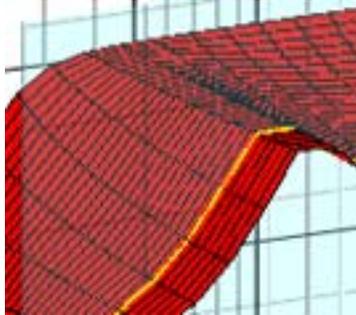


FINEBox™



非线性大功率音箱模拟程序

指导书



注意：如果将 **PDF READER** 的“平滑文本”选项去掉，将会解决显示汉字太淡的问题。

FINEBox 扬声器模拟软件，主要是针对密闭式音箱、反射式音箱、带通式音箱、内部开孔式音箱，模拟其非线性大功率频率响应及衰减状况。非线性 T/S 参数，机械或温升数据可以直接从 FINEMotor 输入（仅适用于 FINEMotor 2.1 或更高版本）。

15" PRO-Sound 低音扬声器

我们将演示 FINEbox 如何模拟一个 15 英寸 PA 低音和低音反射音箱在多种功率等级下的非线性和功率损耗。这个扬声器叫做 Celestion Frontline 15。它有一个铝铸盆架，4in/100mm 音圈和一个大的铁氧体磁铁。

Frontline 15 主要数据:

公称阻抗	8	ohms
额定功率（粉红噪音）	600	W (rms)
音圈位移最大值 (+/-)	3.7	mm
音圈电阻 (DCR)	6.0	ohms
耦合系数	25.6	Tm
自由空间共振频率 (Fs)	37	Hz
包含空气负荷的振动质量	109.5	g
有效振动面积	855.3	sq. cm
系统等效容积 Vas	173.6	litres
机械阻尼系数 Qms	5.6	
总阻尼系数 Qts	0.22	

由于我们以前用 FINEMotor 2.1 构筑过 Frontline 15 的模型，所以我们可以直接点  按钮，将其非线性 T/S 参数和温升数据输入进来。用 40mm 和 700 Wm/K 作为原始输入，见下页。

（此例文件为 15inch Reflex Box. fbl，可读取之。）。

点击“driver”按钮，以查看这些数据（见图 1）。有包括音圈的机械尺度和包括温升时间常数的磁铁系统数据。（举例说明，音圈时间常数显示了按指数上升的音圈温度曲线最初的线性阶段。这类似于电容器的充电过程。）

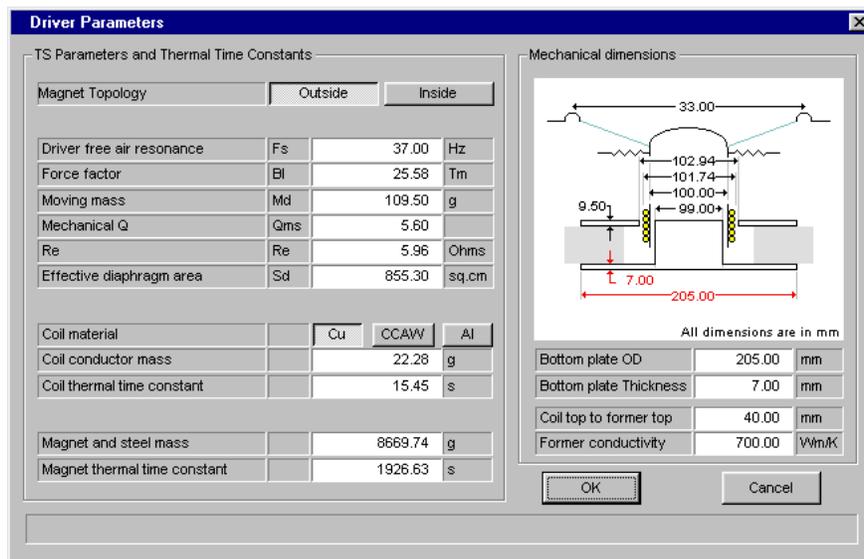


图 1. 从 FINEMotor 2.1 引入的 15 英寸低音的数据

注意，考虑到实体喇叭导磁柱底部的直径为 60mm 孔洞的冷却作用，我们把音圈架的传导率从 Kapton 材料的 0.45 增加到了 700 Wm/K。从音圈线圈顶端到音圈骨架顶端的距离是 40mm。根据实际情况，我们把导磁下板厚度改为 7mm。将功率设置为 600W。

音圈升温时间常数是 15.45 秒，而磁铁系统的是 1926.63 秒。见图 1。所以音圈的升温比磁铁系统快得多。而且磁铁和 T 铁及华司的质量要比音圈大得多，因此这使得升温的差异更加明显。

打开文件 15inch Reflex Box. fb1，并选择 3D 显示按钮  其中一个，观察基于非线性 T/S 参数的大功率频率响应图像（点击 -10dB 按钮，可以将频率响应图像调整到可见范围之内）。图 2 显示了 3D 透视图。注意第 3 个坐标轴是时间轴。左后方墙上的曲线是系统频响曲线的低频部分。这也可以在下面的 2D 频响曲线中看到。

