

高等教育影视动画专业规划教材

动画音效制作教程

Animation Audio Production Tutorials

陈俊海 © 编著

中国轻工业

高等教育影视动画专业规划教材

动画音效制作教程

Animation Audio Production Tutorials

陈俊海◎编著

图书在版编目 (CIP) 数据

动画音效制作教程 / 陈俊海编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2010.8

高等教育影视动画专业规划教材

ISBN 978-7-5019-7675-1

I. ①动… II. ①陈… III. ①计算机应用-动画片-音乐制作-高等学校-教材 IV. ①J617.6-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第120938号

本书主要阐述动画音效的制作技术, 数字音频的编辑与处理技巧, 以及相关的基本理论等。全书分为四篇共十五章, 其中理论篇内容包括: 动画音效概述、声音的特性、MIDI基础理论; 硬件篇内容包括: 音效制作系统的硬件构成; 软件篇内容包括: Nuendo3.0软件、Audition3.0软件、动画音效制作实用插件介绍; 实战篇内容包括: 声音剪辑、动画音效录制技巧、音频处理技巧与应用、音频效果器应用实战、动画音效制作流程、背景音乐的制作、环绕声音效的制作、创建音效素材库。

本书内容新颖、翔实, 理论讲解力求简明扼要、通俗易懂、注重实用; 技巧说明突出重点、分解难点、注重原理与理论依据。教程从基础开始循序渐进, 即使不懂任何动画知识, 也不会任何其他软件操作的新手拿到本书也可以快速上手。本书可以作为动画、电影、电视、广告、游戏、DV配音配乐爱好者的自学教材, 也可以作为全国各类艺术院校及高职高专影视动画专业的教材或教学参考书。

随书的配套光盘中附送作者从历届奥斯卡影片中剪辑的音效片段, 供大家研究学习与参考。另外附高品质综合音效素材库一套。

责任编辑: 王吉 责任终审: 简延荣 整体设计: 锋尚设计
策划编辑: 李颖 责任校对: 李靖 责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2010年8月第1版第1次印刷

开本: 889×1194 1/16 印张: 13.5

字数: 314千字

书号: ISBN 978-7-5019-7675-1 定价: 38.00元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

090577J2X101ZBW

目录

理论篇

第1章 动画音效概述	9
1.1 动画音效的概念	9
1.2 动画音效的构成元素	9
1.3 动画音效的表现功能	11
1.4 动画音效与画面的关系	13
第2章 声音的特性	15
2.1 声音的物理属性	15
2.2 人耳的听觉特性	20
2.3 室内声音的构成	23
2.4 立体声	25
2.5 声音的艺术属性	26
第3章 MIDI基础理论	29
3.1 MIDI的概念	29
3.2 MIDI标准协议	29
3.3 音序器	29
3.4 MIDI键盘	29
3.5 MIDI音源	30
3.6 MIDI系统连接	31
3.7 MIDI通道	32
3.8 MIDI信息	32
3.9 GM、GS、XG音色标准	33

《硬|件|篇|

第4章 音效制作系统的硬件构成	35
4.1 系统选型	35
4.2 硬件功能简介	36
4.3 信号处理设备	41
4.4 动效棚	46
4.5 数字音频工作站	46

《软|件|篇|

第5章 Nuendo3.0软件	49
5.1 音频工作站软件简介	49
5.2 Nuendo3.0软件安装	50
5.3 系统设置	50
5.4 Nuendo3.0的操作界面	55
5.5 操作窗口简介	55
5.6 常用轨道简介	59
5.7 Nuendo3.0界面详解	61
5.8 MIDI录制技巧	66
5.9 MIDI编辑技巧	68
5.10 音频录制技巧	74
5.11 音频编辑技巧	76
5.12 音频文件的操作	82
5.13 音频效果器的使用	89
5.14 Nuendo3.0自带的音频效果器简介	92
第6章 Audition3.0软件	105
6.1 Audition3.0界面介绍	105
6.2 Audition3.0音频编辑技巧	107

第7章 动画音效制作实用插件介绍	<u>111</u>
7.1 概述	<u>111</u>
7.2 插件的格式	<u>111</u>
7.3 插件的调用	<u>112</u>
7.4 实用音源插件简介	<u>114</u>
7.5 实用效果器插件简介	<u>135</u>

