

投稿類別：工程技術類

篇名：
銅管樂器的發聲原理

作者：
葉庭昕。國立台南高工。機械二甲
黃琪媿。國立台南高工。機械二甲

指導老師：
吳俊仁老師

壹●前言

一、研究動機.

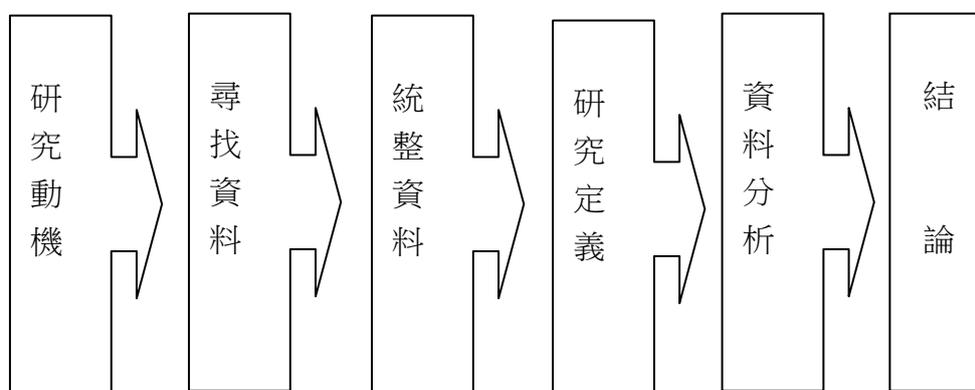
本文以小號探討銅管樂器如何以三至四個活塞管而能發出不同的音調。樂隊在世界各地多數活動上都可以看到管樂隊的存在，管樂器大致上可分為木管樂器及銅管樂器，木管樂器構造多孔，以簧片的震動傳送能量至樂器上，而銅管樂器十分奇妙，靠著三至四個活塞管的構造即可發出多種不同的音調，這也激發了本文研究小號的構造及活塞發聲的原理，並希望由製造的流程找出製造銅管樂器的方法。

二、研究目的

以小號為銅管樂器的例子，探討基本加工方法及銅管樂器選用材質、構造及發聲的原理。銅管樂器有著不同材質及許多種不同的外型，雖然都似曾相識，但音色及聲調都有很大的不同，甚至在演奏方式均有所不同。本文即是從發聲的方法去討論如小號之活塞型樂器的發聲原理，討論小如何以簡單的三個活塞即可出如此多樣的音色，最後再由加工的方法論出如何製造出一個音色優美的銅管樂器。

三、研究方法

本文以活塞和小號的製造要點作為範例來探討，並參觀樂器製造觀光工廠得以文章啟發，取實體小號及其他銅管樂器參考外觀管長，網路蒐集資料圖得知管中氣流的 2D 圖，並加以思考按不同按鍵時的氣流狀況，並以手繪畫出，觀看網路影片得知小號製作流程圖，蒐集資料後分析圖表而得到結論，研究流程圖如圖一所示。



圖一 研究流程圖

貳●正文

一、共振與震幅頻率

(一)共振

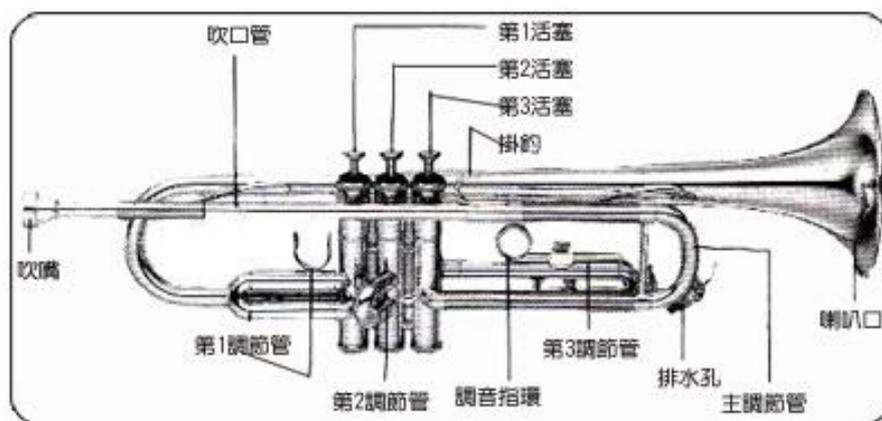
共振在聲音中稱為共鳴，像是吹奏樂器的演奏者將氣吹入銅管內，利用氣流的振動使嘴唇做變化而發音，藉由吹嘴的協助，後進入樂器產生共鳴然而發出聲響，

