

实用扬声器 工艺手册

王以真 编著



随书附光盘一张



国防工业出版社

National Defense Industry Press

实用扬声器 工艺手册

王以真 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是一本集扬声器设计工艺、制造工艺、生产工艺和材料工艺于一体的大全类工具书。全书分 15 章,包括扬声器制作总论;扬声器振膜;新型振膜材料;振膜的若干问题;扬声器振膜工艺和设计的关系;音圈;定心支片和防尘罩;磁路系统;扬声器用胶黏剂;扬声器的号筒;扬声器的装配;扬声器的质量管理以及潜在失效模式与后果分析;微型扬声器;扬声器的检测及指标分析。附录部分包括扬声器的国家及行业标准和合成材料缩写及中英文对照表等相关资料。

读者对象主要是扬声器生产厂家的设计人员、工艺人员和生产人员;也可作为一般扬声器爱好者的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

实用扬声器工艺手册/王以真编著. —北京:国防工业出版社,2006.6 重印
ISBN 7-118-04205-6

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(2005)第 118703 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)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 43 $\frac{3}{4}$ 字数 993 千字
2006 年 6 月第 1 版第 2 次印刷 印数 4001—7000 册 定价 108.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

序言一

一直以来,我是绝少动笔写点什么的,一是自认为文笔不精,二是只有技术方面的一点薄底,写出来怕经不起推敲。这次王以真先生出版他的《实用扬声器工艺手册》,说是请我写个序,再三考虑还是答应了他。

我连文章都很少写,更不要讲给书写序了,所以这里也请老王与读者见谅,几笔涂鸦,主要是想讲一下这手册编写的不易之处。

老王在电声圈中几十年了,与我共事也有近40年,他是喜欢写点文章什么的,我也一直尽力口头支持一下。这次他要写本工艺手册,我就泼冷水了,因为此事早些年我也想过,倒不是为出书,只是为企业内部方便,但动手列了个提纲,就再不敢想了,题目简直太大了,涉及面又广,而且新的工艺也在不断出现,自己的这点墨水实在是应付不了这个题目。

这里我顺便提一下,凡在扬声器生产设计方面工作时间长的人都知道,扬声器生产设计工艺虽是一个较小的工业圈子,但是:第一,涉及到的方面太多,像金属冶炼、加工、造纸、声学、电机、化工等,例如一个音圈就涉及到金属材料、复合金属材料、化工材料及胶黏剂等,有电阻、绝缘、电感、质量、粘接原理、耐温、除漆、热浸锡、金属间电位差等,行业跨度太大,非几十年功力难以操刀;第二,电声器件百年的历史积淀太厚,加上近十几年来,我国台资企业将先进的工艺、设备、材料、设计理念带入大陆的电声行业,注入许多新的动力,能将这些都涵盖在内难度更大。

所以老王要动手,我就把自己的想法对他一一列举,后来老王说服了我:这事总是要有人开头,难是难点,但总要有人去做,自己积累了几十年的东西不能带到火化场去,不能因为怕有些遗漏、不完善就不写,这个行业发展到这么大,居然没有一本可参考的手册,不是太遗憾了嘛!我只好声援了。

我很清楚老王在这圈子里几十年是最能积累资料的,也是最有心。凡是这圈子里的新思路、新工艺、新材料、新方法、新产品,包括近年来计算机软件的应用,他都非常敏感,无论只字片语他都会极用心地收集分析,并利用各种机会,发表自己的看法,毫不保留地帮助别人解决实际工作上的难题。所以这次老王编写的手册要出版,只好不管自己的文笔多么糟糕、老土,也来凑个数、捧个场,表示祝贺了。

胡秉奇

2005.6.10

序言二

所谓“大音希声”，就是说最美的音乐是无声之乐。它使人的内心和谐平静，在不知不觉中得到陶冶，得到升华。

任何一本著作拥有科学理论并不足为奇，因为科学研究日新月异，不断推陈出新。现在的科学理论不久后一定为后人的研究成果所超越。“诗以言志，文以载道”，能够流传后世的，除了文章，一定是写文章的思想。

我与王以真相识、相交，至今已有 30 多年。在电声研究和学术领域，王以真一直是我的良师益友。此次王以真请我作为同行，为《实用扬声器工艺手册》的完稿写几句序言。我觉得《实用扬声器工艺手册》一书最为可贵之处，就在于一个“实”字。在中国电声行业快速发展的今天，确实还存在着许多不求甚解、照抄照搬、似是而非的虚浮风气。这种虚浮之风，正是造成中国电声企业低水平竞争、缺少核心能力的一个重要原因。

