

扬声器设计与制作

全新2.0
升级版

俞锦元 梁乃忠 应正铭 编著



SPM 南方出版传媒

广东科技出版社 | 全国优秀出版社

扬声器设计与制作

(全新 2.0 升级版)

俞锦元 梁乃忠 应正铭 编著

SPM

南方出版传媒

广东科技出版社

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

扬声器设计与制作: 全新 2.0 升级版 / 俞锦元, 梁乃忠, 应正铭编著. —广州: 广东科技出版社, 2016. 8
ISBN 978 - 7 - 5359 - 6530 - 1

I. ①扬… II. ①俞…②梁…③应… III. ①扬声器—设计②扬声器—制作 IV. ①TN643

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 122457 号

扬声器设计与制作 (全新 2.0 升级版)

Yangshengqi Sheji Yu Zhizuo (Quanxin 2.0 Shengjiban)

责任编辑: 陈毅华

封面设计: 郑大龙 柳国雄

责任校对: 陈素华

责任印制: 彭海波

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮政编码: 510075)

http: //www. gdstp. com. cn

E - mail: gdkjyxb@gdstp. com. cn (营销中心)

E - mail: gdkjzbb@gdstp. com. cn (总编办)

经 销: 广东新华发行集团股份有限公司

印 刷: 佛山浩文彩色印刷有限公司

(南海区狮山科技工业园 A 区 邮政编码: 528225)

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 8.25 印张 字数 170 千

版 次: 2016 年 8 月第 1 版

2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

内 容 提 要

本书是广州国光电器股份有限公司总工程师俞锦元先生编（译）出版的有关扬声器设计与制作书籍的第4本。书中介绍了用T/S参数设计音箱时最好考虑与加速度系数的关系，以及制作高音质音箱时分频器的设计。另外，本书还介绍了扩声用、专业用扬声器发展的近况，扬声器箱体用料及吸声材料的展望以及磁液科技的新发现等。在最后，还介绍了纸盆杨氏模量测量装置及具体应用和数据。

本书可供扬声器设计和制作人员参考，也适用于对自制扬声器箱体有兴趣的业余音响爱好者阅读。

序 一

一个人一辈子只做一件事，而且非常认真非常执着地追求完美地干足 50 年还没有停下来的想法，还在不断学习充实专业知识，不但在理论上努力，在技术工艺设计上努力，在教授徒弟上努力，在和同行交流中努力，而且还亲自动手装配新产品、分析过程中的问题和改善措施，当今这种人实在太少了。俞总工程师为国光，也为中国电声行业树立了一个榜样、一个值得同仁敬佩和学习的榜样。

从文中引证的案例和推荐的方法，我们可看出作者行业功底之深厚。本书的出版实为行业一大喜事，值得收藏，更值得学习和引用。文章贵在不但能指导我们提高对扬声器和音箱的理论水平，还能直接指导在制造过程的工艺设计和质量提高分析工作，是企业培训和专业学校的好教材，文章易读易懂，因而也是自学成才的好课本。

感谢俞总工程师！祝贺俞总工程师！

中国电子音响行业协会会长 周海昌
2016 年

序 二

俞总逾 70 岁高龄，历时 5 年，笔耕不辍，编译出第 4 本扬声器设计与制作的书籍，这也是他几十年来对音响技术的热爱与执着追求的写照。

俞总是一位非常注重理论与实践相结合的学者工程师，在他的带动下，国光的工程技术人员也传承了这种文化，我作为他的徒弟有更深感受。《扬声器设计与制作》一书，是一本有理论支撑、有实践检验、读者也能够容易学习和掌握的好书。

执着，对现代人实属一种珍贵的品质。《扬声器设计与制作》（全新 2.0 升级版）的读者有福了：因为你不单学到知识、技能，还能从一位音响界前辈的身上学到执着的精神。

国光电器股份有限公司总裁 何伟成

2016 年

序 三

我在1994年进入国光电器股份有限公司从事扬声器纸盆的工艺研究工作，师从俞锦元先生。俞锦元先生可以说是我进入电声行业的启蒙老师，此次非常荣幸受俞锦元先生的邀请参与本书第5章扬声器纸盆相关内容的编写工作。在我眼中，俞锦元先生不但是良师，还是益友。

