

扬声器系统

下 册

〔日〕山本武夫 编著



国防工业出版社

核

扬声器系统

(下 册)

〔日〕 山本武夫 编著

张 绍 高 译

王 以 真 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书详细地介绍了纸盆扬声器、球顶形扬声器、号筒扬声器和各种扬声器箱的结构、工作原理及特性,以及与扬声器有关的声学知识。本书也对其他类型扬声器、分频网络、耳机,以及扬声器测量方面作了较详细的介绍。

全书共分16章,分上、下两册。上册包括1~7章,其主要内容是:声音重放的物理过程;听觉心理;节目声的性质;高保真扬声器应有的性能;纸盆扬声器;球顶形扬声器;号筒扬声器。下册包括8~16章,其主要内容是:扬声器箱;扬声器系统;监听扬声器;其他类型扬声器;放大器与扬声器;重放声音与房间的声学特性;扩声用扬声器系统;耳机;扬声器特性的测量方法。

本书可供扬声器制造厂的技术人员和工人、有关科研单位的研究人员,以及高等院校有关专业师生阅读参考。对于广大的扬声器使用者也有一定的参考价值。

スピーカ・システム

(下)

山本武夫 編著

ラジオ技術社

1977

*

扬声器系统

(下册)

〔日〕 山本武夫 編著

张绍高 译

王以真 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $10^{3}/4$ 277千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷 印数: 0,001—1,700册

统一书号: 15034·2981 定价: 2.65元

译校者的话

扬声器是将电能转换为声能的电声换能器，扬声器系统则是指将几个扬声器和分频网络一起置于扬声器箱中的系统。

扬声器作为声频重放设备的最后一环，它的性能的优劣，以及使用是否得当，在极大程度上影响着放声质量。

到目前为止，国内外有关扬声器的书籍出版得不多，而且其中有些不是失之过简，就是泛泛而谈。日本山本武夫先生编著的《扬声器系统》一书，内容全面，既有理论阐述，又有对实际技术的解说，并且深入浅出，是一本较好的扬声器专著。本书的出版，希望它能对我国扬声器制造、使用，以及科研、教学方面有所促进，有所帮助。

本书在翻译过程中，得到许多同志的帮助和支持，在此一并表示感谢。

限于译校者水平，译文中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编著者的话

今年刚好是托马斯·爱迪生发明留声机一百周年。世界各地都进行了纪念活动。在这一百年间，声频器件虽然没有像飞机、火箭、电子学发展得那么迅速，但也有了较大发展。爱迪生当时的发明，只能使声音重放到刚刚能被人们听到的大小，但随后就由蜡筒录声进到圆盘录声。到第二次世界大战以后，由于塑料工业的发展，在1948年出现了密纹唱片。十年以后，在1957年开始出售在一条纹槽中录有左右两声道的立体声唱片。

在这期间，扬声器也在慢慢地发展着，成为目前能适应高保真重放所需要的产品。扬声器的雏形，最初是为电话用的耳机而发明的，以后为了使更多的人能同时收听而发明了各种扬声器。这就是扬声器也曾被称为高声器的原因。

进入二十世纪，对于声频器件的研究，出现了繁荣景象。现在关于扬声器设计方面的理论，以及应用这些理论生产的器件，大都是1930年以前出现的。莱斯和开罗古在1925年发明了现在的动圈式电动扬声器的雏形。布拉特哈拉在1927年发明了平面驱动式电动扬声器。这是由于使整个振膜以同相驱动，不易产生分割振动而使音质优良的。平面障板在1870年就已经被洛德·瑞利解释清楚了。现在广泛使用的倒相式扬声器箱的基础，是在1930年由萨拉斯建立的。另外，号筒的基本理论是威布斯塔在1919年发表的。

这样看来，现在的扬声器可以认为是继承了1930年以前的遗产，在其后的大约四十年间得到了相当发展。在1930年以前，仅仅对基本原理作些解释说明，而目前这样大量生产的扬声器在世界各地拥有非常多的使用者，是由于在语声、音乐信息的发展的同时，扬声器性能也随之提高的结果。

最近扬声器技术的发展,一方面是由于设计技术的发展,另一方面则是由于振膜、磁体、粘接剂等材料的发展。因此,最近高保真扬声器在提高音质的同时,容许输入功率也大幅度地提高。这是为了适应需要大声压的舞蹈音乐重放,在高保真扬声器方面的发展。

有人认为,高保真设备中对音质起主要作用的是扬声器。事实上,将扬声器切换后,音质的确会发生突然的变化。另外,除去扬声器以外的部件的优劣几乎都是由物理特性来判断的,但对扬声器却会有“物理特性好的音质并不好”的看法。这是有许多原因的。首先,测量扬声器物理特性时的条件与扬声器实际使用时的条件是不同的,物理特性未必表达了实际听到的音质。实际听到的音质,是扬声器本身的特性和听声室的声学特性共同决定的。其次,对表示扬声器音质中细微差别的物理特性,还不能被测量到,这也是事实。再有,对音质判断时,是依靠个人记忆来定出的,容易产生个人的差别,这也是原因之一。

这样,会产生在选择扬声器时应以什么为标准的问题。当然,物理特性好是优质扬声器的必要条件,在选择性能好的扬声器时,当然是在充分研究的条件下慢慢试听来决定的。在试听时,判断的标准应该是“能得到与现场演奏时同样程度优美的声音”。

判明扬声器的物理特性与音质间的关系,是从事扬声器研制、设计的技术人员多年来研究的课题。扬声器的测量方法,最近发展到应用电子计算机进行脉冲测量法。可以想像,用这种测量法会能够测得表现优良音质的物理量。这种测量法的发展,如果有一天能判明物理特性和音质之间的关系,那么就可以设计出音质优良的扬声器。希望这一天能早日到来。

本书是以回答上述有关扬声器种种疑问为目的而编写的。本书设想能成为学习声频工程的大学生和开始担任扬声器设计工作的技术人员,以及希望对扬声器进行详细深入了解的业余爱好者的参考书。因此,虽然使用了一些大学课程内容的数学,但对数学感到理解困难的读者,或只需要理解物理意义的读者,可以跳过

数学式子，只按照插图的说明加以理解。

本书第1章到第4章是对本书理解上需要的基本理论或基本概念进行解说的部分。第1章中对有关声场、机械-声音振动系统和电声换能器件的理论进行了说明。第2章中对关于听觉生理和声音心理的理论和实验结果进行了解说，并叙述了有关音质评价用语的知识。第3章中论述了作为扬声器输入信号的节目声的性质。第4章对高保真扬声器必要的性能，以物理特性为中心作了介绍。并对扬声器的物理特性与音质间现在已经明确了的关系也作了叙述。

第5章、第6章和第7章是分别对纸盆扬声器、球顶形扬声器及号筒扬声器的构造、工作原理，以及特性进行叙述的部分。这些章的叙述，是想用来作为选择和使用单元扬声器的指导方针的。

第8章中论述了扬声器箱的结构、工作原理、特性和设计方法。这一章的后加载号筒扬声器的设计法是编著者新的设想。

第9章叙述了将低音扬声器、中音扬声器和高音扬声器用网络耦合形成扬声器系统的手段。这一章是想用来作为选择高保真扬声器系统时的指针的。

第10章对监听扬声器，第11章对其他扬声器的结构、工作原理和特性作了解说。

第12章和第13章对作为扬声器系统使用上必须的知识，即放大器与扬声器的关系及扬声器与室内声学特性的关系进行了论述。

第14章叙述了使用与室内声学密切相关的扬声器系统时，关于扩声用扬声器的设计方法和安装位置等。

第15章对作为扬声器一种变形的耳机的构造、工作原理和特性进行了介绍。

第16章对扬声器特性测量方法作了阐述，是想使读者能由这一章得到对产品目录中数据的阅读方法。

本书就是由上述内容组成的，如果本书能对读者在关于扬声

器系统方面所存在疑问，能提供一些解决方法，将会感到十分荣幸。

本书是由许多人分别执笔，并参考了许多先辈们的文献资料。对这些，编著者表示十分感谢。

另外，对本书由设想到发行，从始至终费尽心血的无线电技术出版社的铃木编辑主任及菅井彰吾先生致以深切谢意。

先锋公司常务董事
声学研究所所长 山本武夫
工 程 博 士

1977年5月

目 录

第8章 扬声器箱

8.1 扬声器箱的种类	1
8.2 障板	2
8.2.1 平面障板	2
8.2.2 敞开式扬声器箱	5
8.3 封闭式扬声器箱	8
8.3.1 安装在封闭式音箱中的扬声器的等效电路	8
8.3.2 设计扬声器箱时所需的扬声器参数	9
8.3.3 封闭式音箱的设计	11
8.3.4 书架式扬声器箱	15
8.4 倒相式扬声器箱	17
8.4.1 装入倒相式扬声器箱中的扬声器的等效电路	17
8.4.2 倒相式扬声器箱的理想条件	19
8.4.3 非理想条件时的特性	23
8.4.4 倒相式扬声器箱的优点	26
8.4.5 倒相式扬声器箱的设计	27
8.5 特殊障板	34
8.5.1 倒相式扬声器箱的变形	35
8.5.2 前加载号筒扬声器箱	39
8.5.3 后加载号筒扬声器箱	43
8.5.4 无指向性扬声器箱	53
8.6 扬声器箱的外形	55
8.6.1 音箱外形对低音频特性的影响	56
8.6.2 扬声器箱的尺寸比	56
8.6.3 安装孔及安装方法	58
8.7 扬声器箱用材料	60
8.7.1 板材	60
8.7.2 板振动与加固材料	61
8.7.3 吸声材料及其效果	63
8.7.4 网罩	67

8.7.5 箱体的加工及声压泄漏的影响	68
---------------------------	----

第9章 扬声器系统

9.1 组合型的目的	71
9.1.1 高保真扬声器的条件	71
9.1.2 单纸盆扬声器存在的问题	72
9.1.3 组合扬声器的优点	75
9.2 扬声器系统的组成方法	76
9.2.1 频段的划分法	76
9.2.2 低音扬声器必须具备的性能	78
9.2.3 中、高音扬声器所必须具备的性能	82
9.2.4 各频段扬声器的组合方法	85
9.2.5 各频段扬声器的排列方法	86
9.2.6 组合扬声器系统的种类	89
9.3 分频网络	89
9.3.1 定阻型分频网络	89
9.3.2 扬声器阻抗的校正	95
9.4 网络用元件	97
9.4.1 电容器	97
9.4.2 线圈	102
9.4.3 衰减器	103
9.5 多路放大器用滤波器	105
9.5.1 多路放大器用滤波器的基本单元	106
9.5.2 NF型RC滤波器组成的注意点	108
9.5.3 各种截止特性的组合法	109
9.6 扬声器系统的一般特性	110
9.6.1 输出声压频率特性及指向频率特性	113
9.6.2 谐波失真特性	116
9.6.3 瞬态特性	117
9.6.4 电阻抗特性	119

第10章 监听扬声器

10.1 对监听扬声器所要求的性能	121
10.2 对监听扬声器所要求的音色	126
10.3 监听扬声器的组成	127
10.3.1 监听扬声器的组成	127

10.3.2 箱体	128
10.3.3 对驱动放大器要求的条件	129
10.4 监听扬声器的实例	130
10.4.1 录音室用监听扬声器	130
10.4.2 广播电台用监听扬声器	135
10.5 监听扬声器与高保真扬声器的不同点	138

