

规划指南

（演出空间）

Wenger®

您精彩演出的理想合作伙伴

教育和演出指南

在音乐教育和音乐演出空间研究领域，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、储存和设备方面，我们都有业内顶尖的专业人才。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，我们将教育者和音乐家日常面临的课题和问题定为重点关注对象。

Wenger 免费资源指南所述课题是多方合力完成，将自身专业知识与著名声学专家、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。北美各地学校和设施众多，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，请参见下文查看最新列表，查看 Wenger 为音乐教育者及其教学和演出场所提供的指南。

W E N G E R 配套读物

声学入门

解释对音乐场所产生影响的基本声学概念。

排练空间声学问题及其解决方案

介绍音乐教育者在其排练场所面临的最常见声学问题，并为解决或在最大程度上减少此类问题提出解决方案。

中学音乐设施规划指南

重点介绍要设计效果出色的音乐套间，需要考虑哪些关键要素。

小学音乐规划指南

详细说明如何从头开始打造完美的音乐设施。

运动设施规划指南

针对校内储存空间要求最特殊或者比较特殊的运动项目，就相关必要条件提供建议。

致电联系 Wenger 采购以上指南读物。



目 录

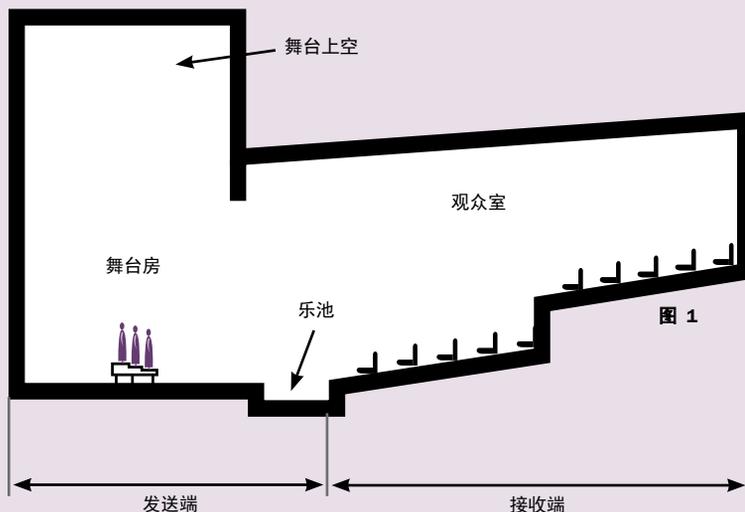
演出空间概述.....	3
礼堂.....	4 - 9
乐池.....	10 - 11
兼作食堂的礼堂.....	12 - 16
体育馆.....	17 - 23
室外.....	24 - 26
音响系统.....	27 - 29
附录.....	30 - 34

所有音乐教育者都明白有辅助作用的声学环境对演出成功与否至关重要。演出空间种类繁多，包括音乐厅、大厅、多用途体育馆和兼作食堂的礼堂和室外环境等。无论您拥有华丽的礼堂，还是需要在排练之前整理运动器材的体育馆，都有可能面临不太理想的演出空间。Wenger 制作本指南的目的是为了向您介绍，如果能让这些空间提供更多音乐支持，有哪些选件可以采用。

本指南按照演出环境划分章节：

礼堂 乐池 体育馆 兼作食堂的礼堂 室外

每一章节都会提供舞台区域（或“发送端”）声学问题和观众区域（或“接收端”）声学问题的解决方法。任一区域的问题或缺陷都有可能影响演出的效果（参见图 1）。



舞台房——“发送端”

应优先考虑产生声音的区域，从而帮助音乐家听见自己和彼此的声音。在每一章节，我们都会首先解决“发送端”的问题，列举一些典型舞台声学挑战和建议的解决方案。当音乐家可以听到自己和彼此的声音时，他们可自信地掌握定时、分节和音准等音乐技巧，从而使演出更好。

观众室——“接收端”

我们建议聘请一位声学专家来改善礼堂内音乐演出接收端的声学效果。按照定义，一场演出需要观众。观众室就是表演者所发出声音的“接收端”。每个观众空间都存在特定挑战，我们将在本指南中解决这些挑战。

虽然专用音乐会或音乐厅通常是音乐演出的最佳场所，但这类设施很少建于教学设施内。集剧院到音乐厅等各种功能于一身的多用途大厅是校园最常见的礼堂。这类设施空间通常按照舞台剧院设计，可以随演出类型的变化而改变。其典型特点包括舞台上空和索具系统设计，可以装载演出所需的灯具、声学镶板、幕布和舞台布景。伸展式舞台和乐池也是常见的特点。今天我们将看到众多有别于传统舞台剧院的多用途区域创新设计。

成功的多用途礼堂具有以下特性：

- 声学罩用于加强舞台和观众大厅声学效果。
- 声学云和镶板用于支持观众大厅声学效果。
- 顶棚高度能够提供足够的立方体积以实现所需的混响感。
- 侧墙形状适合，能够向观众侧反射声音。
- 结合各种方法调节舞台上和观众大厅的声音强度和混响感（例如可以调整吸收和连接体积）。
- 足够安静，防止侵入噪音干扰演出。周围结构能够隔离相邻空间和室外的多余声音。礼堂所用的 HVAC 系统不产生干扰噪音。

舞台区域

大多数礼堂中，舞台区域和观众区域在舞台开口隔开。这种设计非常适合戏剧表演，但会对音乐演出造成一定的声学挑战。舞台上空空间悬吊幕布、灯具和布景，会吸收大量声音，影响声学效果。（参见图 2）

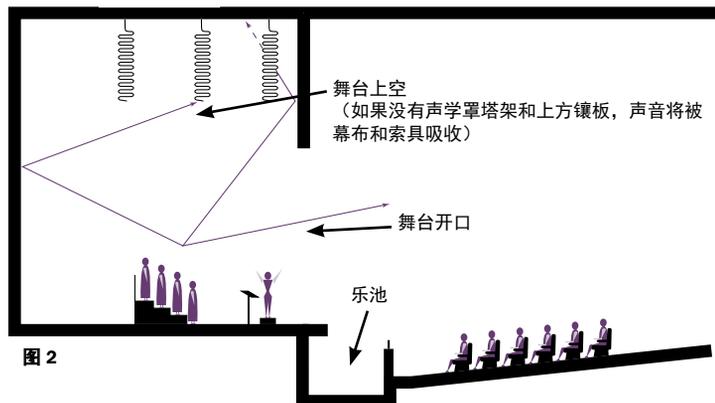


图 2

声学罩

礼堂中，声学罩连接舞台和观众大厅。让表演者能够更清楚地听到自己和远处乐器的声音。声学罩可以布置在舞台上，从而对演出的音乐风格提供最佳支持。使用声学罩：

- 改善混响并通过减少舞台声音的吸收（例如幕布、布景或小道具）保留声能，并在声学上连接舞台区域和观众大厅。
- 能在许多座位位置增加超过 3 分贝的声音强度（约等于演出团体规模翻倍）。根据《美国声学协会学报》(Journal of the Acoustical Society of America) 发表的结果，舞台声音改善效果更好，达到 5 分贝以上。
- 可以在表演者周围加装厚重边界表面并为观众提供上方反射，加强温暖感。
- 在表演者之间散射声音可以促进台上的相互沟通（合奏）。
- 为表演者提供早期反射（不超过 30 毫秒延迟）可以促进音乐临场感。
- 为演出提供引人入胜的美观背景。

表演者周围的声音反射罩塔架和上方镶板对于实现适当的声学效果至关重要。通过索具系统将上方镶板或声学云悬吊在舞台之上。声学罩塔可以架置于舞台地板上，形成包围表演者的后墙和侧墙（参见图 3）。

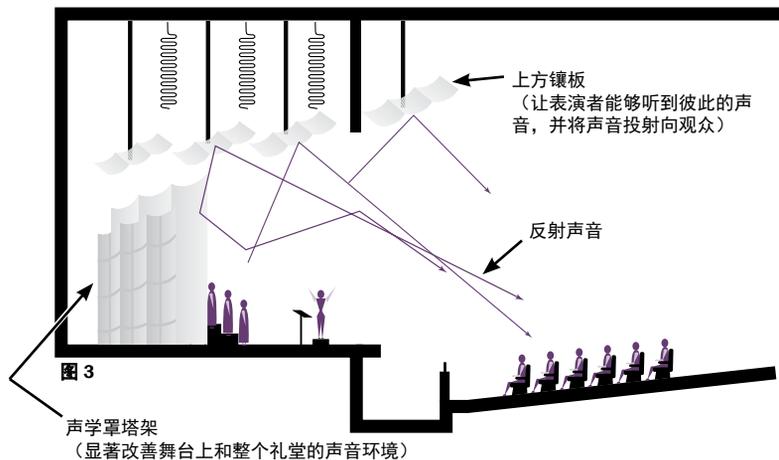
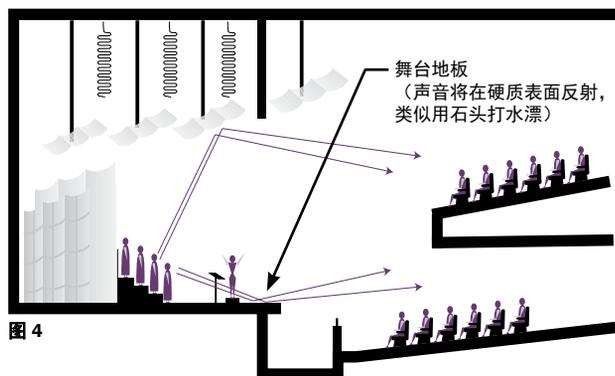
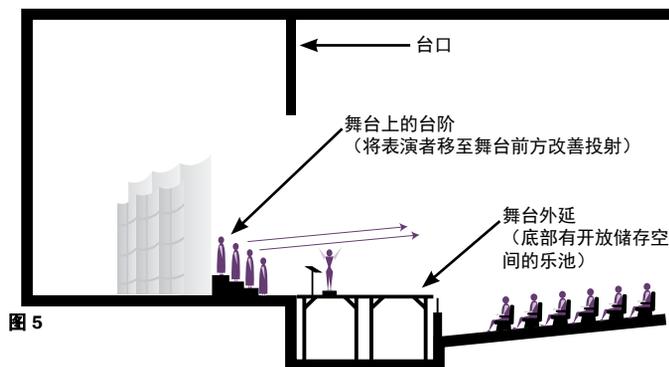


