

# 声学入门

(音乐空间)

版本 1.2

Wenger®

您精彩演出的理想合作伙伴

## 新建工程和翻新规划指南

得到数千位音乐教育者、建筑师和管理者广泛使用，Wenger 原版规划指南制定基本设施标准，有助于建立效果出色的音乐教育和演出场所。即使并未规划新建工程，本指南也可以为了解布局、声学、储存和设备等问题奠定坚实基础。



Wenger 是 AIA/CES 注册提供商，与美国建筑师协会继续教育系统保持长期合作关系。

致电联系 Wenger，采购以上指南读物。我们为小学和中学音乐领域分别推出教育指南。



## 以自身丰富经验为基础，广泛采纳读者意见，制定教育和演出指南

在研究音乐教育和提供符合需求的解决方案方面，Wenger Corporation 有超过 60 年的丰富经验。就人员配备而言，在音乐教育和演出设施、声学、储存和设备领域内，我们有行业顶尖的专业人士。为创作资源指南系列丛书，我们充分汇聚自身丰富经验并广泛征求前沿专家，即音乐教育者的意见。历经 6,000 多次调查，数百次访谈和实地考察，我们将教育者日常面临的课题和问题定为重点关注对象。

Wenger 指南所述课题是多方合力而完成，将自身专业知识与著名声学家、建筑师和设施规划师的意见和著作融会贯通，当然还采纳了各位音乐教育者的创新解决方案。北美各地学校众多，课题也随之变化多样。虽然具体设施和情况各不相同，但 Wenger 指南将为解决当前教育主体以及设施所面临的许多问题找到切入点。我们坚持努力更新版本和课题，请参见第 14 页最新 Wenger 列表，查看音乐教育者及其教学和演出场所方面的相关指南。

## 声学入门

音乐学习以听为主。为取得良好效果，排练室、练习室和演出场所环境必须经过专门设计，为音乐声效提供合理支持。就此而言，我们遇到的最普遍、最艰巨的问题往往与声学密不可分，这一点不足为奇。

正因如此，我们才编写这本《声学入门》。力图以通俗易懂的语言解释对音乐场所产生影响的基础声学概念。我们希望音乐教育者、音乐家、学校管理者乃至建筑师和规划师都能通过此信息加深对音乐空间声学问题的了解。我们认为，加深对声学环境可变影响因素的了解有助于诊断问题，最终获得更完善的解决方案。

就本文目的而言，并不是为了提供无所不包的技术资源，详细介绍已经存在的声音物理和声学施工方法，而且我们在第 14 页参考文献和建议读物中也已列出许多优秀著作。而是要帮助您基本掌握对音乐教育和演出空间产生影响的声学概念。

## 本 WENGER 出版物经过 M. DAVID EGAN 教授校审

他是 AIA 声学荣誉顾问以及克莱姆森大学建筑学院荣誉教授。35 年多来，他一直担任南卡罗来纳州安德森市 Egan Acoustics 首席顾问。Egan 教授毕业于拉法耶特学院（理科学士）和麻省理工学院（理科硕士），曾经在杜兰大学、乔治亚理工学院、北卡罗来纳大学夏洛特分校以及华盛顿大学等知名学府任教。他是《Concepts in Architectural Acoustics》、《Concepts in Thermal Comfort》、《Concepts in Building Firesafety》和《Concepts in Architectural Lighting》（两版）等书作者。除顾问、教育和写作外，Egan 教授还是美国声学协会会员、全国声学顾问理事会成员以及大学建筑学院协会 (ACSA) 特聘教授。

## 本声学入门也是 WENGER 其他教育和演出指南的配套文献

中学音乐设施规划指南

音乐设施规划指南

小学规划指南

声学入门

排练空间声学问题及其解决方案

演出空间规划指南

鉴定聆听.....	3
发声.....	3
频率与波长.....	4
音乐声的音域.....	5
吸收.....	5
反射和扩散声音.....	6
音色和泛音列.....	6
立方体积.....	7
音乐临场感和环绕感 .....	7
房间形状.....	8
隔音.....	9
响度.....	10
混响.....	11
明亮度.....	12
温暖感.....	12
其他声学术语.....	13
参考文献.....	14
其他读物.....	14
查找声学顾问和专业人士 .....	14
其他 WENGER 教育和演出指南.....	14

