

臺灣礦物與礦床學的搖籃 - 九份、金瓜石、武丹山礦山

The Cradle of Taiwan's Mineralogy and Ore Geology : Chiufen, Chinkuashih, Wutanshan Epithermal Deposits.

黃克峻
國立成功大學 地球科學系

摘要

金瓜石 - 九份 - 武丹山淺溫型熱水礦床為今日臺灣產最多礦物的地區，自清末與日據時代以來歷經多位重要學者研究，於今日已發現占全島超過三分之一礦物種，培植傑出地質學家與使用許多當代尖端研究方法投入，於臺灣自然科學 - 礦物學發展中具無可取代的地位。

本地區目前的礦物種當中，自然元素類有六種、硫化物十五種、碲化物一種、硫鹽類九種、氧化物氫氧化物十種、碳酸鹽七種、砷酸鹽與磷酸鹽類十種、硫酸鹽類十三種、鹵化物一種、矽酸鹽類四十一種，總共達一百一十三種。其中硫砷銅礦、呂宋礦、法馬丁礦、明礬石常被拿來當作該物種的「模式標本」，供作世界科學研究比對或博物館陳列。如此之礦物多樣性、獨特性已達世界級礦山等級，值得國人重視。

過往甚少有文獻針對臺金時期以前的礦物學發展作為論述，本文為展現臺灣礦物學紀錄的進程，探索過去百年來發表的文獻，共論今日於三礦山之研究與新發現，以彰顯九份金瓜石地區於台灣礦物學上的重要性。

關鍵字：金瓜石金山、瑞芳金山、牡丹坑金山、礦物學

Abstract

The Chinkuashih-Chiufen-Wutanshan epithermal deposit is one of the most important mineralogical site in Taiwan owe to found since late Qing-dynasty and Japan Colonial Era. Until today more than third of the mineral species reported in Taiwan can be found here, making it one of the irreplaceable site in Taiwan. These minerals fuels research using state of the art instruments in the past, sprouts many famous geologists and mineralogists in the history. Today there are 113 minerals found in this region, including 6 native elements, 15 sulfides, 1 telluride, 9 sulfosalts, 10 oxide and hydroxides, 7 carbonates, 10 arsenates and phosphates, 13 sulfates, 1 halides, and 41 silicates. Among these enargite, luzonite, famatinite, and alunite are frequently considered as best of the species used as type or reference specimens for research. Base on the mineral diversity and uniqueness, the Chinkuashih-Chiufen-Wutanshan region can be considered as a world class mineral locality worth for further attention. Due to rare discussion in mineralogical literature during earlier history of this region, this article address these important mineralogical progress in the past 100 years, and further discusses present day statues to emphasize its importance in Taiwanese Mineralogy.

壹、緒論

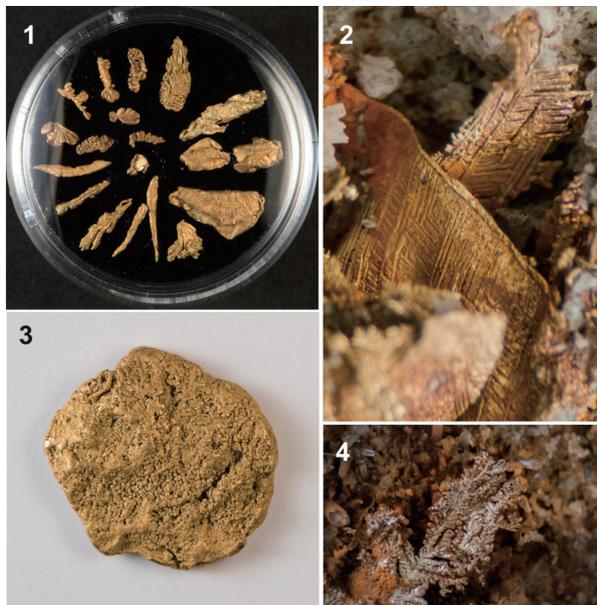
礦物學屬地質學的分支，為針對地表、地下岩石中之天然礦物作為紀錄、研究。從了解礦物晶體型態、特色、成因、至利用取材作為支持社會及工業發展的基石。礦物學發展攸關社會土地利用，新材料與技術發展，或聚落與人文起始，因此為拓荒時期除動物學、植物學以外博物學範疇中頗重要的一部分。然而礦物學身為博物學、自然科學中重要一員，於臺灣卻鮮有文獻整合記載島嶼上礦物學之重要進程與發現，成為土地故事的缺憾。九份、金瓜石、與武丹山(牡丹坑)淺溫型熱水礦床為清末、日治時期、或國民政府時期重要礦物發現地，本土礦物紀錄種隨礦山探索、開拓有著爆發性成長，至今仍保有全島三分之一以上之礦物種並持續有新發現，可謂臺灣礦物學的熱帶雨林，扮演極為重要的角色。

貳、1900年以前的礦物紀錄：砂金與山金的樣貌

荷西統治時期至清末年間臺灣的礦物紀錄並不多，有紀錄者為與硫磺、金，及與礦物較無關的煤礦(唐羽，1985)。大航海時期廣為流傳臺灣島擁有攸關戰爭與經濟資源的礦產，但這些礦產的地質特徵與自然形態則罕為人知，多僅是流傳而已。較現代且詳細的紀錄始於臺灣博物學快速發展的日治時期。礦物與地質學由日本臺灣總督府殖產處(後為殖產局)技師石井八萬次郎為開端。石井氏是當時日本帝國聘任遊歷韓國、華中等戰地的地質專家，於佔領地記載許多珍貴地質觀察，也是1895年馬關條約後抵達臺灣的首批地質學專家。期間踏遍臺灣島，為地質與礦產進行詳細探查。當時才發現沒幾年的基隆河砂金礦與已開始快速發展

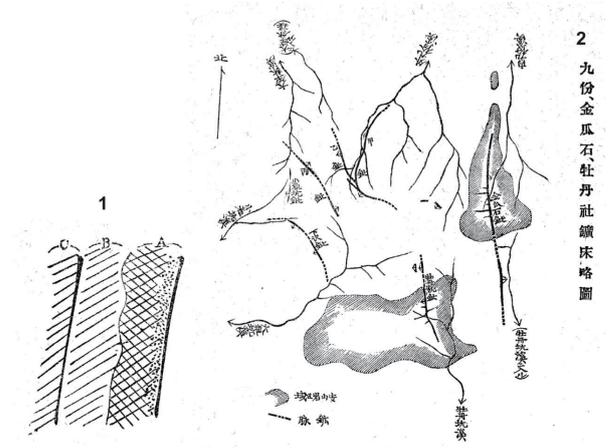
的「九份山」，成為石井氏於臺灣最早的調查工作（石井八萬次郎，1897a,b,c）。

石井氏 1897 的報告中紀錄他由基隆途經暖暖，沿基隆河觀察砂金，並轉往上游金礦源頭，依路途所見撰寫兩篇重要的金礦報告。「基隆川砂金」記載當時熱鬧的基隆河砂金礦，文中提及砂金是以微扁之米粒狀、葉狀、與線狀自然金（圖 1-1、1-3），並偶與石英混雜出現。共存之碎屑礦物包含有「石英、黏土、硫化鐵礦物、銻石、磁鐵礦、石榴石」等六種礦物。石井推測石英、黏土、硫化鐵礦物為礦脈風化而來，而銻石與磁鐵礦等礦物則來自火成岩。而另一「臺灣瑞芳金山」論述，則鉅細靡遺的描述當時礦山的地理位置、原始交通、險惡地形，對於砂金源頭的礦山於岩石變化與礦物分佈，記錄金礦成因可能與火成岩有關。他的報告為後來日人稱之為「瑞芳金山」的九份山金礦，為當時了解九



【圖 1】(1) 基隆河產的砂金，據石井氏所描述具微扁之米粒狀、葉狀、與線狀等多種產狀，標本盒一英寸直徑，林俊宏先生提供。(2) 產於小金瓜的薄葉狀自然金，表面具有許多細微的晶體結構，張國興先生提供。(3) 基隆河產粗粒塊金，上面還具有許多原生自然金晶體，標本 1.8 公分寬，林俊宏先生提供。(4) 九份甲脈產具樹蕨狀產狀之自然金，張國興先生提供。

份與金瓜石礦山的重要依據。這兩篇報告奠定瑞芳、金瓜石金礦成因與火山作用相關的基礎，是臺灣地區首次針對礦物有詳細紀錄。



【圖 2】「大金瓜」最早的手繪資料。(1) 齊藤讓 (1901) 所描繪的金瓜石「大金瓜」露頭礦脈岩石與斷層關係圖。A 為富含金之赤色含褐鐵礦岩石，右側接近斷層（黑色線）為角礫狀；B 為淡青色黏土帶及位於左側斷層上盤 C 的青黏土帶。(2) 齊藤讓 (1901) 瑞芳金山、金瓜石金山、牡丹坑金山的礦床簡圖，是本地區最早的圖資。