图 3

如果使用上方镶板提供反射，就能够将表演者安排在舞台后部。这样也能够充分利用表演者前方硬质地板表面的反射效果（参见图4）。

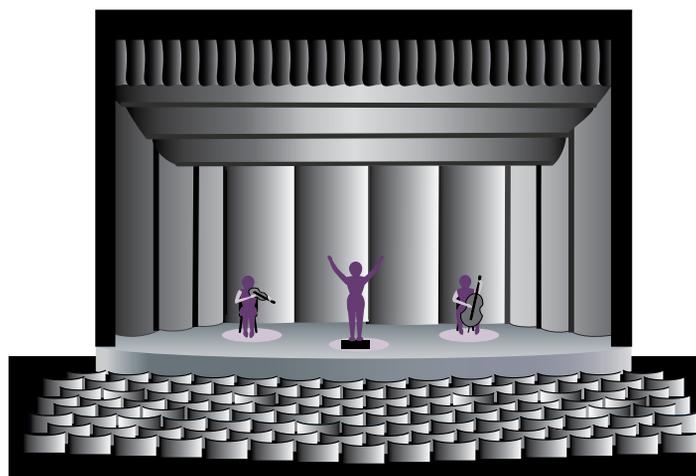


如果没有上方镶板提供反射，则可以使用舞台外延并将表演者移至舞台前部（参见图5）。



务必注意如何安排舞台开口底部的表演者。不要将团体的一些人安排在开口前方（无上方反射镶板）而另一些在开口后方，因为这样会导致声学效果迥异和扭曲。

乐队或管弦乐团在舞台上被声学罩包围时，某些乐器可能会过于响亮。要改善声学效果，可以移动声学罩塔架，使其彼此稍微分开，从而在声学罩后部释放部分声音（参见图6）。



有塔架和上方镶板的全舞台声学罩是在镜框式舞台上进行音乐演出的理想解决方案。这两种元素能够共同为舞台创造“混音室”，并帮助向观众反射声音。

建议 - 合奏

合奏

对大多数人来说，“合奏”一词仅仅意味着一群音乐家共同演出。然而，音乐教育者用这个词描述一组协调、平衡的混合声音。结果类似于美国硬币上的拉丁格言 E pluribus unum——合众为一。实现真正的合奏不只是有效排练和个人练习的结果。音乐家必须能够听见自己和彼此的声音。

声学环境应提供有益的多方向反射和较宽频谱音乐声的混合，从而满足音乐家的聆听需求。大多数学校演出空间都需要使用适当的设备和声学处理加强声学质量。发奋练习或天资聪颖都无法克服不良声学环境的影响。

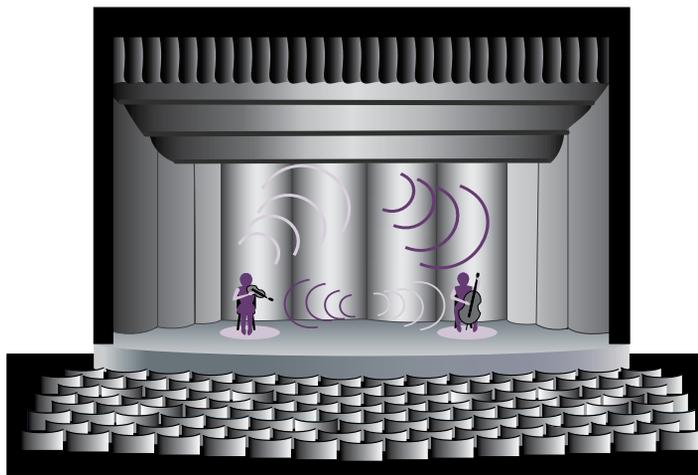


图 7

如果预算受限，无法安装全部舞台解决方案（包括上方镶板和塔架），我们建议从上方镶板开始。封闭舞台上空区域能获得最佳的声学优势。未来预算允许时，再补充塔架。

台上声音会在舞台上空徘徊，同样的，观众区域高顶棚也会成为类似的声阱。由于顶棚装有大型通风管道、灯具和窄道，所以进入这一上方区域的大部分声音（尤其是高频）将不会反射回观众区域。

而悬挂在观众室上方的反射镶板或“声学云”会将部分声音向下反射回观众区。然而，与舞台上更坚实的声学罩不同，这种镶板有一定间隔，会允许声音进入镶板上方区域。随后此区域的反射会加强混响感并给观众带来空间感和声学环绕感（参见图 8）。

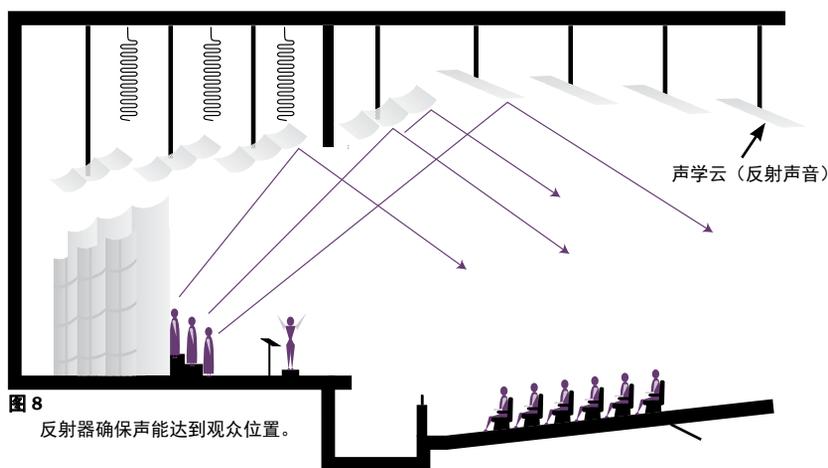


图 8

反射器确保声能达到观众位置。

观众区域

声学云

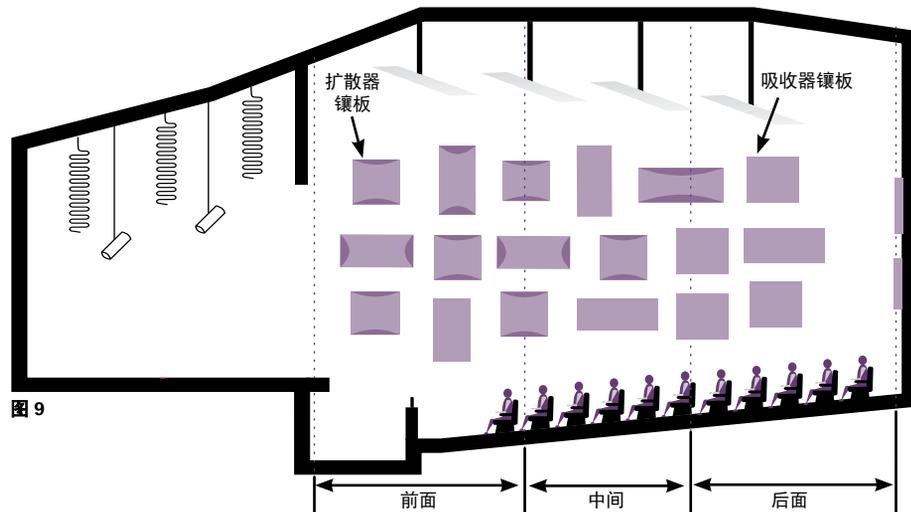
声学镶板

声学设计专业人士通常在礼堂前三分之一处的墙壁上放置扩散器镶板并将镶板悬挂在观众上方。这些镶板会将声音投射向全部观众。

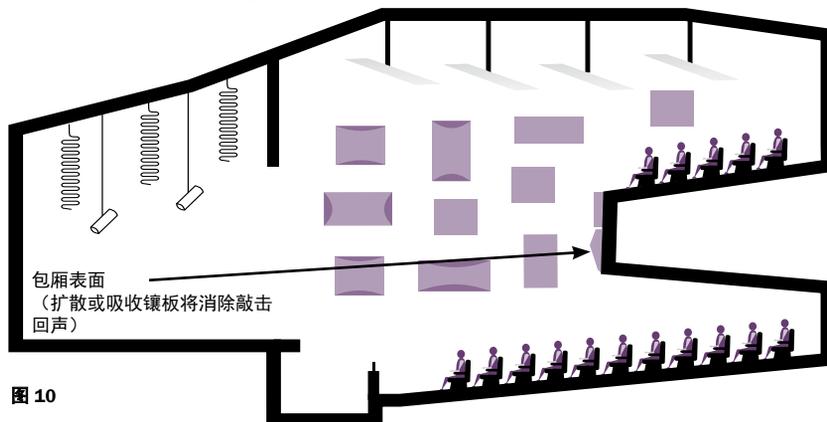
一般建议在各侧墙壁的中间三分之一处结合使用扩散器和吸收器镶板。

侧墙后三分之一部分应主要覆盖吸收器镶板（取决于所需混响目标）。

应根据混响目标对后墙进行吸收处理，以此消除任何强反射或调整方向向上或向下反射。如果房间非常“活跃”，则所有镶板均可采用吸收材料。如果房间非常“沉闷”，则所有镶板均应采用扩散声音材料。其他情况酌情结合使用吸收和扩散作用镶板（参见图9）。



