

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

030508

窯烤 Fe 砂-探討台灣東部海岸鐵砂煉鐵之可能性

學校名稱：花蓮縣立自強國民中學

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 作者： 國二 紀宥安 國二 黃詠安 | 指導老師： 徐彥哲 郭千睿 |
|---------------------------------|-----------------------------|

關鍵詞：鐵砂、氧化還原反應、煉鐵

得獎感言

蔚藍之下盛開彩色的夢—來自後山的不可思議科展旅程

陽光照向臉龐，眼神中充滿鬥志，卻也藏不住恐懼……

從來沒想過，這件作品能站上全國科展的舞台，賽前無數次的集訓、無數次的實驗和無數次的實驗討論，才有這篇論文的誕生。看過大大小小全國賽的得獎作品，華麗的數據、精緻的實驗，這哪是我們可以容身之處？我總笑稱，我們要拿到名次的機會根本是微乎其微，來全國賽根本就是來插花的，然而，我們卻有著共同的默契—那不服輸的態度告訴我們：「沒有拚一把，怎麼會知道呢？」

為了這件作品，我們走遍各地考察，頂著烈陽，冒著風雨，只為了心中那份面對地科的熱愛，雖然一路走來遇到許多挫折與意外，但我們依然不斷為這份研究努力著。實驗部分，我們更做了十三次的煉鐵實驗，從一開始的試管實驗到後來的紅磚建窯，一次次失敗，又一次次嘗試—再不起眼的作品，背後總有辛苦之處。克服過程的挫折，我們終究走到了終點。

這次基隆科展為期五天，科學之旅因颱風而取消，但這份難過與遺憾卻在科展之夜一次補齊，各式各樣的表演，使我們度過了一個溫暖的夜晚。到了頒獎典禮那天，等了好久好久，終於到了地球科學組，「國中組地球科學... 第三名... 第二名...」看見第二第三名都沒有我們，我早已放棄，有佳作就要偷笑了吧！「第一名... 030508 花蓮縣自強國中！」我頓時傻住了，直接在會場大叫，完全不敢相信我也有在全國賽站上頒獎台的一天！總會有人說，「花蓮的人贏不了其他縣市的！」但這一次，我們做到了，我們在全國精英中脫穎而出，拔得頭籌！

頒完獎到後台，我的眼淚就守不住了，這個研究的過程，一幕幕浮現在眼前，辛苦、汗水，但同時也有歡笑、打鬧。這一切，都好像是一場夢。「如果這是一場夢，那就別叫醒我吧！」彳亍在科展的路途中，跌跌撞撞、遍體鱗傷，我們也曾趑趄不前，但踏過路途中的犖确、突破風雨的考驗，我們深信，風雨過後總有彩虹。

謝謝在研究過程中出現的所有人，或許只是一秒鐘的貢獻，又或許是相互陪伴走完這兩年的人，沒有你們，就沒有這件作品。這個第一名，得來不易，不只是我們，還有好多好多好多人的心血，這個第一名，是屬於有關這個研究的所有

人！

仰望天空，斗大的日頭依然高掛蒼穹，當陽光再次照向臉龐，我們臉上已不再是恐懼、害怕，而是多了一抹微笑，我看見了！那美麗的彩虹。

這一次，我要大聲的說：「我來自花蓮！」

昂首闊步，我們仍要繼續前行，不論如何，我們必定會在未來再創巔峰！



以紅磚及陶土建窯

期盼以科學方式探討先民煉鐵文化

並希望對臺灣東部海岸煉鐵相關研究有些助益



到東部各海岸實地考察
調查地質與含鐵量之間的關係



基隆著名地標海洋廣場
替為期五天的基隆科展之旅畫下完美句點

摘要

本研究延續上屆台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析，於 2022 年 9 月至 2023 年 4 月進行，目的是希望透過親自動手操作以探討東部海岸鐵砂煉鐵之可能性。

經文獻探討得知，花蓮崇德有煉鐵遺址並參考十三行博物館之煉鐵方法，於是進行 13 次實驗，實驗於每週 2 小時之獨立研究課進行，受時間限制，採分階段實驗，初階實驗：熟悉煉鐵觀念及實驗操作，進階實驗：探討碳粉及鐵砂之較佳比例，高階實驗：實際模仿十三行博物館建窯煉鐵。

研究發現，台灣東部海岸鐵砂（含崇德海砂），經冶煉後，都可得有金屬光澤之鐵球及鐵渣，並對比地質圖，東部海岸以火成岩為主，崇德地區屬花岡片麻岩及綠色片岩區，都含鎂鐵等重礦物，可見東部海岸鐵砂煉鐵值得進一步調查分析。

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，發現東部海岸的含鐵量極高，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。希望模擬先民煉鐵，並探討東部海岸發展煉鐵的可能。

貳、研究目的

- 一、了解十三行遺址及崇德遺址先民的煉鐵文化與技術
- 二、採集東部海岸鐵砂模擬煉鐵

參、研究設備及器材

- 一、程式軟體：Microsoft Excel、Microsoft Word、Power Point、Google Earth、CorelDraw
- 二、實驗器材：器材說明如照片 1-20

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 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：炭精 |

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 照片 9：陶土 | 照片 10：吹風機 | 照片 11：鐵夾 | 照片 12：挖砂鏟 |
|  |  |  |  |
| 照片 13：紅外線溫度計 | 照片 14：探針溫度計 | 照片 15：護目鏡 | 照片 16：噴燈 |
|  |  |  |  |
| 照片 17：鐵鍋 | 照片 18：不鏽鋼板 | 照片 19：茶壺 | 照片 20：地質錘 |

肆、研究流程及方法

一、研究流程：

(一) 研究流程，如圖 1：

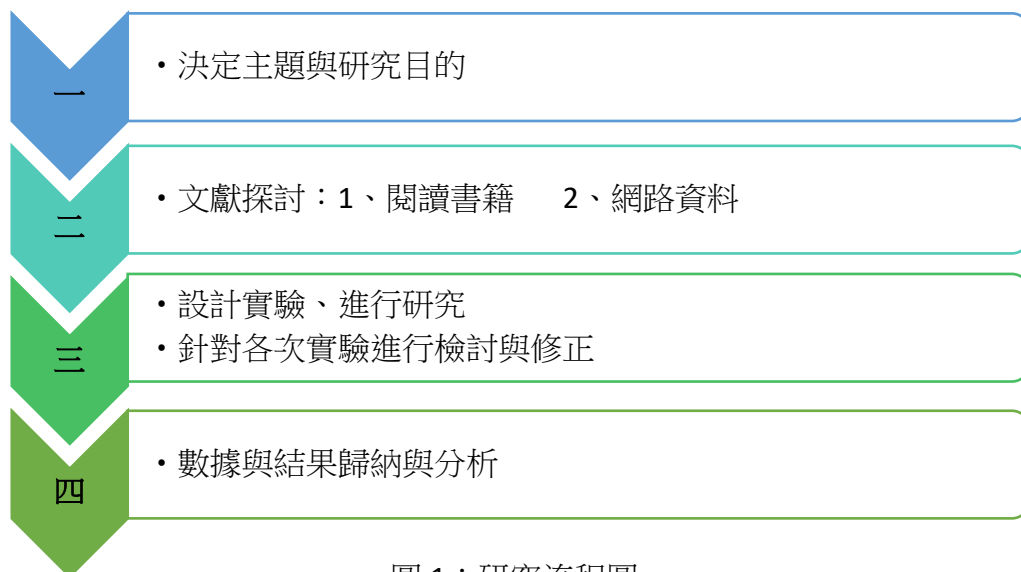


圖 1：研究流程圖

(二) 我們的研究共分為四個階段，如上圖 1 所示。第一階段為接續去年探討台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析之研究（紀宥安等，2022），繼續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，在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，研究發法為田野調查法與實驗研究法。第四階段為數據分析，在實驗完成後，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岡岩體。
- (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（高詠渝等，2011）