扬声器纸盆可以说是扬声器的灵魂，它对扬声器的电声特性起到了决定性的作用。而扬声器纸质振膜的魅力就在于其制作的原材料比较丰富，不同原材料有不同的杨氏模量和损耗因数等动态声学特性，同时不同的抄纸工艺也会制作出不同动态声学特性的纸盆。对于不同用途的扬声器，根据其音质和特性的具体要求，通过选用具体的纸浆配方和特殊的打浆工艺，我们往往能够对制作纸盆的杨氏模量和阻尼进行折中，从而满足特定扬声器对特定性能和某些特殊音质的需求。

本书第5章内容包括了几个部分。第一部分介绍了扬声器纸盆杨氏模量和损耗因数测试装置的原理与研发。这是笔者在华南理工大学攻读造纸硕士期间承担的一个国家项目，也是国家造纸重点实验室特种纸研究团队的一个团队工作，参与者包括了教授、博导、博士、国外专家等。它是世界上第一台专门针对扬声器纸盆弯曲和不均厚的特点进行测试扬声器纸盆杨氏模量和损耗因数的装置。这个项目的科研成果获得了国家发明专利，同时也得到了国际音频协会AES的认可。第二部分介绍了扬声器纸盆的打浆。所谓“三分抄纸，七分打浆”，笔者无论从当初刚进入电声行业，还是到现在经历了20多年的电声磨砺，一直坚持在打浆的第一线。文中总结出关于打浆的“钢筋水泥原则，玻璃棒原则，粉丝原则”，是笔者在这20多年的打浆工作中总结出来的适合扬声器纸盆打浆的基本原则。第三部分是对扬声器纸盆用材料的一些研究。以上内容希望对扬声器的设计及纸盆的研发起到抛砖引玉的作用。

最后再次感谢俞锦元先生20多年来的指导与鼓励。感谢我在国光电器股份有限公司工作期间的老领导周海昌先生，以及何伟成先生对我工作上的帮助和生活上的关怀。很荣幸能够成为国光大家庭中的一员。

感谢华南理工大学国家造纸重点实验室陈港等教授在学业上、科研上对我的教育。感谢华南理工大学特种纸研究团队各位师兄姐妹的协助，让我得以顺利地完成了大量繁琐的测试实验工作。

感谢我的家人对我生活的关心和默默的支持，成为我工作和生活的精神支柱。

鉴于笔者水平有限，本章内容有错误的地方，欢迎读者指正。

梁乃忠

2016年于广州花都

序 四

蒙俞锦元先生多年来的鼓励，让我把麦克·克拉斯科先生发表在 *VOICE COIL* 与 *AUDIO PRESS* 杂志上的文章翻译成中文，供音响工程师参考，让音响爱好者分享。期间我也得到了俞锦元先生的悉心指导，以及麦克·克拉斯科先生对原文中生僻词汇与典故的详尽解释，在此一并致以真挚的感谢！我还要特别感谢同事邓晓芳女士，有了她的鼎力相助，相关的编译工作才得以顺利完成。

应正铭

2016 年

前 言

由本人编撰的第4本扬声器设计与制作技术的小册子《扬声器设计与制作》(全新2.0升级版)终于完成了,其间共用时5年。在此,我首先要感谢广州国光电器股份有限公司周海昌名誉董事长、何伟成总裁给予我一个继续工作的平台,以及公司的领导和同事给予的关怀与帮助。

多年来,笔者一直专注地在思考和探索扬声器音质的提升问题,寻找我们的产品与国外产品的差距,并不断将探索和研究所得整理撰写成书出版,希望本书能为我国扬声器设计与制作能早日达到国际水平添砖加瓦,尽绵薄之力。

本书第1章内容是根据俄罗斯扬声器专家 С. Бать 先生的 *Любительские громкоговорители 3* 编译撰写而成。原版书的购得是2010年7月在俄罗斯的圣彼得堡。那天下午天朗气清,惠风和畅,我抓紧旅游团队半小时的休息间,走进涅瓦大街 ДОМ КНИГИ(书店)。就像1966年在天津外文书店一样,按捺不住喜悦的心情又买到了 С. Бать 先生的书。书中的第一部分的内容比较新,我将其编译撰写为本书第一章的内容。它针对传统的扬声器箱设计对低频扬声器单元的三要素—— f_B 、 Q_{TS} 、 V_{AS} ,提出要考虑一个加速度系数 BL/M_{MS} 的要素,该要素是与低频音质有关的参数。文中还举了10个低频扬声器单元作比较,选出了认为放音优良的扬声器单元。此方法不仅可以改善音质而且简化了分频器设计,对于设计 Hi-Fi 音箱、卡拉 OK 音箱和专业音箱都有一定参考价值。

