**福建理工大学建筑与城乡规划学院科普动画资源制作**

**2023年9月16日**

目录

[1、人耳是如何听音辩位的 3](#_Toc145786059)

[2、窗户隔声 5](#_Toc145786060)

[3、以毒攻毒--什么是有源降噪 8](#_Toc145786061)

[4、探索噪声地图：揭秘城市中的无声浪潮 10](#_Toc145786062)

[5、三分损益法和十二平均律 13](#_Toc145786063)

[6、让机器不那么吵 14](#_Toc145786064)

[7、怎样使厅堂音质更好 15](#_Toc145786065)

[8、回音壁和三音石 17](#_Toc145786066)

[9、莺莺塔之谜 18](#_Toc145786067)

[10、动物是怎样发声的 19](#_Toc145786068)

[11、耳机使用不当的危害 21](#_Toc145786069)

[12、声学相机的原理和应用 23](#_Toc145786070)

[13、人是怎么说话的 27](#_Toc145786071)

[14、用声音来测量海洋的体温 29](#_Toc145786072)

[15、立体声和环绕立体声 31](#_Toc145786073)

[16、管乐器是怎么吹响的 32](#_Toc145786074)

[17、飞机是怎样搜索潜水艇的 34](#_Toc145786075)

[18、怎样才能挡住声音 35](#_Toc145786076)

**1、人耳是如何听音辩位的**

我们的听觉系统的重要能力之一是可以听音辨位，也就是确定声源的位置。这在生活中的许多情况下都是至关重要的，例如寻找声音目标和躲避危险。但声音的空间属性对于在家庭影院、游戏和虚拟现实的配置中实现真实的声学环境也很重要。

我们如何听音辨位？

我们的听力使用的第一个根据是双耳时间差（Interaural Time Difference)。来自我们正前方或正后方的声音会同时到达双耳。如果声源向左或向右移动，我们的听觉系统会识别出来自同一声源的声音到达两只耳朵的时间是不一样的，或者从另一个角度看，两只耳朵接收到同一个信号的不同相位，相位是声源的频率与声波传播时间的乘积。

我们人类的耳朵识别低音信号的相位差比较灵敏。而高音信号，与头部的尺寸相比，波长相对较短，我们人类的耳朵识别高音信号的相位差比较差。

幸运的是，听觉系统还可以借助另一个判据进行听音辨位：双耳声级差（Interaural levle Difference）。 我们的头部对声波产生阴影和散射，这种阴影效果会随频率上升而加强。这是由于不同频率的声音波长是不同一样的，低音的波长会比较长，我们头部的尺寸与空气中的声音的波长相比较小，阴影效果较弱，高音的波长会比较长，头部产生的阴影效果较强。因此，低音从不同方向到达，左、右耳的声压级相差不大，人耳较难识别，而高音从不同方向到达，左、右耳的声压级相差较大，人耳容易辨识出来。  
 除了声音到达两只耳朵的时间和声级大小差异，我们的耳廓（以及头和躯干）对声音的反射和散射也可以提供听音辩位的信息。 这种信息对于辨别以双耳为对称轴的前后对称位置的声源位置尤为重要。

随着“元宇宙”时代的到来，我们在AR/VR场景中希望有更真实的声音环境，根据双耳听音辩位的原理来重放声音会越来越受重视。

**2、窗户隔声**

对于一个建筑空间如卧室或客厅，其外窗受到外部声场的作用或直接受到物体的撞击而发生振动，就会向建筑空间内辐射声能，于是空间外部的声音通过外窗结构传到建筑空间来，这叫做“传声”。传进来的声能总是或多或少地小于外部的声音或撞击的能量，所以说外窗隔绝了一部分作用于它的声能，这便是“隔声”。

一、外窗隔声性能评价指标

计权隔声量Rw是国际标准化机构ISO规定的单值评价方法，它是将已测得构件隔声频率特性曲线与规定的参考曲线族进行比较而得到的计权隔声量。我国于2019年开始对GB 50118-2010《民用建筑隔声设计规范》进行修订，其征求意见稿将建筑外窗的隔声标准进一步提高，要求临交通干线两侧的外窗其Rw+Ctr的值不应小于35 dB，其他窗不应小于30 dB。

二、如何提升外窗隔声性能

普通窗的隔声，如钢窗，一般安装3mm厚玻璃，隔声性能较接近，精度较好的钢窗能达到25dB，一般的只有20~22dB，当框扇间处理得较好时，钢窗的隔声量可达28~30dB。又如铝窗中的平开和推拉两种窗，平开窗一股采用4~6mm玻璃，框料挤出成型，故精度较高，框 配合较好、使用适当的胶条能获得良好的密封效果，隔声量在28～33dB间。