《实用扬声器工艺手册》是怎样的一部书呢？其中有王以真长期从事扬声器工作的总结，更多的则是他对国内外扬声器专家学者智慧结晶的分析、研究。通过透视工艺的前因后果，理清其中的科学思路，显现未来的发展方向。对于同行来讲，它是一本打破“秘方”禁忌、不搞理论花架子、实实在在地展示扬声器生产工艺技术、推动行业前进的工具书；对于新入行人士而言，它又是一本将电声原理与实用技术相结合、教人严谨治学、打好基础、少走弯路的入门书。

文如其人。王以真用朴实、真诚的文笔，将行业内一贯秘而不宣、闪烁其词的生产工艺技术向公众展示，这完全出自于他对扬声器行业的热爱和尊重。只有认真治学，真诚待人，一点一滴去收集，反反复复去求证，孜孜以求去交流，才能求得一个“实”字的境界。

以真求实，是做学问的基础；以实求真、保真，是扬声器行业最高的追求。

电声行业既传统又现代，任何技术、工艺上的创新对音质的提升都会带来无限增值和无限商机。借王以真兄《实用扬声器工艺手册》出版之际，寄望求真、务实的传统会得到继承和发扬，则电声行业幸甚！

祁家莛

2005. 6. 19

序言三

我与作者是多年的同事,确切地说,作者是我从事扬声器技术工作的启蒙老师。我们经常在一起攀谈,所谈内容几乎都与扬声器相关,在这方面,我们很有共同语言。我国是世界上公认的扬声器生产大国和出口大国,但却不是强国,总体上处于 OEM(原始设备生产商)阶段。只有少数企业经过艰苦的努力进入 ODM(原始设计制造商)阶段。究竟是什么原因导致我们这个扬声器生产大国大而不强呢?这是业界一直关注和讨论的话题。论市场我们有,论技术我们有,论廉价劳动力我们也有,可我们的产品却总也上不了档次,比不过国外的产品,其原因就是我们整体对自身素质要求不高,技术上欠缺交流,彼此比较保守,有关这方面供指导交流的书籍太少,特别是有关扬声器工艺方面的书籍更少。

王老师要出一本有关扬声器工艺方面的书,这个想法由来已久,最初我看过这本书的提纲,其内容涉及面之广让我望而生畏,我认为这是一项可望而不可即的工作。但王老师却充满信心,他要将自己几十年从事扬声器技术工作的经验和多年搜集的国内外有关资料奉献给中国的电声事业,他就是想架起这样一座桥梁:让从事扬声器技术工作的相关人员能够更多、更全面地了解扬声器的有关知识;让生产扬声器的厂家对自己的产品不断完善更有信心;让我们的企业共同承担起将我国由扬声器生产大国变成扬声器生产强国的使命。

去过王老师工作室的人都会对他搜集资料的执着精神赞叹不已,这是他多年形成的习惯,他那分类装订成册的一本本资料和各种杂志、书籍使你感到是到了一个最齐全的扬声器专用图书资料室,在这里你可以找到你想要的有关扬声器的任何资料。正是这些资料的搜集为今天我们看到的《实用扬声器工艺手册》的出版奠定了基础。

《实用扬声器工艺手册》的出版免去了我们搜集资料的劳苦。本书从扬声器零部件制作、工装、设备、测试仪器等向读者较全面地介绍了工艺过程和要点,其实用性和可操作性都很强。不仅适合于工程技术人员作为工作中的参考手册,也适合于一般扬声器爱好者作为科普读物阅读。相信这本书一定会引起广大读者的极大兴趣。

周智敏

2005. 6. 28

序言四

按照惯例,给一本书写序的人,多半是年长或资深人士。这次王先生请我们几位同行朋友写序,真是打破常规。

近 20 多年来,扬声器的发展和变化是丰富的、显著的。一方面,由于数字音源及重放设备的出现和发展,声源频带更宽、失真更小、动态更大,这样对扬声器提出了更高的要求;另一方面,受使用条件要求,外形尺寸从超小、超薄到超大口径,规格繁杂;借助当代材料科学和工业技术的迅猛发展,许多新材料、新技术大量移植到扬声器生产之中,引起扬声器性能的重大变化,必然也促使扬声器设计和生产工艺技术有相应的发展和变革。