(二)震幅及頻率

震幅決定聲音的大小，頻率決定聲音的高低。以小號為例，小號是先送氣至吹嘴後傳到活塞負責調音以嘴巴送氣速度控制震幅，使聲音產生音高及低音，當嘴唇放鬆時頻率低，發出的聲音低，當嘴唇緊時，頻率高，發出的聲音則高。

二、銅管樂器活塞原理

以小號樂器來說它是以按鍵的方式來去控制活塞管的空間大小而決定音的高低。為了調音準可拔出拔入的地方稱調音管，拿小號的時候以左手中指勾住的圓環以便吹奏時伸進伸出，或於右手方的主調音管控制即可，小號樂器的構造如圖二所示。



圖二 小號的構造名稱(註一)

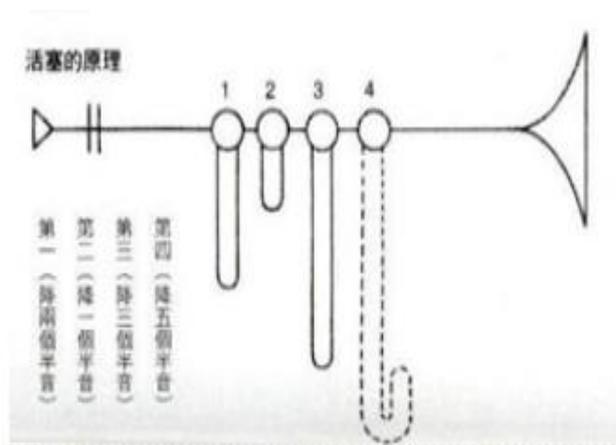
三、銅管樂器的發聲原理

小號樂器共有三個活塞，三個活塞按下時會改變樂器內銅管的長度，小號樂器活塞示意圖如圖三(註一)所示。銅管的長度會影響音階的高低，銅管越

長則所發出的音階越低，相反的，如果使銅管越短，空氣走的路徑越短，則音階越高。

當第一活塞按下時會使音調降低一個全音(也就是兩個半音)，當第二活塞按下時會使音調降低一個半音，而當第三活塞按下時會使音調降低三個半音。有些銅管樂器為了提高音準的品質，會在第三活塞管後加入第四活塞管，而第四活塞管按下時會等於同時按下第一活塞與第三活塞(設計時是引用數學一加三等於四的概念)。

那相同的概念，當同時按下第一活塞與第二活塞時會等於按下第三活塞所產生的效果(即數學一加二等於三的設計概念)，這是由於按下第一活塞會產生降低兩個半音的效果，加上按第二活塞會產生降低一個半音的效果，兩個半音加上一個半音等於三個半音，即與按下第三活塞所產生的效困相同。



圖三 小號樂器活塞示意圖

四、何謂按鍵式活塞和轉閥式活塞

銅管樂器即是靠著改變銅管的長度來改變空氣在銅管中所走的距離，來改變銅管樂器的音階高低，而要改變銅管的長度最常見的方法即是靠活塞來改變空氣在銅管走的路徑。而活塞的形式在銅管樂器中最常見的是按鍵式活塞與轉閥式活塞兩種。