第2章的内容是介绍如何使音箱放音质量进一步提高。这是一个使人感兴趣的问题,它也是发现国产 Hi-Fi 音箱,监听音箱与欧美优质声进口箱技术差距的问题。主要内容是根据俄罗斯 *Радио* 杂志2013年6期、7期、8期上的连载整理撰写而成。在文中详述了优质声监听音箱的试验,扬声器添加短路环的机理,特别指出音圈作为一个不封闭磁路的扼流圈,当阻抗非线性产生的高次谐波电流流过音圈时,会与有用信号一起辐射,影响人耳的听觉。文中还提出了判断扬声器阻抗非线性失真的具体电路,还介绍了增加分频器输出阻抗来减小阻抗非线性失真高次谐波影响的方法。

第3章内容大多是本人近年来参加各类专业会议撰写的文章。值得一提的是《扩声用扬声器技术发展动态》一文,它的完成得到广州电声界许多朋友支持和帮助,包括广州国光电器股份有限公司的同事,因文内已有致谢,这里不再赘述。《SM-011 两分频倒相式声系统》也颇有实用指导意义。

感谢俞炽明先生给予本人在英文资料翻译方面的帮助。第1章至第3章插图均由广州国光电器股份有限公司苏伟帆先生完成的,特此鸣谢。

第4章内容是由台湾弘凌企业有限公司、香港海帆国际有限公司和东莞弘凌电子有限公司应正铭先生为主编译撰写的。其中新的箱体材料,树脂吸附材料的应用与发展,压电扬声器与 PVDF 扬声器的开发经验、教训以及磁液科技的新发现与新成就,对今天

扬声器行业开发新产品应是颇具参考价值的。

第5章内容为纸盆杨氏模量测量装置研发及常用浆种的打浆研究，是由广州韵奇电声科技发展有限公司梁乃忠先生撰写。这些都是制作扬声器锥盆的基础工作。梁乃忠先生在华南理工大学造纸工程专业读硕士学位时，在导师指导下攻克了扬声器锥盆杨氏模量和损耗因数的测试新方法，并完成了测试装置研发。因为杨氏模量的可测，故梁先生先后撰写了《打浆对扬声器纸盆纤维形态及电声性能的影响研究》和对我国纸盆制作中常用的马尼拉麻浆的分析等文章，相信纸锥杨氏模量E的可测性及已得到的一系列数据，必将充实扬声器单元的有限元分析数据库，提高扬声器CAD的精确度。

有位哲人说过，朋友是人生前进路旁的树，树越多树阴越密。一路前行，我都得到朋友们帮扶和指点。除了之前在本人编撰出版的3本扬声器设计制作技术的小册子中所鸣谢之外，在此我还要对完成广州国光电器股份有限公司2个消音室指导的南京大学孙广荣老师、广东省建筑设计院赖永良先生、中国唱片公司李宝善先生、上海飞乐股份公司童金良先生、同济大学方启文老师等表示衷心感谢。虽然，有的前辈已驾鹤仙逝，但是他们对本人的帮助我是永远铭记在心。

几十年来，中国声电子学会声频工程分会的朋友钟厚琼秘书长，《电声技术》杂志社的史丽丽主编，中国电声行业协会的王润礼秘书长、曹务超先生，飞乐股份有限公司周月梅老师，以及众多的师兄和师姐，还有北京797音响股份有限公司华子兴、杨良柏，三所的翁泰来先生，天津真美电声器材有限公司王以真、杨定军、胡秉奇、刘鲁贤先生，南京电声股份有限公司李祖君、徐世和先生，东南大学吴宗汉老师，广东省电子行业协会梁鸿飞、祁家堃、钟恭良先生都是本人工作中的好帮手和好朋友，在此一并致谢。还要感谢浙江天乐葛南尧、张国邦、白辉和刘殷先生等精心筹建电声博物馆、《天乐志》，为电声行业做的贡献和对我的帮助。最后，衷心感谢广州市第二人民医院的关国晟主治医师对本人健康长期的关注。

