



数字声频 技术



DIGITAL AUDIO TECHNOLOGY

〔日〕中岛 平太郎等 著

顾水娟等 译



电子工业出版社

数字声频技术

〔日〕 中岛 平太郎 等著

顾水娟 王家宁 赵莲德 译
谭民望 校

电子工业出版社

内 容 简 介

本书系根据Heitaro Nakajima等著《Digital Audio Technology》1983年英文版译出。全书共九章,第1、2章分别介绍超高保真录音的历史情况和声频技术的革命;第3、4章分别介绍数字式(PCM)录、放音的基本原理与PCM磁带录音机;第5章介绍数字式声频唱片的制式;第6章介绍代码错误及其防范措施;第7、8、9章分别介绍磁带录音机的设计与标准化,以及数字声频的未来展望。

本书是一本数字声频技术的专业性科普读物,内容系统、全面,论述深入浅出,既可供专业工程技术人员、大专院校师生参考,也可供广大无线电爱好者阅读。

DIGITAL AUDIO TECHNOLOGY

H. Nakajima, T. Doi, J. Fukuda, A. Iga

数 字 声 频 技 术

顾水娟 王家宁 赵莲德 译

谭民望 校

责任编辑 古 林

•

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

电子外文印刷厂印刷

•

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 9.625 字数: 236千字 插页: 1

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数: 3300册 定价: 2.20元

统一书号: 15290·240

引 言

由于数字声频技术的开发，使录、放音技术得以达到一个出色的新水平。为以各种各样途径实现声频数字化，人们已经作出了巨大的努力。PCM（脉冲编码调制）系统已有了多种用途，数字声频技术的前景的确是非常好的。

本书旨在向读者介绍目前用以发展数字声频科学技术的各种技巧。今天，这一技术位于最新电子研究开发领域的最前列。在已取得的成就中有许多将能经受今后长远的考验，但也有许多无疑会随着数字声频技术的发展而变化。不管怎样，有一点是可以肯定的：为实现真正的保真放音这一终极目标，数字声频技术是大有前途的。

目 录

引言

1. 超高保真录音的历史道路 1
立体声录音的起始——在重放中遇到的问题——PCM的引入和磁带录音机的革命——PCM磁带录音的现状——PCM技术的背景
2. 声频技术的革命 15
信息传输的新阶段——PCM——PCM技术的背景——在声频网络中加入PCM系统——数字式声频设备的出现——日新月异的高保真系统——唱片制作系统
3. 数字式 (PCM) 录音与放音的基本原理 53
不同调制系统的比较——PCM系统概要——PCM录音放音电路结构
4. PCM磁带录音机 85
记录波长和磁头磁带相对速度——旋转磁头式系统和固定磁头式系统——旋转磁头式PCM磁带录音机——固定磁头式PCM磁带录音机
5. 数字式声频唱片制式 117
电视唱片制式的一般概要——信号检拾制式——向标准化发展——小型唱片数字声频制式——关于小型唱片数字声频的一般资料 (索尼公司与N·V·菲利普斯公司)
6. 代码错误及其防范措施 142
代码错误的性质和原因——代码错误补偿——代码错误统计模型——计算机模拟代码错误补偿
7. PCM磁带录音机的设计 213
低通滤波器——取样和保持电路——模数转换器——数模转换器

——信号处理电路——调制电路——解调电路

8. 家庭用PCM磁带录音机的标准化248

家庭用磁带录象机的数据密度——水平同步与垂直同步的关系

——取样频率的选择——数据安排和信号波形——误码隐蔽与校

正——按照C格式制造的设备

9. 对未来的展望277

数字声频的未来——模拟系统的未来

1 超高保真录音的历史道路

从单声道过渡到立体声，可以说是朝着如实地录制与重放声频信号这一最终目标进展的真正起点。走向立体声的起跑信号是运行速度为38厘米/秒、磁带宽度为6毫米的工业用开盘式磁带录音机的出现。

