

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 地球科學科

佳作

080501

硯裡乾坤—螺溪石與端溪石的比較研究

學校名稱：彰化縣和美鎮和東國民小學

作者： 小六 蘇郁嵐 小六 林于安 小五 劉彥岑	指導老師： 劉鑒毅 連宣揚
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：螺溪石、端溪石、硯台

## 摘要

端硯為中國四大名硯之首，螺溪硯則是台灣特有的珍貴硯石。本文以濾紙過濾、墨液在宣紙上的擴散，觀測兩種硯石磨墨的顆粒大小；以 imageJ 軟體測量墨液的灰階值；並從硯石的密度大小、墨液被宣紙吸附的高度、水分蒸發的快慢、硬度的大小與研磨後硯石的耗損量，比較兩種硯石的特性。研究發現，端溪石比螺溪石的質地更為緻密、不吸水，水分不易被蒸發，墨液的碳粒也比較細緻，成色更黝黑，而且易被宣紙吸附。至於螺溪石的硬度則比端溪石大，久經研磨不易耗損。雖然端溪石比螺溪石更適合磨墨，但兩種硯石的性質差距不大，而且螺溪石具有獨特的針銼，在研磨圈數達 400 圈後，磨出的墨液品質與端溪石一樣黝黑油亮，都是非常優質的硯石。

## 壹、研究動機

六年級的南一版自然課本中有一單元：變動的大地，提到岩石是由多種礦物所組成，不同的礦物有不同的特性，例如密度、硬度、色澤以及晶體結構等等，構成我們所看到的各種形形色色的岩石。在我們彰化有八卦山，山脈綿亙，往南一直到濁水溪，都可看到很多奇形怪狀的岩石。假日時，經常看到爸爸用放大鏡觀察從濁水溪撿回來的螺溪石，經由《彰化縣誌》與日本人藤山雷太《台灣遊記》的記載，我們可知，螺溪石從被發現至今，已有二百多年的歷史，是全台唯一適合製硯的硯石，日本人特稱螺溪石為「台灣黑玉」，十分珍貴，是我們彰化二水特有的地方文化產業。

在六年級南一版的國語課本中有侯文詠的〈夢幻全壘打〉一文，提到奶奶要他用硯台磨墨寫書法。為什麼硯台能夠磨墨呢？這就引發我們研究硯台的興趣。透過閱讀資料，我們得知端硯是中國四大名硯之首，產自廣東肇慶市，肇慶古稱端州，所產的硯台因此叫「端硯」。端硯最早產於唐代武德年間(618~626)，至今已有一千三百多年歷史。上好的端硯不但美觀，而且能「發墨」，墨色光亮如漆，墨液能在相對較長的時間內不乾涸，受到古今書畫家的喜愛。

上書法課時，老師向我們介紹文房四寶：筆、墨、紙、硯。在文房四寶的「硯石」當中，最頂級的硯石就是端溪石。優質的硯石具備「經久不乾、貯水不乾、發墨如油、歷寒不冰」等

特性，十分神奇，這更引發我們的好奇，究竟我們彰化二水的螺溪石是否與廣東肇慶的端溪石同樣具有如此魔力，具備這麼多的優異性質呢？

因此，本研究想把台灣螺溪石和廣東端溪石拿來做比較，看看這兩種硯石到底哪一種磨墨的效果較好。究竟是台灣的螺溪硯比較好，還是中國的端硯比較好?這個問題大家是不是也很想知道呢?就讓我們藉由以下的實驗來一較高下吧！

## 貳、研究目的

- 一、探討螺溪石與端溪石的密度是否有所差異。
- 二、探討螺溪石與端溪石磨墨的顆粒大小是否有所差異。
- 三、探討螺溪石與端溪石在蒸發速度上的差異。
- 四、探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液吸附力是否有所不同。
- 五、探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液成色是否有所不同。
- 六、探討螺溪石與端溪石磨耗程度的差異。
- 七、比較螺溪石與端溪石的磨墨效果有何差異。

## 參、研究設備與器材

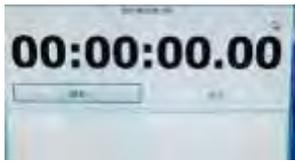
			
圖 3-1 端硯	圖 3-2 螺溪硯	圖 3-3 長條宣紙	圖 3-4 古梅園五顆星紅花墨
			
圖 3-5 微量天秤	圖 3-6 10ml 量筒	圖 3-7 電腦	圖 3-8 計時器

			
圖 3-9 放大鏡	圖 3-10 台灣寶石岩石礦物	圖 3-11 端石商標認證	圖 3-12 硬度表
			
圖 3-13 相機	圖 3-14 Autopipet	圖 3-15 支架組	圖 3-16 培養皿
			
圖 3-17 濾紙(孔徑:5um)	圖 3-18 氯化亞鈷試紙	圖 3-19 醫療用點滴	圖 3-20 數位顯微鏡

## 肆、研究過程或方法

螺溪石的礦脈分布主要在南投縣水里鄉的龍神橋、信義鄉的地利村與信義鄉的東埔村所形成的三角區域，即西巒大山附近。緯度約北緯 23.5 度，地質年代為漸新世-中新世，地層名稱稱為乾溝層，地層組成為近似硬頁岩的輕度變質岩。螺溪石的礦物組成有白雲母、石英、綠泥石、綠簾石與微量的不透光金屬礦物。〔1〕端溪石產於廣東肇慶羚羊峽斧柯山的端溪水一帶，緯度約北緯 23.04 度，地質年代為泥盆紀，地層組成為近似板岩的輕度變質岩。端溪石的礦物組成有絹雲母、黏土、石英、綠泥石、微量碳酸鹽類礦物、電氣石、金紅石、鋯石與黃鐵礦。〔2〕螺溪石與端溪石所處的緯度相近，硯石的性質是否也相似呢?以下分別從兩者的密度、磨墨的顆粒大小、水分的蒸發速度與接觸面的張力、墨液的吸附力與擴散、墨液的成色與硯石的磨耗程度來加以探討。

### 一、螺溪石與端溪石的密度研究

端硯以其「縝密、堅實、細膩、幼嫩、溫潤如玉」的石質，享譽天下。而石質的縝密也就是硯石的密度，會影響硯石的好壞，密度愈大會讓硯石更堅實，也比較不易吸水。所以本組對螺溪石與端溪石的密度，進行測量，實驗步驟如下：

- (一) 首先把螺溪石與端溪石放在微量天秤上測量重量。
- (二) 再將阿基米德浮力杯裝滿水，等待水流出至出水口下方，不再流出。

- (三) 將硯石放入裝滿水的阿基米德浮力杯讓水溢出，並使用另一個空盒盛接。
- (四) 將裝水的盒子放在微量天平上秤重，扣除盒子重，測量算出水的重量。
- (五) 已知水的密度為  $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，所以可先由密度公式  $D = \frac{M}{V}$ ，算出排出水的體積。而排出的水體積又等於硯石體積，最後再帶入算式，用硯石質量除以硯石體積算出硯石密度。



圖 4-1-1 利用微量天秤測量出螺溪石與端溪石的重量，再利用排水法計算體積，並利用密度公式計算出螺溪石與端溪石的密度。

## 二、螺溪石與端溪石的磨墨顆粒研究

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「**針銛**」。端溪石的表面也可看到類似的微小亮點，一般稱為「**鋒芒**」。由於在磨墨時，墨條是在硯台上研磨，因此**溪石表面的針銛或鋒芒分布越細密**，所磨製出來的**墨液也會越柔細**。本實驗藉由**濾紙的過濾作用**，**比較螺溪石與端溪石所磨製的墨液顆粒大小**，探討兩種硯石所磨出的墨液品質。實驗步驟如下：

- (一) 先將 A、B 塑鋼土以相同比例混合，搓揉成條狀，分別在螺溪石與端溪石的硯面上**圍成直徑 4cm 的圓**，**固定研磨的範圍**。
- (二) 以滴管汲取 **10ml 的水**，滴在塑鋼土所圍成的研磨範圍內。
- (三) 將**日本古梅園**遵循古法所特製的**五顆星紅花墨**，固定在本組**自行組裝的研磨機上**，研磨**100 圈**。
- (四) 以滴管汲取磨製的墨液。
- (五) 將**濾紙浸泡在水中吸水**。
- (六) 將吸飽水份的濾紙放在三腳架上，在三腳架底下放置培養皿，**培養皿上鋪上白色衛生紙**。

- (七) 在濾紙的中央部位滴入墨液，觀察墨液在濾紙上的擴散現象與滲透作用。
- (八) 持續將墨液滴入濾紙的中央部位，一直到墨液滲透過濾紙，滴落在衛生紙上。
- (九) 觀察滴落在衛生紙上的墨液顏色。
- (十) 若衛生紙上的墨液顏色為黑色或灰色，則重新實驗，增加一片濾紙並重疊。
- (十一) 將二片濾紙重疊，泡水密合後，重複實驗步驟6~10，一直到滴落在衛生紙上的墨液顏色為透明無色的液體為止。

			
<p>圖 4-2-1 將塑鋼土圈繞在硯石上，固定研磨範圍</p>	<p>圖 4-2-2 將濾紙浸泡在水中吸水</p>	<p>圖 4-2-3 將濾紙放在三腳架上，在三腳架底下放置培養皿，培養皿上鋪上衛生紙</p>	<p>圖 4-2-4 觀察滴落在衛生紙上的墨液顏色</p>

	
<p>圖 4-2-5 使用相同濾紙</p>	<p>圖 4-2-6 濾紙規格：孔徑 5um，直徑 110mm</p>

表 4-2-1 螺溪石與端溪石的磨墨顆粒研究變因表

自變項	依變項	控制變項
螺溪石與端溪石	墨液的顆粒	自製研磨機 相同墨條 相同研磨範圍 皆研磨 200 圈 相同規格吸滿水的濾紙

### 三、螺溪石與端溪石的水分蒸發速度研究

#### 實驗一：水珠在硯石表面蒸發時間的比較

一個好的硯台，必須能夠具有「質地緻密、貯水不耗、下墨快、發墨如油」的特性，因此本組特別針對螺溪石及端溪石兩種硯石，觀察水珠在兩種硯石上蒸發的情形，看看哪種硯石更具備「貯水不耗」的特性。實驗步驟如下：

- (一) 將兩種硯石浸泡在水中 2 小時，之後用抹布將硯石表面的水分擦乾，放置 20 分鐘。
- (二) 使用醫療用點滴，同時將水滴滴在硯台上，放置在陽光底下觀察。
- (三) 將氯化亞鈷試紙用吹風機烘乾，一直到顏色由粉紅色變成藍色。
- (四) 以藍色氯化亞鈷試紙檢驗，確認硯石上的水珠已完全蒸發乾涸，然後紀錄下時間。

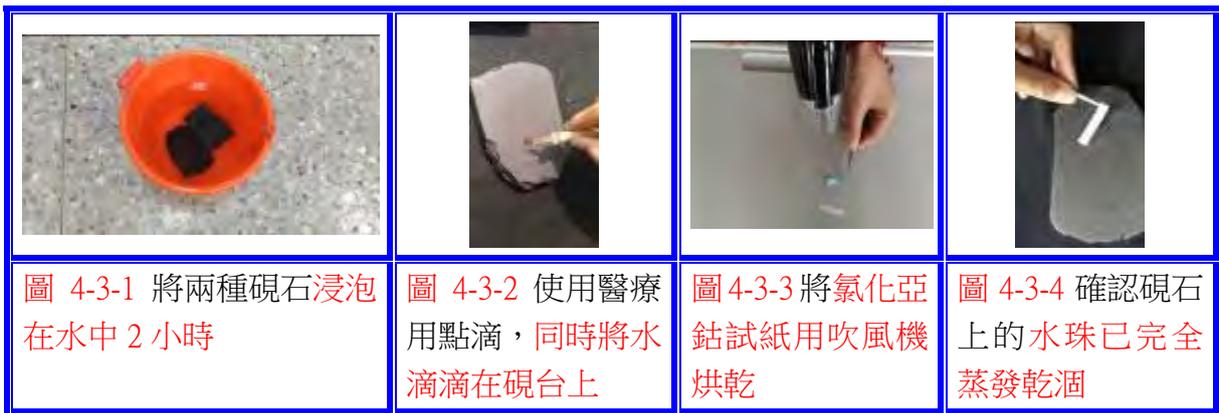


表 4-3-1 螺溪石與端溪石的水分蒸發速度研究變因表

自變項	依變項	控制變項
螺溪石與端溪石	水珠蒸發乾涸的時間	硯石吸足水分 水滴的體積一樣 相同的日曬 相同的溫度 相同的濕度

實驗二：水珠與硯石表面接觸的張力比較

實驗步驟如下：

- (一) 將兩種硯石浸泡在水中 2 小時，之後用抹布將硯石表面的水分擦乾，放置 20 分鐘。
- (二) 使用 autopipet 固定 50ul 的水量，將水滴滴在硯石上。
- (三) 在固定距離、角度、光線等條件下，拍下水珠在硯石表面的照片。
- (四) 以 imagej 圖像分析軟體，測量水珠與硯石表面接觸的角度。