俞锦元

2016年于广州国光

目 录

第 1 章 扬声器系统中的电动式扬声器单元	1
1.1 电动式扬声器单元的参数	1
1.2 业余扬声器箱电动式扬声器单元的选择	7
第 2 章 高品质声系统分频器的设计特性	16
2.1 关于阻抗非线性失真的问题	16
2.2 阻抗非线性失真特性及与分频器的关系	24
2.3 降低阻抗非线性失真实例	30
第 3 章 扬声器发展动态及有关制作	39
3.1 扩声用扬声器技术发展动态	39
3.2 从 2014 年德国专业灯光 + 音响展看专业扬声器的发展	44
3.3 SM—011 两分频倒相式声系统	49
3.4 能改善声性能的扬声器系统翻新	56
第 4 章 扬声器材料展望与其他	59
4.1 扬声器箱体用料及吸音材料展望	59
4.2 一种扬声器锥盆新材料——Endumax	68
4.3 压电陶瓷高频扬声器的进展	71
4.4 高分子聚合物压电薄膜扬声器发展的成败	76
4.5 磁液科技的新发现与新成就	80
第 5 章 纸盆杨氏模量测量装置及打浆研究	88
5.1 扬声器振膜杨氏模量和损耗因数新装置研发及应用	88
5.2 打浆对扬声器纸盆纤维形态及电声性能影响的研究	95
5.3 加拿大针叶木纸浆的打浆特性及电声性能	103
5.4 马尼拉麻浆纤维特性及在扬声器纸盆中的应用	110
参考文献	117



第1章 扬声器系统中的电动式扬声器单元

俄罗斯作者 С. Батъ 在其《业余扬声器》（Любительские громкоговорители）和《业余扬声器 2》（Любительские громкоговорители 2）书中写道：在家庭条件下提出可复制的扬声器箱体结构，用太少篇幅讲述从生产商处和产品目录中搬过来的在结构中应用的电动式扬声器单元，因为设计扬声器箱的信息没有系统化，所以对爱好者的实际帮助是不大的。

我们在本书中，力图以通俗易懂的方式叙述选择电动式扬声器单元路径，在计算机技术基础上分频器的制作理论和设计方法。分频器方面的理论及设计方法论述是根据对实际电动式扬声器单元特性的测量和处理得到的图表资料进行的，通过设计两分频和三分频的分频器电路说明了方法的应用。

在这里我们先谢谢对这项工作会提出建议和问题的读者们书中分频器设计和设计举例已译出，见《扬声器设计与制作》（全新版 1^①）。下面是根据该书第 1 章的内容整理撰写的扬声器系统中的电动式扬声器单元。

1.1 电动式扬声器单元的参数

下面我们看看在上述资料中所刊的电动式扬声器单元参数（本书中电动式扬声器单元参数信息是由贸易公司和互联网网站上制造商的产品目录中给出）。电动式扬声器单元的功率由下列参数表示：

1.1.1 短期最大功率 (P_{st})

短期最大耐热功率。在这个功率限定值条件下加入给定的持续时间不会使音圈损坏，例如 1 ms 或者 20 ms 的脉冲。实质上这个参数表示音圈的热容量和机械强度。

1.1.2 长期最大功率 (P_{lt})

长期最大耐热功率。在这个功率限定值条件下音圈温度不会超过容许值，这个参数表示音圈和周围媒质之间的热阻抗。在现代电动式扬声器单元中，音圈可以在相当高的温度条件下工作，如果采用热稳定材料做骨架（kapton、铝片等）则可以在约 200 °C 的高温时工作。如果音圈的容许工作温度为 200 °C，而制造商标明了 $P_{lt} = 100 \text{ W}$ ，那么可以认为，音圈和周围媒质之间的热阻抗大约为每瓦特 1.8 °C。这就意味着，在每输入 1 W 功率时音圈相对于周围媒质大约加热 1.8 °C。

P_{lt} 是采用带计权滤波器的噪声信号测量的，这种滤波器的测量信号的功率谱与音乐频谱接近。对于中频和低频扬声器单元，则要另外规定高频滤波器传输特性的截止频率和滑落斜率，以限制试验信号通带的低端频率。例如，对于高频扬声器单元在利用截止频率 3 000 Hz 和 12 dB/oct 斜率的滤波器条件下，可以规定长期热承受功率为 90 W。

