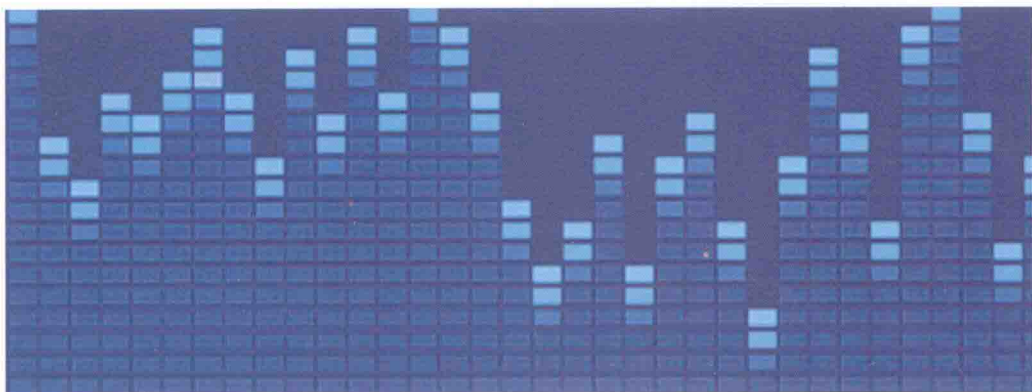


YANGSHENGQI TANSUO GONGYI SHEJI YINGYONG



扬声器探索

——工艺、设计、应用

■ 王以真 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

扬声器探索

——工艺、设计、应用

王以真 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是作者 50 多年来对扬声器探索的文章集结, 包括四部分内容: 工艺与材料、单元与设计、音箱与系统、听音与环境。

本书可供音响界技术人员、音响爱好者及院校师生阅读、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

扬声器探索: 工艺、设计、应用/王以真著. —北京:
国防工业出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-118-09268-4

I. ①扬… II. ①王… III. ①扬声器—研究
IV. ①TN643

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 095053 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 30 字数 736 千字

2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1300 册 定价 158.00 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

感谢中山市中胜电视电声工程
有限公司资助



序 1 | 行万里路，读万卷书

每一个行业的进步与发展，都离不开一批执着的人，正是因为他们怀抱理想，奉献出毕生的精力与心血，努力推动行业的进步与发展，整个行业的水准才得到提高，才有了更加美好的前景。

与王以真老师相识于1991年，他是我的良师益友。多年来，曾经得到过王老师的许多指导，受益匪浅，他不仅为我在电声技术与理论上指点迷津，更让人敬佩的则是他为人师表的大家风范。

数十年来，王老师亲历了中国电声产业发展的整个过程，并长期坚持不懈地为扬声器的技术进步而不断努力。同时，王老师在电声技术发展的过程中，进行了深刻的分析与不断的思索，总结出大量的经验并著书立说，启发了大批从业人员，推动了中国电声技术的进步。他让我们站在了巨人的肩上！

扬声器行业是传统的，也是复杂的，涉及的面很广，需要有科学的态度与方法。如果没有深入的研究与广泛的学习，要想做出好的产品几乎是不可能的。要想提升整个行业的水准，有两点很重要：一是深入的研究；二是广泛的传播。如果没有深入的研究，从材料、结构、原理、工艺、流程、测量、品控……到声音主观听感及心理感受方面的探索，甚至是人文素养的积累，就只能盲人摸象，雾中探花，找不到方向；如果没有广泛的传播，技术得不到推广，知识得不到普及，经验得不到分享，行业就只能在低水平下重复，也就不可能有所进步。

多年来，拜读过王老师的不少文章与专著，这些文章涉及的内容非常广泛：有研究的成果，有经验的总结，有对行业的分析与指导，有国外先进技术的评价……不仅理论与实践相结合，更为难得的是，文章深入浅出、趣味生动，而且立意深刻、意境高远，是他丰富阅历的体现，更是他寄予中国电声行业进步与发展的殷切期望。

现在，王老师将多年来发表的文章整理出版，汇成《扬声器探索》一书，是他对扬声器深入探索的结晶，也是他丰富人生经验的总结。本书对于中国电声、扬声器行业从业人员的理论与技术水平的提升极具意义，对音响行业从业者的素质提高，甚至对于拓展音响爱好者的视野都极有帮助。

