

一间极具吸引力的听音室

——访管善群教授

作者：政浩 （本版面经管教授纠正了原刊载遗漏和错误,并补充了图像）

夏季的一天，我们到中国声学学会理事、著名的声学专家管善群教授家拜访。当我们走进他那间书房时，我们惊叹不已，这也是一间极具吸引力的小电声重放室(听音室)。经过管教授的同意，我们将这间极符合中国国情的电声重放室(听音室)推荐给广大读者，愿给普通工薪发烧友带来一些启迪。

一、符合中国国情的电声重放室

我国许多工薪阶层的爱好者居住条件很不理想，在自己那块拥挤不堪的生活空间中，还要挤出一块小天地放置电声器材。他们没有专用的重放室，往往以工作室、居室或客厅等兼作重放室。这种房间大多在 10~18 平方米左右，给摆放扬声器箱、电声器材带来许多困难，而重放效果也往往不理想，只能是凑合着听。

生活空间拥挤的状况，重放室兼作它用的状况，在短时间不会改变。大家部在探索：在这种较窄小的空间内，能否取得较理想的效果呢？管教授的小重放室较好地解决了这个困扰发烧友的难题。经过我们试听，确实效果非凡。他在不足 11 平方米的室内，摆放了微机、沙发和写字台等，室内已经没有什么可使用的空间了。他把扬声器箱镶嵌入木质墙壁中，将电声器材放入壁橱或窗台上，没有再去抢占剩余的空间，他使用自制的电声器材，确实取得了意想不到的重放效果，不能不让人拍手叫绝。为此，我们请教了管教授，请他谈谈这种设计的科学依据。下面是采访的主要内容。

二、小重放室的设计思想

管教授首先谈到可闻声的两种属性和室内声的两种成分。可闻声具有物理和生理两种属性。其物理属性，是指它是一种波动现象，它应遵守波动传播规律，当然室内声还有一些声场规律；其生理属性，是指它是一种听觉生理现象，它遵守人类听觉的生理和心理规律。电声技术既要处理声音的物理属性，又要处理声音的生理

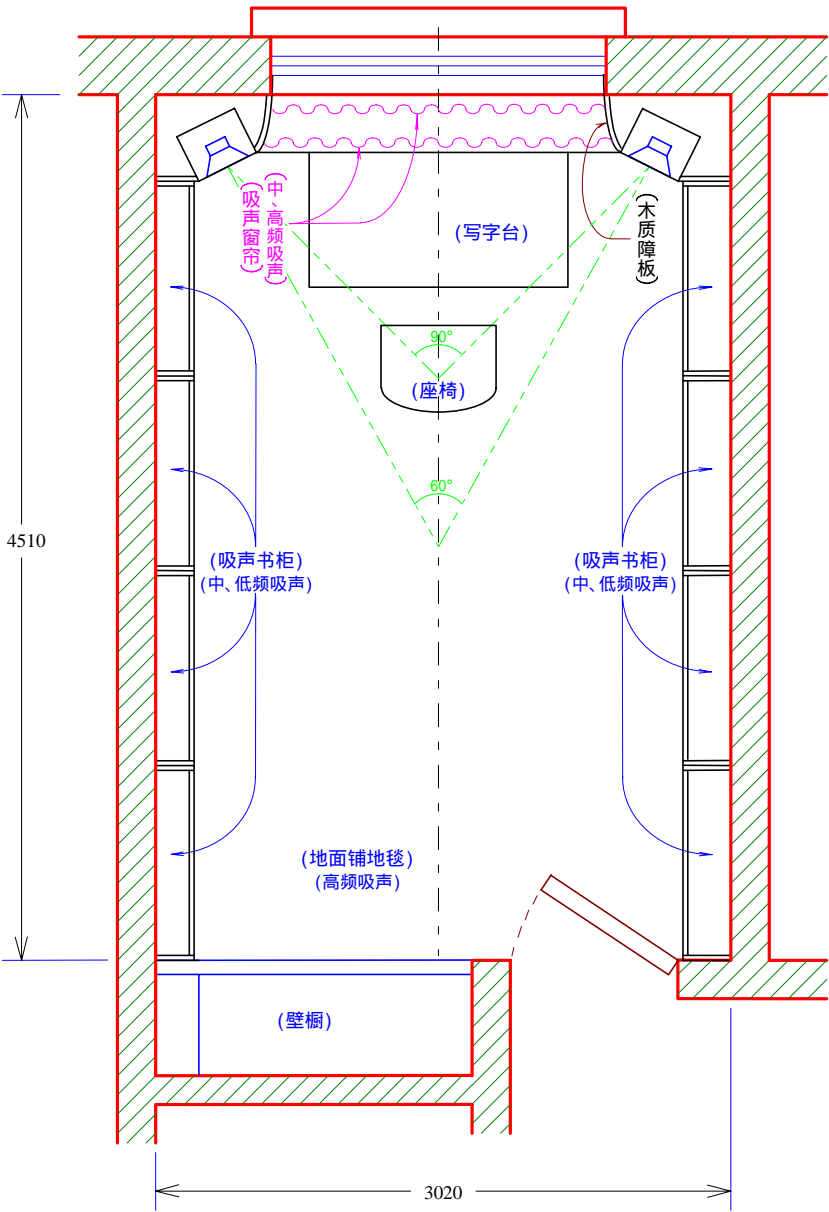


图 1 书房地面和墙面布置的吸声材料和吸声结构以及给扬声器设置障板的示意图

属性。另外，室内可闻声可认为是由两种成分组成，一种是所谓“直达声”，它是可闻声的主体；另一种是反射声，通常认为它是由前期反射声和混响声组成。如果室内空间容积为无限大，则只有直达声，而没有反射声，若室内容积不是太小，且室内吸声装置极好，就可以基本上消除反射声的影响。直达声和反射声既遵守一定的物理规律，又遵守一定的生理规律。直达声到达听者处的时间最早，它反映声源的信息，对声像定位也具有决定性意义；前期反射声在时间上稍滞后，但具有特定方向；而混响声是由连续且不断减弱的反射声组成，它由四面八方汇向听者。反射声是反映声环境的特征的信息。

再谈谈两种声学房间。第一种房间是音乐厅、剧场、演播室等，它们房间容积较大，很容易满足可闻声的物理和生理双重要求，可理想地处理直达声和反射声。在这些房间听音乐，是真正的艺术享受，具有最佳的真实感、艺术感和现场感。在这些房间录制的节目信号源，已经包括了原真实声源的各种声信息，它包括信号的直达声、前期反射声和混响声信号。这些声信号的综合效果可反映原声源的位置和声环境。第二种房间是电声重放室(听音室)，专业级的重放房间应当有足够大的容积，以便能有较密集的低频简正频率分布，可以进行有效的吸声处理。之所以重放房间要进行吸声处理，是因为在重放房间除了听到节目源的各种声信息外，还增加了该重放房间内扬声器产生的反射声，这种附加的二次反射声是多余的声信息，在绝大多数情况下，它不是锦上添花，增加艺术感，而是从中作乱，破坏了节目声原有的物理和生理特征。至于小容积的重放室，低频简正方式不够密，破坏了室内声的正常声场分布，它明显地引起低频的声染色，造成低音浑浊、拖尾或嗡声等。引起重放声的明显失真。

怎样才能从根本上保证声学小房间的音响效果呢？管教授提出两项原则，第一要采取有针对性的吸声措施，重点吸收扬声器激发出重放房间的中、低频二次反射声；第二要加强扬声器的低频指向性，在照顾到辐射声场范围的前提下，适当提高扬声器的低频轴向指向性因数，提高扬声器的直达声相对于二次反射声强度的比例，这也是减少二次反射声对节目声的干扰的重要措施。当然，还应当尽量降低室内的噪声，提高信噪比。上述处理方法，不是从提高电声器材质量来着手，而是从优化声场分布方面来改善重放声的质量。

管教授强调，一个完整的电声系统，应当包括节目源(或称软件)、电声设备和重放房间(或称硬件)三个部分，只有这三个环节的质量都得到保证时，才能取得最理想的重放效果。许多刚入门的发烧友十分重视电声设备的质量，他们以高价购入名优器材，但往往达不到理想的效果，原因就是他们忽略了节目源和重放房间两个环节(特别是后者)。买器材是为了听、用，而不是当摆设，重放效果不佳造成浪费，这是初级发烧友的常见表现。当发烧友发展到一定程度后，就会把重点转移到提高重放声场质量上来，努力在改善房间的声学特性上多下功夫。

