

实用扬声器技术手册

SHIYONG YANGSHENGQI
JISHU SHOUCHE

王以真 编著



國防工業出版社

实用扬声器技术手册

王以真 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

实用扬声器技术手册/王以真编著. —北京:国防工业出版社, 2003. 4

ISBN-7-118-03066-X

I. 实... II. 王... III. 扬声器 - 技术手册
IV. TN643 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 007983 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 27 661 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

扬声器被称之为 20 世纪最“动听”的发明。人们在讲到影响人类生活的产品时,常常提到电视、电影、电话、手机、汽车、飞机、航天飞机等,这当然都有道理。扬声器同它们相比,只是一个“小产品”、“小发明”。如果没有扬声器,它们将“哑口无言”,失去大部分或绝大部分魅力。

电动式扬声器自从 1924 年问世以来,已有近 80 年的历史。在我国扬声器生产也有半个世纪以上的历程。几十年来中外专家学者、各地能工巧匠,都为扬声器发展做出过杰出的贡献。扬声器的理论日臻完善、扬声器的工艺更加成熟,扬声器的音质水平更非初出茅庐时可比。我国也已成为世界扬声器产量第一大国,出口量第一大国,正处在由扬声器大国向扬声器强国的转变之中。

20 年前我曾与张绍高教授、吴光威教授合译了山本武夫《扬声器系统》一书,对我国扬声器的发展起到一些推动作用。在新世纪开始之际,总结归纳扬声器的发展,写一套符合中国人要求的、详尽、全面、深入浅出、科学实用、代表先进水平的扬声器专著应该是有益的,也是需要的,并且与中国——世界扬声器生产第一大国的身份相称。

本书的对象是国内一切对扬声器感兴趣的人们,包括从事扬声器设计的技术人员、工艺检测人员、管理人员、生产人员;有关专业的大专院校师生;使用扬声器的人员。为了使本书更好地为读者所用,我们力图将科学性、实用性、趣味性、可读性相结合,定位于内容科学、叙述清楚、深入浅出、雅俗共赏。综合各方面的意见,将有关内容写成 3 本书,即《实用扬声器技术手册》、《实用扬声器工艺手册》、《实用音箱手册》。扬声器制造工艺和材料的选用,对扬声器的性能有很大的影响。这部分内容将在《实用扬声器工艺手册》中讲述,有关音箱设计、制造、评价的更详尽内容在《实用音箱手册》之中,这 3 本书内容上相互呼应,又各自独立。

本书共分 18 章,成果来自国内外许多专家学者的真知灼见,力求描述扬声器的最新发展(一些内容首次进入专著之中)。书末列出了详细的参考资料。

本书的撰写得到业内许多朋友、同事的支持、鼓励和帮助。作者在几十年的扬声器设计、工艺、研究工作过程中,参观访问过国内外许多扬声器生产厂和研究单位,在交流中向同行、同事学到许多有用的知识和经验,融入本书之中。本书书名就是根据杜功焕教授的意见确定的。姜育仁先生更对本书的筹划、出版起了关键性的作用,出版社的杨星豪总编、刘萍责编也为本书的出版付出了极大辛劳,王润礼先生愿为本书推介工作,在此向他们表示深切的谢意。

龚自珍写过“避席畏闻文字狱,著书都为稻粱谋” 当文字狱已成往事,稻粱谋只是一种希望,那为什么还要写书呢? 只能解释为一种兴趣爱好、对从事扬声器工作的一种总结、表达对扬声器的看法、对关心扬声器发展的朋友们和 直以来关心我的朋友们的一个交待,同时对需要本书的读者提供一点帮助。

最后留一个 E-mail: tiange@public.tpt.tj.cn, 欢迎读者就扬声器问题与我讨论。

王以真

内 容 简 介

本书详尽而又深入浅出地介绍了锥形扬声器、球顶扬声器、号筒扬声器、音箱的结构、工作原理和特性,对一些新型的和特殊的扬声器如平面振膜扬声器、带式扬声器、静电扬声器、气流扬声器、调制燃烧扬声器、水下扬声器、海尔扬声器、NXT 扬声器、Walsh 扬声器、数字扬声器等都有专门的论述;围绕扬声器这个中心,对扬声器的测试、主观音质评价、听音环境等都做了详细地讲解;对 1980 年至 2002 年 20 多年来扬声器的新发展予以介绍。全书撰写力求内容科学、叙述清楚、简明实用。