如果包厢表面为大平面或凹面，则可以倾斜表面材料或安装扩散或吸收作用镶板（取决于观众室的声学效果）。如不经过适当处理，包厢表面可能会集中声音并产生恼人的“敲击”回声（参见图10）。



敲击回声是平面或凹面反射的离散高频回声。您可以急促大声地鼓掌，仔细听回声，检验是否有敲击回声。

建议

在您评估礼堂的用途时，应考虑几个声学要求。如果礼堂除了用于音乐表演之外，还用于演讲和放映电影，则与纯音乐用途相比，必须增加更多吸收。例如，在演讲用途比较重要的场所，中频混响时间应低于 1 秒，以免给声音清晰度带来不利影响。若要声音洪亮清晰，A/V 或电影配乐通常需要更低的混响时间。这两种情况都需要大量吸收效应，但音乐表演需要更长的混响时间，而过多的吸收将削弱音乐表演的强度。声学顾问可为您提供改变声学效果的方法建议，从而解决多种要求之间的冲突。

使用声音反射器和扩散器

下面是使用声音反射器和扩散器方面的一些建议：

- 若要增强声乐，可以使用带倾斜平面或适当凸面（曲率半径 20 英尺）的声音反射器，将声音反射到中间和后部座位区域的听众（声学顾问应在剖面图上使用比例模型或射线图来指明反射器的最佳位置和方向）。
- 确保反射器的表面光滑。肋条的深度或其他表面起伏不应超过半英寸。
- 若要增强音乐，需要确保反射器的表面具有声音扩散元件或其他显著表面调节装置。
- 声音扩散形状包括：凸形、鸥翼形、角锥体和不同深度的井阵列。
- 避免凹形，因为它们会集中而不是均匀扩散声音。
- 声音反射器和扩散器应使用硬质表面材料制作，其声音吸收系数在 2000Hz 时必须低于 0.10（例如木头、石膏板或丙烯酸塑料）。面板应具有良好支撑以保证刚性。

隔音

侵入的声音可能干扰排练和演出。应消除所有声音泄漏。在现有演出空间中，仔细检查所有门窗。检查门周围的密封条，尤其是后台区域。如果没有密封条，或者密封条损坏，则要进行更换，让门在关闭时不透气。如果演出空间有连接室外的门或窗，隔音会特别困难。必要时，将其更换为高隔音级别的设备。

隔音原则

- 整体式结构，例如砖石墙壁或与钢立柱相连的石膏板，如果很厚重，则可以隔离声音。使用厚重砖块而不是轻质砖块，多层石膏板而不要只用一层。
- 通过“解耦”墙壁的相对层改善隔音。使用独立的立柱排或弹性连接来支撑石膏板。
- 将吸音纤维材料置于墙壁和顶棚内的空腔气室内，可降低空腔内的声音累积，从而改善隔音。

乐池狭小、黑暗且通常四处受限，构成各种各样的演出挑战。除了正确结合下述吸收和扩散方法外，音响系统在克服声学挑战上也可以发挥重大作用。传统舞台剧院中，乐池的三分之一或更大部分通常处于舞台悬挑下方。声学上，这样的演出空间对音乐家来说并不友好，而且投射向观众大厅的音乐效果可能很微弱。

您的首要任务应该是处理乐池本身，让这个空间可以提供良好的合奏条件。其次，为了充分向所有观众区域投射声音，需要使用音响系统。在乐池各处放置麦克风，并在舞台上悬吊扬声器阵列，可以更好地向整个观众大厅投射适当强度的平衡声音。为了让音乐家在乐池中可以更好的接收彼此的声音，可以使用入耳监听系统提供更高水平的支持和舒适性。声学或戏剧顾问可以帮助您设计符合需求的系统。

考虑因素

乐池是极具挑战的演出空间。这里的舞台悬挑不足，乐池墙壁不够封闭，难以进行适当合奏。在未经处理的乐池中，声音将被困住，并在狭窄空间中聚集。确保乐池足够大。还要考虑根据声学家的指导在乐池中使用可调节的装置，例如挂在轨道上的可拆卸面板或幕布。

此外，声音通常会向上传播并传到观众头顶以上空间。如果不适当处理顶棚，多数声音都会丢失，使舞台上和乐池中的声级之间不能达到平衡（参见图 11）。

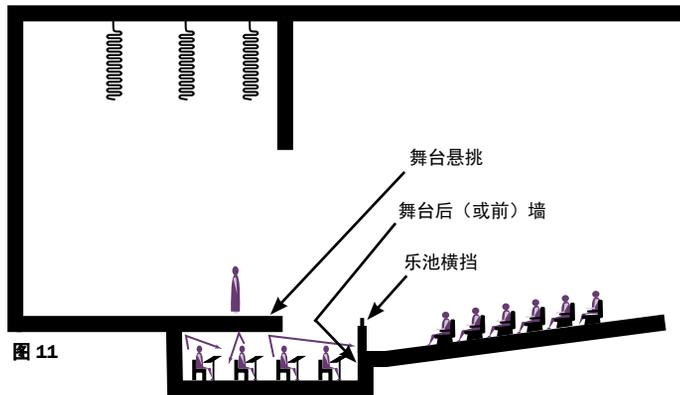


图 11

建议

精心设计吸收器和扩散器镶板，配合使用改善乐池声学效果。吸收器镶板最好置于后墙和部分侧墙上。扩散器应置于前墙和侧墙余下部分（参见图 12）。

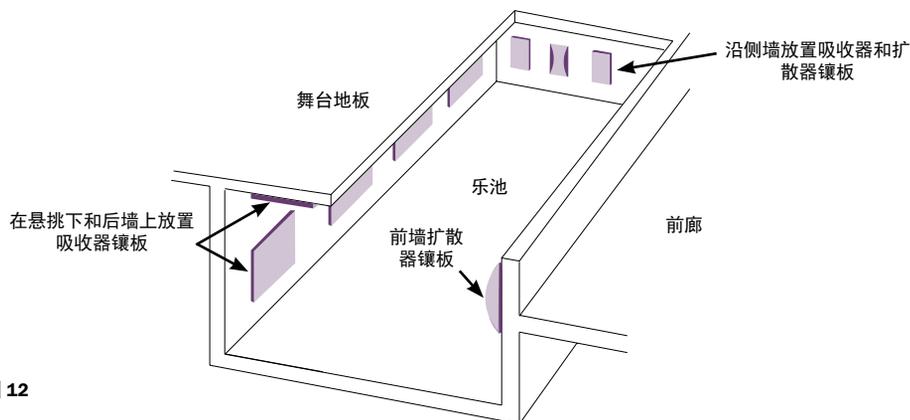


图 12

精心布置吸收器和扩散器镶板以加强舞池声学效果。

如果使用电子监听系统，则大部分乐池墙均应安装吸收器镶板。新式入耳监听系统可以有效减少乐池区域的放大声级。如有必要，乐池区域的乐器可配备麦克风，然后通过礼堂音响系统补足投射向观众的声音。

以下是乐池声学处理的相关建议：

- 为乐池中的每位音乐家提供足够的空间（最好每位音乐家 18 平方英尺以上）。
- 利用舞台悬挑下方的区域扩大空间立方体积，以控制乐池内响度（8 英尺以上悬挑）。
- 可使用翻转镶板改变乐池内的吸收效应。一侧应为声音吸收（例如 0.5 英寸厚的玻璃纤维板）而另一侧为声音反射（例如硬质纤维板或厚胶合板）。使用吸收侧控制响亮乐器附近的声级，而不减弱其他乐器声音。
- 乐池上的舞台后墙可倾斜以将声音反射回舞台。
- 可拆卸的乐池横挡应该足够坚实，才能将声音反射回舞台。
- 乐池填料的盖板组件应该足够坚硬并能抑制声音。

演出空间

▶ 兼作食堂的礼堂

对于学生乐手，演出是一场考试，是证明长期排练与改进成果的机会。这样的演出环境需要特别注意。尤其不良声学效果会妨碍鉴定聆听，影响学生的音乐教育成果，也影响观众欣赏音乐。兼作食堂的礼堂虽然有内建的“画框”舞台，但其重点在于多功能使用，不利于音乐演出。不过，适当的声学处理可以改善空间，让音乐演出效果更好。

舞台区域

一端建有“画框”舞台的多用途礼堂在很多学校都很常见，一般兼作食堂。虽然功能齐全方便，但这些兼作食堂的礼堂空间不利于音乐演出，除非整个房间的墙壁和顶棚都经过专业处理（参见图 13）。

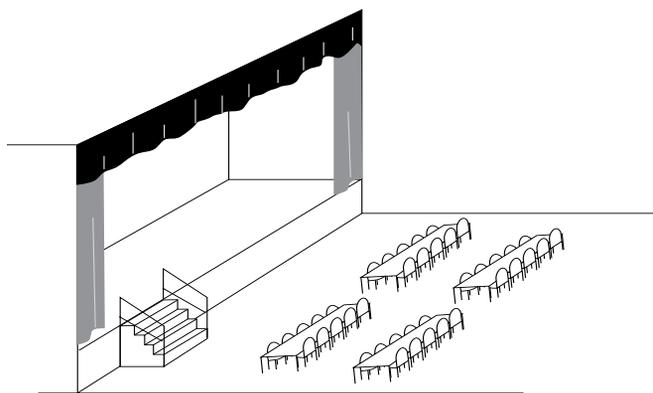


图 13 内建舞台

建议 - 移动式声学罩

如果兼作食堂的礼堂有内建舞台，则必须对舞台进行适当的声学处理，从而为合奏提供必要的反射。否则，该舞台将弊大于利。围绕团体装设移动式声学罩并在上方装设反射顶棚，可以实现更好的声学效果（参见图 14）。

