

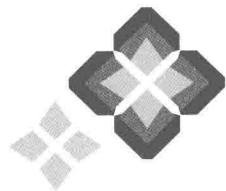


# 审听训练与音质主观评价

王鑫 吴帆 李洋红琳 著

录音艺术专业『十二五』规划教材

中国传媒大学出版社



录音艺术专业“十二五”规划教材

# 审听训练与音质主观评价

王鑫 吴帆 李洋红琳 著



中国传媒大学出版社  
· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

审听训练与音质主观评价/王鑫, 吴帆, 李洋红琳著.  
—北京: 中国传媒大学出版社, 2016. 3  
(录音艺术专业“十二五”规划教材)  
ISBN 978-7-5657-1622-5

- I. ①审…  
II. ①王… ②吴… ③李…  
III. ①音质设计—高等学校—教材  
IV. ①TN912. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 037880 号

## 录音艺术专业“十二五”规划教材 审听训练与音质主观评价

---

著 者 王 鑫 吴 帆 李洋红琳  
责 任 编 辑 曾婧娴  
装帧设计指导 吴学夫 杨 蕾 郭开鹤 吴 颖  
设计 总 监 杨 蕾  
装 帧 设 计 刘 鑫 杨瑜静  
责 任 印 制 曹 辉  
出 版 人 王巧林

---

出版发行 中国传媒大学出版社  
社 址 北京市朝阳区定福庄东街 1 号 邮编: 100024  
电 话 86-10-64450532 或 65450528 传真: 010-65779405  
网 址 <http://www.cucp.com.cn>  
经 销 全国新华书店

---

印 刷 北京艺堂印刷有限公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 19.5  
印 次 2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

---

书 号 ISBN 978-7-5657-1622-5/TN·1622  
定 价 58.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装错误 负责调换



## 中国传媒大学“十二五”规划教材编委会

---

主任：苏志武

编委：（以姓氏笔画为序）

王永滨 刘剑波 关玲 许一新 李伟

李怀亮 张树庭 姜秀华 高晓虹 黄升民

黄心渊 鲁景超 蔡翔 廖祥忠

## 录音艺术专业“十二五”规划教材编委会

---

主编：李伟

编委：王珏 雷伟 王鑫 朱伟 李大康



# 前 言

音质主观评价是录音师、音响产品设计师及声学设计师等声频行业的从业人员重要的工作工具。在工作中，他们通常需要运用耳朵对声音传输链路中每个环节所产生的声音进行主观评价，进而采用相应的技术手段进行调整，为听众创造出悦耳的声音。同时，在进行某些声频设备或录音作品评比时，又要求他们能够准确的运用主观评价方法，并对实验数据进行统计分析等以得出专业的评比结果。由此看出声频工作者既要具备精准的听辨能力和音乐鉴赏、分析能力，又要拥有实验心理学知识，数理分析统计等技能。本教材的内容就是为了训练这两种技能而展开的。本教材的前半部分是审听训练篇，主要训练各种听辨能力；后半部分是主观评价篇，主要阐述如何设计严谨而专业的 subjective 评价实验。

本教材包含十章，由三位编者共同编写完成。其中北京联合大学的吴帆撰写了第一章，第二章的第一节、第二节，第三章的第一节、第二节，第五章的第一节和第四节，第六章和第八章，李洋红琳撰写了第四章的第二节，余下的章节由王鑫撰写完成。此外特别感谢 Neumann 公司为本教材提供了大量的听音训练素材，以及中国传媒大学传播声学研究所师生和音乐与录音艺术学院师生提供的音质主观评价实验内容。

本教材可以作为音响工程、音响导演、影视节目制作等专业的大学生教材，也适宜于录音师、声频工程师及声学设计师等声频行业的从业人士参考。

# 目 录

绪 论 .....	1
第 1 节 音质主观评价的定义 .....	2
第 2 节 声音重放系统的配置及校准 .....	4

## 审听训练篇

第 1 章 声音与人耳听觉 .....	9
第 1 节 声音的物理属性 .....	10
第 2 节 声音的分类 .....	14
第 3 节 人耳听觉生理 .....	18
第 4 节 人耳的听觉心理 .....	20
第 2 章 音高感知与频谱均衡 .....	22
第 1 节 音高感知的基本概念 .....	23
第 2 节 音高感知听辨训练 .....	27
第 3 节 频谱的畸变与均衡 .....	29
第 4 节 频谱均衡的听辨训练 .....	38
第 3 章 响度感知与动态控制 .....	45
第 1 节 响度感知的基本概念 .....	46
第 2 节 响度听辨训练 .....	51
第 3 节 声音的动态控制 .....	53
第 4 节 失真与噪声 .....	59
第 5 节 失真与噪声听辨训练 .....	66

第4章 音色感知与音质变化 .....	71
第1节 人耳对音色的感知 .....	72
第2节 乐器分类及音色听辨 .....	75
第5章 空间感知与声场建立 .....	145
第1节 声源空间感知原理 .....	146
第2节 声场建立 .....	155
第3节 声像定位与声像畸变的听辨 .....	176
第4节 空间感的听辨 .....	190

## 主观评价篇

第6章 音质主观评价与实验心理学 .....	196
第1节 实验心理学概述 .....	197
第2节 心理实验的基本要素 .....	197
第3节 心理实验的道德准则和社会问题 .....	201
第4节 音质主观评价的流程 .....	202
第5节 音质主观评价的术语 .....	204
第7章 音质主观评价方法 .....	209
第1节 恒定刺激法 .....	210
第2节 对偶比较法 .....	223
第3节 系列范畴法 .....	227
第4节 等级打分法 .....	237
第8章 实验的信度与效度检验 .....	242
第1节 实验的信度检验 .....	243
第2节 实验的效度检验 .....	245
第9章 实验数据的统计分 .....	248
第1节 相关分析 .....	249
第2节 聚类分析 .....	251
第3节 因子分析 .....	254

第 4 节 回归分析 .....	258
第 5 节 实验数据分析应用举例 .....	264
第 10 章 音质主观评价综合案例 .....	278
第 1 节 音质主观评价实验报告的写法 .....	279
第 2 节 声音信号音质主观评价 .....	281
第 3 节 音乐厅音质主观评价 .....	289
参考文献 .....	298



# 绪 论

## 本章要点

1. 音质主观评价的定义
2. 声音重放系统的校准

## 第1节 音质主观评价的定义

声音作为多媒体信息重要的组成部分，是艺术传播与信息传递的重要载体。随着生活水平的提高和审美意识的提升，人们对声音的要求越来越高。声音从最简单的单声道重放形式，过渡到双声道，直到现在多样的三维全息环绕声重放形式。随着声频技术的不断发展，表征音质的技术指标也越来越高，声音正在向着高保真、高解析度方向发展。然而声音毕竟是听觉艺术，音质的优劣最终应该由听者来评判。音质主观评价是评判音质的有效手段。所谓音质主观评价，是通过人们对声音的主观感受，按照一定的评判要点和评判规则对声音进行评价的一种方法。

音质是声音三要素（音高、响度、音色）的有机构成和整体表现。音质的最终评价标准是人的听觉感受，因此音质的主观评价是声音评判的最终标准，一切客观测试指标的规定也正是力求能够较好地反映人的听觉感受。但是由于人听觉特性的复杂性，再加上对听觉生理和听觉心理的研究还不够深入，仅依靠音质的客观测试指标至今仍不能很好地反映主观听觉感受，客观测试与主观音质评价仍有不统一之处。因此主观音质评价仍是很重要的且不可由客观来代替的。随着对听觉规律研究的不断深入，客观测试与主观评价会不断地趋于统一，但由于主观世界的复杂性和多样性，音响的最终评判标准永远只能是听感，而不可能完全被技术指标所代替。

声音信号从拾取、传送、处理、录制，一直到重放，构成一个复杂的系统。音质主观评价，就是对节目源、重放声和整个声频系统作出评价，这不仅与声频系统的电气设备有关，还受录制和重放的声学环境，听者的生理、心理特性等诸多因素的影响。一般而言，音质主观评价具有以下的特点：

### 1. 个体评价的差异

对同一音质，不同的听者往往给出不同的评价。这种差异与听者所处的民族、地区环境、生活时代有密切关系，同时也因自我的艺术、美学修养的差异，生理、心理状态的差异、听觉、审美训练的差别而不同。尽管声音最终是给个体听的，但主观评价结果要具有一定的整体性或普适性。在主观评价实验过程中，如何科学地设计实验，实施实验，采用有效的数理统计方法挖掘数据，得到高可信度的整体结果是音质主观评价的一大难点。

