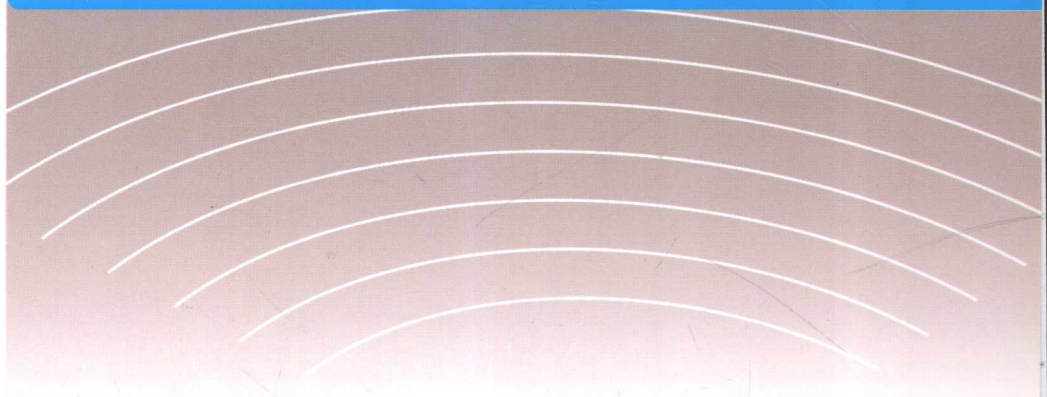


XIANZHENLIE
YANGSHENGQI
XITONG



线阵列扬声器系统

■ 王以真 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

线阵列扬声器系统

王以真 编著

湖北工业大学图书馆



01341643



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从重新定义线阵列扬声器系统开始,对线阵列扬声器系统的理论进行了讨论,并对国内外数十家线阵列扬声器系统产品进行了分析、探讨。同时对线阵列扬声器系统的设计、制造、工艺、使用、测试等做了介绍和说明。

本书可供音响技术人员、大专院校师生学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

线阵列扬声器系统/王以真编著. —北京:国防工业出版社,2012.3

ISBN 978-7-118-07654-7

I. ①线... II. ①王... III. ①天线阵—扬声器系统 IV. ①TN643

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 032964 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 22 字数 533 千字

2012 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 42.00 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

序言一

春风化雨 润物无声

◎ 汪杰

回想一下近年的喜事,似乎很多。国家经济发展了,大家手上的钱也多了,生活水平提高不少。但时间一长也就麻木了,找不到什么感觉。然而,数年来一次次地手捧王以真老师的新作,心中却是异样的甘甜与感动,从《实用扩声技术》、《实用扬声器技术手册》、《实用扬声器工艺手册》、《实用磁路设计》等,还有编译再版的《扬声器系统》,以及手中的这本《线阵列扬声器系统》,这些专著的宝贵在于技术的研究,在于技术的传承,更是一种精神的体现。

对于王以真老师所从事的工作,不同的人会有不同的理解。首先,众所周知,他是一位资深电声专家。然而人生的关键在于把握,就算是专家又能说明什么?君不见,有多少专家、学者几十年来缩身于院所的试验室,学术论文倒是写了不少,职称也不低,但能真正投入应用的成果却寥寥无几,转眼就成故纸一堆,却消耗了国家大量的科研经费。对于我这个从中国科学院出来的人来说,这样的人事看得太多了,只有两字:心痛!当然,也有一些专家,早早的投入社会,投身企业,投身商海,而多年来随着音响行业的起伏,也大多境况不佳,甚至打工于长三角、珠三角的私人企业,每日为温饱担忧,才高八斗又有何用?同样让人心痛!而在这个市场经济时代,在这个金钱至上的社会,又有多少专家拜倒在利益之下而身不由己,又有多少伪专家招摇于江湖?看来专家并不能解决现实问题,哪怕是个人方向与命运的基本问题。而王以真老师却很好地将自己的才华与社会的需求联系在一起,一直坚持自己的理想,不断地传道、授业、解惑,服务于社会,为中国电声事业做出了许多贡献,并通过大量的社会实践,以独特的角度看到了中国电声产业的现状与问题,并努力地去呐喊、去改变。