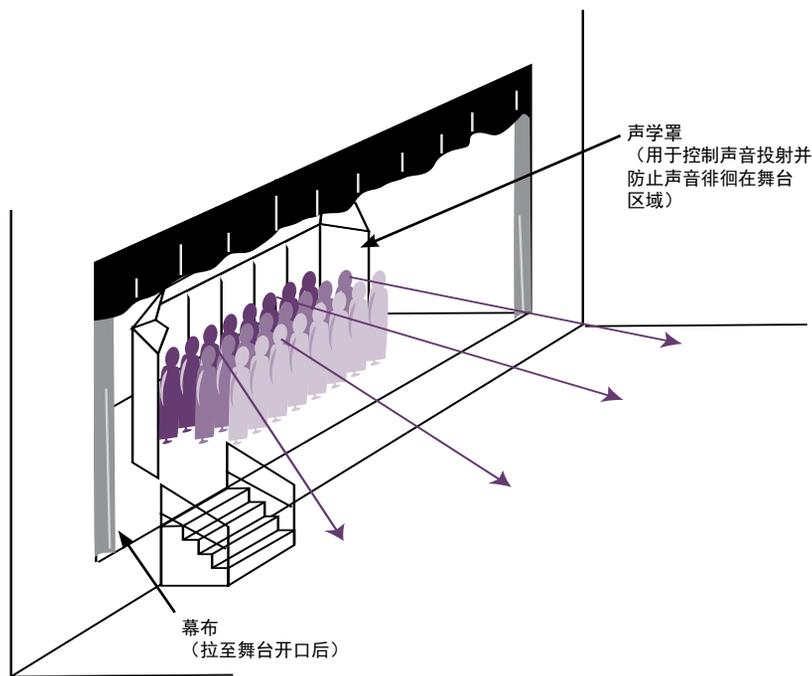


图 14 移动式声学罩

建议 - 镶板

如果没有声学罩，则使用反射和扩散镶板处理墙壁和顶棚。如果没有任何反射表面，例如声学罩或上方镶板，音乐家将难以听清彼此的声音，影响合奏感。此外，未导向的声音可能会在达到观众位置前消散或被吸收。由于这些根本原因，必须在表演者后方和上方放置反射表面（参见图 15）。

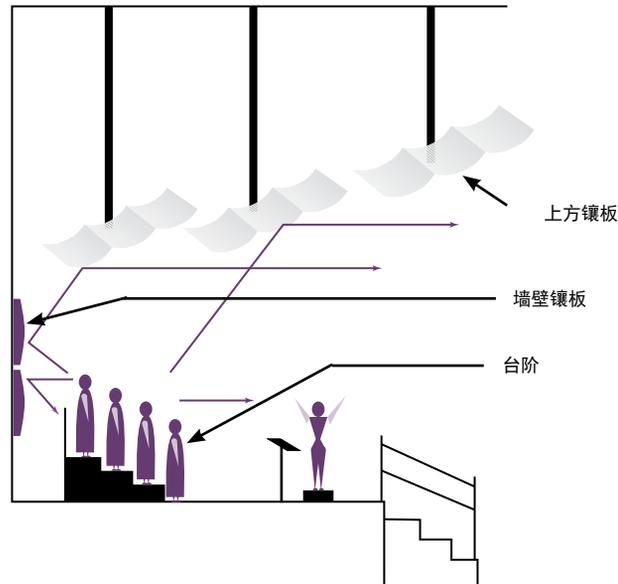


图 15 上方和墙壁镶板会向观众反射声音

建议 - 分层台阶

分层演出结构对于投射声音也是至关重要的。如果没有台阶或舞台，表演者全部处于同一高度，那么一部分声音将始终导向其他表演者背后，干扰投射向观众的声音。避免在未经处理的舞台上演出。舞台开口和幕布将抑制声音。虽然舞台可以提供视觉优势，但造成的不良声学效果将严重影响演出质量，为表演者和观众带来困扰（参见图 16）。

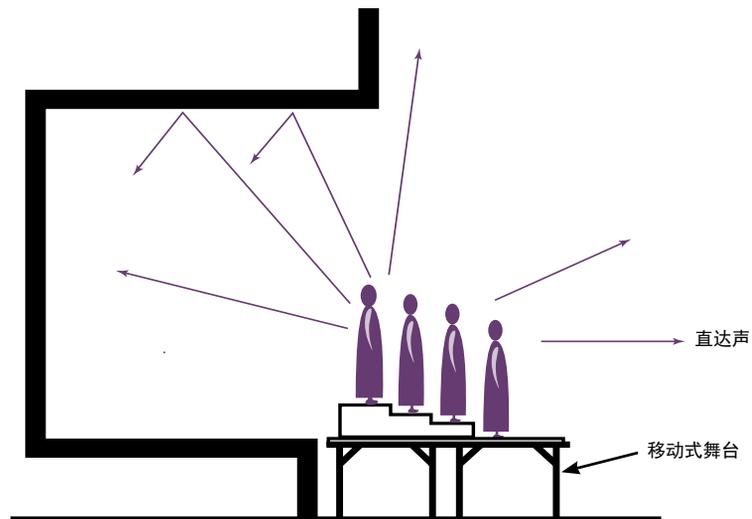


图 16 表演者在分层平台上，靠近观众

建议 - 分层台阶

如果无法进行以上所建议的纠正，可以将表演者安排在背靠巨大墙壁的地板上（参见图 17）。表演者背后坚实的墙壁将提供一定的声音反射和集中作用。

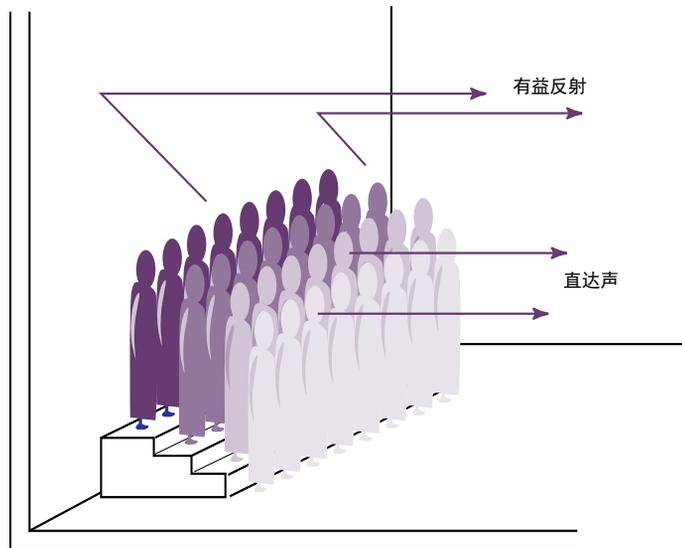


图 17 表演者背靠墙壁站在分层平台上

观众区域 - 房间声学

根据地板和顶棚表面的具体情况，空间可能十分“活跃”或“沉闷”。“沉闷”房间吸收过多声能，通常是过多使用地毯和厚窗帘等多孔材料的结果。这些材料起到类似海绵的作用，选择性地吸收高频声音。结果造成声音消沉模糊（参见图 18）。

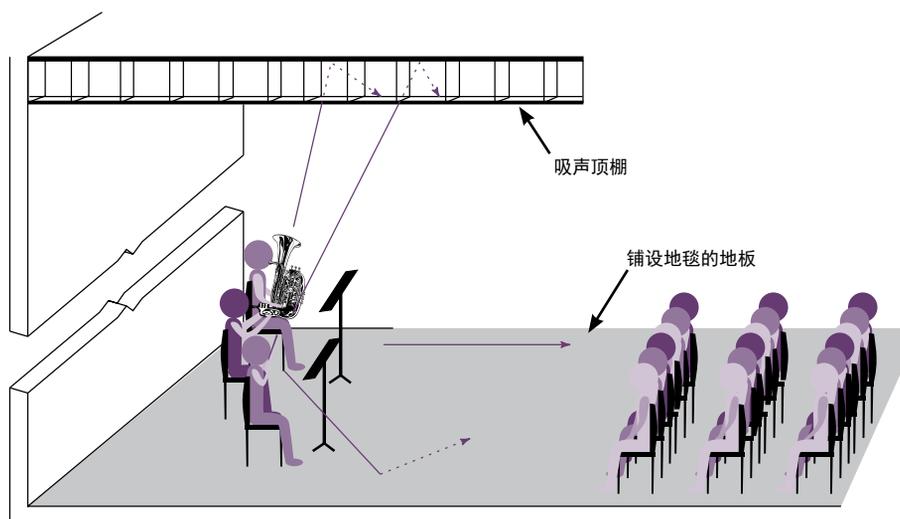


图 18 悬挂吸声顶棚和铺设地毯的地板有可能过度吸收声音，导致表演者和观众都很难听清

另一方面，如果地板、墙壁和顶棚使用过多硬质反射表面，房间会反射过多声能而非常“活跃”。活跃房间对表演者和观众都会产生压力 - 某些情况下，活跃房间内的长期大量声能可能会导致永久性听力损失。

如果兼作食堂的礼堂地板铺设地毯，顶棚较低且悬挂吸声砖片，则在声学上可能显得“沉闷”。要改善音乐的声学效果，可以拆除地毯并将演出区域上方的吸声砖片更换为声音扩散镶板（参见图 19）。