- （1）台灣東北角海岸老梅砂灘鐵砂含量多，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（紀宥安等，2022）

- （1）此報告為本團隊 2022 年之研究成果，本研究於 2021 年 8 月至 2022 年 7 月進行，採砂地點北至宜蘭蘭陽溪口，南至台東太麻里共 31 個地點，以強力磁鐵分離出鐵砂後，再分析出各地砂灘鐵砂含量。
- （2）研究發現花東海岸磯崎灣、鹽寮港灣及都歷砂灘明顯有發亮的砂石顆粒，鐵砂含量多，磁鐵砂量也多，經顯微鏡觀察，發亮的砂石應屬於磁鐵砂。
- （3）花東海岸山脈大都屬火成岩，其中都巒山層的安山岩塊含鐵量多，如輝長岩、綠色安山岩及灰色安山岩等。
- （4）花東海岸山脈另有屬於沉積岩的八里灣層，此為深海濁流岩，研究發現八里灣層泰源段的砂頁沉積中富含鐵砂，這現象在磯崎灣及都歷砂灘最為顯見，如圖 2。

- (5) 在蘭陽溪、立霧溪、花蓮溪及太麻里溪等溪流出海口也發現鐵砂，這些溪流都流經變質岩區域，如廬山板岩帶及大南澳片岩帶等區。
- (6) 經比對研究區地質圖及查閱地史資料，上述廬山板岩帶及大南澳片岩帶等區，是因海洋與陸地板塊交界碰撞變質而來，其中海洋板塊可能是提供鎂鐵礦物之主要來源。
- (7) 下圖 2 為研究區中沉積岩區與變質岩區鐵砂含量分析表，此為每個採樣點所採 50 克砂石中，經強磁吸篩後所含的鐵砂量的分析圖表。

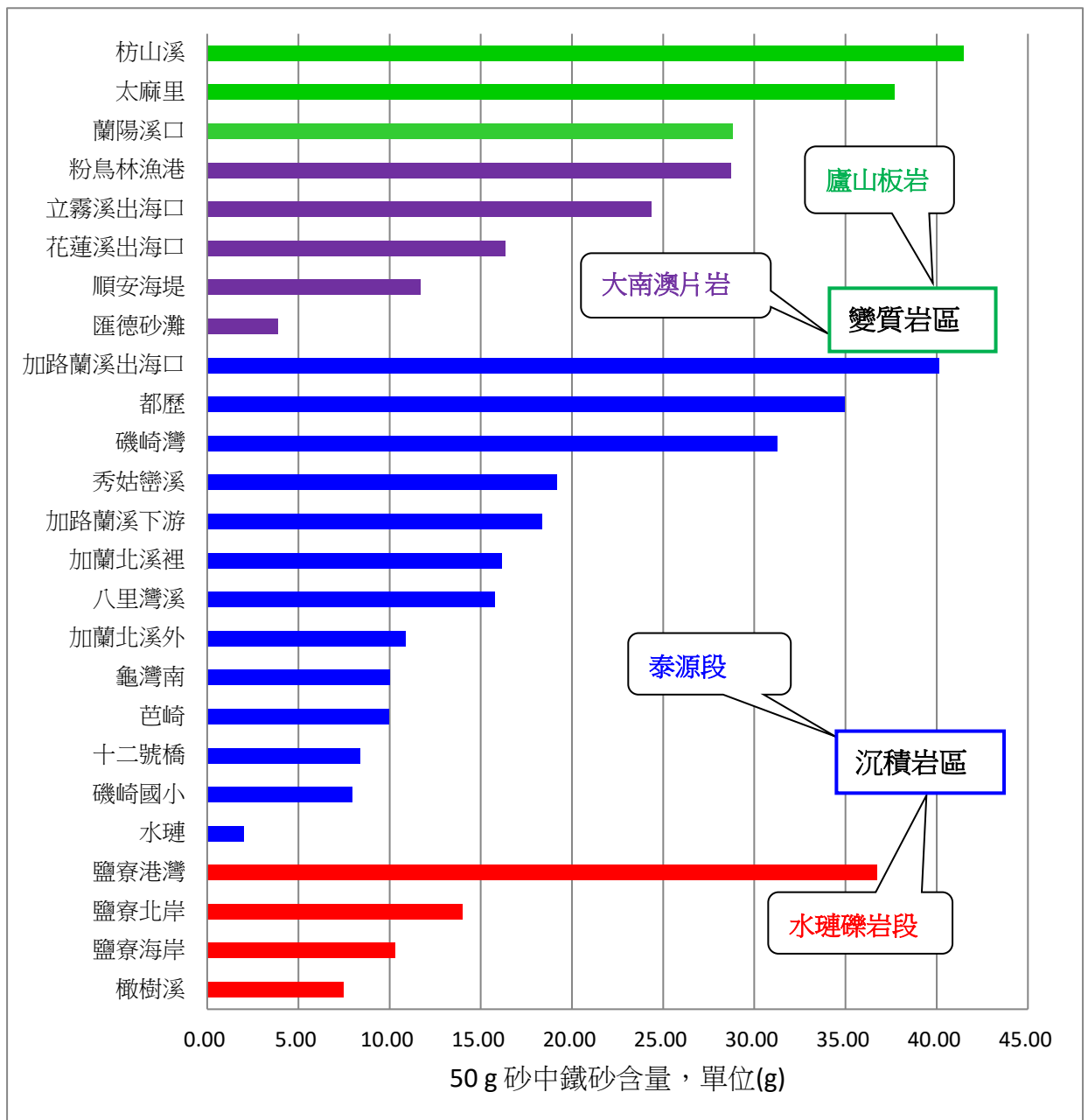


圖 2：研究區沉積岩區與變質岩區鐵砂含量

(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。崇德遺址是全台第一個出土金器的考古遺址，同時亦有墓葬、煉鐵設施等遺跡（劉益昌，2007）。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」，年代距今 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。

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，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（尹意智、姚書宇，2019）。遺址上也發現煉鐵、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）。

劉益昌（2007）認為這群人又稱巴賽人（**Basey**），曾航行到東南亞地區從事貿易經商活動，出售花蓮豐田所產之閃玉換取當地玻璃珠及琉璃珠等精品，並習得高溫煉鐵技術，在十三行煉鐵，之後從台灣北海岸沿著宜蘭南下，選擇立霧溪河口居住，甚至一路進入溪谷，帶著原鄉已有的冶鐵技術，作為物質交換或者掌握砂金資源進一步取得金製品製作能力。

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，一般多屬於融熔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」卻與舊式煉鐵之鐵渣甚為相近，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， Fe_3O_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。（十三行煉鐵復原實驗-縮時影片，2018）。

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 2%~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）

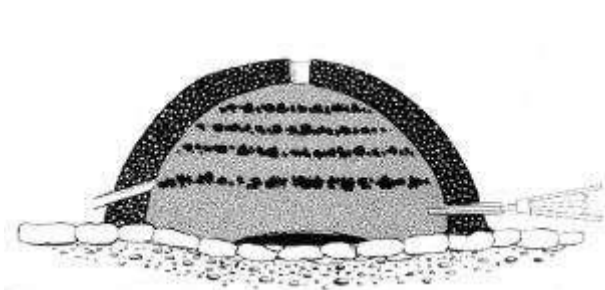


圖 3：低溫固態法又稱塊煉法

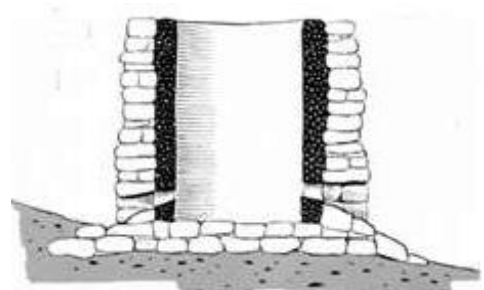


圖 4：高溫液態法又稱高爐煉鐵法

三、實驗設計

(一) 室外考察：

1.十三行博物館：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，因此我們參觀了十三行博物館線上導覽影片，十三行博物館（2018），了解其煉鐵的方法與技術，如照片 21-25。



