

中等專業學校教學用書



放大裝置和電聲學

B. B. 穆羅姆策夫著

張謹譯

本書系根据苏联国立电影出版社(Госкиноиздат)出版的 В. В. 穆罗姆策夫(Муромцев)所著的“放大裝置和电声学”(Усилительные устройства и электроакустика) 1951 年版譯出。原書經苏联电影部教育司推荐为电影学校教科書。

原書內容大体上是由三部分組成的。第一部分包括第一至第七章, 主要涉及声学基础和各種电子管, 离子管, 以及光电管的工作原理。第二部分包括第八至第十三章, 其主要內容为放大器的各種綫路和电声学器件。第三部分为附录, 其中載有苏联出品的各种常用放大裝置的構造說明。

本書可以作为中等技术学校电影和电信等專業的教学用書, 同时也可以供这方面的工程技術人員的参考之用

放 大 裝 置 和 电 声 学

В. В. 穆 罗 姆 策 夫 著

張 謹 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京華印書局印刷 新华書店發行

統一書号15010·662 開本850×1168 1/32 印張15 1/16 插頁1 字數366,000 印數0001—1,800

1958年6月第1版 1958年6月北京第1次印刷 定價(10) 2.30

目 录

緒 論	1
第一章 有关声音的一般知識	4
§ 1. 声音的性質	4
§ 2. 声振动的叠加	14
§ 3. 声音的感觉, 声源	17
§ 4. 声音在密闭房間內的傳播 和交混回响	26
第二章 二極电子管	34
§ 1. 若干有关原子結構的基本 概念	34
§ 2. 熾热物体的电子發射	36
§ 3. 爱迪生效应	37
§ 4. 二極电子管的構造	38
§ 5. 电子發射和溫度之間的关 系	41
§ 6. 空間电荷和二極管的特性曲 綫	42
§ 7. 板極的耗損功率	46
§ 8. 真空的作用	48
§ 9. 电子管陰極的構造	51
第三章 真空二極管整流器	60
§ 1. 二極管的整流特性	60
§ 2. 真空二極管整流器	63
§ 3. 真空二極管整流器的展平 滤波器	73
§ 4. 真空二極管整流器的运用特 性	79
第四章 充气管和充气管整流器	87
§ 1. 充气管及其構造	87
§ 2. 低压充气管整流器	99
§ 3. 整流裝置內电源电压的調节	103
第五章 三極电子管(三極管)	108
§ 1. 三極管的功用	108
§ 2. 三極管的構造	109
§ 3. 發生于三極管內的物理現 象	110
§ 4. 一極电子管的特性曲綫	114
§ 5. 三極管的参数	118
§ 6. 三極管的放大作用	125
§ 7. 三極管放大作用所件有的 畸变	130
§ 8. 自給栅偏压电路	139
第六章 多極电子管	143
§ 1. 四極管及其特性	143
§ 2. 五極管	146
§ 3. 集射管	147
§ 4. 金屬外壳管	148
第七章 光电管	150

