



中 级 音 响 师

速 成 实 用 教 程

中国录音师协会教育委员会 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

中级音响师速成实用教程/中国录音师协会教育委员会编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007.7
ISBN 978-7-115-16055-3

I. 中... II. 中... III. 音频设备—技术培训—教材 IV. TN912.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 047030 号

内 容 提 要

本书讲解了音响系统的基础理论、调整方法和调音技巧, 主要内容包括声音和人耳的听觉特性、乐器声与语声、立体声和环绕声系统、传声器的原理与使用、扬声器系统、扩声系统、建筑声学基础、声音指标的测量, 重点介绍了各种音响设备的调整方法及调音技巧。

本书是学习中级音响调音技术的读物, 既适合从事音响调音工作的从业人员以及准备从事该行业工作的人员阅读, 也可作为音响师培训班和大、中专院校相关专业的教材使用。

中级音响师速成实用教程

-
- ◆ 编 著 中国录音师协会教育委员会
责任编辑 张兆晋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
人民邮电出版社河北印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.25
字数: 346 千字
印数: 1—5 000 册
- 2007 年 7 月第 1 版
2007 年 7 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16055-3/TN

定价: 26.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

音响师速成实用教程审定委员会

顾问：李志荣

主任：王庚年

副主任：高雨春

委员：孙庆有 刘书兰 于纪凯

中级音响师速成实用教程编辑委员会

主任：王明臣

副主任：王树森

委员：李大康 陈洪诚 王树森 郭忱 韩宪柱

黄志强 高剑 付永平 王雷

序

我们每人都有两只耳朵，正因为有了它，我们才能与他人交流、学习与娱乐，并从周围环境中获取信息，参与各种社会活动。在我们这个星球上，充满了各种各样的声音，形成了一个富有生命力的世界。假如世界上没有了声音，没有了语言，没有了音乐，成群的人们互不相识——则不可能形成社会，整个地球也将成为一个寂静可怕的死亡世界。

由于文明以及与文明相协调的技术的扩展，大大地增加和丰富了大自然的声音，产生了大量新的声源，从而使人类社会的生活更加丰富多彩。人类对声音的认识和理解能力，反映了其文化修养的进步程度。然而，有时候这些新的声波却强行进入人们的耳朵，丝毫不顾及人们的意愿，常常令人们难以忍受。这种巨大的噪声干扰不仅使人们心绪烦乱，严重影响人们的生活质量，甚至还会缩短人们的生命。

如何有效地控制和利用声音更好地为人类服务，同时与噪声作斗争，是每一位声频技术工作者的光荣任务。要完成这个光荣的任务，就要求我们每一位声频工作者不但要具备数学、物理学、电声学、乐理学等方面的知识，而且还要了解生理声学和心理声学等相关学科的知识。每一位声频工作者都应当成为一个技术与艺术相结合，理论与实践相统一的综合性人才。但遗憾的是，目前在这方面合格的人才还不多，教育和培养这方面的人才已是当务之急。

编写这套书的专家教授们，也是广播影视业的行家。他们具有从事声频技术与教育工作所需的专业品质，在编写这套书的过程中也展示了他们的才干。作为一个在广播影视各个岗位都工作过的业者，我衷心地推荐这套书，并希望广大读者在阅读本书的时候能对这种品质有一种亲身的感受。让我们同心协力，为创造一个美好的声音环境，为我们在整个地球上到处可以听到美妙的声音而努力。

中国国际广播电台台长 总编辑

王庚辛

2007年4月

前 言

随着我国文化娱乐事业的飞速发展和声频技术水平的日益提高，专业音响师（调音师）的社会需求量越来越大。据统计，全国现有电台、电视台的数量已超过 5000 家，再加上影视制作间和歌舞厅、影剧院、厅堂扩音、电化教学等，与音响技术相关的从业人员已有数十万人。作为一个新兴的职业，音响师越来越受到人们的青睐。

要成为一个合格的音响师，必须掌握相关的理论知识，并具有一定的技能技巧，诸如电工学和电子学基础知识，电声学和建筑声学基础知识，乐理学知识和设备装配以及实用操作能力都十分重要。从 2003 年开始，音响师要求持职业资格证书上岗。即便是具有大专或本科学历的人员，也只有在考取职业资格证书后才能具有上岗资格。另外，由于声频技术发展很快，从模拟技术进入数字技术已是大势所趋，设备和技术的更新已在很多单位逐步实现，知识更新和人员素质的提高已迫在眉睫。因此，尽快培养出高水平的音响专业人才，满足社会的需求，已成为当前职业技能培训的一个重要方面。

本套教程正是为了顺应现代声频技术、音响技术的发展潮流，满足广大声频工作者，特别是大量音响技术人员的实际需求而编写的，具有较高的实用价值。由于目前市场上适合音响师实际工作需要的书籍很少，系统介绍音响调音技术的书籍尚无法满足读者的需要，因此本套教程的出版能在一定程度上弥补这种不足。

本套教程分三册出版，包括《初级音响师速成实用教程》、《中级音响师速成实用教程》和《高级音响师速成实用教程》。其中，《初级音响师速成实用教程》主要针对初学者介绍音响设备的基本原理、基本操作方法，主要讲解音响师必备的电学、声学基础知识，如声音的基本属性、电工基础知识等，重点讲解了操作性很强的音响系统的连接、主要设备的操作与使用方法，是初级音响师的入门读物；《中级音响师速成实用教程》主要讲解音响系统基础理论、系统的调整方法与使用技巧，特别是对主要设备（如调音台）与周边设备的调整方法以及各种场合的调音技巧做了比较详细的介绍；《高级音响师速成实用教程》以讲解数字声频技术为主，介绍了数字声频技术的发展和应用，数字声频设备的基本原理、使用 and 操作方法，以及正确判断音响设备故障、正确处理故障和维修的方法。

本套教程既适合音响调音工作的从业人员以及准备从事该行业工作的人员阅读，也可作为音响师培训班和大、中专院校相关专业的教材使用。

对于书中的错误和不当之处，请广大读者批评指正。

中国录音师协会教育委员会

目 录

第一章 声音与人耳听觉特性	1
第一节 声音和声波	1
一、声压	1
二、声速、频率、周期和波长	2
三、声功率和声强	2
四、声级	2
第二节 人耳的构造及各部分的功能	3
一、外耳	3
二、中耳	4
三、内耳	4
第三节 人耳的听觉范围	5
一、频率范围	5
二、声压级范围	5
第四节 声音的三要素	6
一、音调	6
二、响度	7
三、音色	9
第五节 噪声	11
第六节 声波的传播	12
一、波阵面和声线	12
二、声波的反射和折射	13
三、声波的衍射和拍	13
四、驻波	14
五、多普勒效应	15
第七节 人耳的几种效应	16
一、掩蔽效应	16
二、双耳效应	18
三、主观音	18
四、鸡尾酒会效应	19
五、哈斯效应	19
六、耳壳效应	19
第二章 乐器声和语声	20
第一节 乐器声	20
一、乐器的分类	20

二、乐器的组成	21
三、乐器的时间过程	21
四、乐器发声的指向性	22
五、乐器声的声学特性	22
六、音阶	26
第二节 语声	33
一、人的发声机构	33
二、元音和辅音	33
三、语声的声学特性	34
四、语言的易懂度和清晰度	36
第三章 立体声和环绕声系统	39
第一节 立体声和环绕声的概念	39
第二节 人耳对声源的定位	39
一、声音到达人双耳的时间差	40
二、声音到达人双耳的声级差	41
三、人耳对前后及上下声源方位的判断	42
第三节 德波埃实验及双声道立体声正弦定理	42
一、德波埃实验	42
二、双声道立体声正弦定理	44
第四节 立体声的拾音	44
一、仿真头方式	45
二、AB 方式	45
三、声级差方式	46
四、分路方式	53
五、多声道拾音方式	53
六、多声道及立体声的串音衰减量和分离度	54
第五节 立体声的重放	55
一、立体声最佳听声位置	55
二、听声区域的扩大和声像的展览	57
三、立体声听声房间	58
第六节 多声道立体声和环绕声	59
一、杜比立体声和杜比环绕声	60
二、杜比数字立体声与 AC-3 编码器	62
三、家用 THX 技术	62
四、由双声道经处理后形成的环绕声	62
第四章 传声器的原理与使用	64
第一节 声波的接收方式	64
一、压强式声波接收方式	64

