

实用电子技术丛书

实用音箱设计与制作

顾仁杰 编著 · 上海科技教育出版社



数据加载失败，请稍后重试！



数据加载失败，请稍后重试！

内 容 提 要

本书是一本介绍实用音箱设计与制作的入门读物。全书以浅显易懂的方式，生动活泼的笔调探讨了声音与人的听觉特性，扬声器的发声原理、构造及电声参数，着重讨论了音箱的种类及设计方法，并详细地介绍了音箱的制作工艺。为便于读者动手实践，书末提供了几十种国内外成功的音箱制作实例。因此，本书适合于广大业余电声爱好者、音乐爱好者以及大、中学校学生阅读，既可作为指导青少年开展科技活动的参考读物，也可为读者购置和正确使用各类音箱设备作指南。

实用电子技术丛书 实用音箱设计与制作

顾仁杰 编著

上海科技教育出版社出版、发行

(上海冠生园路303号)

各地新华书店经销 上海群众印刷厂印刷

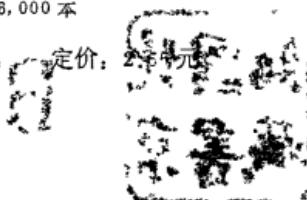
开本 787×1092 3/32 印张 11·75 字数 266,000

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数 1—16,000 本

统一书号：7487·84

定价：2.5元



出版前言

衣食住行历来被认为是人类生活的四大要素，但局限于这四项内容的生活却与现代化相去甚远。学习与创造不仅是生活的重要组成部分，也是社会得以进步的动力。今天的学习不再是单纯地读书和认字，以及学会简单的谋生技能，它十分讲究所接受知识和信息的数量、传播速度和贮存。各种音像出版物，以及电视机、收录音机、录像机、电子计算器，正是适应这种需要，以空前的速度进入到现代家庭中来，家庭生活电器化、电脑化，也将不是极为遥远的事。

为适应各种家用电器、无线电接收机和电子计算机的普及，人们必须作好两个方面的准备：一是经济上的准备，这是不言而喻的；二是知识技能上的准备，对此大多数人的认识是不足的，认为那是工程技术人员和修理部的事，殊不知，由于不会使用和使用不当，不仅限制了这些现代化设备的效率，也缩短了其寿命，有时还会闹出吓人的事故来。对于大件用电设备，一般不提倡自己动手修理。一味强调什么都自己动手，忽视必要分工，那是小生产的观点。但不懂得简单的维护知识，判别不出极为简单的故障，甚至为了某个紧固件的松动也不得不往返于修理部与家庭之间，那是很不值得的。如果我们或我们周围的人多具备一些这方面的知识和技能，那将使生活中令人不快的缺陷减少许多。正是为了使读者的现代化生活更美满、更充实，我们组织编写了这套《实用电子技术丛书》。它不是为专家，而是为有一点初级电子技术基础的读者

写的；它强调使用、制作、调试和维护等动手技能的培训，而不是理论知识的提高。总之，它着眼于解决实际问题。我们希望，这套丛书将成为读者的良师益友。对于那些有志于电子技术的青年学生，这套书无疑将会成为他们通往理想的阶梯。

前　　言

随着人民生活水平的日益提高，人们对放声设备的要求也越来越高了。几乎所有的放声系统最终都得通过扬声器或音箱来放声，扬声器和音箱的质量对重放效果有着密切的关系。人们对自己的音箱重放效果又往往有一些独特的要求。因此，自己动手设计和制作音箱的人数也就日益增多。然而，国内有关音箱设计及制作的通俗读物却很少。为此，这本小册子打算就声音的基础知识、扬声器与音箱的设计原理及制作工艺等方面知识作些通俗的介绍，献给广大电声爱好者。考虑到便于初学者入门，并增加这本小册子的实用性，在第六章中汇集了国内外数十种成功的音箱结构、外形尺寸、电声参数、频响曲线等资料，供读者设计制作音箱时参考。

