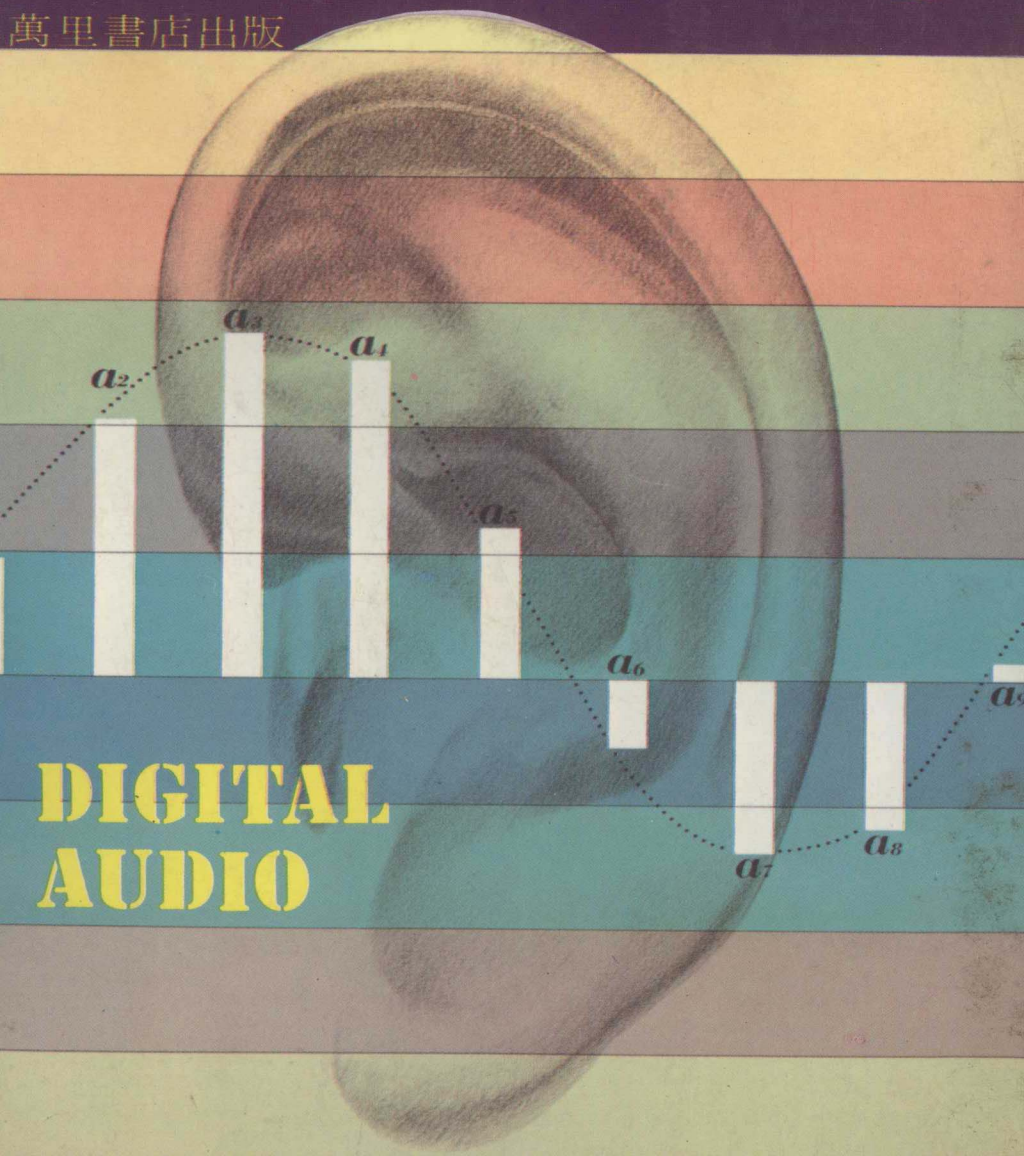


現代電子技術叢書

數字音響技術入門

黎民編譯

萬里書店出版



**DIGITAL
AUDIO**

數 字 音 響 技 術 入 門

黎 民編譯

數字音響技術入門

黎 民編譯

出版者：萬里書店有限公司
香港北角英皇道486號三樓
電話：5-632411 & 5-632412

承印者：嶺南印刷公司
香港德輔道西西安里13號

定價：港幣十八元

版權所有 * 不准翻印

(一九八一年十一月版)

