

电视广播技术与信号传输

DIANSHI GUANGBO JISHU YU XINHAO CHUANSHU

张勇 马凌 著

哈尔滨地图出版社

电视广播技术与信号传输

DIANSHI GUANGBO JISHU YU XINHAO CHUANSHU

张勇 马凌 著

哈尔滨地图出版社

•哈尔滨•

图书在版编目 (CIP) 数据

电视广播技术与信号传输 / 张勇, 马凌著. — 哈尔滨:
哈尔滨地图出版社, 2005.2
ISBN 7-80717-197-9

I. 电... II. ①张...②马... III. 电视广播系统 IV. TN94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 140561 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮编: 150086)

哈尔滨旭田印刷有限公司

开本: 787mm×1092mm 1/6	印张: 14.5	字数: 317 千字
2005 年 2 月第 1 版	2005 年 2 月第 1 次印刷	
印数: 1~500	定价: 35.00 元	

前 言

广播电视技术是20世纪发展最快的技术之一,它融合了电子、通信、信息、计算机、网络等多项技术于一体,是一个综合性的高科技产业。随着21世纪的到来,人类开始步入信息化社会,对信息和娱乐的要求不断提高,电视广播技术也将扮演更加重要的角色。

随着社会的发展和人们生活水平的提高,越来越多的用户希望通过新的技术手段来收看更多高质量的电视节目以及获取各类信息,而数字有线电视网正是符合这种要求的现代信息传输媒体之一,它具有频带宽、节目套数多、投资少、图像质量好、可传输各类信息、可扩展多种业务等优势。因此,世界各国都在快速发展有线电视,在我国有线电视也获得了极大的发展和广泛应用,已经在城、乡普及。随着技术的进步,特别是数字有线电视系统和CATV交互数据业务的传送,数字有线电视网已成为中国信息高速公路的重要组成部分,而且有线电视网、电信网和计算机数据网的“三网合一”是信息社会的发展方向 and 必然。

为了满足有关技术人员的需要,作者根据当今最新的技术发展,多年的专业工作和科研经验编写了《电视广播技术与信号传输》一书。该书全面介绍了电视广播系统及其信号传输技术,内容分为基础知识、电视广播技术和信号传送三大部分五章组成。

本书有这样的特点,一是全面、综合介绍了电视广播系统中主要环节的关键技术,而且大量介绍了目前国际上先进的技术和应用。对传统技术、设备内容只进行了一般描述,相对增加了大量数字电视接收、处理、传输新技术及网络相关内容,力求本书内容与现代电视技术现状、发展趋势相一致,并具一定前瞻性。二是在内容上简化或省略了过细的公式推导和电路分析等内容,突出基本原理和系统构成方面的内容。这样做不仅使读者能充分了解电视广播系统各个环节的基本工作原理,而且能全面了解电视广播系统的构成及运行情况,而且有国内数字信息网设计实例供读者参考,希望本书能够对从事电视广播工作或相关专业人员、管理者以及想了解电视广播技术的人士有所帮助。

作 者

2005年11月

1. 概 述

1.1 广播电视技术的发展历史

1.1.1 电视广播技术的发展历史

声音广播系统处理的对象是声音，只涉及到人的听觉特性，而电视广播系统处理的对象是活动图像及其伴音，除了听觉特性之外，还涉及到人的视觉特性。由此可见，电视广播技术相对于声音广播技术而言要复杂一些。电视广播技术的发展历史最早可追溯到19世纪末开始的机械电视。1884年，德国人P. G. 尼普科夫发明了可实现机械电视的扫描盘；1897年，德国人K. F. 布劳恩发明了阴极射线管；1925年，英国的J. L. 贝尔德表演了实用的机械扫描电视；1930年左右，英国、前苏联等国家进行了机械电视的广播；1927年，美国的P. 法恩斯沃思取得了电子电视的专利；1933年，美国的V. K. 兹沃赖金发明了光电摄像管，可以把光图像变成电信号，为真正的电子电视奠定了基础；1936年，贝尔德电视公司在英国开始了电子方式的黑白电视广播，从此开始了电子电视的时代。这一情况一直延伸到第二次世界大战。第二次世界大战延缓了广播电视的发展，到战后50年代初期，黑白电视广播才在各国得以普及。与此同时，彩色电视的试验和研究也在进行。1951年，美国试播了一种与黑白电视不兼容的场顺序制彩色电视。由于当时黑白电视已拥有大量用户，若彩色电视与黑白电视不兼容，将得不到推广。因此，1953年，美国联邦通信委员会(FCC)批准了NTSC兼容制彩色电视，并于1954年正式开播，从此开始了彩色电视广播的时代。1967年，前联邦德国正式广播了PAL兼容制彩色电视，同年，法国和前苏联广播了SECAM兼容制彩色电视。NTSC、PAL、SECAM并列为当今世界上三大彩色电视广播制式，分别得到了世界各国的采用。这三种制式都与黑白电视兼容，但它们三者之间互不兼容。因此，在不同制式的各国之间进行节目交换需要进行制式转换。

