

# 声压法计算声功率

## 基本概念

### (一) 声压 (P)

声压是由于声波的存在而引起的压力增值，指有声波存在时，媒质中的压力与静压的差值。单位为 Pa。声波在空气中传播时形成压缩和稀疏交替变化，所以压力增值是正负交替的。但通常讲的声压是取均方根值，叫有效声压，故实际上总是正值。

声压级，人耳对声音强弱的变化的感受并不与声压成正比，而与声压的对数成正比。单位为 dB。声压级： $LP = 20 \lg(P/P_0)$

式中：LP——声压级 (dB)；

P ——声压 (Pa)；

$P_0$ ——基准声压，为  $2 \times 10^{-5}$  Pa，该值是对 1000HZ 声音人耳刚能听到的最低声压。



actual size

### (二) 声强 (I)

声强是指单位时间内，声波通过垂直于传播方向单位面积的声能量。单位为  $W / m^2$ 。

声强与声压的关系为  $I = \frac{P^2}{\rho c}$  即  $P^2 = I \times \rho \times c$

$\rho$ -空气密度,  $c$ - 声波速度,  $\rho c$ —媒质的特性抗阻, 单位为瑞利, 即帕\*秒/米(Pa\*s/m)。如以标准大气压与 20°C 的空气密度和声速代入, 得到  $\rho c = 408$  (Pa\*s/m)。

声强级  $IL=10*\lg(I/I_{ref})$ , 其中  $ref=10^{(-12)} W/m^2$



### (三) 声功率 (W)

声功率是指单位时间内, 声波通过垂直于传播方向某指定面积的声能量。在噪声监测中, 声功率是指声源总声功率。指声源在单位时间内向外辐射的声能。声源声功率有时指的是和在某个频带的声功率, 此时需要注明所指的频率范围。在噪声检测中, 声功率指的是声源总声功率。声功率的单位为  $W$ 。

$$\text{声功率与声压的关系为 } W = \frac{P^2}{\rho c} A$$

式中,  $S$ —声波垂直通过的面积,  $m^2$

$\rho c$ —媒质的特性抗阻, 单位为瑞利, 即帕\*秒/米 ( $Pa*s/m$ )

声功率与声强的关系为  $I = W/S$

$$L_w = 10 \lg(W / W_0)$$

式中：  $L_w$  —— 声功率级 (dB) ；

$W_0$  —— 声功率 (W) ；

$W_0$  —— 基准声功率，为  $10^{-12}$  W。

对于一个特定的点声源，  $L_w$  是一个定值。声压级和声功率级有如下关系：

$$L_p = L_w - 10 \lg(4\pi r^2)$$

式中  $r$  为声源到测试点的距离。当  $4\pi r^2 = 1$  时，即  $r = 0.282\text{m}$  时，声压级在数值上等于声功率级，当  $4\pi r^2 < 1$  时，即  $r < 0.282\text{m}$  时，声压级大于声功率级，反之声压级小于声功率级。当噪音表示为声压级时，应给出测试点到声源的距离。声功率级与声压级的单位都是 dB，都代表声源的强度。但声功率级是一个特定声源内部的发射声能量级；声压级特指某个距离上一点上的能量级，而且是随着距离增大而减小的。

在工程测量中，只有当与距离相比，声源的尺寸可以忽略不计时，即声源可以看作一个点声源时，上式成立。而与距离相比，声源的尺寸不能忽略，也就是当声源不能看作一个点声源时，就不能使用上式来计算了。当  $r$  无限小时，声源就不能看作点声源了。

$$L_p = 20 \lg\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) = 10 \lg\left(\frac{P^2}{W_{ref} \rho_0 c_0} A\right) + 10 \lg\left(\frac{\rho_0 c_0 W_{ref}}{P_{ref}^2 A}\right)$$

$$= L_w + 10 \lg\left(\frac{400 * 1 * 10^{-12}}{(2 * 10^5)^2 A}\right) = L_w - 10 \lg A \quad \text{即,}$$

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

其中,  $L_p$  为声压级,  $L_w$  为声功率级,  $P_{ref}$  为基准声压,  $W_{ref}$  为基准声功率, 为  $A$  为表面积, 空气的特性阻抗  $\rho_0 c_0 = 400 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}$ 。