表 4-3-2 水珠與硯石表面接觸的張力變因表

自變項	依變項	控制變項
螺溪石與端溪石	水珠在硯石上形成的接觸角	硯石吸足水分 水滴的體積一樣 相同的拍照條件 相同的圖像測量工具

#### 四、螺溪石與端溪石的墨液吸附力研究

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（日本古梅園五顆星紅花墨，圖 4-4-2），以減少誤差的產生。進行墨液在宣紙上吸附實驗時，則是採用玉版宣，同樣可減低誤差的產生。

為了有效控制磨墨的力道與速度，以免力道不均而影響墨液的濃淡，因此本組使用自製研磨機，以日本古梅園五顆星紅花墨，以固定的下壓力，相同的水平轉動磨墨。

##### 實驗一：比較螺溪石與端溪石所研磨出來的墨液在宣紙上吸附上升的高度

實驗步驟如下：

- (一) 先將 A、B 塑鋼土以相同比例混合，搓揉成條狀，分別在螺溪石與端溪石的硯面上圍成直徑 4cm 的圓，固定研磨的範圍。
- (二) 將墨條固定在自製研磨機上。
- (三) 加入 10ml 的水，使用自製研磨機研磨 200 圈。
- (四) 用滴管將墨液取出，放入培養皿中。
- (五) 把剪好的長 20cm、寬 2cm 的宣紙固定於支架上，同時放入培養皿的墨液中，宣紙浸泡在墨液中的面積固定為  $4\text{cm}^2$ ，靜置 5 分鐘，觀察結果。



圖 4-4-2 使用自製研磨機固定磨墨條件。



圖 4-4-3 將宣紙剪成長 20cm，寬 2cm 的長條狀，固定宣紙在培養皿中吸附墨液的面積。

表 4-4-1 螺溪石與端溪石的墨液吸附研究變因表

自變項	依變項	控制變項
螺溪石與端溪石	墨液吸附的上升高度	自製研磨機
		皆研磨 200 圈
		相同墨條與宣紙
		皆浸泡 5 分鐘

### 實驗二：比較螺溪石與端溪石所研磨出來的墨液在宣紙上水平擴散的情形

實驗步驟如下：

- (一) 分別將塑鋼土黏著於端溪石與螺溪石上，固定研磨的範圍。
- (二) 將墨條固定在自製研磨機上。
- (三) 加入 10ml 的水，使用自製研磨機研磨 200 圈。
- (四) 墨液取出後，用 Autopipet 汲取相同 50ul 的墨液量滴在宣紙上，觀察墨液擴散的情形。
- (五) 以掃描器掃描擴散的墨液面積，再以 image J 分別測量墨液面積橫向與縱向的直徑長度。

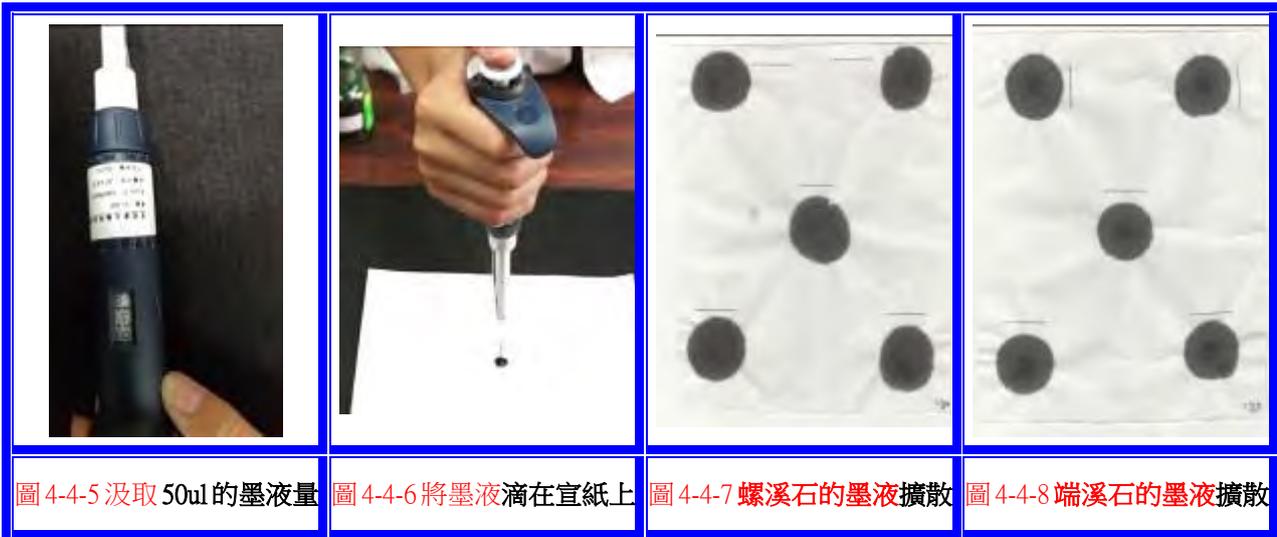


圖 4-4-5 汲取 50ul 的墨液量

圖 4-4-6 將墨液滴在宣紙上

圖 4-4-7 螺溪石的墨液擴散

圖 4-4-8 端溪石的墨液擴散

表 4-4-2 螺溪石與端溪石的墨液水平擴散研究變因表

自變項	依變項	控制變項
螺溪石與端溪石	墨液擴散面積	自製研磨機 皆研磨 200 圈 相同墨條 相同宣紙 滴取相同墨液量(50ul)

## 五、螺溪石與端溪石的墨液成色研究

一般肉眼所見的黑色，可以定義為沒有任何可見光進入視覺範圍，和白色正好相反，白色是所有可見光光譜內的光都同時進入視覺範圍內。顏料如果吸收光譜內的所有可見光，不反射任何顏色的光，人眼的感覺就是黑色的。我們可藉由分析圖像顏色的灰階值，來判斷墨液黝黑的程度。

圖 4-5-1 無彩色系灰階關係圖

名稱	顏色	十六進位	灰階	CMYK	HSV	英語
白色		#FFFFFF	255	0, 0, 0, 0	0, 0, 100	white
銀色		#C0C0C0	192	0, 0, 0, 25	0, 0, 75	silver
灰色		#808080	128	0, 0, 0, 50	0, 0, 50	gray
暗灰色		#404040	64	0, 0, 0, 75	0, 0, 25	dimgray
黑色		#000000	0	0, 0, 0, 100	0, 0, 0	black

表 4-5-1 灰色系圖表

灰色系										
白	10%亮灰	20%銀灰	30%銀灰	40%灰	50%灰	60%灰	70%昏灰	80%炭灰	90%暗灰	黑
White	10% Light gray	20% Silver gray	30% Silver gray	40% Gray	50% Gray	60% Gray	70% Dim gray	80% Charcoal Gray	90% Dark Gray	Black

因此本組利用以下方式，來比較端溪石與螺溪石的墨液成色，分析過程如下：

- (一) 分別將塑鋼土黏著於端溪石與螺溪石上，固定研磨的範圍。
- (二) 將墨條固定在自製研磨機上。
- (三) 加入 10ml 的水，使用自製研磨機，分別研磨 100、200、300、400 圈。
- (四) 取出不同研磨圈數的墨液，分別放入培養皿中。
- (五) 把剪好的長 20cm、寬 2cm 的宣紙固定於支架上，同時放入培養皿內的墨液中，宣紙浸泡在墨液中的面積固定為 4cm<sup>2</sup>，靜置 5 分鐘後拿起，晾乾。
- (六) 用相同掃描器將墨液成色的宣紙掃描成圖檔。
- (七) 利用 image J 截取相同位置、面積大小相同的色塊，分析兩種硯石所磨製墨液的灰階值。

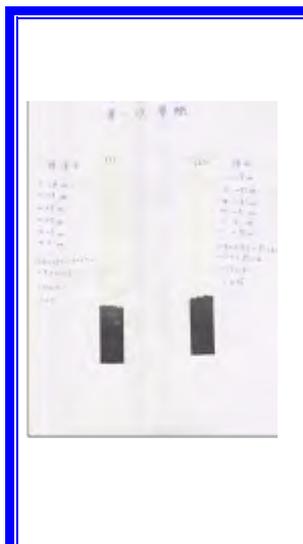


圖 4-5-2 墨液吸附在宣紙上

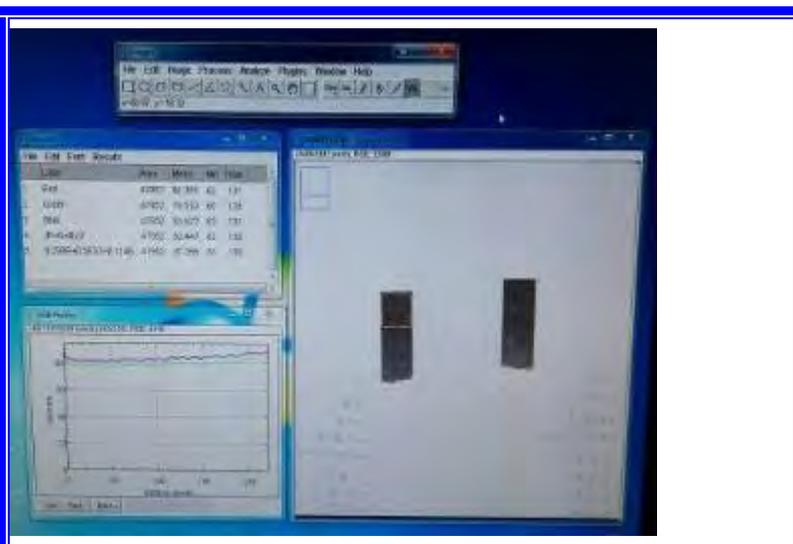


圖 4-5-3 利用 image J 分析端溪石與螺溪石的灰階值

表 4-5-2 螺溪石與端溪石的墨液成色研究變因表

自變項	依變項	控制變項
螺溪石與端溪石	墨液成色	相同墨條與宣紙 相同研磨圈數 (100、200、300、400 圈) 相同掃描器 相同位置與面積 相同判別灰階程式(imageJ)

## 六、螺溪石與端溪石的磨耗程度研究

根據文獻記載，好的硯石具有「**經久不**乏」的特性，因此本研究目的在比較螺溪石與端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：

### 實驗一：螺溪石與端溪石的**硬度**測試與比較

- (一) 從〈台灣寶石岩石礦物〉所附的四十種岩石礦物分析表，根據硬度的大小，依序選取**雪花石膏（硬度 2）、瓷土（硬度 2~2.5）、方解石（硬度 3）、枕狀溶岩（硬度 3.2）、紋石（硬度 3.5~4）、結晶石灰岩（硬度 4）**，分別在螺溪石與端溪石的表面刮磨，觀察硯石表面是否產生刮痕，觀測螺溪石與端溪石的硬度值。
- (二) 再將螺溪石與端溪石互相刮磨，從粉末與刮痕確認哪一種硯石的硬度較大。