扬声器、扬声器部件的生产企业数以千计、从业人员数以百万计,迫切需要系统、全面介绍扬声器生产工艺的书籍。可是不论国内还是国外,都很少找到扬声器工艺方面的专著。有些关于扬声器的专著和论文也很少涉及扬声器工艺等具体问题,一些技术交流活动,受到同行业竞争等诸因素的限制,变得空洞和困难。在这个时候,王以真先生的《实用扬声器工艺手册》的出版,填补了这个空白。王先生的本意是藉以提高从业人员的素质,对他们解决生产实践中遇到的问题有所帮助,进而对提高扬声器行业整体水平有所裨益。此书必将受到扬声器从业人员、相关人员的热烈欢迎。

多年来我和我的同事一直潜心于扬声器的生产、研究。深知做好一只扬声器不是一件容易的事,其中甘苦非亲历其事,难以体会。我有幸结识了许多专家学者,在和他们的交往中获益匪浅。而王以真先生就是我最早结识的扬声器技术专家之一。第一次知道王以真的名字,是看到王先生翻译的《扬声器系统》,那还是油印本,收藏至今。由于共同志趣,和王以真先生保持着长期的、频繁的交流与往来,成为无话不谈的朋友。

王以真先生从纸盆打浆开始,担任过纸盆工艺员、音圈工艺员、装配工艺员,从事扬声器工艺、设计工作多年,积累了丰富的经验,同时一贯关注国内外扬声器技术的发展动向。退休以后,又应邀到许多扬声器生产厂讲学、交流、技术咨询;主持兴建扬声器工厂、扬声器部件厂;设计兴建消声室;参与各类音响评审、研讨活动;撰写多篇技术文章;为一些工厂和朋友答疑解惑。因此可以说王以真先生一直活跃在扬声器技术的前沿。除了他的专业技术功底和丰富经验外,几十年来也积累了大量的素材

和第一手资料。我建议王先生写几本有关扬声器理论与实践的书,我对王先生说“你一生献身扬声器事业,你属于扬声器行业,也算是一个公众人物,不必有所顾虑”。再加上国防工业出版社以及许多朋友推动和促进,王先生开始策划动笔。不想几年时间,书一本一本出来了。我为他高兴,亦为我国扬声器行业高兴。

常言“众口难调”,《实用扬声器工艺手册》出版后,能否满足各方面的需求,可由读者评论。但我觉得,王先生的文笔风格,深入浅出而有实际内容,不空谈理论而又有独到见解,很适合我们这些工厂的技术人员。

扬声器工艺涉及面甚广,扬声器技术也在不断发展之中,一本书要全部概括也不简单。王先生这本国内外少有的对扬声器工艺全面而系统总结的专著,会有长远的影响。

我希望王先生再接再厉,继续写好继《实用扬声器技术手册》、《实用扩声技术》和《实用扬声器工艺手册》之后的第四本《实用音箱手册》。

姜育仁

2005. 11. 08

序言五

涉足扬声器的人都知道,对扬声器来说,工艺极为重要。和一般的产品相似,良好的工艺设备、精选的材料、合理的操作程序、娴熟的动作技巧、严格的工艺规程、洁净的工作环境、科学的检验方法、认真的工作态度、先进的管理制度,都是生产优质产品所必需的。对于扬声器来说,工艺问题更为重要。材料和工艺会改变扬声器的性能和外观。即使外形和几何形状不变,仅仅材料和工艺的改变,即使不大的改变都会使扬声器的电声性能和音质发生变化,甚至是巨大的变化。

无论是研究扬声器,还是使用扬声器,更不用说要生产优质的扬声器,不关心扬声器的工艺是不行的,不掌握扬声器工艺更是寸步难行。

我从1962年开始从事扬声器技术工作,就是从扬声器纸盆工艺开始的。那是一个“一无图纸、二无资料”的年代,大家对扬声器纸盆工艺可以说茫无所知,经过两年中300多次系统的大型试验,终于掌握了纸盆工艺的要点。通过实践我们深知工艺对于扬声器而言,就像贾宝玉颈上那块宝玉那样须臾不可缺失。

1987年,国防工业出版社出版的《电子工业生产技术手册》第三卷,首次以出版的方式对扬声器工艺作了简介,我参加了该部分的撰写工作。该书出版到现在快20年了,当时的介绍比较简略(几万字),而近20年来国内外扬声器工艺的发展突飞猛进,新工艺层出不穷,新材料令人目不暇接,新设备琳琅满目。而中国也成为扬声器产量和出口量居世界第一位的扬声器大国。

