

■ 沈勇等编著

Loudspeaker System
Theory and Applications

扬声器系统的 理论与应用



国防工业出版社
National Defense Industry Press

扬声器系统的理论与应用

Loudspeaker System Theory and Applications

沈勇 等编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

扬声器系统历史悠久又创新不断,随着人们生活水平的提高,扬声器系统得到了大量应用。本书分理论篇和应用篇两部分,理论篇系统地介绍了各种扬声器系统的基本概念、基本原理和基本方法;应用篇重点介绍了几种常用扬声器系统的设计原则、设计方法和测量手段,并通过设计案例呈现。

本书适合声学工程师和在校相关专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

扬声器系统的理论与应用/沈勇等编著. —北京:国防工业出版社,2011.12
ISBN 978-7-118-07800-8

I. ①扬... II. ①沈... III. ①扬声器系统
IV. ①TN643

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第233578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100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 26 字数 617千字

2011年12月第1版第1次印刷 印数1—4000册 定价60.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是为声学工程师和在校相关专业的学生而编著的。我在从事电声学研究的20多年里,常常有工程师或学生前来发掘有关扬声器系统的书籍。他们对专业书籍的渴望深深地触动了我。国内专门介绍扬声器系统的书籍很少,这与世界第一电声大国的地位极不相称。很多声学工程师实际经验丰富而缺少理论基础。很多在校大学生所学理论知识较多而缺少实际经验。如果能编著一本理论与实践相结合的书籍,可以为中国电声事业的发展做一点贡献。

后来,几位志同道合而经历不同的南京大学校友魏世雄、杨定军、王富裕、李胜波、张谦和我成立了本书的编委会。我们的目标就是完成一部既有完备的理论又密切联系实际的专门介绍扬声器系统的书。这本书分理论篇和应用篇两部分。我们的分工以各展其长为原则。我曾经研读了大量的声学论文和书籍,研究电声学理论,也直接开发过一些扬声器系统,并且长期承担南京大学声学专业本科生的电声学专业课教学,所以理论篇由我编撰。王富裕长期从事高保真扬声器系统和汽车扬声器系统的开发,李胜波长期从事小型有源扬声器系统和电视机扬声器系统的开发,张谦长期从事多媒体扬声器系统的开发,所以应用篇中相应类型的扬声器系统由这三位有企业生产实践背景的专业人士分别编撰。魏世雄、杨定军是从事电声工作数十年的老前辈,他们两位审校了全书;其余几位作者也反复校正有关章节及全书。

为了方便读者阅读,同时也为了使本书更有系统性。本书汇集了许多文献资料,并加以归纳、演绎、改写和综合,并适当发表一些独到见解。

本书的理论篇重点介绍基本概念、基本原理和基本方法,包括声学、电声学、扬声器单元、号筒扬声器、封闭式扬声器系统、管道倒相式扬声器系统、无源辐射式扬声器系统、带通式扬声器系统、扬声器阵列、分频网络、声学测量和音质评价。为便于理解,理论篇推导了一些公式。鉴于扬声器系统历史悠久又创新不断,理论篇对其发展历程作了一定的介绍。

本书的应用篇重点介绍几种常用扬声器系统的设计,包括无源扬声器系统、小型有源扬声器系统、电视机扬声器系统、多媒体扬声器系统、汽车扬声器系统。应用篇对设计原则、设计方法、测量手段做了较为详尽的介绍,并通过设计案例呈现给读者。

本书第1章至第14章及理论篇概述由沈勇编著,第15章和第19章由王富裕编著,第16章和第17章及应用篇概述由李胜波编著,第18章由张谦编著。全书由魏世雄、杨定军审校。