◀▶| 实 战 篇 |

第8章 声音剪辑	<u>145</u>
8.1 声轨分类	<u>145</u>
8.2 语言的剪辑	<u>145</u>
8.3 音乐的剪辑	<u>146</u>
8.4 音响的剪辑	<u>146</u>
实例 1 音乐尾音的处理	<u>147</u>
第9章 动画音效录制技巧	<u>149</u>
9.1 语言录制技巧	<u>149</u>
9.2 音响录制技巧	<u>151</u>
9.3 音乐录制技巧	<u>154</u>
第10章 音频处理技巧与应用	<u>157</u>
10.1 Nuendo3.0音频处理功能与操作说明	<u>157</u>
10.2 Nuendo3.0音频处理通用属性	<u>157</u>
10.3 Nuendo3.0音频处理功能详解	<u>158</u>
实例 2 利用音量包络来控制视频配乐的情绪起伏	<u>159</u>
实例 3 利用音高转换功能及均衡器来改变角色语音的个性特征	<u>163</u>
实例 4 利用立体声转换功能消除歌曲的原唱	<u>165</u>
实例 5 利用反转功能做环境声的循环连接	<u>167</u>
实例 6 利用时间伸缩功能使音乐匹配画面的长度	<u>169</u>

第11章 音频效果器应用实战	171
11.1 扫频降噪法	171
实例 7 使用扫频降噪法为音频录音降噪	171
11.2 电话、对讲机声音效果制作	172
实例 8 将语言原声处理为电话声效果	173
11.3 收音机、电唱机声音效果制作	174
实例 9 将语言录音处理为收音机收听效果	174
11.4 回声效果制作	175
实例 10 将录音原声处理为人在幻觉状态下的听觉效果	175
11.5 角色语言的效果制作	175
实例 11 将人声处理为机器人的语声效果	176
实例 12 将人声处理为体形庞大的角色的语声效果	176
11.6 特殊音响的效果制作	176
实例 13 为画面制作主观音响	176
实例 14 为慢镜头画面制作表意音响	178
第12章 动画音效制作流程	179
12.1 声音设计	179
12.2 导入视频文件	179
12.3 选择标尺显示格式及设置光标移动方式	180
12.4 为视频做音效标记、编号、命名	182
12.5 分类列出音效清单、准备音效素材	183
12.6 按音效分类及镜头或场景顺序导入音效素材，逐一编辑	183
12.7 预混	183
12.8 终混	184
12.9 输出混音文件	184
实例 15 为动画短片《空中决战》编辑音效	184
第13章 背景音乐的制作	187
13.1 使用音乐素材制作背景音乐	187
实例 16 用Loops素材制作背景音乐	187

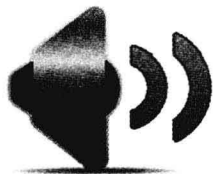
13.2 使用音源插件制作背景音乐	<u>189</u>
实例 17 使用音源插件Atmosphere制作背景音乐	<u>189</u>
13.3 使用智能作曲软件制作背景音乐	<u>191</u>
实例 18 使用Band-in-a-Box2009软件制作背景音乐	<u>191</u>
13.4 使用自动配乐软件制作背景音乐	<u>194</u>
实例 19 使用电影音乐自动生成工具Sony Cinescore制作背景音乐	<u>194</u>
第14章 环绕声音效的制作	<u>197</u>
14.1 关于环绕声	<u>197</u>
14.2 制作环绕声的必要条件	<u>197</u>
14.3 在Nuendo3.0中的环绕声操作	<u>197</u>
实例 20 环绕声混音实战	<u>201</u>
第15章 创建音效素材库	<u>205</u>
15.1 获取音效素材的途径	<u>205</u>
15.2 获取音效素材的方法	<u>205</u>
附录	<u>207</u>
I 音效素材盘目录索引	<u>207</u>
II 66~81届(1993—2009年度)奥斯卡金像奖最佳影片、最佳音响、最佳音效剪辑、最佳配乐、最佳动画影片目录	<u>208</u>
III 钢琴各音频率表	<u>209</u>
IV 常用乐器及人声的基音频率范围	<u>210</u>
V GM音色表	<u>211</u>
鼓键映射表	<u>212</u>
VI MIDI控制器一览表	<u>214</u>
主要参考文献	<u>216</u>

| 理 | 论 | 篇 |



理论篇作为本书的开篇内容，主要阐述动画音效制作过程中所涉及的基本理论。其中包括：进行动画音效设计与创作所必须了解的音效的表现功能、声画关系、人耳的听觉特性、声音的艺术属性等内容；以及进行动画音效编辑与处理所必须了解的声音的