立体声录音的起始

在1948年，索尼公司开发了作为广播专用原版磁带录音机的一台单声道磁带录音机，而到了1956年就开始制作45-45式立体声唱片了。接着，立体声磁带录音/放音机的生产竞争导致技术上的简化，进而使得发展家用设备成为可能。1963年调频立体声广播成为现实，当年又生产了第一台小型立体声盒式放音机：立体声的时代终于到来了。从那时以来的20年中，注意力集中于利用软件，即三种基本声源：磁带、唱片及调频广播，来不断地改进音质。声频事业之得以繁荣，正是基于上述一系列转变。无疑音质已有了很大的改进，但开盘式磁带录音机却是落后的，实质上它基本上还保留着刚刚发明时的样子。直到不久以前，开盘式磁带录音机仍作为录制原版的主机，並用于复制第二版的母带，这是因为它能提供很好的音质，易于用于录音和重放，编辑时没多少麻烦。

在重放中遇到的问题

1965年之后，三种基本的音乐源——唱片、磁带和调频广播——即建立起来了。就是在调频广播从实验技术阶段走向标准化应用的这一时期，我们试图着手规划在声频通道中有可能开发的

项目。我们试图设想将来的这些开发项目在标准的录、放通道中可能承担的角色，如图 1-1 所示，以及拾音、录音和放音方法会有什么样的发展。换言之，一开始就希望弄清在声频网络中哪些部分应该重新设计，甚至哪些部分应该重新开发。曾经花了整整一年的时间，为当时的声频网络研究和介绍标准化的测量技术，并为鉴定音乐质量规定了一些技术参数，这样不论在技术要求上或主观评价上，上述测量技术都能做到既准确又标准化^{[1][2]}。参考了实际的性能测量，我们研究了动态范围的概念，这个概念反映了信号的实际功率和扩展，以及最广泛意义上的信号失真（包括串音），所谓失真，反映了在原信号中、在多大程度上加入了那些不需要的成分。

如果我们观察可作电子测量的每一设备的测量结果，借此检查声频网络的各个部分的动态范围，我们便会发现如图 1-2 所示的结果。动态范围下限由失真的程度所决定，而失真的程度可通过下述方法加以估算：检查由 A 曲线规定的计权是否存在，从而估算系统噪声和噪声的低频分量的影响。至于动态范围的上限，由两个数据标准，即 1 % 及 3 % 失真度，来反映系统的非线性影响的程度。

从一只传声器输出的拾音电平的强度和动态范围，是由这只传声器的灵敏度以及传声器预放的质量来共同决定的^[3]，如果细心地把电平调好，动态范围有可能做到大于 90 分贝。可是，通过传声器拾音的主要问题，却在于录音场所固有的各种失真，它们是导致动态范围变窄的原因。例如，播音室里的噪声电平，特别是播音室内演员或技术人员走动有可能造成的低频噪声，或空气流动及呼吸的噪声，还有从电气上引入的各种形式的失真。

关于预混合电平放大器，在理想条件下其工作特性曲线代表了实际情况，这时工程师们不会遇到多大的问题。可是，具体决定于用于调整电平的设备，实际上动态范围是有限的。由于动态范围的低电平端和高电平端都因使用均衡器而受到限制，就有必