虽然编委会作了很大的努力,但限于水平,仍存在不足之处,欢迎读者来函批评指正。希望本书能对有志于研究和开发优质扬声器系统的读者有切实的帮助。

E-mail: yshen@nju.edu.cn

沈 勇

2011年8月于南京

目 录

上 篇	理 论 篇
-----	-------

理论篇概述	2
第 1 章 声学 and 电声学的基本概念	4
1.1 声学的基本概念	4
1.2 声学简史	14
1.3 电声学与电声换能器的基本概念	18
1.4 电声学简史	20
第 2 章 声辐射基本特性	26
2.1 辐射声场	26
2.2 辐射阻抗	29
2.3 理想脉动球源和点声源	29
2.4 理想线声源	37
2.5 理想面声源	39
第 3 章 电—力—声类比线路	47
3.1 电、力、声的相似性	47
3.2 电路互易法则和电路图	47
3.3 力电类比、力学互易法则和力学线路图	50
3.4 声电类比、声学互易法则和声学线路图	59
3.5 电力变量器和力声变量器	70
3.6 电—力—声类比线路	71
第 4 章 直接辐射式扬声器单元	74
4.1 概述	74
4.2 扬声器单元发展历程	76
4.3 动圈式扬声器单元工作原理	78
4.4 锥形动圈式扬声器单元的阻抗分析	81
4.5 锥形动圈式扬声器单元的频响分析	85
4.6 锥形动圈式扬声器单元的参考效率	90
4.7 锥形动圈式扬声器单元的位移特性	91
4.8 球顶形动圈式扬声器单元	92
4.9 动圈式扬声器单元的热效应	94
第 5 章 号筒扬声器	96
5.1 概述	96

5.2	号筒扬声器发展历程	98
5.3	Webster 方程	99
5.4	指数形号筒扬声器	99
5.5	号筒扬声器的指向性	103
5.6	号筒扬声器的失真	105
第 6 章	扬声器系统基本概念与基本原理	106
6.1	概述	106
6.2	扬声器系统发展历程	108
6.3	扬声器系统基本原理	109
6.4	Thiele - Small 参数	111
6.5	扬声器系统的指向特性	111
6.6	扬声器系统的失真特性	112
6.7	扬声器系统的箱体形状	117
6.8	扬声器系统的箱体结构和材料	122
第 7 章	封闭式扬声器系统理论	124
7.1	概述	124
7.2	封闭式扬声器系统发展历程	124
7.3	封闭式扬声器系统设计方法	125
7.4	封闭式扬声器系统的低频响应分析	127
7.5	封闭式扬声器系统的阻抗分析	131
7.6	封闭式扬声器系统的位移特性	132
7.7	封闭式扬声器系统的群延迟特性	133
7.8	封闭式扬声器系统的瞬态特性	134
7.9	封闭式扬声器系统的参数	135
7.10	双低音封闭式扬声器系统	139
7.11	填充吸声材料的封闭式扬声器系统	140
第 8 章	管道倒相式扬声器系统理论	142
8.1	概述	142
8.2	管道倒相式扬声器系统发展历程	142
8.3	管道倒相式扬声器系统基本原理	143
8.4	管道倒相式扬声器系统的低频响应分析	145
8.5	管道倒相式扬声器系统的电阻抗特性	150
8.6	管道倒相式扬声器系统的位移特性	151
8.7	管道倒相式扬声器系统的群延时特性	152
8.8	管道倒相式扬声器系统的瞬态特性	152
8.9	倒相声导管	153
8.10	管道倒相式扬声器系统的设计	154
8.11	双低音及双倒相管	157
第 9 章	无源辐射式扬声器系统理论	158
9.1	概述	158

9.2	无源辐射式扬声器系统发展历程	158
9.3	无源辐射式扬声器系统基本原理	158
9.4	无源辐射式扬声器系统的低频响应分析	160
9.5	无源辐射式扬声器系统的电阻抗特性	162
9.6	无源辐射式扬声器系统的位移特性	163
9.7	无源辐射式扬声器系统的瞬态特性	164
9.8	无源辐射式扬声器系统的设计	164
第 10 章	带通式扬声器系统理论	166
10.1	概述	166
10.2	带通式扬声器系统发展历程	166
10.3	四阶带通式扬声器系统的低频响应分析	167
10.4	四阶带通式扬声器系统的电阻抗特性	169
10.5	六阶带通式扬声器系统的低频响应分析	170
10.6	六阶带通式扬声器系统的电阻抗特性	172
第 11 章	扬声器阵列理论	175
11.1	概述	175
11.2	扬声器阵列发展历程	177
11.3	声柱	178
11.4	声墙与扬声器簇	180
11.5	求和模型乘积理论和积分模型	181
11.6	连续扬声器阵列	182
第 12 章	分频网络	186
12.1	概述	186
12.2	分频网络发展历程	187
12.3	一阶分频网络	188
12.4	二阶分频网络	190
12.5	三阶分频网络	196
12.6	高阶分频网络	198
12.7	准二阶分频网络	198
12.8	准三阶分频网络	200
12.9	准四阶分频网络	200
12.10	补偿网络和响应整形电路	200
12.11	衰减网络	201
第 13 章	扬声器系统的测量	203
13.1	概述	203
13.2	声学测量环境	203
13.3	测量信号	205
13.4	阻抗特性测量	207
13.5	寿命试验	208
13.6	频率响应测量	208

