

無線電學習叢書

怎样設計放大器

龔淡樵 楊士芳 孫重威 合編



上海科学技术出版社

無線電學習叢書

怎樣設計放大器

龔淡樵 楊士芳 孫重威 合編

上海科學技術出版社

內 容 提 要

1. 这是一本專題初步討論音周放大器的书，对音周放大器的各种基本原理簡明扼要的逐一闡述，并列举数十种具有成績的放大器設計实例，使理論和实验密切連貫。
2. 每册随书附贈道林紙精印之唱盘轉速校驗卡，并在首頁发表校驗轉速之条紋計算法。

怎样設計放大器

龔淡樵 楊士芳 孙重威 合編

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 003 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印張 12 10/32 插頁 1 字數 268,000

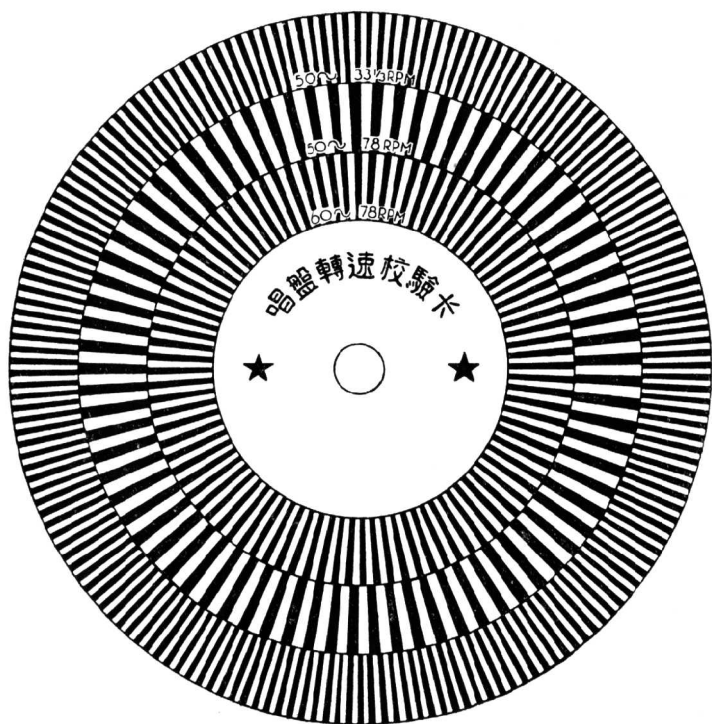
(原交流、科技版共印 45,000 册 1953 年 2 月第 1 版)