普通的钢、铝、塑钢窗的隔声性能常常满足不了要求，需要提高窗户隔声量。按照人们通常的认知来说采用较厚的玻璃，或用双层以及三层玻璃是最有效提高窗户的隔声量的方法。然而观察左图可以发现，单层玻璃需要将厚度增加到24mm才满足35dB要求，而对于双层中空玻璃来说，玻璃厚度的增加并未显著提高隔声量。两层玻璃之间的空气层很窄，导致玻璃被密闭的空气严重地耦合在一起，振动方式就像连在一起的单层玻璃一样，空气层地附加隔声量很小，只有20mm以上的空气层厚度才有显著的附加隔声效果。

一种想当然的错误认识是，三层玻璃两道空气层的中空玻璃隔声性能更好，实际上很窄的空气层对隔声没有太大帮助。如下表给出了三玻两腔玻璃以及将中间那层玻璃去掉相同厚度的双层玻璃的计权隔声量以及修正量，可以看出三玻两腔玻璃的隔声性能甚至不如双层中空玻璃的隔声性能好，*R*w+*C*tr的值明显低于双层玻璃3~6dB，这是因为三玻两腔的玻璃中间那层玻璃将空气层分割得更小，不能获得更好的附加隔声量。

为提高玻璃隔声性能，可采用叠合玻璃和夹层玻璃的力法。叠合玻璃即是用两片或三片玻璃叠合在一起允当厚玻璃使用，此时，隔声性能要比同厚度的单片玻璃好，如3mm和4mm厚玻璃叠合后的隔声量*R*w为35dB，而单片6mm厚玻璃隔声量*R*w仅为32dB。夹层玻璃又称为夹胶玻璃。它是以透明薄胶片将两片或三片玻璃粘合在一起，组成厚、重的玻璃。两片3mm玻璃和薄胶片组成的夹层玻璃隔声量*R*w为35dB，两片6mm的为38dB。

事实上想要达到35dB低限要求最有效、最节省材料的方式是采用PVB夹胶结构的同时，错开玻璃的厚度已避免吻合效应。以双层玻璃为例，双层玻璃均采用6.38mm夹胶结构，其*R*w+*C*tr的值仅为34dB，然而将前后玻璃厚度变化为3.38mm和9.38mm即可满足35dB要求。

此外，在两层玻璃之间沿周边填放吸声材料，把玻璃安装在弹性材料上，如软木、呢绒、海绵、橡胶条等，可进一步提高隔声量。窗户的缝隙会显著影响窗户的隔声性能，因此使用时应保证玻璃与窗框、窗框与墙壁之间的密封，还需考虑便于保持玻璃的清洁。

**3、以毒攻毒--什么是有源降噪**

很早就有人想过，既然声音是波动的，能不能另外发出一个声音，和它大小相等，相位相反，把它抵消掉呢?这种朴素的想法就催生了有源降噪技术。

什么是有源降噪技术？

有源降噪技术是一种基于声波干涉原理的降噪技术，通过将噪声与特定频率和幅度的反声波进行叠加，以达到消除噪声的效果。这种技术需要使用一种称为"麦克风"的装置将外部噪音转化为电信号，并通过处理器分析和计算出相应的反声波信号，再通过扬声器发出。

有源降噪技术如何工作？

有源降噪技术的工作原理可以简单地描述为：感知、分析、生成和发射。

感知：麦克风作为感知器件，它可以接收到我们周围的噪声，将其转化为电信号。

分析：DSP处理器负责分析和计算噪声信号的频率、幅度和相位等参数。

生成：根据噪声信号的特征，DSP处理器生成相应的反声波信号。

发射：反声波信号通过扬声器发出，与外部噪声进行干涉，最终消除噪音。

有源降噪技术有哪些应用？

1. 在声源处设置：
2. 用于主动控制挖掘机排气口噪音的主动消声器原型的操作演示；
3. 在履带起重机排气口实施ANC；
4. 在发电机排气口实施主动控制。
5. 在噪声传播路径设置：
6. 中国湖南的一台110千伏电力变压器；
7. 中国桂林一座半封闭建筑中的两台110千伏特电力变压器；
8. 荷兰南荷兰波尔迪克一座变电站的有源噪声控制实施。
9. 用于缓解施工现场噪声的有源噪声屏障；
10. 日本芦屋市的清晨堂沿线公路；
11. 日本长崎市西洪町的43号沿线公路。
12. 在接收者附近设置：
13. 实体房全尺寸开放式滑动窗上的24通道ANC系统；
14. 全尺寸卧室开放式顶部悬挂窗上的4通道ANC系统；
15. 缩小部分开放窗上的5通道ANC系统。

**4、探索噪声地图：揭秘城市中的无声浪潮**

在现代城市中，我们常常感受到各种各样的声音，如车辆的喧嚣、人们的喧闹、机器的轰鸣等。这些声音交织在一起，形成了一个复杂的声音环境。然而，你有没有想过这些声音是如何被捕捉和分析的呢？这就要提到“噪声地图”这个概念。我们将带您探索噪声地图，了解它的制作、应用以及对城市规划和环境保护的重要意义。

