

汞地球化學探勘在金瓜石地區的應用

Mercury Geochemical Exploration for the Jinguashih Copper-gold Deposits, Taiwan

方建能 Jiann-Neng Fang
國立臺灣博物館典藏管理組副研究員兼組長
Associate Curator, Department Director, Department of Collection Management,
National Taiwan Museum
余炳盛 Bing-Sheng Yu
國立臺北科技大學材料及資源工程系副教授
Associate Professor, Department of Materials and Mineral Resources Engineering,
National Taipei University of Technology
譚立平 Li-Ping Tan
國立臺灣大學地質科學系退休教授
Retired Professor, Department of Geosciences,
National Taiwan University

摘要

臺灣金瓜石金銅礦區是與第四紀安山岩密切相關的熱液活動，所形成的金銅礦床。根據統計從1895-1987年間，金瓜石地區共出產約94公噸的黃金及100,000公噸的銅。因此區的土壤、岩石、礦體、河川的沉積物、重礦物及黃鐵礦樣品中，普遍皆含有汞的存在，而且其與樣品中金含量密切相關。本文將介紹利用汞地球化學方法，使用於金瓜石主要及外圍地區探勘的結果，說明可透過簡便又迅速的金箔汞測定儀檢測汞含量，並以汞作為此區金銅礦探勘的示蹤元素。

關鍵字：汞、示蹤元素、深藏礦體、金箔汞測定儀

Abstract

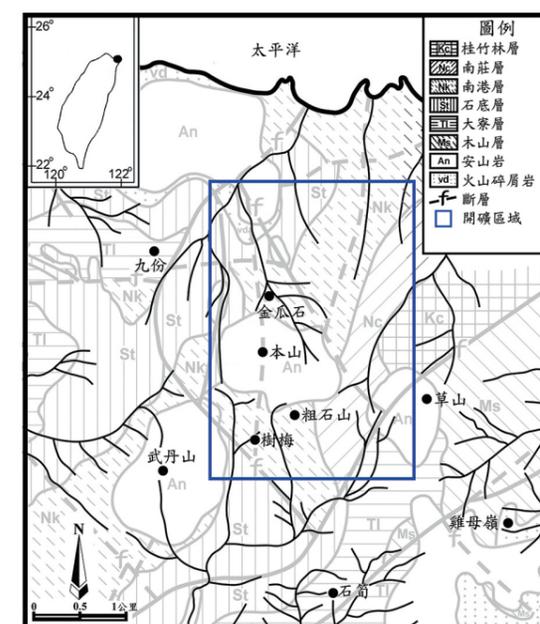
The Jinguashih is a group of andesite-related hydrothermal copper-gold deposits of the Quaternary age, producing 94 tons of gold and more than 100,000 tons of copper from 1895 to 1987. Mercury are generally existent in soils, rocks/ores, stream sediments heavy minerals and pyrite samples in the Jinguashih, and mercury found in these samples are highly related to gold content. This paper will introduce geochemical exploration to evaluate whether mercury is a good pathfinder for these types of deposits on both known outcropping and buried orebodies, as well as on newly discovered mineralizations.

Keywords: mercury, pathfinder element, buried orebodies, gold-film mercury detector

壹、緒論

根據官方統計資料顯示，臺灣金瓜石金銅礦區在1895-1987年間，共出產94公噸的黃金及119,101公噸的銅，目前仍有約656公噸黃金的剩餘蘊藏量，平均礦石品位為每公噸含金1.5-3.5公克(ppm, g/t) (譚立平與陳正宏, 1992)。對於此區的礦床的描述與探勘的研究文獻很多，包括Tan and Kiriwin (1988)、譚立平與余炳盛 (Tan and Yu, 1991; 1994)等；其中Tan and Yu (1991)是首次報導在金瓜石礦區進行汞的地球化學探勘，陸續也有譚立平等人 (1993) 針對金瓜石礦床外圍地區的地球化學探勘的結果發表。

金瓜石地區主要由岩性為砂岩與頁岩互層的中新世沉積岩地層組成，從下而上分別為木山層、大寮層、石底層、南港層、南莊層 (圖1)。在金瓜石地區也有六個侵入/噴出的安山岩，這些火成岩形成的年代由1.4到0.9百萬年之間 (陳正宏等, 1993)。有關此區的地質背景相關，包括定年 (陳正



【圖1】金瓜石主要開礦區域及地層組成

宏等, 1993)、地體環境 (Biq, 1971; Tan, 1971; 譚立平, 1976)、構造歷史 (余炳盛, 1994; 陳正宏等, 1993)等研究者及論述相當多，本文不再此贅述。

本文主要介紹以歷年在金瓜石金銅礦區礦體及外圍地區表層土壤樣本，利用簡便的金箔汞測定儀檢測汞含量，藉以探討可能存在的金銅礦床位置與汞之關係，作為金銅礦探勘的應用及討論。

貳、礦化作用概述

金瓜石金銅礦過去亦稱為瑞芳含金的銅礦床，或簡稱金銅礦床，包括金瓜石或本山附近的含銅金礦，九份及武丹山的金礦，均屬臺灣北部的新北市瑞芳區。然而瑞芳金礦過去是指九份金礦 (林朝榮, 1950a)，但金瓜石地區的礦床主要以金瓜石為主，外國礦業公司多亦祇知金瓜石而不知九份，因此以金瓜石地區金礦床概括描述較為方便，簡稱時則稱金瓜石礦床。

金瓜石礦區是由位於中心的本山金銅礦脈、本山東邊的銅金及純金角礫岩礦筒、西邊的九份金礦脈南邊的粗石山和石筍金礦脈所組成 (圖1)。官方的臺灣金屬鑛業公司 (Taiwan Metal Mining Corp., 以下簡稱臺金) 開採金瓜石的金銅礦脈及角礫岩礦筒；九份與武丹山的金礦脈則由私人的臺陽礦業公司 (以下簡稱臺陽) 開採。1987年臺金停產並關閉，礦權改由台灣糖業公司 (台糖) 接收。臺金及臺陽的銅金礦區範圍東西寬約4公里，南北長約7公里；但已知主要礦區的分佈東西寬及南北長俱為2.5公里。武丹山金礦過去主要由臺金生產，但在臺灣光復第三年 (1947)，由臺金轉租瑞三礦業公司經營，後停產歸還臺金 (譚立平與魏稽生, 1997)。

金瓜石礦床是屬於熱液換質 (hydrothermal alteration) 型態的金銅礦，是由高溫熱水溶液與岩石反應後產生換質作用，通常在中心為矽化作用帶，邊緣為黏土化作用。具有銅礦化作用的安山岩會產生綠泥石化作用，會出現綠泥石礦物。在金瓜石地區的帶狀礦石中，明礬石與呂宋銅礦常成互層產出，明礬石的形成年代約在 1.08-0.92 百萬年 (余炳盛, 1994)，此年代也被認為相當於此區的成礦年代。

由本山本脈礦體的液包體研究顯示在礦體底部溫度高，在礦體頂部溫度低 (嚴致中, 1976)。由硫同位素研究可知金瓜石地區的硫化物與硫酸鹽礦物的硫是源自於海水和岩漿 (Yeh et al., 1998; Folinsbee et al., 1972)；由王詠絢等人 (Wang et al., 1999) 液包體的研究則推測金瓜石地區的熱液有岩漿和天水的成分存在，由以上的說明可知，金瓜石地區的礦化作用有複雜的成因。余炳盛 (1994) 觀察在粗石山與鶴的角礫岩礦筒，可發現超過十對成互層的明礬石與呂宋銅礦帶，顯示曾有多次不同期的熱液活動。在牛伏角礫岩礦筒存在三次的角礫岩形成時期：黑色角礫岩 (最早)、黃色角礫岩及白色角礫岩 (最晚)。

參、探勘方法

汞在自然界大都以自然汞或辰砂狀態存在。汞在土壤中移動快 (White, 1967)，在地表土壤中形成一擴散量 (Williston, 1964)。近年來，在許多熱液型的金或金屬礦床，汞常被用作礦床探勘的工具 (Hawkes and Williston, 1962；Okrugin et al., 1994)。如美國內華達州卡林 (Carlin) 型金礦 (Jory, 1991) 和沙烏地阿拉伯的金礦 (Tan et al., 1984) 探勘，汞皆為有效的指示元素。

