

臺灣北部橫貫公路低度變質岩之岩石磁學 兼論雪山山脈與中央山脈之地層對比

洪崇勝¹ 陳國航¹ 林俊宏¹

摘要

為瞭解臺灣雪山山脈低度變質岩之磁學特性，本研究針對取自北部橫貫公路始新世至中新世地層之岩樣量測其磁滯曲線及飽和等溫殘磁。結果顯示，此一剖面最老的西村層含有明顯的磁性礦物，而其他較年輕的地層則幾乎闕如。利用 X-光繞射儀分析磁性萃取物質並以掃瞄式電子顯微鏡觀察岩石薄片，進一步指出西村層中之主要磁性礦物為磁黃鐵礦 (pyrrhotite, Fe_7S_8)，並偶伴有針鐵礦 (goethite, $\alpha\text{-FeOOH}$)。鑒於西村層之上的年輕地層普遍含有不具磁性之黃鐵礦 (pyrite, FeS_2) 且岩石變質度隨地層年齡增加，我們認為西村層中的磁黃鐵礦係黃鐵礦經區域變質作用轉變而來。至於針鐵礦則是磁黃鐵礦的風化產物，其原因是西村層恰位於一背斜的軸部，因受到較多的應力、產生裂隙，使得磁黃鐵礦遭受氧化。同樣的，由黃鐵礦轉變成磁黃鐵礦的現象在穿越中央山脈的南部橫貫公路上亦可觀察到。值得注意的是，磁黃鐵礦首次出現的層位，無論是在北橫及南橫公路，皆與利用伊萊石結晶度所界定的近變質帶/淺變質帶之界線非常一致。是以，磁黃鐵礦的初現可作為低度變質岩重要的等變質線，將有助於雪山山脈及中央山脈間地層的對比。相較於伊萊石結晶度之方法，以岩石磁學鑑識磁黃鐵礦僅需少量的樣本，是快速且非破壞性之方法。因此，值得應用於臺灣整個變質岩區之研究。

關鍵詞：岩石磁學、低度變質岩、磁黃鐵礦、黃鐵礦、針鐵礦、等變質線、伊萊石結晶度

前言

自上新世蓬萊造山運動以來，臺灣地區深埋的岩層發生了中低度的區域變質及隆升作用，形成造山帶。現今縱貫全島的中央山脈與雪山山脈即為此造山帶的主體。區域變質岩呈南北向分布，變質程度由東向西遞減。中央山脈西側

¹ 中央研究院地球科學研究所

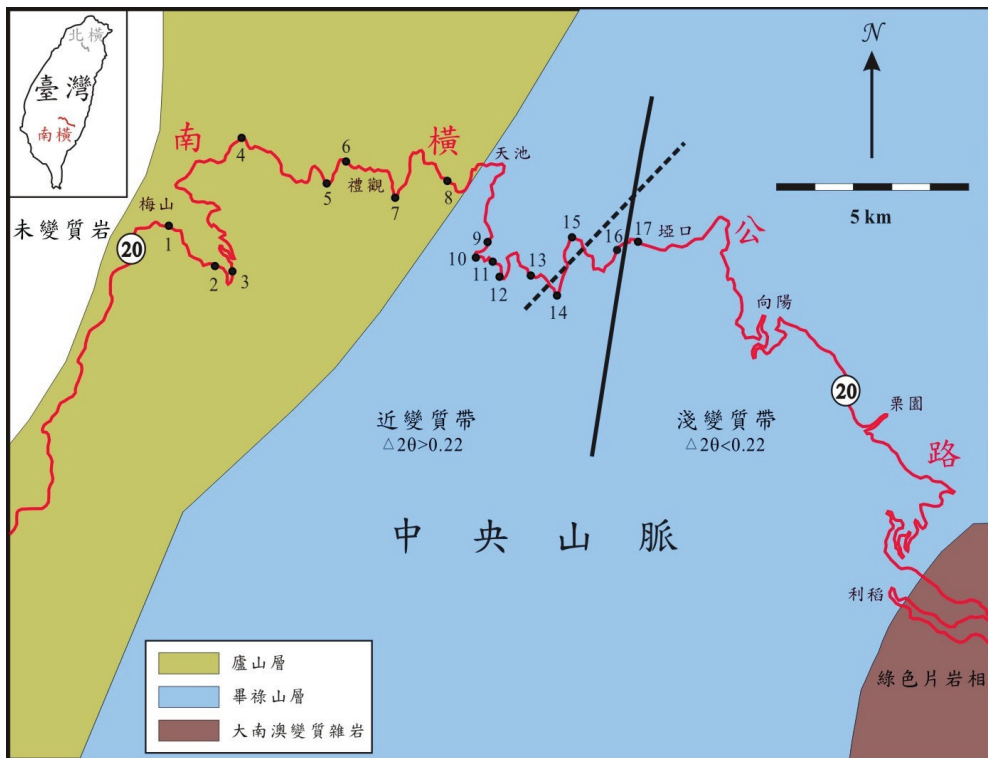
的雪山山脈其岩層主要由低度變質的沉積岩所組成，包括硬頁岩、板岩、千枚岩及變質砂岩；而中央山脈不僅有上述岩石，另有廣大片岩之分布，甚至出露中生代時因南澳運動而生成的較高階變質岩，如角閃岩、大理岩及片麻岩（何春蓀，1986）。對於這些岩石所屬的變質相（metamorphic facies），地質學家傳統上是藉由岩石中矽酸鹽礦物的組成及變化來劃定。以中央山脈的變質岩為例，若有黑雲母、綠簾石、陽起石等特徵礦物組合之出現，即屬「綠色片岩相」之範疇（Ernst, 1983）。然片岩以下之低階變質岩，如千枚岩、板岩、硬頁岩，因變質程度輕微，矽酸鹽礦物之變化不易察覺，常須藉由黏土類的伊萊石結晶度（ $\Delta 2\theta$ ）來區分其變質相，例如「近變質帶（anchizone）」與「淺變質帶（epizone）」之劃定*（陳肇夏與王京新，1995；曹恕中，1996；Kisch, 1990；Tsao *et al.*, 1992）。

