

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

第二名

030505

搶救台灣國寶石－螺溪石的辨識及其特性之研究

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國一 劉彥彰 國一 楊其宸 國一 楊翔賀	指導老師： 蔡名峯 劉鑒毅
---	-----------------------------

關鍵詞：台灣國寶、螺溪石、針鉞

摘要

螺溪石產於濁水河流域，是台灣唯一適合製硯的國寶石。本文試著爬梳文獻典籍，透過製硯大師的專訪，到龍神橋、雙龍橋下進行田野調查，並對螺溪石與溪中的頁岩、砂岩、石英岩、礫岩等性質，予以比較研究，總結辨識螺溪石的七種方法。研究發現，螺溪石的岩性為頁岩，部分為輕度變質的泥質板岩。螺溪石的礦物組成與排列成片狀，片狀形態的結構以二氧化矽為主，片狀尾端的結晶形態則為磷酸鈣的結晶體，這是螺溪石所具有的獨特針銼。由於針銼的分布均勻、緻密，所以容易下墨與發墨。磨出的墨液易被宣紙吸附，色澤也比其他溪石更黑。實驗顯示，螺溪石的墨液在室溫約-6.8°C左右會結冰，符應文獻中對優質硯石「歷寒不冰」的讚美。

壹、研究動機

記得國文課本中有一篇劉墉的文章〈做硯與做人〉，提到螺溪石產於濁水溪，是台灣唯一可以製硯的硯石，而且產地就在彰化的二水，這就引起本組極大的研究興趣。此外，經由《彰化縣誌》的記載，我們也知道螺溪石是全台唯一可發墨的硯石，日本人特稱螺溪石為「台灣黑玉」，十分珍貴，堪稱台灣國寶石。文獻中還提到螺溪石具有「質地緻密、貯水不耗、下墨快、發墨如油、歷寒不冰」的特性，十分神奇，這更引發我們的好奇，究竟螺溪石有甚麼魔力，能具備這麼多的優異性質呢？我們可以在哪裡尋找到螺溪石呢？

暑假當中，我們參加了彰化縣文化局所主辦的「濁水溪石文化驚豔營」，親自動手研磨螺溪石，體驗磨硯與製硯的樂趣，同時也對螺溪石有了初步的認識。之後，我們試著從二水出發，沿著濁水溪的河床，尋找那神奇的國寶石。在濁水溪的河床，我們看到了絡繹不絕的砂石車，滿載著溪石，而螺溪石正躺在其中哭泣。近幾年來，由於集集大壩的興建與防洪疏濬工程的進行，螺溪石與大量溪石一齊淪為工業用碎石，可說是「玉石俱焚」，令人不勝唏噓！

如何搶救台灣國寶石？首先必須在蔓生蘆葦與泥沙淤積的濁水溪河床中，有效辨識出螺溪石。本研究試著從螺溪石與濁水溪中其他常見的溪石的比較，找出可以快速辨識螺溪石的方法，並且委託彰化師範大學奈米科技中心，透過 SEM 的觀察與 EDS 的分析，試著解開螺

溪石特有針鋸的神秘面紗。此外，透過自製的研磨器，利用不同溪石的研磨，進行發墨，觀察不同溪石所研磨出來的墨液，在墨色上是否也同樣具有差異。同時也自行設計冷凍冰箱，以冰塊加鹽巴降溫，測試螺溪石的墨液凝固點，期盼能掌握螺溪石的特性，進而對螺溪石進行搶救與妥善運用。最後本組試著提出搶救螺溪石的具體方案，希望能傳承在地的文化產業，讓螺溪石硯與藝術永續發展。

貳、研究目的

- 一、 探討螺溪石與其他溪石基本特性的差異。
- 二、 探討螺溪石與其他溪石的顆粒與針鋸是否有所差異。
- 三、 探討螺溪石與其他溪石在水分擴散與蒸發速度上的差異。
- 四、 探討螺溪石與其他溪石所磨製的墨液色層是否有所不同。
- 五、 探討螺溪石與其他溪石所磨製的墨液凝固點是否有所不同。

參、研究設備與器材

			
圖 3-1 螺溪石	圖 3-2 石英岩	圖 3-3 頁岩	圖 3-4 礫岩
			
圖 3-5 砂岩	圖 3-6 長條宣紙	圖 3-7 自製冷凍箱	圖 3-8 自製研磨器
			
圖 3-9 陳嘉德墨條	圖 3-10 磅秤	圖 3-11 微量天秤	圖 3-12 銼刀

			
圖 3-13 榔頭	圖 3-14 注射針筒	圖 3-15 320 號水砂紙	圖 3-16 朱紅墨液
			
圖 3-17 醫療用點滴瓶	圖 3-18 40 種臺灣礦物	圖 3-19 木質墊片	圖 3-20 10ml 量筒
			
圖 3-21 阿基米德浮力測量杯	圖 3-22 電子溫度計	圖 3-23 紅外線溫度計	圖 3-24 恆溫冰箱
			
圖 3-25 手電筒	圖 3-26 濕度、溫度計	圖 3-27 Auto Pipette	圖 3-28 數位顯微鏡
			
圖 3-29 放大鏡	圖 3-30 相機	圖 3-31 電腦	圖 3-32 除濕機
			
圖 3-33 錄音器	圖 3-34 計時器	圖 3-35 硬度表	圖 3-36 支架

肆、研究過程與方法

本研究透過文獻史料的蒐集與硯石專家的專訪，對螺溪石的產地環境與分布概況有初步的認識，然後進行實際的田野調查與溪石的採集。之後擬定研究主題，對螺溪石與濁水溪其他溪石的外觀、石質進行比較研究，透過科學的實驗與觀察，對螺溪石進行更深入的研究與探討，以便充分掌握螺溪石的特點。

一、文獻史料的蒐集

關於螺溪石的文獻記載，可見於清·楊啓元〈東螺溪硯石記〉、藤山雷太《臺灣遊記》與吳文福〈台灣螺溪石硯謔獻〉。

(一)清·楊啓元〈東螺溪硯石記〉

清嘉慶年間舉人楊啓元在他所寫的〈東螺溪硯石記〉中說：「彰之南四十里有溪焉，源出內山，由水沙連下分四支，最北為東螺溪，溪產異石，可裁為硯，色青而玄，質潤而粟。有金沙、銀砂、水波紋各種，亞於端溪之石，然多雜於沙礫之中、匿於泥塗之內，非明而擇之不能見，一若披沙而揀金者[3]。」

(二)〔日〕藤山雷太《臺灣遊記》

日本的知名政治家和實業家藤山雷太，曾在《臺灣遊記》中說：「在以前清朝時候，懷抱青雲之志，渡海到對岸的本島人，在參加秀才考試那天，由於天氣嚴寒，許多考生的硯台水都結凍了，唯有此地螺溪石製成的硯台水沒有結凍，考生得以作答完畢，並順利及格。因此，螺溪石硯，名聲大噪。清國派人取其原石，製成硯台，試用之後，發現筆(硯)鋒細密，很有發墨的妙趣，恰如在溫銅板上刷蠟一般，實是奇妙的石硯，清帝很感動，御筆寫下『螺溪石硯不遜端溪硯』於紙上[5]。」

(三)吳文福〈台灣螺溪石硯謔獻〉

吳文福老師在〈台灣螺溪石硯謔獻〉一文中提到：「何以螺溪石『色澤潤』，甚至誇稱『貯水不乾』與『經冬不凍』？其主因乃是螺溪石屬『水成岩』之一種，它長年浸泡於水脈之中，並受地壓之作用，其粒子結構幾乎近於半晶體。」、「螺溪石硯之精品，其粒子結構至為勻密，硬度必在三點五度左右，故其『耐磨』可知。……螺溪硯石乃是水積之岩，岩石結構具有『頁理層面』，而層層頁理，亦有木材纖維狀之絲脈，然如此頁理，

如此絲脈，千年萬年埋於底下，受水氣、地熱、地壓之影響，或扭曲成雞腿肌理狀，或摺折成三角錐理狀，墨堂經過平琢，絲理斜出，磨墨必定停潤不滑，且螺溪硯石顆粒之中均含『金屬礦砂』，其特有之『針銼』，於發墨上更具有其特異功效及意義，美哉神奇造化，如是而已[2]。」

