

# 花蓮縣第 63 屆國民中小學科學展覽會

## 作品說明書



圖說：以紅磚建窯嘗試煉鐵

科 別：地球科學科

組 別：國中組

作品名稱：窯烤 Fe 砂-探討台灣東部海岸鐵砂煉鐵之可能性

關鍵詞：鐵砂、氧化還原反應、煉鐵

# 摘要

本研究於 2022 年 9 月至 2023 年 4 月進行，目的在於了解台灣東部各遺址的相關煉鐵歷史及探討先民的煉鐵文化與技術，並實際於實驗室中模擬煉鐵。本研究利用田野調查法，親自至東海岸各地採集砂石，並到具有相關煉鐵歷史的遺址考察；也利用實驗研究法探討最佳煉鐵比例與裝置，期盼透過科學方法了解先民之煉鐵技術與文化。

研究結果發現，煉鐵需要加蓋，以避免一氧化碳逸散，影響實驗結果。煉鐵實驗當中又以紅磚及陶土建窯，長時間煉鐵之實驗最為成功，順利煉出極大塊鐵渣以及具有金屬光澤的鐵。另外，東部海岸含鐵量極高，煉鐵實驗有相當的成果，可說明東部海岸鐵砂有煉鐵之可能性。

## 壹、研究動機









根據我們先前《鐵砂的秘密-台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析》的結果，發現東部地區的含鐵量極高，因此對於「煉鐵」有極大的興趣，經過查詢相關資料後，發現在許多遺址都有煉鐵相關歷史，實際考察後，更使我們想要進一步了解「煉鐵」相關文化與其方式。盼能透過本次實驗，嘗試實驗室煉鐵以及實際建窯，模擬先民煉鐵之情形，並探討東部海岸發展煉鐵的可能，希望能利用科學實驗來認識先民的煉鐵文化。

## 貳、研究目的

- 一、了解台灣東部各遺址的相關煉鐵歷史
- 二、探討先民的煉鐵文化與技術
- 三、實際模擬煉鐵

## 參、研究設備及器材

- 一、程式軟體：Microsoft Excel、Microsoft Word、Power Point、Google Earth
- 二、實驗器材：器材說明如照片 1-12

			
照片 1：強力磁鐵	照片 2：電子磅秤	照片 3：研鉢和研杵	照片 4：坩鍋
			
照片 5：本生燈	照片 6：試管	照片 7：紅磚	照片 8：碳精

			
照片 9：陶土	照片 10：吹風機	照片 11：鐵夾	照片 12：挖砂鏟

## 肆、研究流程及方法

### 一、研究流程：

(一) 研究流程，如圖 1：

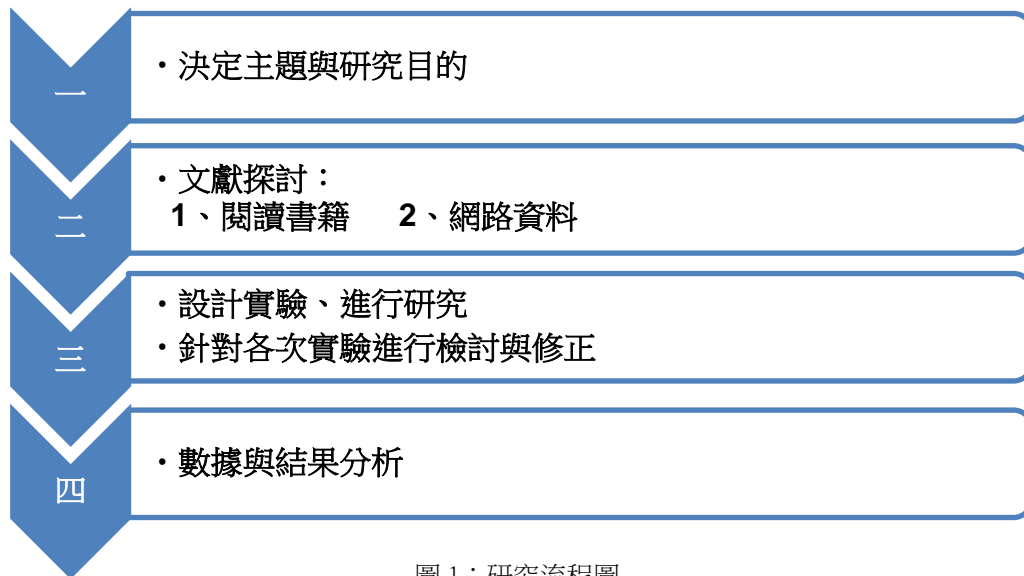


圖 1：研究流程圖

(二) 我們的研究共分為四個階段，如上圖 1 所示。第一階段為我們經過討論後，決定接續先前研究，探討東海岸各遺址的相關文化與資訊，並擬定研究目的。第二階段為文獻探討，我們詳細閱讀相關資料後進行文獻資料整理與撰寫。第三階段為設計實驗並進行研究，我們將使用田野調查法與實驗研究法。第四階段為數據分析，我們將會在完成實驗後，將實驗中的結果進行分析與討論，得出結論。

## 二、文獻探討：

### (一) 鐵的金屬性質：

在地殼中鐵的蘊藏量僅次於鋁，約占地殼總重量的 5%。以現代的分類而言，自古以來的冶鐵工業所生產的鐵主要有塊煉鐵（熟鐵）、生鐵（鑄鐵）與鋼三種。三者之間的區別在於含碳量的多寡。含碳量在 0.5%以下而含有其他雜質和渣滓的塊煉鐵或熟鐵，也稱「鍛鐵」；如果碳量在 0.5%-2%而雜質少的，稱為碳鋼；含碳量在 2%-5%的是生鐵。因為生鐵只能用熔化、澆注的方法鑄造成型，又稱「鑄鐵」。(宋昱潔，2008)

熟鐵較生鐵與鋼鐵軟，富延展性，加熱後可以鍛打製成各種器具。由於含碳量少，所以熔點較高，約近於攝氏 1500°C（純鐵熔點為 1537°C）。生鐵熔點低，最低可達 1146°C，比熟鐵約低 300°C，硬度比熟鐵高，質較脆，不適於展接與鍛接，而適用於鑄器。(宋昱潔，2008)

### (二) 相關鐵砂文獻：

#### 1.鐵砂磁鐵砂霧沙沙-金門砂灘上磁鐵砂的前世今生（楊子卉等，2014）

- (1) 金門砂灘上磁鐵砂來自黑雲母轉變而來，而黑雲母源自金門的花崗岩體。
- (2) 磁鐵砂 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 化學組成相當穩定，並非以二價鐵 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) 或三價鐵 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 存在，因此不易生鏽（氧化）。

#### 2.鐵砂的秘密（高詠渝等，2011）

- (1) 台灣東北角海岸老梅砂灘鐵砂含量最多，約 25.7%，其次為白砂灣約 3.0%。
- (2) 各採樣點鐵砂含量不同，可能跟地形形成、河道及火山有關，尚待研究。

#### 3.風吹沙—草漯沙丘粒度及鐵礦砂含量分析（馮敬庭等，2006）

- (1) 台灣西部沿海鐵礦之來源，可能是岩石經風化作用而形成，台灣北部火成岩區岩石富含鐵質，風化後產生大量磁鐵礦砂，為西北部沿海磁鐵礦砂主要來源。
- (2) 由於磁鐵礦砂密度較一般砂粒大，在風力搬運過程中，磁鐵礦有富集的情況發生，故沉積砂層中磁鐵砂含量若較高，則為風力侵蝕作用造成。