1. 什么是噪声地图？

噪声地图是用于显示特定地区环境噪声水平的地图。它通过将声级计（也称为噪声监测仪）布置在城市各处来测量环境中的噪声水平，并将数据转换成可视化的地图。通常，这些地图使用不同的颜色来表示不同噪声水平，从而让人一目了然地了解城市的噪声格局。

1. 噪声地图的制作

噪声地图的制作过程包括以下步骤：

1.噪声信息采集：收集噪声数据需要工作人员使用声级计或者布置相关监测设备在城市中的不同位置采集环境噪声数据。除了噪声源的数据，相关地理形态数据、周围建筑的分布情况、道路情况、噪声敏感区等信息都要进行综合整理。

2.噪声数据处理：采集到的数据会被输入到计算机系统，经过相关噪声模拟软件（CadnaA、SoundPLAN等）的处理，生成整个区域的噪声实测预测值，以便下一步工作。

3.噪声地图生成：数据处理结束后，就可以通过GIS系统结合之前的数据以及地图信息，并根据噪声水平的不同，使用不同的颜色绘制噪声地图。通常，颜色越深表示噪声水平越高，颜色越浅表示噪声水平越低。

三、噪声地图的应用

1.城市规划：噪声地图为城市规划提供了有价值的信息。规划者可以借助噪声地图来识别高噪声区域，从而合理布局不同功能区，例如将娱乐场所、商业区等远离高噪声区。还可以对有噪声污染的区域进行降噪处理，如加装声屏障等，为居民提供更安静的生活环境。

2.环境保护：噪声污染是城市环境问题的四大公害之一，对人类健康和自然生态产生不良影响。噪声地图可以帮助监测环境噪声水平，及时发现和应对噪声污染问题，从而保护居民的身心健康，使得人与自然和谐共生。

3.城市交通优化：交通噪声是城市噪声污染的主要污染源，噪声地图可以揭示交通噪声污染的热点区域，促进交通规划的优化。比如可以采取隔离带、降低车速限制、修筑降噪路面等措施来减少交通噪声对城市声环境的影响。

四、噪声地图的局限性  
噪声地图虽然在城市规划和环境保护方面发挥着重要作用，但也存在一些局限性：

1.精确度：噪声地图的精确度受到噪声监测设备的质量和位置选择的影响。有时候可能因为设备的限制，无法捕捉到特定区域的噪声变化。

2.动态性：城市中的噪声水平是动态变化的，例如交通拥堵、施工等都会影响噪声水平。因此，噪声地图可能需要经常更新以反映最新的情况。配合在线监测系统，实时更新的噪声地图可以解决这一问题。

最后，噪声地图是一项有益的技术，它为城市规划和环境保护提供了重要的参考数据。通过噪声地图，我们可以更好地理解城市中的噪声格局，优化城市规划，保护居民健康，同时减少对自然生态的影响。然而，我们也应意识到噪声地图存在的局限性，持续改进和更新技术，将为创造更安静、更宜居的城市环境提供更大的帮助。

**5、三分损益法和十二平均律**

大家都知道 do、re、mi、fa、so、la、si、do 是一个音程。也许有人知道，高音 do 的频率比低音 do 的频率高一倍，但更少人知道，中间这些音的频率是怎么确定的,而这就是乐律。古代的人已经发现，如果一个音和比它高一点的音之间有一定的关系，声音就和谐，不然就不协调。中国是世界上最先定出这些关系的，所用的方法称为三分损益法。所谓三分损益法就是把一根弦的长度分为 3份，另两根弦的长度在原来弦的长度上分别加上 1/3 或减去 1/3。新的弦奏出的音比原来的音低一个音或高一个音,这三个音就协调。这个方法比西方毕达哥拉斯提出的类似方法还要早。

在明朝万历年间有一个王子叫朱载填，他在世界上首创了十二平均律的理论。他认为在八度间的十二个音(包括半音)的关系是每升一个音，弦长差2倍。在欧洲，一直到18世纪德国作曲家巴赫创作了《平均律钢琴曲集》十二平均律在理论和实践方面才被人们普遍接受。西方的十二平均律很可能是传教士由中国传过去的。李约瑟博士在他的《中国科学技术史》一书中说:“第一个使平均律在数学上公式化的荣誉确实应当归于中国。”

**6、让机器不那么吵**

规定了噪声标准，那么，怎样才能达到这个标准呢?一是降低噪声源的噪声，二是使噪声传到人耳时其强度大大降低。现在先介绍第一种办法。

要降低噪声源的噪声，就是要降低机器的噪声。影响机器噪声的因素有机器的功率、转速、动平衡、撞击、结构共振、齿轮和轴承的公差等。设计和制造不好的机器总是噪声很大，机器设计制造好了，不但噪声小，而且耐用,同时可以节省能源，这是一举两得的事。为了降低噪声，有些机器零件可以用噪声小的材料制造或者在金属板上加上一层使噪声不容易传播出去的阻尼材料。(图 27) 现代汽车的外壳内部往往都涂有阻尼涂料或装有阻尼夹层。汽车排气时如速度快，也会产生很大的噪声。摩托车之所以特别吵，主要是因为发动机排气。若给发动机加上消声器就可以减少噪声。高住宅楼的中央空调噪声也很大，所以一定要在管道中加上吸声材料。发电厂的放气管，也要加消声器。

