器放大,再由示波器显示。

### 1.3.4 仪器面板和操作步骤

#### 1. 仪器面板

A:SS-7802 示波器面板及功能介绍:

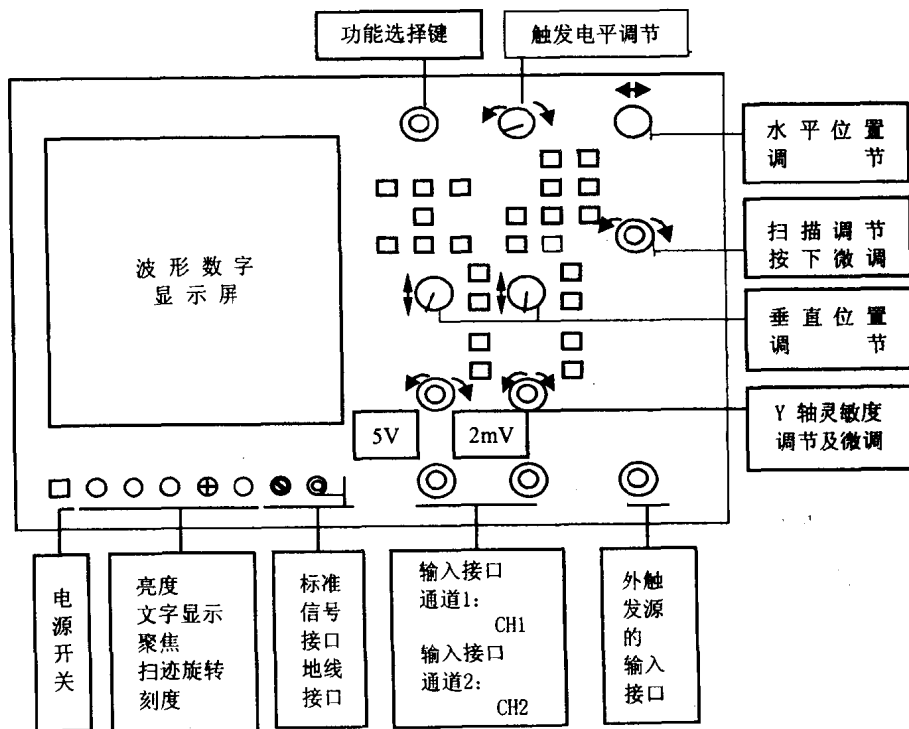


图 1.3 SS-7802 示波器前面板图

SS-7802 示波器前面板图(只标明本试验主要用到的按键和旋钮)如图 1.3 所示。



下面介绍如图 1.4 所示示波器屏幕上显示数字的意义。

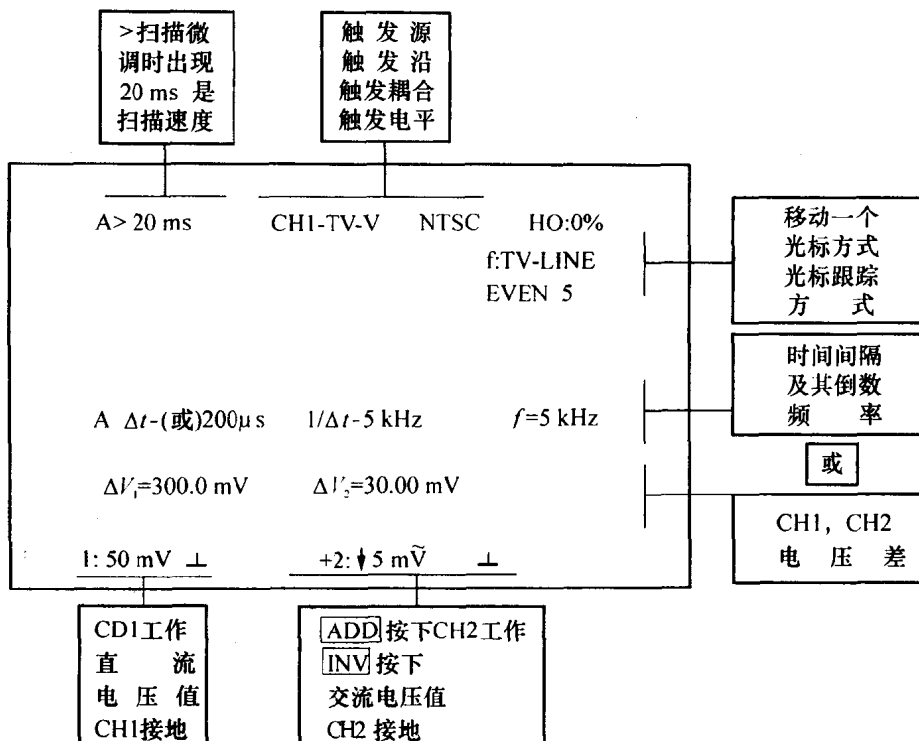


图 1.4

主要旋钮、按键和接口在面板上英文名或符号/操作方法/功能介绍：

(带 \* 者是本实验主要用到的,其他用作进一步实验)

