

著 (美) 约翰·尔格

美国 JBL 研发部高级经理

扬声器与音箱 设计手册

译 沈 嶸

中国科学院声学研究所研究员



福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

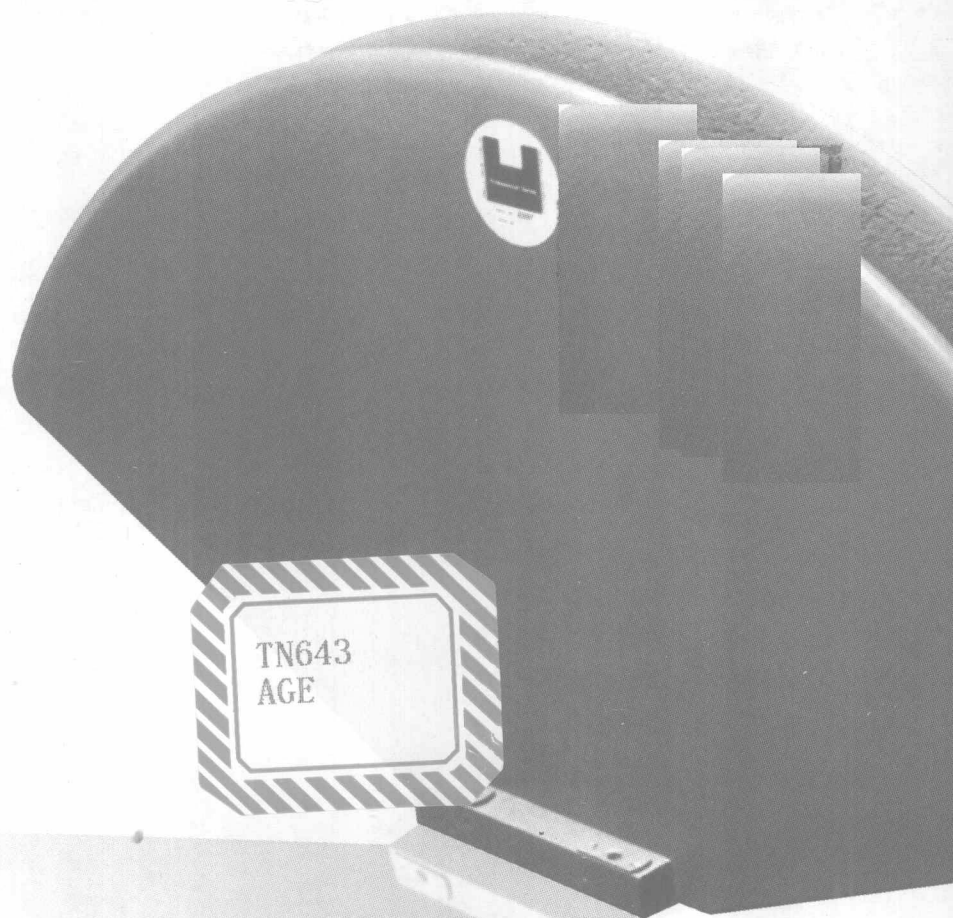
著 (美) 约翰

美国 JBL 研发部高级经理

扬声器与音箱 设计手册

译 沈嶸

中国科学院声学研究所研究员



福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

原书名: Loudspeaker Handbook (2nd ed.)

本书由 Kuwer Academic Publishers (Springer) 授权出版

图书在版编目 (CIP) 数据

扬声器与音箱设计手册/ (美) 约翰·尔格著; 沈嵘译.