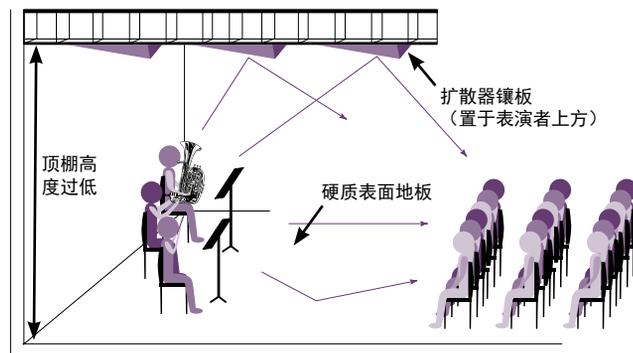


图 19

要改善观众的视线和聆听效果，可以使用移动式分层的观众座位。分层结构也可以更好地安排观众以帮助吸收“活跃”房间内的声音（参见图 20）。

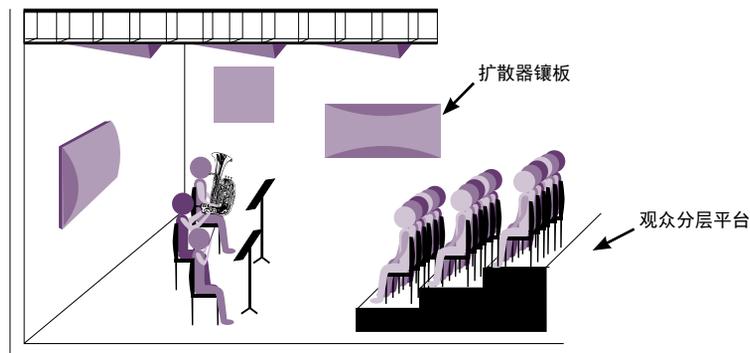


图 20

如果兼作食堂的礼堂空间偏“活跃”，则可以通过吸收器和扩散器镶板处理后墙和顶棚来改善声学效果。如果兼作食堂的礼堂也用于体育课，务必确保镶板耐撞击。

体育馆是极具挑战的音乐演出声学环境。虽然体育馆具有一定的天然优势，例如宽敞的立方体积、表演空间、设备空间和观看空间，但其亦存在各种声学挑战。间隔距离较远的硬质表面墙壁、地板和看台会造成明显的回声和过大混响。体育馆对于大多数音乐演出来说空间过大且混响过多。实现融洽的演出环境非常困难，因为在未经处理的体育馆演出会产生以下现象：

混响

混响是声音持续对音乐特性和品质产生影响。在体育馆内进行乐队演奏就会产生声音混响，因为声音经过多次反射才能消散。而在室外演奏相同的音乐就不会产生混响，因为没有墙壁或顶棚反射声音。需要采取适当的策略放置吸收器以抑制体育馆内的过大混响和噪音累积。

回声

在已经听到声源发出的直达声很久之后，硬质表面又将声波反射到听众耳中，此时即产生回声。虽然吸收器和扩散器均可抑制回声，但在需要更长混响时间时一般首选扩散器。

颤动回声

如果声源位于平行的声音反射表面之间，就会产生颤动回声。在未经处理的长方形空间内，敲击小军鼓边缘会产生长时间的嘈杂声，也就是颤动回声。扩散器通常是颤动回声问题的最佳解决方案。

舞台区域

间隔距离较远的硬质表面墙壁、地板和看台会造成明显的回声和过大混响。体育馆对于大多数音乐演出来说通常空间过大且混响过多（参见图 21）。

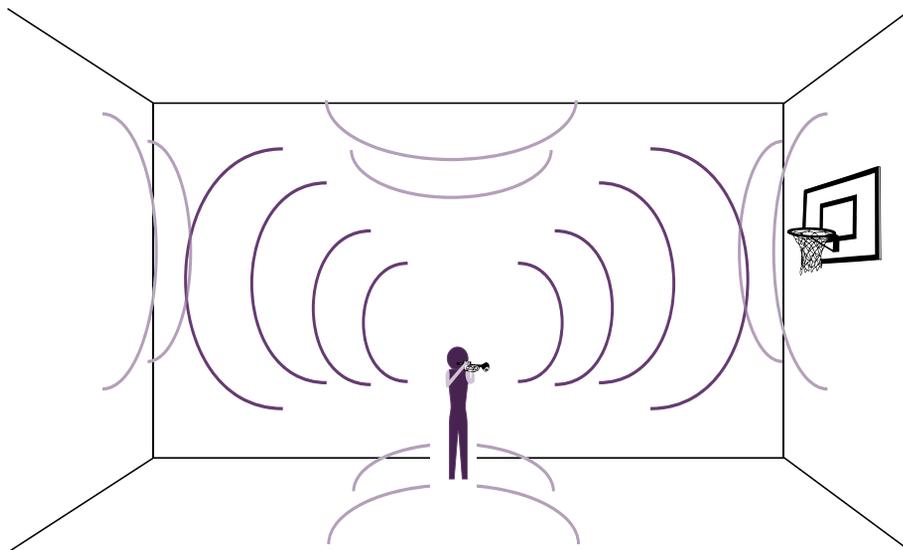


图 21 体育馆内噪音累积

建议 - 移动式声学罩

因为体育馆过大，所以大多数反射延迟过长，难以保证音乐效果。需要在音乐家附近放置反射表面。让音乐家后退至墙壁的做法似乎不太现实，所以就需要使用声学反射表面包围表演者后部。例如，表演者后的声学罩将早期反射返回音乐家耳中，使音乐家聆听效果更好。音乐家将能够更好的专注于定时、分节和音准，并以协调的团体合作进行演出（参见图 22）。

声学罩材料越厚重坚硬，越能够反射低频声音。乐队和管弦乐团必须使用更重的声学罩，从而产生更广阔的音域和更高水平的声能。由于合唱团产生的声音通常频率更高而声能更低，所以可使用稍轻一些的声学罩演出。

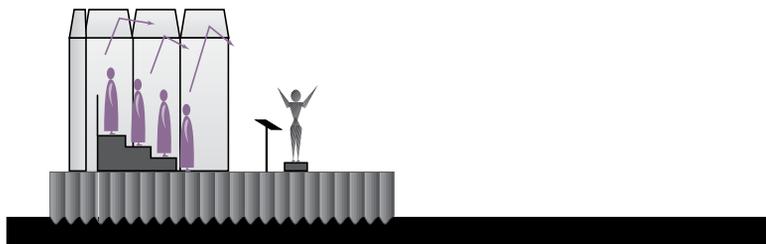


图 22 移动式声学罩的早期反射对于良好的合奏效果至关重要

建议 - 站式台阶

如有可能，可以利用台阶或舞台，有助于表演者将声音投射向观众，而不会投射向其他表演者背后或看台下排。表演者和观众处于同一平面时，声音将在掠过表演者和各排观众时被吸收。只有部分观众能够听清演出。提高表演者高度将改善投射至观众的声音。台阶还将显著改善指挥和观众的视线（参见图 23 和 24）。

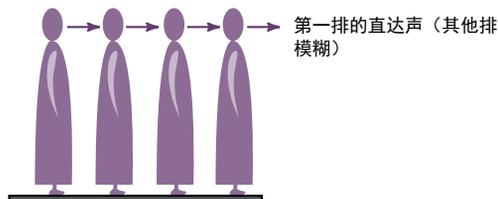


图 23 缺少台阶或舞台显著减少投射

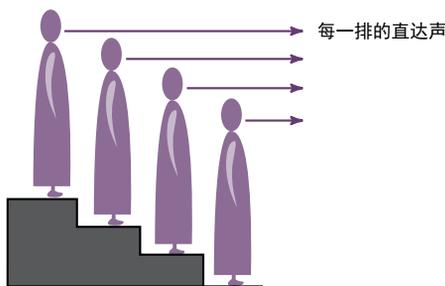


图 24 台阶改善视线和投射

观众区域 - 混响

在体育馆中，各种声学挑战都会影响观众聆听效果和欣赏音乐演出。大多数体育馆都会产生过大混响。空间的大体积以及地板、墙壁和顶棚的密实硬质表面都将导致清晰度严重下降。

混响指的是声音在封闭空间的持久性，以时间测量声音衰减至听不到为止的时长。声音在体育馆内硬质表面反射时，被吸收的声音微乎其微，因而所有声音的衰减时间得到延长。这种“声音周期”每秒重复多次，导致声音叠加。

空间规模过大让问题愈加复杂。来自远处墙壁和顶棚表面的强烈远距离反射（回声），在声音的早期反射之后很久才能返回观众和音乐家耳中。结果造成声音模糊混浊，加大表演者合奏难度且影响观众欣赏音乐（参见图 25）。