- \* 电源开关: POWER/按下/接通 220V 市电。
- \* 亮度: INTEN/旋转/顺时钟旋转,扫迹亮度增加。
- \* 文字显示: READOUT/旋转/调整显示文字亮度。
- \* 聚焦: FOCUS/旋转/调整扫迹和文字的亮度。
- 扫迹旋转: TRACE ROTATION/用改锥旋/当扫迹不是水平时,可用它调整。
- 刻度: SCALE/旋转/调整刻度线的亮度。
- 校准信号接口: CAL/连线/输出 1kHz、0.6V 方波信号。
- 地线接口:  $\perp$ /连线/测量接地。
- \* 输入接口: CH1/CH2/连线/接 Y1/Y2 输入信号。
- \* 垂直位置调节: POSITION/旋钮/调节垂直位置。
- \* Y 轴灵敏度调节及微调: VOLTS/DIV(VARIABLE)/旋转/调节 Y 轴灵敏度,调节时,屏幕左下通道电压和分度因子值相应改变。按下再旋转,可作灵敏度微调,这时,不能进行 Y 轴信号幅度测量。
- \* 水平位置调节: POSITION/旋转/调节水平位置。
- \* 时间分度调节: TIME/DIV/旋转/按/旋转调节扫描速度,按下进行旋转微调。扫描时间因子值显示在屏幕左上角,单位是 s, ms 或  $\mu$ s。微调时数值前为 > 号,不微调是 = 号。

触发电平: TRIG LEVEL/旋转/调节触发电平,使图像稳定。

单次触发状态指示: READY/指示灯亮和灭/亮时,处于单次触发准备状态,触发后灯变暗。

触发指示: TRIGD/亮和灭/触发脉冲来时,灯亮,这时图形才稳定。

面板上其他按钮还有:

垂直部分:

输入通道:  /按/按下,相应通道工作,屏幕最下一行左边显示该通道数为 1:或者 2:。

直流/交流: /按/直流时,信号直接输入,屏幕上电压/分度因子值后电压单位为 V;交流时,信号通过电容输入,分度因子的电压单位为 V。

接地: /按/按下后相应输入端接地,输入信号与 Y 轴放大器断开,屏幕左下分度因子显示  $\perp$  符号。

相加: /按/按下后,屏幕显示  $Y_1 + Y_2$  波形,同时屏幕下方通道 2 的数字前出现 + 号,即显示 + 2:。

反相: /按/按下后,  $Y_2$  波形反相,同时屏幕下方显示 +2:  $\downarrow$ ;若同时按下 ,则屏幕显示  $Y_1 - Y_2$  波形。

水平部分:

位置微调: /按下/按下后,  指示灯亮时,转动 ,进行水平位置微调。再按一次, FINE 灯灭。

扫速放大: /按/按下后,扫描速度放大 10 倍,屏幕中心波形向左右展开,屏幕右下角显示 MAG。

触发部分:

触发沿选择: /按/选择触发沿,上升沿+,下降沿-。

触发源选择: /每按一下,改变一次/选择触发信号的来源: CH1、CH2、LINE 或 EXT, LINE 是以电源频率作触发源, EXT 为外触发源,触发源的符号显示在屏幕左上扫描因子后。

耦合方式: /按/选择触发耦合模式: AC、DC、HF-R、LF-R。

视频触发模式选择:

/按/视频触发模式有 BOTH、ODD、EVEN 或 TV-H。

水平显示:

扫描显示: /按/按后显示  $Y_1, Y_2$  或  $Y_1, Y_2$  波形。

X-Y 显示: /按/CH1 信号加到 X 轴(水平轴), CH1、CH2 或 ADD 信号加到 Y 轴(垂直轴)。用于观察李萨如图或磁滞回线等。

扫描模式: