

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

080507

聽石頭在說話-利用特色聲頻分類礦石

學校名稱： 國立臺南大學附設實驗國民小學

作者： 小六 邱浚睿 小四 邱千華	指導老師： 林士揚 蔡岱芬
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 礦石辨識、礦石共振頻率、晶格振動

聽石頭在說話

—利用特色聲頻分類礦石

摘要

海邊踏浪發現美石時，如何判定這塊石頭的種類？利用硬度或外觀判斷法則，常會矛盾或無法準確判斷。因此，本研究首次提出藉由物質受敲擊所發出的特色聲頻進行辨識：針對台灣東海岸常見礦石建模並分析，重現《聽音辨玉》的場景。為了要證明同一材質樣品厚度對特色聲頻沒有顯著性差異，利用水泥、環氧樹脂建模；同時利用環氧樹脂包覆玉石來驗證複合材質的特色聲頻偏移量，也在玉髓共生麥飯石的樣本中得到佐證；發現礦石材料中有微小孔隙或氣泡空間，會造成較大的特色聲頻偏移量。在建立標準樣本的特色聲頻數據後，本研究透過統計的資料分析來確認礦石的身分；它讓我們解鎖了珍藏許久一廂情願認為的玉髓得以水落石出，更補足傳統辨石法所需的經驗值。

壹、前言

一、研究動機

踩在海邊的石頭堆裡，是一種既療癒又有趣的感受，當低頭看著腳下的石頭又會幻想它是否是顆未經琢磨的寶石呢？學校老師在一次科學研習中介紹判別石頭的知識，讓我們眼睛為之一亮，雖然因故未能參加學校舉辦的撿石實作之旅，但在家人的協助下，我們踏在老師們相同的路徑上，驗證辨別石頭的知識。知易行難，雖然我們在現場一直利用照光法(強光)、硬度測量及水滴法來驗證，無奈經驗值太差，感嘆原來知識跟實作有這麼大的差異啊！抱持著學習的心態，繼續精進自己對礦石的認識，在尋找資料的過程中，發現緬甸有一群具有特殊技能的採石人員，憑藉一根鐵槌敲擊原石，就可判定石材種類，這個訊息開啟了我們的研究之路，雖然缺乏豐富的聽覺辨識能力，但我們想藉由科技的協助，聽石頭在說話，看它會傳遞什麼訊息，來訴說它的身世！

二、研究目的：

(一)台灣東海岸常見玉石及標準岩石外觀的分類與特色聲頻建模：

1.輝玉	2.玉髓	3.年糕玉	4.黃碧玉	5.石英
6.安山岩	7.長石	8.砂岩	9.黑雲母	10.水石

(二)探討相同材質的樣本，厚度對特色聲頻的影響：利用水泥、環氧樹脂建模。

(三)利用標準樣本建立之特色聲頻資料，以對未知礦物進行辨識。

(四)聲頻模型驗證與應用：珍藏礦石的分析—來自塔斯馬尼亞的石頭、日本九州火山岩、豐田玉及仿玉髓的辨識。

三、文獻回顧

(一)玉與石頭的糾結

玉是石頭嗎？從科學的角度來看，玉石和石頭都屬於礦物，但它們的化學成分和物理特性卻存在著很大的差異。

	玉石	岩石
成分	透閃石，屬於矽酸鹽礦物	包括矽酸鹽礦物、碳酸鹽礦物、氧化物礦物、磷酸鹽礦物等。

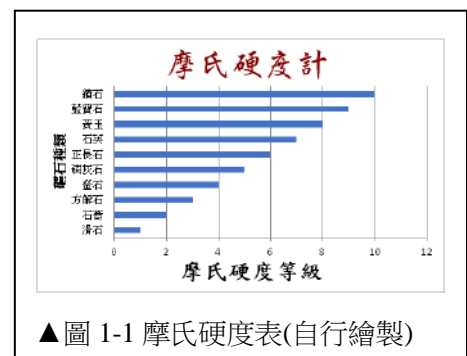
		其中較常見的有石英、長石、雲母、方解石等
硬度(註)	硬度較高，摩氏硬度 6-7 之間	摩氏硬度約在 3 到 6 之間
密度	約在 2.9-3.1g/cm ³ 之間	密度變化大
韌度(打擊硬度)	韌度佳，不易碎裂	韌度差，易碎裂
結晶構造	多晶質岩石，由多個不等粒度的晶體礦物組成，非單一的結晶體，有較強的緻密度，光線照射下會呈現出均勻而柔和的光澤	岩石通常是單晶體，其結晶構造更加規則和均勻

▲表 1-1 玉石、岩石差異比較表

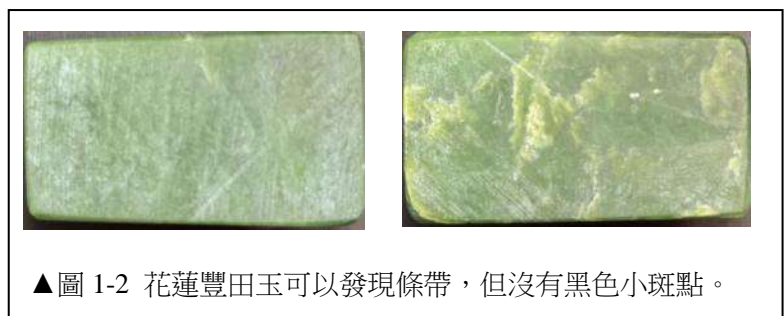
如何鑑別石頭是否為玉石？目前的步驟為：1『看』、2『聽』、3『測』。

- 1 看：主要看晶體透明度、內部結構、光澤等。真玉透明、油脂光澤(觸摸)，花紋自然，內部纖維狀態是不易模仿的。
- 2 聽：敲擊玉石時，真玉聲音清脆，石頭和人工合成假玉較悶(有報導指出，贗品在聲音這一塊已有長足的進步)。
- 3 測：主要是測硬度及滴水測試。以玻璃板或鋼刀(摩氏硬度 5.5)為標準，若樣本有留下刻痕表示硬度小於 5.5。

註：19 世紀，野外地質學與礦物學家摩氏(Friedrich Mohs)，利用阿爾卑斯山地區常見的滑石、石膏、方解石、螢石、磷灰石、正長石、石英及黃玉等礦物，依序訂出 8 個相對硬度等級，再加上藍寶石及當時已知最硬的礦物-鑽石，總共列出 10 個等級，即所謂的「摩氏硬度計」。



現代礦物學家所認定「玉」的範疇為閃玉和輝玉兩種，兩者的摩氏硬度沒有明顯相異。台灣玉的產地位在花蓮縣壽豐鄉豐田地區西邊老腦山，海拔高約 1000 公尺，被發現在蛇紋岩與黑色

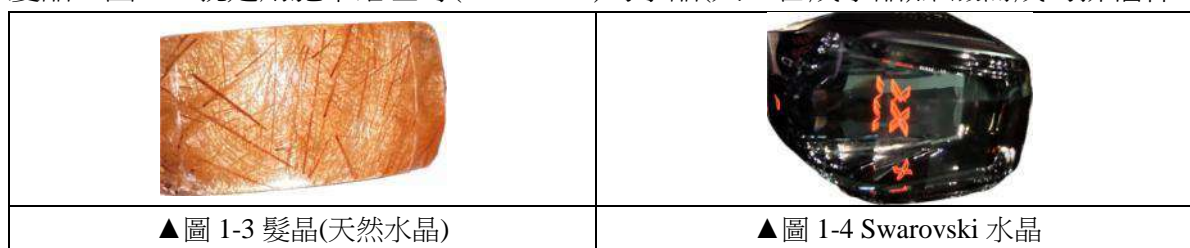


片岩的接觸帶，以及蛇紋岩岩體之中，它又稱作『豐田玉』。主要由角閃石類之透閃石—陽起石混合組成，又稱『臺灣閃玉』，顏色偏白者，幾乎是以透閃石為主；當含鐵量較高的陽起石比例逐漸增多時，顏色從淡綠色轉為墨綠色，而含鉻量越高者，顏色會偏向翠綠色且外觀經常呈現黑色的小斑點或條帶，圖 1-2 的花蓮豐田玉樣本成分應是陽起石的比例較高，帶因為有部分條帶，此處的含鉻量應頗高。

(二)水晶與石英

石英水晶經常以透明或半透明的晶簇群聚出現，清澈的晶體常相伴著半透明或乳白色的晶座，因其內含無數微細氣泡。石英是地殼岩石中含量僅次於長石的礦物，花崗岩漿後期的岩漿結晶多半為石英水晶，而專家所言之水石(水玉)泛指玉化未完成的石

英。17 世紀末，玻璃水晶是以 *rock crystal* 稱呼天然水晶，屬於「非晶質」的玻璃水晶。水晶在眾人眼中是具有吸收或發射能量的特殊功能，可以散發磁場，如圖 1-3 為天然髮晶。圖 1-4 就是用施華洛世奇(*Swarovski*)的水晶(人工合成水晶)點綴而成的排檔桿。



(三)台東麥飯石

台灣台東到花蓮之間的海岸山脈，出產一種表面上佈滿一粒粒如煮熟米飯般顆粒的岩石，故稱之為麥飯石，學名為「斑狀安山岩」，其表面的顆粒也就是白色斜長石的結晶。斑狀安山岩岩漿屬於中性岩漿，其二氧化矽的含量大約在 52% ~ 66% 之間，其因是在較長時間的冷卻下所造成，可以擁有較大顆粒的長石結晶，硬度為 5~6。岩石裡面所含的鐵分子，是在當初爆發時受到高溫水蒸氣的氧化或還原作用，才出現紅色、綠色、黑色等變化。麥飯石若含有沸石，可以用來過濾水，主要是沸石含有氣孔，當水分在氣孔中流通時便能達到淨化的效果。表面散佈著斜長石粒點，若經長時間自然風化，岩質易變成鬆質多孔性物質，形成具有強力吸附性及在水中易溶釋出微量之礦物質元素等特性。根據文獻資料，台灣所產的麥飯石是不具有沸石成分者。

(四)特色聲頻頻率

聲波傳遞過程中，會因為所經過的介質不同而共振出不同頻率，所以共振頻率會受到樣本材質、結構與密度的影響。例如敲一下金屬湯匙，會聽到清脆的叮噠聲；但如果立刻將這隻湯匙放入水裏，則聽到的聲音頻率立刻降低了。另外，也有實驗顯示放入固定水量的玻璃杯，所發出的敲擊共振頻率則是固定的。例如烏克蘭麗麗的弦振動能量傳遞到琴板、琴箱體以及幾乎封閉的箱內空間，引起琴體及其中空氣的振動而發出聲波，整個歷程涉及弦振動、板振動(包括面板、背板、低音樑、側板等)和空氣振動，樂器的每個部位都有其特色共振頻率，因此形成整個樂器固有的特色聲頻。

當礦物結構受到衝擊而出現「傾向」震盪的頻率，就稱為自然頻率 (*natural frequency*)，又稱特徵頻率。晶體結構的振動頻率會因結構變化而改變，這種振動頻率常被稱為晶格振動或聲子頻率，這些頻率高低受晶體的原子排列、晶體原子鍵合的緊密度以及組成的原子質量所決定；晶體結構會影響原子之間的相互作用力及其排列，進而改變振動模式和頻率。共生的礦物，因不同結構的結合處會因其鍵合特性、質量差異和局部環境的不同而具有不同的振動頻率。因此，每一個礦物會因其原本的晶體結構或共生物質而決定它晶格振動或聲子頻率的頻譜，我們將它稱之為「礦物的特色聲頻」。礦物內部的空洞或孔隙也會對晶格振動產生一些影響。這些影響通常取決於空洞或孔隙的大小、形狀和分佈，以及它們與晶體結構的交互作用。














(五)聲波與傅立葉轉換

聲音是振動產生的聲波，通過介質傳播並能被人或動物聽覺器官所感知的波動現象。聲音的頻率一般會以赫茲表示，記為 **Hz**。聲音的振動會引起介質一空氣分子有節奏的振動，使周圍的空氣產生疏密變化，形成疏密相間的縱波，這就產生了聲波，這

種現象會一直延續到振動消失為止。聲波可以被分解為不同頻率、不同振幅以及不同相位的正弦波(*sin wave*)的疊加；我們可使用「傅立葉轉換」來拆解經由不同頻率疊加的波形。例如一個複合波的振幅 A ，可以拆解成頻率 f_1 振幅 A_1 的波，加上頻率 f_2 振幅 A_2 的波，再加上頻率 f_3 振幅 A_3 的波等。複合音的頻率成份雖然複雜，但人類的耳朵可以輕易在嘈雜的環境中分辨出語音、樂音等，顯然人類的聽覺系統也必定在作類似傅立葉轉換的頻率成份之拆解，因此透過快速傅立葉分析可以取得樣本結構受敲擊後產生的特色聲頻。

貳、研究設備及器材:

一、待測樣本

樣本	輝玉 UN01	玉髓 UN01	玉髓 UN02
照片			
樣本	玉髓 UN03	玉髓 UN04	玉髓 UN05
照片			
樣本	玉髓 UN06	年糕玉 UN01	年糕玉 UN02
照片			
樣本	黃碧玉 UN01	黃碧玉 UN02	石英 UN01
照片			
樣本	石英 UN02	石英 UN03	仿玉髓 UN03
照片			

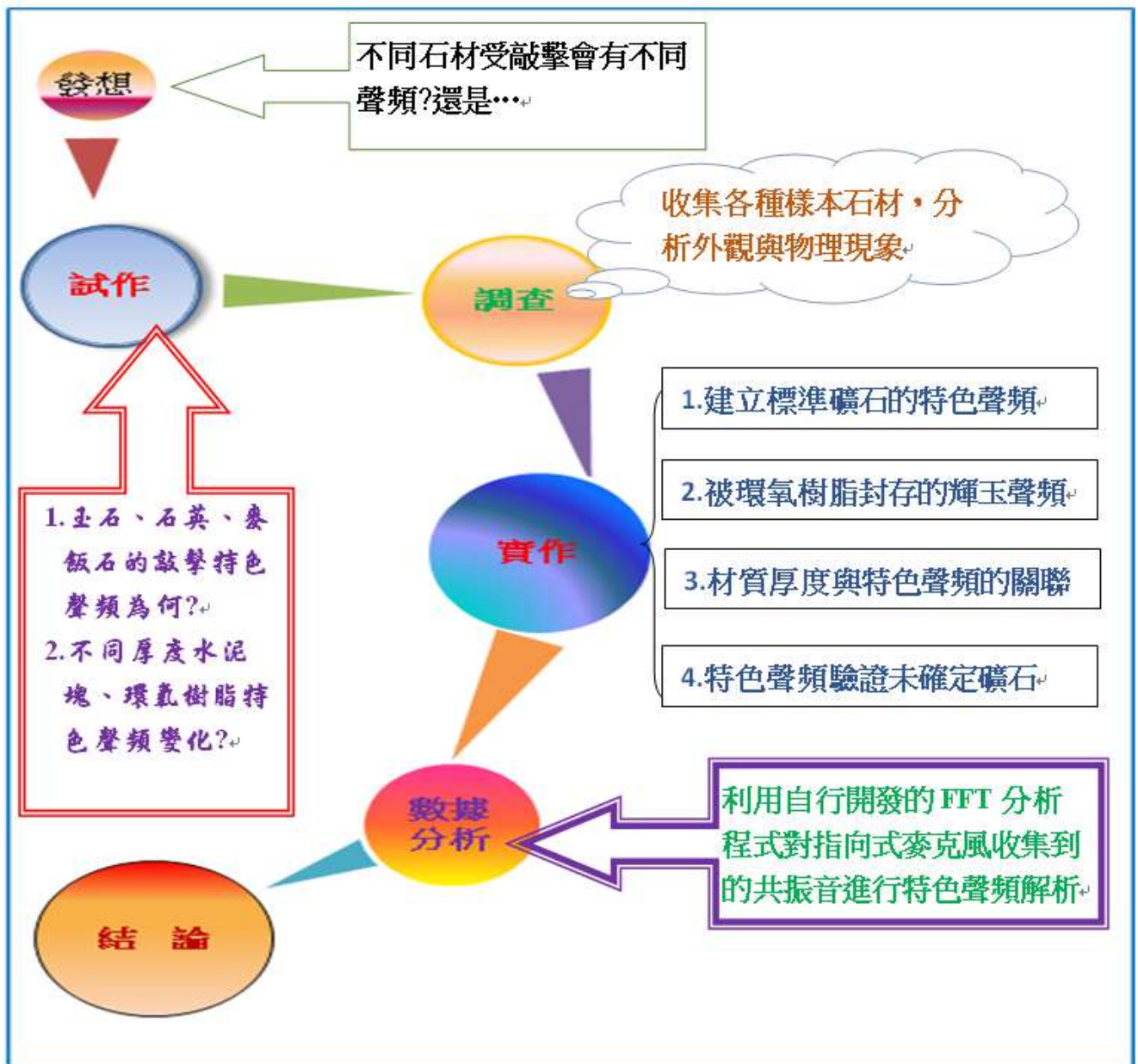
樣本	豐田玉	塔斯石	火山岩
照片			

二、其他輔助器材:

Python3.11&PyCharm 編輯器	Phyphox APP 聲調產生器	自由落體實驗組 (含電磁鐵、支架組)
指向式麥克風	大、中、小鋼珠	
吸音泡棉	捕獲鋼珠支架	樣品照光盒

參、研究過程或方法

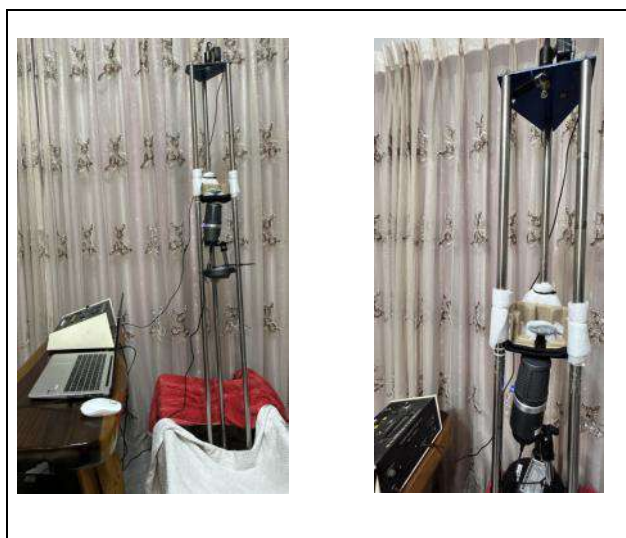
一、研究架構



二、研究方法

(一)建立固定敲擊變因的實驗裝置

我們著手設計建立可固定敲擊樣本的實驗裝置，利用鋼珠從固定高度將位能轉成動能，這樣可以確保敲擊的能量視為固定。至於為何選擇鋼珠，主要是它跟樣本石材接觸時，可看成是點敲擊，透過點敲擊，使石材內的分子結構產生振動進而測量特色聲頻。我們利用電磁鐵讓鋼珠以初速為零的自由落體方式敲擊樣品，自由落體高度為 42 公分，透過儀器定位圓錐(原來儀器具有的配備)，可以精準的決定撞擊位置，在樣本下方架設指向式麥克風，進行量測敲擊音經過石材的聲音訊號，裝置如圖 3-1。



▲圖 3-1 實驗研究裝置圖

經過實驗驗證，鋼珠重量(直徑)並不會影響特色聲頻的頻率，為了保護樣本不至破碎，因此我們選用小鋼珠做為敲擊的珠珠。

(二)開發快速傅立葉分析(FFT)程式，解析礦石受敲擊後共振產生的特色聲頻

利用去年科展研究經驗，再度尋求 ChatGPT 的幫助，完成 Python 快速傅立葉分析程式(FFT)撰寫。FFT 程式編碼過程，最困難的是理論部分，這部分 Python 已有內建的套件，所以用指令就可以完成 FFT 的分析。難怪美國 AI 巨擘輝達執行長黃仁勳先生會說：「AI 時代的教育轉變，人類的工作是創造計算技術，讓所有人都不需要編程。程式編程，就交給 AI，它能快速搞定。」這段話深深地引發我們的共鳴，在開發程式的過程，理解理論才是核心，至於程式碼的部分，ChatGPT 就能提供你所需的協助，配合自己基礎的程式語言背景知識，我們開發了分析敲擊特色聲頻與後續數據分析及繪圖的程式。

(三)設定鋼珠敲擊順序

選定樣本受敲擊面，從中心點開始敲擊，由指向式麥克風收集聲波，透過 FFT 程式分析響度前三強的頻率，做為樣本的特色聲頻(這三個頻率應該非常接近)，接著以中心點進行螺旋狀敲擊軌跡，完成每個樣本取得足夠數據後進行平均值與標準差的分析，並以信賴區間的呈現方式表達該樣本的特色聲頻分布，用 t 檢定(2 組樣本的比較)或變異數分析(ANOVA，三組以上樣本)來判定樣本間的相關性。

肆、研究結果

一、臺灣東玉、岩石初探

我們針對收集的東玉及岩石(有些來自標準礦物盒)樣本進行『1 看』及 3『測』的程序，從外觀、硬度、觸摸及透光度來對樣本進行分析，在老師協助下選定標準礦石並商請台東玉石達人做最後確認，表 4-1 是針對樣本初探的分析結果：

礦石種類		相對硬度	最大透光度	觸感	外觀奇異點
台灣東玉	輝玉	高	高透光度	感覺皮細與冰涼感。	外觀大多呈三角形，有些地方有沁色及玉紋。
	玉髓	高	高透光度	有包漿或共生的玉髓，觸摸起來感覺較多元。	純淨的玉髓很透白，但共生的玉髓較難辨識。
	年糕玉	高	低透光度	表面光滑，觸摸滑順有冰涼的感覺。	極少數年糕玉有糯米種(白色乳狀)，透光度更佳。
	黃碧玉	高	不透光	若表面有凹凸不平，類似麥飯石的感覺，觸感偏粗糙，有沙沙的感覺。	表面有白色斑點，經過水測法後斑點會變色。
	蛇紋石(墨玉)	低	低透光度	表面光滑，觸摸有些許黏手帶點冰涼的感覺。	石如其名，整顆呈現墨綠及墨黑色的綜合體，具有磁性。
	豐田玉	高	半透光性	溫潤且有冰涼感(感覺挺涼爽的)，觸感稍差。	表面無光澤(尚未打磨)，照光後會透光色澤介於亮淺綠與亮深綠混色。
岩石	石英	高	高透光度	觸感沙沙的感覺，不滑順。	表面有角閃，有些晶瑩剔透，有些呈現乳白色狀。
	安山岩	低	不透光	平整切割面較光滑，斷理面較粗糙。	為灰白混色，分布相當均勻，外觀有許多礦物斑點。
	長石	高	不透光	外表明顯的顆粒，粗糙感。	紅色或粉紅色的正長石。
	砂岩	低	不透光	外表明顯的顆粒，粗糙感。	黃褐色，摸起來粗粗的，容易有顆粒崩落。
	黑雲母	低	半透明	斷理面較不規則。	表面具有玻璃至珍珠光澤，層狀間有白色條痕。
	麥飯石	高	不透光	因表面粗糙，觸感不滑順。	表面有斑點，經過水測法後斑點依舊存在且不會變色。