Watling et al. (1973) 指出含汞礦物受熱後釋

出汞氣的溫度如下：自然汞 80°C，含汞氯化物 21°C，辰砂 300°C，黃鐵礦 450°C，閃鋅礦 600°C。其中黃鐵礦及閃鋅礦含汞極少可忽略，氯化物中的汞在樣品烘乾時即已散失，所以土壤中汞的來源主要為自然汞和辰砂。

本研究土壤樣品取自金瓜石地區的 61 條東西向測線，每條測線距離 50 公尺，每個採樣點距離 20 公尺。土壤樣品採樣是使用人工鑽桿，採取地表下 30 公分處土壤 100 公克。岩石樣品主要在金瓜石礦區已知礦體及可能的礦體上及其周圍進行，每個露頭採取岩石碎屑約 2 公斤。詳細的採樣位置可參考譚立平與陳正宏 (1991)。在金瓜石地區礦化的岩石主要為矽化砂岩、矽化安山岩、黏土化安山岩。樣品主要取自沿著規劃的地表測線及可進入的坑道，每 5-10 公尺進行採樣。



【圖 2】金箔汞測定儀測

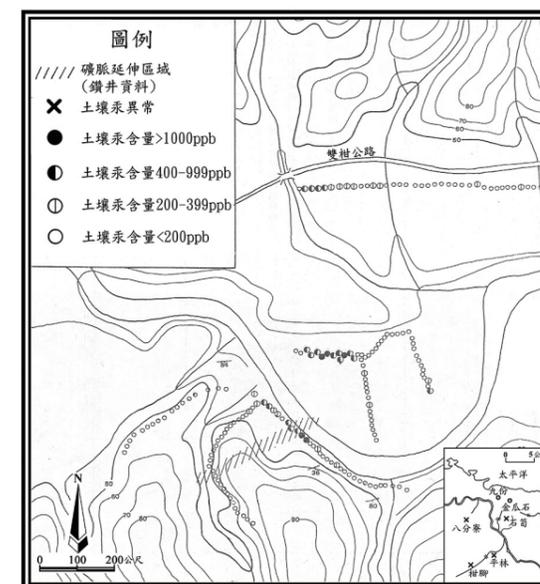
土壤與岩石樣品在實驗室中，先放入 40°C 烘箱中靜置 3 天，將烘乾的樣品磨碎後過篩，取小於 80 目的樣品使用 JEROME 公司之 MODEL 411 型金箔汞測定儀測定，其最低測定值可達 0.1ppb (McNerney et al., 1972)。本研究分析樣品量為 0.01g，加熱到 350°C，各樣品測定間隔 2 分鐘以上。

肆、結果與討論

1. 金瓜石礦化外圍地區汞地化探勘

金瓜石礦化外圍地區新北市雙溪區平林、上林兩村村界處，有臺灣唯一曾經開採的汞礦床存在。汞礦於 1911 年發現，開採至 1945 年停止，共生產 5,000 公斤的汞 (林朝榮, 1949；1950b)。汞礦床為熱液沿輝綠岩侵入中新世的石底層沈積岩所造成的破碎帶中，形成交錯的網狀礦脈或浸染狀的礦化作用，地層受熱液作用呈現矽化和黏土化現象 (Ho, 1963)，黏土礦物由伊利石、高嶺土變成綠泥石。主要礦石礦物為辰砂及自然汞，伴生礦物有黃鐵礦、自然銅和黃銅礦。脈石礦物為石英、石髓、方解石、重晶石、菱錳礦和高嶺土等 (Ho, 1963)。礦化帶可達數米寬，富礦體之含汞品位達 6-10%，平均品位為 0.2-0.4%。此區河川重礦物曾發現有自然金存在，但地表熱液換質岩石無明顯金的含量出現。

本區採土壤樣品 170 件進行檢測，含汞量最高者為 3,200 ppb，最低為 6 ppb，平均為 183 ppb。土壤樣品含汞量以大於 200 ppb 代表異常而言，則由土壤汞異常帶分佈顯示如圖 3 所示。根據鑽井資料可以推算出一條長 300 公尺，寬 30 公尺的汞礦脈 (方建能, 1992)。