从20世纪70年代开始，电视广播技术也开始向数字化过渡。最初是局部设备的数字化，如数字时基校正器、数字电视制式转换器等，然后是整机设备的数字化，如数字录像机、数字信号处理摄像机等。到了20世纪90年代，出现了全数字化的数字电视广播标准，如欧洲的DVB系统、美国的ATSC系统、日本的ISDB系统等。目前，数字电视广播系统已在很多国家和地区得到应用，最终必将会完全取代模拟电视广播。

与此同时，有关高清晰度电视(HDTV)系统的研究也在进行。高清晰度电视的发展历史分为两个阶段，即模拟高清晰度电视和数字高清晰度电视。日本从1970年开始研究开

发模拟HDTV技术，于80年代提出MUSE制高清晰度电视系统并试播成功。西欧从70年代末也开始了HDTV的研究，后提出了HD-MAC制的高清晰度电视系统方案。从本质上讲，MUSE制、HD-MAC制都属于模拟电视系统，只不过采用了一些数字处理。后来，随着数字技术的发展，数字高清晰度电视的优势已经越来越明显，日本和欧洲也先后转而研究开发数字高清晰度电视系统。从20世纪80年代末，美国、欧洲及日本先后提出了全数字化的高清晰度电视广播系统，这就是上面提到的DVB、ATSC和ISDB系统。目前，已有一些国家开始了数字高清晰度电视的播出。HDTV是继黑白电视、彩色电视之后的第三代电视，在21世纪将会得到较大的发展和应用。另外，从节目传送方式来看，电视广播最初只能利用VHF和UHF频段进行地面开路广播，覆盖区域很有限，质量也难以得到大的提高。而到了现在，出现了地面开路广播、有线电视广播和卫星电视广播三种方式共存且互为补充的局面，在很大程度上扩大了节目覆盖范围，并提高了传送质量。从电视广播的传送业务上看，传统的电视广播系统只能单向地向用户传送电视节目，而现代的电视系统将逐步过渡到能以交互方式传送包括电视节目、声音节目、各种数据及多媒体信息在内的综合信息服务系统。

1.1.2 中国广播电视技术的发展历史及现状

中国的无线电广播电台最早是在1923年由外国人开办的，到1926年才有了中国人自己建立的广播电台。1940年12月30日延安新华广播电台诞生，这是由中国共产党领导下建立的第一座无线电广播电台。新中国成立后，中、短波广播得到发展，在五六十年来，收音机在城市中已相当普及。我国的调频广播于1959年开始实验，1964年开始利用调频广播将中央台广播节目传送到各地的转播台和有线广播站。1979年，立体声广播在哈尔滨试验成功，随后开始了调频立体声广播。到2000年为止，我国共有广播电台304座，人口覆盖率达92.47%。进入20世纪90年代后，随着数字广播技术的发展，我国在广东珠江三角洲和京津地区先后建立了DAB先导网进行试验。

我国的电视广播技术起步较晚，最初是在不断学习、引进、消化、吸收国外先进技术的基础上发展起来的。从1956年起，原中央广播事业局就开始筹办电视广播，并选派技术人员到前苏联、东欧学习，同时组成电视技术攻关小组。两年后，即1958年试制成功我国第一套广播电视设备并提供给当时的北京电视台（即现在的中央电视台）试播。1958年9月2日，我国正式开播了黑白电视广播。

在黑白电视开播的同时，我国于1959年开始研究制定适合我国国情的彩色电视制式，最初进行的是NTSC的研究，但由于经济困难而被迫中止。到了1969年才又重新开始进行。当时由有关技术人员组成了科研小组进行“彩电大会战”，对世界上已有的三种彩色电视制式（即NTSC、PAL、SECAM）进行全方位的试验和比较，最后选择了适合我国国情的PAL制作为我国的彩色电视广播制式，并于1973年5月1日开始试播，同年10月1日正式播出。随后，电视广播在我国得到了迅速的发展，到2000年为止，我国共有电视台354座，人口

覆盖率达93.65%。

虽然我国的电视技术起步较晚，但发展很快。特别是近20多年，数字电视技术自出现为我国的发展带来了机遇。目前，我国一些发达地区在电视节目的制作、播出、传输、接收等各个技术环节都达到了世界先进水平。在HDTV方面，我国自行研制成功了多种制式的编解码器、调制解调器、信道编解码器及HDTV接收机等，并于1999年10月1日对建国50周年大典进行了HDTV转播。我国有关部门已组织专家于2000年5月制定并完成了HDTV的演播室节目制作及交换标准，其它标准也在研究制定当中。

1.2 广播电视的特点

在介绍广播电视的特点之前，首先将“广播”这个词本身的含义做一说明。“广播”有两层含义，一是通过无线电波或有线系统向广大听众或观众传送节目的过程，如声音广播、电视广播、数据广播等；另一层则是特指声音广播，比如我们日常生活中的习惯说法“听广播”即是指这个含义。本书“广播电视技术概论”即指声音广播和电视广播的技术概论，而本节“广播电视的特点”也是指声音广播和电视广播的特点。