同时,王以真老师又是一位文人。提起文化人,争议更多。在现阶段的社会巨变中,文人如何保持操守是一个话题。可以看到,有多少“大家”、“名家”巧舌如簧,无病呻吟于社会,在炒作中唯利是图,而良知、道德所存无几,只是借文化之名谋一己之利而已。然而,对于王以真老师,我认为,最关键的是他有一种知识分子的责任感、使命感,一颗道德的心,而不仅仅是一个专家、文化人的称呼。因为他明白,电声技术是一个与实践密切联系的学科,而在中国,电声事业正处于一个起步与发展的阶段,需要长期积累与沉淀,需要一代代薪火相传,他需要做出自己的贡献,于是也就有了一系列专著,它引导了新一代的

年轻电声工作者,它是电声实践的金钥匙与指南。仅凭这几本专集,王以真老师对于中国电声事业就功德无量。

关注社会,关注整个行业,是王老师的一个特点。他不封闭于故纸堆,也不唯蝇头小利是图,而是大眼界地看待整个行业。于是他常常大声疾呼,也循循善诱,希望这个行业更健康、更理性地发展,甚至有过振奋人心的“何日辉煌中国声”的呼喊!虽然,“中国声”还有漫长的路要走。

阅读经典,可以使人受益良多。王以真老师以其曾身为右派而不沉沦的人生信仰,历经十年浩劫而越加坚强的毅力与丰厚的人生体验,在改革开放数十年间,面对世界巨变而志向不改的执着,一直保持着中国传统知识分子的良知,在电声领域奉献着自己。本书不仅仅是技术,更是这种精神的鲜明体现,这也是本书的最高价值所在。

序言二 | ◎ 沈伟星

王以真先生的著作《线阵列扬声器系统》即将出版。有幸给王以真先生写序言,心里感到很高兴。王以真先生是个多产的扬声器工作者,自70年代翻译山本武夫的《扬声器系统》后,文章及书籍发表了几百篇。对我国电声事业有一定的贡献,影响也比较大。

王以真先生从事电声事业已经有50多载,曾经搞过设计、工艺、技术管理、技术情报等工作,写过不少论文,还经常参加相关的各种电声技术活动,应该说知识是比较全面的。

我与王以真先生认识已经30多年了。他给我的印象是好学,几十年来没有停止过学习;知识不保守,诲人不倦;我们每次请教他什么事,他总是把知道的都告诉我们;他没有架子,有时候还把手头上的资料送给我们,因此他的朋友就多,被人们尊称为王老师。

我和王以真先生曾几度合作,写过一些有关扬声器的文章,在写作过程中又向他学习了不少知识。从2006年我们一起写《音箱研讨》系列文章的时候最有体会。每一篇文章要经过反复推敲、修改许多遍,才定下稿来。

许多电声界的老前辈退休后,就金盆洗手,在家享受天伦之乐。而年过70的王以真先生,退休后仍没有停止工作过,或走南闯北,学习、指导,或伏案写作。他是为了钱?不,一位享有国家津贴的高级工程师,钱够用了。倒是参加社会活动,伏案写作要花钱。写书要赔钱,尤其是写那些专业的科技书,读者只有数万,得到的稿费还不如用掉的钱多。可是他不是这样想的,能在有生之年,将自己的知识传授给别人,能帮助别人多了解和学习新的专业知识,是一件使人快乐的事,做自己喜欢做的事能让人健康。

今年夏天特别热,热的时间又长,记得那天杭州室内气温达40℃,天津也有35℃,我发了一个E-mail给他:“王总,您在干什么?好好休息休息吧,年纪大了,多注意身体。”他回电说:“我在写些东西,查阅一些资料,做这些事是我多年的习惯,从中得到不少乐趣,也是一种很好的休息。”

