

实验 B4 基于转动传感器的波尔振动综合实验

[实验前思考题]

1. 列举若干种测量扭摆转动角度和角速度的方法。
 - ① 使用 Tracker 软件逐点追踪，实时反馈角度和角速度。
 - ② 采用转动传感器、数据采集器和计算机实现自动采集。
 - ③ 多次记录扭摆扭动时间和角度，导入计算机中拟合曲线，其导数即为角速度。
 - ④ 直接读数。

当扭摆作受迫振动时,由于驱动力频率与扭摆固有振动频率不相等,所以在扭摆上施加简谐驱动力后,扭摆从初始运动状态逐渐过渡到受迫振动的稳定状态过程中,其运动为阻尼振动和受迫振动两种振动过程的叠加。由于两种振动过程的频率接近,将会出现“拍”的现象。若阻尼振动的频率为 ω_1 ,驱动力的频率为 ω_2 ,则扭摆的摆动角度随时间变化的关系曲线的振幅将会起伏变化,其包络线的频率约为 $|\omega_1 - \omega_2|$,即为拍频。在受迫振动状态下,频谱图会出现双峰,其中一个峰值对应的频率为波尔振动的固有振动频率,而另一个峰值对应的频率为驱动力矩的频率。在共振频率附近,双峰融合成单峰。

3. 相图和机械能

扭摆的摆动过程存在势能和动能的转换,其势能和动能为

$$\begin{cases} \text{势能: } E_p = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 \\ \text{动能: } E_k = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 \end{cases}; \quad (\text{B4.1})$$

其中 I 为扭摆的转动惯量, θ 为扭摆偏离平衡位置的角度, $\dot{\theta}$ 为角速度。势能与 θ 的平方成正比,动能与 $\dot{\theta}$ 的平方成正比。若以 θ 为横坐标, $\dot{\theta}$ 为纵坐标画出两者的关系曲线,称为相图。通过相图可直观地看出扭摆振动过程中势能与动能的变化。图 B4.3 所示为阻尼振动的相图,机械能不断损耗,相图面积逐渐缩小至中心点。图 B4.4 所示为理想的自由振动的相图,势能和动能相互转换,但总的机械能始终保持不变,相图为一个面积保持不变的椭圆。

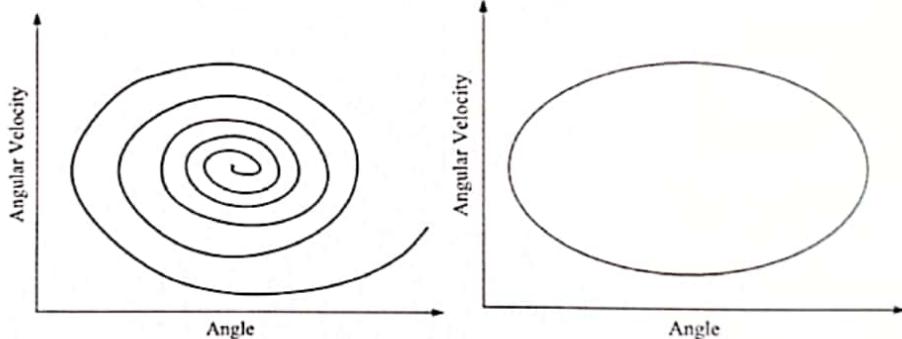


图 B4.3 阻尼振动的相图

图 B4.4 自由振动的相图

【实验装置】

实验采用跟实验 B3 (波尔振动基础实验) 相同的波尔摆实验装置,并采用转动传感器和数据采集器,这两个设备和计算机一起构成波尔振动仪摆动角度和角速度的自动测量系统,用于替代原设备的光电门,其角度测量精度可以达到 0.1° 。

【实验内容及步骤】

1. 熟悉和掌握数据采集器和转动传感器的使用方法

本实验采用转动传感器、PASCO 850 数据采集器和计算机实现波尔振动仪摆轮转动角度、角速度的自动采集和处理功能。将一条细线的一端固定在摆轮的边缘上,另一端绕过传感器的转盘绑一个约 10g 的砝码,使得摆轮转动时可以带动传感器转动,这样就可以通过传感器获得摆轮的转动角度、角速度和周期等一系列参数。

