

结构动力特性 试验

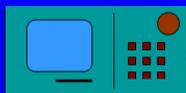
宋世德

大连理工大学结构试验室

2010-11

内容

- ◆ 一、试验目的
- ◆ 二、试验原理
- ◆ 三、试验方法
- ◆ 四、试验过程
- ◆ 五、数据处理



OFS

LPFG

FBG

EFPI

- 建筑结构动力特性是反映结构本身所固有的动力性能。主要包括结构的自振频率、阻尼系数和振型等动力特性参数。这些特性反映结构本身所固有的动力性能，是由结构形式、质量分布、结构刚度、材料性质，构造连接等因素决定，与外荷载无关。
- 建筑结构动力特性试验对结构动力特性参数的量测是结构动力试验的基本内容，在研究建筑结构或其他工程结构的抗震、抗风或抗御其它动荷载的性能和能力时，都必须要进行结构动力特性试验，以了解结构的自振特性。



OFS



LPEG

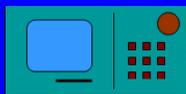


FBG



EFPI

- 通过结构动力特性试验，可以获得结构的自振频率，（1）在结构抗震设计中用于评估地震对结构的影响；（2）可以避免动荷载作用下产生的共振。
- 结构受到损伤开裂后，结构的刚度发生变化，而刚度的减弱使结构自振周期变长，阻尼变大。因此结构动力特性试验可用于结构的安全检测和结构损伤诊断，通过结构自身固有特性的变化来识别结构物的损伤程度，为结构的可靠度诊断和剩余寿命的估计提供依据，最常见的是在桥检中的应用。



OFS

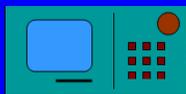
LPFG

FBG

EFPI

一、试验目的

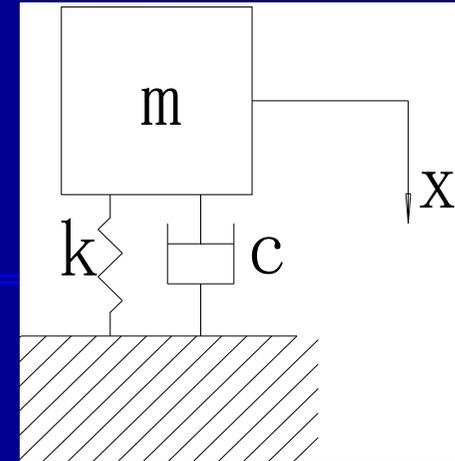
- 1、掌握动力参数的测量原理
- 2、掌握振动传感器、仪器及使用方法
- 3、通过振动衰减波形求出系统的固有频率和阻尼比
- 4、掌握数据处理方法。



OFS



二、试验原理



- 单自由度系统是最简单的振动模型。
- 如果给系统（质量 m ）一初始扰动，系统作自由衰减振动，系统的运动微分方程式为：

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

- c 为阻尼系数， k 为等效弹簧的弹性系数。

● 令

$$\omega^2 = \frac{k}{m}, \quad \alpha = \frac{c}{2m}$$

$$\ddot{x} + 2\alpha\dot{x} + \omega^2 x = 0$$



OFS



LPFG



FBG



EFPI

方程的通解为:

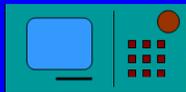
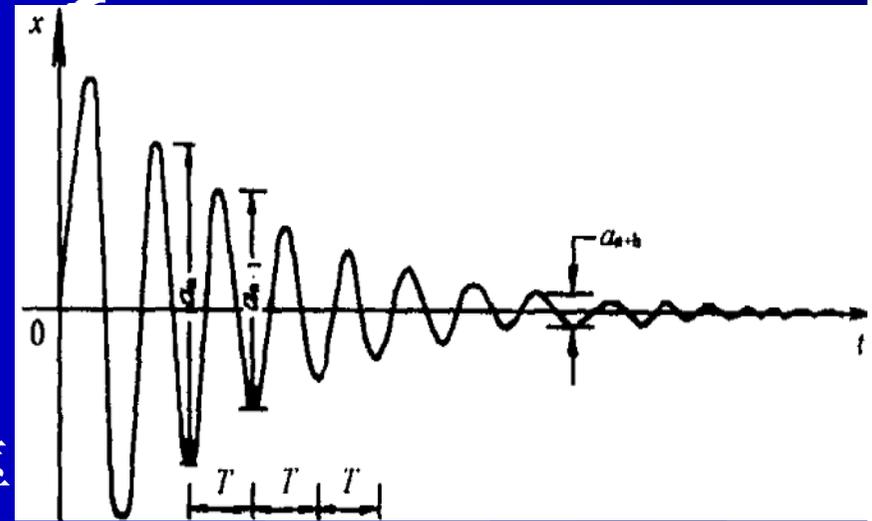
$$x = e^{-\alpha t} [A \cos(\omega_d t + \varphi) + B \sin(\omega_d t + \varphi)]$$