在變質岩中，最普遍的「硫化鐵礦物」為黃鐵礦（pyrite, FeS_2 ）。磁黃鐵礦（又稱磁硫鐵礦，pyrrhotite, Fe_7S_8 ），雖亦存在，然除了因熱液富集所形成的礦脈引人注意外，在大規模的區域變質岩中常因含量少而被忽視。以臺灣為例，變質岩中的磁黃鐵礦，在過去即有報導（陳志賢，1971；林朝榮與周瑞敦，1974；黃武良，1979；譚立平與魏稽生，1997；王詠絢等人，2000；陳培源等人，2004；Chen and Tsai, 1978；Tan *et al.*, 1986），惟多是從礦床學的角度，針對局部性的富集，探究其成因與溫壓條件，而甚少注意到磁黃鐵礦在大範圍區域變質岩中出現的意義。事實上，過去已有學者發現磁黃鐵礦可以做為低度變質岩的「等變質線（isograd）」（Carpenter, 1974；Rochette, 1987），惜未引起重視。究其因，可能是磁黃鐵礦含量少，又與黃鐵礦皆為不透明礦物，不易藉光學顯微鏡辨別，以致常忽略其在區域變質岩中的存在。

磁黃鐵礦是地球上常見的磁性礦物之一。因每種磁性礦物有其獨特之磁學性質，吾人可藉由磁學的方法加以偵測、區別。本文作者之一曾利用磁滯曲線（magnetic hysteresis loop）、居禮溫度（Curie temperature），並輔以 X-光繞射之礦物鑑定，首度在臺灣南部橫貫公路上，發現中央山脈的變質岩含有磁黃鐵礦（Horng and Roberts, 2006）。值得注意的是，磁黃鐵礦僅在畢祿山層中出現，至於位在其西側變質度較低的廬山層則幾乎無磁性礦物，該岩層之硫化鐵礦物由不具磁性的黃鐵礦組成。這意味著隨著變質度的向東增強，到了某一溫壓條件，黃鐵礦即可轉變成磁黃鐵礦。此外，磁黃鐵礦首度出現之層位，幾乎與利用伊萊石結晶度所定的近變質帶/淺變質帶之界線一致（圖一）。換言之，磁黃鐵礦在

* 近變質帶： $0.38 \pm 0.01 > \Delta 2\theta > 0.22 \pm 0.01$ ；淺變質帶： $\Delta 2\theta < 0.22 \pm 0.01$

變質岩中之初現層位，應可作為一等變質線，這不僅符合上述前人之看法，更對臺灣低度變質岩之研究具有重要意義，也因此引發了吾人想擴大探究磁黃鐵礦在臺灣整個變質岩區的分布。本文將針對雪山山脈北段的變質岩剖面—臺灣北部橫貫公路（簡稱北橫公路），從事岩石磁學及磁性礦物之研究，企圖於岩層中再覓磁黃鐵礦之蹤、驗證其變質度，並藉此討論雪山山脈與中央山脈之地層對比。