石井氏除礦物觀察外，另根據所見火成岩與沉積岩之關係，於百年前推論礦山地質的演化過程，提出有四個地質階段。第一階段為含化石之第三紀沉積岩受「地殼變動」產生地層繞曲變形、第二為變形的沉積岩地層受火山岩侵入與噴發作用、第三斷層作用、與第四則為沿著斷層發生金礦的熱反應作用。他所提出的地質模型於百年後尚未有太大更動。對於與金礦相關的岩石觀察尤其詳細，於後稱為「金瓜石」之雞冠狀裸峰上發現組成火山岩之「岩脈」，兩側與圍岩接觸部發育有白色黏土化「變質」區域，有多量硫化鐵礦物與硫化鉛，金礦即伴隨硫化鐵礦物一同出現，是大金瓜最早的紀錄。他指出這些金礦化岩石除變堅硬外，顏色由新鮮之「斑狀灰色火山岩」隨影響程度轉變為「藍青色至葉綠色火山岩」、「青泥色火山岩」、「白色黏土質火山岩」、及「黃赤色含鐵之黏土質火山岩」（圖 2-1）。岩石隨熱液反應程度，硫化鐵礦物含量

也隨之增加，而最後「黃赤色含鐵黏土質火山岩」則為受風化、強烈反應的火山岩，含金量最高，是當時開採的主要目標。這位臺灣地質探索先驅也發現位於九份的瑞芳金山係發育於第三紀沉積岩內，與金瓜石金礦發育於火成岩中的差異，了解金瓜石礦山與九份礦山金礦成因的不同。石井氏認為九份山之金礦以礦物填充於斷層裂隙，而金瓜石則較類似於火成岩接觸部的浸染狀礦床。

石井氏當年根據有限露頭提出「火山岩脈」與「接觸礦床」兩地質成因解釋金瓜石礦床，這於後來幾年受討論檢討(仙石亮，1900；齊藤讓，1900, 1901)。於1901年後才確認「岩脈」、「接觸礦脈」不適用於金瓜石礦山的成礦機制，裂隙充填與圍岩反應的成因較為恰當(齊藤讓，1901)。石井的觀察奠定金瓜石、九份礦山金礦岩石受礦化作用影響之變化與金礦指標，於後續探勘與研究提供重要的基石。後稱為新鮮石英安山岩、青盤岩化安山岩、黏土化安山岩、矽化安山岩的岩石(方建能、余炳盛，1995)，為金瓜石地區礦物生成的溫床，臺灣的礦物學由造岩礦物(rock forming minerals)調查研究開端時，也因礦山開發增加礦床相關的熱水礦物(hydrothermal minerals)報導。

石井氏於臺灣的功績除繪製第一張臺灣全島地質圖外，於後發表「臺灣地質礦產圖」，為臺灣土地的天然資源調查奠定良好基礎。金礦山的調查工作後來由東京帝國大學派遣「的場中」博士、總督府技師「齊藤讓」接手。瑞芳、金瓜石、牡丹坑金山的地質調查進入精查階段，礦山探勘進入穩定發展的時代(的場中，1900；齊藤，1901；齊藤正次，1936)。臺灣的礦物學紀錄與研究就此開端。

參、日治時期三金山鼎立的年代

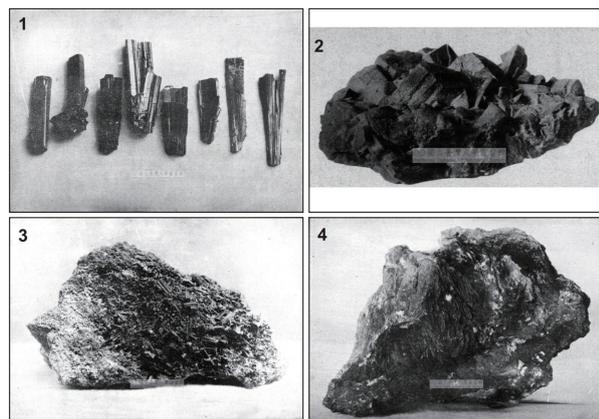
一、金瓜石的黑色寶藏：硫砷銅礦的發現

1900年代前瑞芳金山、金瓜石金山、牡丹坑金山於礦山地表處開發，記載多著重於易處理的富金硫化鐵、富金黏土脈(西村三木雄，1896；齊藤讓，1901)，發現的礦物單調。1900年代後隨礦山往地下深處開發，礦山岩石與礦物出現轉變。當時瑞芳金山與金瓜石金山從近地表的含金氧化鐵礦脈、往礦山深部挖掘漸轉為以含金硫化鐵礦物，原赤紅色的礦石變為灰色的礦石。當時三大金山產金量為日本產總額的百分之四十，受高度重視，據此多位地質專家來訪欲探究究竟。於1901、1902年夏季來訪的工學士「大島十郎」注意到礦山礦物隨深度變化，依組成劃分為上部「酸化帶」、中部「硫化鐵礦帶」、及下部「黑礦帶」(大島十郎，1906)，並指出因面臨冶煉新種礦石的問題，金瓜石礦石中越來越常見的黑色礦物需特別關注。當時帶回一箱及後來追加的三箱黑色礦物回日本進行分析，發現為含銅、硫、砷的礦物，大島氏根據粗略分析猜測可能為砷黝銅礦(tennantite)、或車輪礦(bournonite)(大島十郎，1906)。黝銅礦是一種等軸晶系之含銅、銻、硫鹽類(sulfosalt)，晶形多為四面體因此又被稱為日人稱為「四面銅礦」，而另一類車輪礦則為斜方晶系硫鹽類，常以齒輪狀雙晶而得名。但當時因標本缺乏晶型無法明確證實是哪一種礦物。

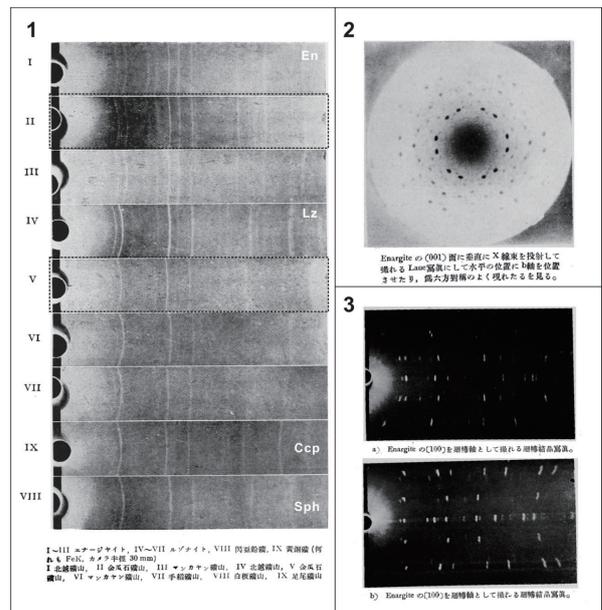
黑色礦物的身分在1906年「上山小二郎」透過詳細化學分析與物理性質量測、及利用取得的晶體確認為斜方晶系的硫砷銅礦(enargite)(上山小二郎，1906)。日人藉此根據硫砷銅礦的特性改善冶煉流程並開始增產銅。金瓜石產的硫砷銅礦由於結晶良好巨大(圖3-1、3-2、3-3)，後來於日本東北

大學神津教授的礦物實驗室以各種不同科學方式研究，成為臺灣礦物中首例以X光繞射分析的礦物(圖4-2、4-3)，為學界了解該礦物的物理、化學、結晶學提供重要科學貢獻(渡邊萬次郎，1930；高根勝利，1933；鶴見志津夫，1933；渡邊新六，1936；神津倅祐、渡邊新六，1937；竹內常彥，1943)(圖5)。硫砷銅礦是一種不常見礦物，甚少大量能供作開發使用，因此金瓜石礦山巨碩晶體的發現，並為主要銅礦於當年是獨特，也是臺灣歷史中繼硫磺、自然金發現以來，是為發現第三重要的經濟礦物。

1910年於總督府工作的岡本要八郎所發表的「臺灣硫砷銅鑛(エナルジヤイド)の結晶に就て」，是金瓜石地區硫砷銅礦早年最為詳細的記載。這位臺灣礦物學重要人士於文中記載硫砷銅礦發現於金瓜石礦山的本山二坑，以後往下至本山五坑之間的礦脈都可見其蹤跡。它的型態於最上部的本山二坑硫砷銅礦是以黑色汗漬狀出現於矽化岩石上，而美麗的晶群由本山三坑、四坑間開始出現，以火柴棒大小之六角柱狀晶群與黃鐵礦(pyrite)、重晶石(barite)、薄層石英包裹，並偶與細粒自然