将转动传感器接入 850 接口的任一个数字信号通道,将 850 接口通过 USB 线与计算机相连,双击计算机桌面的 Capstone 图标运行测控软件。在参数设置里,y 轴选择转动角度 (Angle),x 轴选择时间 (Time),就可以显示摆轮的转动角度随时间的变化曲线图。将图和相应数据保存在指定目录中,并导出为.dat 或.txt 格式的文件,供其他更为专业的数据处

理软件(如Origin、MatLab等)调用。

2. 观测波尔振动的频谱

(1) 记录一组波尔摆在7V阻尼、无驱动力状态下摆动角度随时间的变化关系曲线。将该曲线作傅里叶变换,就可以得到振动的频谱,由频谱图确定波尔振动仪的固有振动频率。

(2) 用计算机分别记录和观测波尔振动仪自由振动、阻尼振动、受迫振动三种振动状态的频谱并分析异同。

(3) 测量不同驱动力矩频率下受迫振动的频谱,讨论其异同。调速旋钮每调节半圈测一组数据,不需等到振幅稳定。

3. 定量测量磁阻尼现象

(1) 测量磁阻尼与波尔摆初始释放角度之间的关系。阻尼电压设置为4V,初始释放角度 φ_0 分别取($10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots$)等数值,描绘阻尼系数 β 随 φ_0 变化的关系曲线。

(2) 测量磁阻尼与阻尼电流之间的关系。初始释放角度取上述实验线性区的一个角度,阻尼电压 U 分别取(1,2,3,...)V等数值,描绘阻尼系数 β 随 U 变化的关系曲线。

4. 观测波尔振动的相图

(1) 取一组角度和角速度随时间变化的数据,以角度为横坐标,角速度为纵坐标,画出角速度随角度变化的关系曲线,即相图。讨论相图的物理意义。

(2) 作出自由振动、阻尼振动、受迫振动三种振动状态下的相图,讨论其异同。

(3) 测出不同驱动力矩频率下受迫振动的相图,讨论其异同。调速旋钮每调节一圈测一组数。

5. 观察并记录振动的“拍”

加上外力矩和阻尼(7V),转动摆轮并释放,在阻尼振动趋向受迫振动稳定状态的过程中记录摆轮的摆动角度随时间的变化关系,可由该曲线的包络线观察到“拍”的现象。自行确定若干组阻尼和驱动的组合,在不同组合下观察“拍”的现象并讨论。

(参考:驱动力矩的频率取最快、最慢、中间值三个点)

[数据记录]

(请自拟数据记录表格并处理实验数据)

3(1). 频率 sep (830, 880, 10). 3. $\varphi_{sqd}(10^\circ, 60^\circ, 10^\circ)$.

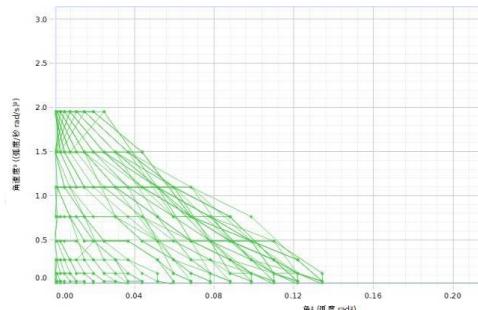
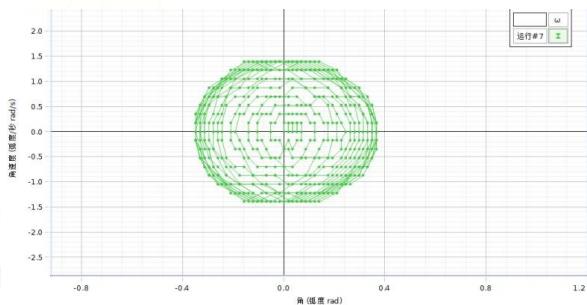
4. 频率 sep (830, 880, 10). (110°). 3/2) V = sep (1V, 6V, 1V).