13.7	声压与特性灵敏度测量	209
13.8	指向特性测量	210
13.9	谐波失真测量	212
第14章	扬声器系统的音质评价	214
14.1	概述	214
14.2	声源	215
14.3	乐器	217
14.4	人的发声器官	223
14.5	节目素材	223
14.6	听音环境	224
14.7	人的听觉	227
14.8	试验方法	229

下篇	应用篇
----	-----

应用篇概述	234	
第15章 无源扬声器系统设计	237	
15.1	概述	237
15.2	设计方法	237
15.3	正向设计	238
15.4	逆向设计	241
15.5	分频器设计	242
15.6	设计案例	243
第16章 小型有源扬声器系统设计	253	
16.1	概述	253
16.2	扬声器单元及其分频器设计	255
16.3	小型有源扬声器系统的结构设计	260
16.4	小型有源扬声器系统的电路设计	264
16.5	案例分析	265
第17章 电视机扬声器系统设计	272	
17.1	概述	272
17.2	国家标准及行业标准	273
17.3	电视机音响结构设计	278
17.4	电视机音响电路设计	286
17.5	电视机扬声器的设计要求	293
17.6	电视机高级电声设计	296
17.7	平板电视机电声设计	302
第18章 多媒体扬声器系统设计	308	
18.1	概述	308

18.2	多媒体扬声器系统设计方法	314
18.3	多媒体扬声器系统案例分析	318
18.4	音质评价与系统设计	361
第 19 章	汽车扬声器系统设计	366
19.1	概述	366
19.2	汽车扬声器系统发展历程	367
19.3	汽车内声学环境的特点	367
19.4	汽车扬声器系统的设计	376
19.5	汽车扬声器系统的测量和评估	392
19.6	车内噪声控制	397
附录 A	汽车扬声器系统比赛主要组织及其规则介绍	399
附录 B	原装和改装汽车扬声器系统品牌介绍	403
	参考文献	405

上 篇

理 论 篇

理论篇概述

- 第 1 章 声学 and 电声学的基本概念
- 第 2 章 声辐射基本特性
- 第 3 章 电—力—声类比线路
- 第 4 章 直接辐射式扬声器单元
- 第 5 章 号筒扬声器
- 第 6 章 扬声器系统基本概念与基本原理
- 第 7 章 封闭式扬声器系统理论
- 第 8 章 管道倒相式扬声器系统理论
- 第 9 章 无源辐射式扬声器系统理论
- 第 10 章 带通式扬声器系统理论
- 第 11 章 扬声器阵列理论
- 第 12 章 分频网络
- 第 13 章 扬声器系统的测量
- 第 14 章 扬声器系统的音质评价

理论篇概述

扬声器系统是声系统设备的终端环节,是将电能转换为声能并在空气中辐射到远处的电声换能器。

扬声器系统自发明以来已有近百年历史,其基本原理、设计方法、测量手段已日趋成熟,客观指标与主观评价的对应关系已逐步显现。虽然前人的研究工作已经很深入、很全面,并且成功地大量应用,但是并未解决所有的技术问题。科学家和工程技术人员仍在不懈地探索扬声器系统的新理论和新方法中享受乐趣,科研成果不断涌现,新产品纷至沓来。Audio Engineering Society(AES)每年举办两次国际会议,每次都有不少关于扬声器研究的论文。在中国每两年举办一次电声技术国际研讨会(International Symposium on ElectroAcoustic Technologies, ISEAT),每次关于扬声器研究的论文均占很大比重。扬声器系统的研究与与时俱进,人们对高品质生活的需求不断提高,相关科学技术的不断发展,都是推动科技进步的重要因素。

