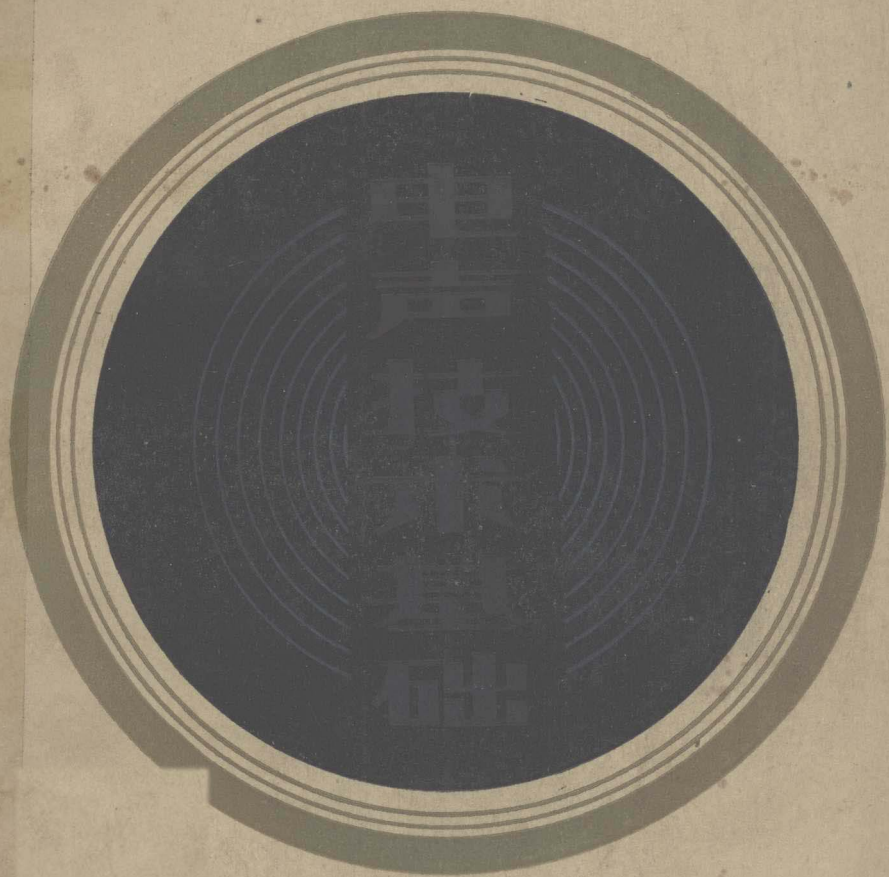


管善群 编著

陈 通 审



(修订版)

人民邮电出版社

73.413  
G82(2)

# 电声技术基础

(修订版)

管善群 编著

陈 通 审

人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书是在第一版的基础上修订而成的。本书共八章。第一章：声波、听觉和电声标准；第二章：室内声学；第三章：电声器件基础（上），扬声器；第四章：电声器件基础（下），传声器；第五章：磁带录声机；第六章：电声系统与调声控制台；第七章：立体声技术；第八章：立体声文艺节目的录制。其中，第一章是全书的总序，指出自由场声波、常见声音信号和人的听觉的一般规律，并由此引出电声系统与设备应遵从的一般原则。第二章则进一步分析室内声场特性。第三章至第五章分别讨论有关电声部件。第六章将场与部件结合成系统。第七章进一步介绍现代电声技术——立体声。第八章则是全书的总结与读者思维的开拓。

本书可作为有关工科高等院校的教科书（另配习题集）和教学参考书。对于广大电声工作者，可作为他们系统了解电声技术的基本读物。

## 电声技术基础

（修订版）

管善群 编著

陈 通 审

\*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京市隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