①广东科技出版社，2014。

在加到扬声器单元上的功率采用这类滤波器时，在滤波器输入端输入较小的功率很重要。在扬声器单元制造商给出的手册中就规定了滤波器输入端的功率，而此时滤波器可以是不出现的。在手册资料中规定这种功率的方法结果是经常过载，造成部分高频扬声器单元损坏，所以对于高频扬声器单元的工作，现有的手册中数据许多都没有规定好。

我们了解了产品目录后，可以确认——扬声器单元制造商生产尺寸不同的电动式扬声器单元，但是带有相同的音圈就有相同的 Plt 值。

为自己的制作音箱挑选扬声器单元的音响爱好者应该知道，在听觉失真不会过于剧烈和明显的条件下，加到扬声器单元上可以有多大的音乐节目功率。遗憾的是，这个值与 Plt 联系不大，反而与电动式扬声器单元结构、声装置和音乐节目的特性密切相关。大致上可以认为，在合适的正常声装置中加到高质量电动式扬声器单元上音乐节目的功率约为 $0.25 Plt$ 。

有时候，电动式扬声器单元的制造商会采用如图 1-1-1 所示的声压级与噪声信号功率的关系。在小功率处曲线呈现出直线形式，但从坐标某点开始弯曲。即随着功率增大，声压直线增加到停止，直线开始渐渐弯曲并趋向于改变直线。这个线性段部分就是扬声器单元的最大不失真功率值。

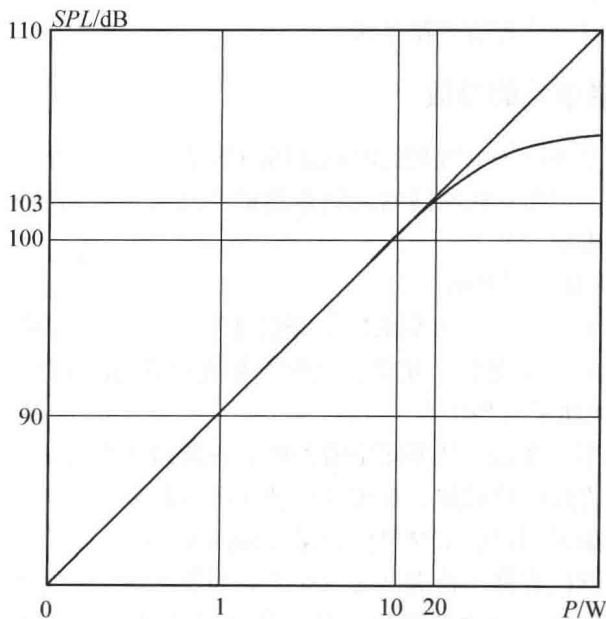


图 1-1-1 声压级与噪声信号功率关系曲线

1.1.3 工作功率 (Operating power)

这个参数是为用于家用声装置的电动式扬声器单元规定的，工作功率与 1 m 距离处 96 dB 声压级对应。

1.1.4 特性灵敏度 (Characteristic sensitivity)

这个参数表示了取自一系列频率的平均声压级 (dB)，这个值是电动式扬声器单元



沿着轴向 1 m 距离, 在输入 1 W 时测量的。在某些公司的产品目录中, 例如 Madisound 公司, 把特性灵敏度表示为与扬声器单元阻抗无关的 2.83 V 测试电压的条件。对于阻抗低于 8Ω 的电动式扬声器单元来说, 在这种输入情况下就会获得过高的特性灵敏度。对于低音扬声器单元而言, 灵敏度一般是由中频决定。在低频处, 这类扬声器单元重放的低音灵敏度是相当低的。扬声器单元制造商是不可能预先说明在低频处的灵敏度, 因为低频灵敏度实际上是和声装置有关。对于爱好者来说, 了解低音扬声器单元, 例如直径 200 mm 的扬声器, 由于在中频段指向性图变窄将使声压沿轴向集中; 在低频段, 当波长明显大于锥盆直径时, 指向性图对应于声压级的下降变得很宽广。在手册资料中指出的灵敏度之间的差异, 以及实际上的灵敏度是以低频段扬声器单元可达到 6 dB 为保证的。

电动式扬声器单元的总阻抗是用一系列参数表示的, 而这些参数在手册资料中都有说明。

1.1.5 标称阻抗 Z_n (Nominal impedance)