中山市中胜电视电声工程有限公司董事长
侯应中

序 2 | 师今人，师古人，师造化

能为王以真老师写序实在荣幸，我是个爱说不爱写的人，其实我也不太会写，更写不好，写作水平和王老相比简直有天地差距。但我们有个共同的爱好，那就是爱吃。我们第一次认识就是在北京的一家鱼餐厅，我那时已经注意到这位食客了，后来也是他让我爱上了红酒，学会了品尝红酒。我们在天津音响展上又一次见面，这时我又注意到这位学者了，原来他是位扬声器的专家，本人酷爱音乐，所以对扬声器当然喜爱，他在扬声器方面太专业了，我第一次知道欣赏音乐和创造音乐的截然不同。非常有意思的是他的学识不光在扬声器，还是位通今博古的人物，尤其是中国历史、诗歌，文学上也有独到的见解，他也是我认识的朋友中看书最多的一位，所以这本文集的精彩程度可想而知。

我是听钢琴诗人付聪曾谈到师今人，师古人，师造化，我感觉说得非常好，他拿庄生化蝴蝶作一个比喻，说“师今人”就好像是做“虫”的那个阶段，“师古人”就是变成“蛹”的那个阶段，师造化就是“飞了”，觉得这个道理太深刻了！

现代科技发达了，CD到处都是，学音乐的人很容易就可以听到很多“今人”的演奏，也可以听到很多“古人”也就是上一代大师的演奏，可是真正音乐的奥妙，这些所谓的“今人”和“古人”也是要从“造化”中去体会出来的。“师古人”已经好一些了，19世纪末20世纪初的那些艺术家的精神境界还是比现代的精神境界要高很多，所以他们得到的“造化”一般来说要比“今人”高出很多。从付聪的讲说中我还感受到了，无论哪个行业的大师都是出色的文学家，哲学家，思想家。王以真老师肯定也是如此。他在音响杂志上有多个专栏，在这些专栏里写了众多精彩纷呈的文章，“四乐集”就是我最喜欢的一个。

助人为乐，自得其乐，知足长乐，健康快乐。这是历经“文革”磨难的王老师带给我们的快乐指南，近几年我越来越感到身边的朋友一天比一天变得不快乐了。我们生活在高压下，很难感到幸福快乐。当下让自己的心不浮躁，保持良好的心态是件极其不容易的事情。我们对物质的过度追求是我们以往的贫困造成的，希望我们能从浮躁的金钱上慢慢向精神信仰靠拢，以达到物质和精神的平衡。记得有一句话是这样说的，“一个人要么看书，要么旅行，身体与精神必须有一个在路上”。我和王老师还有一个共同的爱好，那就是旅行。

记得有一次我们众多朋友一起去登三清山，王老师74岁高龄，竟然徒步走完了全程，下山后还喝了一杯冰啤酒。身体健壮程度超越了众多年轻人，这点令我极其羡慕。后来才得知他每天走路1个小时去工作室。相比我们年轻人实在是缺乏锻炼，往往忽略了身体锻炼的重要性。受王老影响，我报名参加了健身房，最近爱上了网球运动，希望所有朋友能赶快意

识到健康的重要性，积极参加体育锻炼。旅行是王老的梦想，也是我一生追求的，王老师的《扬声器探索》可以说是他在扬声器领域里的旅行，在此引用一段广告语。

何为旅行？

旅行不是一次出行，

也不只是一次假期。

旅行是一次过程，一次发现。

一次自我发现的过程。

真正的旅行让我们直面自我。

旅行，不仅让我看到了世界，

更让我们看到自己在其中的位置。

是我们创造了旅行？

还是旅行造就了我们？

生命本身就是一次旅行。

生命将引领你走向何方？

最后衷心祝愿王老能开心健康，不断写出精彩的文章与大家一起分享，更希望王老在著作扬声器的闲暇时光，能够创作一部文学艺术作品，把他多年的沉淀积累，精心构筑成一部文学著作。这是他个人的造化，也是生命的造化。