\*

开本：850×1168 1/32 1988年12月 第一版

印张：19 16/32 页数：312 1988年12月第1次印刷

字数：511千字 印数：1—4000册

ISBN7-115-03752-3/TN·158

定价：3.95元

## 修订版序言

本书自1982年出版后，受到广大读者的重视。次年在世界通信年优秀科技图书评选中，本书获得全国优秀科技图书一等奖，1987年又被评选为邮电部高等院校优秀教材一等奖。各位专家和广大读者对本书的好评给作者以很大的鼓励。许多专家和读者在给予本书好评的同时，还对第一版的内容提出了许多十分有益的建议和意见，对此作者深表谢意。作者在认真研究了这些意见后，决定在本书再版之际，保持第一版的优点，而对第一版中某些不足之处作了全面的调整和修改，并作了若干重要的补充。使本书的内容更加完善，便于读者更全面地理解电声技术的实质。

修订版中增加了两个比较重要的章节，一是在第三章中增加了“扬声器声场的工程计算”一节，一是新增了一章“立体声文艺节目的录制”（第八章）。

“扬声器声场的工程计算”一节主要是对本书第一、二、三章中所介绍的扬声器声场问题加以综合归纳，使读者便于概括，对室内声场有比较全面的理解，并且便于在工程上直接应用。

新增的第八章是针对电声技术具有跨专业（力学、声学、电学、磁学、光学以及生理学、心理学）的特点以及具有技术和艺术相结合的特点而写的。将这许多有关的知识组成一个系统的整体，这在电声技术中是一个难点。作者根据在多次全国性学术交流会以及多次教学中的讲稿，写成一个系统的章节，便于读者从技术和艺术相结合的角度以更加开阔的眼界理解电声技术的规律，并能对读者的思维起某种开拓作用。可供录声工作者和录声导演参考。

有些读者希望补充数字声频技术的内容，由于数字声频技术有一些独特的问题，并且基本上是属于电子技术的范畴。因此在本书

的修订中没有补充这方面的内容，拟另外专门著作论述。

作者虽然在修订时作了认真的研究，但限于作者的水平，难免还有不当之处，恳请专家和读者指正。

作 者

1988年2月于北京邮电学院

## 第一版序言

声学是一门古老的科学，它至少已有几千年的历史了。但电声学还是其中的一个较年青的学科，因为自从电子管发明以后才开拓了对声音信号进行加工和处理的手段。

电声学首先是从可闻声领域发展起来的，因为人们首先提出来的需要是如何将听觉所能感受到的可闻声加工得更加动听，那些极其宝贵的声音又如何完美地传送到远方和长期保留下来等等。

随着科学技术的发展，人们所提出来的越来越多和越来越高的要求逐渐得以实现，而电声学也逐渐超出了可闻声领域，开辟了超声电声学和次声电声学。目前，次声电声学已达到几乎是直流信号这样低的频率；超声电声学则已扩展到相当于原子尺寸这样短的波长。电声学的这些发展，不仅给古老的声学赋予新的生命，也促进了其他学科的进步，现代工业、现代农业、现代军事、现代医学、现代文化教育等许多部门都已渗入电声学的各门技术。

不过，可闻声电声学在整个电声学中有其独自的特点，因为它与人类听觉和社会文化艺术有着特殊的联系，它还涉及到空气中声波的传播特点，这使得可闻声电声学成为电声学中一门相对独立的专业。

本书专门讨论可闻声电声学中的有关问题，包括空气中声波传播、声音信号特点、室内声特点、电声器件、电声设备、电声系统以及立体声技术等方面的知识，特别结合人类听觉特性与声音信号特点阐述现代电声标准的含义及其在电声系统各环节的体现。当然，本书将着重从基本原理的角度讲述有关技术，并不逐一介绍各种具体产品，因为掌握基本原理才是认识还在迅速发展的电声技术的唯一正确途径，也可由此找到提高电声设备和电声系统质量的关

键。

为了突出重点，本书在各章的正文中介绍各种有关原理和分析方法，一些繁杂的数学推导和有关的数据资料则放在各章的附录中，读者可把阅读的重点放在正文所讨论的问题上，但阅读附录对理解正文也是有很大帮助的。