二、硯石專家訪談

在文獻探討中，本組已對螺溪石的特點有概略的認識。接著我們透過對螺溪硯石專家與硯雕大師的專訪，對螺溪石進行更深入、更直接的接觸與體驗，以便充分掌握螺溪石的特點。

(一) 專訪蔡澄清老師與黃堃旭師傅

黃堃旭師傅專擅書畫裱褙與製硯，對螺溪硯石與印石有極深入的研究與心得，是硯石的收藏家與鑑定專家。蔡澄清老師自稱石奴，別號硯癡，不僅是硯雕名家，也是篆刻、石雕專家。經過兩位專家的詳細解說與示範，我們對螺溪石的生成、分布，以及如何有效地分辨螺溪石與其他溪石的差別，有更深入的理解。

(二) 專訪董文平與董坐大師

董文平與董坐兩兄弟是彰化二水極富盛名的專業硯雕大師，他們的硯雕技藝傳承自深厚的家學。董文平大師從小就跟隨父親撿石挑石，從事硯雕工藝超過五十多年，擅長山水與松柏硯雕，技藝精湛，作品屢次在工藝設計競賽與全省美展獲獎，是著名的硯雕工藝達人。

董坐大師是「董坐石硯藝術館」的主人，致力於硯雕工藝也有五十多年。作品風格多元，技藝精湛，曾兩度獲頒行政院文化建設委員會「文馨獎」，並獲國立台灣工藝研究所授證「台灣工藝之家」榮銜。名作家劉墉曾拜訪董坐大師，並寫下〈做硯與做人〉一文，納入翰林版國中國文教材第一冊第二課課文，在工藝界傳為美談。



三、螺溪石的產地地質概況

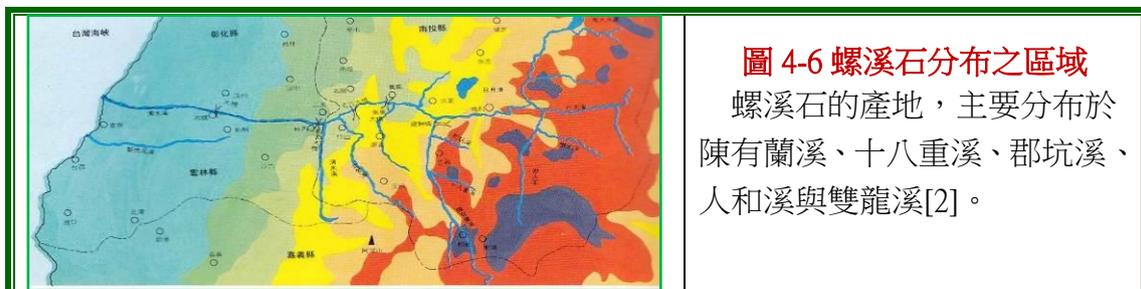
根據 1986 年何春蓀所做的台灣地質分區，螺溪石產地的區域地質是屬於雪山山脈帶，主要是由硬頁岩和板岩組成[7]。1991 年劉桓吉在〈台灣雪山山脈濁水溪地區地質構造之研究〉一文中，將台灣雪山山脈中部濁水溪地區露出的地層，依岩性分為厚層白色至淺灰色細至粗砂岩夾板岩，板岩夾粉沙岩或薄層砂岩，以及砂岩與板岩互層等三種[11]。螺溪石分布地區主要有三個地層單位，三種地層由下而上為「十八重溪層」、「白冷層」、「佳陽層」。「十八重溪層」和「佳陽層」主要為板岩夾有粉砂岩或薄層砂岩。「白冷層」為厚層白色至淺灰色細至粗砂岩夾板岩[8]。

螺溪石的岩脈是在「蓬萊造山運動」形成，岩脈以「十八重溪」岩脈為軸，北起太平山、雪山，一直到南投縣的地利村、雙龍村下沉，在台南、高雄的六龜老濃溪區域上升出現，一直到屏東的山地門[9]。優良石質蘊藏主脈當在水里鄉龍神橋及信義鄉地利村與東埔村的「人倫山」的三角地帶[13]。

四、螺溪石分布之區域

螺溪石是濁水溪獨有的產物，主要分布於濁水溪主流及其支流陳有蘭溪。陳有蘭溪為濁水溪的主要支流之一，發源於玉山北峰八通關，於和社匯入和社溪及樂樂溪，始名陳有蘭溪。陳有蘭溪有兩大支流，由上而下分別為十八重溪與郡坑溪。十八重溪所產的螺溪石石色以淺綠色、灰黑色為主，而郡坑溪所產的螺溪石則以棗紅色為主。陳有蘭溪在龍神橋處匯入濁水溪，河道寬廣，溪石星羅棋布。從龍神橋沿著濁水溪主流上溯，有人和溪和雙龍溪。人和溪所產的螺溪石以黛綠色居多，而雙龍溪則以墨黑色為主。至於雙龍山的雙龍部落，有珍稀的白皮螺溪石產出，被普遍視為最珍貴的螺溪石硯材。

根據本組所做的田野調查，目前採集螺溪石的適合地點，當在濁水溪中、上游的溪段，即水里鄉的龍神橋到信義鄉地利村之間的溪床、河谷，由於地處螺溪石的原石層地帶，是目前比較容易尋找到螺溪石的河段，地理位置大約是在水里與地利之間。此溪段的螺溪石顏色種類很多，主要分為三大色系，有棗紅、墨黑與黛綠，其中還有很多顏色稀有的螺溪石，例如：白皮、棗紅混黛綠等等。



五、濁水溪中常見的溪石

本組為了能夠快速辨識螺溪石與濁水溪中其他溪石，因此特別找出溪流中常見的四種礦石—頁岩、砂岩、礫岩以及石英岩進行比較，期盼可以找出這些溪石與螺溪石的差異，以便能快速地分辨出螺溪石。

頁岩、砂岩與礫岩屬於沉積岩，是河流中的沉積物經過層層堆積，受到高溫、高壓的成岩作用，逐漸形成礦石。而石英岩則是石英含量大於 85% 的一種變質岩，一般是由砂岩或其他矽質岩石經過區域變質作用，重新結晶而形成的。在岩漿附近，也可能是矽質岩石經過熱接觸變質作用而形成石英岩。



圖 4-7 溪流中常見的岩石
本研究為了找尋出螺溪石的特殊性，因此特別與溪流中常見的岩石進行比較。

六、螺溪石特性之研究

本研究為了在溪流中能夠用簡易的方法辨識出螺溪石，因此分別就溪石的外觀、硬度、刮痕、粉末顏色、層理結構、密度等差異進行比較，以下介紹各種特性的檢測方式。

(一) 螺溪石與其他溪石的硬度檢驗

1. 將五種溪石相互刮磨判斷硬度

本組將螺溪石與其他四種溪石進行互相刮磨的實驗，觀察其上是否會產生刮痕或粉末。依據摩式硬度的判斷方式，硬度較小的溪石會留下刮痕與粉末。最後再藉由 40 種台灣礦物所附的摩式硬度表，用相同的方法判斷螺溪石與其他溪石的硬度。



圖 4-8 螺溪石與其他溪石硬度的判斷

2. 利用水砂紙研磨溪石表面判斷硬度

以 350 號水砂紙沾水，分別在螺溪石與其他溪石的表面研磨，觀察水溶液的狀態與顏色。並且判斷其硬度。

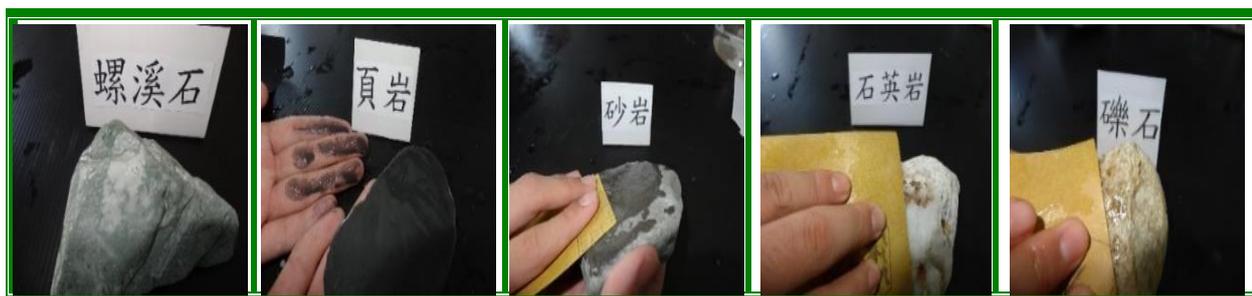


圖 4-9 以水砂紙磨擦岩石表面

本組將 350 號水砂紙沾水，分別在螺溪石與其他溪石的表面研磨，觀察其水溶液的狀態。

(二) 螺溪石與其他溪石的粉末檢驗

本組利用銼刀在岩石上刮取，觀察銼刀是否能夠在溪石上刮出粉末，並觀察其粉末的外觀與特性，並以數位顯微鏡(USB 顯微鏡)針對溪石的粉末進行觀察。



圖 4-10 刮取溪石粉末

本組利用銼刀在溪石上刮取粉末，並以數位顯微鏡(USB 顯微鏡)觀察粉末的狀態。

(三) 螺溪石與其他溪石的構造觀察



以鐵鎚敲開螺溪石與其他溪石，觀察斷裂面的結構和層理。

圖 4-11 觀察溪石的層理

本組使用鐵槌敲開所有的溪石，觀察每個溪石斷裂面的結構與層理。

(四) 螺溪石與其他溪石的密度測量

分別以保鮮膜將五種溪石包好，以磅秤秤出重量。再使用阿基米德浮力測量教具，將不規則的岩石放入裝水的量筒中，測出排水的體積。然後利用 $D=M/V$ 公式算出岩石的密度。



