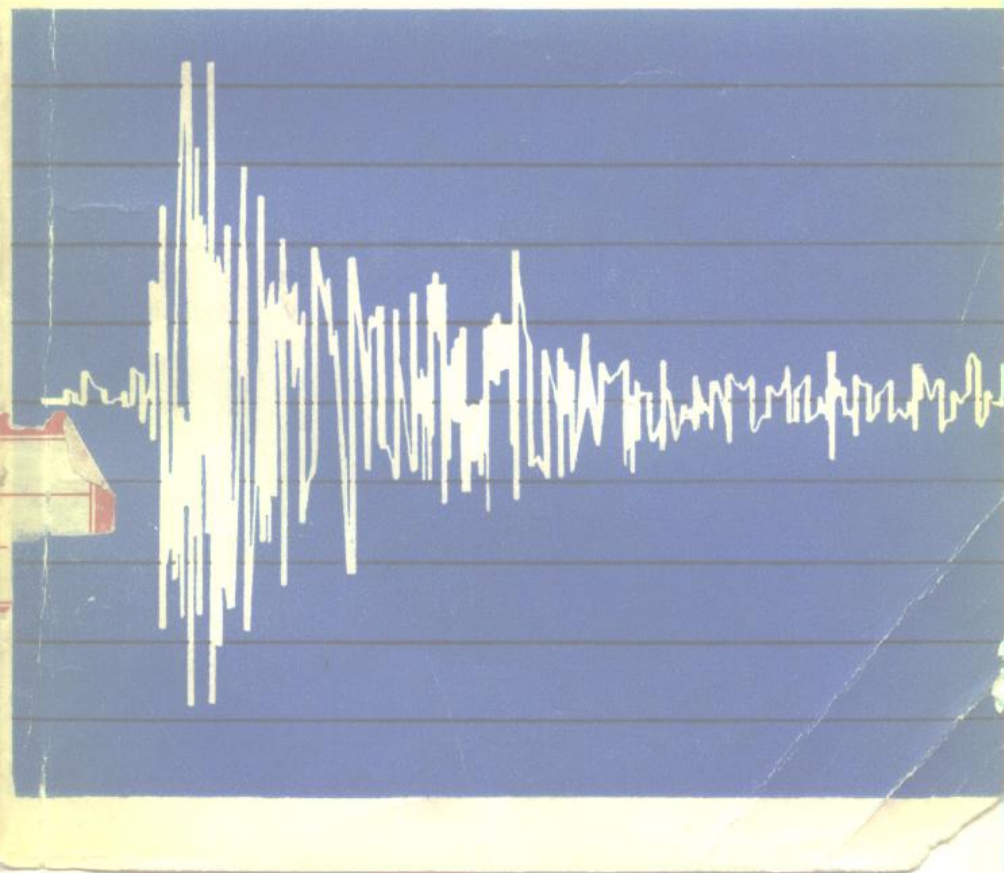




声频测量

李宝善 编著

国防工业出版社



2.5-3315

2.5-3315

声 频 测 量

李 宝 善 编 著



4012489

内 容 简 介

本书偏重介绍声频测量技术的实际应用。对声频测量的原理、概念和基本方法，磁带录声设备的测量，唱片和电唱设备的测量，各种电声器件的测量，语言、音乐信号电平测量，高保真度声频电缆的测量，以及人工混响器的测量等都作了较详尽的讨论。

本书可供广播电台、电视台、电影制片厂、唱片厂、有线广播站，以及从事声频电声研究与设计制造声频设备的科技人员使用，也可供大专院校有关专业的师生参考。

声 频 测 量

李 宝 善 编 著

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/32$ 印张 $9\frac{1}{2}$ 200千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷 印数：0,001-7,000册

统一书号：15034·2371 定价：0.99元

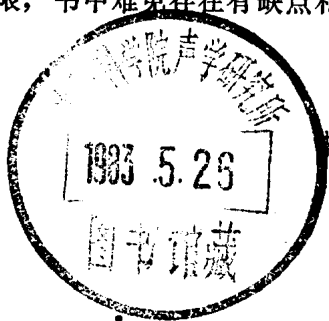
00000000

前 言

声频技术在广播、电视、电影、唱片等领域占有重要地位。声频技术的发展方向是高保真度化。声频测量是达到高保真度的必不可少的手段。随着声频技术的迅速发展，声频测量的方式已日渐多样，方法日臻完善，数据日益精确，与听音评价的结果也日趋一致。