本书适用于音响、扬声器单位的管理人员、技术人员、营销人员、生产骨干和一切喜爱音响、喜爱扬声器的朋友们;并可作为扬声器的使用人员、有关科研单位的研究人员、大专院校师生的参考书。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 扬声器	1
1.2 扬声器易响却难精	1
1.3 扬声器发展简史	2
1.4 扬声器的分类	7
1.4.1 按换能方式分类	9
1.4.2 按工作原理分类	9
1.4.3 按辐射方式分类	13
1.4.4 按用途分类	15
1.4.5 按振膜形式分类	16
1.4.6 按组合方式分类	16
第 2 章 扬声器的声学基础知识	18
2.1 有关声波物理量的名词解释	18
2.2 声波的性质	19
2.3 扬声器的分析方法(一)	23
2.4 扬声器的分析方法(二)	24
第 3 章 扬声器的技术指标	26
3.1 基本前提	26
3.2 扬声器的额定阻抗	27
3.3 阻抗曲线	27
3.4 扬声器的共振频率	27
3.5 扬声器的品质因数和等效容积	29
3.6 扬声器的功率	31
3.7 指定频带内的特性灵敏度	33
3.8 自由场和半空间自由场下的响应	34
3.9 扬声器的输出声功率	35
3.10 扬声器的指向特性	35
3.10.1 指向性图和指向频率响应	36
3.10.2 指向性因数	37
3.10.3 指向性指数	38
3.10.4 辐射角	38
3.10.5 波束宽度频率响应	38

3.10.6	等压线	38
3.10.7	水平垂直偏轴响应	38
3.11	扬声器的振幅非线性	39
3.11.1	总谐波失真系数	39
3.11.2	n 次谐波失真系数	40
3.11.3	大功率谐波	40
3.11.4	互调失真	41
3.11.5	异常声	41
3.12	扬声器的瞬态特性	42
3.13	扬声器的相位特性	45
3.14	扬声器的 T/S 参数	47
3.15	扬声器的尺寸系列	48
3.15.1	尺寸系列标准	49
3.15.2	口径与性能的关系	49
3.15.3	型号命名	49
3.16	扬声器的使用寿命和可靠性	49
3.16.1	使用寿命	49
3.16.2	扬声器的抗环境变化性能	50
第 4 章	锥形扬声器	51
4.1	电动式锥形扬声器的结构	51
4.2	振动系统的等效电路	52
4.3	利用有限元法对扬声器的分析与设计	54
4.4	扬声器的低频特性	57
4.4.1	扬声器的低频谐振	57
4.4.2	扬声器的低频范围	59
4.4.3	扬声器的电阻抗特性	60
4.5	扬声器的中频特性	61
4.5.1	中频峰谷与折环共振	61
4.5.2	振膜的分割振动	62
4.6	扬声器的高频特性	62
4.6.1	高频重放的上限	64
4.6.2	高频特性与振膜几何形状的关系	64
4.6.3	高频指向性的改善	66
4.7	扬声器的振膜	67
4.7.1	振膜的形状	68
4.7.2	振膜的基本名称	69
4.7.3	振膜的加强筋	70
4.7.4	偏心振膜	70
4.7.5	振膜材料和制造工艺	71