**實驗二：螺溪石與端溪石的磨耗測試與比較**

- (一) 先把硯石放入水中浸泡 4 小時，等硯石吸足水分後，取出陰乾 30 分鐘，再用抹布將硯石擦乾，放在微量天秤上，測出硯石的重量。
- (二) 將日本五顆星古梅園紅花墨固定在自製研磨機上。
- (三) 將塑鋼土黏著在硯石上，圈圍成直徑 4cm 的圓，再以自製研磨機進行研磨。適時、適量加水，每研磨 10000 圈後，將硯石上的墨液洗淨，再浸泡水中 4 小時，取出陰乾 30 分鐘後，再用抹布將硯石擦乾，放在微量天秤上，測出硯石的重量。
- (四) 研磨 30000 圈後，測出硯石的重量，和前兩次所測得的數據加總平均，計算出硯石的磨耗重量。



表 4-6-1 螺溪石與端溪石的磨耗研究變因表

自變項	依變項	控制變項
螺溪石與端溪石	研磨後耗損的重量	自製研磨機 使用相同的墨條 固定的研磨範圍 相同的研磨圈數

## 伍、研究結果與討論

### 實驗一、探討螺溪石與端溪石的密度是否有所差異

#### (一) 實驗結果

實驗結果如下表，可知螺溪石的密度約 2.823 (g/cm<sup>3</sup>)，端溪石的密度約 2.843 (g/cm<sup>3</sup>)，端溪石的密度略大於螺溪石，但差距不顯著。

表 5-1-1 螺溪石與端溪石的密度差異比較表

	螺溪石			端溪石		
	重量	體積	密度	重量	體積	密度
第一次測量	472.91g	167.88cm <sup>3</sup>	約2.817 (g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	113.98cm <sup>3</sup>	約2.885 (g/cm <sup>3</sup> )
第二次測量	472.91g	168.53 cm <sup>3</sup>	約 2.806 (g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	116.04 cm <sup>3</sup>	約 2.833 (g/cm <sup>3</sup> )
第三次測量	472.91g	166.22cm <sup>3</sup>	約2.845 (g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	116.90cm <sup>3</sup>	約2.812 (g/cm <sup>3</sup> )
三次測量平均	472.91g	167.54cm <sup>3</sup>	約2.823 (g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	115.64cm <sup>3</sup>	約2.843 (g/cm <sup>3</sup> )

#### (二) 螺溪石與端溪石的密度討論

由實驗結果發現端溪石的平均密度約為 2.843 (g/cm<sup>3</sup>)，而螺溪石的密度約為 2.823 (g/cm<sup>3</sup>)。端溪石的密度略大於螺溪石。一般而言，如果岩石的密度愈大，孔隙就愈少、愈小，岩石就愈不會吸水。因此，從端溪石的密度大於螺溪石來推論，當我們滴水在端溪石上磨墨時，因為端溪石的密度較高，水分比較不會被硯石吸附，所以墨液也比較不會乾涸。此外，因為密度大，墨液比較不容易滲入硯石內部，所以比較不會造成「滯墨」，也比較好清洗，這是端溪石的優異之處。但螺溪石與端溪石的密度差距並不大。

## 實驗二、探討螺溪石與端溪石磨墨的顆粒是否有所差異

### (一) 實驗結果

從實驗結果發現：

- 1.當濾紙重疊的數量增加時，墨液滲透滴落所花的時間也逐漸變長。
- 2.當濾紙重疊的數量增加時，墨液滲透滴落在衛生紙上的顏色有逐漸變淡的現象。
- 3.螺溪石與端溪石磨製的墨液，在重疊八層的濾紙上皆可穿透，但螺溪石的墨液穿透所花的時間，明顯比端溪石更多。
- 4.螺溪石磨製的磨液在穿透重疊九層的濾紙時，比穿透八層時又花更久的時間，而且滴落在衛生紙上的墨液呈透明的無色。
- 5.端溪石磨製的磨液在穿透重疊九層的濾紙時，比穿透八層時花的時間較多，但最後滴落在衛生紙上的墨液呈灰色。



圖 5-2-1 螺溪石磨製的磨液無法穿透九層濾紙



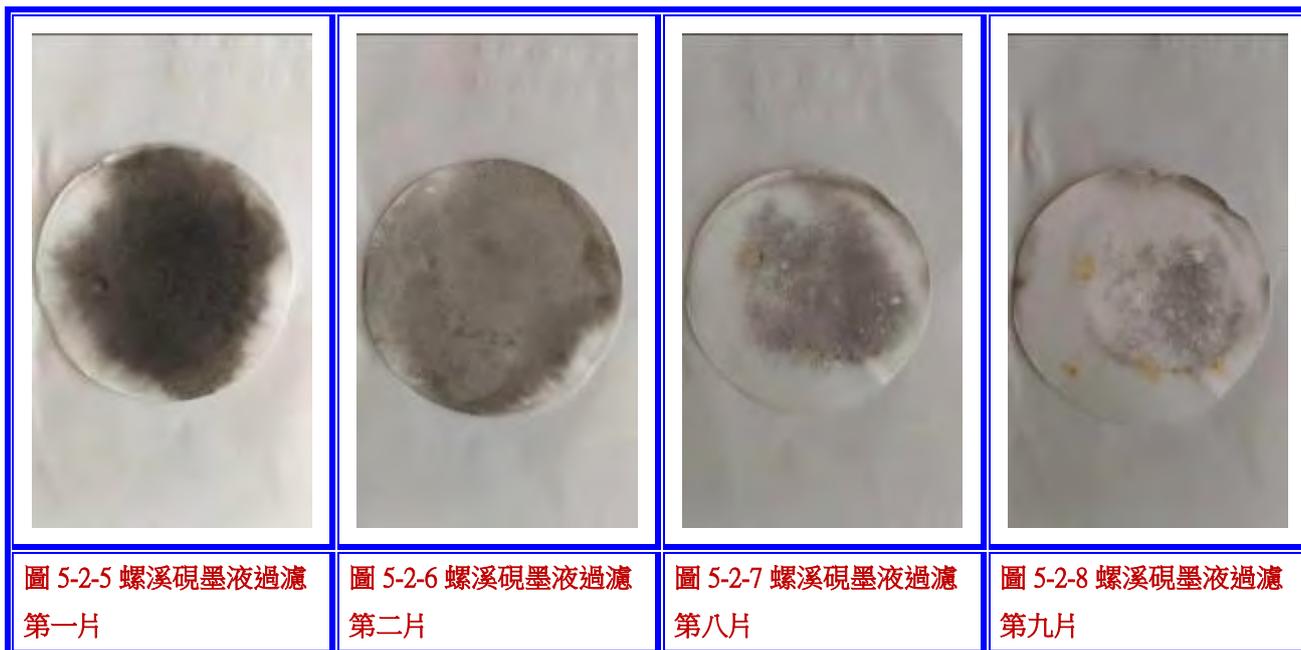
圖 5-2-2 端溪石磨製的磨液能穿透九層濾紙

### (二) 螺溪石與端溪石的磨墨顆粒討論

- 1.當硯石的針鉞將墨條的碳粒刮取下來研磨時，碳粒將隨著研磨的時間而逐漸變小、變細。因此，研磨 100 圈後的墨液中，碳粒也有大小與粗細的分別。
- 2.本實驗所使用的濾紙孔徑為 5 $\mu$ m，直徑為 110mm，可知濾紙的孔隙很小，因此只有比濾紙的孔隙更小的碳粒才能穿透濾紙，滴落到培養皿的衛生紙上。反之，如果碳粒的體積比濾紙的孔隙大，碳粒將無法穿透濾紙，甚至將濾紙的孔隙給阻塞，使過濾的作用無法快速的進行，而濾紙上的墨液也會因為無法滲透而有積聚的現象。因次我們可以發現，為什麼第

一片濾紙中間的墨液顏色會較黑，而重疊的最後一片濾紙墨液顏色會較淡。這是因為研磨的墨液中，較細緻的碳粒較少，碳粒較大的墨液會停留在濾紙的上層，所以濾紙上的顏色較深，而停留在最後一層濾紙上的碳粒體積較小，數量也較少，所以顏色較淡。

- 3.當濾紙重疊的片數愈多時，濾紙的孔隙因重疊的關係將變得愈細密，墨液中的碳粒就愈難穿透。只有碳粒的體積愈小，才有可能穿透濾紙，而穿透濾紙的時間也會隨著重疊的片數增加而變得更久。因此，當濾紙重疊至 8 片時，螺溪石的墨液滲透速度明顯的比端溪石的墨液滲透速度慢，顯示螺溪石磨製的墨液碳粒體積，應該比端溪石的墨液碳粒大，所以大多數的碳粒會被濾紙的孔隙給阻擋，而濾紙的孔隙也會被部分碳粒給填塞，只有較少量、體積較小的碳粒能順利穿透濾紙而滴落到衛生紙上，呈現較淡的灰色。
- 4.當濾紙重疊至 9 片時，螺溪石磨製的磨液碳粒無法穿透孔隙，只剩下水分子穿透孔隙而滴落在衛生紙上。同樣的條件，端溪石的墨液卻能穿透 9 片重疊的濾紙，顯示端硯所磨出的墨液碳粒比螺溪硯磨製的墨液碳粒更加細緻。
- 5.從實驗的結果可知，端硯磨出的墨液碳粒比螺溪硯磨出的墨液碳粒小，應該與端硯的鋒芒分布比螺溪硯更為細密、均勻有關。因此，在選購硯台時，針錠或鋒芒愈密集，磨製的墨液碳粒會更加細緻、均勻，書寫的墨色效果會更好。
- 6.從本實驗結果也可驗證，為什麼磨墨創作的書畫作品會比一般市售的墨汁好，這是因為市售的墨汁是化學合成物質，所以墨色沒有層次的分別。用墨條磨墨，因磨製的墨液中碳粒有大小粗細的分別，所以在宣紙上書寫時，會產生墨暈的層次美感，這是為什麼書畫大師在創作時都會選擇磨墨的原因之一。



### 實驗三、探討螺溪石與端溪石在蒸發速度上的差異

水珠在硯石表面蒸發時間的比較：

優質的硯石須具備「貯水不乾」的特性，因此本研究藉由觀察水珠在不同硯石上的蒸發速度，以及水珠與硯石接觸面之間的張力大小，比較螺溪石與端溪石這兩種硯石在涵養水份上的差異。

#### (一) 實驗結果

實驗結果如下表所示，可知螺溪石上的一滴水珠，蒸發所需時間約 10 分 27 秒。端溪石上的一滴水珠，蒸發所需時間約 13 分 41 秒，顯然螺溪石的水分蒸發速度比端溪石還要快。就優質硯石須具備「貯水不乾」的條件來說，端溪石在涵養水份的特性上優於螺溪石。

表 5-3-1 螺溪石與端溪石的水分蒸發速度

	螺溪石	端溪石
第一次實驗	10 分 21 秒	12 分 06 秒
第二次實驗	11 分 25 秒	14 分 59 秒
第三次實驗	9 分 36 秒	13 分 58 秒
平均	10 分 27 秒	13 分 41 秒

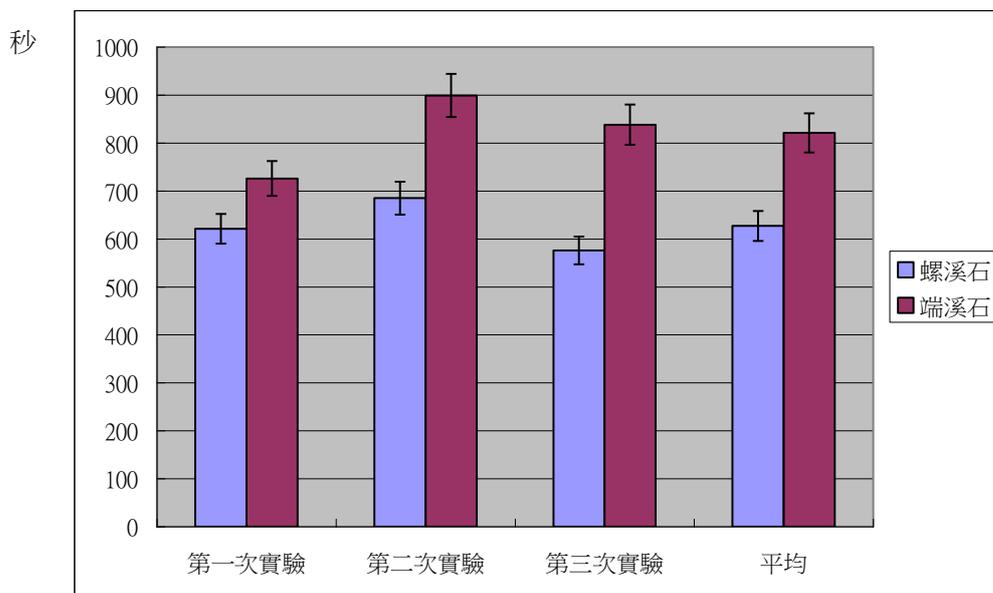


圖 5-3-1 螺溪石與端溪石的水分蒸發速度比較圖

## (二) 螺溪石與端溪石在蒸發速度上的差異討論

1. 由於在實驗之前兩種硯石都已浸泡過水，所以水滴在硯石上並不會被硯石吸取。影響水分蒸發的因素應該是當時的陽光、溫度、風和濕度。本實驗過程中，因為兩種硯石是同時放在一起觀測，所以前面所列舉的變因條件皆相同，並不會影響到兩種硯石在蒸發速度上的差異。因此，會影響硯石蒸發速度差異的因素，應該在硯石本身。