▲表 4-1 標準玉石、岩石外表分析表

註：

(1)硬度判別：利用小刀刻畫玉石或礦物，如果有傷痕判定硬度小於 5.5，以「低」表示，如果沒有傷痕可判定硬度大於 5.5，以「高」表示。

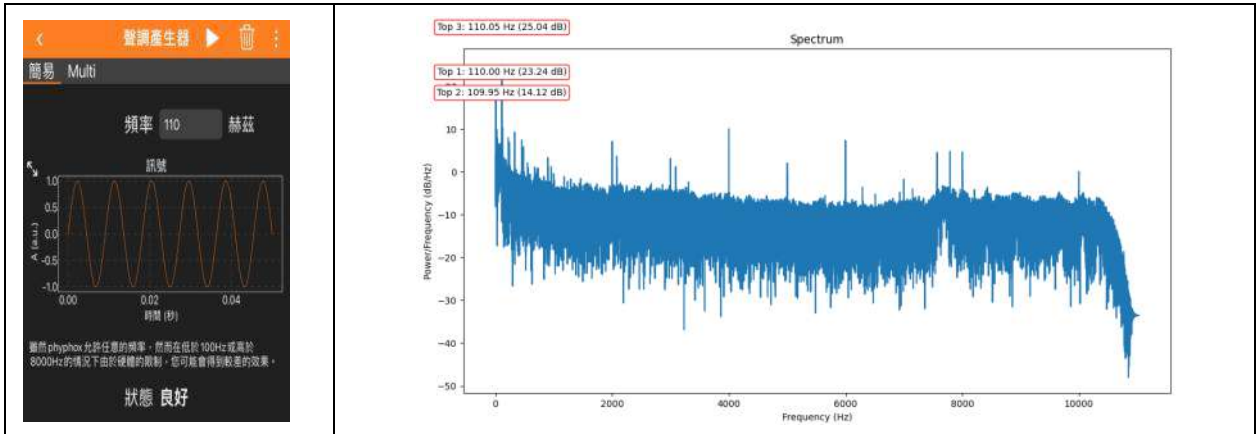
(2)最大透光度：利用自製的照光模型，如圖 4-1，低透光度即表示其透光微弱，且僅部分透光；高透光度表示其全透光且明顯。



圖 4-1 樣品照光盒

二、驗證實驗儀器分析結果的準確性

利用 phyphox APP 中聲調產生器發出特定頻率的聲頻當成敲擊音，設定產生頻率分別為 60、110 及 440Hz 的聲源，將該音源作為實驗敲擊所發出的脈衝音擷取聲源後並用自行開發的快速傅立葉轉換(FFT)進行特色聲頻分析。以 110Hz 為例，數值為聲源響度前三強所對應的頻率，分析結果如圖 4-2，證實實驗裝置的可靠性。



▲圖 4-2 標準音源頻譜圖

三、標準樣品特色聲頻建模—利用 t 檢定及變異數分析(ANOVA)決定數據相關性

(一)輝玉

名稱	輝玉 001	輝玉 002	輝玉 003	輝玉 004
	標準輝玉特色聲頻數據：平均值 116(Hz)，特色聲頻 114-119(Hz)			
照片				
數據分析資料	<p>▲圖 4-3 標準輝玉聲頻分布及信賴區間圖</p>		<p>▲圖 4-4 標準輝玉特色聲頻箱型圖</p>	

(二)玉髓

名稱	玉髓 01	玉髓 02	玉髓 03	玉髓 04	玉髓 05	玉髓 06
	標準玉髓特色聲頻數據：平均值 113(Hz)，特色聲頻 112-114(Hz)					
照片						

數據分析資料		
	▲圖 4-5 標準輝玉聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-6 標準輝玉特色聲頻箱型圖




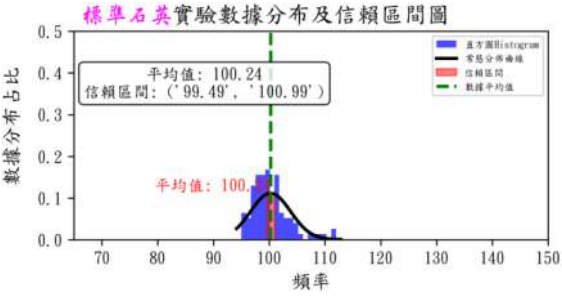
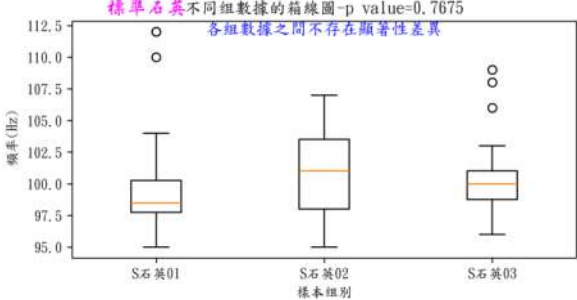
(三)年糕玉

名稱	年糕玉 01	年糕玉 02
	標準年糕玉特色聲頻數據：平均值 115(Hz)，特色聲頻 115-116(Hz)	
照片		
數據分析資料		
	▲圖 4-7 標準年糕玉聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-8 標準年糕玉特色聲頻箱型圖



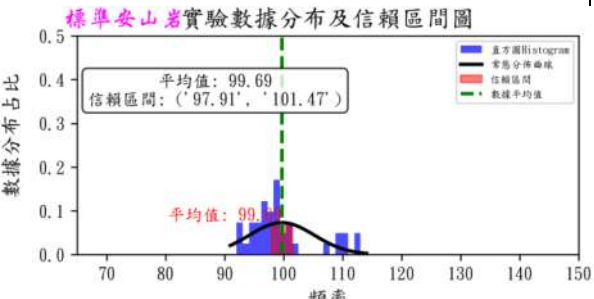
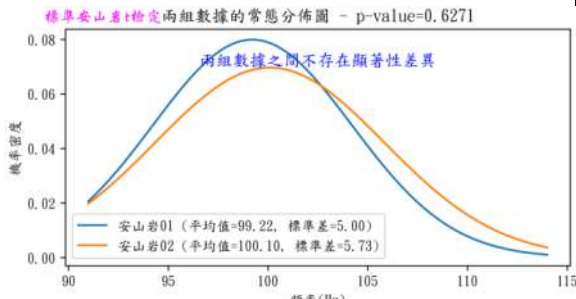
(四)黃碧玉

名稱	黃碧玉 01	黃碧玉 02	黃碧玉 03
	標準黃碧玉特色聲頻數據：平均值 116(Hz)，特色聲頻 115-117(Hz)		
照片			
數據分析資料			
	▲圖 4-9 標準黃碧玉聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-10 標準黃碧玉特色聲頻箱型圖	

(五)石英

名稱	石英 01	石英 02	石英 03
	標準石英特色聲頻數據：平均值 100(Hz)，特色聲頻 99-101(Hz)		
照片			
數據分析資料			
	▲圖 4-11 標準石英聲頻分布及信賴區間圖		▲圖 4-12 標準石英特色聲頻箱型圖

(六)安山石

名稱	安山岩 01	安山岩 02
	標準安山岩特色聲頻數據：平均值 100(Hz)，特色聲頻 98-101(Hz)	
照片		
數據分析資料		
	▲圖 4-13 安山岩特色聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-14 安山岩特色聲頻 t 檢定常態分佈圖

(七)長石

名稱	長石 01	長石 02
	標準長石特色聲頻數據：平均值 97(Hz)，特色聲頻 96-98(Hz)	
照片		

數據分析資料	<p>標準長石實驗數據分布及信賴區間圖</p> <p>平均值: 96.77 信賴區間: ('95.99', '97.55')</p>	<p>標準長石t檢定兩組數據的常態分佈圖 - p-value=0.8394</p> <p>兩組數據之間不存在顯著性差異</p> <p>S長石01 (平均值=96.69, 標準差=3.87) S長石02 (平均值=96.85, 標準差=2.79)</p>
	▲圖 4-15 長石特色聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-16 長石特色聲頻 t 檢定常態分佈圖



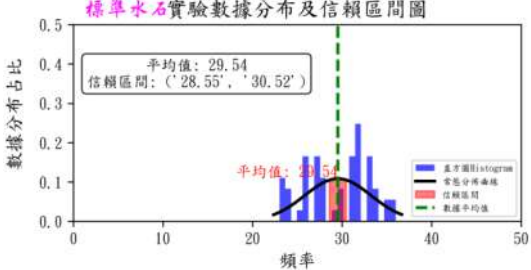
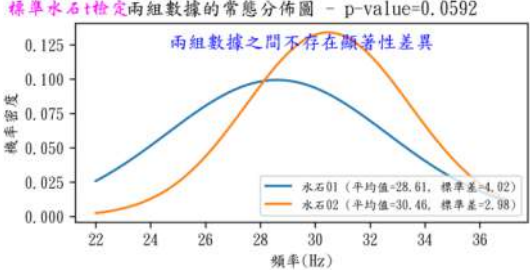
(八)砂岩

名稱	砂岩 01	砂岩 02
	標準砂岩特色聲頻數據：平均值 99(Hz)，特色聲頻 96-101(Hz)	
照片		
數據分析資料	<p>標準砂岩實驗數據分布及信賴區間圖</p> <p>平均值: 98.61 信賴區間: ('96.42', '100.80')</p>	<p>標準砂岩t檢定兩組數據的常態分佈圖 - p-value=0.1751</p> <p>兩組數據之間不存在顯著性差異</p> <p>S砂岩01 (平均值=97.03, 標準差=7.80) S砂岩02 (平均值=100.03, 標準差=10.04)</p>
	▲圖 4-17 砂岩特色聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-18 砂岩特色聲頻 t 檢定常態分佈圖

(九)黑雲母

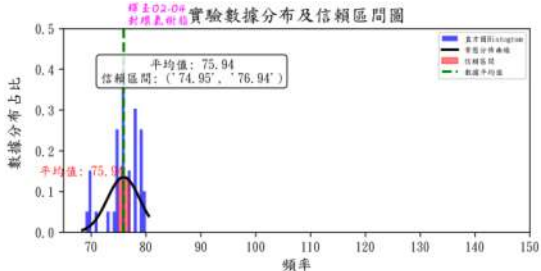
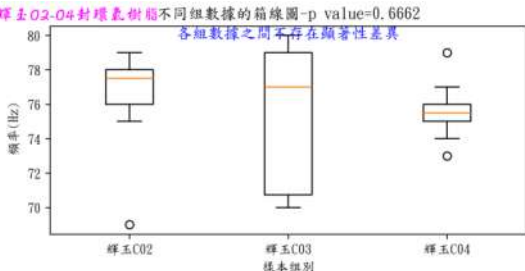
名稱	黑雲母 01	黑雲母 02
	標準黑雲母特色聲頻數據：平均值 104(Hz)，特色聲頻 102-106(Hz)	
照片		
數據分析資料	<p>標準黑雲母實驗數據分布及信賴區間圖</p> <p>平均值: 104.00 信賴區間: ('101.72', '106.28')</p>	<p>標準黑雲母t檢定兩組數據的常態分佈圖 - p-value=0.0647</p> <p>兩組數據之間不存在顯著性差異</p> <p>S黑雲母01 (平均值=106.12, 標準差=10.34) S黑雲母02 (平均值=101.88, 標準差=10.16)</p>
	▲圖 4-19 黑雲母特色聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-20 黑雲母特色聲頻 t 檢定常態分佈圖

(十)水石

名稱	水石 01	水石 02
	標準水石特色聲頻數據：平均值 30(Hz)，特色聲頻 29-31(Hz)	
照片		
數據分析資料	<p>標準水石實驗數據分布及信賴區間圖</p> 	<p>標準水石 t 檢定兩組數據的常態分佈圖 - p-value=0.0592</p> <p>兩組數據之間不存在顯著性差異</p> 
	▲圖 4-21 水石特色聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-22 水石特色聲頻 t 檢定常態分佈圖

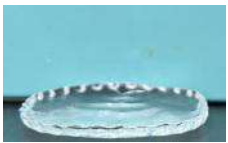
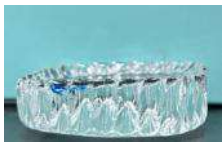

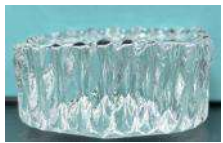
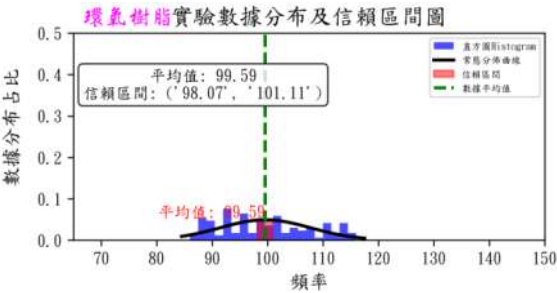
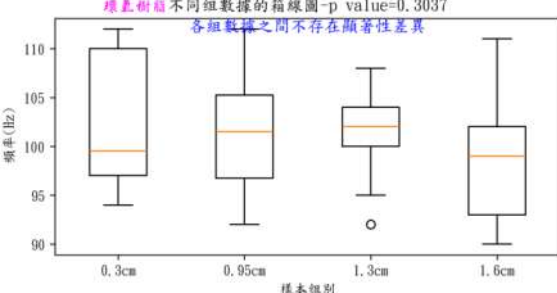
四、探究樣本條件差異，特色聲頻之變化

(一)用環氧樹脂封輝玉探究複合材質的影響

<p>輝玉 02-04 實驗數據分布及信賴區間圖</p> 	<p>輝玉 02-04 封環氧樹脂不同組數據的箱線圖 - p value=0.6662</p> <p>各組數據之間不存在顯著性差異</p> 
▲圖 4-23 輝玉 02-04 在環氧樹脂中的特色聲頻圖	▲圖 4-24 輝玉 02-04 在環氧樹脂 ANOVA 分析圖

(二)探討同一材質樣品厚度對特色聲頻的影響：利用水泥、環氧樹脂建模

1.環氧樹脂

名稱	環氧樹脂 030 厚度：0.3cm	環氧樹脂 095 厚度：0.95cm	環氧樹脂 130 厚度：1.3cm	環氧樹脂 160 厚度：1.6cm
	特色聲頻：平均值 100(Hz)，信賴區間 98-101(Hz)			
照片				
數據分析資料	<p>環氧樹脂實驗數據分布及信賴區間圖</p> 		<p>環氧樹脂不同組數據的箱線圖 - p value=0.3037</p> <p>各組數據之間不存在顯著性差異</p> 	
	▲圖 4-25 環氧樹脂特色聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-26 環氧樹脂特色聲頻箱型圖		

2.六角形、圓柱形水泥塊

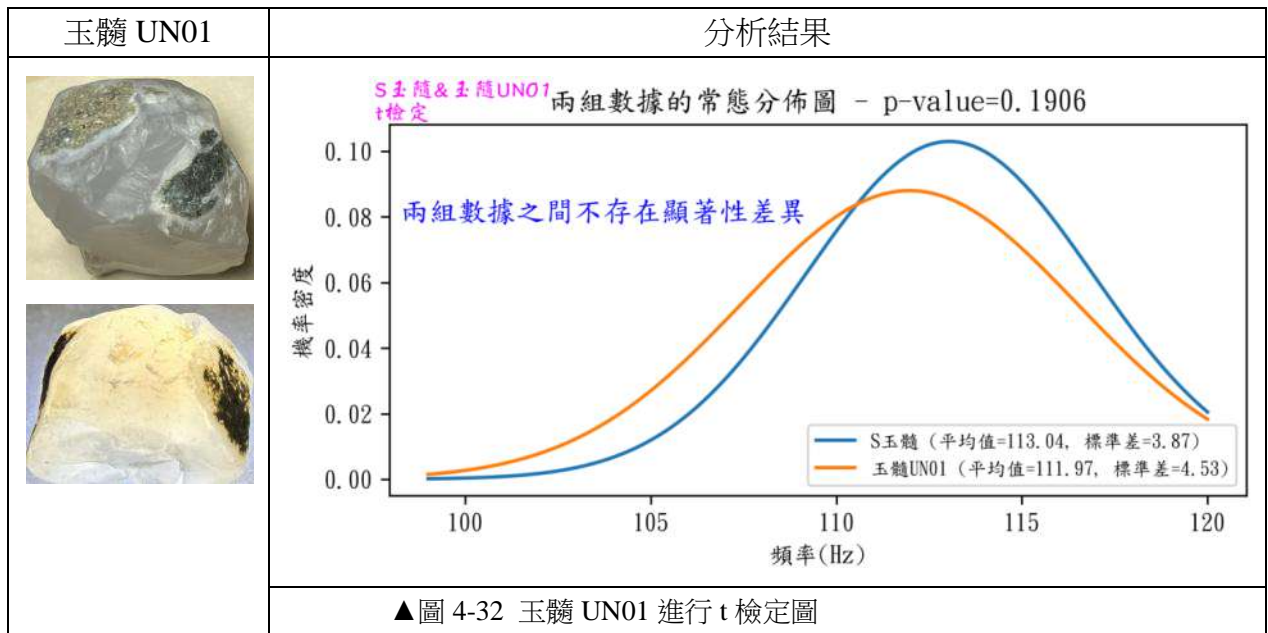
名稱	六角形水泥塊 樣本厚度：1.0、1.7、2.1 及 2.8 公分 特色聲頻：平均值 108(Hz) 信賴區間 107-109(Hz)	圓柱形水泥塊 樣本厚度：0.8、1.3、1.8、2.2 及 3.0 公分 特色聲頻：平均值 105(Hz) 信賴區間 104-106(Hz)
數據分析資料		
	▲圖 4-27 六角形水泥塊特色聲頻分布及信賴區間圖	▲圖 4-28 圓柱形水泥塊特色聲頻分布及信賴區間圖
數據分析資料		
	▲圖 4-29 六角形水泥塊特色聲頻箱型圖	▲圖 4-30 圓柱形水泥塊特色聲頻箱型圖