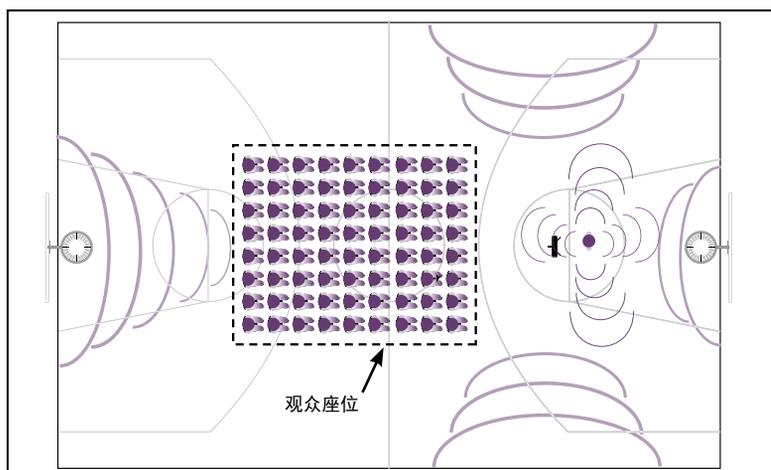


图 25 硬质声音反射表面和大立方体会造成混响过大

如果演出是在装有可伸缩墙壁的多用途体育馆中进行，应该只使用演出需要的空间。封闭墙壁可降低过大混响（参见图 26）。

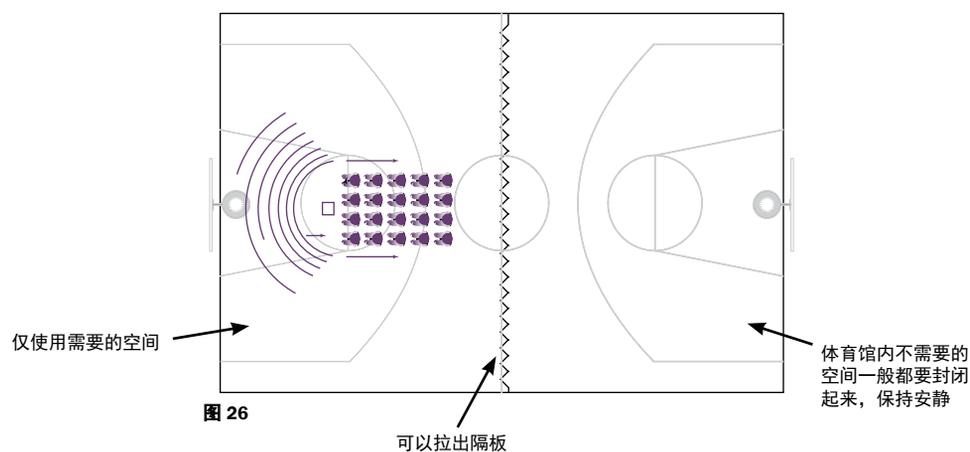


图 26

当然，未使用的空间不能进行其他活动，否则演出可能会受到多余噪音的妨害。演出前务必关闭电话或对讲机等噪音源。小心不要关闭火警报警器或其他必要的报警系统。

建议

如果体育馆墙边设有可堆叠看台，可以将其稍微拉出，以增加房间内的扩散效果。多断层表面能更好地向整个空间散射声音，并能改变声音方向（参见图 27）。

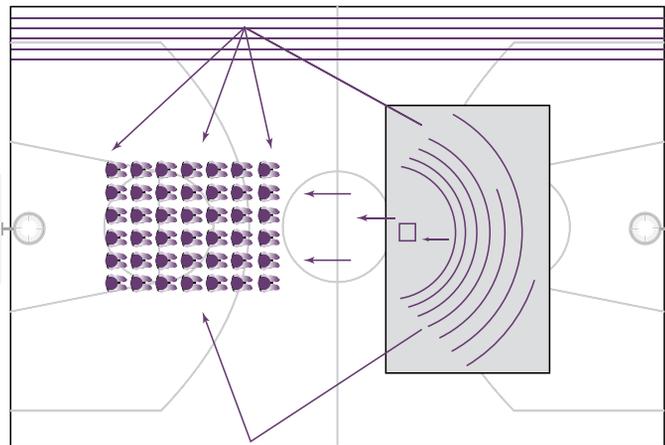


图 27 拉出可伸缩看台能提供一定扩散作用

相比之下，如果将看台折叠至墙边，形成的平坦反射空间将增加体育馆产生颤动或敲击回声的可能性（参见图 28）。

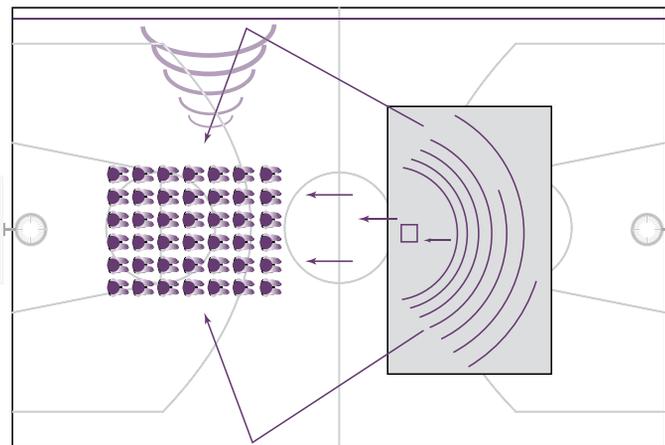


图 28 将平坦的储存空间用作看台，不能很好地向观众扩散声音。而且对面的平行表面还将产生干扰颤动回声

抑制噪音累积

大型体育馆和兼作食堂的礼堂可能非常嘈杂。抑制噪音累积的准则如下。

- 使用吸声材料抑制噪音累积和过度混响。在顶棚和上部墙壁表面放置吸声材料。所有墙壁平均分布声音吸收。
- 不要在应该反射声音的表面使用吸声材料，例如舞台正上方顶棚区域。
- 建筑师应确保安装方法能提供所需的吸收作用。例如，吸声镶板后的气室将增加低频声音的吸收。房间内的实际安装应与与实验室测试吸收系数 ASTM 的安装标准相同。
- 注意，降噪系数 (NRC) 为平均值四舍五入至最接近的 0.05 增量。它不能说明低频（低于 250 Hz）或高频（高于 2000 Hz）的吸收效果。
- 指定材料前，建筑师应评估整个频谱的吸收系数。一定要结合所使用的安装方法，确定所用材料的实际吸收性能。

建议

观众在室内吸收声音方面也可以发挥重要作用。人越多，吸收越多。人往往主要吸收高频声音，而不会过多影响低频或中频。因此，低音会比高音持续更长时间。

如果空间允许，最好以长而窄的结构安排观众座位（参见图 29）。以“宽模式”演出不会为观众带来好的声学体验。侧墙可以为观众提供重要的横向（侧向）反射，从而增加环绕感。

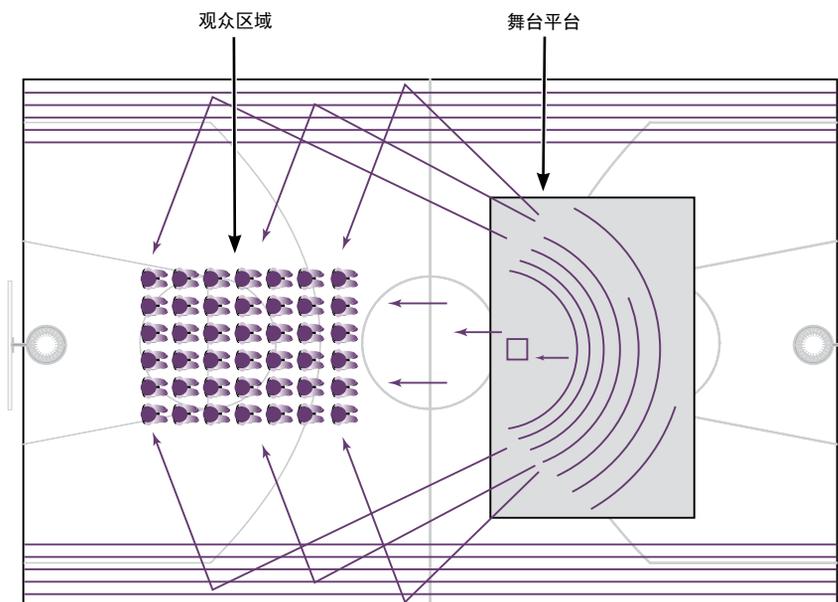
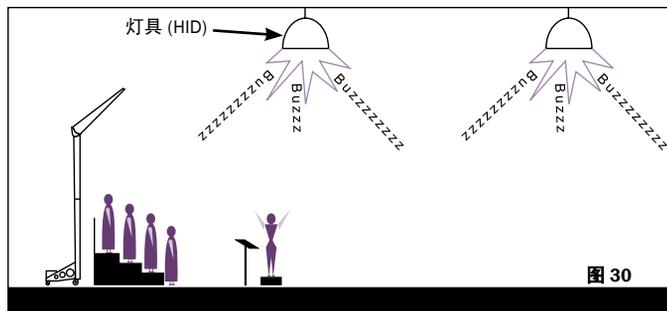


图 29 长而窄的座位将为观众提供最佳聆听体验。
使用移动式舞台可以提高演出团体高度并改善视线。

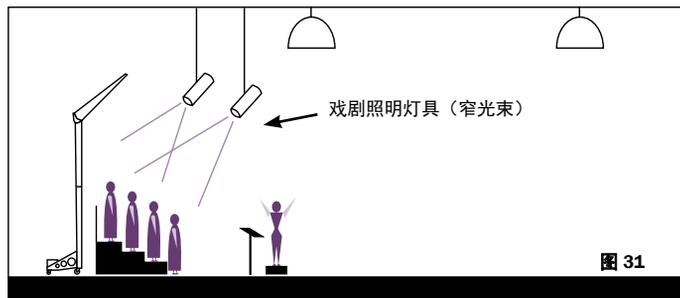
机械噪音 - 照明

体育馆照明系统通常配有机电镇流器，会产生吵闹的杂音（参见图 30）。



如有可能，在演出期间可以关闭这些灯具，使用临时的戏剧照明。戏剧照明的另一项优势是能够恰如其分的营造有别于体育赛事的气氛。以下是一些建议：

- 要确保具备足够的电功率和独立电路。戏剧照明通常需要大量电力。
- 白炽灯为最安静的电光源。
- 荧光灯镇流器分为 A 到 F 级（A 级是测试条件下最安静的）。请参阅美国国家电气制造商协会 (NEMA) 的报告，了解 HID 灯具的噪音分级。
- 小心不要在调光器电路上安装灯具。许多廉价的调光器会造成灯丝嗡鸣。
- 照明系统一定要使用专门设计用于演出环境的现代低噪调光组件。
- 与建筑维护人员和电气工程师合作确定照明系统降噪的最佳方式。



机械噪音 - HVAC 系统

体育馆的 HVAC 系统可能会非常嘈杂，干扰演出。需要进行调整以降低噪音，同时维持足够的通风，包括使用更大尺寸的管道并将出风口（称为扩散器或调风器）变更为更开放的设计（减少“嘶嘶声”）。机械系统的干扰声音（嘶嘶声、嗡嗡声、轰鸣声）必须与演出空间隔离。应该向项目机械工程师传达以下准则。