有人说:“一个人事情做得越多,错误就越多,别人找他的毛病就越多,批评、攻击他的人也就越多。要耳根清静,最好的办法是不做事情。”而王以真先生却不怕攻击。写的几本书被盗版。网上也偶有人攻击他,王先生一笑了之。我们欢迎善意的批评,这使人共同

进步;但恶意的攻击,只能说明对方的嫉妒和弱智。当然,多数人还是称赞王以真先生的。从他那里间接或直接学习不少东西。去年,有不少城市请他去讲线阵列扬声器系统,就是一个很好的例子。

国内在开发、生产线阵列扬声器系统的单位不少,真正能做好的不多。这本《线阵列扬声器系统》的出版势必对生产企业有很大帮助。目前还没有一本比较完整的书,从理论和实践系统地介绍线阵列扬声器系列,对我们来讲此书是很有价值的。书中从理论上分析了线阵列扬声器系统,虽然这方面的理论还处于完善中,但已经有了实际的指导意义。然后,对国内外 30 几家著名公司的产品做了详细的分析、比较和研究,从而找到这些公司产品特色、优点,对从事线阵列扬声器系统设计和制造的企业,有实际的指导作用。书中还介绍线阵列扬声器系统的安装、调整和现场测试,对应用者也有一定的指导作用。

期待《线阵列扬声器系统》能早日与读者见面。

序言三 | ◎ 郭爱民

我在电声这个行业与王以真老师相识有近 30 年了,同事期间,他既是我的领导,也是我的老师。他那渊博、丰富的专业知识及耿直、豁达的人格魅力一直让我敬佩不已。最近得知王老师的新书《线阵列扬声器系统》将要出版,还希望我为新书写点序言,这令我有点惶惑,实在不敢多想。过往与王老师共事多年,一直是跟随着老师在学习,但是学艺不精一词用在我身上再为恰当不过。就算一直在努力,也不会成为青出于蓝而胜于蓝的学生。但老师出新书,无论本人撰写水平如何,也要上阵献丑了。

近年来,线阵列扬声器系统技术与应用已在迅速发展。线阵列扬声器系统作为高技术的产物,备受电声界专业人士的关注。线阵列扬声器系统在辐射声功率、投射覆盖距离、频率特性、垂直指向性、高重放分辨率、音质清晰度、失真和线性相位等有着独特的电声优势。因此,在大型的扩声场所被广泛应用。

线阵列扬声器系统技术发展源于 20 世纪 80 年代,从最早 L - Acoustics 的 Christian-Heil 研究生产,到法国 L - ACOUSTICS 公司于 1996 年首先推出了 V - DOSC 系统,21 世纪日本研制的 LOBO 线阵列扬声器专利高线性技术,直到 2004 年,德国 H. Kaudio 宣布推出了第三代线阵列音箱。

线阵列扬声器系统技术文献近年来在国内、外不断有零散的撰文介绍,但是到目前为止还没有一本较为系统的线阵列扬声器系统的专著出版。王以真老师编著的《线阵列扬声器系统》一书,是对中国电声行业技术发展的贡献。特别是中国经过几十年的快速发展,在扬声器技术、制造工艺上取得了可喜的成绩。扬声器制造技术的国际地位日趋提高,竞争力日益增强。中国已成为产量和出口量居世界第一位的扬声器产能大国。与扬声器相关的新工艺、新技术、新材料、新设备也有了长足的进步。因此,中国需要更多新的电声技术专著出版。

王以真老师作为扬声器技术研究方面的开拓者和国内少有的对扬声器技术几十年来不离不弃的钻研者,所编写《线阵列扬声器系统》一书,内容涉及理论、发展历史、国内应用系统的评述及介绍。对国外 JBL、L - ACOUSTICS、Meyer Sound、NEXO、Master Audio、EAW、Alcons、COHEDRA、DAS、CODA、QSC、Alcons、Renkus - Heinz、Martin Audio、K&F、