5. 频率 830, 920, 1100. (80°)

✓
V
S-6

[实验后思考题]

1. 任选一组阻尼振动的数据，以摆动角度的平方为横坐标，以角速度的平方为纵坐标画图，讨论与相图的异同。

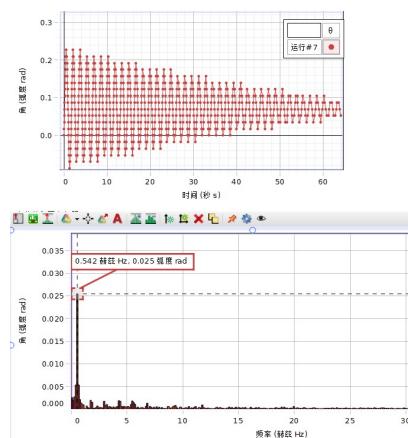
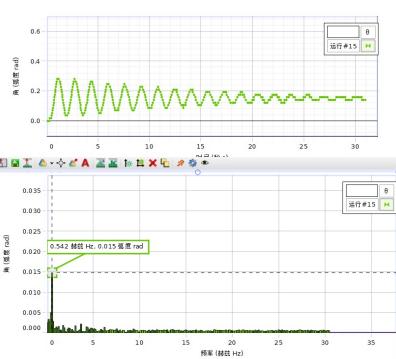