通常, Z_n 表示扬声器单元制造商所采用的 4、6、8、16 Ω 的一系列对应值, 标称阻抗用于评估计算某种平均值。

1.1.6 音圈电阻 R_{evc} (Voice coil resistance)

音圈的直流电阻值 (有功阻抗)。电动式扬声器单元的实际阻抗 Z 始终大于 R_{evc} , 这与音圈不振动时用直流测量 R_{evc} 有联系。 Z 的测量是在交流电压条件下进行, 通常测试频率为 1 000 Hz。在这种情况下, 在总阻抗模数中由于音圈在磁场中运动和存在音圈电感, 就应引入在音圈中产生的电动势。

1.1.7 音圈电感 L_{evc} (Voice coil inductance)

通常, 制造商会在手册资料中标出频率为 1 000 Hz 时的电感量。此外, 在手册资料中还采用如图 1-1-2 所示的电动式扬声器单元总阻抗与频率的关系曲线。

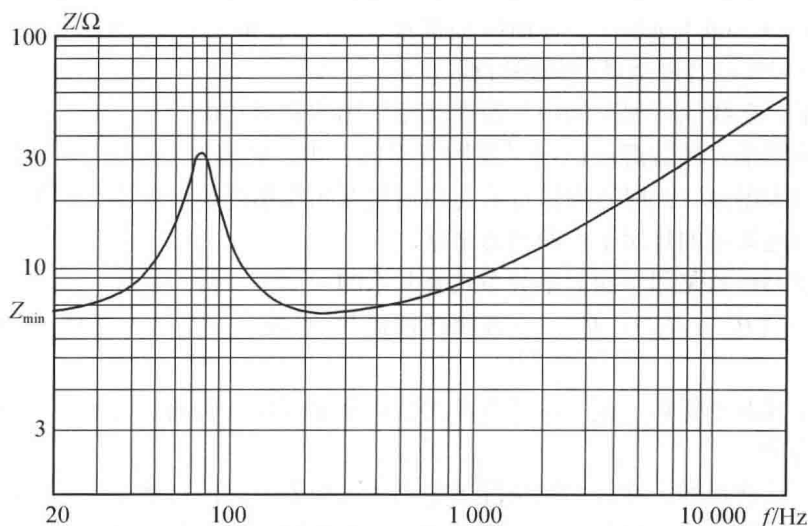


图 1-1-2 电动式扬声器单元总阻抗与频率关系曲线



音圈的电感量与频率和音圈相对于磁路系统的位置有关。与频率和信号振幅有关的 L_{evc} 特性就是测量所发生线性失真（相位的）和非线性（谐波的和互调的）失真值，使音圈产生运动的力是与流过音圈的电流成比例。假如在放大器输出端的电压严格地与重放信号的变化规律相对应，那么流经音圈的电流，以及相应地作用于音圈的力都将精确地重复输入信号的变化规律。但是，这种情况只有在放大器负载是纯电阻时才能实现。当放大器负载为电动式扬声器单元时这个条件就不能满足了，因为电动式扬声器单元的输入阻抗是带有电感分量。电流和电压变化规律偏离程度和特性将取决于电动式扬声器单元输入阻抗的纯电阻和电抗分量间的比值。音圈阻抗的电感分量是随着频率增高而增大，相应地，音圈电感非线性对重放声质量的影响将随着频率增高而增大。工作于两分频系统中，所采用的低-中频电动式扬声器单元，其电感的非线性可以明显地影响中频频率。对于高于此频率的计算，必须注意到音圈电感的情况，可以采用下面公式：

$$F = R6.28L$$

式中： F ——失真开始影响的频率（Hz）；

R ——音圈直流电阻（ Ω ）；

L ——音圈电感量（H）。

作为一个例子，我们来比较一下两种型号的电动式扬声器单元根据这个公式计算出来的频率：

Seas H1212 ($R_{evc} = 5.8 \Omega$, $L_{evc} = 1.2 \text{ mH}$) $F = 770 \text{ Hz}$ ；Seas W18NX001 ($R_{evc} = 6.3 \Omega$, $L_{evc} = 0.43 \text{ mH}$) $F = 2330 \text{ Hz}$ 。