物理属性、室内声音的构成、立体声原理与MIDI标准协议等内容。通过这些内容的学习，可以帮助我们了解动画音效制作技术与艺术创作的相互关系，也即技术为艺术服务，艺术依靠技术来实施。



第1章 动画音效概述

1.1 动画音效的概念

对什么是动画音效，在国内有不同的理解，有说动画音效指动画中的音响效果；有说动画音效指动画中的音乐与音效，即除语音外的其他所有声音。根据当今世界对电影、电视声音艺术的理论研究现状，笔者认为动画音效应指在动画作品中的声音效果，是我们在动画作品中听到的所有声音的总称。比如：在动画作品中自然界的客观声音，角色与物体运动产生的声音，角色对白的声音，以及配乐的声音等。

1.2 动画音效的构成元素

动画与电影、电视在制作方法上有很大的不同，比如：在画面的形成上，影视主要靠现场拍摄，而动画主要依靠手工及软件绘制；在声音的形成上，影视主要采用同期录音（即同期声），而动画的声音产生全部依靠后期配音，没有同期声。虽然动画与电影、电视在制作方法上有诸多的不同，但从构成元素上来说，它们都是由画面与声音这两大元素构成的视听艺术。它们都是用视听语言来结构影片，都属于视听艺术范畴，从艺术表现手法上来说也是大同小异。所以，为了便于研究与讲解，动画音效的分类可以参照电影、电视理论对声音分类的方法来进行讨论。根据动画音效声音的不同功能，可将动画音效分为语音、音乐与音响三类声音形式。

1.2.1 语音

语音指人说话的声音，在动画作品中，根据语言所起的作用可分为：对白、解说与画外音三种。

对白又称对话，也就是我们常说的“台词”。在影视剧作品中，对白是声音的主要成分，是各个角色之间进行思想感情交流的重要手段，担任戏剧发展的主要任务。

解说是指附加于影像之上的画外语言，用来解释、议论、抒情、介绍背景、表达作者观点等。它为画面确定意义内涵，是一种主要的叙事因素。

画外音包括独白和旁白两种。旁白，它主要以第一人称出现，对故事中的某个事件、某个人物进行解释和评论。独白，是角色自我交流性的语言，即生活中常见的自言自语；或是角色的内心语言，是影片角色内心与观众交流的一种语言形式，其表现形式为画面里的角色默不出声，画外却传来该角色的说话声音。

1.2.2 音乐

音乐是抽象的概括艺术，它的作用是表达情绪和情感的关系。影视音乐具有一般音乐艺术的共性，善于表现丰富的感情，但由于它是影视声音中的一个重要元素，有其影视艺术方面的属性，它必须与影片的思想内容、结构形式和艺术风格协调一致。因此，影视音乐在形式上和音乐艺术不完全一样，例如，它在影视艺术作品中往往失去了独立性，不是连续存在的，而是根据影片剧情和画面长度的需要间断出现的，并与语言、音响一齐共同构成影视作品的声音总体形象。另一方面，影视音乐的运用也不是简单地服从画面，而是服从内容的需要，不一定优美的画面就要有优美的音乐，而应该根据内容的需要，该用则用，不该用坚决不用。

影视作品中的音乐分为两种，一种是有声源音乐，一种是无声源音乐。

有声源音乐也称客观音乐，即音乐的原始声源出现在画面所表现的事件内容之中，使得观众在听到音乐声的同时也能看到声源的存在。例如画面中的人物直接唱出的歌曲，或是画面中乐器直接奏出的声音，再或是电视机、收音机和录音机等家用电器正在播送的音乐等。各类音乐会、电视晚会中的音乐节目，也属于这一类。但是也有一些影视作品，观众在画面场景中并不能看到音乐的声源，而是通过演员的表演动作或是经过制作者的精心设计和音色处理，使得观众感觉到画面场景有具体的音乐声源存在，这也属于有源音乐的范畴。比如，一个饭店的大堂里所播放的背景音乐，往往会被听者们理解为是有源音乐；一个酒吧里的动感舞曲也可以让听者感觉到有源音乐的存在。这是因为这些音乐可以使观众联想起自己的生活体验，从而对表现的环境有认同感。有源音乐的使用，可以增强影视作品中的生活真实感。