阅读本书最好具备一定的数学、物理、电工、电子线路基础知识，要搞好电声技术工作还应具备一定的音乐基础知识和进行一定的听觉训练。

本书在编写过程中始终得到陈通教授的支持和指导，在本书定稿时陈通教授又抽出时间仔细审校，这对本书的顺利出版起了十分重大的作用，在此谨表衷心感谢。另外，袁芳工程师为本书绘制了大量图表，在此也表示感谢。

由于可闻声电声学是一门综合的学科，还涉及到技术与艺术的结合问题，作者虽对这些有关问题做过一些探讨，但毕竟才疏学浅造诣不深，书中的错误恳请各位专家和广大读者指正。

作者1981年10月

# 目 录

## 修订版序言

## 第一版序言

## 第一章 声波 听觉 电声标准 ..... (1)

### 1-1 《有关声波的基础知识》 ..... (1)

#### 1-1-1 声波的基本参量与波动方程 ..... (1)

#### 1-1-2 平面波 球面波 波阻抗率 ..... (6)

#### 1-1-3 声波的能量关系 ..... (10)

### 1-2 《人类的主要听觉特性 电声标准的意义》 ..... (14)

#### 1-2-1 人对声音强弱的感觉特点 级的概念 ..... (15)

#### 1-2-2 人对声音频率的感觉特点 音高与音阶 ..... (18)

#### 1-2-3 人类听觉的频率响应 响度级的概念 ..... (21)

#### 1-2-4 人类听觉的非线性 ..... (24)

#### 1-2-5 人类听觉的掩蔽效应 电声指标的相对性 ..... (25)

#### 1-2-6 人类听觉的延时效应 ..... (27)

### 1-3 《常见声音信号的特点 电声系统的基本要求》 ..... (28)

#### 1-3-1 声音信号的波形——频谱特点 ..... (28)

##### 一、声音信号的时程特点 电声设备的稳态与瞬态要求 ..... (28)

##### 二、声音信号的频谱特点 电声设备的频带要求 ..... (29)

##### 三、声音信号的声色 电声设备的线性与非线性要求 ..... (35)

##### 四、声音信号波形的不对称特点 ..... (40)

#### 1-3-2 声音信号强度的计量特点 信号的动态范围与电声系统的动态范围 ..... (41)

##### 一、声音信号强度的计量值 声音信号的峰值因数与峰平比 ..... (42)

##### 二、声音信号声压(或电压)强度的计量时间特性 ..... (53)



|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 三、常用音量表 .....               | (54) |
| 四、声音信号的动态范围与电声设备的动态范围 ..... | (58) |
| 附录1-1 《波动方程的推导》 .....       | (61) |
| 附录1-2 《一些听觉特性的测量结果》 .....   | (66) |
| 附录1-3 《声学测量中的一些规定》 .....    | (69) |