(一)轉閥式活塞

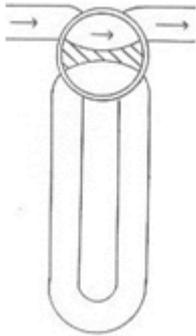
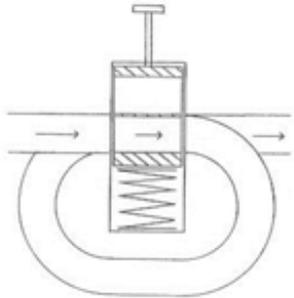
由 Mr. Kail 所發明的旋轉閥，以啤酒桶上控制啤酒流出的龍頭的啟發所設計出的轉閥式活塞。在此設計中，活塞在閥殼轉向垂直移動，與一個一致的孔配合使空氣改變活動的路徑。雖然轉閥式活塞的旋轉閥較難以拆卸維修，但這種類型的閥門是成為十九世紀末期在德國喇叭使用

的標準設計。

(二)按鍵式活塞

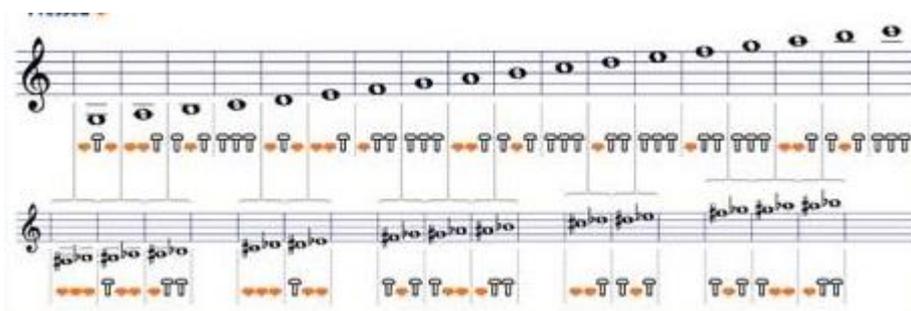
按鍵式活塞為直接式按壓，構造簡單且不易壞，彈簧式按鍵，以伸縮原理完成調音目的，下壓時增長管以降音，因下壓時距離長，所以演奏速度慢，以閥門原理連通管子以達到伸長管子的目的。

表一 轉閥式活塞管與按鍵式活塞管的比較(註二)

	轉閥式活塞管	按鍵式活塞管
作用簡圖		
作用原理	按按鍵後轉動閥，以連動的方式拉動管連接位置得以達到調音的目的。	彈簧式按鍵，以伸縮原理完成調音目的下壓時增長管常以得降音。
優點	獨奏的靈活度和音色。轉閥式的按鍵對演奏者來說能在演奏過程比較快，因為按鍵回來距離較短程。	按鍵式活塞管通常於右手操作，適合初學，外型及構造較轉閥式活塞簡單且不易損壞。
缺點	轉閥式活塞通常裝在側面或左手操作按鍵，需要長期的習慣才能順利達到目的，且按鍵外型脆弱易損且不易修。	演奏靈活度慢，容易因為沒上油而卡鍵按鍵，來回距離較長且按鍵下壓及上升時會有碰撞聲響。

五、音階高低的控制

銅管樂器靠著控制活塞來控制銅管的長度，根據銅管的長度越短則音階越高的原理，演奏時即可靠按按鍵來產生所要演奏的音階，小號樂器的按鍵與音階的關係如圖四所示。



圖四 小號樂器按鍵與音階的關係

不按按鍵直接吹氣發出的聲音為基本八度 Do 的音，此時走的路徑如圖五(a)所示，此一路徑是所有路徑中最短的路徑，當然如果要發更高的高階需靠嘴唇的變化才能達到，即當嘴唇再稍微閉緊時使頻率變高則音調變高，是基本八度 Sol 的音。

