

## 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

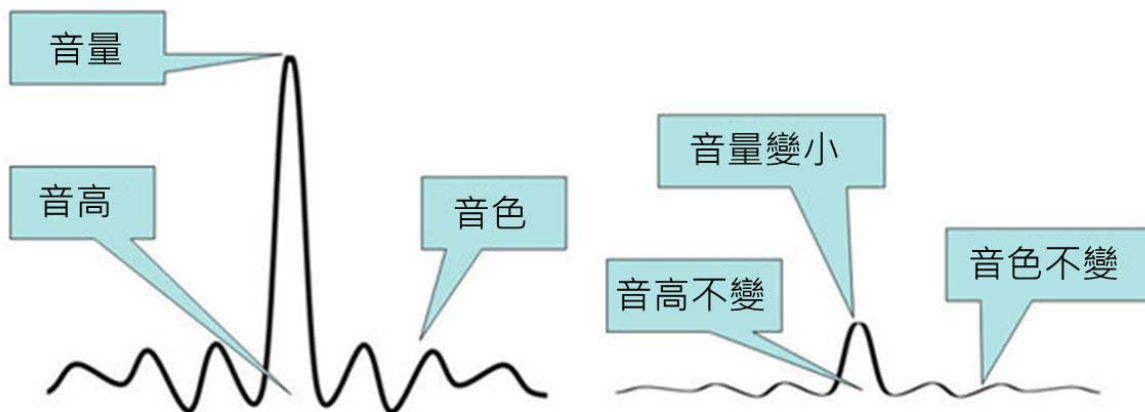
大專/社會組 科學文章表單

文章題目：絃樂器與泛音列

摘要：絃樂器種類繁多，古今中外皆有代表各自特色的樂器出現，其基本結構究竟從什麼方面影響了樂音的不同？而在樂團層層疊疊的音響中，我們為何能辨明這些樂音的不同？又為什麼我們能在兩種樂器發出相同音高時，辨別出兩種樂器的不同？這些問題將透過以下文章進行解答。很多人會覺得學習音樂的門檻相當高，我希望能以多數人都學過的理化概念入手，向大家說明一些平時望而卻步的音樂概念，讓音樂的教育更加普及。

文章內容：(限 500 字~1,500 字)

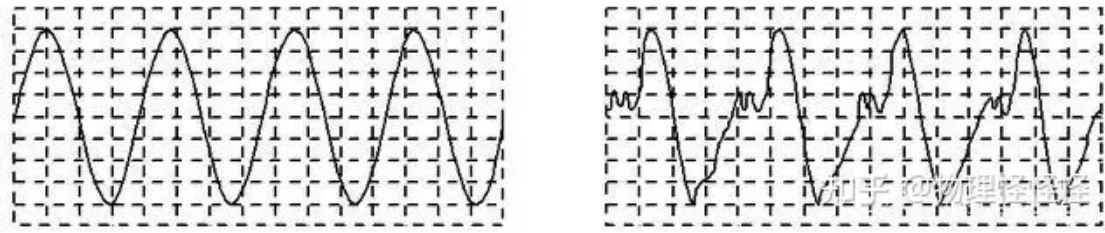
絃樂器悠揚婉約，美好的音樂能夠逐步拆解為樂句，繼續往下細分則能拆分為各個音符，音符的結構大致可分為音高、音色、以及音量，對應到過去所學的波的性質，上述三者皆為頻率以及震幅的不同所導致的。



圖一、波形圖與聲音的三大特點

震幅的大小直接關係到音量的大小，而絃樂器幾乎都有音箱的結構，或大或小，琴絃被手指、彈片、弓等物體撥動後發生震動，震動傳遞至面板，帶動背板共同震動，在琴的腹腔產生共振，因而能使音響得到較好的傳播。許多絃樂器選擇木頭做為琴的主體，這是因為不同的木料有不同的聲學特質，不同的木料影響了不同的音色、共鳴、高低頻的多寡，造就了獨特的每一把琴。

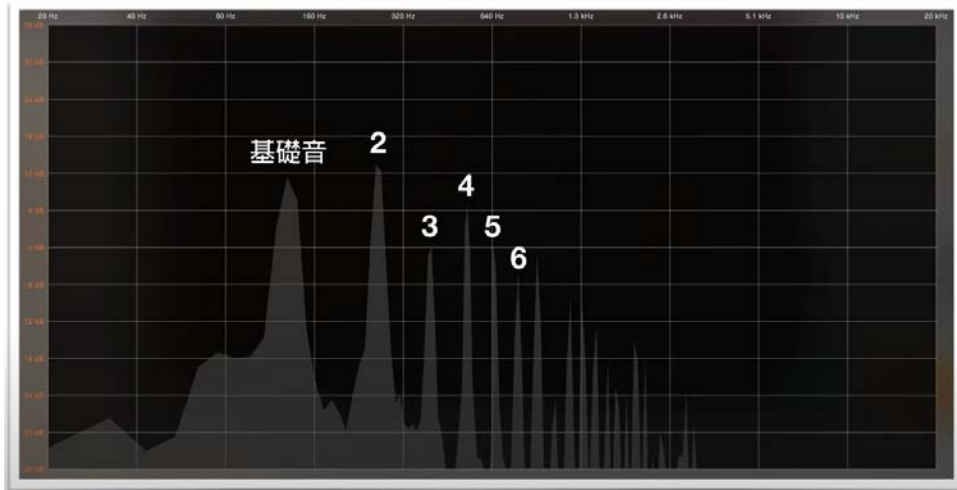
頻率影響到了音高與音色兩個方面。每個音高有其固定的頻率，然而經由不同的樂器演奏出的相同音高卻能被人們清楚的分辨，這是因為每種樂器音色上的差異。根據圖一可以看到，音色的物理定義即為波形圖上細小的波形差距。我們再由下圖來更清晰的了解這個概念。



