



北京军区

松花江破冰测试报告

北京万博振通检测技术有限公司

2012-1-11











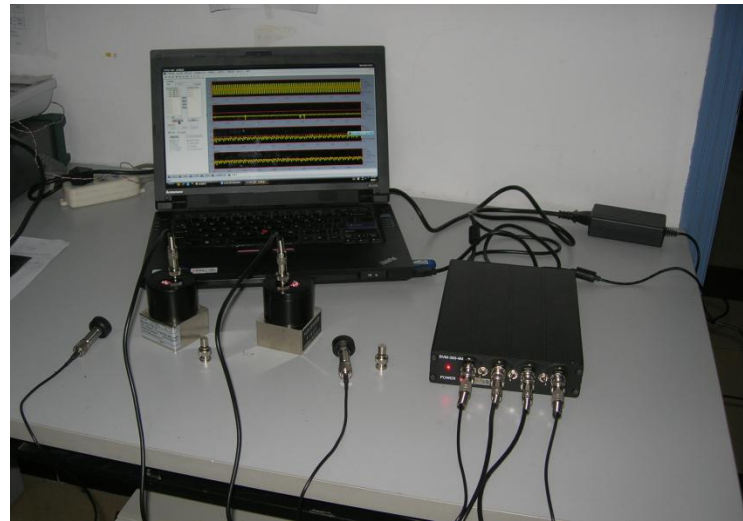
- **测试原因：**“防凌破冰关键技术及装备研制”项目是国家“十二五”公共安全关键技术研究及装备研制五个重大课题之一。北方大江河流防冰凌灾害项目。

测试目的：测试松花江冰面破冰时，各类破冰器械的破冰效果。即各工具破冰时对冰面的冲击力，不同结构冰面在当时环境下的冲击响应。包括：冰体的固有频率，响应的振动时域波形，振动的加速度、速度、位移，、以及各种频谱等。

测试地点：松花江哈尔滨段运粮河口

测试工具：

1、BVM-300-4M 四通道动态信号与模态分析仪



主要技术指标

- 1) 通道数：4 通道；
- 2) 采样频率（每通道独立 A/D）： 64kHz
- 3) A/D 精度： 24 位
- 4) 动态范围： 109dBfs
- 5) 调理类型： 程控放大、抗混叠滤波



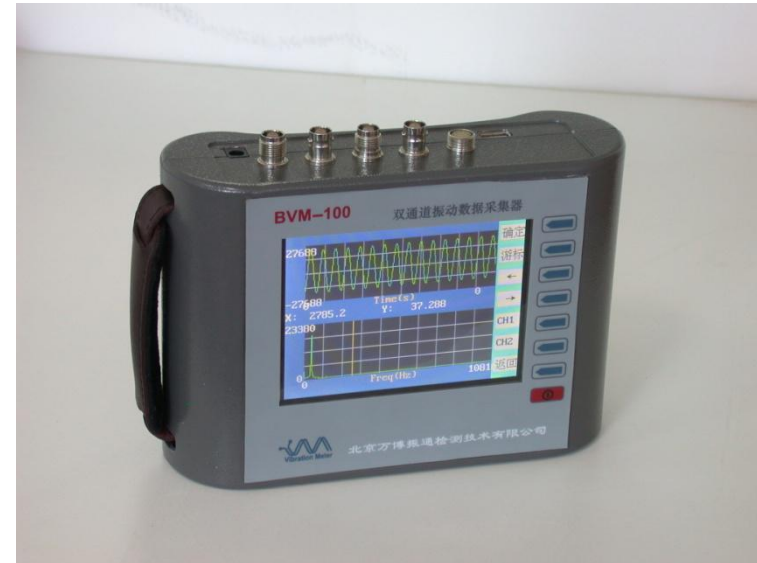
- 6) 程控增益: $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1000$
- 7) 数字信号处理: TI 200MHz 浮点 DSP
- 8) 滤波衰减率 $>140\text{dB/oct}$; 滤波档位: 自由设定
- 9) 频率误差: 0.01%;
- 10) 幅值误差: 1.0%;
- 11) 噪声: $\leq 0.5\text{mVRMS}$ (增益一倍);
- 12) 各通道间并行无时差采集。
- 13) 传输接口: USB2.0
- 14) 体积: $L \times W \times H = 220 \times 157 \times 40$ (mm)
- 15) 重量: 1kg;
- 16) 功耗: $\approx 10\text{W}$; 直流 (5V, $\leq 2\text{A}$);

2、BVM-100-2D 超低频 双通道振动数据采集器、现场动平衡仪、机器故障分析仪。



主要特性指标:

- 大屏幕彩色液晶，汉字显示，操作方便
- 全新设计，测试分析快速，图线清晰
- 真正双通道同步采集
- 双通道振值、波形及参数动态显示
- 超大存储空间，可存贮/回放 1024 点双通道数据记录 200 组
- 超强故障信号捕捉能力，最高采集速率 1MHz
- 高精度，动态范围达到 144dB
- 现场快速频谱 400 线分析，分析诊断功能强
- 现场动平衡功能;双通道轴心轨迹(李萨育图);起停车分析
- 转速测量、相位测量、相位诊断





- 传递函数、静态激励测试部件固有频率
- 电机的故障诊断
- 噪声测量、噪声分析。
- 多种振动波形和频谱图形显示方式，游标读数，自动谱峰列表
- 存储多组振值数据和可变点数振动波形
- 多种触发方式，测试更灵活

主要技术指标:

信号采样频率：双通道同步，每通道最高 1MHz

动态范围：96+48dB （16 位 A/D，250 倍放大）

信号分析频率：无级设置，最大 400kHz

振动测量带宽：0Hz-400kHz



加速度传感器：5Hz-400KHz

转速测量范围：0.1-400,000 转/分

程控增益：0.25~250 倍

自动量程

振动测量和频谱分析的最大量程/最高分辨率：

加速度峰值 250 m/s^2 0.01 m/s^2

速度有效值 200 mm/s 0.01 mm/s

位移峰峰值 5000 μm 0.1 μm

电压有效值 10 V 0.01 mV

振动测量精度：5 %

多种传感器：速度、电涡流、压电加速度等

10 阶线性相位抗混滤波



可充电电池供电，连续工作 8 小时以上

体积小（210*130*50mm），重量轻（1200g）



3、超低频速度传感器：941B，频率范围：0.1-100Hz.

941B 型拾振器主要技术指标

表 1

技术指标		档位	1	2	3	4
		参量	加速度	小速度	中速度	大速度
灵敏度 ($\frac{V \cdot s^2}{m}$ 或 $V \cdot s/m$)			0.3	23	2.4	0.8
最大量程	加速度 ($m/s^2, 0-p$)		20			
	速度 ($m/s, 0-p$)			0.125	0.3	0.6



	位 移 (mm, 0-p)		20	200	500
通频带 (Hz, $\begin{matrix} +1 \\ -3 \end{matrix} dB$)	0.25~80		1~100	0.25~100	0.17~100
输出负荷电阻 (kΩ)	1000		1000	1000	1000
与 941 型 放大器配 接后的分 辨率	加速度 (m/s ²)	5×10^{-6}			
	速 度 (m/s)		4×10^{-8}	4×10^{-7}	1.6×10^{-6}
	位 移 (m)		4×10^{-8}	4×10^{-7}	1.6×10^{-6}
尺寸, 重量	63×63×80mm , 1kg				



4、加速度传感器:

传感器型号: LC0403 (T)

LC0 4 系列压电加速度传感器主要技术指标

型 号	电荷灵敏度 pC/g	频率范围 (±10%) Hz	谐振频率 kHz	横向灵敏度 %	幅值线性 (±10%) g	重量 gm	安装 螺纹 mm	使用温度 范围 °C
LC0403 (T)	50	0.2-9000	27	≤5	1500	17 (15)	M5	-40~+150