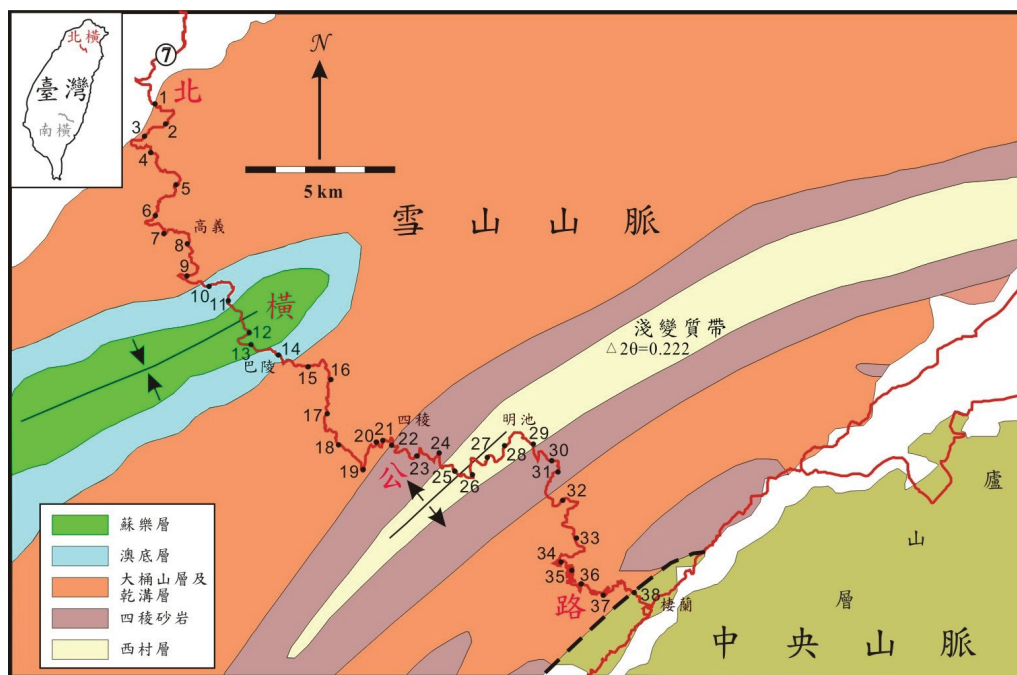


圖一 臺灣南橫公路（即臺 20 線）沿線之地質圖及變質相圖，其中近變質帶與淺變質帶之交界以粗實線示之（陳肇夏與王京新，1995；曹恕中，1996）。在岩石磁學分析之採樣點（T20-1~T20-17）中，第 14、16、17 號採樣點發現有磁黃鐵礦，餘則幾乎無磁性礦物，磁黃鐵礦之初現層位以粗點線示之（Horng and Roberts, 2006）。

地質背景及採樣

出露於北橫公路的岩層主要由一系列低度變質的硬頁岩、板岩、千枚岩及變質砂岩所組成。根據前人的研究與彙整，地層由老至新依序為始新至漸新世之西村層、漸新世之四稜砂岩-乾溝層-大桶山層、漸新至中新世之澳底層以及中新世之蘇樂層（何春蓀，1986）。其中最老的西村層與最年輕的蘇樂層分別位於

一背斜及向斜之軸部（圖二）。另根據北橫公路沿線變質岩所測得的伊萊石結晶度，西村層之值剛好進入淺變質帶內($\Delta 2\theta = 0.222$)，其餘則皆為近變質帶($0.38 > \Delta 2\theta > 0.22$)（陳肇夏與王京新，1995）。鑒於西村層之變質度較其上覆的地層為高，可能出現磁黃鐵礦，因此對該地層之露頭盡可能地採集。採樣係以地質錘為之，並用可攜式人造衛星定位儀定位（誤差在 5~25 公尺範圍內），整條路線共有 38 個採樣點（圖二）。



圖二 臺灣北橫公路（即臺 7 線）沿線之地質圖及變質相圖，其中西村層屬淺變質帶，餘為近變質帶（陳肇夏與王京新，1995）。在岩石磁學分析之採樣點（T7-1~T7-38）中，第 25~29 號採樣點位於西村層內。

