

# 音响工程中的计算机辅助设计软件

## ----CADP2<二> 谢勇

### 前言:

上一期笔者向朋友们全面讲述了 CADP2 的主要功能, 相信大家对 CADP2 已有概括性的认识, 这次我将把其中的主要声学计算功能这一项加以展开, 让各位了解一下 CADP2 是如何进行声场模拟的。

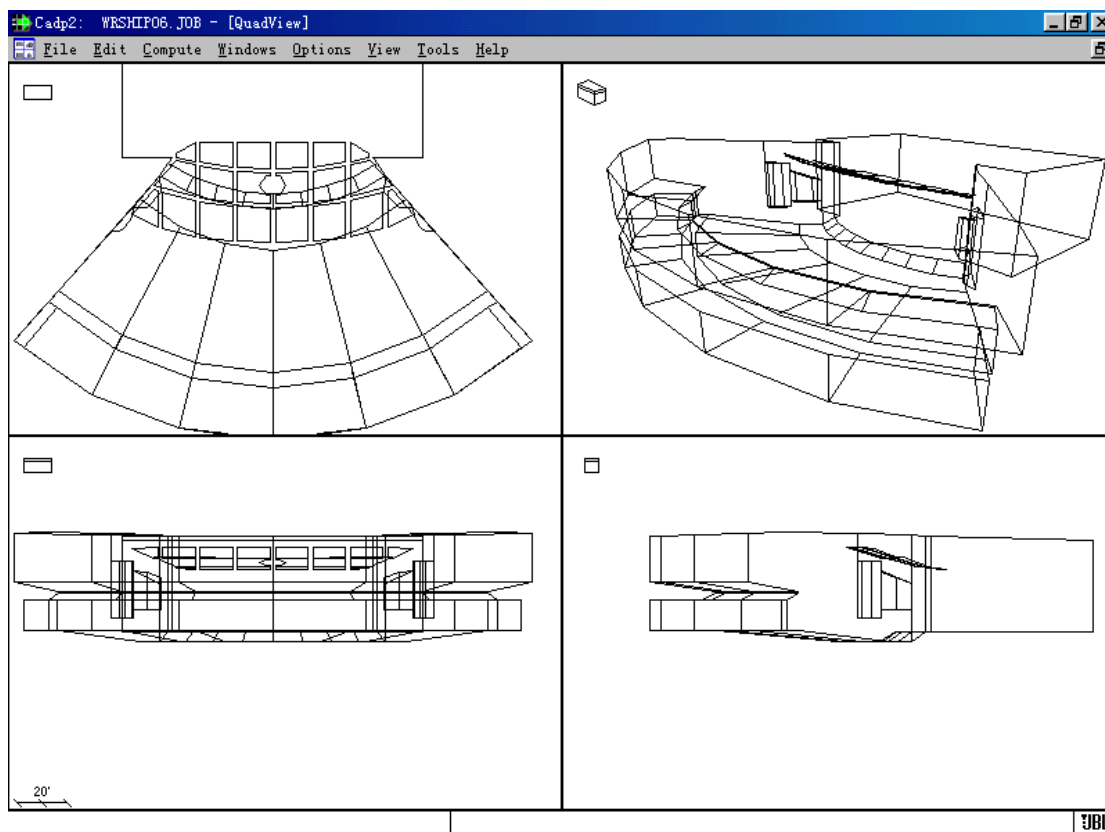
**CADP2 与 EASE2X:** 在进入正题前, 笔者觉得有必要探讨一下 CADP2 与 EASE2X 的话题。由于 CADP2 的出身是基于微软的视窗平台适合于 WIN3.1/WIN95/WIN98/WIN2000, 这比 EASE2X 的出身就好, 所以它的操作与使用在本人看来, 的确很多方面要优于 EASE2X (必竟 EASE2X 内核设计还是基于 DOS 或 MS-DOS 环境下), 比如图形的输入输出及声场模型的构筑, 图形编辑, 还有音响设备的装载、定位, 最后关键一项就是声场仿真计算的结果显示, 都比 EASE 要好用。你如果是一位 EASE2X 的初学者, 你可能会被它的窗口界面及菜单项吓一跳, 它繁琐的文件读取、命令调入更会让你摸不着边际。仅它的使用手册可能会让你望而生畏。但这一切在 CADP2 里却不同, 由于它采用 WINDOWS 一贯的界面风格, 显示界面友好直观, 即使你是一位初学者, 但只要你对基于 WINDOWS 的软件很熟悉的情况下, 同样能对 CADP2 快速上手。JBL 开发这一软件已近 20 年, 软件在设计上除了几项不关紧要的小 bug 以外, 其它的功能非常完善。CADP2 能同时打开多个窗口, 能在进行声学模拟显示的同时, 显示扬声器(或阵列)控制和层、平面数据库控制窗口。CADP2 采用 32 位真彩显示形式, 能方便的进入房间的任意位置进行观察。它对三维模型的观察比 AutoCAD 还要方便, 这是 EASE2.13 所无法比拟的(这一点本人认为也包括 EASE3.0, 特别是对复杂图形的内部结构的观察)。CADP2 对图形的观察特别有一种身临其境的感觉。软件仿真度之高, 使用效率之高, 这对于工程投标来讲是至关重要的。其中特别是对声场的模拟结果显示, 作为客户来讲, 他可能不懂你的专业数据是什么意思, 他可能更感兴趣的是仿真结果的直观性-----这更能吸引客户。在后面的声场模拟中大家会看到。我想这正是 EASE3.0 在这几年才出台的原因之一吧。当然, 笔者并无贬低其它软件进而抬高 CADP2 之意, 必竟, EASE2.13 已经是一个非常成熟且功能强大的设计软件。只是笔者在使用 CADP2 和 EASE2X 中发现两者的确有很多不同, 在此只是让大家作一了解, 也算是随笔吧。同时, 由于目前业界同行对此类软件的关注目光都放在 EASE 上, 而忽略了 CADP2 的强大与高效。所以, 笔者觉得有必要为 CADP2 说几句。(当然, 相对于 EASE3.0, CADP2 也有些欠缺。比如对工程的模拟试听等等。)另外, 笔者也希望大家能够对 CADP2、EASE2X 和 EASE3.0 (甚至是其它类似软件)的不同点展开讨论, 大家可以通过讨论的过程相互将学习的更多, 最终受益的是大家。我想, 这对提高国内整体专业音响工作者水平是很有帮助的。