5、力锤。



测试参数：

量程：100KN 灵敏度：3.52pC/N 线性度：0.88%F·S

重复性：≤1% F·S 固有频率：≥40kHz 绝缘电阻：≥10¹²Ω

重量：100gm



测试地点：哈尔滨松花江上。

测试时间：2012-1-7 至 2012 -1-9

测试环境参数：

江心冰面温度：-39°C，江边温度：-23°C，平均冰面硬度：3-4 莫式硬度。冰层平均厚度 70cm。测试距离： 70M 左右。被测冰面的面积：150M*200M 左右。

测试位置：江心冰面。冰层厚度：70cm。水深：12M。冰面硬度。4 莫式硬度

测试人员：北京万博振通检测技术有限公司

张惠 陈梓君。



测点布置:

江心冰面。朝着震源方向扇形展开。冰层厚度：70cm。水深：12M。冰面硬度。4 莫式硬度。



测试方法:

- 1、传感器的布置与安装：将传感器探针插入-39°C 的江心冰面，插入深度 60mm，浇水后冻的非常牢靠。再将传感器用螺纹连接的方法固定在探针上。
- 2、 用力锤敲击触发激励的方式，测试我们破冰试验冰面的冰体的固有频率。

用北京万博振通检测技术有限公司产的双通道振动数据采集器 BVM-100，用敲击触发激励的方式，测试我们破冰试验冰面的冰体的固有频率。用 941 型超低频振动速度传感器，水平的冻在冰面上，用 100KN 的冲击力锤敲击冰面，以求得冰面的振动响应。用 BVM-100-2D 超低频 双通道振动数据采集器，获得敲击冰面后的振动响应的各种数据。包括振动的加速度、速度、位移，时域波形、以及各种频谱等。

- 3、 用重力冲击的方式，测试我们破冰试验冰面的冰体的固有频率。

用事先加工好的圆柱形 114Kg 的钢锭，用吊车将其提升到 10M 上空。他的垂直下方事先冻上一块 80cm*80cm*2cm 的预制钢板。让 10M 上方的钢锭自由落体落下，利用其重力加速度所产生的强大冲力，冲击冰面。用北京万博振通检测技术有限公司产的 BVM-100 双通道振动数据采集器和 BVM-300-4M 4 通道动态



信号与模态分析仪，通过事先预埋在江心冰面上的加速度振动传感器和超低频振动速度传感器，获得强大冲击冲击到冰面上时，冰面所产生的振动响应的各种数据。包括振动的加速度、速度、位移，相应的时域波形、以及各种频谱等。

4、用北京万博振通检测技术有限公司生产的 BVM-300-4M 4 通道动态信号与模态分析仪，通过事先预埋在江心冰面上的加速度振动传感器和超低频振动速度传感器，测试用不同破冰设备破冰时，冰面的振动响应信息。包括：破冰过程的响应时间；振动波形；振动的频谱等。以获得不同破冰设备破冰时的效果数据。

部门监测报告

单位：总公司 分厂：北京军区 部门：27 军
监测时间：截止到 2012-1-11 11:36:04 监测数据

序号	分厂	部门	设备	测点名	测点代码	时间	转速	加速度	速度	位移	高频	过程量	状态
1	北京军区	27 军	松花江	江心冰面	POINT4	2012-1-7 10:27:48		6.512	1.075	34.28	0	0	危险
2	北京军区	27 军	松花江	江心冰面	JX1-1Y	2012-1-7 11:37:28		61.636	29.878	1087.0	0	0	危险
6													
3	北京军区	27 军	松花江	江心冰面	JX-5	2012-1-9 11:38:24		7.582	4.201	106.53	0	0	危险
4	北京军区	27 军	松花江	江心冰面	JX-4	2012-1-8 10:04:02		27.592	20.722	33.84	0	0	危险
5	北京军区	27 军	松花江	江心冰面	JX-3	2012-1-8 9:53:23		31.402	21.268	485.21	0	0	危险
6	北京军区	27 军	松花江	江心冰面	JX-2	2012-1-8 9:50:41		109.49	7.239	1100.4	0	0	危险