为计算方便引入阻尼比 ζ (相对阻尼系数): $\zeta = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{c}{2m\omega}$
对于土木工程中常见的小阻尼 ($\zeta \ll 1$, 即 $\alpha \ll \omega$), 方程的解为

$$x = A e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t + \varphi)$$

$$A = \frac{1}{\omega_d} \sqrt{(\omega_d^2 - \alpha^2) x_0^2 + 2\alpha \dot{x}_0 + \dot{x}_0^2}$$

式中: A 为振幅, φ 为相位,
由运动初始条件确定
 ω_d 为有阻尼自由振动的圆频率



OFS

LPFG

FBG

EFPI

有阻尼振动的特点:

1) 有阻尼振动周期 T_d 大于无阻尼自由振周期 T , 即 $T_d > T$ 。

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{T}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

无阻尼条件时的系统固有频率: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\zeta^2}}$

由于阻尼的存在, 使衰减振动的周期加大。通常阻尼比 ζ 很小, 阻尼对周期的影响不大。例如, 当 $\zeta=0.05$ 时, $T_d = 1.00125T$, 周期 T_d 仅增加了0.127%。因此当阻尼比 $\zeta \ll 1$ 时, 可近似认为有阻尼自由振动的周期与无阻尼自由振动的周期相等。



QFS



LPFG



FBG



EFPI

2) 振幅按几何级数衰减。

振幅减缩率 η 则为

$$\eta = \frac{A_i}{A_{i+1}}$$

振幅对数减缩率为:

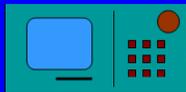
$$\delta \ln \frac{A_i}{A_{i+1}} = \zeta T_d$$

若用相隔 n 个周期的两个振幅之比来计算:

$$\ln \frac{A_i}{A_{i+n}} = n \zeta T_d$$

测量振动波形的时刻 t_i 和经过 n 个准周期后 $t_i + nT_d$ 时的振幅, 可通过上式计算阻尼比 ζ , 从而确定阻尼系数 c :

$$\ln \frac{A_i}{A_{i+n}} = n \zeta T_d$$



OFS



总结：确定体系阻尼比的方法

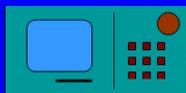
工程实际中阻尼比常在0.02~0.2之间，远小于1，因此

$$\frac{1}{Q} \approx 2\zeta$$

$$T_d \approx 1/\zeta$$

$$\frac{1}{Q} \approx \frac{1}{\ln \left(\frac{A_0}{A_n} \right)} = \frac{2\zeta}{\ln \left(\frac{A_0}{A_n} \right)}$$