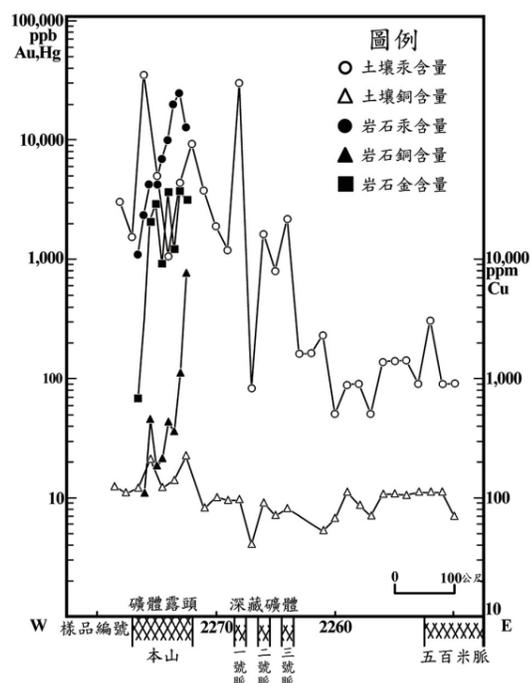


【圖 3】平林汞礦區土壤汞含量分佈位置

由土壤汞在平林地區地球化學異常分佈顯示，可能有一南北延伸的礦化作用存在，其範圍由土壤汞異常知：寬約 100 公尺，南由已知汞礦體，往北至雙柑公路仍有汞異常，異常帶南北長超過 1,000 公尺。譚立平 (1987) 指出平林地區的汞異常和金瓜石地區具有連續性。此一南北向的礦化作用與金瓜石金銅礦床主要呈南北向的延伸一致。

2. 金瓜石礦化核心地區汞地化探勘

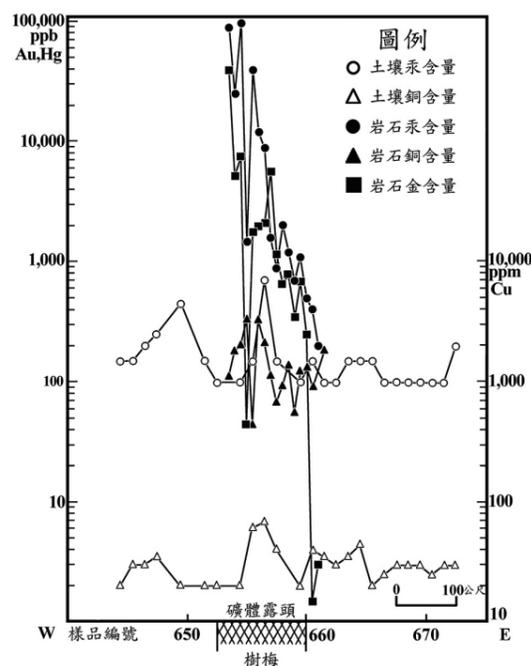
圖 4-6 為跨越兩個最大礦體並沿著三條測線採樣的土壤汞、銅、金含量的變化。前兩條跨越本脈的本山及樹梅礦體，此區大部分地表為土壤覆蓋可進行土壤取樣，但在露天開採無土壤覆蓋者則進行岩石取樣。本脈由海拔 417-9 公尺高度的地下部分都是連續的，但是在地表的露頭則分為北邊海拔 500 公尺的本山及南邊海拔 603 公尺的樹梅，中間斷斷續續有厚層砂岩出露，有時砂岩中也夾有部分的礦脈。



【圖 4】跨越本脈的本山地區地化異常

圖 4 為本山跨越本脈的探勘測線樣品的地化資料。由圖 4 顯示土壤中的汞異常遠比銅異常顯著，本脈東邊的汞異常可能是深藏的一號及二號脈礦體所導致，在其上方有約 200 公尺厚的無礦化砂岩與頁岩覆蓋。本脈原被認為是厚度 1-16 公尺的金銅礦脈，但後經筆者等岩石的採樣分析後證實，本脈有厚達 20-200 公尺的金礦化作用存在。根據估計，此區可開採的金礦化作用範圍，包括由海拔 500 公尺的本山及海拔 603 公尺的樹梅，兩地露頭往下可達海拔 163 公尺處。這條礦脈在地表長約 2,000 公尺，在深部則長達 2,400 公尺。