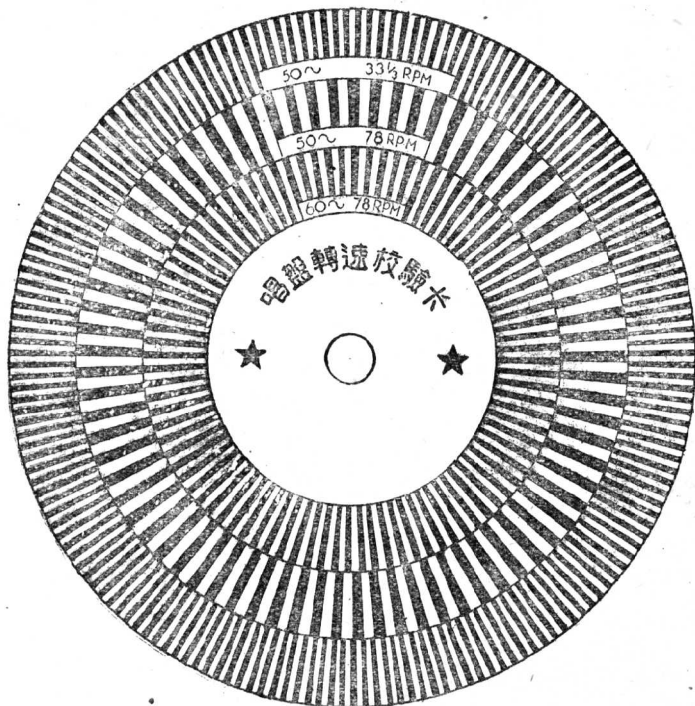
1962 年 3 月新 1 版 1962 年 11 月第 2 次印刷

印數 5,001—15,000

統一书号: 15119 · 570

定 价: (十二) 1.40 元





上面的唱盤轉速校驗卡是用來校準唱盤的速度使得到原來音調的，用時先將前面道林紙印的校驗卡剪下，糊在厚紙版上，放在唱盤上來校驗，最好在日光燈或霓虹燈光下，在電燈光下也可以，但是不能在日光或其他光源下，如果燈光電源是50週（50 $\sim$ ），唱片轉速是每分鐘78轉（78 R.P.M.）的，當唱盤轉速校準的時候，可以看到中間一圈（77 綫）黑白綫好像定着不動，如果唱盤較快，那末黑白綫漸漸的順時針方向前進；相反的，在較慢的時候黑白綫就漸漸反時針方向後退；相差快慢愈大，黑白綫行動愈快，如果在50週電源下校驗每分鐘33 $\frac{1}{2}$ 的轉速，可以看外面一圈（180 綫），在60週電源下校驗每分鐘78轉時，可以看裏面一圈（92 綫）。

用其他電源週率來校驗其他每分鐘轉速時，黑綫根數可由下面算式求得：

$$L = \frac{2f}{\frac{\text{R.P.M.}}{60}} \quad \text{或} \quad \frac{2f}{\text{R.P.S.}}$$

算式裏： L = 黑綫根數， R.P.M. = 唱盤每分鐘轉數，
 f = 燈光電源週率， R.P.S. = 唱盤每秒鐘轉數。

計算出來的綫數，在畫的時候，必須很平均分配在圓圈裏，否則雖然唱盤校準到規定的轉速，所看到的黑白綫將忽前忽後的跳動。

目 錄

第一章 聲的認識..... 1

- | | | | |
|----------------|---|----------------------|----|
| 1. 聲的來源..... | 1 | 6. 共鳴..... | 8 |
| 2. 聲波..... | 2 | 7. 回聲..... | 8 |
| 3. 聲的傳播速度..... | 4 | 8. 聲的干涉..... | 9 |
| 4. 聽覺的限度..... | 5 | 9. 聲學的重要..... | 10 |
| 5. 樂音和噪聲..... | 6 | 10. 各種物質的聲音吸收係數..... | 11 |

第二章 把聲響變作電能..... 13

- | | | | |
|--------------------|----|-----------------|----|
| 1. 話筒的種類..... | 13 | 11. 話筒的選擇..... | 26 |
| 2. 炭精式話筒..... | 14 | 12. 話筒的使用..... | 26 |
| 3. 儲電器式話筒..... | 17 | 13. 話筒的佈置..... | 27 |
| 4. 晶體式話筒..... | 18 | 14. 拾音器的種類..... | 27 |
| 5. 動圈式話筒..... | 20 | 15. 電磁式拾音器..... | 28 |
| 6. 壓力激勵式話筒的缺點..... | 21 | 16. 晶體式拾音器..... | 29 |
| 7. 速率式話筒..... | 22 | 17. 唱針..... | 30 |
| 8. 話筒的輸出水準..... | 24 | 18. 磁性錄音機..... | 31 |
| 9. 話筒的輸出電壓相位..... | 25 | 19. 有聲電影..... | 34 |
| 10. 單方向性話筒..... | 25 | 20. 總結..... | 36 |

第三章 將電能變作聲響..... 37

- | | | | |
|----------------|----|-------------------|----|
| 1. 失真的根源..... | 37 | 6. 號筒口..... | 48 |
| 2. 簧舌式揚聲器..... | 40 | 7. 號筒的形式..... | 49 |
| 3. 電動式揚聲器..... | 42 | 8. 發音頭..... | 50 |
| 4. 助聲板..... | 44 | 9. 揚聲器所需要的特性..... | 52 |
| 5. 號筒..... | 47 | | |

