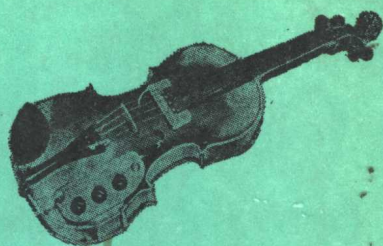


伍 明 編 著



自製電子樂器

香港萬里書店出版

自製電子樂器

ELECTRON MUSICAL INSTRUMENT

伍明編著

香港萬里書店出版

自製電子樂器

伍明編著

出版者：香港萬里書店

香港北角英皇道486號三樓

(P. O. BOX 15635, HONG KONG)

電話：5-632411 & 5-632412

承印者：光藝印刷有限公司

香港北角英皇道657至659號四樓

定價：港幣三元八角

版權所有 * 不准翻印

(一九七六年三月印)

前 言

電子樂器不算新的樂器品種，像電結他、電風琴等樂器，已有數十年歷史了。它們那些特有的悠揚音色，早已爲知音人士所賞識。近年來，由於電子科學高速發展，原有的電子樂器，音質音量大大有所提高，而且出現了不少新品種。像一具普通的電子琴，已可說達到出神入化的境地，只要變動開關，便能奏出小提琴、大提琴、長笛、雙簧管、單簧管、法國號……等數十種樂器的樂音。而且對較高級的演奏技巧，如顫音、和音等，祇需扭動控制器，也就能獲得良好的效果了。

由於電子樂器的迅速發展，可以想見，在不久的將來，當你到音樂廳欣賞音樂時，在舞台上，展示在你眼前的，將不是耀眼的管弦樂器，而是一架架像鋼琴樣式的電子琴，指揮棒一揮動，它們所奏出的，可能是一首雄壯激烈的交響樂曲，也可能是如泣如訴的小調，如果你不是親眼目覩，很可能會懷疑這些樂曲是由龐大的交響樂團演奏的呢！

電子樂器的結構有簡有繁，它們的原理都是大同小異的。筆者在編寫這本書時，希望盡量做到談原理時由淺入深，談製作時由簡到繁。文字簡明通俗，解說多用插圖，

有些玩具式的電子琴的製作，畧具無綫電知識的人都能仿製。要是對這些樂器製作有了興趣，要求有所提高，也可以裝製一些能在正式場合演奏用的大型樂器。

本書共分為兩部分：前一部分着重介紹基本原理，後一部分着重介紹實際製作。前者是基礎知識，後者是經驗實習，兩部分都是不能偏廢的。

電子樂器的發展日新月異，本書所介紹的只能算是近年的新製作，但願大家在這一基礎上，對電子樂器繼續研究，百尺竿頭，更進一步，創造出更多的新設計來。

伍 明

一九六八年三月

目 次

1. 聲的基本知識.....	1
2. 樂音和噪音.....	10
3. 電振盪的產生.....	19
4. 音色控制.....	35
5. 放大器和揚聲設備.....	52
6. 玩具式電子樂器.....	56
7. 光敏電阻控制的電子樂器.....	63
8. 用風琴改裝的電子琴.....	69
9. 電結他的設計與製作.....	78
10. 兩種顫音電路設計.....	94
11. 附有殘響的電結他擴音機.....	98
12. 電結他本體製作方法.....	106
13. 七種電結他擴音機電路.....	111
14. 電小提琴製作法.....	120
15. 電子鐘聲.....	127
16. 能發多種樂音的電子琴.....	134

1. 聲的基本知識

聲音在我們的日常生活中是時刻都會接觸到的。說話、音樂、噪聲等均以“聲”為表現基礎。在談及電子樂器之前，不妨簡畧地談談聲音產生的原理。

聲音的產生

一般來說，聲音完全是由於物體的振動而產生的。我們可以做一個簡單的實驗：當說話時，試用手按着喉頭，你將會感覺到喉頭在振動；聲音停止時，喉頭的振動就停止。另外，在鑼鼓樂器中，聲與振動的關係更加明顯：試用鼓槌向鼓敲一下，使之發聲，接着用手按着鼓面，即能感覺到鼓面在迅速振動，當鑼鼓振動停止，聲音便會消失。至於像小提琴、二胡等弦樂器，是靠弦的振動而發聲的，在管樂中，多以膜片或簧片振動而產生聲音。口琴則靠金屬簧片振動而發聲。

物體振動就可以產生聲音。但是聲音的傳播，是需要旁的物質的幫助的。我們用耳聽到的聲音，可以說全靠空氣為傳播的媒質，能够傳播聲音的媒質除空氣外，還有水、金屬及其他固體物質。而在各種傳播聲音的媒質中，