二、压差式声波接收方式	65
三、复合式声波接收方式	67
四、接收球面波声场时的声压差	68
第二节 传声器的特性及使用时的要求	68
一、传声器的特性	68
二、传声器使用时的要求	70
第三节 传声器的工作原理	71
一、动圈传声器	71
二、铝带传声器	74
三、电容传声器	75
四、驻极体传声器	78
五、压力区域传声器	78
六、无线传声器	80
第四节 传声器的使用及其特性选择	80
一、传声器使用中的几个问题	80
二、对传声器特性的选择	82
第五节 拾音方式	83
一、一点拾音方式	83
二、多传声器方式	83
三、一点拾音加辅助传声器方式	83
第六节 通俗音乐的拾音	84
一、鼓组	84
二、弦乐器	86
三、钢琴	87
四、铜管乐器	87
五、打击乐器	87
六、歌声的传声器布置	87
第七节 西洋古典音乐的拾音	88
一、钢琴独奏	88
二、小提琴、钢琴二重奏	89
三、钢琴伴奏的声乐	89
四、弦乐四重奏	89
五、交响乐	90
第五章 调音的概念与技巧	93
第一节 影响声音质量的有关因素	93
一、声音三要素对声音质量的影响	93
二、室内声场对声音的影响	95
三、室内声波传输特性对调音的影响	96
四、人耳听觉对调音的影响	97

第二节	音响系统的电平调整	100
一、	电平的基本概念	100
二、	系统电平的种类	100
三、	调整方法	101
四、	电平调整的注意事项	101
第三节	调音台的调音技巧	102
一、	常见音源的频率特性与听觉的关系	102
二、	人声的调音技巧	104
三、	伴奏音乐与歌声比例的调整	105
四、	音乐酒吧与咖啡厅的调音	105
五、	立体声扩声的校准和调整	106
六、	音响师在演出过程中应注意的问题	107
第四节	效果处理器的调音技巧	108
一、	效果处理器简介	108
二、	数字延时器工作的原理及应用	109
三、	数字混响器的工作原理及应用	112
四、	多效果处理器的应用举例	113
第五节	压缩/限幅器的调音技巧	117
一、	压缩/限幅器的功能	117
二、	压缩/限幅器的工作原理	118
三、	压缩/限幅器的应用	119
第六节	均衡器的调音技巧	124
一、	频率均衡处理的意义	125
二、	多频段图示均衡器的工作原理	125
三、	均衡器的主要技术指标	127
四、	均衡器在扩声系统中的应用举例	128
第七节	激励器的调音技巧	131
一、	激励器的基本工作原理	131
二、	激励器实例	132
三、	激励器在扩声系统中的使用方法	132
第八节	声反馈抑制器的调音技巧	133
一、	声反馈现象与产生啸叫的原因	133
二、	声反馈抑制器的工作原理	133
三、	声反馈抑制器的使用与调整	134
第六章	扬声器系统	137
第一节	机电和声电类比	137
一、	电路系统的串联谐振	137
二、	机械系统的串联共振	137
三、	声学系统的串联共鸣	137

第二节 扬声器的电声特性	138
一、扬声器的分类	138
二、扬声器的电声特性	138
第三节 纸盆扬声器	141
一、纸盆扬声器的构造和换能原理	141
二、纸盆扬声器在各声频段的特性	142
三、纸盆扬声器的效率和失真	144
四、其他形式的纸盆扬声器	146
第四节 球顶形扬声器	147
第五节 号筒扬声器	148
一、号筒扬声器的构造	148
二、指数号筒的临界频率	149
三、声透镜	149
第六节 扬声器箱	151
一、障板	151
二、后部开放式音箱	152
三、封闭式音箱	152
四、倒相式音箱	152
五、扬声器系统	153
六、声柱	155
第七节 其他扬声器	155
第八节 扬声器的使用	156
一、阻尼系数	156
二、扬声器与放大器的阻抗匹配	156
三、扬声器的定相	157
四、扬声器的性能与使用	157
五、扬声器使用时的注意事项	158
第九节 扬声器的测量	158
一、扬声器阻抗的测量	158
二、纯音检测	158
三、共振频率的测量	159
四、等效品质因数的测量	159
五、声压频率特性的测量	159
第十节 耳机	159
一、耳机的特点和对它的要求	159
二、耳机的类型和构造	160
第七章 扩声系统的使用及配置	162
第一节 扩声设备的组成	162
一、扩音机	162