第四章 電壓放大.....54

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. 電子管放大的基本作用.....54 | 23. 音調的控制方法.....86 |
| 2. 負荷電路.....56 | 24. 控制音調的幾種方式.....87 |
| 3. 輸出電壓和輸入電壓的相位
關係.....57 | 25. 實用音調控制電路.....92 |
| 4. 電壓增益的算式.....59 | 26. 反相回輸的需要.....94 |
| 5. 負荷電阻和屏極電阻的關係.....60 | 27. 電壓回輸.....94 |
| 6. 負荷電阻對電路的影響.....61 | 28. 電流回輸.....97 |
| 7. 電壓放大用那一類的電子管.....61 | 29. 反相回輸的優點.....99 |
| 8. 五極管電壓增益的算式.....63 | 30. 反相同輸的作用.....102 |
| 9. 五極管的障柵極電壓.....64 | 31. 推挽式放大級的反相同輸問
題.....106 |
| 10. 五極管的負荷電阻.....65 | 32. 反相同輸的相位關係.....108 |
| 11. 遙截止式和銳截止式五極管.....65 | 33. 怎樣推動推挽式放大級.....109 |
| 12. 五極管的輸入電壓.....66 | 34. 相位的截分.....109 |
| 13. 負荷電路的實現.....66 | 35. 相位倒置.....113 |
| 14. 電壓增益的計算實例.....68 | 36. 推動電力的需要.....115 |
| 15. 各種放大管的電壓增益.....72 | 37. 陰極輸出器.....116 |
| 16. 全部電壓增益的計算.....73 | 38. 陰極輸出器的應用.....117 |
| 17. 放大管的安排.....75 | 39. 直接交連.....120 |
| 18. 訊號混合的方法.....77 | 40. 陰極直接交連.....122 |
| 19. 訊號混合的安排.....81 | 41. 音量壓縮的需要.....124 |
| 20. 多個訊號的混合.....82 | 42. 音量壓縮的方法.....124 |
| 21. 退交連電路是必需的.....84 | 43. 音量的擴展.....125 |
| 22. 音調控制的需要.....86 | |

第五章 電力放大.....127

- | | |
|------------------------------|------------------|
| 1. 幾個關於電力輸出方面的問
題.....127 | 3. 屏效率.....131 |
| 2. 電力放大管的條件.....129 | 4. 屏消耗.....133 |
| | 5. 電力靈敏度.....134 |

6. 集流電力管的優點.....	134	14. 乙類放大.....	150
7. 甲 ₁ 類, 甲乙 ₁ 類, 甲乙 ₂ 類和乙類放大是怎麼回事.....	135	15. 甲 ₁ , 甲乙 ₁ , 甲乙 ₂ 和乙類放大情形比較.....	151
8. 甲 ₁ 類放大.....	135	16. 電力放大的失真來源.....	151
9. 並連放大.....	139	17. 什麼叫最大不失真輸出.....	153
10. 推挽放大.....	139	18. 失真百分數的計算.....	160
11. 寄生振盪.....	141	19. 輸出電力的計算.....	163
12. 甲乙 ₁ 類放大.....	143	20. 變換曲線.....	177
13. 甲乙 ₂ 類放大.....	146	21. 電力推動級.....	178

第六章 輸出電路的配合..... 189

1. 為什麼要配合輸出電路的總阻.....	189	7. 綫間變壓器的設計.....	203
2. 輸出變壓器的作用.....	189	8. 用低總阻輸出的各種揚聲器接法.....	211
3. 揚聲器的音圈總阻.....	193	9. 用高總阻輸出的各種揚聲器接法.....	216
4. 輸出變壓器的設計.....	194	10. 用電阻來配合負荷電路.....	218
5. 輸出變壓器的繞製.....	203		
6. 抽頭式次級的計算.....	205		

第七章 電源供給..... 219

1. 整流電路.....	219	6. 偏壓壓供給.....	241
2. 整流器.....	222	7. 幾個實用整流電路.....	243
3. 濾波電路設計.....	227	8. 電源變壓器數據.....	249
4. 電源變壓器次級.....	236	9. 濾波扼制圈.....	250
5. 電壓穩定的控制.....	237		

第八章 設計實例..... 252

1. 輸出電力的決定.....	252	4. 設計的步驟.....	262
2. 怎樣選擇電力放大管.....	254	5. 六瓦特放大器(1-6 L6).....	263
3. 放大器的品質.....	260	6. 拾瓦特放大器(2-6 F6).....	267