无声源音乐也称主观音乐，是指从画面上见不到或感受不到有原始声源的音乐。通常是来自画面之外，为烘托画面内容而配置的主题音乐，主要作用在于表达画面内容的情绪、渲染特定的环境气氛、刻画人物内心世界等。无声源音乐往往是来自影视作品的作者，也即导演和作曲家对事件内容的内心感受，根据角色性格的塑造和渲染情绪气氛的需要而精心设计创作出来的。无声源音乐的风格、样式、主题、旋律、节奏和时值的变化大都与画面所表现的内容情绪有关。它起着解释、充实、烘托和评论画面内容的重要艺术作用。

1.2.3 音响

通常依据主、客观性，我们将音响分为客观音响与主观音响，其中客观音响分：自然音响、环境音响（又称背景音响）、动作音响（又称动效）；主观音响分：特殊音响及表意音响。

客观音响指客观存在的音响，它是人类重要的信息来源，如听见打雷声知道要下雨了，听见窗外汽车喇叭声知道有汽车经过，听见水沸腾的声音知道水开了等。客观音响的存在使影视画面具有了真实感、环境感和亲临现场感。人们之所以把一些影片称为“大片”，一方面是拍摄的场面大，花费巨额资金；另一方面主要是音响效果突出，采用5.1声道的环绕声系统，尽可能地还原真实环境的音响效果，使人产生身临其境的感受。

运用客观音响不是将自然界所有的声音全搬到影片中来，而是需要精心筛选，把那些人们所熟悉的、有代表性的、显示特点的声音运用于影片中，使音响不仅能对画面进行补充，而且起到对环境性质的暗示。

主观音响是人们为了达到某些艺术效果，通过手段臆造、夸张而形成的写意、描绘意境或表现个人特殊状态下（如昏迷、幻觉）的听觉体验的声音。

主观音响不完全是现实中出现的声音，可以是超越现实而想象出来的，如阴间地狱的鬼走动的声音，动画片中的各种卡通音效等。

1.3 动画音效的表现功能

动画音效是由语音、音乐及音响穿插构成的，它们在作品中所起的作用及表现是不同的，合理应用、互相配合才能构成一个声音艺术整体。

1.3.1 语音

① 显示出发声者的性别和年龄，如男、女、幼、青、成、老；

② 表现出发声者的情绪和状态，如笑、哭、怒、喜、悲、哀；走路说话还是上楼边喘气边说话；慢条斯理还是连珠炮；大声激昂还是低声细语；

③ 反映出声音的个性，如有的人说话“瓮声瓮气”（形容人说话嗓门大而且低沉，犹如在大缸里讲话）；有的人说话“假嗓”（形容男同志说话像女人一样）。

1.3.2 音乐

（1）强化或缓和影视剧的节奏

影视的节奏有外在节奏和内在节奏两部分。

外在节奏指的是由各种外在表现形式产生的节奏。比如镜头“组接”（剪辑）；长镜头与长镜头的组接“显”得节奏慢，短镜头与短镜头的组接“显”得节奏快；较近景别（比如特写、近景）的镜头组接在一起会显得节奏快，较远景别（比如远景、全景）组接在一起会显得节奏慢。因此强调“快”节奏的情节（比如武打）应使用时间短、景别近的镜头组接，用长镜头、远景别组接则很难有什么节奏可言。音乐的加入也可以强化或缓和影片的外在节奏。

内在节奏是由剧情本身形成的，用情节的推进、悬念的设置等方法，来抓住观众的心理和情绪，产生紧张或舒缓、低回或高昂的节奏。在两种节奏之间，内在节奏是起决定作用的。如果剧情本身平淡无奇，用再多的外在手段，也产生不了节奏的“快”。

（2）帮助画面抒情

抒情是音乐的本性，影视中也经常使用音乐来抒情。抒情的“音乐段落”一般会有两种情形。

一种是让叙事时间静止。让时间在某一个点上暂停下来不再流动，叙事线索暂时停滞，画面内容不再叙事，而是越出现实作诗意的延伸，纯粹抒情。这种时候一般是人物处于情绪浓烈的时刻。比如人物失去了一个相亲或相爱的人（去世或分离）而陷入思念、追忆，此时画面经常是空镜头，让摄像机作为人物，“重返”过去曾经一起经历的场景，而音乐是如泣如诉、不绝如缕的。比如《寻枪》中表现主人公中弹之后的弥留之际，“灵魂”返回小学教室与妻儿告别的主观（空）镜头音乐段落。