福州: 福建科学技术出版社, 2008. 7

ISBN 978-7-5335-3159-1

I. 扬… II. ①尔…②沈… III. 扬声器系统—设计—手册 IV. TN643

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 038762 号

书 名	扬声器与音箱设计手册
著 者	(美) 约翰·尔格
译 者	沈嵘
出版发行	福建科学技术出版社(福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福建二新华印刷有限公司
开 本	850 毫米×1168 毫米 1/32
印 张	12.5
字 数	323 千字
版 次	2008 年 7 月第 1 版
印 次	2008 年 7 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5335-3159-1
定 价	28.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

内容简介

本书结合美国 JBL 公司和欧洲部分著名公司扬声器与音箱产品，详细介绍了扬声器与音箱设计的技术内容，并给出一些 JBL 扬声器与音箱产品的测量数据。对扬声器的设计、制造和使用提供了许多有益的特性分析和设计、制造技术。讨论了各种扬声器组阵在放声、录音监听、电影放声和家庭听音的使用。

本书阅读对象是从事电声学理论和技术的研究人员，从事电声器件的设计人员、生产制造的工程师以及扬声器应用的技术人员。本书还可供高等院校有关专业的师生参考，并作为音频爱好者、音乐爱好者和扬声器爱好者的学习材料。

译者序

扬声器与音箱技术涉及基本理论、研究、设计、工艺和应用。其产品的音质设计与心理声学有关，且具有民族性，并受人们文化水平和个人爱好的影响。20世纪50年代，即使是天安门广场和人民大会堂的扩声工程都使用国产扬声器，但是近年来许多厅堂场馆扩声工程几乎都采用了进口扬声器。但是扬声器不但要求技术先进，更重要的是要具有适合我国音乐节目的艺术性和民族性。研制和设计出我国的品牌扬声器，是广大音响工作者的希望和努力方向，翻译本书就是希望有助于这一过程的进展。



2003年美国JBL公司约翰·尔格(John Eargle)修订和出版了本书第二版，大量引用JBL公司扬声器系统的设计经验和有关技术资料，总结了近年来扬声器技术的进展和现代扬声器的应用。本书重点讨论高保真扬声器系统、电影和录音用扬声器系统以及近代扩声工程中应用的大功率扬声器组阵，给出了Thiele-Small参数的测量和用它计算扬声器性能的方法。书中虽然叙述基本原

理和公式推导方面比较简略，但内容是现代化的，它对提高扬声器的设计和研制水平具有参考价值。本书重点是研讨高保真扬声器系统，但对近年来发展的新技术和新型扬声器也作了介绍，在每章末列出英文参考书目和文献可供读者进一步查阅。译者补充了中文扬声器技术主要参考书目和文献，一方面可用以了解国内扬声器技术的进展，同时也给出国内有关扬声器研究、设计和制造的概况。在翻译过程中译者对原书少量印刷错误作了更正。由于译者英语水平的局限性，理解原文不可避免有不恰当，甚至错误之处，敬请读者指正。

沈嶷

(中国科学院声学研究所)

作者序

本书第二版按照和第一版相同的大纲编写，但在许多技术领域有了增加和更新。本书更多地注意到新的发展——程序控制的线列阵、分布振动方式扬声器和基于超声的音频换能扬声器。此外，有关低频扬声器系统、系统的概念和喇叭式扬声器系统的主要章节都有了扩充。

第一版的成功之处在于它让扬声器工程师和在这领域内工作的非专业技术人员能够非常方便地查阅，这些也是作者在本书编写过程中坚持的写作方法。要完全理解本书中的相关设计技术需要具有一定的工程实践基础并经历两年的专业学习。但是，直接熟练使用书中的结论则是所有读者都能做得到的。

