

# 声压法测量汽车转向泵的声功率

苏州太阳花感知技术有限公司

孙晓昶

**[关键词]** 汽车转向泵 噪声 声功率级 声压法 标准 Prosig Dats

**[简介]** 汽车转向泵的生产厂家需要测试产品的噪声功率级。噪声测试要符合标准，国标和国际标准的规定比较简单，因为最后结果只是测试一个功率级数值。更多的情况下需要符合汽车总装厂的试验室测试标准，这些标准考虑的因素较多，如要求在转向泵的不同转速下，各个倍频程值或前N阶主要阶次的声功率级值或峰值保持值。这篇文章举例讲述后一种情况下如何根据总装厂试验室进行产品测试和分析。

## 1 引言

声功率测试方法一般分为两类，一类是声强法，测量方法需要符合国际和国家标准的规范规定，声强法测定声功率的主要国际标准有：

ISO 9614-1:1993 Acoustics Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity -Part 1 Measurement at discrete points.

ISO 9614-2:1996 Acoustics Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity-Part 2 Measurement by scanning.

ISO 9614-3:2002 Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity Part 3 Precision method for measurement by scanning.

声强法测定声功率的主要国家标准有：

GB/T 16404-1:1996 声学声强法测定噪声源的声功率级第1部分：离散点上的测量（等同采用ISO 9614-1）。

GB/T16404-2:1999 声学声强法测定噪声源的声功率级第2部分：扫描测量（等同采用ISO 9614-2）。

GB/T16404.3:2006 声学声强法测定噪声源声功率级第3部分：扫描测量精密法（等同采用ISO 9614-3）。

声强法的优势是不易受环境反射的影响，不受易背景噪声的影响，很多情况下可以不需要消声室，甚至在恶劣的声学环境中进行声功率测定；另外，声强法的测量结果是一个矢量场，既有大小也有方向。

另一类是声压法，声压法测量声功率的国际标准有：

ISO3744:2010 Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane.

ISO3745:2003 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for anechoic and hemi-anechoic room.

ISO3747:2011 Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment.

声压法测量声功率的国家标准有：

GB/T 6881.1-2002 声学声压法测定噪声源声功率级混响室精密法。

GB/T 6881.3-2002 声学声压法测定噪声源声功率级混响场中小型可移动声源工程法第2部分：专用混响测试室法。

GB/T 3767:1996 声学声压法测定噪声源声功率级反射面上方近似自由场的工程法。

GB/T3768:1996 声学反射而上方采用包络测量表面的简易法。

如果用多个声强传感器，设备成本较高，一般是手持的单个声强探头，逐点测量声强。汽车转向泵要进行除了定速试验还要进行升速和降速试验，声学环境快速变化，逐点的声强法是不适用的。

声压法测量声功率的基本思路：在声自由场中，包围声源的测量包络面上面积为  $A$  的测点处，测得的声压为  $P$ ，则穿过面积为  $A$  的声功率级可有由此处的声压级来表达：

$L_w = L_p + 10 \lg A$ ，其中， $L_p$  为声压级， $L_w$  为声功率级， $A$  为表面积。穿过整个包络面的声功率计就是噪声源的声功率，通过声功率级积分的方法求出。