在介绍应用最广泛的倒相式音箱的设计中，本小册子着重介绍了 $R \cdot H \cdot Small$ 的设计原理及方法。 $R \cdot H \cdot Small$ 吸取了前人理论研究的成果，并致力于将这些成果应用于实际设计之中，形成了具有自己独特风格的音箱设计理论方法，在当今电声领域中具有相当的地位与影响。为力求使读者容易理解，小册子中尝试将 $R \cdot H \cdot Small$ 设计方法作了某些简化。

本小册子在介绍音箱设计和制作的过程中，删去了冗长的计算和推导过程，而直接应用一些现成的结论。这样，具有初中以上文化水平的读者就能容易地读完它，并获得对扬声器及音箱的设计和制作方面的入门知识，从而引起动手制作音箱的兴趣。读者倘能参照本书提供的资料，自己动手制成

一对理想的音箱的话，本人将感到莫大的欣慰。

此外，关于铝质蜂窝状平板扬声器的介绍，本人在汇总了大量日本有关资料的同时，也总结了自己在设计我国第一只铝质蜂窝状平板扬声器时的经验与体会，可供有关扬声器设计的专业工作者参考。

由于本人水平有限，书中难免有错漏，恳请广大读者批评指正。

这本小册子初稿完成后，承蒙上海声学学会理事长李宝善高级工程师悉心审阅，并提出不少宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

作者

一九八六年七月于上海

中国科学院声学研究所

目 录

第1章 声音与人的听觉特性.....	(1)
第1节 声音的产生与传播	(2)
第2节 声波的特性	(8)
第3节 声音的三要素	(17)
第4节 人的听觉特性	(25)
第2章 扬声器	(34)
第1节 扬声器发展简史	(34)
第2节 扬声器的构造及性能	(36)
第3节 电动式扬声器	(43)
第4节 扬声器的主要电声参数	(83)
第5节 扬声器的选择与维修	(90)
第3章 音箱系统的设计	(99)
第1节 声短路与障板	(99)
第2节 音箱的种类	(106)
第3节 音箱设计中一些电声参数的求取方法	(133)
第4节 封闭式音箱的设计	(146)
第5节 倒相式音箱的设计	(154)
第6节 组合音箱的设计	(173)
第4章 音箱的制作	(207)
第1节 音箱箱体的形状与频响的关系	(207)
第2节 吸振和隔声	(210)
第3节 吸声	(217)
第4节 音箱制作工艺	(220)

第 5 节 音箱的调试与试听	(231)
第 5 章 音箱的使用及选择	(243)
第 1 节 音箱的使用	(243)
第 2 节 音箱的选择	(249)
第 6 章 音箱设计实例	(255)
第 1 节 倒相式音箱设计实例	(255)
第 2 节 被动辐射式音箱设计实例	(289)
第 3 节 封闭式音箱设计实例	(296)
第 4 节 号筒式音箱设计实例	(303)
第 5 节 声柱设计实例	(312)
第 6 节 重放流行音乐的音箱设计实例	(317)
第 7 节 平板扬声器箱设计实例	(320)
第 8 节 其他各类音箱设计实例	(324)
附录 1 电声器件型号命名法	(332)
附录 2 国内外部分厂家生产的扬声器参数	(337)
附录 3 本书主要符号表	(363)
参考文献	(364)

第1章 声音与人的听觉特性

我们生活在声音的海洋中间。每个人从降生的一瞬间起就以“哇哇”的哭声宣告自己来到了这个世界。从此，各种各样优美悦耳的或单调烦噪的声音就无时无刻不伴随着我们了。有人讲声音是人们“最亲密的伴侣”，这种说法，一点也不夸张。然而不少人对身旁这位亲密伴侣的性格不很了解，往往受到它的愚弄。也有人巧妙地利用了这位伴侣的本领，创造出不少举世闻名的奇迹。历史上留下了许多有关声音的有趣故事：如为什么在滑铁卢战役的关键时刻，拿破仑的部下格鲁希将军就在战场附近而没赶去援助，致使拿破仑遭到惨败，从此一蹶不振？为什么人们在长200多米的圆环形天坛回音壁旁轻轻说话，其他人可在圆壁的另一边清晰地听到？又如，在意大利的一个叫“杰尼西亚耳朵”的山洞里，人站在某处讲话时，近处却听不到，远处却听得很清楚……