SLS、西班牙 ECLER、特宝声公司、E - V、Duran Audio、ATELS、Community 及中国锐丰等公司相关的线阵列扬声器系统技术特点作了详细的介绍,实是难能可贵,可节省电声行业技术人员大量搜集技术文献的宝贵时间。书中还就线阵列扬声器系统设计、制造与使用、测试、专利等作出了系统著述。

《线阵列扬声器系统》一书,可以认为是为制造企业、想学习与涉足线阵列扬声器系统技术领域的人员而编写的教科书,是便于工程技术人员随时阅读的一本工具书。

这本《线阵列扬声器系统》,可作为行业技术专著,书中内容详尽而充实,在技术方面作了系统性的介绍,可以说,这是一本公益性的技术教科书。每一个读者在读到这本书时,都会深感作者对扬声器技术的奉献。但是作为本书作者的王以真老师,多年来呕心沥血,只为电声技术撰写系列专著,特别是历经文革时期遭遇的坎坷,对前途充满迷茫的境况下,作者还在这一行业里坚守几十年,实在是难能可贵,令人肃然起敬。我将本书向读者推荐乃成为我对王以真前辈的最好报答方式。我忽然明白,王老师让我写序,其实也是为了让我练笔,更多地对这个行业进行思考。也就是说,我们在一线的设计制造企业,比较关注市场、关注用户、关注生产,而对电声新技术的发展,新技术的开发与应用,如何赶超世界电声先进水平,不是不关注,而是关注得还不够。这一点正是我们要奋起直追的。

王以真老师的技术著作,在创作中取得如此成就,是与他广泛的技术基础和坚韧的创作意志和性格特点分不开的。有时我在想,王老师为什么还在努力工作、笔耕不辍,是为名?在中国音响界、中国扬声器界王以真早已有知名度;是为利?大家都知道,中国的稿费是相当微薄的,投入与稿费相比,肯定是不划算的。我想,这就是王老师那一代人的责任感与使命感吧!

每次见到王老师,他那炯炯有神的目光,乌黑发亮的头发,精力充沛的体力及敏锐的思维,任何人都不会猜出王老师已是致事之年。他的健康人生风采,豁达开朗的性格,使我浮想联翩。我突发奇想,王老师历年来为电声行业编著的文稿,已经不少了,是否应该再写一本养生方面的书籍,介绍自己健康养生之道。我真诚希望王老师更加健康长寿,让毕生所学贡献社会,产生更多社会效益。

我离开天津优越的生活环境来广州创办自己的公司,从事电声研发与制造业,王以真作为我的老师和前辈,我一直得到他的指引与帮助,特别是他的电声技术系列书籍,已成为我和我的团队手中的技术工具。王老师每年数次到广州,只要有会,我和音响界的朋友都会与王老师欢聚,记得王老师曾引入王安石的诗句“浅浅杯盘供笑语、昏昏灯火话平生”。在欢声笑语、幽默风趣的气氛中,笑谈国内外音响大事、业界动态、天南海北、上下古今,收获的不仅是友情与欢乐,还有知识与智慧。在此我欢迎读者朋友同我交流对这部专著的看法。来信请邮E-mail: gamaudio@163.com,我期待着。

序言四

“太以真人”之线阵列

◎ 张金玉

线阵列是沿着一个或多个轴的一系列克隆;线阵列可以是任意对象,从一排树或车到一个楼梯、一系列支柱式围栏、一段长链或一系列笔直的长靴……

以真先生的一系列关于声学著作,都可以看做是线阵列;以真先生的一系列关于声物理、声文化、声哲学、声人文关怀思想及8年时间苦著,和对近30家国内、外著名公司逐家进行分析与调研的过程,也可以看做是线阵列;以真先生的《线阵列扬声器系统》大作,线条清晰,阵式缜密,列布严谨,仍然可以看做是线阵列。