对电动式扬声器单元的输入阻抗和对重放音质影响的问题有兴趣的读者，С. Батъ先生推荐阅读刊于 *Радио* 杂志 1997 年第 4 期上的 С. Агеев 的文章《低频放大器应该有低的输出阻抗吗？》（*Долженли УМЗЧ иметь малое выходное сопротивление?*）。

在手册资料中，扬声器单元制造商常常标出表示音圈位置相对于磁路系统的一系列参数，如：Voice coil height——音圈线面高度；Air gap height——磁路系统气隙高度；Linear coil travel——音圈运动的线性行程。

这是假定，在线性行程范围中与音圈互相作用的磁场是保持不变的。

许多扬声器单元制造商还标出了线性行程的一半，称其为参数 X_{max} 。实际上， X_{max} 就是音圈的最大振幅，此时音圈保持着与磁通量互相作用的线性特性，也就是说，等量的电流增量引起等量的作用于音圈的力增量。

我们关注的参数是和下面简单关系式有联系的：

$X_{max} = 0.5 (H_{vc} - H_{ag})$ ； H_{vc} ——音圈线面高度（mm）； H_{ag} ——磁路系统气隙高度（mm）。

这个关系式对于低频，低-中频电动式扬声器单元是正确的，音圈线面高度大于磁路系统气隙高度。

正如实际反映那样，在大多数情况下电动式扬声器单元的过载是由于音圈振动输出幅度超出线性区域造成，也就是说提高 X_{max} 值造成的。在大多数情况下，这种过载状态的开始要比功率和热参数的增加早得多。主要是因为，这是与反比于频率平方的增长趋势音圈振动幅度有关联的。



重要的是, X_{\max} 过载的可能性在采用中频和高频扬声器单元时要予以重视, 因为通常这类扬声器音圈行程的线性区域的数值是很小的。在线性区域外的音圈振动的输出幅度将伴随着明显增大的失真, 因此我们提出要合理遵循扬声器制造商对高频扬声器单元要采用不低于两阶滤波器的建议, 还要像大功率参数一样确定下来。除了保证使用可靠外, 这个建议还有助于在信号功率提高时降低失真。

1.1.8 音圈最大行程 (Maximum coil travel)

不会引起音圈损坏的音圈运动的最大行程。该值是大于音圈运动的线性行程的, 因此, 在最大行程条件下失真可以相当大。如果我们假设, 中频扬声器单元在 200 Hz 频率作用下出现最大行程状态, 最可能的是在 200 Hz 频率上的失真听觉上不明显, 这是由于低频扬声器单元不失真信号的掩蔽作用造成, 但是在更高的频率处, 在低频扬声器单元辐射明显变弱时, 由这种非线性状态造成的失真就相当明显了。

1.1.9 有效活塞面积 S_e (Effective piston area)

这是像圆面积那样计算的有效辐射面积, 其有效直径是包括锥盆直径和部分折环宽度。

这个参数通常在扬声器制造商的产品目录中出现。锥盆的有效面积和 X_{\max} 一起, 可表示为音圈在线性区域范围内运动时空气位移容积的动态能力。空气位移容积是低频扬声器的一个重要的极限指标, 因为在可保证电动式扬声器单元在规定的失真条件下, 这个指标决定了低频段的最大声压值。例如, 电动式扬声器单元 Peerless 830432 具有线性位移容积为 $0.000\ 441\ \text{m}^3$, 可以在 30 Hz 时, 1m 距离处获得 99.6 dB 的声压级幅值。

1.1.10 振动质量 M_{ms} (Moving mass)

电动式扬声器单元的振动质量包括锥盆质量和音圈质量, 部分折环质量以及锥盆的空气随动质量。不计入空气随动质量的振动质量称为 M_{md} 。知道这些很有用, 因为在应用计算机程序时, 当要建立电动式扬声器单元的模式时, 上述质量的不准确性可能导致计算结果错误。

1.1.11 支撑顺性 C_{ms} (Suspension compliance)

这个值表示在音圈运动的方向上, 向音圈施加一个单力的作用下锥盆的位移程度。位移对力的关系出现时即为 C_{ms} 的 mm / N 的测量。

在电动式扬声器单元的工作状态中, 加到音圈的力是由流经音圈的电流和磁气隙中的磁场相互作用形成的。这种相互作用用参数表示就称为力系数——Force factor (BL)。BL 值的测量单位可以是 N/A (牛/安培), 其表示为单位电流产生在音圈上的作用力, 也可以是 T · m (特斯拉 · 米), 表示为音圈导线的有效长度与磁路系统气隙中磁感应强度的乘积。这两种表示方式是等值的, 此时数字也是一致的。