圖 4-12 溪石密度的計算

本組利用排水法先計算出不規則溪石的體積，再利用磅秤計算出質量，並利用密度公式計算出溪石的密度。

七、螺溪石的顆粒針鋸分布之研究

螺溪石的表面具有細小的絲狀層理，在顯微鏡下呈現微小的亮點，模樣很像針的尖端，因此被稱為「針銼」。由於在磨墨時，墨條是在硯台上研磨，因此溪石表面的針銼若分布越細密，所磨製出來的墨液也會越柔細，所以針銼的密集與否是判斷是否為良硯的重要依據。

本研究利用數位顯微鏡(USB 顯微鏡)，觀察五種溪石表面的針銼分布，並拍照作成紀錄。然後再針對螺溪石特有的針銼，透過 SEM 的觀察與 EDS 的分析，探討針銼的礦物組成與形態。



圖 4-13 螺溪石針銼的觀察

針銼即為左圖中閃閃發光的小亮點，由於類似針的尖端，故稱為「針銼」。圖中對照的銅線長度為 0.5cm，粗細為 0.11mm

八、不同溪石的水分擴散與蒸發速度之研究

一個好的硯台，必須能夠具有「質地鎮密、貯水不耗、下墨快、發墨如油」的特性，因此本組特別針對不同的溪石，觀察石面上的水珠是否會因溪石的差異而有不同的蒸發速率，同時也觀察水珠在溪石上的擴散情形。

(一) 水珠蒸發速度的觀測

本實驗經過多次的改良與修正後，得到下列的實驗模組。其研究方法如下：

1. 將溪石裁切成小塊，放在微量天秤上觀測

分別將裁切好的小塊溪石，以 350 號水砂紙研磨表面，之後放入烤箱烘烤 10 分鐘，然後放在微量天秤上，再將微量天秤歸零。

2. 以 Auto Pipette 汲取 10 μ l 的水量，滴 6 滴水珠在溪石的表面，紀錄微量天秤上的重量

實驗初期是利用針筒滴入水珠，卻發現針筒會因實驗者的施力而產生誤差，因此本組改用醫療用點滴滴入水珠。醫療用點滴可控制流速與體積，但滴入水珠的重量仍有差異，所以本組最後採用 Auto Pipette，比較能精準控制水珠的重量。

