

揚聲器

人民郵電出版社

目 錄

1. 導論..... (1)
2. 聲音與聽覺..... (3)
3. 揚聲器的分類與基本特性..... (8)
4. 電磁式揚聲器..... (13)
5. 直射式電動揚聲器..... (16)
6. 號筒式揚聲器..... (32)
7. 雙帶揚聲器和組合揚聲器..... (40)
8. 壓電式揚聲器..... (49)
9. 參考書籍..... (52)

1. 導 論

使言語和音樂能大聲重放的電器，在我們的國家里是由俄羅斯學者自然科學碩士IO·奧霍羅維奇所發明的。他在前一世紀的八十年代進行了世界上首次的大聲重放的試驗，把長途綫路上傳來的言語放送出來。

一八八五年，俄羅斯技術協會在彼德堡組織了第三次電氣技術展覽會。在這次展覽會上，IO·奧霍羅維奇與其他俄羅斯發明家高魯比茨基、佛萊琴、斯托爾波夫斯基在一起佈置了聽聞擴音傳輸的大廳。這個大廳引起了廣大展覽會觀眾的注意。

一八八六年，IO·奧霍羅維奇獲得了《雙振膜耳機》的專利權，這是現代揚聲器的雛形。

但揚聲設備只是在偉大的社會主義十月革命以後才開始為廣大的人民羣眾服務。

一九二一年，在莫斯科的蘇維埃廣場上，在莫斯科蘇維埃大樓的平台上，裝上了揚聲器。通過這些揚聲器，從莫斯科中央電話局沿着導綫輸送過來的試驗性質的播音（書的朗誦），可以在蘇維埃廣場的對面清楚地聽到。

同年六月十七日，在斯維爾特洛夫廣場、謝爾浦霍夫廣場、傑維奇場的巴烏馬廣場及克雷司齊揚哨所附近裝上了揚聲器。同樣地利用電話綫向它們輸送廣播。

從這天起，通過這些揚聲器，莫斯科人們在晚上便

經常能聽到《俄羅斯電報通訊社口述報》的通俗講演和廣告。所有這些廣播都很受莫斯科居民的歡迎。

一九二四年以後，揚聲器在無線及有線收音方面得到了特別廣泛的發展。

那時候，我們的工業製造了室內用的《紀錄》牌紙盆式揚聲器及大廳、大街、廣場用的《TM》牌喇叭形揚聲器。從現代的觀點來看，這些揚聲器的音質是不高的，但是它們在無線電廣播事業中却起了很大的作用。

蘇維埃無線電廣播事業及後來有聲電影的進一步發展與勞動人民文化水平的增長，引起了蘇聯科學家與工程師們在理論研究和實際試制更完善的揚聲器方面積極努力工作。

蘇聯科學家A·A·哈爾凱維奇、B·B·富爾圖也夫、B·C·格利高爾耶夫、Ю·М·蘇哈列夫斯基、Л·Д·羅森別爾格及其他許多科學家工作的結果，工業便開始生產紙盆式電動揚聲器和號筒式電動揚聲器。

現在這種形式的揚聲器已廣泛地應用於無線廣播及錄音設備中。

蘇聯科學家在電動揚聲器的理論和計算方面所做的許多工作，大大超過了在外國進行的類似工作。

在戰後時期內，這方面的理論研究工作大大地開展，現在已有許多新型的揚聲器創造出來了，如從現代化的《紀錄》牌直至不同號筒系統的強力揚聲器與電影院用的雙頻帶揚聲器。

近年來，除了各型揚聲器的生產大為擴大外，就是

揚聲器的質量也已不可比擬地提高了。

2. 声音与听觉

揚聲器應該能够重放語言、歌唱、音乐、雜音及其他声音而沒有顯著失真。

所謂声音我們是指由某一种物体所產生的机械振动，在固体、液体、气体的介体中所引起的彈性波。这里我們僅考慮到產生在空气介体中的彈性波，这种波作用在人的耳朵中后，会引起声音的感觉。