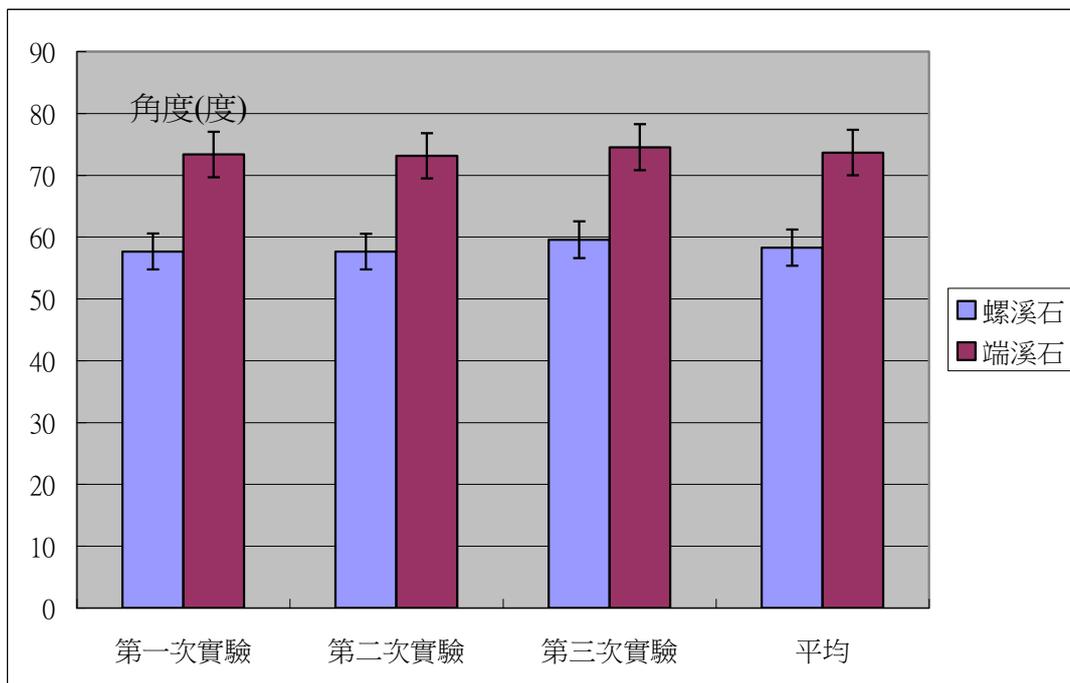
## 二、水珠與硯石接觸面的張力比較

### (一) 實驗結果

實驗結果如下表所示，可知螺溪石上的水珠與硯石接觸面的張力較小。端溪石上的水珠與硯石接觸面的張力較大。

表 5-3-2 水珠與硯石接觸面的角度測量

	螺溪石	端溪石
第一次實驗	57.659 度	73.342 度
第二次實驗	57.638 度	73.113 度
第三次實驗	59.567 度	74.521 度
平均	58.288 度	73.659 度



## (二) 水珠與硯石接觸面的張力大小討論

由水珠與硯面的接觸角可知，在端溪石上的水珠比螺溪石上的水珠更接近圓珠狀，這也使得端溪石上的水珠面積較螺溪石上的水珠面積來得小。表面積愈小，蒸發的速度自然也會比較慢。

硯石表面通常具有孔隙，由水珠與端溪石的表面接觸角較大的結果推論，可知端溪石比螺溪石更具有疏水性，端溪石表面的孔隙應該比螺溪石小，這與實驗一端溪石的密度略大於螺溪石的測量結果相符合，所以就「質地緻密、貯水不耗」的特性來看，端溪石比螺溪石來得優異。

## 實驗四、探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液吸附力是否有所不同

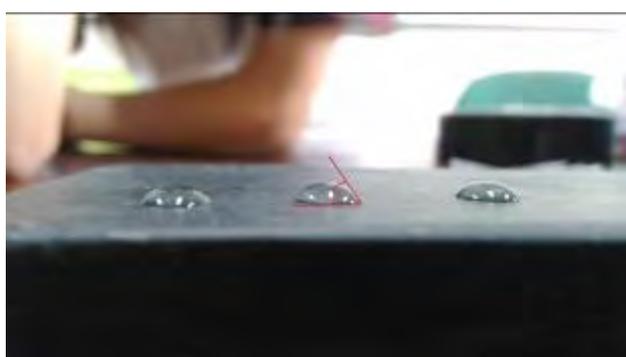


圖 5-3-2 滴在螺溪石表面的水珠狀



圖 5-3-3 滴在端溪石表面的水珠狀

### 一、比較兩種硯石所研磨的墨液被宣紙吸附的情形

本研究探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液，在宣紙中藉由水的毛細現象的上升情形是否有所不同。

#### (一) 實驗結果

實驗結果如下表所示，可知在三次實驗中，端溪石所磨製的墨液吸附的平均高度比螺溪石所磨製的墨液平均上升高度要高。

表 5-4-1 螺溪石與端溪石磨製的墨液在宣紙中吸附上升的高度

	螺溪石	端溪石
第 1 次實驗平均值	5.069cm	5.526cm
第 2 次實驗平均值	6.297cm	6.655 cm
第 3 次實驗平均值	6.319cm	5.995cm
平均高度	5.895cm	6.057cm

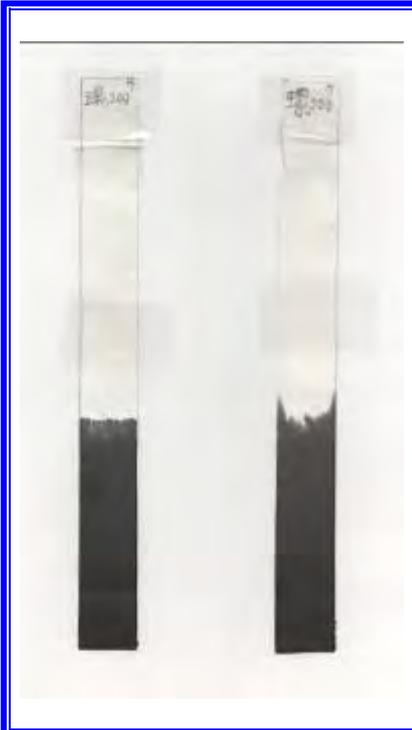
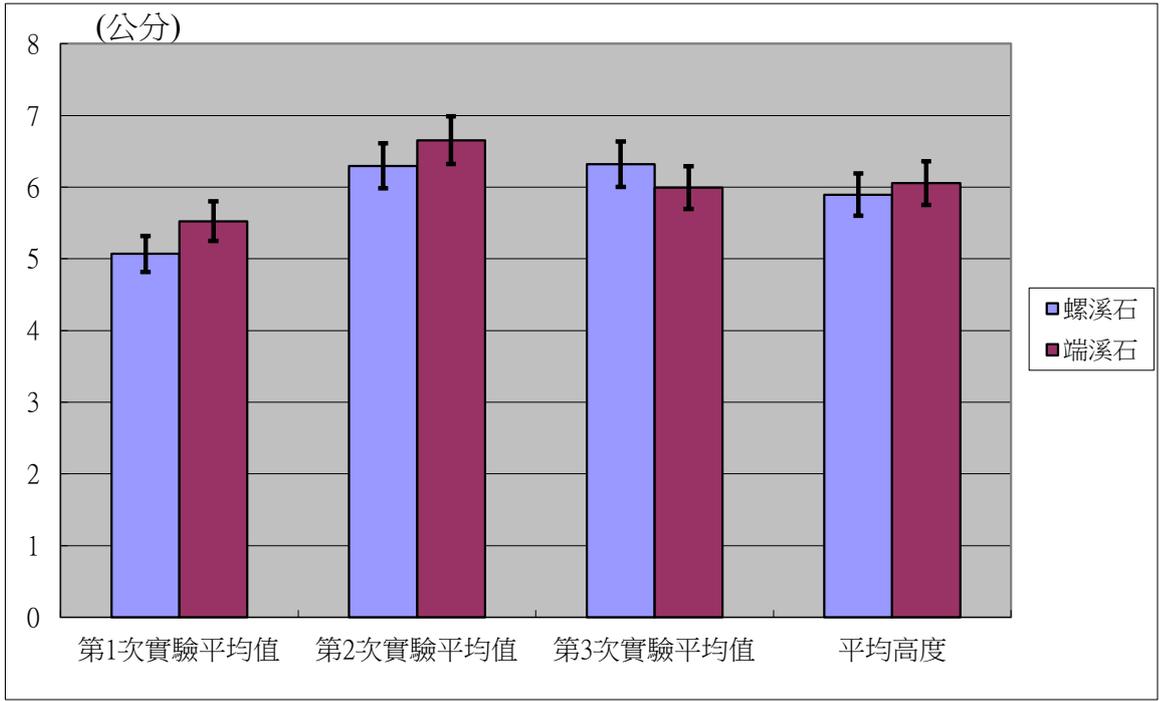


圖 5-4-2 第一次實驗--取固定距離的 5 點的高度，作平均。



圖 5-4-3 第二次實驗--取固定距離的 5 點的高度，作平均。



圖 5-4-4 第三次實驗--取固定距離的 5 點的高度，作平均。

圖 5-4-1 螺溪石與端溪石的在宣紙中上升的高度比較圖

## (二) 螺溪石與端溪石所磨製的墨液吸附力討論

由此實驗結果顯示，端溪石所研磨出來的墨液，比螺溪石研磨的墨液更容易被宣紙吸附。在三次實驗中，端溪石磨製的墨液，在宣紙上平均被吸附的高度比螺溪石高。在實驗過程中，本組也發現，端溪石所磨製的墨液在宣紙中上升的速度與高度較平均，代表端溪石磨製的墨液顆粒大小較均勻一致。而螺溪石所磨製的墨液，上升的速度與高度較參差不齊，有快有慢，代表螺溪石所磨製的墨液顆粒有粗有細，大小不一。造成這種差別的原因，本組推論是因為螺溪石具有獨特針鋸的緣故（圖 5-4-5）。根據彰化縣立陽明國中劉彥彰在 2017 台灣國際科展的研究報告—〈搶救台灣國寶石——螺溪石的辨識及其性質之研究〉，可知螺溪石的針鋸結構是由 40% 的白雲母與 40% 的石英組成，獨特的針鋸結構就像鑽石鋸片一般，可以將墨條中的墨粒快速刮取下來，在反覆的研磨過程中，將墨粒研磨成細緻的碳粒，也就是螺溪石具有「下墨」快的優異性質。

為什麼端溪石所磨製的墨液顆粒會比螺溪石更為細緻、均勻呢？根據游秀珍的碩士論文〈硯石材料與墨之磨潤性質初步研究〉，文中提到端溪石的礦物組成是由 85% 的絹雲母，小於 5% 的黏土，小於 5% 的石英、3% 的綠泥石與其他微量的金屬礦物組成。雖然文中並未說明端溪石的鋒芒結構是甚麼，但由礦物的組成較單一來推論，端溪石所研磨的磨液顆粒會比螺溪石更均勻。