4.8 扬声器振膜的折环	71
4.8.1 折环(Edge)的作用	71
4.8.2 对折环的要求	71
4.8.3 折环形状评述	72
4.8.4 各种折环的特征	73
4.8.5 折环的频率特性及其影响	75
4.8.6 折环与失真	76
4.9 扬声器的定心支片	76
4.9.1 定心支片的作用和特点	76
4.9.2 定心支片的特性和对它的要求	79
4.9.3 定心支片的线性问题	79
4.9.4 定心支片振动状况的模拟	80
4.10 扬声器的音圈	84
4.10.1 音圈的结构	84
4.10.2 音圈的作用	85
4.10.3 音圈的分类	85
4.11 扬声器的防尘罩	90
4.12 扬声器的磁路系统	91
4.12.1 磁性材料	91
4.12.2 磁路的形状	92
4.12.3 磁通密度	92
4.12.4 设计低失真的磁路	93
4.12.5 漏磁问题	94
4.12.6 磁流体	95
4.12.7 用有限元法进行磁路设计	95
4.12.8 径向磁路	96
4.13 扬声器的盆架	98
4.14 双音圈、双振膜	100
第5章 球顶扬声器	102
5.1 球顶扬声器的结构和工作原理	102
5.1.1 球顶扬声器的结构	102
5.1.2 球顶扬声器的工作特点	103
5.1.3 软球顶和硬球顶	103
5.2 球顶扬声器的声压频率特性	104
5.2.1 球顶扬声器的低声频段	105
5.2.2 球顶扬声器的中声频段	105
5.2.3 球顶扬声器的高声频段	106
5.3 球顶扬声器的一般特性	107
5.3.1 输出声压指向频率特性	107

5.3.2	电阻抗特性	108
5.3.3	球顶扬声器的失真特性	109
5.4	球顶扬声器的部件	110
5.4.1	振膜与支撑材料	110
5.4.2	音圈	114
5.4.3	磁路系统	114
5.4.4	喉塞	115
5.4.5	后腔罩	115
5.5	凸球顶和凹球顶	116
5.5.1	凸球顶和凹球顶在轴向的声压特性	116
5.5.2	辐射阻抗	117
第6章	号筒扬声器	119
6.1	号筒、号筒扬声器的发展	119
6.2	号筒扬声器的结构和工作原理	120
6.2.1	号筒扬声器的结构	120
6.2.2	力阻抗的匹配	122
6.2.3	号筒扬声器的种类	122
6.3	号筒	125
6.3.1	号筒内的声波方程式	126
6.3.2	指数形号筒	126
6.3.3	号筒长度	127
6.3.4	双曲线号筒	128
6.3.5	等切线号筒	129
6.4	振动系统的等效电路与效率	129
6.4.1	振动系统的等效电路	129
6.4.2	号筒扬声器的电声转换效率	130
6.5	号筒扬声器的特性	133
6.5.1	振膜的速度频率特性	133
6.5.2	输出声压频率特性	135
6.5.3	由于空气非线性引起的失真	137
6.5.4	容许输入功率	138
6.6	号筒扬声器的指向性	139
6.6.1	矩形号筒	139
6.6.2	径向号筒	141
6.6.3	多格号筒	142
6.6.4	扇形号筒	142
6.7	等指向性号筒	143
6.7.1	等指向性号筒的发展	143
6.7.2	曼塔莱号筒	144

6.7.3	双径向号筒	144
6.7.4	CD号筒	145
6.7.5	双贝塞尔号筒	146
6.7.6	定指向性号筒	147
6.8	指数号筒的设计	147
6.8.1	号筒截止频率的设计	147
6.8.2	号筒口截面积	148
6.8.3	号筒喉口面积	148
6.8.4	号筒长度	148
6.8.5	蜿蜒指数	149
第7章	平面振膜扬声器	150
7.1	平面振膜扬声器的分类与发展	150
7.2	平板扬声器的技术分析	151
7.2.1	前室效应	152
7.2.2	分割振动	154
7.2.3	平板扬声器及其相位	154
7.3	平板扬声器的优缺点	155
7.4	平板扬声器的种类和结构	156
7.4.1	充填型平板扬声器	156
7.4.2	平板型扬声器	156
7.4.3	圆形和矩形振膜	157
7.4.4	蜂巢板	158
7.5	B.E.S平面扬声器	158
7.6	NXT平板扬声器	160
7.6.1	NXT平板扬声器的出现	160
7.6.2	NXT平板扬声器的工作原理	160
7.6.3	NXT平板扬声器的性能	160
第8章	带式扬声器	163
8.1	带式及平膜扬声器的发展	163
8.2	带式扬声器的工作原理	165
8.2.1	振膜质量低	166
8.2.2	Bl 值低	166
8.2.3	电阻尼可忽略	167
8.2.4	输入阻抗近似等于直流阻	167
8.3	带式扬声器的结构	168
8.3.1	振膜	169
8.3.2	变压器	169
8.3.3	磁路	171