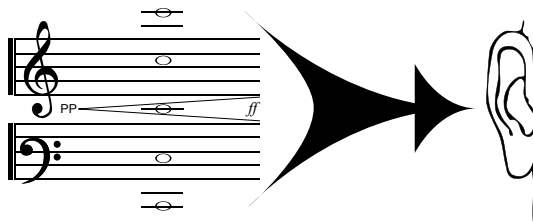
## ► 鉴定聆听

### 概念：

音乐家需要在很大动态范围（从响亮到柔和）和频率范围（从高音到低音）内，清晰且完整地听到并能够鉴定音乐声（包括细微变化）。

### 意义：

为支持鉴定聆听，音乐空间必须提供毫无干扰噪声的均衡声学环境。与演讲不同，音乐声包含音高、音色、频率、分节和韵律等复杂因素。音乐家必须能够听到并分辨这些细微变化。



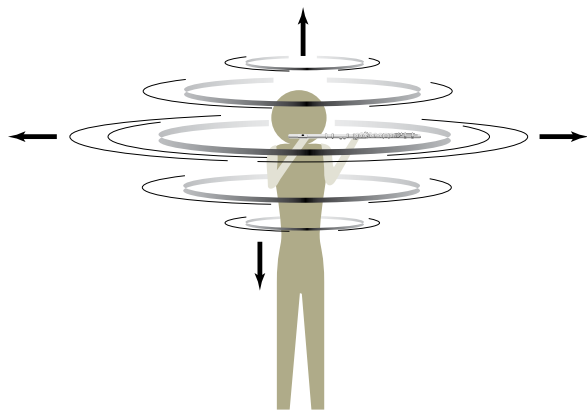
## ► 发声

### 概念：

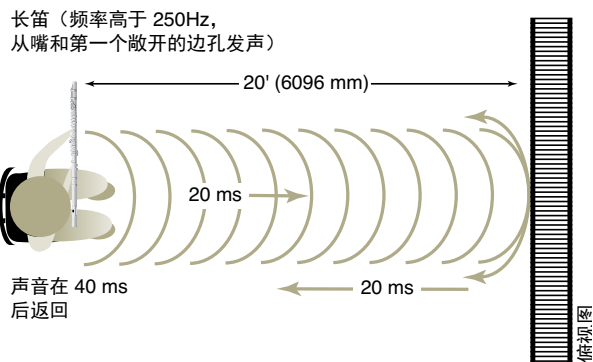
声音从声源辐射发出，以球面波形式通过空气振动传播。声音在空气中的传播速度约为每毫秒（千分之一秒，简称为 ms）1 英尺（1130 英尺/秒），直到遇到障碍物将其反射、吸收或继续传播。

### 意义：

声音发生反射前必须传播的距离及其遇到的表面或障碍物都会对室内音乐声学产生影响。由于人耳和大脑处理速度有限，如果从墙壁和顶棚反射的声音稍微延迟后返回耳中，音乐家更能听清。这也是立方体积足够大的房间，音乐环境条件更好的原因之一。



250 Hz 笛声辐射



墙壁反射声音

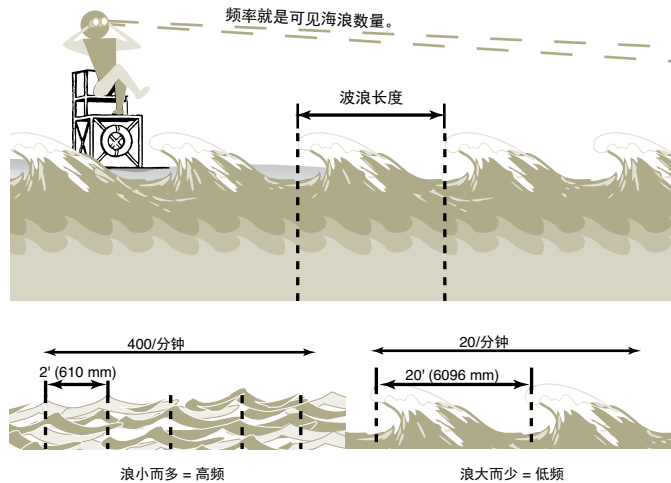
## 频率与波长

### 概念:

频率是我们听到“音高”的可测量属性，以赫兹 (Hz) 为测量单位，表示声波每秒周期数。例如，标准音高“A”产生声波的频率为每秒 440 个周期。我们可以通过海浪举例说明，频率就是远望大海时可以看到的波浪数量。与海浪相似，声波也可以通过波峰之间的实际长度进行测量。重要的是，要知道某些声波的波长数值很大，例如“中央 C”下方的“C”，其波长大约为 8 英尺。

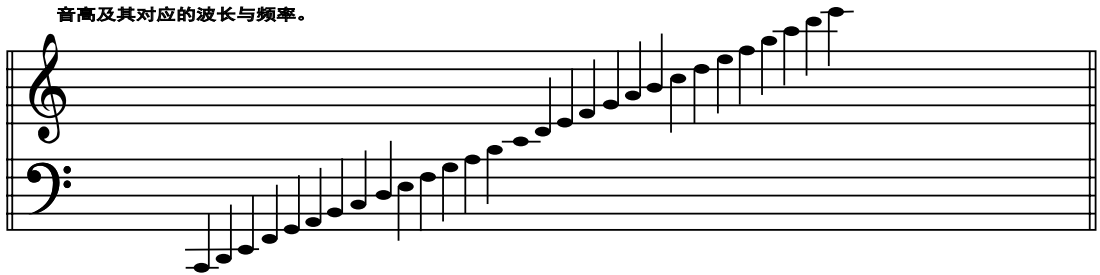
### 意义:

海浪越大，夹带的海水越多，波浪越长。由于大浪不受标杆或凸起的岩石等小障碍物影响，所以需要高大坚固的防波堤才能挡住。同理，声波频率越低，夹带的空气越多，波长越长。较长的波长同样不受小障碍物影响。就室内声学而言，重要的是确定您要影响的声音波长。使用的反射器尺寸和吸收类型应按室内声音波长量身定制。要改变高能大声波，就需要同样大规模处理。



频率与波长

音高及其对应的波长与频率。



声音的物理波长	40.4' (12314 mm)	36.5' (11125 mm)	34.2' (10424 mm)	33	30.5' (9296 mm)	41	27.5' (8382 mm)	44	25.7' (7833 mm)	49	23.1' (7041 mm)	55	20.5' (6248 mm)	62	18.2' (5547 mm)	73	15.5' (4724 mm)	82	13.8' (4206 mm)	87	13' (3962 mm)	98	11.8' (3597 mm)	110	10.3' (3139 mm)	123	9.2' (2804 mm)	131	8.6' (2621 mm)	147	7.7' (2347 mm)	165	6.8' (2073 mm)	175	6.5' (1981 mm)	196	5.8' (1768 mm)	220	5.1' (1554 mm)	247	4.6' (1402 mm)	262	4.3' (1311 mm)	294	3.8' (1158 mm)	330	3.4' (1036 mm)	349	3.2' (975 mm)	392	2.9' (884 mm)	440	2.6' (792 mm)	494	2.3' (701 mm)	523	2.2' (671 mm)	567	1.9' (579 mm)	659	1.7' (518 mm)	698	1.6' (488 mm)	784	1.4' (427 mm)	880	1.3' (396 mm)	967	1.2' (366 mm)	1047	1.1' (335 mm)	1175	1.1' (292 mm)	1318	10.3" (262 mm)	1397	9.7" (246 mm)	1568	8.6" (218 mm)	1760	7.7" (196 mm)	1974	6.9" (175 mm)	2093	6.5" (165 mm)	2350	5.8" (147 mm)	2637	5.1" (130 mm)	2794	4.9" (124 mm)	3136	4.3" (109 mm)	3520	3.9" (99 mm)	3951	3.4" (86 mm)	4186	3.2" (81 mm)
与最近 1.0 相差频率 (Hz)	28	31	33	37	41	44	49	55	62	73	82	87	98	110	123	131	147	165	175	196	220	247	262	294	330	349	392	440	494	523	567	659	698	784	880	967	1047	1175	1318	1397	1568	1760	1974	2093	2350	2637	2794	3136	3520	3951	4186																																																
音符	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C																																															