圖 5 為樹梅跨越本脈的探勘測線樣品的地化資料。由圖 5 顯示在礦體露頭土壤樣品都只有輕微的汞和銅異常，但在岩石中則顯示比土壤有高的汞、金異常。這可能是因此地形陡峭，邊坡常超過 30 度，其土壤中微小的含汞礦物 - 如辰砂，很容易

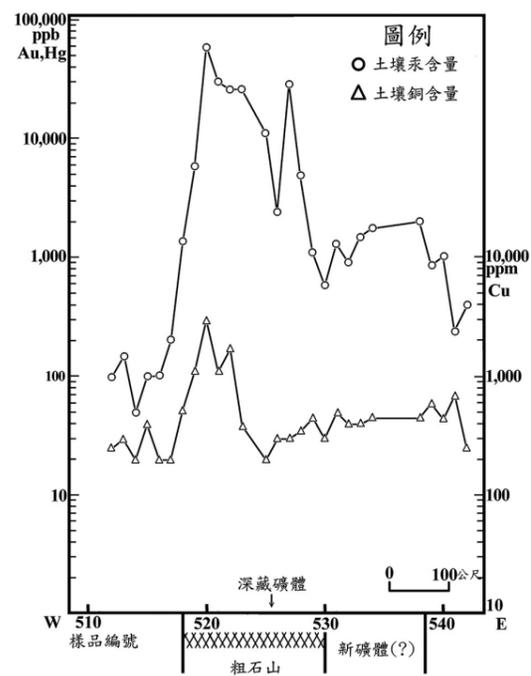


【圖 5】跨越本脈的樹梅地區地化異常

被沖刷進河流中所致；而金瓜石地區高溫多雨的氣候，也容易造成在矽化岩石中強烈的銅離子溶解。

圖 6 為跨越粗石山金礦體的汞及銅的土壤測線地化資料。圖 6 顯示粗石山礦體位於海拔 560-160 公尺高度，南北 250 公尺 X 東西 250 公尺範圍，地表覆蓋 50-180 公尺厚的無礦化的矽化砂、頁岩互層。臺金公司原認為粗石山的礦化作用是由海拔 556-9 公尺，在不同高度有數個 10-20 公尺寬和 20-60 公尺長的角礫岩礦筒所組成，這些礦筒往往不連續且向不同方向延伸。有些角礫岩礦筒含 10 % 銅及 100 g/t 金，但這些都已被採光。

本文討論的粗石山礦體範圍是更廣的，不只包括臺金公司前述原認為的小而高品位角礫岩礦筒，也包含周圍大而低品位角礫岩礦筒。岩石採樣檢測顯示這些礦筒平均含金 2-4 g/t，但含銅很少。



【圖 6】跨越粗石山金礦體的土壤汞及銅地化異常

圖 6 土壤測線地化資料顯示汞及銅的異常波峰，其中汞異常明顯比銅高。圖 6 中有兩個汞異常波峰代表已知深藏的角礫岩礦筒，在樣品編號 530-541 的汞異常波峰可能代表未被臺金公司鑽探到的新礦體。總而言之，這個可能的礦體其地表出現的土壤汞異常比銅來得明顯的多。