五、驗證：針對外觀分析無一致性的礦石進行特色聲頻驗證

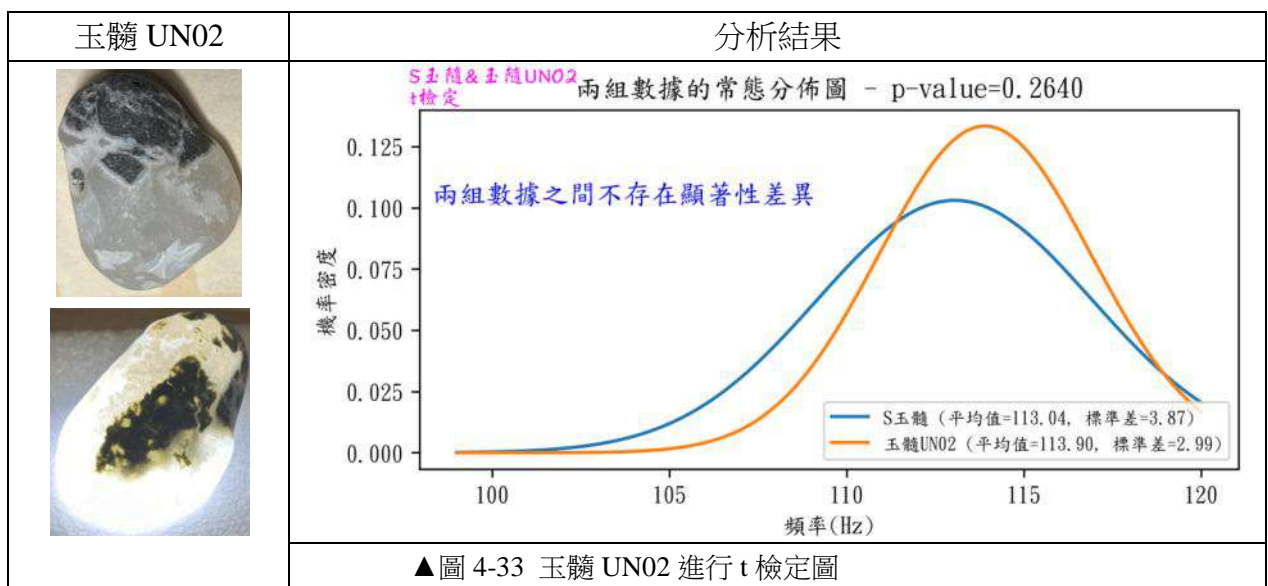
(一)輝玉

輝玉 UN01	分析結果
▲圖 4-31 輝玉 UN01 進行 t 檢定圖	
觀察：樣品外觀為長方體上有一顆半球體，且球體透白，長方體有綠色玉紋。	

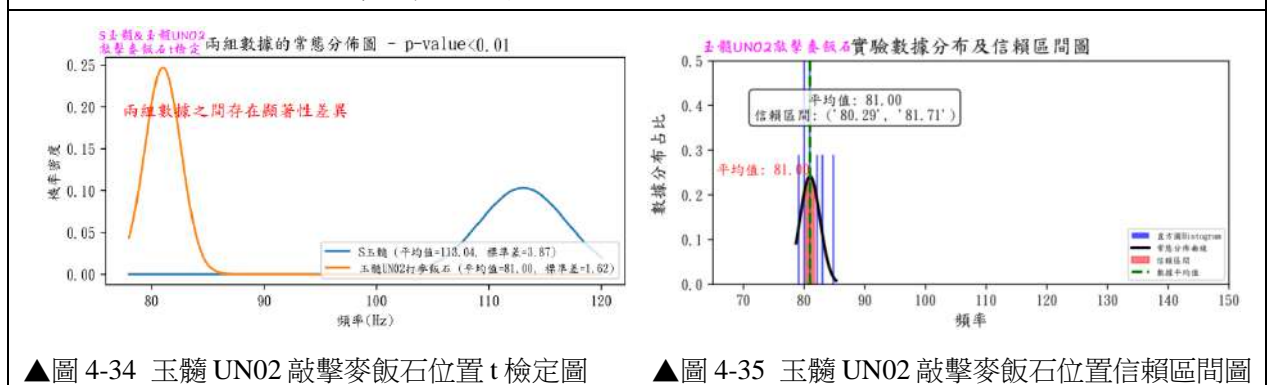
(二)玉髓

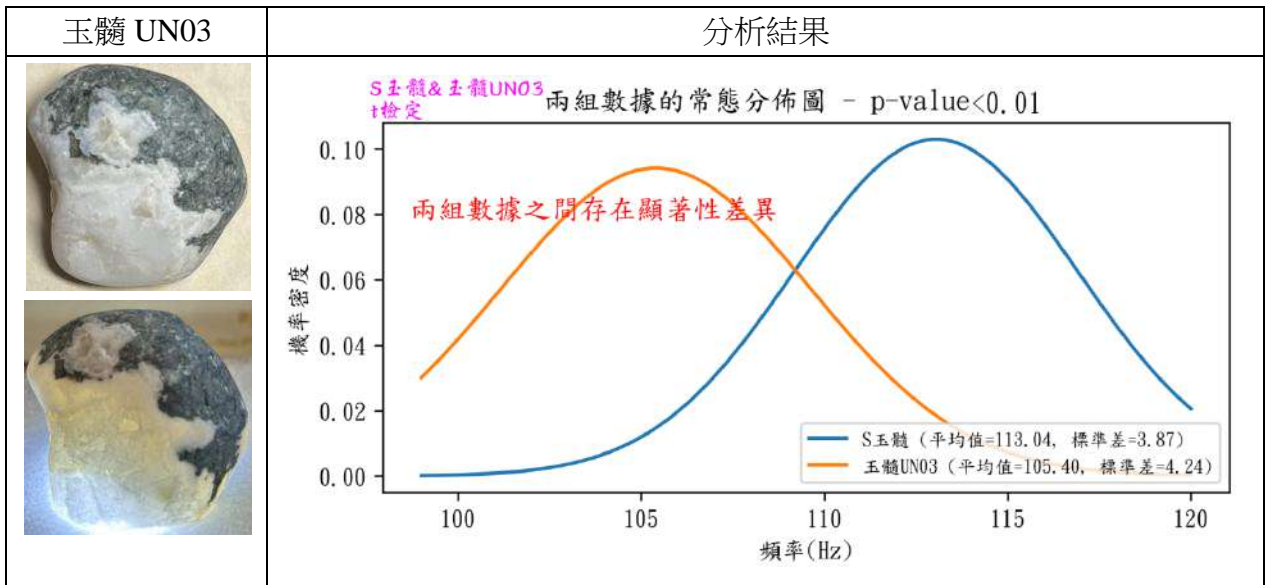


觀察：玉髓 UN01 側面有麥飯石共生，從光照影像分析，麥飯石厚度跟面積不大。

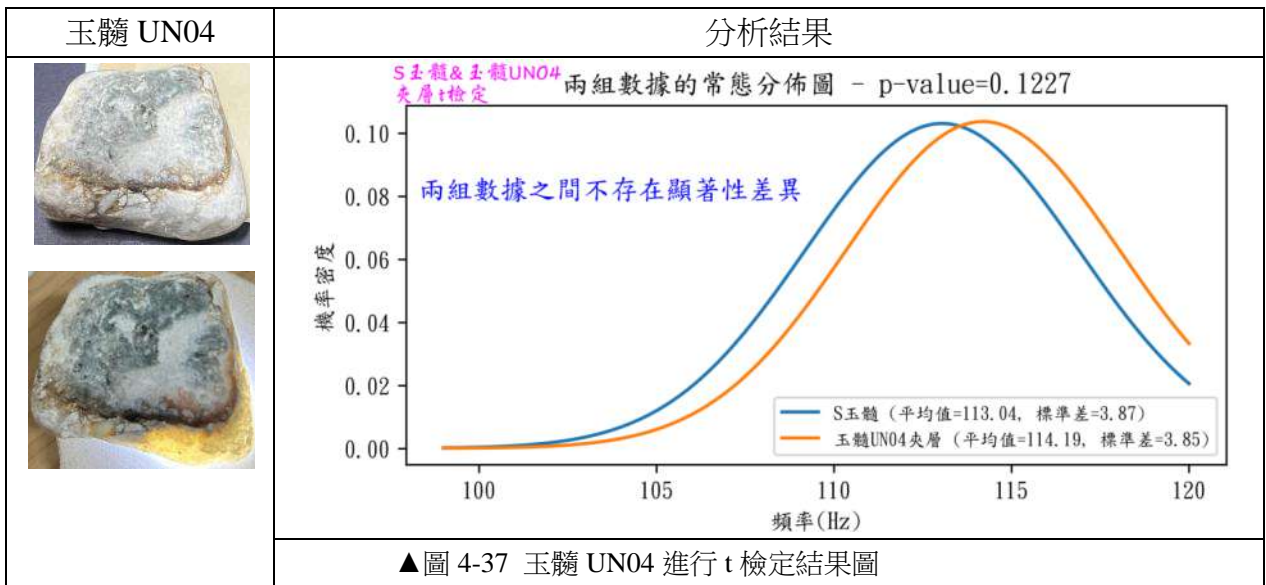


觀察：玉髓 UN02 頂部有麥飯石共生，從光照影像分析，麥飯石厚度稍厚但面積不大，仍有純玉髓的部分，若鋼珠敲擊麥飯石位置表示此時為複合材質，其 t 檢定結果如圖 4-34，數據分布及信賴區間圖如圖 4-35。

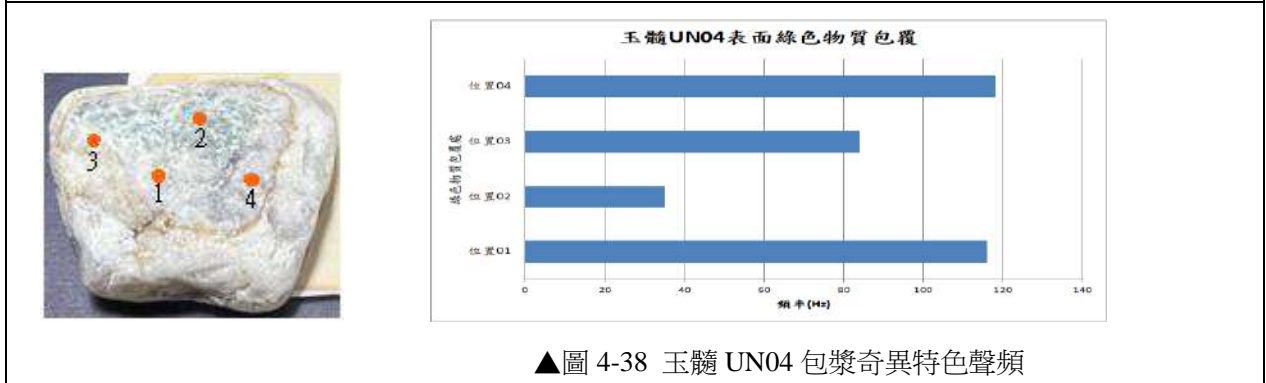



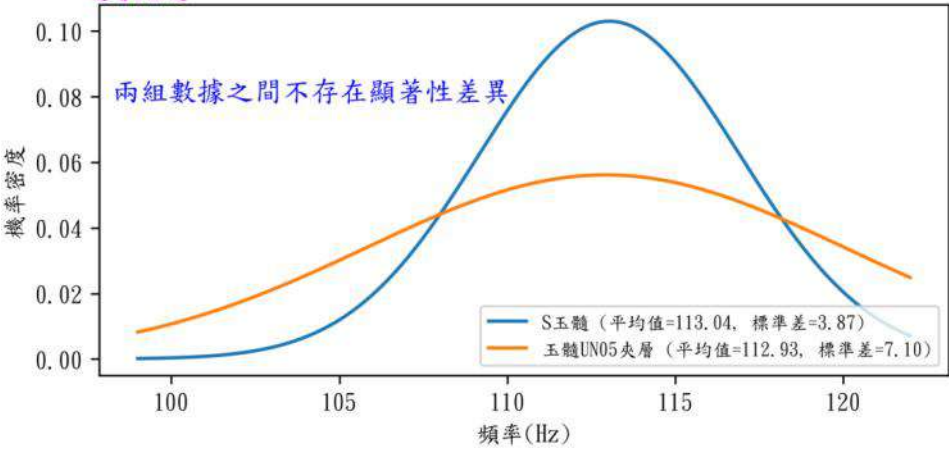

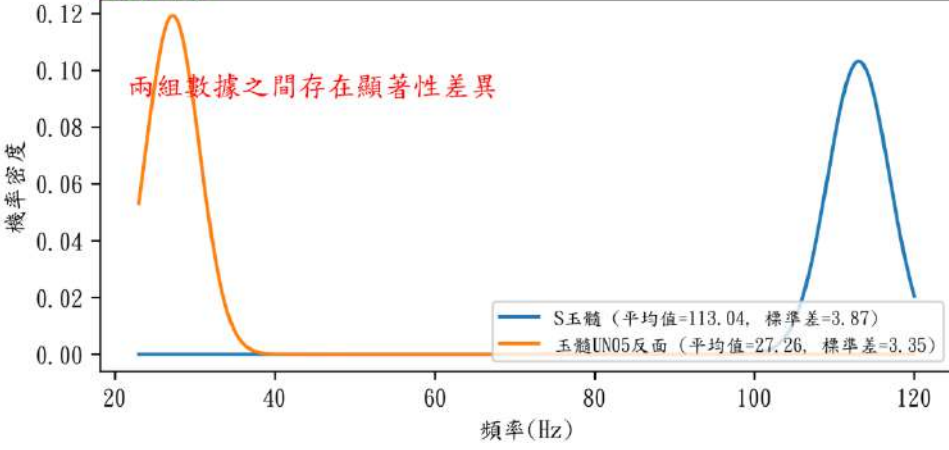



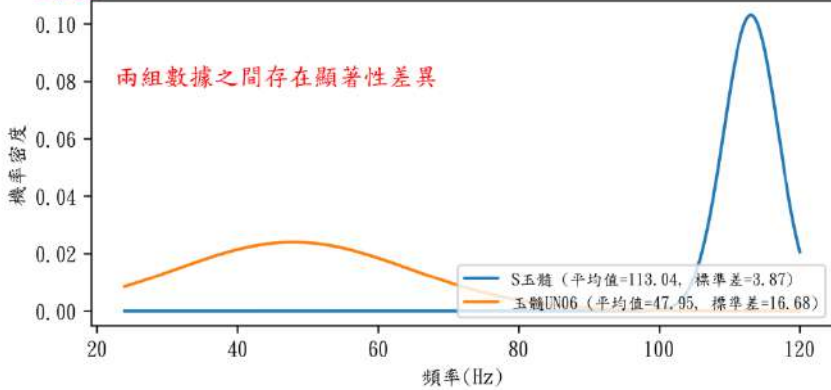
觀察：玉髓 UN03 幾乎有一半面積跟麥飯石共生，從光照影像分析，麥飯石厚度較厚，鋼珠敲擊位置是先經過麥飯石再到玉髓，經過兩種複合材質，其 t 檢定結果如圖 4-36。



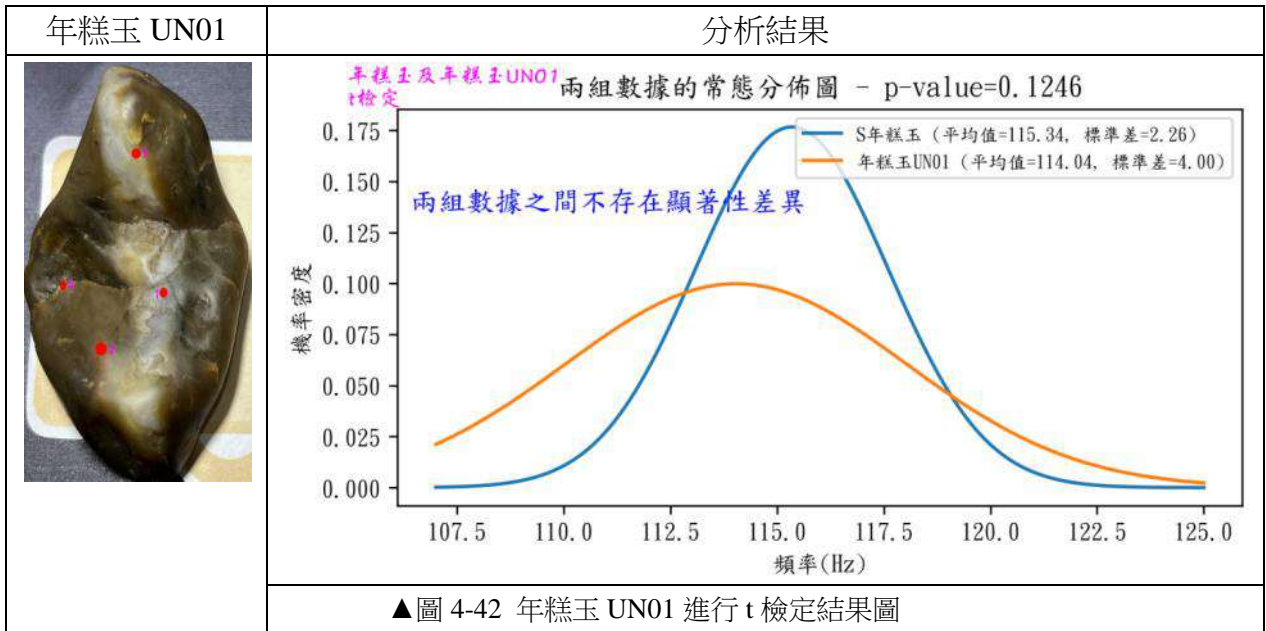
觀察：玉髓 UN04 兩面有俗稱包漿的共生，夾層可透光。



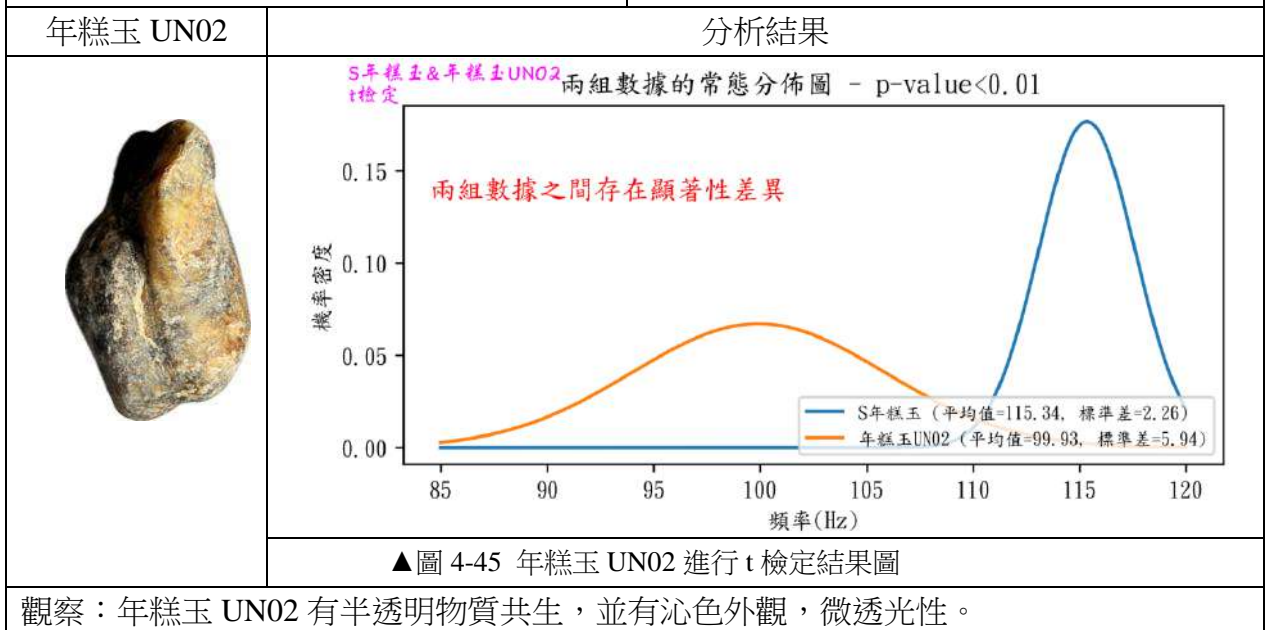
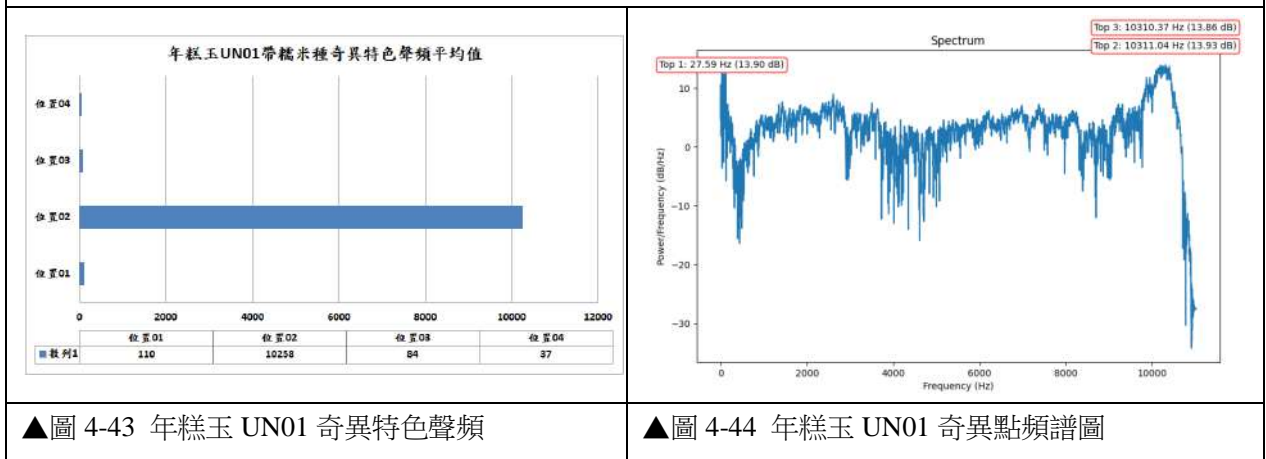
玉髓 UN05	分析結果
	<p data-bbox="564 219 1273 264">S玉髓&玉髓UN05 夾層t檢定 兩組數據的常態分佈圖 - p-value=0.9095</p>  <p data-bbox="592 338 991 371">兩組數據之間不存在顯著性差異</p> <p data-bbox="584 734 1123 768">▲圖 4-39 玉髓 UN05 夾層進行 t 檢定結果圖</p>
	<p data-bbox="564 801 1246 846">S玉髓&玉髓UN05 包漿面t檢定 兩組數據的常態分佈圖 - p-value<0.01</p>  <p data-bbox="592 913 975 947">兩組數據之間存在顯著性差異</p> <p data-bbox="584 1317 1158 1350">▲圖 4-40 玉髓 UN05 包漿面進行 t 檢定結果圖</p>
<p data-bbox="204 1361 1273 1395">觀察：玉髓 UN05 兩面有包漿共生，另一面數據相當分散，平均值為 63Hz。</p>	

玉髓 UN06	分析結果
	<p data-bbox="539 1518 1177 1563">S玉髓&玉髓UN06 t檢定 兩組數據的常態分佈圖 - p-value<0.01</p>  <p data-bbox="619 1630 946 1664">兩組數據之間存在顯著性差異</p> <p data-bbox="576 1995 1058 2029">▲圖 4-41 玉髓 UN06 進行 t 檢定結果圖</p>
<p data-bbox="204 2038 1225 2072">觀察：玉髓 UN06 表面有均勻包漿共生，從照光影像分析，有部分透光。</p>	

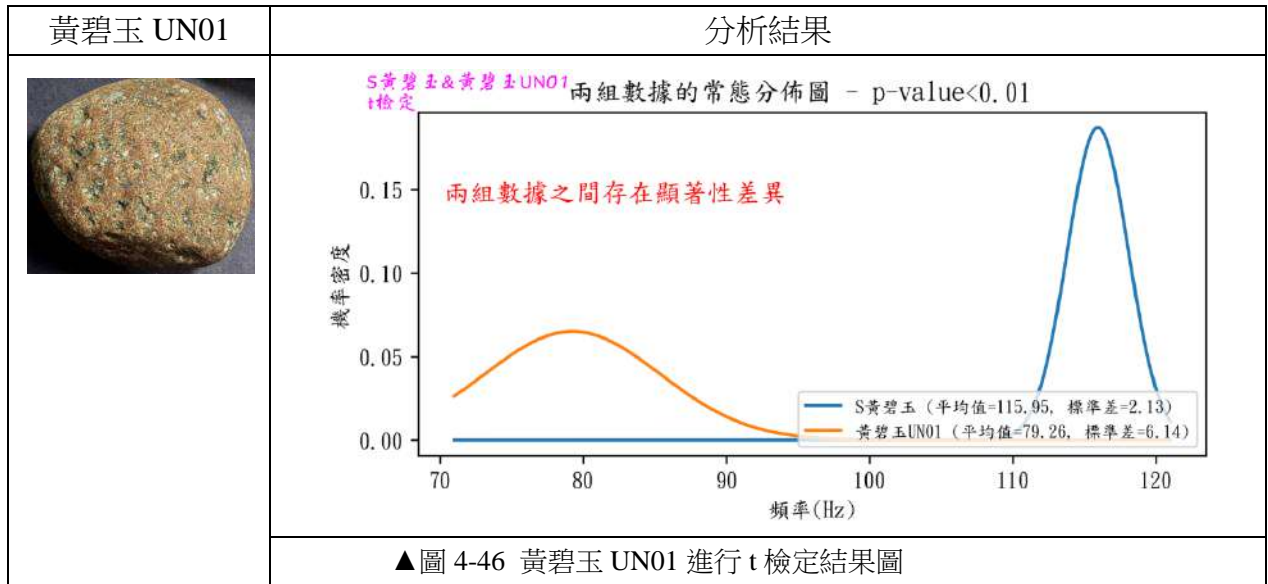
(三)年糕玉



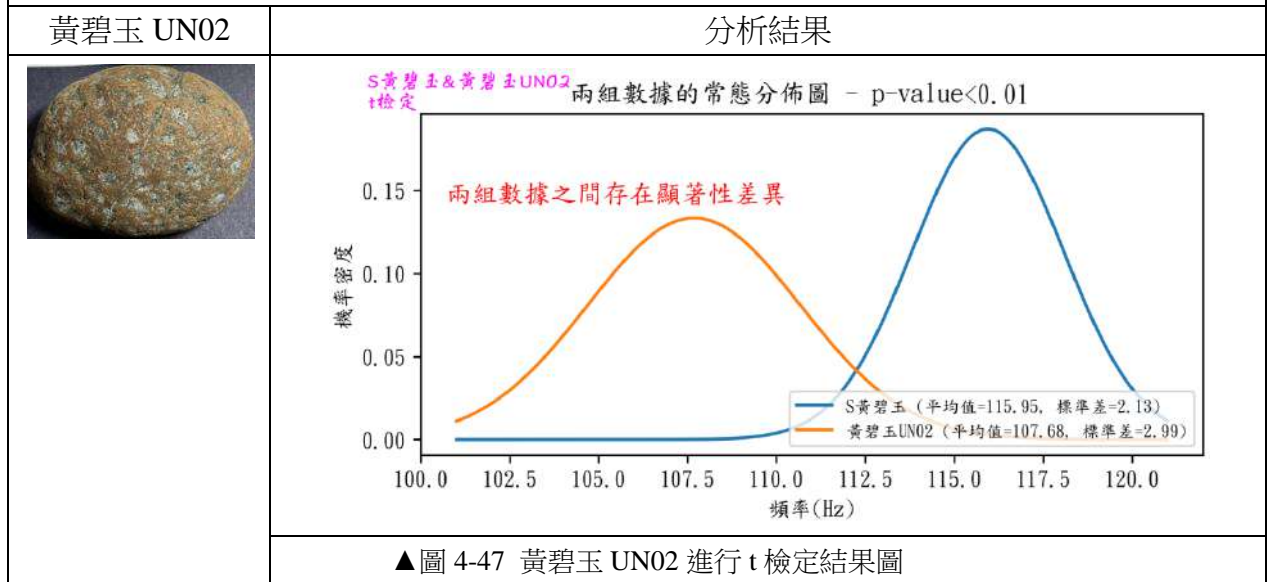
觀察：年糕玉 UN01 中間帶有糯米種為高透光性，它的特色聲頻呈現多元，年糕玉位置具規律性，年糕玉與糯米種相連處有出現一萬多赫茲的聲頻，跟金屬片受到敲擊發出的聲響相似，特殊位置特色聲頻數據如圖 4-43、4-44。