## 2 汽车转向泵噪声测试的基本方案

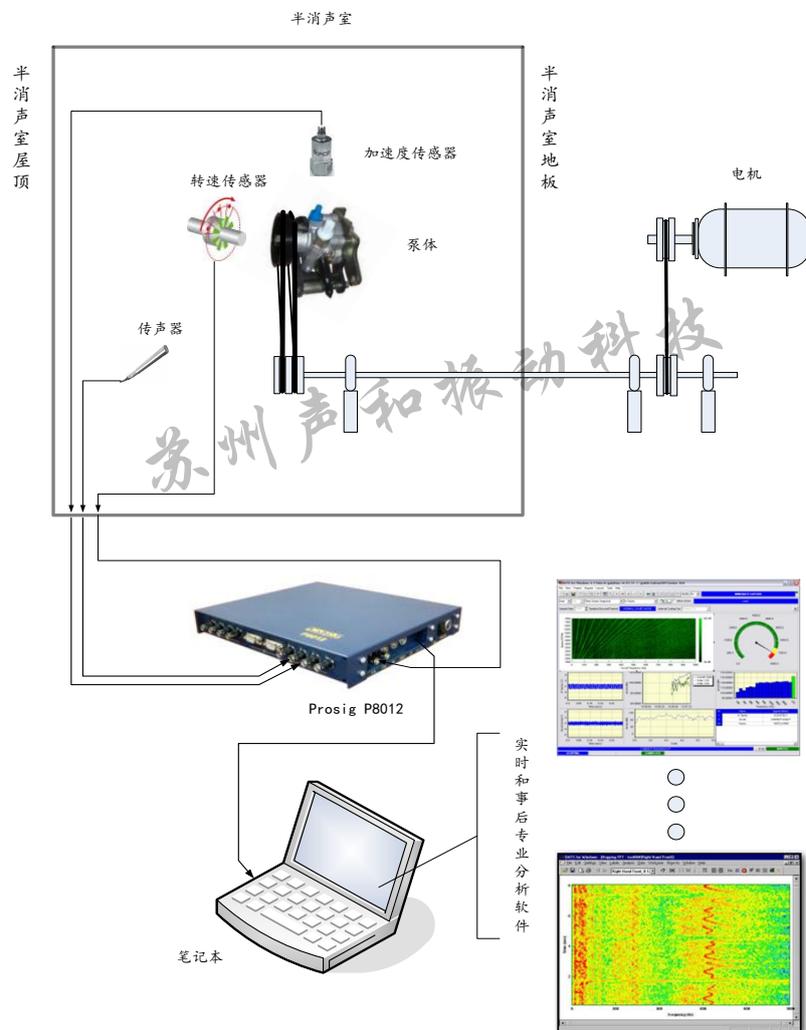


图1 汽车转向泵噪声测量示意图

声压法测声功率，一般需要半消声室的环境。某国际著名品牌的汽车转向助力泵的声功率测试，我们采用了 ISO3744:2010 的半消声室方法，半消声室把转向泵与电机和环境的噪

声隔离。泵机位于消声室内，电机放于消声室的底部。用皮带轮连接泵机。通过皮带轮连接一个传动机构，这样电机和地板穿墙不在一条直线上，既减少噪声的辐射，电机还可以固定在地面的较随意的位置，便于操作和维护。

传声器放在消声室内，每次试验前，根据试验要求选择麦克风的个数和确定麦克风位置。泵机上放一个加速度计，观察振动情况，提供进一步比对分析的比对数据。一路转速信号，用于分析噪声和转速的关系。

数据采集和分析设备采用英国 Prosig 公司的 P8020 和 Dats7.0 软件。声传感器和加速度传感器的信号经 P8020 采集，然后通过 USB 送入笔记本。采集器受笔记本的工作软件 AquisitionV4 控制。Dats 还提供旋转机械振动分析模块，完成由于旋转造成的振动的各种分析。数据采集完成后，应用 Prosig Dats 软件进行事后分析，采用非常直观的图形化语言（g 语言）或脚本语言（高级用户可采用），由用户设计处理方法处理过程。

### 3 测试分析案例

#### 3.1 某汽车总装厂的转向泵噪声测试试验室标准

在消声室的环境下利用 Prosig 设备，根据 ISO3744:2010 可以测试转向泵的声功率，但这只是在全频带上平均的声功率，总装厂有它们自己的试验室测试标准，汽车总装厂对其零部件供应商提出更高的要求。对于恒定转速试验，要求测量每一个转速下每个倍频程上的声功率；对于升速和降速试验，要求每个阶次在不同转速下的声功率。

某汽车总装厂的转向泵噪声测试试验室标准 汽车转向泵恒定转速测试的要求如下表：

1/3 octave centre frequency (Hz)	dB(linear) @750prpm	dB(linear) @1000prpm	dB(linear) @1250prpm	dB(linear) @1500prpm
250	40	38	39	46
315	42	44	41	44
400	42	41	46	42
500	42	43	42	47
630	42	43	45	44
800	42	44	45	46
1000	44	46	46	48
1250	45	47	48	51
1600	52	52	54	57
2000	53	54	57	60
2500	51	52	56	58
3150	47	49	53	56
4000	46	49	53	55
5000	47	49	53	55
6300	44	47	50	52
Overall	60	62	64	67