有些人去商店亲自聆听，细细挑选一些高档的音箱设备，但买回家后就感到重播效果不一样了。也有些人将同一套音箱设备放在墙角时音质不好，稍稍移动一下位置音质就大为改善。这些是什么原因造成的呢？其实，这些都与声音及人耳的特性有关。因此，在探讨音箱的设计与制作之前，对声音的“产生”、“传播”及“接收”的过程作一个简单的介绍，就显得十分必要了。它将有助于我们利用声音的特性，设计出完美的音箱，从而获得更佳的声学效果。同时也能够揭开上述历史故事及自然现象的奥秘。

第1节 声音的产生与传播

一、声源与媒质

一切能发出声音的物体都叫“声源”。那么，声源又是如何发出声音的呢？我们先动手做一个小实验。拿一把钢皮尺，用台钳将它的一端夹住，随后用手去拨动它的另一端，钢皮尺就会左右摆动，同时发出“嗡”“嗡”的声音（见图1—1）。似乎声音与振动有关。那么，是否一切声音都是振动引起的呢？我们再进一步进行实验。将一些小砂粒放在仰面朝天的扬声器纸盆上，然后让扬声器通电发声，你就会看到小砂粒在纸盆上跳跃，声音大时，跳得高些，声音小时跳得低些。可见，扬声器发声时，纸盆也在振动。如果我们观察一下小提琴、二胡等弦乐器，它们发声时琴弦也都在振动。上述一系列实验证明了：尺、纸盆、弦的发声都是振动引起的。同样也可证明，其他一切

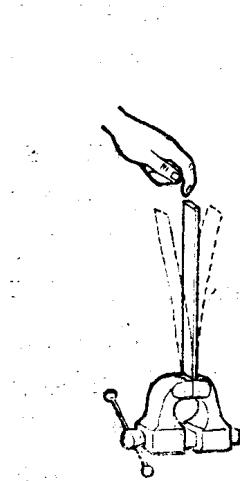


图1—1 钢尺振动发声

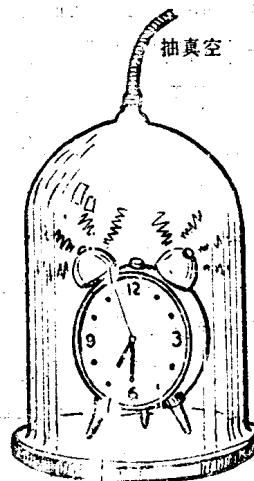


图1—2 钟罩内的闹钟

声源的发声都是物体作机械振动的结果。扬声器的纸盆、小提琴的琴弦、电话的膜片、锣面、鼓面、汽笛，甚至于树叶、地板、门窗……一切能振动发声的物体都是“声源”。

那么，是否有了声源，就一定能听见声音呢？我们不妨再做一个实验。如图1—2所示，将一只发声的双铃闹钟放入玻璃罩内，此时你会感到闹钟的铃声由响变轻，但仍可以听见。但当我们把钟罩内的空气抽出，使钟罩内逐渐形成真空，铃声将随着空气的减少而变轻，最后，我们完全听不到声音了，尽管透过玻璃钟罩仍察觉到铃还在振动。由此可见，声音的传播必须有空气等能传播机械振动的弹性介质，我们称它为传声“媒质”。上述实验表明：一旦没有媒质，尽管声源存在，但人们无法听到声音。空气或其他固体、液体，如玻璃、木板、钢、水都能传播声音。我们能听到玻璃钟罩内的铃声，能听到关着窗的教室内的朗读声，还能在游泳池的水中听到自己呼气的“咕”“咕”的水泡声，正是传声媒质在起着作用呢！

