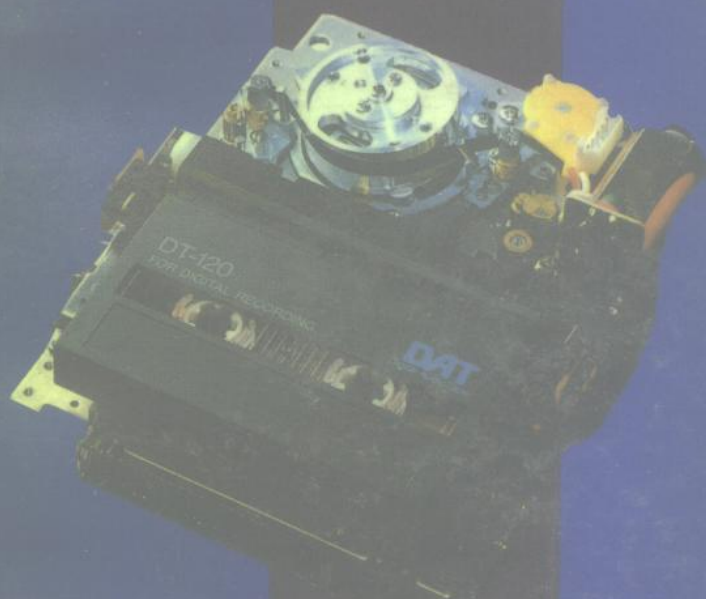


科学丛书

数字磁带 录音机

图解

中島 平太郎 小高 健太郎 著



DAT

科学出版社

OHM 社

711912.22

244

388176

OHM 科学丛书

图解数字磁带录音机

中岛平太郎 小高健太郎 著

何希才 张凤梧 译

卢乃洪 校

科 学 出 版 社

OHM 社

1996

(京) 新登字 092 号

D236/01

Original Japanese edition

Zukai DAT Dokuhon by Heitaro Nakajima and Kentaro Odaka

Copyright © 1988 by Heitaro Nakajima and Kentaro Odaka

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd.

and Science Press

Copyright © 1995

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

图解 DAT 読 本

中島平太郎 才 - 山 社 1988
小高健太郎

OHM 科学丛书

图解数字磁带录音机

中島平太郎 小高健太郎 著

江希才 张凤梧 译

卢乃洪 校

责任编辑 徐津津 魏友民

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

新华公司 激光照排

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 2 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1996 年 2 月第一次印刷 印张: 9

印数: 1—2000

字数: 233 000

ISBN 7-03-004674-9/TP · 428

定价: 24.00 元

作者序言

全世界最先推出的达到商品化水平的数字音响设备，当时借用现有录像机作记录装置的 PCM 处理器——PCM-1，这要追溯到 1977 年。当时，数字音响能否在音响界占得一席之地还很难说，而借用录像机机芯的设想，既节省了大量人力、物力和经费，又能很快地推进到商品化水平，这一方案的确令人拍案叫绝。然而，真正将 PCM-1 作为商品投放市场时，其数字化特征品质固然会受到好评；但将数字系统推广到民用领域，却由于借用录像机机芯而难以达到低成本、小型化、操作简便、多功能化等民品必须的要求，如果自行研制新的机芯，就能充分发挥数字化的特长。人们总是不会满足现状，继 PCM 处理器之后，又着手光盘数字化的研究。在开始阶段，先借用激光视盘进行试制，而进入标准化、商品化阶段后，便自行研制，音响专用的光盘系统，推出了激光唱片（CD）。激光唱片问世仅 5 年时间，就完成了更新换代，取代了密纹唱片。由此可见，上述设计思想取得了多么巨大的成就。

激光唱片的研制成功使我们信心倍增，马上又着手研制具有录放功能的、音响专用的、使用小型盒带的数字磁带录音机（DAT）系统。此后 5 年间，在上述两个系统的经验基础上，并考虑到当前的现状，经过集思广益，反复讨论，终于完成了 DAT 系统的研制。从 PCM-1 的上市算起，经过 10 年来长期不懈的努力，使得最先推出的音响录放系统日臻完善。可以预料，在不久的将来，它将作为更新换代产品。取代模拟式磁带录音机，进一步发挥多功能化的优势，还将不断开拓新的利用方法。