圖二、兩種不同樂器發出同一音高的聲波波形(由左至右：音叉、鋼琴)

由圖二我們可以更直觀的看到，這兩張圖的振動頻率相同，因此音高相同；震幅相同，所以音量相同；然而兩者的波形不同，因而耳朵接收到後，大腦能分析出這是不同的樂器。

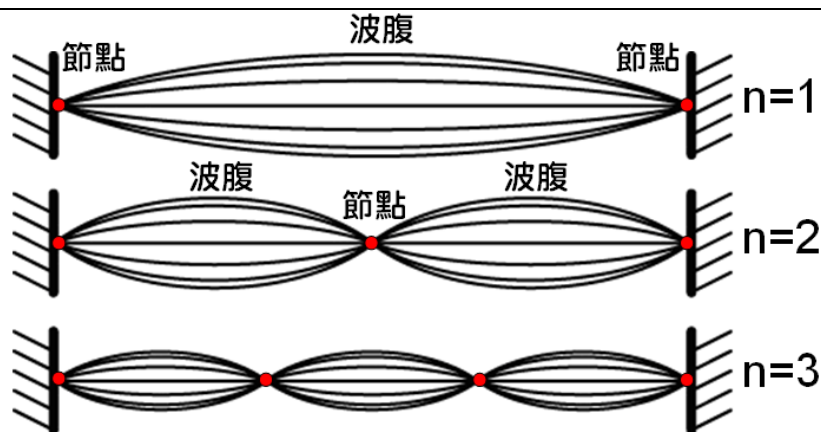
這裡我們需要提到一個重要的名詞\_\_泛音列(Harmonic Series)。由上述文章我們已經了解一個音不只是一個頻率，而是由不同的波形構成，也可以說是很多種震動模式的混合，而這些細碎的震動，其實是有著一個特殊的關係。一個音的音高，我們稱之為基礎音，則每種樂器發出的樂音產生的波形，都會在基礎音頻率的  $n$  倍處有另一個波峰，由下圖可以更清楚的看到。



圖三、鋼琴演奏單音的頻譜分析圖

這些波峰即為「泛音」，圖三中 2、3、4...等數字表達第二泛音、第三泛音、第四泛音...，這些泛音聚在一起便為泛音列，也就是造成音色差異的主要因素。通常來說，每種樂器的樂音都是由基礎音與泛音的複合音，唯一的例外為音叉，根據圖二的波形圖可以發現，音叉是沒有這些細碎的波形，這是因為音叉擁有一個固定的共振頻率，因此只有固定的音高。

基礎音與泛音的特殊關係，是因為一個特殊的物理現象\_\_駐波。駐波即為「停駐的波」，為兩個振幅、波長、週期皆相同的正弦波雙向行進干涉而成的合成波，駐波的波形無法前進，因此無法傳播能量。



圖四、兩端固定的駐波

絃樂器在發聲時，除了整體震動外，還會分段震動。整體震動即為基礎音，可以視為圖四中  $n=1$  的駐波；分段震動則為泛音，也就是  $n=2、3、4\dots$  的駐波，觀察圖四  $n=2$  的駐波，可以發現這個駐波的頻率為  $n=1$  的駐波的兩倍，因此通過上述文章我們可以瞭解為什麼泛音列的頻率為基礎音的  $n$  倍。

各種樂器在樂團中能展現層巒疊嶂的音響，歸功於音色的不同，這些泛音列組成各式各樣的聲響，造就了一篇又一篇美麗的樂章。希望通過這篇文章，有讓你更加了解這個細微卻影響甚遠的「泛音列」！

#### 參考資料

1. Au：音量與響度 [https://blog.csdn.net/qq\\_41176800/article/details/107948130](https://blog.csdn.net/qq_41176800/article/details/107948130)
2. 知乎：如何利用波形圖區分音調音色和響度？巧妙區分聲音的三大特點  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/442925403>
3. Youtube\_\_一次搞懂泛音列！<https://youtu.be/0iJmDhNocaQ>
4. 通訊博物館：駐波  
[http://www.cmm.gov.mo/chi/exhibition/secondfloor/moreinfo/2\\_11\\_0\\_StandingWave.html](http://www.cmm.gov.mo/chi/exhibition/secondfloor/moreinfo/2_11_0_StandingWave.html)

註：

1. 未使用本競賽官網提供「科學文章表單」格式投稿，**將不予審查**。
2. 字數沒按照本競賽官網規定之限 500 字~1,500 字，**將不予審查**。  
PS.摘要、參考資料與圖表說明文字不計入。
3. 建議格式如下：
  - 中文字型：微軟正黑體；英文、阿拉伯數字字型：Times New Roman
  - 字體：12pt 為原則，若有需要，圖、表及附錄內的文字、數字得略小於 12pt，不得低於 10pt
  - 字體行距，以固定行高 20 點為原則
  - 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