表 1 声功率规定值 (Sound Power Targets, Steady State, Family A/Family C)

汽车转向泵升速试验的试验室标准要求如下表：

Order	dB(lin.) @750 prpm	dB(lin.) @1250 prpm	dB(lin.) @1875 prpm	dB(lin.) @2500 prpm	dB(lin.) @3125 prpm	dB(lin.) @3750 prpm	dB(lin.) @4375 prpm	dB(lin.) @5000 prpm	dB(lin.) @5625 prpm	dB(lin.) @6250 prpm
N <sup>th</sup>	40	42	46	47	51	54	56	58	62	66
2N <sup>th</sup>	33	35	39	42	47	53	58	62	68	74
3N <sup>th</sup>	25	30	33	39	47	52	56	58	60	64
4N <sup>th</sup>	22	27	32	41	45	49	53	52	55	60
5N <sup>th</sup>	22	25	34	42	44	47	48	50	55	60
6N <sup>th</sup>	20	25	36	40	43	45	49	50	56	60
7N <sup>th</sup>	20	28	36	41	41	46	47	51	55	58
8N <sup>th</sup>	22	30	34	37	41	44	47	50	55	66
Overall	52	57	62	65	68	70	73	75	77	79

表 2 声功率规定值 (Sound Power Targets, Speed Sweep, Family A/Family C)

对于恒定转速试验，用20个麦克风在测量包络面上按照规定位置布置好，同时利用激光转速传感器测量泵机转速。需要两次测量，第一次是安静状态下的背景噪声测量，第二次是工作时的噪声测量。如果是消声室环境只需要一次噪声测量。数据处理结果是1/3倍频程功率谱，对于四种稳定转速（750，1000，1250和1500rpm）重复处理结果。运行处理时，所有四种转速状态的数据要提前备好，处理后的结果保存在excel文件中。

- 1) 含有20个声压信号的数据集，声压信号的单位是帕(Pa)，dB的基准值是0.00002 Pa，信号的采样频率最低为15kHz。
- 2) 对工作状态数据集中的所有信号计算工作状态平均功率谱密度 (ASD)，计算结果为  $X(f)$ 。
- 3) 对背景信号数据集中的所有信号计算背景平均功率谱密度 (ASD)，设计算结果为  $Y(f)$ 。
- 4) 计算工作状态平均功率谱密度和背景平均功率谱密度的差  $dP(f) = X(f) - Y(f)$ ，单位是dB。
- 5) 计算修正谱  $K(f)$  
$$K(f) = -10 \log(1 - 10^{-0.1dP(f)})$$

如果  $dP(f) < 6dB$  则  $K(f) = 1.3$

- 6) 计算工作状态平均功率谱密度和修正谱的差  $LP(f) = X(f) - K(f)$ 。
- 7) 计算  $LP(f)$  声功率

$$L_w = L_p + 10 \log \left( \frac{A}{A_r} \right)$$

其中， $L_w$  为声功率级，单位是dB； $L_p$  是修正后的自功率谱声压级平均值，单位是dB； $A$  是测量箱体的表面积，单位  $m^2$ ； $A_r = 1m^2$ 。

□□

- 8) 把声功率谱转化为1/3倍频程，最后声功率单位是瓦 (W)，dB的参考值是  $1.0 \times 10^{-12}W$ 。
- 9) 抽取声功率级 1/3 倍频程数值输出到 excel 文件中。