第 11 章 其他类型扬声器

11.1 扬声器的种类	139
11.2 海尔扬声器	141
11.3 电磁扬声器	143
11.4 静电扬声器	145
11.4.1 单端静电扬声器	145
11.4.2 推挽静电扬声器	146
11.4.3 驻极体静电扬声器	148
11.5 压电扬声器	149
11.5.1 纵振动子型扬声器	149
11.5.2 双压电晶片扬声器	152
11.5.3 高分子压电扬声器	152
11.6 放电型扬声器	155
11.7 带式扬声器	157
11.8 平板扬声器	159
11.9 乐器用扬声器	162
11.9.1 对乐器用扬声器所要求的性能	162
11.9.2 乐器用扬声器的结构	162

第 12 章 放大器与扬声器

12.1 主放大器与扬声器的关系	163
12.1.1 主放大器的最大输出功率与扬声器所能承受的输入功率	165
12.1.2 主放大器的输出阻抗与扬声器的特性	168
12.1.3 主放大器与扬声器产生的特殊现象	171
12.2 扬声器的联接法	172
12.2.1 几个扬声器的联接方法	172
12.2.2 音量调整方法	173
12.3 动反馈扬声器	176

12.3.1 动反馈 (MFB) 的原理	176
12.3.2 动反馈的方式	177

第 13 章 重放声音与房间的声学特性

13.1 瞬态声场	183
13.1.1 室内声音的建立和衰减	183
13.1.2 混响声	184
13.1.3 混响时间与房间的关系	185
13.1.4 最佳混响时间	188
13.1.5 直达声和混响声 (分散声)	189
13.2 稳态的声场	192
13.2.1 房间的声压分布	192
13.2.2 指向性的影响	194
13.3 房间的波动现象	195
13.3.1 房间的固有振动	196
13.3.2 固有振动的简并	197
13.3.3 房间的大小与固有振动的密度	198
13.3.4 驻波的防止方法	199
13.4 扬声器的放置地点及特性	200
13.4.1 镜像	201
13.4.2 扬声器放置地点与特性	203
13.5 吸声和隔声	205
13.5.1 吸声及吸声材料	205
13.5.2 隔声和隔声材料	208
13.6 立体声听声范围的扩大	209
13.6.1 立体声听声位置与声压级差	210
13.6.2 利用指向性扩大听声范围	212
13.6.3 利用反射声的方法	216
13.6.4 利用指向性和反射声的方法	217

第 14 章 扩声用扬声器系统

14.1 扩声用扬声器的布置设计	220
14.1.1 房间形状与扩声用扬声器的布置方式	221
14.1.2 关于声压级的研究	223
14.1.3 关于声压分布的研究	225
14.2 扩声用扬声器	226

14.2.1 对扩声用扬声器所要求的性能	226
14.2.2 指向性的设计	228
14.2.3 剧场用扬声器的种类及其举例	237
14.3 抑制啸叫型扬声器	241
14.3.1 扩声装置的啸叫	241
14.3.2 抑制啸叫型扬声器	244
14.3.3 厅堂中的实际应用	248
14.4 扩声用扬声器的施工方法	251

第 15 章 耳 机

15.1 耳机的结构和工作原理	259
15.2 对耳机所要求的性能	261
15.2.1 人耳的特性与仿真耳	261
15.2.2 对耳机所要求的性能	262
15.3 振动系统的等效电路	263
15.4 对低声频段特性的研究	265
15.4.1 低声频段的等效电路	265
15.4.2 提高低声频段特性的声学等效电路	266
15.4.3 由耳垫泄漏所导致的低声频段特性下降与振膜	267
15.5 对高声频段特性的研究	269
15.5.1 降低高声频段特性的声学等效电路	269
15.5.2 综合特性的设计	271
15.5.3 影响高声频段重放上限的主要原因	272
15.6 耳机的一般特性	273
15.7 耳垫	276
15.7.1 耳垫的种类	276
15.7.2 实际佩戴时的特性	277
15.8 各种耳机	278
15.8.1 耳机的种类	278
15.8.2 开放式耳机	278
15.8.3 静电式耳机	280
15.8.4 驻极体耳机	282
15.8.5 压电式耳机	284
15.8.6 电动全面驱动式耳机	285
15.9 耳塞机	287
15.10 仿真头录声	288