三、具体的改善措施

管善群教授从两方面来改善扬声器在该重放室的放声效果：一方面，提高扬声器箱的低频轴向指向性因数；另一方面，采取了几项有力的吸声措施。其目的都是为了提高扬声器在室内辐射声中直达声的比例。

1. 提高扬声器的轴向指向性因数

首先谈谈指向性因数的概念。全指向声源可以均匀地向四面八方辐射声能，但是理想的全指向性声源在实际工程中几乎是不存在的。实际声源是有指向性的，它在某些方向的能量辐射密度较大，而在某些方向的能量辐射密度较小，甚至为零。为了表征声源辐射能量的方向性，需要引入参量“指向性因数”。指向性因数可按以下方法来定义：有指向性的声源在某个方向的某点产生的声强(直达声)，与相同功率的全指向性声源在相同方向相同点产生的声强(直达声)之比，就是该声源在指定方向的指向性因数。通常该比值用 Q_s 来表示。实际上，该比值 Q_s 就是在该方向上有指向声源比全指向声



图2 扬声器安置在墙角斜墙的位置图片

源增加声强(或声能密度)的倍数。该值可能大于 1，也可能小于 1；另外，即使声源是全指向的，当它位于一般房间的不同位置时，由于靠近声源的墙壁对声源传播的限制作用，因而使一个全指向声源也表现出指向性来。通常所说的指向性因数，是指轴向的指向性因数。

在矩形房间内，当全指向性声源位于几个特殊位置时，可具有特殊的等效指向性因数 Q_s 。例如，当声源位于房间正中央时， $Q_s=1$ ；当声源位于某一表面(例如天花板、地面、墙面)的正中央时， $Q_s=2$ ；当声源位于某两个表面的交界线的中央时， $Q_s=4$ ；当声源位于某一个角隅处时， $Q_s=8$ 。以上结论详见管善群教授编著的《电声技术基础》第二章，本文后面所用结论和计算公式也是选自该书。

扬声器在自由空间的低频指向性接近全指向，为了提高扬声器这个声源的指向性因数，管教授将两只中型扬声器箱镶嵌于两个墙面的交界线的中央处，详见图 1 所示室内平面图。他在带有窗户的南墙与东、西两侧墙交界处，进行了重新设计，将墙面装修为图 2 所示的建筑结构，即在室内又增加了两条竖直的斜向窄墙。在左右两个窄墙上各嵌有一只扬声器箱。扬声器箱距地面约 95cm，此高度基本位于该斜墙的中部，扬声器恰好在人坐着时耳朵的高度。在扬声器箱体下面还做有一个小型壁橱，橱内放置了功率放大器等器材。该新墙的整体结构十分坚固，与两旁墙壁混然一体，决不会发生晃动和振动，扬声器箱板的厚度在 25mm 以上，并在箱内设置了加强支撑，从而抑制箱壁振动。箱内还设置有后空的吸声布，用以吸收箱内空气的中频反射。根据前面知识，该扬声器箱的低频等效指向性因数接近于 4，其指向性相当高。

过去，许多文章谈到重放室内扬声器箱摆位问题，要求扬声器箱尽量离开墙壁。距墙壁过近时，低音效果加强了，但声染色加剧了，造成低音浑浊、嗡声。人们可能要问，把扬声器箱镶嵌于墙壁内是否也会产生低频失真呢？实际上，它不可能产生上述问题，此时扬声器箱与墙壁已失去了距离，已失去了声波反射叠加产生共振和低频驻波的物理条件，墙壁已经形成扬声器箱体的外延部分，可视为扬声器的大障板。这种处理方法，也给扬声器箱前面腾出来更多的自由空间，提高了小房间的利用率，减少了室内的拥挤程度；特别是优化了室内声场结构。