本书是一本叙述在以上背景下诞生的 DAT 系统的读本。第 1 章介绍 DAT 的发展过程和结构,第 2 章回顾 DAT 走向商品化的历程,从第 3 章到第 11 章叙述在 DAT 标准化工作中经过选定并已实现商品化的、使用小型带盒的旋转磁头方式 DAT (R-DAT)。其中第 3 章介绍 R-DAT 的整体构成,第 4 章到第 6 章说明信号的记录重放所必需的纠错、补缺、调制方式、磁迹的自动跟踪方式、为实现多功能化而设置的子码和接口。第 7 章到第 9 章详述为具体实现 DAT 所需的硬件,包括带盒与磁带、放送器的走带系统和机芯以及关键器件等,第 10 章说明 DAT 软磁带的制作方法,第 11 章叙述 DAT 的优良性能与正确使用,最后一章预测 DAT 的未来,进而展望音响技术的发展前景。

数字音响技术从诞生到现在已有 20 年的历史,人们迫切需要理解与数字化有关的技术问题。为了帮助广大读者更深入地理解 DAT 方面的专门知识和疑难问题,特编写本书,以期对 DAT 系统的理解与普及,以及对今后的发展有所裨益。

在本书撰写过程中,索尼公司的井深大名誉会长、盛田昭夫会长、大贺典雄社长向作者提供了研制与开发的机会,并且自始至终给予了指导,在此,谨向他们表示深切的谢意。与此同时,从研制阶段开始,走过一段经过标准化到达商品化的漫长道路,现在已将 DAT 系统的研究成果转化为商品,在这个过程中,DAT 推进中心的 SN 工程各位同仁,给予了大力推动,本公司内部各有关部门,从各个方面提供了强有力的支援和协作,使工作得以顺利进行,借此机会,谨向他们表示衷心的感谢。

最后,在本书从策划到出版的过程中,欧姆出版社给予了多方关照,也给他们添了麻烦,特此向有关各位先生表示深切的谢意。

作者谨识

1988 年 7 月

(张凤梧译)

目 录

第 1 章 数字磁带录音机简介	1
1.1 何谓 DAT	1
1.2 为什么要采用 DAT	3
1.3 数字化过程	7
第 2 章 DAT 商品化过程	23
2.1 DAT 的起步	23
2.2 固定磁头方式的研制	27
2.3 旋转磁头方式的商品化	32
2.4 民用 DAT 的开发	35
2.5 DAT 恳谈会	42
2.6 S-DAT	45
第 3 章 DAT (R-DAT) 系统规格	51
3.1 采样频率与量化位数	51
3.2 DAT 磁带格式	57
3.3 磁迹上的信号配置	61
第 4 章 DAT 的信号处理技术	65
4.1 DAT 中信号流程	65
4.2 纠错方式与交错处理	68
4.3 双重里德·所罗门码	72
4.4 音响数据的交错处理	78
4.5 数据块格式	85
第 5 章 DAT 数据的记录重放技术与跟踪	97

5.1 高密度记录与旋转磁头	97
5.2 8-10 调制方式与重写记录	102
5.3 电磁转换系统与调制解调电路	107
5.4 自动磁迹跟踪方式与主导伺服	113
5.5 重写记录与录音电平	123
第6章 子码与数字接口技术	127
6.1 子码格式	127
6.2 高速检索伺服	141
6.3 数字接口	145
第7章 DAT 的带盒与磁带	151
7.1 DAT 带盒	151
7.2 DAT 用磁带	159
第8章 DAT 走带机构及其原理	165
8.1 DAT 走带机构的基本原理	165
8.2 DAT 的鼓与磁带磁头接触	173
第9章 DAT 装置的结构及其关键器件	179
9.1 DAT 装置的结构	179
9.2 DAT 的关键器件, 信号处理用 LSI	190
9.3 A/D 和 D/A 转换器	201
第10章 DAT 软磁带制作技术	217
10.1 实时复制方式	217
10.2 高速接触式复制方式	221
第11章 DAT 的优良性能与正确使用	231
11.1 DAT 的性能	231
11.2 DAT 的用法	237
11.3 如何录音 (其一) 数字声源	240
11.4 如何录音 (其二) 模拟声源	245
第12章 DAT 与音响技术的未来	257
12.1 DAT 的竞争对手是谁?	257
12.2 DAT 的应用范围	264
12.3 数字音响时代	267