- 利用缓冲空间（例如储存区、盥洗室、走廊）将嘈杂的机械室与噪音敏感区域隔离。封闭结构的设计施工应实现高水平隔音。
- 使用厚板支撑机械设备。使用无壳钢弹簧和/或弹性垫片隔振装置分散振动路径。
- 穿过机械室墙壁、地板和顶棚的所有导管和管道都必须密不透气。在导管和管道周围留出连续间隙。使用低密度隔离纤维材料填充缝隙，并使用非硬化密封胶为两侧填缝。
- 机械工程师应精心设计配风系统，使供风口和回风口空气流速较低且不造成急剧转折和变化。布置风管，让声音不会在房间之间传播。
- 圆形或扁平椭圆管道截面比正方形或长方形截面管道发出的低频轰鸣声更少。
- 在大多数系统中，主供风管和回风管需要安装管道消声器和/或吸声管道挂面纸板。

室外演出空间条件独特，对于实现良好声学效果具有一定挑战，但相同的反射表面和团体布置原理仍然适用。

在开阔区域，声音会迅速消散，即使最响亮的表演也可能很难听清。例如，大家都知道乐队在排练室内声音有多大，但在室外现场，大家经常觉得声音太小，需要再大一点。此外，室外演出时，远处建筑反射的回声延迟时间长，会进一步影响观众对音乐的感受。

建议 - 移动式声学罩

声学罩结构对于早期反射至关重要，而这种反射是支持合奏和受控声学的重要因素。在室外使用移动式声学罩时，务必确保所使用的设备是专门设计用于户外使用。室外声学罩需要额外的锚固处理来固定镶板，防止风和其他力的影响（参见图 32）。

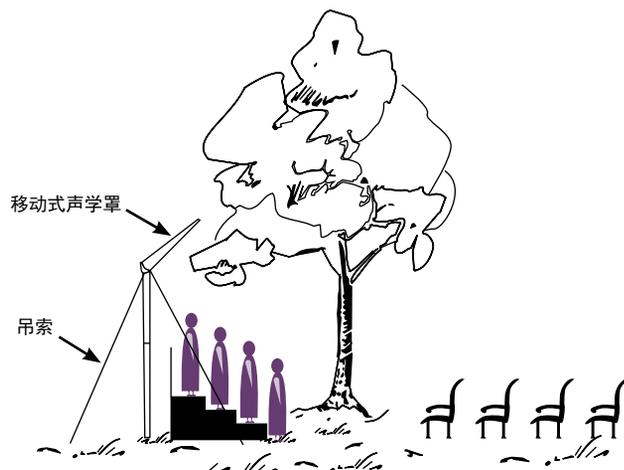


图 32 使用多条吊索确保表演者安全

建议 - 充气式声学罩

充气式声学罩具备移动式声学罩的所有相关声学优势，并能创造美轮美奂的室外布景。一定要遵守制造商的所有安装准则（参见图 33）。

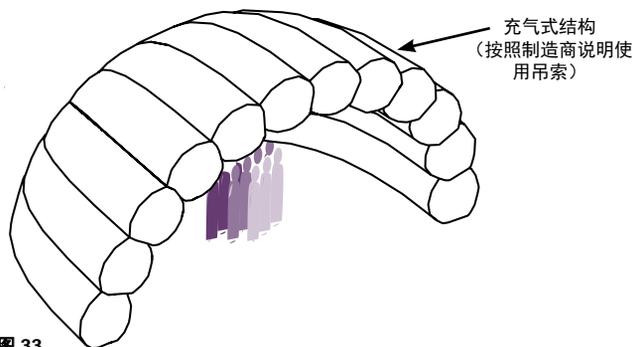


图 33

建议 - 不使用声学罩

如果无法使用声学罩，可以将团体安排在提供充足反射的巨大坚实墙壁前。要知道，如果在没有任何反射表面的开阔处演出，很那实现好的声学效果（参见图 34）。

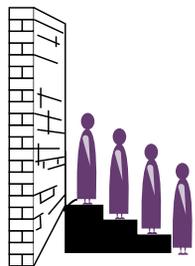


图 34 坚实墙壁，最好窗户没有开口

建议 - 不使用声学罩

树木和灌木吸收高频声音，不能提供良好的反射作用。如果可能，让表演者位于人行道、铺砌停车场或其他硬质表面场所，从而提高声学支持。以下是一些准则。

- 表演者前面不能有灌木丛、草地或其他柔软的地面植物。
- 可以使用具有乙烯涂层的帆布帐篷来创造良好的室外演出环境。
- 如果帐篷表面紧绷，则顶棚和侧面幕帘可提供足够的高频声音反射。
- 确保围绕表演者的侧面关闭并且固定到位。

建议 - 抑制室外噪音

室外噪音抑制

选择远离嘈杂街道和公路的安静地点。如果这种方法不可行，可以使用下列策略抑制室外噪音。

- 利用地形的自然形状和附近建筑的位置为观众屏蔽噪音。必须阻挡从噪音源到观众的“直观视线”。
- 利用建造物理障碍（例如高墙或护墙）来降低噪音。根据声音频率、障碍高度、连续性和质量，最多可将噪音降低 15 分贝 (dB)。有时，障碍墙也可与护墙结合使用。
- 将障碍置于距噪音源或观众尽可能近的位置（中间是最无效的位置）。
- 使用茂密植被来降低噪音。某些种植树木和灌木，每米可将噪音降低 0.12 dB。种植深度延长到 150 英尺以上并不能大幅改善降噪。
- 车道和人行道表面应是光滑沥青，而不是会发出轰鸣声的粗糙混凝土，或车辆行驶时可能会裂开的砾石。
- 橡胶沥青和聚合物沥青表面会比传统沥青表面安静 5 dB。

建议 - 扩音

即使您采用奢侈的壳形露天舞台，要将声音传给大量观众仍需要扩音。克服室外音乐演出声学问题的最佳方式之一是使用专门用于增大音量和投射声音的音响系统。动力不足的系统或业余音响技术员都可能毁了这些活动的规划和期望，致使人们听不到演讲者和音乐家的声音。功率不足的系统不仅无法投射适当音量，而且也会造成声音清晰度不佳。将控制板置于观众区域，采用动力充足的系统，聘用经验丰富的音响技术员，将这几个因素相结合即可实现最佳效果。

音响系统可配合音乐演出使用，以增强独奏或演出其他特殊声部的投射。必须聘用合格的音响技术员，让声音不会过度增强。技术人员应了解“扩音”而非“创造声音”的理念。

使用电子音响系统

- 在演出期间维持适当的声学平衡。目的是放大足够的声音以帮助充实音乐，而非“过度加强”或改变演出。
- 对于摇滚音乐会或其他音乐风格，音响系统效果是演出的关键元素，但经常过度加强自然声音。嘈杂的室外活动必须符合当地噪音法令。
- 确保在不使用时关闭音响系统，避免产生“嗡嗡声”或“嘶嘶声”等过量噪音。
- 确保音响系统是专为音乐而设计（强化低频至高频的音域）而不只是放大声音。

固定位置系统

有时候，我们无法通过声学罩、上方镶板和墙壁镶板来解决现有设施的声学限制。例如，有些比较古旧的大厅建筑结构复杂、装饰繁琐，您或许不希望以声学处理装置遮挡掉这些装饰。在较新的设施中，音乐演出所需的声学处理与演讲厅或剧院的声学改善措施类型并不相同。通常的可行性解决方案是将台上声学塔架与内部音响系统结合使用。良好的电子扩音系统可以改善演出音质，但无法克服演出空间声学处理不当的问题。

扬声器组置于声源上方的“中央”扬声器系统是我们的首选，因为这个系统可以提供最佳的真实感和清晰度。在顶棚高度较低的礼堂中，应使用“分散式”系统，以若干扬声器从不同位置提供低级扩音。为避免反馈，麦克风必须置于扬声器覆盖范围之外（参见图 35）。音响系统应由专业音响系统工程师设计和指定。请参阅本指南结尾的“查找声学专业人士”。

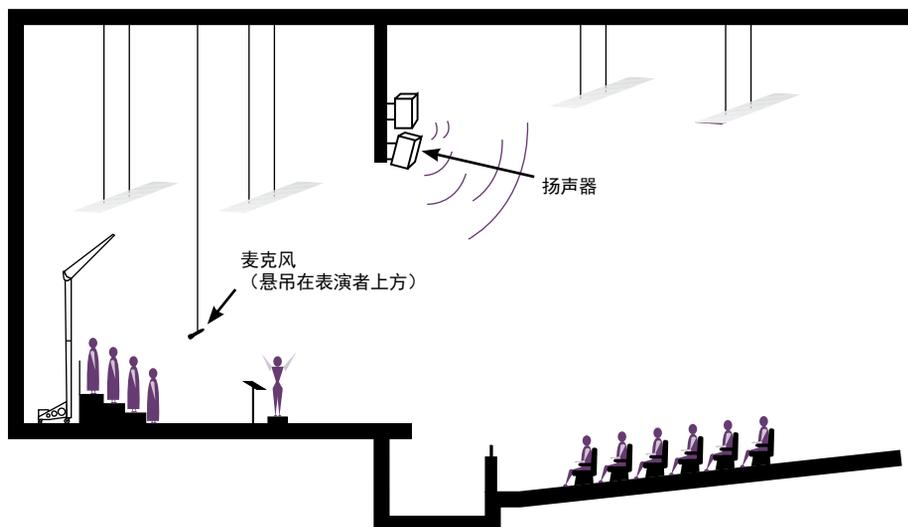


图 35 扬声器阵列最好置于表演者稍向前的位置以加强声音的“真实感”。拾音麦克风可悬吊在上方

移动式 P.A. 系统

移动式 P.A. 系统经常用于体育馆和兼作食堂的礼堂（参见图 36）。

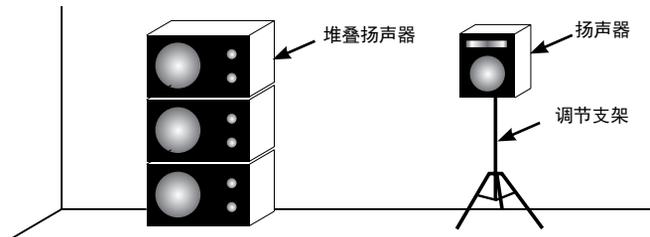


图 36

这些系统的工作原理相同。但是固定的剧院系统有一些关键性差异。以下是一些建议：

使用移动式音响系统

- 为避免声音反馈，扬声器必须始终置于麦克风前面。
- 恰当使用麦克风至关重要。大多数现代麦克风需要“关闭收音”，这意味着歌唱家和乐器必须与麦克风的距离不能超过 1 英寸。[固定剧院系统可以使用“指向”类型的麦克风进行大型合奏表演。]
- 务必使扬声器平于或稍微高于观众头部，即使观众站立时也要保证这种位置关系。
- 调整扬声器角度以指向观众区域，而不指向侧墙（参见图 37）。