红色的‘地毯’显示了当 600W 的输入功率作用了长时间后，频响曲线的变化。

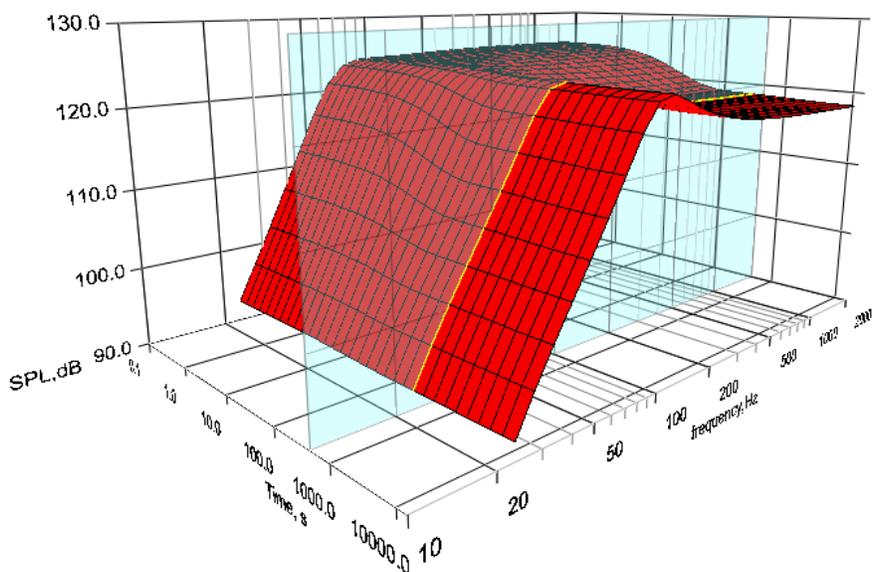


图 2. 3D 频率 / 时间 响应

注意：你可以用鼠标上下左右拖动 3D 曲线，使它旋转。而且 2D 和 3D 窗口中间的分隔线也可以上下拖动。

在 10-100 秒之间，频响曲线声压级变动很大。这是由于音圈在升温，导致音圈电阻增大。100 秒以后，磁铁系统开始升温，声压级缓慢下降，变化不大。

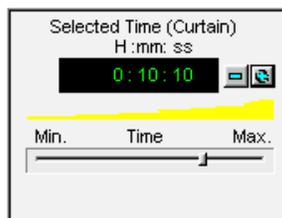


图 3. 时间幕布设置

图 3 显示了“数字时钟”。它是用来设置“玻璃墙”幕布的时间，以逐条选择频响曲线。用游标可以调整时间。注意：为了能够同时显示短时间的音圈时间常数和长时间的磁铁时间常数，时间轴采用对数刻度。

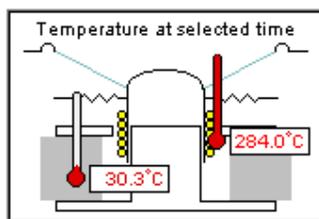


图 4. 音圈和磁铁系统的温度

将时间幕布设置在 10min10s (=610s)，则可在图 4 中看到音圈的高温 (284.0 °C) 和磁铁系统的温度 (30.3 °C)。此时，磁铁系统还没有升温。选择最大的时间刻度 4:00:00。此时，磁铁系统和音圈都完全升温。磁铁系统的温度为 57.2 °C，音圈温度为 305.5 °C。（此例取自 15inch Reflex Box. fb1）

15 英寸低频反射式音箱

由于这个低音具有非常低地 Q_{ts} ，所以我们期望将它用在低频反射式音箱中，并且该音箱用一个比系统等效容积 V_{as} 小得多的内腔体积：25 升。设定风管的调谐频率 F_b 为 63Hz。这样我们得到一个在 90Hz 下降 3dB 的 QB3 (三阶平滑式曲线设计) 类型的频响曲线。在 2D 视窗中，可以看到频响曲线，如图 5。但是我们希望有更好的低频延伸。点击 Step 按钮，然后将内腔体积改为 44 升。我们可以发现新的曲线 #2 (蓝色) 在 65Hz 才衰减 3dB。并且，这个频响曲线非常接近于 B4 (四阶平滑式曲线设计 4' th order Butterworth/maximally flat)。

当 2D 视窗右边的 [1] [2] 两个按钮都按下的时候，我们可以看到两条频响曲线。按钮 [2] 开启的是虚线的频响曲线。它表示最初的曲线。按钮 [1] 开启的是实线的频响曲线。它表示当前时间的曲线。此例中，我们设定到最大时间 (4:00:00) 和 600W 功率。可以看到，频响曲线不再平坦，而是在 100Hz 有一个峰值。这是 15 英寸单体真实的声压级状态。