## 第二章 室内声学 ..... (74)

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 2-1 《室内声的组成》 .....           | (75)  |
| 2-2 《闭室的混响声与混响时间》 .....      | (76)  |
| 2-2-1 闭室的简正频率 .....          | (77)  |
| 2-2-2 闭室的混响声扩散与混响时间 .....    | (79)  |
| 2-2-3 室内吸声处理与常用吸声材料和结构 ..... | (89)  |
| 一、多孔材料 .....                 | (90)  |
| 二、穿孔板结构 .....                | (91)  |
| 三、共振板结构 .....                | (94)  |
| 四、帘幕 .....                   | (95)  |
| 2-2-4 最佳混响时间 .....           | (96)  |
| 一、厅堂 .....                   | (96)  |
| 二、自然混响播(录)音室 .....           | (97)  |
| 三、短混响播(录)音室 .....            | (99)  |
| 四、电视演播室 .....                | (99)  |
| 五、文学播(录)音室 .....             | (100) |
| 2-2-5 混响时间的测量 .....          | (101) |
| 2-3 《室内声学比 房间常数 混响半径》 .....  | (105) |
| 2-4 《前期反射声》 .....            | (108) |
| 2-5 《人工延时——混响技术》 .....       | (110) |
| 2-6 《隔声》 .....               | (112) |
| 2-6-1 室内噪声标准 .....           | (112) |
| 2-6-2 隔声措施的一般原则 .....        | (115) |
| 2-6-3 建筑构件的空气声隔声量 .....      | (117) |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 一、单层密实均匀结构的隔声 .....              | (118) |
| 二、双层密实均匀结构的隔声 .....              | (119) |
| 2-6-4 固体声的隔离措施 .....             | (121) |
| 2-6-5 室内噪声级的计算 .....             | (121) |
| 一、房间只有一面墙受到噪声干扰时的情况 .....        | (122) |
| 二、房间的各构件都有噪声透进时的情况 .....         | (127) |
| 附录2-1 《有关的吸声特性》 .....            | (128) |
| 附录2-2 《播音室吸声处理设计实例》 .....        | (129) |
| 附录2-3 《各种人工混响设备(系统)特性的比较》 .....  | (135) |
| 附录2-4 《一些专用隔声结构的隔声量》 .....       | (136) |
| <b>第三章 电声器件基础 扬声器</b> .....      | (137) |
| 3-1 《电——力——声类比》 .....            | (138) |
| 3-1-1 力学线路 .....                 | (139) |
| 3-1-2 声学线路 .....                 | (154) |
| 3-1-3 力学与声学混合线路 .....            | (168) |
| 3-2 《声的辐射》 .....                 | (172) |
| 3-2-1 辐射阻抗 .....                 | (172) |
| 3-2-2 辐射指向特性 .....               | (182) |
| 3-3 《电动扬声器》 .....                | (187) |
| 3-3-1 直射式电动扬声器的电——力——声总系统图 ..... | (189) |
| 3-3-2 直射式电动扬声器的电输入阻抗 .....       | (192) |
| 3-3-3 直射式电动扬声器的电——声转换效率 .....    | (196) |
| 3-3-4 直射式电动扬声器的声压特性 .....        | (205) |
| 一、低频声压特性 .....                   | (207) |
| 二、中、高频声压特性 .....                 | (214) |
| 三、指向特性 .....                     | (220) |
| 3-3-5 直射式电动扬声器的非线性畸变 .....       | (224) |
| 3-3-6 直射式电动扬声器的扬声器箱 .....        | (228) |
| 一、開箱 .....                       | (228) |

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| 二、闭箱 .....                                 | (229) |
| 三、反相箱 .....                                | (236) |
| 3-3-7 号筒式电动扬声器 .....                       | (248) |
| 一、号筒的等效输入阻抗和输入声阻抗 .....                    | (248) |
| 二、号筒引起的非线性 .....                           | (256) |
| 三、号筒的指向性 .....                             | (257) |
| 四、号筒式电动扬声器的工作原理与特性 .....                   | (258) |
| 3-4 《扬声器声场的工程计算》 .....                     | (262) |
| 附录3-1 《无限大障板上圆振动活塞对单面媒质施加<br>的作用力推导》 ..... | (272) |
| 附录3-2 《无限大障板上圆振动活塞产生的远区场声<br>压推导》 .....    | (276) |
| 附录3-3 《无限大障板上圆形扬声器低频声压灵敏度<br>的推导》 .....    | (278) |
| 附录3-4 《低频反相箱上扬声器与孔洞分别辐射声压<br>的求解》 .....    | (280) |

