

音响工程中的计算机辅助设计软件

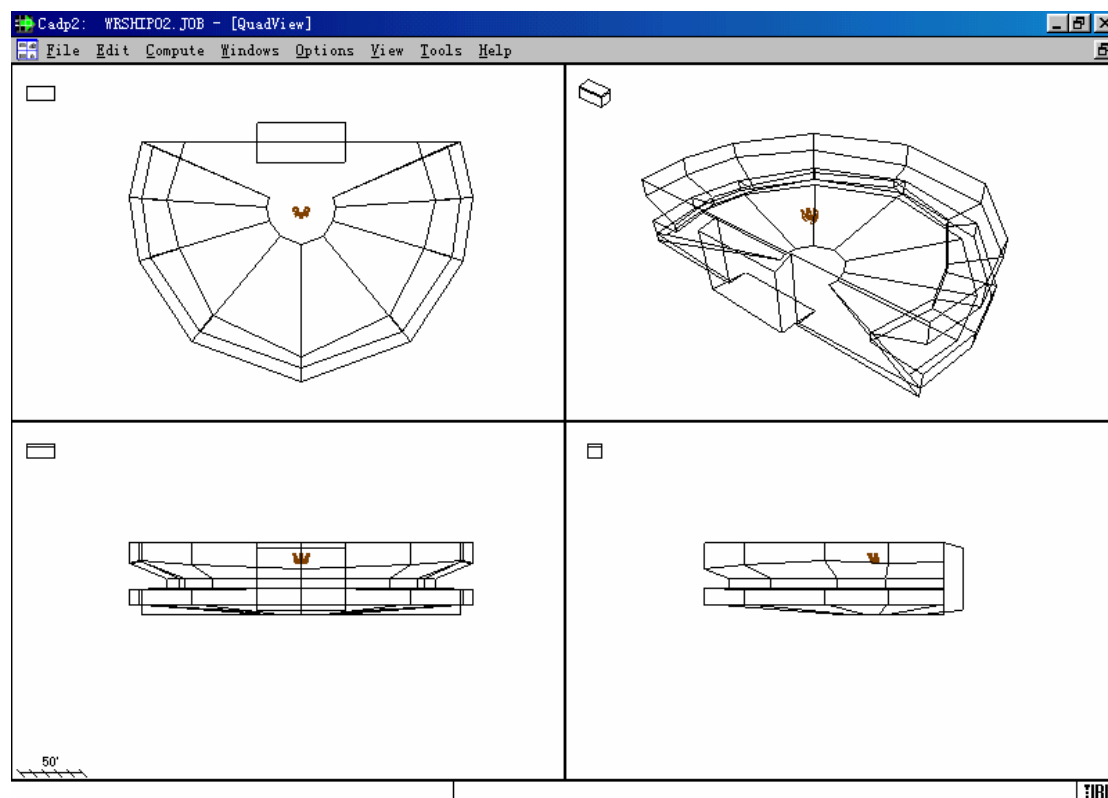
-----CADP2 (三)

笔者在上期向大家讲述了 CADP2 的声学模拟部分的 RT60 和直达场计算。下面我们接着声学模拟部分的学习。

反射(声场)计算: (Reflected Field)

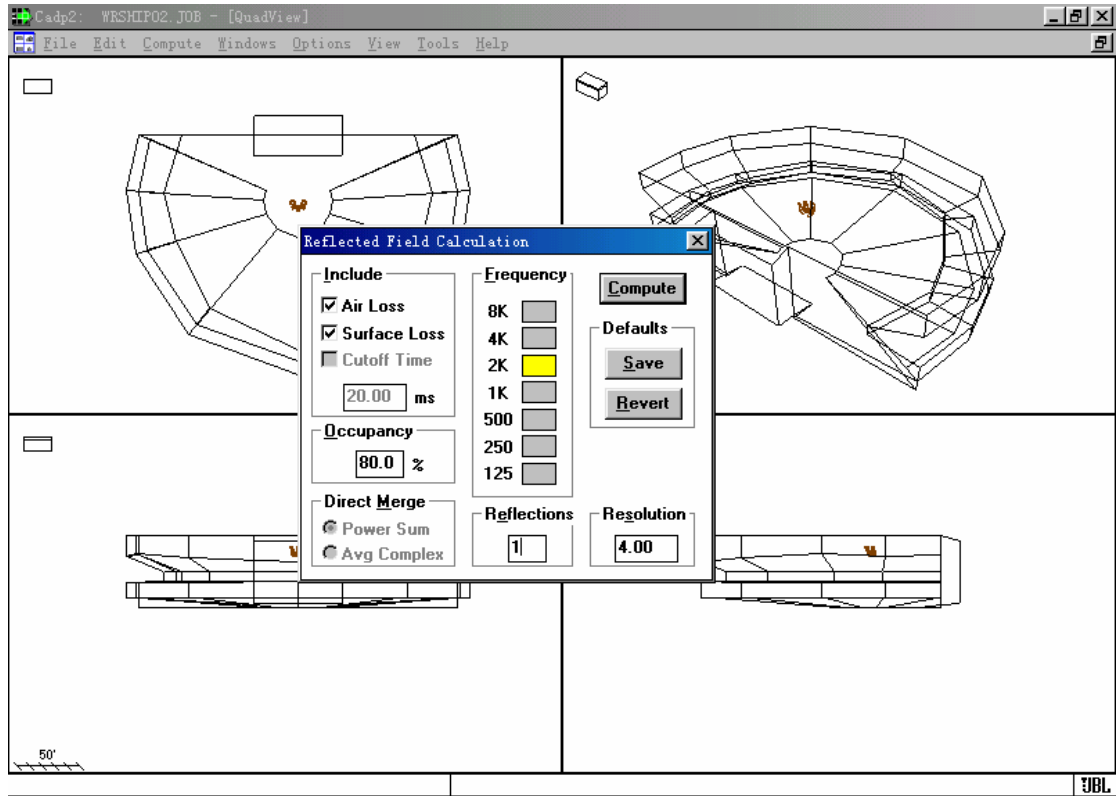
首先在学习前,我觉得应该明白一点:为什么要研究反射声场。应该说研究反射场是声学课题中极其重要的一项。它的计算远比直达场复杂得多,特别是二次以上的反射场则更是如此。反射场对我们来讲有时是好处,比如在音乐厅中,近次反射声能增加直达场的强度、明亮度、丰满度。有时反射场又会给我们带来许多麻烦:回声、声聚集、啸叫、声场不均匀度.....这时我们必须尽可能避免这些对音质有害的现象发生。

下面举两个例子具体讲解。如图: 1。

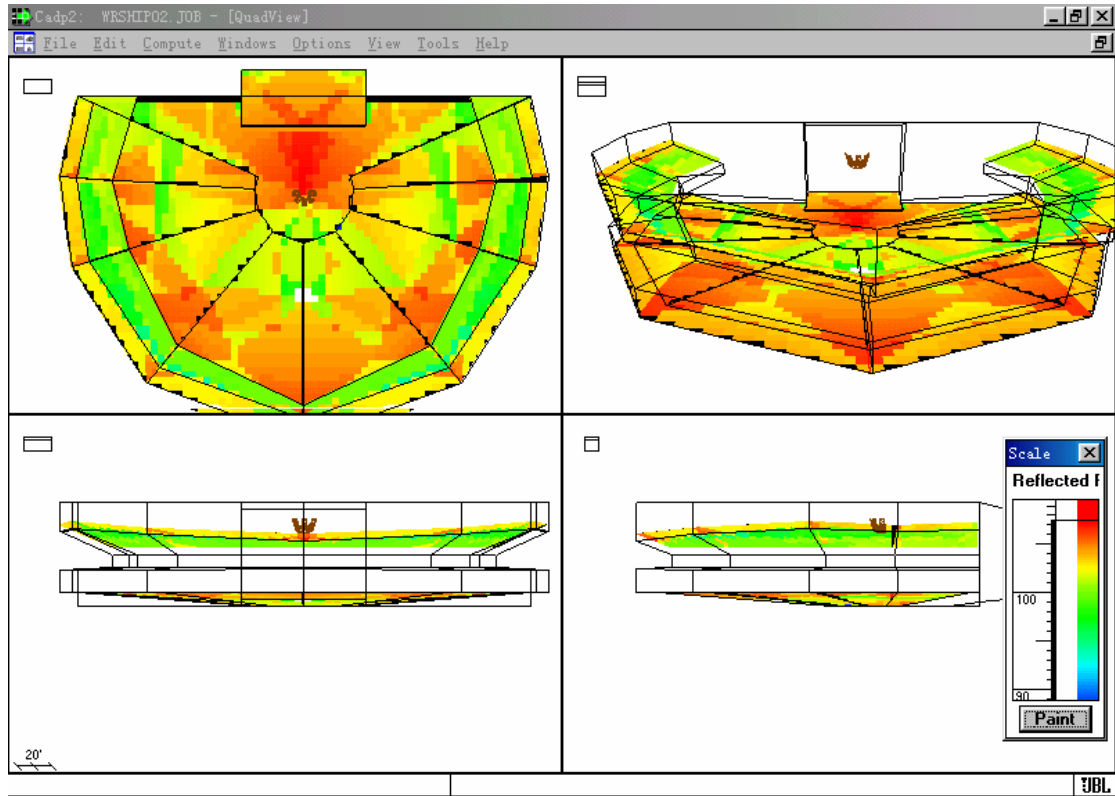


我们来看看此图中反射场的覆盖情况。

点击 Compute 菜单下的 Reflected Field 命令, 则弹出反射场计算窗口如图:

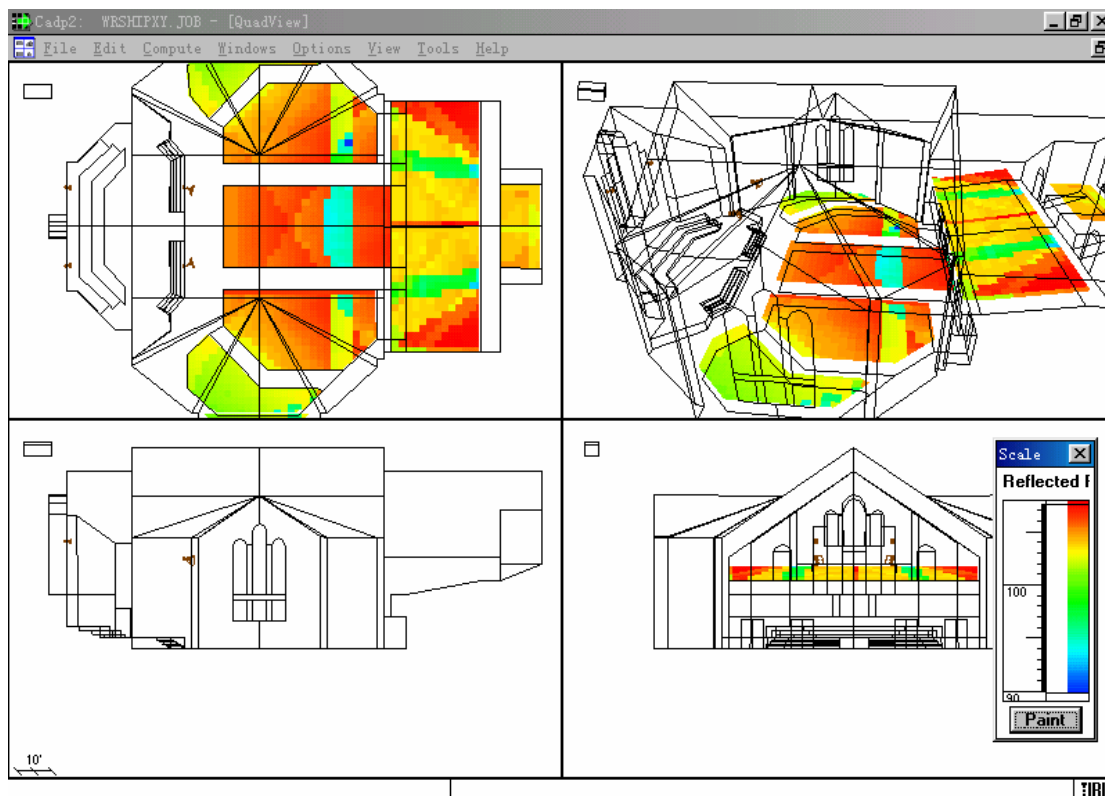


大家可以看到此窗口与直达场计算窗口一样，只是先前的 **Reflected** 选项在此处被激活，这里必须输入计算的反射场的反射次数。我们说过反射场的计算要比直达场复杂得多，一般不超过三次。否则其计算所需时间会非常之长且会让人难以忍受。具体视环境的复杂程度及计算机配置高低。通常一次反射场需十几至几十秒。二次反射场需几分钟或十几分钟不等。一般来说，超过二次以上的反射场计算并无必要。因为其反射声压已相对很弱，所以这里我们只输入 1。单击 **Compute** 开始计算。结果如图 3。



从图上可以明显算出,位于后墙任意两面墙之间的夹角部分的观众区域都出现了强反射现象,且高出其它观众区域近 6 分贝。同时位于舞台区域(音箱阵列的下方)也出现强反射现象。毫无疑问,这是四周的墙壁及看台前面的反射所致主。这对抑制声反馈是极不利的。了解了这一个信息后,我们在工程施工时可以有针对性的运用合适的吸收装置或通过其它方法可以解决。至于后墙观众区域出现反射对我们是好处还是坏处,则不能一概而论。它破坏了声均不均匀度,且有声聚集现象,但它对提高后排观众区域的声压强度却是有一定好处的。那么我们能不能变缺点为优点呢?那么其中一个最好的办法就是把易产生声聚集的墙面改为扩散体形式。这样既提高收听声压强度,又改善了声均不均匀度。

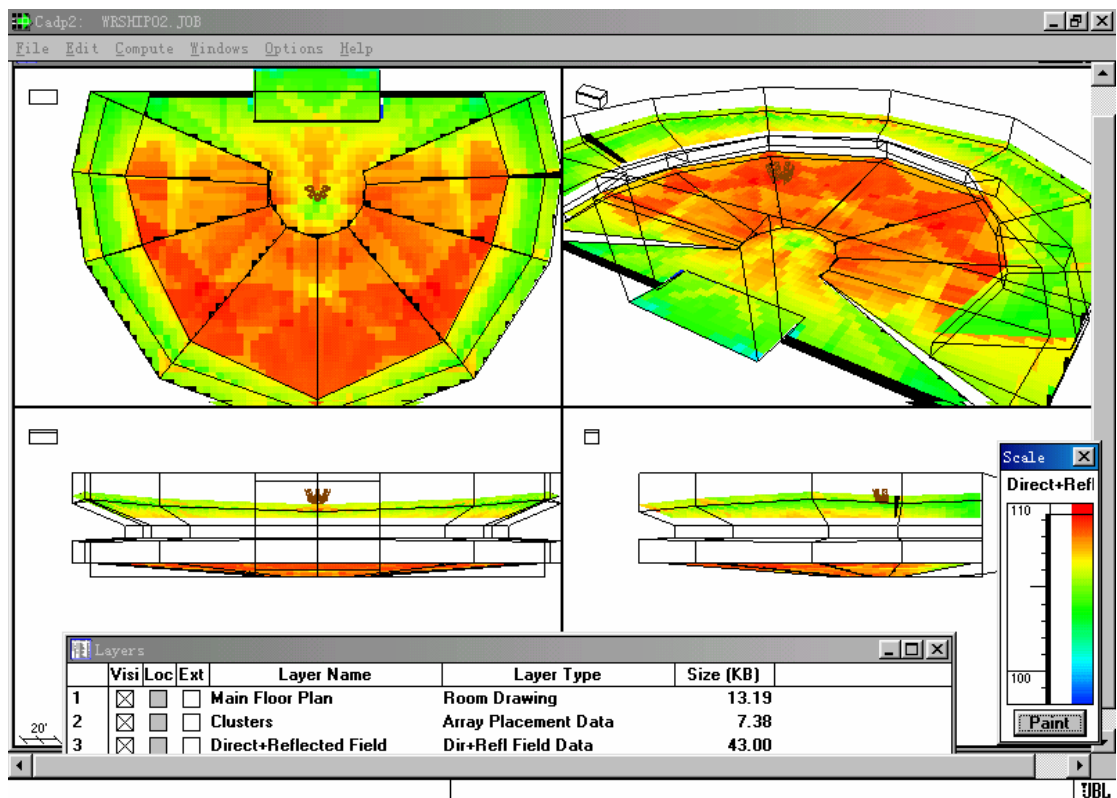
以上是通过计算反射场来指导我们工程设计的一个例子。下面我们再谈谈反射场计算的其它运用。如下图 4:



从图中我们观察观众区域的中间部分有一片红色，其声压级是 107.5 分贝，高于直达声在此点的声压近 3dB,很明显，这是由于后墙的反射引起的。对于此处的观众，由于其时间已超过 50ms, 这势必会产生回声现象，破坏了聆听的清晰度。此时可通过协商，可以调整扬声器的高度及指向，或在一定资金范围内采用另一种扩声方式（非集中式），或通过改善后墙的吸音材料。总之要尽可能避免回声产生。

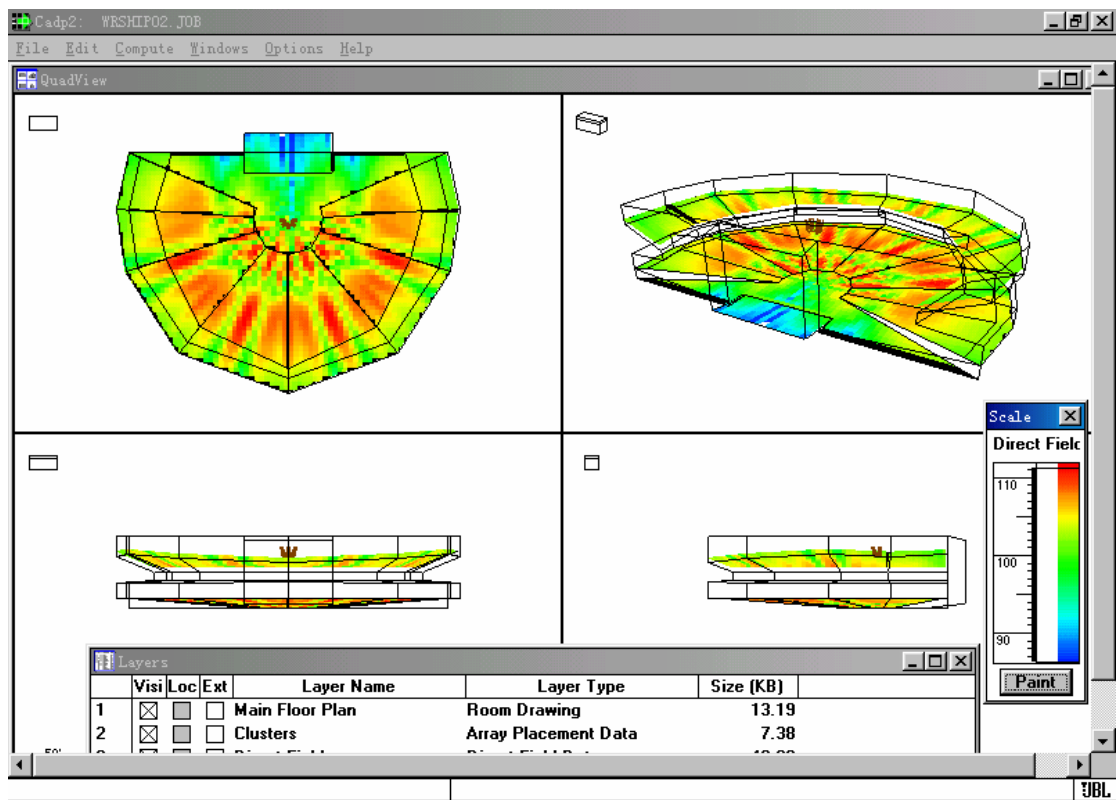
直达场+反射场计算（Dir+Reflected）

单独知道了直达场或者反射场，我们自然会想到二者的合并声压会是什么情况。软件设计者们想到了这一点，为我们提供了这一计算方式。它能计算出直达场与不同次数反射场之间的声压级合并。从而对音质的评价作参考依据。我们知道直达场加上直达场后 50ms 内到达听音点的近次反射声的总能量在整个声能量中的比例系数越高，则可以认为声音的表现会比较清晰明了、圆润丰满；反之则比较模糊、暗淡、干瘪无力且定位不好，这当然不是我们所希望的。本实例的 Dir+Refl 声场分布情况如下图：

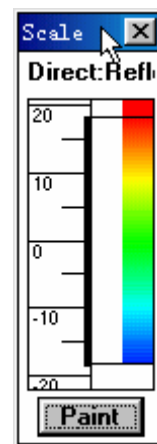
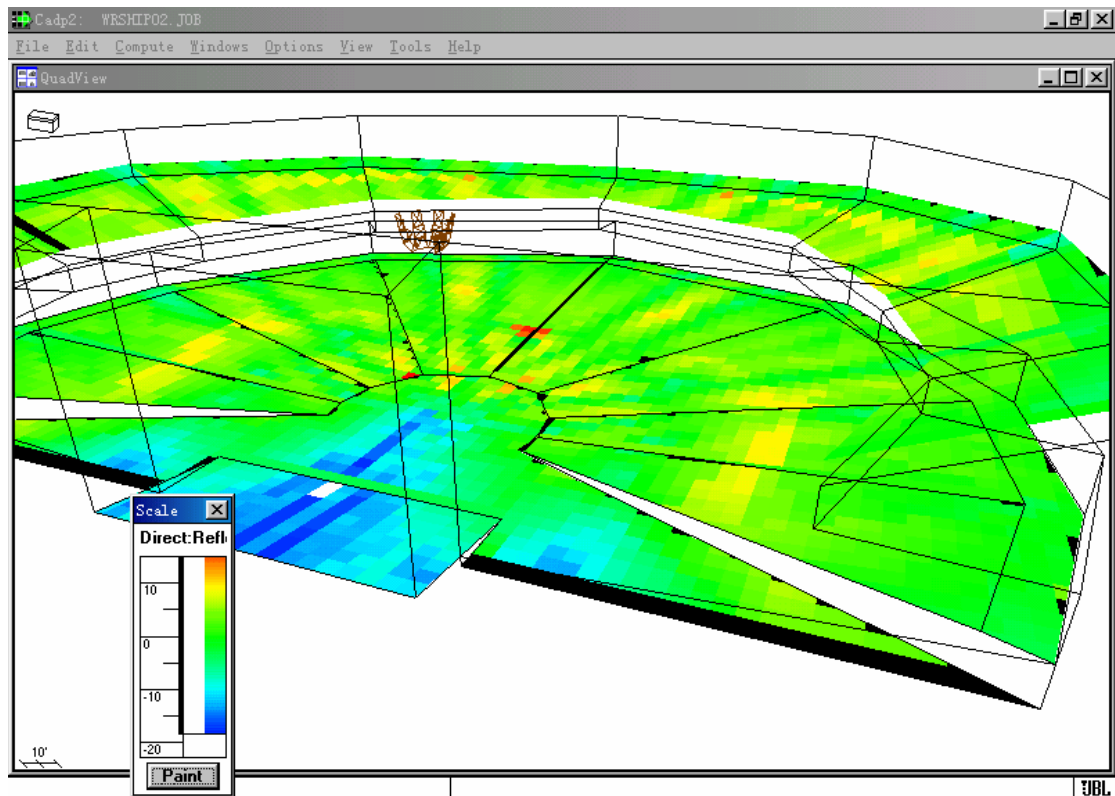


直达反射比较 (Dir: Reflected)

需要说明一下, Dir:Reflected 并不是拿直达场数据除以反射场, 而是计算直达场与反射场之间的差值, 让两者作以比较, 以观察直达声场与反射场在声场中的覆盖分布情况。为了便于朋友们理解我们不妨计算一下声场的 2KHz 直达场分布情况如下图 6。



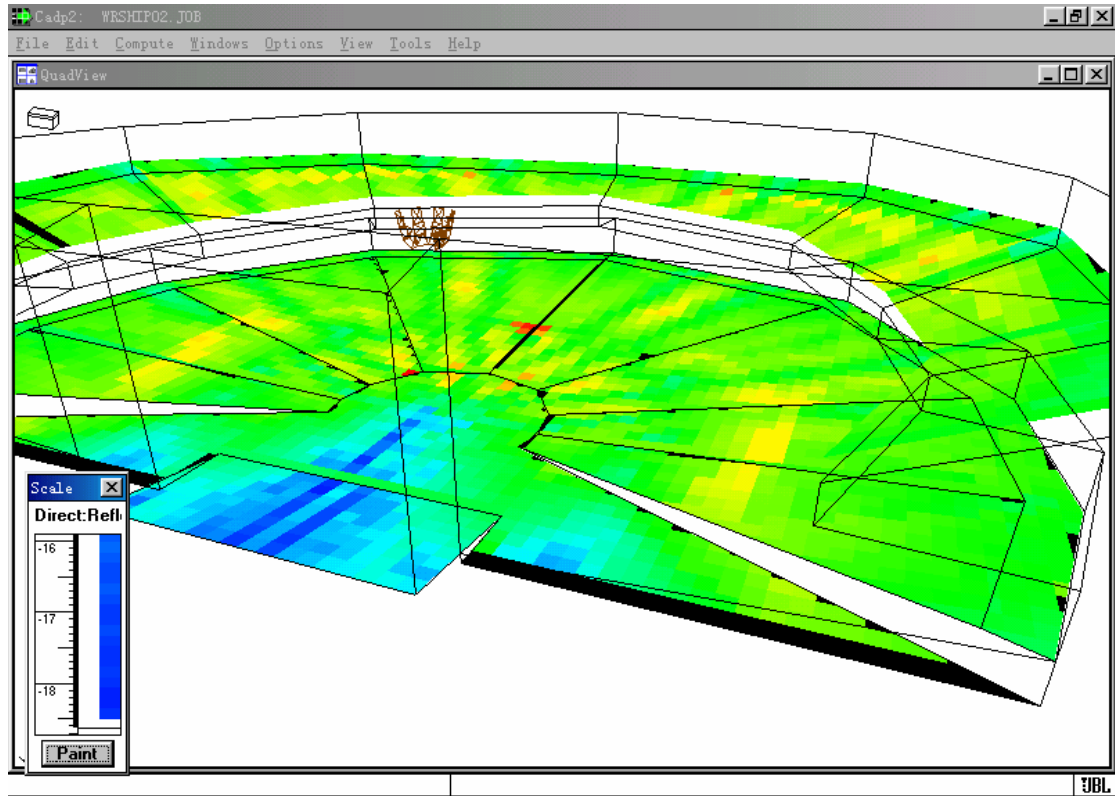
接着现在计算 Dir :Reflected.。注意反射次数均是 1。频带 2KHz，Direct Merge 选择 Avg Complex。结果如图 7。



这时，打开层控制窗口，打开 Dir :Refl 计算标尺，如图 8，我们看到标尺的刻度数据有正值、零、负值三种数据。

这里，正值是指直达声大于反射声的分贝数。零表示两者声压相等的分贝数。负值是指反射声大于直达声的分贝数。我们来参照上图 6 与图 2 来验证一下是否正确。图 6 的 2KHz 直达场中位于舞台后面的位置声压级是最低 86.4 分贝，图 2 中同位置同频带的反射场的声压级是 105 分贝。那么，直达场减去反射声场等于 18.6 分贝。好了，我们来查看 Dir : Refl 计算结果模拟图中此位置的数值是否等于 18.6 分贝。

关闭其它层的显示，只显示 Dir :Refl 层并打开此层的刻度标尺，适当调整此标尺的显示动态范围。此时点击一下 Paint 键，则你会发现 Dir : Refl 的计算与我们刚才的计算的 18.6 分贝值是一样的。如图

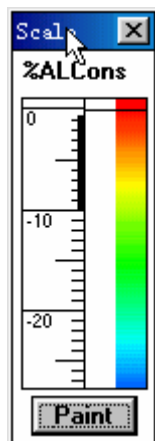


另外，分析可以看出位于舞台上的反射声压是很高的，这就提醒我们在设计时就应注意极可能引发的反馈问题。

辅音清晰度损失计算（%ALCons）

现在再回到上一期声学模拟中所用的工程方案实例中来。由于它的反射场分布情况不是很典型，所以没有用它举例子。现在我们的%ALCons 模拟继续用它来当实例。

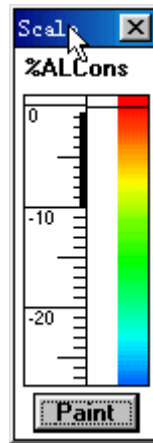
点击%ALCons 命令，程序会自动进行平面数据的正常检验，如果发现某些平面有问题则会给予提示。且计算不会继续直到你修正错误为止。在%ALCons 计算窗口里，混响计算公式同样可在 Sabine、 Norris-Eying、 Fitzroy(s)、 Fitzroy(NE)中任意选择。选择好后开



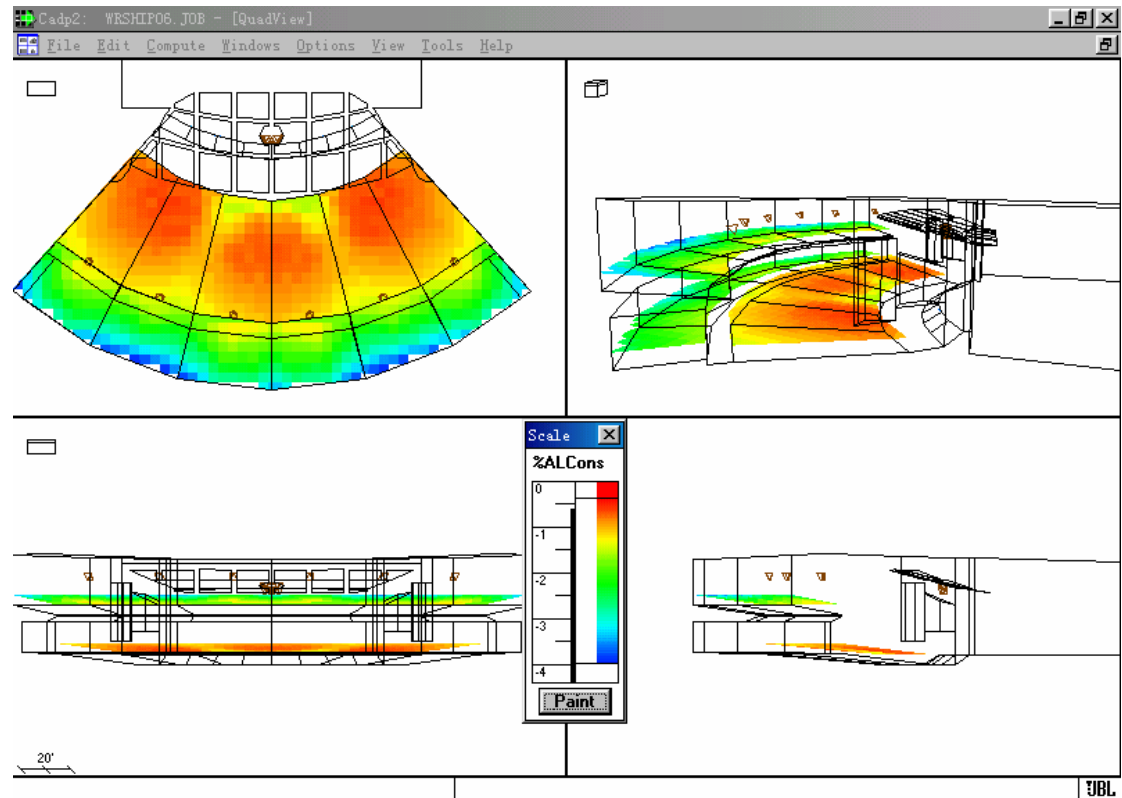
始计算。计算结果如下图 10。

在%ALCons 计算中，红色：辅音清晰度损失的范围是：0—3%优秀，黄色：3—7%为良好，绿色 7—15%为普通，黄色：15—30%为差，超过 30%则为不合格。

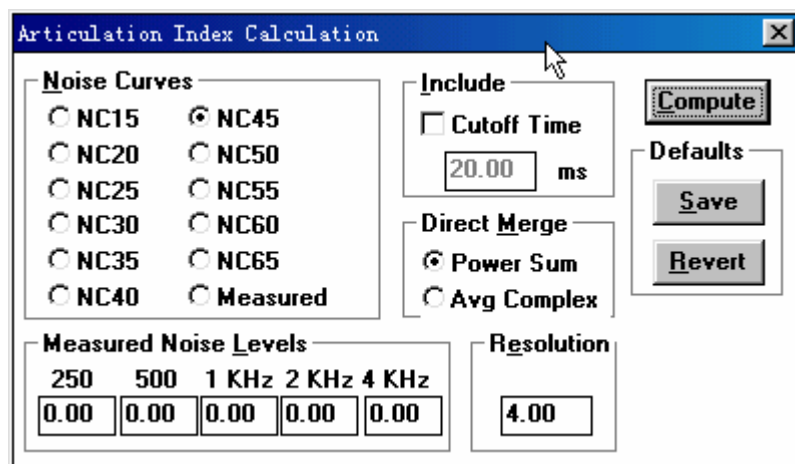
打开此计算结果的刻度标尺，我们可以看见计算出的刻度范围是-10 至-0.6，即且对



应的颜色是红色和黄色（黄色代表舞台区域），如图 11。此时仍然可以像调整其它标尺一样调整此刻度的显示比例。那么通过调整后我们发现所有观众区域（不包括舞台）清晰度损失均没有超过 4%。如果除去看台上中后部有两片小范围是 4%以外，其它完全是 3% 以内的优秀值了。如图 12。



语言清晰度指数计算（AI）：如图 13：



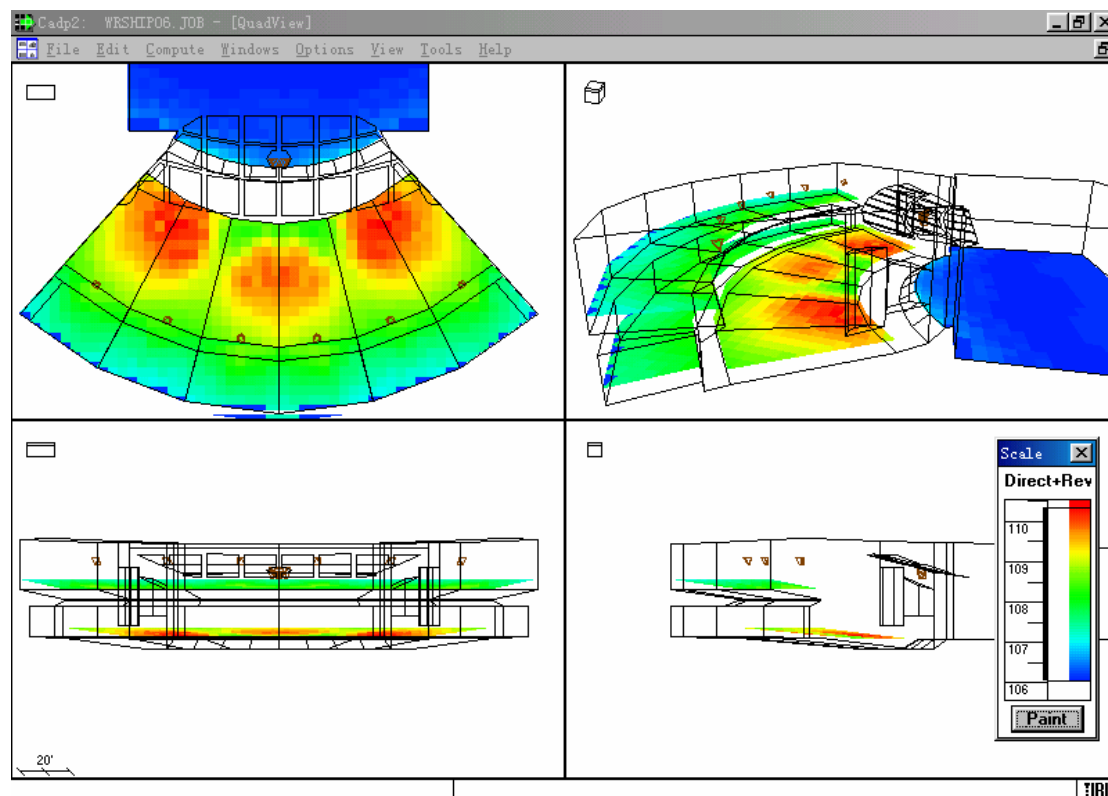
由于不同的背景噪声对测量或计算清晰度的误差很大，清晰度的测量或计算必须考虑环境噪声的影响。在这里软件可让设计者选择一个符合现场的噪声曲线，软件默认的曲线是 NC45。同时软件也可让设计者手工输入 250Hz—4KHz 这 5 个倍频程窄带背景噪声的电平值。这样将有利于更准确的计算 AI 值。软件还可选择是否考虑截止时间，并可手工输入结束时间毫秒数。

直达+混响场（Dir+Reverb）

此命令的计算窗口与直达场几乎一样，只是这里的 Occupancy 变得可用（听众占有比例），因为其中包括混响的计算缘故，且厅堂在满场与空场的混响计算有很大差别，所以，此项必须输入比例数。

我们还应该明白一点，最终声场总的最大声压级计算就是用此命令进行计算的。计算结果如图：

14.



从图中可以看出最大声压级为 110.3dB，最小为 106.1dB。细心的朋友会发现为什么最大与最小值之间的值差距只有 4dB？按照距离加倍声压级衰减 6dB 的原理，舞台前排的观众区域的声压级就比后墙处的高 8dB（从直达场中可以看出），为什么没有这么大差别呢？由于距离加倍声压衰减 6dB 的原理是基于空旷的室外而言的，换用话说，它是相对于直达场而言的。而在室内时，由于各墙面或其它物体的表面所形成的反射场及最后无数次形成的混响声场混合，这时加之原本的直达场一起形成总稳态声压级，此时室内各点的声压级相对比较接近的。由此可见，声压反比定律在室内是不太适用的。同时也提醒我们混响声在扩声中的作用。特别是当我们在进行室内扬声器功率匹配的计算时，更应注意这一点。

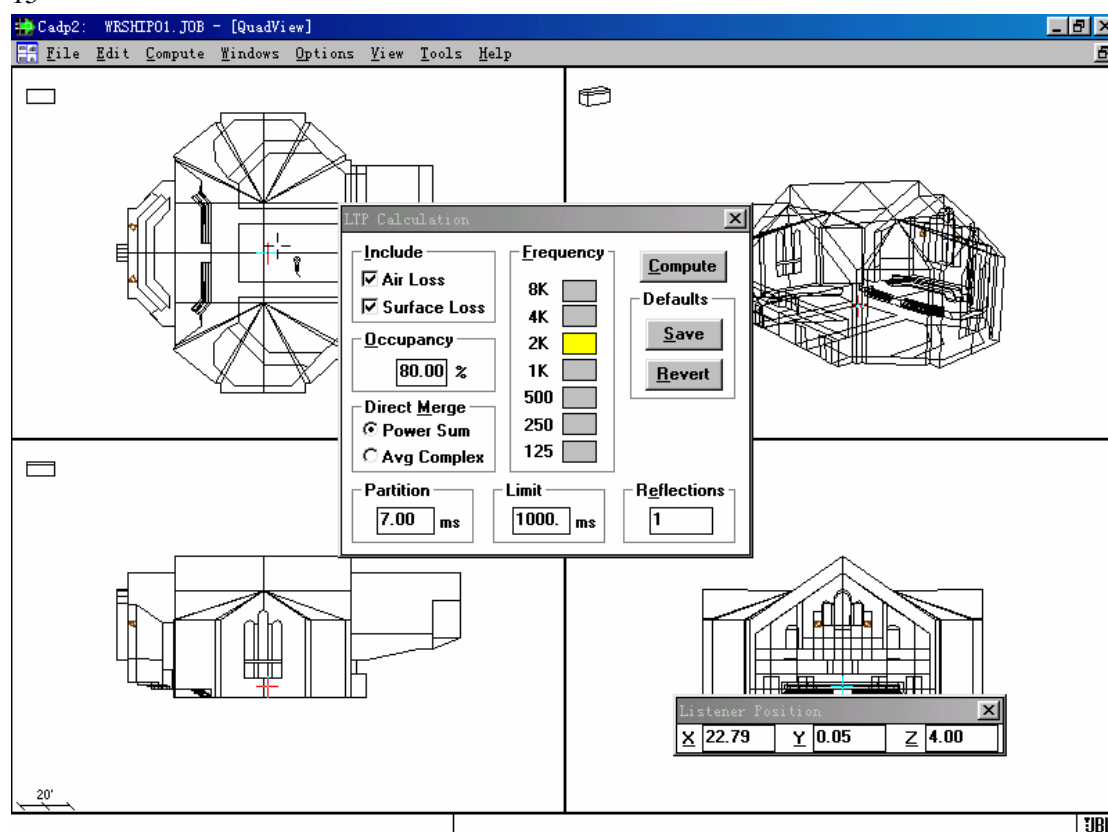
LTP（声压电平/声线路径）计算

很高兴 CADP2 提供了 LTP 这个程序。有了它，可以帮我们解决许多问题，现在举例说明。

再回到前面提到的反射场计算中，如图 4，看图中中间部分有一大片的红色区域，我们讲过位于这区域的观众会感觉到回声，这主要是由于后墙的反射引起的。下面我们就利用 LTP 来验证一下，这个回声是如何产生的。