8.3.4	其他部分	171
8.4	平膜(等电动)扬声器	171
8.4.1	工作原理	171
8.4.2	平膜扬声器的结构	171
8.4.3	新结构平膜扬声器	172
8.5	海尔式扬声器	175
8.5.1	工作原理	175
8.5.2	海尔式扬声器的测试	176
8.5.3	海尔式低频扬声器	178
8.6	Walsh 扬声器	179
8.6.1	工作原理	179
8.6.2	两种实际结构	180
8.6.3	弯曲振动原理	181
8.6.4	葫芦状扬声器的结构	181
第 9 章	静电扬声器	182
9.1	静电扬声器的发展	182
9.2	静电扬声器的分类	183
9.2.1	单端静电扬声器	183
9.2.2	推挽静电扬声器	184
9.3	静电扬声器的工作分析	184
9.3.1	静电力	184
9.3.2	固定电荷状况的分析	185
9.3.3	等效电路	185
9.4	静电扬声器的技术问题	186
9.4.1	静电扬声器的特色	186
9.4.2	振膜的动作	186
9.4.3	频带问题	187
9.5	点声源问题	188
9.6	安全问题	190
9.7	静电扬声器的结构	191
9.7.1	静电扬声器的振膜	191
9.7.2	固定电极	191
9.7.3	开孔方式	192
第 10 章	气流扬声器	193
10.1	调制气流声源原理	193
10.2	气流扬声器的发展和原理	194
10.3	气流扬声器的结构	196
10.3.1	工作状况与结构	196

10.3.2	磁路	196
10.3.3	动环、定环、定心支片(支撑)	196
10.4	气流扬声器的特性	197
10.4.1	气流扬声器的喉部声压级	197
10.4.2	气流扬声器的输入阻抗与位移特性	197
10.4.3	磁感应强度对高频特性的影响	197
10.4.4	气流扬声器的缺点	198
10.5	气流扬声器的测量	198
10.5.1	混响室测量	198
10.5.2	行波管测量	198
10.5.3	测试结果	200
第 11 章	其他类型扬声器	202
11.1	数字扬声器	202
11.1.1	脉码调制(PCM)基础	202
11.1.2	PCM 数字扬声器的工作原理	202
11.1.3	电动式 PCM 数字扬声器	203
11.1.4	多音圈方式 PCM 数字扬声器的声学特性	204
11.1.5	数字扬声器的发展	205
11.2	电磁式扬声器	206
11.2.1	电磁式扬声器的原理与结构	206
11.2.2	电磁式扬声器的优缺点	206
11.2.3	电磁式发声体	207
11.3	压电扬声器	208
11.3.1	纵振动子型扬声器	208
11.3.2	双压电晶片扬声器	209
11.3.3	高分子压电扬声器	209
11.3.4	压电号筒扬声器	210
11.3.5	压电平面扬声器	212
11.4	放电型扬声器	212
11.5	调制燃烧扬声器	213
11.6	同轴扬声器系统	214
11.6.1	同轴扬声器的发展	214
11.6.2	同轴扬声器的特点	217
11.6.3	几种同轴扬声器的结构	218
11.7	动反馈扬声器	219
11.7.1	动反馈的原理	219
11.7.2	动反馈的方式	220
11.8	超声差拍扬声器	222