功率级、声强级和声压级都是无量纲的。正常谈话时语言的声功率为  $1\mu\text{W}$ , 大声讲话时可增加到  $1\text{mW}$ , 正常讲话时与人距离  $1\text{m}$  时的平均声压级为  $65\sim 69\text{dB}$ 。

声功率通常以“参考声功率”做参考而换算成对数形式, 称为声功率级。声功率级与声压级在特定的情况下是相等的。简单而言, 理论上声功率级相当于测试点距离点音源位置为  $0.282$  米时的声压级。但扬声器并非一个实际的点声源, 因此在电声音频领域通常取扬声器中轴正面  $1$  米作为测试点, 资料上标称的灵敏度、最大声压级等诸多电声指标都是在此距离测出。从  $1$  米处测量出来的声压级可以换算出此扬声器的声功率级, 再从声功率级换算出声功率。

当距离不断减小时声压级竟然大于声功率级, 当为无限趋向  $0$  时是无穷大声压级, 为  $0$  时是无效数。证明该公式是一个理论计算值, 在实际当中是不存在点声源的, 也就不存在测试点能无限趋向  $0$  甚至等于  $0$ 。而所有的运算也假定, 声功率级就是声源表面处的输出能量级。

## 常用名词解释

**L10, L50, L90** 为累计百分声级

**L10, L50, L90** 为累计百分声级, 其定义是:

**L10**—测定时间内,  $10\%$ 的时间超过的噪声级, 相当于噪声的平均峰值;

**L50**—测定时间内,  $50\%$ 的时间超过的噪声级, 相当于噪声的统计平均值;

**L90**—测定时间内,  $90\%$ 的时间超过的噪声级, 相当于噪声的本底值。

累计百分声级 **L10, L50** 和 **L90** 的计算方法有两种: 其一是在正态概率纸上画出累计分布曲线, 然后从图中求得; 另一种简便方法是将测定的一组数据 (列如  $100$  个), 从大到小排列, 第  $10$  个数据即为 **L10**, 第  $50$  个数据即为 **L50**, 第  $90$  个数据即为 **L90**。

**Lp** 瞬时声级

**Leq** 等效连续声级

**Se** 暴露声压级

**Lmax** 最大声级

**Lmin** 最小声级

$L_x$  大于此声级的测量时间占  $X\%$

波形峰值保持  $L_{peak}$  .  $L_{cpeak}$  (c 计权峰值) .  $L_{ceq}$  (c 计权等效声压级) .

$L_{tm5}$  5 秒内声级最大值

**等效连续声级：**A 计权声级能够较好地反映人耳对噪声的强度与频率的主观感觉，因此对一个连续的稳态噪声，它是一种较好的评价方法，但对一个起伏的或不连续的噪声，A 计权声级就显得不合适了。例如，交通噪声随车辆流量和种类而变化；又如，一台机器工作时其声级是稳定的，但由于它是间歇地工作，与另一台声级相同但连续工作的机器对人的影响就不一样。因此提出了一个用噪声能量按时间平均方法来评价噪声对人影响的问题，即等效连续声级，符号“ $L_{eq}$ ”或“ $L_{aeq} \cdot T$ ”。它是用一个相同时间内声能与之相等的连续稳定的 A 声级来表示该段时间内的噪声的大小。例如，有两台声级为 85dB 的机器，第一台连续工作 8 小时，第二台间歇工作，其有效工作时间之和为 4 小时。显然作用于操作工人的平均能量是前者比后者大一倍，即大 3dB。因此，等效连续声级反映在声级不稳定的情况下，人实际所接受的噪声能量的大小，它是一个用来表达随时间变化的噪声的等效量。

## 音箱灵敏度为例解释声功率

目前市面上的有源音箱一般以 dB/W/m 作为音箱灵敏度的单位，即在有源音箱的扬声器系统中输入 1W 的功率，在其正前方 1m 处测试声压的大小，从而得出音箱的灵敏度数值。一般的有源音箱灵敏度都在 83dB/W/m-92dB/W/m 之间，其中每相差 3dB，功率就要提高一倍才能获得相同的音量。

音箱灵敏度的定义是在距离扬声器系统中轴 1 米处加 1W 电功率所获得的声压级，因此通过公式可间接换算出 1W 电功率能够转化为多少 W 的声功率，从而获得电功率与声功率的转化效率。