张万峰

序 3 |

王以真老师撰写的又一本新书《扬声器探索》现在和读者见面了，我感到由衷的高兴。他是一位博学多产的技术型“作家”，他为电声行业的技术进步和普及写过很多书，一直辛勤耕耘，把宝贵的技术经验和体会留给当今的音响行业，传授给需要的专业后来者。

我认识王以真老师很早，拜读他的论文要追述到 20 多年前，那时我是电声网的秘书长，他是电声网的副网长、单位“天津真美电声器材厂”的副总工程师，一年中我们要见好几次面。我们一起开电声网的领导工作会、全体网员参加的技术交流会、电声课题立项论证会等。春来秋去，我们大家成为电声网工作的好搭档，好朋友。

那时，我们还年轻，在电声网工作中跟一个国营大厂的老总一起开会、讨论、请教，总有说不完的话题：技术交流放在什么地方好？怎样才能使电声网的信息沟通没有障碍？怎样抓住国际上电声技术的发展趋势来确立电声网自己的课题项目？找哪些单位合作才能做出高水准的课题？怎样做电声网的交流活动才能推动电声行业的技术发展？我们讨论的话题五花八门，一句话，三句话不离本行。那时我习惯叫他王总，我们在一个非常和睦融洽的氛围中合作与工作，这种友好的“界面”一直延续到现在的中国电子学会声频工程分会和中国声学学会声频工程分会的工作中。

在这个友好的学术交流气氛浓厚的大家庭里，王总几乎年年有论文发表，在交流会上或者会下，无论是年轻人还是老同志，同他讨论问题，他都会和蔼耐心地与人交流，不厌其烦地阐述自己的学术观点，大家感到愉快，对他也很敬重。

王总钻研技术的精神值得提倡：活到老，学到老，干到老，孜孜不倦。现在已经成为“发挥余热”的老人了，还在力所能及地耕耘，写出像《扬声器探索》这样的技术性很强的“散文”，还经常到需要技术支持的电声企业进行现场技术指导，给青少年做电声科学普及……他是值得敬重的电声专家。

让我记忆深刻的是，他特别喜欢收集国内外电声专业的各种资料，还特别幽默博学。每年的声频工程学术年会论文中，他的论文题目总是别具一格。他的技术报告或论文总是引经据典，把一些富有哲理的思维方法用在学术中。有一年，为了论述一个学术观点，他从开口箱的阻抗曲线娓娓讲起，要技术人员以“横看成岭侧成峰”这样不同的视角辨证看问题。我当时的理解是，王总除了想告诉读者论文的技术内容以外，还想表达的是做研发工作的人，需要用哲学观点来辨证思维，从不同的角度去思考，才会有正确的灵感产生，才会出成果。报告或讲座时，他总是喜欢请下面的听众提问题，非常愿意把自己几十年积累的知识和技术经验与大家分享。

今天，王总的新书《扬声器探索》出版了，书中对研发生产各种类型、各种功能、各种用途的扬声器及单元的设计、工艺与材料、不同种类的音箱与系统，以及各式扬声器系统的特点和技术一一作了分析介绍，还对包括英国、德国扬声器单元在内的多种国外系列产品和部分国产扬声器系列产品，无论是 PMC 音箱、全频带扬声器、线性阵列扬声器系统，还是号筒扬声器及屏风式扬声器，都全面地作了分析阐述。尤其对扬声器阻抗曲线、低频特性、扬声器品质因数、低频参数、谐振频率等作了详述。该书对听音环境和目前存在的问题与扬声器的发展动向也有论及。

书中内容丰富广泛：有基础理论研究方面的知识，也有内容详实的综合性论述；有扬声器及单元产品的研发设计体会，也有开发生产的实例；有电声测量和检测分析方法及主观音质评价，也有电声技术应用等内容。书中基本上涵盖了扬声器专业技术领域发展的经验体会和共同关注的话题。

这是王总博览群书、兼收并蓄世界扬声器技术的先进内容与自己几十年从事电声研发技术积累的体会和技术经验相结合写出的电声专业书籍，是扬声器专业领域发展积累经验的一部分。