因此在21世纪初,对扬声器工艺作一个回顾、述评和总结是十分必要的,具有实用意义和现实意义。

但是工艺的总结有相当的难度。首先在国内外几乎找不到专门叙述扬声器工艺的专著。无模式可借鉴,只有一些零星的资料,如流星雨般地散布各处,要花工夫一点一滴去收集。

对于关键的工艺、配方,大至可口可乐的配方,小到各家“祖传秘方”,不论是真是假都是秘不示人、绝不外传的。大多数扬声器工厂还是让人参观的,但是有些部位的生产场地,连本单位无关的职工也谢绝入内。专利当然不少,但在关键、核心之处的介绍常常是闪烁其词,使外人不得要领。

厂家对其技术特色的宣传介绍,往往是只讲结果,关键问题却讳莫如深、欲说还休,更不用说那些“似是而非”、“故弄玄虚”的营销宣传。

但是工艺是一门科学,它必然遵循科学规律,融通于扬声器原理之中。因此不论哪一种扬声器工艺,不管它包装如何严密,宣传如何神秘,总有规律可循、端倪可见、蛛丝可寻。我们还是可以弄清来龙去脉,明白问题所在。

在本书介绍种种先进工艺时,着重讲清思路,并非表明对其推崇备至,也不是认为它可圈可点、登峰造极、无与伦比,而是提供一个借鉴、一个检索、一种思考、一个参照系、一个上升的平台,为新进入扬声器领域的朋友们当一块垫脚石、做一块指路牌、建一座攀登高峰的起始营地。在工艺上,可贵的当然不是跟在别人后面亦步亦趋、照猫画虎,最可贵的是独创、首创、原创精神。只有这样才有可能领先于别人,最终使我国成为扬声器强国。

工艺是要人执行的,好的工艺还要切实、认真、老老实实、一丝不苟地去执行。强调工艺重要,丝毫不意味着理论和信息交流不重要。有一些扬声器爱好者,对扬声器技术和工艺孜孜追求,但是不擅与人交流,不注意了解扬声器发展的信息,最后努力的结果可能是一些重复劳动。还有人轻视理论、轻视书本,此处不想辩论,这里可以套用一句话,对于扬声器技术来讲,“书本不是万能的,但是没有书本是万万不能的”。这也是为什么还要继续花力气、费辛苦来撰写这本书稿的原因之一。

这本书和《实用扬声器技术手册》一样,不仅有自己长期从事扬声器工作的总结,而且更多的是国内外扬声器专家、学者、技术人员、能工巧匠智慧的结晶。形象地说,这些贡献是一颗颗光彩夺目的珍珠,我将它们穿成华贵典雅的项链,在参考文献中尽量列出来源出处,文中适当指明单位和个人的贡献。

不论是在长期的扬声器设计和生产中,还是在连续几本书的写作过程中,一直得到许多朋友的支持、帮助和关怀,我永远铭记在心。早在20世纪80年代,就准备撰写一本《扬声器概论》,由于实际工作繁忙,没有终卷。当时由于东北工学院要求讲课,便促成了《实用磁路设计》的出版。后来《音响世界》的吕英敏先生,建议撰写系列文章,这就是一连登了十几期的《扬声器纵横谈》。经《现代音响技术》的陈立新、赵聪两位邀请,开设了《锦瑟华年》专栏;经《视听前线》张戈先生邀请,开设了《撞钟问答》专栏;经《高保真音响》黄彤先生邀请,开设了《音箱丛谈》专栏;还有《电声技术》杜青的邀请,开设了《答疑解惑》栏目;等等。这些都为本系列书做了充分的准备和铺垫。最后将扬声器专著,分成技术、工艺的设想是由姜育仁先生提出的,并且他主动协助解决出书的难题。这个关键性的推动,促使我下决心、集中精力、抓紧时间完成这几本书。我的同事王铮然、沈树基、吴光威、田世焯、黄仕安、杨定军、常镜、胡秉奇、祁家堃、李树达、刘忠发、王诗强、周智敏、王伟、郭爱民等,都是扬声器技术的高手,对中国扬声器技术做过各自的贡献。在与他们长期相处中,深受鼓励、帮助、支持和关怀。其中几位还为本书写了序言,使本书增色不少,此处谨表谢意。五湖四海、两岸三地的科研院所、大专院校、剧院乐团、新闻出版、广播电视、工厂企业、音响工程等行业中