广播电视是一种已经深入到人们生活方方面面的大众传播媒介，也是最普及的艺术形式和娱乐工具。作为20世纪人类最重要的发明之一，它缩短了世界的距离，沟通了人类的文化，加速了信息的传递，推动人类的文明。与报纸、杂志、音像制品、互联网等其它传播媒介相比，广播电视有其自身的特点。

广播电视能够以声音和图像的形式来传递信息，使人们在接收信息时既能“闻其声”，又能“观其貌”，因此具有形象化的特点。形象化的传播媒介具有亲切、真实、直观的特点，使听众或观众喜闻乐见，易于接受。因此，广播电视与其它一些以文字、纸张为媒介的方式如报刊、杂志、书籍等相比，更具有吸引力，更受到公众的喜爱。

广播电视是以电波传播的速度来传送信息，因此，具有及时性的特点，几乎在信息播出的同时，听众和观众就可以立即收到，而且在某一事件发生的同时，就可把它传播到世界各地(现场直播)。影片及音像制品(如唱片、录音带、录像带、VCD盘、DVD盘等)虽然也是以音、像形式播出信息，具有形象化特点，但它们不具备广播电视的“及时性”。

几乎在各个国家，广播电视都是覆盖范围最广泛的一种传播媒介。从广播电台和电视台播出的信息，可以深入到其服务区域中的每一个家庭。公众可同时接收到所传送的各信息内容。近年来发展起来的互联网虽然也能即时传送声音、图像等多媒体信息，具有形象化和及时性的特点，但就目前而言，其覆盖范围远远低于广播电视的覆盖范围，特别是在发展中国家，因此不具有广播电视的“广泛性”。

综上所述，广播电视这种传播媒介同时具有形象化、及时性和广泛性这三个特点，是任何一种其它传播媒介所无法比拟的。而这三个特点都离不开科学理论与技术手段的支持。广播电视事业的发展历程实际上就是科技进步、技术创新的历程。

1.3 广播电视系统的基本组成

电视广播系统主要由节目制作与播出发送与传输、接收三大部分组成。其中,节目制作与播出是整个电视广播系统的信号源部分,其主要作用是利用必要的电视设备及技术手段制作出符合标准的广播电视节目信号,并按一定的时间顺序(节目表)将其播出到发送传输端。节目制作与播出工作主要在广播电视中心(广播电台、电视台等)完成。发送与传输部分的作用是将广播电视节目信号进行一定的技术处理(如编码、调制等)后,经过某种传输方式(如地面射频传输、卫星广播、有线传输等)传送到接收端。广播电视信号的发送一般在发射台、卫星地面站、有线电视前端完成,而传输则要依靠某种特定的传输媒介(如无线电波、电缆、光缆等)来实现。接收与重现部分是电视广播系统的终端,其主要作用是接收广播电视节目信号,并对其进行必要的处理和变换,最终还原成图像及声音。接收与重现部分的功能主要由接收机及重现设备(如显示器、扬声器等)来实现。

1.3.1 广播电视节目制作与播出

声音广播节目和电视广播节目所处理和传送的对象不同,因此,在制作与播出过程中所要求的技术和设备也不相同。

声音节目处理的对象是声音信号,在制作和播出过程中所需要的设备和技术主要包括:录音室(或播音室)、传声器、拾音技术、调音台、录音设备、声音节目的编辑加工设备、高质量的监听系统等。

录音室是用来播音或录音的专业房间。对录音室的主要要求是声音扩散要均匀、混响时间要合适、隔音效果要好。录音室必须根据不同的节目进行设计,其技术指标都有特殊的要求。有了好的录音室,才有可能制作出好的声音节目。

传声器又称话筒,其作用是将声音信号转换成电信号。传声器是制作声音节目的信号源设备,其质量的好坏直接影响到节目的最终效果。传声器有很多种类,如电容式传声器、动圈传声器等,它们有不同的特性,因此要根据节目制作的要求选用合适的传声器。

拾音技术是合理、有效运用传声器的技术,包括传声器种类和型号的选择、使用传声器的数量、传声器的布局等。拾音技术是艺术和技术的结合,它要求录音师能熟练掌握各种不同设施的技术性能及操作,还要有相当的艺术修养和艺术创造力。

调音台是调音控制台的简称,它是声音节目制作和播出的主要控制设备。调音台可以对多路输入信号进行放大、音质修饰以及进行特殊音响效果加工处理,然后按不同的音量将其进行混合,产生一路或几路输出。

录音设备用来对声音节目信号进行记录和存储,以便在不同的场合和时间使用。在录音机发明之前,声音节目只能采用直播方式,有了录音机之后,节目制作和播出形式

才变得多种多样。目前主要的录音设备有模拟磁带录音机、数字磁带录音机、数字光盘录音机等。

声音节目的编辑加工设备用来对声音节目信号进行编辑和音效加工,主要包括数字音频工作站以及诸如压缩器、噪声门等各种音效加工器。

监听系统用作节目制作过程中的监听。声音节目在制作过程中,必须经过音响导演对它进行试听来确定预期效果。一个不好的监听系统往往可能造成错误的判断,导致节目质量的降低。因此声音节目的制作要求有一个高质量的监听系统。