前 言

P C M用於高保真度音響技術方面，自從1967年的第一個立體聲磁帶錄音機公開實驗以來，經歷了10年的歲月進入實用階段。所謂進入實用階段，就是在音響技術或視像記錄技術方面，巧妙地結合了電腦技術和遠距離通訊系統的數字技術所得到的結果。現在一般人都認為，P C M錄音機的音質確實超群，然而，如同其他數字音響機一樣，價格高、操作性能差等乃是一般的通病。可是，如果我們從常識方面去考究一下，數字電路會隨着L S I（大規模集成電路）的引入而使價格逐漸降低，電子技術的飛速進步使機器的操作性能大為改善亦非難事。由此可使數字音響技術較之現在的模擬音響技術更優良是完全可能的。所以我們認為應用數字音響技術的時期將不會和一般人想像的那麼遠。這就是說，音響信號的集音、錄音和放音系統將會出現很大的變化。

現在，從學術上把數字音響技術整理成為體系還有一定的困難，有待於進一步的考查研究。對於這門未成熟的學問，現在就着手來寫，也是覺得危險的，筆者並非不知道會有獻醜的可能，之所以有這個決心，只是認為本書如果能為以後數字音響技術的發展，起一個基礎的作用，那就算是達到了目的。

本書由九章組成。第一章也作為本書序言的性質，一直講述到數字音響引入的過程；第二章講述作為數字音響技術基礎的P C M技術背景，以及現在已經研製出來的機器；第三章是把P C M技術與其他調制方式比較時的特徵，以及記錄音響信號時，採用P C M技術的優缺點，P C M錄音和收音基礎，則以盡可能淺白易懂的方法解釋清楚；第四章講述P C M磁帶錄音機；第五章講述數字音響唱片系統，實現這些系統的不同方法，已經研製成功的機器之構造等等。

在第六章，論述了PCM調制方式的磁帶錄音機與磁碟錄音記錄系統中引起的錯誤編碼的對策，因為它是實用化成敗與否的關鍵，故特別設立一章來討論；在第七章評述PCM磁帶錄音機，動態範圍80～95 dB，量子化bit數為14～16，音頻帶寬DC～20kHz系統，實現這些指標的具體設計方法；第八章則多少有點着重於討論家庭用PCM磁帶錄音機統一規格的所謂C格式內容；第九章討論了由於引入數字技術，使整個音響技術今後發生如何的變化等等作為本書的結束。

從以上可見，本書的內容一部分是數字音響技術的入門，另一部分却是比較專門的。因此本書不僅作為入門的書，同時亦多多少少有作為將來技術發展的基本資料的意圖，因此不但對數字音響技術有興趣的業餘愛好者有用，而且也許會給予以後對這方面技術會有大貢獻的技術人員提供有益的幫助吧。

目 次

前 言	I
第一章 超高保真度的發展和趨勢	1
1 · 1 立體聲化的序幕	1
1 · 2 音響重放問題	1
1 · 3 磁帶錄音機特性的改善和PCM的引入	5
1 · 4 PCM磁帶錄音機的現狀	8
第二章 數字音響技術	10
2 · 1 信息傳遞的新貌——PCM	10
2 · 2 已經面世的數字音頻裝置	17
2 · 3 不斷進步着的音響世界	25
第三章 PCM錄音和放音的基本原理	31
3 · 1 調制方式的比較	31
3 · 2 PCM方式概論	34
3 · 3 PCM錄音放音電路的構成	46
第四章 PCM磁帶錄音機	53
4 · 1 記錄波長與磁帶-磁頭間的相對速度	53
4 · 2 旋轉磁頭方式與固定磁頭方式	55
4 · 3 旋轉磁頭方式的PCM磁帶錄音機	57
4 · 4 固定磁頭方式PCM磁帶錄音機	66
第五章 數字音頻唱片系統	74
5 · 1 視像唱片系統概說	74