2. 主要的有针对性的吸声措施

本室采用了多种有效的吸声措施。由于小房间低频简正方式不良，因此要加强中、低频的吸声，当然吸收高频较容易，因而在吸收中频和低频方面要花较大力气。

首先，朝向南方的窗户设置了两层帘布。第一层是孔缝较大的纱帘，它靠近玻璃窗户。它的主要用途是作窗帘，但也有吸收高频作用。第二层是尺寸较大且较厚的布挂帘，通过调整该帘展开的面积大小、折叠量的多少，可调整中频吸收量。

其次，在天花板和地板上加装吸声材料。天花板的吸声材料采用厚布，布后面垫有一层多孔的厚“泡沫”塑料。布局如图 3 所示。它可以吸收中频和低频。在地板上全部面积铺有厚地毯，主要用于吸收高频。

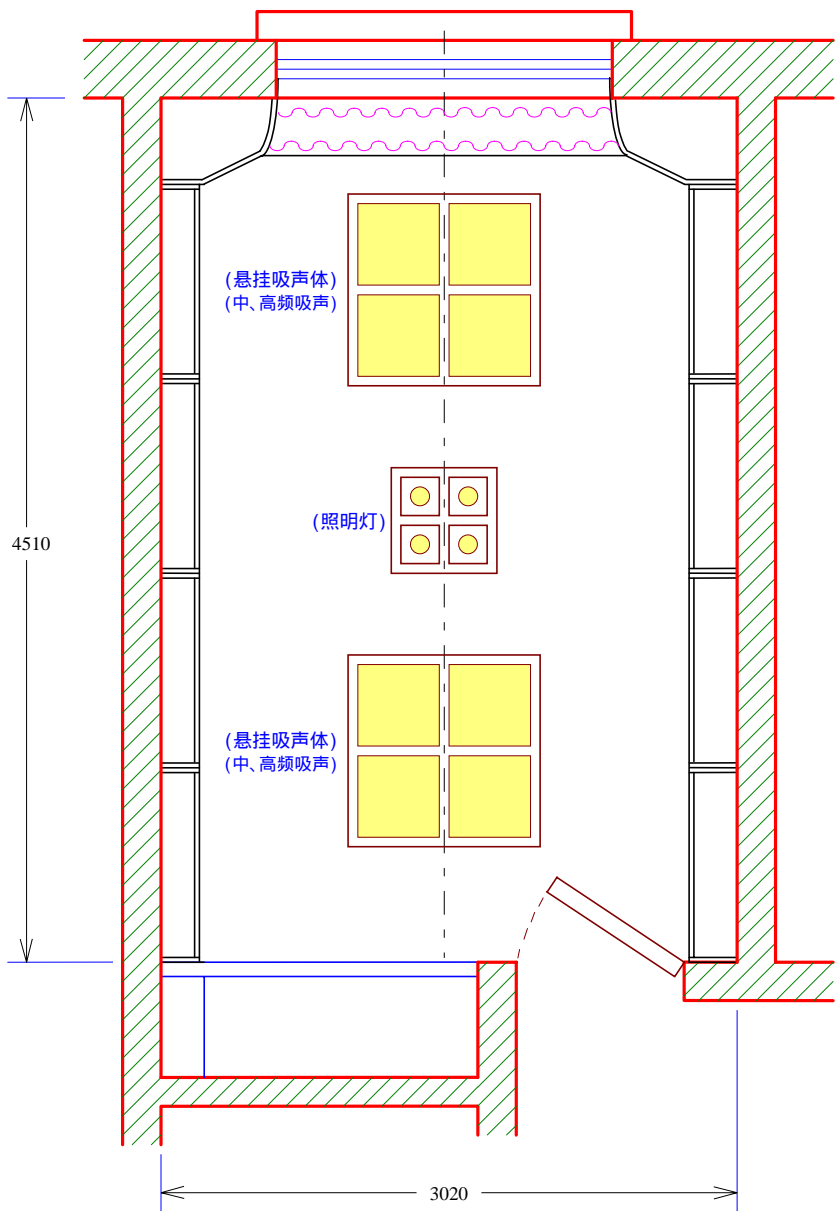


图 3 书房天花板布置的中、高频吸声体示意图

第三,这是重点,用东、西两侧墙来吸收中频和低频,它是本室装修经费支出最大的地方。该房间的长度约 4.5m,高度接近 2.5m,东、西两侧墙面全部做成了书橱,书橱厚度约 25cm 左右。书橱主要用于盛书籍和部分办公用品,即主要作书橱使用。书橱分成上、下两个部分,下部分的高度约 90cm,上部分高度约 135cm。两部分书橱内部又分别分割为许多栅格,各层格内分门别类地摆放各种书刊和资料。这样一来,房间内不必再添置其它书架;这些栅格又构成了吸收低、中频的谐振腔吸声结构。图 4A 是侧墙吸声书橱的前面板布局示意图。