$$\frac{1}{Q} \approx \frac{1}{\ln \left(\frac{A_0}{A_n} \right)}$$



OFS



LPG



FBG



EFPI

二、试验方法

结构动力特性试验方法：
 (1) 人工激振法
 (2) 环境随机振动法

1、试验室中通常采用人工激振法测量结构自振频率

(1) 强迫振动法（共振法）

一般采用惯性式机械离心激振器对结构施加周期性的简谐振动，当干扰力的频率与结构的自振频率相等时，结构产生共振。

利用激振器可以连续改变激振频率的特点，试验中结构产生共振时振幅出现极大值时激振器的频率即是结构的自振频率。



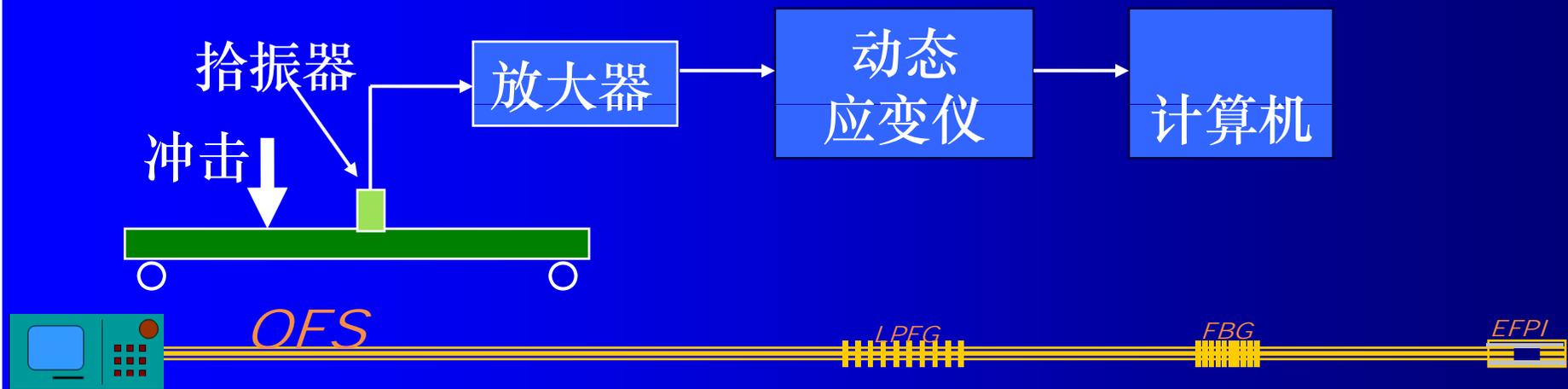
OFS



(2) 自由振动法

在试验中采用初位移或初速度的突卸或突加载的方法，使结构受一冲击荷载作用而产生自由振动。

试验时将测振传感器布置在结构可能产生最大振幅的部位，通过测量仪器的记录，可以得到结构的有阻尼自由振动曲线，在曲线上量取振动波型的周期，由此求得结构的自振频率。



加速度传感器

- 作为加速度检测元件的加速度传感器有多种形式，它们的工作原理大多是利用惯性质量受加速度所产生的惯性力而造成的各种物理效应，进一步转化成电量，来间接度量被测加速度。最常用的有应变片式和压电式等。
- 比如用于汽车安全气囊的触发



OFS

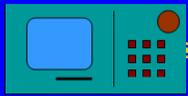
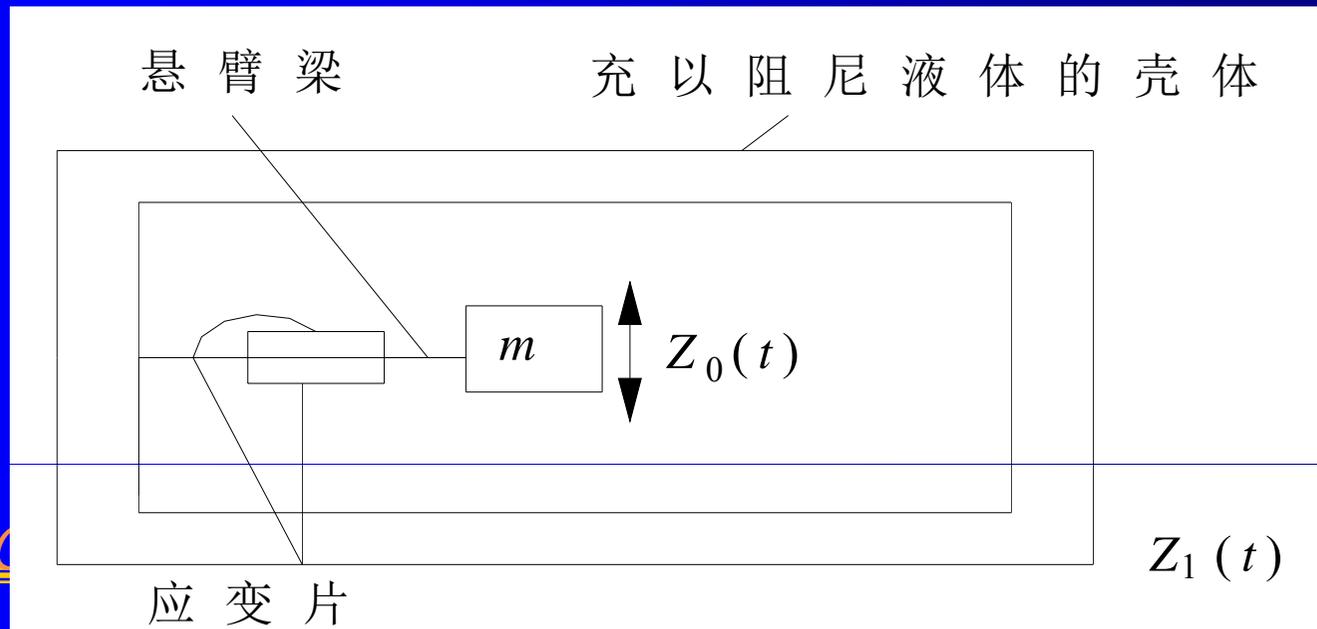
LPFG