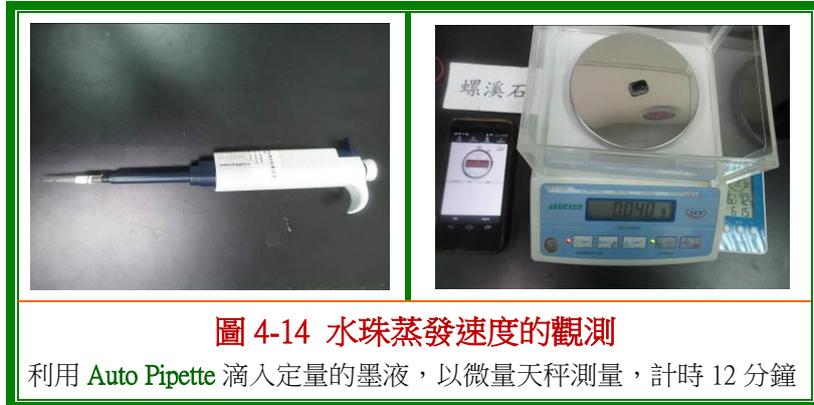
3. 紀錄實驗當時的空氣濕度與溫度

利用電子溼度計紀錄當時的空氣濕度與溫度，以便於日後進行比較。

4. 測量水分蒸發的重量

計時 12 分鐘後，記錄微量天秤顯示的重量。12 分鐘後所減少的重量，即蒸發的水量。

蒸發的水量愈多，表示蒸發的速度愈快。



(二) 水珠擴散情形的測量

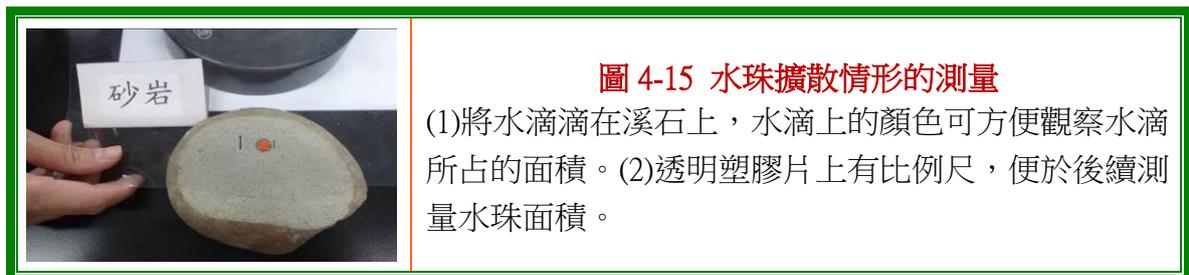
本研究著重在觀察水珠滴在不同的溪石上，其擴散速率是否會有不同。實驗方式如下：

1. 將水滴滴入溪石

將帶有顏料的水珠滴在溪石上，旁邊附有比例尺的塑膠片，以便後續面積的量測。

2. 拍攝水珠在溪石上的擴散情形

將水珠滴在溪石上，靜待 10 秒後，拍攝水滴在溪石上所呈現的形狀。



3. 利用 image J 分析水珠面積：

為了能夠量測水珠在溪石上的面積，本組在網路上找到了一個方便測量的軟體，稱為「image J」，本組利用此軟體進行測量，操作流程如下：

1. 擷取所需測量物體的照片

先用軟體將所需待測物的圖片進行截取。

2. 設定比例尺與刻度

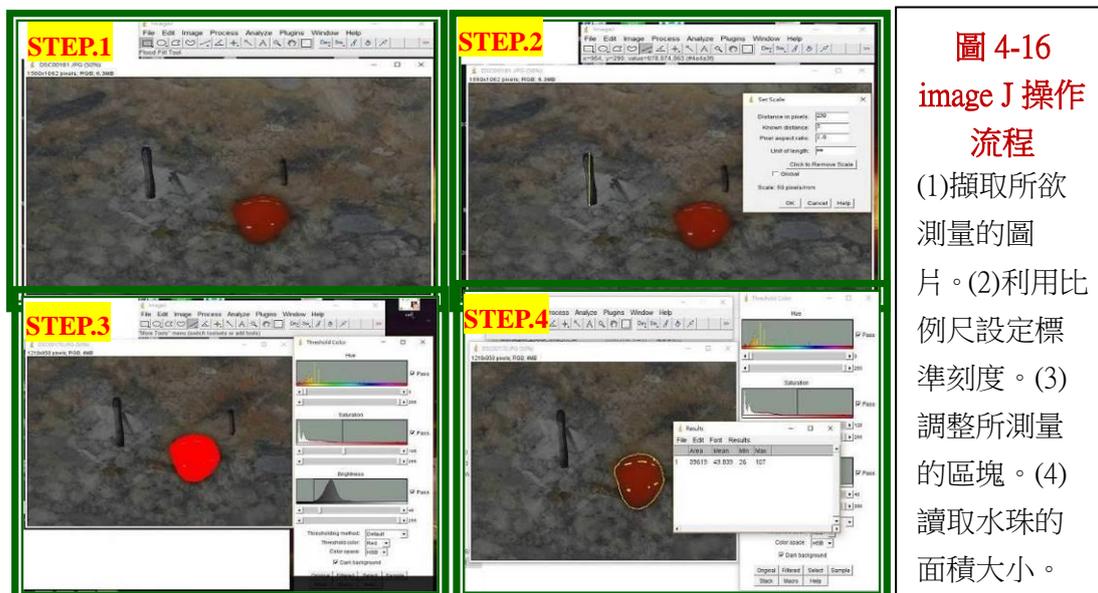
給予軟體適當的比例尺，使得軟體能夠進行運算。

3.調整所欲測量的物體區塊

將想要測量的面積進行標示，確認量測面積覆蓋水珠面積。

4.讀取待測物面積

畫面上 Area 的數值即為所求。



為了讓實驗變因可以達到更好的控制，表 4-1 為本實驗的研究控制。

表 4-1 螺溪石與其他溪石的水分蒸發與擴散研究變因表

自變項	依變項	控制變項
不同的溪石 (共有五種)	蒸發的速度 水珠的擴散面積	相同的實驗時間 加入水的體積固定 環境溫度為 26°C 同樣色素標記

九、不同溪石所磨製的墨液特性之研究

本研究探討不同的溪石所磨製的墨液是否有所不同，同時也觀察墨液在宣紙上的擴散情形與墨液的色澤是否有差異。本組進行下列的實驗設計，使得研究能夠更客觀。

(一) 使用相同的墨條與宣紙

墨液的成色來自於墨條，但是硯台的好壞會影響到墨液的品質，因此本實驗所研磨的墨條都採用同一種（陳嘉德所製古梅墨，圖 4-17），以減少誤差的產生。進行墨液在宣紙上擴散

實驗時，則是採用相同的宣紙，同樣可減低誤差的產生。



(二) 自製研磨器的設計

為了有效控制磨墨的力道，以免力道不均而影響墨液的濃淡，因此本組特別設計了一部研磨器（圖 4-18），以下為研磨器的設計過程與使用方式。





圖 4-18 自製研磨器的製作與組裝流程

(三) 磨平溪石的切面與磨墨

為了讓不同的溪石可以順利在研磨器上磨墨，我們先將溪石的切面磨平，再將溪石放置在研磨器上，然後進行磨墨。首先以滴管滴入 10ml 的水量，以雙墨條研磨。研磨器每旋轉 15 圈即調整墨條一次，旋轉 105 圈後汲取墨液。



圖 4-19 磨平溪石的切面
為了讓溪石能在研磨器上使用，本組特別將所有的溪石進行磨平，使得墨條能夠順利在上面研磨

(四) 墨液的吸附實驗

為了研究溪石所研磨出來的墨液在宣紙上的吸附情形，本組設計下面的實驗。首先汲取研磨器所磨製的墨液各 5ml，然後裁切長 20cm 寬 2cm 的宣紙五條，將長條狀的宣紙以 4 平方公分的面積分別浸泡於墨液中，5 分鐘後取出，測量宣紙吸墨的長度。



圖 4-20 墨液吸附實驗

本組將宣紙剪成長 20cm，寬 2cm 的長條狀，並固定在培養皿內的面積，以確保吸附墨液的面積固定。隨後記錄宣紙上墨液上升的高度，進行墨液吸附力的比較。

(五) 墨液的成色分析

經由不同溪石所磨出來的墨液，雖然都是黑色，但是在成色上依然會有差異，因此我們將圖片利用 image J 分析墨液的成色，分析過程如下圖所示。

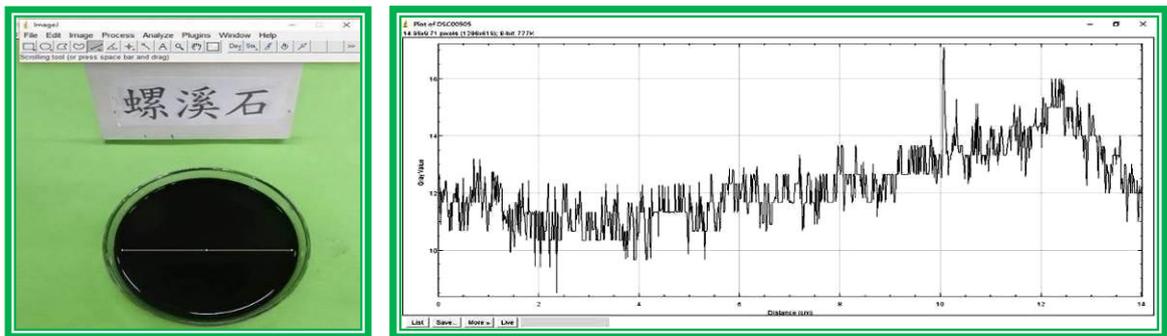


圖 4-21 墨液的成色分析

(1)我們先將墨液置於培養皿中，拍攝墨液照片，將照片於 imageJ 中計算其灰度值，最後將灰度值，轉換成「**墨黑度**」。(2)計算出各點墨黑度後，取其平均，代表該墨液的平均墨黑度。

為了解釋上的方便，研究報告中針對墨液顏色的量化，我們定義該**量化數據為「墨黑度」**，墨黑度與灰度值的方式轉換如下：

$$\text{墨黑度} = \frac{1}{\text{灰度值}}$$

最後將各點的墨黑值求出，取其平均。

為了讓實驗變因可以達到更好的控制，表 4-2 為本實驗的研究控制。

表 4-2 螺溪石與其他溪石的墨液特性研究變因表

自變項	依變項	控制變項
不同的溪石 (共有五種)	墨液在宣紙上擴散的 長度 墨液成色	皆使用自製研磨器研磨 皆研磨 105 圈 相同墨條 相同宣紙 皆浸泡 5 分鐘

十、不同溪石所磨製的墨液凝固點的觀察

根據文獻記載，螺溪石所磨成的墨液會有遇冷不凍的現象，因此本研究在驗證螺溪石是否真的具有這樣的神奇效果。以下實驗可分為二部分，實驗流程與操作如下：

(一)以上一個實驗的方法研磨墨液，然後汲取 0.4ml 的墨液滴入方格盤內，放置於恆溫冰箱中，逐步降溫，測量墨液結冰時的環境溫度。(圖 4-22)。



圖 4-22 萃取不同溪石所磨製的墨液，測量結冰時的環境溫度

(二) 將 3ml 的正大光明墨汁倒入黏著在溪石上的瓶口，放入自製的冷凍箱，以 3:1 的比例將冰塊加鹽巴，倒入自製的冷凍箱降溫，觀測石面上墨液的凝固點。(圖 4-23)。



圖 4-23 觀測溪石上正大光明墨汁的凝固點

本實驗(一)判斷墨液是否結冰，是在溫度降到零下以後，每下降 0.1 度，即打開冰箱，以電子溫度計的插針攪拌，觀察墨液表面是否凝結成薄冰。實驗觀察發現，墨液會先從表面

逐漸凝結成碎冰，最後完全凝固。

本實驗（二）判斷墨汁是否凝固，是在溫度降到零下以後，每下降 0.1 度，即以電子溫度計的插針左右攪拌，透過觀測孔，以手電筒輔助，觀測墨液是否凝固。實驗觀察發現，墨液會先從底部與周邊開始凝固，逐漸由底層往上結冰。一開始墨液的溫度會快速下降，但降到某一個溫度時則趨緩、停頓，甚至溫度會有回升的現象。當此一特殊現象出現時，立即打開冷凍箱蓋，以插針攪拌，目測是否結凍。如發現墨液尚未凝結成碎冰，再把冷凍箱蓋上，重新降溫，如此反覆，一直到墨液凝結成碎冰，才紀錄凝固時的溫度。

表 4-3 螺溪石與其他溪石的墨液凝固點的差異研究變因表

自變項	依變項	控制變項
不同的溪石 (共有五種)	凝固點溫度	皆使用自製研磨器研磨 皆研磨 105 圈 相同墨條 相同的墨汁 相同測量儀器 相同的自製冰箱降溫

伍、研究結果與討論

實驗一 探討螺溪石與其他溪石基本特性的差異

一、實驗結果

經由實驗結果顯示，螺溪石與其他溪石有下列幾項差異：

(一)螺溪石與其他溪石基本特性的差異

實驗結果，如下表 5-1 所示。

表 5-1 螺溪石與其他溪石基本特性的差異比較表

	螺溪石	頁岩	砂岩	石英岩	礫岩
外觀	塊狀	片狀	塊狀	塊狀	塊狀
色澤	黛綠色；潤澤、凝鍊如玉	灰色、黑色；油亮泛光	灰色；呈細顆粒狀、結構稀鬆	白色；晶瑩呈半透明狀	黃褐色；可見大小不一的碎石