**7、怎样使厅堂音质更好**

我们前面说了，在厅堂里说话出现的小回声持续时间既不要太长，又不要太短，这样才能听到一个美妙的声音但是怎么才算长，怎么才算短呢?科学家给这些小回声起了一个名字:混响。如果在厅堂里有一个声音在响，这个声音停止了，还可以继续收到声音，一直到声音比原来小60分贝的那段时间，就叫混响时间。有标准了，人们就可以凭经验知道，演奏古典音乐的厅堂，混响时间是多少最好;演奏现代音乐，混响时间要多少最好;做报告，混响时间要多少才好。如果混响时间太长，就要在屋顶、墙壁和地上加吸声材料，使每一次反射时损失的能量多一些混响时间就短了。所以厅堂内要“余音袅袅，不绝如缕”。

另外，第一个反射声也很重要，所以有的厅堂在屋顶上或舞台后加上反射罩。其次就是房间内声音要均匀，墙壁屋顶不能是圆的，不然会有聚焦现象，使有的地方特别响，有的地方听不到，同时不要有不必要的突出的回声。光这样考虑还不够，在建筑设计和声学设计时还要进行模拟实验，一种是用计算机模拟，也就是把厅堂的立体结构输送到计算机里，然后计算机模拟发声，从舞台上乐队或演员位置向各方向发出声线，在房顶、侧壁、地板和房间的装饰物上反射，传到听众席上各个位置，最后由计算机计算出各个席位上听到的信号波形。由这些波形可以看出回声的大小、间隔程度、混响时间等等。然而最好的办法还是使用缩尺模拟，把厅堂和里面的设备都按1/5~1/10 缩小做成模型。演奏的音乐也用计算机把频率按照比例提高，在模型的舞台上放出，在听众席上收录这些音乐，再通过计算机还原成原来的频率，由专家来听.看看是不是好的，有毛病还要修改。

厅堂设计是声学和建筑学的结合，又是科学和艺术的结合，耗资巨大，设计建造错了要改，可不是一件容易的事。为了满足多种用途，如做报告、演奏现代音乐、演奏古典音乐，厅堂内往往装有吸声性能可变的墙板或柱子在需要混响时间长的时候，就把吸声能力小的一面翻出来增加混响时间。在需要混响时间短的时候，就把吸声能力大的一面翻出来，减少混响时间。大的厅堂都装上扩音系统，扩音系统中可以加上控制混响时间的电路，以便按需要增加或减少混响时间。

**8、回音壁和三音石**

天坛圆丘后的回音壁很有名，一人贴近回音壁一端轻声讲话，站在另一端的另一个人只要把耳朵靠近壁面，就能清楚地听到讲话声。

声音为什么会沿着圆形凹面传播呢? 声音由口中发出后，某个角度以内的声波不全发散，一直沿曲面经多次反射传给听者。墙壁非常坚硬平滑，声音在壁上反射几乎没有损失，所以声音很响。这声音是愈靠近墙壁就愈强，离墙壁愈远就愈弱，所以讲话者和听话者都要靠近墙壁。这实际上是一种波导现象，和次声在大气中传播及低频声在海洋声道中传播的道理是一样的。

回音壁除壁面声道效应外，还有声音会聚效应。在回音壁中心处有一块“三音石”，人站在三音石上发音之后, 声音传向墙壁，由墙壁各处反射，各声线聚焦在三音石又传向对面的墙壁，再次反射。在安静的环境下，站在三音石上拍一下手，就能听到连续下降的七八个回声，不信可以去试一试。

**9、莺莺塔之谜**

山西永济市普救寺内有座塔。古代文学名著《西厢记》里生动描述的张生和崔莺莺冲破封建礼教的爱情故事就发生在这个寺庙里，所以，人们就把这座塔叫作莺莺塔。这座塔高 36 米多，共有 13 层，塔身是四方形的，全塔都由青石砌成，各层塔檐成半穹隆形。奇怪的是如果在距塔10 米处击石或拍掌，在 30 米以外就可以听到蛙鸣声:如果在距塔 15米左右处击石或拍掌，听到的蛙声似乎是从塔底发出的。这个奇怪的现象在县志里都有记载，但始终不明白是为什么。经声学家对这座塔进行考察，发现这个蛙鸣声不过是塔檐的多次反射。在地面敲击石块，声音先传到第一层塔檐，被塔檐反射回到收听点，接着声音传到第二层塔檐，声音又被第二层塔檐反射回来，传到收听点，但时间比第一层塔檐反射回来的声音要延后一些，第三层塔檐、第四层塔檐的回声相应地延迟，这样就形成了有一定时间间隔的一连串的回声听起来就像是蛙声了。