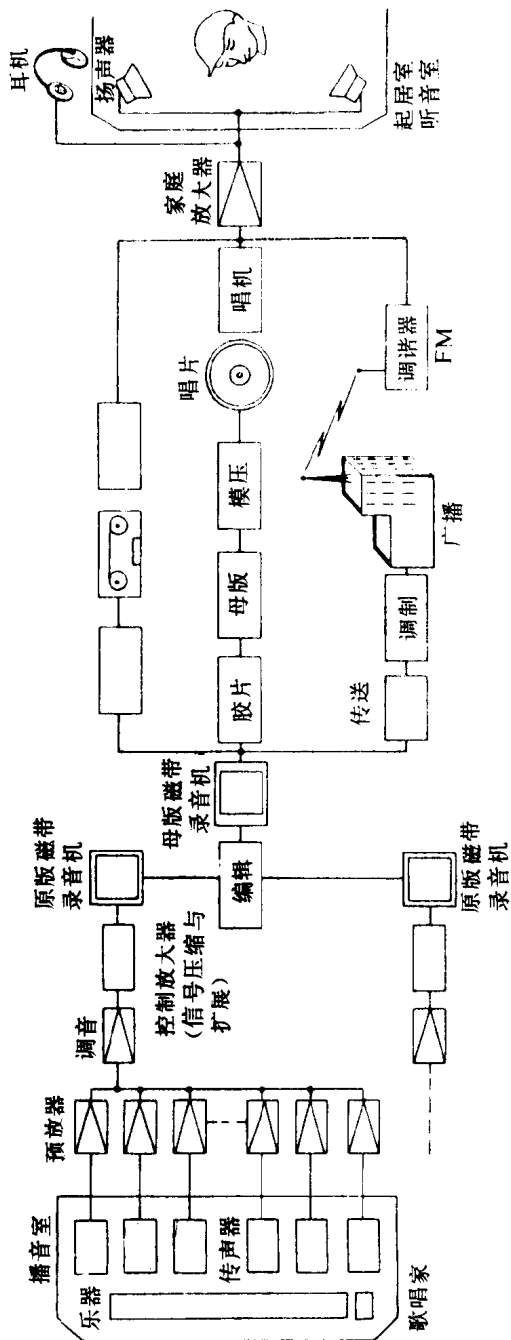


图 1 1 从唱片到放音的声频网络

图 1-2 声频系统动态范围围图图解

要将这点考虑在内，而对实际应用中经常遇到的各种参数作出规定。但事实上是二次声源，如磁带、唱片和调频广播，较之其他设施更多地限制了录音网络的动态范围。因此，就很有必要控制放大量和电平压缩量，而这样做会影响声频网络的声音质量。再则，只要考虑一下，主带与母带是介乎于任何测量结果与三个二次源的产物，人们就可判断，通用的磁带录音机的狭窄动态范围成了某种“瓶颈”，影响到整个过程。然后，与上述同理，考虑一下声频重放系统，就会明白；扬声器的输出功率和监听室的环境噪声级也要限制重放的质量，尽管此时扬声器的动态范围较之磁带录音机要宽一点。

当考虑声音质量和广义上的失真时，不可避免地要依靠试听，这就带来了不少问题。联系到传声器时，如果比较一下一个定向传声器的总频率响应与其前轴频率响应，就会发现总频率响应很窄，而一些难以发现的杂散噪声会造成许多困难。再说磁带录音机，很明显不止是会有磁带调制噪声，而且非线性失真与其他设备相比至少要差一位数。在重放唱片的情况下，拾音头较低的高频限制（目前只有15千赫）以及高低频之间的串音，都带来问题。

由于在调频传输网络中位于调制器前面的限幅器的特性，以及由于各个中继传输线路是分别同步的，实际上不可能以通用的声源作直接的立体声传送。实际上是采用19厘米/秒的磁带录音，这种磁带是原先在本地电台用8倍于正常带速从母带上复制得来的。结果是，根据本地电台的具体情况，在音质上和稳定性上都会有很大的差异，这是因为当地分台的信号都是从母台或本地主台收下来的，这种分台实际上就是转播原传输信号的中继传输系统。

扬声器的性能受到很多与失真相关联的因素的影响；如振动膜和传动器的非线性造成的低频分量的高频失真；由振动膜的不希望有的振动而引起的主要为中频与高频的失真；以及各种调制失真。一般说来，如果从设计的观点来看待用于拾音、录音与重

放的各种设备，这些设备必须追踪在一个个短周期里其幅度大范围变化的一个信号。当然不可能设计一只那么准确的扬声器，使之能忠实地再现原声源的空气振动，这也就是扬声器带来很多因素，使原声变坏的原因。