本书着重阐述了声频测量技术的实际应用，但是，对声频测量的原理、概念和基本方法也做了系统的讨论。在选材方面，以总结我国及个人声频测量的实践经验为主，同时也引用了部分国外有关资料。

本书在编写过程中，得到中央广播事业局和中国唱片厂的领导及同志们热情支持和帮助，特别是周海婴同志给予许多鼓励和指导，张绍高同志协助审稿，并提出了许多宝贵意见，王宽相同志协助作了许多具体工作，对此深表谢意。由于本人水平有限，书中难免存在有缺点和错误，希望广大读者批评指正。



李 宝 善

4012489

目 录

第一章	声频与电声技术的高保真度化	1
§ 1.1	声频、电声技术的高保真度化与测量技术	1
§ 1.2	声频设备技术指标和测量技术的发展	2
§ 1.3	电声器件的技术指标	9
§ 1.4	音质评价	11
第二章	测量的基本知识	12
§ 2.1	测量工作的一些基本原则	12
§ 2.2	对基本测量仪器的要求	30
第三章	声频基本指标的测量	36
§ 3.1	频率特性	36
§ 3.2	信号噪声比	52
§ 3.3	谐波畸变	60
§ 3.4	互调畸变	70
§ 3.5	相位畸变和反相检验	85
§ 3.6	瞬态畸变	92
§ 3.7	瞬态互调畸变	97
§ 3.8	最大输出功率	100
§ 3.9	增益的线性	101
§ 3.10	输入与输出阻抗	105
§ 3.11	声频系统的测量	108
§ 3.12	声频变压器的测量	113
第四章	磁带录声设备的测量	118
§ 4.1	概述	118

§ 4.2	测试磁带	120
§ 4.3	磁头方位角的校正	126
§ 4.4	录声量与偏磁电流	128
§ 4.5	频率特性	133
§ 4.6	信号噪声比	135
§ 4.7	谐波畸变	136
§ 4.8	互调畸变	138
§ 4.9	抖晃率	141
§ 4.10	机械指标	146
§ 4.11	磁头测量	153
§ 4.12	磁带电声指标的测量	156
§ 4.13	磁带机械指标的测量	164
第五章	唱片和电唱设备的测量	166
§ 5.1	概述	166
§ 5.2	测试唱片	168
§ 5.3	电唱设备频率特性的测量	169
§ 5.4	转盘噪声与机械噪声	179
§ 5.5	谐波畸变	181
§ 5.6	互调畸变、 $N-A$ 听测与唱针检验	182
§ 5.7	抖晃率	184
§ 5.8	径向行进损失	185
§ 5.9	转盘转数与转矩	186
§ 5.10	转盘摆动	188
§ 5.11	立体声电唱设备的测量	189
§ 5.12	拾声器测量	192
§ 5.13	唱片测量	196
第六章	传声器与扬声器 (扬声器箱) 的测量	198
§ 6.1	电声器件的测量环境	198
§ 6.2	传声器的灵敏度和频率特性	202

VI

§ 6.3	传声器的指向性	213
§ 6.4	传声器的谐波畸变	214
§ 6.5	传声器的相位畸变	215
§ 6.6	传声器的抗杂散磁场干扰能力	217
§ 6.7	扬声器的频率特性	218
§ 6.8	扬声器的灵敏度	223
§ 6.9	扬声器的效率	226
§ 6.10	扬声器的指向性	228
§ 6.11	扬声器的谐波畸变与互调畸变	229
§ 6.12	扬声器的瞬态畸变	232
§ 6.13	用猝发声测量扬声器的瞬态响应	233
§ 6.14	扬声器的谐振频率与品质因数	239
§ 6.15	电声器件的电阻抗	241
§ 6.16	耳机测量的特殊问题	243
第七章	语言及音乐信号电平测量	246
§ 7.1	概述	246
§ 7.2	声级特性的记录仪表	250
§ 7.3	音量单位电平表	255
§ 7.4	峰值电平表	257
§ 7.5	电平表上升时间的测量	258
§ 7.6	广播节目最大均方根功率、最大音量单位功率和 平均均方根功率的测量	262
第八章	高保真度声频电缆的测量	266
§ 8.1	概述	267
§ 8.2	不平衡电容	269
§ 8.3	直流测量	272
§ 8.4	近端和远端串音衰减	276
§ 8.5	衰减-频率特性和衰减均衡器	278
§ 8.6	噪声电平	279