#### 第四章 电声器件基础 传声器 .....

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 4-1 《声波接收》 .....               | (283) |
| 4-1-1 声波接收器特性的表征与声波衍射的影响 ..... | (283) |
| 4-1-2 声波接收器的种类和它们的特性 .....     | (285) |
| 一、压力式声波接收器 .....               | (285) |
| 二、压差式声波接收器 .....               | (288) |
| 三、复合式声波接收器 .....               | (297) |
| 4-2 《动圈传声器》 .....              | (301) |
| 4-2-1 压力式动圈传声器 .....           | (301) |
| 一、简单压力式动圈传声器 .....             | (301) |
| 二、动圈传声器工作频带的扩展 .....           | (311) |
| 4-2-2 声复合式动圈传声器 .....          | (315) |
| 4-2-3 动圈传声器的非线性畸变 .....        | (318) |

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| 4-2-4 动圈传声器的瞬态特性 .....               | (320)        |
| <b>4-3 《带式传声器》 .....</b>             | <b>(321)</b> |
| 4-3-1 压差式带式传声器 .....                 | (322)        |
| 一、压差式带式传声器的工作原理与灵敏度特点 .....          | (322)        |
| 二、压差式带式传声器的其他特性 .....                | (328)        |
| 4-3-2 压力式带式传声器和电复合式带式传声器 .....       | (329)        |
| <b>4-4 《电容传声器》 .....</b>             | <b>(333)</b> |
| 4-4-1 压力式电容传声器 .....                 | (333)        |
| 4-4-2 声复合式电容传声器 .....                | (344)        |
| 4-4-3 压差式电容传声器与电复合式电容传声器 .....       | (346)        |
| 4-4-4 驻极体电容传声器 .....                 | (351)        |
| 4-4-5 电容传声器的非线性畸变 .....              | (353)        |
| 4-4-6 电容传声器的瞬态特性 .....               | (355)        |
| 4-5 《各种传声器有关参量频响的比较》 .....           | (356)        |
| 4-6 《传声器在使用中的注意事项》 .....             | (358)        |
| 附录4-1 《压力式声波接收器声—力变换因子的推<br>导》 ..... | (360)        |
| 附录4-2 《压差式声波接收器声波作用力的推导》 .....       | (362)        |
| 附录4-3 《电容传声器产生的信号电势推导》 .....         | (363)        |

## **第五章 磁带录声机 .....**

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| <b>5-1 《磁带录声机的组成》 .....</b>  | <b>(366)</b> |
| 5-1-1 磁带录声机的机械系统 .....       | (366)        |
| 5-1-2 磁带录声机的磁——电系统 .....     | (373)        |
| <b>5-2 《录声磁带》 .....</b>      | <b>(378)</b> |
| <b>5-3 《超声频消磁原理》 .....</b>   | <b>(381)</b> |
| 5-3-1 消磁原理 磁带微段的概念 .....     | (381)        |
| 5-3-2 对消磁超声频振荡器与消磁头的要求 ..... | (384)        |
| <b>5-4 《超声频偏磁录声原理》 .....</b> | <b>(386)</b> |
| 5-4-1 磁带微段的录声磁化 .....        | (386)        |

|       |                                     |       |
|-------|-------------------------------------|-------|
| 5-4-2 | 超声频偏磁强度与录声质量 .....                  | (390) |
| 5-4-3 | 记录带磁通频响与录声均衡 .....                  | (392) |
| 5-4-4 | 记录带磁通强度 .....                       | (399) |
| 5-4-5 | 对录声系统的要求 .....                      | (401) |
| 5-5   | 《磁带放声原理》 .....                      | (403) |
| 5-5-1 | 磁带放声时的磁——电变换 .....                  | (403) |
| 5-5-2 | 放声高频损失 .....                        | (406) |
| 一、    | 放声磁头缝隙损失 .....                      | (406) |
| 二、    | 放声间隔损失 .....                        | (409) |
| 三、    | 磁头方位倾角损失 .....                      | (410) |
| 四、    | 磁头磁芯损失 .....                        | (414) |
| 5-5-3 | 低频轮廓效应 .....                        | (414) |
| 5-5-4 | 放声放大器的频率均衡 .....                    | (417) |
| 5-6   | 《磁带录声机的噪声与动态阈》 .....                | (421) |
| 5-6-1 | 录声机的噪声 .....                        | (421) |
| 一、    | 磁带背景噪声 .....                        | (422) |
| 二、    | 直流剩磁噪声 .....                        | (423) |
| 三、    | 调制噪声 .....                          | (424) |
| 四、    | 磁带录声的特殊噪声——复印效应 .....               | (426) |
| 5-6-2 | 磁带录声机的动态阈与信噪比 .....                 | (426) |
| 附录5-1 | 《我国专业磁带录声机(6.3毫米磁带)的国家标准(节录)》 ..... | (430) |
| 附录5-2 | 《噪声降低设备》 .....                      | (432) |
| 附录5-3 | 《脉码磁带录声机简介》 .....                   | (439) |