假设扬声器灵敏度为 87dB，r 为 1 米，则有电功率为 1W 时的输出声功率为 98dB

$$L_w = SPL + 10 \lg(S) = SPL + 10 \lg(4\pi r^2)$$

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

而声功率级换算成声功率的公式为

其中 W 为声功率，W<sub>0</sub> 是基准声功率。W<sub>0</sub> 取一个常量 1pW，即  $1 \times 10^{-12} W$

。通过  $L_w=98dB$  可计算得出  $98 = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad W = 0.0063W \quad (1 \times 10^{-12} \times 109.8)$

也就意味着对于灵敏度为 98dB 的点声源扬声器而言，1W 的电功率换来 0.0063W 的声功率，利用比例运算，也就是 158.7W 的电功率换来 1W 的声功率。如果这个扬声器额定承受功率为 600W 的话，当扬声器输入电功率 600W 时扬声器输出声功率仅 3.78W。

通过这个运算，我们可以看出来扬声器灵敏度直接影响到电/声功率的转换效率，也从侧面解释了为何灵敏度高的音响售价较高。

最后要说明的是，对于产品说明，声压级这个参数是一定带有附加测量距离这个条件的，声功率级不带距离参量；当测试距离等于 1m 时

$$L_w = 98 + 10 \log(4 \times \pi \times 1^2) = 98 + 11 = 109 dB$$

# 声功率测试标准

## 声强法测定声功率标准

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

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)

## 声压法测定声功率标准

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

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

## 测试要求

GMW14142 GM WORLDWIDE ENGINEERING STANDARDS © Copyright 2008 General Motors Corporation Page 14 of 24 May 2008

**Table 6: Sound Power Targets, Steady State, Family A/Family C**

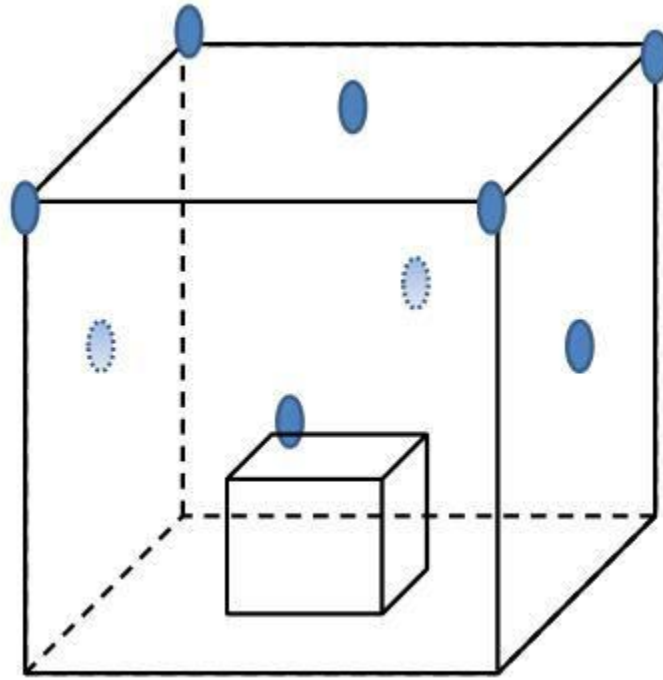
1/3 octave centre frequency (Hz)	dB(linear) @750prpm	dB(linear) @1000prpm	dB(linear) @1250prpm	dB(linear) @1500prpm
250	40	38	39	46
315	42	44	41	44
400	42	41	46	42
500	42	43	42	47
630	42	43	45	44
800	42	44	45	46
1000	44	46	46	48
1250	45	47	48	51
1600	52	52	54	57
2000	53	54	57	60
2500	51	52	56	58
3150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