每一种声音的特征首先是頻率（每秒振动次数），用周表示（1周等于每秒振动一次）。最常遇到的音乐和語言的音源產生了頻率从40到15000周的振动。声音的頻率决定音調的高低；頻率低时，声音的音調較低，頻率高时，声音的音調較高。我們的耳朵能够感受的，僅为頻率約自20到20000周（平均数字）的机械振动所產生的声音。

另一个表征声音振动特性的数值是声压（用巴來表示，1巴等于1平方公分上有1达因的压力），或者是与其有关的声强（用每平方公分上的瓦特数來表示）。耳朵能够感受的声压数值从千分之几巴到几百巴。最常遇到的音乐和語言的音源所生的压力在0.0063到20巴間，与他相应的声强从 5×10^{-14} 到 5×10^{-17} 瓦特/平方公分。因此最大的压力变化为3170倍，而最大的声强变化則为一千万倍。任一音源所能產生的最大声压与最

· 4 ·

小声压之比，称为**动态范围**。大型的交响乐队具有最大的动态范围，其声压与声强达到上述的极限。

为了理解音源的主要物理特性，必须指出，言语与音乐是不同频率与声强的声音之组合，这些声音在发音过程中始终变化着。甚至歌喉或乐器所产生的声音，虽然听起来是具有一定频率的单音，但事实上仍包含一系列辅音（具有不同的声强），这些辅音的频率是基频的2、3、4等倍。这些辅音称为**谐波**或**泛音**，其相对强度决定了声音的音品（《音色》）。

刚刚能听得清楚的声强，也就是再弱一点人耳就不能听到的声强，称为**听觉阈**。听觉阈随频率而变，人耳最敏感的范围在中频上（在1000周上，听觉阈等于 10^{-16} 瓦特/平方公分）。在低频及高频上，耳朵的灵敏度要低得多（在100周上，听觉阈等于 10^{-12} 瓦特/平方公分）。

当声强非常大时，耳朵会感到刺痛，这个声强称为**感觉阈**。感觉阈很少随频率而变，它仅在声强大约等于 10^{-4} 瓦特/平方公分时才产生。

因此，在中频上，耳朵能感受的声波，其强度可相差 10^{12} 倍以上。在低频上，例如在50周上，这一范围就减小到 10^7 倍。在高频上，耳朵灵敏度的范围同样也减小。

在主观上评定声强的是**响度**，它表示出听觉的强弱。但是由于耳朵对不同的频率具有不同的灵敏度，使得二个强度相同但频率不同的纯音会引起不同响度的

感觉。

声音响度与其强度的关系充份正确地服从于精神物理学的基本定律。在这个定律的发展方面，院士 $\Pi \cdot \Pi \cdot$ 拉扎列夫的工作具有重大的意义。这一定律指出，当声音强度变化时（例如，当扬声器发出的声能增加时），主观的响度感觉和声强变化的对数成正比。因此，耳朵对强度相差很多倍的两个声音的反应能力是完全清楚了。

既已知道响度的感觉按照对数定律增加或减小，那末为了相对地决定响度的变化，就最好采用对数标度（分贝标度）。同样的标度广泛地用来决定声强与声压的数值。

在计算声强与声压的绝对值时，把1000周的纯音的限阈响度作为零电平，这个响度相当于声强为 10^{-16} 瓦特/平方公分或声压为 $2 \cdot 10^{-4}$ 巴。听觉的特点，即响度的感觉随着频率与声强而变化这一点，可以用等响度曲线族来表示。对这些曲线的分析指出，声强为60分贝，频率为50周的纯音的响度听起来只略为比10分贝的大一些，频率为200周的纯音，在同样二声强下，听起来要差4倍（响度为50分贝），频率为7000周的纯音也只有同样的响度，而仅仅在500—5000周间，响度和声强的变化才接近相符。当声强降低时，这些关系就改变，并且响度的降低恶化了耳朵对低频和最高频的感受。

那末如何把上述那些关于声音和听觉的材料考虑到放音系统，特别是扬声器中呢？要知道向扬声器提出的要求是放音自然啊！

前面已經提出，絕大部分聲源產生頻率為40—15000周的振動，而人耳能夠接受頻率從20—20000周的聲音。可是把收音系統做得具有那樣寬的頻帶却未必是可能的。因此只要收音的失真實際上幾乎不顯著，把這個頻段縮窄到一定的限度是允許的。