以上步骤，用 Prosig 的信号处理流程图可以实现自动化处理，直接生成 excel 报表。

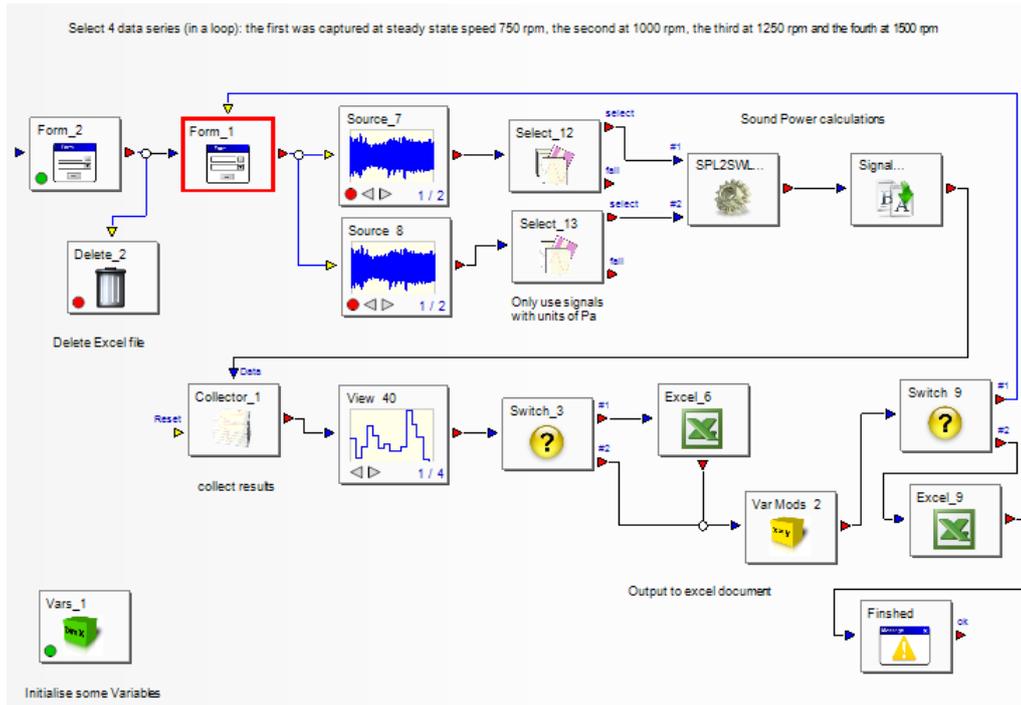


图3 Prosig数据处理Worksheet的自动化处理（恒定转速）

某型转向泵根据通用标准测试噪声的Excel报表内容结果如下表

1/3 Octave Centre Frequency (Hz)	dB(linear) @750prpm	dB(linear) @1000prpm	dB(linear) @1250prpm	dB(linear) @1500prpm
250	49	49	49	49
315	39	39	39	39
400	45	45	45	45
500	56	56	56	56
630	50	50	50	50
800	44	44	44	44
1000	46	46	46	46
1250	42	42	42	42
1600	42	42	42	42
2000	45	45	45	45
2500	64	64	64	64
3150	56	56	56	56
4000	49	49	49	49
5000	38	38	38	38
6300	37	37	37	37

表3 恒定转速噪声试验结果

对于升速试验，需要测量声压信号和升/降转速脉冲信号。要求背景噪声足够小。首先建立速度曲线，然后在设定转速变化范围内的据此速度曲线生成频域分析瀑布图。从瀑布图上抽取阶次切片，转化为声功率级，最后输出到文件。

- 1) 输入数据集包含20个声压信号和一个转速脉冲信号，声压信号的单位是帕 (Pa)，dB的参考值为 $2.0 \times 10^{-5}$ Pa.

- 2) 以25rpm为步长对20个声压信号做频域瀑布图分析。
- 3) 从20个瀑布图的每个图中抽取指定的8个阶次和总体值(阶次切片), 处理后的结果是以转为变量的RMS阶次值。
- 4) 上一步得到的结果进行平方运算得到20组声压平方值结果, 每组包含8个阶次和1个总体值的声压平方值数据。对每一阶次的8组数据和总体值进行平均得到每个阶次的均方值和总体值均方值。
- 5) 把每个阶次的声压均方值和总体值均方值转化为声功率级:

$$L_w = L_p + 10 \log A$$

其中,  $L_w$  为声功率级, 单位是dB;  $L_p$  是以dB为单位的声压平方的平均值,  $A$  是测量箱体的表面积, 声功率级的参考值为1pW。

