

Tectonic Audio Labs, 美国

# 多物理场仿真成就 虚拟现实耳机之王

作者 JULIA ABRAMS

美国 Tectonic Audio Labs 利用耦合了电磁、力学和声学等多物理场仿真技术,设计出一款先进的平衡模态辐射扬声器,并已将其置入 Valve 公司的虚拟现实耳机。这款扬声器被视为虚拟现实音频的黄金准则。

虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 技术能够让用户沉浸在虚拟世界中。好的 VR 装置可以让你坐在沙发上参观历史遗迹,体验博物馆中的远古栖息地,或者在舒适的客厅中探索火星或月球。

游戏行业在 VR 开发方面已经取得了长足的进步,然而游戏开发人员却面临着—项挑战:如何在虚拟世界中获得更好的沉浸式体验?

无论你是使用 VR 技术正在研究一个靠近地球的小行星,还是正在玩发射导弹的游戏,感觉越身临其境,体验效果就会越好。在其他文娱领域,例如文学和电影,也面临着同样的挑战,而沉浸式音频是 VR 技术面临的独特挑战。

## » 在 VALVE INDEX® 耳机中实现 沉浸式音频

游戏行业的领先开发商 Valve 公司致力于开发游戏、游戏平台和游戏硬件,他们正在尝试开发具有沉浸式体验功能的 Valve Index® VR 耳机。为此,Valve 公

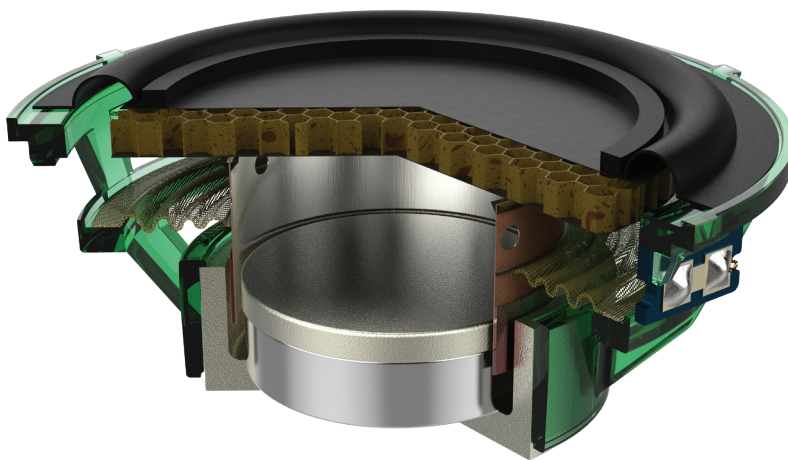


图 1 平衡模态辐射扬声器的剖面图。

司的工程师 Emily Ridgway 和她的团队必须弄清楚如何创建沉浸式的音频体验。

在玩视频游戏的时候,人们会通过立体声耳机来确定与他们所扮演的游戏角色有关的声音来源方向。如果声源在角色的左侧,游戏玩家将通过左耳扬声器听到声音,反之亦然。Valve 公司的团队决定摒弃传统的头戴式耳机,因为这种耳机的

作用是隔离声音、消除噪声和扩大频率响应——而不是创建沉浸式音频。Ridgway 担心耳机的物理设计会抵消音频沉浸感。一方面,头戴式耳机带给用户的感受不真实,由于耳机将声音直接输入耳道中,因此声音似乎来自人的头部(被称为内部听觉源);另一方面,头戴式耳机可能会让使用者身体不舒服。