FBG

EFPI

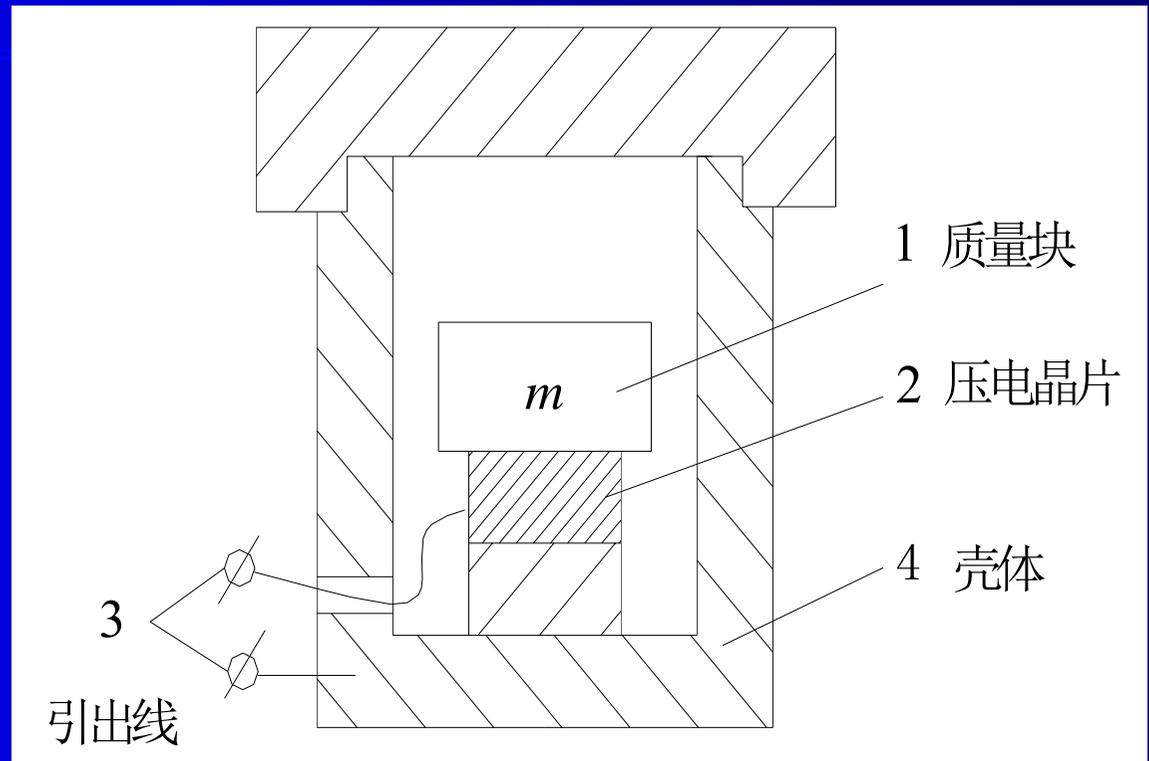
(1) 电阻应变式加速度传感器

- 由重块、悬臂梁、应变片和阻尼液体等构成。当有加速度时，重块受力，悬臂梁弯曲，按梁上固定的应变片之变形便可测出力的大小，在已知质量的情况下即可计算出被测加速度。壳体内灌满的粘性液体作为阻尼之用。这一系统的固有频率可以做得很低。