### 2. 艺术与科学的结合

音质主观评价的对象往往是音乐声。音乐声是一种创造性的声音，先后经过作曲家的创作、演奏家的演绎、录音师的录制等多层艺术加工过程。而最终听者对音乐声的感受和体验，是在声音物理层面基础上抽象出来的审美体验。这种审美体验是指听者在直观感受基础上的审美体验过程，领悟音乐深邃的内涵与丰富的情感，这与听者的审美经验及不同文化的音乐审美特征有密切关系。因此，音质主观评价是一项带有艺术性的工作。

音质主观评价用于探究声音对听者心理活动产生的影响,属于实验心理学范畴。虽然人们对声音的感知存在很大的波动性,但是通过缜密的实验设计、严谨的实验方法、有效的数据统计分析,利用音质主观评价还是可以获得准确和有效的实验结论的。尽管音质主观评价具有艺术性,但是通过科学的方法可以在混沌的听感现象中探寻感知规律。

### 3. 多学科的融合

音质的主观评价不同于音质的客观评测,客观评测往往针对某个评测指标进行,例如声压级、频率、频谱特性等。音质是音高、响度、音色及时长的整体表现,在进行主观评价时很难分清这四个要素的影响比重。此外,节目源的类型,节目源的录制方式,听音室的建声环境,听音系统的电声指标以及听者生理、心理的状态都会对音质主观评价的结果产生影响。音质主观评价不但与音乐声学、建筑声学、电声学等学科相关,还与心理学、生理学等学科有着密切的关系。可见,它是一个多学科交叉的复杂问题。

一般而言,凡是与声音感知相关的问题都可以进行音质主观评价,评价对象主要包含以下几类:

(1) 节目源:包括广播电视节目及音像制品等,例如广电总局每年举行的广播节目技术质量奖(金鹿奖)就是一个典型的范例。

(2) 声频系统(设备):从前期拾取所需的传声器、调音台、到后期制作使用到的效果器、扬声器等声频设备及构成的声频系统都可进行音质主观评价。

(3) 声学环境:包括音乐厅、戏剧厅、歌剧厅等专业演出场所的音质评价。

(4) 录制方法:通常包括不同拾音制式、不同压缩算法、不同重放格式等用于声音处理方面的算法之间的对比与评价。

音质主观评价除了能够探究听觉感知规律外,也是录音师、音响产品设计师及声学设计师等声频行业的从业人员重要的工作工具。在工作中,他们通常需要运用耳朵对声音传输链路中每个环节所产生的声音进行主观评价,进而采用相应的技术手段进行调整,为听众创造出悦耳的声音。虽然随着电子工业和计算机的飞速发展,客观测试指标也成为音质控制的重要手段,但是由于人耳听觉系统的复杂性,加上对人耳听觉特性的研究还不够深入,仅仅依靠音质客观测试指标还无法完全反映听者的主观听觉感受。有时客观指标相同的声产品,其音质的主观听感可能不完全相同。因此,客观测试可以作为音质监控的辅助手段,音质评判的最终标准仍以主观评价为准。

明确音质主观感受与客观指标的关系,是声频工作者解决录音过程中声音问题的关键。声频工作者可以将物理控制参量转换成对声频信号的主观感知。目前能与客观参量有较为明确关系的主观参量包括音高、响度和音色。人耳对音高的感知,主要与频率有关。通常频率高,听到的声音高且细;频率低,则听到的声音低且粗。人耳对响度的感知,主要与声音的声压级和频率有关。对于同一频率的声音而言,声压级越高,响度越大。人耳对中频区声音响度的感知更加灵敏,对低频和高频区声音的响度感知相对迟钝。人耳对音

色的感知主要与声音的频谱结构有关。频谱成分不同，音色的主观感受也就不同。低频成分丰富，音色厚实、丰满；高频成分丰富，音色明亮、高亢。目前关于客观参量与主观感知的相关性研究还不够完善，而这个课题本身也成为许多主观评价实验研究的目的。

为了保证音质主观评价的科学性和规范性，国内外相关专业组织已经制定多项与音质主观评价有关的标准。ITU（国际电信联盟）已经形成较为完整的音质主观评价体系。ITU-R BS. 1284 是音质主观评价通用方法标准；ITU-R BS. 1116 是对小损伤音频系统（包括多声道环绕声）的音质主观评价方法标准；ITU-R BS. 1534 是对中等音频质量的编解码系统的评价方法标准。EBU（欧洲广播联盟）也为音质主观评价制定一系列标准。EBU Tech. 3252-E 是音质主观评价用节目源的录制说明；EBU Tech. 3276 是音质主观评价听音室建声与电声系统的要求；EBU Tech. 3286 是音质主观评价通用方法标准。我国国家标准局也制定了与音质主观评价相关的标准，主要包括：GB/T 16463—1996《广播节目声音质量主观评价方法与技术指标要求》；GB14221—93《广播节目试听室技术要求》；GB10240—88《电声产品声音质量主观评价用节目源编辑制作规范》；GSBM6001—89《电声产品声音质量主观评价用节目源标样》。