(四)黃碧玉

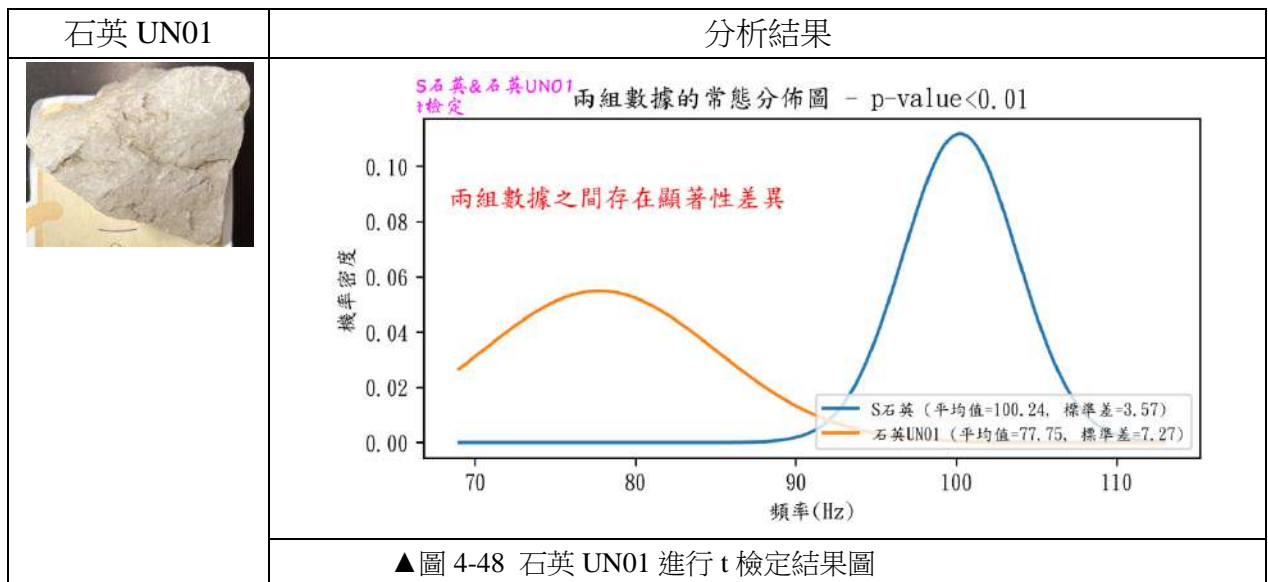


觀察：表面有些凹洞，並存在白色墨綠色圓點，水測法圓點會變色，跟麥飯石不同。

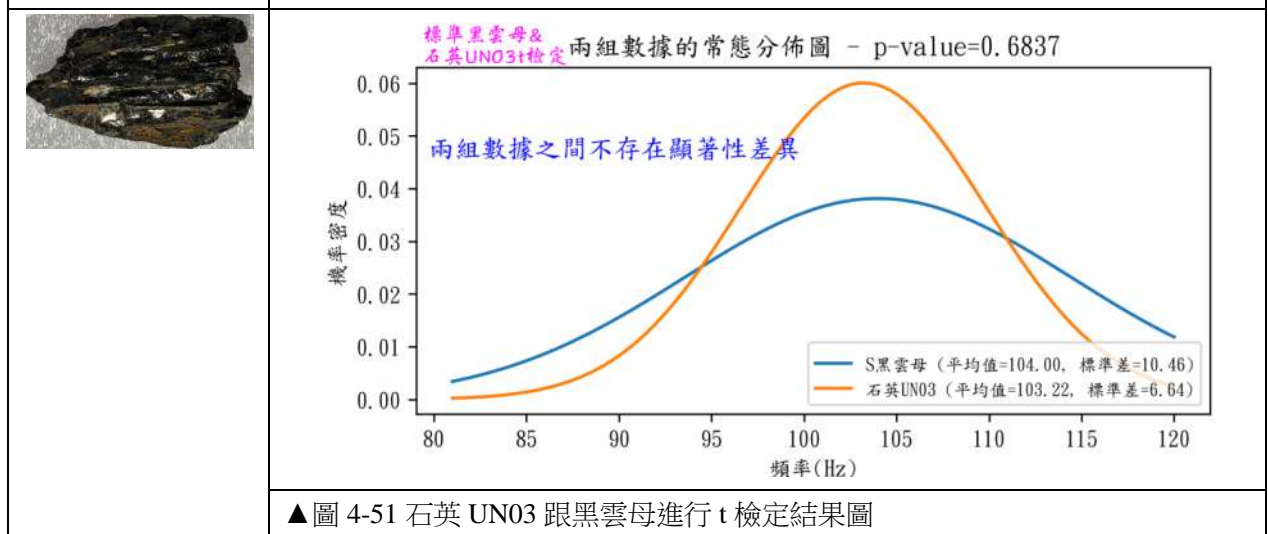
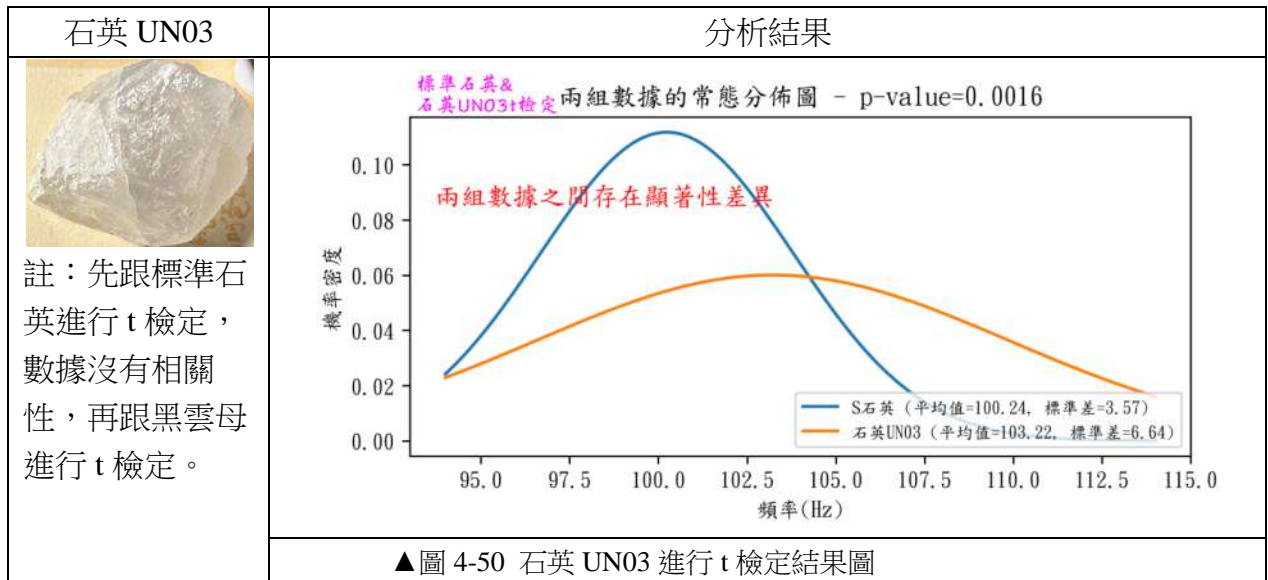
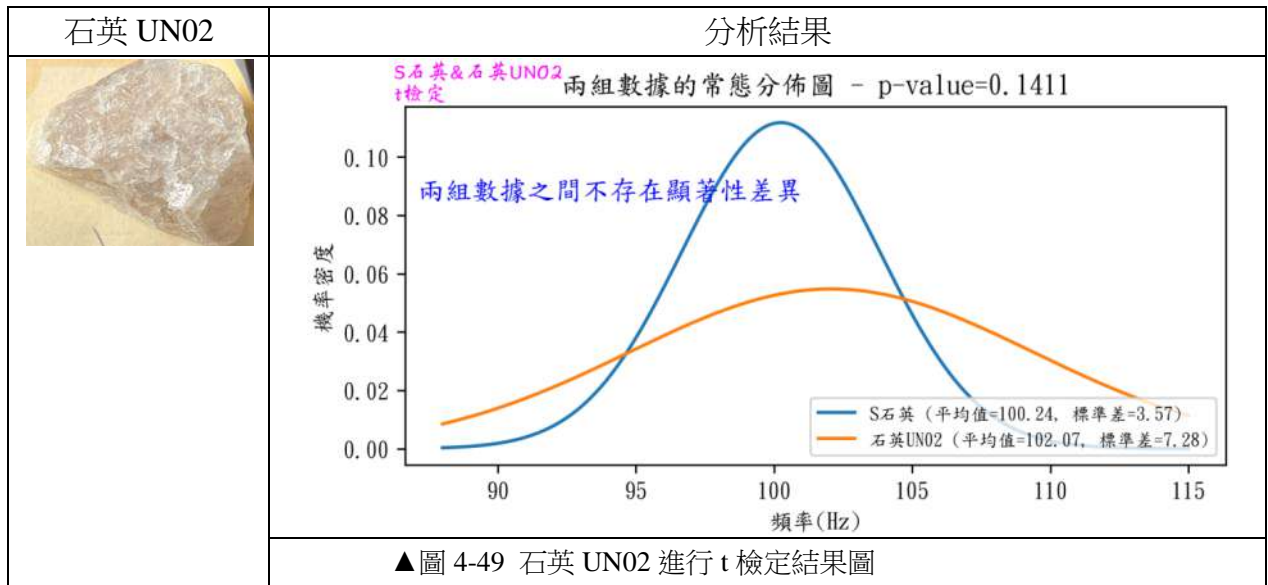


觀察：表面有凹洞，中間有明顯接合痕跡，並存在白色墨綠色圓點，水測法圓點會變色。

(五)石英

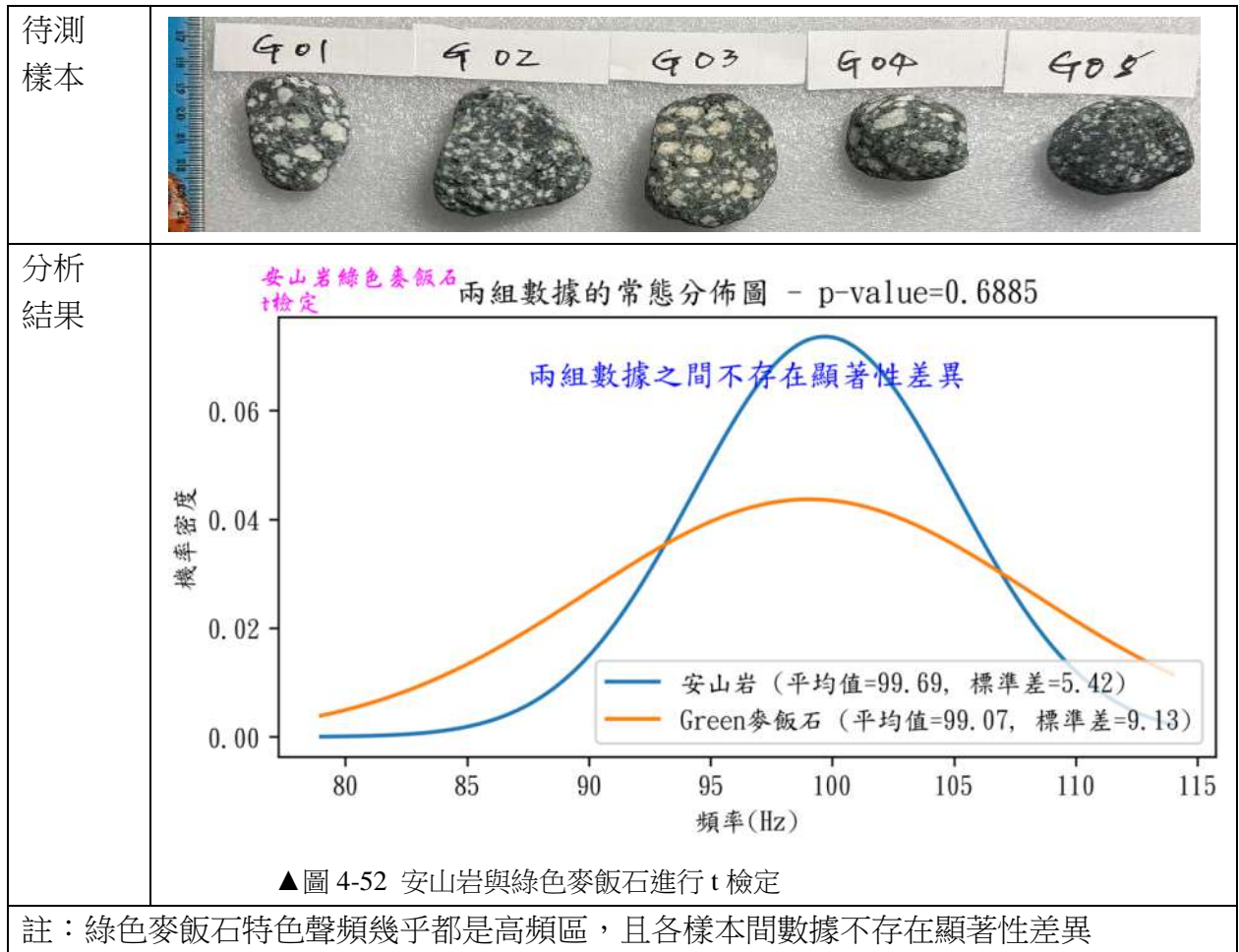


觀察：石英 UN01 表面有一層乳白色狀物質共生包覆，沒有晶瑩剔透的外表。



觀察：石英 UN03 敲擊後崩裂，解理面平整，硬度小於 5.5，耐酸，從外表觀察中發現有絹絲或珍珠光澤。

(六)台東三仙台北邊海岸綠色麥飯石



註：綠色麥飯石特色聲頻幾乎都是高頻區，且各樣本間數據不存在顯著性差異


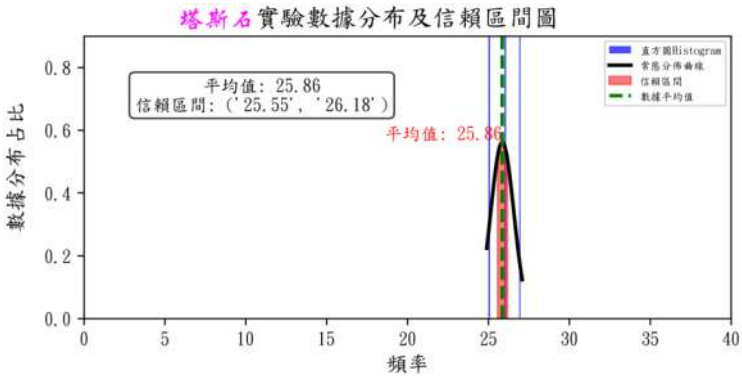

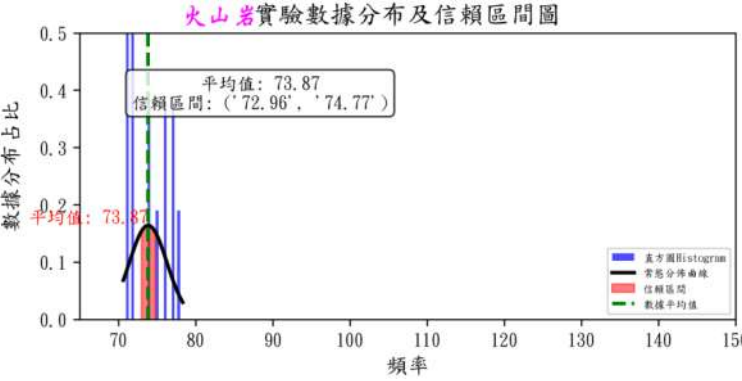

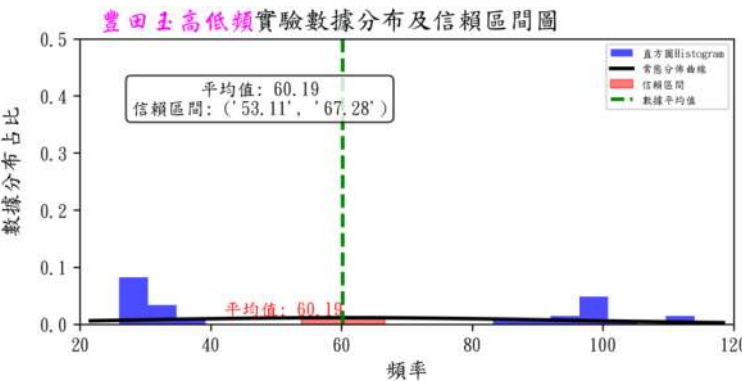

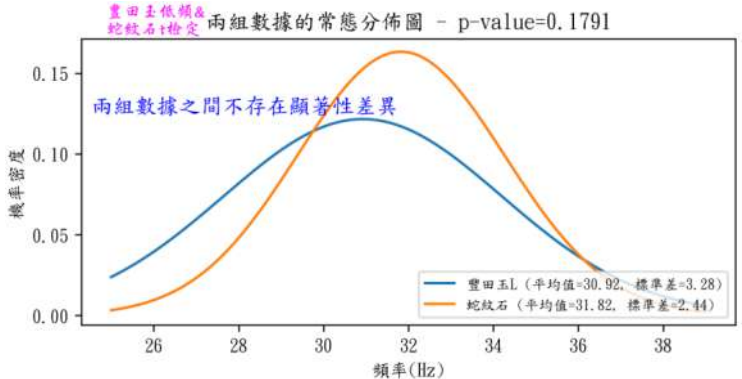
六、珍藏礦石的分析—來自塔斯馬尼亞的石頭、日本九州火山岩及豐田玉

(一)分析樣本的外觀、硬度及透光性，並建立樣本的特色聲頻分佈圖

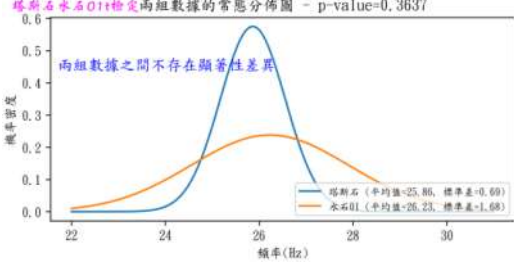
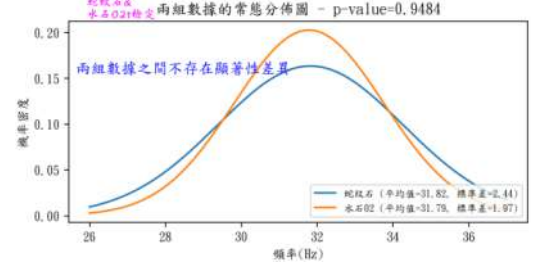
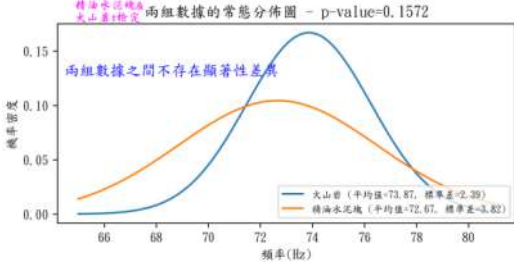
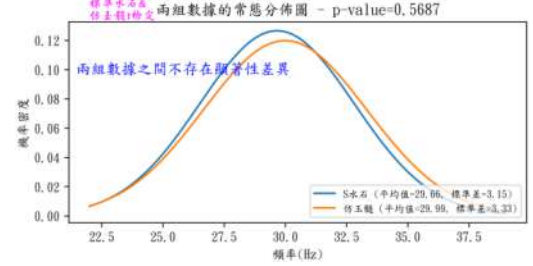
礦石種類	硬度	最大透光度	觸感	產地
塔斯馬尼亞的石頭	高	不透光度	觸摸感覺皮細與冰涼感，手感較重，類玉石的感覺。	澳大利亞的塔斯馬尼亞洲位於東北角德文港附近一處企鵝保護區海邊的石頭。
日本九州火山岩	高	不透光度	有油脂附著表面，照光表面有光亮感，手感較輕	日本南九州櫻島火山附近的沙灘，表面為規律凹凸面。
花蓮豐田玉	高	中透光度	表面略光滑，具冰涼溫潤感，手感較重，切割面稍粗糙。	花蓮縣壽豐鄉豐田購得，屬軟玉，是未經琢磨的原石，照光有墨綠、翠綠色，具玻璃光澤。
花蓮蛇紋石(墨玉)	低	低透光度	表面光滑，觸摸有些許黏手帶點冰涼的感覺。	花蓮縣壽豐鄉豐田購得，石如其名，整顆呈現墨綠及黑色的綜合體，具有磁性。