## 第六章 电声系统与调声控制台 .....

|       |                                  |       |
|-------|----------------------------------|-------|
| 6-1   | 《典型的节目制作——播出(或放映)工序》 .....       | (442) |
| 6-1-1 | 以声音信号为连贯主体的节目制作——播出(或放映)工序 ..... | (443) |
| 6-1-2 | 以图象信号为连贯主体的节目制作——播出(或放映) .....   |       |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 工序 .....                            | (446) |
| 6-2 《电声系统的分类与组成》 .....              | (447) |
| 6-3 《调声控制台》 .....                   | (451) |
| 6-3-1 调声控制台的声音信号通路 .....            | (451) |
| 一、信号输入 .....                        | (451) |
| 二、信号混合 .....                        | (455) |
| 三、节目放大器 .....                       | (459) |
| 四、电平调整器 .....                       | (459) |
| 五、线路放大器 .....                       | (462) |
| 六、频响控制 .....                        | (463) |
| 6-3-2 调声控制台的电平图与电平调整器的极限衰减量 .....   | (465) |
| 6-3-3 声音信号的监测与监听 .....              | (470) |
| 6-3-4 输入通路开关与有关警示信号的联锁 预选转接系统 ..... | (473) |
| 6-3-5 对讲系统 .....                    | (478) |
| 6-3-6 人工延时与混响的引入 .....              | (480) |
| 6-3-7 调声控制台的典型电路简介 .....            | (483) |
| 一、输入级电路 .....                       | (484) |
| 二、输出级电路 .....                       | (488) |
| 三、频响调节电路 .....                      | (490) |
| 6-4 《传声器拾声方法简介》 .....               | (493) |
| 6-4-1 一些拾声原则 .....                  | (494) |
| 一、拾声传声器适用声压级的确定 .....               | (494) |
| 二、拾声传声器指向性的确定 .....                 | (495) |
| 三、拾声距离的确定 .....                     | (496) |
| 四、注意减小声波干涉所带来的不良影响 .....            | (502) |
| 五、有指向传声器近区效应的均衡 .....               | (507) |
| 6-4-2 一些拾声实例 .....                  | (508) |
| 一、单传声器拾声例 .....                     | (508) |
| 二、多传声器拾声例 .....                     | (509) |
| 三、活动声源的拾声 .....                     | (513) |