§ 8.7	特性阻抗	280
§ 8.8	测量用假线	282
§ 8.9	故障点的测量	283
第九章	人工混响器的测量	288
§ 9.1	概述	288
§ 9.2	混响时间特性的测量	291
§ 9.3	混响器频率特性的测量	293
§ 9.4	混响器谐波畸变与互调畸变的测量	293
§ 9.5	混响器信号噪声比的测量	294
§ 9.6	混响器立体声通道关系的检验	294
§ 9.7	混响器隔声与隔振能力的测量	295

第一章 声频与电声技术的高保真度化

§ 1.1 声频、电声技术的高保真度化与测量技术

声频与电声技术是研究声音信号的放大、记录、存贮、传送、交换、复制，以及加工修饰，是介于电子学与声学之间的一门边缘科学。声频与电声技术同广播、电视、电影、唱片等技术领域有着极为密切的关系。我国建国以来，广播、电视、电影、唱片事业得到了很大的发展，极大地带动了声频与电声技术的迅速提高。

声频与电声技术的主要发展方向是高保真度化。也就是说，在对声音信号进行放大、记录、存贮、传送、交换、复制和加工等各个环节时，要求能够逼真地、如实地反映它的原来面貌。当然，这也应当包括必要的美化加工和修饰调整。高保真度化，不仅仅是指声音信号的音质（包括音调、音色、响度等几个概念），而且还包括声音信号的方向感、混响感，以及临场感等。多年来，国内外对高保真度化都作了大量的研究工作，目前，声频与电声技术已经发展到很高的水平。取得目前成就的关键就在于：确定出恰当的技术指标，找出合理的测量方法，并且尽力使这些技术指标和测量结果与人们对音质评价的结果相一致。

由此看来，声频与电声测量技术是保证高保真度化十分重要的手段。

§ 1.2 音频设备技术指标和测量技术的发展

从二十年代起,对音频与电声设备就已经形成了传统的三大技术指标。它们是:频率特性、谐波畸变与信号噪声比。多年来,这三个指标本身有了很大的提高,它们在促进高保真度化的过程中,起了很大的作用。但是,当音频设备及元器件发展到一定水平以后,三大指标逐渐被认为并不能完全描述音频与电声设备的质量状态,也就是说,三大指标不能完全说明音质评价的结果。指标测量(通常称为客观评价)与音质评价(通常称为主观评价)之间的不一致性和矛盾都增大了。

四十年代末期,形成了互调畸变的概念。常常可以发现这样的现象:三大指标基本上相同的两套音频设备,在质量上可以有较明显的不同,其中听音评价较为逊色的那套设备,往往呈现一种新的畸变现象。对这一现象进行分析后可以看出,进行谐波畸变测量时,只是将单一频率信号送入被测设备,而实际工作时,馈入的节目信号却是由若干个频率的信号按不同比例混合起来的复杂信号。因此,谐波畸变指标不能全部说明实际工作的畸变情况。对于一部有谐波畸变的设备,如果送入单一频率,那么将出现这一频率的某些谐波,出现的谐波次数与振幅的比例,由设备的具体畸变条件所决定。可是,如果同时送入两个频率的信号,出现的非线性产物既有这两个频率的某些谐波,还包括这两个频率与它们的谐波之间的加拍与差拍,是一种复杂的组合,呈现出较宽的频谱。这些非线性产物的均方根和就是互调畸变量。由此可见,谐波畸变与互调畸变都是由非线性所引起的。实际上,