蘇聯科學家 H·E·高龍教授根據實驗數據，提出了收音系統按照通過頻帶的寬度來分級：

最高級—30到13000周（不失真重放）；

第一級—50—80到10000—8000周（高質量重放）；

第二級—100到5000周（中質量重放）；

第三級—300到2500周（低質量重放）。

應該指出，在所述頻帶範圍內，放大與音響設備常常不能有直線性的頻率特性，即不同頻率的聲音不均勻地被放大與重放。這些失真的允許數值由實驗決定。

各種不同的音樂，從獨唱和樂器獨奏直到大規模的交響樂隊演奏和合唱，其動態範圍的差別是很大的。

大家知道，交響樂隊具有最大的動態範圍。整個樂隊在最響時的最大功率（聲強）與一個提琴手在獨奏時的最小功率間的比例達到一千萬倍，相當於70分貝。這樣大的動態範圍要重放出來是非常困難的。被傳送的聲壓的上限被收音設備的振幅特性所限制，其下限則被每一傳送都帶有的雜音（電源交流聲，電子管雜音，室內雜音等等）所限制。為了聽到最微弱的聲音，就必須使它們的音平較雜音高出15分貝。因此，如果揚聲器所在的房間內的雜音為30分貝，那末最低傳送音平應為45分貝，

而在放送大乐队的演奏时，最高音平就达到 $45 + 70 = 115$ 分贝。这样的响度是收听者所不能忍受的，而在放送时邻近的房间中也将很响地听到。因此在收音与录音系统中，采用各种方法来人为地压缩动态范围。

根据电声与技术经济条件，不同收音系统的动态范围的标准规定如下：广播与唱片录音为30—40分贝；磁带录音为60分贝；电缆广播为50分贝；本地声音放大为65分贝。

保持音品的自然性是最重要的，因为音品决定声音的音调。但是根据音品只能区别开各种复杂的声波（其波形为非正弦的，它是同时发射出的具有不同频率与振幅的正弦振盪的总和）。声音的音调，即它的高低，决定于此复杂声波中所存在的最低频率。

用收音系统来放送纯音（正弦的）时，几乎总可发现较高谐波的存在，而这在原来的音源中是没有的。然而在实际放送时，总是遇到复杂的由大量纯音所构成的和声，因此除去所有这些纯音的谐波外，还可能产生所谓组合频率，即所有纯音与谐波中每二个的频率和与频率差。这些新的频率成份是在这样的情况下出现的：在某些放送电平下（通常是很大的电平），声音放大系统中输出信号与输入信号间的常数关系被破坏了。这就是说，当声音放大系统的振幅特性是非直线性时，便出现这些新的频率成分。这样的系统引起所谓非直线性失真（振幅失真），使我们感到声音不纯，带有呼呼声和炸裂声等。

在直射式揚聲器中，會出現由於調頻而引起的失真。這些失真和非直綫性無關，它們是在同時放送二個頻率的振動而其中一個又遠較另一個為高時產生的。在此情況下，高頻成分由於紙盆在低頻時的較大振速而失真。

在上述各種非直綫性失真中，放送純音（正弦的）時所產生的失真最值得研究。這種失真可用諧波係數來計算。諧波係數表示諧波振幅的幾何和與基頻振幅的比例（用百分比表示）。諧波係數的測量藉助於特種儀器，並且在測量時，向揚聲器上加一個已知為正弦波形的電壓。這些測量雖然不能完全判定放送系統中非直綫性失真的特性與數值，但是却可相當簡單地比較出設備質量的高低。

3. 揚聲器的分類與基本特性

根據音頻電能轉變成音能的方式，揚聲器可分為電磁式、電動式與壓電式三種，而根據聲波發射的方式又可分为直射式與號筒式。直射式揚聲器具有錐狀振膜（紙盆），它直接把聲音發射到周圍空氣介體中，號筒式揚聲器的振膜經過各種形狀的號筒發射聲音。此外，電動式揚聲器還可分為永磁式與電磁激勵式（勵磁式）二種。

