

投稿類別：自然科學

篇名：

崇德遺址出土鐵渣與製鐵遺留之研究

作者：

紀宥安。花蓮縣自強國民中學。八年 3 班。

黃詠安。花蓮縣自強國民中學。八年 6 班。

蘇子淵。花蓮縣自強國民中學。八年 5 班。

指導老師：

徐彥哲 老師

郭千睿 老師

壹●前言

一、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，我們發現東部地區的含鐵量極高，因此對於「煉鐵」有極大的興趣，經過我們查詢相關資料後，我們發現在立霧溪一帶的「崇德遺址」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。因此我們期盼透過這次研究，了解崇德遺址背景與相關資訊，並探討先民猴猴人之煉鐵文化與技術，最後，再利用實驗室之器材，實際模擬煉鐵技術，解開我們心中的疑惑。

二、研究目的

- (一) 了解崇德遺址背景與相關資訊
- (二) 探討先民猴猴人之煉鐵文化與技術
- (三) 實際模擬煉鐵技術

貳●正文

一、文獻探討

(一) 赤鐵礦介紹：

特徵為紅褐色的條痕。赤鐵礦晶體呈片狀、鱗片狀、菱體狀或板狀，部分呈纖維狀、塊狀結晶、錐狀，亦常見腎狀集合體，赤鐵礦是自然界分布極廣的氧化鐵礦物，台灣無大型赤鐵礦礦床，多為其他含鐵礦物氧化後生成。

(二) 各遺址介紹：

1. 崇德遺址：

崇德遺址位於花蓮縣立霧溪出海口，日治時期總督府殖產局，在立霧溪採砂金，發現地底下埋藏著早期的陶罐、金製品。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(劉益昌，2008)。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(尹意智、姚書宇，2019)。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。在研究中階段發現，崇德遺址中有鐵渣、黃金，證實東遷立十三行文化人，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。石器的出土，相對而言較少，應該是因應鐵器工具使用之後的變化(無作者，2022)。

3. 漢本遺址：

「Blihun 漢本遺址」位於宜蘭縣南端鄰近花蓮縣，涵蓋新石器時代晚期至金屬器時代，年代距今約 1100 年到 1700 年前。遺址文化內涵呈現出成熟的高溫工藝，包括金器、銅器、鐵器。他們擒熊、採貝、鏢魚、冶金、鑄銅、煉鐵(無作者，2022)。

4. 龍門遺址：

此遺址歸於十三行文化舊社類型之下。出土遺物除大量貝殼與多種外來物外，所見鐵渣型態相異的細碎鐵渣以及火燒紅土，總重約 20 多公斤(宋昱潔，2008)。

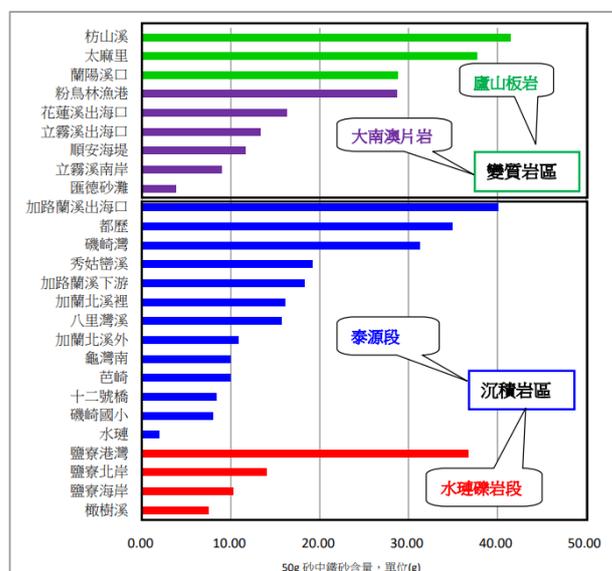
(三) 煉鐵介紹：

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(董國安、黃瀚緯，2022)。高溫爐實驗預定最高溫度為 1100°C，以及考慮到電爐與坩鍋的性質與安全性，故在升溫速度與持續時間上有一定的要求。實驗步驟如下：