电视节目处理的对象是活动图像信号及其伴音。其中,对伴音信号的处理技术基本与声音节目相同,而对图像信号的处理需要另外一些不同的设备和技术,包括演播室、摄像机、录像机、编辑制作设备、视频切换台等。

演播室是制作电视节目的场所,除了要有好的声音效果之外,还应当装备足够的灯光照明设备,并具有足够的空间,能按照拍摄的要求进行布光,保证图像层次分明、清晰度高、色彩逼真。根据演播室面积大小,可分为大型(400 m^2 以上)、中型(150 m^2 左右)和小型(50 m^2 以下)等几种,其用途也各不相同。摄像机的作用是将自然界中的光图像转换为电信号,并处理成符合标准的电视信号。摄像机是电视中心及节目制作部门的一个重要的视频信号源设备,其性能的优劣对电视图像的技术质量有决定作用。摄像机也有很多种,按用途分,有广播用摄像机和家用摄像机等;按功能分,有摄录一体机和普通摄像机等。

录像机的作用是对视频信号进行记录、存储和重放,它是最重要的电视节目制作设备之一。传统的录像机指的是以磁带为记录媒体的磁带录像机,其特点是技术成熟、应用广泛、性能稳定、价格便宜。近几年来,又出现了以硬盘为记录媒体的硬盘录像机,其最大特点是数据存取速度快,便于实现非线性编辑等,但价格相对较贵。编辑制作是指将零散的音视频素材编辑加工成符合要求并具有一定艺术效果的电视节目。编辑制作过程中要用到的技术手段主要有电子编辑、特技效果、字幕、动画等。

传统的编辑手段是利用磁带录像机和编辑控制器进行线性编辑,而现在广泛使用的编辑方式是非线性编辑,即以硬盘存储为基础,由计算机编程来实现的一种编辑方式。视频切换台是电视节目制作与播出过程中主要的控制设备,其作用是在多路输入视频信号中任选一路或数路信号输出。现在的视频切换台一般都带有特技功能,即在切换点处可以添加一些特技效果。

1.3.2 广播电视节目发送与传输

在广播电视中心制作完成并播出的广播电视节目要送到发送与传输部门,在这里经过适当处理之后,通过一定的传输方式传送到用户接收端。目前广播电视的传输方式主要有三种,即地面无线电开路传输、有线网络传输及卫星传输。

(1) 地面无线电开路传输

地面无线电开路传输是利用无线电波来传送广播电视节目。无线电频谱是重要的资源，除了用于广播电视的传输覆盖之外，还广泛地用于通信、导航、雷达、遥感遥测和数据传输等业务。因此，在利用无线电波进行传输时，应该按照各频段的特性最有效、最充分地加以利用。采用地面无线电波进行传输的广播电视业务主要有调幅中、短波广播，调频广播，VHF/UHF频段电视广播等。调幅中、短波广播是最早采用的无线电广播方式，它是指利用调幅方式，发射频率低于30MHz的声音广播。中调幅广播的频率范围是526.5~1605.5kHz，每个频道（即每套节目）的带宽为±4.5kHz，共可划分120个频道。短波广播的频率范围是5.95~26.1MHz，再划分为若干个分频段，每个频道的带宽也是±4.5kHz。

中、短波频段的无线电波在传播时有两种方式，即天波方式和地波方式。天波方式是指向空中发射的电波可以被电离层反射，在离发射机几百至几千千米之外形成服务区；地波方式是指无线电波沿着地面传播。中波频段的无线电波在沿地面传播时衰减较小，通常可在几十千米至几百千米的范围内形成一个稳定的服务区；而向空中发射的电波在白天被电离层衰减掉，夜间被电离层发射，在500千米之外形成一个不稳定的天波服务区。但由于天波和地波的相互干扰，在两个服务区之间会形成一个严重的衰落区，因此我国将中波调幅广播设计成地波服务方式。短波频段内地波衰减很快，不能形成有效的服务区，而天波被电离层反射后可在离发射机几百千米至几千千米以外的地方形成服务区。由于这一特性，世界各国通常将短波广播用于对外广播。

调频广播是指利用调频方式、且频率范围为88~108MHz（我国规定为87~108MHz）的声音广播。这一频率范围位于甚高频（VHF）频段内，共可划分为210个频道。由于VHF频段及更高频段的无线电波是靠空间波直线传播的，服务区域主要由发射天线与接收天线之间的视线距离决定。因此，为了扩大调频广播的服务区，要把发射天线尽可能架高。调频发射天线一般都架设在城市中心地带的广播电视塔上。

VHF/UHF电视广播是指利用VHF和UHF频段进行地面电视传输。国际上电视广播每个频道占用的带宽分别为6MHz、7MHz、8MHz，我国采用的是8MHz。在VHF和UHF频段，我国共安排了68个频道，但目前只使用了47个频道。电视广播频段的电波传播特性与调频广播相似，因此，为了扩大覆盖范围，也需要架高发射天线。另外，通常还需要建立相应的转播台和差转台。