本教材的内容是为顺利开展音质主观评价实验而设计的，包含对主观评价实验中主试和被试两个主体的训练。审听训练篇着重训练被试所应具备的各种听辨能力，使之获得“金耳朵”的能力；主观评价篇旨在提高主试能力，详细介绍了实验过程中使用到的方法和技术，并最终通过两个综合实验，让主试全面了解音质主观评价实验过程。

## 第 2 节 声音重放系统的配置及校准

在进行审听训练或是音质主观评价之前，必须对声音重放系统进行校准。本节将针对最常用的两种重放系统详细介绍如何进行校准。

### 2.1 双声道重放系统

双声道重放系统最常用的扬声器摆位如图 1 所示，听者与两只扬声器构成等边三角形，通常扬声器与听者的距离为 3 米。该系统可以实现对前方声源横向、纵向的定位，并产生较为明显的表现声音的空间特性。系统的校准通常包含三个方面：声压级、相位和频谱特性的校准。

声压级校准是为了保证正常的监听电平，无论是审听训练或是主观评价，都应该在标准的监听声压级下进行。通常对于音乐信号，采用 EBU Tech. 3276 的监听标准。测试信号是电平为  $-18\text{dBFS}$  的全频带（ $20\text{Hz}$ — $20\text{kHz}$ ）粉红噪声，标准的监听声压级为：

$$L_{LISTref} = 85 - 10 \log n(\text{dBA}) \quad (1)$$

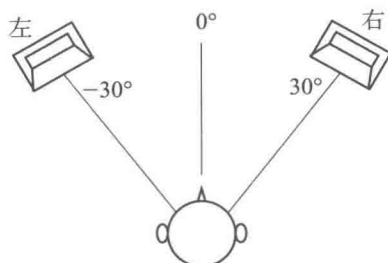


图1 最常用的双声道重放系统摆位图

式中  $n$  表示重放的声道数量。对于双声道的重放系统，计算得出每个声道标准的监听声压级应该为 82dB<sub>A</sub>。A 表示用声级计测试时采用 A 计权曲线。声压级校准信号见音频文件绪论—1，包括用于检查左声道声压级的粉红噪声测试信号，用于检查右声道声压级的粉红噪声信号及左声道加右声道的粉红噪声测试信号。

相位校准是检查左、右声道的相位极性是否一致。用于相位检测的信号通常是一段既有低音或高音打击乐器的节目信号（音频文件绪论—2）。该段测试信号中，分别是左声道的极性检查、右声道的极性检查、双声道立体声同相位的极性检查，双声道立体声反相位的极性检查。特别关注反相位的信号，听起来声音没有定位，声音发散。

频谱特性校准用于检查重放系统的频率响应是否平直，以及可重放的频率范围。检测信号通常是单频信号或是扫频信号（音频文件绪论—3）。单频信号每段持续时间为 10s，电平为 -18dBFS，频率分别为：20Hz，31.5Hz，63Hz，125Hz，250Hz，500Hz，1kHz，2kHz，4kHz，8kHz，10kHz，12.5kHz，16kHz，20kHz；扫频信号电平为 -18dBFS，频率为 20Hz—20kHz。依次聆听单频信号，如果在正常监听声压级下听不到 63Hz—12.5kHz 中的任何一个信号，说明你的监听系统存在严重的问题。20Hz，31.5Hz，16kHz 和 20kHz 对人耳及设备而言都算极限频率。如果听不到，说明监听系统可能在频谱延展性上存在问题。

## 2.2 多声道重放系统

多声道重放系统的配置多种多样，从最开始的 4 声道系统已经发展到复杂的 22.2 声道系统。现在用于音乐重放的多声道系统还不是很普遍，但是在电影领域，多声道重放形式已经成为主流。目前普遍被大众所接受且应用最广的多声道重放系统是由 ITU-R BS. 775-1 推荐的 5.1 多声道环绕声形式，扬声器摆位如图 2 所示。该配置中除了图中显示的左、中、右、左环和右环声道外，还有一个重放低频成分的低频效果（LFE）声道，通常重放 80Hz 或 120Hz 以下的频率成分。