3. 土壤汞異常與金礦體範圍的關係

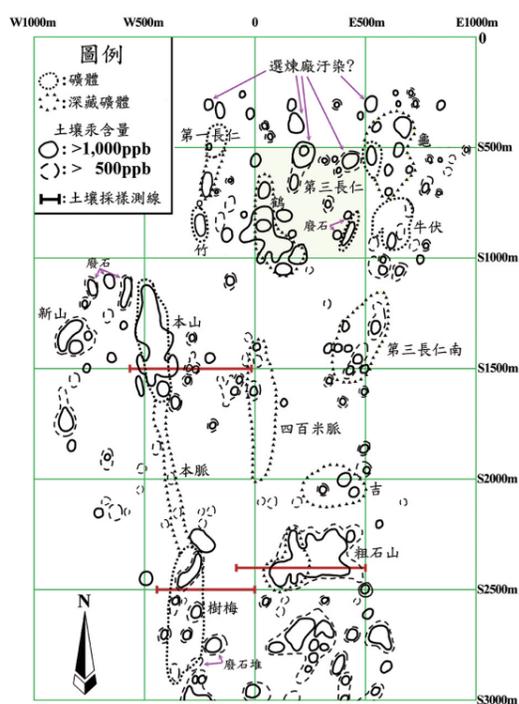
在金瓜石地區本山、長仁、武丹山等礦體上方地表土壤汞異常分佈，和已知礦體位置相符 (譚立平, 1991)。礦體型態與地表土壤汞含量關係如下 (譚立平, 1987)：

| 【表 1】金瓜石地區不同型態礦體地表土壤汞含量 | | |
|-------------------------|------------|-----------|
| 礦體型態 | 汞異常值 (ppb) | 背景值 (ppb) |
| 角礫岩礦筒金礦 | 900-4,600 | 105-167 |
| 金銅礦脈 | 300-4,400 | 80-200 |
| 金礦脈 | 119-1,125 | 20-100 |

為了比較分析，本研究選擇 191 個土壤樣品，分別採自跨越已知出露礦體、深藏礦體及貧礦化地區的測線，以火試金及電漿耦合質譜儀進行金與銀分析檢測。在已知出露礦體的土壤樣品含金量在 0-1,843 ppb 之間，深藏礦體在 0-310 ppb 之間，貧礦化地區則為 0-25 ppb。無論如何，此結果無規律可言，其原因可能是土壤中的金粒分佈並不均勻所導致。

在金瓜石礦化地區西邊 3 公里的二十個在砂岩及頁岩上的土壤樣品，經分析其汞含量在 7-140 ppb 範圍，我們將此值當作背景值。另外在平林汞礦區的土壤中汞含量背景值則為 7-200 ppb (方建能, 1992)。譚立平 (1968) 進行土壤銅探勘計畫時，曾於金瓜石地區採取 3,953 個土壤樣品，這些樣品也進行汞含量檢測並在本文同時討論。該批樣品汞含量最少為 20 ppb，最多為 184,000 ppb，平均為 2,428 ppb。高的汞含量的土壤，大都採自已知礦體的開採區。不同汞含量等級的土壤樣品數量，有超過 67% 的樣品含少於 299 ppb 的汞，接近背景值，大都位於採礦區的外圍地區。土壤含汞超過 1,000 ppb 者被視為異常，通常分在礦體的露頭，因此本文建議可以 500 ppb 汞等量線來顯示礦體的範圍。

綜合地質與地球化學資料，也包括坑道採樣、鑽井及其他臺金公司資料，譚立平與陳正宏 (1991,1992) 已在金瓜石地區探勘發現超過十個可能的礦體，含金量位為 1.5-3.5g/t。雖然他們仍然使用原臺金公司的金銅礦體舊名，去稱呼位於已採竭礦體周圍的新發現金礦體。我們由其資料發現土壤中的汞含量對於已出露和深藏的新金礦體而言，都是很好的示蹤元素 (Fang et al., 2004)。對已出露的礦體如本山樹梅、竹、第一長仁北方、第三長仁、牛伏等地，1,000 ppb 的汞等量線可用來代表礦體的範圍 (圖 7)。



【圖 7】金瓜石地區已知礦體及土壤汞地化異常

對於深藏礦體而言，1,000 ppb 的汞等量線有時也可代表礦體範圍，但一般只能顯示局部的未出露金礦化作用的存在。在已知粗石山礦體東方的汞等量線可能代表一個新礦體的位置，原粗石山礦體位於地表下 50-180 公尺處。由 1,000 ppb 的汞等量線判斷金礦體可能是一個大的礦體，其範圍包括原已知鶴礦體東邊與西邊的開採處。此汞異常區地表下 150 公尺處，有金瓜石開礦區域中唯一發現的自然汞礦體（圖 7）。在其他的深藏礦體如龜、第三長仁往南方地下延伸（第三長仁南）、吉礦體群、四百米脈（本脈東方 400 公尺）等處，一般都位在地表下 100-200 公尺。由地表土壤 1,000 ppb 或 500 ppb 汞等量線範圍來對比，無法完全與這些礦體的分佈及延伸吻合。但無論如何，這些礦體地表的土壤都有明顯的汞異常。