7. 分壓式倒相器的校正.....	273	20. 五十瓦特放大器(2-6 L6)...	305
8. 收音部份.....	274	21. 六十瓦特放大器(2-807)...	309
9. 拾瓦特放大器(2-2A3).....	276	22. 八十瓦特放大器(2-807)...	314
10. 小型拾瓦特放大器(2-6A Q5)	279	23. 九十瓦特放大器(2-807 三 極).....	317
11. 有音量擴展的十瓦特唱片放 大器(2-6V6).....	281	24. 一百瓦特放大器(2-809)...	321
12. 拾瓦特有聲電影放大器 (2-6V6).....	284	25. 一百二十瓦特放大器(4-807)	323
13. 十五瓦特放大器(2-6V6)...	288	26. 一百五十瓦特交直流兩用放 大器(2-811).....	327
14. 二十瓦特放大器(2-6F6甲乙 ₂ 類).....	288	27. 二百瓦特放大器(4-807 三 極).....	331
15. 二十瓦特放大器(2-6L6)...	292	28. 二百五十瓦特放大器 (2-838).....	336
16. 三十瓦特放大器(2-1625)...	295	29. 三百瓦特放大器(2-805)...	339
17. 三十瓦特放大器(2-1625)...	299	30. 五百瓦特放大器(2-810)...	343
18. 四十瓦特放大器(6-6V6)...	301	31. 六百瓦特放大器(4-805)...	348
19. 五十瓦特放大器(4-6L6)...	303		

第九章 簡便儀器的製作..... 353

1. 低週振盪器和電子管電壓表	353	3. 失真分析器.....	359
2. 輸出電力的測量.....	357	4. 陰極射綫示波器.....	363

放大機實驗綫路選..... 376

怎樣設計放大器

第一章

聲 的 認 識

音週放大器的基本作用，是把人，樂器，和其他物體所發出的聲音，經過話筒（如唱片，鋼絲錄音等，也間接經過話筒的）把顫動的聲波變成電能，再經過各種的處理，放大後，重新把放大以後的電能改變成機械振動，由揚聲器發出比原來強大的聲音，因此音週放大器工作的對象。就是『聲音』。如果對聲音沒有清楚的認識，是無法搞好音週放大器的，這裏我們首先來簡單的討論一下聲的種種。

1. 聲的來源

如果我們在講話的時候，用手按在胸膛上或喉頭，一定可以感覺到胸部喉頭的振動，如果用手去摸正在發聲的鑼鼓，也可以感覺到鑼面和鼓面的振動，如果講話或是鑼鼓的敲擊停止，這種振動也跟着聲音而停止。我們更可以推想到胡琴的發聲，是由於拉奏時弦綫和鼓膜的振動，口琴發聲是由於吹奏時簧片的振動，因此我們知道聲音的發生，是由於某種物體的振動而造成音波，由彈性介質 (*elastic medium*) 的傳播而到達人的耳膜。彈性介質，就是能夠被聲波所壓縮或擴展的物質，譬如這裏所說的是空氣。

聲音的定義可以分爲兩方面來講：(1) 從物理方面來說，聲音是由物體的振動所造成。(2) 從生理方面來說，聲是一

種感覺，由物體的振動經彈性介質好像空氣等的媒介，再傳到人的耳膜上而感覺到聲音。

也許還記得在學校裏作物理實驗時把一只時鐘放在抽氣機的玻璃罩裏像圖 101，在沒有抽氣以前，可以很清晰的聽到鐘聲，當玻璃罩裏的空氣漸漸的被抽去時，鐘聲也漸漸的低下去，終至一些也聽不到，如果再把空氣放進罩裏，鐘聲又能夠聽到。這個實驗，很明顯的知道空氣是一種彈性介質，它能跟着物體的振動而把聲音傳播，沒有空氣就無法聽到發聲體的聲音。

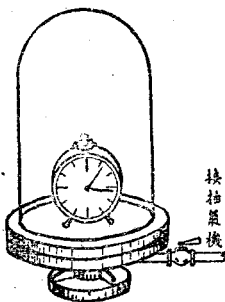


圖 101

除了空氣之外，其他的氣體、液體、和固體，都能夠傳聲，他們傳播聲音的強度，是以物體的彈性大小來決定的，如某種物體的彈性比空氣大，那末它的傳聲能力就比空氣強，好像水裏的魚，祇要水面略有擾動，便能覺得而驚散，再好像把耳朵貼在火車鋼軌上，能聽到很遠的火車聲，這可以證明水和鋼鐵的彈性比空氣大，反之我們普通用作隔音設備的棉花，毛織物，地毯等，能阻塞聲音，使它不能外傳，就是說這種物質的傳聲能力比空氣弱，也就是彈性比空氣小。