第 16 章 扬声器特性的测量方法

16.1 测量设备	292
16.1.1 消声室	293
16.1.2 混响室	295
16.1.3 标准障板	297
16.1.4 传声器	299
16.1.5 其他测量设备	300
16.2 扬声器特性测量法	301
16.2.1 输出声压频率特性	302
16.2.2 声功率频率特性	302
16.2.3 相位特性	303
16.2.4 群延迟时间频率特性	306
16.2.5 瞬态特性	307
16.2.6 谐波失真特性	309
16.2.7 振幅互调失真 (AIM 失真) 特性	311
16.2.8 差频失真 (DF 失真) 特性	312
16.2.9 动态失真特性	314
16.2.10 指向性	316
16.2.11 电阻抗特性	318
16.3 利用脉冲测量扬声器特性的方法	319
16.3.1 脉冲响应测量用设备	319
16.3.2 由脉冲响应求得特性	322
下册符号表	330

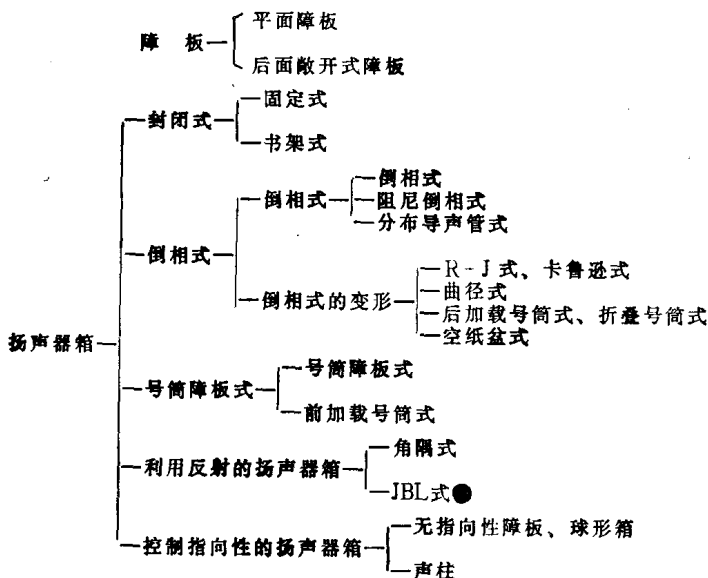
第8章 扬声器箱

扬声器系统需要解决的问题中，最困难的就是低音频重放问题。低音频的重放受扬声器箱所左右。扬声器箱有许多种形式，用来重放不同特征的声音。因此，不精心选择和设计扬声器箱，就不能发挥扬声器的性能，也就不能得到高保真度重放。本章将重点介绍实际中应用最多的封闭式扬声器箱及倒相式扬声器箱的特点和设计方法，同时对特殊形式的障板、箱体外形的影响及箱体的材料等问题也加以叙述。

8.1 扬声器箱的种类

扬声器箱就是将有限障板弯折成箱形的装置，它的形式有下述几种（参看表8.1）。

表8.1 障板、扬声器箱的分类



● JBL为美国一家电声器件公司的名称。——译者注

最为普及的是封闭式音箱，它是为了达到隔离扬声器后面声波的目的，而将扬声器的后面完全封闭起来的音箱。由于它的设计简单，因而成为扬声器箱的主流。倒相式音箱是将扬声器后面所发声波加以充分利用的一种音箱。倒相式音箱的变形有卡鲁逊式音箱、R-J式音箱、曲径式音箱、后加载号筒式音箱及空纸盆式音箱等。卡鲁逊式音箱是利用指数形开口的障板来增强低声频的类型；R-J式音箱是利用赫姆霍兹共鸣器的类型；曲径式音箱是使扬声器后面所发声波通过一段长的曲径后再从前面辐射出去的类型；利用号筒作为曲径就形成后加载号筒式音箱。