下部分书橱全部采用木制板门,它用单层的三合板制成,掀开木门即可看到橱内多层栅格。见图 4B 右图。由建筑声学的观点来看,书橱下部可看成共振板低频吸声结构,箱内部分也可看成是共振板结构,它们的整体可看成是一种复合型共振板结构。各层栅格可看成低频谐振腔,调整腔体几何尺寸、板材厚度、放置物品的多少等,可以调整低频谐振频率,可以吸收相应频率的能量,起到低频的吸收作用。

而上部分书橱没有设置木板门,而是另辟蹊径,使用新奇方法制作“门板”。此“门板”分为三层,第一层是外表层,使用前述的挂帘布作装饰布,既有装饰美化作用,又起吸声作用;第二层 25mm 的连孔型的“泡沫”塑料多孔材料;第三层是由孔口很大的钢板网(几乎可看成钢丝网)构成。见图 4B 左图。总之,这个“门板”是多孔“透气”的,它和后面的书橱的各个层格空腔,相当于设置了后空腔的多孔吸声结构,主要用于吸收中频。

当初装修该听音室时,在两侧墙和后墙的顶部还设置了挂帘幕的钩子,在需要时可加挂吸声帘幕。在实际试听时,吸声效果已经很好,因此免去了设计中的周围大帘幕。

四、有关计算式及数据

管教授在讲解这个书房的吸声处理时用了个可编程小计算器,该计算器内已预先输入了计算公式,他一边输入数据一边进行有关数据的计算,以下将管教授的计算演示抄录如下:

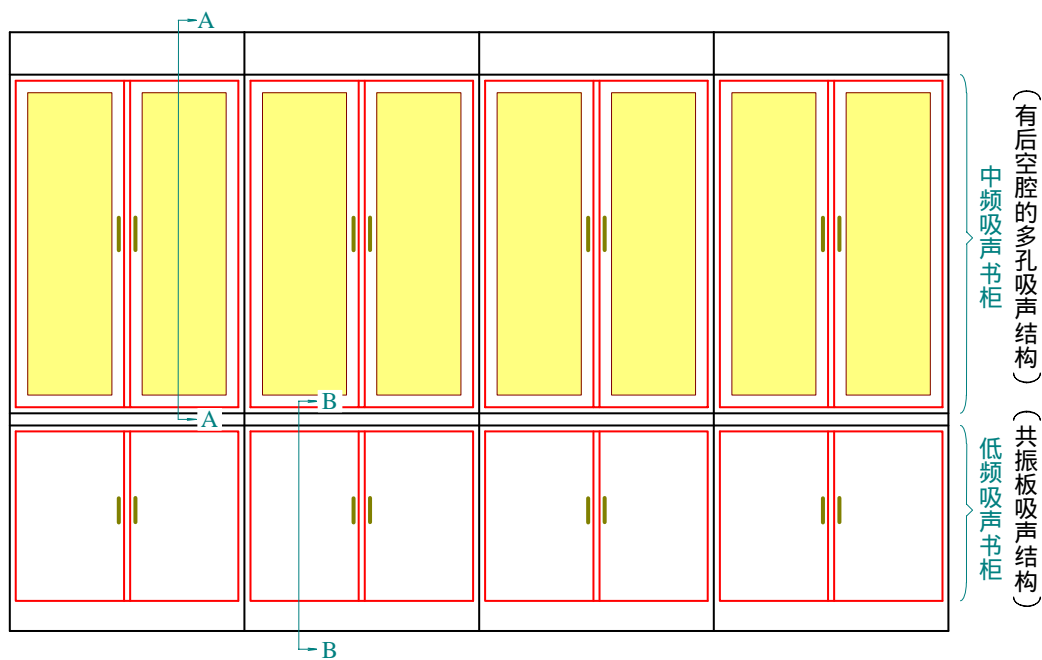


图 4A 书房两个侧墙布置的吸声书柜立面示意图

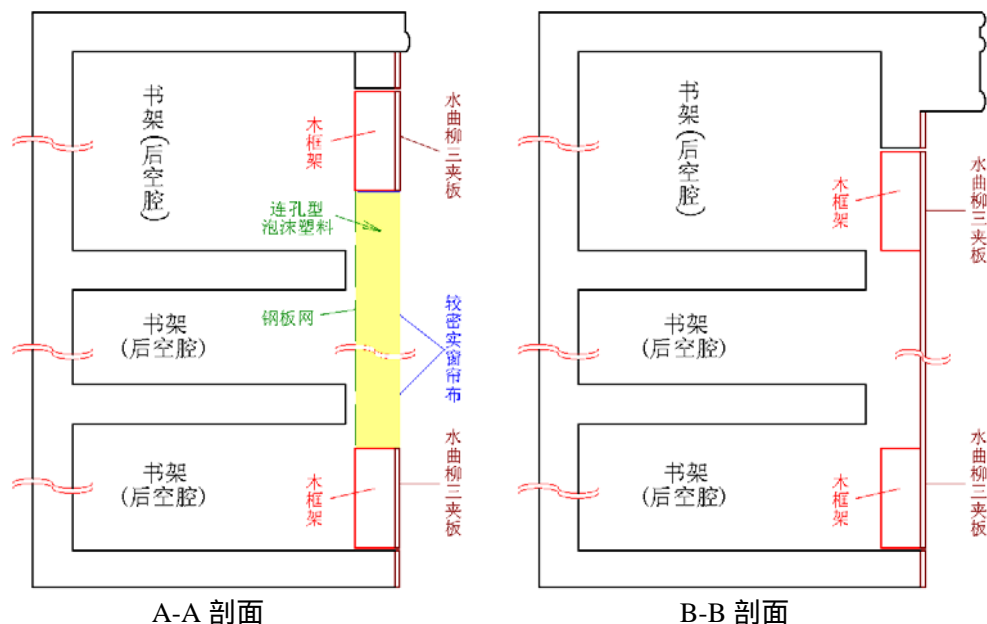


图 4B 吸声书柜剖面示意图

书房的声学和电声学数据

1. 输入已知吸声处理后的书房内部容积： $V \approx 25.2 \text{ m}^3$ ；
2. 输入已知吸声处理后的书房内表面总面积： $S \approx 53.2 \text{ m}^2$ ；
3. 输入设计书房期望设计的混响时间： $T_{60} \approx 0.2 \text{ s}$ ；
4. 小计算器求出书房平均吸声系数： $\bar{\alpha} \approx 0.32$ ；
5. 小计算器求出书房的房间常数： $R \approx 24.7 \text{ m}^2$ ；
6. 期望听者在最佳位置处在重放扬声器的混响半径上, 输入此数据： $r_0 \approx 1.4 \text{ m}$ ；
7. 小计算器求出重放扬声器在室内应该具有的轴向指向性因数： $Q_{so} \approx 4$ ；
8. **这说明扬声器必须设置在两面墙交界处的中央(做木板墙镶嵌在里面)!**
9. 输入所期望的听者在最佳位置($r \approx 1.4 \text{ m}$)处能获得最高准峰值声压级： $SPL_{q-p} \approx 106 \text{ dB}$ ；
10. 小计算器则求出每一个声道的扬声器应该发出的准峰值声功率级为： $SWL_{q-p} \approx 110.9 \text{ dB}$, 小计算器折合成扬声器发出的准峰值声功率为： $W_{Aq-p} \approx 0.124 \text{ W}$ ；
11. 输入本扬声器的声压灵敏度级 $90\text{dB}(1\text{VA}, 1\text{m})$, 计算出标准定义的声压灵敏度： $E(0) \approx 0.63 \text{ Pa}/\sqrt{\text{VA}}$ ；
12. 小计算器计算出声频功率放大器一个声道至少应输出准峰值电功率级： $10\lg W_{Eq-p} \approx 15.9 \text{ dB}$ ；
13. 则计算出声频功率放大器一个声道至少应输出准峰值电功率为： $W_{Eq-p} \geq 39.2 \text{ W}$ ；
14. **现声频功率放大器一声道的输出准峰值电功率为： $W_{Eq-p} \approx 40 \text{ W}$ ，故能满足放声强度要求。**