另一种是让叙事时间叠加。这种时候音乐代表的情绪是焦急、漫长、煎熬、折

磨、执著等状况，画面上是一组人物焦急状态的叠加镜头。这种音乐段落也可以构成对叙事（时间）的省略。

（3）作为影片结构的一部分

一般情形音乐是不参与“叙事”主体（剧情）的，但也有一些时候会让音乐参与情节并推动情节发展，成为影片内部“结构”的一部分。

不参与结构的音乐如同房子“上”的装饰物，取掉它不会影响叙事的走向；而参与结构的音乐则如同房子的栋、梁、柱，是房子结构的组成部分，取掉它房子就会倒塌。参与结构的音乐，通常是与人物的生活、感情经历有关联的（人物和观众一起“听过”的）音乐，或者让人物从中受到启示、感动而作出重大决定的音乐。它定是有声源音乐，会在情节发展的关键部分出现，造成悬念。

1.3.3 音响

（1）扩展画面的空间容量

有两层意思：

一是从“外延”上的扩展。用画面外的“内在音响”产生的听觉虚像，让人（人物和观众）“似乎看到”另一个空间的情形。比如通过汽车声、雷声、暴雨声知道外面（另一个空间）“有车来了”或者在打雷、下雨。在人的内心视像中，空间比画面中展示的范围“扩大”了。比如老电影《地道战》中，群众挤在地道里的画面与外面传来的鬼子的掘土声。

二是从“内涵”上的扩展。画面的空间范围并没有“扩大”，但它内部的张力增大了，力度、密度增大了，让人感到了空间中的“拥挤”；“紧张”；“透不过气来”。比如另一部老电影《永不消失的电波》也有类似的情形：“地下党”在发最后一份电报，紧急的按键声让画面空间有了“紧张”，外面越来越紧的敲门声、砸门声，让人觉得这个空间“膨胀”得可能一触即发。

（2）刻画人物心理

声音是以声波的方式传递的，而声波具有全方位性。人的耳朵对声音的接收受到了主体意识的筛选。这就是现代心理学发现的“听觉（声音）的心理选择原理”，也即人耳听觉特性的鸡尾酒会效应。引起听觉选择的依据是“专注”，以及由此产生的错觉、幻觉。

引起错觉和幻觉的根本原因是“专注”，是过分地“想”什么或“怕”什么。这就是“风声鹤唳”（听）、“草木皆兵”（视）产生的原因。听觉的这种“心理选择原理”，为影视利用音响刻划人物心理提供了可能。如《天堂电影院》中，主人公30年后在废弃的影院里，仿佛“听”到了这里昔日的叫喊声、嬉笑声。比如恐怖片里经常出现的错听、幻听音响。

（3）渲染气氛

音响可以造成某种气氛，增加画面感染力，引领观众进入剧情规定的情境。比如喊声、掌声、笑声、喧闹声可以造成“热烈”、“激烈”的气氛，钟声可以造成“肃穆”的气氛，风雨声可以造成“肃杀”、“凄冷”的气氛、火车汽笛声可以造成“沉重”的气氛。

（4）制造趣味、意蕴或悬念

音响可以制造一些富有戏剧性的瞬间，以增加情节的趣味、意蕴或悬念。如卓别林《城市之光》中，查理在宴会上吞下哨子所发出的一系列音响；《天堂电影

院》中，神父手中的铃铛发出的钟声，主人公的思绪被一声清脆的玻璃杯的摔碎声惊醒；《沉默的羔羊》高潮前的门铃（电铃）声等。

（5）用于表意

音响可以用于表意，隐喻或象征人物所处的某种精神状态或作者的评价、意图。如《美国往事》一开始长达数分钟的一个背景音响——电话铃声，就被称为是主人公“面条”的“心灵铃声”，是主人公长达三十余年的内疚与精神折磨的隐喻。《大红灯笼高高挂》中被夸张的如雷贯耳的捶脚声，变成了一种对封建男权的象征。