研究方法

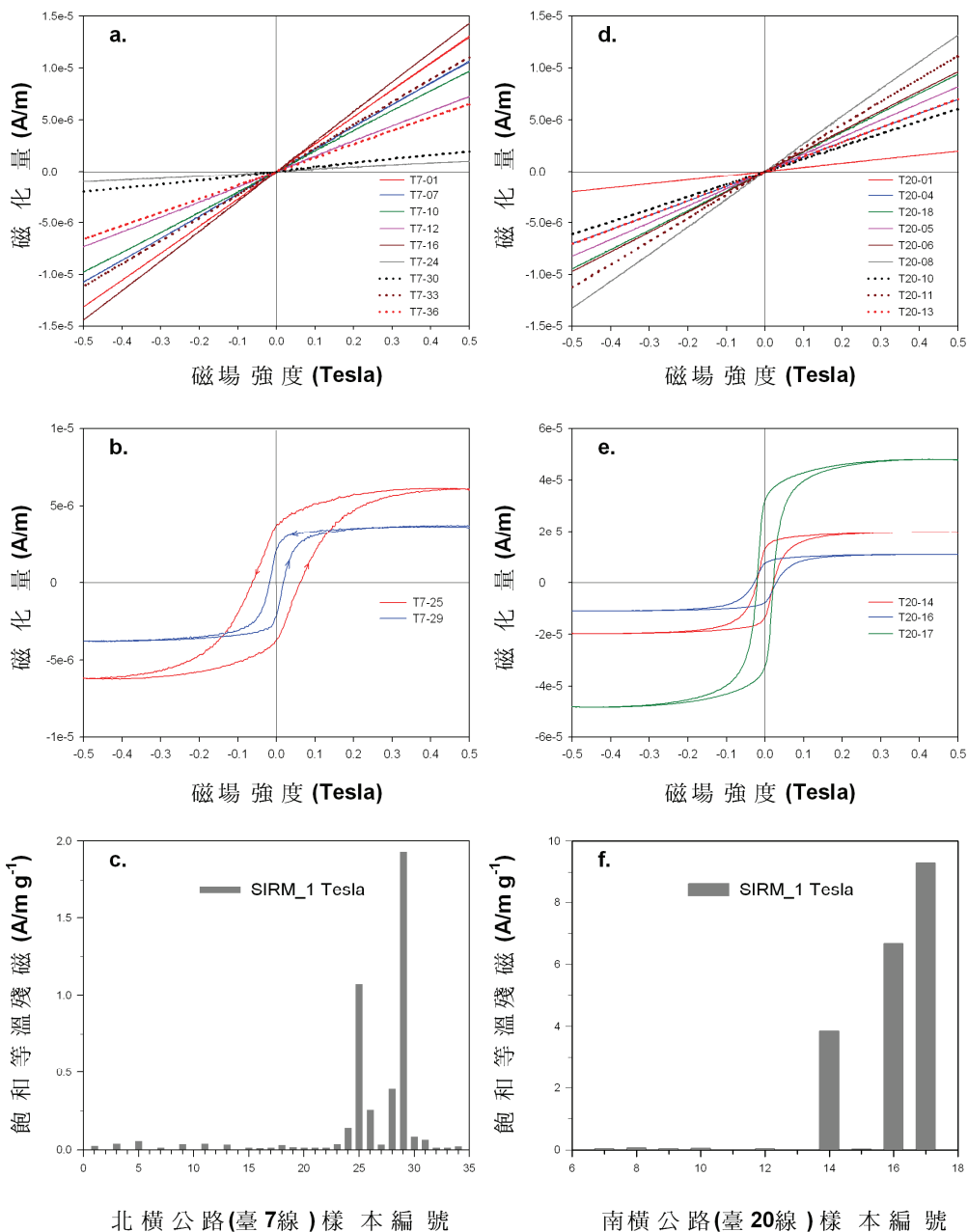
本研究之方法包括岩石之磁學性質量測及磁性礦物的觀察與分析。藉由量測岩石樣本的磁滯曲線，可以偵測出磁性礦物之有無，並從磁滯曲線的特徵研判磁性礦物之類別（詳如下節之說明）。量測磁滯曲線之儀器為振動式樣本磁力儀（vibrating sample magnetometer），所需岩樣約 300~800 毫克，最大施加磁場為 0.5 Tesla。磁滯曲線的量測結果，若呈現某種磁性礦物之曲線特徵，則進一步以岩相學的方法確認之。其中包括磁選出岩石中的磁性物質，藉由 X-光繞射儀

做礦物鑑定，或將岩樣製成光片，利用掃瞄式電子顯微鏡（附加有能量散佈光譜儀，energy dispersive spectrometry）進行觀察與成份分析。此外，飽和等溫殘磁值（saturation of isothermal remanent magnetization, SIRM）亦加以測定，以便比較不同變質岩層中磁性礦物之含量。其方法是將岩樣切割成大小約 2 公分之立方體並秤重，利用脈衝式磁化儀施以一強的直流磁場（本研究為 1 Tesla），使岩樣達到或趨近飽和磁化，並用岩石磁力儀量測樣本於磁場消失後獲得的磁化量，即為飽和等溫殘磁值。一般而言，若單位重量之飽和等溫殘磁值越高，代表所含之磁性礦物越多。

低度變質岩之磁學性質

圖三 a-c 為北橫公路代表性岩樣磁滯曲線與單位重量飽和等溫殘磁值之量測結果。為方便比較，亦將南橫公路之量測結果示於圖三 d-f。由圖三 a 可知，所有取自蘇樂層、澳底層、大桶山層、乾溝層以及四稜砂岩之低度變質岩樣本，其磁滯曲線皆為直線型。亦即當施加磁場逐漸增加時（圖三 a 橫軸之正值），樣本之磁化量成等比例增加，減弱時亦然。而當施加磁場朝反向漸增時（圖三 a 橫軸之負值），樣本之磁化量亦朝反向增加。此種磁學特性稱之為順磁性（paramagnetism）。值得注意的是，具有順磁性的物質，當施加磁場消失為零時，磁化量亦歸零，反映該物質無法殘留磁性，例如黏土礦物即屬此類。換言之，上述岩層在 300~800 毫克的樣本中，幾乎偵測不到磁性礦物。