2.崇德遺址

- (1) 我們先要找到崇德遺址的所在地，並了解當地的地理環境，照片 26。
- (2) 崇德遺址在文獻中有鐵渣的出現，我們在當地衛生所前空地也採集到鐵渣，如照片 26-30。



3. 崇德砂灘及立霧溪下游

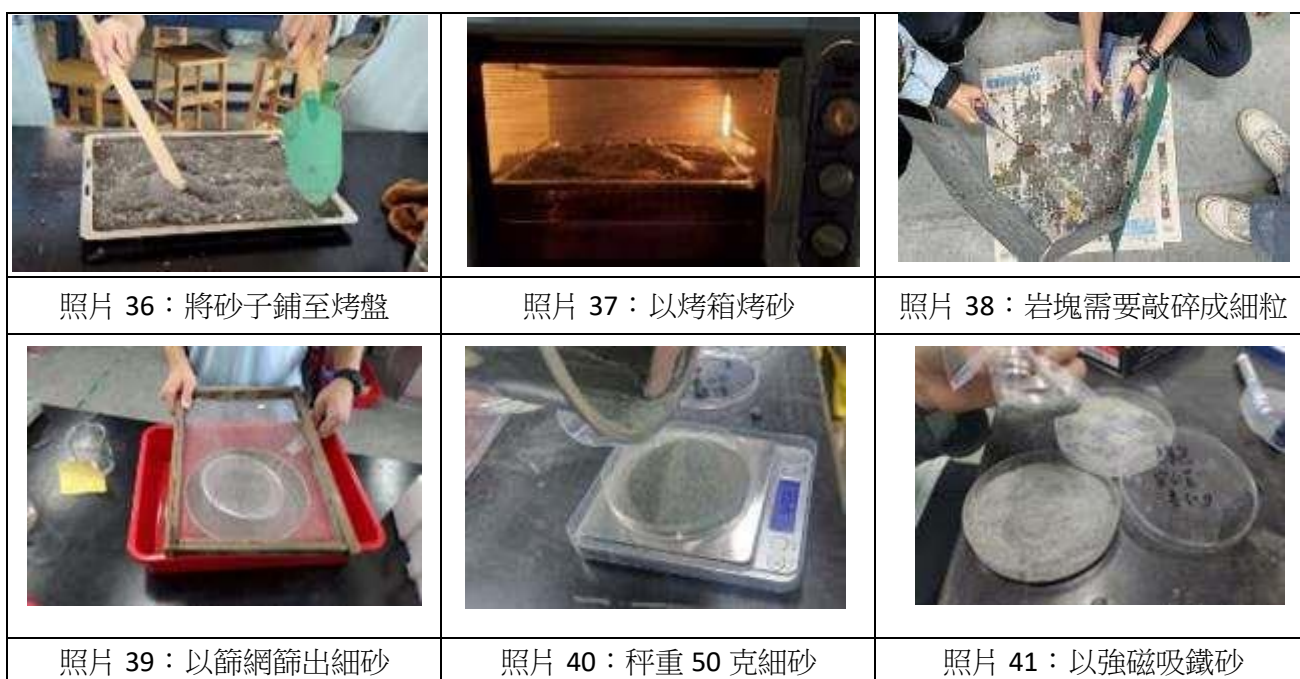
- (1) 我們假設崇德煉鐵的原料來自附近的砂石。
- (2) 選擇崇德台地附近的砂灘及立霧溪下游採砂，如照片 31-35。



(二) 室內實驗




1. 分離鐵砂方式：照片 36-41

- (1) 每採樣點取約 100 公克砂石或岩石塊，岩塊需敲成細塊。
- (2) 若是海砂或河砂需以烤箱乾燥，以便篩砂及秤重。
- (3) 以 500 目篩網篩出細砂，每點 100 克篩取 50 克，裝至培養皿並記錄於盒上
- (4) 以強力磁鐵隔著夾鏈袋分離鐵砂，鐵砂放置在另一個培養皿上。
- (5) 秤重並記錄鐵砂克數，取三次鐵砂克數平均量。



2.初階實驗/第一次煉鐵：照片 42-44

- (1) 實驗容器：一般試管
- (2) 實驗比例（鐵砂：碳粉質量比）：20：3
- (3) 溫度計：無
- (4) 架設裝置：鐵架、鐵夾及本生燈

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 照片 42：以一般試管進行煉鐵 | 照片 43：煉鐵情形 | 照片 44：煉鐵試管破裂 |


3.初階實驗/第二次煉鐵：（照片 45-47

- (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、鐵夾及本生燈

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 照片 45：以硬試管進行煉鐵， 以紅外線溫度計測溫 | 照片 46：煉鐵情形 | 照片 47：煉鐵試管受熱變形 |


4.初階實驗/第三、四次煉鐵：照片 48-50

- (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：坩堝鉗及本生燈

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 照片 48：以無蓋瓷製坩堝當實驗容器 | 照片 49：煉鐵情形 | 照片 50：以紅外線溫度計測溫 |




5.初階實驗/第五次煉鐵：照片 51-53

- (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、烤肉架及本生燈

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 照片 51：煉鐵設備架設情形 | 照片 52：煉鐵情形 | 照片 53：以探針溫度計測溫 |

6. 進階實驗/第六、七次煉鐵：照片 54-55

- (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、烤肉架及本生燈

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 照片 54：鐵粉：碳粉質量比 9：1 煉鐵 | 照片 55：煉鐵情形，坩鍋底 部燒紅現象 | 照片 56：煉鐵情形 |

7. 進階實驗/第八、九次煉鐵：照片 57-59

- (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（第八次實驗）
- (4) 架設裝置：坩堝鉗、烤肉架及本生燈

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 照片 57：鐵：碳粉質量比 5：7 煉鐵 | 照片 58：煉鐵情形 | 照片 59：煉鐵情形 |

8. 進階實驗/第十次煉鐵：照片 60-61

- (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：無
- (4) 架設裝置：烤肉架及本生燈



照片 60：以有蓋茶壺為容器煉鐵



照片 61：煉鐵茶壺破裂

9. 進階實驗/第十一次煉鐵：照片 62-64

- (1) 實驗容器：有蓋瓷製坩堝
- (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：鐵架、坩堝鉗及本生燈



照片 62：以有蓋瓷製坩堝為
容器進行煉鐵



照片 63：坩堝鉗也因高溫受
熱變紅



照片 64：鐵粉溫度過高造成
錶玻璃破裂










10. 高階實驗/第十二次煉鐵：

- (1) 實驗容器：使用紅磚與陶土建窯，窯底以不鏽鋼板支撐
- (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 65~79