第 12 章 专门用途的扬声器	224
12.1 监听扬声器	224
12.1.1 对监听扬声器的性能要求	224
12.1.2 监听扬声器与高保真扬声器的不同之处	226
12.2 高保真扬声器	226
12.2.1 高保真的含义	226
12.2.2 高保真扬声器系统的最低性能要求	226
12.3 汽车扬声器	228
12.3.1 汽车扬声器的发展	228
12.3.2 对汽车扬声器的要求	228
12.3.3 汽车声场的特点	228
12.3.4 车内声场的独特问题	229
12.4 乐器用扬声器	230
12.4.1 乐器用扬声器要求的性能	230
12.4.2 乐器用扬声器的结构	230
12.5 微型扬声器	231
12.5.1 对微型扬声器的需求	231
12.5.2 微型扬声器的结构特点	231
12.5.3 磁致伸缩迷你型扬声器	232
12.5.4 更小尺寸的微型扬声器	232
12.6 彩电用扬声器	233
12.6.1 彩电用扬声器的特点	233
12.6.2 彩电扬声器的频率响应	235
12.7 水下扬声器	235
12.7.1 水下扬声器的使用	235
12.7.2 水下扬声器的构成	236
第 13 章 扬声器系统	238
13.1 音箱的简明发展史	238
13.2 扬声器系统的定义	239
13.3 扬声器系统的分类和结构	239
13.3.1 扬声器箱的分类	239
13.3.2 扬声器箱的结构	241
13.4 扬声器箱的一般特性	242
13.4.1 轴向频率响应	242
13.4.2 指向频率特性和指向性	242
13.4.3 电阻抗特性	243
13.4.4 失真	243
13.4.5 输出声压	244
13.5 闭箱	244

13.5.1	闭箱	244
13.5.2	闭箱的几个重要参数	245
13.5.3	扬声器的 Q_0 与闭箱响应	246
13.5.4	闭箱的设计	246
13.5.5	闭箱中的吸声材料	246
13.5.6	闭箱的其他形式	247
13.5.7	闭箱的工艺问题	247
13.6	开口箱	248
13.6.1	开口箱	248
13.6.2	扬声器的 Q_0 值与箱体关系	249
13.6.3	开口箱的调节方法	249
13.6.4	开口箱设计所要求的扬声器参数	251
13.6.5	开口箱的设计	251
13.6.6	开口箱的优点	252
13.7	开口箱的变型	252
13.7.1	无源辐射式扬声器箱	252
13.7.2	扩大型无源辐射箱	253
13.7.3	R-J 扬声器箱	254
13.7.4	卡鲁逊扬声器箱	254
13.7.5	声阻尼式开口箱	255
13.7.6	可调节开口箱	255
13.8	前加载号筒扬声器箱	255
13.9	后加载号筒扬声器箱	257
13.10	传输线扬声器箱	259
13.10.1	传输线扬声器箱的定义	259
13.10.2	传输线扬声器箱的应用	260
13.10.3	传输线扬声器箱的几个设计工艺问题	261
13.11	无指向性扬声器箱	262
13.11.1	多面体无指向性扬声器箱	263
13.11.2	水平方向无指向性扬声器箱	263
13.11.3	声扩散型无指向性扬声器箱	263
13.12	扬声器箱体外形的选择	265
13.12.1	箱体外形对低声频特性的影响	265
13.12.2	箱体的尺寸比	265
13.12.3	箱体细部的影响	266
13.13	扬声器的组合与单独重放	268
13.13.1	用多只扬声器组合高质量扬声器箱	268
13.13.2	分频问题	269
13.13.3	各频段扬声器的排列方法	269
13.13.4	中频扬声器的处理	271

13.13.5	声中心一致问题	272
13.13.6	全频带扬声器	273
13.14	分频网络	273
13.14.1	分频网络的作用	273
13.14.2	分频原理	274
13.14.3	分频网络的结构	274
13.14.4	分频网络的校正	276
13.15	单极、偶极、三极式音箱	277
13.15.1	单极式音箱	277
13.15.2	偶极式音箱	278
13.15.3	双极式和三极式音箱	279
第 14 章	音箱与放大器	280
14.1	系统概念和水桶原则	280
14.2	放大器和扬声器箱的功率	280
14.3	阻尼系数	281
14.3.1	阻尼系数的定义和表示方法	281
14.3.2	阻尼系数的影响	281
14.3.3	阻尼系数对放大器和扬声器的影响	282
14.4	扬声器的连接法	283
14.4.1	定阻连接和定压连接	283
14.4.2	音量调节方法	285
14.5	动反馈扬声器	285
14.5.1	动反馈的原理	285
14.5.2	动反馈的方式	286
14.6	高频补偿的办法	287
14.7	电子分频网络	289
第 15 章	扬声器与听音环境	290
15.1	暂态声场	290
15.1.1	室内声音的建立和衰减	290
15.1.2	扩散	291
15.1.3	混响声	291
15.1.4	两种听音流派	292
15.2	稳态声场	292
15.2.1	房间的声压分布	292
15.2.2	指向性的影响	293
15.3	房间的谐振	294
15.3.1	房间的固有振动	294
15.3.2	对房间尺寸比例的要求	295