2. 聲 波

『聲』是一種波，但是這種波是不易看見的，所以我們先把看得見的水波來討論一下，把一塊小石子投到平靜的水面上，可以看到石子落下一點的水面上，產生一上一下波動，這波動漸漸向四週擴展開去，如果在這擴展範圍的水面上，原來浮有乾草枯葉等東西，便可以看到它們雖然跟着水波動盪，也上下的波動，不過仍舊停留在原來的地位。由此證明水波祇能把投入石子的能力傳播開去，使四週物質跟着它一

樣快慢的波動，這是一種波形的動盪，而不是水的質點移動，這種動盪的快慢，也就是週率。水能夠藉波的動盪傳播能力，同樣的，氣體、液體、和固體的波動、也都能傳播能力的。

這種能力的傳播，是逐漸消失的，原因是這些『能』在傳播進行中，遭遇到介質的質點摩擦，或是遇到其他物質而消失，正好像電能在電路裏爲了要克服電阻而消失一樣。

聲波和水波是非常相似的，不過水的波動是橫波 (*transverse wave*)，也就是振動的方向互相正交 (*orthogonal*) 的，圖 102 是水的橫波。

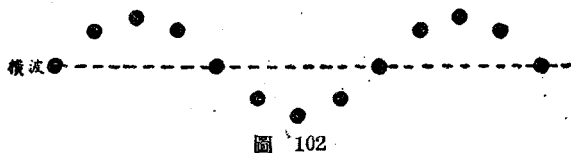


圖 102

聲波是縱波 (*longitudinal wave*)，也就是聲的振動是由稠密部和稀疏部互相間隔而組成的，圖 103 是聲的縱波。



圖 103

圖 104 (a) 是一根彈簧圈 *b*，它的一端接連音叉 *a*，另外一端接在固定物 *c* 上，音叉靜止的時候，彈簧圈和圈之間的距離是相等的，當音叉振動發聲時候，彈簧圈間的距離，就排列成圖 104 (a) 的樣子，我們看見有三種不同形狀是由於音叉三種不同位置所造成，在 1, 3, 5, 7 各點的形狀和平常相同，也就是音叉振動位置在當中 (和靜止時位置相同) 時的現象；2, 6 兩點的彈簧圈稠密起來，這時是音叉振動向右時把彈簧壓縮；在 4 點時彈簧圈稀疏起來，這時是音叉振動向左時

將彈簧圈擴展的。如果用一根話管來代替彈簧圈如圖 104 (b)

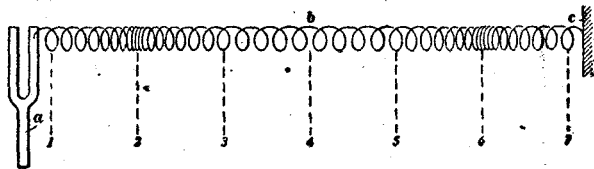


圖 104 (a)

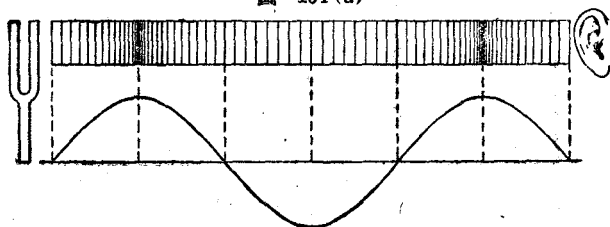


圖 104 (b)

，管子裏的空氣質點就像彈簧圈一樣，因音叉的振動而壓縮疎展，由此我們知道聲波由空氣作傳播時，是把空氣壓縮和疎展的。圖 104(b) 下面是把聲波畫成曲線，稠密和稀疏的兩點，就是反方向振動的兩個峯點。