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 照片 65：鋪砂 | 照片 66：建窯雛形 | 照片 67：以陶土填縫 |
|  |  |  |
| 照片 68：以噴燈烘乾陶土 | 照片 69：陶土填縫完畢 | 照片 70：留一洞口以便空氣流通 |
|  |  |  |
| 照片 71：點燃炭精 | 照片 72：以紅外線溫度計測量溫度 | 照片 73：建窯完成模型 |
|  |  |  |
| 照片 74：以探針溫度計測量溫度 | 照片 75：木炭燃燒情形 | 照片 76：以吹風機幫助木炭燃燒 |
|  |  |  |
| 照片 77：每半小時加入鐵砂與炭精 | 照片 78：以夾子夾出掉落的鐵渣 | 照片 79：以夾子夾出掉落的鐵渣 |

11. 高階實驗/第十三次煉鐵：

- (1) 實驗容器：使用紅磚與陶土建窯，窯底以不鏽鋼板支撐
- (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 80~88

| | |
|---|--|
|  |  |
| 照片 80：點燃炭精 | 照片 81：建窯完成模型 |
|  |  |
| 照片 82：建窯完成開始煉鐵 | 照片 83：煉鐵情形 |
|  |  |
| 照片 84：煉鐵情形 | 照片 85：煉鐵情形 |
|   |  |
| 照片 86、87：溫度過高導致鍋子鍋蓋毀損 | 照片 88：毀損的三個鍋子 |

伍、實驗結果與討論

(一) 室外考察

1. 結果：

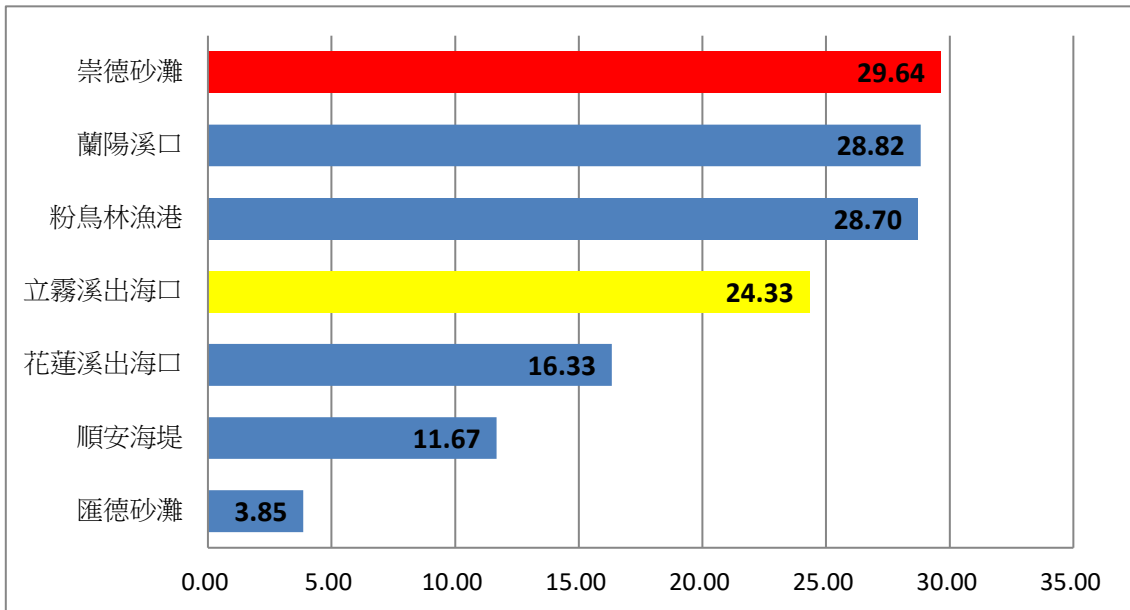


圖 5 變質岩區各採樣點鐵砂含量平均

2. 討論：

- (1) 鐵砂含量實驗是取當地砂石 50g，再以磁鐵篩選。崇德砂灘含鐵砂量為 29.64 g，含鐵砂比例 59.32%。立霧溪出海口砂灘含鐵砂量為 24.33 g，其含鐵砂比率為 48.66%。兩地砂灘鐵砂含量多，推論崇德遺址可能是取附近鐵砂煉鐵。
- (2) 查閱立霧溪出海口附近地質圖，(陳培源..等，1987)，發現崇德台地位於開南岡片麻岩區，周圍圍岩主要為九曲大理岩及長春層綠色片岩，在中游溪畔地區也有花岡片麻岩露出，如圖 6。
- (3) 開南岡片麻岩及溪畔片麻岩皆為花岡片麻岩，是由花岡岩經高度變質而來，礦物主要成分為長石、石英、綠色黑雲母、綠色角閃石、綠簾石及磁黃鐵礦等(陳文山等，2016)，除長石及石英外，其他礦物都為深色礦物，富含鎂及鐵等元素，這可能是崇德砂灘含鐵的主要因素。

(4) 於立霧溪出海口附近的長春層，是以綠色岩與綠色片岩為主，前者呈塊狀，後者片理發達，都屬變質基性岩，主要礦物為長石、石英、綠泥石、綠簾石、黃鐵礦及磁鐵礦等（陳文山..等，2016），深色礦物含鎂鐵元素，立霧溪侵蝕長春層後再下游出海口沉積，這可能是崇德砂灘含鐵的次要因素。