1. 將木炭處理成碎塊與粉末
2. 將經磁力選礦後的鐵礦砂及少量海沙、碎炭塊分層置入內容積為 30 cc 的坩鍋中。鐵礦砂、海沙、木炭的重量比為 5 : 1 : 7
3. 將盛裝鐵礦砂之坩鍋放入爐中
4. 加熱。為避免熱衝擊，加熱過程分為 4 階段：以每分鐘 5°C 的速率由室溫加溫至 250°C 以 250°C 保溫 60 分再以每分鐘 5°C 的速率由 250°C 加溫至 1100°C 以 1100°C 保溫 6 小時
5. 降溫，採自然冷卻
6. 開爐，取得產物。(宋昱潔，2008)

(四) 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(Fe_3O_4) 化學組成相當穩定，並非以二價鐵(Fe^{2+}) 或三價鐵(Fe^{3+}) 存在，因此不易生鏽(氧化)。
2. 鐵砂的秘密(高詠淪等，2011)
 - (1) 台灣東北角海岸的老梅砂灘鐵砂含量最多，約 25.7%，其次為白砂灣約 3.0%。
 - (2) 各點鐵砂含量不同，可能跟地形、河道及火山有所關聯，尚待研究。
3. 台灣經濟礦物(譚立平等，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。
4. 鐵砂的秘密-台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析-右圖(紀宥安等，2022)



二、研究流程



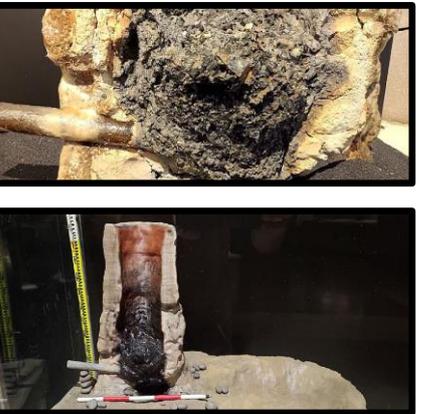
我們的研究步驟分成五個步驟。第一步驟為擬定研究主題與研究目的，第二步驟是進行文獻探討，我們詳細蒐集相關資料後進行文獻整理。第三步驟為進行實驗，我們設計相關煉鐵實驗，並在實驗後，針對各次實驗進行檢討與修正。第四步驟是針對實驗結果進行討論與分析，並將結果撰寫成研究報告。

三、實驗設計

(一) 室外考察

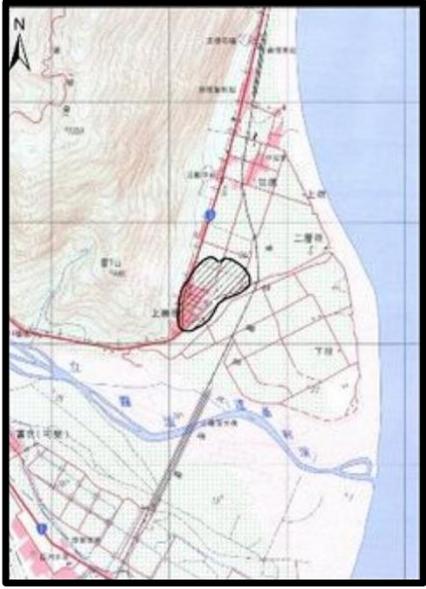
1. 十三行博物館

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

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

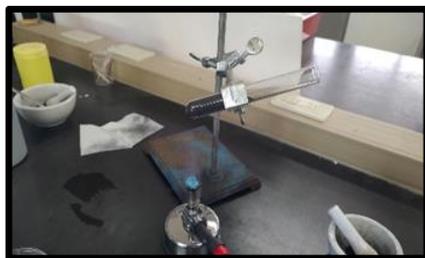
(2)崇德遺址在文獻中有鐵渣的出現，我們認為先民猴猴人應該是採集沙灘或採集立霧溪下游的砂石煉鐵，並比較此兩地與其他地方的砂石含鐵量多寡。

		
		
<p>立霧溪所在地</p>	<p>立霧溪</p>	<p>採砂</p>

(二) 室內實驗

1. 第一次煉鐵實驗

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



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）：20:3
- (3) 溫度計：紅外線溫度計
- (4) 架設裝置：鐵架及鐵夾



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）：20:3
- (3) 溫度計：紅外線溫度計
- (4) 架設裝置：坩堝鉗



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）：20:3
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：坩堝鉗+烤肉架



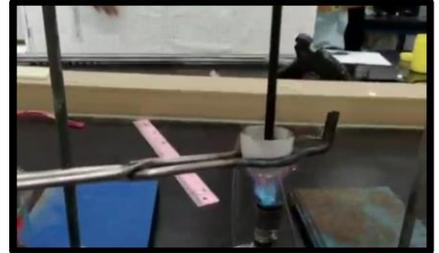
5. 第六、七次煉鐵實驗

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



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）：5:7
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 架設裝置：坩堝鉗+烤肉架