相反地，圖三 b 是取自西村層之兩個岩樣，卻出現兩種不同的磁滯曲線類型。第一種磁滯曲線（藍色）的特徵是當施加一弱磁場時，樣本之磁化量即快速增加，一旦磁場繼續加大時（>0.2 Tesla），其磁化量達到飽和不再增加。而當磁場開始減弱並消失至零時，樣本卻保有殘磁（圖三 b 縱軸之截距），代表其含有磁性礦物。第二種磁滯曲線（紅色）的特徵是磁場持續增加時，其磁化量在高磁場下仍在緩步上升，並未達到飽和狀態。雖然磁場開始減弱並降至零時，樣本亦保有殘磁，但當磁場朝反向漸增時，其磁化量逐漸減弱至零，此時該外加磁場之大小（圖三 b 橫軸之截距）反映了樣本抵抗外力的強弱，稱之為磁性礦物的頑磁力（coercivity force）。由圖中可知，第二種磁滯曲線之頑磁力值較第一種為大，顯示其磁性礦物較為頑強，這也造成第二種磁滯曲線之外觀為寬腰型，而第一種磁滯曲線呈現窄腰型。總之，兩種不同類型的磁滯曲線，應該是由不同之磁性礦物所造成，此將於下節中驗證之。



圖三 (a-c) 北橫公路代表性岩樣之磁滯曲線及單位重量飽和等溫殘磁值。其中僅西村層的樣本 (T7-25、T7-29) 具典型之磁滯曲線，而其他地層的樣本皆為直線型。單位重量飽和等溫殘磁亦以取自西村層的樣本 (25~29) 呈現明顯高值。(d-f) 南橫公路代表性岩樣之磁滯曲線及單位重量飽和等溫殘磁值。其中最東邊的三個樣本 (T20-14、T20-16、T20-17) 業已證實含有磁黃鐵礦，餘則幾乎無磁性礦物 (Hong and Roberts, 2006)。

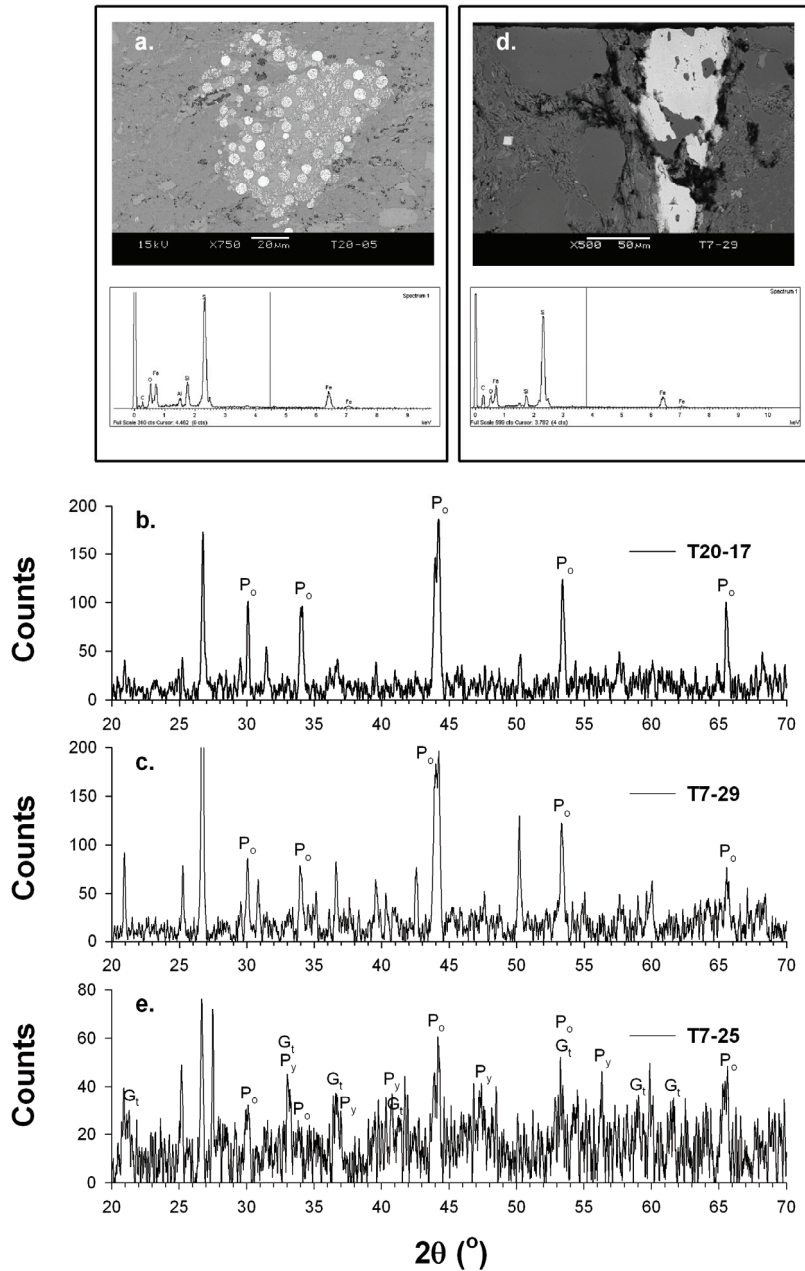
圖三 c 亦顯示取自蘇樂層、澳底層、大桶山層、乾溝層以及四稜砂岩之岩石樣本，其單位重量飽和等溫殘磁值皆極低，確實顯示這些岩層幾乎無磁性礦物，而一旦進入西村層，樣本的測值即顯著增加，也反映出其磁性礦物之存在。茲進一步將圖三 a-c 與南橫公路圖三 d-f 做比較，可發現兩者之磁學性質極為雷同。南橫公路上位於畢祿山層內最東邊的三個採樣點（圖一及圖三 e）其磁滯曲線亦呈窄腰型，而西側之其他岩樣皆屬直線型（圖三 d），單位重量飽和等溫殘磁值亦以該三個樣本有明顯高值（圖三 f）。經由此二剖面岩石磁學之量測結果，皆強烈指示在極低度的變質岩中幾乎無磁性礦物，而當變質度增加，某類磁性礦物即會開始生成。