觸感	粉嫩而滑潤； 石質溫潤	油潤而細滑； 石質微溫	略微粗糙； 石質微涼	光滑； 石質冰涼	粗糙而凹凸不 平；石質微涼
密度	約 2.62(gw/cm ³)	約 2.21(gw/cm ³)	約 2.39(gw/cm ³)	約 2.24(gw/cm ³)	約 2.76(gw/cm ³)
圖示					
斷裂面 層理	成塊狀結構，具 有葉理層面	成片狀結構，具 頁狀層理	呈塊狀，可見細 小的碎屑顆粒	呈塊狀結晶體	呈塊狀，可見大 小不一之顆粒
圖示					

(二) 螺溪石與其他溪石硬度的差異

本實驗是拿其他溪石在螺溪石的表面上刮磨，判斷螺溪石與其他溪石的軟硬度。除了頁岩之外，其他溪石均可在螺溪石的表面上留下白色刮痕，所以螺溪石的硬度比濁水溪中其他溪石軟，但較頁岩硬，結果如下表 5-2 所示。

表 5-2 螺溪石與其他溪石硬度的差異比較表

	頁岩	砂岩	石英岩	礫岩
與螺溪石相 互刮磨	螺溪石無刮痕 有灰色粉末	螺溪石有刮痕 及白色粉末	螺溪石有刮痕 及白色粉末	螺溪石有刮痕 及白色粉末
圖示				

此外參照台灣四十種岩石礦物分析中的硬度表，分別在螺溪石、頁岩、礫岩、砂岩、石英岩的表面上刮磨，推測各種溪石的硬度。

表 5-3 螺溪石與其他溪石的硬度比較表

溪石種類	螺溪石	頁岩	砂岩	石英岩	礫岩
硬度	約3.2	約3	約3.5	7	約5

(三)螺溪石與其他溪石粉末的差異

本組以銼刀在溪石上刮磨，觀察銼刀是否能夠在溪石上刮出粉末，並觀察粉末的外觀與特性，然後以數位顯微鏡(USB 顯微鏡)針對溪石的粉末進行觀察。最後再以 350 號水砂紙沾水，分別在螺溪石與其他溪石的表面研磨，觀察水溶液的狀態與顏色。

表 5-4 螺溪石與其他溪石粉末的差異比較表

	螺溪石	頁岩	砂岩	石英岩	礫岩
顏色	白色	灰色	無粉末	無粉末	無粉末
形狀	曲捲狀	粉狀	無粉末	無粉末	無粉末
觸感	粉細滑潤	細緻	無粉末	無粉末	無粉末
圖示					
粉末顆粒			無粉末顆粒	無粉末顆粒	無粉末顆粒
水砂紙研磨	磨出乳白色水溶液	磨出灰黑色水溶液	無水溶液	無水溶液	無水溶液
圖示					

二、螺溪石與其他溪石的基本特性討論

實驗結果顯示：螺溪石在外觀與密度上，與其他四種溪石的差異不大，因此不適合利用外觀與密度作為判斷的依據。但是在硬度、粉末、斷面層理上，則與其他四種溪石有較明顯的差異。螺溪石的硬度略大於頁岩，但是卻小於其他三種溪石，因此當相互刮磨時，螺溪石會被礫岩、砂岩與石英岩刮出白色粉末；以水砂紙研磨溪石表面時，頁岩會出現黑色水溶液，而螺溪石會出現乳白色液體，其他三種溪石則無法刮出任何粉末。因此本組認為，在溪流撿拾螺溪石時，可先從色澤、觸感做初步研判，再利用刀具刮磨，觀察粉末顏色，並以水砂紙研磨，若能產生乳白色液體的石頭，就很可能是螺溪石的原石。

螺溪石與頁岩在色澤、觸感與粉末的性質上雖然相近，但頁岩的粉末呈灰色，結構成片狀，有別於螺溪石。此外，頁岩的層理十分清楚，沿著層理敲擊會成片狀剝落，螺溪石雖具有葉理，但並不發達，敲擊時會成塊狀斷裂，所以螺溪石與頁岩仍然有所不同。就 SEM 對黛綠色螺溪石的觀察（圖 5-1）與 EDS 的分析（圖 5-2），螺溪石的岩性基本上屬於頁岩，部分為輕度變質的泥質板岩。

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

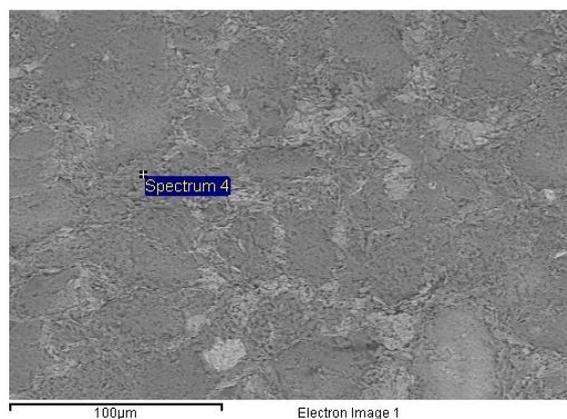


圖 5-1 透過 EDS 對螺溪石的組成物質進行分析

Element	Weight%	Atomic%
O K	39.90	55.48
Mg K	0.94	0.86
Al K	16.00	13.19
Si K	28.56	22.62
K K	11.96	6.80
Fe K	2.64	1.05
Totals	100.00	

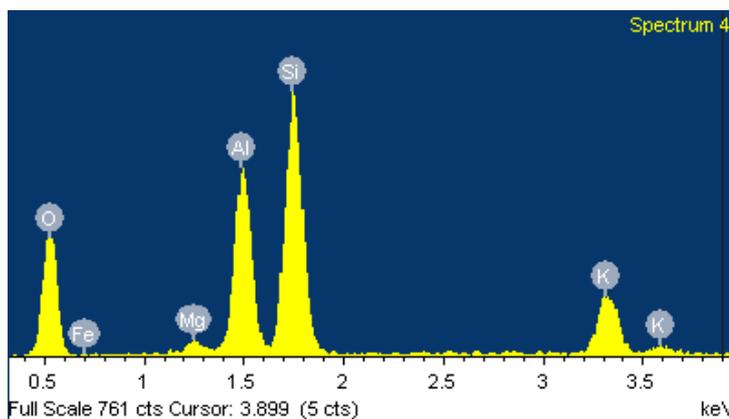


圖 5-2 螺溪石的組成物質所含的金屬元素

表 5-5 螺溪石的組成物質所含各元素的百分比

實驗二 探討螺溪石與其他溪石的顆粒與針銼是否有所差異

一個好的硯台必須能夠讓墨條在硯面上平順地研磨，太過於光滑，則無法下墨，不能使墨條上的碳粒被刮取下來；太過於粗糙，下墨快，但墨液的顆粒過大，發墨性差，影響書寫的墨色與流暢性，也傷筆毫。因此近來書法家磨墨，講究硯台上「針銼」的有無與疏密，針銼分布愈均勻、密集，發墨效果愈好。因此本研究的重點，著重在溪石的顆粒大小與針銼的分布觀測。

一、實驗結果

以數位顯微鏡觀察螺溪石與其他溪石的粒子粗細、分布疏密與針銼，發現螺溪石含有粟狀的針銼，而且分布十分均勻細密。相較於頁岩，雖含有針銼，但顆粒稍大，分布也沒有螺溪石密實。至於石英岩的結晶體平滑，雖有稜尖，但不均勻。

表 5-5 螺溪石與其他溪石的顆粒與針銼的差異比較表

	螺溪石	頁岩	砂岩	石英岩	礫岩
針銼觀察	顆粒細緻，含粟狀針銼，分布均勻密實	顆粒小，針銼較少，分布有疏有密	顆粒較大，針銼分布密集	透明的結晶體，稜尖分布不均，而且量不多	可見石英等礦物的組成，稜尖分布不均
圖示					

二、螺溪石的顆粒與針銼討論

由觀測結果可知，螺溪石的顆粒細緻，含粟狀針銼，分布均勻密實，對於墨條的研磨、發墨而言，是最佳的選擇。頁岩的顆粒雖小，但針銼較少，分布有疏有密，不如螺溪石優異。因此過去文獻中關於螺溪石具有「質地緻密、下墨快、發墨如油」的論述，確實有科學上的依據。