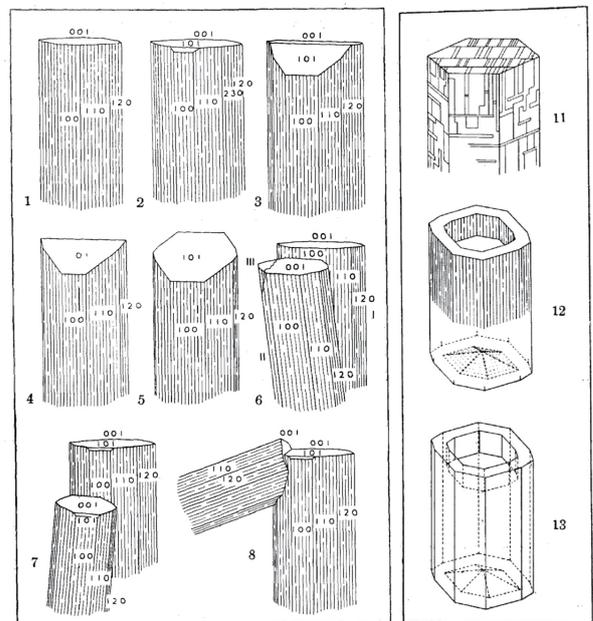


【圖3】岡本要八郎1911年臺灣礦物調查報告中的金瓜石典型礦物。(1)長仁坑之長柱狀硫砷銅礦晶體。(2)短柱狀硫砷銅礦粗晶，標本現存臺灣博物館。(3)出口雄三所收藏的長仁坑產具中空構造之硫砷銅礦晶簇。(4)長仁坑產明礬石巨晶簇。圖資來源為臺灣大學舊照片資料庫。



【圖4】日治時期硫砷銅礦、呂宋礦的X光繞射研究。(1)竹內常彥(1943)的粉末繞射資料比對硫砷銅礦(En)、呂宋礦(Lz)、黃銅礦(Ccp)、閃鋅礦(Sph)之繞射環線，虛線圈起是金瓜石產樣本。(2)高根勝利(1933)硫砷銅礦的[001]單晶繞射，(3)及單晶旋轉[100]晶軸所記錄的繞射點，這是臺灣礦物中最早受X光結晶學研究的礦物材料。

金瓜石礦山產硫砷銅礦的結晶形



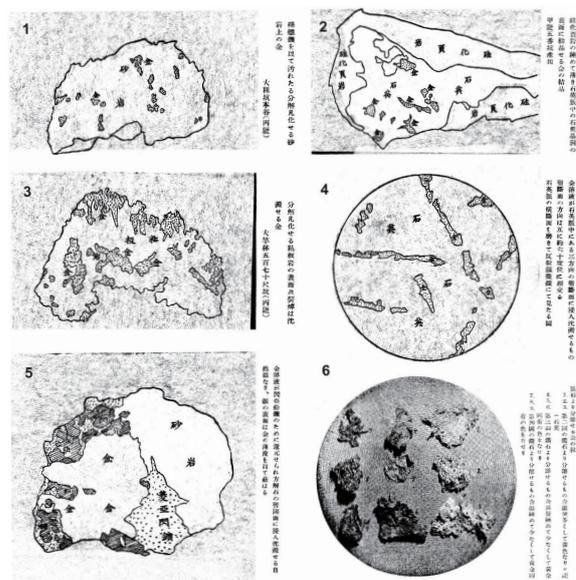
【圖5】渡邊新六(1936)所描繪的金瓜石礦山硫砷銅礦之晶體外形。

金一起共生於礦脈晶洞中，再往深部本山四坑與五坑間進入下部硫化鐵礦帶以及黑礦帶，硫砷銅礦以有如輝銻礦 (stibnite) 之光澤以薄柱狀或短柱狀群晶、偶產具中空特徵的骸晶 (岡本要八郎, 1910)，時還帶有美麗的紫色光輝與三角八面體之黃鐵礦共生。他的記載中除了本山系的礦體有產出外，位於本山北方的長仁坑也有報導 (岡本要八郎, 1910; Deguchi, 1912)。長仁坑出產的硫砷銅礦多為細柱狀，並偶與明礬石 (alunite)、硫磺共生 (圖 3)。岡本要八郎於此報告中也統整了三大金山的幾種礦物物種豐度的比較，明確指出除礦床形式不同外，發現的礦物組合也相觀。金瓜石礦山的礦物組合也在此明確與瑞芳金山的九份區隔。

當時於總督府殖產局工作的岡本氏統整自日本抵達臺灣後，與他自身採集的樣本進行礦物學紀錄，於 1911 年發表了「臺灣產礦物雜說」，其中包含 1912 年補遺的部分共發表有六十種礦物 (岡本要八郎, 1911a,b,c; 1912)。這些礦物中來自瑞芳、金瓜石、牡丹坑金山產者即有二十八種，佔近一半的物種，顯見此地區於早年臺灣礦物學發現年代的重要性。該批標本成為日本總督府殖產局的第一批陳列室標本，後來成為臺灣博物館的前身，是創館之時最早的標本。岡本要八郎對這些礦石的觀察力與描述及北投石的發現，讓他後來被認為是臺灣歷史上第一位礦物學相關的「博物學家」。

二、山金的樣貌

自然金於礦物學中屬等軸晶系，出現時以多不規則集合體產出，或樹枝狀、葉狀，完美晶體於自然界非常罕見。成份可與自然銀形成固溶體 (solid solution)，於不同地質條件能有含銀量與微量元素變化，是一種成份多變的天然物質。三大金山開採的金礦物即為自然金，其形態記載除石井氏所報導



【圖 6】久原幹雄 (1918) 對瑞芳金山 (九份) 所產的自然金之天然型態紀錄。(1) 瑞芳金山大粗坑丙脈出土的含金褐鐵礦。(2) 甲脈產之矽化頁岩中與石英共生的自然金。(3) 大竿林丙脈出產的矽化頁岩表面長有許多自然金。(4) 自然金呈特定方向排列，當時認為是取代石英破裂面所產生。(5) 瑞芳金山較深部的金礦石與閃鋅礦、方解石共生。(6) 礦石中自然金的成色變化，由左至右為含銀量越來越高，可見顏色趨淺。

基隆河砂金外 (石井八万次郎, 1897c)，其金山產狀與成份於文獻中僅偶爾著墨。日人記錄「金山」的產狀包含描述其形狀、母岩形態、含銀量 (成色)，對金瓜石金山的描述多為細粒散點狀與褐鐵礦共生、或於牡丹坑金山露頭發現之葉狀自然金後則無再多記載。相對以出產巨大自然金知名的瑞芳金山，則有數筆詳細記錄。

久原幹雄 (1918) 對瑞芳金山 (九份) 所產自然金之紀錄，讓我們洞悉當時富礦體中金子的樣貌。自然金發現於礦脈小晶洞中與石英共存，多以粒狀、薄片狀、樹蕨狀、蠕狀等，偶而與黏土一同出現 (圖 6)，或沿方解石解理面間取代、沉澱形成片狀、板狀自然金 (圖 1-2、1-4)。久原氏也指出含銀量可由顏色區隔，含銀量越高者偏銀白色，並隨著含銀越低顏色則偏橘黃色 (圖 6-6)。他並指

出自然金於瑞芳金山空間分布上，較深部的自然金多與閃鋅礦 (sphalerite)、方鉛礦 (galena)、黃銅礦 (chalcopyrite) 一起出現 (圖 6-5)，顯示瑞芳金山淺處與深處之自然金可能有不同成因 (久原幹雄，1918)。

另一則於本地區時間軸較中期的 1930 年，由日本知名礦物學者柴田秀賢針對瑞芳金山產大塊自然金所作的紀錄。柴田氏所取得的自然金為大小兩塊，其中最大的一塊有掌心大，上面密佈細小晶體。另一較小塊的則具典型葉狀、鱗片狀的外貌 (圖 7-1)。柴田氏觀察九份的自然金多為鸞形二十四面體 (tetragonal trisoctahedron)，晶體偶爾拉長或變形，常以平行連晶的方式構成鱗狀組織，有時還具有放射狀的晶體排列 (圖 7-2)。當年柴田氏指出這樣的自然金相當特別，因此特別撰寫紀錄報導 (柴田秀賢，1930)。瑞芳金山之自然金後來根據林朝槩描述，大小於二十兩以上的不少，他即親自採集過一個六十兩多的金塊。根據林氏文中所述，據聞本區最大的金塊發現於日治時代以前於小金瓜露頭附近，達六十三台斤 (林朝槩，1950)。

三、聞名世界的呂宋礦

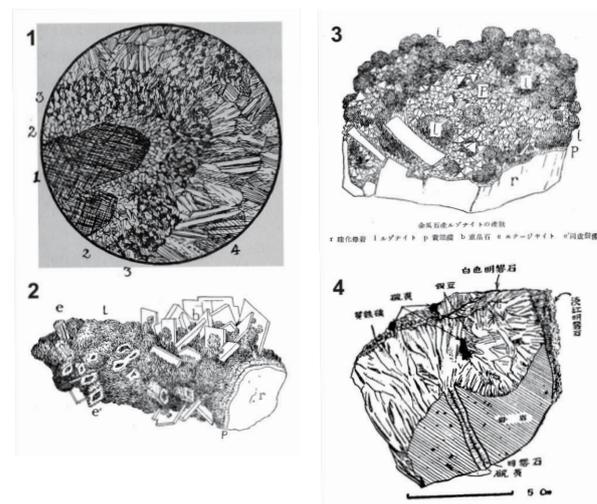
金瓜石地區的黑色礦物除硫砷銅礦外，今日另



【圖 7】柴田秀賢 (1930) 的瑞芳金山產自然金。(1) 兩自然金標本，大者約掌心大，右下圖為黑框放大部分，可見罕見自然金之結晶。(2) 柴田氏根據標本所描繪的自然金晶型與產狀圖。