下面简短叙述各章的内容：

第一章叙述连接扬声器输入和输出的电-力-声线路，强调基本方程和等效电路。

第二章综述常用的纸盆驱动器和球顶驱动器。按照类型、设计、特性等来进行讨论。

第三章叙述磁性材料，它曾是扬声器设计中的难点，现在使用压模技术就很容易供给磁性材料。

第四章主要从 Thiele-Small 参数观点来讨论低频扬声器系统的特性，也讨论各种音箱箱体的设计。

第五章叙述系统的概念。与扬声器设计其他方面相比，它更具有多样性。分频网络的基本类型、障板和部件匹配都进行了讨论。

第六章讨论线列扬声器、平面扬声器和新型电子控制的组阵。

第七章详细叙述喇叭和压缩驱动器。喇叭系统是专业扩声的主要部分。一开始它就是电声学中的关键部件。

第八章叙述电路接口，包括扬声器和放大器的匹配、放大器的串联和并联运用，多级放大方式和线路损失。

第九章叙述扬声器在高电平下的使用，驱动达到极大限度时，由于发热引起的特性偏移。讨论了减小这些效应的技术。

第十章、第十一章和第十二章分别探讨录音和广播监听、扩声、电影/电视方面的应用，并详细叙述这方面的实践。

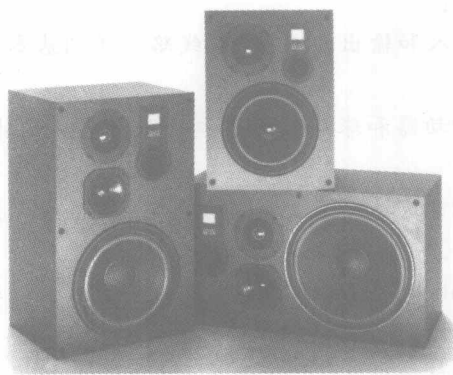
第十三章的内容包括扬声器测量和模拟。近20年来采用数字技术的测量系统发生了革命性的变化，实际上已替代了模拟系统。但由于扬声器特性模拟的需要，这两种测量方法都进行了讨论。

第十四章讨论专业用扬声器的特性。首先介绍数据然后回顾了目前的实践经验。

第十五章讨论立体声放声的家庭听音环境以及改进室内音质的技术。

第十六章考察了近年来扬声器的各种换能原理。有许多是奇异的

但不实用，而另一些则将达到成熟水平。



约翰·尔格 (John Eargle)

目 录

第一章 电声工程基础：电动扬声器	(1)
1.1 简单串联共振电路	(1)
1.2 简单机械共振系统	(3)
1.3 阻抗型类比和导纳型类比	(4)
1.4 电路和力学线路的组合	(5)
1.5 力学和声学的结合	(7)
1.6 扬声器的效率和灵敏度	(11)
1.7 指向特性	(13)
1.8 纸锥振幅、功率和声压的图解关系	(17)
第二章 纸盆驱动器和球顶驱动器	(21)
2.1 纸盆驱动器的力学部件	(21)
2.2 振动系统	(26)
2.3 锥形振膜驱动器的变化	(37)
2.4 高频球顶驱动器	(40)
2.5 中频球顶驱动器	(42)
2.6 纸盆驱动器和球顶驱动器中的失真	(43)
第三章 磁学原理	(48)
3.1 基本原理	(48)

3.2 磁路	(51)
3.3 直线性	(52)
3.4 温度上升和去磁	(54)
3.5 磁性现象的模拟	(55)
3.6 磁屏蔽	(55)
第四章 低频扬声器系统和音箱	(58)
4.1 Thiele-Small 参数简介	(58)
4.2 密闭式低频扬声器系统的分析	(60)
4.3 开口式低频扬声器系统的分析	(67)
4.4 几个有用的曲线	(70)
4.5 高驱动条件下开口处的扰动	(75)
4.6 无源辐射器	(77)
4.7 传输线扬声器系统	(78)
4.8 偶极子低频扬声器系统	(80)
4.9 多腔式低频带通系统	(83)
4.10 声学杠杆	(85)
4.11 换能器的声学串联和并联	(86)
4.12 低频驱动器的开槽负载	(88)
4.13 超低频扬声器	(90)
4.14 垂直安装的低频驱动器的指向特性	(92)
4.15 调整偏差	(94)
第五章 分频网络和系统原理	(99)
5.1 基本分频网络	(99)
5.2 驱动器有用频率的上限	(106)
5.3 网络元件质量	(107)
5.4 标准网络 and 自耦变压器	(107)