第八章 低頻放大器	163
§ 1. 放大器的分类和对它們所提的基本要求	163
§ 2. 电阻电容耦合放大器	169
§ 3. 对阻容耦合級中电路元件应提的要求	183
§ 4. 电感(塞流綫圈)耦合电压放大器	189
§ 5. 对电感耦合級內的零件提出的要求	194
§ 6. 变压器耦合电压放大器	197
§ 7. 低頻放大器內頻率畸变的校正	213
第九章 功率放大器, 或末級放大器	226
§ 1. 最簡單的單边末級放大器	226
§ 2. 末級管子的工作情况	237
§ 3. 推挽式末級	241
§ 4. 推挽式末級的工作情况	249
§ 5. 激励級	255
§ 6. 倒相激励級	257
§ 7. 自动平衡激励級	260
第十章 多級放大器的自激与負回輸	266
§ 1. 电子管振荡器的作用原理	268
§ 2. 各种寄生回輸和克服放大器內形成振荡的方法	272
§ 3. 負回輸在放大器內的功用	281
§ 4. 放大器內的各種負回輸电路	284
第十一章 輸入电路和低頻放大器內干扰的克服	290
§ 1. 光电管和放大器輸入端的联結特点	290
§ 2. 微音器輸入和拾音器輸入的特点	297
§ 3. 低頻放大器內的干扰和克服	300
第十二章 电声学設備	309
§ 1. 揚声器的主要特性	309
§ 2. 錐形电动式揚声器	315
§ 3. 喇叭形揚声器	325
§ 4. 双頻帶揚声器	330
§ 5. 微音器	333
§ 6. 电磁式耳机	339
§ 7. 电磁拾音器	341
第十三章 發音設備中的典型故障和寻出故障的一般方法	343
§ 1. 發音設備中典型故障的分类	343
§ 2. 發音設備功率的降低	344
§ 3. 干扰	348
§ 4. 放大器的自激(振荡)	352
§ 5. 引起放大裝置工作停頓的故障和發現这些故障的一般方法	354
§ 6. 运用發音設備的一些基本規則	358
附录 1 电工学中的一問題	361
§ 1. 若干基本电流量值的定义	361
§ 2. 脈动电流	362
§ 3. 非正弦电流以及有关非正弦电流分解成許多高次諧波的一般概念	364
§ 4. 和电阻并聯的發电机	367

附录 2 参考材料	368
§ 1. BC型固定碳質电阻	368
§ 2. 固定綫繞电阻	372
§ 3. 可变电阻	373
§ 4. 具有固定电容的电容器	375
§ 5. 电子管和氛气管	387
附录 3 工業放大裝置	392
§ 1. 有声电影設備用的苏联放 大裝置的發展路徑	392
§ 2. 便移式 KИY-47 型整套發音 裝置	394
§ 3. 便移式 KИY-156 整套發音 裝置	404
§ 4. ПY-50 便移式放大裝置	413
§ 5. YCY-45 固定式放大裝置	422
§ 6. YCY-46 固定式放大裝置	433
§ 7. KЭBT-1 和 KЭBT-2 發音 備設	449
§ 8. YCY-51 固定式放大裝置	490

緒 論

从 А. Ф. 邵林(Шорин)和 П. Г. 塔干尔(Тареп)教授創造第一批苏联制的录音和發音設備模型的时候到現在还不滿 25 年。这一段时间在任何科学和任何工程部門的發展历史中根本不能算是長的。然而在苏联电影技术的發展历史的这一阶段內却标志着很多宝贵的發現和發明。譬如說,在这些年头中依靠苏联發明家和学者的辛勤劳动,新的發音系統已創造出来了,同时我們的工業还制出和掌握了有声电影院用的新型設備。就它們的質量指标而言,这些設備远远地超过了外国的最优良范品。在 1949 年中,由于創造新的影片發音系統的功績,一批發明家和学者荣膺了斯大林獎金。

現代的發音方法的一般性原理大概可以归結如下。把用光学方法录音的影片(声帶)通过有声电影放映机放映出来。在有声电影放映机中使声帶發音的这一部分內,裝置着能够保證膠片(声帶)的运动具有良好均匀程度的特种机械。取司扫描的工具为照射在声帶上的光綫,亦即狹細的光束。光綫一直透过声帶,大概情况如圖 1 所示。如果声帶已录有声音(圖 1, a),則在声帶运动时通过声帶的光通量当然会不断地改变,也就是說,依照录在膠片上的音波的振动方式發生了光的調制作用。反之,若膠片上未录有声音,則在光綫前面的膠片具有一段無音空白,这一段的外形如圖 1, б 所示。經過調制的光束通

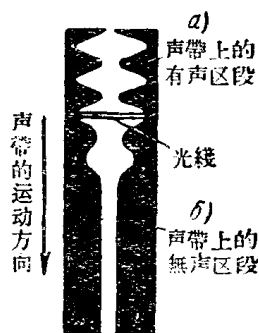


圖 1. 影片上的声帶。

过聚光的透鏡或稜鏡，然后直接照在光电管的感光層上。

这种系統內的光电管担当了將光的明暗变化变为电流波动的任务。

然而即使以目前最完善的光电管來說，它們所产生的电流波动也是很微弱的：例如，当光通量的改变为 100% 时，即当用来透視声帶的光綫从全部遮蔽变为全部通过时，光的明暗变化一般不超过 0.01 流明^①。