**10、动物是怎样发声的**

通常我们总说什么东西叫，其实“叫”是口字边，用口才能说是“叫”。而许多动物，特别是昆虫，不是用口发声的。它们发出的声不应该是“叫”

动物有多个通信通道，一种是化学的，比如留下一些气味;一种是视觉的，比如蜜蜂跳的舞;一种是靠声音，不论黑夜白天，不论远近距离，都可以通信。动物发声也有许多讲究，比如有些鸟儿的求救呼号总是声音大而短促，频带宽，在相当距离内，容易定位;老鹰则不一样，它们发的警告信号总是频带窄且时间较长，这使得它们不容易定位。

非脊椎动物发声的方法各种各样。有的靠空气运动，如蟑螂发出嘶嘶声。昆虫最常见的是靠摩擦发声，摩擦有一定硬度的翅膀的边缘或凸出的齿状物，通过翅的谐振发声。蝉是靠腹部的一块膜上下振动发声的。有的昆虫是靠硬壳敲击发声的。

昆虫发声有各种目的，如求偶、求爱、战斗和战胜示威等等。这些，养过蜷蜂的人大概都很熟悉。此外，还有反天敌捕捉发出的声音，如惊吓声、模仿声、反探测声等.比如蛙类叫得最响，夏天池塘里蛙声震天，也形成一种特殊的夏日景象。蛙叫的时候，空气由肺部经过声门进入口腔和颊囊，不用张口，靠颊囊的振动就可以把声音辐射出去。

鸟类叫得最好听。鸟类发声是靠鸣管。鸟类的鸣声和它们所在的环境有关系。在树深林密处的鸟和在开阔地域活动的鸟的叫法不同。鸟有两套相同的发声器官，可以分别控制，因此鸟类叫起来特别婉转带有神话色彩的小说《镜花缘》里说，歧舌国的人舌头分两片，分别运动，小说中的主人翁之一林之详就想买几只双头鸟儿，叫得特别好听。这可能也是有感而发的吧!鱼类发声主要靠嫖。缥旁边有一排鼓肌，鼓肌敲一次嫖，缥就按自己的共振频率振动，发出频率比较单纯的声音。鼓虾是海底的奏乐能手，它们是靠鳌的开合发声的。

**11、耳机使用不当的危害**

现在青少年听力损失的人群是什么状况呢？拿美国来看，2001年美国第三届全国健康和营养调查研究显示，在受调查的五千多名6-19岁的美国学生当中，有12.5%的人有噪声性的听力损失，而且是永久性的，这个研究结果引起了美国社会的震惊。2005年美国听力联盟又一项研究显示，有15%的学生听力情况比他们的父母还差，这15%的青少年学生听力为什么这么差呢？跟他们使用大音量的耳机有关。可以说耳机的使用已经成为当代青少年儿童听力损失不可忽视的因素。

那么我们国家的情况是怎样呢？最近我们发布了中国听力健康报告第一部蓝皮书，报告中显示的数据令人堪忧，高达19%的青少年听力存在问题，应该引起我们全社会的重视。几年前我们对大学生使用耳机的情况进行了研究，其中有91例的学生经常使用耳机，占比97.8%，可以说绝大多数的人经常使用耳机。耳机用了1-5年的有36人，占比39.6%；用了6-10年的人，占比53.8%，可以说超过一半的人长期使用耳机。大都是使用的是双耳佩戴的入耳式耳机，占比87.6%，而且更多人是在嘈杂的环境下加大耳机音量听音乐，有的学生甚至是连续佩戴4个小时听英语听力。

在我们的研究中发现，长期使用耳机的学生，他们出现了各种各样的症状。症状发生率接近了90%。那都会出现哪些症状呢？

常见的症状有耳鸣、耳闷，出现听力下降。有的学生可能会出现头晕，健忘，注意力不集中，容易疲劳，情绪不稳定。有的学生出现失眠。

在调查中发现，大部分学生，长期使用耳机时间达到5-10年之久。

所以，长期戴耳机、大音量的使用耳机，对我们身体的伤害是非常大的。

**12、声学相机的原理和应用**

对我们的耳朵来说，听到各式各样的声音理所当然，但让眼睛观察声音，似乎就有点“强眼所难”了。更不用说有些声音甚至人耳也难以听到。但在现代科技的加持下，看见声音成为现实。声学相机让声音不再隐秘，以前无法想象的细节尽在眼前展现。

什么是声学相机

声学相机（Acoustic Camera，也被称为声像仪、声学摄像机等）的概念首次出现在 19 世纪末期，由生理学家 J.R.Ewald 研究内耳功能时提出。它是一种用于分析、定位和可视化声源的设备，不仅可以让人知道声音来自哪里，还可以进一步展现声音的特征。