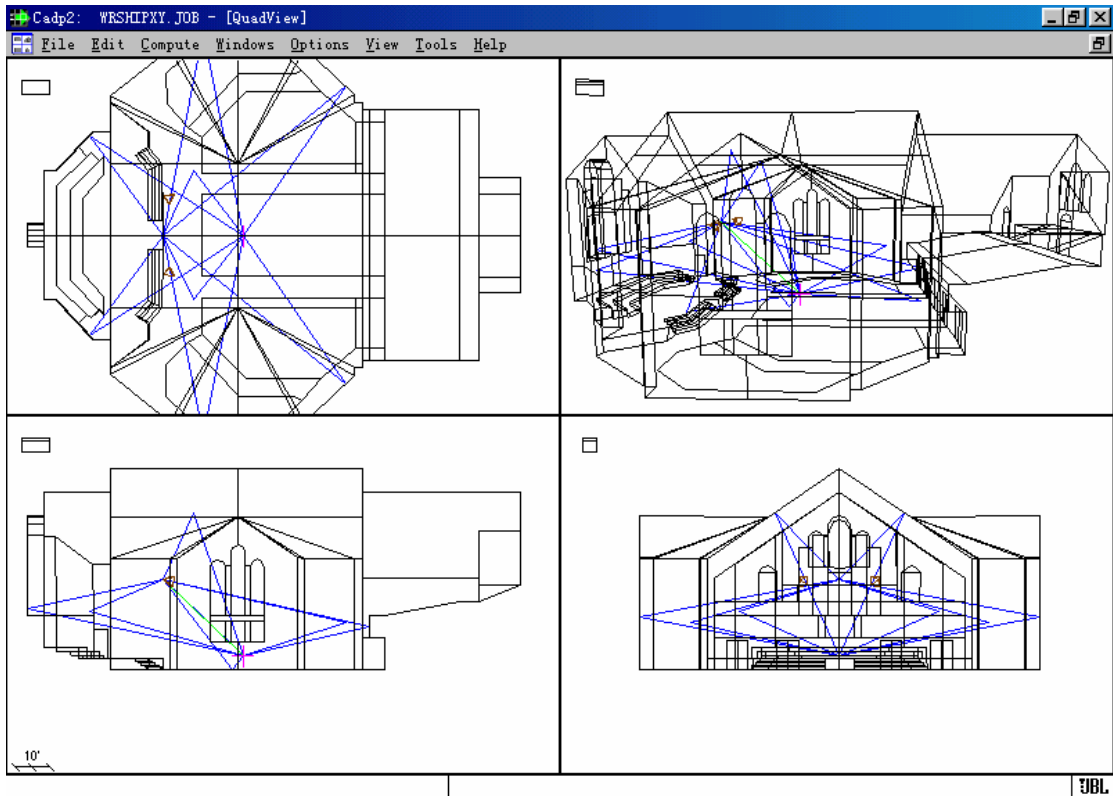
点击 LTP 命令弹出如下图的两个窗口，如图：

15

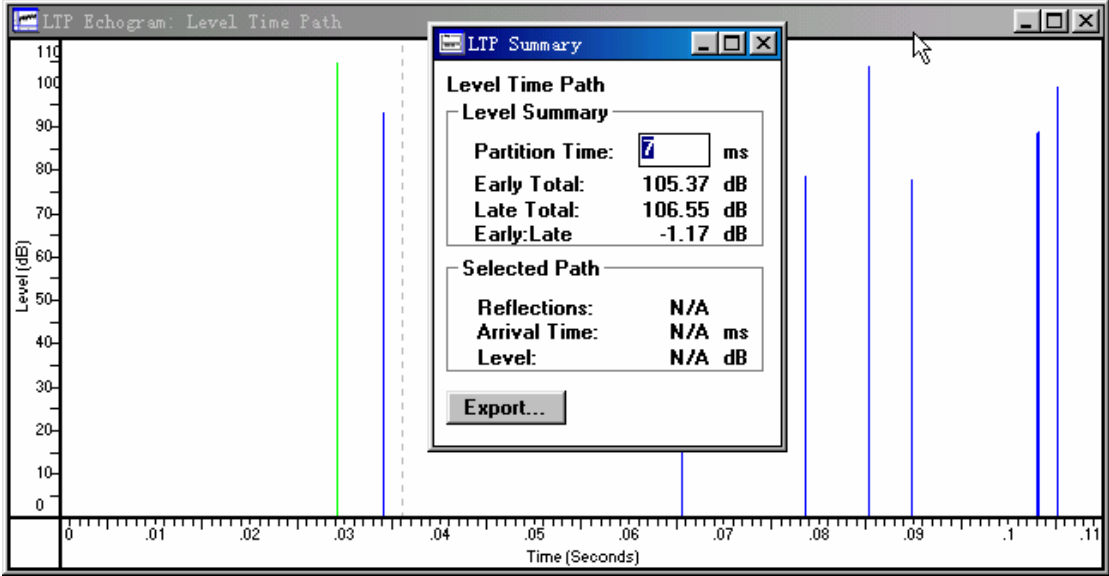


第一个窗口就是关于计算的一些选项设置。这个窗口的选项相信大家看过前面的介绍后已经比较熟悉了，无须多说。另一个小窗口是调整听者在房间中的三维位置。这里可以手工在 X、Y、Z 编辑栏中精确的输入和修改。但也可以用光标直接在视图中点击，范围仅在所设的观众区域。如果要想在观众区域以外的其它位置进行测试，则需按住 shift 键。现在把计算窗口移到合适的地方（不要关闭），我们把带着一个小话筒状的十字形光标移到前排中间的观众区域点击一下，接着在 LTP 的设置窗口中把反射次数设置为 1 次。其它为缺省值。点击 Compute 键。