二、前级增音机	164
第二节 扬声器与扩音机的配接	165
一、定阻抗式配接	166
二、定电压式配接	172
第三节 扩声扬声器的布置和啸叫的防止	173
一、室内扩声系统	173
二、室外扩声系统	174
三、防止声反馈引起啸叫的措施	174
四、扩声系统的电声性能指标和术语	175
第八章 建筑声学基础	176
第一节 室内声音	176
一、室内声音的传播	176
二、吸声系数与平均吸声系数	177
第二节 混响时间和简正振动	178
一、混响时间的定义	178
二、混响公式	178
三、简正振动	178
第三节 吸声材料和吸声结构	179
一、吸声材料和吸声结构的分类	179
二、各种吸声材料和吸声结构的吸声特性	180
第四节 房间的隔声、隔振和声音的扩散	182
一、隔声	183
二、隔振	184
三、扩散	184
第九章 声频指标的测量	185
第一节 声频测量的基本知识	185
一、声频设备技术指标和测量技术的发展	185
二、音质评价	185
三、测量工作的原则与注意事项	186
第二节 声频测量仪器及要求	189
一、声频振荡器	189
二、电子毫伏表	189
三、标准衰减器	189
四、电子示波器	190
五、测量用功率放大器	190
六、无感电阻箱	190
七、失真度测试仪	190
第三节 声频基本指标的测量	190

一、频率特性	191
二、信号噪声比	193
三、谐波失真	194
四、最大输出功率	195
五、声频系统的测量	195
六、传声器与扬声器的测量	196
第十章 视频基础	197
第一节 电视信号	197
一、图像的分解扫描	198
二、黑白电视与彩色电视的兼容	198
三、彩色电视制式	200
第二节 电视接收机	200
一、黑白电视接收机	201
二、彩色电视接收机	201
第三节 磁带录像机	202
附录一 中华人民共和国文化行业标准 WH/T18—2003 演出场所扩声系统的 声学特性指标 (摘要)	204
附录二 中华人民共和国文化行业标准 WH 01—1993 歌舞厅扩声系统的声学特性指标与测量方法 (摘要)	207
附录三 中华人民共和国广播电视部标准 GYJ25—1986 厅堂扩声系统声学特性指标 (摘要)	209
附录四 部分品牌音箱、功放技术参数	211

第一章 声音与人耳听觉特性

第一节 声音和声波

声音是由物体振动产生的，振动发声的物体称为声源。声源发出的声音可以通过固体、液体或气体等媒质来传播。通常声音是通过空气传播的。图 1-1 为扬声器（俗称喇叭）振动发声时通过空气传播的示意图。

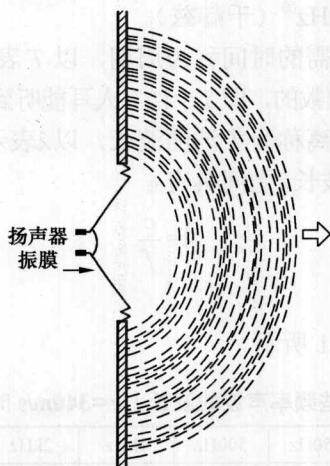


图 1-1 扬声器振动发声时通过空气传播的示意图

在空气中，声源的振动会使周围的空气质点产生一定的疏密变化，并以一定速度传播出去形成声波。因此，声波是疏密波，也称为纵波。

一、声压

包围地球表面的大气层，随高度和温度的不同而存在不同的大气压强。地面的静态大气压强，在 0°C 时约为 101300Pa 。Pa（帕斯卡）是压强的单位， 1Pa 等于 1 牛顿（N）每平方米，即 N/m^2 。当有声音存在时，大气压强会有微弱的起伏变化，即在静态大气压强上叠加了变化的分量。这个变化的分量称为声压，以 p 表示，单位为 Pa。通常，声压的大小用它的有效值 P 来表示。有效值是指将变化的声压瞬时值平方后求得的平均值。图 1-2 所示为声波引起的空气疏密与气压变化。

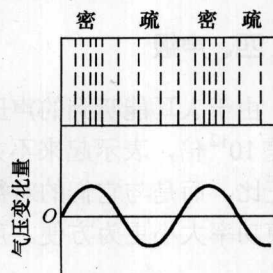


图 1-2 声波引起的空气疏密与压强变化

如果声压作简谐（正弦或余弦）变化，则声压的有效值为

$$P = \frac{1}{\sqrt{2}} P_m$$

式中 P_m 为声压的振幅（即最大值）。

人耳刚好能听到的声压约为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。如果某人在房间中大声说话，那么相距他 1m 处的声压为 0.05~0.1Pa；飞机强力发动机发出的声音，在相距它 5m 处的声压约为 100Pa。