完整的现代声学相机通常由麦克风阵列、摄像头和显示设备构成。麦克风采集声音，经处理后以不同颜色的光斑和摄像头拍摄的画面叠加（投影）并在显示器中显示。

声学相机的工作原理是什么

我们可以将自己的耳朵与麦克风类比。声音以声波的形式传播，因为头部的存在，它到达左右耳的时间存在细微时间差，我们便能依此判断声音来自何处。我们需要至少两只耳朵或两个麦克风才能定位声音 - 声学相机比耳朵更精确，它通常包含 64 至 1024 支组成特定阵列的麦克风。

从麦克风的测量数据中获取声学图像的一种常见方法是使用波束形成（beamforming）技术：通过相对延迟每个麦克风信号并将它们相加，将特定方向的信号放大，而其它方向的信号削弱。之后计算信号功率，并在与方向对应的屏幕像素上绘制出能量图。

波束形成体现的是声信号的空间选择性，主要应用于让麦克风专注于采集你想听到的声音。多支麦克风组成一个阵列，来自这些“相控阵麦克风”的信号通过处理，实现麦克风对一个或多个方向的声音更敏感的效果。

声学相机的发展

直到几年前，声学相机都还只在大型企业出现，因为这些专业工具非常昂贵，维护成本也非常高。但随着 MEMS 数字麦克风和人工智能等软硬件的跨越式发展，声学相机的成本大大降低。更低价格和更高质量的声学相机在市场上涌现。

声学照相机使声音成为能够通过图片以及颜色亮度等观察到的“有形”物体。通过观察颜色的深浅可以直观看出声源的位置所在，通过频率带宽可以分析声源的产生原因。正因为直观和应用简单等特点，声学照相机被广泛应用于汽车﹑家电以及交通等领域的噪声识别，能够协助工程师快速查找故障原因。

声学相机的应用场景

声学相机的应用场景宽泛，这里只介绍最常见的应用。

* 声音定位

声音定位就是找到声源，这是声学相机存在的根本意义。

大多数情况下，我们都是要找到那个令人讨厌的不该存在的声音。它可能是建筑物内部或外部的噪声，又或者来自产品的某个部件。

我们需要根据声音频率选择不同类型的声学相机。低频下，声波很长，一般需要大尺寸麦克风阵列；在较高的频率范围内，较小的麦克风阵列也能很好地工作。

另一个区别是我们希望在何处和如何使用声学相机进行测量。比如某些声学相机只有传感器部分，始终需要连接计算机，并通过计算机软件进行复杂的测量和计算。也有自带屏幕的便携设备，开机即用，适合现场快速测量。

* 噪声监测

噪声监测与声音定位类似。它主要用于城市等繁忙地区。不同之处在于，噪声监测是一个持续的过程。

一个城市总会在某个时刻变得更嘈杂，比如上下班高峰期。我们在周一下午 5 点测得的噪声与周六凌晨 1 点肯定有天壤之别。只有持续监测才能了解宏观的噪声情况。

在城市环境和高速公路上，交通引起的噪声污染也相当严重。通过声学相机，市政或环保部门可以绘制噪声分布图，并根据这些数据采取行动，使城市更加宁静。此外，声学相机还能让超过标准的嘈杂车辆无处遁形。

* 减少局部放电和气体泄漏

工业场地管道中的气体和气体泄漏不仅给维护人员带来诸多困扰，更造成大量能源浪费。传统的检修方法是喷洒特定气体/液体并观察其流动情况，从而判断泄漏位置。而声学相机一次就可以进行大范围的扫描并明确标识泄露位置甚至计算泄露情况，节约大量时间和成本。任何具备基本的移动设备操作技能的人都能进行作业。类似的场景当然也出现在高压输电线路的巡查之中。

* 智能体育场中的球迷互动

此外，还有一个更有趣的应用：智能体育场。通过声学相机观察体育场内球迷的行为并进行互动。例如，可以显示某个区域的声音有多大，并让球迷相互比拼。或者可以将照明系统与声学相机互联，让声音最大的球迷处在聚光灯下，成为真正的焦点。

* 结论

声学相机是一种强大的工具，用于可视化声音，并定位声源。它们有许多应用领域，包括声音定位、声音监测和声音行为的研究。无论是产品开发、建筑设计、还是城市规划，声学相机都能提供有用的见解和数据。相信随着技术的进步，声学相机将变得更加易用和经济实惠，让更多人能够从中受益。