所有形式的揚聲器都可由一系列數量與質量的指標來表示其特性，其中基本的指標是額定功率、效率或靈敏度、傳送頻帶和這頻帶的不均勻性（頻率失真或綫性失

真)、容許的非直線性失真(振幅失真)和發射的方向性。

額定功率 額定功率是加於揚聲器繞捲上的交流電平均功率,此功率揚聲器能夠受得住而不致引起過熱或機械過荷。此功率決定於所加的總電能除以該電能加入的時間。但是加到揚聲器上的交流電流具有很複雜的形式,其中包含許多短時間的巔峯,常常超過平均電平許多倍。因此揚聲器應當能夠同樣地經受得住在此時所產生的峯值功率。

效率與靈敏度 發射的聲音功率 P_a 與所加的電功率 P 之比, 決定了揚聲器的效率或有效利用係數 ($K \cdot \Pi \cdot A$)。此一比例足夠充份地表示出揚聲器將電波轉換為聲波的效能。但是為了正確地決定效率, 就必須有特殊的設備和複雜的儀器。因此揚聲器的效能常常不是根據效率而是根據所謂相對靈敏度 E (每伏特的巴數) 來決定。相對靈敏度是非常容易測量的, 它決定於無限聲場上某一點的聲壓 p (在揚聲器軸的一點上測量) 與揚聲器端子上一定頻率的電壓 U 的比例, 即

$$E = \frac{p}{U},$$

式中 p 的單位為巴, U 的單位為伏特。

應當指出, 相對靈敏度的大小, 並不是唯一能決定具有不同輸入阻抗的各種揚聲器的工作有效度的條件。大家知道, 在功率 P 、電壓 U 與阻抗 Z 之間存在着下列關係:

$$P = \frac{U^2}{Z}。$$

由此可見，二個具有不同阻抗但具有同樣相對靈敏度的揚聲器，雖在測量點上產生同樣的聲壓，但却消耗不同的功率。因此就不能根據相對靈敏度去比較它們。具有較大阻抗的揚聲器工作得更有效，因此消耗的功率也比較小。

對不同的揚聲器進行較完善的衡量，可以應用聲壓 p 與所加電功率 P 的平方根之比：

$$E_{a\delta c} = \frac{p}{\sqrt{P}}。$$

從此一公式獲得的數值更完善地表示出揚聲器的有效度，並使我們能對不同型式的揚聲器進行比較， $E_{a\delta c}$ 的大小稱作絕對靈敏度，用巴/ $\sqrt{\text{瓦特}}$ 來表示。它和相對靈敏度的關係如下：

$$E_{a\delta c} = \frac{p}{U} \sqrt{Z} = E \sqrt{Z}。$$

頻率失真 揚聲器的效率與靈敏度（相對的或絕對的）通常劇烈地隨頻率而變。因此爲了決定揚聲器的質量，就必須知道揚聲器在放送頻帶內各不同頻率上的靈敏度（最好是絕對靈敏度）。

揚聲器的頻率特性就是其靈敏度隨頻率而變的情況

圖 1 上指出了根據揚聲器的頻率特性來決定平均靈敏度與頻率失真的方法。圖 1 的縱軸上註的是靈敏度的

數值，用分貝表示（其零值係採用任意選定的靈敏度值），而橫軸上註的則是以週來表示的頻率。此特性曲綫愈平坦則頻率失真就愈小。

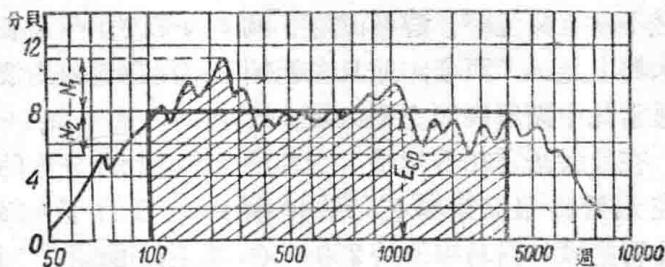


圖 1. 根據頻率特性決定揚聲器的平均靈敏度與頻率失真

爲了要決定頻率失真的數值（即頻率特性的不均勻性），就必須在我們感興趣的頻帶內計算平均靈敏度 E_{cp} 。平均靈敏度 E_{cp} 是粗綫所圍成的矩形的高度。這個矩形的面積與該頻帶界限間的陰影面積相同。頻率失真決定於二個數字 N_1 和 N_2 。數字 N_1 表示最大靈敏度（該頻帶內的最大峯值）比平均值高多少分貝；數字 N_2 表示最低靈敏度（最大的谷值）比平均值低多少分貝。