#### 4.台灣經濟礦物（譚立平、魏稽生，1997）

- (1) 台灣北部磁鐵礦砂分布在大屯山北方，淡水到金山為主要分布區域，1973 年曾大量開採，1979 年礦源枯竭而停採。
- (2) 台灣北部的磁鐵礦砂應來自大屯火山區及觀音山的安山岩，而西南部的磁鐵礦砂則可能經過多次風化作用而富集。

5.鐵砂的秘密-台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析，如圖 2（紀宥安等，2022）

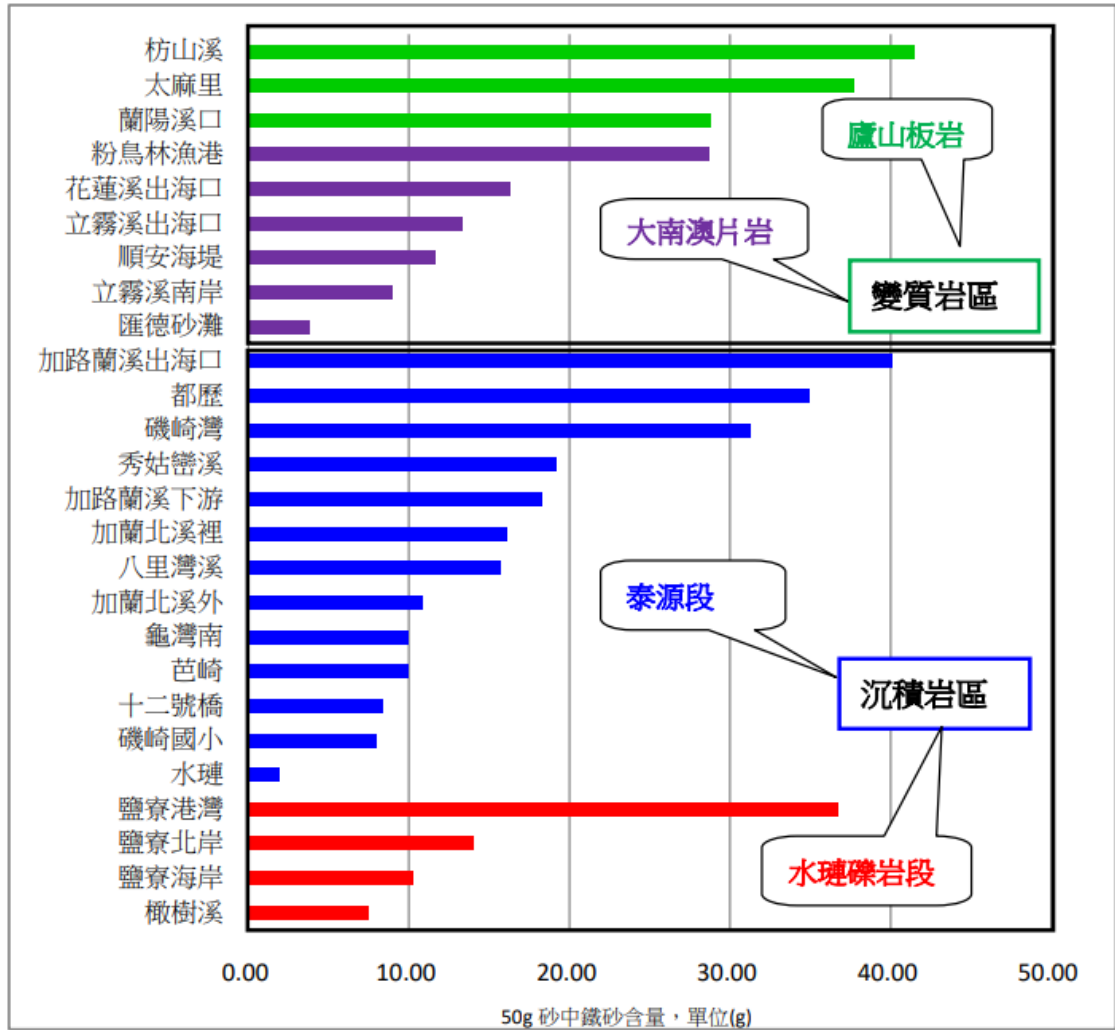


圖 2：台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析

(三) 各遺址介紹：

1.崇德遺址：

「崇德遺址」位於台灣花蓮縣秀林鄉崇德村的立霧溪北河口左岸河階台地，太魯閣族語的部落名稱為 **Tkijig**，詞意為大岩石，即早期部落建於大岩石的上方，面積約 8 公頃。崇德遺址早期是傳說中著名的產金地。日治時期日人在立霧溪採砂金，發現地底下埋藏著早期的陶罐、金製品，以及人骨遺留。研究成果顯示，大約在距今 1500-900 年左右，為鐵器時代，具有冶鐵技術，從陶器來看，很可能與十三行文化、靜浦文化有一定的互動關係。崇德遺址的文化歸屬為「十三行文化普洛灣類型」，年代距 1400-300 年。過去曾發現印紋陶片、素面陶片。在試掘中，曾出土完整的室內葬、陶罐與大量的陪葬品（尹意智、姚書宇，2019）。

在崇德遺址當地的太魯閣族人表示，原居於此地的猴猴人（**Makqoring**）有相關煉鐵文化。1995 年 5 月，在遺址附近的秀林鄉崇德國小師生，曾經前往遺址座

落的農地上進行鄉土教學活動，在農地地表上採集到陶片和煉鐵殘留等，該校並在其後持續帶領學生採集隊，採集的文化遺物也日益增加，為了鄉土教學活動的教材參考運用，遂在 1995 年 6 月成立鄉土教材館，館內遺物區分為石器、陶片及把手、鐵器與煉鐵殘渣，後來加上當地太魯閣族群的傳統生活文物也在館內展列。

在崇德考古遺址進行試掘與搶救發掘中，出土砌石結構與墓葬。(花蓮縣文化局，2020) 在試掘調查的過程中便於興建住宅的基地範圍內出土一座鐵器時代的墓葬(姚書宇，2022) 在崇德等地遺址發現煉鐵、煉金的遺跡，研判北部十三行文化人為生活東遷，可能追尋砂金而來。研究中也發現，崇德遺址中有鐵渣、黃金，證實十三行文化人，除生活需要東遷外，砂金也是目的之一(劉嘉泰，2009)。

## 2.十三行文化：

十三行文化人生活使用容器為紅褐夾砂陶器，因有煉鐵殘渣的發現，顯示當時已有煉鐵技術。關於十三行遺址的煉鐵文化，1955 年空軍飛行員潘克永少校在駕駛飛機經過台北縣觀音山區上空時，因羅盤混亂而發現顯著磁力異常現象。林朝棨教授見到所謂「鐵礦碎片」時便認為其非鐵礦而為土法煉鐵的遺留物，確認此地有史前遺址的存在。此遺址便是現今著名的十三行遺址。大量鐵質石塊也燃起了學者們對史前住民的製鐵技術的研究興趣。