号筒式扬声器箱有在前面安装号筒的前加载号筒式音箱和在扬声器后面安装弯曲号筒的后加载号筒式音箱两种。这两种形式的扬声器箱将在后面详细叙述。另外，如果按照扬声器的辐射方式划分，还有无指向性式音箱、球形音箱及角隅式音箱等。这些形式的扬声器箱都是利用了扬声器的直达声和壁面反射的间接声，使在整个听声房间能获得很好的临场感，它们主要作为重放背景音乐（BGM）等的专业扬声器来使用。

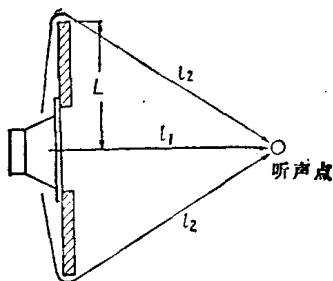
8.2 障 板

如果将直接辐射式扬声器安装在无限大障板上向半个空间辐射声波，则可以得到与理论上相同的频率特性。将障板做得如同房间墙壁那样大，固然是理想的，但在实用上及设计上都不方便。因此，实际上是使用有限障板来尽量减小后面所发声音的影响。

8.2.1 平面障板

扬声器纸盆前面和后面所辐射的声波相位相差 180° ，如果只将扬声器单独地置于空间来发声，则纸盆前面辐射的声音与后面辐射的声音将互相抵消，声压会变小。因此，为了防止纸盆前后声波的干涉，就需要使用图 8.1 所示的平面障板。这种平面障板的作用，随障板的形状及扬声器安装的位置而不同。

将扬声器安装在圆形障板的中心，如果从纸盆前面到听声点的距离与从后面到听声点的距离之差为 l_0 ，则当 $l_0 = \lambda/2$ (λ 为声



$$l_0 = l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2} \text{ 的频率为同相位}$$

$$l_0 = \lambda \text{ 的频率为反相位}$$

图8.1 圆形障板

波波长) 及其奇数倍时, 前后声波同相; 当 $l_0 = \lambda$ 及其整数倍时, 前后声波反相, 如图 8.2 所示, 特性曲线上将出现峰谷。这是由于扬声器处于正方形或圆形障板中心时, 从前后发出的声波的路程差在所有方向上都大致相等, 所以峰谷变化比较激烈。如果使用不规则形状的障板, 或将扬声器偏心安装, 就可以得到如图 8.3(b) 所示的比较平直的特性曲线。

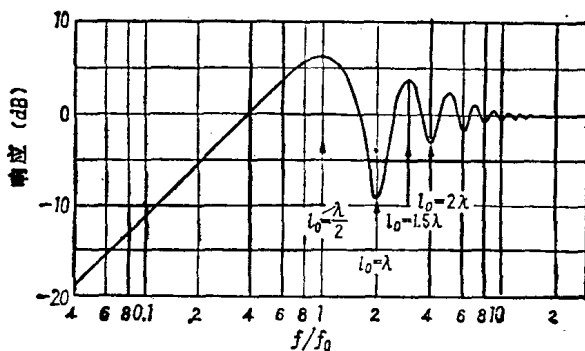


图8.2 圆形障板的特性

但是, 由于平面障板的低声频截止频率 f_c 是由障板边缘与扬声器之间的最小距离决定的, 如果将扬声器安装在靠近障板边缘处, 对低声频的重放是不利的。如果认为圆形障板可以重放的低