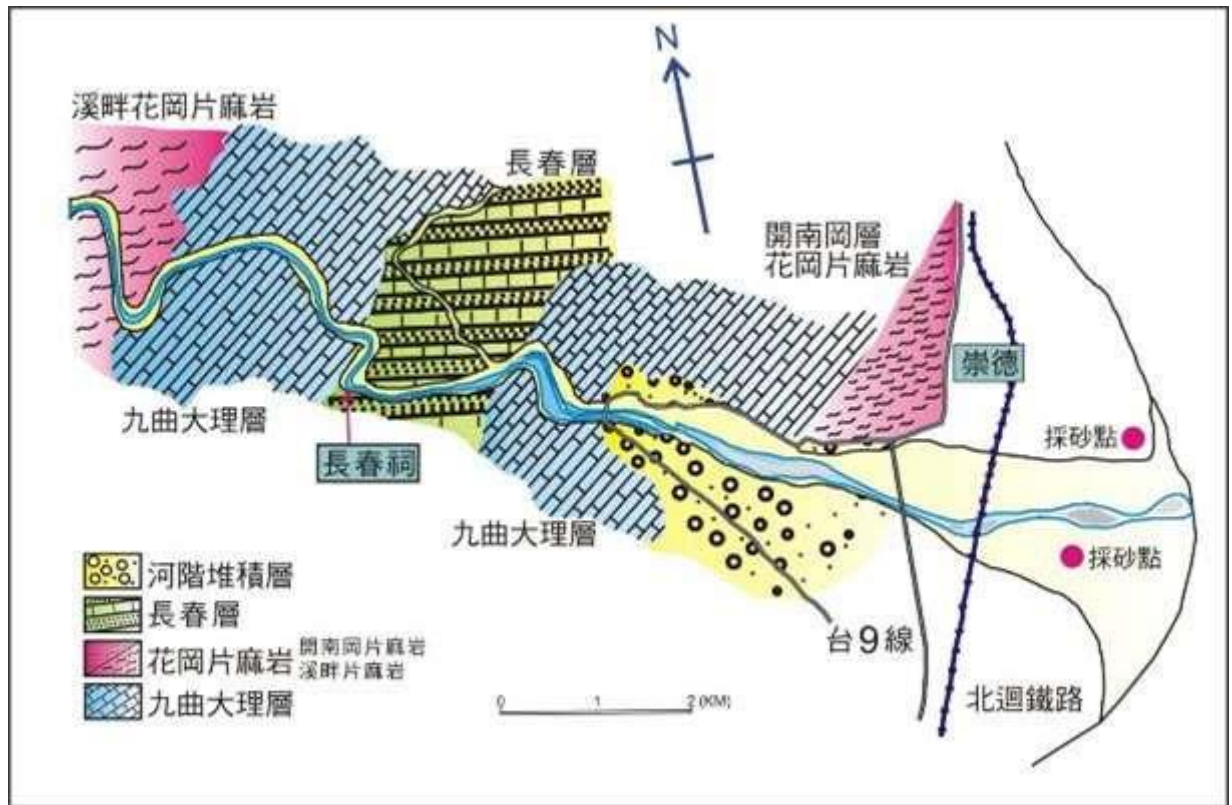


圖 6：東西橫貫公路沿線地質圖，改繪自陳培源..等（1987）台灣北部十條地質實習考察路線沿線地質簡介

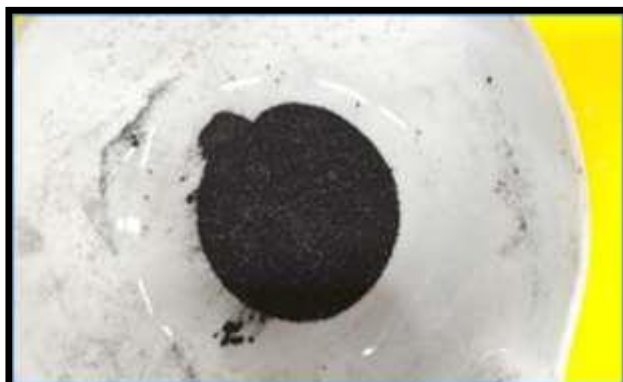
(二) 煉鐵實驗結果

1. 初階實驗/第一次煉鐵實驗

(1) 結果：照片 80~88



照片 89：第一次煉鐵實驗結果



90：實驗結果，碳粉與鐵粉末完全反應完成

(2) 討論：

第一次煉鐵，我們在開始燃燒之後的五分鐘，試管即裂開，這可能因為這種一般試管不耐高溫，加以本生燈的火力過於集中，才造成試管破裂。另外，煉鐵需要高溫。在下一次的實驗中，除了會使用較耐高溫的硬試管、也將試管稍微遠離本生燈之外，並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：照片 91~92



照片 91：第二次煉鐵實驗照片



照片 92：第二次煉鐵，硬試管燃燒後仍變形

(2) 討論：

第二次煉鐵，選擇了可耐高溫的硬試管，同時也將本生燈的火力調小、將試管調高，並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 300 多度，甚至在測量的時候顯示溫度過高無法測量。透過觀察，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，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。

從文獻中我們推知，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。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，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 93~96



照片 93：第三煉鐵照片

照片 94：粒狀物質無法判斷為鐵渣

照片 95：第四次煉鐵照片，搗碎與過濾後的碳粉與鐵砂

照片 96：第四次煉鐵鐵粉成紅色一片

(2) 討論：

第三次煉鐵，選擇以瓷製坩堝代替玻璃試管。在煉鐵的過程中，紅外線溫度計顯示高於測量的範圍，以肉眼觀察，發現坩堝底部長時間成紅色，表示溫度已達到一定高度。

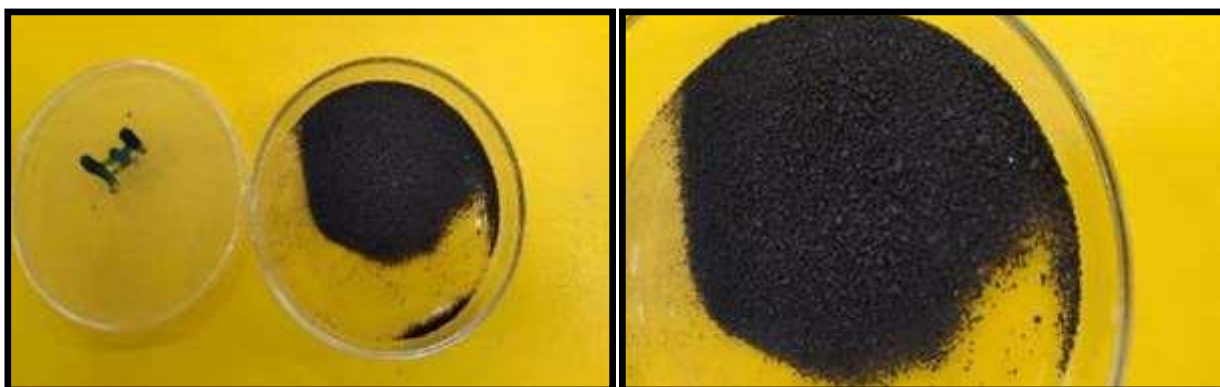
根據文獻所顯示，陶瓷坩堝使用時的溫度可達攝氏 1300 度，高於之前所用的硬試管，因此得以作為煉鐵時使用。然而，由於坩鍋可耐高溫，本次實驗出現本生燈無法繼續燃燒的問題；再者，實驗後用水將碳粉分離，鐵砂部分呈現粒狀，但因實驗前未將碳粉與鐵砂搗碎與過濾，因此並無法分辨粒狀的東西是否為鐵渣。在下一次實驗中，準備二至三個本生燈用以持續提供火力，並將碳粉與鐵砂搗碎與過濾，以驗證是否有鐵渣產生。

第四次煉鐵，我們使用二至三個本生燈替換燃燒，並將碳粉及鐵粉搗碎及過濾，發現燒過的鐵已有一些呈現「紅色」，應該是鐵渣，可說是實驗的一大進展。

由於持續的加溫，溫度已超出紅外線溫度計的測量範圍，下次實驗將改善溫度計無法測量的問題，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 97~98



照片 97：第五次煉鐵實驗結果

照片 98：第五次煉鐵，有鐵渣產生

(2) 討論：

第五次煉鐵，改成使用探針溫度計進行實驗，此溫度計可以測量高達攝氏 700 度。根據本次實驗結果，煉鐵的溫度可高達攝氏 600 多度，成功發現鐵渣，可惜鐵渣量不多。推測或許是煉鐵時鐵粉和碳粉比例的問題，我們將搜尋相關資料及煉鐵化學式，尋找兩者比例，繼續嘗試。

5. 第六、七次煉鐵實驗

(1) 結果：照片 99~102



照片 99：第六次煉鐵實驗照片



照片 100：第六次煉鐵，沒有鐵渣產生



照片 101：第七次煉鐵實驗照片



照片 102：第七次煉鐵，有鐵渣產生

(2) 討論：

第六次煉鐵，利用煉鐵化學式 ($3\text{C} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{Fe}$) 求出鐵粉與碳粉比例為 9:1，本次實驗僅進行約 20 分鐘，沒有煉出鐵渣。推測因為時間不足，將會再次進行實驗，拉長煉鐵時間。

第七次煉鐵，實驗的時間增加為 1 小時。用水將碳粉分離後，發現有部分鐵渣。在查閱文獻後，發現一篇有關煉鐵論文 (宋昱潔, 2008)，其鐵粉碳粉比例為 5:7，而且也是以坩鍋為容器，並成功煉出鐵渣，因此我們決定以鐵碳比例 5:7 繼續進行實驗。

6. 第八、九次煉鐵實驗

(1) 結果：照片 103



照片 103：第八、九次煉鐵，有紅色粉末產生

(2) 討論：

第八次煉鐵，將鐵碳比例更改為 5：7，煉鐵溫度已高達攝氏 700 多度，結果發現出現一大片紅色粉末，此大片紅色粉末有別於先前的實驗結果，我們懷疑是否因溫度過高，致使鐵製的探針溫度計也產生反應。下次實驗會將溫度計拉起，不與鐵砂接觸，希望可以得出更準確的結果。