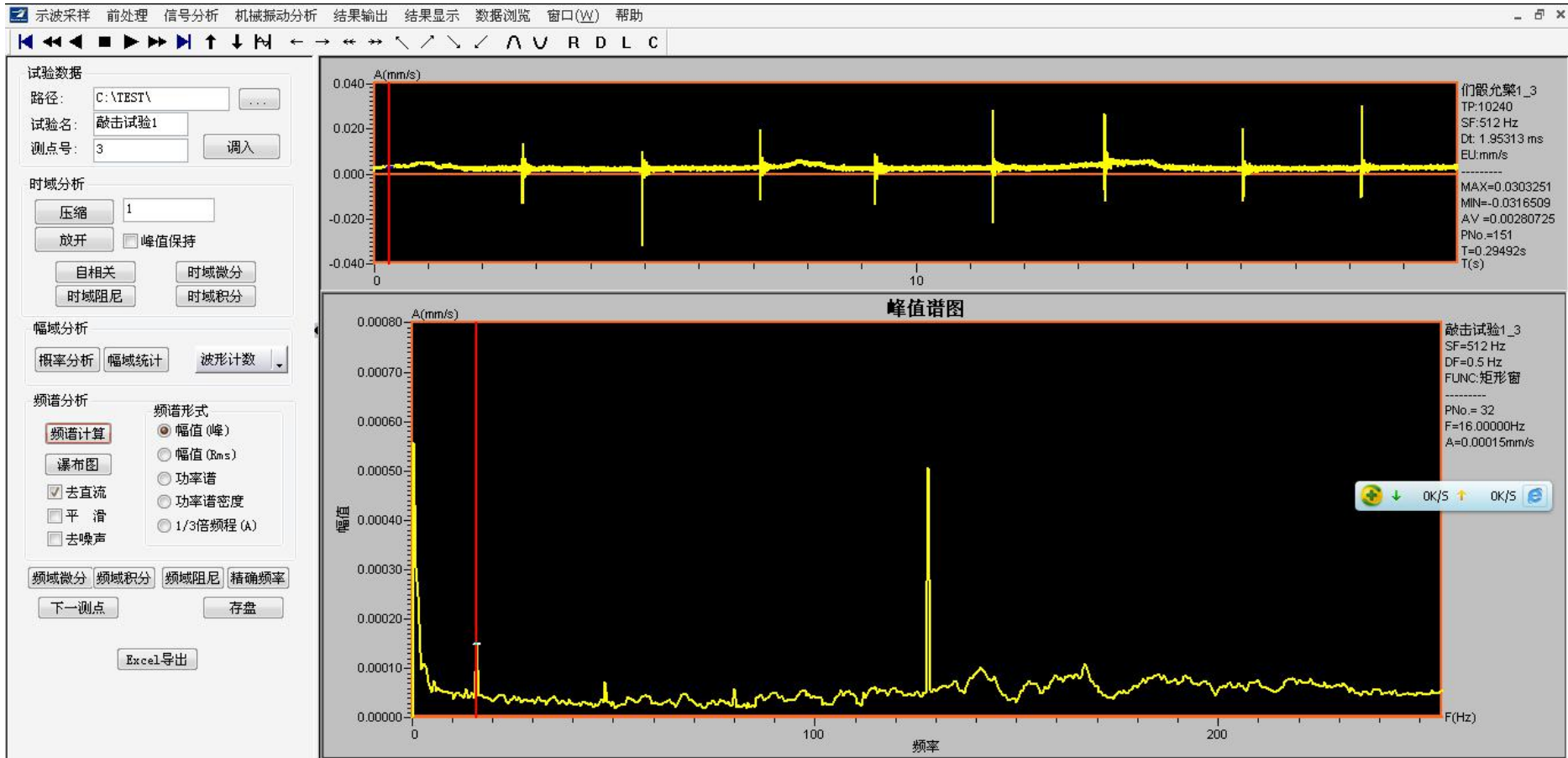


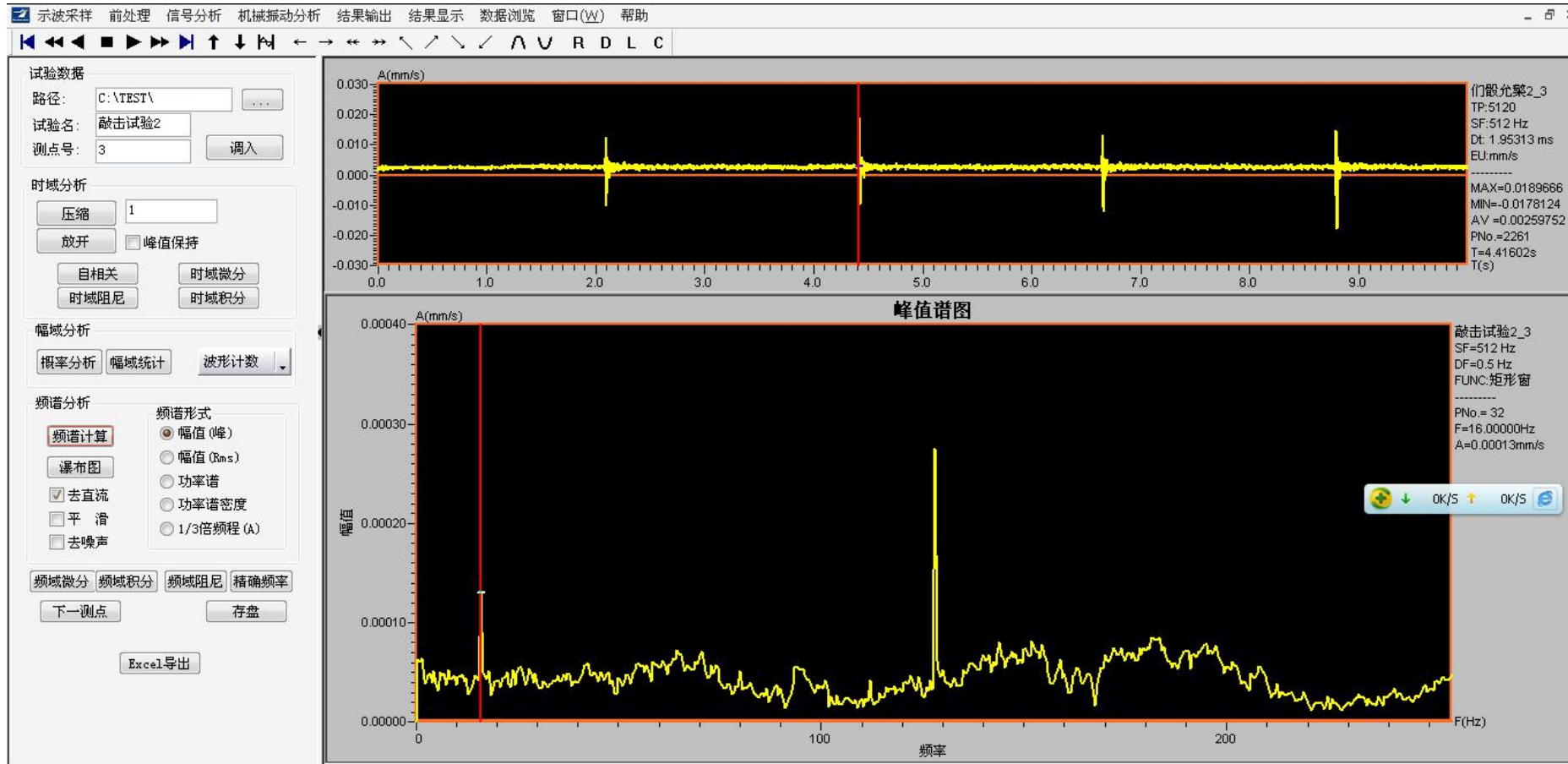
							8	9				
7	北京军区	27军	松花江	江心冰面	JX1-2Y	2012-1-7 11:43:48	19.706	46.106	1102.9	0	0	危险
8	北京军区	27军	松花江	江心冰面	POINT10	2012-1-7 10:30:56	5.73	1.059	32.59	0	0	危险
9	北京军区	27军	松花江	江心冰面	POINT2	2012-1-7 9:25:25	28.756	20.867	1050.8	0	0	危险
									7			
10	北京军区	27军	松花江	江心冰面	JX-6	2012-1-9 11:47:36	6.313	1.619	37.53	0	0	危险
11	北京军区	27军	松花江	江心冰面	POINT1	2012-1-7 9:06:51	38.101	1.345	547.19	0	0	危险
12	北京军区	27军	松花江	江心冰面	point1	2012-1-7 10:56:18	5.984	1.02	33.28	0	0	危险
13	北京军区	27军	松花江	江心冰面	JX-1	2012-1-8 9:36:02	41.273	27.966	1092.0	0	0	危险
									9			

测试项目一、敲击冰面，激励响应测试：

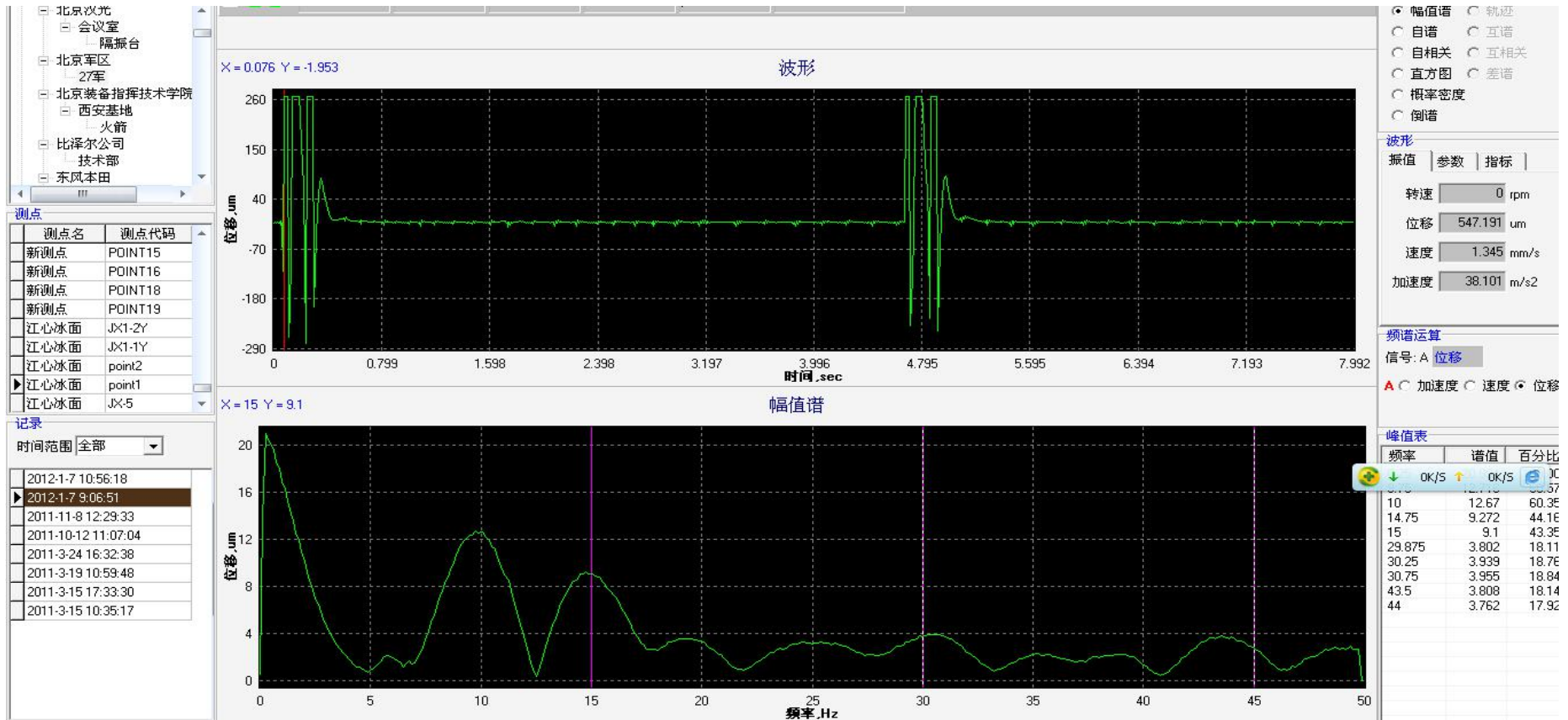
用 100KN 的力锤，通过锤敲击冰面，激励起冰面的振动。用这种力锤触发激励的方式，通过我公司研发的 BVM-100 双通道振动数据采集器和 BVM-300-4M 4 通道动态信号分析仪，以及事先预埋在江心冰面上的加速度振动传感器和超低频振动速度传感器，测试我们破冰试验冰面的冰体的固有频率。