對於頻率特性如圖 1 所示的揚聲器來說，在 100—4000 週的頻帶內， $N_1 = +3.2$ 分貝， $N_2 = -2.8$ 分貝。實際上爲了決定頻率失真（頻率特性的不均勻性），常常取最大峯值與谷值之差而除以 2。在我們的情況下，

$$N = \pm \frac{11.2 - 5.2}{2} = \pm 3 \text{ 分貝}$$

非直綫性失真 揚聲器所產生的聲壓與其激勵的電

功率之間的關係稱作振幅特性。此特性曲綫在被放送的動態範圍內如果是一根直綫，那末說明聲波的形狀與電波（加到揚聲器上的）的形狀準確地相符。當上述特性曲綫不是直綫性時，聲波的形狀就要失真而產生非直綫性失真（見第7頁），並且在低頻上，揚聲器的諧波係數通常比中頻與高頻上要大許多倍。

在放送語言和音樂時，所加的功率是如此分佈的，即在最低與最高頻率上只佔有總的巔功率的不大部分（交響樂隊的巔功率位於250—500週上，而語言則在500—1000週上），因此在低頻處諧波係數的增加是不太能覺察出的，所以在50到100週上，在額定功率下可允許諧波係數大約為10—20%。但是如果揚聲器的特性曲綫在高頻端被縮窄（縮窄到4000—5000週以下），那麼上述的諧波係數的允許數值還可以大0.5—1倍。

發射方向性 在橫過揚聲器發射部分軸心的周圍空間截面上，揚聲器所產生的聲壓的分佈圖形稱作方向特性曲綫。方向特性曲綫表示靈敏度與發射方向的關係。此特性曲綫的形狀隨發射面與被發射的聲波波長間的比例而變。隨着頻率的提高（波長的減小），方向特性曲綫也變得愈尖銳，亦即在離揚聲器同一距離但是和軸有不同角度之處測量到的聲壓，將隨測量角度增大和頻率增高而減弱，並且測量角度愈大和頻率愈高，減弱得就愈快。由此可見，在不同的方向上揚聲器的頻率特性曲綫也將不同。

當揚聲器在沒有聲音反射的空曠地上工作時，它的

方向特性曲綫具有特別重大的意義。在空曠地上，聽音的條件僅決定於從揚聲器直接發出的聲音，所以發射強度分佈的均勻性基本上視方向特性曲綫的形狀而定。從遮蔽場所邊壁反射過來的聲音可以減弱此一從屬性，但是爲了保證此一場所內聲響的均勻性，特別是在大型禮堂中，此發射方向性還是重要的。

4. 電磁式揚聲器

電磁式揚聲器具有較狹的放送頻帶，在此頻帶中並有相當大的頻率失真和非直綫性失真，尤其在較低的頻率上非直綫性失真表現得特別厲害。此外，它們的阻抗與頻率的關係也非常大。因此，現在這種揚聲器的應用範圍是有限的。