许多音响专家、学者、技术高手、良师益友、合作伙伴，我在与他们交往、切磋、探讨中获益不浅，张绍高教授在关键时刻对我的帮助，更是终身难忘。在这些师友中，汪德昭先生、关定华先生、谢兴甫先生、于文科先生、张本厚先生、李宝善先生、赵克勤先生、林述强先生、田寿宇先生、瞿世香先生、朱国春先生已走完了他们的生命历程，在此对他们表示深深的悼念，感谢他们对中国扬声器事业做出的贡献。

即《实用扬声器技术手册》出版以后，在本书《实用扬声器工艺手册》撰写过程中，有幸又结识了全国各地一批电声界的新朋友。他们是扬声器技术的新锐或是各公司的技术骨干，也是未来中国扬声器事业的信心与希望。凭借信息时代的电子邮件，可以快速、方便、及时地讨论和切磋扬声器技术。他们谦虚地说得到帮助和启发，而我更是从中体会到“教学相长”的作用。《礼记·学记》中说，“是故学，然后知不足；教，然后知困”。这个“困”就是尚未完全被认识、被理解、被重视的问题。有了“困”，你就会去探索、去搜索、去思索。尽管中国扬声器事业已有很大发展，但仍处于初级阶段，还有许多事要做。

对于本书也有一个普及和提高的问题。普及和提高都很重要，力求两者兼顾，“不深不浅种荷花”是一种定位。

在本书撰写过程中，祁家堃、高真、王海霞给过许多帮助，谨表谢意。王海霞是第一位通读百万字手稿，并提出了许多建议。本书的编辑刘萍女士，更是认真负责，为本书的出版和完善做了许多工作。

这几本书从准备撰写开始，历时 20 余年，也许有一点慢，有一点晚，不过晚也有晚的好处。首先写作时火气较少，“夕阳无限好，妙在近黄昏”。比如对《实用扬声器技术手册》一书，有的读者指出一些疏漏，真是闻过则喜。这几年间的大部分时间，端坐荧光屏前，用汉王笔画输入，连硬塑笔尖都被我磨短了两根。“书生属老九，爬格夜未央”，虽未“披阅十载”，却是“增删数次”，在云舒云卷、花开花落、声声入耳、事事关心的氛围中完成了自己的工作。难得人生老来忙，也算一种自我安慰、自我激励。即孔子所讲，“知之者不如好之者，好之者不如乐之者”，“乐此不疲”是也。

王以真

2005. 7. 4

(作者电子信箱: tiange@public. tpt. tj. cn)

目 录

第 1 章 扬声器制造总论	1
1.1 扬声器制造的特点	1
1.2 扬声器工艺工作的任务	1
1.3 对扬声器工艺师的要求	2
第 2 章 扬声器振膜	4
2.1 扬声器振膜材料	4
2.1.1 振膜材料及加工工艺对扬声器音质的影响	4
2.1.2 对振膜的要求	4
2.1.3 常用振膜材料	6
2.2 纸盆	8
2.2.1 纸盆的存在	8
2.2.2 纸浆材料	9
2.2.3 纸盆制造工艺	15
2.2.4 打浆	16
2.2.5 打浆的影响	18
2.2.6 施胶材料的选择与分析	27
2.2.7 新型施胶材料	29
2.2.8 国内外施胶剂的发展	30
2.2.9 浆料对电声性能的影响	31
2.2.10 纸盆的捞制和成型	35
2.2.11 纸盆制造设备	38
2.2.12 扬声器椭圆纸盆热压模加工装置	42
2.2.13 染料、湿强度剂、外部施胶、防霉剂	45
2.2.14 七彩纸盆	50
2.2.15 纸盆的疏水处理	50
2.2.16 纸盆阻燃剂	52
2.2.17 纸盆质量的控制	52
2.2.18 纸盆的检验	52
2.2.19 纸盆专用纸浆的研制	58
2.3 振膜弹性模量及其测量	61
2.3.1 材料弹性模量的意义	61
2.3.2 弹性模量测量方法(一)	62