参考文献·····	273
索引·····	275

第 1 章 数字磁带录音机简介

数字磁带录音机通常称作 **DAT**，**DAT** 是英文 (Digital Audio Taperecorder) 的缩写。本章简单介绍被大众传媒称为“王牌立体音响”或者“梦想磁带录音机”的 **DAT** 系统，以及为什么要采用 **DAT**，**DAT** 的结构及其特征。

1.1 何谓 DAT

声音波形以“1”与“0”的二进制数 (已进行了数字化) 直接在录音磁带上进行录音和放音的系统就是 **DAT**。

(1) 本书主要提到的 **DAT** 是 1987 年 3 月已商品化的**旋转磁头 DAT**，即 **R-DAT**。从功能上来看，它就是将立体声音响信号进行数字化，装在长 73mm，宽 54mm，厚 10.5mm 大小的带盒里、能连续录放 2 小时的系统。

(2) 图 1.1 示出这种密封结构的 **DAT** 带盒，里面卷绕着

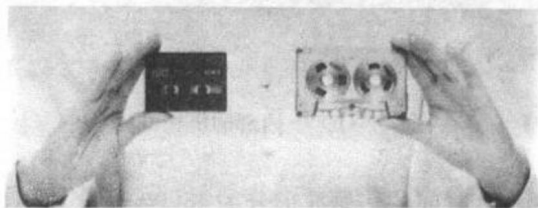


图 1.1

2 第1章 数字磁带录音机简介

3.81mm宽，约60m长的金属磁带，在其上可进行单面录音。

(3) 图1.2表示DAT录音机的外观与内部结构。在直径为3cm的鼓上安装2个磁头，它每分钟旋转2000转，同时在磁带上记录信号。磁带与磁头以3.133m/s相对速度交换信号。

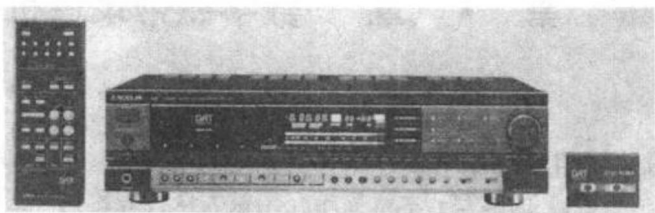


图 1.2 (a)

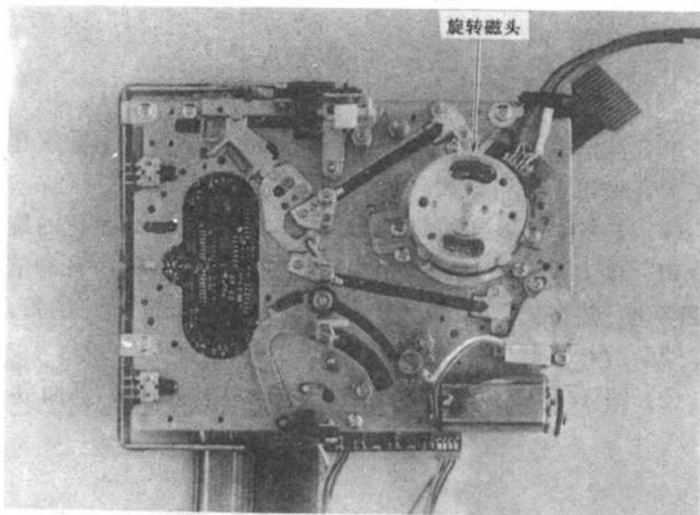


图 1.2 (b) 内部的机械部分

(4) 把1秒时间的信号波形分为48000等份，以16位二进制数，即 $2^{16}=65536$ 个等分刻度测量声波的振幅大小并记录在磁带

上。

(5) 现将这种 DAT 系统的特征归纳如下:

- 信号劣化非常小,即使多次重复录放,信号也不劣化。

——能记录比激光唱片(CD)还要好的音质——

- 能小型化。

——带盒大小约为小型带盒的 60%,能连续记录 2 小时——

- 预计磁带的运行费用和录音机的价格会下降。

——跟现在的磁带录音机相当——

- 后期配音,高速检索,选曲,编辑等都很方便。

——即使对此装置不熟悉的人们也能使用——

- 也能记录除声音以外的数据与图形信号。

——演奏者姓名、收录条件、指挥与歌手形象也能收录——

1.2 为什么要采用 DAT

磁性录音原理

涂在磁带上的 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 与钴金属粉等的强磁性体是多个微小磁铁的集合体,若不外加磁场时,这些微小磁铁的取向各异,但就整个磁体而言,它在外部不表现出磁性。如有外加磁场作用时,微小磁铁将转向与外加磁场方向一致,作用的结果是磁通密度发生变化。磁性变化量,即磁通密度与磁场强度成比例地增大,但增大到某一定值以上时,再加大磁场,磁通密度也不会增大,如图 1.3 中的 $\overrightarrow{OA}$ 所示,这种状态称作**磁饱和**状态。若达到饱和以后,使磁场逐渐减小,磁通密度也随之减小,但减小路径与原来不同,而是按另一曲线下降,如图 1.3 中的 $(\overrightarrow{AB_0})$ 所示。当磁场强度下降到 0 时,磁通密度并不等于 0,而保持一定的剩磁 B_0 (剩磁现象)。若加反向磁场,磁场强度达到 $-H_0$ 时,磁通密度才等于 0,若再增大磁场强度,反向的磁通密度增大,与上述过程类似,产生磁饱和现象。如果再减弱磁场强度,并改变方向,则磁通密度不沿着以前的

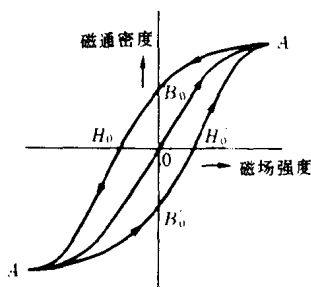


图 1.3 磁性体的磁化曲线

路径变化,而是沿着路径 $A'B_0H_0A$ 变化,这种现象称为磁滞现象。

磁带录音就是利用上述磁体的剩磁特性,为了把磁场加到磁带上,采用在具有狭缝的环状铁芯上绕有线圈的录音磁头,如图 1.4 所示,在缝隙附近区域,磁头与磁带紧密接触。这时,若线圈流经音频电流,铁芯中就会产生磁场,这磁场通过缝隙使磁带上

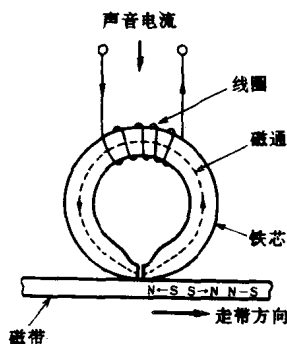


图 1.4 录音磁头

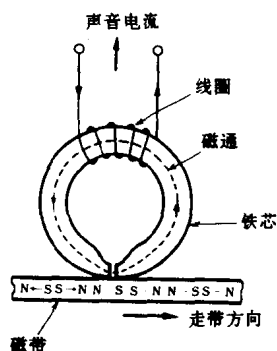


图 1.5 放音磁头

的磁性体磁化。如果磁带沿着图 1.4 中的箭头所示方向走动,对已被磁化部分来说,即使磁场强度变为 0,但磁带上仍留有剩磁

B_0 。若音频电流的大小与方向改变,与其相对应的磁带上的磁通密度也改变。若磁带恒速走动,则磁带上剩磁相继变化,线圈中电流随时间的变化就被磁带上位置的变化所替换,这就是磁性录音的原理。

放音与录音相反,为使磁带上的磁性变化转换为电流变化,采用在结构上与录音磁头完全相同的放音磁头,如图 1.5 所示。若已录音的磁带跟环状磁头缝隙相接触,则铁芯中的磁场强度就发生变化。磁场强度一改变,由于电磁感应作用,线圈中就有电流流通。若磁带恒速走动,铁芯中磁场随着记录在磁带上的磁通密度的大小而改变,进而使线圈电流随时间而变化。

模拟录音与数字录音

以前的磁带录音机是把音响信号电流波形的振幅,原封不动地转换为与电流振幅成比例的磁通密度而进行录音,如图 1.6 所示。再把磁带上磁通密度的变化转换为电流大小的变化而放音。因此,如果加较大振幅电流,由于磁通饱和,则不会产生与其成比例的磁通密度,而产生失真,较小振幅电流就淹没在磁带噪声中。