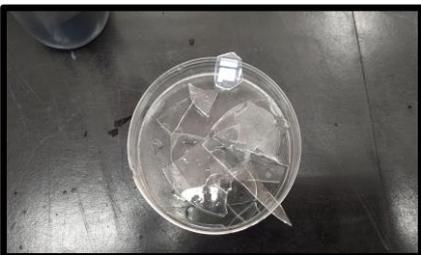
7. 第十次煉鐵實驗

- (1) 實驗容器：茶壺
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉）：5:7
- (3) 溫度計：探針溫度計
- (4) 設裝置：坩堝鉗+烤肉架



8. 第十一次煉鐵實驗

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



四、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沙灘

地點	鐵砂平均
匯德砂灘	3.85
立霧溪南岸	9
順安海堤	11.67
立霧溪出海口	13.33
花蓮溪出海口	16.33
崇德砂灘	17.5
秀姑巒溪口	19.15
粉鳥林漁港	28.7
蘭陽溪口	28.82
立霧溪下游	29.6
太麻里溪	37.7

表 1 變質岩區各採樣點鐵砂含量平均表

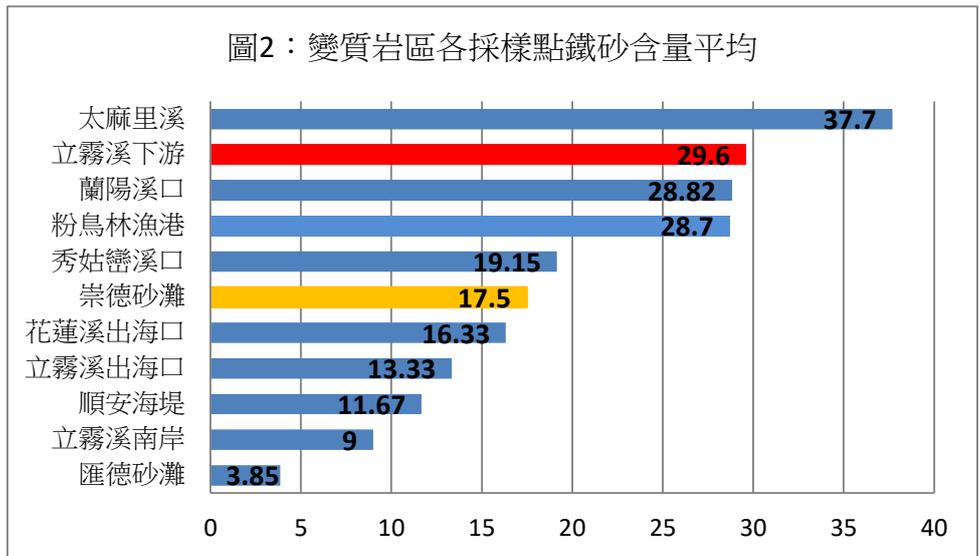


圖 3 變質岩區各採樣點鐵砂含量平均

(二) 煉鐵實驗結果

1. 第一次煉鐵實驗

(1) 結果：



(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，所以經過小組討論之後，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煉鐵時的溫度，希望可以煉出鐵渣。