本书理论篇的重点在于介绍基本原理和基本方法,以较少的篇幅介绍一些比较新的研究成果。为了方便读者阅读,同时也为了使理论篇更有系统性。理论篇汇集了许多文献资料,并加以归纳、演绎、改写和综合。

理论篇的第1章至第3章介绍了声学 and 电声学的基本概念、声辐射基本特性和电—力—声类比线路。声学 and 电声学的名词术语的基本定义主要以国家标准为依据。辐射声场、辐射阻抗、点声源、线声源、面声源的阐述主要参考了国内外基础声学书籍,力求具备系统性和代表性。电—力—声类比线路在参考国内外基础声学和扬声器相关书籍的基础上作了一定的梳理,力求全面且条理清晰。

第4章至第5章介绍了直接辐射式扬声器单元和间接辐射式扬声器(即号筒扬声器)。重点为动圈式扬声器单元的工作原理、主要技术参数(如阻抗、频响、参考效率和位移等)和号筒扬声器的分析方法。主要参考了国内扬声器相关书籍和国外论文。

第6章至第10章介绍了扬声器系统基本概念与基本原理,剖析了封闭式、管道倒相式、无源辐射式和四阶带通式扬声器系统的基本工作原理和主要技术参数(如低频响应、阻抗、位移、群延时和瞬态特性)。主要参考了A. N. Thiele和R. H. Small的研究论文,适当参考了一些国外其他论文和国内扬声器相关书籍。

第11章介绍了近年来国际上的研究和应用热点——扬声器阵列。简要介绍了离散扬声器阵列和连续扬声器阵列,介绍了求和模型、乘积理论和积分模型。主要参考了国外和国内的研究论文。

第12章介绍了无源分频网络的分析方法和计算公式,包括一阶、二阶、三阶、高阶、准二阶、准三阶和准四阶分频网络。主要参考了国外研究论文和国内研究成果。

第13章介绍了扬声器系统的测量,包括测量环境、测量信号,测量参数(如阻抗特性、寿命试验、频率响应、声压与特性灵敏度、指向特性、谐波失真等)的测试原理和计算公式。主要以国家标准和国际标准为依据。

第 14 章介绍了扬声器系统的音质评价,特别介绍了声源、乐器和人的发声器官。主要以国家标准和国际标准为依据,参考了国内外相关书籍。

限于水平和篇幅,本书的理论篇还不能做到囊括全部已知的理论和方法,希望以后能在修订时不断补充。

第 1 章 声学 and 电声学的基本概念

1.1 声学的基本概念

声学 (Acoustics) 是研究声波的产生、传播、接收和效应的科学。

1.1.1 波 (Wave)

1) 波的概念

波 (Wave) 是媒质中以确定速度传播的扰动, 波的传播方式是: 在媒质中任意一点, 用做扰动量度的量都是时间的函数, 而在任何瞬间、在任一点的扰动量都是该点位置的函数。

任一与传播的扰动具有同样空间、时间依赖关系的物理量在同一时刻的空间分布也称为波。

2) 波的分类

自然界有各式各样的波, 可以按很多方式分类。

(1) 按力的作用性质, 波可分为电磁波和机械波。电磁波是由于电磁力的作用产生的, 是电磁场变化在空间的传播过程。电磁波不需要物质介质, 它传播的是电磁能量, 在真空中的传播速度为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, 电磁波按频率可分为无线电波、红外线、可见光、紫外光、X 射线、 γ 射线和宇宙射线。机械波是由于机械力 (弹性力) 产生的机械振动在介质中的传播, 它传播的是机械能量, 并且只能在介质中传播。介质可以是空气, 也可以是液体和固体。

声波是机械波, 声波是弹性媒质中 (如空气、水等) 传播的压力、应力、质点位移、质点速度等变化或几种变化的综合。声波以波的形式向周围传播。

(2) 按照位移 (或场矢量) 以及传播方向的关系, 波可分为纵波 (例如声波)、横波 (例如沿弦的波) 和混合波 (例如水波及地震波)。声波是纵波, 振动方向与传播方向相同。