好了, 言归正转, 让我们来进入 CADP2 的学习中吧。

## 正文

本节，笔者将以一个具体的实例来讲解，这样更有助于学习。这是一个已构筑好的带有

二 层 看 台 的 礼 堂 。 如 下 图 ：



图一

声场在进行声学模拟前，应该做两件事：

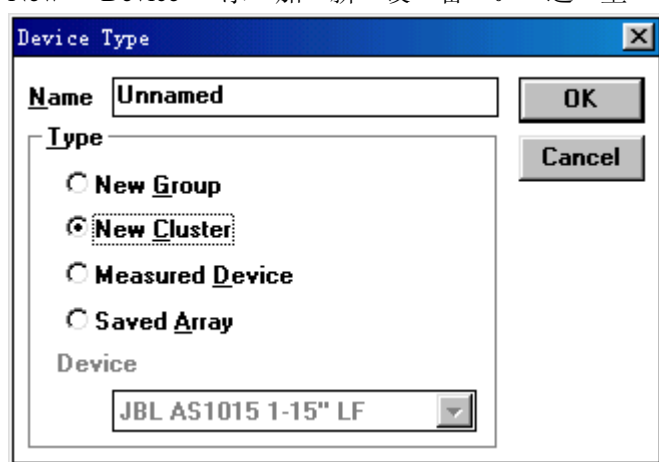
**一、设备的选型：**对于设备的选型，这是一个音响设计者重要的一项设计内容。你必须熟悉各种类型的产品性能，如功率、阻抗、覆盖范围、灵敏度、频响、价格、音质特征、外形甚至包括颜色，还有它的适用的扩声环境类型。也许有朋友会问：“为什么还要关心产品的颜色，这和扩声有何关系？”当然有！因为有时作为一项高标准的音响工程设计，除了要求一系列声学指标符合要求外，还要尽可能的符合美学的要求，还有就是要符合环境的要求。简单地说，比如一个严肃的教堂：可能一套声学指标很好的音响系统方案最终不会被客户采纳，原因就是其音箱的外形及摆放太过于突出，不符合教堂这种特殊环境的要求，显得有些不符合氛围。所以作为一名工程设计人员，只有非常了解产品，才能在实际环境中作正确灵活的选配，以满足客户的需求。

继续我们的学习。我们这个例子里，怎样才能合理给这个礼堂选型呢？由于此厅堂的体积较大且有看台，这样，观众区域为了获得良好的听音效果，最好的办法就是采用主扩声加辅助补声的办法。

**1、主扩声设备选型：**选用三只 JBL2446 高频驱动器与三只 JBL2365 双辐射号筒组成的中高频单元和三只 JBL4648（双 15 英寸低音）低频音箱，组成一个音箱阵列悬挂在舞台口上方，以覆盖整个观众区域。

**2、辅助设备选型：**选用六只 JBL8330 作为一组在看台上均匀分布作为补声。8330 是 JBL 影院系列的一种，它是一个三分频的全频带音箱，连续粉红噪声功率是 100W，音乐功率 200 瓦。音质很好，一般适合作 THX 环绕箱或包房卡拉 OK 箱，作为辅助箱完全可以满足要求。它的覆盖范围一般情况是 160 度（水平覆盖角），由于角度较宽，这样用六只就可以均匀覆盖整个看台。好了，既然具体思路已经明确，下面我们就开始具体的步骤。

单击 WINDOWS 菜单下的 Show Arrays 选项，弹出了 Arrays and Devices 窗口。由于我们还未给模型加载设备，所以这里目前还是一片空白。现在，点击下拉菜单栏 Arrays 中的 New Device 添加新设备。这里有四项可选，如图：



图二

这里我们选择 New cluster 点 OK，这样我们就为这个厅堂创建一个音箱阵列。把它作为主扩声。我们取个名：“主扩声阵列”。接着我们应该逐一输入这个音箱群的每个组成设备。方法是双击这个音箱阵列前的编号“1”，则弹出和刚才功能一样的 Arrays 窗口，只不过这个窗口的标题栏是用我们刚才取的名字来命名的。“主扩声阵列”这个窗口弹出后，我们再点击 Arrays 下拉菜单下的 New Device，这次我们选择 Measured Device。接下来就可以在设备库中依次选择我们想要的设备（还记得我们主扩声设备是哪六个吗？）别忘了给他们取个名字。用同样的方法给辅助扩声组添加设备。具体的各项参数调整结果如图：

Arrays and Devices																
	Locked	Fixed	On	Me	Bo	Co	Pol	Name	Type	X	Y	Z	Azimuth	Pitch	Rotation	
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	主扩声阵列	Cluster	0.00	-53.00	25.50	90.0	0.0	0.0	
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	辅助扩声组	Group	0.00	-102.0	32.00	90.0	0.0	0.0	

Array 主扩声阵列																
	Loc	Fix	On	Me	Bo	Co	Pol	Name	Type	X	Y	Z	Azimuth	Pitch	Rotation	Distanc
1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Left HF	JBL2365 W/2446	0.00	-0.80	0.00	60.0	-16.5	0.0	91.09
2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Center HF	JBL2365 W/2446	0.50	0.00	0.00	0.0	-17.5	0.0	84.79
3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Right HF	JBL2365 W/2446	0.00	0.80	0.00	-60.0	-16.5	0.0	91.09
4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Left LF	JBL4648 2-15" LF	1.33	-3.07	1.70	60.0	-5.0	90.0	107.33
5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Center LF	JBL4648 2-15" LF	3.14	0.00	1.70	0.0	-5.0	90.0	95.48
6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Right LF	JBL4648 2-15" LF	1.27	3.10	1.68	-60.0	-5.0	90.0	107.28

Array 辅助扩声组																
	Loc	Fix	On	Me	Bo	Co	Pol	Name	Type	X	Y	Z	Azimuth	Pitch	Rotation	Distanc
1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnamed JBL8330_Surround	JBL8330_Surround	4.00	-75.0	0.00	35.0	-40.0	0.0	21.32
2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnamed JBL8330_Surround	JBL8330_Surround	19.00	-47.0	0.00	21.0	-40.0	0.0	21.33
3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnamed JBL8330_Surround	JBL8330_Surround	27.00	-16.0	0.00	7.0	-40.0	0.0	21.30
4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnamed JBL8330_Surround	JBL8330_Surround	27.00	16.00	0.00	-7.0	-40.0	0.0	21.30
5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnamed JBL8330_Surround	JBL8330_Surround	20.00	46.00	0.00	-21.0	-40.0	0.0	21.22
6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnamed JBL8330_Surround	JBL8330_Surround	4.00	76.00	0.00	-35.0	-40.0	0.0	21.21