线阵列扬声器系统以它独特的优势,在许多扩声领域正逐步替代传统扬声器阵列,由于线阵列扬声器具有水平覆盖均匀、垂直指向性强、辐射区内声能衰减较小等几个非常实用的特点,对于在相同的地方以相同的音量扩声时,线阵列扬声器系统可能体积更小、更轻便、更美观、更低碳……

以真先生的《线阵列扬声器系统》著作,是一个厚积薄发的印记,给我们呈现了线阵列扬声器系统的技术发展趋向、核心技术和实践方法。全书兼收并蓄、融会贯通,具有创造性、新颖性、实用性,是填补华夏空白的倾心力作,是中国演艺设备技术产业由制造大国向制造强国挺进的进军号。

我和我的同仁愿追随“太以真人”的步伐,以先生为标杆,结成紧密的、持续的、坚实的线阵列!

序言五 | ◎ 曾山

最早读到王老师的文章是在 1995 年,王老师在《音响世界》连载的《扬声器纵横谈》系列文章,这也是我认识扬声器的启蒙文章。多年后,有幸认识了王老师本人,当面请教,更是获益良多。王老师让我这样的后辈为本书作序,实在是让我觉得自己僭越了。

今天的专业音响行业,大部分国产专业音箱品牌都推出了线阵列产品,但能与国际品牌抗衡,达到国际水平的线阵列产品仍然是凤毛麟角。几本行业技术杂志 10 年中几乎找不到几篇关于线阵列产品的研发技术文章,从中我们可以看出问题:说明从业的研发人员急需提高理论水平和了解最新的线阵列研发技术。王老师的这本《线阵列扬声器系统》可以说是及时雨,系统地阐述了线阵列的理论,全面介绍了国外各大品牌线阵列系统及其使用的技术,这些正是我国音箱研发者们急需的知识。关于线阵列研发的一些关键技术,或者说诀窍,一直都是各个音箱工厂秘而不宣的知识,能把大多数品牌的关键技术作一个全面而详细的剖析,这是非常不容易的,本书同时介绍了线阵列的设计、制造、使用和测试这些关键知识,等于为线阵列的研发做出了系统性的指导,必将大大促进我国线阵列产品研发水平的提高。

王老师在他的书中提到“教学相长”的作用,我深有同感。我从 2005 年开始至今,专注于扩声系统调试技术的研究和培训,培训中我一直抱着毫无保留的心态,其间有不少友人提醒我不能将关键的技术教给别人,我没有听从。其原因就是王老师说过的:教,然后“知困”,通过教别人而知道自己的“困”,从而继续去探索、思索,提高自己。王老师将自己掌握的知识毫无保留地汇集成书,以解众人之“困”,我等后辈自当追随王老师,以传播音响知识为己任也!

前言

◎ 王以真

这本《线阵列扬声器系统》的内容,原计划是《实用音箱手册》中的部分章节。由于《实用音箱手册》内容浩繁,著述出版尚待延以时日,而《线阵列扬声器系统》的内容新颖,电声界的关切程度又比较高,所以决定将其先单独出书。

一些同行朋友,得知我的写作计划,对我发出善意的劝告,认为写这本书难度太大、风险太大,而且容易引起争论。

我也深知难度不小,风险很大。线阵列扬声器系统的技术与产品,于1996年在法国出现后,也不过十几年光景。但是风起云涌,发展很快,全世界几乎没有一家专业音箱公司不在生产线阵列扬声器系统。

但是不管是在国内,还是在国外,目前都还没有一本较系统的线阵列扬声器系统的专著。线阵列扬声器系统以及于2000年出现的可控指向性声柱,是扬声器领域的尖端、前沿产品,有较强的技术性和复杂性。一本较全面论述其理论与实践、分析其设计与制作、介绍其性能与应用、指出其发展与局限的专著,是有价值、有实际意义的。