它的傳播強度取決於該媒質的彈性大小而定。一般來說，水和金屬的彈性較空氣大，它的傳播強度亦較大，對於聲音的傳遞能量耗損就較小。例如：太平洋西岸發生“海嘯”，在太平洋的東岸可以通過測量儀器測驗出來，這足以證明水對聲音的傳遞較空氣傳遞的損耗較少。又如遠方的氫彈或原子彈爆炸試驗，它的發聲響度比雷聲何止高千百萬倍，但遠處的人們無法聽聞，而地震儀器就能測量到，這就全靠“地”的媒質傳播，這些媒質有些是液體，有些是固體。

有些物質對聲的傳播能力很差，亦即是說，它在聲的傳播過程中損耗很大，吸收很大。例如棉花、地氈、絨毛等，這就是因為它的彈性極小。在中學的物理實驗裏，大家都可能做過真空對聲音傳遞的有趣實驗。在實驗時，把一個鐘放進一個玻璃罩內，此時玻璃罩內仍有空氣存在，可以清晰地聽到“嘀嗒嘀嗒”的聲音，這時如果把玻璃罩內的空氣用“抽氣泵”逐漸抽出，鐘的聲音便會逐漸減弱，隨着罩內空氣稀薄到某一程度，鐘的振動聲就完全聽不到了，這證明真空對聲音不起傳播作用。但應注意一般物理實驗的“真空泵”，它的極限可能不到 1mm 水銀柱，現在的所謂高真空技術，最高亦不過達到水銀柱 $10 \times 10^{-8}\text{mm}$ ，一般真空管只有 10^{-4} 的成績，嚴格來說，還不能算是絕對真空。

上述試驗與太空裏的真空度相差極遠。太空的同單位體積只有一個氣體分子而已。所以將來的太空人，在太空中需要說話時，雖面對面，也只能看到對方的口在一上一下

地開合，無法聽到對方在說什麼，需依賴無線電話作聯系。

我們日常接觸到的聲音，是由空氣傳播的，由振動體（又稱發音體或發聲點、發聲源）影響空氣以“波”的形狀傳遞。即如在平靜的湖面上，投進石塊，水面立即出現一圈一圈的圓形波形，以石塊投入的地方為中心，越來越遠地向四圍擴散。當聲波傳遞到人的耳朵，便能使耳膜振動，經聽覺神經鑑別，即能聽到發聲源的聲響了。

聲的物理性質

上面說過，當石塊投進湖中，湖水就能起波動，可以看到水波是一圈一圈的擴展開去。這種波形是一種橫波形式（圖 1-1）。但聲音的波動不是橫向性，而是縱向性的（圖 1-2），它的波動是作疏密式間隔組成。

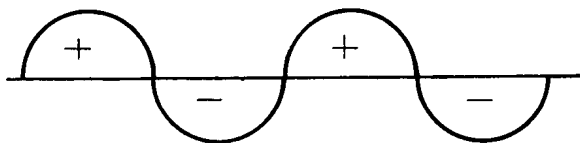


圖 1-1 橫波

聲音的振動，具有不同的速度。圖 1-1 所示一正一負變動一次為一週。表示聲音振動的快慢，一般以每秒變動

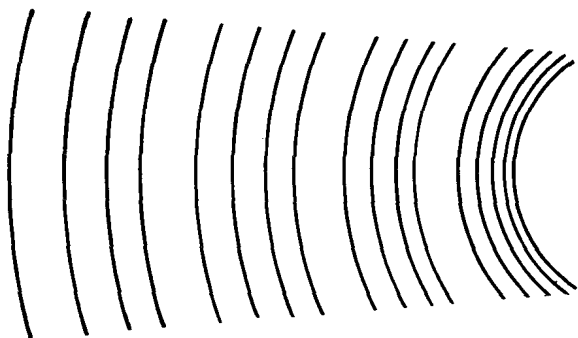


圖 1-2 縱波

多少次數為準，稱為“頻率”，它的單位為週/秒 (c/s)，所以聲音的音調高低就決定於 c/s 值，如 c/s 值愈高，聲音就愈尖銳，反之，則愈低沉。

人耳所能聽到的聲音範圍約在 20c/s—20000c/s，在此範圍內稱為聲波。聲波以外的振動頻率就沒法聽到了，在 20000c/s 以上的不可聞的聲音稱為“超聲”(波)，而在 20c/s 以下不可聞的聲音稱為“次聲”(波)。