该书的出版，给业内同行提供了一个深入了解当今扬声器技术和发展趋势的机会，有益于拓展技术人员的视野和思路，为促进和推动我国电声领域的技术进步和发展做出了贡献。

让我们好好拜读与分享，携手为国家的电声事业发展努力！

钟厚琼

序 4

能够受邀为王以真老师的新书《扬声器探索》写一篇序言实感非常荣幸。

仅仅通过此书简单丰富的章节题目已使我感到此书内容之精彩，涉猎之广泛。我已经迫不及待想要读了。

我是1983年到天津真美电声厂工作的，有幸在那里认识了王老师，并且一起共事多年，应该说他一直是我的老师和领导。

王老师从事电声行业几十年，一直从事扬声器的设计工艺及技术情报的整理研究。期间不断研究分析，笔耕不辍，著书甚多，现在王老师已经70多岁，依然退而不休，每天翻查、整理资料，著书立说，并出席很多行业活动，实在令人敬佩不已。

大家都知道经过几十年的努力中国已然成为扬声器的制造大国，产量雄踞世界第一。但是国内外这方面的技术书籍却凤毛麟角，尤其国内从事此行业的著书立说之人更是少而又少。记得我刚工作时，中文资料难以寻匿，查无可查。王以真老师作为老一辈的知识分子从事该行业多年，收集了行业的信息无数，他本人有丰富的理论知识和深厚的实际制作经验，他把自己多年掌握的知识和经验汇集成书，他的一系列力作可以说涵盖了扬声器行业的各个方面，从理论设计制造到制造工艺流程再到行业的前沿信息，书中都一一道来，可谓电声行业的技术指南和百科全书，对我们扬声器制造行业的从业者来说真是善莫大焉。

王老师不仅在专业的领域造诣颇深，更为音响知识的普及和传播做了大量的工作，他的很多音响普及之作深入浅出，文笔幽默。尤其对一些国内外著名音响器材的评价和介绍实事求是，真知灼见甚多，成为很多音响发烧友所喜闻乐读的文章，也为专业人士和业余爱好之间架起了一座沟通的桥梁。

回想与王老师的多年交往，深为他的学识渊博、涉猎广泛、诲人不倦而折服；亦为他的处事大度、心境开阔和为扬声器事业的献身精神和毅力而感动。王老师朋友众多，经常与众多好友相聚一堂欢颜笑语，天南海北无所不谈。每次的相聚在他风趣幽默的谈吐中都获益匪浅。我等后辈定当从王老师的文章中汲取营养，提高自己，更加努力地去探索音响世界的未知奥秘。为我国音响事业的发展做出自己的贡献。更希望王老师老骥伏枥，再为我们的知识库增添更多、更好的财富。

王 伟

序 5 |

王以真老师曾是我的同事、技术主管领导。记得刚毕业分配到天津电声厂的时候，读的第一本关于扬声器的书籍《扬声器系统》就是王老师译著的，之后王老师的《实用扬声器工艺手册》、《实用磁路设计》、《实用扬声器技术手册》等多部关于扬声器技术的专著，对我后来长期从事电声行业的工作给予了太多的帮助和提高，可谓受益颇深。

工欲善其事，必先利其器。扬声器系统是声重放系统的终端，其性能的优劣直接影响着整个声重放系统的质量。而今电子数码技术的日新月异对扬声器提出了更高的性能要求，新材料、新技术的广泛应用对扬声器性能指标的提高无疑起着至关重要的作用。除此之外，更为关键的是还要有更多熟悉电声基本理论及掌握设计规则的人才，以实现创新发展中国电声产品的目标。

我想《扬声器探索》就是为此而著。本人作为一名电声行业的技术人员，对王老师关于扬声器的论述有着极其深刻的体会与感悟；从扬声器的基本理论结构，性能分析与设计原则，对于相关振动学、声学的基础知识都有着深入浅出的介绍。