图三

图中各选项的意义是：

**Locked:** 可以选择是否锁定此方案中的这个设备。

**Fixed:** 选择是否锁定此设备的指向点。如果锁定则可以自动保持指向点不变的情况下自由的移动设备。

**On:** 表示此设备的开关即让此设备是否参与计算。

**Mechanical:** 是指是否在模型中显示此设备的三维图，前提是必须单个设备，而且此设备拥有三维图。此项设备的类型如果是一个 Cluster 或 Group 则此项不可用，显示是灰色。注意：在某个工程中如果拥有大量的阵列设备，打开此项后则对资源的占用会比较严重。

**Bounding:** 由于组成一个 Cluster 和一个 Group 的扬声器，都是放在一个假想的容器里。此选项就是显示此假想容器的尺寸。这一点特别在拥有众多音箱阵列时，为了方便观察各阵列或音响组合的分布情况，此选项就很有用。

**Contents:**控制此项设备是否在四视图中显示。

**Polarity:** 控制此设备的相位。

**Name:** 还记得先前我们给主扩声的 cluster 取的名字吗？此项就是专门用于起名称的，以区分不同的阵列。

**X、Y、Z:** 指定设备在模型中的三维坐标值。如果这设备是 cluster 或 Group 的组成部分，

则 X、Y、Z 的值则表示在这 Cluster 或 Group 中的相对值。Cluster 或 Group 在模型中的位置则由它们各自的三维坐标来确定。

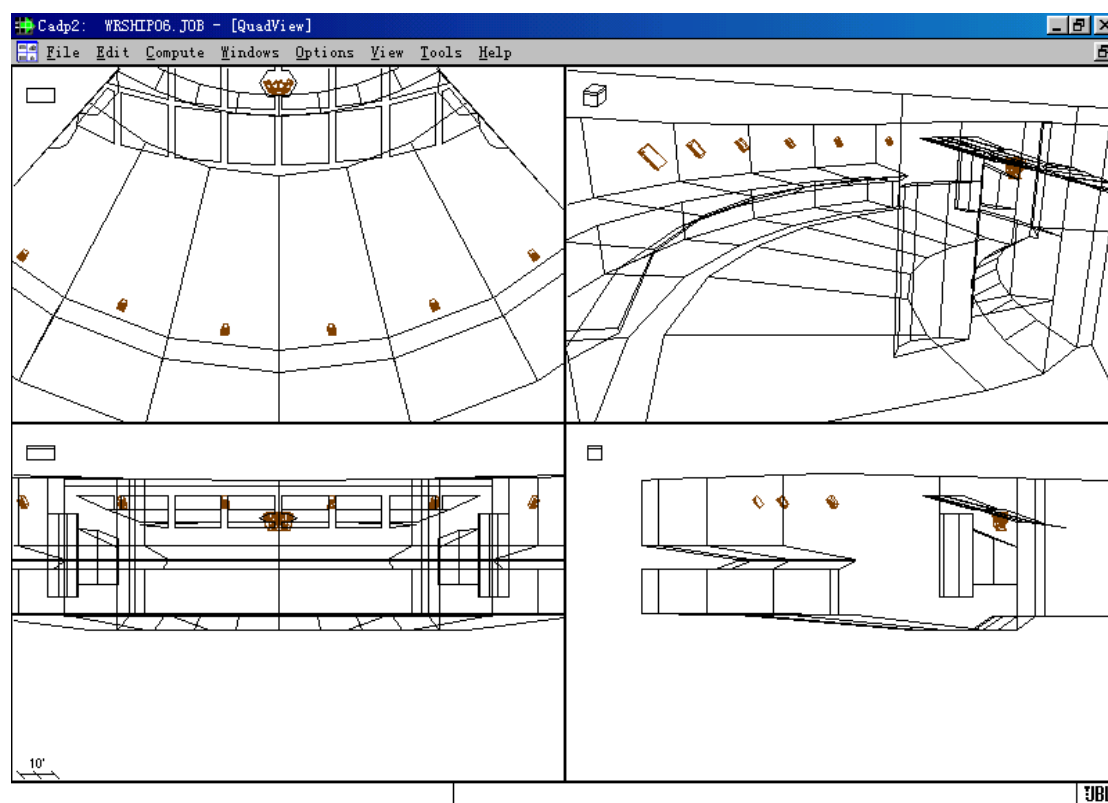
**Azimuth、Pitch 、Rotation:** 分别调整设备辐射的水平位角、垂直角以及设备的旋转角度。