1965 年，報社刊登觀音山西麓發現「隕石」的消息，然而，台灣大學地質系教授陳培源在勘訪埤頭村與十三行一帶所謂「隕石」的出土地之後卻針對此說法提出駁斥，陳教授認為所謂埤頭村之「隕石」不論在外觀、內部組成、成分上都與一般由太空墜落的隕石差異甚大，且其組成成分以一氧化鐵為主，此種氧化鐵幾乎未見於天然礦物中，一般多屬於熔融鐵礦或金屬鐵在急速冷卻時所產生，故此種「隕石」並非天然生成。而此所謂「隕石」卻與舊式煉鐵之鐵滓甚為相近，按台灣土法煉鐵常以鐵砂與木炭混合或交疊成層於風爐中，經燃燒後鐵砂(磁鐵砂， $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )還原成生鐵。另外，林朝棨教授結合了考古學、民族學、歷史文獻等方面的資料，討論過去台灣北海岸地區原住民可能持有的礦業技術，認為從鐵質石塊外觀、成分、內部結構等方面所做的各種分析與陳培源教授的結論相同，故確認十三行遺址的鐵質石塊為冶煉遺留物。(宋昱潔，2008)

#### (四) 煉鐵介紹

十三行遺址以煉鐵文化聞名，考古學家為仿造煉鐵爐，採集鐵砂，以鵝卵石、黏土，建兩個高約 90~100 公分、外徑約 100 公分的煉鐵爐，鵝卵石構成爐身，不能直接暴露在火焰下，否則會受熱爆裂，故在內壁糊上一層黏土，在爐外點燃木炭，夾入爐內，一層炭上放一片木板，鋪近一層礦砂；再放一層炭、一片板、一層礦砂，採用兩側鼓風。煉鐵關鍵在於燃燒產生的一氧化碳（CO）是否在爐內有足夠的時間與礦砂產生還原反應，置換氧化鐵中的氧而還原鐵。

台灣考古學中對鐵器的相關討論由早期日籍學者開始，十三行遺址帶動了史前時代鐵器生產的研究。陳培源與林朝棨兩位教授所做的科學分析證明台灣史前住民已具備鐵器生產能力。1990 年代初期對十三行遺址出土鐵渣，提供了研究者推論鐵器時代文化內容和製鐵技術來源。陳光祖教授(2019)對遺址出土的鐵渣與鐵器的科學分析來瞭解原料產地、製作技術，討論台灣古代製鐵技術問題，認為史前台灣曾出現兩種不同的冶鐵傳統，一種以北部十三行文化為代表，一種以東部靜浦文化為代表，十三行文化的冶鐵技術應為塊煉法，將鐵塊自爐中取出後再鍛打成形，使用的原料為附近海岸自然沉積的磁鐵礦砂；靜浦文化的製鐵技術尚有諸多未明之處，從民族誌資料和鐵渣型態來看，與東南亞地區流傳的冶金系統關連性較高。

鐵本身的熔點較銅高，因此所需要的技術門檻亦較高，所以鐵器時代的發展總是接續在青銅器時代之後。煉鐵步驟為將鐵礦石、焦炭及助熔劑等，由高爐頂部加入爐內，再由爐下部鼓風嘴，吹入高溫熱風，產生還原氣體，將鐵礦石還原，產生熔融鐵水與熔渣。至目前為止所生產出來的鐵水含碳量大約在 3%~5% 左右冷卻、成形之後，就是鑄鐵（董國安、黃瀚緯，2022）。

冶煉鐵的方法分為低溫固態法及高溫液態法，低溫固態法又稱塊煉法，所需溫度較低，煉爐高度不需太高，成品為鐵塊（如圖 3）；高溫液態法又稱高爐煉鐵法，溫度需 1146 度，煉爐高度要高，以提升對流效應，成品為液態鐵，每種爐的下方，一邊為鼓風口，一邊為出風口，也是出鐵口（如圖 4）。（宋昱潔，2008）