互调畸变已经将谐波畸变包括在内了，因此有人主张以互调畸变指标来代替谐波畸变指标。但是，由于互调畸变在测量方面至今还存在不少有待进一步明确的问题，测量方法及指标的具体含义也还有不少值得商榷的地方，因此并未形成将谐波畸变指标淘汰掉的局面。又由于谐波畸变不能将互调畸变包含在内，因此，两种指标到现在仍然同时存在。

当设备的谐波畸变较大时，重放出来的声音会有“发破”的现象。

互调畸变有两种出现形式：

(1) 一个频率的信号被另一个频率的信号所调制（往往是高、中频信号被低频信号所调制）。

(2) 基频与谐频之间各种组合的加拍、差拍信号。

音乐信号中两个声音信号互相调制的现象，常常可以在重放有乐队伴奏的合唱节目时听到。表现在当低音铜管乐吹奏得很响的时候，合唱声就会被铜管乐器声所调制，这种现象往往是由于放声扬声器互调畸变指标低劣所致。而派生的加拍、差拍信号，往往使人更加感到不悦耳，有尖刺、发浑、模糊的感觉。有时，感到这些派生信号交织在节目信号之中，类似附加噪声，使节目信号在某种程度上受到掩蔽。这些派生的信号还往往是不谐和音，也就是这种声音与乐音全音阶的各个音符不相重合，因而为害更大。这种现象在重放少年儿童或女声合唱节目时，往往可以觉察到，特别是当发元音时更为显著。

在同一时期，对相位畸变也进行了研究。发现人耳对相位畸变并不十分敏感，虽然它能说明其它指标所说明不了的个别问题，但它在音质评价中所占的位置是不重要的。相

4

位畸变在七十年代又重新引起重视，这是因为其它指标都得到提高，它的影响又相应地加大了。

五十年代以后，很多研究者提出应该十分重视所谓“动态指标”的研究。所谓“动态指标”，是指用非稳态的较复杂信号作为测量信号而获得的技术指标。因为音乐、语言信号等都是非稳态的复杂信号，而传统的三大指标与互调畸变却都是用稳态正弦信号进行测量的，都是“静态指标”，它们不能全面地说明音质，而“动态指标”才能够更好地说明音质评价的结果。

随后发展到使用脉冲测量信号来检验声频设备对音乐、语言脉冲的跟随能力，即瞬态响应的概念。最初，瞬态响应是使用方波作为测量信号，定性地观测方波经过待测声频设备以后的畸变，即方波前沿陡度的变化、到达稳态以后的振荡，以及信号后沿的拖尾阻尼振荡等。这个指标与音乐的某些音质评价有关。方波瞬态响应良好的放大器，重放的钢琴声特别悦耳，特别对跳跃式的短促音符，感觉清晰度增高。以后，又发展到用猝发声作为测量信号。猝发声信号是准确分隔的断续正弦信号，它可以避免方波信号在最低频段产生的波形微分现象。二十年代后期，一些著名的扬声器工厂，都在产品说明中给出用猝发声测得的瞬态响应波形照片，用以定性说明这个指标。我国南京大学声学研究室经过两三年的研究，在1973年提出了用猝发声定量测量瞬态响应的方法，并研制出JTB-1型瞬态测试仪。这种方法的要点是把猝发声不应有的拖尾信号进行积分平均，作为对瞬态响应指标的定量计量。当然，国内外迄今都还没有找到这一指标与音质评价之间的准确关系，但是这一指标的作用是不容忽视的。