**Distance:** 显示设备主轴线的投射距离。这项不可编辑，它是根据设备的摆放指向自动产生的数据。

**Power:** 输入设备的功率小，单位可以是瓦也可以是 dB。可由设计者变换。注意不可超过设备的承受功率范围。

**Delay:** 如果是辅助设备，则一般应计算其延时量。

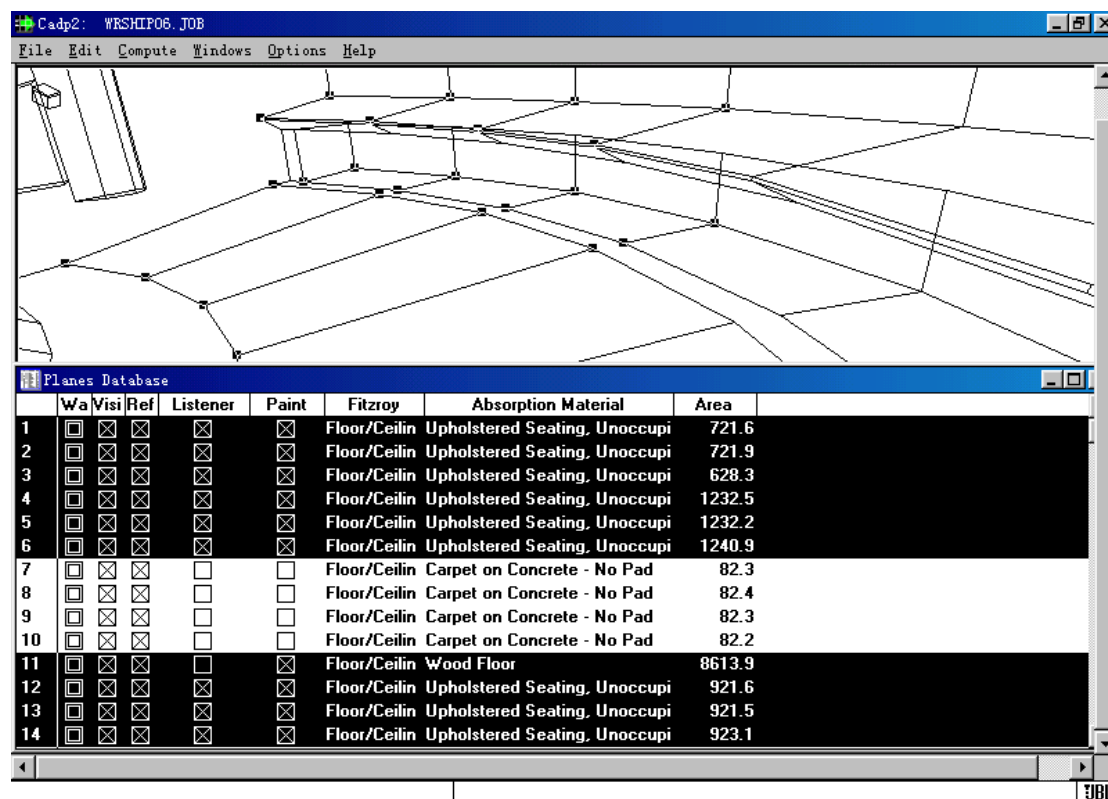
如图三，结合我们的实例，请朋友们仔细观察三表中的扬声器数据的调整。调整后的阵列结果



图四

**二、吸音材料的选配:** 扬声器数据已经装载好了，接下来应该给模型建立听众区域，同时还应输入每个模型平面的吸音材料。选择下拉菜单 Windows 中的 Show planes 打开平面数据库(planes Database)，回忆上期对平面数据库的介绍。我们来定义哪些平面是听众区域，哪些平面要进行模拟结果显示。一般被定义成听众区域的平面，肯定要对其结果进行模拟显示（理解为上色：Paint）。但进行模拟显示的平面上不一定是听众区域。如：舞台或其它想模拟显示的平面。（CADP2 能显示任意平面的模拟结果。只需在平面数据库里把平面的 Paint 选项选上即可。）我们设置的结果如下表：注意观察 1-6 和 12-14 这 9 个平面。表中，不作

选则 3 的复选框是空白，选中的复选框其中有一个叉。只显示其中的 9 个听众平面，剩下的 9 个是与此相对称的，表中未显示。如图：（提示：图中上半部分中黑点所包含的平面即是下面表中 1--6 和 12--14 这九个平面。）



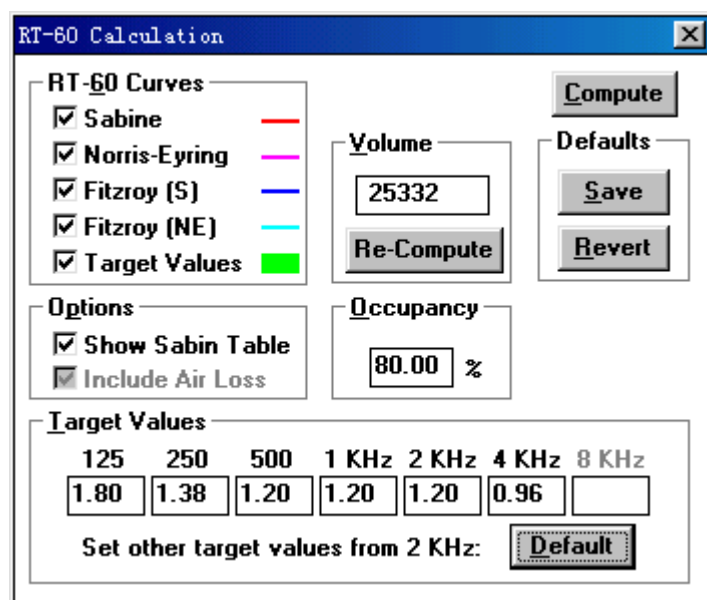
图五

作好以上两大步骤我们就可以进行各项声学模拟计算(声场模拟预测)了。

### 三、声学模拟计算：

#### 1、混响时间计算：RT-60

点击 Compute 下的 RT-60 菜单，弹出混响时间计算窗口，如图：



**RT-60 Calculation**

**RT-60 Curves**

- ☒ Sabine
- ☒ Norris-Eyring
- ☒ Fitzroy (S)
- ☒ Fitzroy (NE)
- ☒ Target Values

**Options**

- ☒ Show Sabin Table
- ☒ Include Air Loss

**Volume**

25332

**Re-Compute**

**Defaults**

**Save**

**Revert**

**Occupancy**

80.00 %

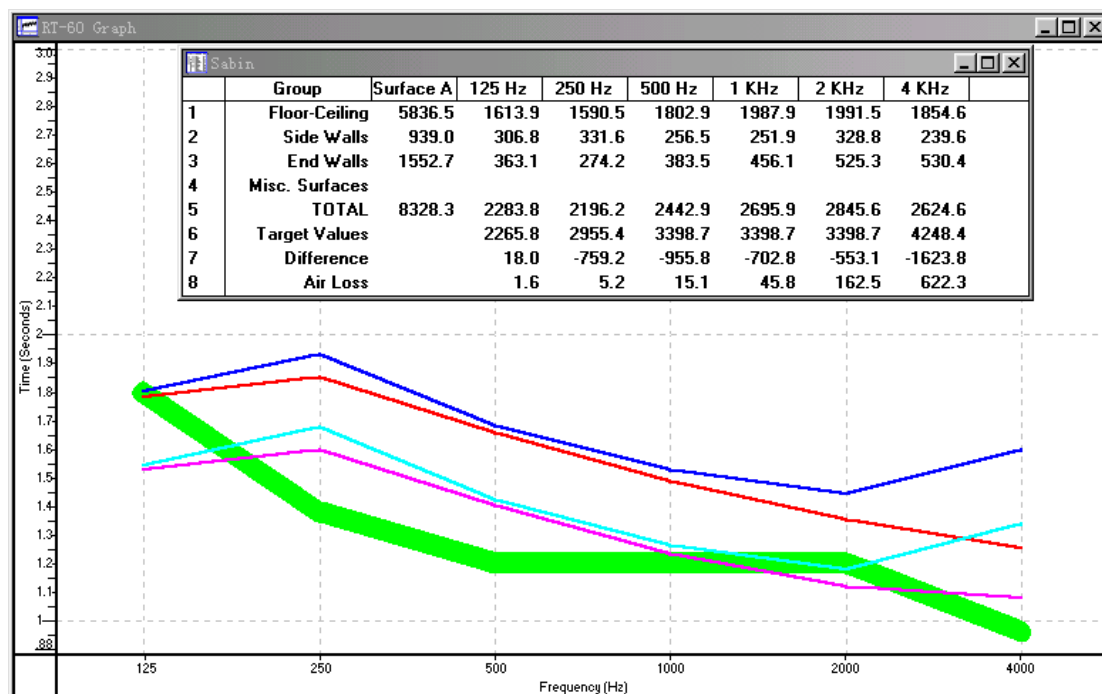
**Target Values**

125	250	500	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
1.80	1.38	1.20	1.20	1.20	0.96	