至於螺溪石的粟狀針銼是甚麼物質？為什麼有利於下墨與發墨？吳文福在〈台灣螺溪石硯譚獻〉一文中指出，螺溪石的針銼應該是一種金屬礦砂[2]。至於是哪一種金屬礦

砂? 如何證實? 文中並未說明, 所以也就不得而知。游秀珍在她的碩士論文〈硯石材料與墨之磨潤性質初步研究〉一文中也沒有進一步的探討[8], 這就引發本組對螺溪石的針鋸進行深入探討的興趣。

本組以岩象學的概念進行初步的探討, 將螺溪石裁切成薄片, 並得到彰化師範大學奈米科技中心的協助測試, 以 SEM 和 EDS 對螺溪石的針鋸進行觀測與分析, 終於解開螺溪石針鋸的神秘面紗。圖 5-3 是在 SEM 底下放大 2500 倍所觀測到的螺溪石顆粒, 從圖中可知螺溪石的礦物組成與排列成片狀, 在片狀的層隙之中充滿許多顆粒狀的物質。透過 EDS 對這些片狀型態的物質進行分析, 見圖 5-4, 可知其中片狀形態的結構是以二氧化矽為主, 見圖 5-5。片狀尾端的結晶形態, 見圖 5-6, 則為磷酸鈣的結晶體, 見圖 5-7。這與地質學家研究濁水河流域一帶的地質屬於矽酸岩類, 完全相符合。由於針鋸含有二氧化矽與磷酸鈣結晶體, 且帶有稜角, 又遍布於層隙之間, 在磨墨時, 不僅容易把墨條中的碳粒刮下來, 而且在研磨的過程中, 更能將碳粒研磨成更細緻的碳分子, 這也就是螺溪石易於下墨與發墨的原因。

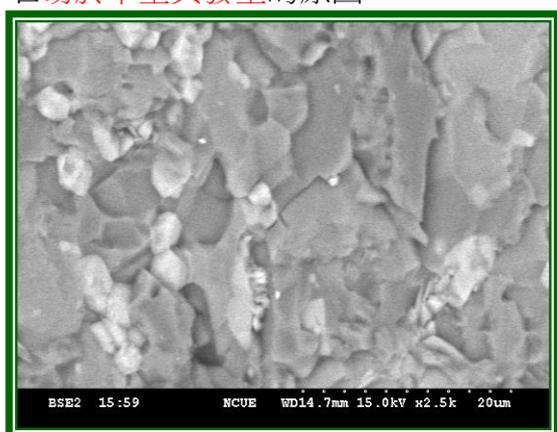


圖 5-3 SEM 底下放大 2500 倍的螺溪石礦物組成

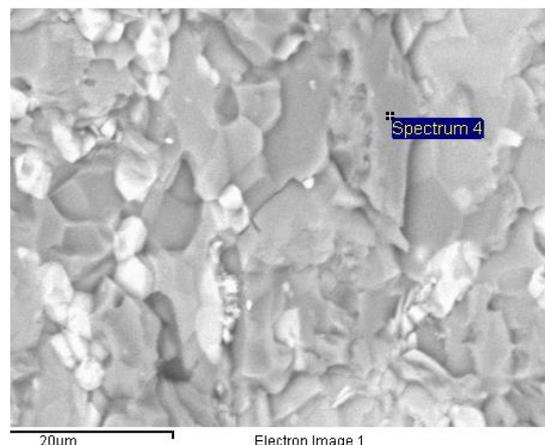


圖 5-4 以 EDS 對這些片狀物質進行分析

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	18.30	26.72
O K	47.18	51.72
Si K	34.52	21.55
Totals	100.00	

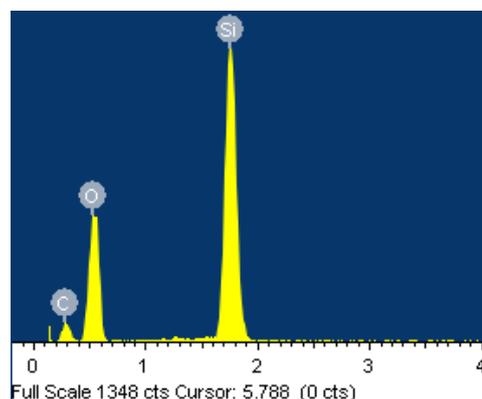


表 5-6 片狀型態物質所含各元素的百分比

Standard :

C	CaCO ₃	1-Jun-1999 12:00 AM
O	SiO ₂	1-Jun-1999 12:00 AM
F	MgF ₂	1-Jun-1999 12:00 AM
Si	SiO ₂	1-Jun-1999 12:00 AM
P	GaP	1-Jun-1999 12:00 AM
Ca	Wollastonite	1-Jun-1999 12:00 AM

圖 5-5 螺溪石中片狀物質所含的金屬元素

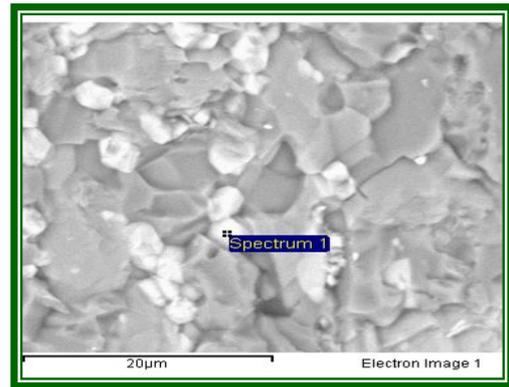


圖 5-4 以 EDS 對這些顆粒狀物質進行分析

Element	Weight%	Atomic%
C K	9.80	16.87
O K	40.39	52.20
F K	4.62	5.02
Si K	0.94	0.69
P K	15.78	10.53
Ca K	28.47	14.68
Totals	100.00	

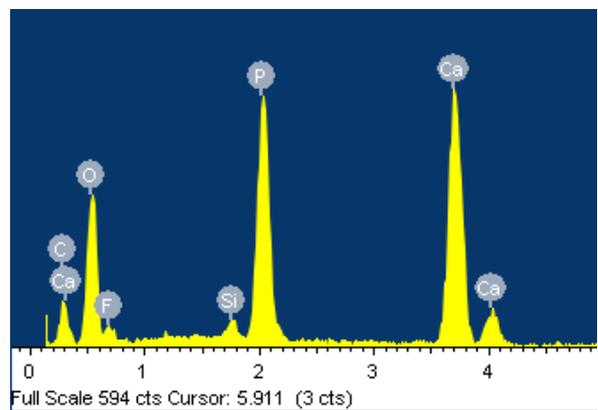


表 5-7 顆粒狀物質中所含各元素的百分比

圖 5-7 螺溪石中顆粒狀物質所含的金屬元素

實驗三 探討螺溪石與其他溪石的水分擴散與蒸發速度

好的硯台具備「貯水不耗」的特性，因此本研究著重觀察水珠在螺溪石與不同溪石上的蒸發與擴散情形。

一、實驗結果

實驗結果顯示：滴在溪石上的水珠（60 µl），12 分鐘後蒸發的水量如表 5-7，以螺溪石的蒸發水量最少，而礫岩蒸發的水量最多。可知螺溪石的蒸發速度明顯比頁岩慢。

表 5-7 不同溪石的蒸發水量（12 分鐘）

	螺溪石	頁岩	砂岩	礫岩	石英岩
第一次實驗	0.005g	0.015g	0.005g	0.02g	0.005g
第二次實驗	0.005g	0.01g	0.015g	0.005g	0.007g
第三次實驗	0.008g	0.005g	0.007g	0.01g	0.01g
平均蒸發水量	0.006g	0.01g	0.009g	0.012g	0.007g

標準差	0.0017	0.005	0.0053	0.0076	0.003
-----	--------	-------	--------	--------	-------

本組進一步觀察水珠滴在溪石上 10 秒後的擴散情形，並以 image J 軟體計算其面積大小。結果發現：水滴面積以石英岩最小，水珠也呈現完美的半球形；而砂岩則是面積最大，水珠一滴在溪石表面馬上平攤擴散開來。



圖 5-4 水珠在溪石上所佔面積
從圖中可以發現：石英岩與螺溪石上的水珠所占面積比較小，外觀仍呈現完整球形。



圖 5-5 水珠在溪石上的擴散情形
從圖中可以發現水珠在石英岩(左圖)與螺溪石(中圖)上呈現一個完整的球狀，而在砂岩(右圖)則有快速向邊緣擴散的情形。

二、螺溪石與其他溪石的水分擴散與蒸發速度討論

從研究的結果來看：石英岩與螺溪石的結構粒子結合密實，吸水率低，所以水滴在上面呈水珠狀，不易滲入。而當水滴與空氣接觸的表面積較小，蒸發的速度相對比較慢。此外，因為螺溪石的礦物組成與排列成片狀，層隙之間也能涵養水份，所以水分也比較不容易蒸散，因而能長時間保持溫潤。若從水分蒸發的結果研判，螺溪石的確是具有「貯水不耗」的特性。