**13、人是怎么说话的**

人每天都说话，但说话的声学道理就不一定每个人都知道了。人的喉部有声带，是两片带状的纤维质薄膜，声带当中有开口，叫声门。呼吸时声带放松，空气可以自由地进入肺部。在发音时神经控制喉部软骨、肌肉运动，把声道拉紧并开启。气流由肺部发出，冲击声门，使它不断开闭振动，气流被调制成锯齿状的脉冲波。声带的振动频率，主要由声带的质量和劲度决定。脉冲波经过咽腔、口腔和鼻腔构成的声道的共振作用产生几个共振峰。唇、齿、舌、聘的位置不同，发的音也不一样，这就是不同的元音汉语拼音中的辅音比较复杂，发清辅音时声带不参与，爆破音(p、t、k)是由口腔中各部位把气流阻塞，然后突然开启形成的，清擦音 (f、s、h) 是气流缓慢通过口腔中某一狭缝摩擦形成湍流而发出的声音。把汉语拼音按照发音部位来分，则有鼻音(如 m)、唇音(如 b) 、唇齿音(如f)、舌齿龈音(如s)、舌齿音(如 d)、上音(如 g)舌-硬音 (如 zh)、舌-软音 (如r)等，俄语中还有舌尖颤音。

在汉语拼音中辅音和元音拼合起来就成为一个音节。

汉语还有音调变化，也就是在一个音节中音调的变化。第一声高而平，第二声向上升高,第三声先降后升，第四声降低。外国人说中国话总不对劲，主要是这四声发得不准。

人类在长期的进化过程中形成完善的发声器官。大脑能通过神经运用自如地控制鼻、口、喉腔这些复杂的共鸣腔发出声音，使人类能进行交流。大脑是怎样控制发声器官的?科学家们在进一步研究这个问题。

可以设想，讲话人先是有思想，然后再通过语言的形式确定下来，并且控制声道口腔说出话来。听话人听见一串语音流，在脑子里分析、理解，从而领会讲话人的思想。

**14、用声音来测量海洋的体温**

海洋占地球表面积的 71%，对全球环境起着重要的调节作用。海洋轻微“发烧”,全球气候就要发生“重感冒”，“厄尔尼诺”气候反常现象就与海洋温度变化密切相关。

1997年的“厄尔尼诺”现象使南美洲一些地区暴雨成灾，非洲一些地区异常干旱，从而造成了严重的经济损失。一百多年以来，人类大量开采和使用矿物能源，使空气中的二氧化碳浓度大幅增加。由二氧化碳等气体产生的温室效应使地球气候变暖，引起南北极冰雪融化，海平面上升，进而引起一系列环境灾害。因此全世界都要控制二氧化碳等温室气体的排放，减少环境恶化给人类带来的灾难。

要控制全球气候变暖，首先要监测气候变暖的情况海洋对气候变化起着调节作用，因此监测海洋温度变化就显得十分重要。然而，整个海洋的“体温”是十分难测量的。若在一个地方放一个温度计测量这一点的温度变化,由于水温随昼夜、季节而起伏变化，需要测量 200 年才能看出海水温度变化的趋势。而影响全球变化的是大范围海洋的平均温度的变化，因此用定点测量温度的办法是无法实现的。这时，海洋声学家就想到用声学方法，利用声波可以在海洋远距离传播这一特点，加上海水中的声速随温度变化很灵敏，通过测量远距离固定点之间的脉冲传播时间，就可以准确计算出大范围海洋的平均水温的变化。根据这个设想，科学家们在1991年1月进行了一次试验(赫德岛试验)，在南太平洋的一个小岛--赫德岛附近的水下放了一个功率为 6千瓦的低频声源(频率为 70赫)在印度洋、太平洋与大西洋的 18 个站位进行接收。它相当于一个全球水下广播电台，最远接收距离达 16000 千米。实验证明用这种办法来测量海洋“体温是可行的。于是，国际上就成立了“大洋声学监测”委员会，进行国际合作，分别对太平洋、大西洋与印度洋进行监测。 这是太平洋声学监测网络图。如图所示，在夏威夷放置一个低频声源，在太平洋周围进行接收，进行为期 10 年的监测，这样就可以测出海洋的温度变化了。

**15、立体声和环绕立体声**

声音听起来有立体感，能判别声源在哪个方位，主要原因是人的两耳分布在头部两侧的对称位置上，能判断声音到达两耳的微小差别，这叫双耳效应。人耳对前方声音的判断精度能达到1~2°

双耳效应主要是靠声音到达两耳的时间差和强度差来决定的。所以在听乐队演奏时，左边的乐器发出的声音先到左耳，右边的先到右耳。于是人们想，如果在乐队左边放一个传声器，乐队右边也放一个传声器，同时把两个传声器收到的声音录在不同的声道上。在放声时用两套放大器，在人的左、右两边各放一个扬声器，左边传声器录的声音由左边的扬声器放出来，右边传声器录的声音由右边的扬声器放出来，听的效果就和在音乐厅里听的效果差不多，也有乐器左右之感，这就是立体声。

1980 年，杜比发明了一个系统，在录音时有四个传声器和四路放大器，经过杜比编码器，把四个声道转换成两个声道记录下来，放声的时候，在人的前后左右安放四个扬声器，两路声音通过杜比解码器分为四路，通过四路放大器送到四个扬声器放出来，中间还有一个声道。这时人听到的声音，不但从前方左、右侧传来，还从后方左、右侧传来，从而有更好的效果。因为声音是从周围传来的，所以叫环绕立体声。