至於實驗二比較墨液顆粒大小的實驗中，由於螺溪石的墨液只研磨 100 圈，墨液中被刮取的墨粒尚未全部被研磨成較細緻的碳粒，顆粒的粗細大小較不均勻，所以在濾紙的過濾過程中，容易受大顆粒的阻塞造成過濾的困難。從實驗二的結果與本次實驗結果，我們也可以相互印證，端溪石研磨的墨液顆粒顯然比螺溪石的墨液顆粒更為均勻，也就是端溪石具有「發墨」好的優異性質。

至於端溪石的「鋒芒」結構是甚麼？呈現哪一種型態？端溪石的「鋒芒」是否近似於螺溪石的「針鋸」？值得我們進一步去探討。



**圖 5-4-5 螺溪石針銚的觀察**  
 針銚即為左圖中閃閃發光的小亮點，由於類似針的尖端，故稱為「針銚」。圖中對照的銅線長度為 0.5cm，粗細為 0.11m/mx50c



**圖 5-4-6 端溪石鋒芒的觀察**  
 鋒芒即為左圖中閃閃發光的小亮點。圖中對照的銅線長度為 0.5cm，粗細為 0.11m/mx50c

## 二、比較兩種硯石所研磨的墨液在宣紙上的水平擴散面積

本研究探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液，在宣紙上的水平擴散面積是否有所不同。

### (一) 實驗結果

表 5-4-2 墨液在宣紙上的水平擴散長度測量

橫向擴散長度	螺溪石	端溪石	縱向擴散長度	螺溪石	端溪石
第 1 次實驗平均值	3.145cm	3.342 cm	第 1 次實驗平均值	3.453cm	3.496 cm
第 2 次實驗平均值	3.180cm	3.284 cm	第 2 次實驗平均值	3.111cm	3.716cm
第 3 次實驗平均值	3.077cm	3.341cm	第 3 次實驗平均值	3.316 cm	3.867cm
最大直徑平均長度	3.134cm	3.322cm	最大直徑平均長度	3.294cm	3.693cm

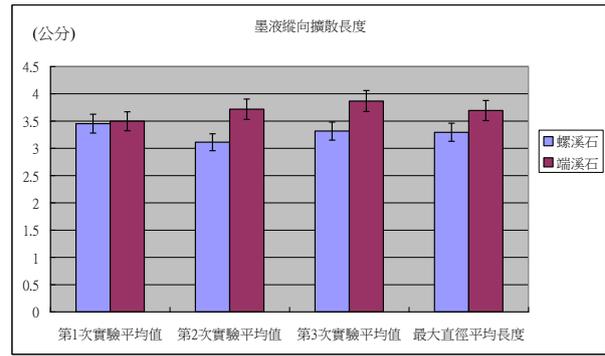
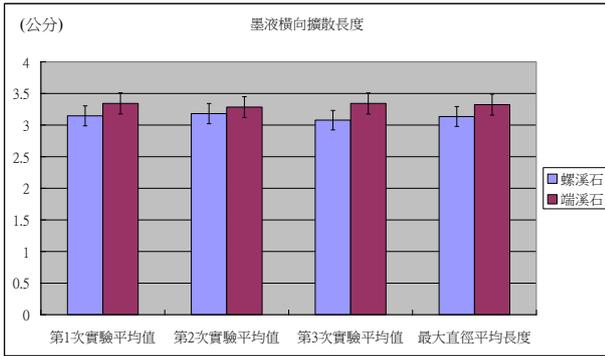


圖 5-4-7 螺溪石與端溪石的墨液在宣紙上的擴散比較圖

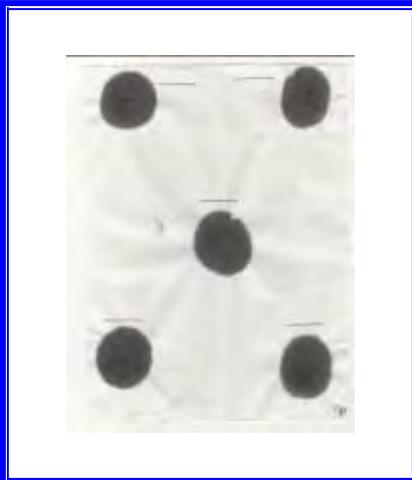


圖 5-4-8 螺溪石磨製的墨液在宣紙上的擴散面積。

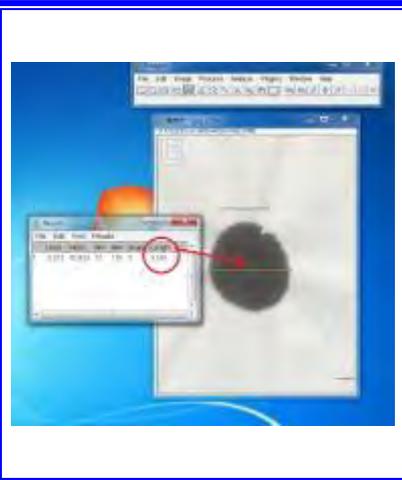


圖 5-4-9 測量螺溪石磨製的墨液橫向擴散長度。

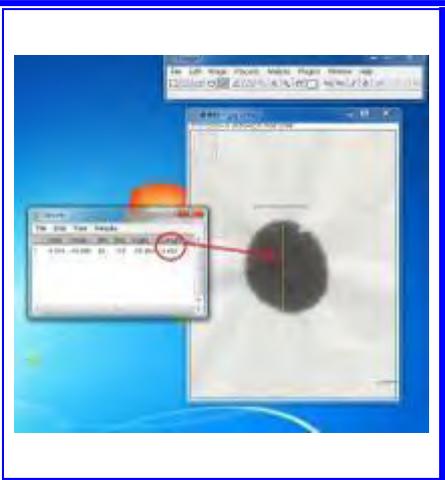


圖 5-4-10 測量螺溪石磨製的墨液縱向擴散長度。

(二) 螺溪石與端溪石所磨製的墨液水平擴散討論

實驗結果顯示，端溪石所研磨出來的墨液，在宣紙上的擴散面積較螺溪石來得大，代表端溪石所研磨的墨液顆粒較螺溪石更為均勻且細緻，所以能隨著水分的擴散而產生較大的墨暈。但從兩種墨液在宣紙上擴散的墨暈面積大小來比較，相差不大，顯示兩種硯石所磨製的墨液在宣紙上都有良好的墨暈效果，可知螺溪石與端溪石一樣，都是很適合製成硯台的優良石材。

## 實驗五、探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液成色是否有所不同

### (一)實驗結果

本實驗分別從研磨圈數的遞增，探討墨液成色的變化。本組以 image J 對端溪石與螺溪石的墨液成色，進行灰階值的分析，實驗數據如下表所示：

表 5-5-1 第一次實驗

	螺溪石	端溪石
研磨 100 圈	81.403	69.023
研磨 200 圈	62.255	54.654
研磨 300 圈	55.943	51.472
研磨 400 圈	49.39	48.122

表 5-5-2 第二次實驗

	螺溪石	端溪石
研磨 100 圈	84.638	74.335
研磨 200 圈	58.356	57.211
研磨 300 圈	56.672	51.815
研磨 400 圈	47.212	49.487

表 5-5-3 第三次實驗

	螺溪石	端溪石
研磨 100 圈	75.932	70.984
研磨 200 圈	56.950	53.317
研磨 300 圈	55.774	51.957
研磨 400 圈	47.510	48.650

表 5-5-4 三次實驗平均值

	螺溪石	端溪石
研磨 100 圈平均灰階值	80.657	71.447
研磨 200 圈平均灰階值	59.187	55.060
研磨 300 圈平均灰階值	56.129	51.748
研磨 400 圈平均灰階值	48.037	48.753

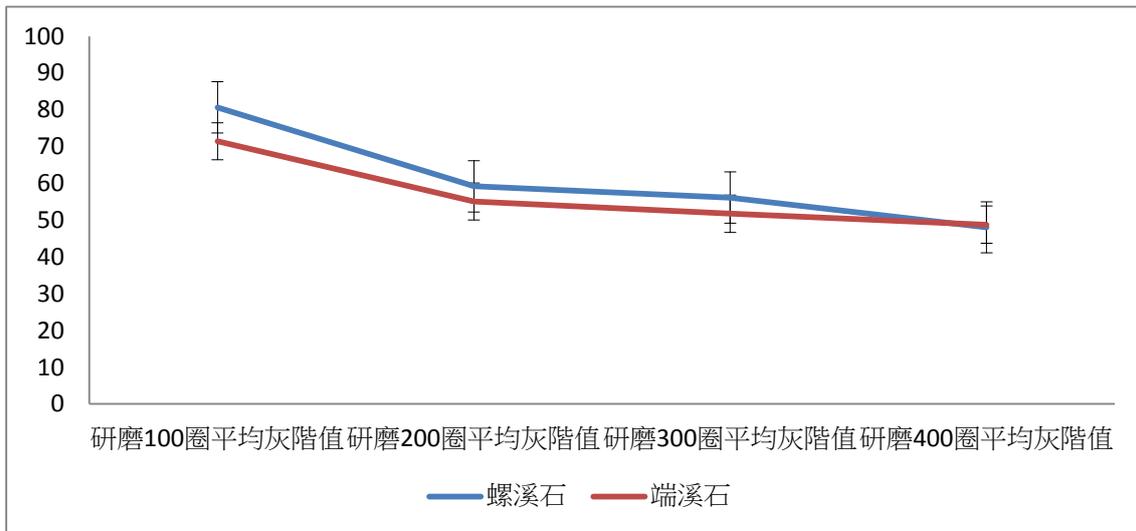


圖 5-5-1 不同圈數，螺溪石與端溪石的墨液成色比較圖

## (二) 螺溪石與端溪石所磨製的墨液成色討論

由實驗結果可知，螺溪石與端溪石在研磨 100 圈後，墨液在宣紙上的成色，灰階值約介於昏灰色與暗灰色之間，而端溪石的灰階值都比螺溪石低很多，顯示端溪石所研磨的墨液成色較螺溪石來得黑。

當螺溪石與端溪石在研磨 200 圈與 300 圈後，墨液的成色由昏灰色轉為暗灰色，介於暗灰色與黑色之間。端溪石的灰階值仍然比螺溪石低，但兩者之間的差距逐漸縮小，顯示端溪石所研磨的墨液成色仍然比螺溪石黑。從比較圖中，本組也發現，螺溪石的墨液成色，隨著研磨的圈數增加，灰階值有快速下降的現象。

當螺溪石與端溪石在研磨 400 圈後，墨液的成色仍然介於暗灰色與黑色之間，但灰階值仍然持續下降。螺溪石的灰階在後兩次的實驗中都比端溪石低，但兩者之間的差距不大。實驗結果顯示，在研磨 400 圈後，螺溪石所研磨的墨液成色竟然與端溪石一樣黝黑，結果令人感到驚奇。

本組以為螺溪石在研磨 400 圈後，墨液成色的灰階值與端溪石十分接近，這是因為螺溪石具有特殊的針鈹(由 40% 的石英與 40% 的白雲母組成)，類似鑽石鋸片，當墨液中的碳粒經過反覆的研磨作用，會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」。

至於端溪石的鋒芒分布比螺溪石的針鋸細密、均勻，所以一開始研磨時墨液的碳粒就比較均勻細緻，成色也比較黑，發墨效果也比螺溪石好。隨著研磨圈數的增加，從折線圖的下降坡度可知，兩種硯石的墨液灰度值有持續穩定下降的趨勢，但螺溪石的變化幅度顯然比端溪石大，顯示螺溪石的發墨效果甚佳，不亞於端溪石。

由於螺溪石與端溪石的墨液成色差距不大，且灰階值都落在同等級灰度色(暗灰色)，可見兩者都具備「下墨快、發墨如油」的特性，符合文獻中所謂的優質硯石。

## 實驗六、探討螺溪石與端溪石磨耗程度的差異

本研究嘗試以岩石礦物互相刮磨的方法，觀測出螺溪石與端溪石的硬度值，比較兩種不同硯石的硬度大小。然後再將螺溪石與端溪石用相同的墨條研磨，觀測硯石被磨損的程度，分別測出研磨 3 萬次後所耗損的重量，探討螺溪石與端溪石是否具有文獻中所提到的「經久不耗」的特性。