聲音由發聲物體向四週幅射，稱為聲的傳播，聲音的傳播速度(v)因媒質的不同而異，聲音在固體媒質中傳播得最快，液體中次之，在氣體中傳播最慢。溫度不同，空氣的傳播速度亦不同，當溫度在 0°C 及在正常大氣壓力 (760cm) 時，聲音每秒鐘傳遞 331.36 ± 0.08 公尺，每升高 1°C ，聲波傳播速度約增 0.6 公尺，為着使用上計算方便

起見，通常以 20°C 時的傳播速度為準。它的傳播速度約為 343 公尺。大家必須知道，聲音的傳播速度，永不會因發聲強弱（聲壓強弱）而改變，主要因素為溫度的變化關係。

根據聲音的頻率週期傳播的速度和定義，我們不難得出這三者之間存在的關係：

$$f = \frac{1}{T} \quad \lambda = Tv = \frac{v}{f}$$

式中 λ 稱為波長，它相當於兩個相鄰和同相振盪點間的距離（見圖 1-3）。

振動體振動幅度的峯值叫作振幅“ A ”，振動體的波幅是跟着時間（ t ）變化的。圖中所示為最簡單的簡諧振動波形，它的波動幅是時間的正弦函數，即波幅隨時間作正弦曲綫變化。

聲音的強弱或響度，決定於振動體的振幅大小。在物理學中，聲音的強弱，是以單位時間內穿過與聲波傳播方向相垂直的單位面積上的能量（即能流密度）來度量的。聲強 I 可寫作：

$$I = 2\pi^2 \rho v A^2 f^2$$

式中 ρ 是空氣的密度， v 是波速， A 是振幅， f 是聲音頻率，聲強 I 的單位是爾格/厘米²秒。

在習慣上，都用所謂聲強級作為度量聲強的標準。因為人耳感覺聲音的強弱互異，因而感受各不相同，一般都與聲強級作正比，通常規定強度 $I_0 = 10^{-9}$ 聲強單位（約相當於頻率為 1000c/s 所能聽到的最弱聲音），作為測量聲強的標準。聲強級 L ，定義為某一聲強 I 與 I_0 比值的常

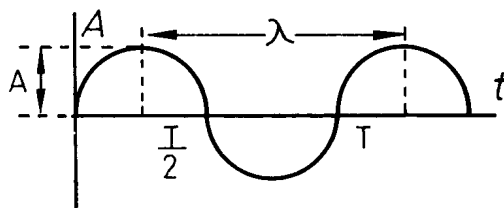


圖 1-3 簡諧振動波形

用對數值，即：

$$L = \log \frac{I}{I_0}$$

聲強級的單位以“貝爾”表示，（貝爾的單位在使用上數值過大，現在多以分貝（db）表示），按此規定， I_0 的聲強級是零，人耳所能忍受的最大聲強約為 10^4 聲強單位，其聲強級是：

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

前面已經說過，引起聽覺的聲振動頻率約在 $20\text{c/s} \sim 20000\text{c/s}$ 間。這種說法嚴格來說，還不是全面的，因為它忽略了在上述頻率範圍內某一聲振動的聲強。實驗指出，可聞聲強不能小於某一數值，也不能大於某一數值。這就是說一定頻率的可聞聲音的聲強有上下兩個限度。當聲強小於這個限度時，就聽不到聲音；而當聲强大於某一限度時，人耳就會產生疼痛的感覺。實驗同時證明，聲強的上

下限是隨着頻率而改變，人耳對於 $1000\sim 4000\text{c/s}$ 的聲音最爲敏感，頻率再高或低，人耳對其靈敏度就逐漸降低。當頻率低於 20c/s 或高於 20000c/s ，無論聲強如何，人耳總無一點感覺了。

聲音的一個重要的特性是音色，又稱音品，發自同一頻率基音的各種樂器，或是人的嗓子時，聽覺所產生的感受是各不相同。例如提琴、鋼琴、風琴和人的嗓子發出任一“唱名”（如中央C 261.625c/s ）的聲音，聽起來就覺得截然不同。這種現象表示出，音調高低相同的聲音，有着不同的音色。因爲每一種不同類型的樂器和各人的發聲，除了以原一“唱名”的同一頻率（暫稱基音 $= f$ ）外，兼有以此頻率爲基音（ f ）作整倍的變化，這就是倍音，例如： $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、 $5f$ 等，各樂器對於此種倍音的含有率不同，它的音色自亦不同了。音色在樂器方面佔有很重要的地位，在後面的篇幅中，將會更詳細地討論。

回聲亦是一種有趣的現象。回聲主要是因爲聲波在行進中，受到物體的阻擋反射，再回到耳畔，由於障礙物遠近不同，反射回來的聲音與原聲在時間上有所差別。我們首先聽到的是直接音，跟着才聽到反射音，這種反射音就是回聲，至於反射音的反射時間，一般以不小於 $1/20$ 秒才能聽到有回音效果。