低度變質岩的磁性礦物

藉由掃瞄式電子顯微鏡的觀察，吾人發現在南橫公路極低度變質岩中，如廬山層，普遍含有不透明礦物之草莓狀聚晶（framboidal aggregates），復經能量散佈光譜儀分析成份後，得知其為不具磁性之黃鐵礦（圖四 a）；而位在畢祿山層內具有窄腰型磁滯曲線之岩樣，經由 X-光繞射儀之分析業已證實其為磁黃鐵礦（圖四 b；Hornig and Roberts, 2006）。同樣地，在北橫公路西村層內該窄腰型磁滯曲線之岩樣亦經由 X-光繞射儀驗證其為磁黃鐵礦（圖四 c）。此外，藉由掃瞄式電子顯微鏡之觀察與分析，則發現該樣本之磁黃鐵礦呈平板狀（圖四 d），有別於黃鐵礦之草莓狀聚晶。至於具有寬腰型磁滯曲線之岩樣，經由 X-光繞射儀之鑑定得知其內不單有磁黃鐵礦、黃鐵礦，另含有針鐵礦（goethite, α -FeOOH；圖四 e）。由於針鐵礦為強頑磁力之礦物（Peter and Dekkers, 2003），遂造成上述第二類型之磁滯曲線。

討論

根據前人之研究，硫化鐵之礦物會隨著變質度的增加而發生相的改變，即黃鐵礦轉變成磁黃鐵礦（Toulmin and Barton, 1964；Carpenter, 1974；Rochette, 1987）。俞震甫（Yui, 2001）經由變質岩中有機物質同位素之分析以及其與方解石間碳同位素之交換作用，推估在南橫公路之埡口一帶，岩層之變質溫度約為 318°C。對照圖一，此處相當於磁黃鐵礦開始出現於畢祿山層的層位。另黃武良（1979）研究宜蘭東澳猴椅山硫化鐵礦床之變質作用，認為該處含有磁黃鐵礦



圖四 (a) 黃鐵礦之掃描式電子顯微鏡照片，呈現草莓狀聚晶。樣本 (T20-05) 取自南橫公路廬山層。(b-c) 磁性萃取物質之 X-光繞射圖譜。樣本 (T20-17 及 T7-29) 分別取自南橫公路畢祿山層及北橫公路西村層，顯示兩者皆為磁黃鐵礦 (P_o)。(d) 磁黃鐵礦之掃描式電子顯微鏡照片，呈現平板狀。樣本 (T7-29) 取自北橫公路西村層。(e) 磁性萃取物質之 X-光繞射圖譜。樣本 (T7-25) 取自北橫公路之西村層，顯示其不僅有磁黃鐵礦 (P_o)、黃鐵礦 (P_y)，也含有針鐵礦 (G_t)。

之礦體其生成溫度為 310°C 或略高、荷壓為 5200 大氣壓、硫分壓 $10^{-6.2}$ 至 $10^{-6.8}$ 、硫化鐵活性 0.41 ± 0.02 。由此觀之，變質岩中磁黃鐵礦的生成溫度可能約為 320°C 。有趣的是，此一礦物之居禮溫度為 $310\sim 325^{\circ}\text{C}$ (Dekkers, 1989; Horng and Roberts, 2006)，與生成溫度若合符節。