（2）有线网络传输

有线网络传输系统是利用同轴电缆、光缆或微波等媒介进行传输，通过一定的分配网络，为用户提供多套广播电视节目的网络系统。目前我国采用有线传输方式的广播电视业务主要是有线电视系统，其频带宽度为5~1000MHz。目前我国的有线电视用户已经超过了0.8亿，成为全世界用户数量最多的国家。与无线传输方式相比，有线传输方式具有一些独特的优点。有线传输采用的是闭路传输方式，不受地形的制约和高层建筑物的影响，可避免空间电波的干扰，因此能够较好地提高节目传输的质量；另外，采用无线传输时，为了避免信号间的相互干扰，在同一地区广播时各频道之间应用一定的频率间

隔,如VHF频段要隔1个频道,UHF频段要隔6个频道。这样一来,频谱利用率大大下降。有线传输由于采用了闭路传输方式,信号不会对空间电波形成干扰,因此不仅可以采用邻频传输(即频道之间没有间隔)而且可以启用无线传输留给其它业务的频段,从而可使频谱资源得到充分利用,传送节目套数也相应增多。此外,有线传输方式可以划分出一些频段作为上行传输专用频段,这样就可以开展交互式的双向服务。不仅可以向用户传送广播电视节目及其它信息,还可以反向传送用户的请求或信息。这样,就可实现如电视会议、可视电话、视频点播、电视购物等交互式业务。

(3) 卫星传输

卫星传输是指利用地球同步卫星上的转发器进行信号的传输。与其它传输方式相比,卫星传输具有覆盖面积大、通信容量高、通信质量好、成本低等特点,近年来得到了很快发展。目前我国很多地区都采用了卫星转发来传输电视及声音节目。各地有线电视系统的信号源中,卫星转发的信号是其中一个重要组成部分。1999年1月1日正式启动的“村村通”工程采用的就是卫星传输方式,它是租用“鑫诺1号”卫星上的一个转发器,采用数字压缩方式传送5套中央电视台的节目和8套广播电台的节目。

卫星广播频段是指用于卫星上行传输和下行传输的频率范围,我国目前主要使用的是C和Ku频段。

1.3.3 广播电视节目接收与重现

广播电视节目制作播出后,发送传输至接收端。在接收端,需要采用适当的设备到接收所传送的信号,并经过一定的处理及变换后送往显示器或扬声器进行音像重现。数据节目传输方式的不同,接收端所采用的方式也不同,基本可分为有线接收、地面无线接收、卫星接收三种接收方式,相应的设备也不相同。例如,接收调幅广播节目属于地面无线接收,需要相应的地面接收天线,另外在接收机中还要有解调及其它处理电路将接收到的信号变换处理成具有一定幅度的音频信号,送往扬声器中就可恢复出声音。接收卫星电视节目属于卫星接收,需要采用专门的卫星接收天线,并需要对接收到的信号进行下变频和解调等处理,最后变成视频信号和音频信号,分别送往显示器和扬声器,就可收看收听到电视图像及伴音。

扬声器是将音频信号转换成声音信号的电/声转换设备,显示器是将视频信号转换成光图像的电/光转换设备。

2. 基础知识

2.1 声音的基础知识

要了解声音广播必须首先对声音的有关知识有所了解。本节主要介绍声音的产生和传播、人耳的听觉和声音的特性。

2.1.1 声音的产生和传播

(1) 声音的产生

声音是由物体机械振动或气流扰动引起弹性媒质发生波动产生的。例如，我们讲话时，把手指放在喉头处，就会感觉到喉头在振动。这种振动是由于肺部的气流通过咽喉的声带，使声带受到冲击而产生的。这一振动的气流再通过口腔的控制，就发出各种不同的声音。我们敲鼓时，如果鼓膜上撒上一些木屑，就可以看到木屑在鼓膜上弹跳，这说明鼓膜在振动，当振动停止时，声音也随之消失。我们将振动的物体称作声源。随着物体的振动，原处的空气密度及压力随之发生变化。而此点的变化又进一步引起相邻点的空气密度和压力发生变化。这样一点一点相互影响，使起始点的空气密度和压力的变化向其周围空间推进，从而形成了声波。当声波传到人的耳朵，使人产生声音感觉。因此，声音是由物体振动而产生的声波通过听觉器官所产生的印象。

声音必须通过空气或其它的媒质进行传播，形成声波，才能使我们听到。没有空气或其它媒质，我们是听不到声音的，声音在真空中不能传导。在声波的传播过程中，只是把声波振动状态传播出去，而空气质点只在其平衡位置附近振动，并不随着声波传播到远处去。这就好像我们向平静的水面投掷小石子时，在水面激起了一圈圈向外扩展的水波，水面上漂浮的落叶却只在原来位置处上下起伏，并不随着水波传开一样。

由于物体的震动，空气中某点的密度和压力发生变化。我们把空气密度和压力每秒钟变化的次数，即每秒钟内空气压力由最大变化到最大，或由最小变化到最小的次数称为声波的频率，常用符号 f 表示，单位是赫兹(Hz)。人耳能听到的频率为20~20000Hz。一个声波完成一次振动(空气压力由最大变化到最大，或由最小变化到最小)所需要的时间称为周期，用符号 T 表示。周期与频率是互为倒数关系。例如，频率为100Hz的声波，它的周期就是百分之一秒(即 $1/100=0.01s$)。声波在一个周期的时间传播距离称为波长，用符号 λ 表示，其单位为米(m)。