5 · 2	信號拾音方式·····	77
5 · 3	數字音頻唱片系統·····	79
5 · 4	走向標準化的趨勢·····	80
第六章 編碼差錯及其對策·····		84
6 · 1	編碼差錯的原因及其性質·····	84
6 · 2	編碼差錯的補償·····	94
6 · 3	編碼差錯的統計模型·····	121
6 · 4	電子計算機模擬編碼差錯的補償·····	127
第七章 P C M磁帶錄音機的設計·····		132
7 · 1	低通濾波器·····	133
7 · 2	取樣保持電路·····	135
7 · 3	A / D變換器·····	137
7 · 4	D / A變換器·····	142
7 · 5	信號處理電路·····	149
7 · 6	調制電路·····	155
7 · 7	解調電路·····	155
第八章 家庭用P C M磁帶錄音機統一規格 (C - 格式) ·····		157
8 · 1	家庭用V T R的信息密度·····	160
8 · 2	水平 · 垂直同步的關係·····	161
8 · 3	取樣頻率的選定·····	163
8 · 4	數據配置和信號波形·····	164
8 · 5	編碼差錯的訂正和修正·····	166
8 · 6	C - 格式的商品化 ·····	175
第九章 將來的展望·····		179
9 · 1	數字化的將來·····	179
9 · 2	模擬系統的將來·····	184

第一章

超高保真度的發展和趨勢

1 · 1 立體聲化的序幕

我們孜孜以求的高保真度音響重放，已經從單聲道放音推進到立體聲放音而日漸進步。立體聲化的起始，可以說是1948年引入的開捲式業務用錄音機。它的帶速為38 cm/s，磁帶寬度為6 mm。

這種錄音機最初只是作單聲道錄音重放之用，在無線電廣播中做主錄音機而引入，1956年開始了45—45方式立體聲錄音法的實用化，隨之也開始試行廣播的立體聲化，因此就着手於把這種錄音機研製成適用於立體聲廣播方面。1963年開始了FM立體聲的試驗廣播，同年又研製成功袖珍（立體聲）卡式錄放音方法，立體聲化得到飛躍發展。其後大約20年間，錄音磁帶、唱片和FM廣播三者，作為二次音源（軟件），音質步步提高，已經成為我們日常生活中司空見慣的了。然而追根究源，乃係上述開捲式錄音機。當時由於認為音質優良，容易錄音，重放和編輯亦易於進行，故特別適合作為原始軟件集錄用的主錄音機，以及製造二次音源母帶之用。

1 · 2 音響重放問題

1965年前後，錄音帶、唱片和FM廣播開始作為立體聲的主要音源。同一時期，也正是FM從實驗性廣播轉變為主要廣播的時期。我們試將音響技術之前景作一瞻望，圖1 · 1為音響集音、錄音、重放

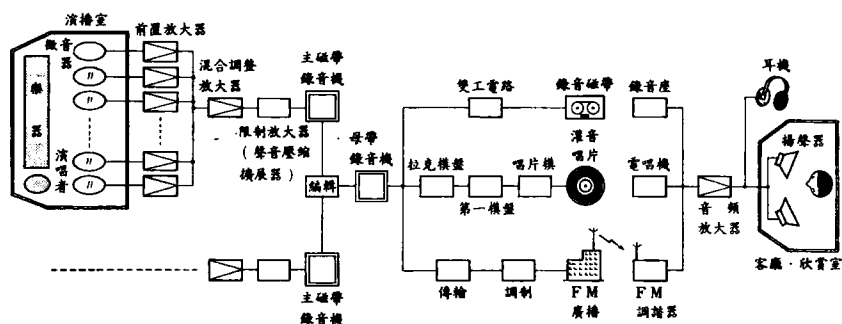


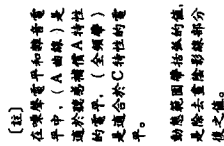
圖 1 · 1 音響裝置的集音、錄音、重放系統概要

的整個系統，可見如果我們側重哪一方面，將來就會向哪一方面發展。因此從現在一直到將來，哪方面需要改進，哪方面需要開拓，必須仔細判斷清楚。為此費了一年的時間，用統一測定、統一音質評價方法，把這些音響全系統進行物理的和聽感的全面評價。作為物理評價的尺度，其一是表示聲音強弱的動態範圍，其二就是表示附加不純音程度大小的廣義失真（包括串音），茲分別敘述如下：

