

# 高耸结构静、动力与消振实验

## 一、实验目的

1. 测定高耸结构在模拟风荷载作用下的表面静正应力大小，并与理论值比较。
2. 了解应变电测原理，掌握静、动态电阻应变仪的使用。
3. 采用环境激励和捶击法测定高耸结构的各点振动和加速度相应信号后，通过分析获得到各测点时域信号的功率谱以及与参考点之间的相位谱，并得出各阶模态的振动频率，从而得到整个结构的自振频率、阻尼、振型等动力特性。
4. 掌握结构模态分析仪器的使用。

## 二、实验设备

1. 高耸结构实验装置
2. DH-3818 型静态应变测试仪
3. 振动及动态信号采集分析计算系统

## 三、静力实验原理和装置

高耸结构装置如下图所示变截面悬臂梁结构。该结构按实际通讯铁塔用相似理论制作而成，构件采用不锈钢材料，高 2750mm，底面外径 60mm，内径 58mm，壁厚 1mm。两个平台高度分别为  $h_1 = 2.1m$ ， $h_2 = 2.4m$ 。如图所示。材料密度

$\rho = 7850kg/m^3$ ，弹性模量  $E = 210GPa$ ，泊松比  $\mu = 0.3$ 。

在 2/3 高处，结构缠有细线，细线沿水平方向绕过定滑轮，在细线末端吊有砝码托盘。这样实验时通过加载砝码，模拟对结构的水平力作用。在结构受拉侧，沿轴线方向选 5 到 6 个截面贴应变片，利用电阻应变仪测出各应变片的应变值，找出变截面最大应力处。

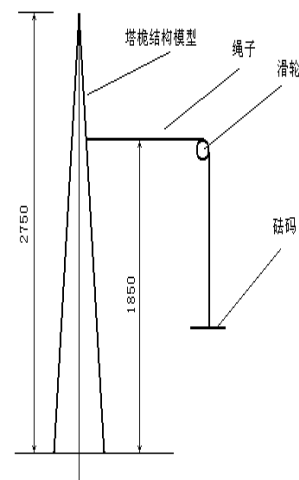


图 1 塔桅结构静力加载模型

### (1) 理论分析

由理论推导出的梁纯弯曲时横截面上的正应力公式为  $\sigma = \frac{M}{I_z} y$  (1)

式中  $\sigma$  : 横截面上的弯矩;

$I_z$  : 梁横截面对中性轴 Z 的惯性矩;

$y$  : 需求应力的测点离中性轴的距离;

假设在 2/3 高处作用水平力 F，则结构弯矩表达式为：

$$M(x) = -Fx + 2/3h F \quad (2)$$

设外径为 D，内径为 d，由几何关系得

$$D(x) = \frac{2(h_{\text{外}} - x)}{h_{\text{外}} / D_{\text{底外径}}} \quad (3),$$

$$d(x) = \frac{2(h_{\text{内}} - x)}{h_{\text{内}} / D_{\text{底外径}}} \quad (4)$$

$h_{\text{外}}$ : 结构外壁高度, 为 2750mm

$h_{\text{内}}$ : 结构内壁高度, 计算得约 2660mm

由 (3) (4) 式得:

$$I_z(x) = \frac{\pi}{64} [D^4(x) - d^4(x)], \quad (5)$$

$$\text{又 } y = 1/2 D(x) \quad (6)$$

将 (2) (5) (6) 代入 (1) 式, 并带入相关数据, 可求得截面正应力表达式为:

$$\sigma = \frac{(5.5-3x)(2.75-x)}{(2.75-x)^4 - (2.66-x)^4} \cdot \frac{2.75^3 \times 4}{0.03^3 \times 3\pi} F \quad (7)$$

假设单位力  $F=1\text{N}$ , 可由上式求得  $x$  约在 0.997m 处时, 有  $\sigma_{\text{max}} = 0.7875 \text{ MPa}$ ,

应变仪测得各应变片的应变值, 然后根据单向应力状态的胡克定律求出各点实测的应力值:

$$\sigma_{\text{实}} = E \varepsilon_{\text{实}} \quad (8)$$

式中  $E$ : 材料的弹性模量

$\varepsilon_{\text{实}}$ : 应变仪测得的应变值

由于以上推导公式适用于比例极限内, 故结构的加载必须在此范围内。为了观察变形与荷载的线性关系, 实验时采取增量法加载, 即每增加等量载荷  $\Delta P$ , 测量各点的应变一次, 观察各次的应变增量是否也基本相同。然后, 再重复加载从零至最终荷载两次。最后, 取三次最终荷载所测得的应变平均值计算各点的应力值  $\sigma_{\text{实}}$ 。