纵观我国电声行业近几十年的发展，诸多的行业精英、专家学者、企业家及其爱好者们，倾其全部的专注、热情、智慧与挚爱为中国的电声事业奋斗着，快乐着，王老师为其中之一。

曾经的领导，如今的良师，一生的挚友。

深信王老师几近数十载孜孜以求、永不倦怠的勤勉之作，将会使我们的电声技术人才辈出受益，我也对王以真老师下一部专著充满期待。

岳 伟

序6 |

王以真先生说他的文章和书我看的较多，叫我也来“序言”一番。那就说说书的问题。

电声业，也许真的像王先生说的一个小行业。所以，在书店里，有关电声方面的书是很稀少的，就是在像深圳书城这样的大规模书店里，也经常就是那么几本。这和那些大的行业（如电子、机械等）的书比起来，也可以说是九牛之一毛的了。而且，在大学里设置与电声专业相关课程的也很少。因此在这个行业里有很多并非电声科班出身的技术人员，是这个行业的一个残酷事实。

对于那些本来就不是电声专业的人，无疑现在是亟需充实专业知识，不断提高自己的专业水平的。就算是电声专业科班出身的，大学里学到的那些基础也是远远不够的，同样需要掌握更多、更具体的专业知识来应对工作的挑战。

虽然在相关的基础理论方面，也有一些像《声学基础》等很经典的好书，但从整体上说能够结合实际、操作性强的书籍还是太少了。

从事电声行业以来，接触了很多行业里的人，从他们的经历里可以看到他们对书和文章的要求是，能够和生产实际紧密联系、为他们从事这个行业提供一个指导。

这样的书及文章和科普读物不一样，要有一些必要的基础理论指导或依据，但又不在理论的推导、论证方面花费过多篇幅；而在具体的问题或操作方面有详细而且深入的论证、叙述或指引。就是说，这样的书要“不深不浅”：太深了，有能力阅读者少；太浅了，泛泛而谈则对生产第一线的人员没有什么帮助。因此就会出现一个很值得注意的现象：好书难求。

一本专业书，里面的技术水平先不说，光是要写得让人容易看下去就已经很不容易了。很多专家教授，专业水平是不容置疑的，但文字的表达能力，特别是深入浅出的能力却不敢恭维：写出的书或文章尽管是正确的东西，但却晦涩难懂，使一般人望而却步。而王以真先生的书和文章，从总体上说却是这样的：对于基础的理论方面，会引经据典，说到适当的程度，但并没有在这个方面深入、详细验证或论证；而对具体的问题或生产实际需要的技术和工艺等方面，则有很详细、很专业的叙述。

就是这种“不深不浅”的书和文章，架起了理论和实践之间的桥梁，很多电声业的人是如获至宝的。

王先生的书或文章，不但深入浅出，而且行文流畅，思路明确，表达清晰。看的人只要有一些基础，就可以顺着先生的思路，轻松地看下去并从中得到启发。专业书和文章写到这样的程度，也不是没有什么功底就可以轻松做到的。也许这就是王先生自己说的“不深不

浅种荷花”吧。而这样“不深不浅”的种下来，先生关于电声方面的编著之多就是行业之最了。

王先生的书和文章，我是大都看过的。一些书和文章更是反反复复地看，其中一些问题也经常向王先生请教，从中得到很多启发和帮助，受益匪浅。

愿王先生这“荷花”为电声行业诸君的案头增加一缕清香。

徐名孚

前言

我是从1962年开始从事扬声器技术工作的。我原来在军校学习雷达技术，和电声没有多少关系。但在1957年的政治运动中，被戴上了一顶“右派”帽子，被从张家口调到天津的一个电声厂。刚开始时对扬声器、扬声器技术是一无所知的，加之也逐步意识到今后再无从事雷达技术工作的可能了，于是下决心学习、钻研、探索扬声器技术。

当时也年轻，精力旺盛。七年的军校生活，遇到过多名良师，在他们面传身授下，打下了良好的技术基础，也学会了科学的分析、研究方法，养成了独立思考的习惯。

在1962年，我国扬声器工业还很薄弱，全国才有天、南、海、北四家大厂。扬声器是一个小产品，大学、研究所、科学院几乎没有人研究扬声器。

在从事扬声器技术工作中慢慢发现，小小的扬声器有一个很大的技术空间，与各学科甚至与音乐、艺术、哲学等都有很多很大的交界面，又是现代人们生活不可或缺的产品，研究起来有很大的难度，但也有趣味，枯燥的技术工作变得兴趣盎然。由被动的进入，到成为自己毕生从事的事业，期间甚至将一些可以转到当时更好行业的机会也放弃了，从此以扬声器为己任。