- 6) 抽取每个阶次的声功率级和总体声功率数据, 写入excel文件。

以上步骤, 用Prosig的信号处理流程图可以实现自动化处理, 直接生成 excel 报表。

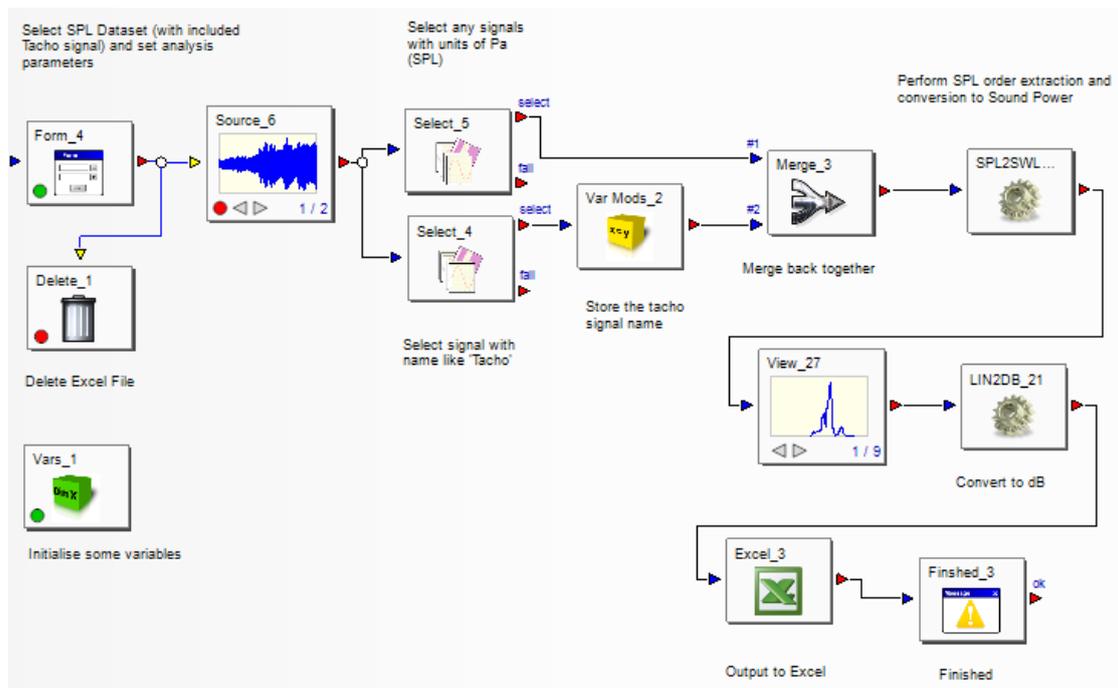


图4 Prosig数据处理Worksheet的自动化处理 (升速)

Order	dB (Lin.) @750 prpm	dB (Lin.) @1250 prpm	dB (Lin.) @1875 prpm	dB (Lin.) @2500 prpm	dB (Lin.) @3125 prpm	dB (Lin.) @3750 prpm	dB (Lin.) @4375 prpm	dB (Lin.) @5000 prpm	dB (Lin.) @5625 prpm	dB (Lin.) @6250 prpm
1	44	57	50	50	56	59	60	57	59	61
2	50	45	41	32	37	35	44	35	36	36
3	45	45	38	36	35	39	44	53	46	40
4	43	33	36	36	35	40	39	39	44	48
5	40	43	36	33	40	39	42	48	46	55

6	35	34	36	37	39	38	51	52	47	39
7	34	44	35	36	39	48	55	45	38	41
8	39	36	35	32	44	50	43	36	37	38
Overall	61	63	66	69	72	73	77	76	77	77

表3 汽车转向泵升速噪声试验结果

### 3.2 某汽车总装厂电动转向泵噪声测试标准

低压升速测试，从20%到100%最大流量，30秒时间；出油口压力保持在 $5 \pm 0.25\text{bar}$ ；用峰值保持的方式生成噪声的1/3倍频程。各倍频程的测量值最多可以超出下图上限值的3dB，只要总的声功率小于63dBA。