六十年代以后，电子工业揭开了新的一页，晶体管电路以及后来的晶体管集成电路得到迅猛发展。到七十年代初期，在声频领域中，晶体管电路与电子管电路相比，已经占压倒的优势。设计人员充分利用了晶体管元器件的特点，发展了大量新型的电路形式。但是，所谓晶体管设备声音不如电子管设备声音好听的问题，却始终没有能够解决。在某种程度来说，这个问题扩大了主客观评价的不一致性。人们不禁要问：晶体管化或集成化电路的各项技术指标都已明显地优于过去流行的电子管电路，可是为什么晶体管设备听起来总觉得声音较硬，特别是高频声发刺、发燥，有时还有“金属声”的感觉，不如电子管设备柔和动听，即为什么晶体管设备有所谓“晶体管声音”呢？经过相当长一段时间的摸索，才发现晶体管设备在过载点以后，谐波畸变与互调畸变急剧增加，而电子管设备在过载以后，这两种畸变的增加却比较平缓。从监测示波器可以看出，过载后前者的波形被切削平头，而后者只是头部变圆或略呈弯曲。这就是说，许多仪表指示不出来的音乐信号中的短暂高峰，晶体管设备把它们切削平头，引起声音发硬发燥，而同功率或同电平等级的电子管设备却不是这样。换句话说，晶体管设备比电子管设备要求有更高的功率储备量和电平储备量。七十年代，国内外许多有关的学者都对这个问题进行了不少研究工作。有些国家在制定功率放大器的标准时，对这个问题作了深入地讨论。我国在研究广播电台专用监听机的功率储备问题时，也对国内一些音乐节目用热卡计法进行了测量分析，找出了最大电平与平均电平的关系，分析了节目的动态范围，指出了各种级别功率放大器应有的功率储备量。

对于晶体管声频设备音质问题的另一个重要研究成果是，芬兰奥塔拉等人提出的瞬态互调畸变（TIM 或称 TID）指标的概念。他们对晶体管功率放大器进行深入研究后，发现现代流行的无输出变压器（OTL）和无输出电容（OCL）的晶体管功率放大电路有一些共同之处。这就是：由于它们大多采用 NPN 管与 PNP 管的互补电路，末级在缺乏大功率 PNP 硅管情况下又大多采用对称性不好的准互补对称单端推挽电路，因而电路的高指标是靠加入高达 50~60 dB 深度负反馈来获得的。为了克服加入深度负反馈引起振荡的问题，往往在激励级晶体管集电极与基极之间，加入一个小电容作为滞后补偿。它使放大器在高频段增加相位滞后，从而抑制振荡。但当放大器输入脉冲信号时，这个补偿电容的充电时间将使输出端不能立刻得到应有的电压。也就是说，输入级得不到应有的负反馈电压，从而使输入级瞬时过载。由于是深度负反馈，过载电压有时比额定电压高数十倍到数百倍，因而肯定被切削平头，这就是瞬态互调畸变形成的基本原因。由上述分析可知，这种畸变是由于补偿电容充电所引起的，因此音量大、频率高的信号更容易引起这种畸变。它很容易被人耳觉察到，而且是更为典型的“动态指标”，谐波畸变与互调畸变是不能包括这个指标的。多次音质评价表明，该指标在很大程度上代表着“晶体管声音”存在的程度，因而这方面研究工作的成果是十分可贵的，是一次技术突破。

随后，为了克服瞬态互调畸变现象，研究出许多优质的电路，它们的主要设计原则如下：

（1）降低整个放大器的开环增益，只使用 20~30dB 的大环路负反馈，在放大器的每一级再施加局部负反馈；

(2) 由滞后补偿改为提前补偿, 其方法是, 在电压增益放大级的发射极反馈电阻上并接一个小容量电容;

(3) 放大器尽量采用对称的电路结构, 由前级到末级都采用推挽电路, 这样, 放大器的开环非线性畸变就比较小。在这种具有比较好的指标的基础上, 再对放大器加上负反馈。因此, 功率放大器最好采用全互补对称电路。在这种理论推动下, 大功率 PNP 高频硅管及大功率 NPN 与 PNP 组装配对管得到了很快地发展;

(4) 各级晶体管的特征频率 f_T 要足够高, 以便使放大器的开环频率响应较好。

近年来, 林诺灵和奥塔拉等人还设计了用方波、三角波和正弦波结合起来对瞬态互调畸变进行测量的仪器。

目前发现, 用运算放大器组成的各种声频电路, 其瞬态互调畸变也较为严重, 同样反映出音质不好。这是由于运算放大器有非常高的开环增益和特别深的负反馈, 并且大多采用滞后补偿的缘故。因此, 运算放大器用于高质量声频系统还有不少问题有待解决。在有些设计中, 不适当地使用运算放大器, 往往把一块高性能运算放大器集成块只当作一个倒相器使用。由于运算放大器是由多个管子所组成, 这样做会使系统的信噪比明显降低, 因此这这也是一个应该注意避免的倾向。