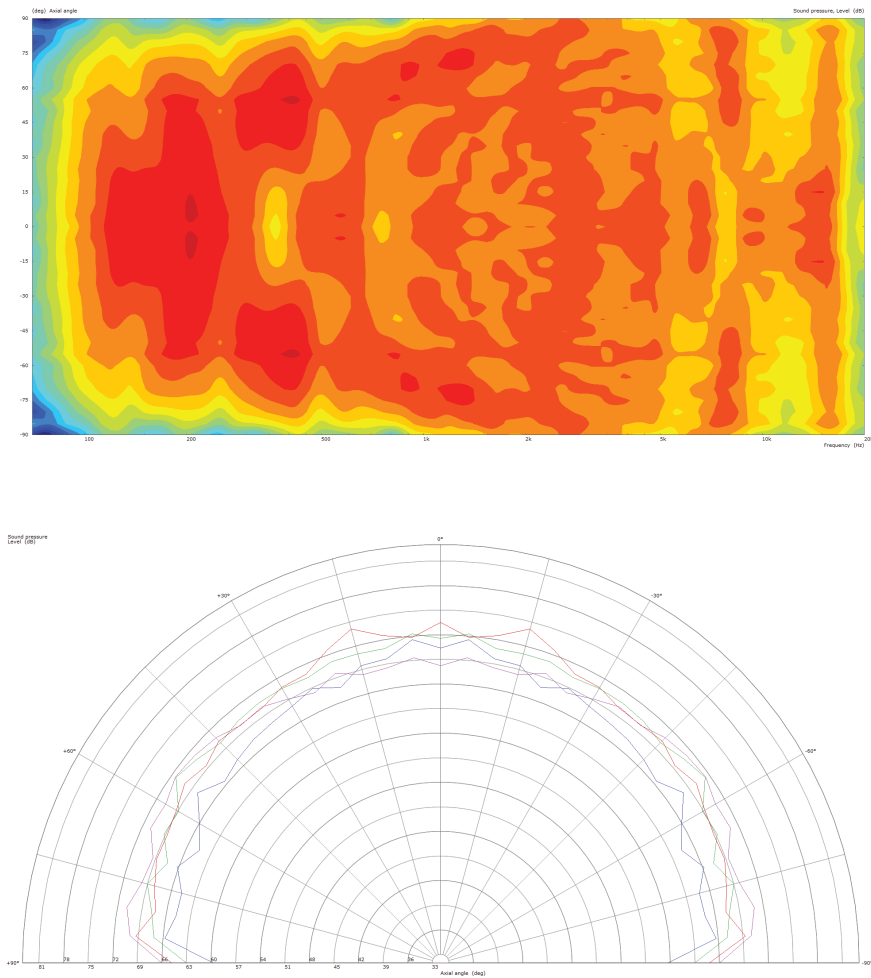


图 2 BMR 扬声器的方向图和极坐标图。

图注: Sound pressure Level – 声压级; Frequency – 频率; Axial angle – 轴向角。

有些人会选择扬声器而不是耳机。虽然扬声器减轻了耳机中的一些问题,但也有其自身的缺陷。一是扬声器的声音受实际房间的几何形状和音响设计的影响;另一个原因是,扬声器的使用有一个“最佳位置”,玩家只有固定在某些位置才能获得最佳音质,但是人们在体验 VR 时更喜欢四处走动。

Ridgway 的解决方案是:寻找一对超近场、全频率范围的近耳(耳外)耳机。

为此, Ridgway 和她的团队研究了各种类型的耳机音频扬声器,然而没有一

个能够完全满足目标,直到找到 Tectonic Audio Labs 的平衡模式辐射 (Blanced Mode Radiator, BMR) 扬声器 (图 1)。Ridgway 立刻发现了这种扬声器的优势,她在博客中写道:“它 (BMR 扬声器) 减少了由于扬声器的位置不当而产生的音调或音质变化,其重量几乎在我们的可接受范围内;它在中高频率范围具有出色的频率响应 (这对于双耳模拟很重要),并且比传统扬声器驱动器薄得多。” Valve 充分利用 BMR 扬声器的这些优势,与 Tectonic Audio Labs 合作为他们的 VR 耳机设计

了定制扬声器。

### » 什么是 BMR 技术?

在传统扬声器中,音频是由锥形振动膜片通过活塞振动的方式,沿运动轴传递能量并产生声音。BMR 扬声器的不同之处在于,它们利用的是弯曲波,即垂直于传播方向移动的波。这意味着它们与周围空气有更多的交互作用,因此能够传递更多的能量。此外,传统扬声器难以处理较高的频率,因为高频会引起振膜的褶皱或弯曲 (也被称为锥形振膜破裂),随后的波峰和波谷会降低音频质量并加大对摆放位置的敏感性。虽然大多数扬声器都在尝试避开弯曲波,但 BMR 扬声器却“拥抱”了它们。

“我们使用弯曲模式,并可以控制它们的发生位置,而那些弯曲模式可以保留非轴向输出。在许多方面, BMR 方法与传统声学工程的思维背道而驰,我们利用共振分解来发挥自己的优势。” Tectonic Audio Labs 的工程师副总裁 Tim Whitwell 解释说。

BMR 技术能够通过优化例如材料和质量负载等特性来利用这种高频波纹。通过这种弯曲模式,以及弯曲模式和活塞模式的叠加,声音可以在 BMR 扬声器中均匀传播。

### » 优化耳机设计

Tectonic Audio Labs 的团队开始着手开发 Valve Index® VR 耳机的音频扬声器。Whitwell 介绍:“我们研究的起点是分析膜片的模式结构。对于 BMR 而言,真正重要的是要在活塞运动开始形成波束时,确保模式运行的方式能正确开启。”当波束即将开始形成时,会产生弯曲模式行为,填补波束中不包含的非轴向输出。