当然,写这本书确实是一个挑战,也有相当大的风险。

从好的方面讲,它填补了一个空白,可以满足各方面需求,也完成我的一个夙愿。

但也可能成为一个争议的话题,成为被指摘的对象。

对这些批评我表示真诚的欢迎,也有接受批评的气量。他们的意见也可更好地对有关内容进行修改、补充。

应该说我也为此书的写作,是做了一定准备的。

主要的系列准备有:

- 收集了国内外有关线阵列扬声器系统的大量文献资料。
- 撰写了10篇关于线阵列扬声器系统论文,并在专业期刊上发表,最早的一篇发表于2002年的《电声技术》杂志上。
- 主持设计了两套线阵列扬声器系统实用产品,并参与了很多公司线阵列扬声器系统产品的技术咨询。
- 在国内外观看和试听了多种线阵列扬声器系统产品。
- 直接参与线阵列扬声器系统在大型演出的扩声调试。

- 在国内多座大、中城市举行线阵列扬声器系统讲座。

这样就不全是纸上谈兵了。

这本书的写作,是从线阵列扬声器系统的理论介绍开始的。对线阵列扬声器系统的理论,有两位作者贡献很大。一位是美国 JBL 公司的 Mark S. Ureda 先生,他先后发表了 *Line Arrays: Theory and Applications* (《线阵列:原理与应用》,2001 年)等几篇论文。他从线声源着手分析,有理论、有实践。但是有一个难题,线阵列扬声器系统不是线声源,因为扬声器之间有间隔。线阵列扬声器系统顶多可算近似线声源。这样就为线阵列扬声器系统理论的完备与完善留下相当大的空间。

另一位作者是法国 Marcel Urban,他在 2003 年发表了文章 *Wavefront Sculpture Technology* (《波阵面修正技术》)。这篇文章总结了第一只线阵列扬声器系统的创造者,法国 L-ACOUSTIC 公司的设计经验,并将光学的费涅尔原理引用到线阵列扬声器系统的理论分析中。涉及了线阵列扬声器系统中扬声器的间隔问题,但是目前的分析水平尚在半定量阶段。

本书的理论部分以上述两文章为主线,进行梳理、分析。但是直到今年,关于线阵列扬声器系统的理论还远不算完备。不过这也是一种正常现象。从自然科学到社会科学、从人生到社会,理论不完备、认识不彻底,倒是一种发展过程中的正常、主流现象。

而为了呈现线阵列扬声器系统的技术发展,在各项资料甚为不足的情况下,对近 30 多家国内外著名公司,逐家进行分析与调研。研究其线阵列扬声器系统产品,分析它公布的各种资料、数据、手册、文章等,找出其产品的特征、优点、亮点和与众不同之处及可借鉴可学习之处。也看出他们的技术实力和独特的智慧。这是一种从实践中提炼先进技术的方法。将各公司精华浓缩,对读者是有利的,可节省他们的宝贵时间。这里是一个厚积薄发的过程。对涉及的各音响公司,按某个“大导演”的观点,是植入广告的大好时机,很可惜,技术人员和他们生活在两个世界。

文化、科学技术的发展,创新是重要的。但是兼收并蓄、融会贯通、海纳百川、洋为中用,同样是重要的。中国古代的发展,中国改革开放 30 年的历史,都证明了这一点。

这本书的写作,前后历时 8 年。在写作过程中得到了许多朋友直接或间接的帮助。其中有专家、教授、技术人员、企业领导、刊物编辑、出版社编辑及各方朋友。对他们的帮助,我在此深表谢意。

同时也感谢一些批评过我的人,帮助纠正不足之处。增加我献身扬声器事业的决心与信心。

在现时去写一本有价值的技术书,那可是一件劳命、伤财、伤神之事。无任何项目基金支持。能在几年中断断续续写成,除了自己尽心努力以外,就是朋友们的直接、间接支持,有形、无形的帮助了。因为有了他们的支持,不但没有伤心,而且相当开心。所以我列了一长串心中的名单,以表示我的感激之情,感恩之心。还有不少朋友,包括电声界许多年轻的朋友(他们更有光辉的前程),还有其他非电声界的朋友,我的亲友,