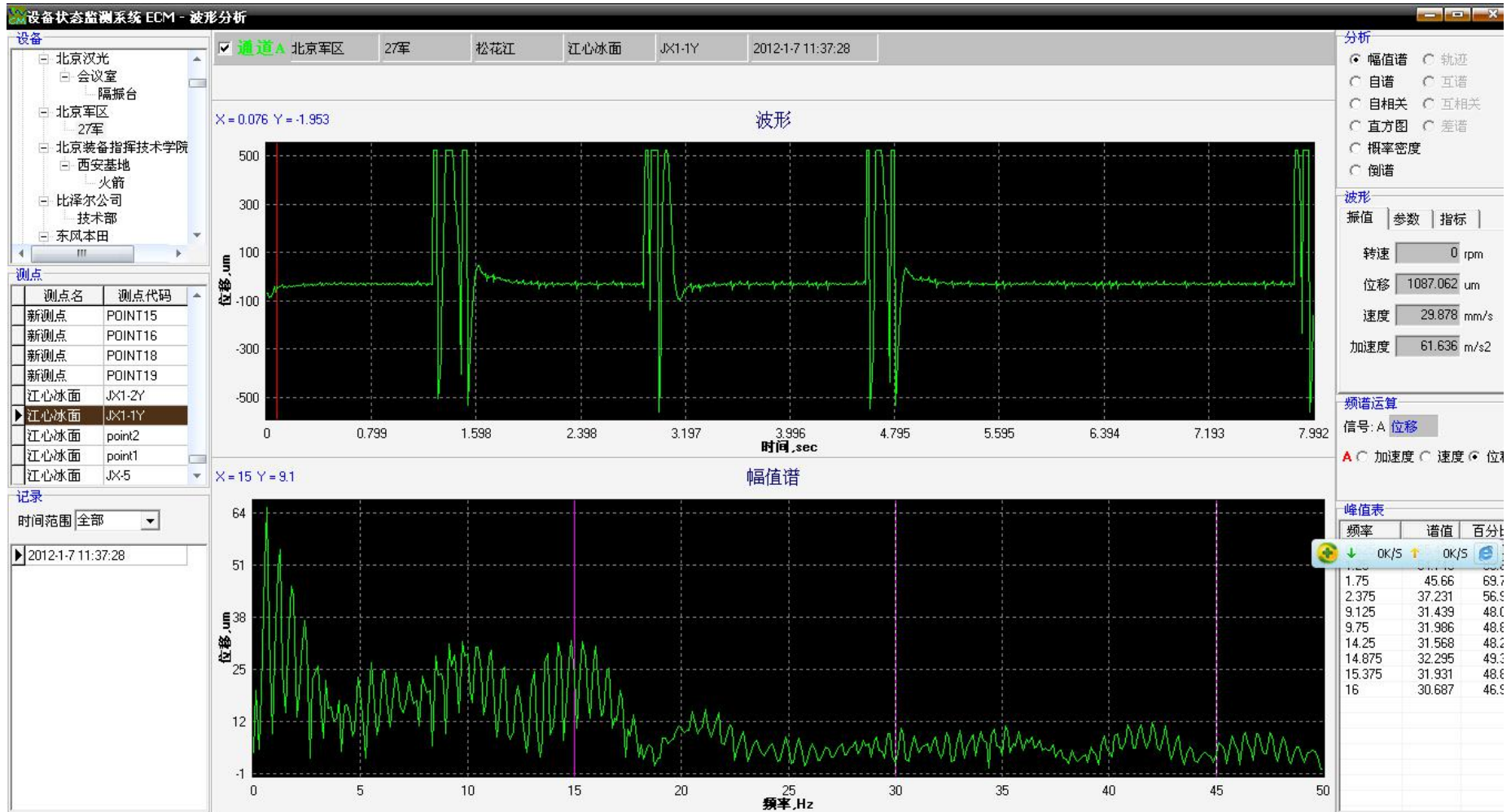
测试数据 1：





测试数据 2:







分析:

- 1、 通性: 1)、15Hz-16Hz 是他们的共振峰。
 - 2)、 高次谐波较丰富。
 - 3)、 低频段能量的分布为江岸边设备运行的低频噪声所致。
- 2、 128Hz 为冰体的高阶共振峰
- 3、 敲击的力量不同谐波产生的丰富程度会有所不同。