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| <b>第七章 立体声技术</b> .....                              | (515) |
| 7-1 《立体声的特点》 .....                                  | (515) |
| 7-2 《人对声源方向的判别机理》 .....                             | (517) |
| 7-3 《双声源给人的方向感 立体声正弦定律》 .....                       | (524) |
| 7-4 《立体声信号的产生与声象方向的导演》 .....                        | (530) |
| 7-4-1 $X-Y$ 制拾声方法 高频声象方向预校正 .....                   | (530) |
| 7-4-2 $M-S$ 制拾声方法 .....                             | (536) |
| 7-4-3 $A-B$ 制拾声方法 .....                             | (537) |
| 7-4-4 模拟人头制拾声方法与信号处理 .....                          | (542) |
| 7-4-5 单传声器拾声方法 .....                                | (545) |
| 7-5 《声象调节电路与立体声调声控制台》 .....                         | (547) |
| 7-6 《立体声与单(道)声的兼容 立体声信号的记录<br>与传送》 .....            | (558) |
| 7-6-1 磁带记录 .....                                    | (559) |
| 7-6-2 唱片 .....                                      | (560) |
| 7-6-3 无线电广播 .....                                   | (560) |
| 一、导频制调频广播 .....                                     | (561) |
| 二、极性调幅制调频广播 .....                                   | (564) |
| 7-6-4 兼容的单(道)声特点 兼容性下降的原因与影响<br>.....               | (566) |
| 7-7 《对立体声系统各环节的特殊要求》 .....                          | (570) |
| 7-7-1 相移问题 .....                                    | (570) |
| 7-7-2 串声问题 .....                                    | (571) |
| 7-7-3 演播室特性 .....                                   | (571) |
| 7-7-4 节目监听室 .....                                   | (572) |
| 附录7-1 《双扬声器重放强度型立体声信号在听者两<br>耳处产生的低频简谐声波状态推导》 ..... | (574) |
| <b>第八章 立体声文艺节目的录制</b> .....                         | (578) |

|       |                                       |       |
|-------|---------------------------------------|-------|
| 8-1   | 《录声节目重放与厅堂演出的声学差异和艺术差异》 .....         | (578) |
| 8-2   | 《从艺术与技术相结合的角度将艺术作品进行分类与相应的录声方式》 ..... | (584) |
| 8-3   | 《录声前的技术准备工作》 .....                    | (587) |
| 8-3-1 | 录声系统与设备的可信性检查 .....                   | (587) |
|       | 一、稳态特性与瞬态特性的双重检查 .....                | (587) |
|       | 二、线性与非线性特性的配套检查 .....                 | (590) |
|       | 三、动态阈与电平储备的检查 .....                   | (591) |
|       | 四、极性检查 .....                          | (592) |
| 8-3-2 | 监听系统可信性的检查 .....                      | (593) |
|       | 一、监听系统(包括设备和房间)的设置原则 .....            | (593) |
|       | 二、监听系统(包括设备和房间)的可信性检查要点 .....         | (595) |
| 8-4   | 《立体声文艺节目的录制要点》 .....                  | (600) |
|       | 一、节目总气氛的处置 .....                      | (600) |
|       | 二、声象范围的总体安排 .....                     | (601) |
|       | 三、声象层次的总体安排 .....                     | (602) |
|       | 四、人工延时——混响的正确运用 .....                 | (604) |
|       | 五、立体声图示仪的运用 .....                     | (605) |
|       | 六、单声兼容 .....                          | (606) |



# 第一章 声波 听觉 电声标准

## 1-1 《有关声波的基础知识》

声波的本质是机械振动或气流扰动引起周围弹性媒质发生波动的现象，因此声波又可称为弹性波。引起声波的物体称为声源，声波所及的空间范围称为声场。

声波可以在气体中传播，也可以在液体和固体中传播，因为它们都是弹性物质。

声波既然是一种波动现象，那么它也具有一般波动现象所共有的特性，如反射现象、绕射现象、折射现象（以上三者有时又统称为“衍射”，当衍射是无规则时又称“散射”）以及干涉现象等。

由于在可闻声范围的电声学主要涉及空气中的声波，下面将着重讨论气体中的声波（下面说到媒质一般也指的是气体）。气体中的声波是纵波，即疏密波；另外，在可闻声频率范围内，媒质疏密交替变化的频率还是比较高的（大于 $20\text{Hz}$ ，详见后），以致于气体媒质在压缩与膨胀时来不及与外界交换热能（媒质被压缩时产生热量，膨胀时吸收热量），它所产生与吸收的热能表现为温度的升降（压缩时媒质升温，膨胀时媒质降温），因此这时的空气媒质可以看成是“绝热的”。

下面从几个方面介绍有关声波的基础知识。

### 1-1-1 声波的基本参量与波动方程

为了定量描述声波，常用以下三个主要参量：媒质密度、媒质