(2) 压电式加速度传感器

- 振动时质量块产生的惯性力，使压电元件产生变形，从而产生与加速度成正比的电荷，经后级电荷放大器后得到与加速度成正比的电压值。



优点：

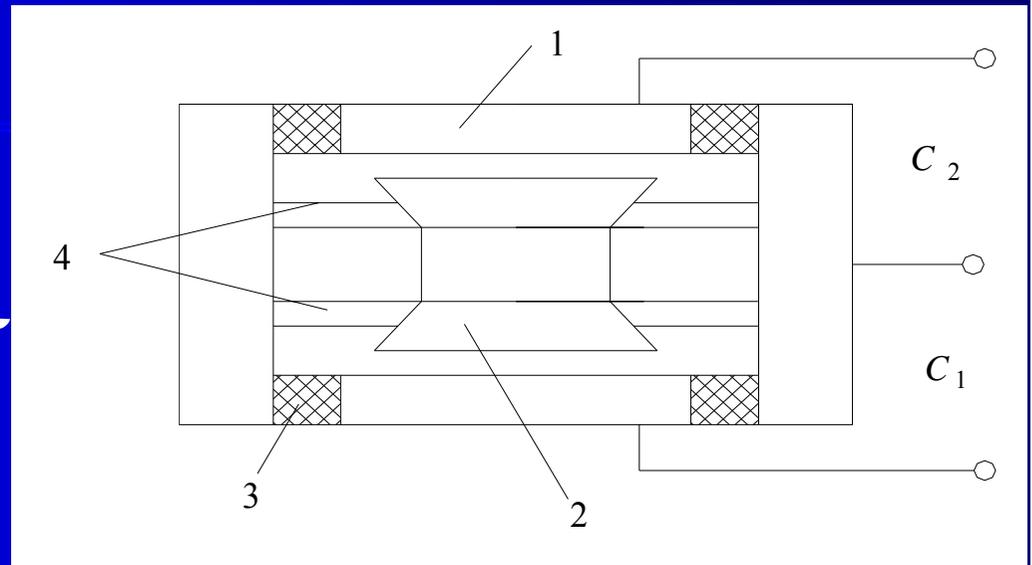
- (1) 体积小，重量轻，对被测体的影响小。
- (2) 频率范围宽、动态范围大、测量灵敏度高。

因此，压电式应用较为广泛。



(3) 电容式加速度传感器

- 结构：采用差动式结构，包括上下的两个固定电极板1，中间由弹簧4支撑的质量块2（块两侧平整，作为可动电极板）。
- 工作原理：竖向振动由于质量块的惯性作用，使两固定极相对质量块产生位移，使电容C1、C2的电容量反向变化，其差值正比于被测加速度。
- 优点：精度较高，频响范围宽，量程大。



MMA7260：三轴加速度传感器

量程：±5000g, 800mV/g @1.5g



OFS



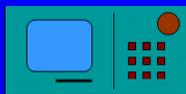
振动传感器的选择

- 最为关心的技术指标为：**灵敏度、频率范围和量程。**
- **传感器的横向比**要小，以尽可能减小横向扰动对测量频率的影响。

型号	灵敏度 ($\mu\text{C}/\text{ms}^{-2}$)	频响 (Hz)	量程 (m/s^2)	内部 结构	横向 比(%)	安装	外径× 高(mm)	重量 (g)
DH105	~300	0.2- 5000	300	中心 压缩	≤ 5	M5 螺纹	40×40 ×48	340
DH107	4.37	0.5- 6000	1000	剪切	≤ 5	M5 螺纹		25