Set other target values from 2 KHz: **Default**

**Compute**

图六 这里可以计算 Sabine、Norris-Eyring 、Fitzroy(s)、Fitzroy(NE)四种类型的混响时间代表目标值。在 Target Values(目标值)里可以输入各频带你想要的混响时间值，计算完毕后，会在混响时间曲线图中显示，以便和所计算出的其它曲线作以比较，这样对于想要更换吸音材料有极大的帮助。一般软件缺省的参考频带是 2KHz，在 2KHz 方框中输入一数值，点击 Default 键，则软件自动计算其它频带值。图中 Volume 中的数值是模型构筑好后，自动给出的房间体积值。它对混响时间的取值有直接参考作用。Occupancy 是指听众的占有比率，默认为 80%。设定好后，点击 Compute 开始计算，计算结果如图。



图七

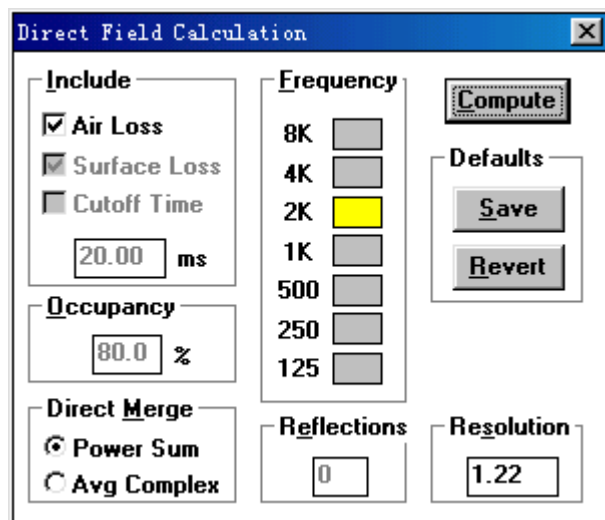
其中左边刻度是指混响时间。图下面刻度是指频率。把鼠标指向左边刻度，则会变成两边两箭头的指针形状，此时点击右键上下拖动，则可以拉伸或缩短刻度比例。点左键则可以上下

欢迎光临音响工程设计网 www.xycad.com



移动图形位置这样我们能更精确的观察图形。(图中各条曲线由上到下依次是 Target Values、Fitzroy(s)、Sabine、Fitzroy(NE)、Norris-Eyring)。图中列出了 Sabin 的具体吸收数据可供参考。

2、直达场计算：点击 Compute 中的 Direct Field，弹出直达场计算窗口，如图：



图八

这里，计算频带范围从 125Hz-8KHz 倍频程可选，默认频带是 2KHz。Reflections 是指反射次数，在此不可用。Resolution 是指计算后结果显示的分辨率。默认值是 1.22 米(4 英尺)。分辨率越高，则显示结果越精细，但对资源占用越严重。

另外，在 CADP2 中一项很重要的参数：Power Sum 和 Average Complex Sum，这两者通过在 CADP2 的英文手册里的理解，和相关资料显示,笔者认为它应该理解为扬声器辐射声压的合并(总和)方式。

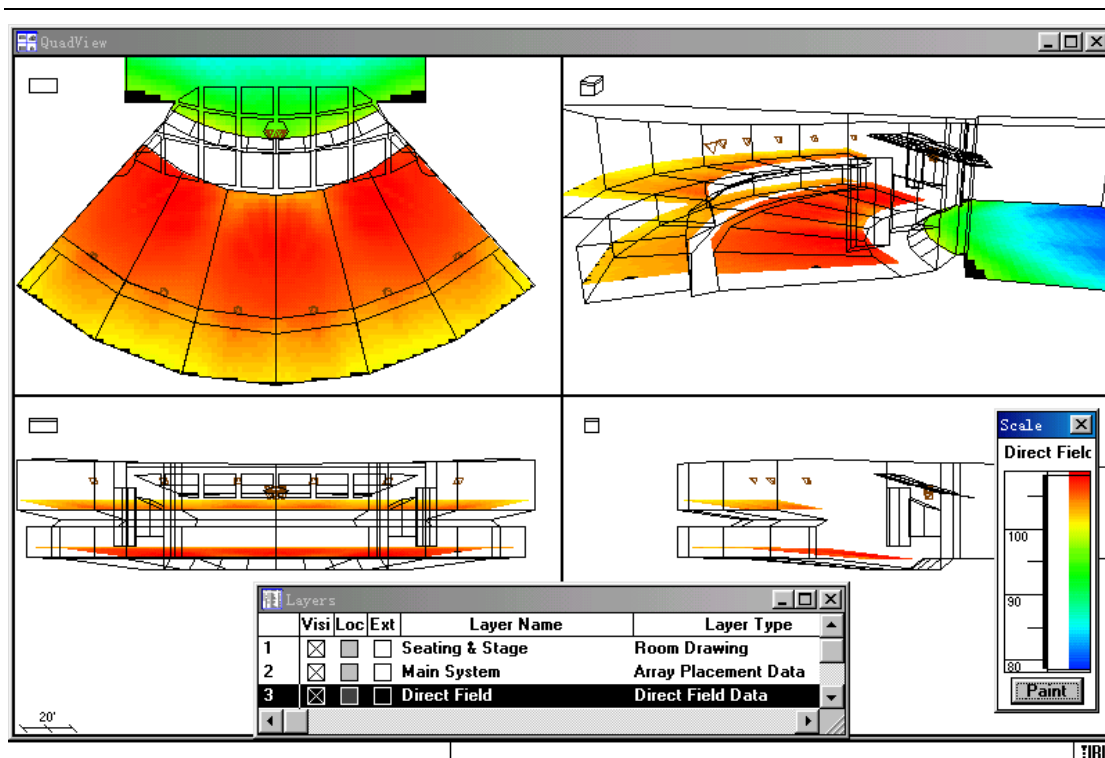
**Power Sum:** 系统默认方式，是指扬声器的功率合并，它忽略扬声器之间的相互作用。