虚线和实线之间的差异表示了衰减的情况。蓝色曲线 (#2) 在 100Hz 只衰减了 1dB，在此频率前后都衰减了大约 6dB。我们也许应该通过增大内腔体积来改善这个音箱系统。点击 Step 按钮，将内腔体积改为 70 升，并设定 50Hz 的调谐频率 (红色曲线 #3)。这有些减少了衰减，但是降低了些许灵敏度。

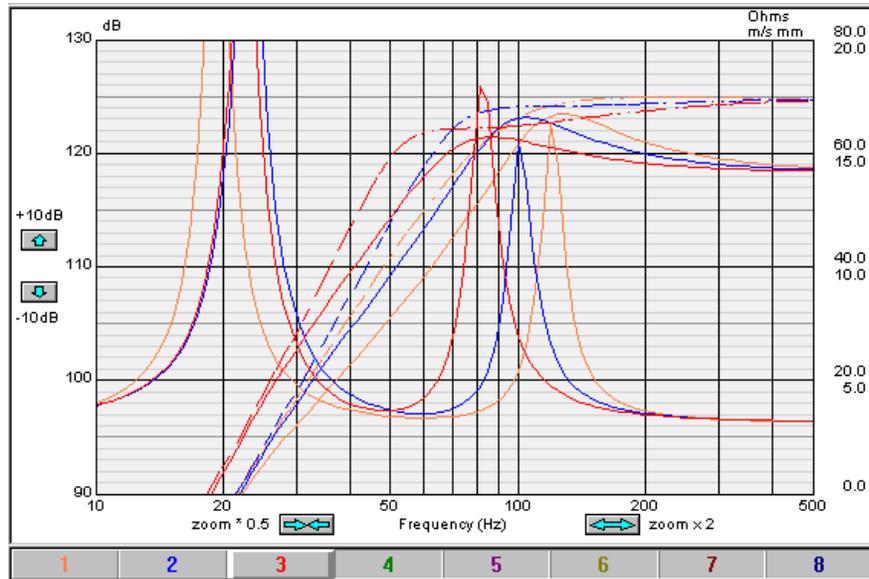


图 5. 15 英寸低频反射式音箱 (600W)

图 6 显示了 63Hz 调谐频率的风管（选择 Flanged 按钮（两端导出喇叭型开口）可以减少噪音）。

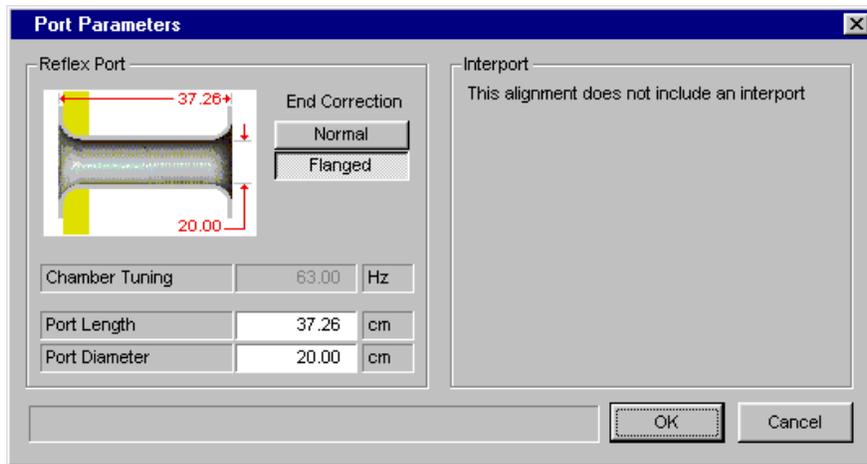


图 6. 两端导出的低频反射式风管

下面例子将详细演示密闭式音箱，反射式音箱，带通式音箱和内部反射式音箱。

8 英寸低音在不同音箱中的举例

我们现在将一个 8 英寸的低音分别装在几种音箱里面，来比较性能的不同（都存在举例文件中）。这个低音是 SEAS L22RN4X/P，数据如下：

SEAS L22RN4X/P main data:

公称阻抗	8	ohms
长期最大功率	125	W
音圈最大线性行程	14	mm
音圈电阻 (DCR)	6.1	ohms
耦合系数	10.7	Tm
自由空间共振频率 (Fs)	23	Hz
包含空气负荷的振动质量	44.9	g
有效振动面积	220	sq. cm
系统等效容积 Vas	72	litres
机械系统阻尼系数 Qms	3.62	
电子阻尼系数 Qes	0.35	
总阻尼系数 Qts	0.32	

密闭式音箱

我们从密闭式音箱开始。选择 Closed Box Alignment (密闭式音箱)，并且点 Reset 按钮将其它曲线取消掉。因为 Qts 非常低，所以我们希望可以用比 Vas 小得多的内腔体积。我们先试一下默认值 25 升。

我们以前在 FINEMotor 2.1 中做过 L22RN4X/P 低音的模型。也就是说，我们可以通过点  按钮，直接引入非线性 T/S 参数和温升数据。从音圈线圈顶端到音圈骨架顶端的距离是大约 20mm，但是我们把这个值设为 0 but we are setting this value to 0 in order to estimate the effect of the open voice coil and phase plug, which provides better cooling. 设置音圈骨架的传导率为 226 Wm/K (铝)。点 Driver 按钮就可以看到喇叭单体的所有参数，见图 7。