**Table 7: Sound Power Targets, Speed Sweep, Family A/Family C**

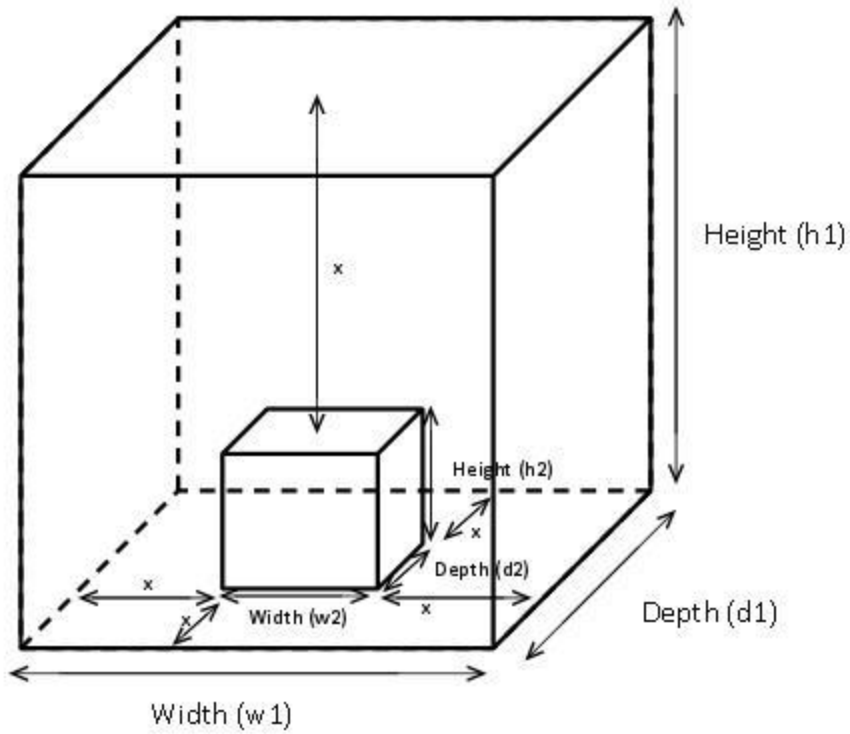
Order	dB(lin.) @750 prpm	dB(lin.) @1250 prpm	dB(lin.) @1875 prpm	dB(lin.) @2500 prpm	dB(lin.) @3125 prpm	dB(lin.) @3750 prpm	dB(lin.) @4375 prpm	dB(lin.) @5000 prpm	dB(lin.) @5625 prpm	dB(lin.) @6250 prpm
N <sup>th</sup>	40	42	46	47	51	54	56	58	62	66
2N <sup>th</sup>	33	35	39	42	47	53	58	62	68	74
3N <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



# 实现方法



ISO3744 声功率测试 (9点)



基准体和测量包络面 (ISO 3744:2010(E))

w1	测量包络面宽度 $w1 = w2+2x$
d1	测量包络面深度 $d1 = d2+2x$
h1	测量包络面高度 $h1 = h2+x$
w1	基准体宽度
d1	基准体深度
h1	基准体高度
x	测量距离 (测量包络面和基准体之间的距离)
总面积 A, 如下计算	
$A=2h1(d1+w1)+w1*d1$	
例如: $w2=d2=h2=1.0m$ , $x=1.0m$ , 则	
总面积 $A = 2*2*(3+3) + 3*3 = 33m^2$	