一頗負盛名的呂宋礦 (luzonite) 則於 1930-1940 年代發現。較為特別的是呂宋礦與硫砷銅礦具一樣成分，但硫砷銅礦為斜方晶系、呂宋礦為四方晶系，原子排列方式不同 (Gaines, 1957)，百年前大多礦物分析多透過濕式化學分析、火焰測試法或量角儀判讀結構，無法輕易鑑別無良好晶體的「同質異構物」。礙於分析方法，呂宋礦的發現於金瓜石礦山比硫砷銅礦晚了數十年。

金瓜石首次注意到呂宋礦的相關記載是渡邊萬次郎於 1930 年的一篇金瓜石產硫砷銅礦的光學顯微鏡觀察報告。他發現經過拋光的硫砷銅礦樣本除帶銀白色光輝的硫砷銅礦外，尚有一種具粉色光輝的礦物 (圖 8-1) 並將它們稱為白色硫砷銅礦 (white enargite) 與粉色硫砷銅礦 (pink enargite)，並試圖解釋粉色調可能為含銻較高的硫砷銅礦 (渡邊萬次郎，1930)。這種「粉色硫砷銅礦」於十多年後才以當時先進的 X 光繞射技術 (圖 5-1)，確認為



【圖 8】(1) 渡邊萬次郎 (1930) 以反射光顯微鏡所描繪的硫砷銅礦 - 礦石，1 區域為帶銀白色光輝之硫砷銅礦，2、3、4 則為帶粉色調的「粉色硫砷銅礦」。該礦物後來於 1940 年代證實為呂宋礦。(2) 渡邊萬次郎 (1943) 所記載具中空構造之呂宋礦假晶與硫砷銅礦、重晶石共生之樣本、(3) 典型金瓜石礦山之呂宋礦產狀，與黃鐵礦共生。(4) 島田要一 (1932) 記載的長仁坑產明礬石。

與硫砷銅礦成份一樣，但結構不同的呂宋礦 (渡邊萬次郎，1943)。

當時金瓜石的呂宋礦發現於長仁七番坑的第三長仁礦體，生長於矽化岩石的角礫岩孔隙中，多為葡萄狀聚合體並與黃鐵礦、薄板狀白色重晶石共生 (圖 8-2)。除葡萄狀外，有種具空心管狀構造的呂宋礦，後被認為是包裹硫砷銅礦，爾後硫砷銅礦分解的產物 (圖 8-3)。此類假晶 (pseudomorph) 被認為是呂宋礦於成礦地質環境中比硫砷銅礦穩定的證據，是金瓜石獨有的現象 (渡邊萬次郎，1943)。這樣的呂宋礦於礦山深部開發持續發現，與後來 1960 年代發現的法馬丁礦 (脆硫錳銅礦) 齊名為世界上結晶最好的樣本 (譚立平、魏稽生，1997、方建能、余炳盛，1995)。

四、瑞芳金山的礦物紀錄

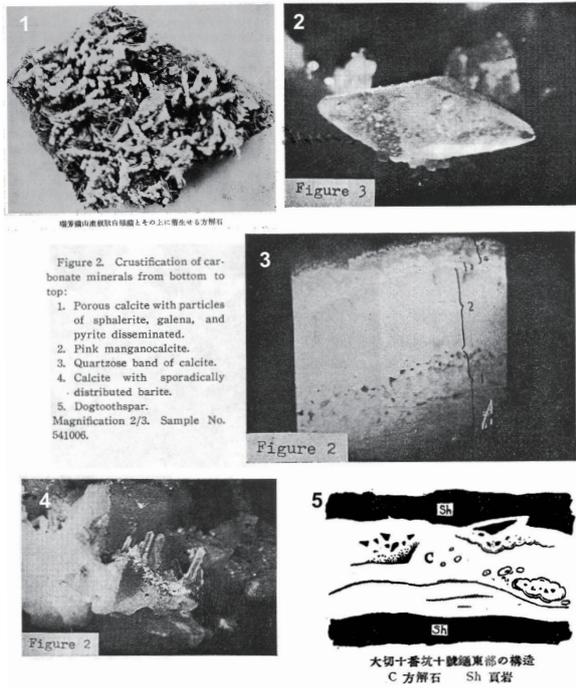
今日稱為九份的瑞芳金山早自石井八萬次郎即指出與金瓜石金山具不同地質與礦物組合 (石井八萬次郎，1897a、1897b)。金瓜石金山銅礦山屬「硫砷銅礦石英金礦」，而瑞芳金山則屬「硫化鐵石英金礦」(出口雄三，1915；圖 9)。於金瓜石礦山常見的硫砷銅礦、重晶石、明礬石等礦物於瑞芳礦山是非常稀有。反之，瑞芳礦山中最為常見的是石英、方解石、菱錳礦、閃鋅礦、方鉛礦、石膏、輝錳礦等礦物，這些於金瓜石反而不常見 (出口雄三，1915a、1915b、1915c、1915d)。瑞芳金山較為特別的是含錳碳酸鹽類礦物，外觀為粉色調偶爾包裹細粒方鉛礦、黃銅礦等礦物 (圖 10、圖 11-4)，且受風化、氧化後生成黑色殼狀錳氧化物。久原幹雄 (1918) 指出，瑞芳金山於礦山淺部多以單純之石英脈與褐鐵礦、自然金共生，往深部則礦脈中硫化鐵礦物 (如黃鐵礦與白鐵礦) 增加，最深部則以石英、含錳碳酸鹽類礦物、方解石以及閃鋅礦、方鉛

礦，及少量的輝錳礦 (渡邊萬次郎，1940；Wang, 1965)，顯示瑞芳金山也有如金瓜石金山的垂直帶狀分布。礦脈中的自然金粗大，常含有銀。且自然金含銀量可介於 25-35%，礦脈越靠東側者含銀越少，越靠西側者含銀量愈增，最西側的永代脈含銀量可達 35% 以上，可謂銀金礦 (electrum) (林朝榮，1950)。瑞芳金山的礦物學紀錄在日人將經營權轉交給顏家採包商制度經營後，礦物學紀錄除曾任顏家台陽礦業事務所地質師的林朝榮、顏滄波，與台大地質系王源、黃春江等人著筆外，紀錄甚少。

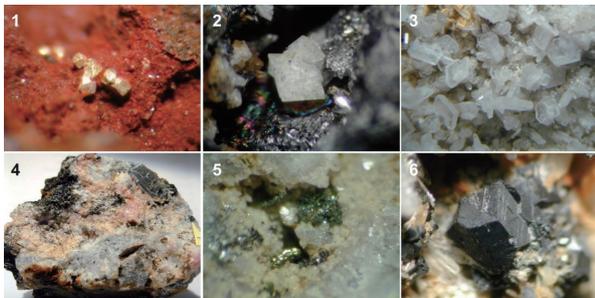
五、牡丹坑金山的礦物學紀錄

鐵 金 英 石 鐵 化 硫			鐵 金 英 石 銅 砷 硫			類 別
夷 鏡 大 鏡	福 已 鏡 寶 鏡	鶴 鏡 龜 鏡	永 盛 鏡 寶 鏡	久 盛 鏡 山 神 鏡	新 金 生 坑	裂 山 岩 中
錄 鏡 壽 鏡	永 代 鏡 鏡	甲 鏡 乙 鏡 丙 鏡				水 成 岩 中
		接 觸 鏡				接 觸
						火 山 岩 中
						水 成 岩 中
						接 觸
山鏡芳瑞			山鏡石瓜金			

【圖 9】出口雄三 (1915) 年將金瓜石金山銅礦山歸類於「硫砷銅礦石英金礦」，而瑞芳金山則屬「硫化鐵石英金礦」。



【圖 10】瑞芳金山的礦物紀錄：(1) 渡邊萬次郎 (1940) 所記載的片狀白鐵礦與白色附生的方解石。(2)Wang (1965) 中所提到的碳酸鹽礦物，犬牙狀方解石。(3) 層狀方解石、粉色錳方解石、石英、方解石、重晶石之樣本，其中暗色顆粒為閃鋅礦與方鉛礦。(4) 水晶共生的方解石。(5) 渡邊萬次郎 (1940) 描繪的瑞芳金山十番坑的的方解石脈。

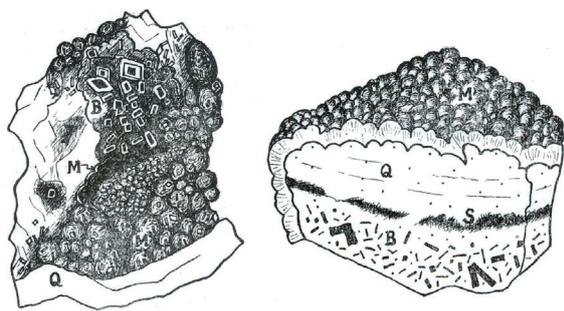


【圖 11】九份金山的礦物影像。(1) 自然金於氧化鐵基質上。(2) 冰長石於富碳質沉積岩上。(3) 重晶石晶簇，九份甲脈上部。(4) 粉色菱錳礦，九份甲脈。(5) 黃銅礦，九份八番坑產。(6) 尖晶石式雙晶閃鋅礦，九份十番坑。