继续说扬声器，首先是不可能实现这样一种方法，可以抵消由于振动膜的活塞式运动而在重放时产生的高频带振动。另外，要设计一个适当的阻尼系统来抵消机架和机柜产生的振动，也是极其困难的。很明显，这些都是使音质受损的重要因素，所有的设计人员与工程师都完全了解，要化多大的力量去开发新材料和分析最佳尺寸等等。

简言之，从动态范围（广义上的）失真以及音乐质量评价等方面的观点来看，为将来改进音质，最为需要注意的方面就是磁带录音机和扬声器。除此之外，调频广播的传输系统，也应作些改进。但基本上说来，回顾历史，正是曾经推动了音频工业的开发和繁荣的磁带录音机，必须有一场革命，才能在今后数十年中满足音质改进的需要。（本节有关调频广播的内容，是根据日本通常的实践经验编写的。）

PCM的引入和磁带录音机的革命

从实用的角度来说，索尼公司对磁带录音机的革命化提出过新颖的观点，它特别注意录、放磁头和录音带，并注意信号质量以及对音乐的主观评价。关于实际的走带途径，特别是考虑到主导轴与压带轮时，有多种因素影响调制噪声电平及晃抖度：若作如下安排，即让主导轴与马达直接耦合；用皮带将马达皮带轮和两个主导轴飞轮联成一个三角形组合的闭环路系统，那么，走带途径的稳定性将大大增加，而调制噪声和晃抖则将减少。目前一

般磁带录音机的晃抖度均方根值在38厘米/秒时为0.02%，在19厘米/秒时为0.04%。为改进磁带和磁头已作了很大努力。氧化物（ $2\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）颗粒的尺寸进一步减小了（针状晶体的直径从0.8微米减小到0.2与0.4微米之间，指标即改进了3到6分贝），且已尽可能将这些颗粒压得密实而又不损失其矫顽力。另外，使用合金磁带及蒸发技术也带来了改进，使动态范围变宽，高频性能改善。采用了新品种合金，使高性能磁头经久耐用，而针对磁头技术重新修改的霍尔效应，则使低频性能有所改进，并延长了磁头寿命。还利用了如道尔比，Noisex，dBX等公司的压缩、扩张系统，对改进起了作用，使得一般磁带录音机的音质得以缓慢地，但稳步地提高。

一般38厘米/秒、2磁迹的立体声磁带录音机使用6毫米宽的磁带，其特性如图1-3到图1-6所示。如再要作改进，暂不说价格，可以增加带速及磁带宽度。但是限于一些不能克服的结构上的局限性，在目前的发展阶段要在性能上再作进一步的重大改进是不可能的。

要解决一般磁带录音机实际上已达到极限的问题，办法之一是采用对原声源信号作数字化处理的脉冲编码调制（PCM）系统，供录音与放音。用积极地将数字技术投入实际应用，来完成声源全保真的第一家就是日本广播协会（NHK）技术研究所。

NHK设计的设备采用一台1英寸双磁头螺旋扫描磁带录象机作为录制媒质，数字化部分采用的取样频率为30千赫，是一个12比特的压扩系统（5折线量化）线性。初次公开表演是在1967年5月。那时样机安装在一个直立式机架系统上（见图1-7），样机的各种部件约需350万日元（售价大约在二到三千万日元之间）。当时听到过它的声音的绝大多数人的印象是，此项数字式设备所产生的声音清晰而优美，任何一般的磁带录音机确实不能和它媲美。但从音乐的观点来看，数字式设备仍未能抓住声音的实况效果。因此，从这一点看，这架PCM样机不能算是完全成功的。这