實驗四 探討螺溪石與其他溪石所磨製的墨液特性是否有所不同

本研究探討不同溪石所磨製的墨液，在宣紙上的擴散情形是否有所不同，同時也探討墨液的發墨成色是否有所差異。

一、實驗結果

實驗結果顯示，如表 5-7 及圖 5-6 所示：螺溪石的墨液在宣紙上的上升高度最高，顯示螺溪石的墨液顆粒較細緻，容易被宣紙吸附。而頁岩的上升高度與螺溪石相差不大，顯示頁岩的墨液顆粒與螺溪石一樣細緻，容易被宣紙吸取，也是適合製硯的材料。

表 5-7 墨液在宣紙上的擴散實驗

	螺溪石	石英岩	礫岩	砂岩	頁岩
第一次實驗	3.6 公分	2.6 公分	0.5 公分	2.5 公分	3.5 公分
第二次實驗	4 公分	4 公分	4.5 公分	4.7 公分	4 公分
第三次實驗	3.9 公分	2.8 公分	3.85 公分	3.45 公分	3.95 公分
平均	3.833 公分	3.1 公分	2.95 公分	3.55 公分	3.816 公分
標準差	0.208	0.757	2.147	1.103	0.275

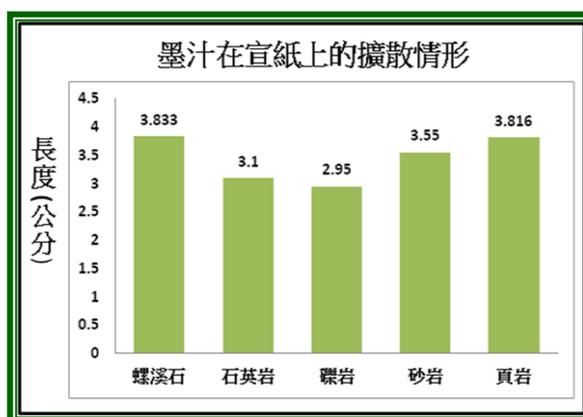


圖 5-6 墨液在宣紙上的擴散情形

左圖：墨液在宣紙上擴散的情形。右圖：從數據可以得知，螺溪石與頁岩所磨製的墨液，最容易被宣紙所吸附。

在墨液成色的實驗中，可以發現在螺溪石上所研磨出來的墨液，其成色最黑。而在石英岩上研磨出來的墨液，成色最淺。

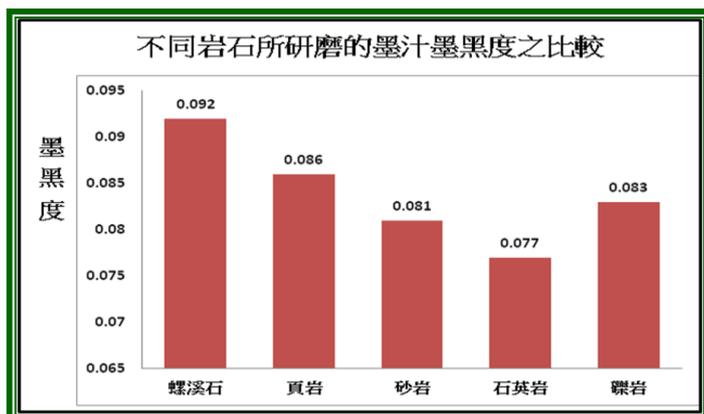


圖 5-7 墨液的成色實驗結果可以發現螺溪石所研磨出來的墨液最黑，而石英岩的成色最淺。

二、螺溪石與其他溪石的墨液特性討論

由此實驗可以得知：螺溪石所研磨出來的墨液最容易被宣紙吸附，且墨液的成色也最黑，符合文獻中的描述「下墨快、發墨如油」的特性。本組以為這是因為螺溪石具有緻密的針狀，可以將墨條中的墨塊快速刮取下來，並將墨屑研磨成很細緻的碳粒，所以比較容易被宣紙吸附，產生墨暈的效果比其他溪石更佳。至於螺溪石研磨出來的墨液成色較深，也就是實驗中所呈現較高的墨黑度，是因為墨液中的碳粒經過反覆的研磨作用，使顆粒變得更加的細緻、均勻，單位面積內的碳粒含量高，自然顏色就更加的黝黑，甚至產生油亮的光澤，這就是文獻資料中所說的「發墨如油」，也是優質硯石所必備的條件之一。

實驗五 探討螺溪石與其他溪石所磨製的墨液凝固點是否有所不同

本研究嘗試將不同溪石所磨製的墨液，以及用不同溪石裝盛相同墨汁，分別測出凝固點的溫度，探討螺溪石是否具有文獻中所提到的「經冬不凍」的特性。

一、實驗結果

第一個實驗結果顯示：汲取墨液於方格盤內，置入恆溫冰箱中觀測墨液結冰時的溫度，可知由頁岩、礫岩與砂岩所磨製的墨液，其結冰時的溫度比較接近，均在 -5.8°C 上下，而螺溪石的墨液結冰溫度最低為 -6.8°C ，與其他溪石有明顯的差距，如表 5-8 所示。可知除非經歷非常寒冷的天氣，否則螺溪石上的墨液較不易凝結成冰。

表 5-8 恆溫冰箱中墨液結冰溫度的差異

	螺溪石	石英岩	礫岩	砂岩	頁岩
第一次實驗	-6.8°C	-5.4°C	-5.7°C	-5.5°C	-5.5°C
第二次實驗	-6.7°C	-5.6°C	-5.9°C	-6.0°C	-5.7°C
第三次實驗	-6.8°C	-5.5°C	-6.2°C	-5.8°C	-5.8°C
平均	-6.8°C	-5.5°C	-5.9°C	-5.8°C	-5.7°C
標準差	0.058	0.1	0.252	0.252	0.153

至於以相同的墨汁置於不同的溪石上，螺溪石上的墨汁凝固點仍然偏低，但與其他溪石

並無顯著的差異，見下表 5-9。

表 5-9 溪石上墨汁凝固點的差異

	螺溪石	石英岩	礫岩	砂岩	頁岩
第一次實驗	-1.4°C	-1.1°C	-1.1°C	-1.2°C	-1.3°C
第二次實驗	-1.6°C	-1.2°C	-1.3°C	-1.2°C	-1.4°C
第三次實驗	-1.4°C	-1.2°C	-1.2°C	-1.1°C	-1.3°C
平均	-1.46°C	-1.16°C	-1.2°C	-1.16°C	-1.33°C
標準差	0.147	0.058	0.1	0.058	0.058

二、螺溪石與其他溪石墨液凝固點的討論

從實驗結果可發現，頁岩、礫岩與砂岩的墨液凝固點比較接近，約在-5.8°C上下，而螺溪石的墨液凝固點最低，約在-6.8°C左右，與其他溪石有明顯的差距。游秀珍在她的研究論文中指出，螺溪石的內部礦物組成與砂岩和頁岩相近，主要成分為石英、長石、綠泥石與依萊石[8]。而綠泥石與依萊石等黏土礦物的種類與所佔石材內部礦物的比例多寡，將影響石材的多項性質[8]。

從濁水溪中上游部分的黏土礦物的相關研究[11]，可知石材中的黏土礦物以綠泥石和依萊石為主[8]。依萊石為許多頁岩的主要成分[12]，而綠泥石的含量則是許多片岩和泥岩中綠色色調的構成因素[12]。由實驗一的結果可知，螺溪石與頁岩的凝固點相差甚大，顯然螺溪石中的黏土礦物應該以綠泥石所佔比例最高，這與本實驗所使用的黛綠色螺溪石硯相符合。

再從黛綠色螺溪石的 SEM 觀察與 EDS 的分析，如圖 5-8、圖 5-9，可知黛綠色螺溪石中礦物所含成分為： SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 、 Fe 。此成分分析正與綠泥石（Chloritejade）為含（OH）-的鎂、鐵、鋁的鋁硅酸鹽礦物相合[10]。在相同的墨條、相同的研磨器、相同的水量、相同的研磨圈數與相同的溫度計下，黛綠色螺溪石的凝固點比其他溪石的凝固點低，應該與墨液中的綠泥石的含量有關。