**Average Complex Sum:** 平均复杂(综合)合并。

这种方式会考虑声传播时间的影响，声压相互的叠加与干涉，空气的流动等等很多因素，这些因素可能会导致个别频率综合总和计算不准确，Average Complex Sum 方法使用大量的综合总和(Complex Sum)计算数目的平均数覆盖有问题的频带。因此，此计算方法提供的结果更接近现实的用实时分析仪测量的结果和人的听觉。(两者的区别请参见图十三和图十四)。另外，当设备之间声音的相互作用很小或几乎不存在时，Power Sum 和 Average Complex Sum 计算结果一样，比如在某些环境中对低频的模拟中等。

好了，现在设定好选项之后，点击 Compute 键，一般稍等十几秒(具体选项而定)后，则 2KHz 直达声场模拟结果就自动显示出来了。如图(注意：模拟层的高度是人坐在座位上人耳与地面的高度)：

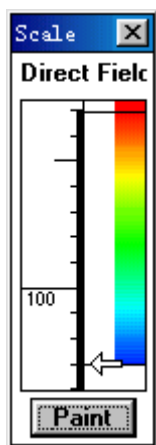




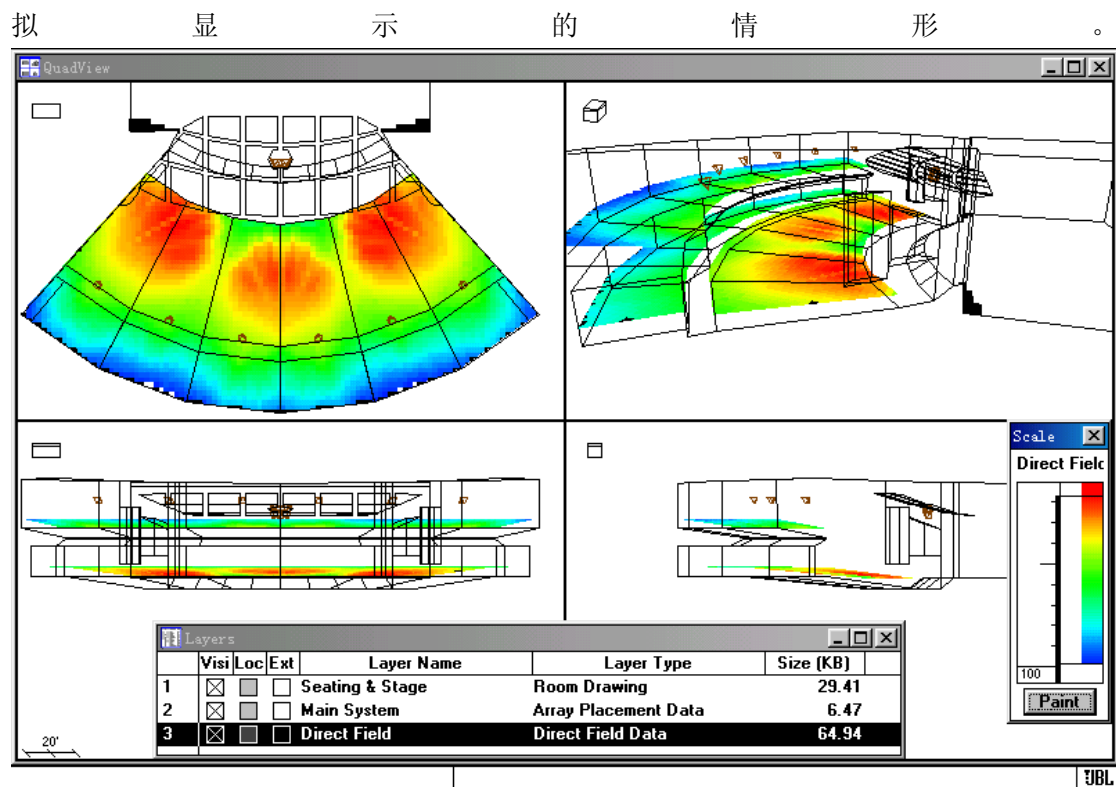
图九

为了更精确的观察声压级的具体数据，别忘记了给刚产生的层给起一个名：Direct Field 2KHz，以区别其他频带计算项。双击在层控制窗口中新产生的层编号 3，则弹出了此模拟结果的刻度标尺。

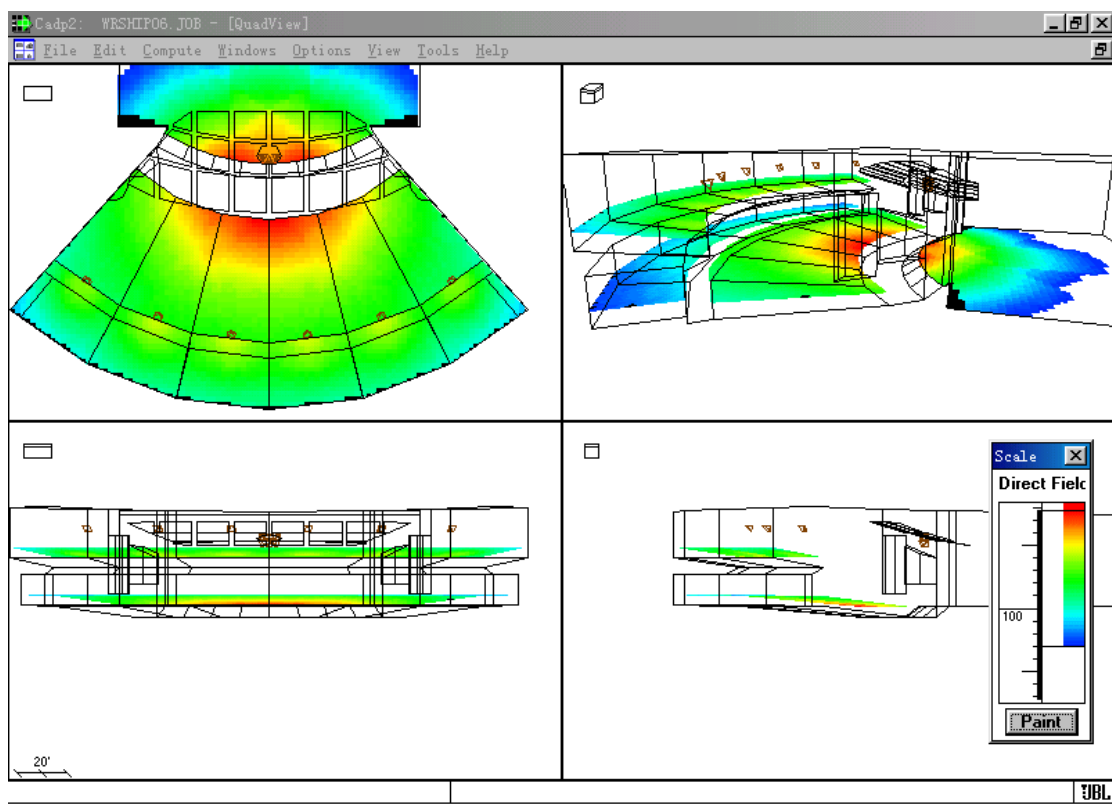
当把光标指向 标尺的刻度时，同样可以右键进行刻度的缩放比例调整。从刻度上可以看出声压级分布情况最大：107dB 最小 79dB，动态范围 28 分贝（包括舞台后面最弱区域）。这里有一个很特殊且很重要的使用方法请注意：当把光标指向标尺的颜色区域时，则光标变成