2.3.3	弹性模量测量方法(二)	64
2.3.4	弹性模量测量方法(三)	65
2.3.5	弹性模量测量方法(四)	68
2.4	纸盆的手工制作	69
2.5	用盘磨机打浆	71
2.5.1	什么是盘磨机	71
2.5.2	盘磨机打浆原理	71
2.5.3	盘磨机在纸盆打浆上的应用	73
第3章	新型振膜材料	74
3.1	新型振膜的发展史	74
3.2	对振膜材料的新要求	74
3.3	振膜材料的谱系	75
3.4	碳纤维	76
3.4.1	碳纤维的性质	76
3.4.2	碳纤维在振膜中的应用	77
3.5	掺入羊毛的振膜	79
3.6	强化烯族烃扬声器振膜	81
3.6.1	基体材料	81
3.6.2	强化材料	82
3.6.3	强化烯族振膜的复合	82
3.6.4	强化烯族振膜的制造	83
3.6.5	高内阻折环	84
3.6.6	强化烯族振膜扬声器的电声特性	85
3.7	金属振膜	85
3.7.1	扬声器金属振膜的发展	85
3.7.2	金属振膜的特点	86
3.8	铝镁合金振膜	87
3.8.1	铝镁合金振膜材料	87
3.8.2	铝镁合金振膜的工艺设计问题	88
3.8.3	铝镁合金振膜扬声器的实例	88
3.9	钛、铍振膜	89
3.9.1	钛、铍振膜的物理特性	89
3.9.2	铍振膜	90
3.9.3	铍振膜的制造	91
3.9.4	锰振膜	91
3.10	采用精细陶瓷的扬声器振膜	92
3.10.1	精细陶瓷	92
3.10.2	精细陶瓷在扬声器振膜上的应用	93
3.11	硼钛复合振膜	94

3.11.1	硼的特性	95
3.11.2	硼膜生成办法	95
3.11.3	硼钛复合材料	96
3.11.4	制造中的技术问题	97
3.11.5	硼化钛振膜	98
3.12	石墨振膜	99
3.12.1	石墨	99
3.12.2	石墨振膜	100
3.13	高分子复合振膜	101
3.13.1	高分子振膜	101
3.13.2	高分子复合材料	101
3.13.3	复合材料弹性模量的变化	102
3.13.4	复合材料的制造工序	102
3.14	聚酯复合振膜	104
3.14.1	小口径、薄型扬声器的要求	104
3.14.2	聚芳基树脂	104
3.14.3	填充材料	104
3.14.4	复合云母 PA 树脂振膜	105
3.14.5	扬声器性能	105
3.15	聚甲基戊烷复合振膜	106
3.15.1	低频扬声器高分子振膜的寻觅	106
3.15.2	PMP 与 PP 混合膜的填充材料	107
3.15.3	PMP/PP 云母复合振膜	108
3.15.4	聚丙烯振膜	109
3.15.5	聚苯乙烯振膜	109
3.15.6	聚丙烯、聚碳酸酯复合振膜	111
3.16	硅酸镁盐聚合物复合振膜	111
3.17	金刚石/钛复合振膜	112
3.17.1	类金刚石/钛复合振膜的发展	112
3.17.2	金刚石振膜的形成	113
3.17.3	在钛膜上形成类金刚石振膜	114
3.17.4	等离子金刚石振膜	115
3.18	液晶聚合物振膜	117
3.18.1	液晶聚合物的特点	117
3.18.2	液晶聚合物的工艺特点	118
3.18.3	液晶聚合物用于扬声器振膜	119
3.19	高弹性纤维振膜	120
3.19.1	芳纶(Kevlar、防弹布)编织振膜	123
3.19.2	碳纤维编织振膜	124

3.20	非电解金属电镀振膜	125
3.21	碳化硼振膜	126
3.22	各类特殊材料组合振膜	127
3.23	木振膜的采用	129
3.23.1	木制振膜	129
3.23.2	加入木纤维的振膜	130
3.23.3	木纤维加入 PP 盆中	130
3.24	各种新型薄型振膜	130
3.24.1	PET 振膜	130
3.24.2	PEN 振膜	132
3.24.3	PEI 振膜	133
3.24.4	PI 振膜	133
3.24.5	LCP 振膜	133
3.24.6	PEEK 振膜	134
3.24.7	PC 振膜	134
3.24.8	PPS 振膜	135
3.24.9	振膜材料性能	135
3.24.10	PAR 振膜	136
3.25	高分子振膜发泡技术	136
3.25.1	振膜发泡技术	136
3.25.2	发泡振膜的优点	137
3.25.3	PMI 发泡振膜	138
3.26	多种材料复合振膜	139
3.27	TPX 振膜	139
3.27.1	TPX 材料	139
3.27.2	TPX 在扬声器中的应用	140
3.28	Audax 的特殊振膜	141
3.28.1	HD-A	141
3.28.2	HD-1	141
3.29	银振膜	142
第 4 章 振膜的若干问题		144
4.1	复合折环扬声器	144
4.1.1	最初的纸浆振膜	144
4.1.2	阻尼胶的应用	144
4.1.3	复合折环的出现	145
4.2	折环材料	146
4.2.1	对折环材料的基本要求	146
4.2.2	几种折环材料	146
4.2.3	泡沫塑料折环	147