從第二個實驗觀察紀錄中，可知不同的溪石對墨汁的凝固點並無顯著的影響，也就是溪石的熱傳導性與凝固點並無顯著相關。從本研究各種溪石的凝固點比較中，可知螺溪石中的黏土礦物種類與所佔比例是造成凝固點差異的主要因素。

本實驗結果與傳說中的螺溪石硯具有「經冬不凍」的特性相符合。

Standard :

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	53.84	70.45
Mg K	7.93	6.83
Al K	10.80	8.38
Si K	10.95	8.16
Fe K	16.48	6.18
Totals	100.00	

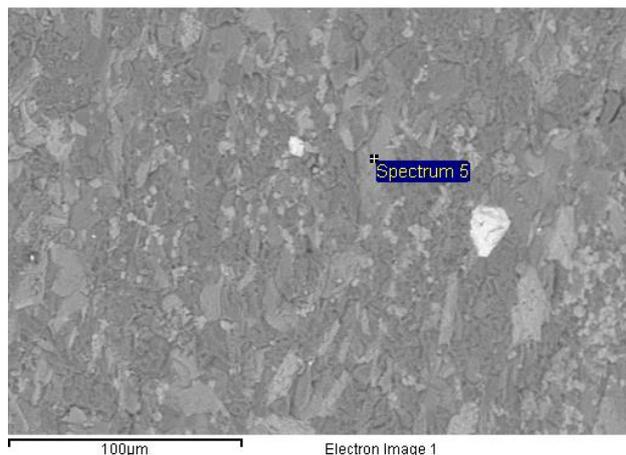


圖 5-8 SEM 底下放大 90 倍的黛綠色螺溪石岩相

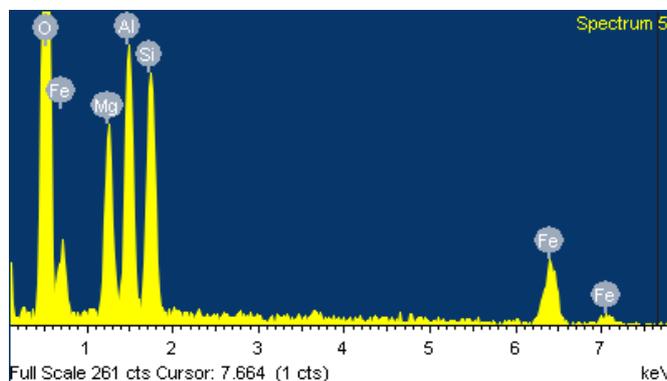


表 5-10 黛綠色螺溪石中所含的礦物成分百分比 圖 5-9 EDS 分析黛綠色螺溪石中所含的金屬元素

陸、結論

從實際到溪中採集、專家訪談與實驗研究，本組最後歸納出螺溪石的七種辨識方法與其特性，分別敘述如下：

一、辨識螺溪石的七部曲

1. 以目視，選擇色澤溫潤、凝鍊，成塊狀的黑色、棗紅或黛綠的濁水溪石。
2. 用手輕撫石頭表面，觸感如孩兒肌膚粉嫩而滑潤。
3. 用刀具在石頭表面刮磨，能刮出曲捲狀的白色粉末，滑潤宛如化妝粉。
4. 滴水在石頭表面呈水珠狀，不易擴散。
5. 用水砂紙沾水研磨石面，能產生乳白色液體。
6. 用水淋濕石面，會比其他溪石慢蒸乾。
7. 敲開石頭成塊狀，斷裂面可見葉理層面，若用 20 倍 LED 燈放大鏡可見細小發亮的粟狀針

銚。

二、螺溪石具有下列特性

1. 螺溪石的岩性屬於頁岩，部分為輕度變質的泥質板岩

螺溪石的結構具有頁岩的葉理，但成塊狀而非頁岩的片狀，尤其它的粉末為白色，組成礦物的顆粒與針銚分布，都比頁岩更為細緻與密集。在 SEM 與 EDS 的觀測分析下，螺溪石的礦物組成為片狀，層隙間充滿二氧化矽與磷酸鈣，且帶有雲母的主要成分鉀，所以螺溪石的岩性雖為頁岩，但部分為輕度變質的泥質板岩。

2. 螺溪石具有「歷寒不凍」的優異石質

從螺溪石的凝固點實驗記錄中，可知螺溪石在室溫約-6.8°C 下會結冰，與中國名硯中的老坑端硯同樣具有「歷寒不凍」的優異石質。

3. 螺溪石的石質溫潤，水分不易蒸發

由於螺溪石的密度高，約 2.62(gw/cm³)，開放孔隙率小，礦物組成為片狀，層隙間能涵養水分，所以滴水呈水珠狀，不易滲透，水分的蒸發速度也比較慢，硯上的墨液不易乾涸，具有「貯水不乾」的優異石質。。

4. 螺溪石具有「經久不泛」的優異石質

螺溪石的硬度在 3.2~3.5 之間，軟硬適中，不僅方便從事石雕，用墨條研磨，硯堂也比較不易凹陷，優於中國名硯中的端硯。

5. 螺溪石的針銚利於下墨與發墨

透過 SEM 的觀測與 EDS 的分析，可知螺溪石的顆粒細緻而且帶有針銚，分布密集。針銚主要由二氧化矽與磷酸鈣組成，成晶體狀，具有稜角，研磨時易於下墨與發墨。

6. 螺溪石研磨的墨液，易被宣紙吸附，而且墨色較黑。

由於螺溪石的墨液所含碳粒細緻綿密，所以容易被宣紙吸附，而且墨色也較黑。

柒、參考資料及其他

- [1] 詹悟等編輯：《中國文房四寶叢書·硯》，彰化市：彰化社會教育館，1991年10月。
- [2] 張豐榮編著：《台灣螺溪硯天下》，臺北市：冠倫出版社，1994年1月。

- [3] 清·楊啓元：〈東螺溪硯石記〉，《彰化縣誌》卷十二〈藝文志〉，見台灣史料集成編輯委員會編《清代台灣方志彙刊》第二十二冊，台北市：行政院文化建設委員會、遠流出版事業股份有限公司，2006年。
- [4] 國立歷史博物館編輯委員會編輯：《墨玉涵光：螺溪雕硯特展》，臺北市：國立歷史博物館，2006年。
- [5] 〔日〕藤山雷太著、王伯鐺譯：《萬頃蔗園薰午風——藤山雷太的《臺灣遊記》》，雲林縣虎尾鎮：神農廣播雜誌社，2007年4月。
- [6] 董坐：《董坐石硯作品集》，台北市：中正紀念堂，2009年4月。
- [7] 何春蓀：《台灣地質概論——台灣地質說明書》，台北市：經濟部中央地調所，1986年。
- [8] 游秀珍：〈硯石材料與墨之磨潤性質初步研究〉，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，2003年。
- [9] 陳博榮：〈漫談螺溪石材與陳丁奇書道〉，《硯蛻華輝：螺溪石硯雕刻展》，彰化縣二水鄉：彰化縣螺溪石硯雕刻協會出版，2012年。
- [10] 〈綠泥石〉，中文百科在線，<http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?zh=zh-tw&lid=130436>，2016年6月。
- [11] 劉桓吉：〈台灣雪山山脈濁水溪地區地質構造之研究〉，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，1991年。
- [12] 申永輝：〈採取低含水量水庫淤泥並資源化應用於燒製輕質骨材之研究--子計畫四：低含水量水庫淤泥中之黏土礦物表面性質沉積脫水乾燥之關聯性研究(I)〉，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫，2008年10月。
- [13] 吳文福：〈螺溪石/硯石原〉，《硯蛻華輝：螺溪石硯雕刻展》，彰化縣二水鄉：彰化縣螺溪石硯雕刻協會出版，2012年。

捌、致謝

感謝彰化師範大學奈米科技中心接受本組的委託，提供 SEM 與 EDS 的掃描和分析，讓本組的實驗得以順利完成。

【評語】 030505

此作品報告結構完整，研究動機富含科學精神，過程及報告內容描述生動有趣，包含野外標本採集、對地方長者的訪問、相關文獻探討及科學驗證等，尤其與彰化師大奈米中心的合作，如何利用 SEM 及 EDS 針對螺溪石的礦物組成及結構有系統性分析，並提出對其分層組成的初步解釋，對針鉞的分布及物理特性有深入說明，全文結合人文探討及科學研究精神，對國中生而言，相當不可多得，獲得評審老師一致推薦。