一个向左的箭头形状，如图，它可以改变标尺的显示动态。以此例说明：当把此箭头指向最大值 107dB 和最小值 79dB 正中间以下的地方，比如 92dB 处点击一下，则会使颜色区域显示范围最小声压级的 79dB 变成 92dB。那么用此方法把左箭头继续把最小值调到 97dB 刻线，点击一下 Paint 键，你就会发现图中的颜色有些变化：此时的颜色显示动态范围是 10dB。即 97dB--107dB.这样就可以观察得更细致、更准确。此方法同时也能获得观众区域的声压级覆盖范围。试想一下，如果用这些真彩色只显示 3dB 的动态范围会如何？1dB 呢？可想而知，你想要多精确，则就会显示多精确。参见下面几个附图中的刻度尺与模

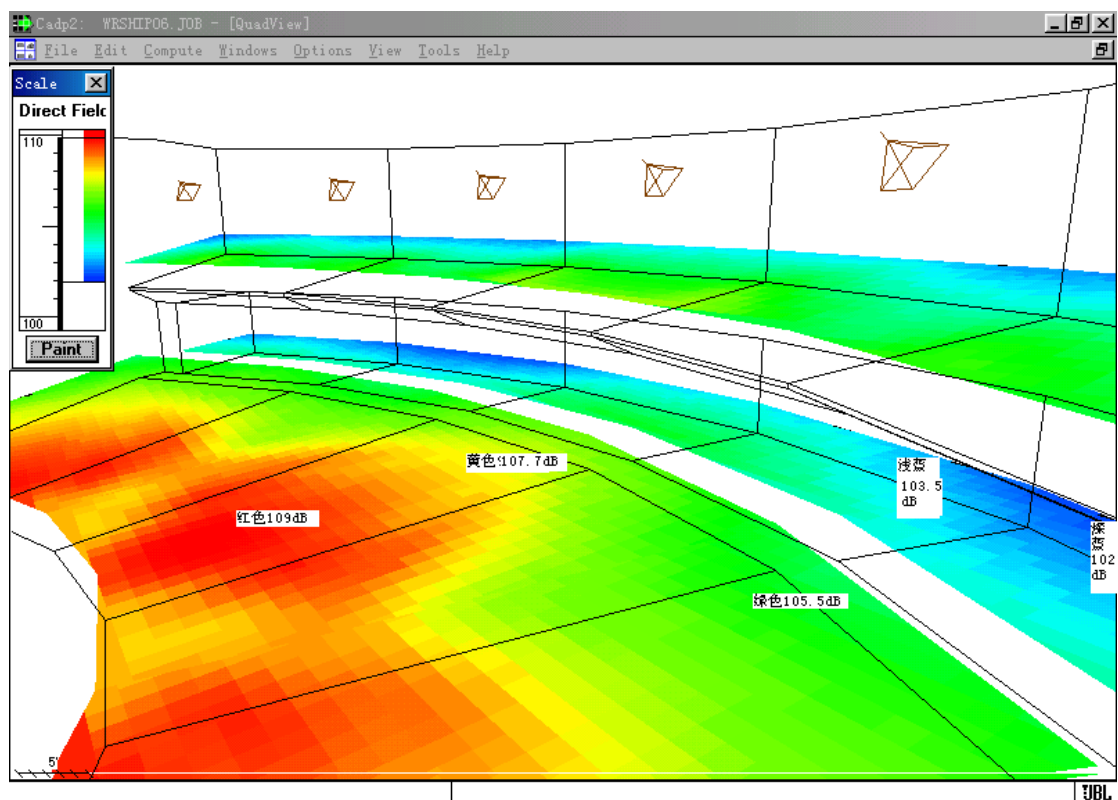


图十一：2KHz 声压级覆盖模拟图

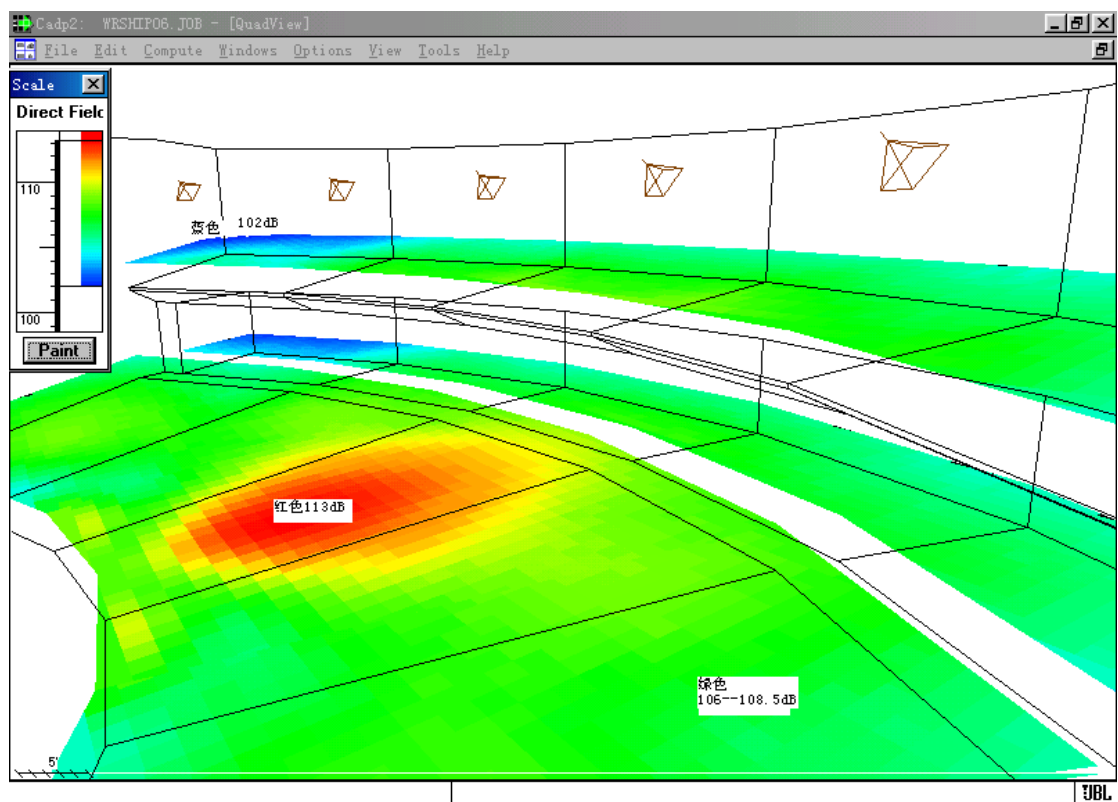


图十二：250Hz 声压级覆盖模拟

图

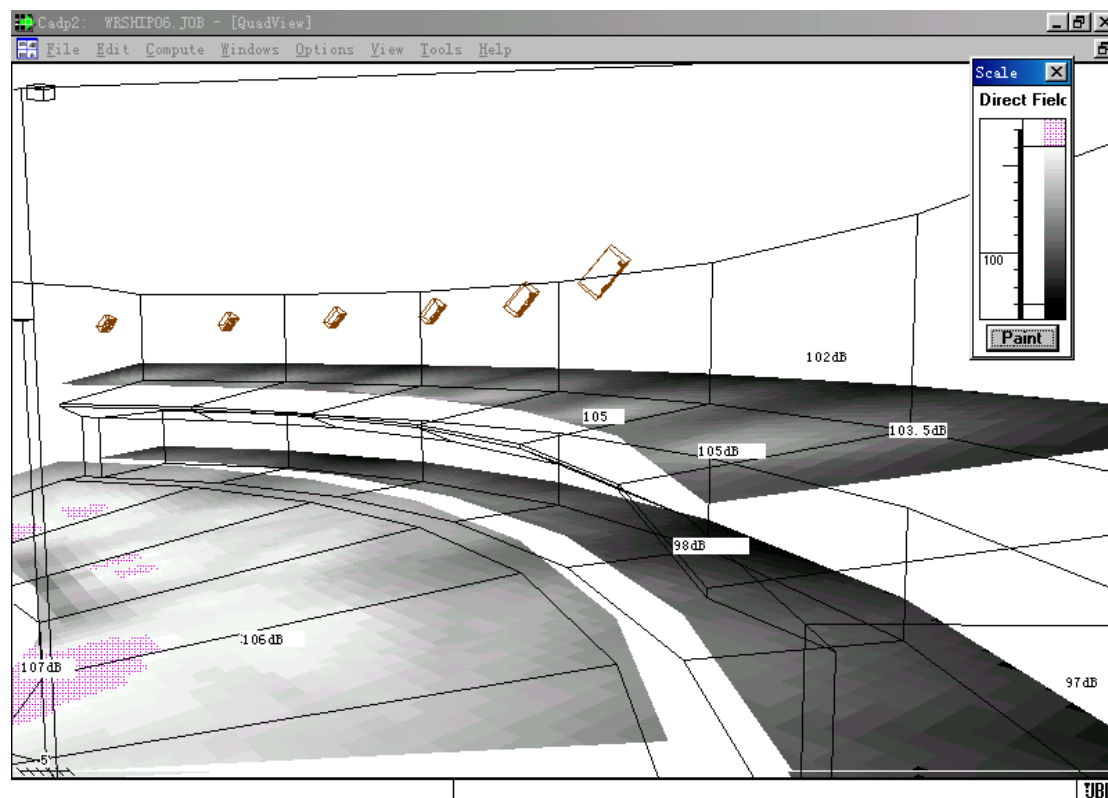


图十三：500Hz 声压级覆盖模拟图 (采用 Power Sum 计算方式)



图十四：500Hz 声压级覆盖模拟图 (采用 **Average Complex Sum** 计算方式)