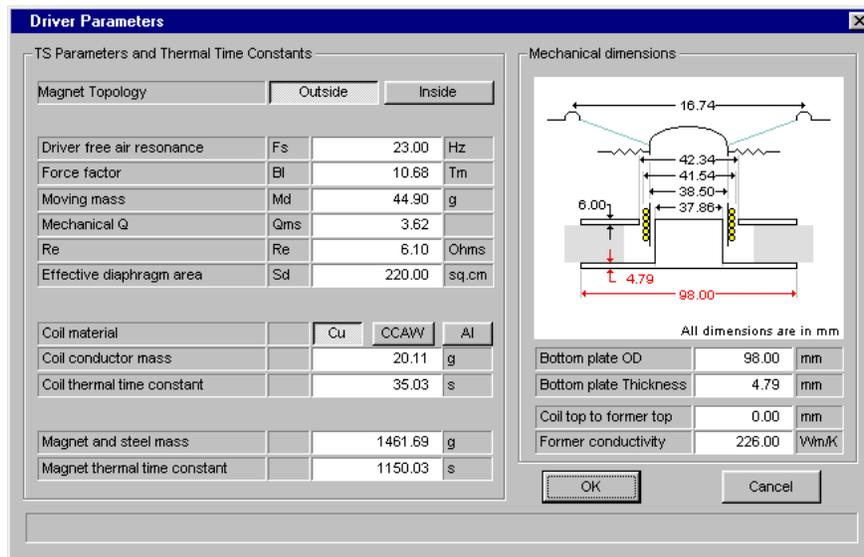


图 7. 从 FINEMotor 2.1 引入数据

我们现在将设置输入功率。这个 L22RN4X/P 低音额定功率为 125W（见 IEC 268-5 长期最大功率）。模拟音乐信号为开 1 分钟关 2 分钟。这个有效的工作负载循环就等于 33% 的额定功率。因此，我们可以设置输入功率为 41.7W，以测试长期工作状态。

在阻抗曲线显示的峰值处，音箱的共振频率大约 45Hz，即是该音箱的频响曲线开始衰减处。

将时间板的游标推到右端，以设定最大时间。点 Step 按钮，并输入 125W 的功率值。虚线显示的是理想的频响曲线；而实线显示了带有衰减的曲线。2 号的理想频响曲线比 1 号高大约 5dB，但高频部分的衰减也从 1 号的 1.5dB 增加到了 4dB。所以，我们实际上只增加了 2.5dB 的声压级。但是在共振频率附近的衰减只有不到 1 dB。

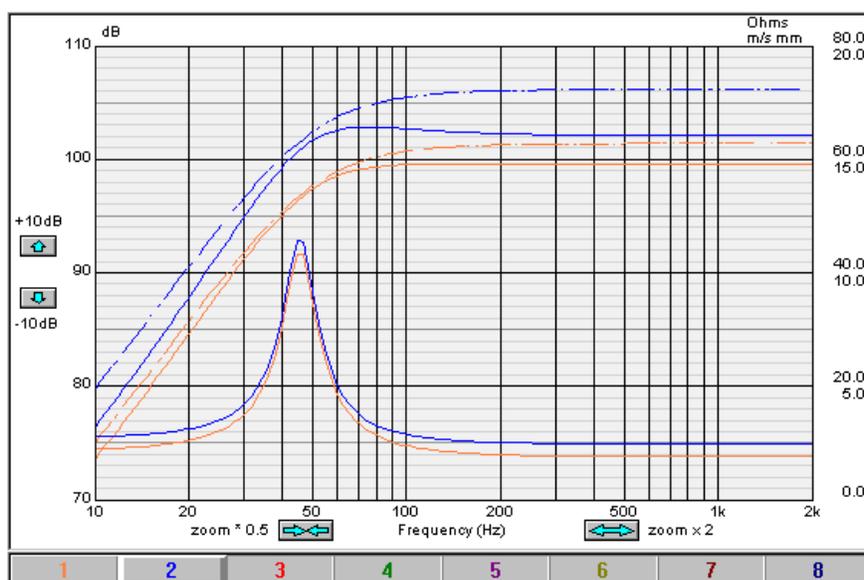


图 8. 密闭式音箱在功率为 41.7 和 125W 时的衰减

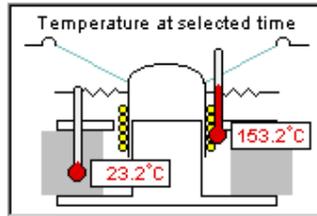


图 9. 音圈和磁铁系统的温度

将时间游标设置为 2 分 25 秒 (=145 秒)，图 9 显示了 125W 输入功率时的音圈高温 (153.2C) 和磁铁系统温度 (23.2C)。在这时，磁铁系统还没有升温。选择最大时间 (= 4:00:00)，我们看到完全升温后的温度：磁铁系统 (46.2C) 和音圈 (173.6C)。