上述计算运用到的有关公式：

1. 房间混响时间： $T_{60} = \frac{0.161 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha}) + 4 \text{ mV}}$ (s) [中、低频 4mV 可略]
2. 房间平均吸声系数(中、低频)： $\bar{\alpha} \approx 1 - e^{\left(\frac{-0.161 \cdot V}{S \cdot T_{60}}\right)}$
3. 房间常数： $R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$ (m^2)
4. 扬声器在室内的混响半径： $r_0 \approx 0.14 \cdot D_s(\theta) \sqrt{Q_{so} \cdot R}$ (m) [低频时 $D_s(\theta) = 1$]
5. 扬声器在室内应该具有的低频轴向指向性因数： $Q_{so} \approx \frac{r_0^2}{0.14^2 \cdot R}$
6. 扬声器的声功率级： $SWL \approx SPL - 10\lg\left(\frac{Q_{so} D_s^2(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$ (dB)
7. 放大器的电功率级： $10\lg W_E \approx SWL - 20\lg E(0) + 10\lg Q_{so} - 105$ (dB)
8. 放大器的输出电功率： $W_E \approx 10^{\left(\frac{10 \lg W_E}{10}\right)}$ (W)

五、结语

我们亲身聆听了该室的重放效果。重放音乐时，清晰度极高，没有任何声染色的痕迹，音乐中的微小细节能够充分表达，其中有的节目我们是听过的，但原在我们自己家中听不到的许多细节也听到了。播放交响乐时，音色平衡度很好，各频率分量均能表现。管风琴的极低频声，使人感到气浪压身；而纤细的金属敲击声，仍感受十分清晰。声场十分宽阔，感到乐队的摆站范围远远超过房间的宽度。弦乐声十分丰满、自然。声像位置非常清楚，尤其是声像移动时，其具体位置清晰可辨，声像移动顺滑、通畅。在播放人声、说话声时，声音逼真、亲切，歌声甜美、温暖，很小的齿音都能听到，感到说话、唱歌的人就站在眼前，有伸手可触及之感。在这种房间听音乐、听歌曲，可使聆听者受到深刻的艺术感染，这才是真正的艺术享受。

该重放室具有优异的效果，良好的声场设计是最重要的原因，此外还有器材的设计和搭配问题。管教授没有使用市场上的极品器材，他说，廉价物品也可重放出优异的效果。他使用廉价元器件，经过自己设计，自制了扬声器箱和功放，发挥出与众不同的效果。例如，他的中型扬声器箱也采用前向倒相孔设计，外形简单朴素；使用一只 8 英寸低频单元，是当年每只用 13 元购买的河南省南阳一工厂生产的扬声器；而另一只小型高频单元是银笛产品；扬声器箱体使用十分厚实的木板，并加强支撑，抑制发生振动。他使用这些很普通的元件，做出效果非凡的重放系统，该系统低频重放声信号下限频率为 25Hz(-3dB)，在 40Hz 时仍处于幅频曲线的平直阶段。还有，他的功放也是自制的，使用当年街道厂生产的大功率管 3DD8 作功放输出管，前级使用低噪声管，额定输出功率只有 40W，但播放音乐时却没有一点力不从心之感(前面已经计算过，39.2W 就够了)。对各种状态和音量的播放都能应付自如。管教授告诉我们，在他的重放系统内使用了他设计的“速度反馈控制技术”。他把功放和扬声器都看成重放系统的一个局部环节，将扬声器的振动信号反馈到功放输入端，利用反馈环路的控制作用，使重放系统最终的声信号的性能指标得到提高。他没有使用高级的扬声器馈线，使用普通铜质硬线同样可重放出良好的音响效果。