4. 土壤汞存在的型態

在金瓜石地區地表土壤中的汞主要源自辰砂 (HgS) 礦物。筆者等在淘選此區河川種礦物時，就觀察到許多的辰砂顆粒，在金瓜石地區 5 公里 X 5 公里已知金銅礦化範圍內 160 個河川重礦物中，除平林汞礦區外，未發現有自然汞。同時，在此地區的土壤採樣時亦未發現有自然汞的蹤跡。這些證據顯示在金瓜石這種自然金 - 硫砷銅礦的金礦化地區的土壤內，汞主要以辰砂的型態存在。此外，因所有的樣品（包括儲存超過 20 年的樣品）在檢測前，皆經 24 小時、70°C 的加熱烘乾程序，如土壤中原有自然汞或汽態的汞存在，也都應該被揮發離開樣品。

伍、結論

在金瓜石金銅礦床地區，汞是有效的探勘示蹤元素。在遠離金瓜石礦床核心 12 公里的外圍地區，由土壤汞異常即可發現其礦化作用的存在。地表的土壤樣品 500 ppb 或 1,000 ppb 汞等量線，可反映出金礦體的出露範圍；而含金礦體的礦石汞含量常超過 1,000 ppb。地表的土壤高含量的汞異常，常可反映地下 200 公尺或更深處的礦化作用，亦可代表地下深藏礦體的存在。

一般而言，因為土壤樣品中汞比金及銅分佈更均勻，因此在進行金銅礦床地球化學探勘時，採用汞為示蹤元素比金及銅是更有效且可信的。利用金箔汞測定儀檢測土壤及岩石汞含量的方法，是相當方便且快速，有時只要在一個有電力供應的野外帳篷內即可進行，當然要注意須有良好通風以排除有毒的汞蒸氣。

參考文獻

- 方建能（1992）。金瓜石金銅礦床外圍地區之地球化學探勘：臺灣大學地質研究所碩士論文，98 頁。
- 余炳盛（1994）。金瓜石含金角礫岩礦筒之研究：臺灣大學地質研究所博士論文，322 頁。
- 林朝榮（1949）。臺灣之金：臺灣銀行特產叢刊第三種，6-64 頁。
- 林朝榮（1950a）。臺灣之金礦業：臺灣銀行特產叢刊第六種，16-60 頁。
- 林朝榮（1950b）。臺灣之金礦床：臺灣銀行特產叢刊第六種，1-15 頁。
- 陳正宏、譚立平、田蓉禮、鐘三雄、劉聰桂（1993）。臺灣北部基隆火山群火成岩與矽化砂岩之核飛跡定年及其對金瓜石金銅礦化作用之含義：中國地質學會會刊，第 36 號，第 2 期，157-174 頁。
- 譚立平（1968）。地球化學探勘原理及其在臺灣之應用：鑛冶，第 13 卷，第 3 期，33-36，44 頁。
- 譚立平（1976）。臺灣之銅礦化作用與剛塊構造之關係：臺灣省地質調查所彙刊，第 25 號，113-130 頁。
- 譚立平（1987）。臺灣金銅礦床汞氣之研究：行政院國家科學委員會補助專題研究報告，76-0202-M002-014，45 頁。
- 譚立平（1991）。金瓜石土壤之汞與金銅礦床之關係：行政院國家科學委員會補助專題研究報告，79-0202-M002-28，39 頁。
- 譚立平、陳正宏（1991）。金瓜石礦床探勘重點：經濟部委託計畫報告，317 頁。
- 譚立平、陳正宏（1992）。金瓜石地區之金礦探勘評估計畫：經濟部委託計畫報告，98 頁。
- 譚立平、方建能、余炳盛（1993）。台北縣石碇至平林之地球化學探勘：鑛冶，第 37 卷，第 1