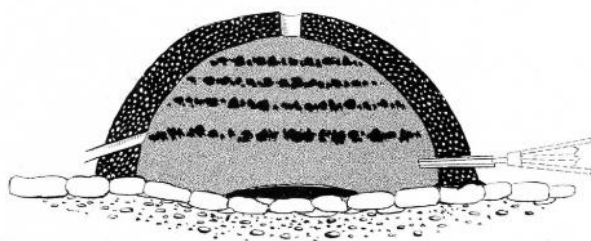


圖 3：低溫固態法又稱塊煉法

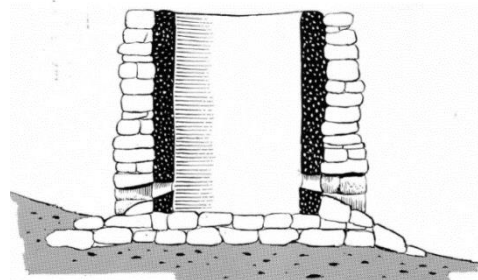


圖 4：高溫液態法又稱高爐煉鐵法







### 三、實驗設計

#### (一) 室外考察

##### 1. 十三行博物館

(1) 在文獻探討中，我們發現崇德遺址的煉鐵技術是承襲自十三行文化，因此我們到十三行博物館參觀，了解其煉鐵的方法與技術。

		
	<p>十三行博物館煉鐵爐模型</p>	
<p>十三行博物館所在地</p>	<p>模擬煉鐵照</p>	<p>十三行博物館煉鐵爐模型</p>

照片 13~17 十三行博物館相關圖片

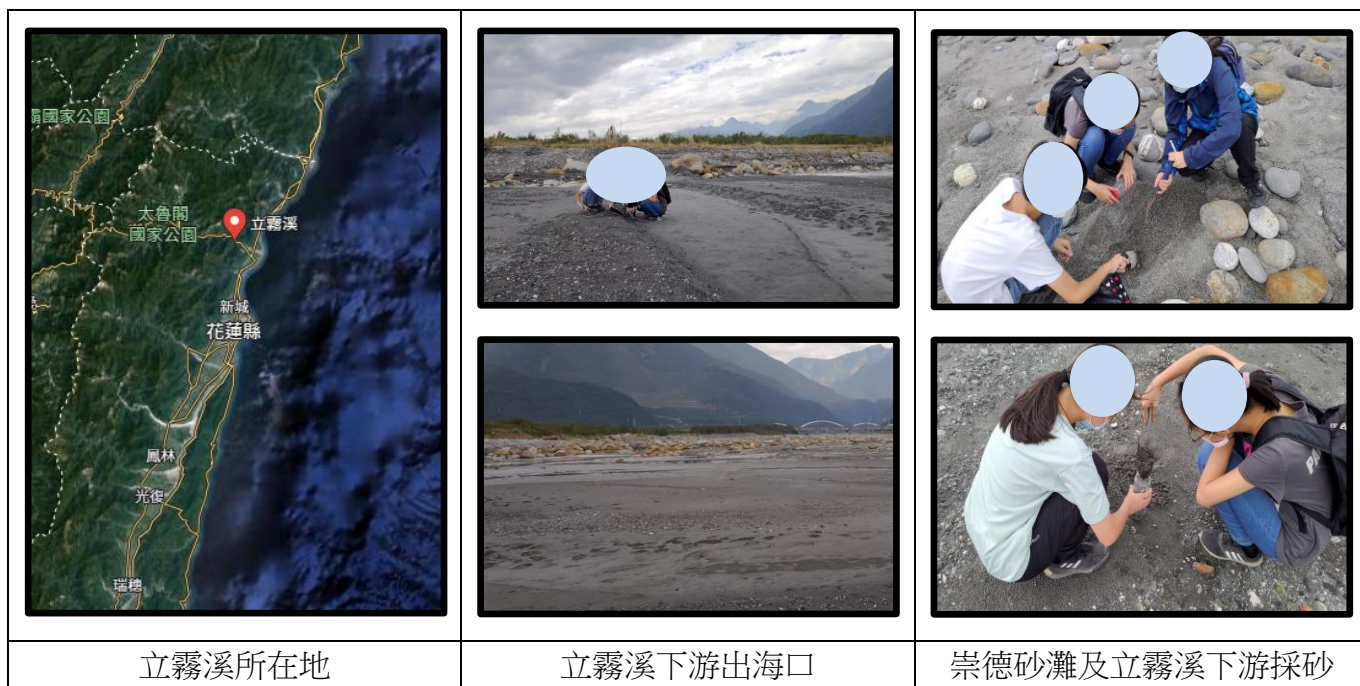
##### 2. 崇德遺址

(1) 我們先要考察，在之前的文獻影片中，找到崇德遺址的所在地，我們希望考察此地方，了解當地的地理環境及採集鐵渣與陶片。

		
	<p>崇德遺址現況</p>	
<p>崇德遺址所在地</p>	<p>崇德遺址現況</p>	<p>鐵渣、陶片</p>

照片 18~22 崇德遺址相關圖片

(2)崇德遺址在文獻中有鐵渣的出現，我們認為先民猴猴人應該是採集沙灘或採集立霧溪下游的砂石煉鐵，並比較此兩地與其他地方的砂石含鐵量多寡。

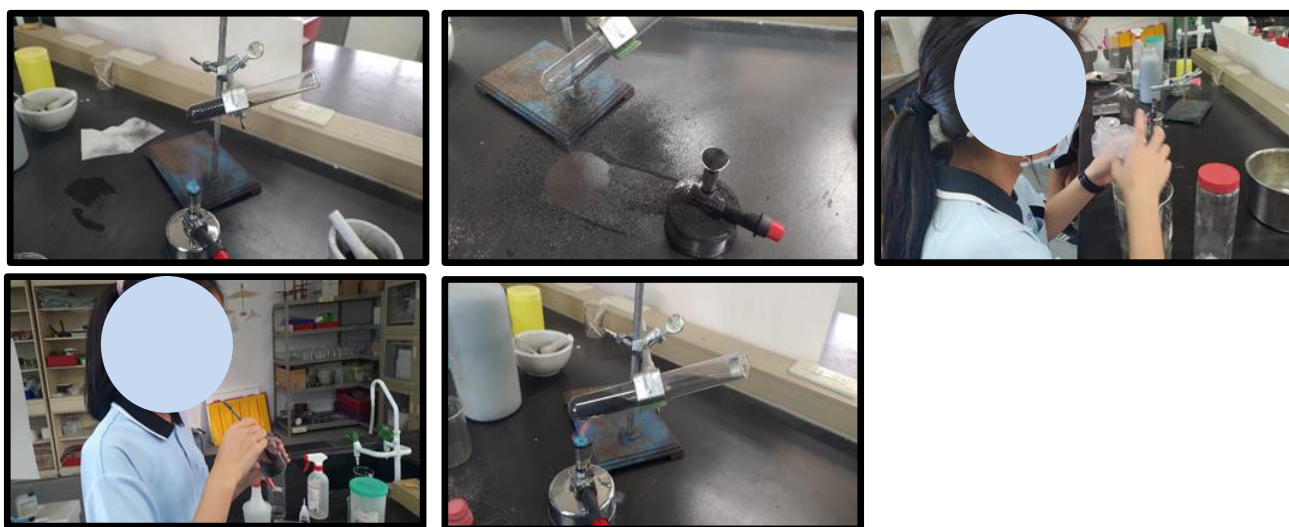


照片 23~27 立霧溪相關圖片

## (二) 室內實驗

### 1. 第一次煉鐵實驗

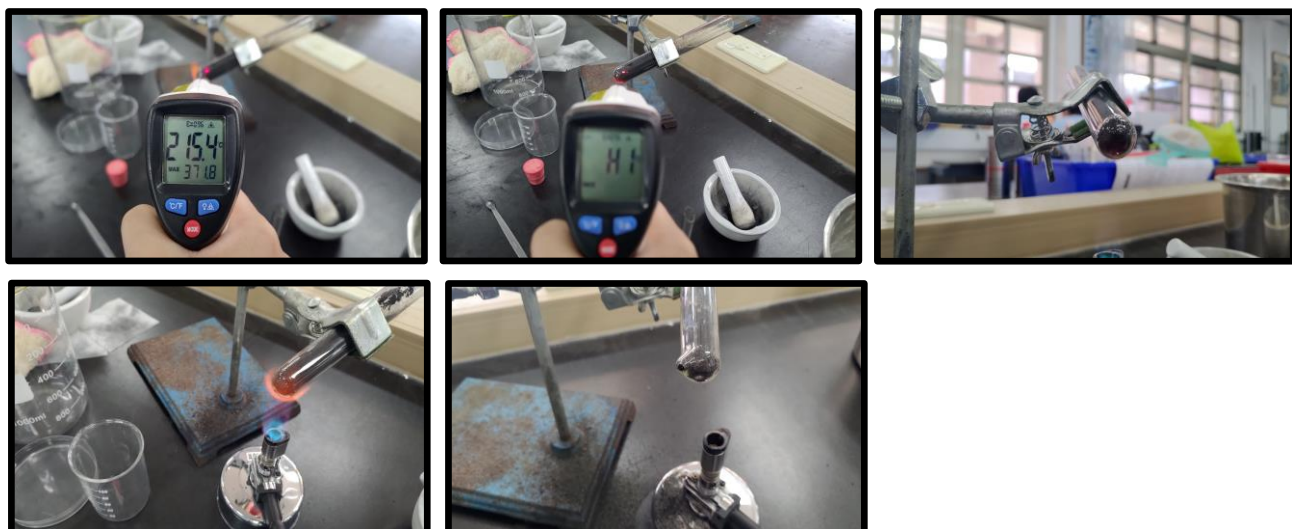
- (1) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：20：3
- (2) 溫度計：無
- (3) 架設裝置：鐵架及鐵夾