如果我們取灵敏度为 200 微安/流明的光电管为例，則它所能供給的电流的交变分量为 $200 \times 0.01 = 2$ 微安，即它的功率也是很小的。

在光电管的負載电阻 $R = 150000$ 欧时（大众化的固定式設備均采用此种电阻），功率应等于：

$$P = I^2 R = (2 \times 10^{-6})^2 \times 150000 = 6 \times 10^{-7} \text{ 瓦},$$

即等于 0.0000006 瓦。但是輸送至电影院內的揚声器的功率应当是从几瓦至几十瓦（看劇場的大小而定），否則声音將太微弱。由此可知，如果不經過强烈的放大，光电管所發出的微小功率是不能利用的。

为了將光电管所供給的音频电流的微弱振蕩放大許多倍起見，我們必須使用一种称为低頻放大器的特殊裝置。

在通过放大器后，音频的电振蕩可以获得必要的大小，然后在增强的形式下送至揚声器或特种揚声器組合中，这些裝置設在劇場內的目的是要完成下列过程。

揚声器可以把电振蕩变为声波。

为了保証放大裝置的正常工作起見，必須配备供电电源，主要是直流高压电源。

为了这一目的，在發音設備中通常使用真空二極管和充气管

^① 流明 (люмен, 簡写 лм) 为光通量的單位。

整流器，把取自發電站的交流電變為電壓合乎要求的直流電。

除了以上所列举的發音設備的各種基本元件之外，在整套裝置中通常還有一些輔助元件：例如，裝置在放映室內借以檢驗發音系統工作情況的監聽揚聲器（有時配以獨立的監聽放大器）和設置在劇場內的附有信號按鈕的音量調節板等等。

常用的發音系統的方框圖載于圖 2 中。

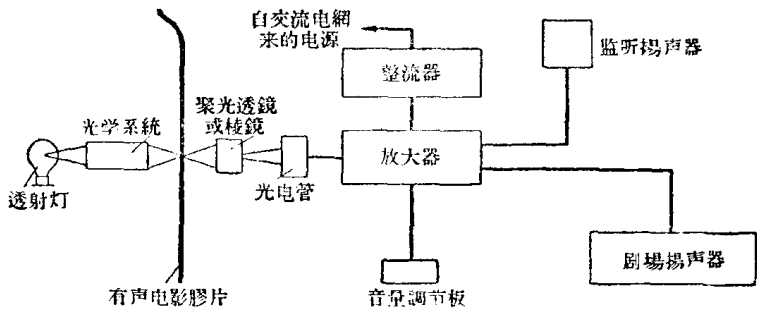


圖 2. 發音系統的方框圖。

電影院中的現代化發音設備就是許多裝置的複雜綜合體。為了保證在工作時不生故障、發音品質達到高度水平、以及這種裝置有較長的壽命，發音設備的值班人員應當具有使用放大器和整流器的技術知識和經驗，因為二者是發音設備中最複雜的環節。如果要在放大器內找出一點輕微的障礙，則必須具備電工學方面的專門知識，因為在這種情況下值班人員必須處理複雜的電路。只有基於從每一綫路的工作特點所推出的完全確定的特徵，我們才能夠對電路故障所引起的工作缺點以及對這些故障的特點作出結論。因此，在研究發音設備的工作原理時，對於某些故障所顯示的外部特徵，我們將給予很大的注意。

在這本教材中，我們擬對現代化有聲電影裝置所應用的整流、放大和電聲學設備內所發生的過程作一淺近易懂的敘述。

第一章 有关声音的一般知識

在电影院的劇場內，傳送演員的对白、音乐，以及其他和影片动作有关的声音(例如風声颯颯，水声潺潺等)是有極大困难的，所以需要相当复杂的設備。問題的复杂化还由于另一要求，即电影院内的对白、音乐和其他声音的傳送应当尽可能地求其自然和不失真，好像我們在生活中所听到的那样。