（6）联接画面

以“声音的桥梁”联接画面。

1.4 动画音效与画面的关系

1.4.1 从内容上划分

（1）同步

这是最常见的一种。声音和画面所展示的内容完全合拍：语言、音响均是剧中人物或物体所发出的客观声音；音乐所展现的情绪、气氛与画面内容完全一致。

（2）并行

声音与画面各走各的系列。

比如电视新闻节目中，观众看到的画面是大会堂的全景，是领导人在讲话，而听到的声音则是播音员的声音；MV中的歌声和没有歌手（或与歌手口型不对应）的画面，以及所有的读信、留言条、独白等画外音。

并行的关系有较大的表现价值，可以形成对画面的省略或对时间的“节约”。

（3）对立

声音表现的情绪、气氛、节奏甚至内容与画面相反或者不和谐，形成悲与喜、庄与谐、慢与快、沉重与轻松等对立效果。这种关系的表现功能更强，常常具有暗示、隐喻、讽刺的修辞效果。比如猪的呼噜声与某人睡觉的画面，母鸡咯哒咯哒的叫声与三个女人聊天的画面。“并行”和“对立”两种关系也经常被称为“对位”。“对位”一词原是乐理术语，普多夫金首次提出了“声画对位”的学说，意指将声音作为一个独立的艺术元素在电影中使用。

1.4.2 从时空关系上划分

（1）声画同步

声音与画面的内容同步出现，使得声画的时空完全一致。主要用来表现影片的真实性。如画面段落表现的是一个热闹的集市，就相应出现了集市特有的叫卖声音。

艺术特点：在处理剧情时，可展示叙事内容的真实环境，有利于观众产生真实感。但平铺直叙，有时会让观众产生拖沓的感觉。

（2）声音提前

声音提前又叫声音导前。是指在画面段落转换时，后一个画面段落的声音提前出现在前一个画面段落的尾部，造成一种先声夺人的特殊心理效果。经常用来衔接两个画面段落之间的时空关系。如将后一个画面段落中的火车鸣笛声音提前到前一



个宁静的山村画面中，强调了即将到来的时空变化，预示着事件的发展。

艺术特点：能提示即将发生的事件，造成激动和紧张的气氛，引起悬念。

（3）声音延后

声音延后又叫声音延续。是指在画面段落转换后，前一个画面段落中出现的声音以画外音的形式滞后出现在后一个画面段落的开始处，以此将两个画面段落之间的时空关系进行衔接。如将前一场画面段落中打仗的枪炮声滞后延续到后一个宁静的山村画面中，虽然时空发生了变化，但暗示着战争还在继续。

艺术特点：可使画面的转换变得流畅和连贯，并暗示前后两个画面段落的关系。

（4）声音转场

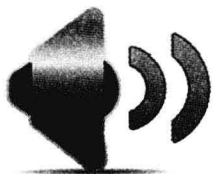
声音转场就是通过声音来衔接画面段落的转换。出现在前一场景结束时的声音与后一个场景开始时声音是一致的或类似的，以此作为画面段落时空转换的依据。如前一场景（宿舍）有两个人鼓掌，后一场景（教室）有数十人集体鼓掌。

艺术特点：这种用声音来带动画面段落的转换显得生动、流畅，同时加快了叙事的节奏。

（5）声音的淡入/淡出

声音的淡入/淡出又被称为声音的渐隐渐显。指前一个画面段落的声音逐渐消失，后一个画面段落的声音逐渐出现，主要用来表现时空关系的转换或叠置。一般和画面的渐隐渐显一起出现。如前一个画面段落中的现实生活的声音淡出，后一个画面段落的过去生活的声音淡入，表现了人物对往事的追忆。

艺术特点：它可以制造声音的运动感，表现不同的时空环境。



第2章 声音的特性

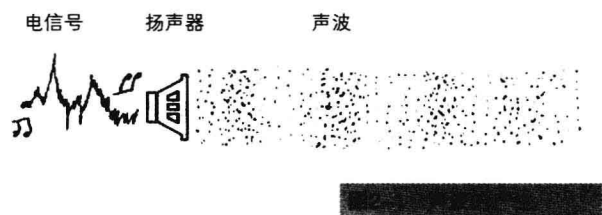
2.1 声音的物理属性

2.1.1 声波的产生与传播

物体的机械振动经媒质由近向远传播，形成声波，声波作用于人耳所引起的主观感觉形成声音。

做机械振动的物体称声源。各种固体、液体、气体等有弹性的物质都可以作传播声波的媒介，其传播速度的大小和强度取决于媒质弹性的大小，声波在固体中传播的速度比在空气中的传播速度快。