與動態範圍有關的，能以電氣量評價的各種音響設備滙集於圖 1 · 2。動態範圍的下限是噪聲電平或雜音電平，隨着聽感特性 A 曲線之有沒有加權（Weighting），由此能推斷出系統雜音或噪音對低音成分的貢獻。至於動態範圍的上限，由兩種有關高頻失真的數據，可以推斷出對系統非線性的貢獻。

包括有微音器的集音系統，由微音器的靈敏度以及它與前置放大器的組合方法決定了可能集音的強弱範圍。假使電平配置適當，則可確保有 90 dB 的動態範圍。問題在於集音時演播室的噪聲電平，特別是演奏者和必要的技術人員的進入，噪聲的低頻成分增加，演奏者的呼吸和氣流的流動所引起的雜音，各種振動、電磁感應等引起的雜音，都是使動態範圍變窄的原因。

前置、混合、調整等各種放大器，只要電平圖配置正確，就不會出現大問題。但音量控制器就會影響動態範圍，音色調整回路的引入，使得動態範圍的低頻端和高頻端變得狹窄。然而，由於整個音響系統的動態範圍較之任何一單獨部分都要狹窄，故無論磁錄音帶、唱片或



— 3 —

F M廣播等二次音源均可以作為中心部分。因此，就必須有限制放大器和電平壓縮擴張裝置；也就使得全系統音質受到一定的影響。然而，把這些測定結果與三種二次音源製作過程、主磁帶與母磁帶等一併考慮，磁帶錄音機動態範圍狹窄，實在是全體系統性能不夠理想的主要關鍵。至於音響重放系統，則喇叭的最大輸出音壓電平和噪音電平，分別為重放音的最強音和最弱音的限度。至於它的時間轉折點，喇叭動態範圍最高界限能夠比磁帶錄音機的為高。

廣義的失真或者音質，不能僅依賴於聽覺，可由物理量推出下面各點。關於微音器，指向性微音器的方向頻率特性較之正面軸上的頻率特性，同樣是重放頻率範圍狹窄，這就和回聲的音質有關。關於磁帶錄音機，磁帶調制噪聲較之其他的機器的非線性大一個數量級。關於唱片重放，則有唱頭的高音界限低（當時為15 kHz），以及低音域與高音域之間的串音等缺點。

說到F M發射機，則從調制器前面的限幅器之特性，以及F M節目傳送等方面來看，廣播中繼線由於採用獨立同步方式不能作立體聲傳送，在地區主台使用帶速為19cm/s的錄音帶，該錄音帶是把母帶以8倍速度進行配音，本地電台把從總電台和地區主台的廣播電波接收，再以本電台的頻率廣播這樣一種發射波中繼方式，因此，音質、穩定性等隨着地理環境的不同，結果音質的差別很大。

關於揚聲器，起因自振動系統、驅動系統等的非線性產生的低頻高次諧波失真，起因自振動板異常振動產生的中音域的高達百分之幾的失真，以及各種調制失真而使音質劣化實在是最成問題的。總而言之，從設計立場來看集音、錄音和重放等各種設備，能夠設計出一個響應時間非常迅速的、能夠跟隨大變化音響信號的振動系統，以及支承它的支承系統，是非常困難的。故此，這就成為音質劣化的重要原因。

拿揚聲器來說，對於推動音圈的振動板，很難消除它在重放時的高頻振動。而且，對於堅固地支承振動系統的框架和外罩，要制動它的共振頻率也很困難。這些都是使音質劣化的極重要的原因。為了要加以改善，就要研製新的材料，分析求取最恰當的形狀和尺寸，進行多方面的努力才可以解決。

總而言之，由動態範圍、廣義失真量以及音質評價等方面來看，

將來提高音質所需要着力的幾方面，是磁帶錄音機、揚聲器和FM廣播節目的傳送方式。作為使音響技術不斷進步的原動力的磁帶錄音機，在經過十幾年之後，還要求它需要改善音質，實在是太奇妙了。