为了了解声音的傳送是在何种情况下实现的，和此种設備应当預先滿足什么条件等問題起見，我們必須首先熟悉一下声学(即声音的科学)的基本概念。

§1. 声音的性質

如果先拉紧，然后放松一張六弦琴的弦，則它不能立刻回到原来位置，而將振动一个时期。弦的振动伴有明晰可听而逐步降低的声音。只有当弦停止振动后，声音才会消失。如果我們用手指紧压在弦上，停止它的振动，則声音也会停止。

这一經驗和其他事实都証明了这一点：我們所能听到的声音的产生总是与任何作为声源的物体的振动是不可分离的。

因此我們就以振动——一切声学現象的基础——的研究作为認識声学的基本概念的开端。

我們取一重的球体悬挂在一根細長綫的末端，并将此附有球体的綫自垂直位置 AB 拉至 AB' 位置，同时綫仍应拉紧(圖 3)。然后釋放球体。在本身重量的作用下，它开始向原来位置运动。但达到 B 点后，球体不能停止不动，而在慣性力的作用下繼續向 F

点运动(球体的运动以單箭头表示)。在 T 点慣性力被重力加以平衡,于是球体在一瞬間是不动的。

在 T 点停止不动之后,球体立刻又开始移动,不过运动是順着圖中以双箭头表示的相反方向进行的。再度通过平衡位置后,球体又回到 B 点,完成了振动的第一个循环。

在繼續进行的运动中,球体將周期性地在 B 和 T 点之間来回振动。如果在球体运动时,不發生由于摩擦而引起的耗損,則 BB 和 BT 之間的距离是相等的。

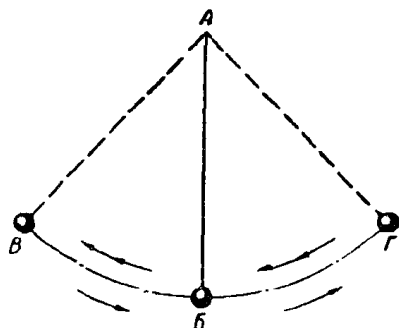


圖 3. 球体的振动。

这一結論从下述的探討中就能明白。將球体自 B 点迁移至 B 点,我們必須授与球体某一数量的位能,所謂位能就是物体位置高度所决定的能量。

当球体从 B 点运动至 B 点时,它的位能都轉变为动能(运动的能量)。动能在 B 点达到最大值。在該点的速度也为最大。但当球体向 T 点运动时,它的动能和速度又將减小。在 T 点,球体的速度等于零,于是动能又完全变为位能。

如果正如我們所假定的那样,在球体的运动中不發生能量的耗損,則它在 T 点和 B 点的位能是相等的。只要我們記得物体的位能决定于在平衡位置以上的高度,則馬上可以确信弧 BB 和 BT 是相等的。

▲ 为完成振动一周所必需的时间称为振动的周期。

振动周期以字母 T 表示之,并用秒来量度。知道周期后,我們就能决定,在一秒鐘内物体完成了几次振动。

▲ 物体在一秒鐘内完成的振动次数称为振动頻率。

振动的频率用字母 f 表示之，并用赫芝(简称为赫 Hz) 来量度。

频率等于一个赫芝就是说，物体在一秒钟内完成了一次振动。

$$1 \text{ 赫芝} = \frac{1 \text{ 次振动}}{1 \text{ 秒}}$$

根据上述的振动频率和周期的定义，显然只要知道这些数量中的任意一个，我们就不难决定另外一个数量：兹举一特例，设某一振动的周期为 $\frac{1}{20}$ 秒，则在一秒钟内完成的振动为 20 次，也就是说，振动频率等于 20 赫。反之，如果我们已知振动频率等于 20 赫，那么在一秒钟内完成的振动为 20 次，每一次振动需要 $\frac{1}{20}$ 秒的时间，即振动周期 $T = \frac{1}{20}$ 秒。