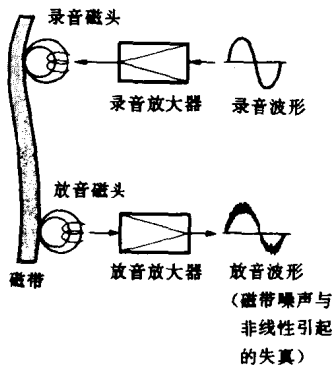


图 1.6 原先的模拟磁带录放系统

另外，磁带的驱动力忽大忽小，而使磁带运行不稳，带速不能保持恒定，产生抖晃，使声音不清而哆嗦起来。因此，音响信号电流为连续的信号时，按其大小原封不动地进行录放的模拟录音方式，在性能上受到限制。

所谓数字录音方式就是把连续的音响信号波形，如图 1.7 所

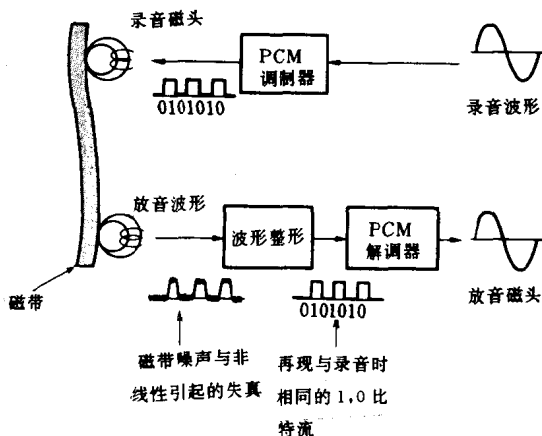


图 1.7 数字式磁带录放系统

示那样按时间进行分割，用“1”或“0”的二进制数直接表示各分割波形的振幅，“1”表示有电流，“0”表示没有电流，把它作为“磁性有变化”与“磁性无变化”记录在磁带上。放音时，磁带上的磁性变化的有无就与线圈中电流的有无相对应，然后计算电流的振幅从而重现原音响信号的电流波形。进行这样的操作，用录音磁头录音，放音磁头放音时，仅是电流的有无和磁性变化的有无作为录放对象，因此，其间即使混入失真与噪声，或转速不稳使波形偏移，若经过图 1.7 所示的电路进行整形，就能正确地重现原音响信号波形。这是数字录音的最大特长，也回答了为什么要采用 DAT 的问题。

1.3 数字化过程

本节研究对音乐与声音那样的连续模拟音响信号波形进行数字化录音的过程。

波形的数字化

首先,从音响信号波形转换为二进制比特流开始。图 1.8 所示的音响信号波形的微小时间间隔决定是否精确读取及忠实重现原来的模拟信号波形。

(a) 采样 如何把音响信号波形横轴的时间进行微小分割,这称为采样^{*}。在 1 秒时间内读取样本的次数称为采样频率,用 f_s 表示。为忠实重现原模拟信号波形,需要能跟踪其微小变化,并读取样本的幅值。为了建立大致的标准,采用由信息论中的采样定理所导出的道理。采样定理认为采样频率应为待重现音响信号频率的二倍以上。

换句话说,若选定采样频率,例如 48kHz (1 秒时间内把音响信号波形分为 48000 等份而读取),该频率的 1/2,即 24kHz,就成为重现音响信号波形频率的上限,在这频率以下的音响信号能忠实地重现,但这频率以上的信号不能重现。

(b) 量化 如何用微小的二进制数的标尺去测量纵轴音响信号波形的振幅,称为量化。采样与量化是波形重现中的重要数值。如果声波的正负最大值之间用 4 个“0”“1”的组合进行标度,则波形的总振幅,可用 $2^4=16$ 个刻度进行测量,如图 1.8 所示。在此,用图示那样粗的刻度就不能正确表示波形的振幅。为了尽量精确地测量这波形,需要更细的刻度间隔,1 数位的 0 与 1 (称作