1 · 3 磁帶錄音機特性的改善和PCM的引入

關於改善磁帶錄音機的特性，就要從機械性能方面改進磁帶的驅動機構、錄放磁頭和錄音磁帶本身。又要從音響信號之特質及聽覺特性方面去考慮，重新研究如何把它們用得更好。關於以主動軸和壓帶輪為核心的磁帶轉動系統，有把主動軸直接裝在馬達上的直接驅動方式，以傳動帶把馬達滑輪和兩個主動軸的整速飛輪聯成三角形的驅動方式，使走帶的穩定性顯著提高，調制噪聲和聲波顫動等都得到改善。現在，在聲波顫動性能方面，磁帶速度為38cm/s時，是0.02% (wrms)；磁帶速度為19cm/s時，是0.04% (wrms)。在錄音磁帶方面，把 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 磁粉製成微粒化（當針狀結晶的縱橫比為7～8時，把長徑從0.8 μm 改為0.2～0.4 μm ，那麼S/N就會有3～6dB的改善），以及由於增加了充填密度而使磁帶雜音更低。更由於合金帶和蒸發沉積帶等新產品的引入，使動態範圍得以擴大和高頻特性得到改進。關於磁頭方面，由於採用了特殊硬質合金和霍爾效應磁頭，改進了低頻特性和耐磨性能。兼且在廣播節目音響中設定了最佳的時間常數，適合於動態失真測定。此後還採用了“杜比”（Dolby）方式、dB X等音響信號的壓縮擴張方式，磁帶錄音機的音質就一步步地得到扎扎實實的改善。

現在，專業上用的立體聲磁帶錄音機，所用磁帶速度為38cm/s，磁帶寬度6mm，其特性見圖1·3～1·6，為了得到超過以上的特性，不管價格多少，可以加快帶速和加大帶寬，但是，這些方法並不能期待音質方面有飛躍的提高，就是說，改善是有一定限度的。

由於現有的磁帶錄音機性能差不多達到了極限，為了打破這個極限，就產生了把音頻信號進行數字化錄音的方法，這就是脈衝編碼調制方式PCM（Pulse Code Modulation）。利用數字方法來處理音

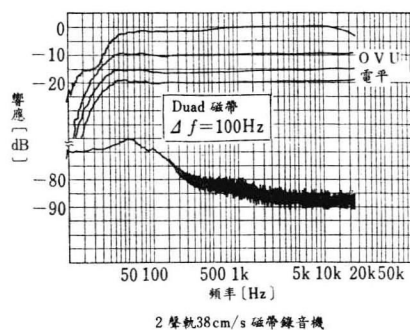
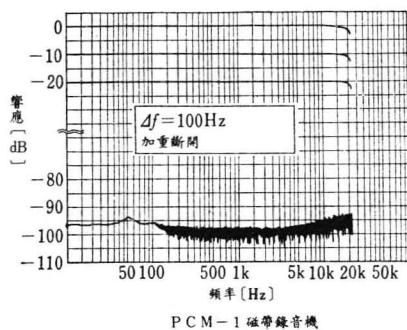


圖 1 · 3 動態範圍

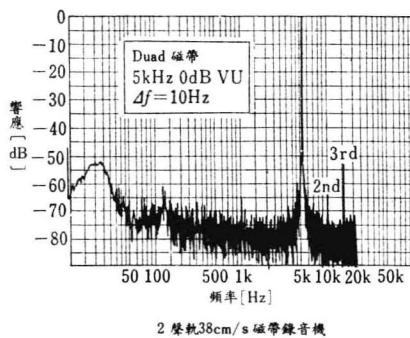
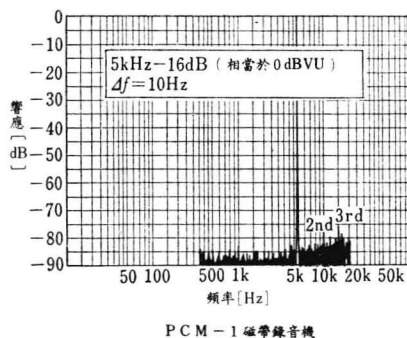