3. 聲的傳播速度

無線電波的傳播速度和光波相同，是每秒鐘 3×10^8 公尺。聲波的速度，當溫度在 0°C (32°F) 和大氣壓力 760 公厘的時候，每秒鐘可傳播 331.36 ± 0.08 公尺，(約 1088 呎)，溫度每升高 1°C ，聲的傳播速度每秒約增加 0.6 公尺，爲了便利一般實用起見，通常是用 20°C (68°F) 時的傳播速度每秒鐘 343 公尺(約 1128 呎)來做計算標準，聲的速度並不因爲它週率或音強而改變的。

聲波的波長，可以用下面算式計算：

$$l = \frac{v}{f}$$

算式裏： λ 是聲波的波長， v 是聲的速度， f 是聲的週率。

4. 聽覺的限度

人類的聽覺所能聽到的聲音是有限度的，僅能聽到聲的一小部份，而且每一個人的聽覺限度也各有不同，普通一般人的聽覺範圍是從 20 週到 15000 週，老年人的聽覺對於高音不易聽到，雖然也有些人能夠聽到 15—22000 週，但祇是例外，所以一般所稱音週的範圍是以 20—15000 週為標準的，也就是從 2 公分到 17 公尺左右音的波長。

圖 105 是音週譜和各種聲音的關係，在這圖裏可以看到各種發聲體的週率範圍。

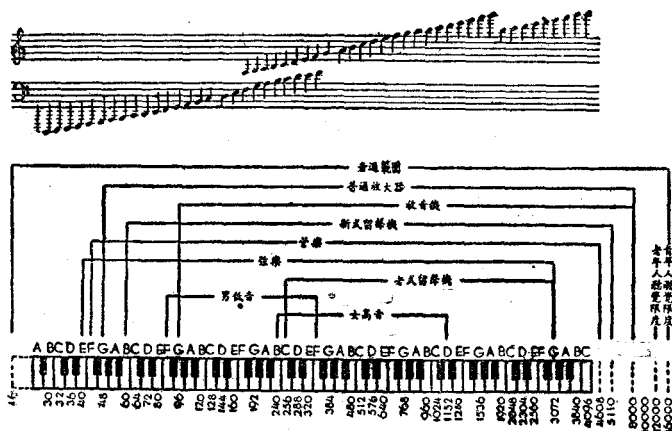


圖 105 音週譜

雷聲的週率相當的低大約 20—40 週，男子講話平均週率是 128 左右，女子講話平均週率是 256 左右，門臼聲的週率相當的高，大約在 12,000 週以上，昆蟲的唧吱聲週率更高，大約在 16,000 週左右。

5. 樂音和噪聲

物體所造成的聲音，可以分成兩大類：一類是噪聲，一類是樂音。

噪聲是一種不調和，粗糙而不愉快的聲音，它能激動神經，如果繼續不斷的聽下去，會使人感到精神不安和厭惡，好像雷鳴，炮聲和鉄鏈敲打時發出斷續而單調的聲音等。

樂音是一種恰巧和噪聲相反的聲音，它是有規律，和諧而不單調的聲音，聽了能使人感覺愉快，因此研究放大器的目的，除了把聲音放大以外，對於怎樣可以使噪聲完全免除把樂音全部發揮出來，也是研究的一種主要目的。

樂音有三種特性：(a) 音強，(b) 音調，和(c) 音品。

(a) 音強 有時也可以叫做聲音的響度，例如在一面銅鑼上重重的敲擊一下，就可以聽到很大的聲音，如果輕輕的敲擊一下，雖然也可以聽到和方才一樣的鑼聲，但是比較輕弱得多了，我們所以感覺到聲音的或響或輕，原因是聲波『能』的大小不同，因

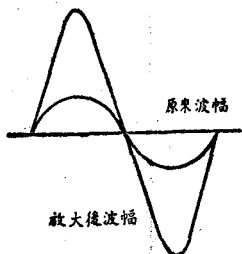


圖 106

此聲音的強度也不同，這種聲音的強度叫做『音強』，放大器就是把音強放大，增加聲波的能，也就是增加聲波的波幅如圖 106。又因為我們聽到的聲音輕響，是跟聲源的距離平方遞減，所以放大器所需要增加音強的倍數，要看使用所在地情況而決定的。