(2) 声波的传播速度

声波每秒内传播的距离称为声波的传播速度,简称声速,用符号 v 表示,单位为 m/s 。媒质传播声音的速度与媒质特性及环境温度有关。当温度为 15°C 时,声波在空气中的传播速度约为 340m/s ,当温度升高时,声速略有增加。声波在液体中的传播速度比其在空气中传播速度高,而在固体中则差异较大。例如,钢铁中声波的传播速度约为 5100m/s ,比在空气中快约15倍,这就是为什么我们趴在铁轨上可以较早听到远处火车发出声音的原因。如果在软橡皮中声波的传播速度仅约 50m/s 。

我们知道,声波的频率是传播媒质中某点压力在每秒钟内周期性变化的次数,波长为声波振动一周所传播的距离,因此声速可表示为

$$u = \lambda \times f$$

则波长与声速、频率的关系为

$$\lambda = u/f$$

不同频率的声波在同一媒质中传播时,其波长不同。例如,声波在空气中,若取声速 340m/s ,如果声波的频率是 100Hz ,利用公式可算得其波长为 3.4m 。同理, 1000Hz 声波的波长为 0.34m , 10000Hz 声波的波长为 0.034m 。声波的频率越高,其波长越小。声波的波长不同,在传播过程中会出现不同的现象。

(3) 声波的传播特性

① 声源的方向性

声源的一个重要特性是它的方向性。虽同声源的辐射方向图形不同,但大部分声源符合下列规律:当辐射出来的声波波长比声源的尺寸大很多倍时,声波比较均匀地向各方向传播;当辐射出来的声波波长小于声源的尺寸时,声波集中地向正前方一个尖锐的圆锥体的范围内传播。

例如,我们讲话时,语音中的低频部分,由于其波长比声源的尺寸大得多,所以能绕着人的头部向各个方向均匀地传播;而语音中的高频部分仅由发音者的嘴部向前直射。因此,当我们站在讲话者的背后时,由于听到的声音中的高频部分的分量下降,常常会感到听不清楚。

② 声波的反射和折射

当我们向河中投一小石块时,将会激起水波。此水波向四面传播,遇到河岸时,水波就会被反射回来。与其相似,在空气中传播的声波遇到长和宽都比声波波长大的坚硬障碍物(如平面墙),也会产生反射现象。我们在山谷中大声喊叫后,能听到回声,就是由于声波被对面山岗反射回来的缘故。

如果传播路径中遇到的是坚硬障碍物,则大部分声音能量就会被反射回来,小部分声音能量被障碍物吸收掉;如果传播路径中遇到的是松软多孔障碍物,那么大部分声波会被吸收,小部分声波被反射。由于此时声波从一种媒质进入到另一种媒质,其传播方向发生变化,我们把这种现象称为折射。

③ 声波的衍射和散射

我们仍以河面上的水波为例。当水面上有障碍物时,水波的传播发生了变化。当障

障碍物比较小时,水波可以绕过障碍物继续传播。当障碍物较大时,在障碍物背后边缘附近没有水波,而其余部分仍有水波传播,我们称这类现象为衍射。

声波遇到障碍物时也存在衍射现象。当声波在传播路径中遇到1m左右尺寸的坚硬障碍物时,频率较高的声波大部分会被反射回来,而频率低的声波则大部分能绕过障碍物继续向前传播。衍射的程度取决于声波的波长与物体大小之间的关系。因此对于同一个障碍物,频率较低的声波较易衍射,而频率较高的声波不易发生衍射现象,它具有较强的方向性。

声波在传播过程中,如果遇到障碍物产生的衍射无规则时,称为散射现象。如果遇到1cm左右尺寸的障碍物时,那么,无论频率多高的声波,大部分都能绕过它而继续向前传播。与上述现象相对照,当声波通过障碍物的洞孔时,也会发生衍射现象。此时,洞口好像一个新的点声源。当声波的波长比洞口尺寸大很多时,经过洞口后的声波从洞口向各个方向传播。而频率较高的声波则具有较强的方向性,从洞口向前方传播。

因此当室内有一声源时,声波将会遇到墙壁、家具等物体,产生反射、衍射等现象,而且声波还会通过门、窗的缝隙处传到室外。

声波的这些传播特性对其它的波(例如无线电波)也是适用的。

(4) 声压、声功率和声强

声波的强弱或大小通常用声压、声功率和声强来表示。当空气传播声音时,空气就会发生疏密变化,这样,空气的压强(单位面积所受到的压力)也就随着变化,即在原来大气压强的基础上又产生了一个随着声音变化而变化的交变压强。这个由声波引起的交变压强称为声压,它的单位是帕(Pa)。1帕为每平方米上1牛顿的压力,即 $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ 。较响亮的讲话声的声压约0.1Pa,雷声的声压约在10Pa以上,微风吹动树叶的声响可小到几千分之一帕到几万分之一帕。

使大多数人产生听觉现象的最低声压为 $2\times 10^{-5}\text{Pa}$,我们称为基准声压。

由于声音是一种以波的形式在空气中传播的机械振动,所以,衡量一个声源的发声能力还可以用声功率表示。声音的功率(声功率)是声源在单位时间内向外辐射的总声能。单位是瓦(W)。