1898 年由藤田組接管之瑞芳金山與田中組所管之金瓜石金山蓬勃發展之時，連培雲與周步蟾兩位臺灣人於兩金山人煙罕至的後山探勘而發現牡丹

坑金山，因資金短缺與遭遇盜匪，遂將礦山轉交給木村久太郎。1899 年木村組正式接管，該礦山於 1904 年達一千多位工作員 (木村久太郎，1908)。金礦主要發育於第三紀地層與火成岩接觸部及火成岩中，以東西向與南北向兩組裂隙充填形式之礦脈出現。日人於礦脈地表露頭處發現「金色燦爛的薄葉狀自然金」，而礦脈中的礦物則以硫化鐵、閃鋅礦、砷黃鐵礦、方解石、重晶石，以及上述礦物之風化次生礦物混雜於礦脈中 (木村久太郎，1908)。1900 年代，日人對於當時產金量最高的瑞芳金山帶有高度期待，並稱瑞芳金山第一金山、隨後則為金瓜石金山、及最後的牡丹山金山 (唐羽，1985)。

牡丹坑金山於日治時期結束後大多被稱為武丹山金山，較為詳細的礦物學紀錄為日治時期結束後臺灣大學黃春江教授於 1960 年所發表的一篇論文中所記載。黃春江指出武丹山金山的礦物學與金瓜石相較簡單，與瑞芳金山之九份較為相近。礦脈中主要的礦物為石英、黃鐵礦，並偶見上述兩礦物取代或假晶重晶石，其次的脈石礦物為碳酸鹽類如方解石或粉紅色的含錳方解石，重晶石為罕見礦物但偶見小於 7 釐米之晶體與石英共生。黃鐵礦其主要晶形為五角十二面形，或複合式五角十二面形，與金瓜石常見的八面體不同成為對比。方鉛礦與閃鋅礦偶爾以細小晶體出現於石英與碳酸鹽中。白鐵礦則多以葡萄狀、層狀出現於上述礦物之上 (圖 11)，顯示為成礦作用晚期沉澱的礦物 (Huang, 1960)。牡丹山金山是本地區三座礦山中於後期最少受到注目的礦山。



【圖 12】Huang (1960) 所描繪的武丹山含白鐵礦之礦石。M= 白鐵礦、B= 重晶石、Q= 石英、S= 閃鋅礦。

肆、臺金時期金瓜石、九份地區礦物、礦床學研究的紀錄

經日人治理近半世紀的臺灣，三座礦山的開採發現許多礦物與地質現象，礦山成因與特性已有綜觀看法。根據礦山前半世紀累積的礦物學、礦床學、地質學資料，於臺灣金屬礦業公司接手金瓜石金銅礦山時，新一批地質學家與技師進入礦山探勘新礦體，期待能延續礦山的生命。期間多次邀請日本專家來金瓜石協助，撰寫數篇報告(坂奇英生、太田垣亨，1964、坂崎英生、太田垣亨、陳武夫，1964)，這些報告除為當時提供探勘建議外，到今天還有參考價值。日治時期結束後礦山已知的地質特色有：(1) 礦化作用沿斷層與破裂面、角礫岩筒發育、(2) 受礦化作用之岩石換質程度隨礦化中心距離變化，由矽化、黃鐵礦化、明礬石化、黏土化、綠泥石化；然而類似變化於九份與武丹山較不明顯。(3) 礦床上部富金，下部富銅或硫化物，富金部分於接近地表處為褐鐵礦-重晶石-自然金為組成，往下部則演化為黃鐵礦-重晶石-自然金，與緊接著的硫砷銅礦-黃鐵礦-自然金(金瓜石)、(4) 礦山之間有著礦物學組成的差異。

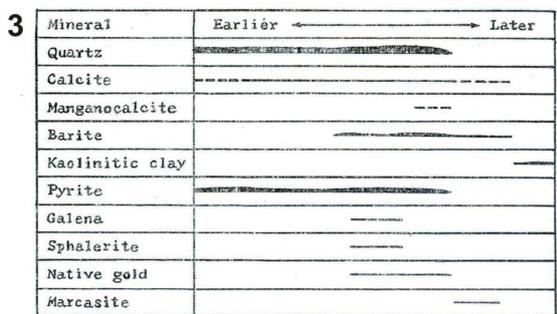
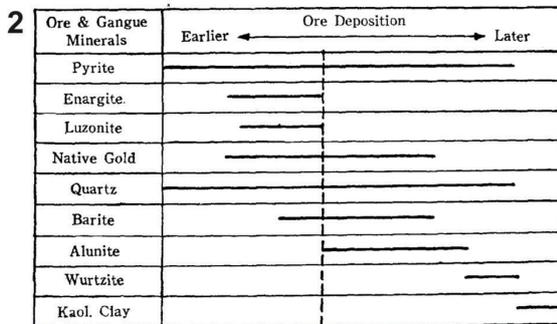
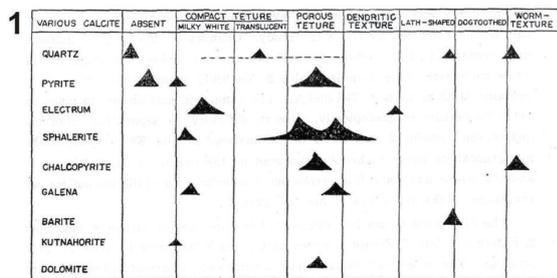
早年礦山之礦物研究多著重於探勘、了解礦物

組成、金銅礦含量以利優化冶金流程。而 1960 年以後受現代礦物學與礦床學影響，伴以國內先進分析技術設立，礦物分析除傳統光學顯微鏡、物理性質、濕式/乾式化學組成分析、晶面量測外，X 光繞射儀、電子探針、高倍觀察礦物礦石組織的電子顯微鏡，以及分析化學的進步得以將礦山礦物研究推進至另一紀元。精密元素濃度分析帶來礦床地球化學分析，成為了解礦山岩石的利器，提供後續探勘新礦體重要的基石(Chen, 1971., Rosenzweig, 1975a., Hwang and Meyer, 1982., Tan and Jeng, 1987) (圖 12)。礦山礦物學除過往傳統經驗式採礦、探勘與冶煉，新方法為地質科學探索如礦床形成的科學模型探究。當時臺灣大學的王源、黃春江、及顏滄波教授利用上述方法探究金瓜石、九份、武丹山地區的礦物，除了解成礦地質構造外，並試著建構「礦物成長順序」，探究成礦時期中礦物沉澱的順序，有哪個階段沉澱較多的金與銅，提供精細的探勘指標(Wang, 1965., Huang, 1955., 1960., 1964., 1965., Yen, 1974)。

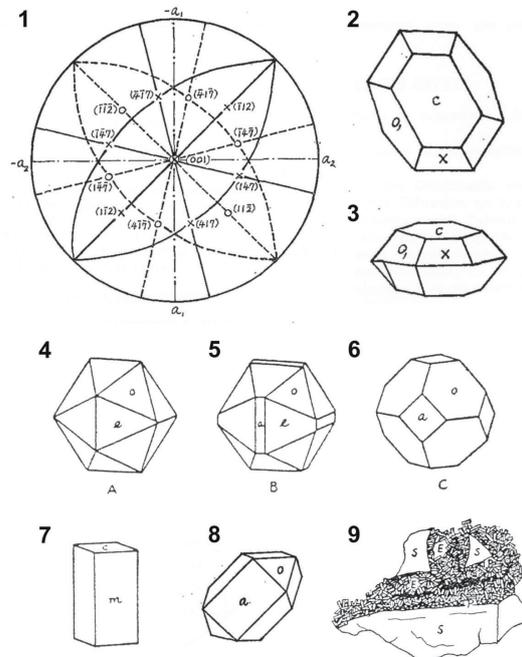
黃春江教授於 1955 年至 1977 年間發表了數篇金瓜石礦山的礦物學文獻，其中 Huang (1955) 對於礦物生成先後關係，建立「礦物生成秩序圖」(Huang, 1955., 1960., 1964., 1965) (圖 13)。他認為黃鐵礦是最早開始生成的礦物，產狀由簡單的八面體(octahedron)至五角十二面體或立方八面體(cuboctahedron) (圖 14-4、14-5、14-6)，礦脈中晶體大小隨礦山深度增加。於母岩中浸染狀的黃鐵礦晶體大多小於一毫米。硫砷銅礦則多與黃鐵礦伴生，以裂隙充填以及較罕見浸染型態出現(圖 14-9)。於礦山的特定位置則見有記錄不同時期沉澱的呂宋礦-硫砷銅礦-黃鐵礦-硫砷銅礦順序的層狀礦石出現。硫砷銅礦晶體與黃鐵礦類似，越往礦山深部越大可達三公分以上。呂宋礦黃春江教授