点 Vent & Xmax (风管和最大位移) 按钮，我们得到喇叭实际的位移 (偏移)，单位为毫米 (mm)。在共振频率以下，最大位移达到了 8mm，这是可以接受的。

低频反射式音箱

点 Step 按钮和 Bass Reflex alignment (低频反射式音箱) 按钮。在 3 号的红色曲线显示了新的模拟 (见图 10)。你现在可以用鼠标右键点击 1 号按钮，将 1 号曲线关闭。这个频响曲线在 60Hz 有一个高的峰值。那是不可接受的。解决方案可以是选用一个低一些的风管调谐频率 F_b 。点 Step 按钮，并将调谐频率 Tuning 改为 27Hz。所以我们得到 4 号曲线 (绿色)。它有一个有漂亮圆角的 QB3 类型的频响曲线。虚线是喇叭单体的频响曲线。(为了看得清楚，我们隐藏了长时间的频响曲线)

为了能做出一个 B4 (4th order Butterworth/maximally flat 四阶平滑式曲线设计) 频响曲线，我们需要一个大一些的音箱容积。最后一个曲线 5 号 (紫色)，是设置了音箱容积为 36 升和调谐频率为 30Hz。注意，那个角现在已经被填出来了。

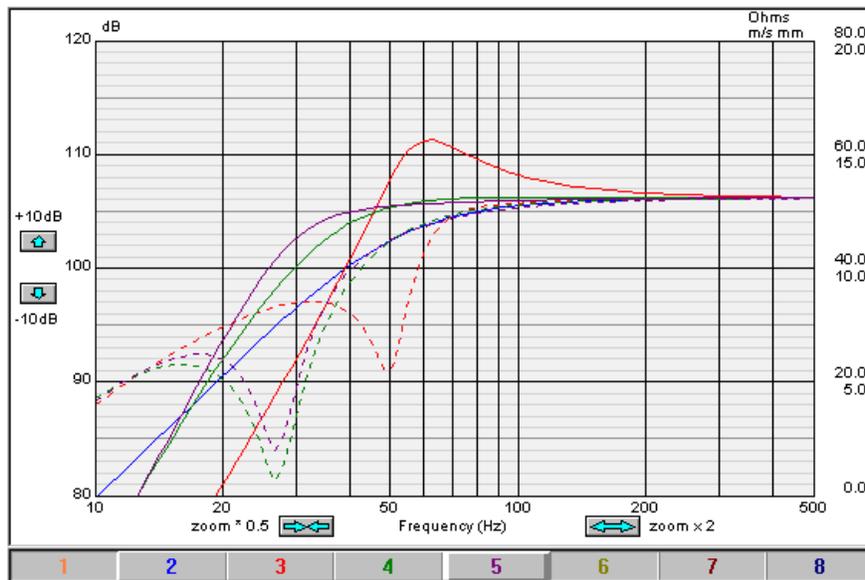


图 10. 四个不同的低频反射式音箱的模拟

为了比较，我们看一下大功率输入 4 小时后的频响曲线。将时间板设为 4:00:00，我们看到衰减了的频响曲线（2D 视窗右侧的 SPL and Imp. 窗口中的 1、2 按钮应该按下）。因为我们想比较 5 号曲线（低频反射式）与 2 号曲线（密闭式音箱）的不同。我们用鼠标右键单击 2D 视窗下面的 3、4 按钮，将 3 号、4 号关闭（再用右键单击就会打开）。见图 11。

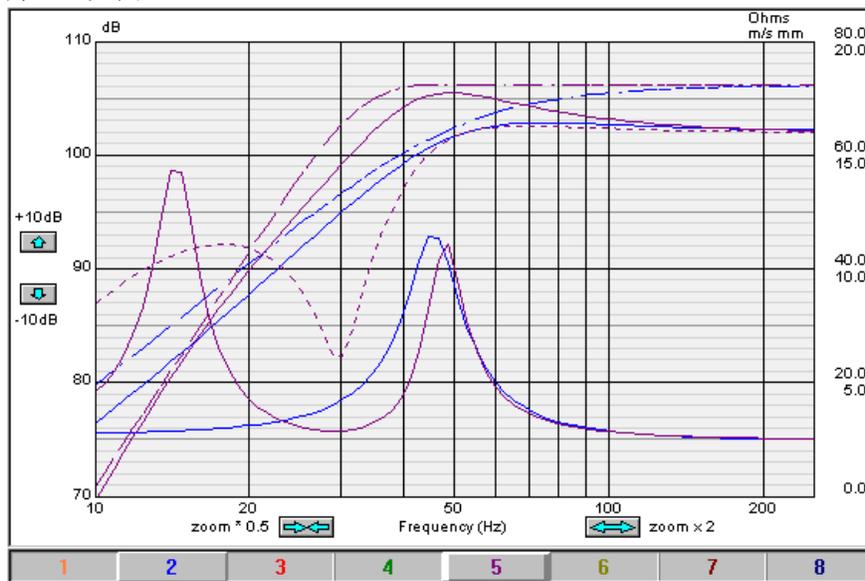


图 11. 大功率低频反射式音箱与密闭式音箱的比较

当时间从 0 调到 4 小时的时候，两条比先前的曲线低的新曲线出现了。它们是 4 小时后的频响曲线。我们看到它们在 200Hz 降低了大约 4dB。但是，低频反射式音箱的频响曲线在 50Hz 有一个大的突起，而密闭式音箱相对较为平坦。虚线为喇叭单体频响曲线（点 2D 视窗 2 右侧的按钮 3 可以开启或关闭）。