根据重放系统应用领域的不同，声压级校准采用不同的标准。如果多声道系统用于纯音乐重放，通常采用 EBU Tech. 3276-E 标准。为了保证低频信号在空间感上的平衡，系

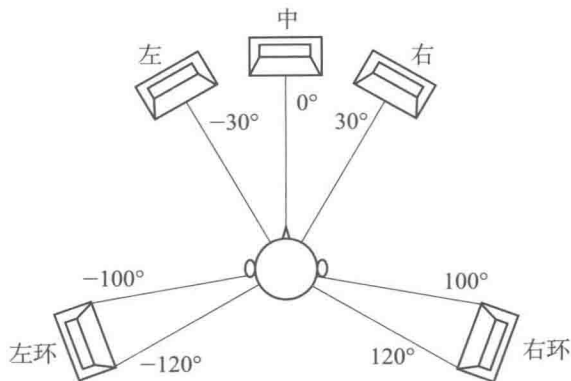


图2 标准的五声道扬声器摆位图

统往往将所有低频信号传输到主扬声器中，而不使用低频效果声道。测试信号是全频带（20Hz—20kHz）粉红噪声，电平为 $-18\text{dBFS}$ （见音频文件绪论—4）。测试声级计采用A计权，慢档。根据公式1的计算方法，每个声道标准的监听声压级应该为 $78\text{dBA}$ 。如果多声道系统用于电影声音的重放，通常采用 SMPTE 标准。测试信号是全频带粉红噪声，电平为 $-20\text{dBFS}$ （见音频文件绪论—5）。测试声级计采用C计权，慢档。左、中和右声道的标准监听声压级为 $85\text{dBC}$ ，左环和右环声道的监听声压级为 $82\text{dBC}$ 。LFE 声道的监听声压级为 $89\text{dBC}$ 。

相位校准通常以左声道为标准，依次检测其他主声道的相位。以左声道和中置声道为例，两个声道首先同时播放同相位的检查信号，然后再同时播放反相位的检查信号，判断声道的相位情况。低频效果声道的相位校准相对复杂，假设 LFE 的低频上限为 $80\text{Hz}$ 。首先在 LFE 和中置声道分别重放同相和反相 $80\text{Hz}$ 正弦信号（见音频文件绪论—6），试听音量的变化；然后 LFE 声道重放 $80\text{Hz}$ 以下的粉红噪声，中置声道重放 $80\text{Hz}$ 以上的粉红噪声，使用相位校准设备进行相位校准，测试信号见音频文件绪论—7。

频率响应的校准与双声道系统较为类似，在此不再赘述。

### 思考与研讨题

1. 什么是音质主观评价？音质主观评价可应用在哪些领域？
2. 如何对双声道重放系统进行校准？
3. 如何对多声道重放系统进行校准？

### 延伸阅读：

1. 王宏参：《声音质量主观评价》，中国广播电视出版社 2003 年版。
2. Jason Corey 著，朱伟译：《听音训练手册》，人民邮电出版社 2011 年版。

3. 孟子厚:《音质主观评价的实验心理学方法》,国防工业出版社 2008 年版。
4. EBU-Tech. 3276-2nd edition, *Listening conditions for the assessment of sound program material: monophonic and 2-channel stereophonic*, 1998.
5. EBU-Tech. 3276-E, *Listening conditions for the assessment of sound programme material: Multichannel sound*, 2004.

## 审听训练篇

---

想成为音质主观评价合格的审听员，长期和科学的听音训练是必不可少的。听音训练的关键是要坚持每天进行有规律的短时间练习，每次的时间以15分钟—20分钟为宜。由于听音需要精神高度的集中，不建议连续长时间地进行训练（2个小时或更长时间），否则会产生听音疲劳。当逐渐适应了这种精力高度集中的听音练习后，可适当延长每次的练习时间，但一般以45分钟—60分钟为最佳训练的时间上限。



# 第 1 章 声音与人耳听觉

## 本章要点

1. 理解频率、声压级、频谱等声音物理属性的含义
2. 了解声音的分类，并能够从听感上分辨
3. 了解人对声音的主观感受与客观参量之间的关系

## 关键术语

频率、声压级、频谱、乐音、噪音、纯音、复音、粉红噪音、白噪音