大家从图中也可以看出，图中的颜色只有与刻度尺中的颜色对应起来才有实际意义，否则只能看出其相互不同分布情况，而不具备实际的分贝值。这一点一定不能忘记。另外 CADP2 除了用 32 位彩色来显示模拟结果以外，还可以用黑白色来显示。如图：



图十五

接下来，我们可以计算剩下的几个频带来进一步分析其分布情况-----则整个声场中任一听众位置的频率特性曲线图就出来了。要知道，此工程并没有采用高造价的大型阵列系统。从上图中我们可以看出：

1、所有频带的直达场分布还是非常理想的：2KHz 和 500Hz 在整个观众区域的分布不均匀度小于 8dB，250Hz 和 8KHz 等于 10dB。由于低音部分采用集中式扩声方式，导致看台下的观众区域的 250Hz 低频带声压级有些不足，偏低 3dB；

2、500Hz 和 1KHz 在全场偏高了约 3dB，4KHz 偏低了 2--3dB，可见整个观众区域的声场频率特性曲线还是很平直的。

限于篇幅，这次的声场模拟部分就讲到这里，下期中将介绍剩下的八项模拟计算。其中重点介绍：反射场计算。LTP、AI 和 %ALCons。

如果有朋友想了解 CADP2 的其它信息可以与我联系，虽然我不敢担保每人必复，但将尽量予以解答。我的 E—Mail: [xycadplh@yahoo.com.cn](mailto:xycadplh@yahoo.com.cn)