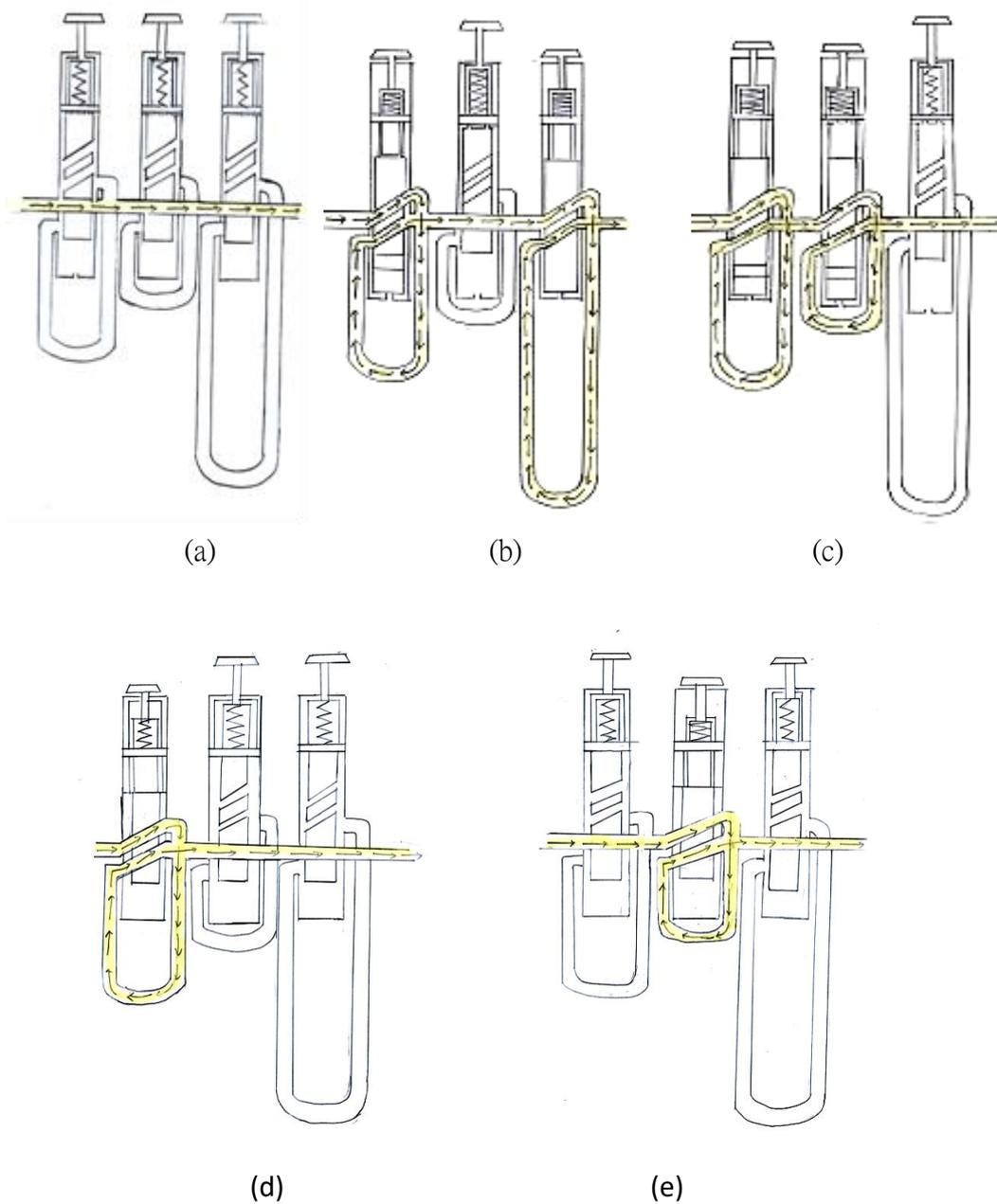
如按下第一活塞管加第三活塞管在小號來說的基本八度是 Re 的音，空氣在銅管中所走的路徑如圖五(b)所示。音 Do 是不按按鍵，到音 Re 時，因為吹嘴上使用吹奏技巧使頻率變高，送氣速度快，所以降了五個半音，當四鍵小號出現時，第四鍵下壓則是降五個半音，所以四鍵銅管可選擇第四鍵或同時按第一按鍵與第三按鍵。