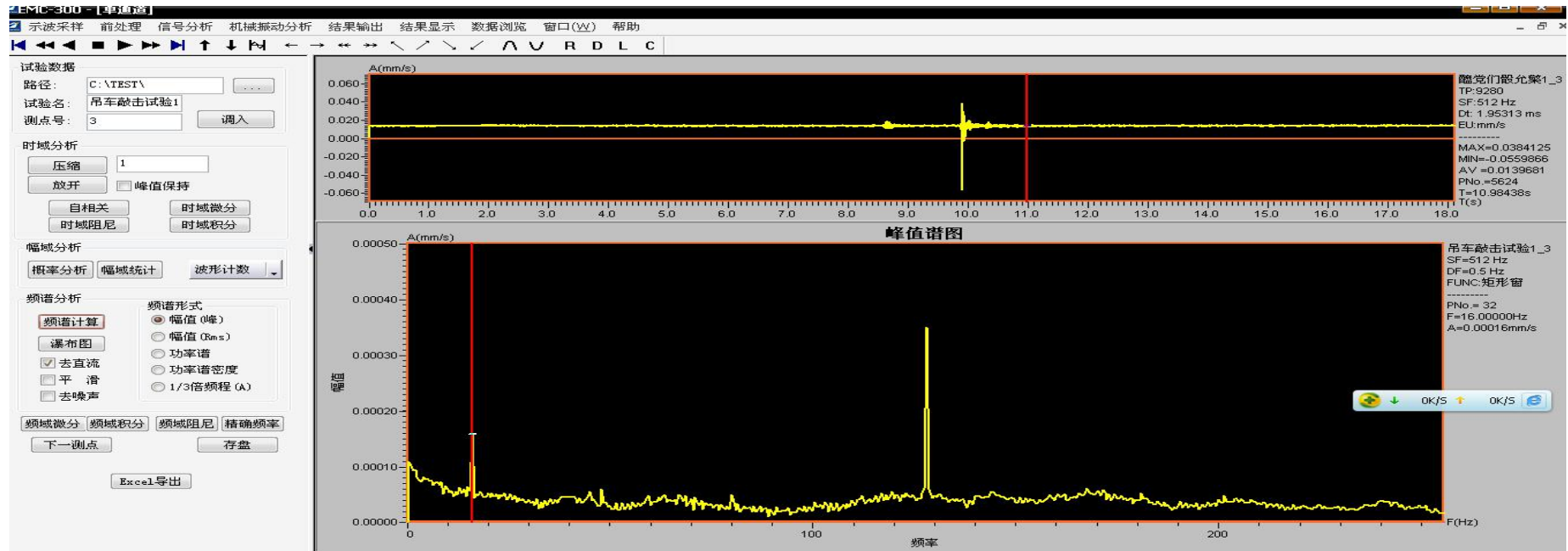
测试项目二、用重力冲击的方式，测试我们破冰试验冰面的冰体的固有频率。





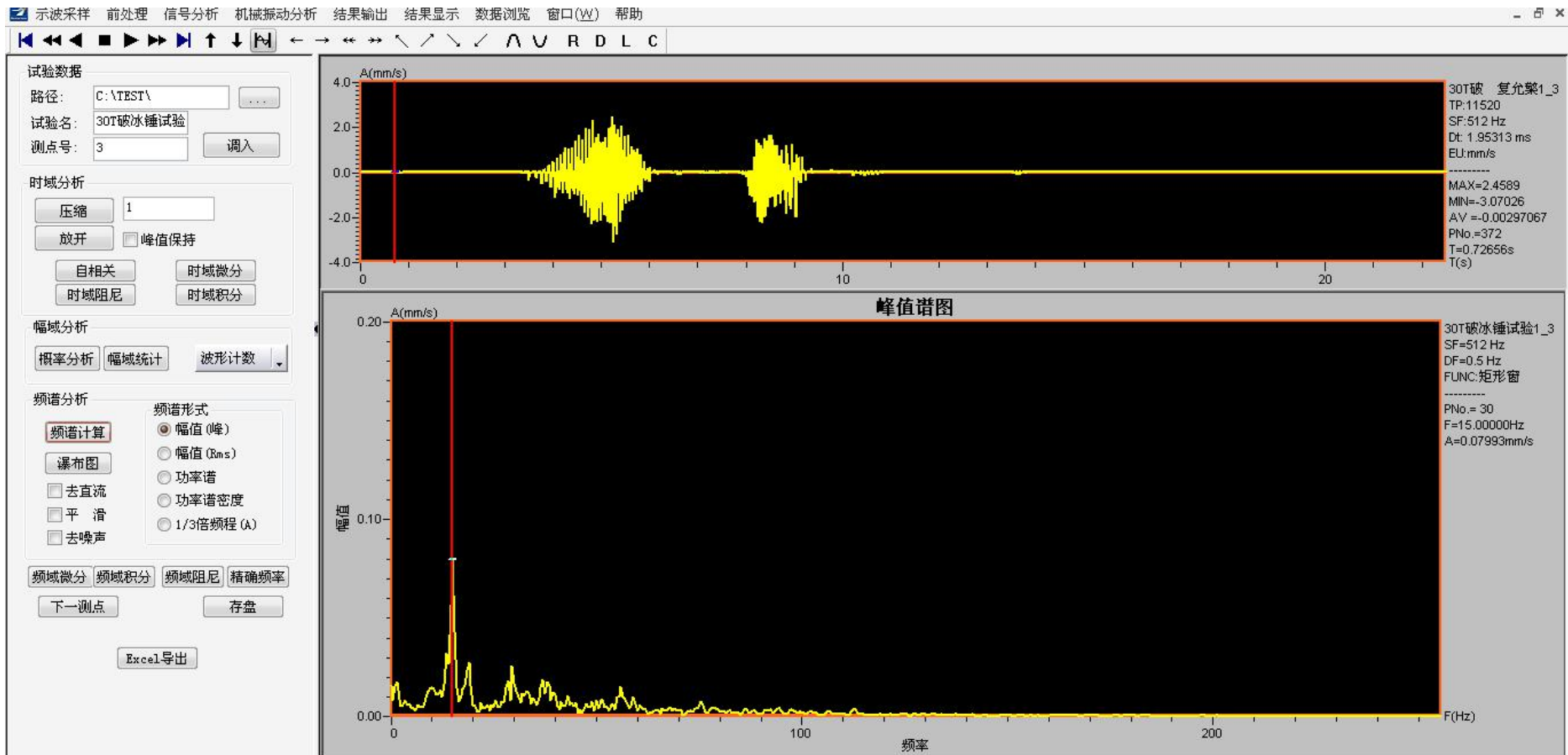
测试方法：先将 800*800*20（mm）的钢板用水将其浇筑在事先安排好的冰面上。20 分钟后钢板已经冻牢。再将 114Kg 重的钢锭，用吊车调到 10M 高的空中，再将其自由落体抛下。利用钢锭自由落体落下时产生的巨大冲量，激励起被测冰面的震荡。使其产生冰面的整体共振效应。通过事先预埋在江心冰面上的加速度振动传感器和超低频振动速度传感器，利用我公司研发的 BVM-100 双通道振动数据采集器和 BVM-300-4M 4 通道动态信号分析仪，测试我们破冰试验冰面的冰体的固有频率。