照片 28~32 第一次煉鐵實驗相關照片

## 2. 第二次煉鐵實驗

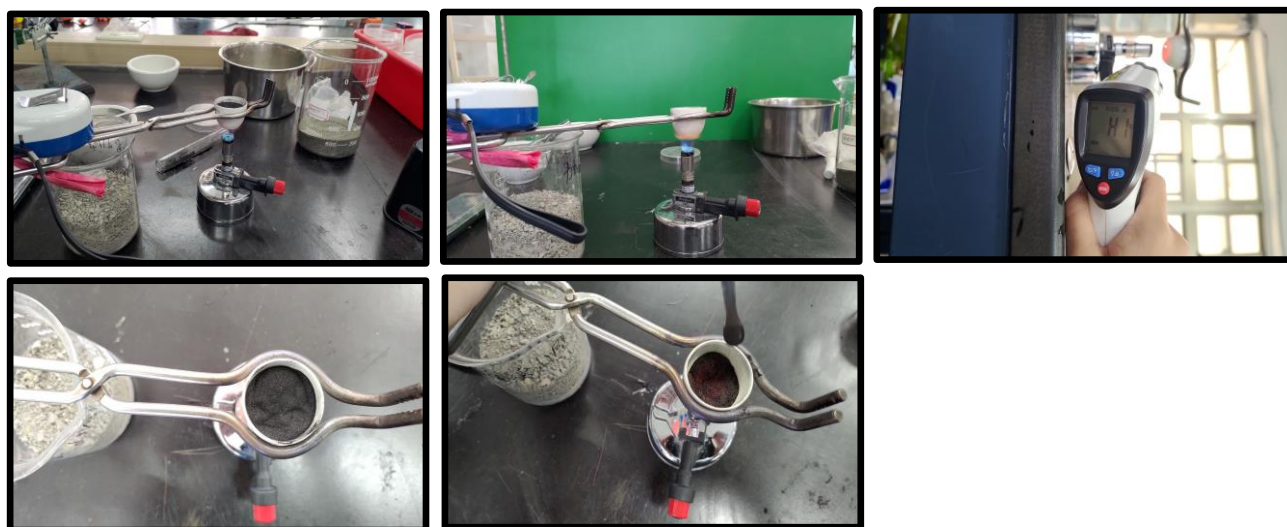
- (1) 實驗容器：硬試管
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：20：3
- (3) 溫度計：紅外線溫度計
- (4) 架設裝置：鐵架及鐵夾



照片 33~37 第二次煉鐵實驗相關照片

## 3. 第三、四次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：無蓋瓷製坩堝
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：20：3
- (3) 溫度計：紅外線溫度計
- (4) 架設裝置：坩堝鉗



照片 38~42 第三、四次煉鐵實驗相關照片

#### 4.第五次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：無蓋瓷製坩堝
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：20：3
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：坩堝鉗+烤肉架



照片 43~45 第五次煉鐵實驗相關照片

#### 5.第六、七次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：無蓋瓷製坩堝
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：9：1
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：坩堝鉗+烤肉架



照片 46~48 第六、七次煉鐵實驗相關照片

#### 6.第八、九次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：無蓋瓷製坩堝
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：5：7
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：坩堝鉗+烤肉架



照片 49~51 第八、九次煉鐵實驗相關照片

## 7.第十次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：茶壺
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：5：7
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：坩埚鉗+烤肉架



照片 52~54 第十次煉鐵實驗相關照片

## 8.第十一次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：有蓋瓷製坩埚
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：5：7
- (3) 溫度計：紅外線溫度計
- (4) 架設裝置：坩埚鉗+烤肉架



照片 55~57 第十一次煉鐵實驗相關照片










## 9. 第十二次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：使用紅磚與陶土建窯
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：7：4（14 公斤：8 公斤）
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：如照片 58~72

		
照片 58：鋪砂	照片 59：建窯雛形	照片 60：以陶土填縫
		
照片 61：以噴燈烘乾陶土	照片 62：陶土填縫完畢	照片 63：留一洞口以便空氣流通
		
照片 64：點燃碳精	照片 65：以紅外線溫度計測量溫度	照片 66：建窯完成模型
		
照片 67：以探針溫度計測量溫度	照片 68：木炭燃燒情形	照片 69：以吹風機幫助木炭燃燒
		
照片 70：每半小時加入鐵砂與碳精	照片 71：以夾子夾出掉落的鐵渣	照片 72：以夾子夾出掉落的鐵渣

## 10.第十三次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：使用紅磚與陶土建窯
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉）：12：5（24 公斤：10 公斤）
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：如照片 73~81

		
照片 73：點燃碳精	照片 74：建窯完成模型	
		
照片 75：建窯完成開始煉鐵	照片 76：煉鐵情形	
		
照片 77：煉鐵情形	照片 78：煉鐵情形	
		
照片 79：溫度過高導致鍋子鍋蓋毀損	照片 80：毀損的三個鍋子	

## 伍、實驗結果與討論

### (一) 考察結果

#### 1. 證明崇德遺址鐵砂來自於立霧溪以及崇德砂灘鐵量高

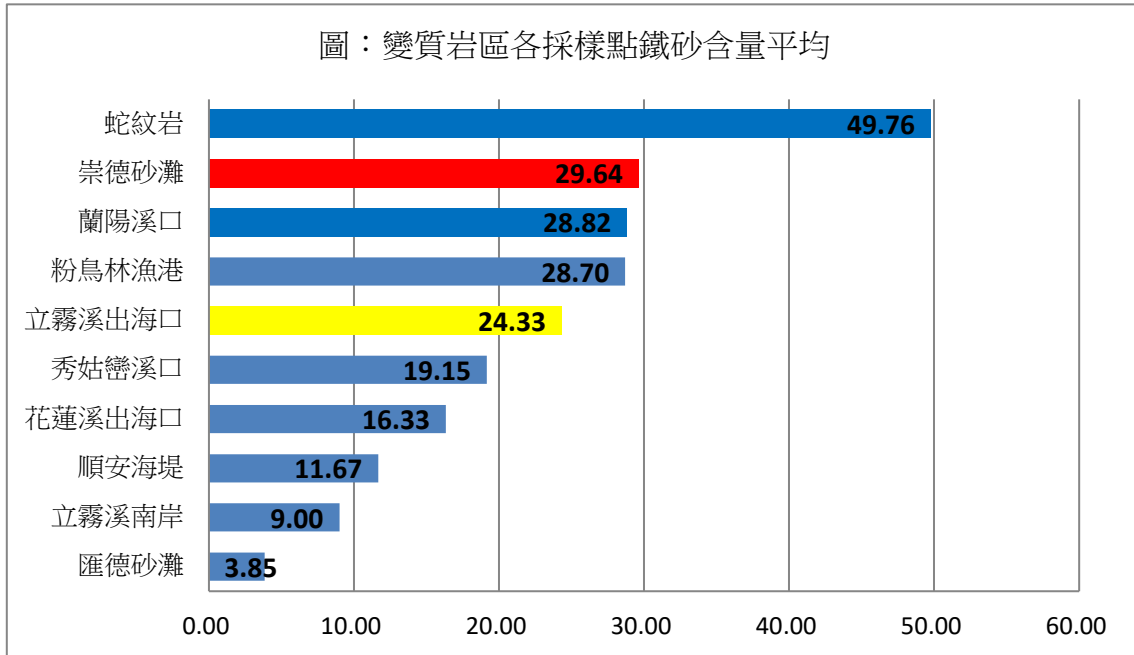
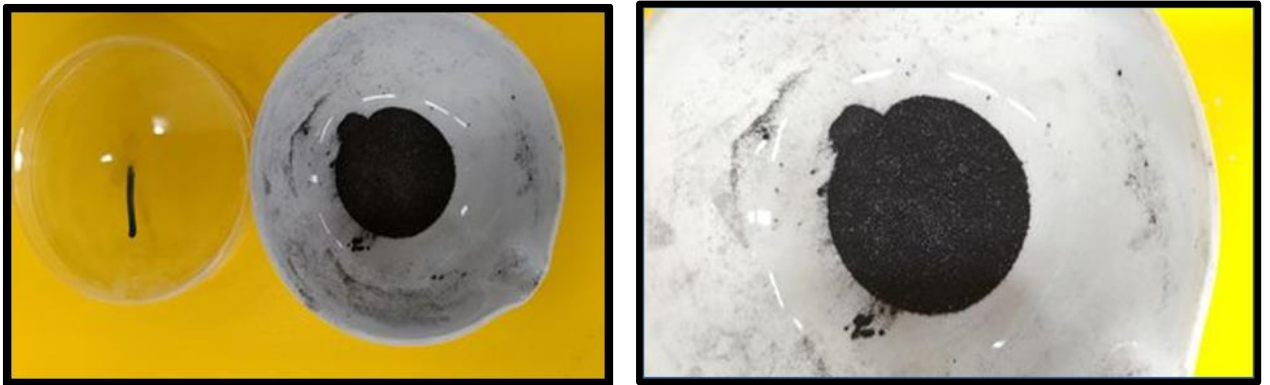