下列以空气为例，讨论声波在媒介中传播的物理过程。空气是由大量分子组成的，它具有质量和弹性，其行为像弹簧，具有可压缩性。可以用质点表示部分空气的集合，当物体发生振动时，将带动它周围的空气质点一起振动，由于空气可以被压缩，振动质点会连续不断地引起相邻质点的振动，在质点的相互作用下，振动物体周围的空气就会出现压缩和膨胀的过程，使空气形成疏密相间的分布，并逐步向外扩展，形成声波。如图2-1所示。



在声场中空气质点仅在原地振动，传播出去的只是波动的形式，类似麦田的麦波。麦波随风飘荡，但是麦子并未被移走。在波动的传播过程中，质点振动的能量在均匀地向前传播。

声波是由振动物体向周围媒质辐射并在媒质中传播的一种物质。波分为纵波、横波和表面波三种。纵波是媒质质点的振动方向与波传播方向一致的波，也就是媒质的稀疏和稠密的交替传播过程，声波就是以这种方式传播的。横波是媒质质点的振动方向与波传播方向垂直的波。表面波中媒质质点做椭圆运动，表面波是在两种媒质的界面处发生的。

声波存在的空间称作声场，和别的物质一样，声场也可用物理衡量，如频率、声速、波长、声压、声功率、声压级等。

2.1.2 频率、声速、波长与相位

(1) 频率

振动体每秒振动的次数称为频率，用符号 f 表示，频率的单位是赫兹（Hz），简称赫。振动体每秒振动一次时表示为

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ (次/秒)}$$

振动体每振动一次，即完成一次往复运动所需要的时间为周期，用符号 T 表示，单位是秒 (s)。频率和周期的关系为

$$f = 1/T$$

发声体每秒振动次数越多，即频率越高，听音者感觉声音的音调越高，一般称之为声音尖锐；反之，频率低的声音音调低，听起来声音低沉。一般把频率为 20~40Hz 的声音称为超低音，50~100Hz 的声音称为低音，200~500Hz 的声音称为中低音，1000~5000Hz 的声音称为中高音，10000~20000Hz 的声音称为高音。C 调的“1”频率是 256Hz，而高八度的“1”频率是 512Hz。

(2) 声速

声波在传声介质中，每秒传播的距离称为声波的传播速度，简称声速，用符号 c 表示，单位是米/秒 (m/s)。声音在不同的介质中的传播速度是不同的，在标准大气压下，0℃ 的空气中，声音的速度是 331.4m/s。空气的温度越高，声速越快，温度每增加 1℃，声速增加 0.607m/s。

声音在固体中传播的速度最快，其次是液体，再次是气体。如在水中一般是 1450m/s；在钢铁中约为 5000m/s。由此可见，声速决定于传声介质的性质，而与声源频率及强度无关。一般计算中，取声速 $c=340\text{m/s}$ 。

(3) 波长

物体或空气分子每完成一次往返运动或疏密相间的运动所经过的距离称为波长，用符号 λ 表示，单位是 m。在一定的传声介质中，波长是由声波的频率决定的：频率高，波长短；频率低，波长长。根据频率、波长和声速的定义，三者之间有如下关系：

$$\lambda = c/f$$

如常温下 (15℃)，在空气中的声波频率为 100Hz 时，波长为 $\lambda = c/f = 340/100 = 3.4 \text{ (m)}$ ；在水中的声波频率为 100Hz 时，波长则为 $\lambda = c/f = 1450/100 = 14.5 \text{ (m)}$

(4) 相位

这一名词说明声波在其周期运动中所达到的精确位置。相位通常以圆周的度数来计算，因而 360° 就相当于一个完整的运动周期。沿着时间轴画出波动的图形，能清楚地说明相位关系。从图 2-2 中可以看出，任何一个波动的起始点离其相邻波的起始点恰好是 360°。这就是说明所有波峰都是互相同相。同样，所有波谷均相距 360°。也就是说，它们也都是互相同相。而波峰与波谷之间则是互相反相，因为它们的相位差为 180°。

这里有一个重要的问题需要弄清楚，就是同相的声音是相加的，并易于结合；而反相的声音则是相减的，并互相抵消。如图 2-2 所示。