(b) 音調 就是我們通常辨別高音低音等聲音的調門，譬如說用同樣的力，在鋼琴鍵上從左向右彈奏的時候，初起時的粗鈍聲音(低音)，漸漸成為尖銳聲音(高音)。又好像玩扯鈴，初起時扯鈴旋轉緩慢，發出的聲音粗鈍，旋轉速度漸

漸加快，它的聲音也跟着逐漸變成尖銳的高音，因此我們知

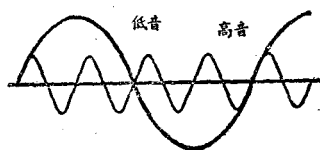


圖 107

道音調的高低，是跟着週率的而高低改變的，在同一時間內，波動次數多的是高音，波動次數少的是低音，可以用圖107來表示，普通女子的音調比男

子的音調高，而男子的音強比女子的音強大。比如在鋼琴的同一個音鍵上用力的彈奏，和輕輕的彈奏時，因為它的波動次數相等，所以音調不變，而它的音強却因着彈奏的輕重而有分別。

(c) 音品 有時也叫做音色，假使有二種聲音，雖則它們的音強是同樣強弱，音調是同樣的高低，但是我們聽了之後，就知道是由兩種不同的發聲體所發出來的，好像用小提

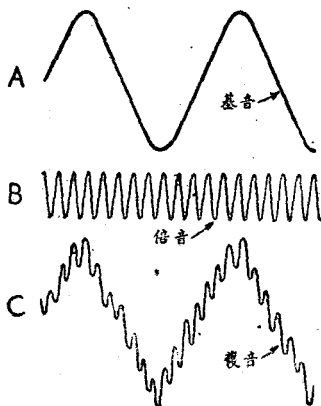


圖 108

琴發出256週的C音(do)，和京胡發出的256週的C音(do)，它們的音強可以完全一樣，週率也是相同，然而任何人一聽就能夠立刻指出這二種聲音，是由二種不同樂器所發出來的，這就是音品的關係。

任何一種音樂聲，如果我們精細的察聽，可以知道它的週率不止一種，除了基音 f 外，同時可以有它的倍音 $2f$, $3f$, $4f$ ……等音的存在，又因為發音體所發出的都是複音，除了它的倍音個數不同外，還有倍音和基音強弱比的不同，所以造成各種不同的音品，圖108是表示音品的造成。一般的講

，凡是富於最初幾個倍音的聲音，使人聽了感覺悅耳。

6. 共鳴

一個聲波『能』週期的加到某物體上，如果那物體的本身週率恰巧和聲波相同而接受波能，這物體自己也就跟着振動起來，這物體的振動增加了原來的波動，變成了第二個聲源，這個現象叫做共鳴。

共鳴又可分為共振和強迫振動，共振是當週率相同時的共鳴，強迫振動是聲波的週率和它的自然週率不同時候的共鳴，在裝製放大器的時候常常會遇到這些共鳴物體，所以應該特別注意設法避免或利用。

7. 回聲

聲音遇到了物體時，就會被反射回來，如果反射的聲音和聲源前後，時間相差大於 $\frac{1}{20}$ 秒的時候，我們就能聽到兩個聲音，因為人的聽覺不能分別相差小於 $\frac{1}{20}$ 秒的兩個聲音，因此凡是一個聲音和反射音相差大於 $\frac{1}{20}$ 秒，就能聽到兩個聲音，反射回來的聲音，稱做回聲。

聲波的速度是每秒鐘 343 公尺，那末聲波在 $\frac{1}{20}$ 秒時間裏走的距離是 $343 \div 20 = 17.15$ 公尺，所以如果要聽到直接回聲，它的最小反射距離是 $17.15 \div 2 = 8.575$ 公尺，圖 109 是表示可以聽到直接回聲的最近距離，如果距離比 8.575 公

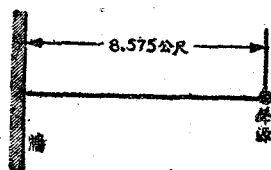


圖 109

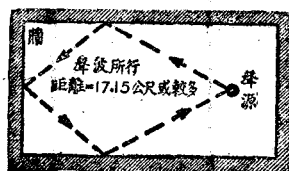


圖 110

尺更長，那末聲和回聲的相隔時間也更長，可以更清楚的分