测试数据 1：第一次重力冲击。



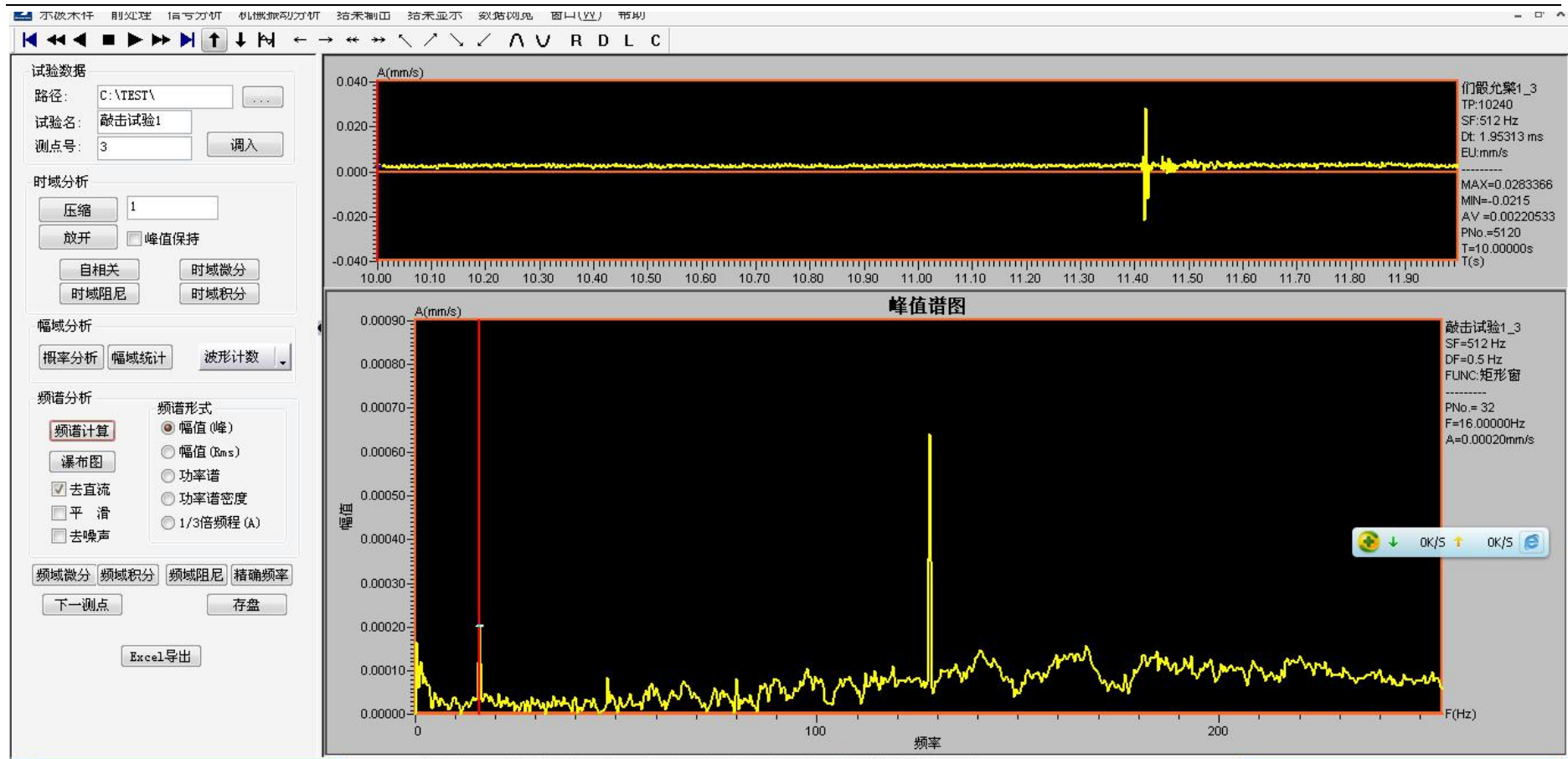
测得的一阶共振频率为 16Hz。

测试数据 2、第二次重力冲击。

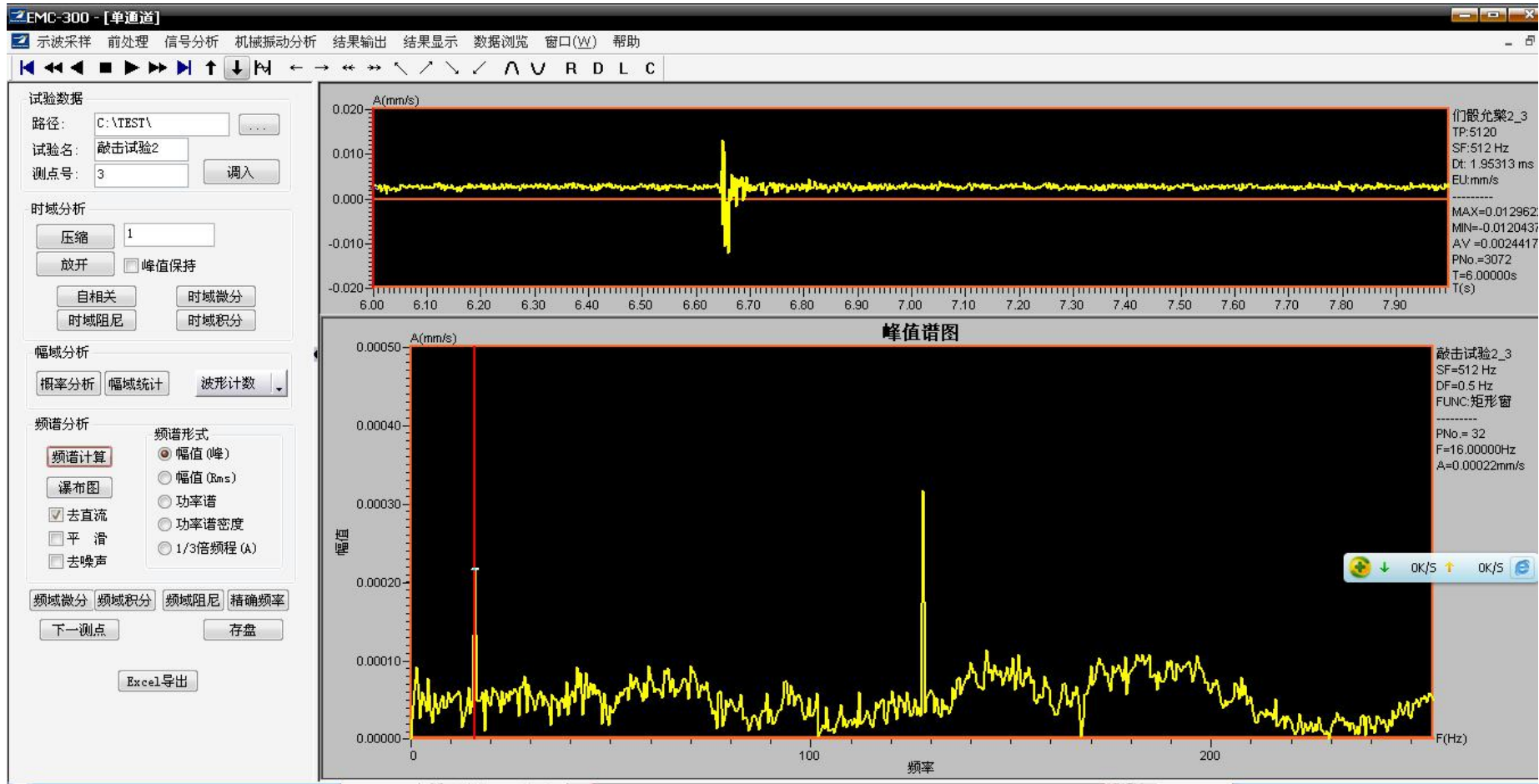


测得的一阶共振频率为 15Hz。

测试数据 3：第三次重力冲击。



测得的一阶共振频率为 16Hz。



测得的一阶共振频率为 16Hz。



分析:

1)、所有的测试数据都表明, 15-16Hz 是一阶共振峰。

2)、128Hz 为 2 阶共振峰;

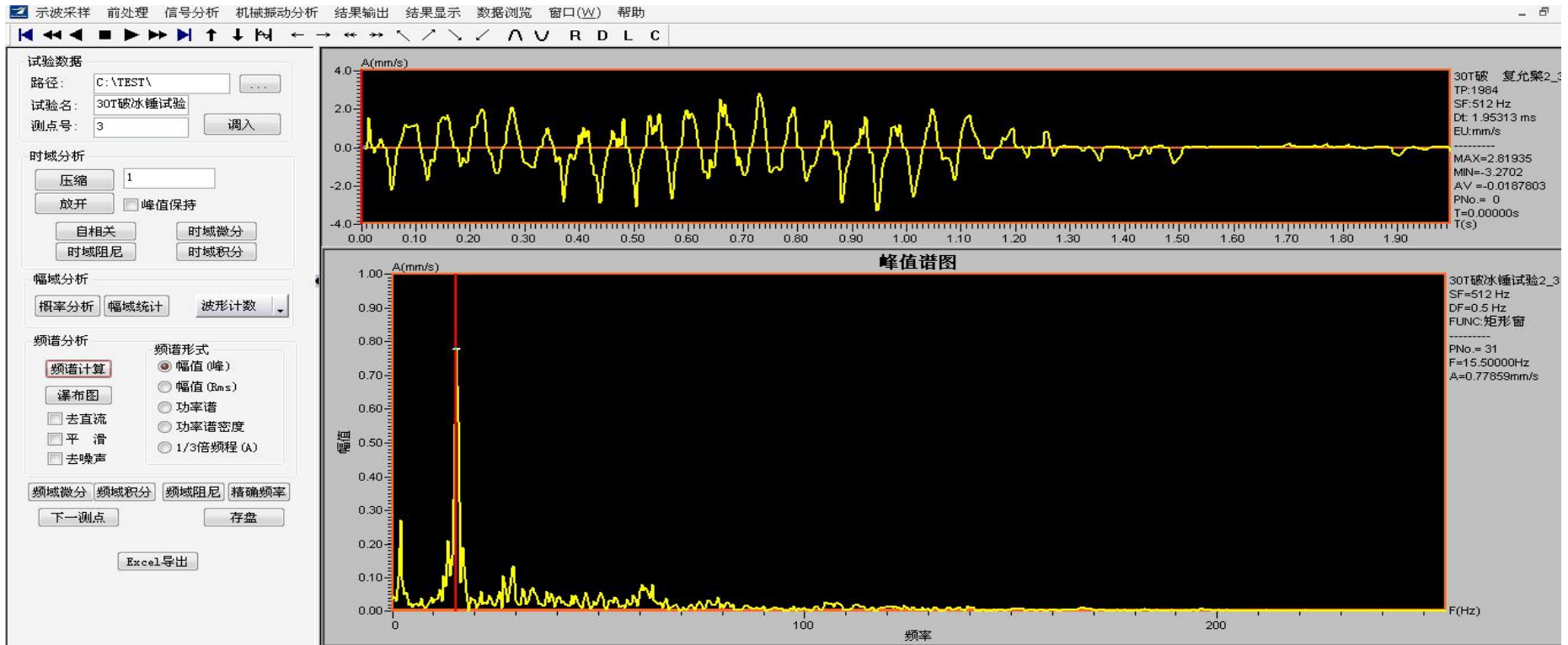
3)、可能还有高次共振峰。其共振峰的能量分布点随测冲击力度的不同, 频率分布点不确定。