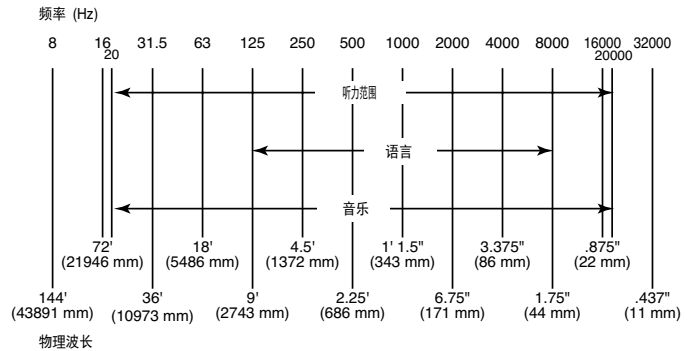
## ► 音乐声的音域

### 概念：

纵观历史，音乐艺术已经探索深入人耳所能听到全部音域。音乐所利用频率范围从低至 20Hz 到高达 20,000Hz，横跨 25dB（分贝）以下至 100dB 以上动态范围。

### 意义：

音乐场所必须经过精心设计和处理，才能为音域广阔的动态范围提供支持。典型教室的设计通常只为支持相对狭窄音域，与此不同，音乐教室则需要经过特殊考量和专门处理。



波长图

## ► 吸收

### 概念：

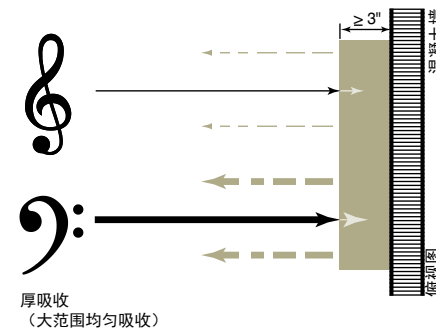
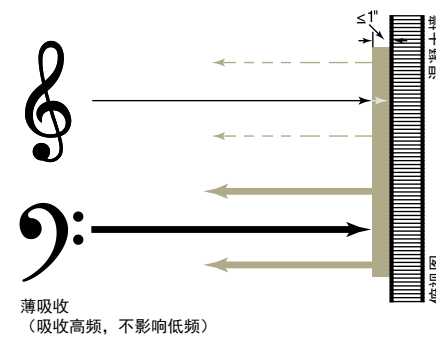
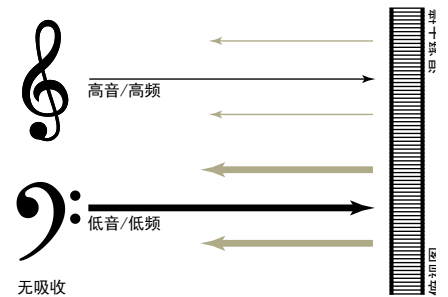
吸收是在声音接触表面材料时发生的声能衰减。混凝土等坚硬表面会将大部分声能反射回室内，吸收极少。声能接触厚纤维表面时，会尝试穿过材料，随着声能沿着空隙传播产生摩擦，大部分能量会被损耗。必须了解吸收材料的物理性质（例如孔隙率和厚度），确定吸收程度及受影响的频率。例如，频率越低，波长越长，能量越大。因此，就需要厚度和表面积更大的吸收材料。吸收音乐声比吸收语音更难，因为产生音乐的频率范围更加宽广。

### 意义：

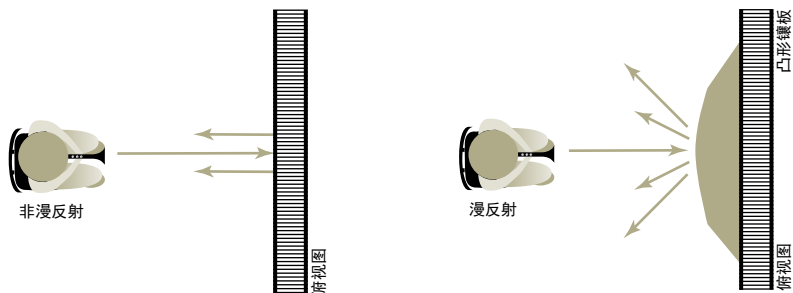
如果房间内基本没有吸收材料，可能导致声音过于嘈杂，很难听得清楚。这种房间也无法用于鉴定聆听，不能提供真正均衡的声音。许多情况下，吸收不良会导致声学异常现象，例如颤动回声，即声能在平行声音反射表面之间反弹时产生的持续嗡嗡声。

使用无效吸音材料将引发我们在现有房间中遇到的一些最常见错误。例如，为控制响度，在墙壁或地板直接铺设较薄的 1 英寸吸音材料或毛毯。虽然它们可以有效吸收语音，营造出“更安静”空间的假象，但这些解决方案只剔除高频和泛音，并不影响中低音乐频率。结果导致房间内嗡嗡作响、音色失真，且环境不利于鉴定聆听。

要创造有效的鉴定聆听环境，声音吸收材料必须与适当布置的扩散材料结合使用。



## ► 反射和扩散声音



### 概念：

反射和扩散概念与吸收相辅相成，而在某些方面又截然相反。声音碰到硬质、密实表面时发生反射，而且是以入射角度反射，就像手电筒光照进镜子一样。物质表面形状使声波散开并改变方向时会发生扩散，这样空间其他区域也能听到声音，就像将同样的光线照在镜面球上一样。