高压升速测试，从20%最大输出流量到最大流量，30秒时间；出油口压力保持在80bar；用峰值保持的方式生成噪声的1/3倍频程。各倍频程的测量值最多可以超出高压上限值(图在本文没有给出)的3dB，只要总的声功率小于68dBA。

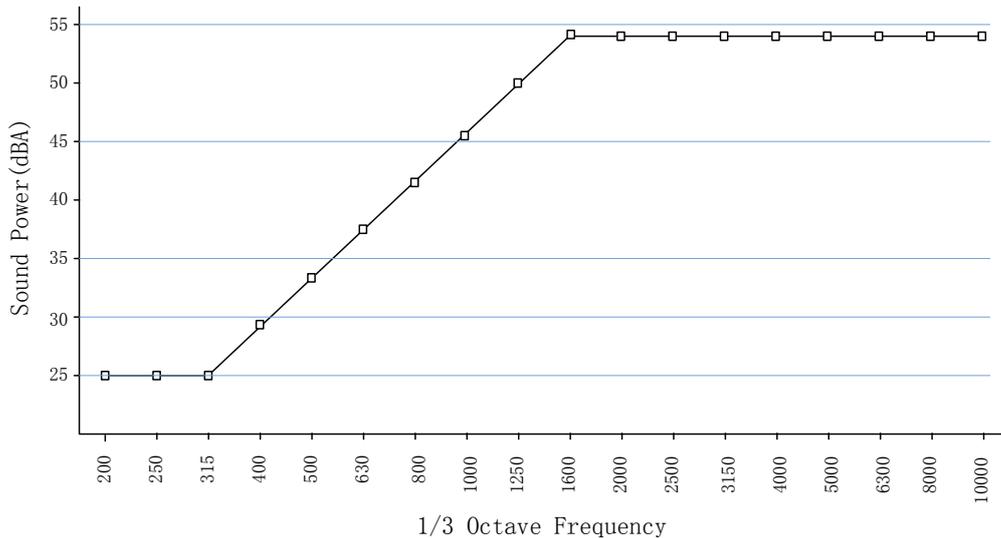


图5 某汽车总装厂电动转向泵低压噪声测试标准

在转向泵升速的30秒内，不同的频率成分随时间变化，峰值的成分有可能在整个频带上扫过，因此每个倍频程上的噪声声功率随着时间而变化，这个标准要求用峰值保持的方法来计算倍频程，就是要找到一种综合的最差情况，是一种比较严格的测试。

- 1) 输入数据集包含20个声压信号，不需要转速信号，声压信号的单位是帕(Pa)，dB的参考值为 $2.0 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 。
- 2) 从数据集中逐次取出每个噪声信号。
- 3) 对每个信号A加权。
- 4) 以0.2秒的时间间隔对每个信号做倍频程分析，得到每个短时间段的倍频程，每个信号形成一个倍频程集(约有100多个短时倍频程)。
- 5) 每一个噪声信号的倍频程集平方，然后求和，计算均方值。
- 6) 倍频程的均方值乘以A/400(声功率变化的一个步骤)。

- 7) 计算声功率级,  $(10 \cdot \log(P^2/1.0e^{-12}))$ , dB的参考值为1pW(1.0e<sup>-12</sup>W). 目前为止, 得到一个声功率级倍频程集, 包含一组短时间段的声功率级倍频程。
- 8) 从上一步的声功率级倍频程集中逐点抽取每个声功率级倍频程随时间变化的值, 得到一个声功率级对时间变化的一组数据集。
- 9) 运行统计模块, 对每个声功率级倍频程对时间变化的数据集找出整个时间段的最大值, 这个值就是30秒升速试验中峰值保持的声功率级倍频程。
- 10) 把峰值保持的声功率级倍频程写入excel文件。