二、声速、频率、周期和波长

声波在 1s（1 秒）内所传播的距离称为声速，以 c 表示，单位为 m/s（米/秒）。

0°C 时，在压强为 1 个大气压的空气中， $c = 331.5 \text{m/s}$ 。 c 值几乎不受气压影响，但会受温度变化的影响。在 $t^\circ\text{C}$ 时，

$$c = 331.5(1 + t/273)^{1/2} \approx 331.5 + 0.6t \text{ (m/s)}$$

在室温（15°C 时）时， c 约为 340m/s。

当声源作周期性振动，即作每隔一定时间运动状态就重复一次的振动时，它所发出的声波也作同样的周期性振动。我们将声源或声波每 1s 内的振动次数称为声音的频率，以 f 表示，单位为 Hz（赫兹）。 $1000\text{Hz} = 1\text{kHz}$ ^①（千赫兹）。

周期性振动完成一次振动所需的时间称为周期，以 T 表示，单位为 s（秒）。

很明显，频率和周期是互为倒数的，即 $T = 1/f$ 。人耳能听到的声音频率范围为 20Hz~20kHz。

声波每振动一次所走过的距离称为声波的波长，以 λ 表示，单位为 m（米）。

声波频率 f 、声速 c 和声波波长 λ 之间具有

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

的关系。

一些频率声波的波长如表 1-1 所示。

表 1-1 一些频率声波的波长（ $c = 340\text{m/s}$ 时）

f	20Hz	50Hz	100Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	5kHz	10kHz	15kHz	20kHz
λ	17m	6.8m	3.4m	1.36m	68cm	34cm	17cm	6.8cm	3.4cm	2.3cm	1.7cm

三、声功率和声强

单位时间内穿过垂直于声波传播方向给定面积的声能通量称为声功率，以 P 表示，单位为 W（瓦）。

单位时间内，穿过垂直声波传播方向单位面积的声能，也就是垂直声波传播方向单位面积的声功率称为声强，以 I 表示，单位为 W/m^2 （瓦/平方米）。声强与声压的平方成正比。

四、声级

由于人耳能听到的声压范围为 $2 \times 10^{-5} \sim 20\text{Pa}$ ，相差 10^6 倍，声强范围为 $10^{-12} \sim 1\text{W/m}^2$ ，相差 10^{12} 倍，表示起来不方便，另外，人耳对声压和声强变化的感觉也并不与变化的绝对值成正比，而是与它们的对数成正比，因此采用声压级、声强级和声功率级来表示声压、声强和声功率大小更为方便。声压级、声强级和声功率级的单位为 dB（分贝）。声级的概念与电

① 频率单位还有 MHz（兆赫兹）， $1\text{MHz} = 10^6\text{Hz}$ ；GHz（吉赫兹）， $1\text{GHz} = 10^9\text{Hz}$ 。

路中电平的概念相似。

1. 声压级

声压级 (L_p) 的定义为

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-1)$$

式中, p_0 为基准声压, 数值等于 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$; p 为待求声压级的声压。式 (1-1) 也可写成

$$L_p = 20 \lg p + 94 \text{dB}$$

由式 (1-1) 可知, 声压变化 10 倍, 相当于声压级变化 20dB; 声压变化 100 倍, 相当于声压级变化 40dB。

2. 声强级

声强级 (L_I) 的定义为

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-2)$$

式中, I_0 为基准声强, 数值等于 10^{-12}W/m^2 ; I 为待求声强级的声强。上式也可写成

$$L_I = 10 \lg I + 120 \text{dB}$$

由式 (1-2) 可知, 声强变化 10 倍, 相当于声强级变化 10dB; 声强变化 100 倍, 相当于声强级变化 20dB。

3. 声功率级

声功率级 (L_P) 的定义为

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{P_0}$$

式中, P_0 为基准声功率, 数值等于 10^{-12}W ; P 为待求声功率级的声功率。上式也可写成

$$L_P = 10 \lg P + 120 \text{dB}$$

表 1-2 给出了声压比或声强比与声压级、声强级的关系。

表 1-2 声压比与声压级及声强比与声强级的关系

声压比或声强比	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	20.0
声压级 (dB)	0.00	6.02	9.54	12.04	13.98	15.56	16.90	18.06	19.08	20.00	26.02
声强级 (dB)	0.00	3.01	4.77	6.02	6.99	7.78	8.45	9.03	9.54	10.00	13.01
声压比或声强比	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	1000.0	10000.0	100000.0
声压级 (dB)	29.54	32.04	33.98	25.56	36.90	38.06	39.08	40.00	60.00	80.00	100.00
声强级 (dB)	14.77	16.02	16.99	17.78	18.45	19.03	19.54	20.00	30.00	40.00	50.00