圖 3 變質岩區各採樣點鐵砂含量平均

### (二) 煉鐵實驗結果

#### 1. 第一次煉鐵實驗

##### (1) 結果：



照片 81-82 第一次煉鐵實驗相關照片

##### (2) 討論：

第一次嘗試煉鐵，我們在開始燒之後的五分鐘，試管即裂開。我們認為，試管太薄，且本生燈的火力過於集中，才造成試管破裂、鐵粉掉出。另外，煉鐵需要高溫，經過小組討論之後，我們在下一次的實驗中，除了會使用較厚的試管、將試管稍微遠離本生燈之外，也會利用溫度計測量溫度，希望可以煉出鐵渣。



## 2. 第二次煉鐵實驗

(1) 結果：



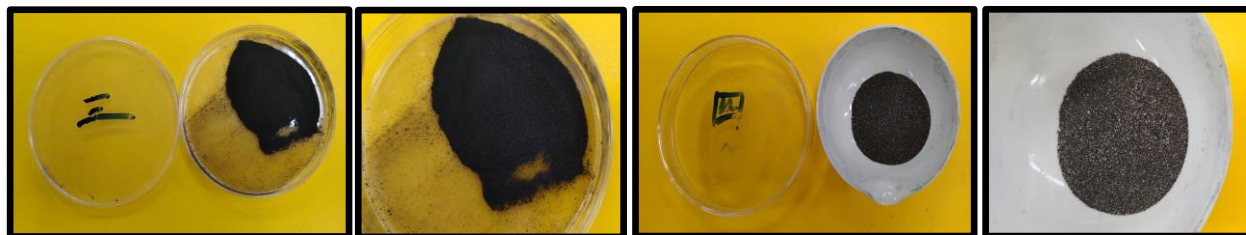
(2) 討論：

照片 83-84 第二次煉鐵實驗相關照片

第二次嘗試煉鐵，我們選擇了較硬的試管，同時我們也將本生燈的火力調小、將試管調高，避免試管破裂影響實驗。這一次我們增加了溫度計的裝置，我們是使用紅外線溫度計測量煉鐵時試管表面的溫度。過程中，測出來的溫度多次達到三百多度，甚至在測量的時候顯示溫度過高無法測量。透過觀察，我們發現試管的底部呈現紅色，且部分呈半液體狀。在查詢文獻之後，我們發現，玻璃在溫度大約攝氏 600 度時，玻璃會呈現紅色，當溫度達到大約攝氏 700 度時，玻璃會有位置稍微改變的情形發生，在大約 800 度時，玻璃就會變成液體。從文獻中我們得知，我們這一次的煉鐵溫度大約達到攝氏 700 度左右，因而導致試管變色。我們等到試管冷卻後，用水將碳粉分離，但並沒有發現鐵渣，推測可能是因為溫度不夠高所致。因此，我們下一次的實驗將會將試管替換成其他器皿，以解決玻璃耐熱度的問題。

### 3. 第三、四次煉鐵實驗

(1) 結果：



照片 85-88 第三、四次煉鐵實驗相關照片

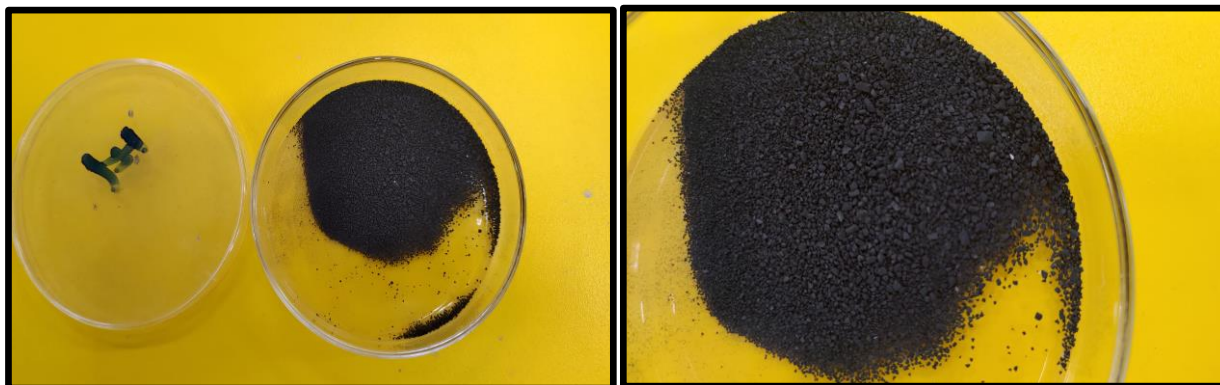
(2) 討論：

第三次嘗試煉鐵，由於在之前的實驗中，試管皆不幸破裂，我們選擇了以陶瓷製的坩堝代替玻璃製的試管，避免破裂的情形發生。在煉鐵的過程中，紅外線溫度計所顯示的溫度多次高於測量的範圍，以肉眼觀察，我們發現坩堝的底部長時間成紅色，表示溫度已經有達到一定的高度。根據文獻所顯示，陶瓷坩堝使用時的溫度可以達到攝氏 1300 度，相較於玻璃試管的使用溫度高，因此得以作為煉鐵時使用。然而，由於坩堝可耐高溫，因此我們在這次出現了本生燈無法繼續燃燒的問題，因此將這一次的實驗被迫告一段落。我們於實驗結束後，用水將碳粉分離，雖然鐵砂部分呈現粒狀，但因我們於實驗前並沒有將碳粉與鐵砂搗碎與過濾，因此並無法分辨粒狀的東西是否為鐵渣，我們將以相同的方式再次做實驗，並將碳粉與鐵砂搗碎與過濾，以驗證是否有鐵渣產生。

第四次嘗試煉鐵，我們以同樣的裝置再次實驗，溫度同樣已經高到超過紅外線溫度計的測量範圍，但根據我們的觀察，我們發現，燒過的鐵已有一些呈現「紅色」，可說是實驗的一大進展。而本生燈無法繼續燃燒的問題，我們在這次的實驗當中做了改善，我們準備的二至三個本生燈，在本生燈無法持續燃燒時，便使用另外一個，因此這也是我們推測此次鐵粉可以呈現「紅色」的一大原因。另外，這次我們於實驗前有將碳粉與鐵砂搗碎與過濾，因此實驗最後證明確實有鐵渣的產生。我們希望在下一次的實驗，改善溫度計無法測量的問題，以準確掌握煉鐵溫度，增加成功率。