按第一活塞管加第二活塞管是小號基本八度 Mi 的音而在嘴唇閉緊時是 La 的音，空氣在銅管中所走的路徑如圖五(c)所示。與同時按第一鍵與第三鍵比較空氣在銅管所走的路徑較短，所以在相同的嘴形及空氣量下會發出較高的音階。在 Re 的時候是降五個半音，而 Mi 的音則是降了三個半音，所以 Mi 跟 Re 比起來則是生了兩個半音也就是一個全音，以相同的頻率吹奏，會產生高一個音的效果。

Fa 的音在小號基本八度則是按第一鍵，是 Mi 再升兩個半音，空氣在銅管中所走的路徑如圖五(d)所示。與同時按第一鍵與第二鍵比較空氣在銅管所走的路徑又更短，所以在相同的嘴形及空氣量下會發出較高的音階。在這轉捩點要以吹嘴再稍微控制下頻率，使所發出的聲音能順利達到音準。

Fa 到 So 的時候放掉第一鍵則是升兩個半音也就是升一個全音。La 到

Si 的時候放掉了第一鍵，也就是升了兩個半音即一個全音，此時為只按第二個按鍵，空氣在銅管中所走的路徑如圖五(e)所示。



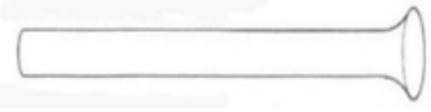
圖五 按各按鍵活塞按鍵之空氣路徑圖

- (a) 三個按鍵均不按時的空氣路徑圖
- (b) 同時按下第一與第三個按鍵時的空氣路徑圖
- (c) 同時按下第一與第二個按鍵時的空氣路徑圖
- (d) 按下第一個按鍵時的空氣路徑圖
- (e) 按下第二個按鍵時的空氣路徑圖

六、喇叭開口管徑設計要點

喇叭開口的樣式關係到銅管樂器的音色，不同的設計有不同設計的目的及功用。在銅管樂器中最常見的喇叭開口有圓筒管和圓錐管，兩種各有不同的音色，也會用在所需要音色的銅管樂器上，現將這兩種喇叭開口的比較列表如表二所示。

表二 圓筒管和圓錐管的比較(註一)

	圖形	樂器	音色	樂曲
圓筒管		小號、長號、 低音號、上低音號、薩克斯風。	尖銳、細緻、 嘹亮、雄壯、 飽滿。	大多吹奏於 爵士樂曲或 軍樂隊、管樂團。
圓錐管		短號、法國號。	溫和、醇厚、 高雅、陰沉、 圓滑。	獨奏、英式銅管樂隊、管樂團、爵士樂、行進樂。

參●結論

在這次研究中不僅學到了聲音的發聲原理，銅管長度對音階的影響，更清楚知道銅管樂器的設計與音色及音調的影響然有如此大的影響，也了解到工業技術對樂器來說多偉大以上即是本文所得到的結論：

- 一、吹嘴控制聲音的振幅，活塞控制銅管的長度，改變兩者即可以控制音調的高低及聲音的音色及音量。
- 二、在相同的嘴型及空氣量下，銅管的長度越短則演奏出的音階越高，相反的若銅管的長度越長則演奏出的音階越低。
- 三、活塞利用水龍頭開關閥門的使用，使空氣在銅管中行經不同的路徑，以改變銅管的長度，以改變音階高低。
- 四、喇叭口及小號的外觀設計都是經過巧思的設計，為了不同的樂器演奏不同的效果而做不同的外形計。
- 五、銅管的按鍵降音升音也經過巧思，如同時按按鍵一及按鍵三等於按按鍵四，雖然銅管部分靠吹嘴控制頻率，但活塞是可以控制音準的最大幫手。

肆●引註資料

- 註一：功學社樂器股份有限公司 網站
http://www.khsmusic.com.tw/khs/repair_service/repair_service_brass_Truempet.asp)
- 註二：Early Valve Designs -John Ericson
<http://www.public.asu.edu/~jqerics/earlval.htm>
- 註三：基礎物理 C(II) 陳建良(2011)編著 漢化文化出版社
- 註四：音樂 李家霖(2011)新文京開發出版股份有限公司
- 註五：機械製造 I 王千億 王俊傑(2015) 全華出版社