振动周期和频率之间的关系可以用一个简单的数学公式来表示：

$$f = \frac{1}{T}, \text{ 或 } T = \frac{1}{f},$$

从上式中就可看出，频率愈高，则周期愈短；反之，频率愈低，则振动周期愈长。

为了要描述振动过程，知道振动物体离开平衡位置的距离是很重要的的一件事。

◆ 振动物体离开平衡位置的最大偏移称为振幅。

振动物体的振幅是以长度单位来测量(厘米或毫米)。

在我们的特例中，振幅是以弧 BT 或 BB' 的长度来测量，并且其值在整个运动时间内是不变的。凡振幅不随时间改变的振动称为等幅振动。

但是我们所提出的无摩擦力的假定实际上是永远不可能实现的。事实上摩擦总是存在的(例如球体和空气之间的摩擦)，并将引起能量的不断耗损。因此球体离开平衡位置的原始最大偏移将随着每次振动而逐渐缩短，一直到球体完全停止为止。换言之，振

幅將逐漸从最大值降为零。振幅逐漸減小的振動称为減幅振動。

假使我們企圖使物体进行等幅振動，則应当在物体上加一外力，此力能补偿由于摩擦而引起的能量耗損，并能适当地推动振動物体，以致它的振幅能保持不变。

鐘摆的振動可以視為強迫等幅振動实例之一，它的振幅之所以能够維持不变是依靠儲藏在鐘表發条机构内的能量。

有别于在恒定的外加作用力之下所进行的強迫振動，物体离开平衡位置然后听其自然所作的振動称为自由或固有振動。

我們再研究一个振動的实例。

茲在彈簧上悬挂一重物 M 。在 M 的重量的作用下，彈簧將被拉長，于是重物所占据的位置为平衡位置(圖4, a)。假使把重物举起，紧压彈簧(圖4, b)，然后释放重物(圖4, c)，則重物將进行振幅为 $AB = AB$ 的振動。如果我們仍旧假定沒有摩擦耗損，那么振幅將維持不变。在这一情形中，振動的形成是憑借举起重物和压缩彈簧时所儲积的能量

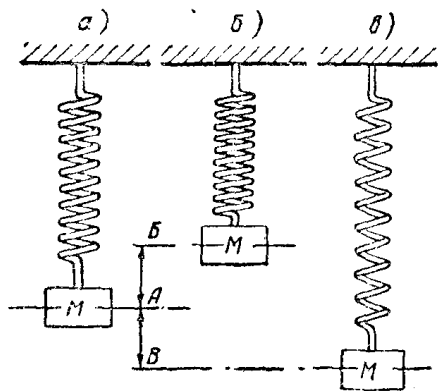


圖 4. 懸在彈簧上的重物的振動。

▲ 由質量(重物)和彈性物(彈簧)組成的系統通常称为振動系統。对这种系統的振動特点的研究在声学中占有相当重要的地位，因为絕大部分的声学設備——揚声器，微音器等——都是在复杂程度上稍为不同的振動系統。是以表示振動系統的最重要物理量中的一个就是固有振動的頻率，即物体在离开平衡位置后听其自然而进行的振動的頻率。以后当討論揚声器时，我們还有机会碰到这

一概念。現在我們只要指出，系統的固有振動頻率僅決定于它的質量和彈性係數，並且再一次地着重聲明，在我們所考慮的振動情形中並無摩擦所引起的能量耗損。否則摩擦也會影響系統的固有振動頻率。但在實際情形中當決定固有振動頻率時，摩擦力的大小常常是忽略不計的。

利用以上所描述的懸挂在彈簧上的振動重物，我們很容易得到振動的圖形表達方法。為此可在重物上裝上一個和紙條相接觸的記錄儀器（圖 5）。如果我們強使重物振動，同時以等速沿着箭頭所指方向移動紙條，則在紙上將出現表示振動過程的曲線。依照此法所得到的曲線繪于圖 6 中。