在此同样表示对他们的感谢。

朋友中的马剑、李允武、宋效增诸先生已先走一步了。在此再次感谢他们为中国声学界做出的贡献。

几位朋友为本书写了序言,他们是:

- 汪杰:《家庭影院技术》主编
- 沈伟星:杭州电声厂扬声器设计师
- 郭爱民:广州富禾电子科技有限公司总经理
- 张金玉:天津舞台技术研究所所长
- 曾山:广州声扬电子科技有限公司总工程师

他们的序言为本书增添光彩,从不同角度对人生和技术做了精彩的解读。他们的鼓励和肯定是我努力的方向。

也有朋友问,为什么要写这本书?

登山爱好者攀登一座高峰,要花钱花力充分准备,登山时不但费时费力,还有极大的危险。按实用主义者看来,峰顶没有官帽、没有金钱、没有美女,只有岩石、冰雪、稀薄的空气……,为什么还会有人乐此不疲?! 就是在于人应该有所追求,有精神上的追求。当战胜自然,登上又一个高峰,面对更宽更远的视野,其心情、心境体现的是一种诗意的生活。

在获取与付出方面,付出往往更有价值,也更为愉快。

本书的出版,希望可以给关注线阵列扬声器系统的人们一个深入研究的更好平台。这本书和我写的其他几本书定位相同,不是什么自成体系的高深理论,“不深不浅种荷花”。只是想说扬声器、音箱虽然是一个小产品,同样要有科学理论指导、遵循技术规律、付出艰辛努力,空话大话、坑蒙拐骗是无用的。

另外,本书部分图形应为彩色,由于印刷出版所限,现为黑白,望读者见谅。

书中引用的资料,已列于书后参考文献,在此向各位作者表示感谢。

尽管我做了很大的努力,不足和错漏之处还望大家指正,共同为我国的电声事业做出一点微薄的贡献。

有什么意见或建议,请按以下邮箱发电邮:yzwang1900@163.com。

目 录

第 1 章 线阵列扬声器系统的理论	1
1.1 线阵列扬声器系统的定义	1
1.2 线阵列扬声器系统的发展历史	2
1.3 线阵列扬声器系统的分析	9
1.3.1 多点声源阵	9
1.3.2 线声源	11
1.3.3 准线阵列的波瓣和零值	13
1.3.4 均匀线阵列的 $1/4$ 功率角	14
1.3.5 线阵列的外在形式	15
1.3.6 梳状滤波效应	16
1.4 球面波与柱面波	19
1.4.1 柱面波与球面波的分界距离	19
1.4.2 分界距离的公式	21
1.4.3 第三种分界距离公式	23
1.4.4 第三种分界距离公式的来源	24
1.5 线阵列衰减模拟	24
1.6 渐变式线阵列	25
1.7 线声源的轴向响应	27
1.7.1 线声源的轴向响应初步分析	27
1.7.2 线阵列系统的中、高频响应	28
1.8 线阵列的缝隙	31
1.9 弓形声源和弓形线阵列	33
1.9.1 弓形声源的极坐标响应	34
1.9.2 弓形声源的轴向声压特性	36
1.10 J 形声源和 J 形线阵列	37
1.10.1 J 形声源的极坐标响应	38
1.10.2 J 形声源的轴向声压响应	40
1.11 波阵面修正技术	41
1.11.1 波阵面修正技术的提出	41
1.11.2 菲涅耳方法用于连续线声源	43
1.11.3 线声源的不连续效应	44