(3) 按照传播的空间维数, 波可分为一维波 (沿弦的波)、二维波 (表面波, 涟漪) 和三维波。

(4) 按照波前, 波可分为平面波、柱面波、球面波。

(5) 按照形状, 波可以是波列、波包。

(6) 按照波动方程, 可以有线性波和非线性波。

3) 纵波、横波

(1) 纵波 (Longitudinal Wave) 是媒质中质点沿传播方向运动的波。纵波在无限媒质中传播时, 质点振动的方向平行于波的传播方向, 即垂直于波阵面在纵波通过的区域内, 质点位移矢量的散度场不为零, 意味着媒质各点处的体积要发生周期性稀疏和稠密的变化。故纵波也称为“疏密波” (或“胀缩波”), 又由于纵波质点位移矢量的旋度场恒等于零, 故又称为“无旋波”。

(2) 横波(Transverse Wave)是媒质中质点垂直于传播方向运动的波。横波只能在具有切变弹性的媒质中传播,故只存在于高粘滞液体和固体中。在横波通过的区域内,质点位移矢量散度场为零,表明媒质各点处无体积变化,仅有切向变形。所以横波也称为“等体积波”、“切变波”或“畸形波”等。

4) 自由行波

自由行波(Free Progressive Wave)是在一个没有边界的、均匀而各向同性的媒质中传播的波。

5) 波阵面、波法线

(1) 波阵面(波前)(Surface Wavefront)是行波在同一时刻相位相同的各点的轨迹。

(2) 波法线(Wave Normal)是通过行波波阵面上一点的法线。

6) 平面波、柱面波、球面波

(1) 平面波(Plane Wave)是波阵面为平面且与传播方向垂直的波。

(2) 柱面波(Cylindrical Wave)是波阵面为同轴圆柱面的波。

(3) 球面波(Spherical Wave)是波阵面为同心球面的波。

7) 弯曲波

弯曲波(Bending Wave, Flexural Wave)是波或棒(梁)作弯曲动作而传播的纵横波。在结构中传播的各种声波中,弯曲波是最重要的一种。这是因为弯曲波所产生的声辐射是空气噪声和水中噪声的主要来源之一。弯曲波既不是纵波,也不是横波。一般情况下,对长梁或薄板,弯曲波所引起的横向振动的幅度要比横波与纵波都大得多,但弯曲波所引起的应力基本上和纵向波应力属于一类。

8) 驻波、波腹和波节

(1) 驻波(Standing Wave)是由于频率相同的同类自由行波互相干涉而形成的空间分布固定的周期波。驻波的特点是具有固定于空间的波节或次波节和波腹。

(2) 波腹(Wave Antinode, Wave Loop)是指驻波中某种声场特性的幅值为最大的点、线或面。

注:必须用适当的词说明腹的种类,如“声压腹”、“位移腹”、“质点速度腹”等。

(3) 波节(Wave Node)是驻波中某种声场特性的幅值基本为零的点、线或面。

注:①必须用适当的词说明节的类别,如“声压节”、“位移节”、“质点速度节”等。②某种声场特性最小但不是零时称为次节(Partial Node)。

1.1.2 声波

1) 声和音

(1) 声(Sound)有双重意义:①声波,指弹性媒质中(如空气、水等)质点在平衡位置附近的运动。从严格意义上说,声波是机械振动在媒质中的传播;②声音,指上述变化作用于听觉器官(人耳)所引起的感觉。

一个物体振动时,会激励周围的空气质点振动,由于空气的可压缩性,在质点的相互作用下,四周的空气就产生交替的压缩与膨胀过程,并向外传播。一般说来,凡是有弹性的物质,例如气体、液体和固体等都能传播声波。

声为一般术语,声波的频率范围相当宽。按照频率范围,可将声波分为次声($10^{-4}\text{Hz} \sim 16\text{Hz}$)、可听声($16\text{Hz} \sim 16\text{kHz}$)、超声($16\text{kHz} \sim 5 \times 10^8\text{Hz}$)、微波超声($f > 500\text{MHz}$ 或