#### 4. 第五次煉鐵實驗

(1) 結果：



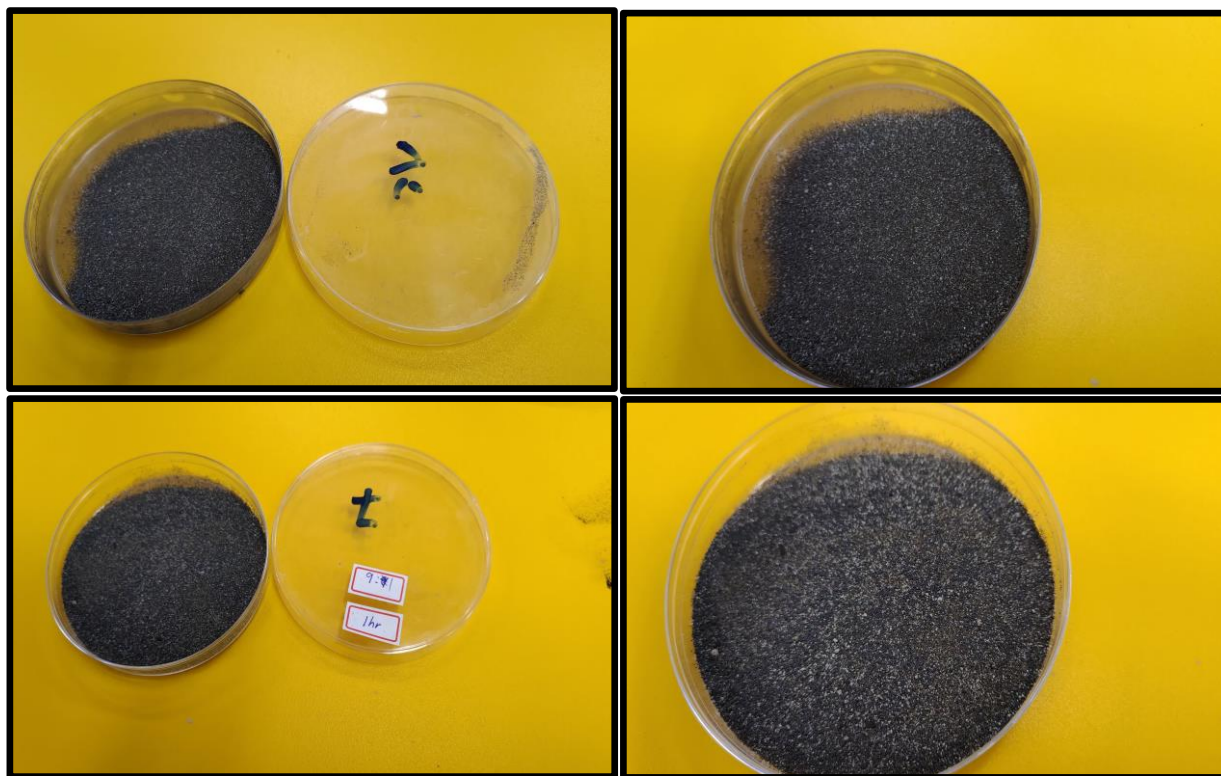
照片 89-90 第五次煉鐵實驗相關照片

(2) 討論：

第五次嘗試煉鐵，我們改善了紅外線溫度計無法測量高溫的問題，我們改成使用探針溫度計來進行實驗，此溫度計可以測量高達攝氏 700 度。根據本次實驗結果，我們同樣以鐵碳比例 20：3 的方式煉鐵，也成功發現鐵渣，且在此次實驗當中，發現我們煉鐵的溫度可以高達攝氏 500 多度，可惜鐵渣量不多，因此我們推測，或許是煉鐵比例出現問題，所以我們將會去搜尋相關資料及煉鐵化學式，找到兩者比例後，繼續嘗試。

## 5. 第六、七次煉鐵實驗

(1) 結果：



照片 91-94 第六、七次煉鐵實驗相關照片

(2) 討論：

第六次嘗試煉鐵，我們利用煉鐵化學式 ( $3\text{C} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{Fe}$ ) 求出兩者比例，鐵碳比例為 9：1，本次實驗僅進行約 1 小時，但並沒有煉出鐵渣，因此我們推測可能是因為時間不足，經過討論後，我們決定再次進行實驗，將煉鐵時間拉長，期盼能煉出鐵砂。

第七次嘗試煉鐵，與第六次實驗大致相同，唯一不同的是我們將此次實驗的時間增加為 3 小時，用水將碳粉分離後，發現有部分鐵渣。於第七次實驗結束後，我們依然持續查閱相關煉鐵文獻，希望能找出更快更好的方法。我們有發現一篇有關煉鐵論文，其煉鐵的比例為 5：7，且有成功煉出鐵砂，因此我們決定利用鐵碳為 5：7 的比例，繼續進行實驗，希望可以找出更好的煉鐵比例。

## 6. 第八、九次煉鐵實驗

(1) 結果：



照片 95-96 第八、九次煉鐵實驗相關照片

(2) 討論：

第八次嘗試煉鐵，我們將鐵碳比例更改為 5：7，實驗結束後我們發現上面出現了一大片紅色粉末，且煉鐵溫度也已高達攝氏 600 多度，因為出現紅色粉末實在不尋常，因此我們懷疑，會不會是溫度計上因溫度過高，而有東西掉下去，為了使實驗結果更加準確可信，我們決定以相同裝置與比例再次進行實驗，但會將溫度計拉起，不與鐵砂接觸，希望可以得出更準確的結果。

第九次嘗試煉鐵，我們與第八次相同，使用相同裝置與比例，並將溫度計拉起，實驗結束後發現，依然出現了紅色粉末，並且我們將其以磁鐵吸取，發現會被吸引，因此我們推測那就是所謂的鐵渣，也證明了鐵碳比例為 5：7 時可以煉出較多的鐵渣。



照片 97 第八、九次煉鐵實驗相關照片

## 7. 第十次煉鐵實驗

(1) 結果：



(2) 討論：

照片 98-99 第十次煉鐵實驗相關照片

第十次嘗試煉鐵，我們將以往的瓷製坩堝改為同為瓷製的茶壺，想要看看究竟茶壺是否能拿來煉鐵，另外，除了好奇之外，我們會使用茶壺的另一個原因是因為茶壺具有蓋子，根據先前的實驗結果，有煉出鐵渣的都為紅色，我們推測是因為鐵遇到空氣變成氧化鐵，因此我們希望能找個有蓋的裝置，使其氧化的程度降低。沒想到，茶壺燒了不到一分鐘便出現破裂的聲音，我們立即停止實驗，也透過這個實驗證明，茶壺無法承受過高的溫度，也無法拿來煉鐵。

## 8. 第十一次煉鐵實驗

(1) 結果：



照片 100-101 第十一次煉鐵實驗相關照片

(2) 討論：

第十一次嘗試煉鐵，由於我們希望使用有蓋的裝置，卻無法使用茶壺時，我們上網查詢相關資料，發現有「有蓋坩堝」，因此這次實驗我們便利用有蓋坩堝來進行實驗，實驗結果發現，使用有蓋坩堝依然可以煉出塊狀鐵渣，且數量很多，其大部分的顏色為黑色，紅色氧化鐵的部分較少，由此可證明坩堝的煉鐵效果較其他的裝置好。