架样机並不是一台可用来估价数字式录音设备能力的理想装置，因为它使用了传声器、预放、混合器等等，以及磁带录音的一切常规做法，并没有摆脱老一套而采用全新的技术。

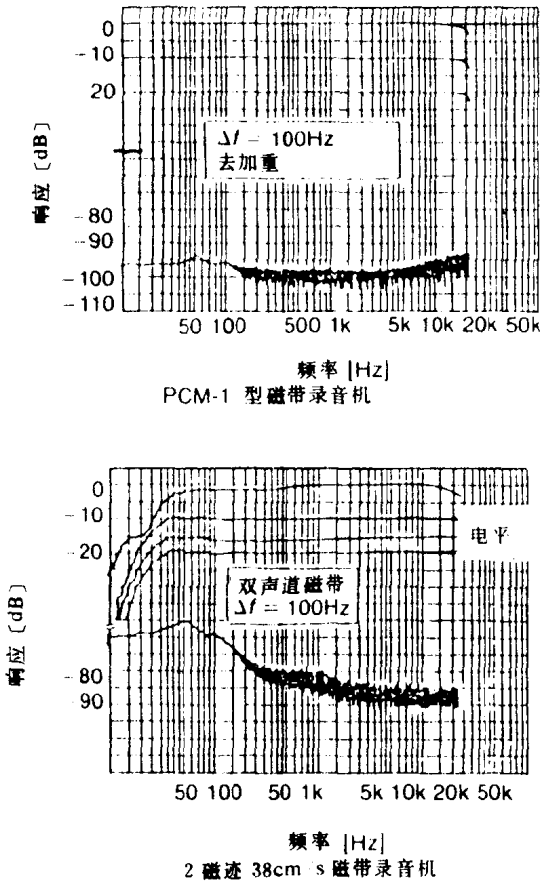


图 1-3 动态范围

但在这次表演以后，至少对PCM技术的优良音质不再有怀疑的余地了。参加这个PCM首次放音表演的工程师和音乐爱好者们不知道这种设备什么时候能成为商品；他们之中的许多人对于

PCM录制系统会对音频工业界产生什么样的影响只有很模糊的观念。事实上，可以毫不夸张地说，由于编辑上的困难、重量、体积以及操作上的问题，还有价格昂贵，还不计及必须采用其它高质量的附属设备（这也是造成高价格的因素），在当时是很难想象会有什么有价值的进展的。

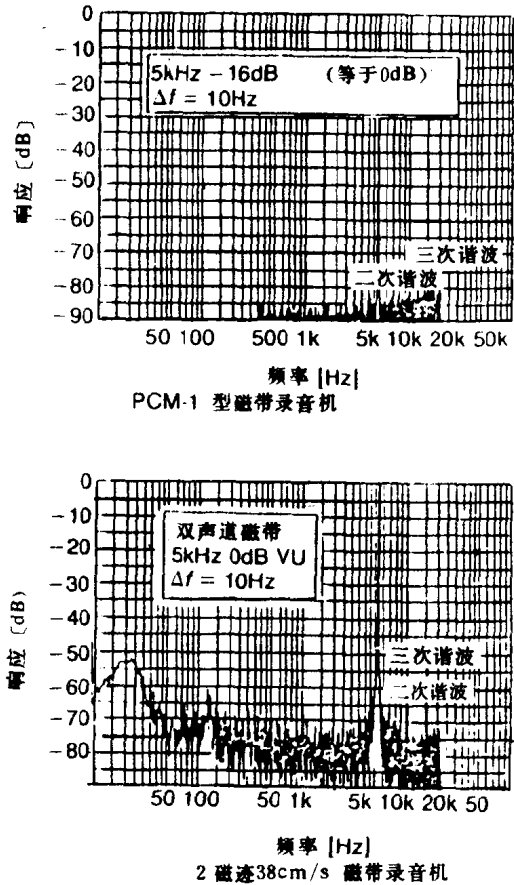
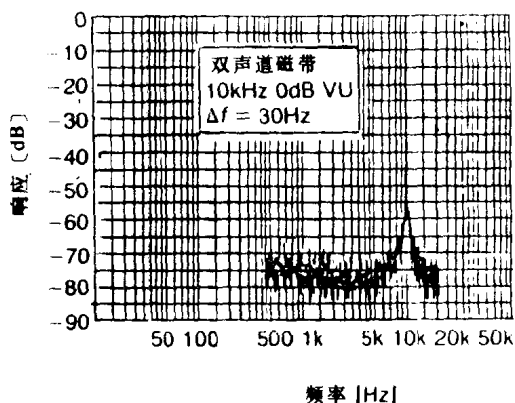
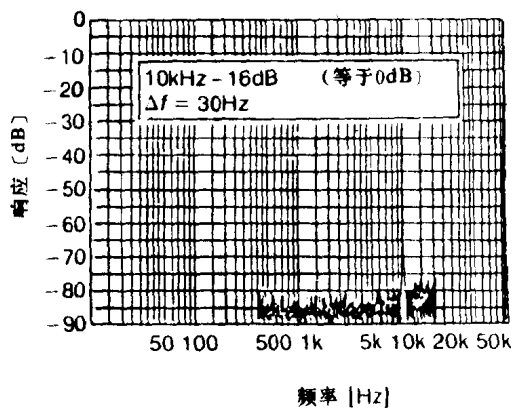