由于长期处于工厂生产技术第一线，自己的能力和条件都有限，所以给自己的技术定位是借用同乡阮元的诗“不深不浅种荷花”。

在从事扬声器技术工作的间隙，也常写一些文章，有些是有感而作的，更多是应杂志编辑之约。这些文章大致可分两类：一类是扬声器技术类；一类则是涉及扬声器的随笔，如“小海地随笔”、“四乐集”、“白云集”、“音响追忆录”等。奉献在读者面前的这本书，是发表在杂志里的有关扬声器技术的文章汇总。按内容分为工艺与材料、单元与设计、音箱与系统、听音与环境四部分。

从文章发表时间看，大部分是近十几年撰写的。其中有一篇“扬声器纸盆材料和制造工艺研究”则是发表于1965年3月的《无线电技术》杂志上。这篇文章是第一篇原创文章，是我和几十名同事三年辛勤劳动的结晶。当时还写了十篇系列文章。可惜这些都毁于“文革”之中了。

本次选编成集，除修正少量印刷舛误，一律保持原状。另有参与部分编撰的《电声辞典》、《电子工程师手册》、《环绕声系统与家庭影院》、《电子工业生产技术手册》等内容未列入。

几十年来，我先后担任过纸盆工艺员、音圈工艺员、扬声器装配工艺员、扬声器设计员、工艺组组长、设计组代组长、设计科代科长、电声情报室主任、总工办主任、副总工程

师等职务，后来还负责过定心支片生产设备、扬声器装配生产线的设计、安装、调试工作。即使“文革”中的劳动改造也是做纸盆打浆、配料，打制号筒。

改革开放以来，有机会参观少数国外扬声器厂，也几乎跑遍了国内的大、中型扬声器厂。同时也将研究领域扩展到扬声器应用，即扩声工程中，先后参与了天津码头客运站、天津河西体育馆、中国大剧院、北京工人体育场、沈阳五里河体育场的扩声及扬声器工程。

刘勰讲“心既托声于言，言亦寄形于志”。本书中有一文“中国扬声器的强国梦”，说的就是这个意思。几十年来，这个梦想一直在我心中。从1962年我正式从事扬声器技术工作开始，见证和参与了中国扬声器事业的发展。我有幸看到中国已成为一个扬声器大国，扬声器产量占世界第一位、出口量占世界第一位。这是几千家扬声器企业的努力成果，是成百万的企业家、技术人员、工人的努力成果。我的一些朋友和同事为此付出了毕生的精力，我在《音响追忆录》中记述了他们的功绩。

一个强国，中华人民共和国正在和平、和谐中崛起。我们也希望中国成为一个扬声器强国，在文集中我提出了扬声器强国的六个条件：

(1) 拥有一批有诚信的、具有公认世界名牌的、具有竞争力的、占有一定世界市场份额的、具有可持续发展动力的、有自己特色的扬声器（音箱）厂（公司、集团）。

(2) 在扬声器（含零部件和音箱）领域拥有一批领导、影响世界潮流的创新产品，拥有一批自我开发、自主知识产权的核心新技术、新工艺、新材料。

(3) 拥有一批适合中国国情的、先进的、世界一流的、本国制造的扬声器（零部件、音箱）生产设备。结合现代化，先进、科学的管理体系，能高效、节能、无污染地生产稳定的、优质的产品。