▲表 4-2 珍藏礦石外觀、產地一覽表

(二)特色聲頻分布及信賴區間圖

	樣本照片	特色聲頻
塔斯石		<p style="text-align: center;">▲圖 4-53 塔斯石實驗數據分布及信賴區間圖</p>  <p style="text-align: center;">▲圖 4-53 塔斯石特色聲頻分布及信賴區間圖</p>
火山岩		<p style="text-align: center;">▲圖 4-54 火山岩實驗數據分布及信賴區間圖</p>  <p style="text-align: center;">▲圖 4-54 火山岩特色聲頻分布及信賴區間圖</p>
花蓮豐田玉		<p style="text-align: center;">▲圖 4-55 豐田玉特色聲頻分布及信賴區間圖</p>  <p style="text-align: center;">▲圖 4-55 豐田玉特色聲頻分布及信賴區間圖</p>
蛇紋石 豐田玉 t 檢定		<p style="text-align: center;">▲圖 4-56 豐田玉低頻與蛇紋石 t 檢定結果圖</p>  <p style="text-align: center;">▲圖 4-56 豐田玉低頻與蛇紋石 t 檢定結果圖</p>

(三)利用特色聲頻推敲未知礦石的身分

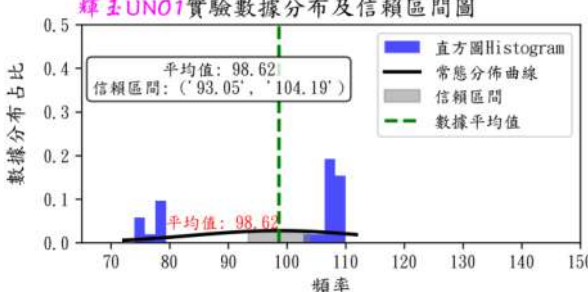
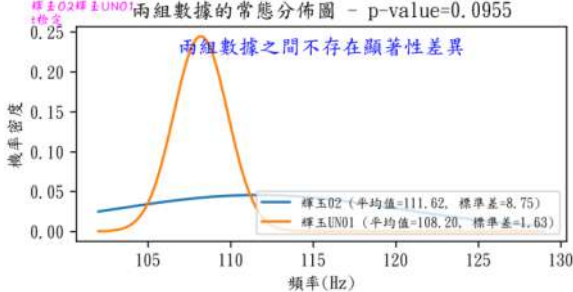
交叉比對	分析結果	交叉比對	分析結果
塔斯石 VS 水石 01	 <p>▲圖 4-57 塔斯石水石 01t 檢定結果圖</p>	蛇紋石 VS 水石 02	 <p>▲圖 4-58 蛇紋石水石 02t 檢定結果圖</p>
火山岩 VS 精油水泥塊	 <p>▲圖 4-59 火山岩精油水泥塊 t 檢定結果圖</p>	仿玉髓 VS 水石	 <p>▲圖 4-60 仿玉髓水石 t 檢定結果圖</p>

伍、討論

一、利用標準樣本特色聲頻分析待測樣本的實驗結果

(一)輝玉

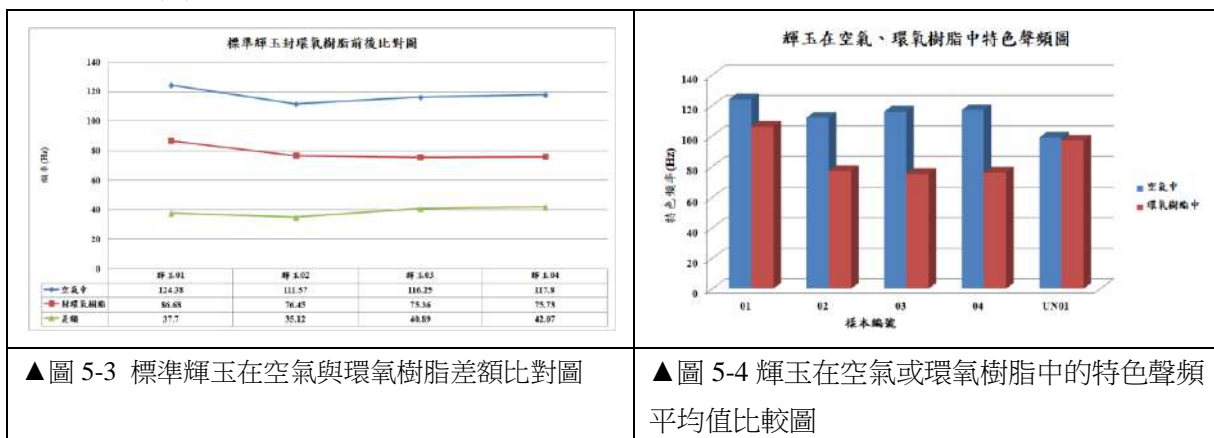
輝玉樣本是到花蓮旅遊時購買所得，老闆表明是天然玉石加工而成，硬度、照光及觸摸等檢測程序均在老闆教導下完成驗證，輝玉 UN01 樣本具有特殊造型，其特色聲頻數據跟其它視為標準輝玉的樣本相比是偏低的，也不存在相關性(圖 4-31)。從特色聲頻分布圖(圖 5-1)，可發現它的數據是集中在兩個區段，因此將其高頻區數據擷取後與輝玉 02 進行 t 檢定，發現具有相關性(圖 5-2)，這樣的結果證實我們的臆測，長方體部分是輝玉等級的玉石，而半球體應是原本共生的材質，所以數據才會有 2 組的分布，這說明材質結構會反映在特色聲頻的數據。

 <p>▲圖 5-1 輝玉 UN01 信賴區間圖</p>	 <p>▲圖 5-2 輝玉 02&UN01t 檢定結果圖</p>
---	--

輝玉玉石在空氣中的敲擊音頻較高且清脆，而未經琢磨的花蓮玉(豐田玉)，聲頻偏低，真的驗證了玉不琢，不成器。因為發現許多東玉樣本都有共生，所以進行以環氧樹脂包覆輝玉樣本藉以觀測複合材質對特色聲頻的影響。結果顯示輝玉特色聲頻的偏

移量有一致性，如圖 5-3；此現象應該是不同材質接合處存在不同的原子，因此共振頻率發生改變。

從整體數據來看，輝玉 UN01 被封入環氧樹脂中，它的特色聲頻變化幅度竟然出奇的小，跟其他玉石的趨勢不太像，如圖 5-4。我們推斷也許半球體的玉石硬度較差，因此偏移量較大，在購買時老闆已經在玻璃櫃上進行長方體的部分驗證且水測法也沒有差異性，但圓球體並沒有進行詳細驗證，因此相關分析結果的矛盾處，我們會繼續努力探討最佳解釋之道。



▲圖 5-3 標準輝玉在空氣與環氧樹脂差額比對圖

▲圖 5-4 輝玉在空氣或環氧樹脂中的特色聲頻平均值比較圖

(二)玉髓

外觀大致可分成三類：

1. 第一類是屬外觀純淨，光照後相當亮麗，且使用雷射光筆照射也出現整體通紅的現象，表示內部結晶體分布均勻，利用此類樣本作為標準樣本建立特色聲頻資料，其平均值為 116Hz、信賴區間為 114-119Hz。
2. 第二類是純淨、高透光但有麥飯石共生。
3. 第三類則是像三明治式的夾層玉髓，兩側有包漿共生，但包漿材質較多元，因此會產生多元的特色聲頻的結果。表 5-1 是實驗結果分析表。

樣本名稱	實驗結果	討論結果
玉髓 UN01 (第二類)	共生的麥飯石在左右，面積不大，敲擊點選擇全部是玉髓的區塊，數據顯示為玉髓。	雖然玉髓 UN01 有共生，但不會影響特色聲頻的數值，跟理論指出晶格振動造成的聲子頻率，跟晶格材質有關，側面的共生材質沒有參與振動，所以不會影響數值。
玉髓 UN02 (第二類)	實驗分兩部分，一是敲擊純玉髓，二是敲擊共生的麥飯石，兩組數據差異頗大。	純玉髓的部分，跟標準玉髓有相關性，證實為玉髓材質，但共生的部分，特色聲頻降至 81Hz，趨勢跟輝玉封存在環氧樹脂中相似，也吻合理論的預測，本樣品為海洗石，麥飯石只有薄薄的一層，可以推論原本共生的條件應該不是緊密接合。
玉髓 UN03 (第二類)	因為共生的麥飯石面積大且厚，所以直接敲擊麥飯石的區域，結果呈現跟玉髓無相關性，本樣品數據可以用來說明共生材質的數據變	根據理論推測，2 種材質貢獻度相同時，統計上是否會呈現特色聲頻接近 2 種材質的平均值 $\left(\frac{116+95}{2}=105.5 \approx 105\text{Hz}\right)$ ，因為我們的數據是吻合的，但這個論點似乎

	化趨勢。特色聲頻為 105 Hz，標準玉髓 116Hz，麥飯石 95Hz。	跟輝玉封環氧樹脂的數據看似矛盾；但接合處應該是影響特色聲頻的一大主因，礦石經高壓形成、環氧樹脂只是凝固在輝玉上，因此密合度應較鬆散。
玉髓 UN04 玉髓 UN05 (第三類)	這兩塊外型相似，都是外層兩面包漿，內層夾玉髓，敲擊包漿處，數據沒有一致性，根據達人的說法，包漿主要成分為矽酸鹽跟碳酸鈣會產生不同的特色聲頻。	若敲擊夾層處，兩塊的數據都顯示是玉髓材質，這跟 UN01 的結果相似，表示側面共生材質不會影響特色聲頻，至於共生材質的顏色反而在玉石加工尚能提供更多元的構圖，因此好的包漿其實對玉髓原石反而是加分的效果。
玉髓 UN06 (無法分類)	外表光滑，呈半透光，特色聲頻數據出現 25、55 跟 70 Hz 附近三組數據，跟麥飯石的特性相同。	這是參加講座獲得的答題獎品，也是我們一直珍惜的玉髓，它表面有非常均勻包漿，因為這樣，我們一直視為至寶，雖然數據 t 檢定說明它不是玉髓家族的一員，可能隸屬鵝卵石，但仍是我們鍾愛的。

▲表 5-1 玉髓待測樣本實驗結果

(三)年糕玉

選定標準樣本是以沒有共生作為依據，年糕玉 01、02 沒有發現糯米種，外觀相當滑亮，但微微透光，其特色聲頻也具有相關性，代表玉石內部結構具有一致性。年糕玉 UN01 的奇特數據，引起我們高度的興趣，因為在敲擊石頭卻聽到跟金屬音相同的聲頻，這是一種奇妙的感覺，甚至它聽起來像鋼珠撞擊金屬的聲音(圖 4-44)。根據此結論，可推測人工合成玉石中若加入鐵或鉻等金屬材質，應該可以模擬出天然玉的聲頻。年糕玉 UN02 外觀可判別類似玉髓材質的共生，但數據顯示，我們推論該材質應該是尚未玉化完全的石英質或是在接合處並非緊密結合。

(四)黃碧玉

標準黃碧玉跟黃碧玉 UN01、02 在外觀上有明顯差異，UN01 跟 02 有麥飯石的感覺，而數據也顯示跟標準黃碧玉沒有相關性。根據文獻指出，黃碧玉整體呈黃色，玉髓質高的顏色較明亮鮮黃，含量低的則成臘黃色，根據此論點可以佐證數據結果，因為標準黃碧玉較鮮黃，且表面粒狀結晶也是差異處，雖然我們認為 UN01 跟 02 都不是達到黃碧玉等級，但老師用經驗值鑑定後，仍判定應是碧玉等級，或稱虎斑碧玉，粒狀結晶跟麥飯石上的長石結晶是不同的，因為沾水它會變色，而麥飯石是不會的。

(四)石英




根據標準礦物盒建立的石英特色聲頻是 100Hz 附近，待測樣本是從展示櫃借來的 3 顆石英礦物，我們認為石英 UN01 聲頻偏低應該是表面有附著一層其他材質的物體，因為它呈現乳白色幾乎沒有透明感。而石英 UN03 整個過程因為數據集中度相當高且偏低，引起我們的注意，經鋼珠敲擊竟裂成兩半且解理面光滑平整，耐酸性測試排除為方解石，搭配礦石特性與聲頻數據分析，將它定位為白雲母。因標準礦物盒的白雲

母為片狀，無法取得數據，所以使用黑雲母數據做為標準(圖 4-51)，經驗證確認石英 UN03 為狸貓換太子的白雲母。

(五)台東海岸麥飯石

麥飯石第一次實驗，數據沒有規律性，同一個樣本會出現 2~3 組高中低頻的數據，但全體數據大多為高頻跟低頻；為了理解成因，我們前往台東跟達人請教內心的疑惑，在達人指導下重新撿拾依外觀顏色進行分類的麥飯石樣本，接著針對第一次實驗樣本進行高頻、低頻位置進行切割觀察內部結構。

依顏色區分的結果，綠色麥飯石幾乎都是高頻，且聲頻跟標準安山石無差異性，但灰色麥飯石組別無規律性，而紅色麥飯石出現低頻一致性的結果，且高頻數據極少。至於文獻提及台灣東岸麥飯石沒有沸石，初步判定應是屬實，表 5-2 為針對切割後的觀察與討論：

	低頻麥飯石#01	高低頻麥飯石#02	高低頻麥飯石#03
切割面			
結果	外觀為紅色，但外表較少長石粒狀顆粒，切開內部可發現，圖中白色斑點為小凹洞，應是內部孔隙，吻合聲子頻率的理論。	外觀為綠色且有許多白色長石粒狀顆粒，切開後有一條裂隙，圖中白色條紋處，且呈凹陷狀態，但沒有發現其他細微孔洞，推測裂隙是造成低頻的主因。	外觀為紅色，但外表均勻分布長石粒狀顆粒，切開內部可發現右上方有一較大空洞，但沒有發現其他細微孔洞，推測空洞是造成低頻的主因。

▲表 5-2 切割後的麥飯石觀察與討論一覽表

二、分析驗證自己珍藏的旅遊紀念品

(一)塔斯石

在塔州撿到時，從外觀硬度觸摸感，以為是珊瑚玉，塔斯石特色聲頻為 26Hz，信賴區間為 25-27Hz，有清晰可見的裂痕且表面相當滑順，在達人仔細端詳後，提供一塊表面也是有裂痕的水石 01，他希望我們用數據來訴說塔斯石的真實身分是水石，這開啟了我們的視野，原來台東海岸有許多水石，因價值性不高所以一直默默無名，老師提供水石 02，它是一塊表面無裂痕，光滑度夠且有著美麗的紋路來一起分析，因為原本 2 塊水石就有裂隙的差異性，因此相關性 p value 值較低(圖 4-22)，因此在驗證塔斯石時，將它跟水石 01 用 t 檢定的分析(圖 4-57)，結果相符，證實塔斯石確實是尚未玉化完全的石英，也再次說明裂縫是會影響特色聲頻的數值。

(二)火山岩

火成岩的化學成分與礦物組成有密切的關係，火成岩的主要成分是二氧化矽，佔總重量的 40% 至 75% 以上，總稱為矽酸鹽類礦物。水泥的主要生產原料是矽酸鹽熟料，當它跟我們的水泥塊做比較時，數據偏低。外觀上有一層油脂、觸摸手感相當滑順，沒有尖角的觸感，經達人判定後認定是天然火山岩，並由他提供精油水泥塊作為對照樣本，為何要浸泡精油呢？這是因為火山岩表面光滑有一層油脂覆蓋其上，讓外觀條件趨於一致。實驗結果驗證，火山岩的成分確實為矽酸鹽類組成(圖 4-59)。

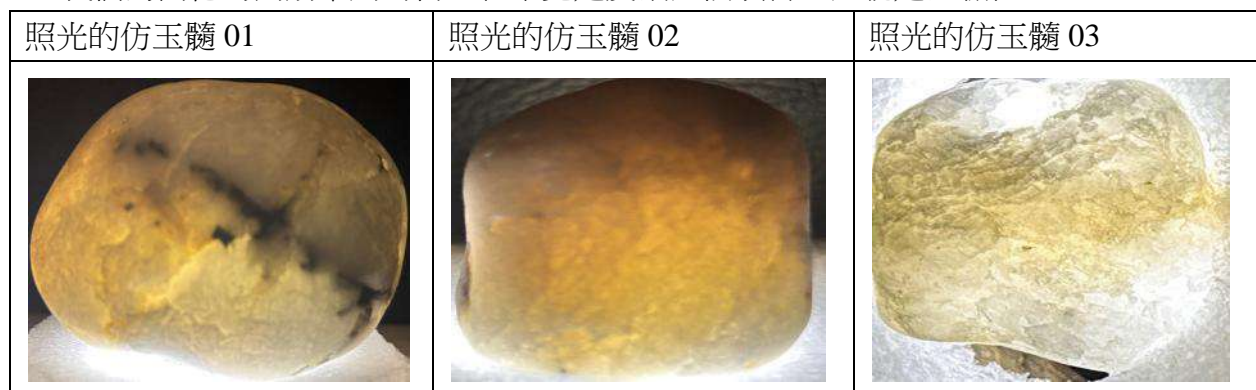
(三)花蓮豐田玉

從產地來看，花蓮豐田玉是在花蓮縣壽豐鄉豐田購得，所以應該屬閃玉，它是單斜晶系，外觀墨綠，照光有翠綠、黃綠色之塊狀，內部可看到纖維狀結構，具玻璃光澤，中度透明至不透明。軟玉所含的 SiO_2 及 CaO 較高，蛇紋石則 MgO 的含量較多；閃玉通常較蛇紋岩透明，硬度較高，比重略大，無磁性，蛇紋石經測試是具有磁性的。

我們將豐田玉劃分成 6 個區域，分別測量特色聲頻，發現數據可分成高、低兩個聲頻，而每個區域內都有高低頻的數據，只是比重不同(圖 4-55)；高頻區還沒達到輝玉等級，但低頻區跟蛇紋石進行 t 檢定，是具有相關性的(圖 4-56)。這說明老闆當時所言，這是塊尚未取材的原石，真正閃玉的位置逼需靠經驗才能決定，但從我們的研究數據發現(圖 4-55)出現特色聲頻 110~120Hz 之間的位置是最有可能的位置，但範圍不大，所以老闆才說它適合用來作文鎮，不適合製作閃玉工藝品，從數據來看，它應該是蛇紋石環繞下的豐田玉，高頻區是豐田玉跟蛇紋石共生所產生的特色聲頻。

(四)仿玉髓

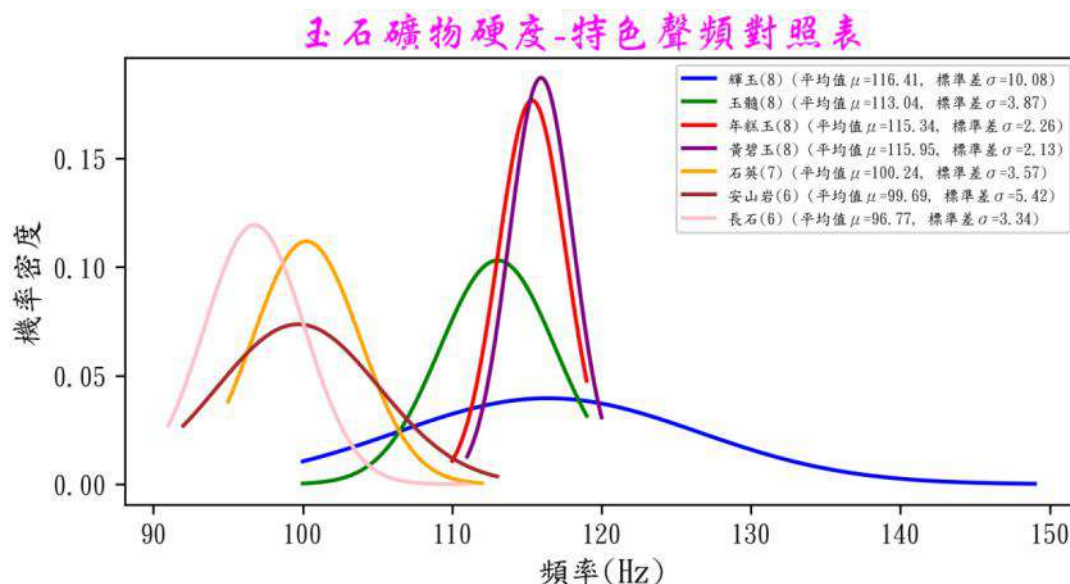
在台東金樽漁港北岸海灘，我們找到三塊仿玉髓(根據硬度及透光度加上觸摸感(皮細)所做的推斷)作為本研究的驗證，當我們正自豪地在沒有達人的協助下找到寶，然而經過特色聲頻法驗證後，卻發現它們的聲頻跟水石較類似，此時內心 OS 的說，它們應該是水石吧！請老師驗證後也判定是尚未玉化的石英，這讓我們既開心又難過，開心的是在科技之力協助下，我們有能力分辨玉石，難過的是原本幻想撿到這麼大塊的玉髓，連想雕刻的圖樣都想好了，原來是南柯一夢！老師是在沒有數據下做出結論，我們詢問他的判別準則為何？答案竟是皮細這個項目，這就是經驗值！



▲圖 5-5 仿玉髓樣本的透光度影像

(五)玉石礦物硬度-特色聲頻關聯性

礦物是指天然的均質固態材料，依文獻說法，它本身具有特定的化合物。內部的原子呈有規則排列，稱為晶質，如透閃石、石英、長石等，這些都屬於礦物。玉石並非由單一礦物組成，而是由無數相同或不同的礦物晶質組成的，如豐田玉的礦物多數是透閃石或陽起石等，而水晶是石英的單晶，但若許多細小的石英微晶組合成塊就是玉髓。因此組成的化合物間緊密程度可外顯成礦石的硬度，圖 5-6 中硬度數值是參考摩氏硬度表，搭配本研究所得玉石及礦物的特色聲頻繪製而成，從圖中可發現硬度高對應的特色聲頻也較高。