注: 表中比值为声压、声强与基准声压、声强的比值。

第二节 人耳的构造及各部分的功能

人耳可分为外耳、中耳和内耳三部分, 它的剖面图如图 1-3 所示。

一、外耳

外耳由耳郭(耳壳)、外耳道和耳膜(鼓膜)组成。耳郭起着将声波导向外耳道的作用, 并对声源方向的定位起作用。外耳道是一个直径约为 0.5cm、长约为 2.5cm, 一端封闭的管子,

起着将声音传至耳膜的作用。外耳道的自然谐振频率约为 3400Hz。由于外耳道的共鸣以及人头对声音产生的反射和衍射作用，人耳对 2000~4000Hz 声音的感觉可提高 15~20dB。耳膜是一个面积约 0.8cm²、厚约 0.1mm 的柔软的浅锥形薄膜。锥形的顶点朝向中耳。耳膜可接收声波的振动，然后传给中耳的听小骨。

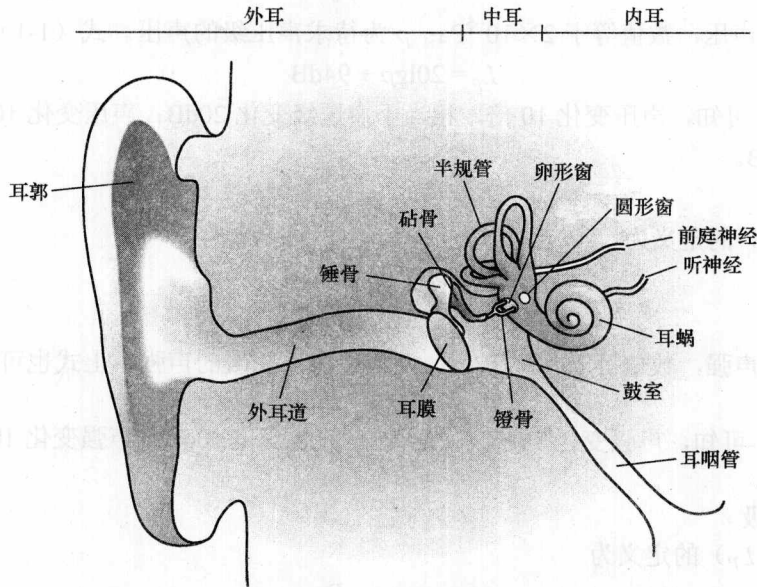


图 1-3 人耳的剖面图

二、中耳

中耳是耳膜内侧的空腔部分，容积约 2cm³，其中包含三个听小骨。与耳膜相连接，由耳膜中央朝向上方的小骨是锤骨，然后是砧骨及镫骨，它们以关节状相连接。镫骨的底面积约 3.2mm²，与内耳的卵形窗相接。中耳由于听小骨的杠杆作用以及耳膜与卵形窗面积比，使加到耳膜上的声压被放大后加给卵形窗，并起着将外耳的空气与内耳的液体之间进行阻抗匹配的作用。另外，听小骨附有能对强声起反射作用的肌肉，使强声减低后传入内耳，可保护内耳。听小骨具有一定的非线性，使人们对一个频率的声音能产生出它的谐音的感觉。中耳通过耳咽管与鼻腔相通。耳咽管平常是闭合的，当咽东西时它才打开，使外耳与中耳的气压保持平衡，以保护耳膜不致受到过强气压的冲击而破裂。

三、内耳

内耳由三个半规管和耳蜗组成。耳蜗的外形如同蜗牛的外壳，是由卷曲成 $2\frac{3}{4}$ 圈的螺旋形骨质小管组成的，管长约 2~3cm。耳蜗的直径约 9mm，高约 5mm，内部充满淋巴液。三个半规管是起保持身体平衡作用的，与人的听觉无关。耳蜗沿长度方向以基底膜为界分为前庭阶和鼓阶两个部分。这两个阶在顶端蜗孔处相通。基底膜由外端的 0.16mm 逐渐变宽，最里端宽度约为 0.52mm。基底膜上分布有约 3 万根毛细胞，每根毛细胞都与末梢神经相连。当声音经镫骨传到卵形窗后，由淋巴液传到基底膜，使基底膜上与声音频率相应的部分产生