如同南橫公路岩層中磁黃鐵礦的出現與伊萊石結晶度之分界 ($\Delta 2\theta = 0.22$) 有相當一致的關係，磁黃鐵礦在北橫公路西村層的再次發現，更加印證了其與利用伊萊石結晶度作為區分近變質帶與淺變質帶有異曲同工之結果。換言之，磁黃鐵礦在低度變質岩中的首次出現確實代表一等變質線，而此一結果當可應用於其他低度變質岩的地區。從地層對比的角而言，變質岩大多因缺乏化石，常造成對比的困難與爭議。以西村層為例，其本身即尚未發現可供定年的化石，基本上不易與其他地層作年代上的對比。然從岩性之觀點，咸認為此一地層應對比於雪山山脈南段的佳陽層及中央山脈的畢祿山層，這主要著眼於上述三個地層皆是由葉理發達之板岩與千枚岩所組成 (參何春蓀, 1986 之第 47~48 頁)。亦即是從變質度作為對比之依據。若此，則磁黃鐵礦之等變質線亦可作為地層對比的有利工具。事實上，在臺灣其他地區 (如中橫公路、蘇花公路) 之佳陽層或畢祿山層中，吾人以岩石磁學的方法也確實發現了磁黃鐵礦 (洪崇勝未發表資料；另參考本特刊之文章：謝凱旋等人, 2011)，印證了前述雪山山脈與中央山脈地層間對比的看法。雖然如此，但若深入檢討低變質度地層之界線，則仍存在許多疑點，究其原因主要是單調的岩性造成劃界的不確定性。以南橫公路之地層為例，由圖一即可察覺現行之地質圖將廬山層與畢祿山層的界線劃定在天池附近。今若以磁黃鐵礦的出現或伊萊石結晶度作為兩地層分界的依據，則廬山層與畢祿山層的界線將位在埡口附近，如此以等變質線作為分層的依據勢必更為合理與精準。至於臺灣其他地區此二地層之界線，今後若亦能依此準則加以劃定，將使低度變質岩層之分層與對比趨於統一。

除了磁黃鐵礦，本研究在西村層中也找到了針鐵礦。此一磁性礦物因屬氧化態，其與磁黃鐵礦出現在同一岩樣中則頗耐人尋味 (圖四 e)。依目前之推斷，它可能是由磁黃鐵礦風化而來，尤其是西村層恰處於背斜軸部，受到強烈的應力作用而有較多的裂隙，導致部份的磁黃鐵礦沿裂隙而遭到氧化，故針鐵礦應屬變質作用後期的產物，惟此一論點仍有待驗證。

結論

本研究以岩石磁學的方法針對臺灣北橫公路所出露的雪山山脈低度變質岩層進行了磁學性質與磁性礦物之量測與分析，並與先前南橫公路中央山脈地層之結果做比較。研究顯示，隨著變質度的增加，硫化鐵礦物將由不具磁性的黃鐵礦轉變成磁黃鐵礦，其開始出現的層位是在此一剖面最老的西村層內，變質溫度約為 320°C，且磁黃鐵礦的出現與利用伊萊石結晶度作為近變質帶與淺變質帶之分界相吻合，證明變質岩中磁黃鐵礦的首次出現無論是在中央山脈的南橫公路或雪山山脈的北橫公路皆代表一等變質線。由於岩石磁學為非破壞性手段，所需岩樣少，並能快速偵測出磁黃鐵礦，它可以讓吾人在高山交通艱難的地區從事密集且重量少的採樣。相較於伊萊石結晶度的方法須以破壞手段進行樣本處理以及要有較嚴謹之量測條件 (Kisch, 1991)，則岩石磁學能更經濟有效地界定出磁黃鐵礦的等變質線，有助於雪山山脈與中央山脈間地層的對比與地層界線之精確劃定。

誌謝

本文承蒙朱倣祖、羅偉、扈治安三位博士之審稿並惠賜卓見，謹此申謝。本文作者亦感謝中央研究院地球科學研究所及行政院國家科學委員會（委託計畫 NSC99-2116-M-001-019）所提供之行政與經費協助。

參考文獻

- 王詠絢、魏正岳、黃鑑水、許銘義、曹恕中、林明昌（2000）臺灣東北部頭城金面山鉛鋅礦脈之探查。經濟部中央地質調查所彙刊，第 13 號，第 119-136 頁。
- 何春蓀（1986）臺灣地質概論—臺灣地質圖說明書（增訂第二版）。經濟部中央地質調查所出版，共 164 頁。
- 林朝榮、周瑞燉（1974）臺灣地質。臺灣省文獻委員會印行，共 450 頁。
- 陳志賢（1971）東臺灣層狀含銅硫化鐵礦床之礦物共生及結構。鑛冶，第 15 期，第 41-51 頁。
- 陳培源、劉德慶、黃怡禎（2004）臺灣之礦物。經濟部中央地質調查所編印，共 415 頁。
- 陳肇夏、王京新（1995）臺灣變質相圖說明（第二版）。經濟部中央地質調查所特刊，第 2 號，第 1-51 頁。
- 曹恕中（1996）臺灣中央山脈變質沉積岩伊萊石結晶度、鉍石核飛跡年代和鉀氫年代之地質意義。