## 9. 第十二次煉鐵實驗

### (1) 結果：



照片 102-110 第十二次煉鐵實驗相關照片

### (2) 討論：

第十二次煉鐵，我們仿照先人煉鐵方式，也參考十三行博物館及宋昱潔學者煉鐵方式，但使用紅磚代替礫石建窯煉鐵，窯底有入風口，並以吹風機當作鼓風爐，另一側有出風口，以增加對流效應，出風口也會定時通砂，檢視鐵砂生成狀況，窯頂口以鐵鍋封蓋，確保為封閉環境。我們先討論出建窯初步模型，並使用陶土填滿磚與磚之間的縫隙，接著利用噴燈點燃碳精，點燃後放進窯中，再倒入砂子，之後每半小時加一次砂子與碳精，持續十次。經過 5 小時吹風機鼓風（12：00-17：00），再經過一晚冷卻 13 小時後（17：00-08：00），隔日早上 08：00 開爐看結果，共可煉得金屬鐵塊 450 公克，還有未反應完全的鐵渣 1.2 公斤，本次實驗煉出大量鐵渣，甚至有些鐵渣具有金屬光澤，實驗極為成功，也證明了先人使用海砂煉鐵確實有其可能性；而紅磚耐熱，而炭精續火能力極強，加以吹風機取代鼓風爐，增加氧化還原反應的效率，這些都是實驗成功的重要因素。

## 10. 第十三次煉鐵實驗

### (1) 結果：



照片 111-119 第十三次煉鐵實驗相關照片

### (2) 討論：

第十三次煉鐵，我們延續第十二次實驗的步驟與方法，鐵砂改用崇德遺址附近的海砂，此砂未經強磁篩砂，實驗全程進行錄影，本次實驗每半小時加一次砂子與碳精，持續十四次。2023/4/3 早上 10：00 開始煉鐵，吹風機鼓風 7 小時（10：00-17：00），再經過一晚冷卻 13 小時後（17：00-08：00），隔日早上 08：00 開爐看結果，共可煉得金屬鐵塊 500 公克，還有未反應完全的鐵渣 1.4 公斤，本次實驗結果發現，依然產生許多鐵渣，且因煉鐵實驗時間較上次實驗長，因此具有金屬光澤的鐵渣也較多，本研究實驗使用崇德遺址附近的海砂，可見崇德砂灘也能有煉鐵的效果，證明崇德遺址煉鐵材料來自崇德砂灘之鐵砂。



## 陸、結論

- 一、崇德遺址上可採到鐵渣及陶片，證明此地曾經是煉鐵的地方，依遺址所在的週邊觀察，鐵砂可能來自崇德海灘或立霧溪河砂。
- 二、依本組先前的有關台灣東部海岸鐵砂含量之研究所示，宜蘭蘭陽溪、花蓮秀姑巒溪及屏東枋山溪等溪流的河砂中含鐵量高，本次實驗所採的立霧溪下游河砂含鐵量和崇德海灘鐵砂含量很高，先民猴猴人可能是採集這些地方的砂石煉鐵。
- 三、煉鐵溫度要高達 1200°C，我們用一般玻璃及硬玻璃當容器都難耐高溫而失敗，溫度高之外還要持續加溫數小時才能成功。
- 四、依氧化還原理論，C 活性大於 Fe，所以可以碳粉來還原我們所收集來的鐵砂，我們依煉鐵的反應方程式，得知各物質質量比 C : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 為 1 : 9，但依此比例煉鐵效果不佳，CO<sub>2</sub> 會逸散，影響反應結果。
- 五、第十一次實驗是依宋昱潔（2008）論文報告，Fe : C 質量比例 5 : 7 進行實驗，並改以能耐溫 1200°C 的坩鍋當容器，為模擬密封高爐煉鐵，我們使用坩鍋蓋加蓋加熱，實驗得到初步的紅色生成物，應是鐵渣。
- 六、第十二次煉鐵是仿造十三行博物館及宋昱潔學者煉鐵步驟，但爐壁以紅磚取代，並以陶土填充磚與磚間縫隙，上蓋鐵鍋，以製造封閉環境，鐵砂為採自花東海岸經強磁篩取過的鐵砂，並以市售碳精作為燃料，並做為煉鐵的還原劑，持續供熱 5 小時，靜置冷卻 13 小時，共可煉得金屬鐵塊 450 公克，還有未反應完全的鐵渣 1.2 公斤，煉鐵實驗有相當的成果，可說明花東海岸鐵砂有煉鐵之可能性。
- 七、有了煉鐵的成功模式，第十三次煉鐵，鐵砂改用崇德遺址附近的海砂，此砂未經強磁篩砂，持續供熱 7 小時，靜置冷卻 13 小時，共可煉得金屬鐵塊 500 公克，還有未反應完全的鐵渣 1.4 公斤，可見崇德砂灘也能有煉鐵的效果，證明崇德遺址煉鐵材料來自崇德砂灘之鐵砂。
- 八、對比先民猴猴人以礫石砌窯，以木材為燃料，以海邊砂石為原料，煉出鐵塊，本實驗因紅磚耐高溫，碳精火力強且持續，加以吹風機當作鼓風爐，煉鐵效率提高，因而有些成果，希望本實驗成果對了解崇德遺址煉鐵文化有些助益。

## 柒、參考資料

- 一、Xuite 日誌。「煉人物語」十三行煉鐵爐重現。
- 二、尹意智（2016）。2016 年花蓮縣文化局考古遺址保護工作與困境。
- 三、尹意智、姚書宇（2019）。花蓮縣秀林鄉崇德遺址 2019 年考古研究成果簡報。
- 四、尹意智、莊家銘（2017）。花蓮縣崇德遺址（下崇德段 834 地號）試掘評估報告書。
- 五、宋昱潔（2008）。龍門舊社遺址出土鐵渣與製鐵遺留之研究。
- 六、花蓮縣文化局（2020）。『看見』連結時空的壹圓硬幣—崇德考古遺址特展。
- 七、姚書宇（2020）。從花蓮縣崇德考古遺址談遺址保存與居住權的進退兩難。
- 八、紀宥安、黃詠安、蘇子淵（2022）。台灣經濟礦物。鐵砂的秘密—台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析。
- 九、高詠淪、許心瑀、朱家彤（2011）。鐵砂的秘密。
- 十、陳文山（2008）。岩石入門。臺北市：遠流出版公司。
- 十一、陳光祖、臧振華、劉益昌（2019），《十三行遺址出土文物文化內涵研究成果報告》，新北市立十三行博物館委託，中央研究院研究所執行。
- 十二、游太郎（2008）。太魯閣崇德台地發現千年墓葬遺跡。
- 十三、華人百科（2023）。崇德遺址。
- 十四、馮敬庭、黃鈺欽、龔怡雯、謝毓喬（2006）。風吹沙-草潔沙丘粒度及鐵礦砂含量分析。
- 十五、黃昱翔、楊鈞亦（2018）。一砂一世界-化仁砂丘沉積環境分析。
- 十六、楊子卉、黃夢萱、關丞孝（2014）。鐵砂磁鐵砂霧沙沙-金門沙灘上磁鐵砂的前世今生。
- 十七、董國安、黃瀚緯（2022）。鋼鐵冶煉與生活。
- 十八、劉嘉泰（2009）。【葡萄牙、西班牙、荷蘭人眼中的黃金之河立霧溪】十三行文化人東遷花蓮 崇德遺址發現煉鐵、煉金的猴猴人遺跡 老祖先千年尋金之旅。
- 十九、鍾采容、江旻勳、陳晴晴、劉婧（2021）。守護銅門刀的使命—連茂鐵店千錘百煉的創新思維。
- 二十、譚立平、魏稽生（1997）。台灣經濟礦物。新北市：經濟部中央地質調查所。