則指出相較硫砷銅礦少見，大多為黑色塊狀並帶有紫紅色光輝，與黃鐵礦、硫砷銅礦於礦脈裂隙中成層狀礦石；若以結晶出現則以球狀或葡萄狀聚形，生長於重晶石或硫砷銅礦之上 (Huang, 1955)。其它相關脈石礦物如重晶石與明礬石也有所著墨，黃指出重晶石是金瓜石礦山常見的脈石礦物，晶體可有薄板狀至成礦晚期的柱狀晶體 (圖 14-7)，通常生成於石英、黃鐵礦、硫砷銅礦、明礬石上。其它黃春江教授報導的礦物為纖維鋅礦 (wurtzite)、車輪礦 (bournonite)、黝銅礦 (tetrahedrite)、一水硬鋁石 (diaspore)、辰砂 (cinnabar)(Huang, 1964., 1965.,

1973)。根據林朝榮與周瑞燉所編著「臺灣地質」一書中所紀載之臺灣礦物種於 1974 年已達 157 種，其中來自金瓜石與九份、牡丹坑地區共 49 種。



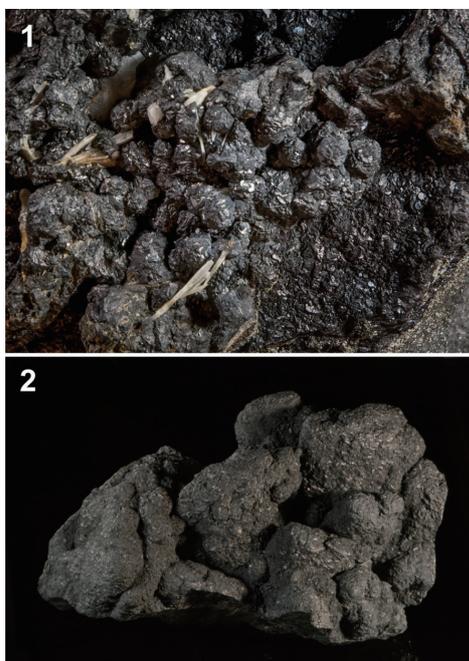
【圖 13】臺灣大學王源與黃春江教授所建立的礦山礦物生成秩序 Wang, 1965., Huang, 1955., 1960)。 (1) 瑞芳金山。 (2) 金瓜石礦山。 (3) 武丹山 (牡丹坑礦山)。



【圖 14】黃春江教授所繪製的金瓜石礦物晶形與產狀。(1) 呂宋礦之結晶投影。(2、3) 呂宋礦的晶形。(4、5、6) 金瓜石產黃鐵礦之晶形變化。(7) 本山產之柱狀重晶石。(8) 金瓜石礦山產的自然金。(9) 金瓜石礦山產硫砷銅礦 (E) 與黃鐵礦 (P) 於矽化砂岩角礫上。

法馬丁礦的發現：法馬丁礦是音譯自英文學名 Famatinite 而來，來自第一次發現地阿根廷的 Sierra de Famatina，目前中文學名為脆硫錳銅礦。今日的礦物學分類中脆硫錳銅礦屬呂宋礦 - 脆硫錳銅礦系列 (luzonite-famatinite series) 礦物，與呂宋礦是同構異質 (Isomorphism) 礦物。成分上它們成為兩個主要的端點成員 (End Member)，一個是以砷為主、另一則以錳為主，兩者在自然界中能以固溶體 (solid solution) 出現；代表砷與錳能以互相不同比例混合出現，成為兩礦物的混合體。由於同樣屬四方晶系結構，因此肉眼欲鑑定區別脆硫錳銅礦與呂宋礦晶體成為不容易的任務。在金瓜石地區漫

長八十年的採礦歲月中，1904-1905 年發現硫砷銅礦、1930 年代發現呂宋礦。而脆硫錳銅礦則遲至 1960 年代透過詳細化學分析才被發現 (譚立平與魏稽生, 1975)。根據黃春江及羅森垂 (A. Roseweig) 所發表的一系列文中可了解在金瓜石礦山中各處皆可見硫砷銅礦及呂宋礦 (Huang and Chou, 1975., Rosenzweig, 1975b)，然而呂宋礦與脆硫錳銅礦互生的現象僅在礦床中段以下出現 (Huang and Chou, 1975)。這些零星地點多位在礦床較深區域，礦床淺處的含銅礦物還是以硫砷銅礦 - 呂宋礦為主。至今最好的脆硫錳銅礦發現於金瓜石的本山六坑四百米脈 (圖 15-1)，有著罕見發育良好的晶體達到八釐米，以球狀、殼狀的聚晶於礦化的砂岩上。這類標本與稍晚由台金探勘處「陳武夫」先生在金瓜石深部本山八坑、九坑發現的暗色脆硫錳銅礦產狀明顯不同 (圖 15-2)。獨特產狀與美麗晶形當時被譽為世界最佳樣本 (譚立平與魏稽生, 1997)，三種黑色礦物成為金瓜石自此傲視世界的珍稀礦物。



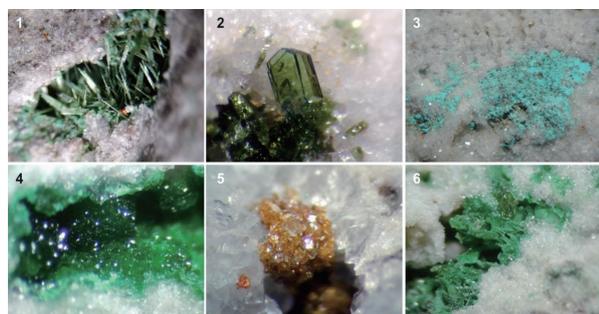
【圖 15】金瓜石產法馬丁礦。(1)球形結晶聚合體與重晶石共生，六坑四百米脈產。(2)包裹硫砷銅礦巨晶，標本寬 18 公分，本脈本山八坑產。

伍、後臺金時期的礦物學紀錄

本地區的礦物學研究隨台陽礦業與瑞三礦業公司於 1971 年結束瑞芳、武丹山礦山採礦、臺灣金屬礦業公司於 1978 年結束金瓜石礦山採礦後，礦山研究轉變為以地球化學探勘為主。河砂土壤地球化學探勘 (Tan and Jeng, 1987., Fang et al. 2004., Wang and Yu, 1996)、同位素示蹤 (Shen and Yang, 2004)、液包體示蹤 (Wang, 1999) 等，試圖尋找新礦化作用及礦山深處是否還有更多礦可採。根據譚立平與魏稽生所撰「臺灣經濟金屬礦業」，金瓜石地區經百年的開採記載共有火成岩礦物 25 種、礦床礦物 61 種，摒除沉積岩中之碎屑礦物總共有 82 種礦物。截至 2004 年陳培源等所編撰「臺灣之礦物」中記錄的臺灣礦物種達 252 種 (陳培元、劉德慶、黃怡禎, 2004)，其中金瓜石、九份、武丹山地區則佔其中 62 種，若補齊譚與魏 (1997) 所列之礦物，整個區域共發現有 89 種礦物。

礦山結束除上述探勘相關研究外，有關礦山風化與環境相關的环境礦物學研究也開始萌生 (Chen and Jiang, 2012., 林家宇, 2012)。礦床礦物學物種的新增於礦山關閉後新礦物種發現並未停歇，新的礦物發現來自業餘礦物採集收藏者，特別於礦山露頭與捨石堆、古老風化堆中發現。其中次生礦物的發現最多。金瓜石地區過往次生礦物著墨並不多，因它並非主要礦物、又不見得與金銅礦直接有關。曾報導的次生礦物包含有金屬礦分解產生之硫酸鹽類的石膏 (gypsum)、黃鉀鐵礬 (jarosite)、水鋁礬 (allophane)、水膽礬 (brochantite)、膽礬 (chalcantite)、四水白鐵礬 (rozenite)、水綠礬 (melanterite)、粒鐵礬 (roemerite)、鐵明礬 (halotrichite)、葉綠礬 (copiapite)，碳酸鹽類的白鉛礦 (cerussite)、孔雀石 (malachite)、藍銅礦 (azurite)，矽酸鹽類的矽孔雀石 (chrysocolla)，及砷酸鹽類的臭蔥石 (scorodite) (譚立平、魏稽生, 1997)。過去