10000MHz)到特超声(10^{11} Hz以上)。

(2) 音(Tone)有三重意义:①有音调的听觉;②能引起音调的听觉的声波,即有调的声;③乐律中较大的音程(即全音)。

(3) 纯音(Pure Sound, Pure Tone) 正弦式的声振荡。

2) 可听声、次声、超声、特超声

(1) 可听声(Audible Sound)有两种定义:①能够引起听觉的声振荡;②由声振荡引起的听觉。

可听声常常简称为声或声音。可听声指一般青年人在一定的频率范围内可以听到的声音。人耳能否听到声音决定于声音的强度和频率。2009年发布的国家标准规定可听声的频率范围为16Hz~16kHz。这一范围与国际标准是一致的,不同于过去的20Hz~20kHz。如果强度足够大,人们可能听到更高频率或更低频率的声音,但这些声音通常不被理解为可听声。

(2) 次声(Infrasound)是频率低于可听声频率下限的声。次声是大气和固体中频率低于可听声下限频率或群速低于标准声速的声波。次声的频率范围大约为 10^{-4} Hz~16Hz。自然界的太阳磁暴、海浪咆哮、雷鸣电闪、气压突变、火山爆发;原子弹、氢弹爆炸试验,火箭发射、飞机飞行等,都可以产生次声波。小型动力设备如鼓风机、引风机、压气机、真空泵、柴油机、电风扇、车辆发动机等可以产生次声波。

次声传播的衰减很小,可用于风暴预测,地表探测、探矿和核爆炸侦察等。次声可以对人产生很大危害。人体的一些器官的固有频率为3Hz~17Hz,若次声频率与之相同,人体的内脏和大脑就承受不了,甚至出现头晕、恶心、血压失常、血管破裂直到死亡。一些国家的军事专家利用次声波的性质研制次声武器,目前已研制出次声波枪和次声波炸弹等。声武器有两种:①神经型——干扰大脑神经功;②人体型——伤害人体内脏(*驱散器16kHz~20kHz)。次声波会引起人体无法忍受的颤抖,从而产生视觉障碍、定向力障碍、恶心等症状,甚至还会出现可导致死亡的内脏损坏或破裂。

(3) 超声(Ultrasound)是频率高于可听声频率上限的声。超声是频率大于20kHz的声波,一般来说,人耳是听不到频率高于20kHz的声音的,故称其为“超声”。当然频率界限是粗略的,只是个概数,个人所能听见的频率上限不尽相同,即使同一个人,上限也会随着年龄的增长而降低。2009年发布的国家标准规定超声频段下限为16kHz。

(4) 特超声(Hypersound)是当频率再提高,声波的波长与物质结构中的限度相当时,可以用声波来研究物质结构,这样频率的声波称为特超声。一般来说,是指频率为 10^{11} Hz以上的超声。

3) 谐波、分谐波

(1) 谐波(Harmonic Wave)指在周期性振荡中,频率等于基频的整数倍的正弦式量。频率等于基频2倍的波称为二次谐波,等于基频3倍的称为三次谐波……

(2) 分谐波(Sub-Harmonic Wave)是频率等于一个周期性振荡基频的整分数的正弦式量。频率等于基频1/2的波称为二次分谐波,频率等于基频1/3的称为三次分谐波等。

1.1.3 描述声波的参数

1) 声速、波长、频率、周期、波数

(1) 声速(Velocity of Sound)指声波在媒质中传播的速度,单位为米每秒(m/s)。声

速随温度的升高而增大,它与绝对温度 t_e 的关系通常以下式表示:

$$c_{te} = 331.45 + 0.61t_e$$

c_{te} 是 t_e °C 时空气中的声速, 0°C 时空气中的声速是 331.45m/s。温度每升高 1°C, 声速约增加 0.61m/s。一般计算声速可取 340m/s(15°C 时)。

(2) 波长(Wave Length)指在媒质中振动相位相同的相邻两点间的距离。在各向同性的均匀媒质中的简谐波的波长等于相位相差 2π 的两个波阵面间的垂直距离, 等于声速除以频率, 单位为米(m)。

$$\lambda = c_0/f$$

(3) 频率(Frequency) 指当变量是时间时, 单位时间内的周期数称为周期量的频率。设周期量 y 是时间 t 的函数, 则

$$y = f(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \sin(\omega t + \alpha_i)$$