(4) 拥有世界一流的扬声器（零部件、音箱）检测、试验设备、仪器。拥有一流扬声器（零部件、音箱）科研、设计、分析设备和仪器。

(5) 拥有一批扬声器科研单位，出版一批扬声器专著和论文，有足够数量的扬声器技术后备力量。在扬声器领域具有与各国平起平坐的话语权。

(6) 具有各种类型、各种功能、各种用途的扬声器（音箱），能满足各领域对扬声器提出的新要求、新课题、新用途、新功能。

我在1996年12月最早提出的“何日辉煌中国声”的口号，是实现扬声器强国的另一种表述。为达到此目的，要有扬声器从业人员长期的、持续的、耐心的努力和积累。而这种积累是科技、学术、文化的积累。要有声科技，更要有声文化。既要有自身经验的总结，也要兼收并蓄世界扬声器技术的先进内容。从这个角度讲，这本书只是中国扬声器发展的一点积累，只是扬声器强国大厦的一砖一石。

我说我一生只做了一件事——扬声器技术工作，即使退休了也没有停止。对于扬声器的认识与理解，理论与实践，我已写入几本书中：《怎样选用扬声器》、《实用扬声器技术手册》、《实用扬声器工艺手册》、《实用扩声技术》、《实用磁路设计》、《线阵列扬声器系统》。

这本文集可与上述书相互补充与呼应。但自认为对扬声器的理解与认识还有限，还有许多需要不断探索和认识的问题。

我也在探索扬声器技术的过程中探索人生，在完善扬声器的过程中完善自我。我在《实用扬声器工艺手册》后记中写到“扬声器却为众人服务，既为叱咤风云的大人物服务，又为亿万平民百姓服务，为他们传送动听的音乐，也为他们传递信息，不论是无足轻重

的小消息，还是惊天动地的大新闻”。我想，这就是扬声器从业人员的快乐所在。

几十年不多不少、不深不浅、不大不小地做了一点扬声器技术工作。虽然成绩不大，但困难不少，条件欠佳。和一般人相比，我只是更努力、更执着、更平和。

我特别感谢那些几十年来关心我、帮助我的人们，其中有我的领导、老师、同事、同学、同行朋友，非同行的朋友，我的家人，这是一串长长的名单。与这些朋友的交往，是一生最珍贵的回忆。他们的帮助与笑脸，使我工作愉快，生活充实，增加战胜困难的勇气与自尊。

我也要感谢对我批评与指责的人们，帮助我认清自己的不足与价值，同样增加勇气与自尊，乐观地面对顺境与逆境。

这本文集的出版，还要特别感谢我的朋友侯应中先生的赞助。今年我已从事电声技术工作 52 周年。《扬声器探索》及我所编写的书籍见证了这 52 年来我对扬声器的探索。路漫漫其修远兮，吾将上下而求索。

王以真

目 录

第一部分 工艺与材料

01	扬声器纸盆材料和制造工艺的研究·····	2
02	物移星换几度秋——音响产品对磁性材料的要求·····	10
03	世间物理信难穷——磁流体在扬声器中的应用·····	18

第二部分 单元与设计

04	电动式纸盆扬声器的设计要点与权衡·····	26
05	关于阻尼系数——扬声器与整机配合讨论之一·····	37
06	平板扬声器述评·····	46
07	扬声器纸盆几何形状设计研究·····	59
08	现代科技最动听的发明——扬声器纵横谈·····	68
09	不知迷路为花开——关于扬声器失真的讨论·····	70
10	前度刘郎今又来——带式扬声器述评（上）·····	78
11	千古英雄共一心——扬声器可以偏心吗？·····	90
12	只愿君心似我心——同轴扬声器述评·····	96
13	静电扬声器的理论与实践·····	100
14	别有长条垂竹尾——号筒扬声器的特色·····	107
15	渣滓全空一世无——漫谈扬声器的失真·····	113
16	扬声器的可靠性探讨·····	117
17	扬声器振膜的振幅·····	124
18	激光全息干涉与计算机技术应用于耳机的振动分析·····	127
19	号筒扬声器的效率分析·····	131

第三部分 音箱与系统

20	脾气随和的 YXZ20-1 音箱·····	136
21	关于开口箱的讨论·····	138
22	何日辉煌中国声——从第二届国产影音展示会看音箱的进展·····	147
23	超低频重放和超低频扬声器系统·····	150
24	横看成岭侧成峰——从开口箱的阻抗曲线可以看到什么·····	161