### 意义：

良好的音乐欣赏环境应有充分的扩散效应，才能使整个房间各个角落都能清楚接收所有声音。这样合奏组内每一位音乐家都能听到全组所有声部。而这种效果对观众也同样重要。例如，历史悠久的剧院都会采用奢华的粉刷和装饰打造具有不规则角度和曲线的声学反射表面，从而增强扩散效应。

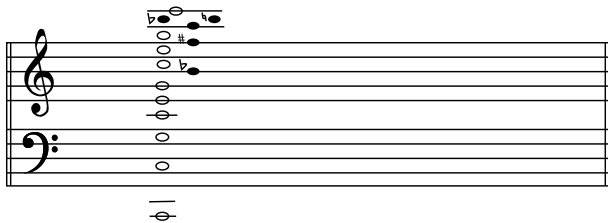
## ► 音色和泛音列

### 概念：

所有乐器都能产生复杂的声音，其中包括主音（基音）以及多种较弱的纯音或泛音。基音及其泛音称为泛音列。基音之上的泛音次数和显著性造就乐器的音色。乐器的泛音列越广，音色越丰富明亮。例如，与长笛相比，双簧管具有更复杂的泛音列。

### 意义：

应用到音乐空间时，太薄而无法均匀吸收大范围频率的吸收材料会“剔除”乐器音色较高的泛音，从而导致声音跑调、音色减弱。

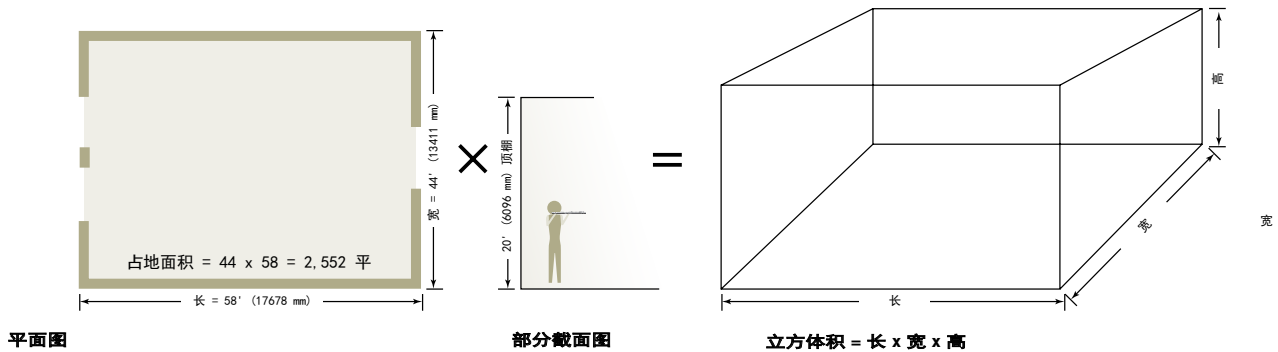


泛音列或潜在泛音产生自基音 c-65Hz。

泛音	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次
长笛	■									
双簧管	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
法国号	■	■	■							

三种常见乐器的泛音次数和显著性

## ► 立方体积



### 概念：

立方体积的计算方法是空间占地面积（平方英尺）乘以顶棚高度（英尺）。例如，面积为 44' x 58' (13411 x 17678 mm)，顶棚高度为 20' (6096 mm) 的排练空间，其立方体积等于 51,040 立方英尺 (44' x 58' x 20' = 51,040 立方英尺)。

### 意义：

无论效果好坏，音乐空间的立方体积都是声学体验的基础。足够大的立方体积有助于消散响度，同时提供足够大的空间，让墙壁、地板和顶棚对声音的反射稍作延迟。这一延迟能让人耳和大脑对声音进行充分处理。这样听众才能听清并鉴定全部音乐声谱。

多大立方体积才够大？ 经验法则				
房间	班级规模	顶棚高度	典型占地面积	得出房间立方体积
合唱团排练	60-80 个学生	16-20' (4877-6096 mm)	1,800 平方英尺	28,800-36,000 立方英尺
乐队/管弦乐队排练	60-75 个学生	18-22' (5486-6706 mm)	2,500 平方英尺	45,000-55,000 立方英尺

理想的排练室大小在一定程度上取决于乐团类型和规模，但要注意为音乐家提供足够大的空间供其走动和演奏乐器，并要根据产生的声音设计足够大的立方体积。

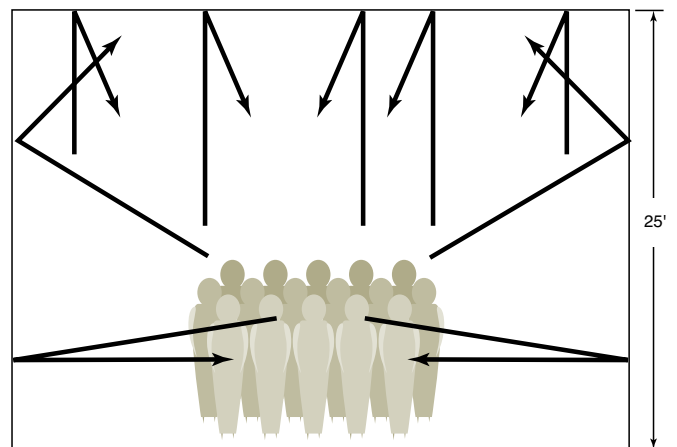
## ► 音乐临场感和环绕感

### 概念：

临场感是音乐家描述空间声学优点的通用术语。如果房间具有“良好的临场感”，则通过墙壁和顶棚产生的早期反射声音将间隔大约 30 毫秒的时间返回音乐家耳中。环绕感是与临场感类似的术语，用于定义大型礼堂和演出空间的特性，其中侧面和后墙侧向反射将在直达声之后间隔大约 80 毫秒返回耳中。对于表演者和观众来说，环绕感是沉浸在音乐之中或被音乐包围的感觉。没有足够大的房间规模和立方体积，无法实现临场感和环绕感。