月亮上的有趣现象更能说明问题。据从月亮上回来的宇航员介绍，月亮上始终是静悄悄的，没有一丝声音。你将地球上的锣带到月亮上去，无论你怎样用力敲打都无法听到声音，甚至当流星坠落在月球表面时，尽管流星将岩石撞得火星迸裂，但仍没有任何声音。这是什么原因呢？答案是同样的：月亮上没有空气，没有传声的媒质，声音就无法传播。在月亮上宇航员只能依靠无线电波互相讲话。

二、纵波与横波

声音就其本质而言，就是声源的机械振动，引起了周围的弹性媒质发生波动。图1—3的例子可以表达这个过程。扬声器音盆在前后振动时，就会使紧贴着的一层空气分子也受到压缩或拉松，而这一层空气分子对邻近的空气分子也有弹性力，

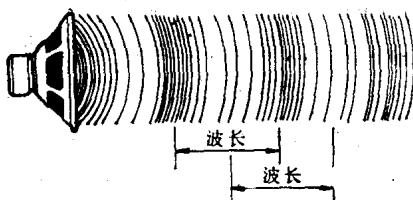


图 1—3 声音的传播

又会引起它自己附近的另一层空气分子的压缩或拉松……这样，使分子层层挤压或稀疏的运动会依次递送，从音盆向各个方向传播出去。在这种空气的疏密波动中，密的部分气压超过大气压，疏的部分气压低于大气压，它传入人的外耳道后，就会引起鼓膜上气压的变化，使鼓膜产生振动，引起了听觉。

物质的波动有纵波与横波之分。所谓“纵波”，是指振动方向与波的传播方向相同的波动现象。上面讲到的空气中传播的疏密波就是纵波。因为纸盆振动时，它的振动方向与其附近的空气分子的振动方向及声波的传播方向是一致的。一般在空气中或液体中传播的声波或超声波都是纵波。

振动方向与传播方向互相垂直的波，称为“横波”。如图 1—4 所示用手抖动绳子的一端时，绳子上产生的波就是横波。横波与纵波是最简单的两种波。常常被人们用作例子说

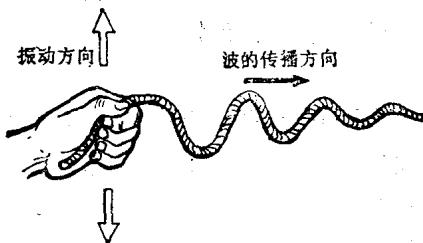


图 1—4 横波的实例

明波动情况的水面波，却既不是简单的横波也不是简单的纵波。它是一种比较复杂的波。因为湖中的水分子不仅受到邻近水分子的弹性力作用，还受到重力与表面张力的作用。因此，当水面波发生时，水的质点一般都沿着椭圆轨道振动，使它们回到平衡位置的力不是一般的弹性力，而是重力、表面张力与弹性力的综合作用。

横波只能发生在固体中。这是因为当一层介质相对于另一层介质平移而发生切变时，只有固体中才会产生恢复这一切变的弹性力，从而使质点在平衡位置附近振动起来。液体与气体不能产生这种抵抗切变的弹性力，因此不能传播横波，只能传播纵波。图 1—5 是在几个不同时刻所绘出的纵波传播时各质点的位置分布图，即从 $t=0$ 到 $t=2T$ 的两个振动周期中，密集区域和稀疏区域沿着传播方向交替排列的情形。