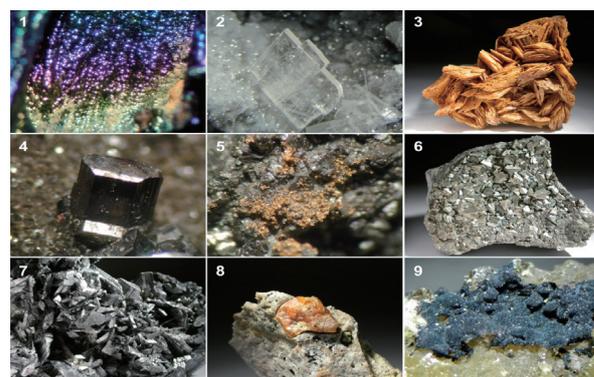
發現次生礦物中大部分為含鐵的次生礦物，但金瓜石產有大量含砷原生硫砷銅礦，卻僅有一種次生砷酸鹽類礦物報導，顯示可能有許多未發現物種。這個礦物學的缺口在 2004 年由瑞芳業餘礦物愛好者張國興先生於水湳洞地區之海岸與隆起之高位海階中發現許多含有綠色礦物的鵝卵石與大型滾石得到解答。這些鵝卵石中多以淺色矽化多孔之岩石為主，偶有矽化暗色岩石，含有多種砷酸鹽礦物，以橄欖銅礦 (olivinite)、砷銅鈣石 (cornwallite)、綠砷銅礦 (cornubite)、毒鐵礦 (pharmacosiderite)、鈉毒鐵礦 (natropharmacosiderite)、臭蔥石 (scorodite)、與後續顏長茂先生所發現之砷鈣鐵石 (arsenosiderite)、與鹵化物如斜方氯銅礦 (botallackite) 共生於矽化岩石孔隙中 (圖 16)，晶型大多良好。上述之次生礦物偶見與半分解之硫砷銅礦以殼狀或假晶方式出現，顯示為金瓜石礦山典型礦物之天然風化產物。此類滾石根據其圓度可能為礦山頂部之礦石於第四紀風化、侵蝕搬運移置，並部分與海水作用而來。類似之砷酸鹽類礦物亦於第三長仁露天礦場發現。這些砷酸鹽類礦物多為稀罕及顏色鮮艷之礦物，除填補金瓜石礦山礦物學的缺口，也為臺灣礦物增添不少色彩。本文整理本地區所發現之礦物清單，於今日達 113 種，以礦物多樣性來看已是世界級礦床，值得大家關注。



【圖 16】金瓜石地區新發現的砷酸鹽礦物群。(1)針狀橄欖銅礦。(2)板柱狀橄欖銅礦晶體、(3) 氯砷銅鈣石微晶。(4) 砷銅鈣石填充於晶洞中。(5) 毒鐵礦生成於石英上。(6) 呈臘狀之綠砷銅石。

陸、金瓜石、九份、牡丹坑 (武丹山) 地區礦物科學的未來展望

歷經百多年時光，臺灣歷史中最重要的礦山產出超過全島三分之一的礦物種，並持續增加中。過去始於自然金的開採，靠著九份巨大的自然金與 1905 年代發現的硫砷銅礦成為知名金銅礦山，於漫長歷史中發現明礬石、呂宋礦、法馬丁礦晶體聞名世界。這些重要礦物經石井八萬次郎、岡本要八郎、渡邊萬次郎、柴田秀賢、神保小虎、顏滄波、林朝榮等無一不是日本與台灣地質礦物學巨人的關注，造就礦山豐富的礦物學紀錄。過往礦物研究著重應用科學與冶金工程、探勘，於現代地質科學的進步下更是探索自然作用機制的科學前緣。最新研究顯示金瓜石為世界上保存最完好的高硫化型礦床 (Henley and Berger, 2012., Berger and Henley, 2011)，於了解此種礦床成因、重金屬於火山系統中的行為有重大的啟示，許多證據尚埋藏於本地的岩石中等待進一步解析。金瓜石、九份、武丹山地區可謂臺灣礦物探索啟蒙之地，於近年觀光盛行之時，相關礦物發現史與自然露頭教育若能深耕，將礦物與人文歷史連結，獨特的地景為輔，「地質旅行」將能建立無可取代的地方意象，讓大眾了解並親近這個臺灣難得的自然遺產，更是未來可期待發展的課題。(圖 17)



【圖 17】金瓜石礦物影像。(1)具暈色的針鐵礦，第三長仁產。(2) 重晶石，本山礦場產。(3) 明礬石，第三長仁產。(4) 硫砷銅礦，樹梅產。(5) 自然金於黃鐵礦上，本山四坑產。(6) 黃鐵礦，本山六坑產。(7) 硫砷銅礦，本山六坑產。(8) 硫礦，第一長仁產。(9) 銅藍於硫礦上，第一長仁產。

柒、致謝

作者感謝多年來許多礦物收藏者採集提供採集之標本供作研究，張國興先生、顏長茂先生、以及許多位熱心於礦物科學研究的友人。除此之外也感謝國立成功大學地球科學系的江威德教授與其研究室人員提供協助與研究資源鑑定礦物。

捌、參考文獻

一、書籍文獻

1. 方建能、余炳盛，1995。金瓜石九份金銅礦床導覽。台灣省立博物館印行。
 2. 林朝榮，1950。臺灣之金，臺灣銀行特產叢刊第六種，臺灣銀行金融研究室編印。
 3. 林朝榮、周瑞燉，1974。臺灣地質，臺灣省文獻委員會印行。
 4. 林家宇，2012。臺灣北部金瓜石金銅礦床長仁一坑礦山排水沉澱物之礦物學研究。國立成功大學地球科學系碩士論文。
 5. 唐羽，1985。臺灣採金七百年，財團法人台北市錦綿助學基金會印行。
 6. 陳培源、劉德慶、黃怡禎，2004。臺灣地質之十四：臺灣之礦物，經濟部中央地質調查所編印。
 7. 譚立平、魏稽生，1997。臺灣地質之十：臺灣金屬經濟礦物，經濟部中央地質調查所編印。
- ### 二、日文文獻
1. 大島十郎，1906。臺灣基隆廳管 金瓜石金山(田中長兵衛氏有)の色礦物，地質誌，13(153)：192-194。
 2. 上山小二郎，1906。臺灣金瓜石鑛山のエンアルジヤイト(Enargite)，地質誌，13(153)：201-203。
 3. 久原幹雄，1918。瑞芳金山に於ける金の二次富化作用，地質誌，25(298)：333-349。
 4. 木村久太郎，1908。牡丹坑鑛山近況，日本鑛業會誌，24(286)：1229-1261。
 5. 石井八万次郎，1897a。臺 瑞芳金鑛山(1)，地質誌，4(43)：245-253。
 6. 石井八万次郎，1897b。臺 瑞芳金鑛山(no.2)，地質誌，4(44)：283-291。
 7. 石井八万次郎，1897c。基隆溪川砂金，地質誌，4(44)：291-297。
 8. 仙石亮，1900。臺灣北部 金地ニ關スル論ノ批評，日本鑛業會誌，16(190)：659-668。
 9. 出口雄三，1915a。臺灣基隆金山鑛床調報文(一)，地質誌，22(256)：1-11。
 10. 出口雄三，1915b。臺灣基隆金山鑛床調報文(二)，地質誌，22(257)：55-76。
 11. 出口雄三，1915c。臺灣基隆金山鑛床調報文(三)，地質誌，22(258)：109-118。
 12. 出口雄三，1915d。臺灣基隆金山鑛床調報文(四)，地質誌，22(259)：135-164。
 13. 西村三木雄，1896。臺 瑞芳金鑛山ノ一斑，日本鑛業會誌，12(135)：175-179。
 14. 竹內常彦，1943。北越，金瓜石兩鑛山ルゾナイトのX線的研究，岩石礦物鑛床學，30(2)：73-81。
 15. 坂奇英生、太田垣亨，1964。鑛脈の富部形成の2,3の例について，日本鑛業會社，80(915)：763-764。
 16. 坂崎英生、太田垣亨、陳武夫，1964。金瓜石山付近の地質床(3)，山地質，14(68)：350-355。
 17. 的場中，1900。金瓜石鑛床ニ就キ，日本鑛業會誌，16(189)：620-622。
 18. 岡本要八郎，1910。臺灣 硫砒銅鑛(エナ

- ルジャイド)の結晶に就て,地質學雜誌, 17(196): 8-15。
19. 岡本要八郎, 1911a。臺灣產鑛物雜說,地質誌, 18(212): 112-119。
20. 岡本要八郎, 1911b。臺灣產鑛物雜說(續),地質誌, 18(213): 144-151。
21. 岡本要八郎, 1911c。臺灣產鑛物雜說(完結),地質誌, 18(214): 167-172。
22. 岡本要八郎, 1912。臺灣鑛物雜補遺,地質誌, 19(229): 444-446。
23. 神津俣祐、渡邊新六, 1937。硫砒銅鑛の異極性,岩石鑛物鑛床學, 18(4): 184-188。
24. 柴田秀賢, 1930。臺灣瑞芳產自然金の結晶形に就いて,地質誌, 37(443): 429-430。
25. 島田要一, 1932。臺灣金瓜石明礬石に就て,岩石物床誌, 8(4): 172-176。
26. 高根勝利, 1933。硫砒銅鑛(Cu₃AsS₄)の結晶構造,岩石鑛物鑛床學, 10(6): 277-284。
27. 渡邊萬次郎, 1930。金瓜石鑛山硫砒銅鑛の反射顯微鏡的特質,岩石鑛物鑛床學, 4(5): 222-225。
28. 渡邊新六, 1936。金瓜石鑛山硫砒銅鑛の結晶形,岩石鑛物鑛床學, 15(2): 61-73。
29. 渡邊萬次郎, 1940。瑞芳金瓜石兩鑛床に於ける二三の觀察,岩石鑛物鑛床學, 23(6): 263-284。
30. 渡邊萬次郎, 1943。新潟縣北越臺灣金瓜石兩鑛山に於けるルゾナイトの出態,岩石鑛物鑛床學, 30(2): 52-73。
31. 齋藤, 1900。臺灣瑞芳及ヒ金瓜石鑛山,日本鑛業會誌, 16(186): 361-367。
32. 齋藤, 1901。臺灣北部ノ金鑛床ニ就キテ,日本鑛業會誌, 17(196): 351-362。
33. 齊藤正次, 1936。臺灣金瓜石金銅鑛床に就て,地誌, 48(566): 164-175; 48(567): 205-216; 48(568): 279-288。
34. 鶴見志津夫, 1933。金瓜石鑛山 Enargite の化學成分,岩石鑛物鑛床學, 10(6): 288-291。