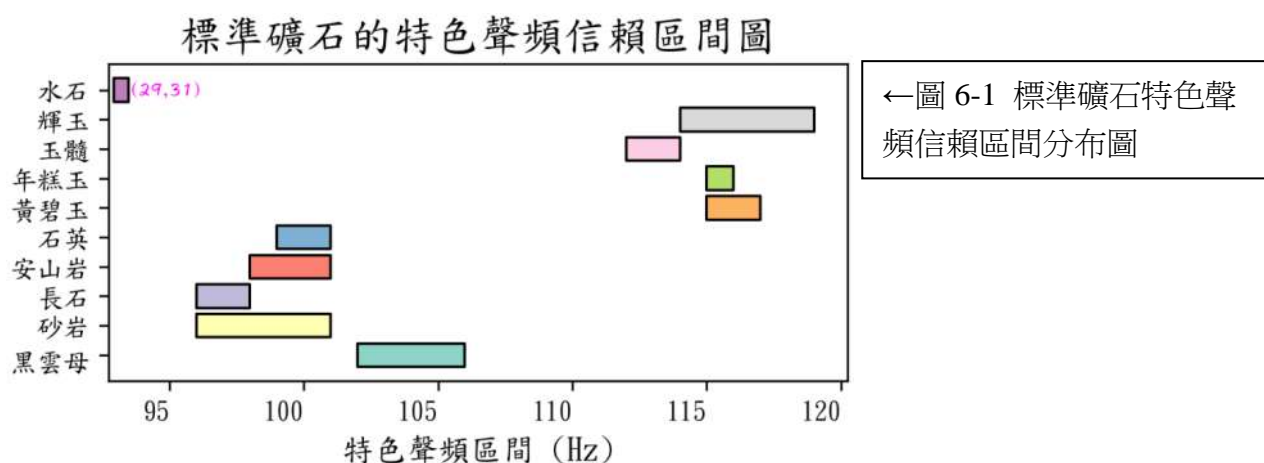


▲圖 5-6 玉石與常見混淆礦物硬度及特色聲頻對照圖

陸、結論

因為礦石內部的原子呈有規則排列，我們著手建立已知礦石的特色聲頻數據，根據此數據就能解鎖未知礦石的身分，利用自行設計的聽音辨玉實驗，我們替未知玉髓找到它真實的身分，也幫錯誤標示的展示礦物重新正名。這讓我們破解道聽塗說或相信的資訊，也讓我們反思在分辨玉石的 1 看 2 聽 3 測的程序，對非專業人士真的極具挑戰性。物體內部的結構、組成成分不同，晶格振動發出的聲子頻率也不同；我們的裝置也可以分辨玉石是否有裂紋還是只是石紋(蘿蔔絲)的構造。我們好佩服緬甸那些採玉人的能力，一根鐵槌，一次敲擊，就能得知石頭的身世；雖然我們沒有靈敏地耳朵來分辨細微的差異，但我們活在科技的世代，借用科技打造屬於自己的「聽音辨玉」法則，以下是我們對本研究的心得：

- 一、敲擊法產生的特色聲頻跟樣本材質種類、構造(內部是否有氣泡，或含水性)、硬度以及表面或內部是否有裂痕有關，跟厚度(體積大小)無關。
- 二、共生材質的接合面接合緊密度也會影響特色聲頻，這可以由環氧樹脂封輝玉跟玉髓共生麥飯石的數據得到佐證。石材內部若有空隙，特色聲頻會產生偏移量，這可以用來檢驗人工合成玉石製作過程內部是否產生氣泡。
- 三、特色聲頻信賴區件數值可以當作判定礦石的第一道檢測程序，圖 6-1 是本研究標準樣本的信賴區間分布圖



四、針對沒有標準礦石可供比對的樣本，可以用特色聲頻跟專家辨石經驗值交互比對，進而驗證礦石真實身分。

五、鍾其所愛，撿石頭最大樂趣是期待驚喜，盼望能找到具有價值的奇石，但在現場用透光度、水鑑別法或是聽石頭的聲音，它是抉擇的條件，經驗值相當重要，高手可以一眼就辨識成功，而像我們這種新手也不會氣餒，建立自己的分析法則，也能找到自己心目中有價值的石頭，海邊見到喜歡的石頭，不管是否是玉石，只要法律許可就能帶回家，先別管價值，將它放在盆栽裡，或當裝飾石，也能襯托出它的美，更可以訴說自己旅行的軌跡。

柒、參考資料及其他

1. 從地質觀點認識臺灣玉. 何恭算. 科博館訊(402 期).
2. 翡翠—地殼與地函偶然交會的結晶. 劉淑蓉、黃武良. 科學發展(507 期).
3. 「土方法」聽音辨玉. 每日頭條.
<https://kknews.cc/zh-tw/collect/o8pv4ap.html>
4. 聽覺系統. 維基百科.
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/聽覺系統>
5. 建築聲學基本知識.
<https://www.soundbox.hk/jian-zhu-sheng-xue-ji-ben-zhi-shi/>
6. 傳音入密-聲波應用於建築安全分析之研究. 中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書
7. 台灣主要礦物與岩石—閃玉.
<https://gis.geo.ncu.edu.tw/mineral/m21.htm>
8. 玉可以養嗎?. 余樹楨. 《科學發展》(442 期).

註：本研究作品，所有照片、圖表均由作者共同協作拍攝與製作。

捌、附錄

表次

表 1-1 玉石、岩石差異比較表.....	Page 2
表 4-1 標準玉石、岩石外表分析表.....	Page 7
表 4-2 珍藏礦石外觀、產地一覽表.....	Page 20
表 5-1 玉髓待測樣本實驗結果.....	Page 24
表 5-2 切割後的麥飯石觀察與討論一覽表.....	Page 25

圖次

圖 1-1 摩氏硬度表.....	Page 2
圖 1-2 花蓮豐田玉可以發現條帶，但沒有黑色小斑點.....	Page 2
圖 1-3 髮晶(天然水晶).....	Page 3
圖 1-4 Swarovski 水晶.....	Page 3
圖 3-1 實驗研究裝置圖.....	Page 6
圖 4-1 樣品照光盒.....	Page 7
圖 4-2 標準音源頻譜圖.....	Page 8
圖 4-3 標準輝玉聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 8
圖 4-4 標準輝玉特色聲頻箱型圖.....	Page 8
圖 4-5 標準輝玉聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 9
圖 4-6 標準輝玉特色聲頻箱型圖.....	Page 9
圖 4-7 標準年糕玉聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 9
圖 4-8 標準年糕玉特色聲頻箱型圖.....	Page 9
圖 4-9 標準黃碧玉聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 9
圖 4-10 標準黃碧玉特色聲頻箱型圖.....	Page 9
圖 4-11 標準石英聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 10
圖 4-12 標準石英特色聲頻箱型圖.....	Page 10
圖 4-13 安山岩特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 10
圖 4-14 安山岩特色聲頻 t 檢定常態分佈圖.....	Page 10
圖 4-15 長石特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 11
圖 4-16 長石特色聲頻 t 檢定常態分佈圖.....	Page 11
圖 4-17 砂岩特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 11
圖 4-18 砂岩特色聲頻 t 檢定常態分佈圖.....	Page 11
圖 4-19 黑雲母特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 11
圖 4-20 黑雲母特色聲頻 t 檢定常態分佈圖.....	Page 11
圖 4-21 水石特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 12
圖 4-22 水石特色聲頻 t 檢定常態分佈圖.....	Page 12
圖 4-23 輝玉 02-04 在環氧樹脂中的特色聲頻圖.....	Page 12
圖 4-24 輝玉 02-04 在環氧樹脂 ANOVA 分析圖.....	Page 12
圖 4-25 環氧樹脂特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 12
圖 4-26 環氧樹脂特色聲頻箱型圖.....	Page 12
圖 4-27 六角形水泥塊特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 13
圖 4-28 圓柱形水泥塊特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 13

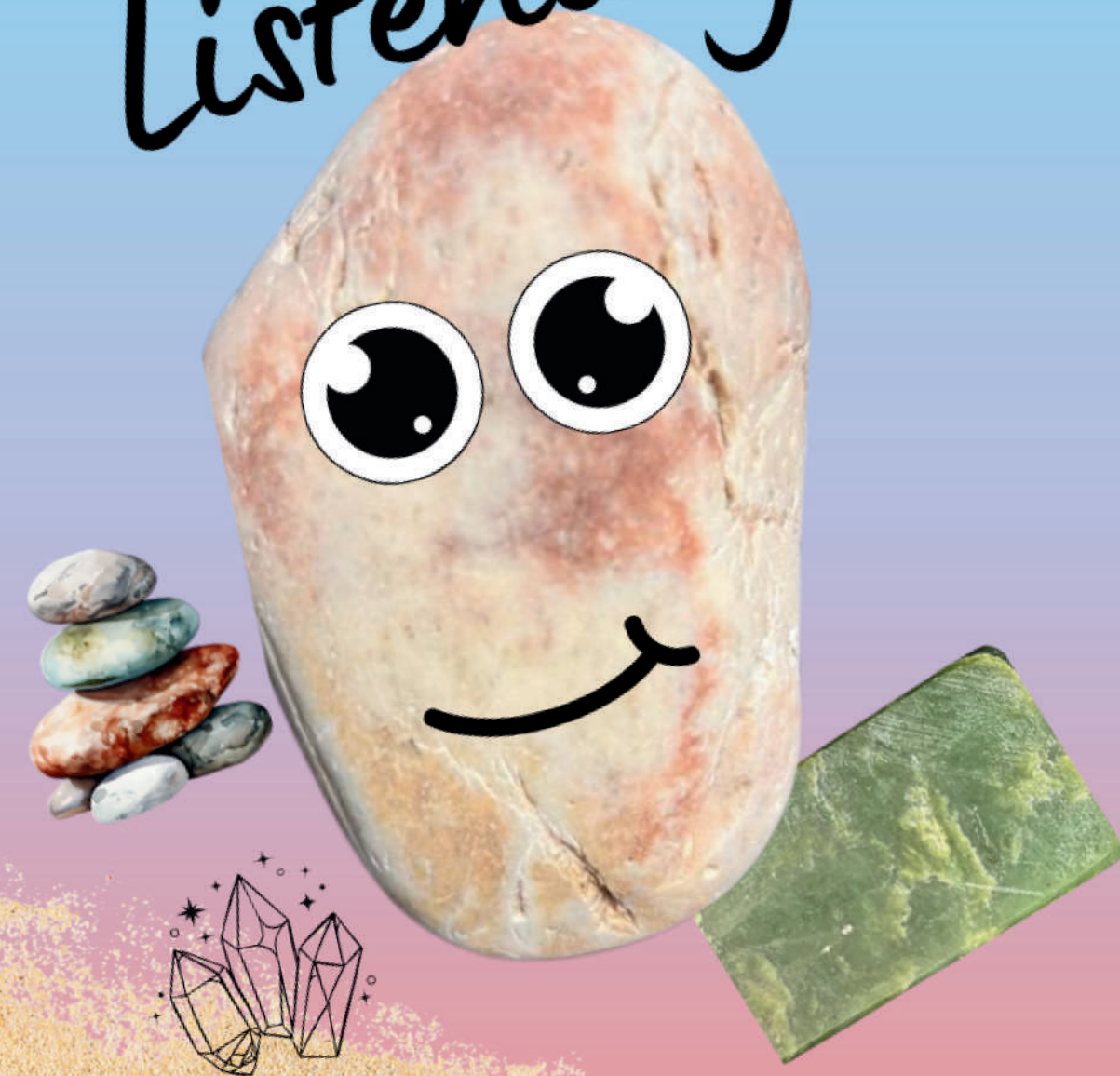
圖 4-29 六角形水泥塊特色聲頻箱型圖.....	Page 13
圖 4-30 圓柱形水泥塊特色聲頻箱型圖.....	Page 13
圖 4-31 輝玉 UN01 進行 t 檢定圖.....	Page 13
圖 4-32 玉髓 UN01 進行 t 檢定圖.....	Page 14
圖 4-33 玉髓 UN02 進行 t 檢定圖.....	Page 14
圖 4-34 玉髓 UN02 敲擊麥飯石位置 t 檢定圖.....	Page 14
圖 4-35 玉髓 UN02 敲擊麥飯石位置信賴區間圖.....	Page 14
圖 4-36 玉髓 UN03 進行 t 檢定圖.....	Page 15
圖 4-37 玉髓 UN04 進行 t 檢定結果圖.....	Page 15
圖 4-38 玉髓 UN04 包漿奇異特色聲頻.....	Page 15
圖 4-39 玉髓 UN05 夾層進行 t 檢定結果圖.....	Page 16
圖 4-40 玉髓 UN05 包漿面進行 t 檢定結果圖.....	Page 16
圖 4-41 玉髓 UN06 進行 t 檢定結果圖.....	Page 16
圖 4-42 年糕玉 UN01 進行 t 檢定結果圖.....	Page 17
圖 4-43 年糕玉 UN01 奇異特色聲頻.....	Page 17
圖 4-44 年糕玉 UN01 奇異點頻譜圖.....	Page 17
圖 4-45 年糕玉 UN02 進行 t 檢定結果圖.....	Page 17
圖 4-46 黃碧玉 UN01 進行 t 檢定結果圖.....	Page 18
圖 4-47 黃碧玉 UN02 進行 t 檢定結果圖.....	Page 18
圖 4-48 石英 UN01 進行 t 檢定結果圖.....	Page 18
圖 4-49 石英 UN02 進行 t 檢定結果圖.....	Page 19
圖 4-50 石英 UN03 進行 t 檢定結果圖.....	Page 19
圖 4-51 石英 UN03 跟黑雲母進行 t 檢定結果圖.....	Page 19
圖 4-52 安山岩與綠色麥飯石進行 t 檢定.....	Page 20
圖 4-53 塔斯石特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 21
圖 4-54 火山岩特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 21
圖 4-55 豐田玉特色聲頻分布及信賴區間圖.....	Page 21
圖 4-56 豐田玉低頻與蛇紋石 t 檢定結果圖.....	Page 21
圖 4-57 塔斯石水石 01t 檢定結果圖.....	Page 22
圖 4-58 蛇紋石水石 02t 檢定結果圖.....	Page 22
圖 4-59 火山岩精油水泥塊 t 檢定結果圖.....	Page 22
圖 4-60 仿玉隨水石 t 檢定結果圖.....	Page 22
圖 5-1 輝玉 UN01 信賴區間圖.....	Page 22
圖 5-2 輝玉 02&UN01t 檢定結果圖.....	Page 22
圖 5-3 標準輝玉在空氣與環氧樹脂差額比對圖.....	Page 23
圖 5-4 輝玉在空氣或環氧樹脂中的特色聲頻平均值比較圖.....	Page 23
圖 5-5 仿玉髓樣本的透光度影像.....	Page 26
圖 5-6 玉石與常見混淆礦物硬度及特色聲頻對照圖.....	Page 27
圖 6-1 標準礦石特色聲頻信賴區間分布圖.....	Page 28

【評語】 080507

研究主題與鄉土有關，由於目前傳統辨識礦石皆需專業背景，團隊想設計一新方法辨識礦石。而聲音，是一個全新的方法。團隊敲擊許多不同岩石，紀錄音頻，再用傅立葉分析相關紀錄。這個原創的思考與大膽的嘗試，值得肯定。由於石頭の種類差異不大，目前獲得的音頻數值都差異不大。建議可以先用單一礦物嘗試，另外，形狀是否也對音頻會造成影響。

作品簡報

Listening



聽石頭在說話

利用特色聲頻分類礦石

摘要

海邊踏浪發現美石時，如何判定這塊石頭的種類？利用硬度或外觀判斷法則，常會矛盾或無法準確判斷。本研究為首次提出藉由物質受敲擊所發出的特色聲頻進行辨識：針對台灣東海岸常見礦石建模並分析，重現《聽音辨玉》的場景。為了要證明同一材質樣品厚度對特色聲頻沒有顯著性差異，利用水泥、環氧樹脂建模；同時利用環氧樹脂包覆玉石來驗證複合材質的特色聲頻偏移量，也在玉髓共生麥飯石的樣本中得到佐證；發現礦石材料中有微小孔隙或氣泡空間，會造成較大的特色聲頻偏移量。在建立標準樣本的特色聲頻數據後，本研究透過統計的資料分析來確認礦石的身分；它讓我們解鎖了珍藏許久一廂情願認為的玉髓得以水落石出，更補足傳統辨石法所需的經驗值。

壹、研究動機

踩在海邊的石頭堆裡，是一種既療癒又有趣的感受，當低頭看著腳下的石頭又會幻想它是否是顆未經琢磨的寶石呢？學校老師在一次科學研習中介紹判別石頭的知識，讓我們眼睛為之一亮，雖然因故未能參加學校舉辦的撿石實作之旅，但在家人的協助下，我們踏在老師們相同的路徑上，驗證辨別石頭的知識。知易行難，雖然我們在現場一直利用照光法(強光)及水滴法來驗證，無奈經驗值太差，感嘆原來知識跟實作有這麼大的差異啊！抱持著學習的心態，繼續精進自己對石材的認識，在尋找資料的過程中，我們發現緬甸有一群具有特殊技能的採石人員，憑藉一根鐵槌敲擊原石，就可判定石材種類，這個訊息開啟了我們的研究之路，雖然我們沒有豐富的聽覺辨識能力，但我們想借助科技的協助，聽聽石頭會傳遞給我們什麼訊息，來訴說它的身世！

貳、研究目的

- 一、探討相同材質的樣本，厚度對特色聲頻的影響：利用水泥、環氧樹脂建模。
- 二、台灣東海岸常見玉石及標準岩石外觀的分類與特色聲頻建模：

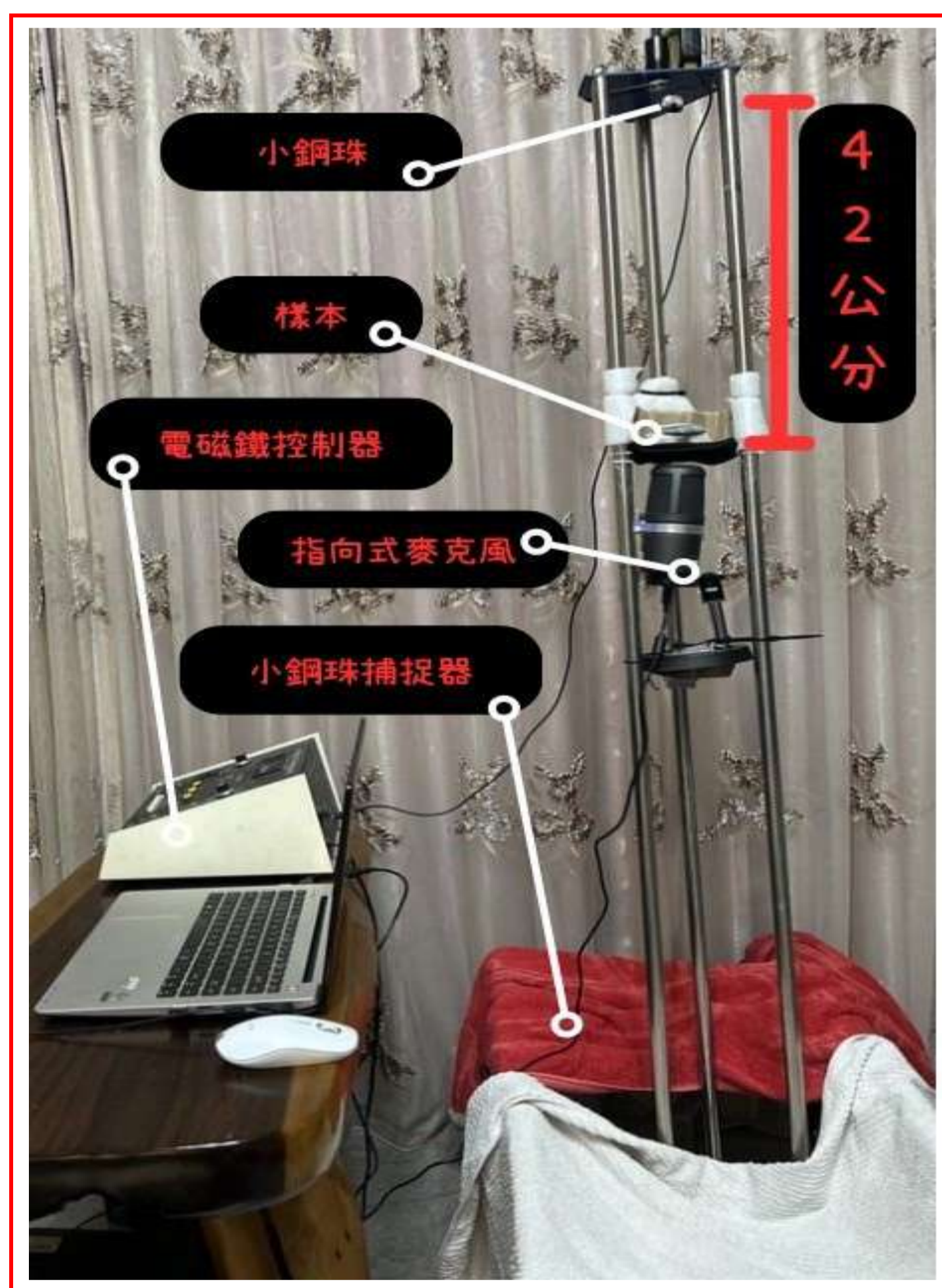
1.輝玉	2.玉髓	3.年糕玉	4.黃碧玉	5.石英
6.安山岩	7.長石	8.砂岩	9.黑雲母	10.水石
- 三、利用標準樣本建立之特色聲頻資料，以對未知礦物進行辨識。
- 四、聲頻模型驗證與應用：珍藏礦石的分析—來自澳洲塔斯馬尼亞的石頭、日本九州火山岩、豐田玉及仿玉髓的辨識。

參、研究設備及器材

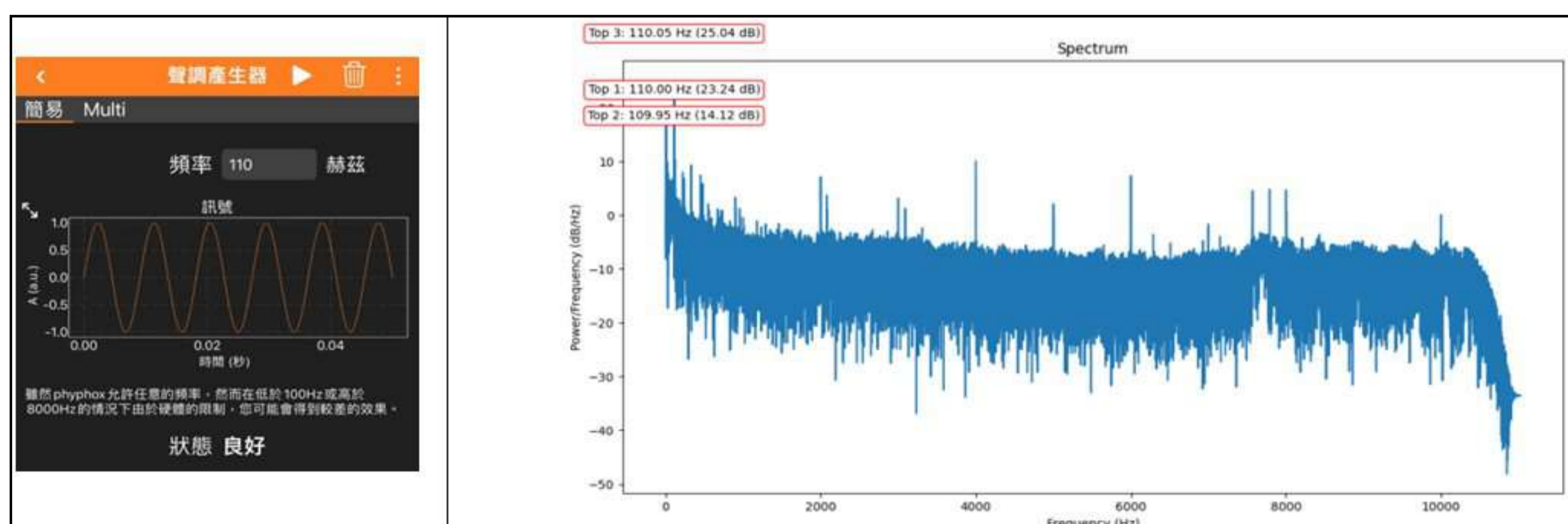
一、待測樣本

輝玉 UN01	玉髓 UN01	玉髓 UN02	玉髓 UN03	玉髓 UN04	玉髓 UN05	玉髓 UN06	年糕玉 UN01
年糕玉 UN02	黃碧玉 UN01	黃碧玉 UN02	石英 UN03	塔斯石	花蓮 豐田玉	火山岩	仿玉髓 UN03