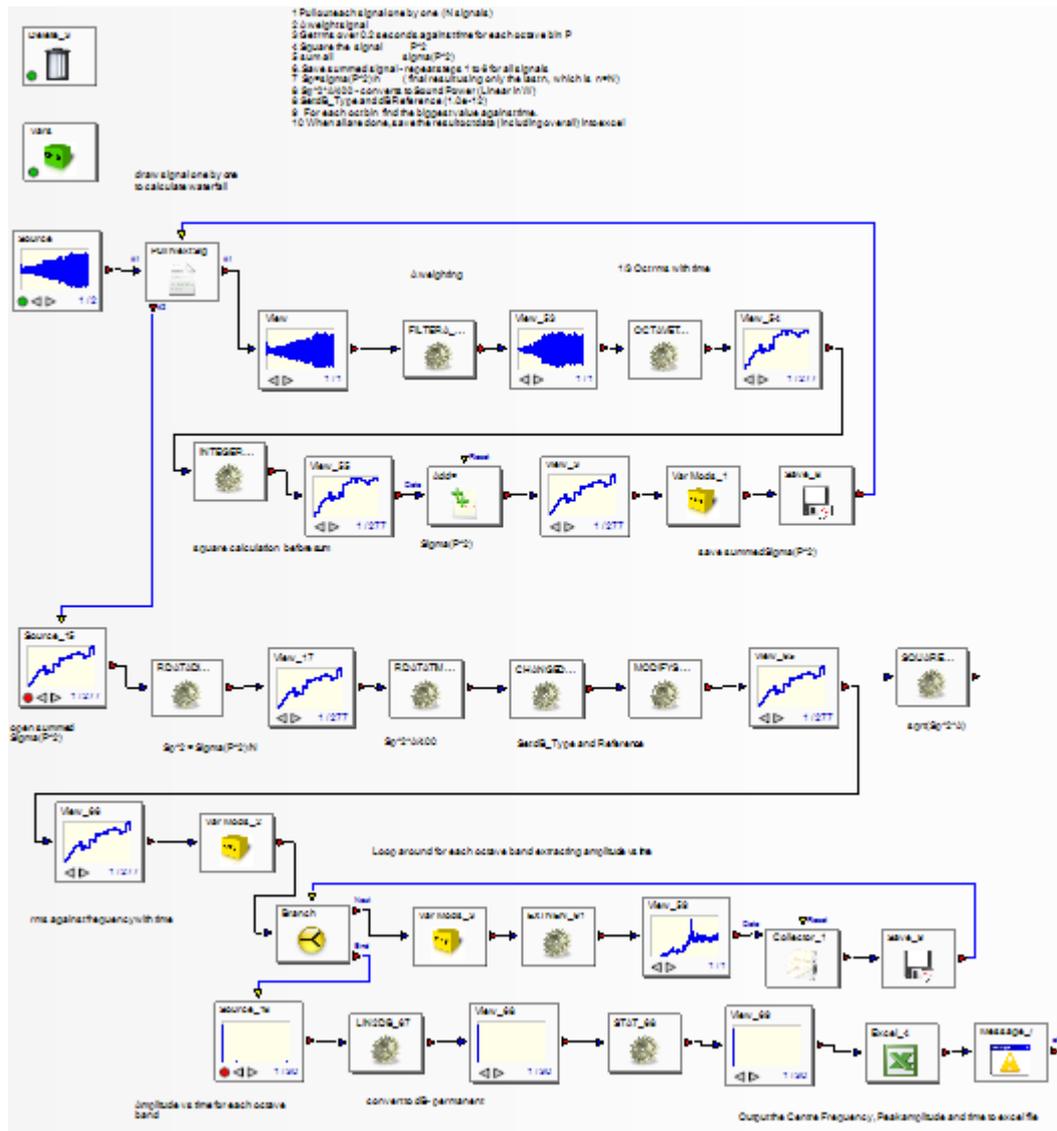


图 6 Prosig Dats 升速过程峰值保持法计算倍频程的 Worksheet

总结, 对于汽车转向泵的噪声功率级测试, 汽车总装厂试验室标准会提出较高的要求, Prosig 的噪声振动测量设备, 具有灵活的分析能力, 可以为汽车转向泵生产厂家提供完善的测试方案。 本文的试验方法, 在几分钟时间内给出准确的分析结果, 得到用户的好评。

**【鸣谢】** 感谢英国 Prosig 公司 James Wren 和 Mike Donegan 博士的技术支持，他们为数据的分析方法提供咨询和部分方案。