### 意义：

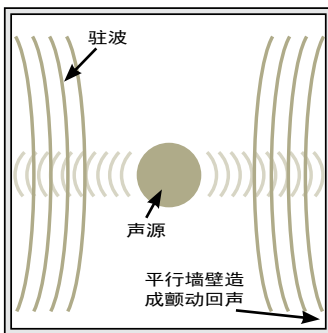
如果音乐家能够听到声音传到“室内每个角落”，便可更加专注于分节、音准，与合奏组内其他音乐家更好的配合。具有临场感和环绕感的房间对演出大有帮助，让声音更加悦耳动听。



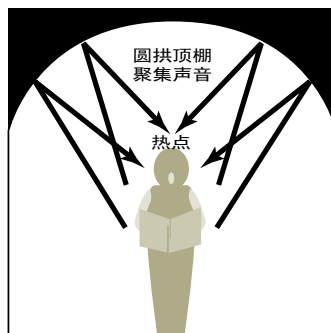
合唱表演者会沉浸在声音之中。声音反射应在 30 - 80 毫秒短暂延迟后到达，才能得到更好的互听效果。



## ► 房间形状



平面图



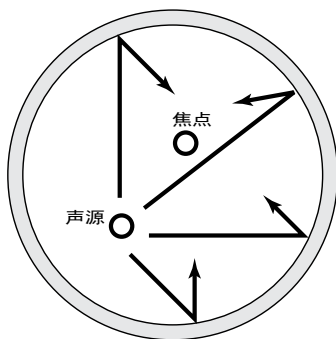
截面图

### 概念：

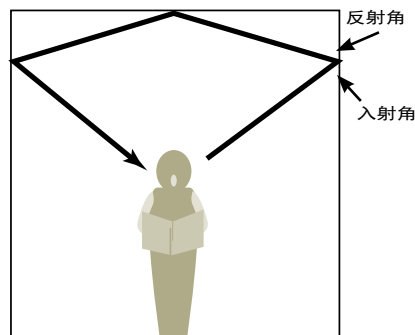
硬质表面反射声音时，材质表面的角度或形状都会对反射方式和最终听到的声音产生影响。因此，房间设计成某些几何形状会导致不良声学现象。

### 意义：

房间形状对室内声学效果有重大影响。未经处理的平行墙壁会产生颤动回声。看似符合声学原理的设计有时会产生问题。例如，凹曲线顶棚和墙壁会将声音聚集到声学“热点”，导致身处其他区域的音乐家根本听不到声音。正方形房间（长度、宽度和顶棚高度相等）会产生所谓的驻波现象，由于房间尺寸与频率波长存在数学相关性，在这样的环境中低频会过于夸张。（请参见第 4 页图表）



平面图（圆形）



截面图（正方形房间）

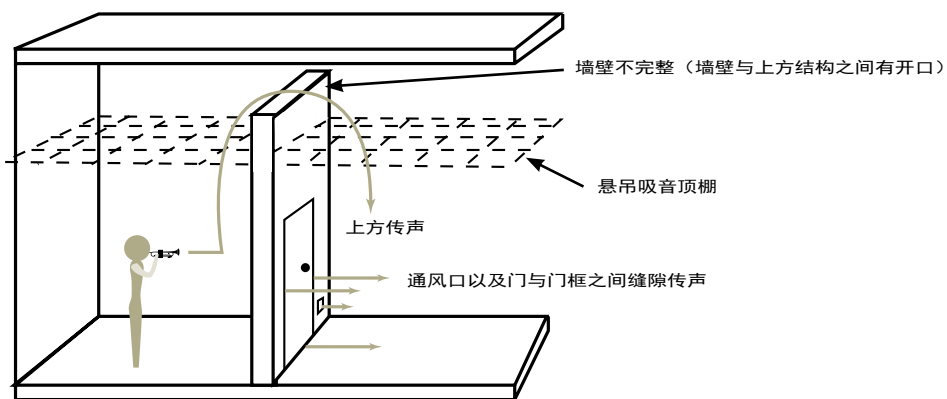
## ► 隔音

### 概念：

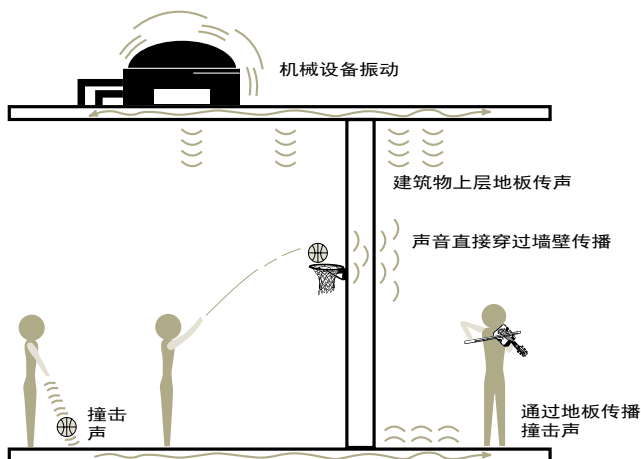
隔音取决于房间结构元素（地板、墙壁和顶棚）对室内产生声音的限制程度，以及对室外产生声音进入室内的阻隔程度。隔音还受到空气传声的影响，空气会通过建筑的缝隙开口渗透传播声音，例如门廊、窗户、电缆导管、通风口和建筑结构缝隙等。隔音还受声音震动传播的影响，这种震动会沿着地板或墙壁等物理结构传播或从其中穿过。

### 意义：

简而言之，一旦隔音不佳，就难以或无法进行鉴定聆听。例如，室内外声音泄漏问题经常导致练习室无法使用。从附近体育馆发出的噪声可能会干扰音乐排练，音乐排练又可能会干扰附近教室或办公室的工作。需要采用高性能隔音结构元素抑制体育馆、机械设备室等处的噪声。