- 國立臺灣大學地質研究所博士論文，共 272 頁。
- 黃武良 (1979) 東澳硫化鐵礦床之變質作用：閃鋅礦地質壓力計之應用。地質，第 2 卷，第 47-56 頁。
- 謝凱旋、洪崇勝、陳勉銘、游能悌 (2011) 臺灣中部地區佳陽層、眉溪砂岩中段與廬山層底部之化石研究：雪山山脈南段東翼地層的年代制約。經濟部中央地質調查所特刊，第 25 號，第 133-166 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編印，共 202 頁。
- Carpenter, R.H. (1974) Pyrrhotite isograd in southeastern tennessee and southwestern north Carolina. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, 451-456.
- Chen, C.C. and Tsai, C.L. (1978) A preliminary study on emplacement conditions of the pyrrhotite vein from Tung-Ao, I-Lan Hsien. *Min. & Metall.*, 22, 62-72.
- Dekkers, M.J. (1989) Magnetic properties of natural pyrrhotite. II. High- and low-temperature behavior of J_{rs} and TRM as function of grain size. *Phys. Earth. Planet. Int.*, 57, 266-283.
- Ernst, W.G. (1983) Mineral parageneses in metamorphic rocks exposed along Tailuko Gorge, Central Mountain Range, Taiwan. *J. Meta. Geol.*, 1, 305-329.
- Hong, C.S. and Roberts, A.P. (2006) Authigenic or detrital origin of pyrrhotite in sediments?: Resolving a paleomagnetic conundrum. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 241, 750-762.
- Kisch, H.J. (1990) Calibration of the anchizone: a critical comparison of illite 'crystallinity' scales used for definition. *J. Meta. Geol.*, 8, 31-46.
- Kisch, H.J. (1991) Illite crystallinity: Recommendations on sample preparation, X-ray diffraction settings, and interlaboratory samples. *J. Meta. Geol.*, 9, 665-670.
- Peters, C. and Dekkers, M.J. (2003) Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size. *Phys. Chem. Earth*, 28, 659-667.
- Rochette, P. (1987) Metamorphic control of the magnetic mineralogy of black shales in the Swiss Alps: Toward the use of "magnetic isograds". *Earth Planet. Sci. Lett.*, 84, 446-456.
- Tsao, S.J., Li, T.C., Tien, J.L., Chen, C.H., Liu, T.K. and Chen, C.H. (1992) Illite crystallinity and fission-track ages along the East Central Cross-Island highway of Taiwan. *Acta Geol. Taiwanica*, 30, 45-64.
- Tan, L.P., Lin, S.B. and Chen, C.H. (1986) Pyrrhotites from Fengtien and Pingfengshan, Taiwan. *Acta Geol. Taiwanica*, 24, 357-365.
- Toulmin, P., III and Barton, P.B., Jr (1964) A thermodynamic study of pyrite and pyrrhotite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 641-671.
- Yui, T.F. (2001) Isotopic composition of carbonaceous material in metamorphic rocks from the mountain belt of Taiwan. *Int. Geol. Rev.*, 47, 310-325.

Rock magnetism of low-grade metamorphic strata along the Northern Cross-Island Highway with reference to stratigraphic correlation between the Hsuehshan and the Central Ranges in Taiwan

Chorng-Shern Horng¹, Kuo-Hang Chen¹ and Chun-Hung Lin¹

ABSTRACT

In order to understand magnetic characteristics of low-grade metamorphic rocks in the Hsuehshan Range of Taiwan, rock magnetic measurements of the hysteresis loop and saturation of isothermal remanent magnetization (SIRM) were carried out on samples collected from the Eocene to Miocene strata along the Northern Cross-Island Highway. The results revealed that magnetic minerals obviously present in the Hsitsun Formation, the oldest stratum of the section along the highway, but are nearly absent in the younger strata. X-ray diffraction analyses on magnetic extracts and scanning electron microscopic observations on thin sections from the Hsitsun Formation further indicated that pyrrhotite (Fe_7S_8) is the dominant magnetic mineral of the rocks, with occasional occurrence of goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$). Since non-magnetic pyrite (FeS_2) is the most common iron sulfide in the younger strata and metamorphism increases toward the older formations, we interpret that pyrrhotite in the Hsitsun Formation was transformed from pyrite during regional metamorphism. As for the genesis of goethite, we propose that it is a weathering product of pyrrhotite because the Hsitsun Formation is situated on the axis of an anticline subjecting to higher stress and has more cracks for pyrrhotite oxidation. The transformation of pyrite to pyrrhotite can also be observed in the low-grade metamorphic strata along the Southern Cross-Island Highway of the Central Range. It is worthwhile noting that the stratigraphic position of the first appearance of pyrrhotite in both the Northern and Southern Cross-Island Highways is very consistent with the anchizone/epizone boundary defined by illite crystallinity. Therefore, the first occurrence of pyrrhotite can be taken as an important isograd in low-grade metamorphic rocks, which is helpful for stratigraphic correlation

¹ Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

between the formations in the Hsueshan and the Central Ranges. Compared with the use of illite crystallinity as an index of the degree of regional metamorphism, the identification of pyrrhotite by the rock magnetic method is rapid and nondestructive and requires only a small amount of sample. Thus, its application to all metamorphic terrains in Taiwan is recommended.

Key words: rock magnetism, low-grade metamorphism, pyrrhotite, pyrite, goethite, isograd, illite crystallinity