### 一、實驗結果

從實驗一的結果顯示：螺溪石的硬度大於雪花石膏（硬度 2）、瓷土（硬度 2~2.5）、方解石（硬度 3）、枕狀溶岩（硬度 3.2）、紋石（硬度 3.5~4），但硬度小於結晶石灰岩（硬度 4）。可知螺溪石的硬度大約是 3.5~4。端溪石的硬度大於雪花石膏（硬度 2）、瓷土（硬度 2~2.5），但硬度小於方解石（硬度 3）。可知端溪石的硬度大約是 2.5~3。

從實驗二的結果顯示：螺溪石的重量，會隨著研磨的次數而遞減，但減少的重量十分有限，研磨 30000 圈以後，重量總共減少 0.06g，平均研磨 10000 圈只減少 0.02g。至於端溪石的實驗結果：端溪石的重量也會隨著研磨的次數而遞減，而且減少的弧度比螺溪石大。研磨 30000 圈以後，重量總共減少 0.14g，平均研磨 10000 圈會減少約 0.046g。

表 6-1-1 螺溪石與端溪石的磨耗程度差異

	螺溪石	螺溪石每研磨 10000 圈耗損重量	端溪石	端溪石每研磨 10000 圈耗損重量
研磨前重量	473.23g	——	333.94g	——
研磨 10000 圈後重量	473.20g	0.03g	333.87g	0.07g
研磨 20000 圈後重量	473.19g	0.01g	333.84g	0.03g
研磨 30000 圈後重量	473.17g	0.02g	333.80g	0.04g
磨耗前後重量差	0.06g		0.14g	
平均耗損重量	0.02g		0.0467g	

## 二、螺溪石與端溪石的硬度與磨耗程度討論

從實驗結果可發現，在研磨的過程中，墨條會被硯石研磨成墨汁，可見硯石的硬度會比墨條的硬度高，所以墨條中的碳粒會被研磨出來。根據研究資料顯示，**墨條的硬度約在 2.2~2.4 之間**，而螺溪石的硬度據本實驗一可知，約 **3.5~4**；端溪石的硬度據本實驗一可知，約 **2.5~3**，所以當墨條在硯石上研磨時，螺溪硯或端硯均能輕易的將墨條中膠結的碳粒刮取下來，並研磨成細緻的碳粒，與水混合成墨汁。

至於在磨墨的過程中，硯石的重量會隨著研磨的次數而有減輕的現象，顯示硯石在研磨時會產生耗損的現象。從實驗結果可知，平均研磨 **10000 圈**，**端溪石會減少約 0.046g**，耗損程度很小，而**螺溪石的耗損程度更是微乎其微，只有約 0.02g**。可見螺溪石與端溪石的磨耗程度都很小，**兩者都具備優質硯石的特性—「經久不乏」**。

從磨耗的程度來比較，端溪石比螺溪石更容易耗損，顯示**螺溪石的石質比端溪石更加堅實耐磨**。

從實驗結果本組也發現一個有趣的問題，既然**螺溪石與端溪石的硬度都比墨條大，所以能夠磨墨**，為什麼在研磨的過程中硯石還是會耗損呢？被磨蝕耗損的硯石成份融合

在墨汁中，會不會對墨汁造成影響？這些問題值得進一步的探討。

## 陸、結論

### 一、端溪石比螺溪石的密度略高，比較不吸水

端溪石為低度變質的泥質板岩，螺溪石則為低度變質的頁岩，所以端溪石的密度略大於螺溪石，不易吸水，研磨時墨液也比較不會乾涸。此外，因為不易滯墨，所以也有容易清洗的優點。

### 二、端溪石研磨的墨液顆粒比螺溪石細緻

端溪石的鋒芒分布細密均勻，一開始所磨製的墨液碳粒會比螺溪石磨製的墨液碳粒更均勻，而且更細緻。但螺溪石具有特殊的針鋸(由 40%的石英與 40%的白雲母組成)，隨著研磨次數的增加，墨液顆粒會與端溪石一樣細緻、均勻。

### 三、端溪石的水分蒸發速度比螺溪石慢

由於端溪石為低度變質的泥質板岩，密度較高，孔隙較小，水滴與硯面的張力小，呈珠狀，表面積小，所以蒸發的速度比螺溪石慢。

### 四、螺溪石與端溪石都具有下墨快、發墨好的優異石質

螺溪石的石英含量高於端溪石，所以開始研磨時的下墨速度比端溪石快，但墨液的碳粒不如端溪石細緻均勻。端溪石研磨的墨液，比螺溪石更容易被宣紙吸附，而且墨色較黑。但螺溪石在研磨 400 圈後，因為特殊針鋸的作用，墨色會與端溪石一樣黝黑。

### 五、螺溪石比端溪石更具有「經久不乏」的優異石質。

螺溪石的石質比端溪石更加耐磨，且螺溪石的硬度在 3.2~4 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，優於端溪石。

### 六、螺溪硯不亞於端硯

雖然端溪石的磨墨效果優於螺溪石，但兩者差距不大，而且螺溪石具有獨特的針鋸，在研磨的圈數增加後，磨出的墨液與端溪石一樣黝黑油亮，所以我們應該珍視台灣這項寶貴資產，振興彰化二水特有的螺溪石硯文化。

表 6-1

	螺溪石	端溪石
質地緻密		優
研磨的墨液顆粒細緻度	優	優
貯水不乾		優
發墨如油	優	優
經久不貳	優	

### 柒、參考資料及其他

- [1] 劉彥彰：〈搶救台灣國寶石—螺溪石的辨識及其特性之研究〉，台北市：台灣科學教育資料館，2017 台灣國際科展地球與環境科學科四等獎。
- [2] 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。
- [3] 張豐榮編著：《台灣螺溪硯天下》，臺北市：冠倫出版社，1994年1月。
- [4] 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。
- [5] 〔日〕藤山雷太著、王伯鐙譯：《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] <灰色系>維基線上百科：  
 (<https://zh.wikipedia.org/wiki/Category:%E7%81%B0%E8%89%B2%E7%B3%BB>)。
- [7] 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。

## 【評語】 080501

1. 本研究主題清楚、聚焦；具鄉土性；
2. 本研究採用野外採樣，以好的硯石具備『經久不乾、儲水不乾、發墨如油、歷寒不冰』的條件，利用簡易器材比較兩種可做硯石之優劣，其方法可行；
3. 結果顯示兩種硯石優勢不一；端溪石儲水不乾優於螺溪石，然在經久不乾上不如端溪石，其它兩者無顯著差異；
4. 本研究有系統地比較證實硯石具備條件，在口頭上可清楚表達，且表現積極。

## 摘要

端硯為中國四大名硯之首，螺溪硯則是台灣特有的珍貴硯石。本文以濾紙過濾、墨液在宣紙上的擴散，觀測兩種硯石磨墨的顆粒大小；以imageJ軟體測量墨液的灰階值；並從硯石的密度大小、墨液被宣紙吸附的高度、水分蒸發的快慢、硬度的大小與研磨後硯石的耗損量，比較兩種硯石的特性。研究發現，端溪石與螺溪石的質地緻密、不吸水，墨液的碳粒細緻，成色黝黑油亮，易被宣紙吸附，兩者並無顯著差異。兩者的分別在於端溪石的水分不易被蒸發，而螺溪石的硬度則比端溪石大，久經研磨不易耗損。雖然端溪石的礦物顆粒比螺溪石更為細密，但螺溪石具有獨特的針鉞，在研磨圈數達400圈後，磨出的墨液品質與端溪石一樣黝黑油亮，兩者都是非常優質的硯石，值得珍視。

## 壹、研究動機

六年級的南一版自然課本中有一單元：**變動的大地**，提到**岩石是由多種礦物所組成**，不同的礦物有不同的特性，例如**密度、硬度、色澤以及晶體結構**等等，構成我們所看到的各種形形色色的岩石。在我們彰化八卦山脈以南的濁水溪，也可看到很多奇形怪狀的岩石。**螺溪石產於濁水溪**，是一種含有綠簾石的輕度變質沉積岩，經由《彰化縣誌》與日本人藤山雷太《台灣遊記》的記載，可知螺溪石從被發現至今，已有二百多年的歷史，是全台唯一適合製硯的硯石，**日本人特稱螺溪石為「台灣黑玉」**，十分珍貴，是彰化二水特有的地方文化產業。

上書法課時，老師向我們介紹文房四寶：筆、墨、紙、硯，其中最頂級的硯石就是端溪石。**端溪石產於中國廣東肇慶**，是一種輕度變質的泥質板岩或粉沙質板岩。優質的硯石具備「**經久不乾、貯水不乾、發墨如油**」等特性，十分神奇，這更引發我們的好奇，究竟螺溪石是否與端溪石同樣具備這些優異的性質呢？

因此，本研究想把螺溪石和端溪石拿來做比較，比較兩種硯石到底哪一種的磨墨效果較好。

## 貳、研究目的

- 一、探討螺溪石與端溪石的**密度**是否有所差異。
- 二、探討螺溪石與端溪石磨墨的**顆粒**是否有所差異。
- 三、探討螺溪石與端溪石在**蒸發速度**上的差異。
- 四、探討螺溪石與端溪石所磨製的**墨液吸附力**是否有所不同。
- 五、探討螺溪石與端溪石所磨製的**墨液成色**是否有所不同。
- 六、探討螺溪石與端溪石**磨耗程度**的差異。
- 七、比較螺溪石與端溪石的磨墨效果有何差異。

## 參、研究設備及器材

圖 3-1 端硯	圖 3-2 螺溪硯	圖 3-3 長條宣紙	圖 3-4 古梅園五顆星紅花墨
圖 3-5 微量天秤	圖 3-6 10ml 量筒	圖 3-7 電腦	圖 3-8 計時器
圖 3-9 相機	圖 3-10 Autopipet	圖 3-11 支架組	圖 3-12 培養皿

## 肆、研究方法

### 實驗一 螺溪石與端溪石的密度研究

石質的緻密也就是硯石的**密度**，會影響硯石的好壞，**密度愈大會讓硯石更堅實，也較不易吸水**。所以本組對螺溪石與端溪石的**密度**，進行測量。

圖 4-1-1 利用微量天秤測量出螺溪石與端溪石的重量，再利用排水法計算體積，並利用密度公式計算出螺溪石與端溪石的密度。			

### 實驗二 螺溪石與端溪石的磨墨顆粒研究

- (一)自製研磨機
- (二)相同墨條
- (三)相同研磨範圍
- (四)皆研磨100圈
- (五)相同規格吸滿水的濾紙(孔徑:5um)

圖 4-2-1 將塑膠土圈繞在硯石上，固定研磨範圍	圖 4-2-2 將濾紙浸泡在水中吸水	圖 4-2-3 將濾紙放在三腳架上，在三腳架底下放置培養皿，培養皿上鋪上衛生紙	圖 4-2-4 觀察滴落在衛生紙上的墨液顏色

## 實驗三 螺溪石與端溪石的水分蒸發速度研究

- 一、水珠在硯石表面蒸發時間的比較
  - (一)硯石吸足水分
  - (二)水滴的體積一樣
  - (三)相同的日曬強度
  - (四)相同的濕度

圖 4-3-1 將兩種硯石浸泡在水中 2 小時	圖 4-3-2 使用醫療用點滴，同時將水滴在硯台上	圖 4-3-3 將氯化亞鈷試紙用吹風機烘乾	圖 4-3-4 確認硯石上的水珠已完全蒸發

- 二、水珠在硯石表面接觸角的比較
  - (一)硯石吸足水分
  - (二)水滴的體積一樣
  - (三)相同的拍照距離角度光線
  - (四)相同的測量角度軟體

圖 4-3-5 使用自動吸水管滴取 50ul 的水量。	圖 4-3-6 將定量的水滴在硯石表面。	圖 4-3-7 水珠滴在螺溪石表面情形。	圖 4-3-8 水珠滴在端溪石表面情形

## 實驗四 螺溪石與端溪石的墨液吸附力研究

- 一、比較兩種硯石所研磨的墨液在宣紙中上升的情形
  - (一)自製研磨機
  - (二)相同墨條與宣紙
  - (三)相同研磨範圍
  - (四)皆研磨200圈
  - (五)相同吸附面積
  - (六)皆浸泡5分鐘