**16、管乐器是怎么吹响的**

管乐器分成笛类、簧管类和号类三种，它们实际上都是靠管子中的空气柱作为共振体的。

经过实验可以知道，一端开口、一端封闭的管子，在声波波长是管长的4倍时共振最强，这是它的基音。波长是管长的 4/3 倍、4/5 倍、4/7倍时都有共振，这是它的第一泛音、第二泛音、第三泛音。

在吹奏管乐器时，比如风琴管，气流通过狭缝进入琴管，在尖劈两边周期性地形成旋涡，它周期性地推动空气柱，使之振动，空气柱的振动又对旋涡的形成起反作用。当共振时，空气柱能恰当地控制从管口进来的气流，作为振动能量的补充。

笛子等吹奏乐器，则是用口吹出的气流在孔的边缘形成旋涡脱落激发管中的共振反过来控制旋涡。

笛子、洞箫等管乐器，壁上开有一排小孔，演奏者控制小孔的启闭可以调节空气柱的固有频率，进而发出不同的音。

那在按同一些孔时为什么能提高八度(一个倍频程) 呢?

原来在吹孔边缘激发的气流旋涡脱落的频率是和气流速度成正比的。但空气柱的振动起控制作用，当尖劈上的气流振动频率和空气柱基音振动频率相近或高不到一倍时，空气柱始终按基频振动，而当流速增加近一倍时，空气柱的振动频率突然提高一倍。所以在演奏笛子和洞箫时，如果用力吹，就能使音调提高一个倍频程

簧类管乐器则靠口上的簧片，用嘴唇吹气让管片振动当簧片的基频接近管中空气柱的共振频率时，管子就共振号类管乐器的激发体是人的嘴唇，上下嘴唇交互作用激发管内空气柱的振动。号出口端的号筒使发出的声音更加响亮。

**17、飞机是怎样搜索潜水艇的**

潜艇用的水面舰艇机动能力较低，所以在反潜艇侦察中，大量使用飞机。直升机上可以安装吊放式声呐，在海面上不高的地方，把声呐换能器放入水中，发射声脉冲探测附近的潜艇。如果没有发现潜艇，飞机把换能器吊起再飞到另一个地方进行侦察，如蜻蜓点水一样。固定翼飞机在搜索潜艇时投下声呐浮标，这些浮标有无线电发射机，可以把水中收到的信息发送到飞机上去。声呐浮标有多种，最简单的是噪声浮标，接收潜艇的噪声。有的噪声浮标还有定向功能。有一种浮标可以发射声脉冲，接收潜艇的反射信号。还有一种浮标使用爆炸声源，从飞机上丢下特制的炸弹，爆炸声在潜艇上的反射信号由声呐浮标接收到，发送到飞机上，通过计算机计算出潜艇的位置。

**18、怎样才能挡住声音**

人们听到街上很吵，关上窗，声音就会小一点。窗愈厚，或者是双层窗，声音就愈小。所以声音通过整个密闭的障碍时，就会变小，但是阻挡的东西如果不是整整一堵墙，而是高一、二米的墙，或是一块大木板，那声音能不能被挡住呢?

实际结果是阻挡能力和障碍物的大小与声波的波长之比有关系。这是因为声波有波动的特性，如果障碍物的大小比波长大很多倍，波就会被反射回来，障碍物后面形成声影区，声音就被挡住了。

如果障碍物的大小是波长的两三倍或更小，那么声波有相当大的部分会绕过障碍物，影区缩小，声波就挡不住了。

在空气中，扬声器如果发出 40 赫的声波，波长约为8 米，用一块 1米大小的木板，就挡不住声波了。

如果墙中间有个洞，声波也会通过洞传播过去或者衍射过去。平时常说“一叶蔽目不见泰山”，这是因为光波波长非常短，用一张树叶就可以把光挡住。如果障碍物很小，光波也能衍射过去。所有的波都有这种现象。

要挡住光，就要使用不透光的材料。同样，要挡住声也要用不透声的材料。但真正不透声的材料是没有的，俗话说“隔墙有耳”，实际上，如果声波在传播中遇到面积很大的隔墙，声波是绕不过去的，但声波可以推动墙壁振动，墙壁的振动就会传到墙壁的另一侧。经过理论计算和实验研究我们知道，墙愈重，阻挡声音的能力就愈大。同样的墙，声音的频率愈高，墙的阻挡能力就愈大。道理很简单，就是声波要通过墙壁，就要先晃动墙壁，墙壁愈重就愈晃不动。

但是，如果墙上有洞，情况就不一样了。和有一定大小的障碍板阻挡声音的情况道理是一样的。如果孔比波长大得多，声波差不多可以直接通过去，如果孔比波长小得多，声波就通过小孔衍射过去。不管怎样，声波总是要通过洞穿过去，在墙的另一侧听到的声音，比没有洞时大得多。