所以，两种音箱在高频有相同的衰减。但是低频反射式音箱的频响曲线由于那个突起而变得不再平坦。这不是我们想要的。

基于这种方法，你可以用 FINEBox 来比较测试不同的调谐频率、印象类型、喇叭单体等等。甚至喇叭单体的改变也可以从 FINEMotor 实现，然后输入到 FINEBox 中看模拟效果。

点“Vent and Xmax”按钮，我们得到音圈位移曲线，图 12（先前的大功率频响曲线依然可见）。密闭式音箱在 50Hz 以下达到喇叭单体振动系统位移的最大值 13mm。这比允许的值（10.5mm）稍微大一点了。相比之下，反射式音箱的喇叭单体振动系统位移在 27Hz 降低了（因为风管的作用），而在 20Hz 以下却比密闭式音箱的曲线还要高。但是，一般音乐都用不到 20Hz 以下，所以低频反射式音箱设计还是比较好的。

在 2D 视窗右侧的控制区，点（8 号）Reflex port Velocity（反射式风管速度）按钮。这个曲线是风管中空气的速度。我们看到，在低频速度太高了。我们要将速度保持在 14m/s 以下，以避免风管发出哨音。点 Ports 按钮，编辑风管的直径，见图 6。我们将风管直径增加到 10cm。6 号的曲线显示了改变后的结果，现在已经比较理想了。我们还可以在刚才的风管编辑窗口中选 flanged（两端导出），来进一步减少噪音。

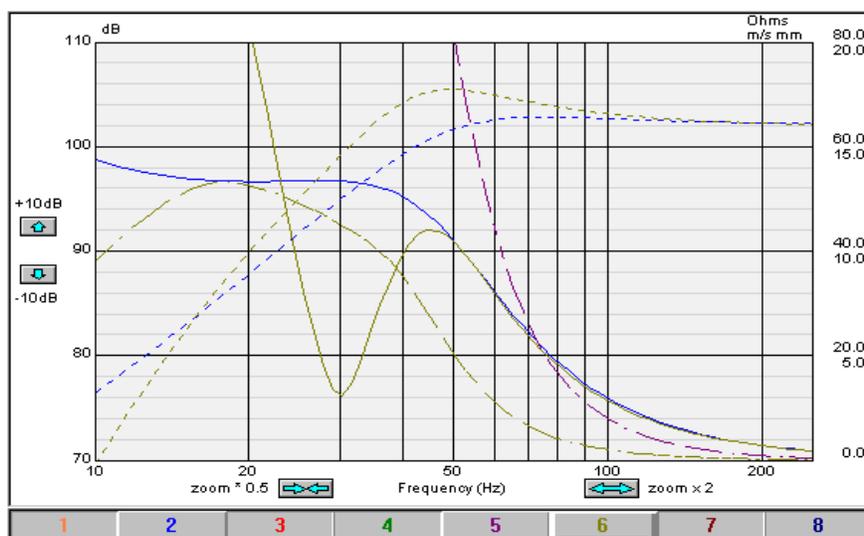


图 12. 密闭式和反射式音箱风管中空气的速度和喇叭最大位移

风管的长度是 64.6cm，这也许太长了。选择小一点的直径将导致低频时风管内空气速度增加。也许我们可以在长度和速度之间找到一个可以妥协的值。因为一般音乐在 20-50Hz 以下的能量其实很小。

带通式音箱

首先，我们点 Reset 按钮，然后 OK 按钮。这样，就只剩下刚才最后的 低频反射式音箱了。我们保留它，是希望用它跟新的音箱比较。然后点 Step 按钮，再点 4 音路带通式音箱 (4th Order Bandpass) 按钮。新的模拟是蓝色曲线，被显示为当前 2 号 (图 13)。但是，由于还没有调整，所以这个频响曲线是倾斜的。将调谐频率调整到 45Hz (做每次改变之前都点 Step 按钮，这样可以保有先前的数据)，我们看到一个漂亮的对称的频响曲线。但是它的带宽太少了。另外这个音箱太大了，实际上有 $36+25 = 61$ 升。提示：为了避免看到太多的曲线，我们可以把  按钮关掉。