角频率 ω 与频率 f 的关系为

$$\omega = 2\pi f$$

可听声频率 f 和波长 λ 的数值对应表(15°C 时) 列于表 1-1。

表 1-1 可听声频率 f 和波长 λ 数值的对应表(15°C 时)

f/Hz	λ/m	f/Hz	λ/m	f/Hz	λ/m
20	17	200	1.7	2000	0.17
31.5	10.79	315	1.079	3150	0.1079
40	8.5	400	0.85	4000	0.085
50	6.8	500	0.68	5000	0.068
63	5.40	630	0.540	6300	0.0540
80	4.25	800	0.425	8000	0.0425
100	3.4	1000	0.34	10000	0.034
125	2.72	1250	0.272	12500	0.0272
160	2.125	1600	0.2125	16000	0.02125

(4) 周期(Period)指函数值每重复一次所需自变量的最小增量。如果自变量是时间, 则通常用字母 T 表示周期。周期量在一个周期内所经历的全部数值的数字称为“一周”。

(5) 波数(Wave Number)指在波的传播方向上单位长度的波长数, 即波长的倒数。单位, 米的倒数(1/m)。波数 k 与波长 λ 、频率 f 的关系为

$$k = 2\pi/\lambda = 2\pi f/c_0 = \omega/c_0$$

2) 频段、倍频段

(1) 频段(Frequency Interval)指两个声或其他信号的频率间的距离, 它以高频与低频的频率比的对数来表示。

(2) 倍频段(Octave)指两个基频相比为 2 的声或其他信号间的频段。

3) 级、贝[尔]、分贝

(1) 级(Level)指在声学中一个量与同类基准量(Reference Quantity)之比的对数。对数的底、基准量和级的类别应予说明。

注:①级的类别用名称表示,如声级、声压级、声功率级等。②对数的类别、对数的底以及比例常数不同时,得到不同的级的单位,如贝[尔]、分贝、奈培等。

(2) 贝[尔](Bel)是一种级的单位。一个量与同类基准量之比的以10为底的对数值为1时称为1贝尔,用B表示。贝[尔]用于可与功率类比的量。

注:可与功率类比的量如:电流平方、电压平方、质点速度平方、声强、声能密度、位移平方、速度平方、加速度平方、力平方以及功率本身等。

(3) 分贝(Decibel)是一种级的单位。一个量与同类基准量之比的以10的10次方根为底的对数值为1称为1分贝,用dB表示,1dB=0.1B,分贝用于可与频率类比的量。

4) 声压、声压级

(1) 声压(Sound Pressure)指有声波时,媒质中的压力与静压的差值。单位为帕[斯卡](Pa)。

注:①一般使用时,声压是有效声压的简称。有效声压是在一段时间内瞬时声压的均方根值,这段时间应为周期的整数倍或长到不影响计算结果的程度;②声压的瞬时值、平均值、峰值、最大值或峰到峰值等应分别注明为瞬时声压、平均声压、峰值声压、最大声压或峰到峰值声压等。

(2) 声压级(Sound Pressure Level)是声压与基准声压之比的以10为底的对数,单位为贝[尔](B),但通常以dB为单位。

声压级SPL和声压 p 的关系如图1-1所示,用公式表示为

$$\text{SPL} = 20 \lg \frac{p}{p_{\text{ref}}}$$

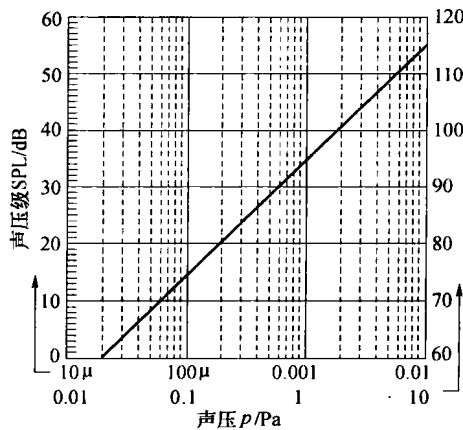


图1-1 声压级SPL和声压 p 的关系

通常,基准声压 p_{ref} 在空气中为 $20\mu\text{Pa}$,是正常人耳对1kHz声音刚刚能察觉其存在的声压值,也就是1kHz声音的可听阈声强。一般认为,低于这一声压值,人耳就再也不能察觉出这声音的存在了。确定该可听阈声压的声压级为零分贝。使用声压级表示声信号的强度与听觉生理的感受比较接近。