5.5 实例研究	(109)
5.6 偏轴副瓣效应	(112)
5.7 障板上元件布置和边缘细节	(115)
5.8 扬声器的时间域响应	(119)
5.9 扬声器分布宽度和功率响应	(121)
第六章 线组阵、平面扬声器和组阵	(125)
6.1 恒定电荷静电扬声器的分析	(127)
6.2 电磁式平面扬声器	(131)
6.3 离散的线性组阵	(133)
6.4 扩声用大型组阵	(140)
6.5 程序控制组阵	(145)
第七章 喇叭系统	(152)
7.1 喇叭蜿蜒展剖面	(152)
7.2 驱动换能器	(155)
7.3 压缩驱动器的分析和特性计算	(163)
7.4 行波管 (PWT)	(169)
7.5 压缩驱动器的二阶共振	(172)
7.6 环形辐射器和 UHF 驱动器	(173)
7.7 喇叭族	(174)
7.8 安装在喇叭上的阻抗测量	(187)
7.9 喇叭系统的失真	(188)
7.10 喇叭驱动器的防护	(190)
7.11 中频范围低端和低频喇叭驱动器	(192)
7.12 低频喇叭	(193)
7.13 喇叭组阵	(198)

第八章 电子接口	(203)
8.1 功率放大器	(203)
8.2 线路损耗	(206)
8.3 扬声器和放大器的匹配	(209)
8.4 放大器的桥接	(210)
8.5 放大器的并联	(211)
8.6 双馈线制	(211)
8.7 多路放大和电子分频网络	(212)
8.8 扬声器系统动态性能的电子控制	(216)
第九章 扬声器热损坏的模式	(220)
9.1 热转换的基本机理	(220)
9.2 热阻值的估算	(223)
9.3 低频性能的偏移	(224)
9.4 散热技术	(225)
第十章 录音监听扬声器	(230)
10.1 历史的评述	(231)
10.2 近代阶段	(232)
10.3 现代高频喇叭系统的发展	(233)
10.4 现代纸盆/球顶扬声器系统	(236)
10.5 小型监听器设计	(239)
10.6 球顶扬声器系统的热力学失真	(239)
10.7 监听环境	(241)
10.8 家庭式录音室	(243)
10.9 监听系统的均衡	(244)

第十一章 语言和音乐扩声用的扬声器	(249)
11.1 语言扩声系统	(249)
11.2 信号延时的作用	(251)
11.3 案例的研究	(251)
11.4 扬声器覆盖范围的计算机模拟	(258)
11.5 系统的均衡	(260)
11.6 语言易懂度的测量和评价	(260)
11.7 电子厅堂	(265)
11.8 环境对声音传播的影响	(269)
11.9 高声级音乐演出系统	(271)
11.10 系统的稳定性	(272)
第十二章 影片、视频和音乐用的多通路系统	(276)
12.1 剧院扬声器系统的演变	(276)
12.2 剧院建筑和音质的演变	(282)
12.3 专业影院	(283)
12.4 剧院音频通路的校准	(285)
12.5 影片声音格式的功率带宽	(287)
12.6 剧院扬声器的现代技巧	(288)
12.7 家庭中的多通路视频	(290)
12.8 环绕声音乐的综述	(294)
12.9 在环绕声重放中的全息技术	(297)
12.10 通过反射和聚焦来定位声源	(298)
第十三章 扬声器测量和模拟	(302)
13.1 频率响应测量	(302)
13.2 失真测量	(305)

13.3 扬声器的相位和群延迟响应测量	(309)
13.4 指向性数据测量	(309)
13.5 测量环境	(314)
13.6 地平面上测量	(316)
13.7 近场测量	(317)
13.8 转换测量方法的综述	(318)
13.9 光学测量技术	(324)
13.10 模拟技术	(326)
13.11 破坏性试验	(326)
第十四章 专业扬声器的技术特性	(330)
14.1 轴向频率响应	(330)
14.2 阻抗	(331)
14.3 基准额定灵敏度	(332)
14.4 驱动器和系统的额定功率	(334)
14.5 功率(动态)压缩	(337)
14.6 失真	(337)
14.7 系统和部件的指向特性	(338)
14.8 Thiele-Small 参数	(339)
14.9 大功率扬声器系统	(339)
第十五章 立体声和听音环境	(342)
15.1 听音室的边界条件: 实验室符合真实环境	(342)
15.2 房间的简正波	(345)
15.3 中频和高频时的房间处理	(347)
15.4 最佳立体声定位	(350)
15.5 扩展立体声声像的扬声器布置	(351)
15.6 单个箱体的立体声特性	(353)