1.11.4	栅格的声压级角	45
1.11.5	有效辐射系数	46
1.11.6	第一个波阵面修正技术标准和线阵列	47
1.11.7	平面线阵列的辐射声场	49
1.12	线阵列扬声器系统与语言清晰度	51
1.12.1	语言清晰度的基本概念	51
1.12.2	线阵列扬声器系统对语言清晰度的改进	52
1.13	可控指向性声柱	52
1.13.1	可控指向性声柱的兴起和发展	52
1.13.2	可控指向性声柱的理论与技术基础	53
1.13.3	声柱的基本性能	53
1.13.4	利用相移方法的声束偏转	54
1.13.5	减少副波瓣的理论基础	55
1.13.6	控制阵列的高度	56
1.13.7	声柱中扬声器的间距	57
1.13.8	用指向性声柱降低厅堂内的有效混响时间	57
1.13.9	用可控指向性声柱抑制厅堂内声反馈	59
1.13.10	可控指向性声柱的声性能指标	59
1.13.11	可控指向性声柱的电性能指标	60
1.13.12	可控指向性声柱的一般特性	60
1.14	线阵列扬声器系统的数字几何辐射综合控制	60
1.14.1	数字几何辐射控制原理	61
1.14.2	数字几何控制方法的优点与局限	62
1.14.3	DGRC 方法的验证	63
1.15	贝塞尔扬声器阵列	65
1.15.1	贝塞尔板的应用	65
1.15.2	贝塞尔板的实例	66
1.16	水平阵列	67
1.16.1	水平阵列的形式	67
1.16.2	窄点声源水平阵列	71
1.16.3	宽点声源水平阵列	72
1.17	家用线阵列扬声器系统	76
1.17.1	家用线阵列扬声器系统的可能性	76
1.17.2	低频扬声器线的高度	77
1.17.3	高频扬声器线的高度	78
1.17.4	扬声器单元的间隔	78
1.17.5	有效辐射系数 (ARF)	79
1.18	超低频线阵列的指向性	80

第2章 国内外线阵列扬声器系统述评	87
2.1 GALEO 线阵列扬声器系统分析	87
2.1.1 GALEO 线阵列音箱的基本结构	87
2.1.2 单只 GALEO 音箱测试分析	88
2.1.3 4 只音箱的测试	91
2.1.4 线阵列音箱指向性测量	93
2.2 锐丰(LAX)线阵列扬声器系统及在国家体育场(鸟巢)的应用	97
2.2.1 基本要求	97
2.2.2 国家体育场音箱的布置	99
2.2.3 设计中的理论和实际问题	104
2.2.4 产品达到的指标与测试	119
2.2.5 安装与结构	124
2.3 JBL 公司 VT 系列线阵列扬声器系统分析	126
2.3.1 VT 系列线阵列扬声器系统一般情况	126
2.3.2 VT 系列线阵列的扬声器单元	127
2.3.3 VT4889 线阵列的性能测量	129
2.3.4 VT4889 线阵列的指向性	131
2.3.5 JBL 公司线阵列扬声器系统软件	133
2.3.6 JBL 公司关于线阵列中、高频扬声器的一项专利	136
2.3.7 JBL 公司 VT 系列线阵列扬声器系统与放大器的连接	137
2.3.8 JBL 公司关于高频波导的改进	139
2.3.9 JBL 公司的 CBT 声柱	140
2.3.10 CBT 声柱技术	141
2.3.11 CBT 声柱系列的展示软件	144
2.4 L-ACOUSTICS 公司的 V-DOSC 线阵列扬声器系统	146
2.4.1 V-DOSC 线阵列扬声器系统的一般情况	146
2.4.2 用于 V-DOSC 的波阵面修正技术	147
2.4.3 V-DOSC 线阵列扬声器系统的使用	150
2.4.4 V-DOSC 线阵列扬声器系统的软件	151
2.5 Meyer Sound 公司的线阵列扬声器系统	154
2.5.1 系统的一般情况	154
2.5.2 有源线阵列扬声器系统	155
2.5.3 对线阵列扬声器系统的解读	156
2.5.4 对线阵列扬声器系统阵列空隙的解读	157
2.5.5 对线阵列扬声器系统阵列空气衰减的分析与处理办法	159
2.5.6 紧凑型线阵列扬声器系统	163
2.6 NEXO 公司的线阵列扬声器系统	164