相同点：曲线均收敛于零点，均于远离原点处较密集。

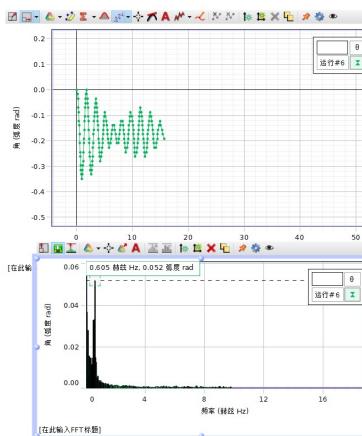
不同点：左图可以根据速度正负判断转动方向，右图不能。



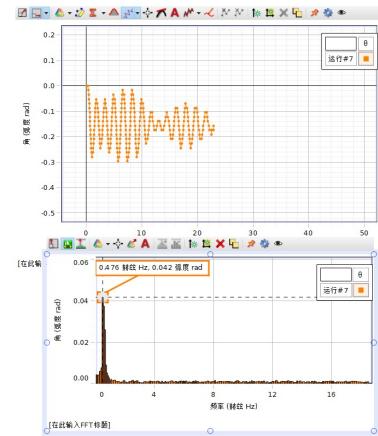
二、观察液不驱动的简谐运动

自由振动，偏转角 50° 阻尼振幅：7V，无驱动力，偏转 50° 

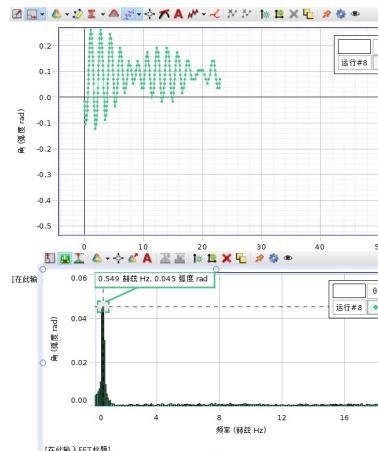
自由振动与阻尼振动的固有

频率都为 0.542 Hz 受迫振动时阻尼周期与驱
动力一致，与自由振动无关，其振
幅周期性变化受迫振动 驱动 15 V 阻尼 7 V ，偏转角 110° 

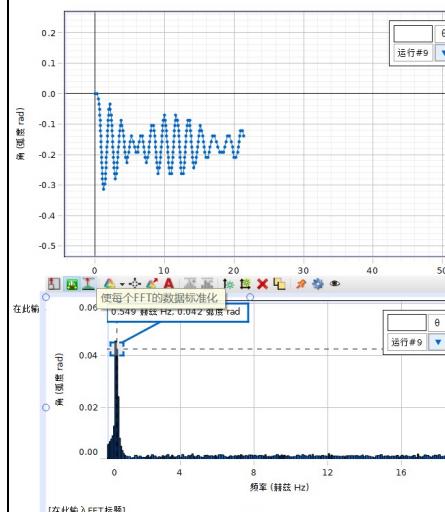
830 Hz



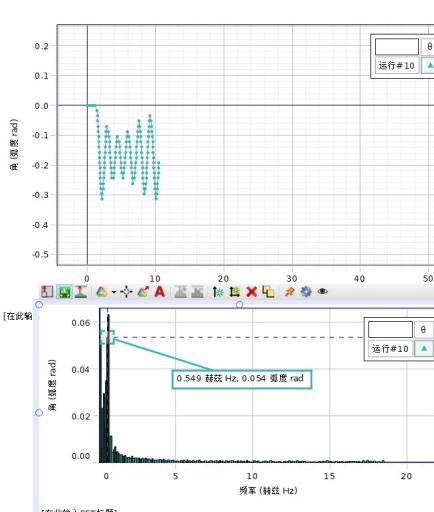
840 Hz



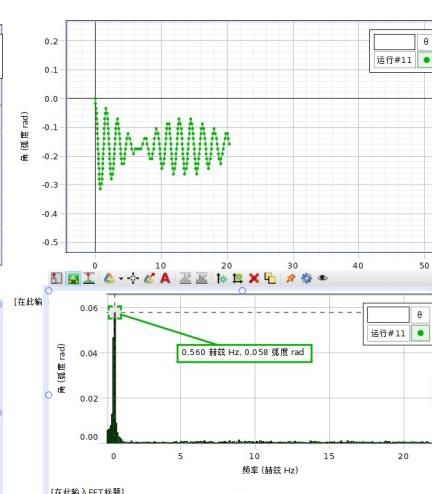
850 Hz



860 Hz



870 Hz

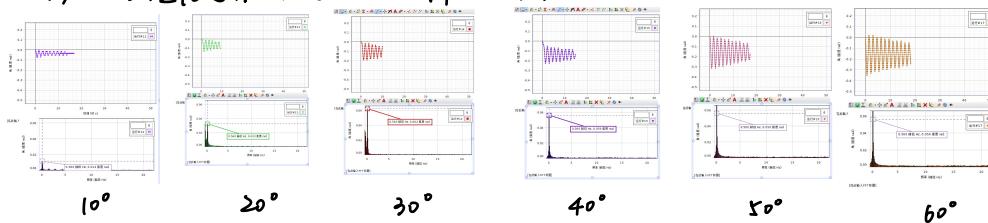


880 Hz



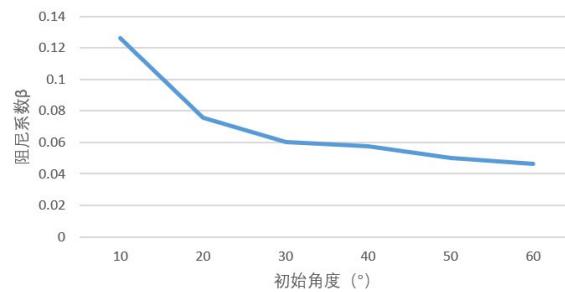
三. 阻尼振动

(1) 磁阻尼与波尔摆初始释放角度关系.

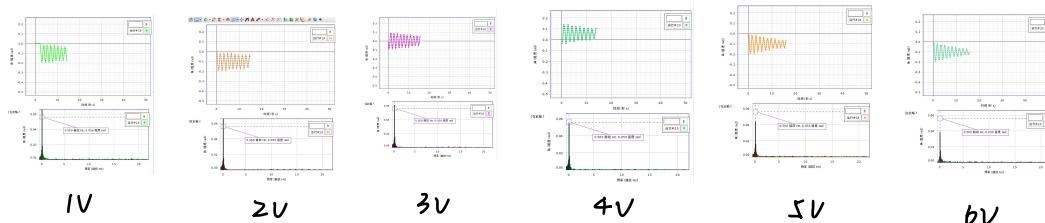


	A(X)	B(Y)
Long Name	初始角度 (°)	阻尼系数 β
Units		
Comments		
F(x)=		
Categories	Unsorted	
1	1 0	0 . 1 2 6 1 0 3 4 0 5
2	2 0	0 . 0 7 5 9 1 2 2 4 2
3	3 0	0 . 0 6 0 1 5 9 0 2 8
4	4 0	0 . 0 5 7 4 8 7 3 2 3
5	5 0	0 . 0 5 0 1 7 5 2 6 3
6	6 0	0 . 0 4 6 4 0 3 1 2 6
7		
8		
9		