## 稳速声功率倍频程分析方法

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准备好，处理后的结果保存在excel文件中。

1 含有N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。

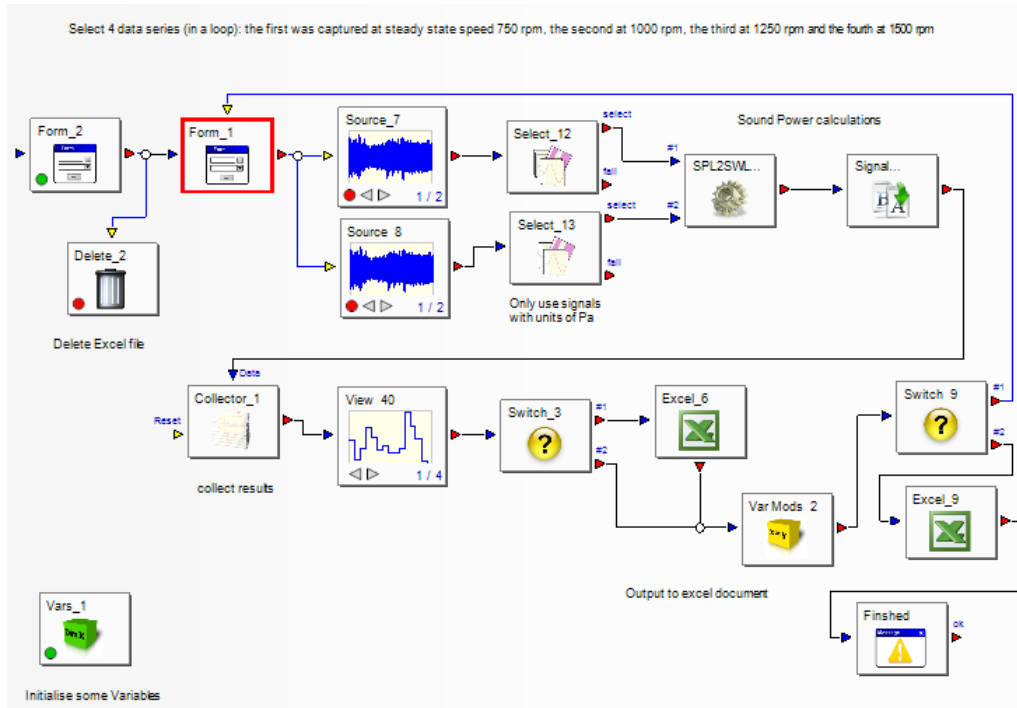


图3 Prosig数据处理Worksheet的自动化处理（恒定转速）

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

## 升速/降速声功率倍频程分析方法

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N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N个声压信号做频域瀑布图分析。

3 从N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N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：

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

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，单位 $m^2$ ； $A_r = 1m^2$ ，声功率级的参考值为 $1.0 \times 10^{-12}W$ 。

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。

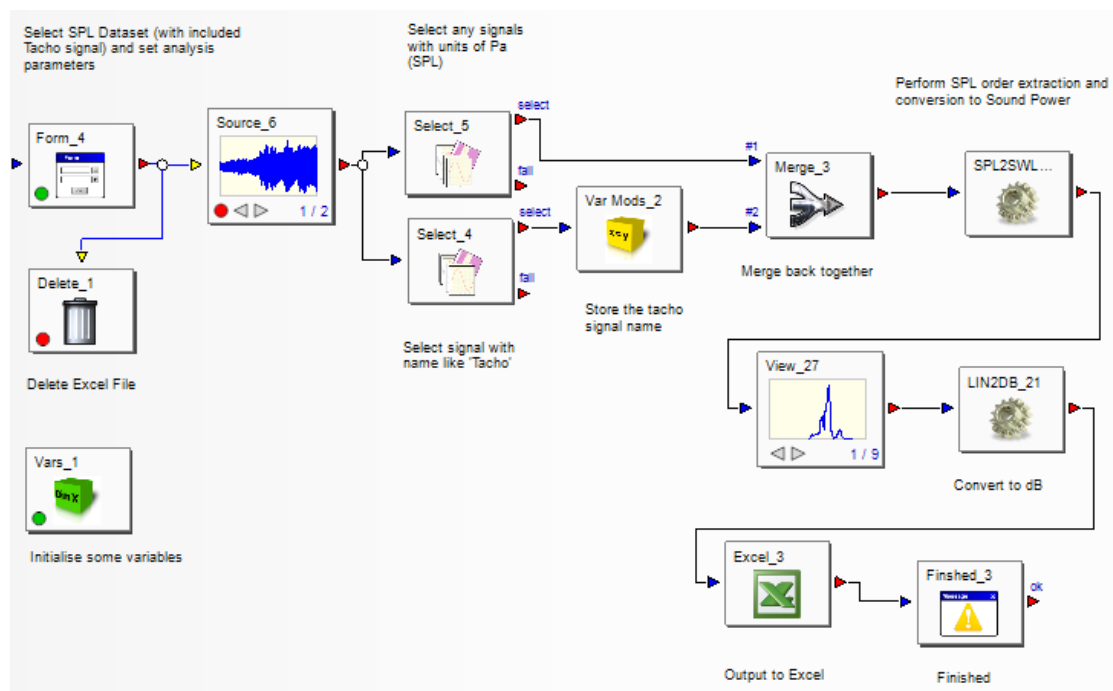


图4 Prosig数据处理Worksheet的自动化处理（升速）

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