4.2.4	微孔发泡高分子材料折环	148
4.2.5	橡胶折环	149
4.2.6	布基橡胶折环	151
4.2.7	布基聚丙烯酸酯及其改性折环	151
4.2.8	热塑人造橡胶折环	152
4.2.9	发泡橡胶折环	153
4.2.10	聚氨酯折环	154
4.2.11	有关折环的经验公式	156
4.2.12	折环设计改进的程序	158
4.2.13	折环分析的要点	159
4.2.14	无折环	160
4.3	复合振膜	161
4.3.1	复合振膜的提出	161
4.3.2	振膜结构	162
4.3.3	复合层压振膜	163
4.3.4	陶瓷金属复合振膜	166
4.3.5	碳纤维层压结构振膜	168
4.3.6	碳纤维聚丙烯复合发泡振膜	169
4.4	球顶扬声器振膜	171
4.4.1	铝(铝合金)球顶振膜	171
4.4.2	钛(钛合金)球顶振膜	171
4.4.3	酚醛树脂球顶振膜	172
4.5	高频球顶扬声器振膜	173
4.5.1	扬声器系统的王冠	173
4.5.2	高频球顶振膜的材料	173
4.5.3	铝球顶	174
4.5.4	钛球顶	174
4.5.5	铍球顶振膜	175
4.5.6	织物(软)球顶振膜	176
4.5.7	聚碳酸酯球顶振膜	178
4.5.8	合成材料球顶振膜	178
4.5.9	可更换高频球顶振膜	179
4.5.10	金刚石复合球顶振膜	180
4.5.11	金属振膜的加工工艺	181
4.5.12	一体化球顶振膜	181
4.5.13	球顶振膜折环的形状	182
4.5.14	球顶振膜的双重折环	182
4.6	平板振膜	183
4.6.1	平板振膜的一般问题	183

4.6.2	蜂巢板振膜	184
第5章	扬声器振膜工艺和设计的关系	187
5.1	对扬声器的基本要求	187
5.2	振膜参数与扬声器频率响应的关系	189
5.3	扬声器的10项要求与设计工艺的10个问题	190
5.4	振膜材料不同对扬声器频率响应的影响	191
5.4.1	铝和纸锥形振膜的比较	192
5.4.2	不同蒙皮蜂巢振膜平板扬声器的频率响应	192
5.5	扬声器中频谷	192
5.5.1	中频谷的困扰	192
5.5.2	中频谷产生的原因	193
5.5.3	抑制中频谷的方法	193
5.6	扬声器振膜几何形状的再研究	194
5.6.1	振膜几何形状的影响	194
5.6.2	波兰人、意大利人给我们的启示	194
5.7	半音、双音和非线性	196
5.7.1	半音、双音的出现与对策	196
5.7.2	魏荣爵教授的研究	197
5.8	改善扬声器指标的对策	197
5.8.1	理想扬声器的再讨论	197
5.8.2	鱼与熊掌不可兼得	198
5.8.3	指标和对策	198
5.8.4	扬声器的灵敏度	199
5.9	扬声器的高频扩展	199
5.9.1	高频扩展的方法	199
5.9.2	双振膜	199
5.9.3	高频扩展的解释	200
5.10	球顶振膜的打孔	201
5.11	扬声器的位移	202
5.11.1	传统的定义	202
5.11.2	新定义	203
5.11.3	扬声器的振幅	203
5.12	偏心振膜	205
5.12.1	偏心振膜的思路	205
5.12.2	偏心振膜的优点	206
5.12.3	偏心扬声器的实例	206
5.12.4	偏心振膜带来的问题	206
5.13	双振膜	208
第6章	音圈	209