第十六章 特殊换能器的评述.....	(359)
16.1 磁体的变化	(360)
16.2 压电式器件和有关器件	(369)
16.3 离子化空气的器件	(370)
16.4 气流扬声器	(373)
16.5 旋转激励器	(374)
16.6 数字扬声器	(374)
16.7 分布振动方式型扬声器 (DML)	(376)
16.8 超声系统的概述	(377)
本书中所用符号.....	(381)
中文主要参考书目和文献.....	(384)

第一章 电声工程基础：电动扬声器

本章将叙述电动式纸锥扬声器的电-力-声基本模型，详细地说明这种器件在通频带内获得平坦的功率响应和参考效率是如何实现的。本章还将叙述在某些不同障板条件下纸锥扬声器的基本指向特性。在名词术语方面，扬声器装置通常是指换能器或驱动器。而作为专门名词是既指驱动器，也指整个系统。

电动式纸锥扬声器奠基于 Siemens 的早期工作（1874）。近代纸锥扬声器的创造性论文源自 Rice 和 Kellogg（1925），作者叙述了在宽频带范围内实现均匀功率响应时纸锥共振和辐射声阻的作用规律。经过了大约 3/4 世纪，纸锥扬声器有了不少变化和改进，但是仍然能清楚地看出早期的面貌。现在，纸锥扬声器和它的派生产品——球顶扬声器在各种产品中已得到了十分广泛的应用。

1.1 简单串联共振电路

图 1-1 (a) 表示三个无源元件和一个随时间变化的电压发生器 $e(t)$ ，即有源元件组成的串联电路。电路的阻抗、流经它的电流 $i(t)$ 和施加的电压相关联的方程是：

$$e(t) = i(t)(1/j\omega C + j\omega L + R) \quad 1.1$$

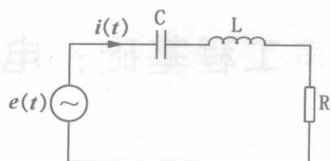
式中， $\omega = 2\pi f$ ，单位 rad/s；

$$j = \sqrt{-1}；$$

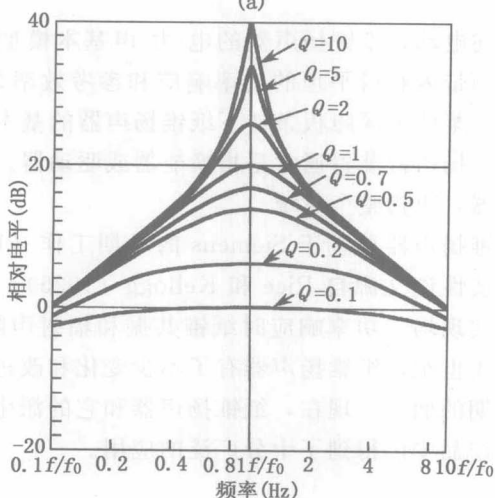
C = 电容，单位 F；

L = 电感, 单位 H;

R = 电阻, 单位 Ω 。



(a)



(b)

图 1-1 电路共振的例子

(a) LCR 串联电路 (b) 不同 Q 值的共振曲线族

我们也可以定义电路的共振频率 f_0 :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad 1.2$$

它是电抗项 $1/j\omega C$ 和 $j\omega L$ 相等并且彼此抵消而在方程 1.1 右半边只剩下电阻项时的驱动频率。在该频率时通过电路的电流将为极大。

电容和电感元件是抗性元件, 它们储存能量但不消耗。只有阻性