圖 4-4-1 自製研磨機	圖 4-4-2 相同墨條	圖 4-4-3 相同的玉版宣	圖 4-4-4 浸泡相同時間

- 二、比較兩種硯石所研磨的墨液在宣紙上擴散的情形
  - (一)自製研磨機
  - (二)相同墨條與宣紙
  - (三)相同研磨範圍
  - (四)皆研磨200圈
  - (五)滴取相同墨液量(50ul)
  - (六)相同測量工具

圖 4-4-5 50ul 的墨液量	圖 4-4-6 將墨液滴在宣紙上	圖 4-4-7 螺溪石擴散情形	圖 4-4-8 端溪石擴散情形

## 實驗五 螺溪石與端溪石的墨液成色研究

- (一)使用相同墨條和宣紙
- (二)研磨相同圈數
- (三)使用相同掃描器
- (四)取相同的位置和面積判別
- (五)利用image J(圖像分析、測量自由軟體)分析墨液成色

圖 4-5-2 墨液吸附在宣紙上	圖 4-5-3 利用 image J 分析端溪石與螺溪石的灰階值

## 實驗六 螺溪石與端溪石的磨耗程度研究

- (一)螺溪石與端溪石的**硬度**測試與比較。

圖 4-6-1 用雪花石在端溪石的表面刮磨	圖 4-6-2 用瓷土在端溪石的表面刮磨	圖 4-6-3 用方解石在螺溪石的表面刮磨	圖 4-6-4 用枕狀溶岩在螺溪石的表面刮磨

- (二)螺溪石與端溪石的**磨耗**測試與比較。

圖 4-7-1 日本古梅園五顆星紅花墨	圖 4-7-2 自製研磨機	圖 4-7-3 固定研磨圈數	圖 4-7-4 研磨後秤重

## 伍、研究結果與討論

### 實驗一、探討螺溪石與端溪石的密度是否有所差異

#### 一、實驗結果

實驗結果如下表，端溪石的密度約2.843 (g/cm<sup>3</sup>)，螺溪石的密度約2.823 (g/cm<sup>3</sup>)，端溪石的密度略大於螺溪石，但差距不顯著。

表5-1-1 螺溪石與端溪石的密度差異比較表

	螺溪石			端溪石		
	重量	體積	密度	重量	體積	密度
第一次測量	472.91g	167.88cm <sup>3</sup>	約2.817 (g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	113.98cm <sup>3</sup>	約2.885 (g/cm <sup>3</sup> )
第二次測量	472.91g	168.53 cm <sup>3</sup>	約 2.806(g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	116.04 cm <sup>3</sup>	約 2.833 (g/cm <sup>3</sup> )
第三次測量	472.91g	166.22cm <sup>3</sup>	約2.845 (g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	116.90cm <sup>3</sup>	約2.812 (g/cm <sup>3</sup> )
三次測量平均	472.91g	167.54cm <sup>3</sup>	約2.823 (g/cm <sup>3</sup> )	328.78g	115.64cm <sup>3</sup>	約2.843 (g/cm <sup>3</sup> )

#### 二、螺溪石與端溪石的密度討論

由實驗結果發現，端溪石的平均密度約為2.843 (g/cm<sup>3</sup>)，而螺溪石的密度約為2.823 (g/cm<sup>3</sup>)。端溪石的密度略大於螺溪石。一般而言，如果岩石的密度愈大，孔隙就愈少、愈小，岩石就愈不會吸水。因此，從端溪石的密度大於螺溪石來推論，當我們滴水在端溪石上磨墨時，因為端溪石的密度較高，水分比較不會被硯石吸取，所以墨液也比較不會乾涸。此外，因為密度大，墨液比較不容易滲入硯石內部，所以比較不會造成「滯墨」，也比較好清洗，這是端溪石的優異之處，但兩者差距不大。

### 實驗二、探討螺溪石與端溪石磨墨的顆粒是否有所差異

#### 一、實驗結果

從實驗結果發現：

- 當濾紙重疊數量增加時，墨液滲透滴落所花的時間也逐漸變長。
- 當濾紙重疊數量增加時，墨液滲透滴落在衛生紙上的顏色有逐漸變淡的現象。
- 螺溪石與端溪石磨製的墨液，在重疊八層的濾紙上皆可穿透，但螺溪石的墨液穿透所花的時間，明顯比端溪石更多。
- 螺溪石磨製的磨液在穿透重疊九層的濾紙時，比穿透八層時又花更久的時間，而且滴落在衛生紙上的墨液呈透明的無色。
- 端溪石磨製的磨液在穿透重疊九層的濾紙時，比穿透八層時花的時間較多，但最後滴落在衛生紙上的墨液仍然呈現灰色。



圖 5-2-1 螺溪石磨製的磨液無法穿透九層濾紙



圖 5-2-2 端溪石磨製的磨液能穿透九層濾紙

#### 二、螺溪石與端溪石的磨墨顆粒討論

- 當硯石的針鏟將墨條的碳粒刮取下來研磨時，碳粒將隨著研磨的時間而逐漸變小、變細。因此，研磨100圈後的墨液中，碳粒也有大小與粗細的分別。
- 本實驗所使用的濾紙孔徑為5um，直徑為110mm，可知濾紙的孔隙很小，因此只有比濾紙的孔隙更小的碳粒才能穿透濾紙，滴落到培養皿的衛生紙上。反之，如果碳粒的體積比濾紙的孔隙大，碳粒將無法穿透濾紙，甚至將濾紙的孔隙給阻塞，使過濾的作用無法快速的進行，而濾紙上的墨液也會因為無法滲透而有積聚的現象。因此我們可以發現，為什麼第一片濾紙中間的墨液顏色會較黑，而重疊的最後一片濾紙墨液顏色會較淡。這是因為研磨的墨液中，較細緻的碳粒較少，碳粒較大的墨液會停留在濾紙的上層，所以濾紙上的顏色較深，而停留在最後一層濾紙上的碳粒體積較小，數量也較少，所以顏色較淡。
- 當濾紙重疊的片數愈多時，濾紙的孔隙因重疊的關係將變得愈細密，墨液中的碳粒就愈難穿透。只有碳粒體積愈小，才有可能穿透濾紙，而穿透濾紙的時間也會隨著重疊的片數增加而變得更久。因此，當濾紙重疊至8片時，螺溪石的墨液滲透速度明顯的比端溪石的墨液滲透速度慢，顯示螺溪石磨製的墨液碳粒體積，應該比端溪石的墨液碳粒大，所以大多數的碳粒會被濾紙的孔隙給阻擋，而濾紙的孔隙也會被部分碳粒給填塞，只有較少量、體積較小的碳粒能順利穿透濾紙而滴落到衛生紙上，呈現較淡的灰色。

- 當濾紙重疊至9片時，螺溪石磨製的磨液碳粒無法穿透孔隙，只剩下水分子穿透孔隙而滴落在衛生紙上。同樣的條件，端溪石的墨液卻能穿透9片重疊的濾紙，顯示端硯所磨出的墨液碳粒比螺溪硯磨製的墨液碳粒更加細緻。
- 從實驗的結果可知，端硯磨出的墨液碳粒比螺溪硯磨出的墨液碳粒小，應該與端硯的鋒芒分布比螺溪硯更為細密、均勻有關。因此，在選購硯台時，針鏟或鋒芒愈密集，磨製的墨液碳粒會更加細緻、均勻，書寫的墨色效果會更好。
- 從本實驗結果也可驗證，為什麼磨墨創作的書畫作品會比一般市售的墨汁好，這是因為市售的墨汁是化學合成物質，所以墨色沒有層次的分別。用墨條磨墨，因磨製的墨液中碳粒有大小粗細的分別，所以在宣紙上書寫時，會產生墨暈的層次美感，這是為什麼書畫大師在創作時都會選擇磨墨的原因之一。



圖 5-2-5 螺溪硯墨液過濾第一片



圖 5-2-6 螺溪硯墨液過濾第二片



圖 5-2-7 螺溪硯墨液過濾第八片



圖 5-2-8 螺溪硯墨液過濾第九片

### 實驗三、探討螺溪石與端溪石在蒸發速度上的差異

#### 一、蒸發速度實驗結果

實驗結果如下表所示，顯然螺溪石的水分蒸發速度比端溪石還要快。就優質硯石須具備「貯水不乾」的條件來說，端溪石在涵養水分的特性上優於螺溪石。

	螺溪石	端溪石
第一次實驗	10 分 21 秒	12 分 06 秒
第二次實驗	11 分 25 秒	14 分 59 秒
第三次實驗	9 分 36 秒	13 分 58 秒
平均	10 分 27 秒	13 分 41 秒

表5-3-1 螺溪石與端溪石的水分蒸發速度

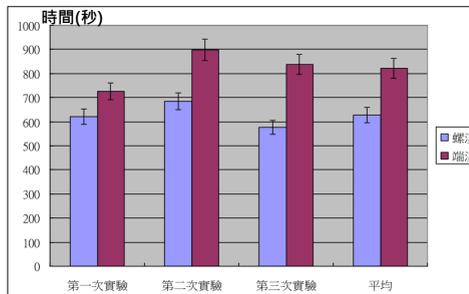


圖 5-3-1 螺溪石與端溪石的水分蒸發速度比較圖

#### 二、螺溪石與端溪石在蒸發速度上的差異討論

- 由於在實驗之前兩種硯石都已浸泡過水，所以水滴在硯石上不會被硯石吸取。影響水分蒸發的因素應該是當時的陽光、溫度、風和濕度。本實驗過程中，因為兩種硯石是同時放在一起觀測，所以前面所列舉的變因條件皆相同，並不會影響到兩種硯石在蒸發速度上的差異。因此，會影響硯石蒸發速度差異的因素，應該在硯石本身。
- 在實驗的過程中，可發現滴在螺溪石上的水珠面積顯然大於端溪石上的水珠面積，見圖5-3-3、圖5-3-4。就常理來推論，表面積愈大，則水分蒸發的速度也就愈快，這應該是螺溪石比端溪石的蒸發速度快的原因之一。

#### 一、水珠接觸角實驗結果

	螺溪石	端溪石
第一次實驗	57.659 度	73.342 度
第二次實驗	57.638 度	73.113 度
第三次實驗	59.567 度	74.521 度
平均	58.288 度	73.659 度

表5-3-2 水珠與硯石接觸面角度測量

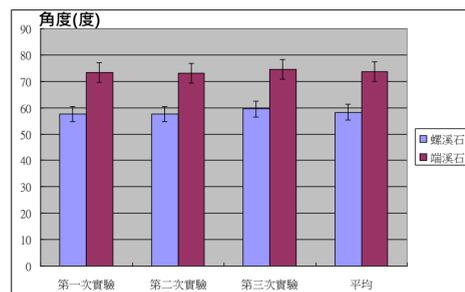


圖 5-3-2 水珠在螺溪石與端溪石表面接觸角比較圖

#### 二、水珠與硯石接觸面的角度大小討論

由水珠與硯面的接觸角可知，在端溪石上的水珠比螺溪石上的水珠更接近圓珠狀，這也使得端溪石上的水珠面積較螺溪石上的水珠面積來得小。表面積愈小，蒸發的速度自然也會比較慢。硯石表面通常具有孔隙，由水珠與端溪石的表面接觸角較大的結果推論，可知端溪石比螺溪石更具有疏水性，端溪石表面的孔隙應該比螺溪石小，這與實驗一端溪石的密度略大於螺溪石的測量結果相符合，所以就「質地緻密、貯水不耗」的特性來看，端溪石比螺溪石來得優異。



圖 5-3-3 滴在螺溪石表面的水珠狀



圖 5-3-4 滴在端溪石表面的水珠狀

## 實驗四、探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液吸附力是否有所不同

### 一、吸附力實驗結果

	螺溪石	端溪石
第1次實驗平均值	5.069cm	5.526cm
第2次實驗平均值	6.297cm	6.655cm
第3次實驗平均值	6.319cm	5.995cm
平均高度	5.895cm	6.057cm