阻尼系数与初始角度关系图

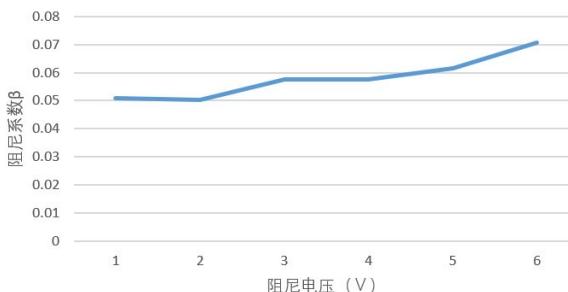


(2) 磁阻尼与阻尼电压之间关系



	A(X)	B(Y)
Long Name	阻尼电压 (V)	阻尼系数 β
Units		
Comments		
F(x)=		
Categories	Unsorted	
1	1	0 . 0 5 1 0 0 2 8 7 2
2	2	0 . 0 5 0 1 7 5 2 6 3
3	3	0 . 0 5 7 4 9 4 5 7 2
4	4	0 . 0 5 7 4 9 4 5 7 2
5	5	0 . 0 6 1 5 4 5 4 0 9
6	6	0 . 0 7 0 7 0 2 0 5 6
7		

阻尼系数与阻尼电压关系图

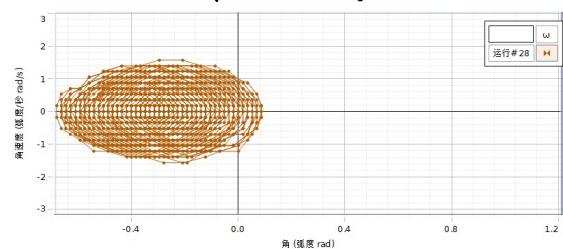
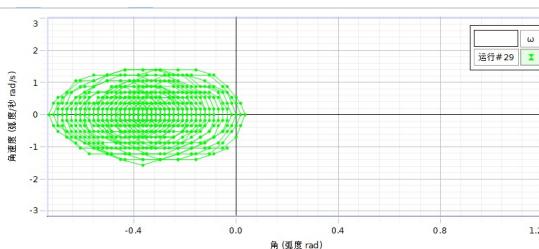
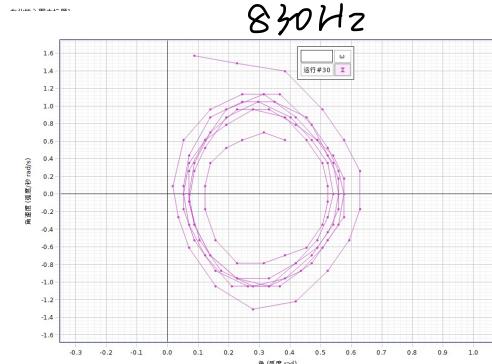
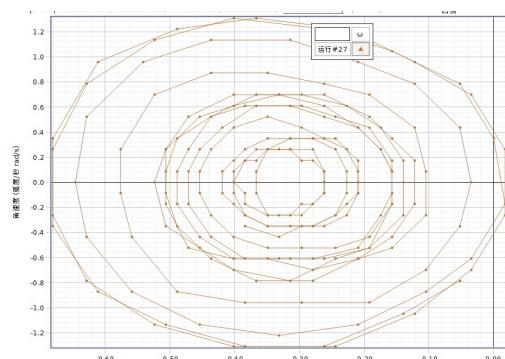
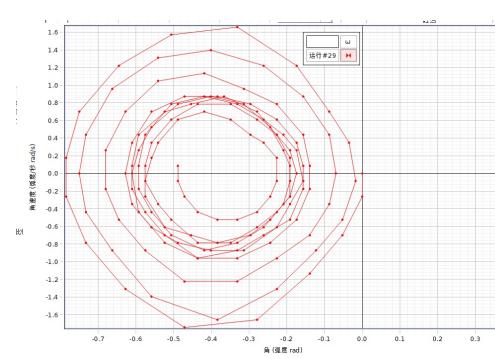
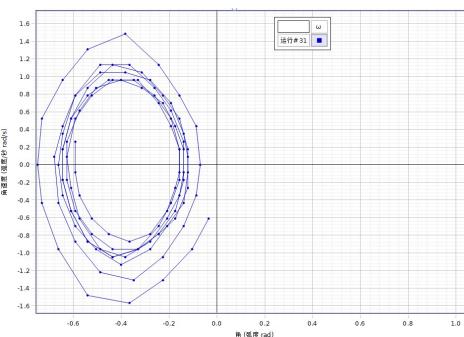
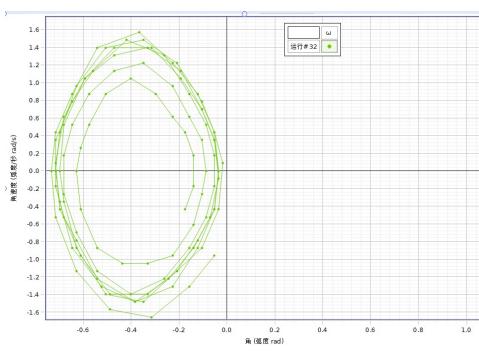
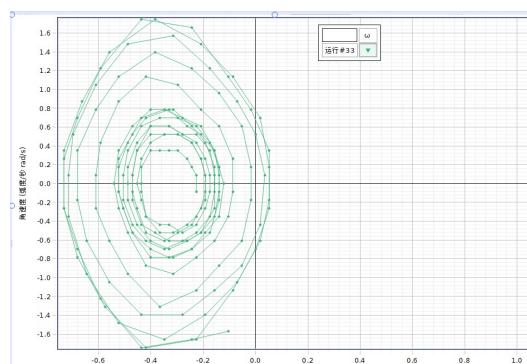