最普通的《紀錄》牌電磁式揚聲器的外形和機械結構如圖 2 所示，現在我們來研究一下這種揚聲器。

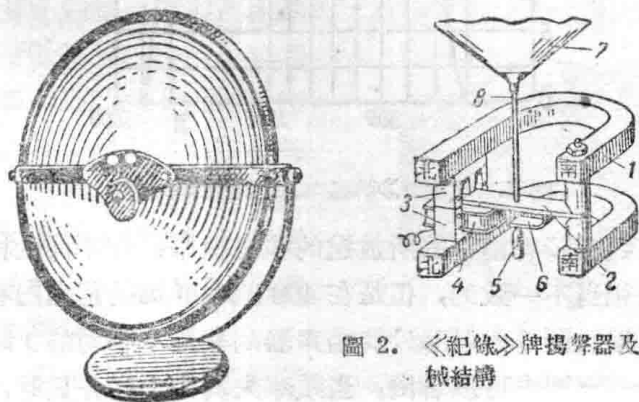


圖 2. 《紀錄》牌揚聲器及其機械結構

二塊馬蹄形磁鐵 1 的同名極在一端夾住銜鐵 2，在另一端夾住用軟鐵片制成的 III 形極靴 3。在極靴 3 的中間凸出部分上套有綫圈 4（上部綫圈未繪出）。銜鐵的活動端置于極靴間。調准螺絲 5 撐住與銜鐵連在一起的簧片 6，利用這個螺絲就可以將銜鐵調整到極靴之間的中間位置，即兩邊具有同樣空隙之處。綫圈本身是這樣連接的，使得兩個綫圈產生的磁通加在一起。當音頻電流經過綫圈時，銜鐵就振動，將聲音振動傳送給用針 8 連接着的紙盆 7。

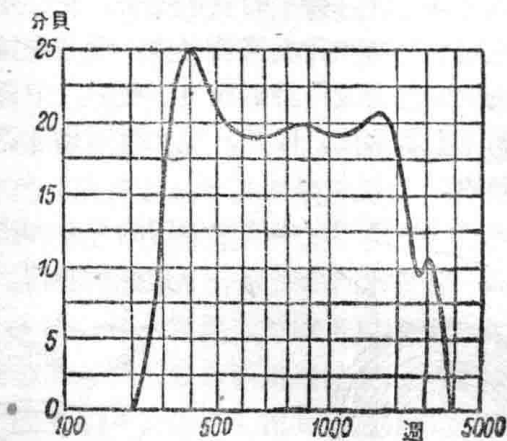


圖 3. 《紀錄》牌揚聲器的典型頻率特性

《紀錄》牌揚聲器所放送的頻帶很窄，在不同的樣品里是相當不一致的，但是在 400 到 1600 周的范围內有特性峯巔。圖 3 為《紀錄》牌揚聲器的典型（平均的）頻率特性，由圖中可以看出，當頻率失真為 ± 10 分貝時，它

的工作頻帶為250—3500週。

《紀錄》牌揚聲器的非直線性失真相當大。在加以額定電壓25—30伏特時，頻率300週上的諧波係數約等於8%。當頻率降低時此失真顯著地增加，在頻率為100週時將達到50%。

《紀錄》牌揚聲器中綫圈的電阻為600—2000歐姆，電感為3亨利左右。他們所消耗的功率強烈地隨頻率而變，從頻率為200週時的0.2伏安變到頻率為4000週時的0.02伏安。在頻率為1000週時平均消耗的功率為0.05伏安。

爲了在用戶收音處調整放送的音量，在《紀錄》牌揚聲器上串聯接入了一個可變電阻，利用這個電阻就可以調整放送的音量。因爲此音量調整器的電阻不隨頻率而變，而綫圈的阻抗却隨頻率而增加，因此在壓低音量收聽時，低頻經常比高頻削弱得厲害些。爲了校正這種頻率失真，需要在揚聲器上並聯一個由0.1微法的電容器和4—5千歐的電阻構成的串聯鏈節。

現在地方工業出產了

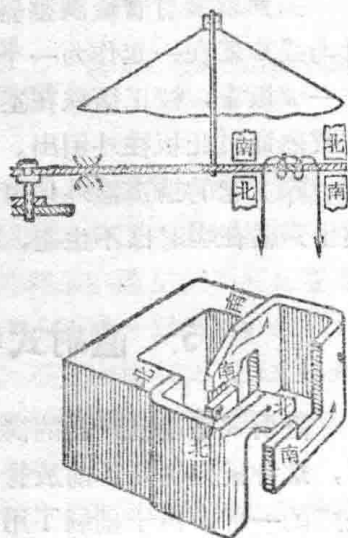


圖 4. 現代化的《紀錄》牌揚聲器的結構圖和帶有極靴的磁鐵的結構