本实验用电测法测量应变, 采取 1/4 桥连接方式。因多点测量, 且各个测量点温度条件相同, 为方便测量, 各测量片公用一个温度补偿片。(具体连接方法查看 DH3818-2 静态应变测试仪说明书)

## (2) 实验步骤

### 1. 选取测量点

- (1) 沿结构受拉侧最外沿选取 5 至 6 个截面, 用卷尺测量各点距离底座的高度, 并记录。
- (2) 用游标卡尺测量选取截面的直径, 并记录下来;

### 2. 在选取点处依次贴应变片, 并引出导线;

### 3. 应变仪准备

- (1) 接通 DH3818-2 静态应变测试仪, 按下开关按钮。
- (2) 调整应变仪的电阻值和灵敏度系数, 使之与所贴电阻应变片的电阻值和灵敏度系数相一致;
- (3) 按应变仪上面板所示 1/4 桥路接法, 依次接好电路。
- (4) 查看应变仪表面各通道。按下面板 数字键 0, 再按平衡键。此时仪器自动平衡所有测点。

#### 4. 加载测量

本实验采取砝码加载的方法。每增加砝码  $\Delta P$ ，记录一次各测点的应变读数一次，观察各次的应变增量是否基本相同。然后，再重复加载两次，最后取三次最终荷载所测得的各点的应变平均值计算各点的实测应力。

##### (3) 注意事项

1. 本实验为变截面问题，最大应力不在结构根部。因此截面选取位置应尽量在理论测算应力最大位置附近。
2. 所有连线必须牢固可靠，建议与端子连接用焊锡焊牢。
3. 不要随意拉动导线或触碰结构上的电阻应变片。
4. 系统必须良好接地。系统接地不好，将产生一定的漂移，稳定度也将受到影响。

#### 四、动力实验原理和装置

使用与静力测试的相同测试塔结构进行动力测试实验。

##### (1) 理论计算

使用理论计算测试塔的自振频率、振型（可用瑞利一里兹法、有限元计算软件等方法），并进行模态分析后试画出前三个振型图。

##### (2) 实验测试准备

将塔身按轴向 20 等分，除顶点外每个截面 8 等分，共计 161 个节点，将截面同侧节点设为动力响应待测点，其余点建立约束方程，令其它与同一截面上待测点运动形式相同，根部为固节点。测试时，在塔体适当的位置布置 2 个 CA-YD-103 型加速度传感器，以递推方式依次测量其余测点。

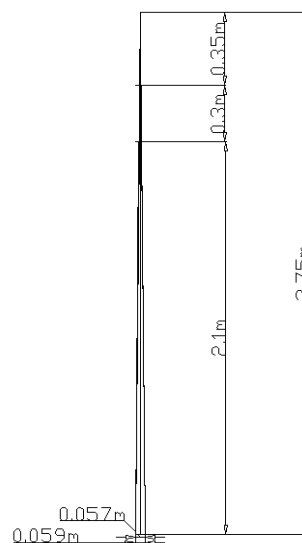


图 2 塔桅结构计算模型

##### (3) 实验方法:

以第八点为参考点，分别测量 20 个待测点的振动信号，将测得的各测点时域信号经频谱分析，得到各测点时域信号的功率谱以及与参考点之间的相位谱，通过传递函数分析，得出各阶模态的振动频率，对于某一振动频率，各测点与参考点的归一化振型幅值。从而得到整个结构的自振频率、阻尼、振型等动力特性。实验分别采用环境激励和锤击法进行实验。

##### (4) 实验结果分析

将测试的整个结构自振频率、阻尼、振型实验数据列出表图，并与理论计算数据做对比分析。

#### 五、塔体振动减振的实验

将塔体下侧用激振器激励塔体水平振动，由实验的学生根据减振的原理，设计悬挂在塔顶端的减振装置，通过对减振的测试实验数据的分析，提供减振的可行方案。

#### 六、实验报告

学生的实验报告安所提供的标准格式，由学生以论文形式完成。



粘贴应变片的塔桅结构模型

用激振器激振塔桅结构模型以引起强迫振



开放实验-学生正在粘贴应变片