2. 第二次煉鐵實驗

(1) 結果：



(2) 討論：

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：



(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：

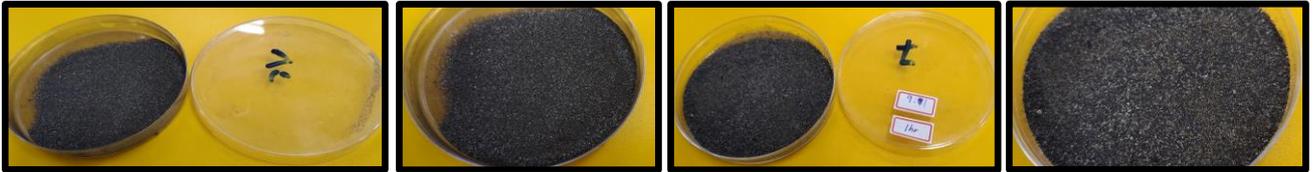


(2) 討論：

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：



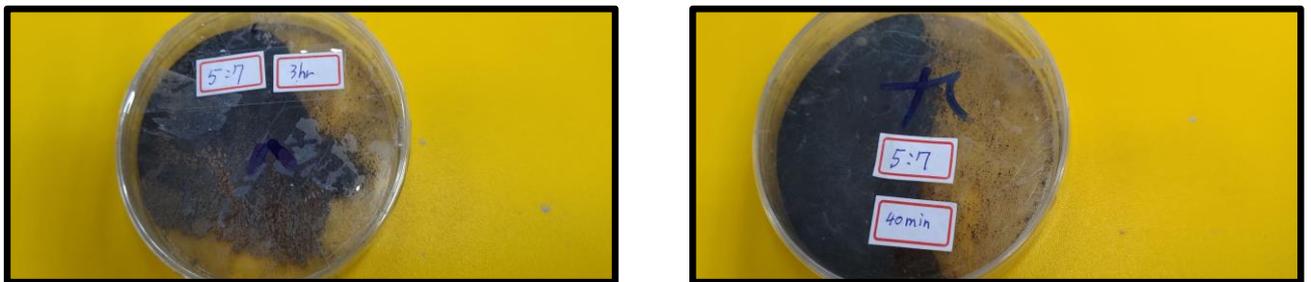
(2) 討論：

第六次嘗試煉鐵，我們利用煉鐵化學式($3C + 2Fe_2O_3 \rightarrow 3CO_2 + 4Fe$)求出兩者比例，鐵砂:碳粉比例為 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砂:碳粉為 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：



(2) 討論：

第八次嘗試煉鐵，我們將鐵砂:碳粉的比例更改為 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，也證明了鐵砂:碳粉為 5:7 的比例可以煉出較多的鐵渣。

7. 第十次煉鐵實驗

(1) 結果：

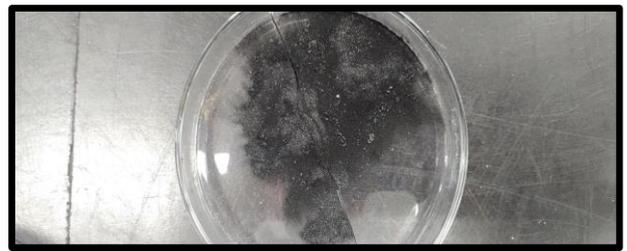


(2) 討論：

第十次嘗試煉鐵，我們相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：



(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。

參●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高過崇德海灘鐵砂含量，先民猴猴人可能是採集立霧溪河砂煉鐵，會有較高的產鐵量。
- 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，碳活性大於鐵，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，得知個物質質量比 $\text{C} : \text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Fe}$ 為 $1 : 9 : 7$ ，但依此比例煉鐵效果不佳，二氧化碳會逸散，影響反應結果。
- 五、依台大報告比例 $5 : 7 : 5$ ，並改以能耐溫 1200°C 的坩鍋當容器，我們可得到初步的紅色生成物，應是鐵渣。
- 六、為模擬密封高爐煉鐵，我們使用坩鍋蓋加蓋加熱，希望增加反應速率及產量。
- 七、本次研究旨在體驗煉鐵實驗及初探東部海岸鐵砂煉鐵之可能，應有初步之成果，未來想嘗試戶外建窯，以原子碳為還原劑，達到煉鐵的結果。

肆●引註資料

- 一、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。
- 二、楊景春主編(1998)。地貌學教程。臺北市：文海基金會。
- 三、陳文山(2008)。岩石入門。臺北市：遠流出版公司。
- 四、陳文山主編(2016)。臺灣地質概論。臺北市：中華民國地質學會。
- 五、陳文山(2009)。海岸山脈火山島弧與碰撞盆地的地層架構與年代。
- 六、經濟部(2016)。H0015 花蓮縣秀姑巒溪八里灣層沉積岩及曲流。經濟部中央地質調查所。
- 七、馮敬庭、黃鈺欽、龔怡雯、謝毓喬(2006)。風吹沙-草濼沙丘粒度及鐵礦砂含量分析。
- 八、高詠渝、許心瑀、朱家彤(2011)。鐵砂的秘密。
- 九、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、黃昱翔、楊鈞亦(2018)。一砂一世界-化仁砂丘沉積環境分析。
- 十一、文化部國家文化資料庫(2009)。磁鐵礦。
- 十二、文化部國家文化資料庫(2009)。赤鐵礦。
- 十三、經濟部礦物局。磁鐵礦。
- 十四、經濟部中央地質調查所。磁鐵礦。