灵敏度的选择

- (1) 土木工程和超大型机械结构的振动在 $1\sim 100\text{ms}^{-2}$ 左右，可选 $300\sim 30\text{pC/ms}^{-2}$ 的加速度传感器。
- (2) 特殊的土木结构（如桩基）和机械设备的振动在 $100\sim 1000\text{ms}^{-2}$ ，可选择 $20\sim 2\text{pC/ms}^{-2}$ 的加速度传感器。
- (3) 碰撞、冲击测量一般 $10\text{k}\sim 1\text{Mms}^{-2}$ ，可选则 $0.2\sim 0.002\text{pC/ms}^{-2}$ 的加速度传感器。



OFS



频率选择

- 选择加速度传感器的频率范围应高于被测试件的振动频率。有倍频分析要求的加速度传感器频率响应应更高。
- 土木工程一般是低频振动，加速度传感器频率响应范围可选择0.2~1kHz
- 机械设备一般是中频段，可根据设备转速、设备刚度等因素综合估算振动频率，选择0.5~5kHz 的加速度传感器。



OFS



使用注意事项

- 安装面要平整、光洁。
- 安装方式：不同安装方式对测试频率的响应影响很大：某一振动传感器，螺钉刚性连接使用频率为10kHz；胶粘安装6kHz；磁力吸座2kHz；双面胶1kHz。
- 加速度传感器的**质量、灵敏度**与使用频率成反比（即灵敏度高，质量大的传感器使用频率低）。

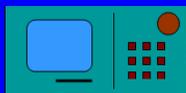


OFS



四、试验过程

- 1、熟悉传感器和测量仪器，并连线。
- 2、打开设备电源，预热10min。
- 3、启动DHDAS_5920动态信号采集分析软件，熟悉界面。
- 4、测量参数设置
 - (1) 分析参数设置
 - 采样频率：1k~2kHz；
 - 采样方式：连续其余不用设置。



OFS

LPFG

FBG

EFPI

(2) 系统参数设置

- 测量通道：2-1，并屏蔽其它不用测量通道，避免干扰。
- 工程单位和灵敏度：将传感器灵敏度输入相应的通道的灵敏度设置栏内。由于本试验采用的是加速度传感器，因此参数表中工程单位EU应设为 m/s^2 传感器灵敏度为KCH (PC/EU) 表示每个工程单位输出多少PC的电荷，本案是300PC/EU，即300PC/ m/s^2 。
- 量程范围：调整量程范围，使实验数据达到较好的信噪比。调整原则：不要使仪器过载，也不要使得信号过小。
- 滤波设置:10Hz, 100Hz和1000Hz对比



OFS



- 5、清零。
- 6、用手锤敲击简支梁，使其产生自由衰减振动。
- 7、用计算机记录单自由度自由衰减振动波形。

注：需要计算多个周期的平均值，作为振动周期，以减小误差，提高精度。



OFS



五、数据记录和处理

截面高度(mm)	截面宽度(mm)	长度(mm)	跨度(mm)	弹性模量(MPa)	重量(kg)	线密度(Kg/m)	自振频率理论值(Hz)

1、数据回放

2、绘出振动波形，选定第 i 个周期，读出第 i 个周期和第 $i+n$ 个周期波形的振幅 A_i 、 A_{i+n} ，按公式计算固有频率和阻尼比。

3、为了消除荷载的影响，前面的周期一般不用。波形不好的也不用。且为了提高准确度，需要求取多个波的总时间除以波数来获得，也可分别求得再平均。

4、会在Origin软件中或者采集软件中得到数据。

5、根据实验数据按公式计算出固有频率和阻尼比。

6、误差分析



OFS



LPFG



FBG



EFPI

五、数据记录和处理

次数		1	2	3	4	5	6
第 <i>i</i> 个 波形	波峰	时间					
		幅值					
	波谷	时间					
		幅值					
第 <i>i+n</i> 个波 形	波峰	时间					
		幅值					
	波谷	时间					
		幅值					
间隔 <i>n</i>							
周期 / s							
频率 / Hz							
阻尼比 ζ							



OFS



祝各位同学
有所收获！



OFS

LPFG

FBG

EFPI