在声波的传播过程中,某一点的声波强度是指穿过垂直于声波传播方向上单位面积内的声功率,称为声强,用符号 I 表示,单位是 W/m^2 。声强与声压的平方成正比关系。

2.1.2 人的听觉和声音特性

声音的物理属性有声强、频率、波形等,它们通过人耳传入大脑,产生响度、音调、音色等感觉。本节主要介绍人耳的听觉和声音的特性。

(1) 人耳的听觉

人的听觉器官即人耳是声音的接收器官,人耳分为外耳、中耳与内耳三部分,每部分都有自己的特性和功能。

外耳由耳廓和外耳道组成，外耳道一直通到鼓膜，其作用是将声音由耳壳传到鼓膜。外耳道相当于一个声管，其谐振频率约为3000Hz。因此，对于频率为3000Hz附近的声波，人耳的听觉灵敏度特别高。

中耳是由感觉振动的鼓膜、听小骨容纳鼓膜及听小骨的鼓室构成。中耳将外耳中空气的振动传送到内耳中，使外耳的阻抗和内耳中流体的阻抗相匹配，因而空气中的声能被有效地传到内耳。

内耳是听觉的主要部分，由耳蜗等组成。耳蜗的外形像蜗牛，其内部充满了淋巴液，掌管听觉的耳蜗部分为听觉神经。

中耳内听小骨的振动引起椭圆窗膜的运动，产生一个或几个波沿基底膜并通过淋巴液传播。对应于每一个频率，基底膜上都有一个共振点，耳蜗的每一段相应于某种振动频率。当耳蜗中的听觉神经因振动被激发时就向大脑发出脉冲，从而产生听觉。声强越大，则被激发的脉冲数也大，感受到的响度也大。

(2) 声音的特性

声音的特性是由三个要素来描述的，即响度、音调和音色。声音的响度与声波的强度有关，音调与频率有关，音色则与波形有关。

① 响度

人耳对声音强弱的主观感觉称为响度。对于同一强度的声波，不同的人听到的效果并不一致，因而对响度的描述有很大的主观性。一般说来，声强越大则响度越大。当我们用较大的力量敲鼓时，鼓膜振动的幅度大，发出的声音响；轻轻敲鼓时，鼓膜振动的幅度小，发出的声音弱。音叉发出的声波是单音，可用单频正弦波表示，当用不同力量敲击音叉，音叉发出的声波强度不同，即波形的幅度不同，如图2-1所示。

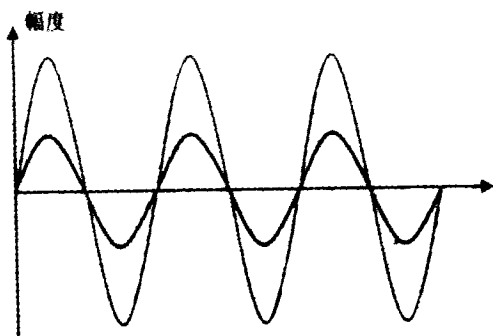


图2-1 两个不同幅度的声音波形

声音的强弱可用声音的声压级来表征。声压级是以基准声压作为参考所得的以分贝值表示的量。大部分人刚能听到声音的声压称为听阈，其声压为 2×10^{-5} JPa，声压级为 0 dB。我们常听到的轻微的呼吸声或窃窃私语声均属于这个范围。而人们所能承受的最大声音的声压称为可听阈。如雷声，近距离的汽车喇叭声，其声压级为120 dB。此时声压为

基准声压的 10^6 倍，可见人耳对声波强度的承受力之大。当声压级大于120 dB时，大部分人都会感到不舒适。如果长时间处于这样的环境中，会对人的健康产生不良影响。

实践证明，人们对响度的感觉还和声波的频率有关，同样强度的声波，如果其频率不同，人耳感到其响度也不同。例如，100Hz声音的最小可听声压级约为40dB，即小于40dB的100Hz声音人耳是听不到的。通常将声音最大声压级与最小声压级之差称为声音的动态范围。人耳能感受120dB声音动态范围，但目前的广播只能达到约70dB动态范围。

②音调

人耳对声音高低的感受称为音调。音调主要与声音的频率有关，当声波的频率提高时，人们感到音调提高了，而且与变化的对数成正比。例如，原来声波的频率为200Hz，现在把声波的频率提高到400Hz，这时，实际上频率增加到2倍，人耳则感到音调提高了“八度”。如果原来声波的频率为600Hz，现将其提高到800Hz，则人耳感到音调提高了，但提高不多。如果要产生提高八度的感觉，则应将频率提高到1200Hz，即增加到2倍。