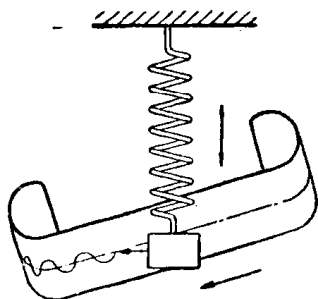


圖 5. 攝取振動曲線的方法。

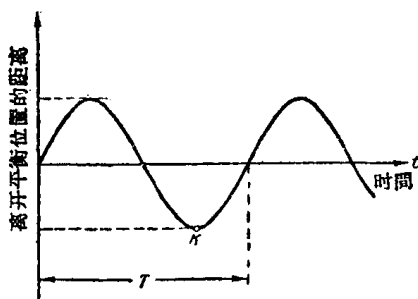


圖 6. 振動曲線。

在這個圖中，沿着橫軸所截取的是振動開始以後的時間，振動物體離開平衡位置的距離則在縱軸上截取。依靠這種曲線，我們不但能夠決定振動的振幅和周期，並且還能知道在任何時刻，或者按照習慣說法，在任何振動相位時振動物體離開平衡位置的距離。振動相位是從運動開始時刻算起，並以周期的分數來表示。茲舉一實例，設振動相位等於 $\frac{3}{4}$ 周期，則振動物體的位置由 K 點來決定（圖 6）。

如果振動物體的若干相位之間的差值為一周期的整數倍（1，2，3 等），則在這些時刻物體離開平衡位置的距離是相等的。因此

知道振动曲綫和振动相位后，我們便能够决定振动点离开平衡位置的远近。

表示我們所考虑的最簡單振动过程的曲綫称为正弦曲綫，而球体所进行的振动称为正弦振动。

認識了表示振动过程的特性的基本量以后，我們再考虑一个較复杂的系統，此系統是由悬挂在綫上的而彼此之間有彈性联系的許多球体所組成的(圖 7a)。我們先令第一个球体开始振动，显然依靠联系彈簧的彈性，此球体的运动將傳送至其他球体，于是片刻之后所有球体都在那里振动了(圖 76)。

这种系統內每一球体的运动和我們剛才考虑的簡單振动的曲綫并無分別之处。但是如果我們要同时研究所有球体的运动，則不难發現同一瞬間各个球体所处的相位是不同的。这事实之所以会这样是因

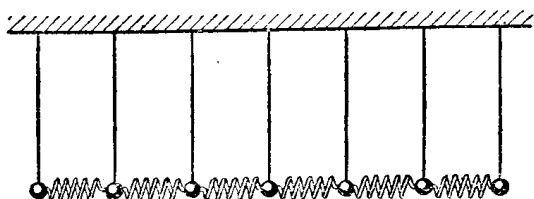


圖 7a. 由彈性联系的球体組成的系統。

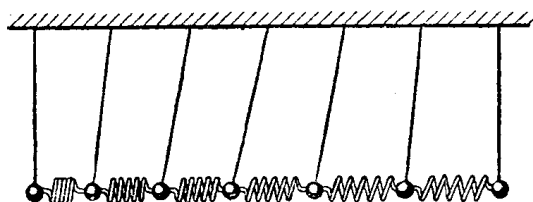


圖 76. 彈性系統內球体的振动情况。

为运动从一个球体傳送到另一个球体需要一定時間，時間的久暂是由运动的傳播速度和球体之間的距离来决定的。

▲振动沿着任何系統的傳播称为波或波动。

如果在任一瞬間將每个球体离开平衡位置的距离一一記下，則我們也能作出波动曲綫(圖 8)。在这种圖中，沿縱軸所截取的是在振动开始后任何一指定时刻各个球体离开平衡位置的距离，而沿橫軸所截取的为这些球体离开振动源的距离(在該情形指离

开第一个球体的距离)。

从圖中就可看出,虽然相鄰球体之間的振动相位是不一样的,但相差一定距离的兩個球体的振动相位反而是相同的。

处于两个拥有同一相位的振动点(在我們的例子中指球体)之間的最短距离称为波長。

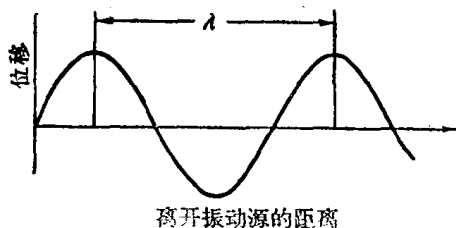


圖 8. 波动曲綫。

波長是以長度的單位來量度(米、厘米、毫米),通常用希臘字母 λ (讀若倫勃大)代表之。

我們能够証明,波長为波动在一周期的時間內所傳播的距离。

因此知道波長和周期后,就很容易算出一秒鐘內波动前進了多少距离,即算出波的傳播速度。

如習慣所用的那样,今以字母 C 代表振动的傳播速度。

假使在一周期內波的前进距离等于波長 λ ,則在一秒鐘內它所通过的距离將为 λ 的 T 分之一。

換句話說,

$$C = \frac{\lambda}{T}.$$

如果我們記得

$$T = \frac{1}{f}$$

式中 f 指振动頻率,則立刻可写出下式:

$$C = \lambda f$$

▲

在波平如鏡的湖面或池塘上,我們很容易观察由投擲石子所激起的波的产生和傳播。石子投入水面之后,在落水地点附近水的質点会开始振动,同时依靠質点之間的分子力,振动可从这一質点傳播至他—質点。

我們还应指出，在我們的球体系統和水面波的傳播之間存在着一个重要的区别。

現在讓我們先注意一下兩種不同情形中的質点(或球体)的振动方向。在球体系統中，球体的振动方向和波的傳播方向相一致。这种振动称为縱波。

但以湖面的水波傳播而言，情形是完全兩样的。由于石子投入水面而脱离平衡位置的水的質点是向上下振动的，然后帶动鄰近的質点。可見，振动的傳播方向垂直于質点的运动方向。

这种振动称为橫波。

以互相联系的一長串的球体作为例子來說明的振动傳播过程，对于任何媒質、物体、或彼此之間有彈性联系的質点所組成的系統來說，都是完全一样的。

值得注意的是振动的傳播也可能發生在空气中。大家知道，空气中含有無數相互之間有彈性力的作用的气体質点。假使这些質点之中的一个由于任何原因脱离其平衡位置而开始振动，則它的振动將傳送到鄰近質点，于是在空气中就产生了波动。这种波动，一如个别質点的振动那样，也具有一定振幅和一定頻率的特点。正如我們所知道的，大部分質点的振动相位是不同的。可見，如果在开始振动之前，各个質点互相隔开某一距离，那么在振动产生之后，这些距离都將随时改变，于是在某一区段內，空气質点互相趋近，反之在另一区段內則互相分离。

如果我們記得，單位体积內的質点数目能决定空气的密度，則不难了解，在空气中(或在任何其他气体或液体中)的振动特征是空气將周期性地时而密集时而稀疏，或者換句話說密度將周期性地改变。

这就是說，当每一瞬間我們能觀察到，沿着波的路徑的不同地点的密度是不同的，同时在同一地点密度会随时改变。密度的波

动跟从着声源的振动,例如,若声源在进行正弦振动,则密度的改变同样依照正弦规律来进行。

密度还和另一表示空气状态的特性的重要物理量——压强——直接有关系。压强是随着密度的增减而增减。可见,波动在空气中的传播必伴有压强的周期性改变。

气体(或液体)的压强决定了气体在它所接触的物体上的作用力,其值等于作用在单位面积上的压力数值。量度压强的单位称为巴(Дар)^①。

当压强为1巴时,1平方厘米上所受力等于1达因:

$$1 \text{ 巴} = \frac{1 \text{ 达因}}{1 \text{ 厘米}^2}。$$

当空气中无振动过程时,地面附近的压强等于大气压。空气中一旦发生振动后,压强的大小也在波动(周期性地改变),有时大于大气压,有时小于大气压。

导源于气体内振动过程的压强的变动部分称为声压。

频率从16至20000赫的空气质点的振动,以压强振动的方式到达我们的耳朵后,能引起声音的感觉。

频率处于以上所指范围(从16至20000赫)内的波动称为音波。

自16至20000赫的频率带称为音频域,而频率在音频域内的振动称为音频振动。

现在我们容易说明,在本节开始时所叙述的六弦琴弦的实验。

振动的弦引起毗连的空气质点的振动。这些质点的振动又传达到邻近的质点,于是空气内开始有波的传播现象。这种波抵达

① 在实际应用中,小的压强往往以水银柱或水柱的高度(以毫米计)来量度,大的压强则用大气压。这些单位便于实际量度,而且还很容易利用下列近似公式转换为巴:

1 大气压 = 10⁵ 巴 = 760 毫米高的水银柱 = 10300 毫米高的水柱。