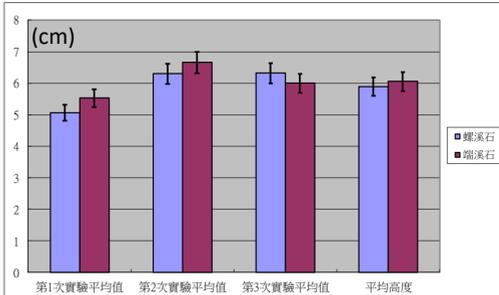


表5-4-1 螺溪石與端溪石磨製的墨液在宣紙中吸附上升的高度

圖5-4-1 螺溪石與端溪石的在宣紙中上升的高度比較圖

### 二、螺溪石與端溪石所磨製的墨液吸附力討論

實驗結果顯示，端溪石研磨的墨液比螺溪石更容易被宣紙吸附。在三次實驗中，端溪石磨製的墨液，在宣紙上平均被吸附的高度比螺溪石高。在實驗過程中，本組也發現，端溪石所磨製的墨液在宣紙中上升的速度與高度較平均，代表端溪石磨製的墨液顆粒大小較均勻一致。而螺溪石所磨製的墨液，上升的速度與高度較參差不齊，有快有慢，代表螺溪石所磨製的墨液顆粒有粗有細，大小不一。

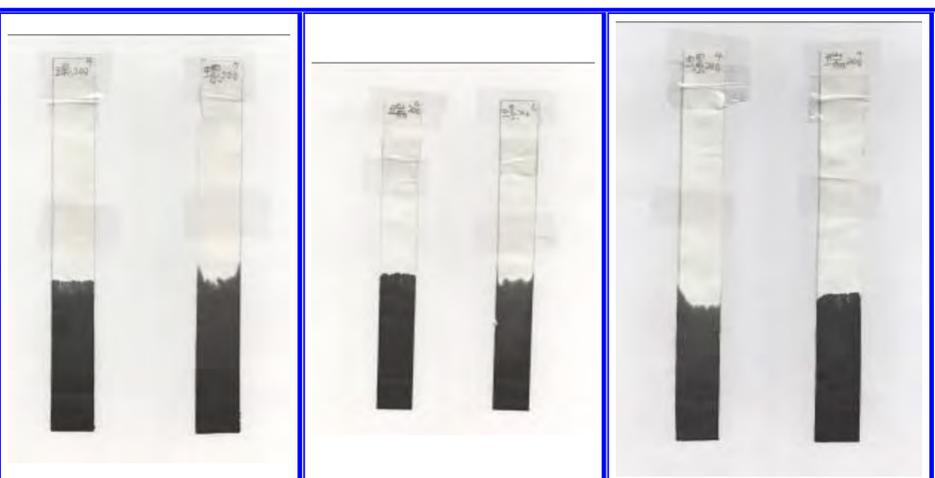


圖5-4-2 第一次實驗--取固定距離的5點的高度，作平均。

圖5-4-3 第二次實驗--取固定距離的5點的高度，作平均。

圖5-4-4 第三次實驗--取固定距離的5點的高度，作平均。

### 一、水平擴散實驗結果

表5-4-2 螺溪石與端溪石磨製的墨液在宣紙上水平擴散的情形

橫向擴散長度	螺溪石	端溪石	縱向擴散長度	螺溪石	端溪石
第1次實驗平均值	3.145cm	3.342cm	第1次實驗平均值	3.453cm	3.496cm
第2次實驗平均值	3.180cm	3.284cm	第2次實驗平均值	3.111cm	3.716cm
第3次實驗平均值	3.077cm	3.341cm	第3次實驗平均值	3.316cm	3.867cm
最大直徑平均長度	3.134cm	3.322cm	最大直徑平均長度	3.294cm	3.693cm

### 二、螺溪石與端溪石所磨製的墨液水平擴散情形討論

實驗結果顯示，端溪石所研磨出來的墨液，在宣紙上的擴散面積較螺溪石來得大，代表端溪石所研磨的墨液顆粒較螺溪石更為均勻且細緻，所以能隨著水分的擴散而產生較大的墨量。但從兩種墨液在宣紙上擴散的墨量面積大小來比較，相差不大，顯示兩種硯石所磨製的墨液在宣紙上都有良好的墨量效果，可知螺溪石與端溪石一樣，都是很適合製成硯台的優良石材。

## 實驗五、探討螺溪石與端溪石所磨製的墨液成色是否有所不同

### 一、實驗結果

	螺溪石	端溪石
研磨100圈平均灰階值	80.657	71.447
研磨200圈平均灰階值	59.187	55.060
研磨300圈平均灰階值	56.129	51.748
研磨400圈平均灰階值	48.037	48.753
研磨500圈平均灰階值	46.272	46.268

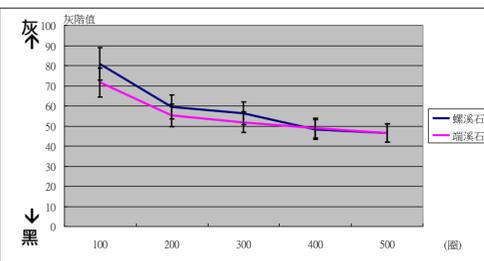


表5-5-1 三次實驗平均值

圖5-5-1 不同圈數，螺溪石與端溪石的墨液成色比較圖

### (二) 螺溪石與端溪石所磨製的墨液成色討論

由實驗結果可知，螺溪石與端溪石在研磨100圈後，墨液的灰階值約介於昏灰色與暗灰色之間，而端溪石的灰階值顯然比螺溪石低很多，顯示端溪石所磨製的墨液成色較螺溪石來得黑。

當螺溪石與端溪石在研磨200圈與300圈後，墨液的成色由昏灰色轉為暗灰色，端溪石的灰階值仍然比螺溪石低，但兩者之間的差距逐漸縮小，而螺溪石的墨液成色，隨著研磨圈數增加，灰階值有快速下降的現象。

當螺溪石與端溪石在研磨400圈與500圈後，墨液的成色仍然介於暗灰色與黑色之間，且灰階值仍然持續下降，但下降的趨勢平緩，而兩者的灰階值也趨近一致。

本組以為螺溪石在研磨400圈後，墨液成色與端溪石一樣黝黑，是因為螺溪石具有特殊針鋸的緣故。根據劉彥彰的研究報告—〈搶救台灣國寶石——螺溪石的辨識及其性質之研究〉，可知螺溪石的針鋸結構是由40%的白雲母與40%的石英組成，獨特的針鋸結構就像鑽石鋸片一般，可以將墨條中的墨粒快速刮取下來，在反覆的研磨過程中，將墨粒研磨得更細緻、均勻。單位面積內的碳粒含量高，顏色就更加黝黑，而礦物中的白雲母也會讓墨液產生油亮的光澤，這就是文獻資料中所說的「發墨如油」。

根據游秀珍的碩士論文〈硯石材料與墨之磨潤性質初步研究〉，文中提到端溪石的礦物組成是由85%的絹雲母，小於5%的黏土，小於10%的石英、3%的綠泥石與其他微量的金屬礦物組成。

由於端溪石的鋒芒主要是由85%的絹雲母組成，鋒芒細密均勻，所以一開始研磨時墨液的碳粒比較均勻細緻，成色也比較黑，發墨效果會比螺溪石好。

由於書家實際磨墨書寫時，研磨圈數一定會超過400圈，所以螺溪石與端溪石的墨液成色並無顯著差異，可見兩者都具備「下墨快、發墨如油」的特性，符合文獻中所謂的優質硯石。

## 實驗六、探討螺溪石與端溪石磨耗程度的差異

### 一、實驗結果

螺溪石的硬度大於雪花石膏（摩氏硬度2）、瓷土（摩氏硬度2~2.5）、方解石（摩氏硬度3）、枕狀溶岩（摩氏硬度3.2）、紋石（摩氏硬度3.5~4），但硬度小於結晶石灰岩（摩氏硬度4）。可知螺溪石的硬度大約是摩氏3.5~4。端溪石的硬度大於雪花石膏（摩氏硬度2）、瓷土（摩氏硬度2~2.5），但硬度小於方解石（摩氏硬度3）。可知端溪石的硬度大約是摩氏2.5~3。

### 二、螺溪石與端溪石的硬度與磨耗程度討論

表6-1-1 螺溪石與端溪石的磨耗程度差異

	螺溪石	螺溪石每研磨10000圈耗損重量	端溪石	端溪石每研磨10000圈耗損重量
研磨前重量	472.88g	—	328.88g	—
研磨10000圈後重量	472.86g	0.02g	328.84g	0.04g
研磨20000圈後重量	472.83g	0.03g	328.79g	0.05g
研磨30000圈後重量	472.81g	0.02g	328.72g	0.07g
磨耗前後重量差		0.07g		0.16g
10000圈平均耗損重量		0.023g		0.053g

在研磨的過程中，墨條會被硯石研磨成墨液，可見硯石的硬度比墨條的硬度高，所以墨條中的碳粒會被研磨出來。

墨條的硬度約在摩氏2.2~2.4之間，而螺溪石的硬度約摩氏3.5~4；端溪石的硬度約摩氏2.5~3，所以當墨條在硯石上研磨時，螺溪硯或端硯均能輕易的將墨條中膠結的碳粒刮取下來，並研磨成細緻的碳粒，與水混合成墨液。

在磨墨的過程中，硯石的重量會隨著研磨的圈數而遞減，顯示硯石在研磨時會產生耗損的現象。從實驗結果可知，平均研磨10000圈，端溪石會減少約0.053g，耗損程度很小，而螺溪石的耗損程度更是微乎其微，只有約0.023g。可見螺溪石與端溪石的磨耗程度都很小，兩者都具備優質硯石的特性——「經久不欠」。

從磨耗的程度來比較，端溪石比螺溪石更容易耗損，顯示螺溪石的石質比端溪石更加堅實耐磨。

## 陸、結論

### 一、端溪石比螺溪石的密度略高，比較不吸水，但無顯著差異

端溪石為低度變質的泥質板岩，螺溪石則為低度變質的頁岩，所以端溪石的密度略大於螺溪石，不易吸水，研磨時墨液也比較不會乾涸。此外，因為不易滯墨，所以也有容易清洗的優點。

### 二、端溪石研磨的墨液顆粒比螺溪石細緻，但無顯著差異

端溪石的鋒芒分布細密均勻，一開始所磨製的墨液碳粒會比螺溪石磨製的墨液碳粒更均勻，而且更細緻。但螺溪石具有特殊的針鋸（由40%的石英與40%的白雲母組成），隨著研磨次數的增加，墨液顆粒會與端溪石一樣細緻、均勻。

### 三、端溪石的水分蒸發速度比螺溪石慢

由於端溪石為低度變質的泥質板岩，密度較高，孔隙較小，水滴與硯面的張力小，呈珠狀，表面積小，所以蒸發的速度比螺溪石慢。

### 四、螺溪石與端溪石都具有發墨如油的優良石質

由於螺溪石所含的白雲母粒徑比端溪石中的絹雲母粗，所以開始研磨時的墨液碳粒不如端溪石細緻均勻。但螺溪石在研磨400圈後，因為特殊針鋸的作用，墨液成色會與端溪石一樣黝黑油亮。

### 五、螺溪石比端溪石更具有「經久不欠」的優良石質。

螺溪石的石質比端溪石更加耐磨，且螺溪石的硬度在3.5~4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，優於端溪石。

### 六、螺溪硯不亞於端硯

雖然端溪石的磨墨效果優於螺溪石，但兩者差異不大，而且螺溪石具有獨特的針鋸，在研磨的圈數增加後，磨出的墨液與端溪石一樣黝黑油亮，所以我們應該珍視台灣這項寶貴資產，振興彰化二水特有的螺溪石硯文化。

表6-1 螺溪石與端溪石的磨墨效果比較

	螺溪石	端溪石
質地鎮密		無顯著差異
研磨的墨液顆粒細緻度		無顯著差異
貯水不乾		優
發墨如油		無顯著差異
經久不欠	優	

## 柒、參考資料及其他

- [1] 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。
- [2] 〔日〕藤山雷太著、王伯鐸譯：《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。
- [3] 張豐榮編著：《台灣螺溪硯天下》，臺北市：冠倫出版社，1994年1月。
- [4] 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。
- [5] 劉彥彰：〈搶救台灣國寶石——螺溪石的辨識及其特性之研究〉，台北市：台灣科學教育資料館，2017台灣國際科展地球與環境科學科四等獎