空气在不同空间之间渗透传声



结构传声不仅穿透墙壁传播，还通过地板和顶棚水平传播。

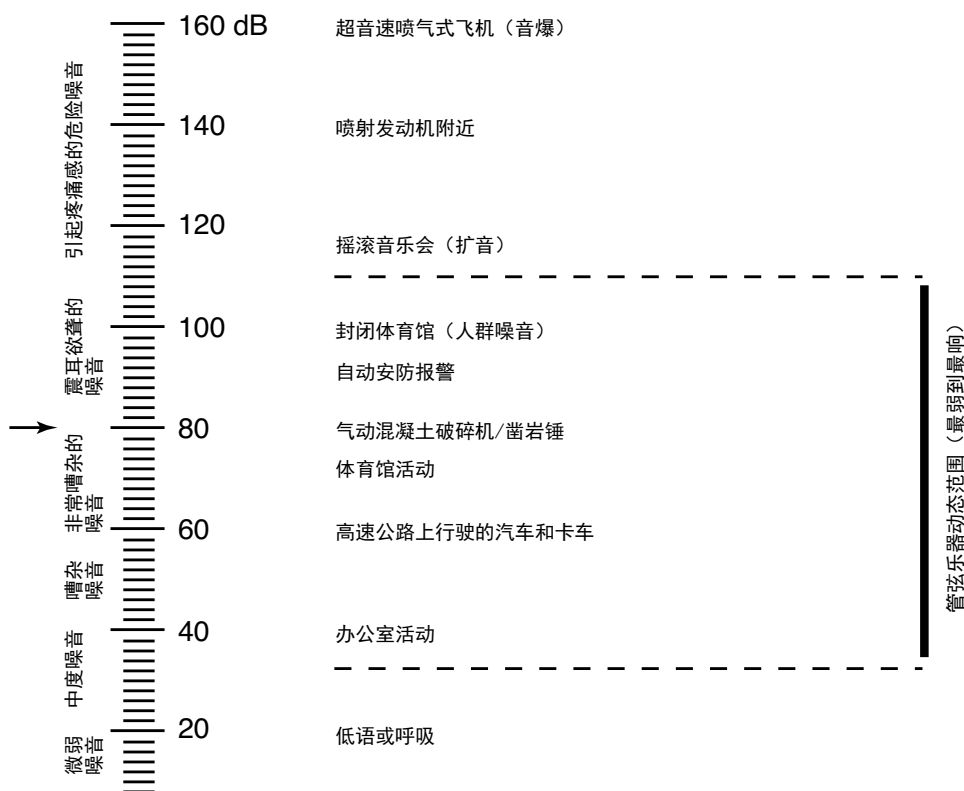
## ▶ 响度

### 概念：

以分贝 (dB) 为单位的声压级是响度的衡量标准。在用于音乐表演的礼堂中，响亮乐章应该令人舒适不刺耳，而柔和乐章应该清晰传达不断声。响度受房间高宽比 (H/W)、座位和听众吸收以及房间立方体影响。

### 意义：

音乐合奏可能发出极大声音，经常超过 100dB。持续暴露于如此高的声压级别之下会造成听众身体不适、短期听力丧失，甚至永久性听力损伤。经过一天音乐教学或演奏之后，如果出现耳鸣就表示听觉疲劳。如果持续多日耳鸣，则说明您所处的环境很可能过于嘈杂。



### 听力健康注释：

我们经常受邀前往非常嘈杂的排练室帮忙。房间太吵导致的最严重问题是，对教育者和学生听力健康造成损害。根据 OSHA 标准，如果没有听力保护，90dB 是工作场所可接受的最高噪声级别。一项独立研究\*报告称，乐队排练室内噪声级别经常超限 7-12dB。该研究还深入探索此现象对音乐教育者的影响。调查结果表明，工作年限与噪音诱发的听力损失率之间存在相关性。显而易见，乐队排练室有可能成为噪声危害极大的工作场所，必须采取措施解决房间太吵的问题。