二、研究設備



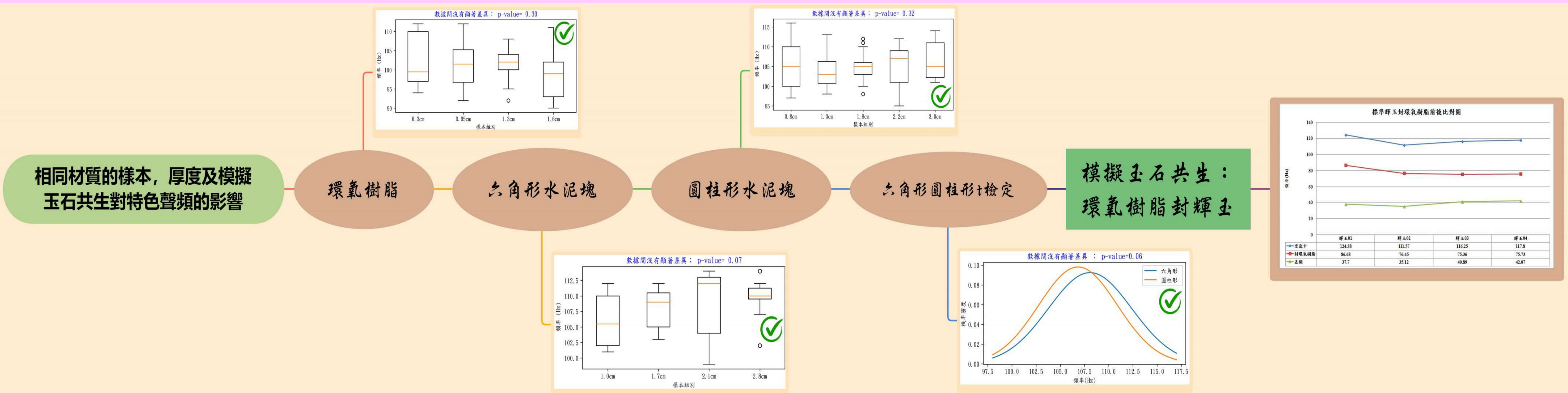
肆、研究架構與方法



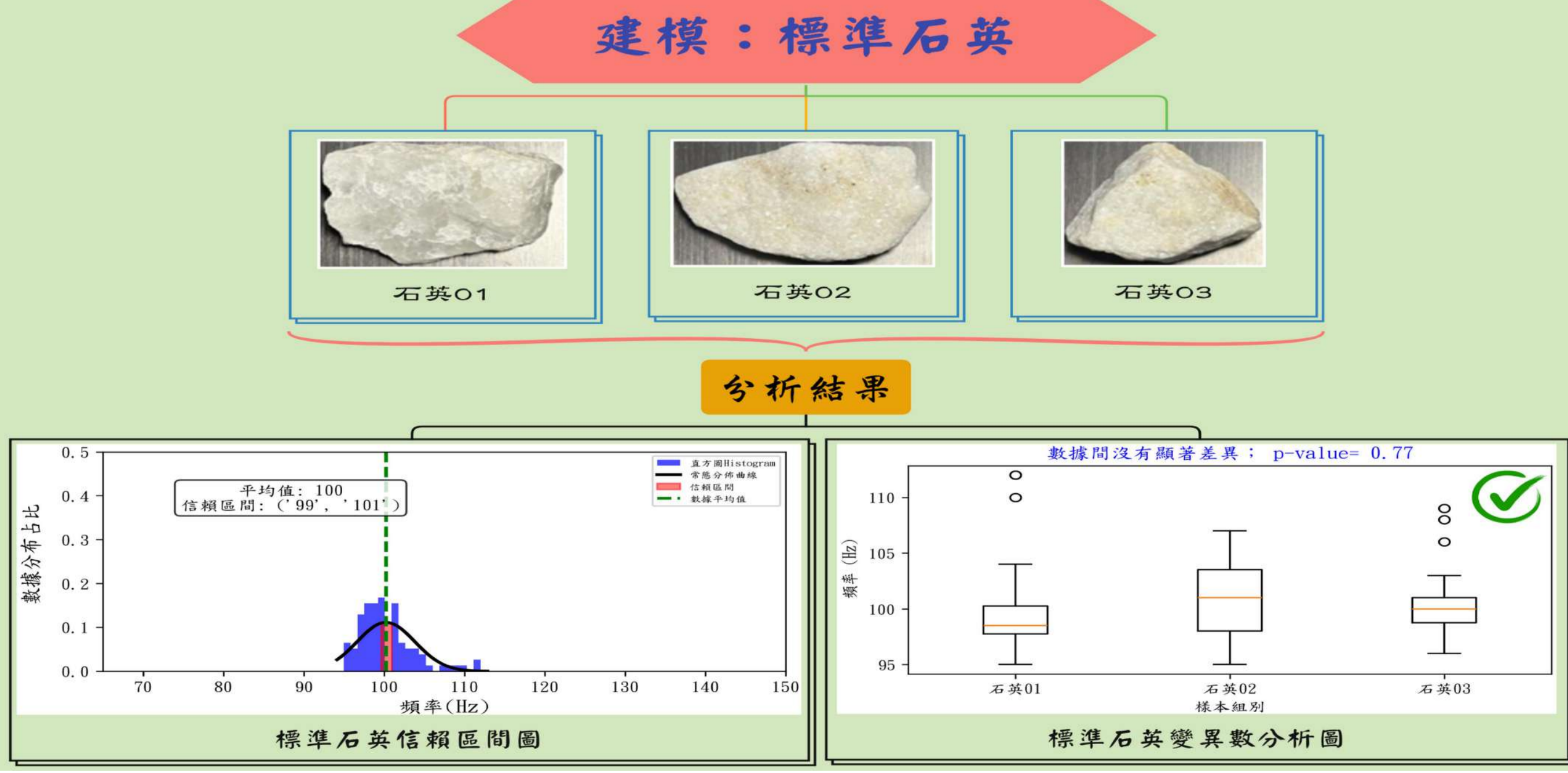
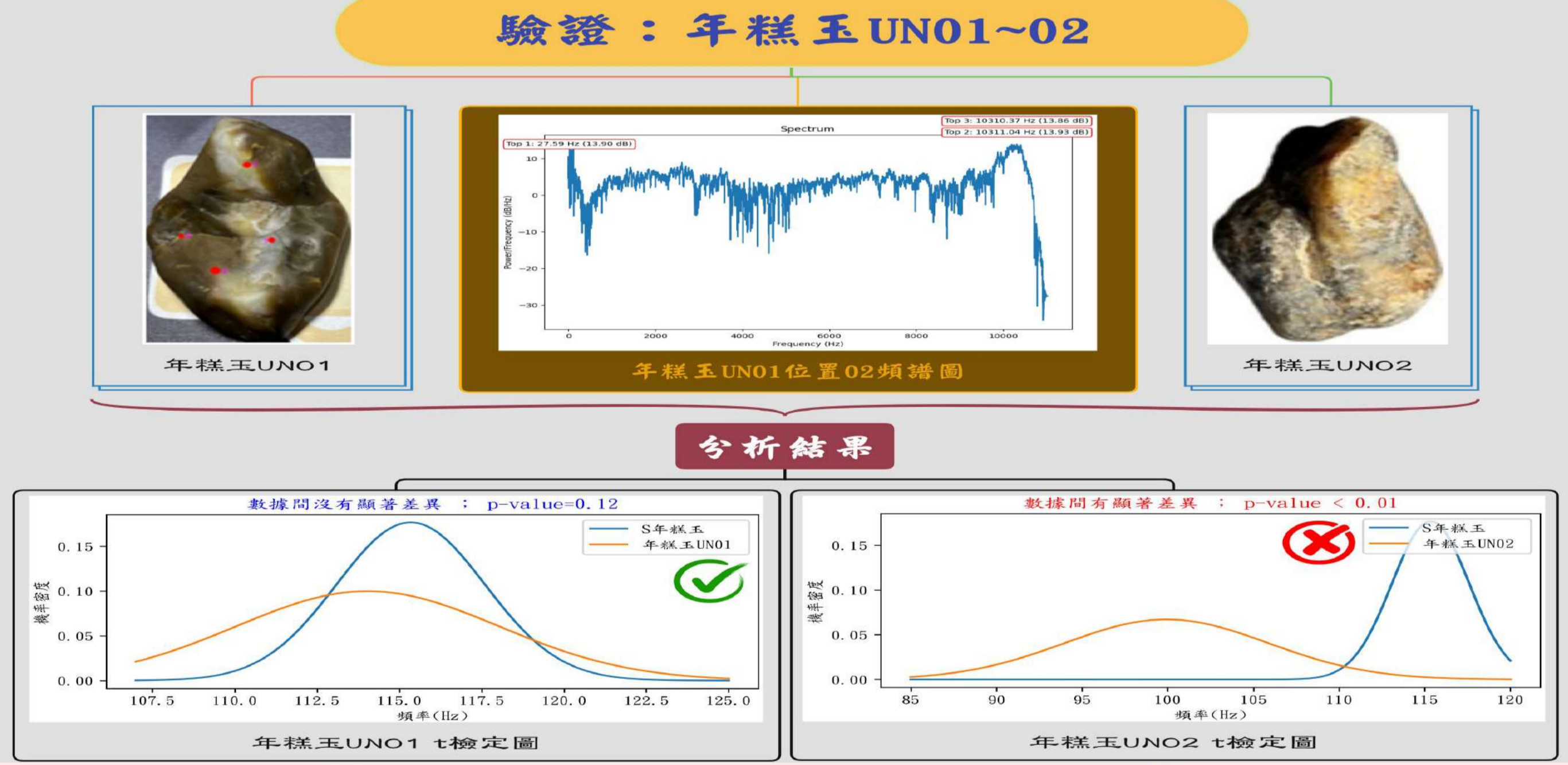
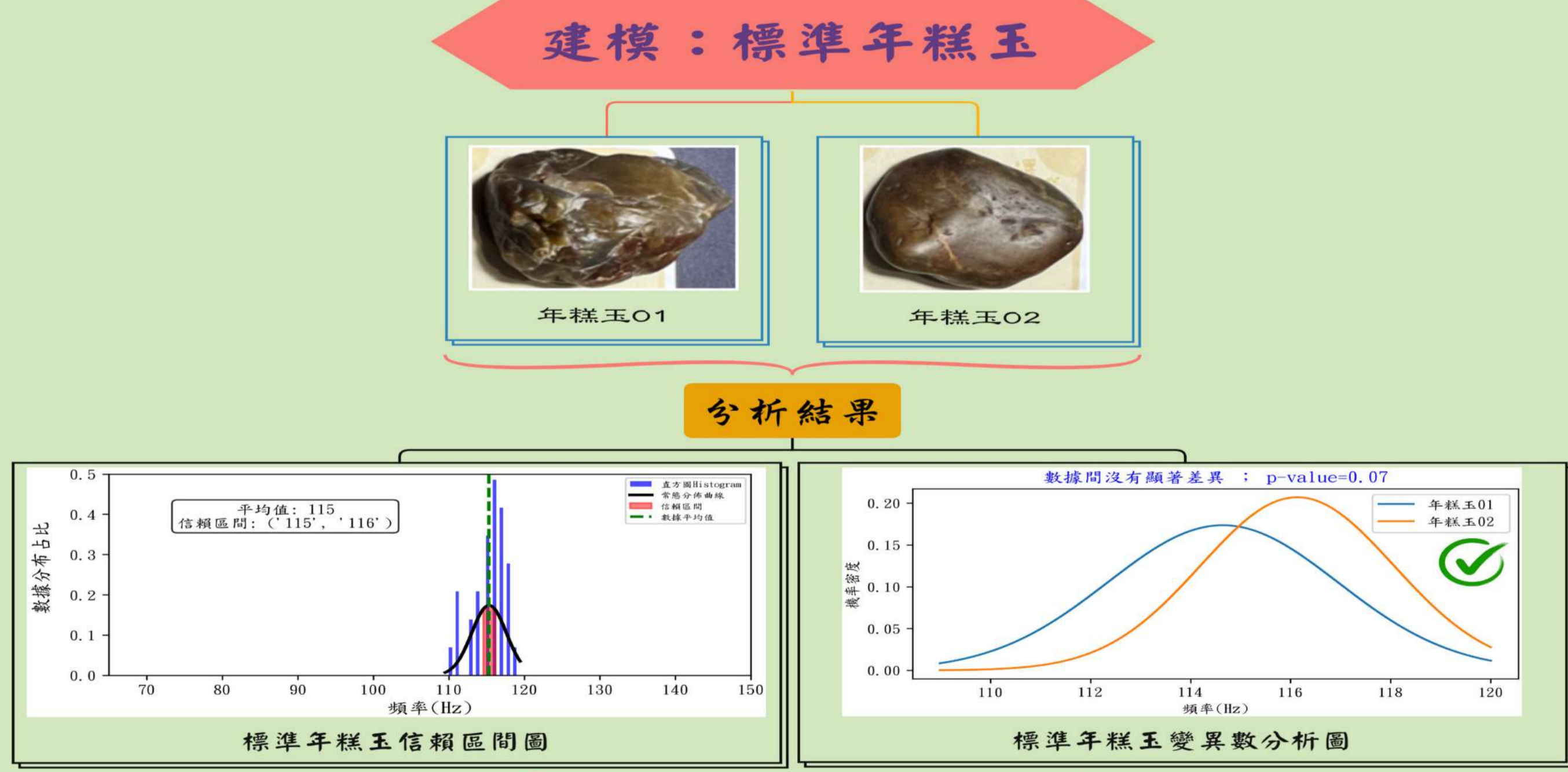
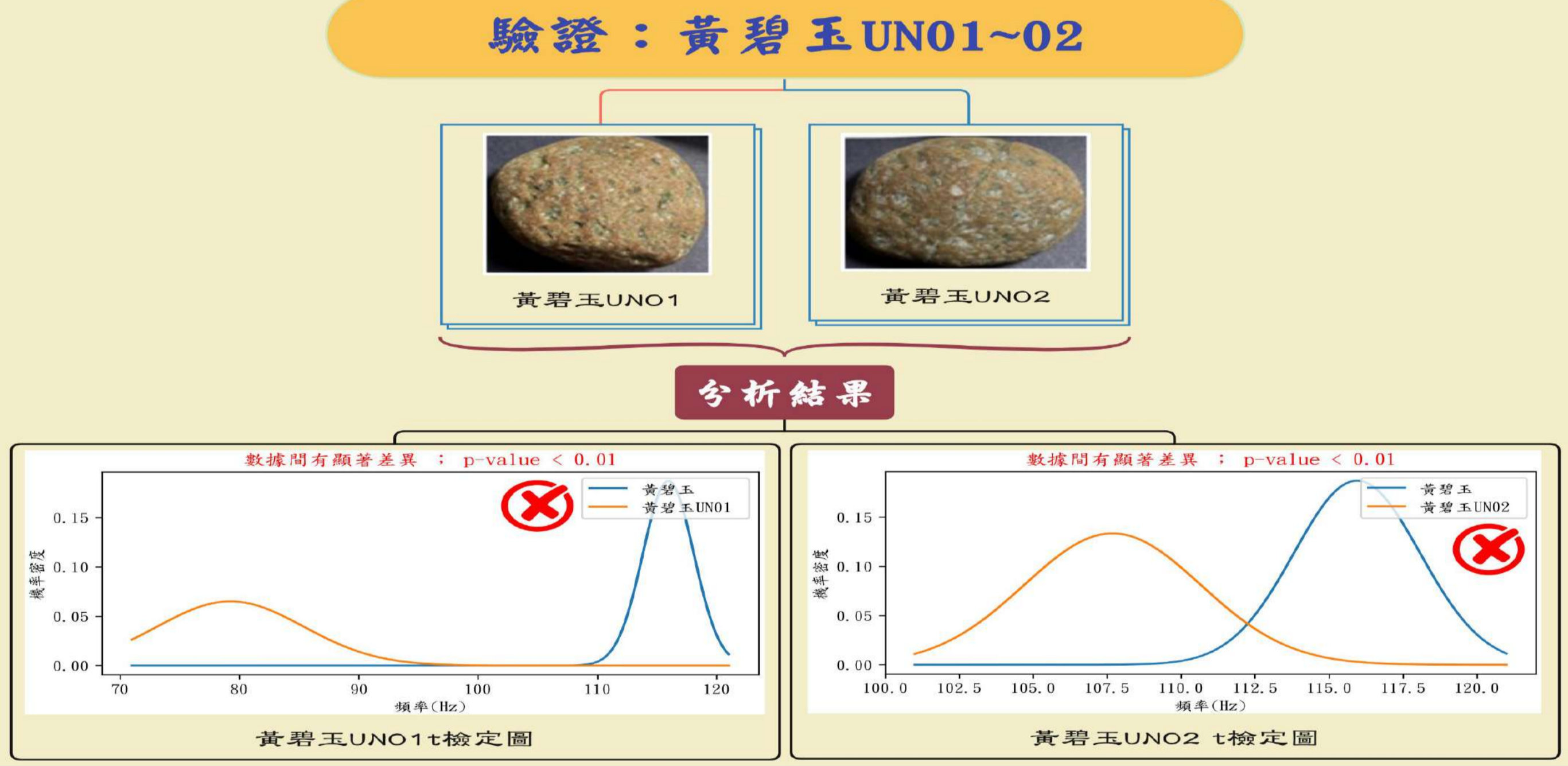
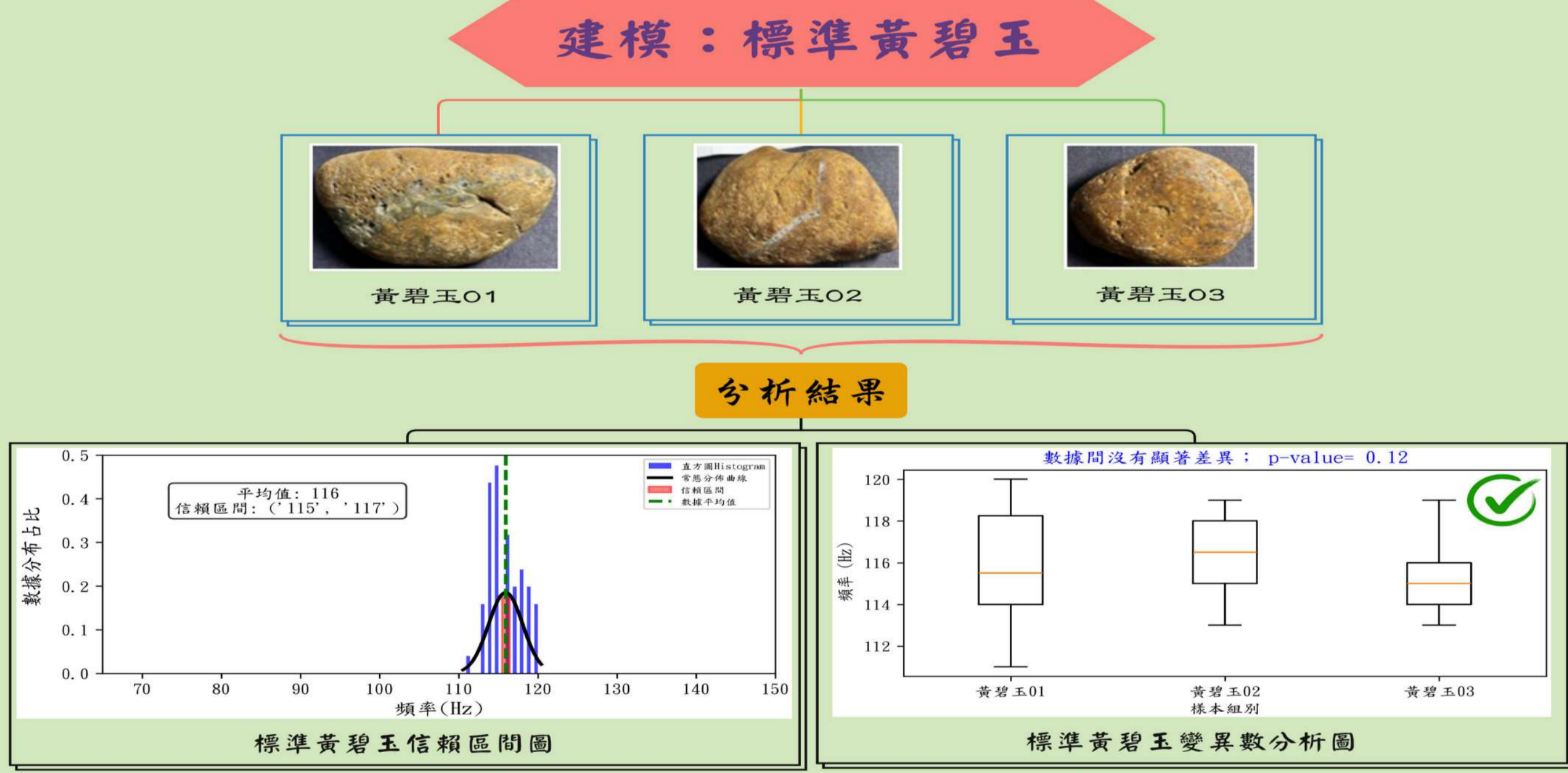
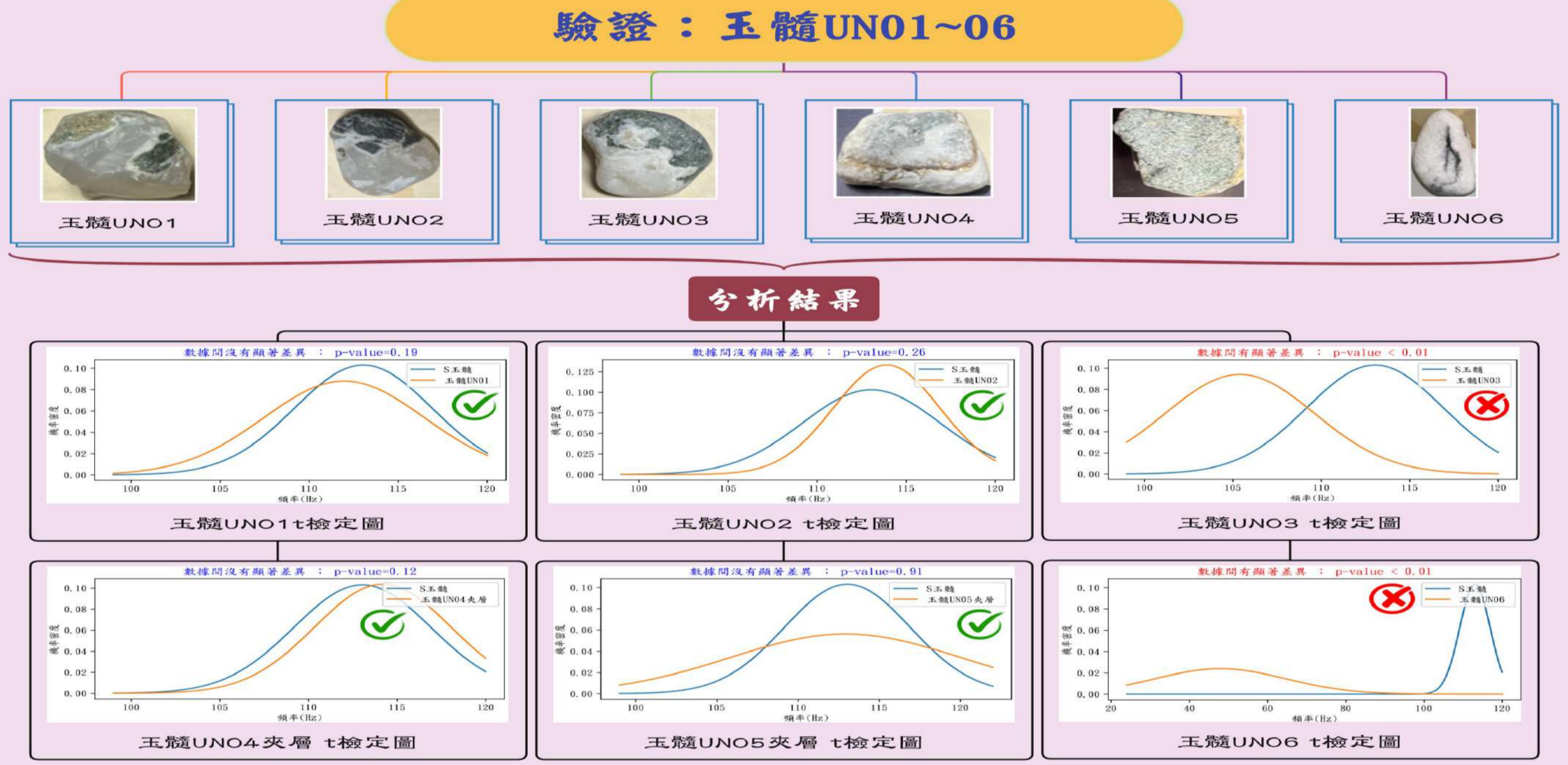
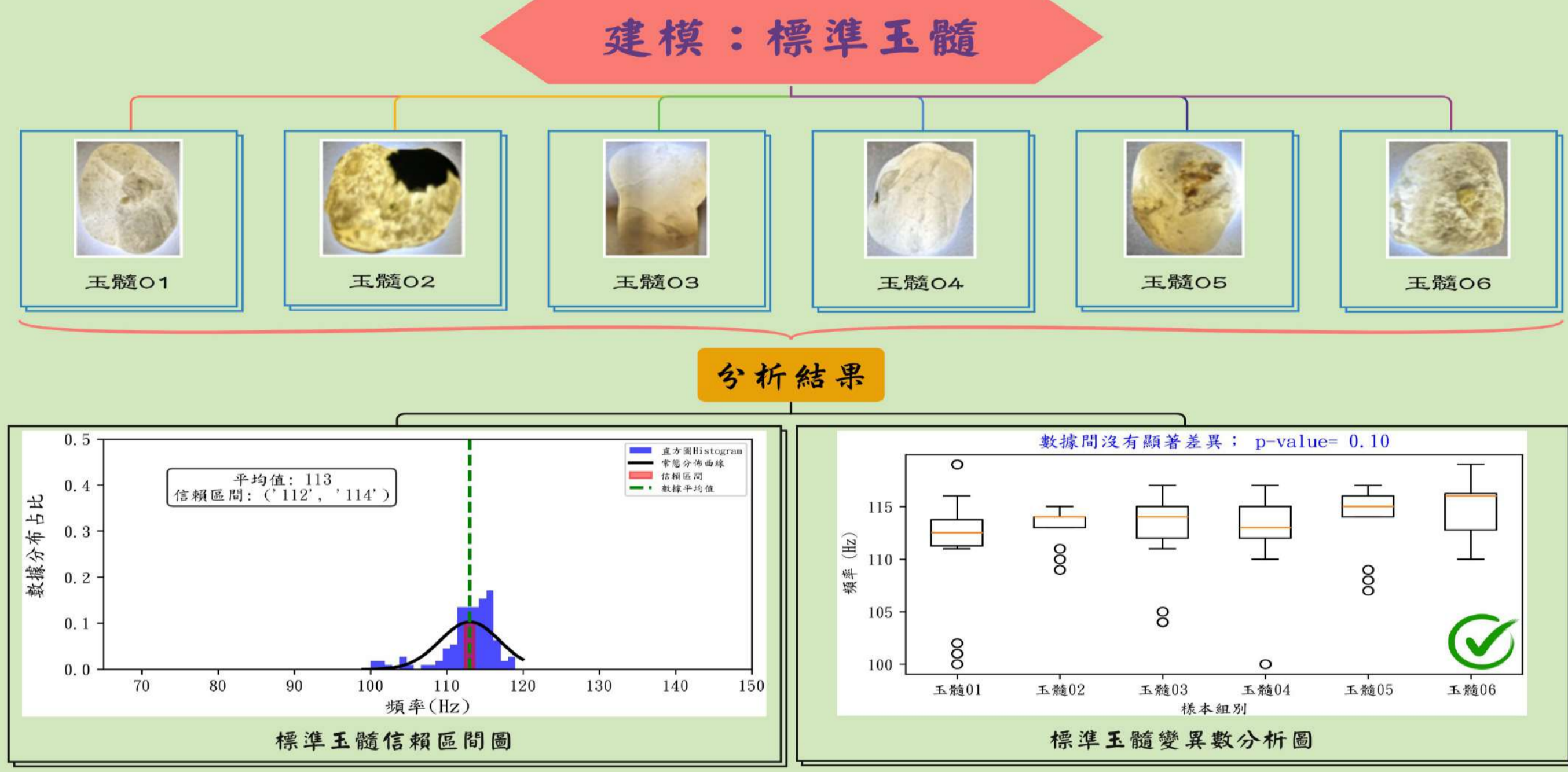
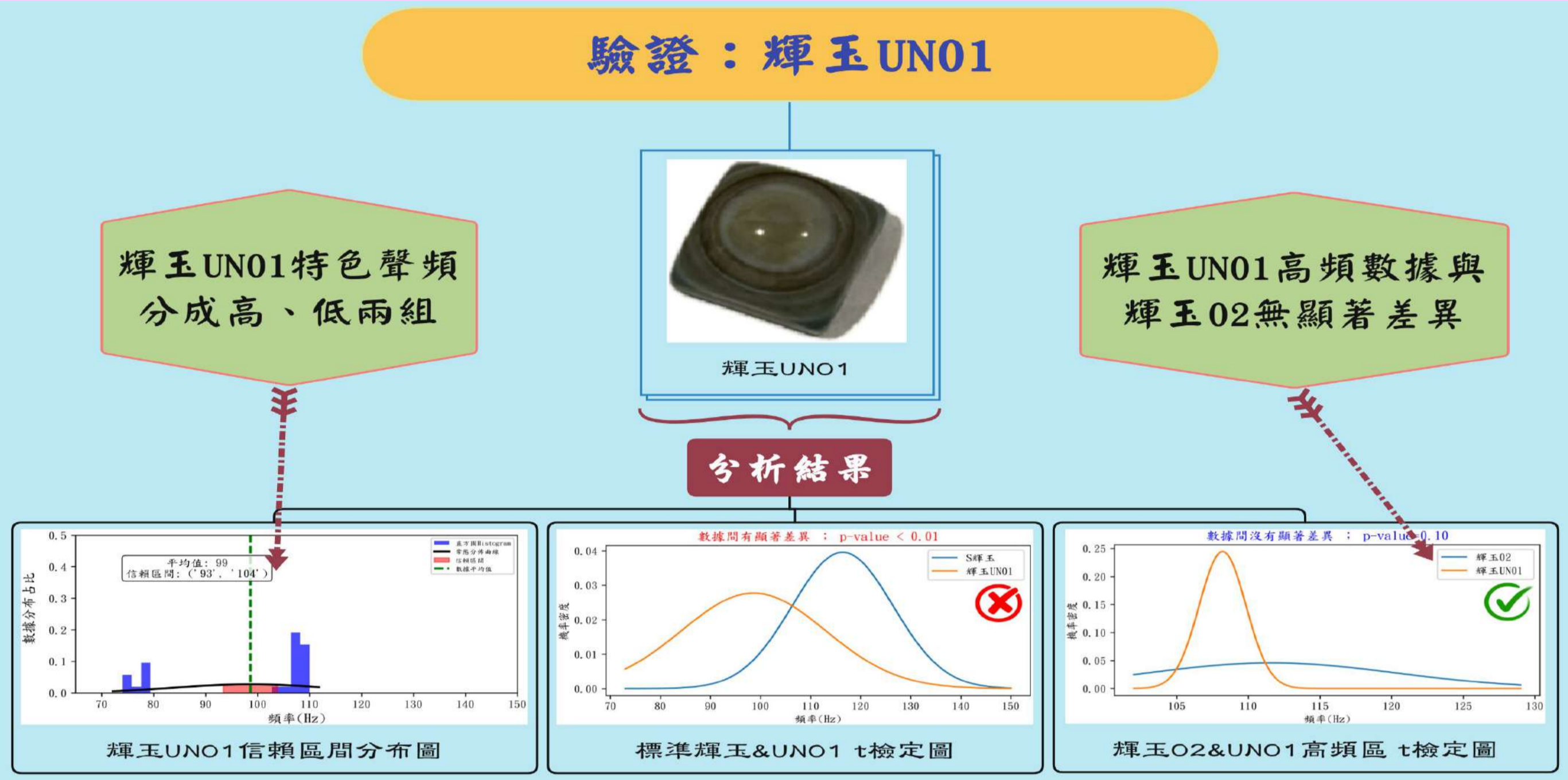
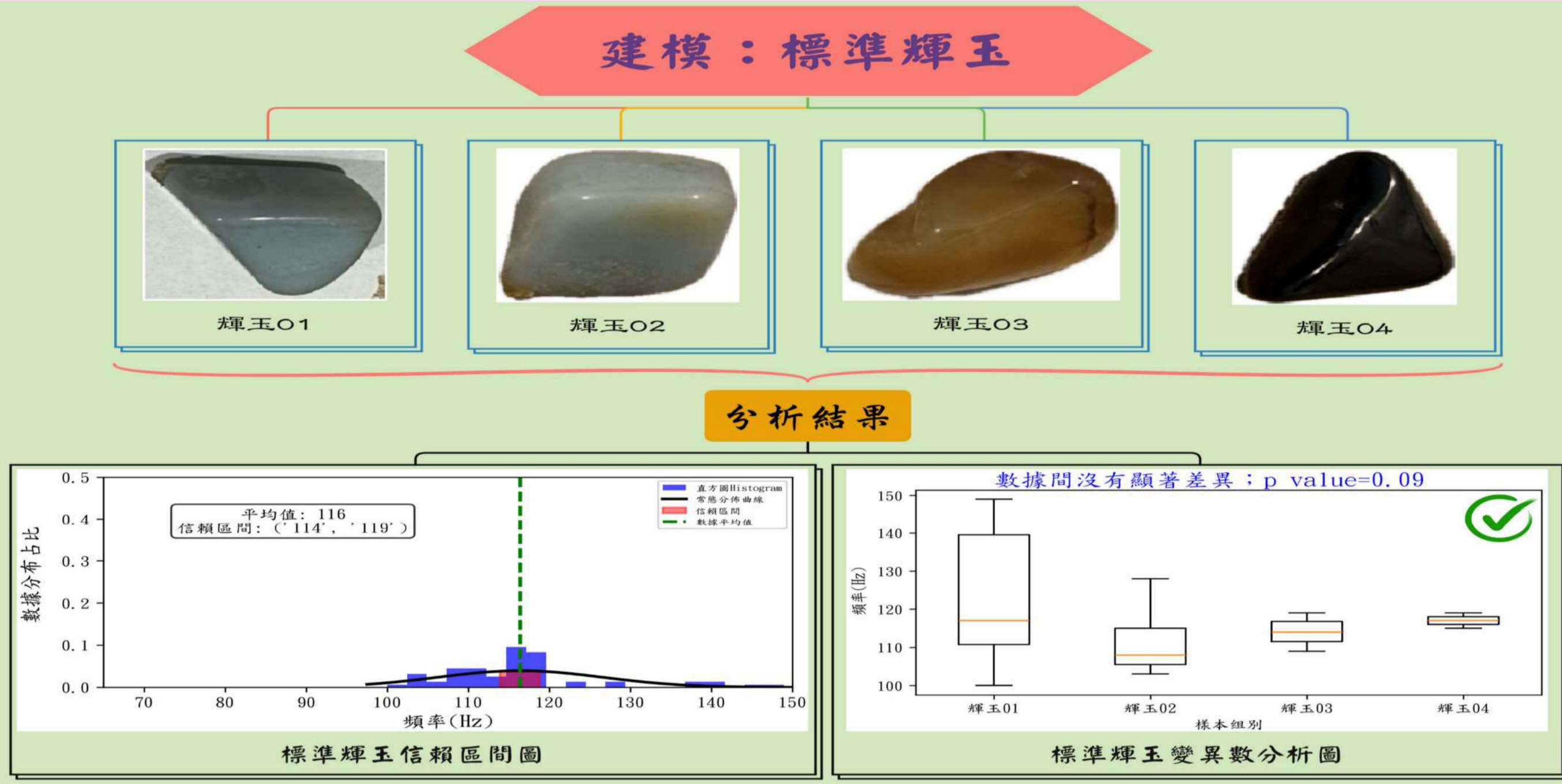
★當礦物結構受到衝擊會產生振動，這種振動頻率常被稱為**晶格振動**或**聲子頻率**。晶體的原子排列、緊密度以及晶體結構的振動頻率會因結構變化而改變，因此，每一個礦物會因其原本的晶體結構或共生物質而決定它晶格振動頻譜，我們收集經過礦物振動後發出聲波，利用快速**傅立葉轉換(FFT)**所得頻率，將它稱之為「**礦物的特色聲頻**」。