第九次煉鐵，拉起探針溫度計。實驗結果依然出現了紅色粉末，此粉末會被磁鐵吸附，推測就是鐵渣，也證明了鐵碳比例為 5：7 時可以煉出較多的鐵渣。

另外，討論鐵碳比例由 9：1 改為 5：7 的原因，可能是因為 C 氧化後產生 CO，CO 是擔任還原劑的角色，由於氣體容易逸散，所以 C 的供應會比預計多一些，若要防止 CO 逸散，坩鍋需要加蓋，以造成封閉環境。下次將採用有蓋的瓷製茶壺及有蓋坩鍋進行實驗。

7. 第十次煉鐵實驗

(1) 結果：照片 104~105



照片 104：第十次煉鐵實驗照片



照片 105：第十次煉鐵，茶壺破裂，無鐵渣

(2) 討論：

第十次煉鐵，以有蓋瓷製茶壺當容器，但茶壺燒後不到一分鐘便出現裂痕。

由這個實驗證明，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 106~107



照片 106：第十一次煉鐵實驗照片



照片 107：第十一次煉鐵，有塊狀鐵渣產生

(2) 討論：

第十一次煉鐵，以有蓋坩堝當容器，結果發現可以煉出塊狀鐵渣，且數量多，顏色大部分為黑色，紅色氧化鐵較少，可知有蓋坩堝的煉鐵效果較好。實驗中發現坩堝蓋會因氣體產生而搖晃，此即為 CO 氣體逸散的現象，我們以試管夾稍微加壓鍋蓋使反應順利進行。

接著將嘗試模仿十三行博物館煉鐵實驗，在室外建窯，以花東海岸的鐵砂及崇德砂灘鐵砂進行實驗。

9. 第十二次煉鐵實驗

(1) 結果：照片 108~116



照片 108：第十二次煉鐵開窯



照片 109：有大塊鐵渣產生



照片 110：以篩盤篩出鐵塊



照片 111：煉出的鐵塊秤重



照片 112：有金屬光澤的鐵球



照片 113：有金屬光澤的鐵塊



照片 114：有金屬光澤的鐵塊



照片 115：有金屬光澤的鐵塊



照片 116：最大面積的煉鐵成果

(2) 討論：

第十二次煉鐵，仿照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。

以紅磚建窯後，使用陶土填滿磚與磚之間的縫隙，接著利用噴燈點燃炭精後放進磚窯中，再倒入砂子，之後每半小時加入砂子與炭精，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 15 小時後（17：00-08：00），隔日早上 08：00 開窯，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，甚至有具金屬光澤的鐵球，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 117~125



照片 117、118：第十三次煉鐵開窯情形

照片 119：第十二次煉鐵開窯近照



照片 120：第十二次煉鐵中段時間所產鐵塊



照片 121：最後的成果



照片 122：鐵塊秤重



照片 123：有金屬光澤的鐵塊



照片 124：有金屬光澤的鐵塊



照片 125：最大面積的煉鐵成果

(2) 討論：

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，實驗全程進行錄影，本次實驗每半小時加一次砂子與炭精，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 15 小時後（17：00-08：00），隔日早上 08：00 開窯，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、崇德遺址考察可採到鐵渣及陶片，證明此地曾經是煉鐵的地方，依遺址所在的周邊觀察，鐵砂可能來自崇德海灘或立霧溪河砂。
- 二、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，鐵砂應來自開南岡片麻岩層、溪畔片麻岩及長春層，這些地層皆是由火成岩變質而來，本來就富含鎂、鐵等重礦物，先民猴猴人可能是採集這些地方的砂石煉鐵。
- 三、初階實驗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、進階實驗是依氧化還原理論來進行，C 活性大於 Fe，所以可以碳粉來還原我們所收集來的鐵砂，依煉鐵的反應方程式，得知碳粉及鐵砂質量比 C : Fe₂O₃ 為 1 : 9，但依此比例煉鐵效果不佳，CO 會逸散，影響反應結果。
- 五、進階實驗第十一次實驗，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、高階實驗第十二次煉鐵，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，並以市售炭精作為燃料，並做為煉鐵的還原劑，持續供熱 5 小時後，靜置冷卻 15 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、高階實驗第十三次煉鐵，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 小時後，靜置冷卻 15 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、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，本實驗採用紅磚（耐高溫），炭精（火力強且持續），加以吹風機當作鼓風爐，提高煉鐵效率，因而有些成果，希望本實驗成果對了解東部海岸鐵砂煉鐵的研究有些助益。

柒、參考資料

- 一、陳培源等（1987）。**台灣北部十條地質實習考察路線沿線地質簡介**。台北市：國立台灣師範大學地球科學系。
- 二、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。
- 三、陳文山等（2016）。**台灣地質概論**。台北市：中華民國地質學會。
- 四、馮敬庭、黃鈺欽、龔怡雯、謝毓喬（2006）。**風吹沙-草漯沙丘粒度及鐵礦砂含量分析**。
- 五、劉益昌（2007）。**原住民文化與國家公園永續經營之研究：太魯閣立霧溪流域人文活動之研究**。花蓮縣：太魯閣國家公園管理處委託研究報告。
- 六、宋昱潔（2008）。**龍門舊社遺址出土鐵渣與製鐵遺留之研究**。
- 七、高詠渝、許心瑀、朱家彤（2011）。**鐵砂的秘密**。
- 八、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**。
- 九、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**。
- 十、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。
- 十一、紀宥安、黃詠安、蘇子淵（2022）。**鐵砂的秘密—台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析**。
- 十二、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**。
- 十三、十三行博物館（2018）。**十三行煉鐵復原實驗-縮時影片**
https://www.youtube.com/watch?v=9BNBzhEffjE&t=26s&ab_channel
- 十四、董國安、黃瀚緯（2022）。**鋼鐵冶煉與生活**。

【評語】 030508

題材難易度不低，實驗過程嚴謹，經過多次實驗成果具體，符合科學精神。

判斷含鐵量的方式可以再改進，例如使用儀器等去量化岩石的含鐵量。

具天然資源礦產調查雛形與文史鏈結之應用，研究面向廣，本計畫具有發展潛能，期許將來的實驗可以繼續聚焦在地球科學研究領域。

作品海報

窯烤Fe砂

探討台灣東部海岸鐵砂煉鐵之可能性

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，發現東部海岸砂石的含鐵量極高，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。希望模擬先民煉鐵，並探討東部海岸發展煉鐵的可能。

貳、研究目的

- 一、了解十三行遺址及崇德遺址先民的煉鐵文化與技術
- 二、採集東部海岸鐵砂模擬煉鐵

參、研究設備及器材

- 一、程式軟體：Microsoft Excel、Microsoft Word、Power Point、Google Earth、CorelDraw12
- 二、實驗器材：

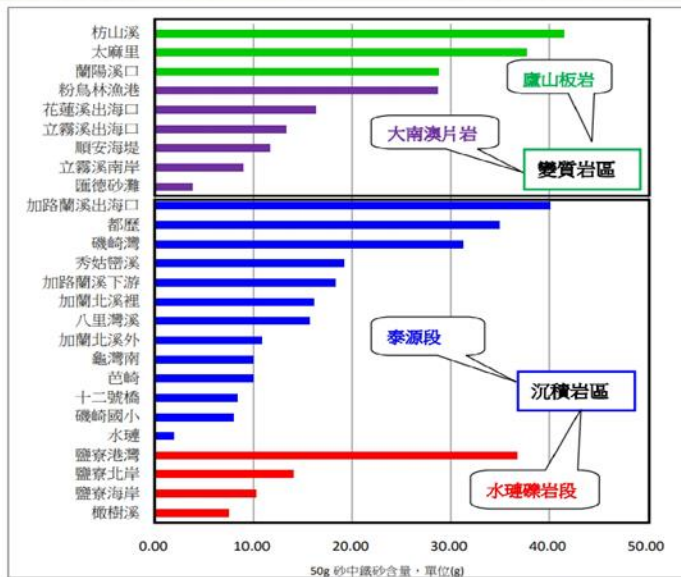
| | | | | | | | | |
|------|------|-------|-----|----|------|-------|--------|-----|
| | | | | | | | | |
| 強力磁鐵 | 電子磅秤 | 研鉢和研杵 | 挖砂鏟 | 試管 | 坩鍋 | 本生燈 | 瓷製茶壺 | 鐵鍋 |
| | | | | | | | | |
| 護目鏡 | 紅磚 | 炭精 | 陶土 | 噴燈 | 不鏽鋼板 | 探針溫度計 | 紅外線溫度計 | 吹風機 |