與回聲原理相似的，是一種稱爲交混回響（或稱殘響），它的性質很是複雜，由多方面的反射音組成一定的連續不斷聲響。與回聲比較，前者是一前一後的反射音，能够清楚地分出；後者是交混在一起發聲的。在效果上，前者屬

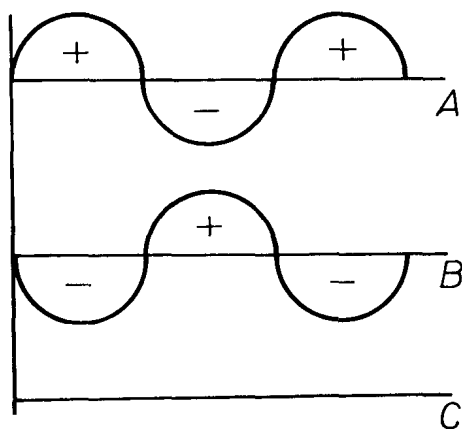


圖 1-4 聲的干擾圖解

於“空谷”性的區域，後者屬於巨型建築物的性質，如教堂、大型音樂廳等均是。

聲的干擾亦為聲的物理性質。所謂聲的干擾，就是在聲的行進中，遇到一個與它的頻率相等和強度相等的另一聲波或反射波，而此兩者的相位是相反的。換言之，即其中一音的波動密，另一音波動疏時，由於疏密的互相抵消，結果會把此聲音的振幅減少或等於零。圖 1-4 表示聲的干擾圖解。圖中 A 和 B 是頻率相同振幅相等，而相位相反的波形，經抵消後即如圖中的 C，祇成一條直綫。這是表示完全抵消後的零值。

聲的物理性質除上述幾點外，還有折射、衍射和吸收等，在本書裏不屬重要論述範圍，故從畧。

2. 樂音和噪音

在我們日常所聽到的聲音中，大致可分為樂音、語言和噪音三種。這三種不同的聲音給予我們聽覺感受的差異是非常明顯的。噪音聽起來單調、刺耳，使人感覺非常不舒服。而樂音則與噪音截然不同，它渾厚、圓滑、諸和而富於變化，給人美感，沁入肺腑，使人心情舒暢。但是，樂音與噪音在本質上到底有什麼區別呢？

基音、泛音和聲譜

上面曾經說過，每個聲振動都有一定的頻率，由這一頻率就可以決定聲音音調的高低。只含有一個頻率的聲振動所發出的聲音，稱為純音。但實際上，純音幾乎不可能存在。亦等於說，聲音是由多種頻率的簡諧振動混合而成的。這些振動頻率中，最低的頻率稱為基本振動頻率 f （簡稱基頻）。基頻所發出的聲音叫基音。除基音以外，其他振動頻率均叫泛音，泛音中那些頻率為基音 f 作整倍的 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ ……等的聲音均叫作“諧音”，以與其他泛音有所區別。

任何一個複雜的聲振動都可以認為是多個簡諧振動的合成，即任何一個複雜的聲振動都相應於一定的聲譜。按照聲譜特性的不同，聲可分為兩種基本類型：一種具有連續聲譜的聲，這相當於一個非週期的振動；振動的能量連續地分佈在一個相當寬的頻帶範圍內（見圖2-1a）。具有連續聲譜的可聞聲就是噪音，如槍炮聲，雷鳴和風吹樹動的“沙、沙”聲等。

聲的另一種基本類型是具有綫狀譜的聲，這就等於一些各自具有其獨特頻率的週期性振動的綜合（見圖2-1b）。

具有綫狀譜的聲振動就是樂音。因此，樂音與噪音在聲的本質上的區別就在於：一個是具有綫狀譜的聲，而另外則是具有連續譜的聲。

樂音

樂音與噪音的差異是很明顯的，但樂音又和語言有何不同呢？語言學的知識告訴我們，語音是由樂音與噪音組成的。語音中的母音都是樂音，而子音的發聲則大多是由噪音組成。樂音和語言的組成還不僅在此，樂音不像語言的發音那麼短暫，樂音中常常持續到半秒或更長的時間。再有，樂音頻率的變換是按照音階的關係而作有計劃的進行，不像語言變換頻率那樣雜亂無章。樂音不是單一的基音，而是由基音和多個複雜的諸音組合而成。在樂音中，有時諸音甚至比基音更強。諸音數目與強度，以及它們成長和衰減的速率，是各種樂器發音各有一定的特有音色的主要原因。例如，管樂和弦樂的音色不同，主要是因為它