伍、研究結果與討論

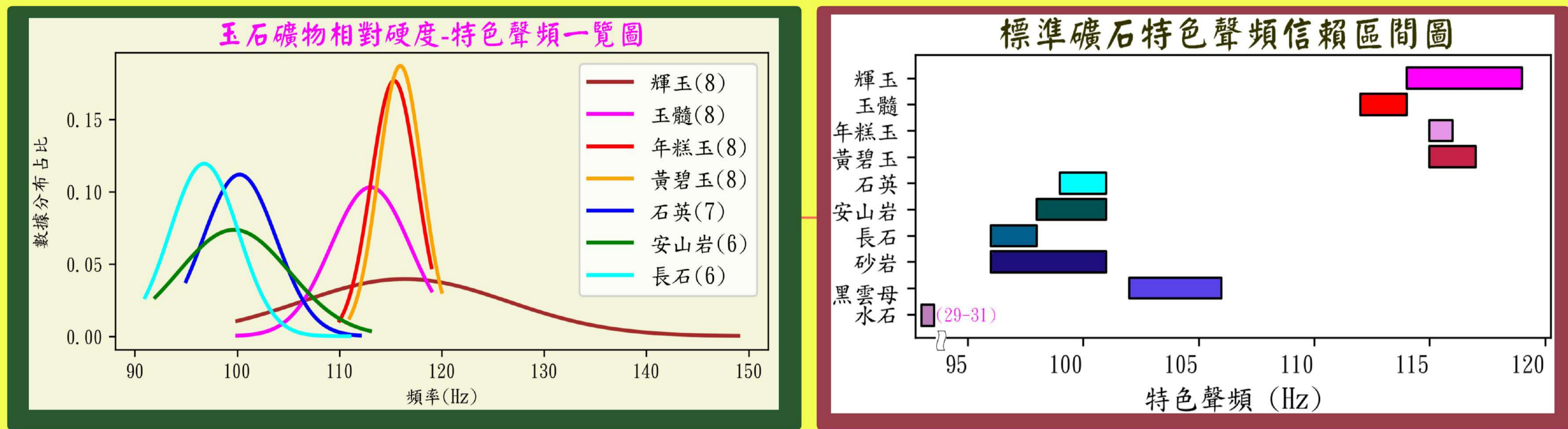
一、相同材質樣本，厚度對特色聲頻的影響：利用水泥、環氧樹脂建模



二、標準樣品特色聲頻建模—利用 t 檢定或變異數分析(ANOVA)決定數據相關性



三、研究成果：玉石、岩石相對硬度與特色聲頻之關係及信賴區間分布



四、台東海岸麥飯石的神奇之旅

綠色麥飯石特色聲頻幾乎都是高頻區

G01-G05樣本間不存在顯著性差異

麥飯石產地：台東三仙台北灘海岸

1 綠色麥飯石

2 安山岩綠色麥飯石 t 檢定

數據間沒有顯著差異：p-value=0.89

3 低頻麥飯石#01

外觀為紅色，但外表較少長石粒狀顆粒，切開內部可發現，圖中白色斑點為小凹洞，應是內部孔隙，吻合晶格振動的理論。

4 高低頻麥飯石#02

外觀為紅色且均勻分布長石粒狀顆粒，內部發現有一較大空洞，但沒有發現其它細微孔洞，空洞是造成低頻的主因。

5 高低頻麥飯石#03

外觀為綠灰色且有許多白色長石粒狀顆粒，切開後有一條裂隙，裂隙應是造成低頻的主因。

圖中白色條紋處呈凹陷狀態
沒有發現細微孔洞

五、珍藏礦石的分析—塔斯石、九州火山岩、豐田玉及仿玉髓

珍藏的礦石外觀描述

九州火山岩
硬度高
不透光
有油脂附著表面，照光表面有光亮感，手感較輕。

塔斯石
硬度高
不透光
觸摸感覺皮細與冰涼感，手感較重，類玉石的感覺。

仿玉髓
硬度高
高透光性
表面略光滑(沒玉髓那麼皮細)，具冰涼溫潤感，手感較重。

豐田玉
硬度高
中透光度
表面略光滑，具冰涼溫潤感，手感較重，切割面稍粗糙。

珍藏礦石分析結果

水石01
塔斯石、水石01有清晰可見的裂痕且表面粗糙明顯
水石是海邊常見尚未玉化的石英
裂痕也是決定特色聲頻的主因
水石因價值性不高所以一直默默無名，被找到的機率最高
專家依經驗進行推測

蛇紋石
豐田玉與蛇紋石是共生
微發現存在蛇紋石岩體中
豐田玉由角閃石類之透閃石—陽起石混合組成
豐田玉透光呈翠綠色，含雜質較高
豐田玉俗稱翠玉，蛇紋石俗稱墨玉
豐田玉與水石測不到磁性，蛇紋石具磁性

仿玉髓02
仿玉髓會透光，水石不透光
仿玉髓也有皮細的特徵，但在專家眼裡還是較玉髓略為粗糙
仿玉髓也俗稱白石頭，脆度高
產地：台東金樹潭北岸海邊

豐田玉
臺灣閃玉—花籃豐田玉
花蓮豐田玉是在花蓮縣壽豐鄉豐田購得
外觀墨綠，照光有翠綠、黃綠色之塊狀
內部可看到纖維狀結構，具玻璃光澤
特色聲頻數據可分成高、低兩個聲頻

精油水泥塊
火山岩與水泥塊都是有石灰岩成分
標準水泥塊信賴區間較高
為了營造相同條件，使用環泡精油的水泥塊進行驗證
精油填滿空隙會改變特色聲頻

仿玉髓與水石
仿玉髓與水石透光差異
仿玉髓為棉花團的圖樣
水石為纖維狀交結而成的圖樣

陸、結 論

- 一、本研究為首次提出藉由物質受敲擊所發出的特色聲頻進行辨識：敲擊法產生的特色聲頻跟材質種類(化學式)、緻密結構(晶體結構的對稱性、鍵結強度)及表面或內部是否有裂痕有關；跟厚度(體積大小)無關。
- 二、共生材質的接合緊密度也會影響特色聲頻，這可以由環氧樹脂封輝玉跟玉髓共生麥飯石的數據得到佐證。石材內部若有空隙，特色聲頻會產生偏移量，這可以用來檢驗人工合成玉石製作過程內部是否產生氣泡。
- 三、未知礦石的判定第一道程序為使用特色聲頻信賴區間數值，再用 t 檢定與標準礦石進行驗證，進而確認礦石真實身分。
- 四、鍾其所愛，撿石頭最大樂趣是期待驚喜，盼望能找到具有價值的奇石，高手可以一眼就辨識成功，但我們利用透光度、水鑑別法或是硬度測試，先辨別石頭的種類，再藉由『聽石頭的聲音』，找到礦石的真實身分。像我們這種新手也能藉由自己建立的分析法則，找到心目中具有價值的礦石！除了欣賞它的美，更可以訴說自己旅行的軌跡。

柒、參考資料

1. 從地質觀點認識臺灣玉. 何恭算. 科博館訊(402 期).
2. 翡翠—地殼與地函偶然交會的結晶. 劉淑蓉、黃武良. 科學發展(507 期).
3. 「土方法」聽音辨玉. 每日頭條. <https://kknews.cc/zh-tw/collect/o8pv4ap.html>
4. 聽覺系統. 維基百科. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/聽覺系統>
5. 建築聲學基本知識. <https://www.soundbox.hk/jian-zhu-sheng-xue-ji-ben-zhi-shi/>
6. 傳音入密-聲波應用於建築安全分析之研究. 中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書
7. 台灣主要礦物與岩石—閃玉. <https://gis.geo.ncu.edu.tw/mineral/m21.htm>
8. 玉可以養嗎?. 余樹楨. 《科學發展》(442 期).

說明：本海報照片或圖片均由作者自行拍攝或繪製！