圖 1 · 4 5 kHz 的失真率

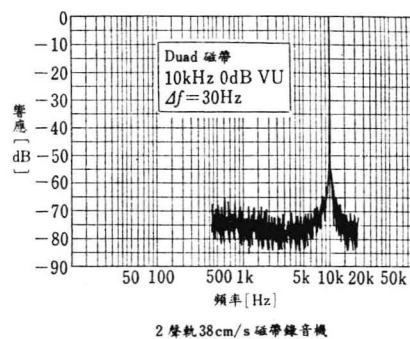
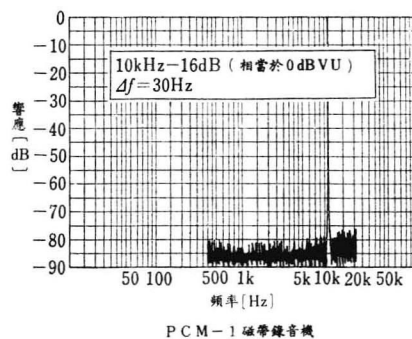
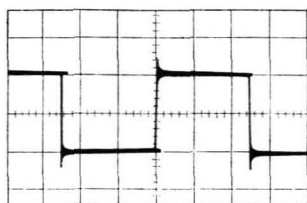
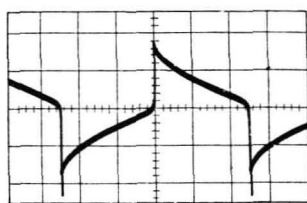


圖 1 · 5 調制雜音



PCM-1 磁帶錄音機



2 聲軌 38cm/s 磁帶錄音機

圖 1 · 6 脈衝響應

頻信號於高保真度錄放音方面的先驅是NHK（日本廣播局）技術研究所。

研製是利用 1 英寸螺旋形 2 磁頭的 VTR（磁帶錄像機）作記錄媒體，用 30kHz 取樣頻率，12 bit 5 折線的取樣比特數，在 1967 年 5 月進行公開試驗（圖 1 · 7）。當時許多鑑賞家的印象是，雖然有很多透徹優美的音質為一般磁帶錄音機所不能達到，但是用作音樂欣賞却未得到所期待的效果。大概這個裝置作為 PCM 磁帶錄音機並非十分完善，而且微音器、前置放大器、混合器等都是為以前的磁帶錄音機而配用的設備，用它們來對 PCM 錄音重放系統進行評價，肯定是很難配合得很好的。

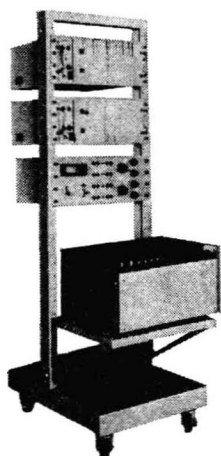


圖 1 · 7 最初研製的 PCM 立體聲磁帶錄音機

無論如何，關於用 P C M 方式錄音重放，音質上某些方面有優點，大家毫無疑義。可能很多人會認為，將來某一天，這種 P C M 錄音重放系統必定在音響技術上佔一席重要的地位。然而，由於編輯上的困難，尺寸大而重，操縱性能差，外圍設備需要性能較高（因而價格也較高）等主要缺點，以及還未發現具體進展的方法，却是當時的狀況。

當時，日本哥林比亞公司採用直接刻槽方式進行唱片製作。由於唱片音質受制約的主要因素是磁帶錄音機，所以這種唱片製作法不用主錄音機和母帶錄音機，直接把演奏音樂和歌唱等音響信號混合調整加在刻槽機上製造出拉克（Lacquer）唱片。這個方法驟然聽來雖然簡單，實際上却是很費功夫的。有關的所有演奏家以及負責混合調節、刻槽等技師，要在指定的時刻，指定的地點集合，在演奏的全過程中，無論是演奏或是集音、刻槽等各個環節，一點都不許出差錯。而利用 P C M 磁帶錄音機來製作唱片，就可以不受時間和場所的限制，在主錄音帶以後的製作工程可以各自分別進行。為此目的 N H K 技術研究所用一台磁帶寬度為 2 英寸的 4 磁頭 V T R，取樣頻率 47.25 kHz，取樣比特數為 13 bit 直線式設備，於 1969 年成功地獲得實用化。