期，69-77 頁。

- 譚立平、魏稽生（1997）。臺灣金屬經濟礦物：經濟部中央地質調查所，7-97 頁。
- 嚴致中（1976）。金瓜石金銀銅礦之脈石礦物內液包體之生成溫度及壓力：中國地質學會會刊，第 19 號，127-133 頁。
- Biq, C. C. (1971) Some aspects of post-orogenic block tectonics in Taiwan: Royal Soc. New Zealand Bull, vol. 9, pp. 19-24.
- 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, vol. 84, no.1, pp. 3-20.
- Folinsbee, R. E., Kiekland, K., Nekolaichuk, A. and Smeikal, V. (1972) Jinguashih - a gold-pyrite-enargite-barite hydrothermal deposit in Taiwan: Geol. Soc. Amer. Memo, vol. 135, pp. 323-335.
- Hawkes, H. E. and Williston, S. (1962) Mercury vapor as guide to lead-zinc-silver deposits: Mining Cong. Jour., no. 48, pp.30-32.
- Ho, C. S. and Lee, C. N. (1963) Economic minerals of Taiwan: Geological Survey of Taiwan, p. 266-269.
- Jory, C. C. and Thoreson, R. F. (1991) Geochemistry the Carlin trend: 15th Int' l Geochem. Explo. Sym. Field trip no. 4, Geology and Geochemistry of The Rain and Emigrant Springs Gold Deposits, Elko county, Nevada, Guide book, pp. 15-1, pp. 15-2.
- McNerney, J. J., Buseck, P. R. and Hanson, R. C. (1972) Mercury detection by means of thin gold films: Science, no. 178, pp. 611-612.
- Okrugin, V. M., Stepanov, I. I. and Shuvalov, R. A. (1994) Mercury as pathfinder in geochemical

exploration of hydrothermal gold-silver deposits in Kamchatka. *Mineralogical Magazine*, 58A, pp. 672-672.

Tan, L. P. (1971) Some aspects of metallogenesis of Taiwan: 12th Pacific Sci. Congress, Record of Proceedings, Canberra 1, p. 411.

Tan, L. P., Abdel-Monem, A. A. and Basahel, A. N. (1984) Mercury in soils as tool for prospecting Arabian gold deposit: *Memo. Geol. Soc. China*, no. 6, pp. 259-268.

Tan, L. P. and Kirwin, D. J. (1988) Gold-copper mineralization at Jinguashih, northeast Taiwan: Bicentennial Gold 88, *Geol. Soc. Australia, Abstracts Series 23*, pp. 389-390.

Tan, L. P. and Yu, B. S. (1991) Soil and rock mercury as a useful exploration tool for the Jinguashih gold-copper deposits: 15th Inter. Geochem. Explor. Symposium, Abstract with program 52.

Tan, L. P. and Yu, B. S. (1994) Tectonic setting and geochemical characteristics of the Jinguashih copper-gold deposits, Taiwan: 9th symposium Inter. Assoc. of the Genesis of Ore Deposits, Beijing, Abs. 2, p. 839.

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*, vol. 254, pp.155-167.

Watling, R. J., Davies, G. R. and Meyer, W. T. (1973) Trace identification of mercury compounds as a guide to sulfide mineralization at Keel. *Eire: Geochemical Exploration 1972*, I. M. M., London, p. 59-62.

White, D. E. (1967) Mercury and base-metal deposits with associated thermal and mineral waters: In

ARNES, H. L. (ed) *Geochemistry of hydrothermal ores deposits*, Wiley Inter-science, pp. 575-631.

Williston, S. H. (1964) The mercury method of exploration: *Engineering & Mineral Journal*, vol. 165, no. 5, pp. 98-101.

Yeh, H. W., Tan, L. P. and Kusakabe, M. (1998) Sulfur-Isotope geochemistry of Jinguashih copper-gold deposits, Taiwan: Preliminary results, in G. B. Arehart and J. H. Hulston (eds.) *Water-rock Interaction*, Balkema, Rotterdam, p. 591-594.