15.3.3	小房间的听音	295
15.4	扬声器箱的放置地点与特性	296
15.4.1	镜像	296
15.4.2	扬声器箱的放置地点	297
15.5	吸声与扩散	300
15.5.1	吸声处理	300
15.5.2	多孔性吸声材料	301
15.5.3	特种吸声材料	301
15.5.4	实现室内声场扩散的措施	301
15.6	听音房间应当避免的声缺陷	302
第 16 章	扬声器的测试	304
16.1	消声室	304
16.2	混响室及其他测试设备	306
16.2.1	混响室	306
16.2.2	标准障板	307
16.2.3	测试传声器	307
16.2.4	其他测试仪器	308
16.3	扬声器特性测量方法	308
16.3.1	声压频率响应曲线	308
16.3.2	阻抗和阻抗曲线	309
16.3.3	相位特性的测量	309
16.3.4	指向性测量	310
16.3.5	群延迟时间频率特性	311
16.3.6	瞬态特性	312
16.3.7	谐波失真	313
16.3.8	调制失真	314
16.4	扬声器漏磁场的测量	315
16.5	扬声器单元参数的测量	317
16.6	扬声器测量的新技术	319
16.6.1	脉冲数字测量技术	319
16.6.2	MLS 技术	320
第 17 章	扬声器的音质评价	322
17.1	人的听觉机理	322
17.2	人耳的听音特点	324
17.3	音质评价术语	328
17.3.1	从总体、综合判断上归纳	328
17.3.2	音质评价和节目源的关系	328
17.3.3	音质评价术语分类	329

17.3.4	三主四副属性分类法	329
17.4	音质评价术语与扬声器测试参数	330
17.5	音质评价术语与环境	331
17.6	标准音质评价术语	333
17.6.1	IEC 主观试听试验标准	333
17.6.2	标准音质评价术语	333
17.7	听音的方位感	334
17.7.1	一个值得推敲的概念	334
17.7.2	人耳的方位辨别	334
17.7.3	声级差和音色差	334
17.7.4	决定声音方位的主要因素	334
17.7.5	耳廓效应	335
17.7.6	德·波埃(D. Poher)效应	335
17.7.7	哈斯(Hass)效应	335
17.7.8	现场的实际感受	336
17.8	音质与扬声器的频率响应曲线	336
17.8.1	向等响度线看齐	336
17.8.2	频率响应曲线的趋势和音质的关系	337
17.8.3	指向频率特性的影响	338
17.8.4	频率响应曲线的峰谷	339
第 18 章	当代扬声器的发展	340
18.1	Rogers LS3/5A 测试分析	340
18.1.1	测试结果	341
18.1.2	测试分析	342
18.1.3	分频电路	342
18.2	观水有术 必观其澜——B&W801 音箱述评	343
18.2.1	B&W 音箱的追求和发展	343
18.2.2	B&W 的 801MATRIX SERIES2 述评	345
18.2.3	N801 的追求	346
18.3	到海方知浪渺茫——英国 KEF-109 述评	357
18.3.1	KEF 的发展	357
18.3.2	寂寞后的辉煌	360
18.3.3	Mode 109 的概况	360
18.3.4	Mode 109 的几个技术特点	360
18.3.5	昂贵的价格	363
18.4	飘若游云 矫若惊龙——从 Wilson Benesch Discovery 看音箱创新魅力	364
18.4.1	Discovery 的结构	364
18.4.2	产品的追溯	367
18.4.3	冷静的学习	368