我们会看到此时四视图中自动显示的是 LTP，计算声线路径在教堂中的反射情况。如图 16。



为了进一步观察此声线的具体反射数据，双击 Lays 层控制窗口中 LTP 计算项前的编号，打开 LTP 的如下图所示的两个窗口。如图 17。

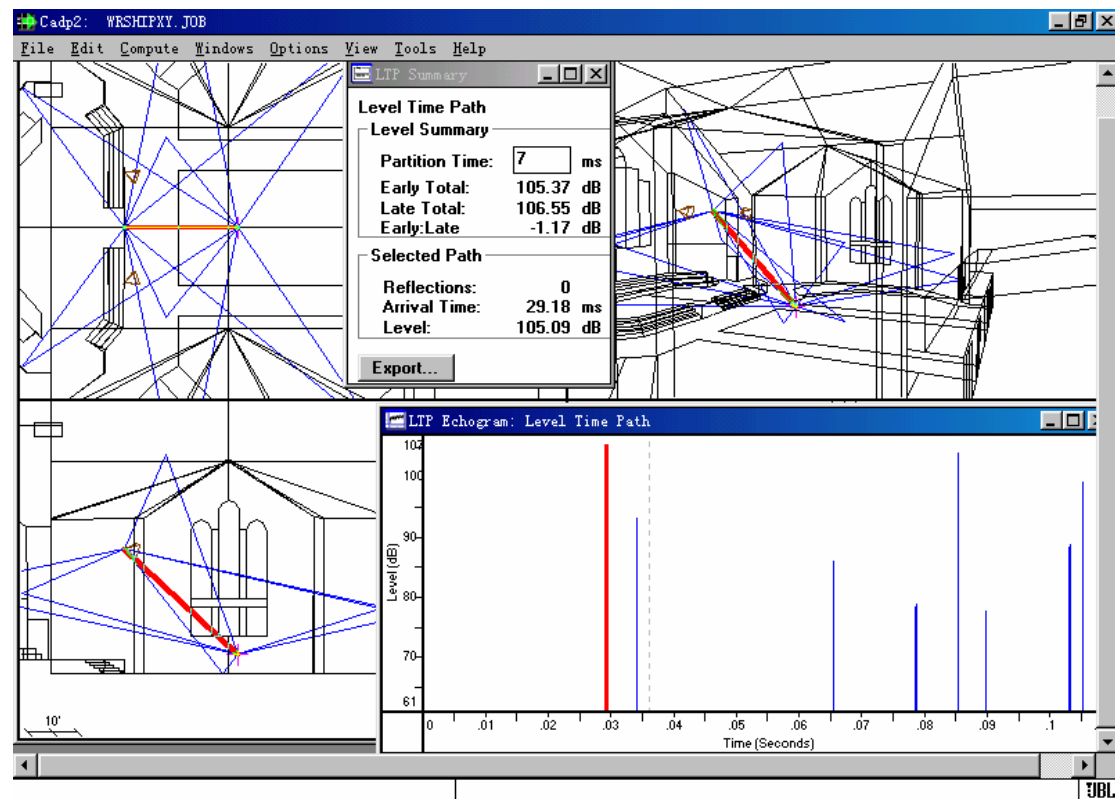


LTP Echogram:

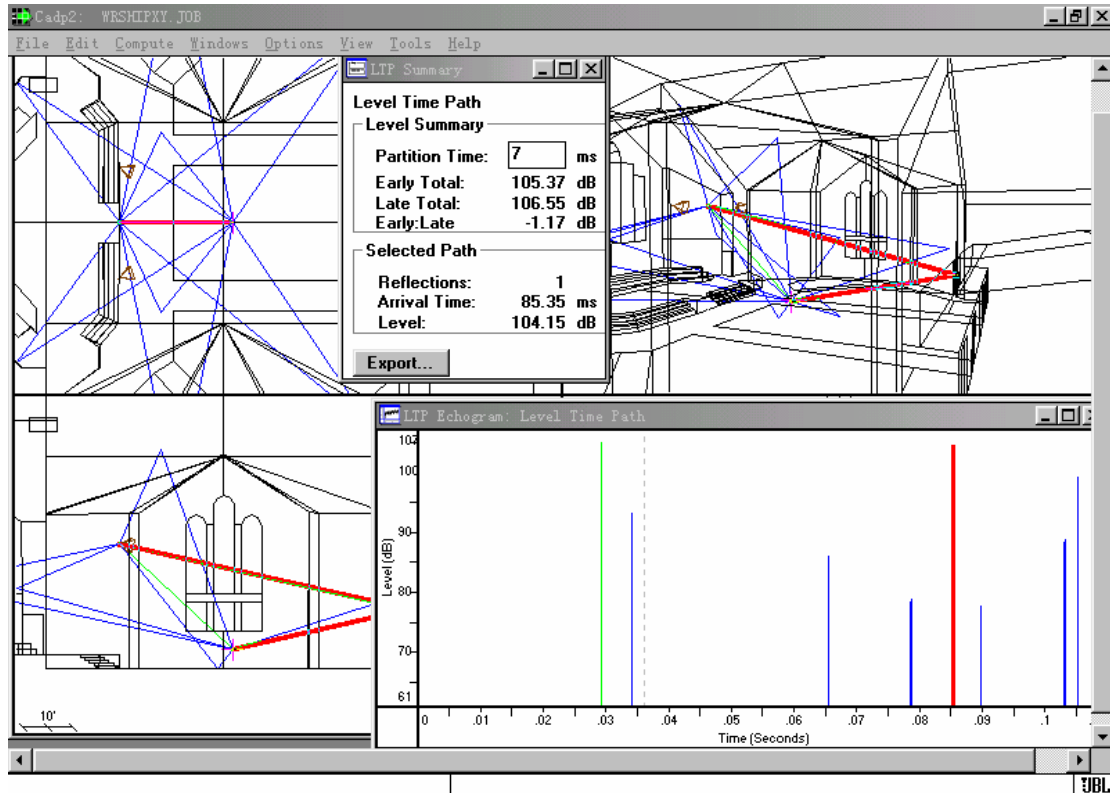
这里显示记录的是直达声和所有反射声线图，及其时间和幅度信息。其中绿色为直达声，蓝色则是反射声，虚线是分隔时间点。同混响曲线图中 X、Y 轴刻度的调整方法一样，这里同样可以用鼠标的左、右键来调整其显示范围。

我们把几个视图在屏幕拖到合适位置并调整其大小，让我们同时能看见侧视图、斜视图、LTP Summay 窗口和 LTP Echogram 窗口。现在在 LTP Echogram 图中的直达声也即绿色线

条上点击一下，你会发现随即在 LTP Summary 窗口中的 Selected Path（所选声线路径）的数据已经显示出了具体数据：Reflection:0，arrival Time 29.18ms，Level:105.09dB，其中反射次数为：0。即表示是直达声线：到达听者时间是 29.18ms。声压级是 105.09dB。如图 18。



接着，我们单击右边蓝色线条中最高的那一条，来看看它的显示数据吧：反射次数为 1，说明它经过某个墙面(或其它物体表面)反射过一次。到达时间是 85.35ms，声压级是 104.15dB。如图 19。



这时再看看斜视图和侧视图,你会看见有 1 条红色的较粗的声线从扬声器到后看台面反射到听者位置,这就是我们刚刚选择的那条反射声线。很明显,这条反射线告诉我们它的强度比直达声还要高,且时间比直达声要晚 56.17ms,已经远远超出了 50ms 人耳分辨阈值。所以这里的听众感觉到回声就不难理解了。如果再靠前排一点,则回声更明显。接下来该怎么办呢?当然就是想办法予以消除了。这里可采用对中高频有很高吸收特性的吸音装置(或材料)进行试验,(还有在选择吸收材料时,同等性能下应考虑材料使用的可行性,比如外观、造价等等)。

另外,讲一下 LTP Summary 窗口中的 Partition Time (分隔时间)。这个命令对我们极有用处。这里输入的时间是指直达声与混响声的分隔时间点,软件默认的时间是 7ms。Partition Time 的作用相当于 EASE 中的 C7、C50、C80。当然,这里你可以随意改变直达声与混响声的时间分隔点。Early Total:103.92dB,是指早期总电平大小,Late Total:后期总电平大小。以我们这个例子来讲。比如我们输入分隔时间为 50ms,则 Early Total 自动变为 103.92dB,也就是等于直达声加上直达声后 50ms 以内到达的声压的总和。Late Total 自动变为 107.83dB,这里 50ms 以后的声压级比到那个位置的直达声要高出 3.91dB。所以这套方案中的反射问题是绝对不能忽视的。

好了,CADP2 的声学模拟部分就基本上学完了,其实 CADP2 提供声学模拟的直接功能都写出来了,另外,它能为其它我们需要的数据提供间接功能。这靠读者自己领会、思考。

希望读者能充分利用 CADP2 所提供的功能,把它用好,它将让你事半功倍。

下期笔者将向朋友们讲述许多朋友们最关心的问题:CADP2 的模型构筑。