^{*} 原文对采样所作的说明不够详尽。在电子学中,采样指的是,沿着时间轴,将模拟信号分解为一个不连续的样本,并按一定的频率去采集每一个样本的信号幅值。——校者

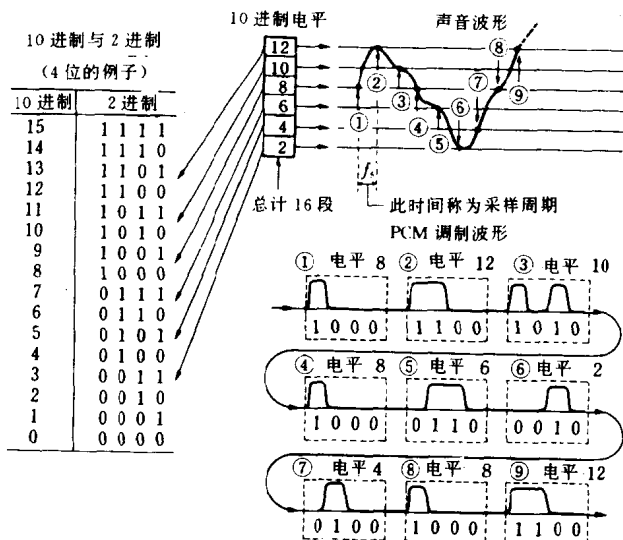


图 1.8 音响信号波形(模拟量)的数字化处理过程
(采样周期=1/采样频率)

1 位), 仅是 $2^1=2$, 2 数位 (2 位) 的 0 与 1 组合有 00, 01, 10, 11 这样 4 种刻度, 即 $2^2=4$, 三数位为 $2^3=8$ 个刻度。4 数位为 $2^4=16$ 个刻度, 如图 1.8 所示, 这些组合的数为量化位数, 称作 4 位量化, 5 位为 $2^5=32$, ……14 位为 $2^{14}=16384$, 16 位实际上为 $2^{16}=65536$ 个微小刻度。然而, 即使位数这么多, 刻度这么微小, 仍不能表示声波振幅的真正值。这是极其简单的道理, 它与真正波形振幅之间存在误差, 这误差称为**量化噪声** (也称为**量化失真**), 这是进行数字化时必定产生的特有的噪声 (参见图 1.9)。这量化噪声随着量化位数的增加而减小, 每增加 1 位, 标尺的刻度精度变为原来的 2 倍*, 它与实际波形振幅的误差就变为原来的 1/2。

* 更严格的表述应该是: 标尺刻度的分辨率变为原来的 2 倍。——校者

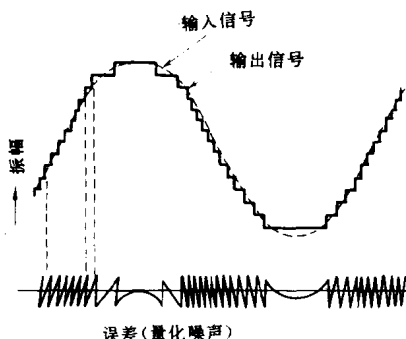


图 1.9 输入输出信号比较及其误差

若用分贝表示, 噪声电平只减小 6dB。因此, 由噪声发生概率等正确求得声波最大振幅与量化噪声之比, 即在声音强弱的动态范围 D 与量化位数 q_b (位) 之间有

$$D = 6.02q_b + 1.76 \text{ [dB]}$$

的关系。如果量化位数为 16 位, 可得到 98.1dB 的动态范围。

以上, 测量声波振幅的标尺是对数刻度, (听觉感受相对于声波振幅这个物理量按对数规律变化), 它是等间隔刻度的线性量化的情况 (参见图 1.10), 但在用较小位数对某个确定声音的强弱范围进行刻度 (也是为了降低位数) 时, 考虑到听觉性质与音响信号性质, 在振幅较小处进行较细的刻度, 在振幅较大处进行较粗的刻度, 如图 1.11 所示, 这称为**非线性量化**。对于这种量化, 小信号电平时量化噪声小, 大信号电平时量化噪声变大, 噪声电平随输入信号电平而变化。因此要想办法使得在较大信号电平时, 即使噪声增加到某一定程度, 听觉上也感觉不出来。

图 1.12 是替代图 1.11 采用量化宽度相对于信号振幅而变化的量化器, 它是把信号先通过图示的压缩器然后加到线性量化器上, 恢复原信号时, 通过特性与图 1.12 相反的扩展器, 这样就实