\*研究人员：亚利桑那大学音乐学院音乐教育统筹协调员 Robert A. Cutietta 及其同事。

摘自《Journal of Research in Music Education》1994 年第 42 卷，第 4 期，第 318-330 页。

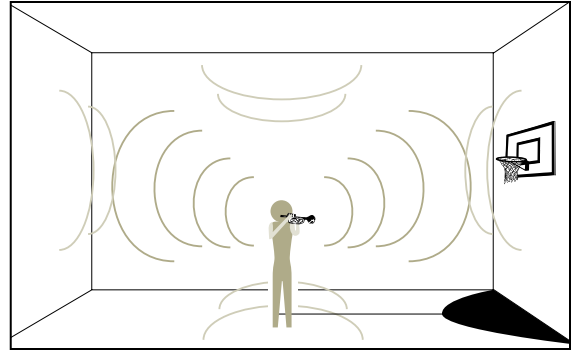
## ► 混响

### 概念：

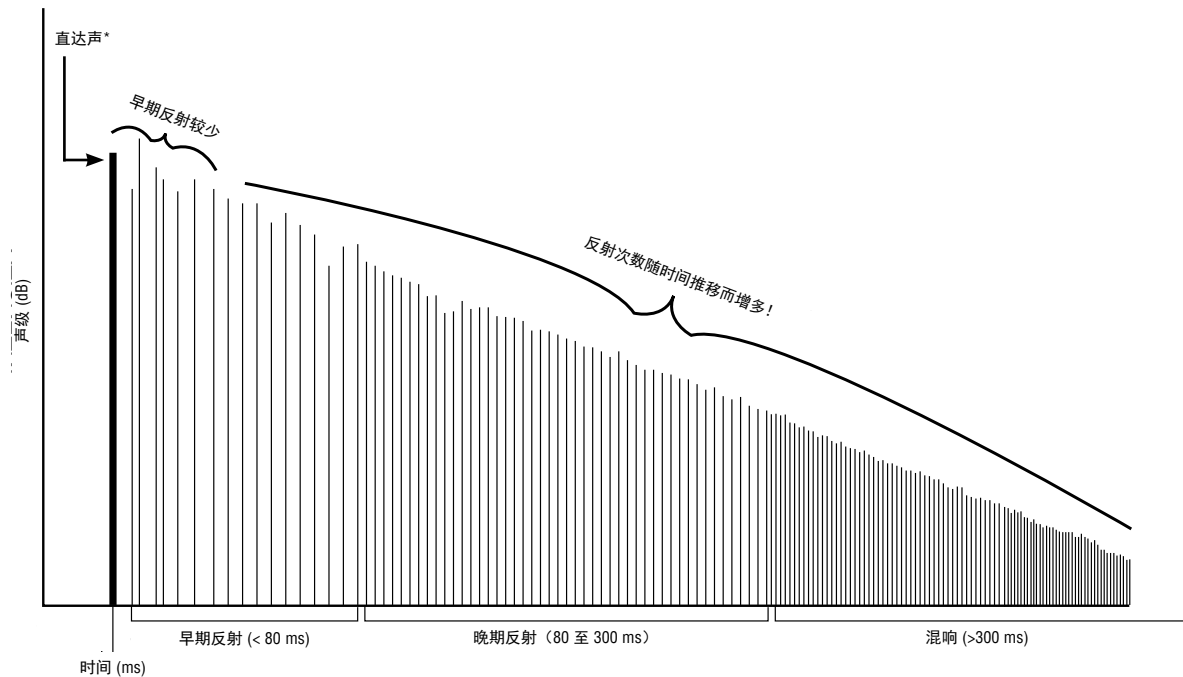
混响是声音在封闭空间中的持久度。混响会对音乐特性和品质产生影响。它以秒为测量单位，时间范围从发声开始，到衰减至听不到为止。混响受房间内表面和房间大小，以及人和座位及其他陈设的吸收影响。例如，餐厅和体育馆通常混响过大，因为硬质表面会使声音在其能量耗尽之前，得到多次增强和反射。

### 意义：

混响过大会妨碍合奏组准确听到解析度和细节。分节和定时变得模糊不清，清晰度急剧下降。



硬质声音反射表面和大立方体会导致混响过大。



礼堂内声音衰减。混响是声音衰减 60 dB 所需时间。

\*声音从舞台传到听众耳中所需时间。

## ► 明亮度

### 概念：

明亮度描述高音频率 ( $\geq 2000$  Hz) 感知响度。如果房间明亮，高频便与低频均衡，而不被其压制。要在礼堂达到明亮度，其内层表面必须巨大厚重。

### 意义：

明亮的声学环境可让音乐家听清起止音，帮助整个合奏组准确执行复杂的韵律乐章。支持更高频率的“明亮”环境还能让人听到乐器或人声的全部音色。在保持明亮度的同时，对空间响度进行声学处理，需要在室内各处精密布置专用声学材料。

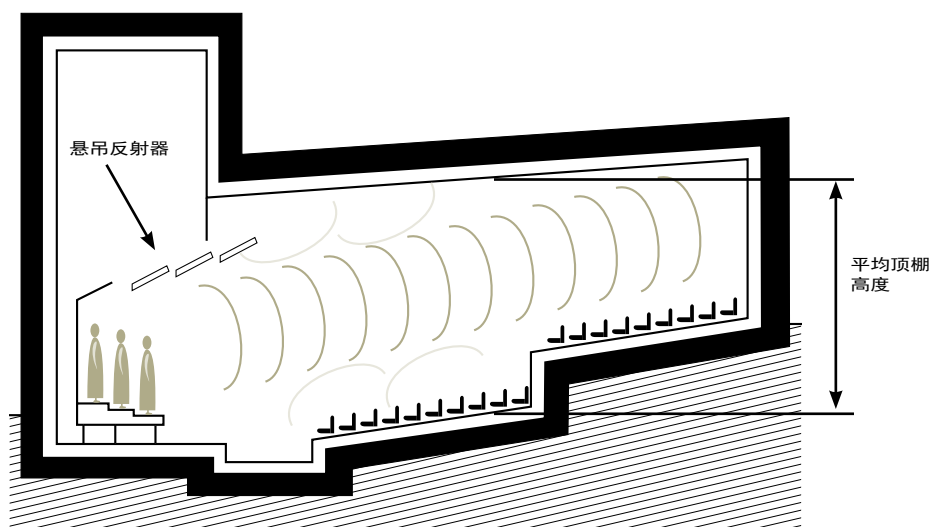
## ► 温暖感

### 概念：

在大礼堂中，温暖感描述低音频率 ( $\leq 250$  Hz) 与中音频率的相对响度。长久以来，研究人员一直使用低音比 (BR) 作为温暖感的度量。BR 等于低频混响除以中频混响。BR 应大于 1.0。美国音乐厅研究小组 (CHRG) 最近调查表明，顶棚高度是影响礼堂低音强度的关键因素。

### 意义：

反射和分散长声波需要有相当大质量与硬度的大块表面。例如，舞台上的大声学罩有助于增强温暖感。一般来说，装有扩散顶棚的礼堂往往低音较弱，而装有台顶反射器的礼堂低音较强。



实心厚重结构和悬吊声音反射器发生低频反射，创造温暖感。

## 其他声学术语

### 主动声学：

又称电子架构或“虚拟声学”。使用电子设备（例如麦克风、扬声器和数字信号处理器）增强空间自然声学效果。良好的主动声学效果还要倚仗正确的室内被动声学处理。

### 回声：

在听到声源发出的直达声后，物质表面又将声波反射到听众耳中，此时即产生回声。例如，在舞台上吹号，礼堂后墙反射会产生分散回声。虽然吸收器和扩散器均有助于消除这种回声，但一般首选扩散器，因为它能保留更多声能。