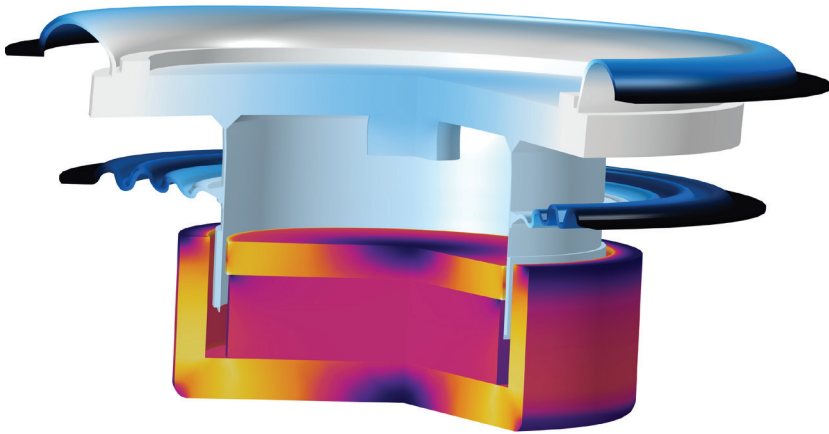


图3 全耦合 BMR 扬声器模型。

为了优化这种方式,开发团队首先必须弄清楚圆盘中的弯曲模态行为在什么位置发生,以及在所有带宽上有多少弯曲模态。他们使用 COMSOL Multiphysics® 软件对该系统进行了固有频率分析,并通过优化圆盘的厚度和材料来尝试控制弯曲模态。通过仿真的方式确保弯曲模态在指定频率下准确地发生在期望的位置, Tectonic 音频能够在扬声器的使用频段内保持均匀的指向性输出(图2)。

Tectonic Audio Labs 还分析了驱动器设计,使用电磁分析的方法对音圈进行设计优化。“你可以在音圈上增加多匝导线,用于增加电磁能到机械能的转换,但这会增加设备的重量。”Whitwell 解释说,“所有的优化过程都是使用 COMSOL 软件完成的。”

对力学模型和电磁模型分别进行了处

理和优化后, Tectonic Audio Labs 计划将二者整合在一起进行耦合分析。因为扬声器的结构几乎所有部分都是轴对称的,所以他们能够在二维轴对称空间中进行耦合建模,从而节省了大量计算资源,但振膜材料例外。“振膜材料的各向异性使它在不同方向上具有不同的刚性,利用 COMSOL Multiphysics® 软件中的固体力学接口,我们可以在二维轴对称空间模拟材料的各向异性,这实在是太棒了!”Whitwell 兴奋地说道。

团队在开发出全耦合模型后继续引入了其他结构,例如用于使线圈聚集并控制其运动的弹波悬挂系统。通过优化全耦合模型(图3),可以确保振膜的性能达到平衡——使其在 Valve Index® VR 头戴式耳机中正常工作,为不同的用户提供出色的体验,这正是 BMR 技术的关键所在。

**“你可以在音圈上增加多匝导线,用于增加电磁能到机械能的转换,但这会增加设备的重量。所有的优化过程都是使用 COMSOL® 软件完成的。”**

— TIM WHITWELL, TECTONIC AUDIO LABS 工程师副总裁

扬声器完全设定好之后,悬挂系统成为下一个研究重点。研究团队将对其几何变形进行非线性研究。“我们上下移动悬挂系统,观察这些部件的刚度如何随位移变化。”Whitwell 继续强调,“该系统同样需要很多优化。这种优化在项目中尤为重要,因为驱动器中的任何噪声或失真对于使用者来说都是非常明显的。”经过优化后的悬挂系统将被放回耦合模型中。

“当我们确保扬声器在所有条件下都能满足所需的性能后,就可以开始制造样机了。”Whitwell 最后总结说。

## » VR 耳机之王

在 Tectonic Audio Labs 成功优化样机设计后, Valve 公司将基于该设计的耳机推向了市场。不出所料,新的耳机产品获得了大量好评。

例如, YouTube 上有一个广受欢迎的名为 Linus Tech Tips 的频道,由 Linus 负责运营。频道主题涵盖:讲解增加内存是否能使你的计算机运行更快,测评最新发布的无线键盘,甚至用纸板制造个人计算机塔式机箱等,当然也包括评论不同的 VR 耳机。

2019 年 8 月, Linus 在一个名为“也许 VR 还可以生存……”的视频中评论了 Valve Index® 耳机。最初,他对该款扬声器耳机的态度是矛盾的,但是在使用耳机一天后, Linus 对它印象深刻。

他有点难以置信地说道:“这都归功于扬声器。它们(Tectonic)的耳机确实很棒!” Linus 还在视频里详细介绍了耳机的规格参数。

在视频的末尾, Linus 举起 Valve Index® 耳机,直接看向镜头说道:“这绝对是用于 VR 游戏的耳机之王!”