欧洲的某些扬声器制造商, 例如 AUDAX 和 SCAANING 公司在技术资料手册中引入了一个称为 Acceleration factor (A) —加速度系数 (A) 的参数。这个参数表示在音圈中单位电流对于振动质量加速的程度, 且可由下面公式计算:

$$A = \frac{BL}{M_{\text{ms}}}$$

加速度系数的量纲为 $\text{M/s}^2\text{A}$ ($\text{kg} / \text{s}^2\text{A}$)。



产生正弦振动的音圈加速度,如果保持振动幅度不变,就具有与频率平方成比例增加的趋势。因此,低频、中频和高频扬声器单元的加速度系数是有明显差异的。

例如,SEAS公司直径260 mm的W26FX001和W26FX002低频扬声器单元具有的加速度系数分别为180和236。低频扬声器单元W22NY001和H1288具有的加速度系数为440和334。中-低频扬声器单元H1215的加速度系数为514。直径100 mm的中频扬声器单元加速度系数值可以在800~1500范围内。

对于高频扬声器单元来说,则要求加速度系数明显更高些。例如,MOREL公司的MDT30和MDT33高频扬声器单元,具有的加速度系数分别可达到7950和14300。在选择电动式扬声器单元的组合时,考虑加速度系数是很有利的。在两分频系统中,中-低频扬声器单元是应该总的参数选择的,此时加速度系数不是优选考虑的参数。但是,在选择中频扬声器单元和高频扬声器单元时加速度系数就起到比较重要的作用了。随着加速度系数增大,放音的细节会增多,在大型乐队的声场中每种乐器声将细分得更好。在业余环境中是可以听到扬声器单元表现出或慢或快的放音特性的。C. Батъ先生认为,利用加速度系数值的校正,这类放音特性就会变得相当好的。

下面我们谈谈 Thiele - Small parameters (T/s)。

Thiele - Small 参数群是在手册资料中引入,供计算低频扬声器单元和中频扬声器单元的声装置用的。

(1) Free air resonance (f_s) ——自由空气共振频率 (f_s)

表示在自由空间中电动式扬声器单元的共振频率。对于低频扬声器单元来说, F_s 决定了在声频范围内频响低端的截止频率。对于在选定类型的声装置中给定扬声器单元的 F_s 是可以获得的。

(2) Equivalent volume (V_{as}) ——支撑顺性的等效容积 (V_{as})

参数的物理意义,如果设想为带面积 S_d 的可在圆柱体中运动,压缩空气的活塞就易理解。在单位力的作用下活塞位移将取决于圆柱体内的空气容积。随着圆柱体内空气容积增大,在单位力作用下的活塞位移将增加。假如空气容积选择得这样,使得受单位力作用的活塞位移就等于受相同力作用的锥盆位移,那么这个被选定的容积就是 V_{as} 。等效容积与锥盆面积和支撑顺性是成正比的,在其他相等的条件下电动式扬声器单元的封闭箱或倒相箱形式的声装置容积与 V_{as} 也是成正比的。

(3) Mechanical Q factor (Q_{ms}) ——力学(机械)品质因数 (Q_{ms})

表示在电动式扬声器单元中作为力学振荡系统的能量损耗特性。在电动式扬声器单元共振频率处的力学振荡是与支撑变形或不变形的势能中可动质量的动力学能量过渡有联系的。振荡过程伴随着在折环中的摩擦能量损耗和一系列其他损耗,其中也包括声音的辐射损耗。力学品质因数是储存的能量(无功功率)对损耗的能量(有功功率)的比值,这是一个振荡周期内所取的值。对于大多数现代低频电动式扬声器单元来说, Q_{ms} 在2~10的范围内。品质因数作为相同量纲的两个数之比,所以是无量纲的值。

(4) Electrical Q factor (Q_{es}) ——电气品质因数 (Q_{es})

表示在音圈回路中在电流流过产生的振荡过程中能量损耗的特性。当音圈在磁场中运动时,音圈的输出端就会产生电动势。如果输出端是开路的,那么电动势是不会影响