图 1 - 4 5 kHz 上的失真

与此同时，日本哥伦比亚公司开始开发一种用直接刻纹法生

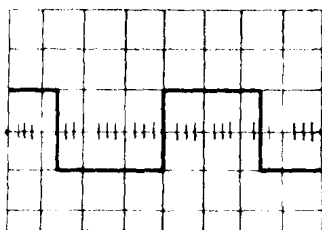


2 磁迹38cm/s 磁带录音机

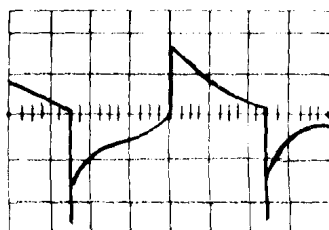


PCM-1 型磁带录音机

图 1-5 调制噪声



PCM-1 型磁带录音机



2 磁迹38cm/s 磁带录音机

图 1-6 脉冲响应

产唱片的系统。这种设想的主要根据，是相信声音质量的主要限制来自模拟式磁带录音机。直接刻纹法在生产过程中刻胶片头版时不必使用原版磁带或母带：实况源信号混合后直接送到刻纹头。

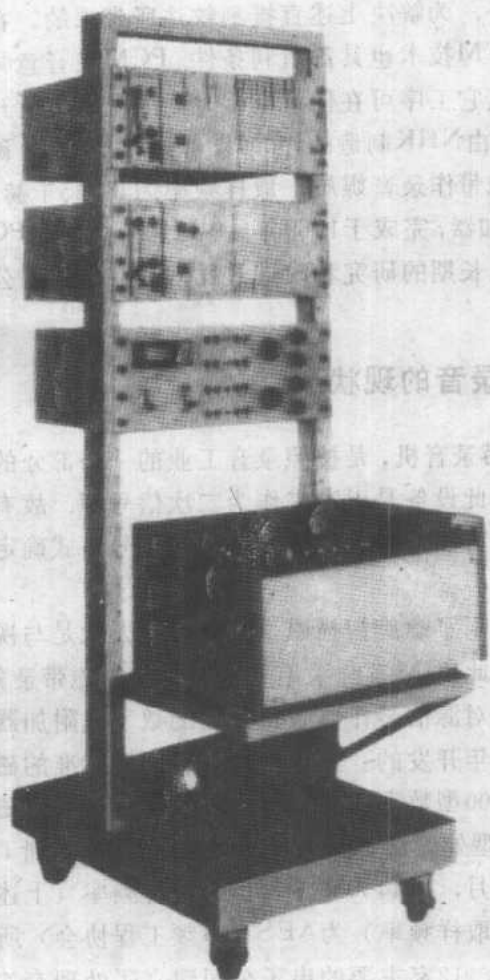


图 1-7 第一台PCM立体声磁带录音机