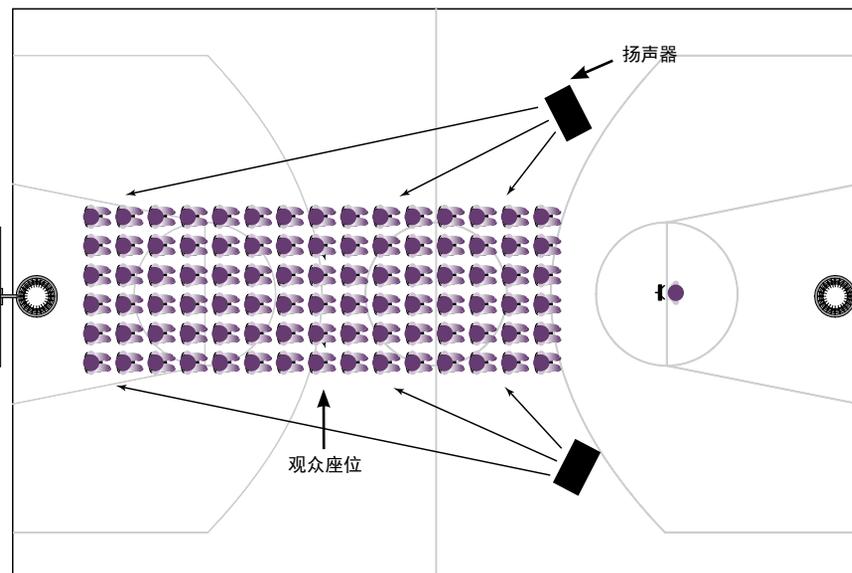


图 37 面向观众的扬声器

有关电子音响系统一般操作的有益书籍有许多。请参阅本指南结尾的“建议读物”。

注 释

表格

下面是达到较好混响时间的建议准则。

建议混响时间*	
房间	混响时间 (秒)
合唱团排练	<1.3
乐队/管弦乐队排练	0.8 - 1.0
演出区域 (有人)	1.3 - 2.2

*Wenger, 《规划指南》(1998年), 第13页。

下列是舞台和乐池区域布局的建议准则。

舞台和乐池区域布局准则*	
演出	占地面积 (平方英尺/人)
舞台上的乐队和管弦乐队	20 到 30
乐池中的管弦乐队	14 到 20
站立合唱团	3 到 4
就座合唱团	7 到 9

*Wenger, 《规划指南》(1998年), 第37页。

下列是排练室规划的建议准则。

排练室规划指南*			
排练室 (学生)	规模	占地面积 (平方英尺/音乐家)	顶棚高度 (英尺)
合唱团排练	60 到 80	20 到 25	16 到 20
乐队/管弦乐队排练	60 到 75	30 到 35	18 到 22

*Wenger, 《规划指南》(1998年), 第50页。

下列是礼堂规划的建议准则。

礼堂规划准则*	
尺寸	标准
宽	<80
高宽比 (H/W)	>0.6
体积座位比 (V/N)	300 到 400 立方英尺/座位

*Beranek, 《Concert and Opera Halls》(1996年) 和 Egan, 《Architectural Acoustics Workbook》(2000年), 第4页, 第21页。

鸣谢

本指南的技术内容由大学建筑学院协会 (ACSA) 特聘教授兼美国声学协会 (ASA) 名誉会员 M. David Egan 博士审核。

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取决于正确的室内被动声学处理。

ASTM

美国材料与试验协会，地址 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959。

明亮度

高频（高音）与低频的相对响度。

清晰度

听清音乐细节和解析度的能力。

分贝 (dB)

用于表示声级或声音“强度”的单位。声级范围从 0 dB 听阈到 130 dB 痛阈。未放大的音乐介于这两个极限之内。

回声

在听到声源发出的直达声后，硬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。

合奏

对大多数人来说，“合奏”一词仅仅意味着一群音乐家共同演出。然而，音乐教育者用这个词描述一组协调、平衡的混合声音。结果类似于美国硬币上的拉丁格言 E pluribus unum——合众为一。实现真正的合奏不只是有效排练和个人练习的结果。为了获得所需合奏效果，音乐家必须能够听到自己和彼此的声音。

环绕感

沉浸在声音中并受音乐包围的感觉。

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。

HVAC

暖通空调。

亲密感

感觉表演者听起来亲密的听觉印象。例如，音乐声是“接近”还是“遥远”？

响度

声音的强度。表演者听起来是正常，还是声音微弱，还是相对空间来说“太小”。

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，便会掩蔽乐声。

NEMA

美国国家电气制造协会，地址 1300 North 17th Street, Suite 1752, Rosslyn, VA 22209。

噪声标准 (NC)

表示背景噪声等级的单个量化数字。NC 越低，空间越安静。

隔音等级 (NIC)

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。

降噪系数 (NRC)

为单个数字，用于描述

250Hz、500Hz、1kHz 和 2kHz 倍频带的平均吸收量（以完美吸收百分比为测量单位）。用于语音范围时，可以比较准确地估计吸收量，但在用于音乐应用时价值有限，因为这个系数忽略 250Hz 以下和 2kHz 以上频率。

被动声学

这一术语是指，使用架构（非电子）设计和声学处理打造声学空间。被动声学主要分为吸收性和扩散性，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。

混响感

声音“现场感”的感知度，或声音的持久性。

混响

从时间维度测量声音在封闭空间从发声开始至听不到为止的持久性。声音在体育馆内硬质表面反射时，被吸收的声音微乎其微，因而所有声音的衰减时间得到延长。这种“声音周期”每秒重复多次，导致声音叠加，从而丧失清晰度。

隔音

隔音衡量房间

保持室内所需声音以及阻隔室外多余噪音侵入的效能。隔音不足会严重影响演出声学环境。理论上应该消除进出演出空间的所有潜在漏音问题。包括墙壁的全部区域，甚至插座这样小的区域。

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。

结构传播：参见“结构侧向传声”的定义。

传声等级 (STC)

传声等级是单个数字评级系统，用于描述结构元素（即墙壁和门窗等）的隔音程度。通常，STC 等级最能代表结构的隔音能力。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，例如与建筑表面连接的振动 HVAC 设备或与地板接触的钢琴支脚。

温暖感

又称低音温暖感，是低频（低音）与中频的相对响度。

参考文献

M. David Egan, 《Architectural Acoustics》, J. Ross Publishing, 佛罗里达州墨尔本 (2007 年)。

经典丛书再版可在 www.jrosspub.com 上找到。

William J. Cavanaugh 和 Joseph A. Wilkes (编), 《Architectural Acoustics: Principles and Practice》, Wiley, 纽约 (1999 年)。

Charles M. Salter (编), 《Acoustics: Architecture, Engineering, The Environment》, William Stout Publishers, 加州旧金山, (1998 年)。

Wenger, 《中学音乐设施规划指南》 (1998 年)。

Wenger, 《声学入门》 (2003 年)。

其他读物

Leo L. Beranek, 《Concert Halls and Opera Houses》, Springer, 纽约 (2003 年)。

Christopher N. Brooks, 《Architectural Acoustics》, McFarland, 北卡罗来纳州杰佛逊, (2002 年)。

Marshall Long, 《Architectural Acoustics: Applications of Modern Acoustics》, Elsevier Academic Press, 马萨诸塞州伯灵顿 (2006 年)。

Michael Barron, 《Auditorium Acoustics and Architectural Design》, Chapman & Hall, 英国伦敦 (1993 年)。

Michael Forsyth, 《Auditoria: Designing for the Performing Arts》, Van Norstrand Reinhold, 纽约 (1987)。

Don Davis 和 Carolyn Davis, 《Sound Systems Engineering》, Howard W. Sams, 印第安纳州印第安纳波利斯 (1987 年)。

Malcolm J. Crocker (编), 《Handbook of Acoustics》, Wiley, 纽约 (1998 年)。

查找声学专业人士

联系: 美国声学协会 (ASA)
2 Huntington Quadrangle, Suite 1N01
Melville, NY 11747-4502
(516) 576-2360 传真: (516) 576-2377
网站: www.asa.aip.org

联系: 美国全国声学顾问委员会 (NCAC)
7150 Winton Drive, Suite 300
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
(800) 493-6437 传真: (507) 455-4258
网站: www.wengercorp.com

查找产品

Wenger Corporation 提供很多用于音乐教育设施的产品解决方案。
即使是我公司没有提供的产品, 我们也能帮您找到一些最佳解决方案。
只需致电我们 1-800-4WENGER
(493-6437)

其他 WENGER 教育指南

新建工程和翻新规划指南
小学规划指南
音乐排练区域声学问题及其解决方案
声学入门



© 2018 Wenger Corporation
USA/2-18/200/W/LT0337C



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
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 | 7041 Interstate Island Road | Syracuse | NY 13209-9713

GEARBOSS 电话 800.493.6437 | 电子邮件 gearboss@wengercorp.com | gearboss.com | 555 Park Drive, PO Box 448 | Owatonna | MN 55060-0448