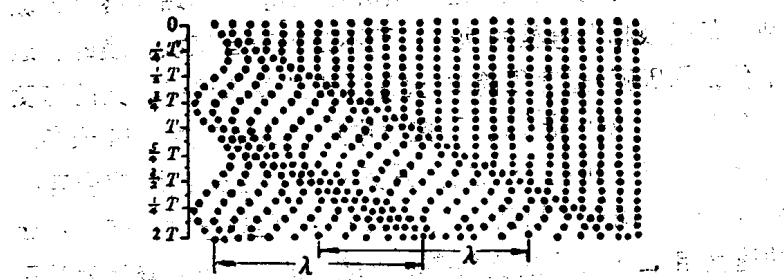


图 1—5 纵波传播时各质点的位置

图 1—6 绘出了横波传播时，每经过半个周期各质点的位置分布。由图可见，质点位于平衡位置上方的区域(波峰)和质点位于平衡位置下方的区域(波谷)交替地排列着。

三、声音的速度

声音传播有多快？在我们日常谈话中感觉到声音的速度是极快极快的。似乎在对方嘴动的同时，我们的耳朵已听到

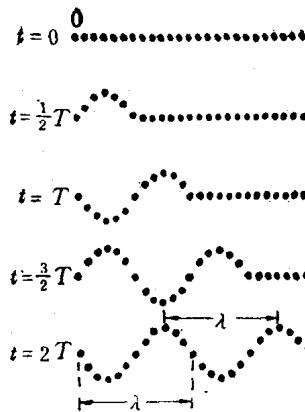


图 1-6 横波传播时各质点的位置

了声音。然而仔细观察一下，又会发现声音的速度并不是最快的了。你可曾注意过赛跑的发令场面吗？裁判员将发令枪放在一块黑色的档板前，运动员听枪声起跑，而站在终点的裁判员却是根据发号枪的烟光，而不是听声音来按秒表的。这是什么原因呢？道理很简单，光速比声速要快得多。光的速度为 300,000,000 米/秒，而空气中声音的速度是 344 米/秒。光速比声速大 900,000 倍！从月亮到地球这段距离，声音至少要走 13 天，而光却只需要 1.28 秒！但与地球上其他运动物体的速度相比，声音的速度仍是属于较快的。比如讲，奔驰的骏马速度仅 9 米/秒；12 级台风也仅 23 米/秒左右；而汽车每秒也只能走 30 米左右呢！

为了测量声音的速度，人们是动了一番脑筋的。1827 年有人第一次用下述方法测量出声音在水中的速度。如图 1-7 所示，在两条相距 13,847 米的船上，其中一条船下挂一只钟，以此发出声音，在敲响钟的瞬间，同时点燃火药，发出亮光。在另一条船上的人立刻记下看到亮光的时间，然后再用伸入水

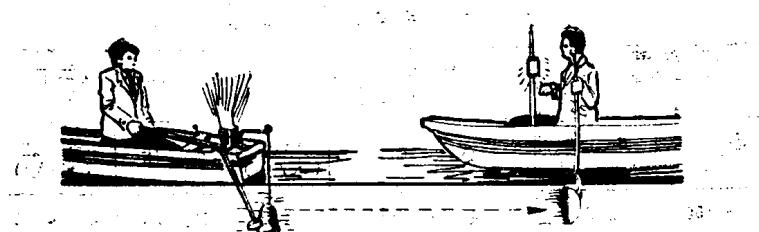


图 1—7 第一次测量水中的声速

中的喇叭状听音管听传到第二只船上的钟声，并记下这第二个时间。由此求得声音在水中的速度为 1,435 米/秒，比在空气中快了三倍。当然，这是在一百多年前测试的方法，现在科学技术的发展已有了许多更简便、更精确的测定声速的方法。

声音传播的速度与媒质的温度也有关系。一般地说，气体中的声速随温度上升而增大，随气体分子量的增大而减小，而与压强无关。如 0℃ 时，空气中声速为 330 米/秒；20℃ 时为 344 米/秒。不同的媒质，传播声音的速度大小也不同，因为液体、固体的弹性模量与密度的比值比气体大，因而它们传播声音的声速也大，而且一般也随温度的升高而增大，但关系比较复杂。声音在各种媒质中的传播速度见表 1—1。

了解了声速与光速以后，我们来看下面这个有趣的问题：有两个人在听音乐，其中一个人是在上海音乐厅内，离乐队 20 米处直接听乐队演奏；另一个人坐在北京家中通过无线电实况转播欣赏音乐。假定北京距上海音乐厅为 2000 公里，那么谁先听到乐队的演奏声呢？我们知道，声音在空气中传播速度为 344 米/秒，那么第一个人应在 0.059 秒后听到音乐，而无线电波传播速度为 300,000 公里，那么第三个人在北京家中听到音乐的时间约为 0.0066 秒。可见，远在 2000 公里外用