阻尼系数与波尔摆初始释放角度呈负相关

阻尼系数与波尔摆外加阻尼电压成正相关。



四、观测波尔运动相图

自由振动，偏转 $\pm 80^\circ$ 阻尼振动 $4V$ ，偏转 $\pm 80^\circ$ 受迫振动 驱动 $15V$ ，阻尼 $7V$ ，偏转 $\pm 80^\circ$  830Hz  840Hz  850Hz  870Hz  880Hz

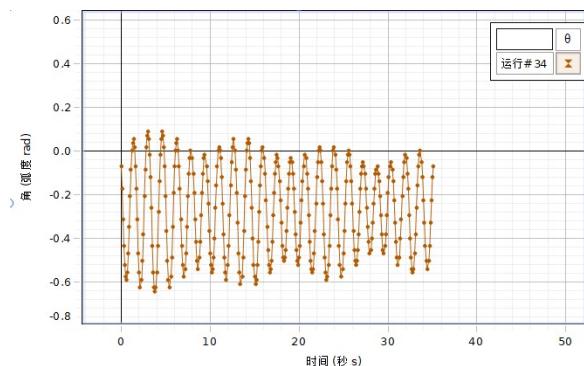
(1) 相同点：图像成椭圆形；不同点：自由振动与阻尼振动线会向中间收缩，而受迫振动会稳定在外圈。

(2) 相同点：不同频率间的相图最终将趋于稳定

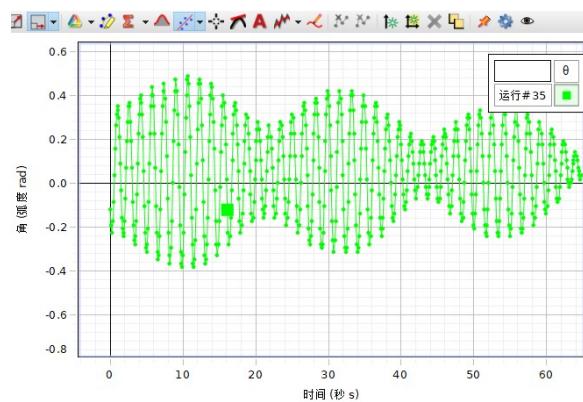
不同点：随着频率的增加，椭圆内部面积会不断增大



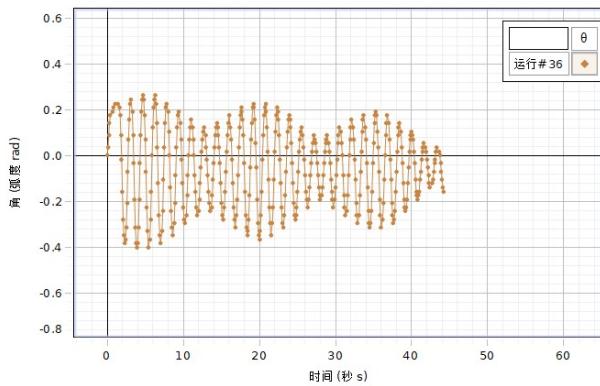
五. 观察江永振动的“拍”



7V 驱动 7V 驱动 830 Hz 驱动频率



7V 驱动 7V 驱动 920 Hz 驱动频率



7V 驱动 7V 驱动 1100 Hz 驱动频率

观察：当驱动力频率处于中间值时，“拍”出现的个数较少，振幅最高处与最低处落差较大，“拍”的现象明显。