肆、研究流程及方法

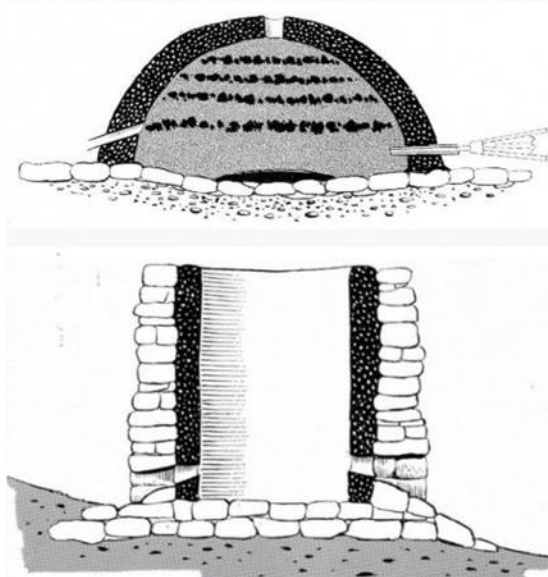


伍、文獻探討

台灣東部海岸鐵砂與磁鐵砂含量分析



塊煉法與高爐煉鐵法



相關煉鐵遺址



陸、實驗設計

(一) 室外考察



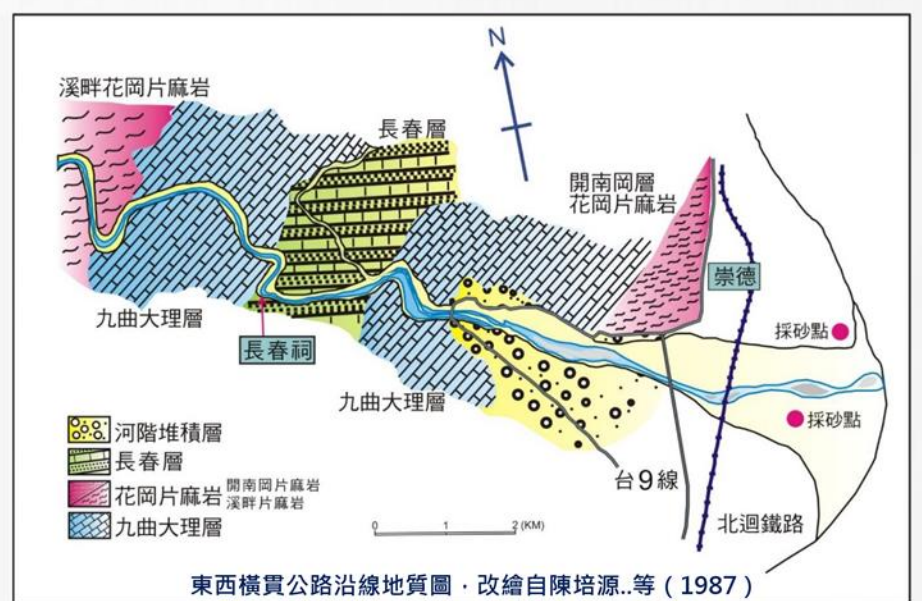
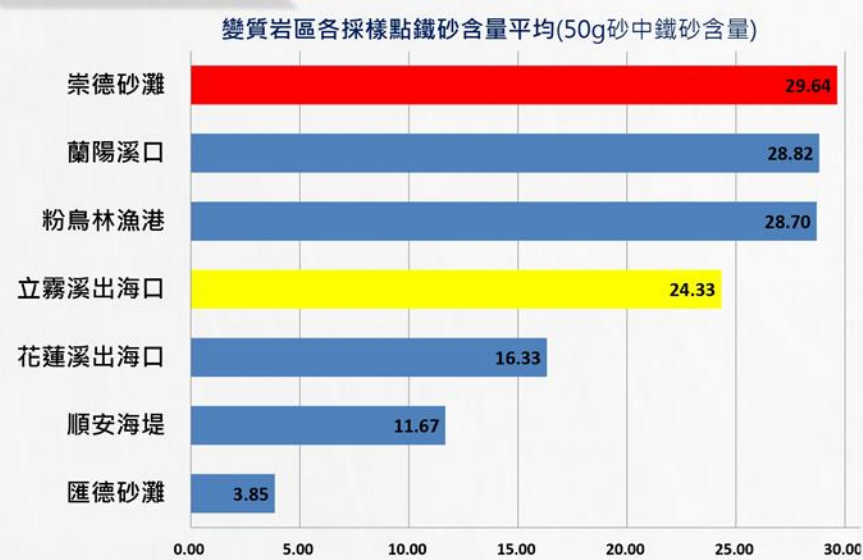
(一) 室內實驗

| 實驗次數 | 實驗容器 | 鐵砂：碳粉質量比 | 溫度計 | 架設裝置 |
|----------|--------|----------------------|--------|-----------|
| 第一次(初階) | 一般試管 | 20 : 3 | 無 | 鐵架及鐵夾 |
| 第二次(初階) | 硬試管 | 20 : 3 | 紅外線溫度計 | 鐵架及鐵夾 |
| 第三次(初階) | 無蓋瓷製坩堝 | 20 : 3 | 紅外線溫度計 | 坩堝鉗 |
| 第四次(初階) | 無蓋瓷製坩堝 | 20 : 3 | 紅外線溫度計 | 坩堝鉗 |
| 第五次(初階) | 無蓋瓷製坩堝 | 20 : 3 | 探針溫度計 | 坩堝鉗+烤肉架 |
| 第六次(進階) | 無蓋瓷製坩堝 | 9 : 1 | 探針溫度計 | 坩堝鉗+烤肉架 |
| 第七次(進階) | 無蓋瓷製坩堝 | 9 : 1 | 探針溫度計 | 坩堝鉗+烤肉架 |
| 第八次(進階) | 無蓋瓷製坩堝 | 5 : 7 | 探針溫度計 | 坩堝鉗+烤肉架 |
| 第九次(進階) | 無蓋瓷製坩堝 | 5 : 7 | 無 | 坩堝鉗+烤肉架 |
| 第十次(進階) | 茶壺 | 5 : 7 | 無 | 烤肉架 |
| 第十一次(進階) | 有蓋瓷製坩堝 | 5 : 7 | 紅外線溫度計 | 坩堝鉗+烤肉架 |
| 第十二次(高階) | 紅磚、陶土 | 7 : 4 (14公斤 : 8公斤) | 探針溫度計 | 使用紅磚與陶土建窯 |
| 第十三次(高階) | 紅磚、陶土 | 12 : 5 (24公斤 : 10公斤) | 探針溫度計 | 使用紅磚與陶土建窯 |