1 · 4 P C M 磁帶錄音機的現狀

上面講到的動機就是唱片製造業一部分引入 P C M 磁帶錄音機的原因，爲了要使之作為製作二次音源的商品化設備，要加上編輯功能、取樣頻率、信號格式等都需要有統一的標準，這項工作已經在國際上進行着。

應用旋轉磁頭的 V T R 方式，和視像機器的迅速進展相輔相成達到實用化階段。1976 年 Sony 研製出了錄像利用普通 V T R 方式進行，音頻信號用數字處理適配器這種聲頻——視像記錄器，在 1977 年推出了以業務用 V T R 和組合式數字音頻處理器 P C M—1600，家庭用 V T R 和組合式 P C M—1 型在市場見面，1978 年 4 月，A E S（音響工程協會）採用了上述機器使用的取樣頻率 44.056 kHz。

另一方面，1970 年代初研製出來的視像唱片，所刻入的視像信號，

有利用光線讀出的光學方式、利用靜電容量變化而讀出的電容量方式、利用電器機械變換器讀出的機械方式三種方法，各自取得不斷進展。考慮到用數字化方式進行音頻信號的記錄，可能需要像視像記錄那樣的頻帶寬度，利用VTR作為PCM磁帶錄音機，視像唱片則作為數字式音頻唱片（DAD, Digital Audio Disk）這種方法進行研製，在1977年9月的音響展覽會上，三菱、Sony、日立等各公司都用光學讀出這種方式進行公開表演。

以此為契機，在1978年，各公司又發表了機械式、電容量式等機器，雖說都是在開始研製階段，但這些唱片系統必會廣泛地用於日常各個方面，因此，製訂一系列的軟件和硬件標準就是十分急需的條件了。為了促進這一方面的發展，1978年9月成立了數字音頻唱片（DAD）交流促進會，世界各國共有35間公司參加，逐步走向世界範圍的標準化的道路。

由以上的情況看來，數字音響技術剛剛經歷了研製創新的階段，由磁帶錄音機的製成進入商品化階段。因為研製的進展和標準化的進展，數字音響技術亦會有多種多樣的發展方向。在廣播方面，只需要有TV電波的頻帶就可以作PCM的音響廣播，同時也有人用衛星進行實驗的。在數年前，磁帶錄音機的音質相對較差，經過改善之後，其地位已有所改變。隨着聲頻系統中音質最差的錄音機取得飛躍的改善，音響技術正向着超Hi-Fi的道路突飛猛進。

第二章

數字音響技術

一般把數字技術稱為電子計算機或宇宙通訊的基本技術，而模擬技術却是在音頻技術追求 Hi Fi 效果中起着核心的作用。在不久之前看來互不相關的這兩種技術結合在一起的“數字音響技術”，在音響技術方面引起了一些變化。究竟它在演播室錄音、唱片製作，再後是在廣播等方面，引起些什麼樣的變化呢？本章通過數字音響技術中之基礎——PCM技術的背景、到現在為止研製成功的數字音響設備等等，一窺這個音響世界的新大陸。

2 · 1 信息傳遞的新面貌——PCM

我們人類在歷史的長河中，對解決信息的傳遞、記錄、處理等問題，經過一次又一次的反覆。而每一次的解決，都給予我們的生活和社會的結構以莫大的影響。

古時候，人們用烽火和鼓聲進行信息傳遞，由於發明了文字，得以對信息進行記錄。計算技術的發明可以追溯到亞洲的算盤。特別是在19世紀後半期，1837年摩斯發明電報、1876年貝爾發明電話、1877年愛迪生發明留聲機，然後1895年馬可尼發明無線電等等，都是改變人類生活的大事情。

其後，在20世紀後半的1940至1950年間，對日後信息分類有極大影響的幾個方面相繼而起。第一就是在1943年賓夕凡尼亞大學和美國軍方聯合研製的世界第一台電子計算機ENIAC。而在1948年，由