当我们分别敲一个小鼓和一个大鼓时，会感觉它们所发出的声音不同，小鼓所发出的声音比较清脆，大鼓所发出的声音比较低沉。当我们分别敲击一个小音叉和一个大音叉时，也会感觉小音叉所发声音比较高，也就是音调高，大音叉所发声音比较低，即音调低。如果用某种方式把大、小音叉所发出的声波记录下来，可用图2-2表示。由图可见，小音叉在单位时间内振动的次数多，大音叉在单位时间内振动的次数少，同样小鼓的振动频率比大鼓的振动频率要高。男人讲话的语音频率比女人低，所以感觉男人的声音比女人的低沉。通常声音的频率越高，人耳感到声音的音调越高，即声音越尖；声音的频率越低，人耳感到的声音音调越低，即声音越钝。正常的年轻人能听到的声音频率范围在20Hz至20kHz之间，我们称这一频率范围的声音为可听声，低于20Hz的声音称为次声，高于20kHz的声音称为超声。调幅广播只能传送4.5kHz以下频率的声音，因此，声音保真度不高。

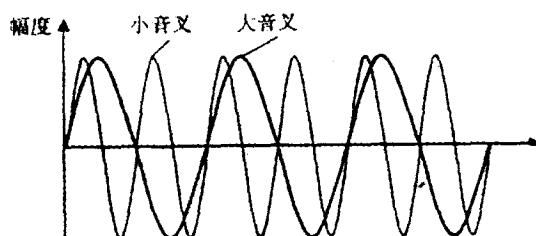


图2-2 两个频率不同的声音波形

③音色

音色是人耳对各种频率、各种强度的声波的综合反应。实际上，人们听到的语言或音乐的声音并非像敲击音叉时那样，仅仅产生一个单一频率的声波，它是由基波和多种谐波构成的。谐波的多少和强弱则构成不同的音色。例如，当我们听胡琴和扬琴等乐器同奏一个曲子时，虽然它们的音调相同，但我们却能把不同乐器的声音区别开来。这是因为，各种乐器的发音材料和结构不同，它们发出同一个音调的声音，即基本频率相同

的声音时, 振动情况是不同的。我们每个人的声带和口腔形状不完全一样, 因此, 说起来也各有自己的特色, 使别人听到后能够分辨出谁在讲话。一般乐器所发出的声音不是简单的正弦波(音叉除外), 而是非正弦波。例如拉胡琴时, 如果使它发出500Hz的声音, 那么, 除去500Hz频率幅度最大的正弦波以外, 同时还会有许多幅度较小的与500Hz频率成整数倍关系的正弦波, 诸如2倍频1000Hz、3倍频1500Hz、4倍频2000Hz……的正弦波。我们将其中幅度最大、频率最低的500Hz正弦波称为基波, 其它幅度较小、频率与500Hz成整数倍关系的正弦波称为谐波。其它发出有调声音的发声物体也都是除去基波以外, 还同时发出许多谐波。各种发声物体或乐器发同一音调声音, 其所发声音之所以不同, 就在于虽然基波相同, 但谐波的多少不同, 并且各次谐波的幅度各异, 因而具有各自的声音特色。音色主要是由声音的频谱结构决定的。如果声音经传输后频谱有了变化, 则重放出的声音音色就会改变。

上面所说的声音的三要素(响度、音调和音色)是人耳对声音的感觉。根据以上所述可以知道, 响度与声波的幅度, 音调与声波的基波频率, 音色与声波的频谱(或波形)有着重要的关系。

(3) 听觉的方向感

当我们听到一个声音时, 可以很明确地指出这一声音是从哪里发出的, 即可判断出声源的位置。但如果你用手堵住一个耳朵, 在多数情况下就很难辨别出声音的方位。因此, 人是根据双耳听到的声音在时间上、强度上及相位上的差异来判断声源的方位的。人们对双耳听到的声音在时间、强度及相位上的差异是相当灵敏的。当声波的频率较低时, 由于声波的衍射, 以致双耳听到的声音的强度相差不大。但是, 由于从声源到双耳之间的路径不同, 因此双耳听到声音的时间也不同。当声波频率较高时, 声音具有较强的方向性, 不易衍射, 因此双耳听到的声音强度不同。而人的大脑则根据时间、强度上的差异作出判断。

对于连续特性不变的声音, 当声波频率较低时, 双耳主要根据听到的声音的相位差来判断。此时, 双耳听到的声音是连续的, 但其相位不同。当频率较高时, 对应的波长较短, 则可能出现这样的情形: 两耳收听到的声音恰好相差几个完整的周期。因此, 仅由相位差来判断较高频率的连续声音是不够的。

对于复杂声音的定位, 人们根据强度、时间及音色等综合因素来判断。此时, 由于双耳听到的高音有差异, 较远的耳朵听到的高频成分比较少, 因而音色也不相同。人的双耳长在头部两侧, 由此对水平方向的判断能力比对垂直方向的判断要强得多。

(4) 听觉灵敏度

人耳对声压、频率及方位的细小变化的判断能力称为听觉灵敏度。

当声压发生变化时, 人们听到的响度会发生变化。如声压级在50 dB以上时, 人耳能辨出的最小声压级差约为1 dB; 而声压级差小于40 dB时, 要变化1~3 dB才能觉察。当频率发生变化时, 人们听到的音调会发生变化。人耳对频率变化的灵敏度不仅与频率有关, 还与其强度有关。对于1000 Hz、40 dB的声音, 变化3 Hz就能觉察。当频率较低且声压级