测试项目三、用不同破冰设备破冰时, 测试冰面的振动响应信息。包括: 破冰过程的响应时间; 振动波形;



振动的频谱等。以获得不同破冰设备破冰时的效果数据。

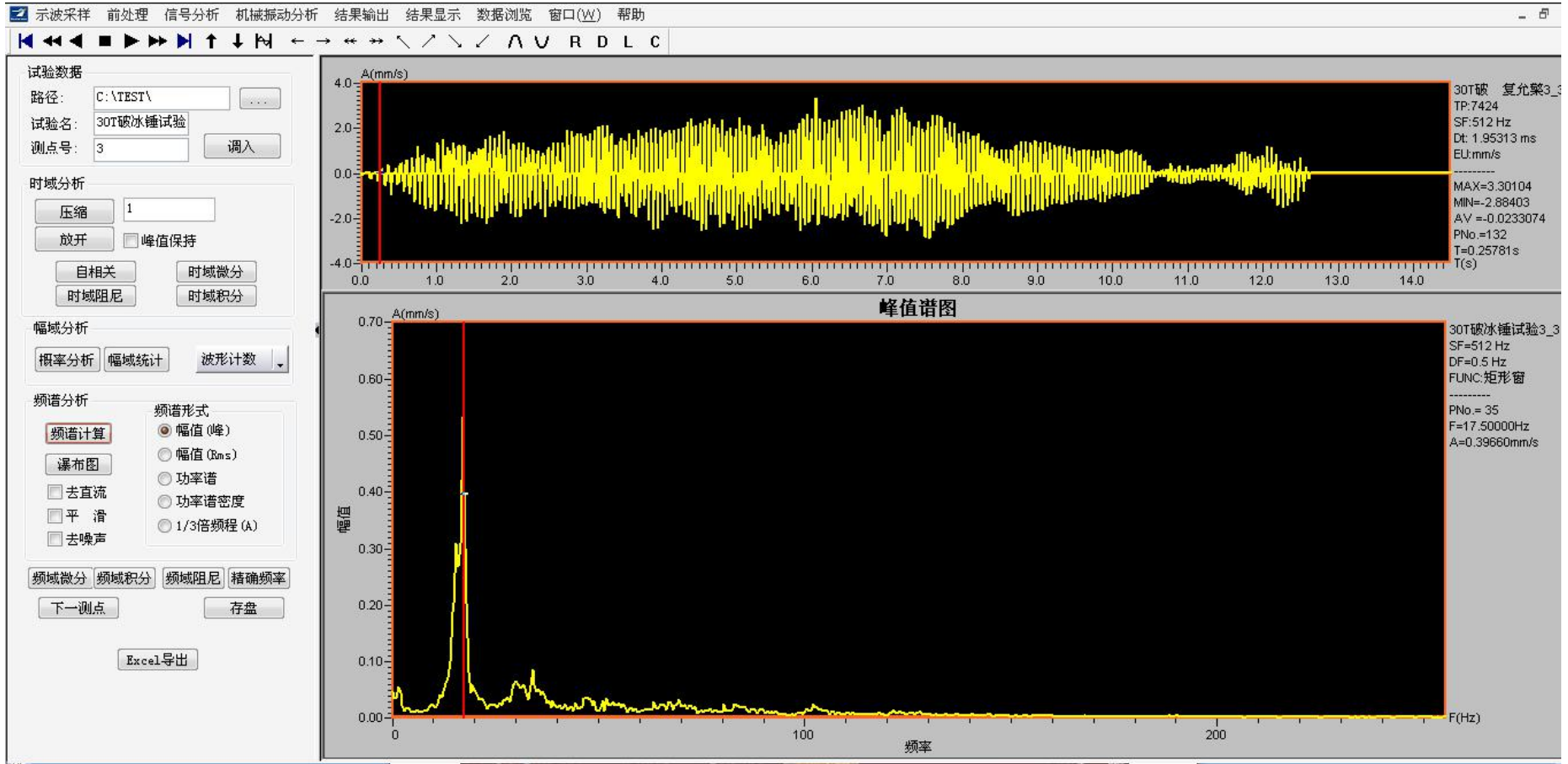
测试数据 1:



用 30T 激励锤破冰时：激励频率为 15Hz 时，破冰的过程时间为不到 1.5s。破冰效果好。



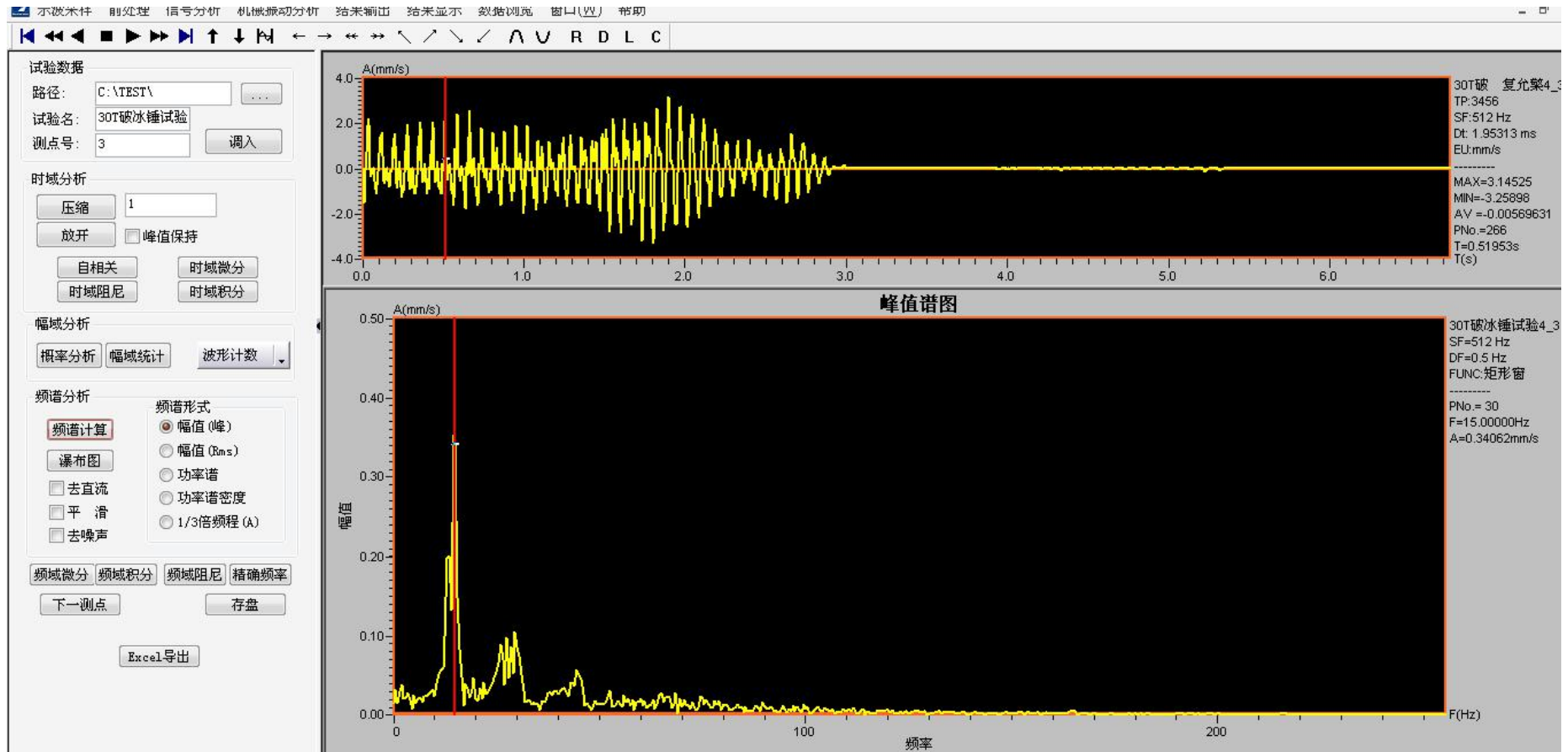
测试数据 2:



还是用 30T 激励锤破冰时：激励频率为 17.5Hz 时，破冰的过程时间为 10.5s 左右，破冰效果不好。



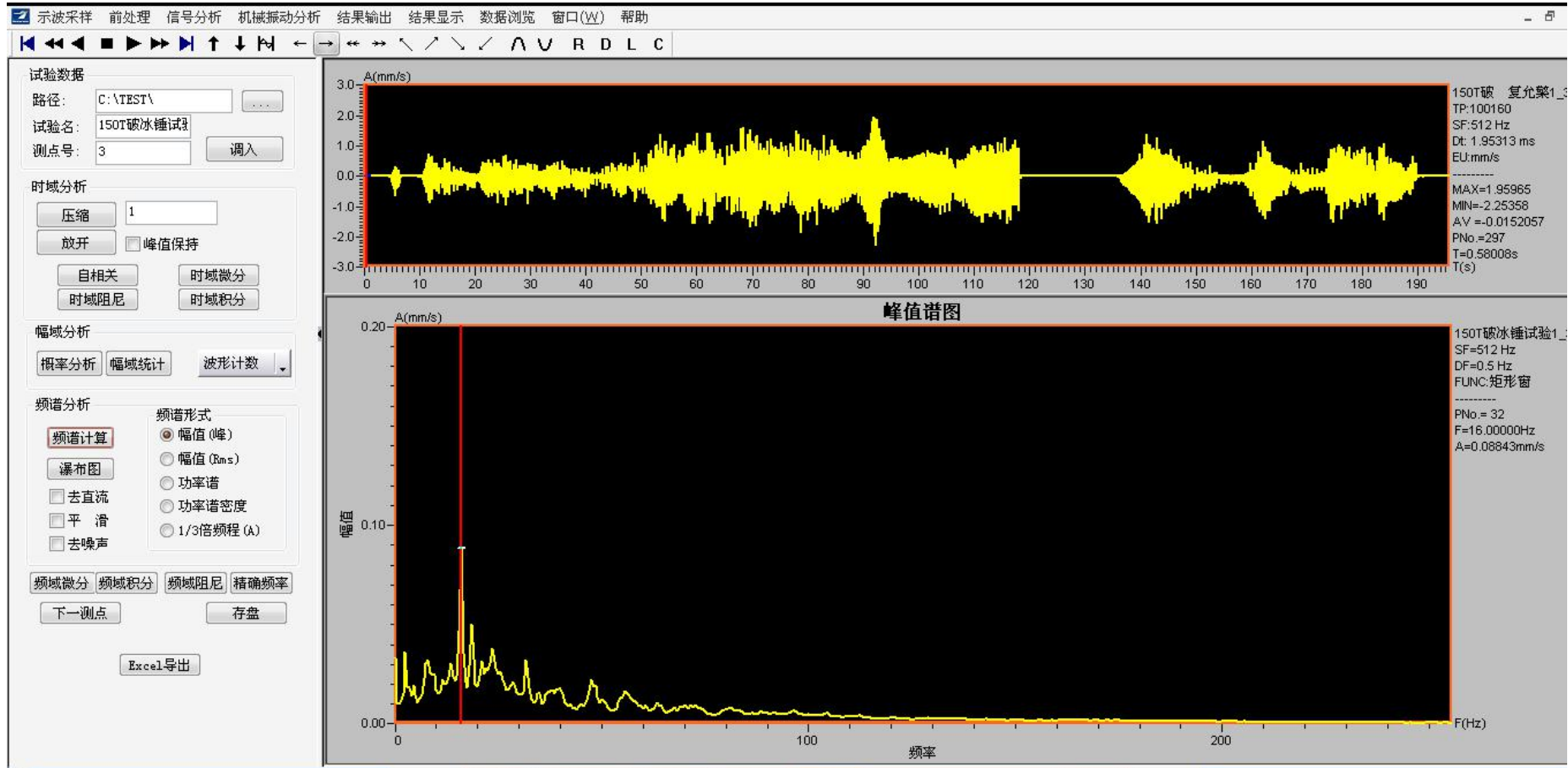
测试数据 3:



还是用 30T 激励锤破冰时：激励频率为 15Hz 时，改变破冰位置，破冰的过程时间为 3s 左右。破冰效果好。



测试数据 4:



用 150T 激励锤破冰时：激励频率为 16Hz 时，破冰的过程时间为 100s 左右。破冰效果不好。



分析:

- 1) 、破冰的效果与破冰锤的大小与质量无关。150T 锤不如 30T 锤的破冰的效果。数据 1 和数据 4 的比较可以看出。
- 2) 、破冰锤的外形与破冰的效果关系不大。锯型刀与圆形锤在 15Hz 左右的破冰效果相当。(有第一天的数据佐证)
- 3) 、破冰时，一定要对冰面施加一定的预压力，压力的大小与冰面的强度有关。(现没有数据佐证)
- 4) **激振频率是破冰的关键参数。对应上冰体固有频率，破冰的效果极佳！数据 1 和数据 3 就是证明！**

4、破冰锤工作状态的测试:

当破冰锤的油泵转速工作在 1500 转/分钟时，测得的数据如下:





以上的数据说明：当破冰锤控制的的工作频率为 25Hz 时，其锤头的激振频率是 16.5Hz。由此判断：**破冰锤激振频率的 in/out 比为：1:0.66。**

总结：综上所述

- 1、所有的测试数据都表明，15-16Hz 是一阶共振峰。128Hz 是 2 阶共振峰。
- 2、破冰锤的激振频率是破冰的关键参数。对应上冰体固有频率 15Hz 时，破冰的效果极佳！
- 3、150T 破冰锤激振频率的 in/out 比为：1:0.66。
- 4、破冰锤的外形与破冰的效果关系不大。锯型刀与圆形锤在 15Hz 左右的破冰效果都相当好，破冰的时间大约在 1.5s 左右。
- 5、破冰时，一定要对冰面施加一定的预压力，压力的大小与冰面的强度有关。（现没有数据佐证）
- 6、如果利用正弦扫描的方法快速找到所在冰体的固有频率。加大激振锤的破冰接触面积，快速大面积破冰的效果会更好!!!

北京万博振通检测技术有限公司



张惠 2012-1-14 晚于北京