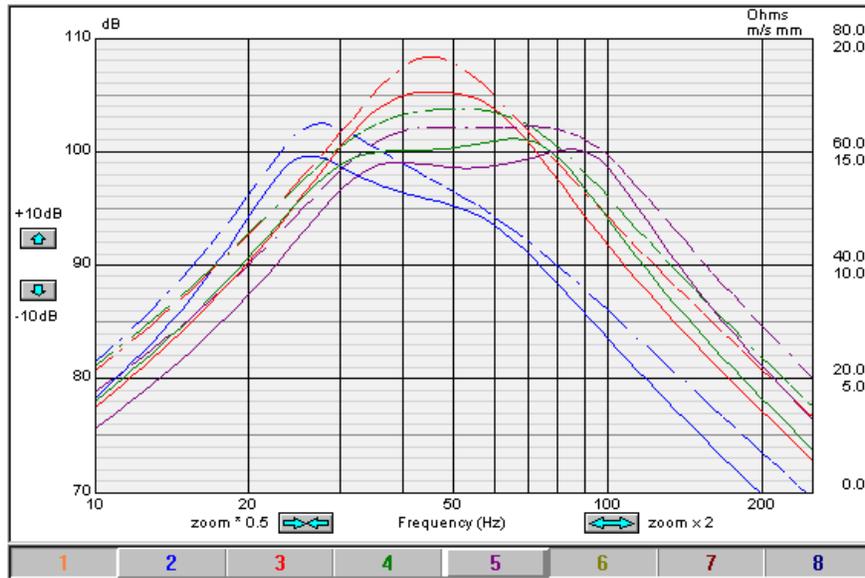


图 13. 带通式音箱的衰减

前腔容积可以改小一些而不会导致大问题。我们在 4 号位置试一下 16 升和 47Hz 的调谐频率。有趣的是，在增加带宽的同时，低频端曲线没有改变，而声压级的最高点被大大降低了。有几种方法来设计带通式音箱。我们现在讨论其中一种。改变前腔容积为 10 升，后腔容积为 15 升，调谐频率为 53Hz (5 号位置)，我们得到一个声压级稍微减少而具有更多高频延伸的更平的频响曲线。

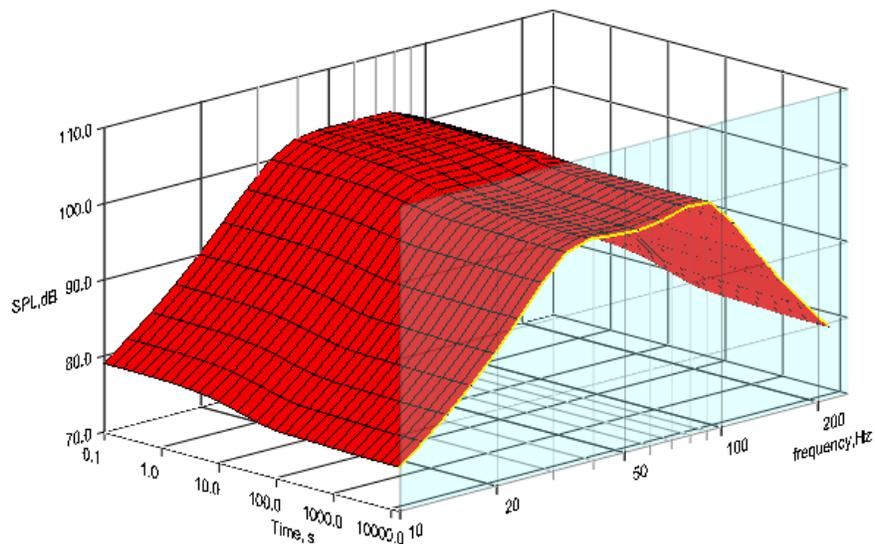


图 14. 有些许衰减的带通式音箱的频响曲线

图 14 显示了 5 号的频响曲线在大功率输入时轻微衰减的情况。

内部开孔式音箱

为了比较，我们来设计一个内部开孔式音箱。一个前腔容积 15 升和后腔 12 升，调谐 65Hz 的设计，看上去还不错（6 号）。灵敏度比较高，但低频延伸不好。选 Vent and Xmax 按钮，而且只按下 1、6 和 7 号按钮，来看大功率输入 4 小时的频响曲线和喇叭单体最大位移。

注意，两个带通式音箱尤其是 5 号的有限的位移是最大 7mm（图 15）。内部开孔式音箱在 25Hz 以上的位移值也是有限的。它跟 1 号的低频反射式音箱相同。但是，一般音乐在 20-50Hz 以下能量会比较小，这也使得实际位移变小。

点 Ports 按钮，我们来设计 Interport（内部风管，见图 16）。就像在 Reflex Port（反射式风管）窗口中一样，我们可以选择 normal（正常）和 flanged（两端导出），另外，还有一个 simple（简单）选项。注意，可以选择 keep tuning when editing port details（在编辑风管时保持调谐频率）选项。