### 颤动回声：

在声源位于平行的声音反射表面之间时，就会产生颤动回声。效果是长时间的嘈杂声音。例如，在未经处理的室内，敲击小军鼓边缘就会产生明显的颤动回声。

### 掩蔽：

在多余的噪音与音乐家分辨相似或更高音乐声的能力发生冲突或对其造成妨碍时，即产生掩蔽。例如，供气管道送风发出的“嘶嘶”声噪音，便可掩蔽乐声。

### NC：

噪声标准：表示背景噪声等级的单个量化数字。NC 越低，空间越安静。

### 被动声学：

这一术语是指，使用架构（非电子）设计，并对物质表面进行声学处理，以打造声学空间。被动声学主要分为吸收方式和扩散方式，例如几何形状的墙壁和顶棚及其声学镶板等元素就属于被动声学范畴。

### 反射：

声的硬质表面反射类似于光的镜面反射。例如，如果没有声学罩和舞台上镶板等反射表面，声能可能在达到观众位置之前便已消散或被吸收。

### 传声路径：

空气传播：声音通过空气传播，遇到屏障后传到另一侧。

### STC：

传声等级：单个数字评级系统，描述结构元素（即墙壁和门窗等）隔音程度。通常，STC 等级最能代表结构对语音的隔音能力。STC 数越大（实验室测量），结构元素隔音效果越好。

### 结构/侧向传声：

通过与声源直接接触传声，例如与室内风管连接的空气压缩机或与地板接触的钢琴支脚。

### NIC：

噪声隔音等级：与 STC 类似，但要考虑房间周围结构所有组成部分。NIC 越高，房间隔音效果越好。

### NRC：

降噪系数：单个数字，描述 250Hz、500Hz、1kHz 和 2kHz 倍频带平均吸收量（以完美吸收百分比为测量单位）。用于语音范围时，它可比较准确地估计吸收率，但在用于音乐应用时价值有限，因为它会忽略 176Hz 以下和 2825Hz 以上频段。

## 参考文献

《Architectural Acoustics》，作者：M. David Egan；1988年，出版社：McGraw-Hill；ISBN：0-07-019111-5

《Architectural Acoustics》，作者：M. David Egan；2007年，出版社：J. Ross Publishing；ISBN：13: 978-1932159783

《Architectural Acoustics:

Principles and Practice》；编辑：William J. Cavanaugh 和 Joseph A. Wilkes；1999年，出版社：John Wiley & Sons, Inc.；ISBN：0-471-30682-7

《Acoustics》，作者：Charles M. Salter Associates, Inc.；1998年，出版社：William Stout Publishers；ISBN：0-9651144-6-5

Wenger 《中学音乐设施规划指南》

## 其他读物

《Architectural Acoustics:

Principles and Design》，作者：Madan Mehta、James Johnson 和 Jorge Rocafort；1999年，出版社：Prentice-Hall, Inc.；

ISBN：0-13-793795-4

《Acoustics and Noise Control Handbook for Architects and Builders》，

作者：Leland K. Irvine 和 Roy L. Richards；1998年，出版社：Krieger Publishing Company；ISBN：0-89464-922-1

《Auditorium Acoustics and Architectural Design》，作者：Michael Barron；1993年，出版社：E & FN Spon；ISBN：0-442-31623-2

《Concert Halls and Opera Houses: (第二版)，作者：Leo Beranek；2004年，出版社：Springer-Verlag；ISBN：0-387-95524-0

《Sound System Engineering》(第二版)，作者：Don Davis 和 Carolyn Davis；1992年，出版社：Howard Sams & Co.；ISBN：0-672-21857-7

《Music and Concert Hall Acoustics》，编辑：Yoichi Ando 和 Dennis Noson；1997年，出版社：Academic Press Limited；ISBN：0-12-059555-9

《Architectural Acoustics》，作者：Marshall Long；2006年，出版社：Elsevier Academic Press；ISBN 10: 0-12-455551-9

《The Acoustics of Performance Halls》，作者：J. Christopher Jaffe；2010年，出版社：W.W. Norton Company, Inc.；ISBN：978-0-393-73255-9

《Deaf Architects & Blind Acousticians?

A Guide to the Principles of Sound Design》，作者：Robert E. Apfel；1998年，出版社：Apple Enterprises Press；ISBN：0-9663331-0-1

## 查找声学顾问和专业人士

联系： 美国全国声学顾问委员会 (NCAC)  
9100 Purdue Road, Suite 200  
Indianapolis, IN 46268  
(317) 328-0642 传真: (317) 328-4629  
网站: www.ncac.com

联系： Wenger Corporation  
555 Park Drive  
P.O.Box 448  
Owatonna, MN 55060-0448  
1-800-733-0393 传真: (507) 455-4258  
网站: www.wengercorp.com

## 其他 WENGER 教育和演出指南

中学音乐设施规划指南

音乐设施规划指南

小学规划指南

声学入门

排练空间声学问题及其解决方案

演出空间规划指南

Wenger

JRCLANCY

GEARBOSS

© 2018 Wenger Corporation  
USA/2-18/200/WLT0055C



**WENGER CORPORATION** 电话 800.4WENGER (493-6437) 全球 +1.507.455.4100 | 部件与服务 800.887.7145 | 加拿大办事处 800.268.0148 | [wengercorp.com](http://wengercorp.com)  
555 Park Drive, PO Box 448 | Owatonna | MN 55060-0448

**JR CLANCY** 电话 800.836.1885 全球 +1.315.451.3440 | [jrclancy.com](http://jrclancy.com) | 7041 Interstate Island Road | Syracuse | NY 13209-9713

**GEARBOSS** 电话 800.493.6437 | 电子邮件 [gearboss@wengercorp.com](mailto:gearboss@wengercorp.com) | [gearboss.com](http://gearboss.com) | 555 Park Drive, PO Box 448 | Owatonna | MN 55060-0448