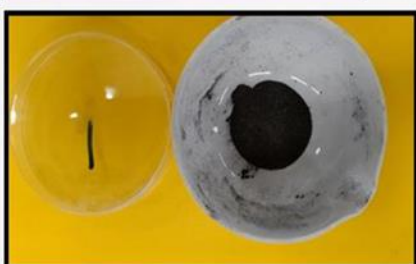
柒、實驗結果與討論

(一) 考察結果



(二) 煉鐵實驗結果

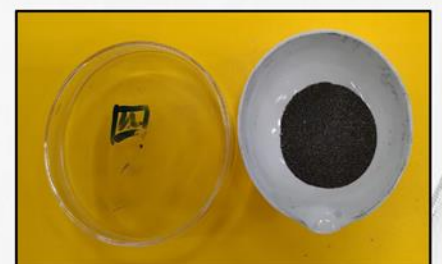
第一、二次煉鐵實驗



- 實驗結果 (一)
 - 燒後五分鐘**試管裂開**
 - 煉鐵需要**高溫**
- 討論 (一)
 - 使用較厚的**硬試管**
 - 將試管稍微遠離本生燈
 - 利用溫度計測量煉鐵時的溫度

- 實驗結果 (二)
 - 試管的底部呈現**紅色**
 - 試管部分呈**熔融狀**
 - 用水將碳粉分離，**沒有鐵渣**
- 討論 (二)
 - 可能是溫度不夠高
 - 換成其他器皿，解決耐熱度問題

第三、四次煉鐵實驗



- 實驗結果 (三)
 - 坩堝底部成**紅色**
 - 將碳粉分離呈現**粒狀**
 - 我們**無法分辨**粒狀的東西是否為鐵渣
- 討論 (三)
 - 改善本生燈燃燒問題
 - 將鐵碳搗碎與過濾
 - 驗證是否有鐵渣產生

- 實驗結果 (四)
 - 一些鐵呈現「**紅色**」
 - 準備多本生燈替換
 - 實驗最後證明確實有**鐵渣**的產生
- 討論 (四)
 - 改善**溫度計無法測量**的問題
 - 準確掌握煉鐵溫度

第五次煉鐵實驗



- 實驗結果 (五)
 - 為了改善紅外線溫度計無法測量高溫的問題
 - 改成使用探針溫度計來進行實驗
 - 高達攝氏**700**多度
 - 成功發現鐵渣，但**鐵渣量不多**
- 討論 (五) $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
 - 搜尋相關資料及煉鐵化學式
 - 找到鐵砂與碳粉間的最佳比例
 - 以最佳比例再次進行實驗

第六、七次煉鐵實驗



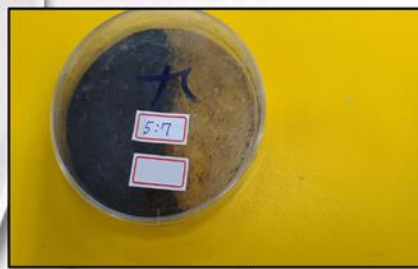
- 實驗結果 (六)
 - 本實驗過程僅進行約**1**小時
 - 並沒有煉出鐵渣**
 - 推測可能是因為**時間不足**
- 討論 (六)
 - 再次進行實驗
 - 拉長煉鐵時間

- 實驗結果 (七)
 - 與第六次實驗相同
 - 時間增加為**3**小時
 - 發現有**部分鐵渣**
- 討論 (七)
 - 發現一篇煉鐵論文，比例為**5:7**
 - 將會以**5:7**的比例再次進行實驗

第八、九次煉鐵實驗



- 實驗結果 (八)
 - 出現一大片紅色粉末
 - 溫度達攝氏700多度
 - 懷疑是否為溫度計上的其他物質
- 討論 (八)
 - 以相同裝置與比例再次進行實驗
 - 拉起溫度計

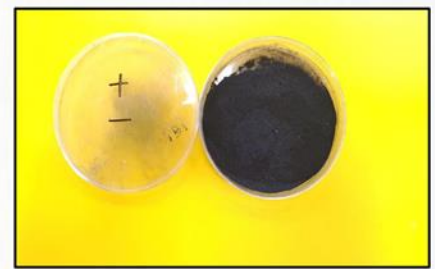


- 實驗結果 (九)
 - 與第八次使用相同裝置與比例
 - 依然出現紅色粉末
 - 以磁鐵吸取會被吸引
- 討論 (九)
 - 推測紅色粉末是鐵渣
 - 證明了比例5:7可煉出較多鐵渣

第十、十一次煉鐵實驗

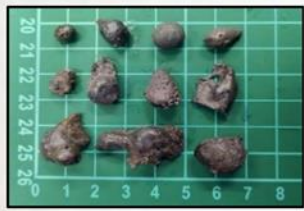


- 實驗結果 (十)
 - 將瓷製坩堝改為茶壺
 - 紅色鐵渣為氧化鐵
 - 尋找有蓋裝置，使氧化程度降低
- 討論 (十)
 - 一分鐘便出現破裂聲
 - 茶壺無法承受過高的溫度



- 實驗結果 (十一)
 - 將茶壺改為有蓋坩堝
 - 有塊狀鐵渣，數量多
 - 大部分為黑色，氧化鐵部分較少
- 討論 (十一)
 - 有蓋坩堝煉鐵效果好
 - 未來將會持續研究相關裝置，如紅磚建窯

第十二次煉鐵實驗



- 實驗結果 (十二)
 - 以紅磚建窯煉鐵
 - 窯底有入風口
 - 吹風機當作鼓風爐
 - 設有出風口，增加對流
 - 定時通砂，窯頂口以鐵鍋封蓋，確保環境封閉
- 討論 (十二)
 - 實驗共計20小時
 - 金屬鐵塊450公克，未反應完全的鐵渣1.2公斤
 - 煉出金屬光澤鐵渣
 - 實驗極為成功，證明先人用海砂煉鐵確有其可能性

第十三次煉鐵實驗



- 實驗結果 (十三)
 - 崇德遺址附近的海砂，未經強磁篩砂
 - 每半小時加一次砂子與炭精，持續十四次
- 討論 (十三)
 - 實驗共計22小時
 - 金屬鐵塊500公克，未反應完全的鐵渣1.4公斤
 - 鐵砂雖未經過強磁篩砂，但仍產生許多鐵渣
 - 煉鐵實驗時間較長，具有金屬光澤鐵渣也較多
 - 本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可來自崇德砂灘之鐵砂。

捌、結論

- 崇德遺址考察可採到鐵渣及陶片，證明此地曾經是煉鐵的地方，依遺址所在的周邊觀察，鐵砂可能來自崇德海灘或立霧溪河砂。
- 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，鐵砂應來自開南岡片麻岩層、溪畔片麻岩及長春層，這些地層皆是由火成岩變質而來，本來就富含鎂、鐵等重礦物，先民猴猴人可能是採集這些地方的砂石煉鐵。
- 初階實驗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。
- 進階實驗是依氧化還原理論來進行，C活性大於Fe，所以可以碳粉來還原我們所收集來的鐵砂，依煉鐵的反應方程式，得知碳粉及鐵砂質量比C：Fe₂O₃為1：9，但依此比例煉鐵效果不佳，CO會逸散，影響反應結果。
- 進階實驗第十一次實驗，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。
- 高階實驗第十二次煉鐵，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，並以市售炭精作為燃料，並做為煉鐵的還原劑，持續供熱5小時後，靜置冷卻15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。
- 高階實驗第十三次煉鐵，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小時後，靜置冷卻15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可來自崇德砂灘之鐵砂。
- 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，本實驗採用紅磚 (耐高溫)，炭精 (火力強且持續)，加以吹風機當作鼓風爐，提高煉鐵效率，因而有些成果，希望本實驗成果對了解東部海岸鐵砂煉鐵的研究有些助益。