在七十年代初, 对电子管电路与晶体管电路究竟哪一种音质好的问题, 辩论得十分热烈, 有各种分析和评价。因此, 在瞬态互调畸变研究开展的同时, 改进了的电子管电路, 也纷纷被推荐出来, 还有一些是电子管、晶体管或场效应管的混合电路, 形式很新颖。这些电路有着很好的音质, 因而更进一步推动人们去解决晶体管电路存在的“晶体管声音”问

题。对瞬态互调畸变研究工作的顺利进行，已使“晶体管声音”问题趋于解决。

电子电路的发展可分为四个时代，即电子管电路；晶体管电路；集成电路；大规模集成电路。有人认为四个时代中一个比一个先进。现在看来，这种说法不尽全面。因为对于声频、电声设备来说，不仅要看其电路形式，还要看其综合技术指标、综合性能和综合质量。通过前面的讨论，这一点就更加清楚了。

综上所述，声频设备的技术指标有：频率特性、谐波畸变、互调畸变、信号噪声比、相位畸变、瞬态响应和瞬态互调畸变等。这些指标之间，有的是相互联系的，有的是从不同的角度描述同一个概念的，因而目前还很难相互替代或统一。

对于一部专业用高保真度声频放大器的要求应该是很严格的。例如，对于优质的功率放大器，至少应该控制以下一些技术指标：

(1) 谐波畸变 在 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 整个声频频段内，要求谐波畸变应小于 0.2% 。

(2) 互调畸变 在 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 整个声频频段内，按有效值总和测量方法，互调畸变应小于 0.2% ，按差频测量方法应小于 0.1% 。

(3) 工作频带宽度 工作频带宽度应该很宽，其频率上限应该比重放节目的频率上限至少高几个倍频程。也就是说，在 $10\text{Hz}\sim 30\text{kHz}$ 范围内应具有平直的频率特性。也有人提出功率频宽的概念，它是指功率降低一半时的高频上限。对于近代优质的功率放大器，功率频宽可达 $70\sim 200\text{kHz}$ 以上。

(4) 相位畸变 相位畸变应该很小，要求在 $20\text{Hz}\sim$

20kHz 的整个声频频段内小于 2.5° 。

(5) 信号噪声比 要求包括交流声、热噪声在内的信号噪声比大于 70dB。由于目前功率放大器的峰值功率储备都很大,因而计算信噪比时不能按最大功率或额定功率计算,而应该以实际工作功率与噪声功率进行比较计算。或者,标出噪声电压绝对值作为指标。

(6) 输出功率 要求有足够大的输出功率,尤其重要的是,要有足够的峰值功率储备量。这样,当音乐或语言节目中出现短暂的、但振幅很大的脉冲时,或在音乐的高声级片段,才能避免可以觉察到的畸变。由于晶体管放大器的过载指标低于电子管放大器,因而要求晶体管功率放大器有更大的峰值功率储备量。根据经验,对于电子管功率放大器,其最大输出功率应该是平均使用功率的三倍以上,而对于晶体管功率放大器,则要求为平均使用功率的 10 倍或更多。

(7) 输出内阻 放大器的输出内阻应该比较低,这样才能使扬声器得到适当的电阻尼。功率放大器的阻尼系数 f_z 的表示式为

$$f_z = \frac{\text{功率放大器的额定输出阻抗}}{\text{功率放大器的输出内阻}}$$

由于与功率放大器连接的扬声器系统,一般是选用与功率放大器额定输出阻抗相等的阻抗值,所以 f_z 值显示了功率放大器给予扬声器的电阻尼,它反过来影响扬声器的重放效果。 f_z 值应与扬声器要求的电阻尼相匹配才好。

(8) 用奥塔拉法测量的瞬态互调畸变,要求小于 0.2%。

§ 1.3 电声器件的技术指标

对于电声设备,如扬声器、传声器和耳机的技术指标,