三、英文文獻

1. Berger, B.R and Henley, R.W., 2011. Magmatic-vapor expansion and the formation of high-sulfidation gold deposits: Structural controls on hydrothermal alteration and ore mineralization. *Ore Geology Reviews*, 39: 75-90.
2. Chen, C.J., and Jiang, W.T., 2012. Influence of waterfall aeration and seasonal temperature variation on the iron and arsenic attenuation rates in an acid mine drainage system. *Applied Geochemistry*, 27(10): 1966-1978.
3. Chen, P.Y., 1971. Occurrence and genesis of kaolin minerals from Taiwan: Part II. Dickite and Nacrite. *Proceedings of The Geological Society of China*. 14: 21-33.
4. Deguchi, Yuzo., 1912. The enargite deposit of Taiwan. *Journal of Geological Society of Tokyo*, 19(222): 13-15.
5. Fang, J.N., Tan, L.P., and Yu, B.S., 2004. Mercury as a useful pathfinder for the Chinkuashih enargite-gold deposits, Taiwan. *Journal of Geochemical Exploration*, 84: 3-20.
6. Henley, R.W., and Berger, B.R., 2012. Pyrite-sulfosalt reactions and semimetal fractionation in the Chinkuashih, Taiwan, copper-gold deposit: a 1 Ma paleo-fumarole. *Geofluids*, 12(3): 245-260.

7. Huang, C.K., 1955. Gold-copper deposits of the Chinkuashih mine, Taiwan, with special reference to the mineralogy. *Acta Geologica Taiwanica*, 7 : 1-20.
8. Huang, C.K., 1960. Gold deposits of the Wutanshan area, Taiwan, and their relation to the Chinkuashih deposits. *Acta Geologica Taiwanica*, 8 : 13-25.
9. Huang, C.K., 1962. Texture and structures of the gold-copper ores of the Chinkuashih mine, Taiwan. *Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists, and Economic Geologists*, 47(6) : 232-240.
10. Huang, C.K., 1964. Mineralogy of the Tsaoshan deposits of the Chinkuashih mine, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica*, 7 : 31-39.
11. Huang, C.K., 1965. Further notes on the mineralogy of the Chinkuashih gold-copper deposits, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica*, 11 : 31-42.
12. Huang, C.K., 1973. Minor gangue minerals of the Chinkuashih gold-copper deposits, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica*, 16 : 31-38.
13. Huang, C.K. and Chou, S.A., 1975. Paragenesis of the enargite and luzonite-famatinite in the Chinkuashih gold-copper deposits, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica*, 18 : 26-35.
14. Hwang, J.Y., and Meyer O.A. Henry., 1982. The mineral chemistry and paragenesis of the Chinkuashih ore deposits, Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China*, 25 : 88-101.
15. Gaines, R.V., 1957. Luzonite, famatinite and some related minerals. *The American Mineralogist*, 42 : 766-779.
16. Rosenzweig, A., 1975a. Zonal composition of luzonite-famatinite and enargite from the Chinkuashih mine, Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China*. 18 : 128-130.
17. Rosenzweig, A., 1975b. Epitaxial overgrowths of luzonite on enargite from the Chinkuashih mine, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica*, 18 : 9-13.
18. Shen, J.S. and Yang, H.J., 2004. Source and genesis of the Chinkuashih Au-Cu deposits in northern Taiwan : constraints from Os and Sr isotopic composition of sulfides. *Earth and Planetary Science Letters*, 222 : 71-83.
19. Tan, L.P. and Jeng, R.C., 1987. A geochemical prospecting for the gold mineralization in the Chinkuashih district, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica*, 25 : 151-172.
20. Wang, W., 1965. Natural solid solution of CaCO_3 - MnCO_3 from the Chiufen mine, Taipei-hsien, Taiwan. Special issue by Taiwan Mining Institute. 17(2、3) : 93-104.
21. Wang, Y.S. and Yu, B.S., 1996. Geochemical and mineralogical characteristics of breccia pipes of the Changjen group, Chinkuashih gold-copper deposits. *Bulletin of the Central Geological Survey*, 11 : 23-36.
22. Wang, Y.S., Sasaki, M., Sasada, M., and Chen, C.H., 1999. Fluid inclusion studies of the Chinkuashih high-sulfidation gold-copper deposits in Taiwan. *Chemical Geology*, 154 : 155-167.
23. Yen, T.P., 1974. Structural controls of the metallic deposit of Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China*. 17 : 111-122.

玖、附錄

金瓜石、九份、武丹山淺溫型熱水礦床之礦物清單

自然元素 Native Elements (6)

自然金 Native Gold 自然銀 Native Silver 銀金礦 Electrum 自然汞 Native Mercury
自然銅 Native Copper 硫磺 Sulfur

硫化物 Sulfides (15)

輝銀礦 Argentite 方鉛礦 Galena 閃鋅礦 Sphalerite 纖鋅礦 Wurtzite
黃銅礦 Chalcopyrite 黃鐵礦 Pyrite 白鐵礦 Marcasite 辰砂 Cinnabar
雌黃 Orpiment 輝銻礦 Stibnite 銅藍 Covellite 雄黃 Realgar
輝錳礦 Alabandite* 磁黃鐵礦 Pyrrhotite* 砷黃鐵礦 Arsenopyrite*

碲化物 Tellurides (1)

碲金礦 Calaverite

硫鹽類 Sulfosalts (9)

黝銅礦 Tetrahedrite 砷黝銅礦 Tennantite 柱形礦 Stylopyrite 硫砷銅礦 Enargite
呂宋礦 Luzonite 法馬丁礦 Famatinite 細硫砷鉛礦 Gratonite 硫砷銻鉛礦 Geocronite
車輪礦 Bournonite

氧化物、氫氧化物 Oxides and Hydroxides (10)

赤銅礦 Cuprite 赤鐵礦 Hematite 錳土 Wad 一水硬鋁石 Diaspore
三水鋁石 Gibbsite 褐鐵礦 Limonite 針鐵礦 Goethite 水鐵礦 Ferrihydrite*
水鈉錳礦 Birnessite* 四方硫酸纖鐵礦 Schwertmannite*

碳酸鹽類 Carbonates (7)

方解石 Calcite 錳方解石 Mn-calcite 菱鐵礦 Siderite 菱錳礦 Rhodochrosite
錳白雲石 Kutnohorite 孔雀石 Malachite 藍銅礦 Azurite

砷酸鹽類、磷酸鹽類 Arsenates and Phosphates (10)

臭蔥石 Scorodite 橄欖銅礦 Olivenite* 砷銅鈣石 Conichalcite* 綠砷銅石 Cornubite*
毒鐵礦 Pharmacosiderite* 砷鈣鐵石 Arseniosiderite* 氯砷鈉銅石 Lavendulan* 藍砷銅礦 Tyrolite*
砷鐵銅礦 Chenevixite* 磷鋁石 Variscite*

硫酸鹽類 Sulfates (13)

重晶石 Barite 水膽礬 Brochantite 明礬石 Alunite 黃鉀鐵礬 Jarosite

石膏 Gypsum	膽礬 Chalcantite	四水白鐵礬 Rozenite	水綠礬 Melanterite
粒鐵礬 Roemerite	鐵明礬 Halotrichite	葉綠礬 Copiapite	硫酸鉛礦 Anglesite*
磷鋇鉛礬 Svanbergite*			

鹵化物 Halides (1)

斜氯銅礦 Botallackite*

矽酸鹽類 Silicates (15)

鋯石 Zircon	矽孔雀石 Chrysocolla	石英 Quartz	高嶺石 Kaolinite
安德石 Endellite	狄克石 Dickite	珍珠石 Nacrite	鋁英石 Allophane
絹雲母 Sericite	濁沸石 Laumontite*	方沸石 Analcime*	鈣鐵榴石 Andradite*
鐵輝石 Ferrosilite*	冰長石 Adularia*	鱗矽石 Tridymite*	

火成岩中之礦物 Minerals found in Igneous Rocks (26)

鈣長石 Anorthite	倍長石 Bytownite	拉長石 Labradorite	中長石 Sanidine
橄欖石 Olivine	普通輝石 Augite	透輝石 Diopside	次透輝石 Salite
古銅輝石 Bronzite	紫蘇輝石 Hyperthene	韭閃石 Pargasite	淡閃石 Edenite
普通角閃石 Hornblende	鉀長石 K-Feldspar	黑雲母 Biotite	方矽石 Cristobalite
高溫石英 Beta Quartz	磁鐵礦 Magnetite	鈦鐵礦 Ilmenite	磷灰石 Apatite
陽起石 Actinolite	玻璃 Glass	沸石 Zeolite	綠簾石 Epidote
伊利石 Illite	綠泥石 Chlorite		

* 為截至本文新增加之物種