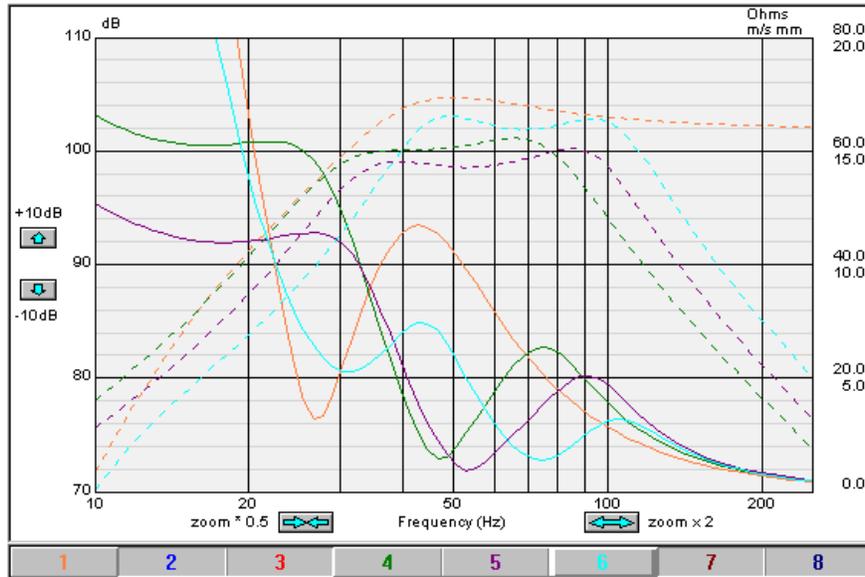


图 15. 带通式音箱和内部开孔式音箱的喇叭位移值

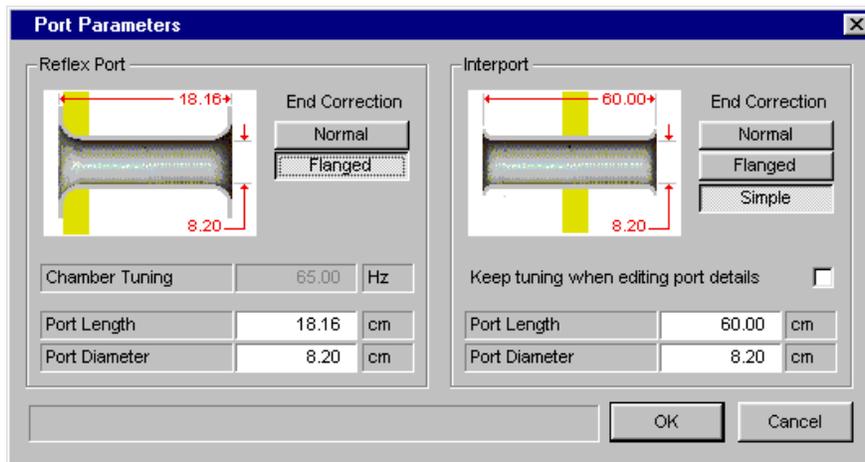


图 16. 反射式风管和内部开孔式风管编辑

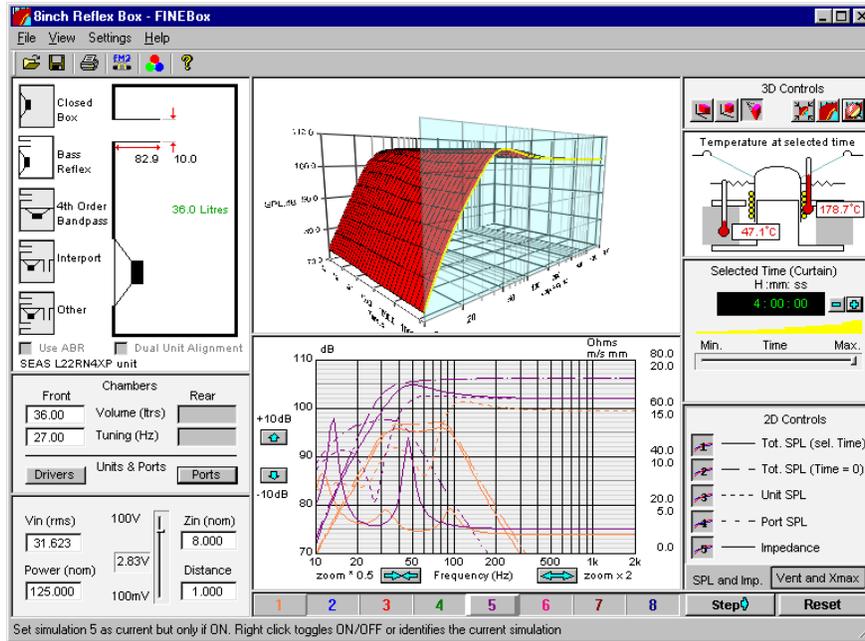


图 17. FINEBox 主画面

LOUDSOFT
www.loudsoft.com

Agern Alle 3 – 2970 Horsholm – Denmark
Tel: +45 4582 6291 – Fax: +45 4582 7242