

第四章 討論

4.1 哀牢山變質帶葉理的相互疊置關係

紅河-哀牢山剪切帶上主要的變質岩體以片麻岩為主，其岩組為片麻岩狀岩理(Gneissic structure)，而這些片麻岩狀岩理組構的形成與糜嶺岩(mylonite)的 S-C or S-C' 岩組不相同。

片麻岩每經一次塑性變形後，應可觀察到二期葉理，而葉理之間會有相互疊置關係；若岩體不只經過一次塑性變形，則由顯微構造分析所觀察到的葉理應不只二期，且應是不同變動時期所產生的葉理。其中當片麻岩受到後期的塑性變形作用時，若作用力與前期變動相近時，則片麻岩將不會產生新的葉理面，而是直接利用前期方位相近的葉理順勢剪動。若是變形作用的應力很大、或變形作用的時間很長，作用力仍會將舊葉理的方位轉到垂直於 σ_1 方向 (Passchier and Trouw, 1996)。

糜嶺岩的 S-C 組構是以相互伴隨著的線理和葉理為特徵(Scholz, 2002)，一般是斷層剪動帶中的產物。S 葉理是可能由片狀礦物的偏好排列在機械式旋轉中形成，在高度變質的糜嶺岩中，它是經由塑性變形和再結晶作用形成的偏好結晶排列礦物所組成；C 面在非固結的斷層泥中是由集中的滑動帶所形成，或在較高度變質的糜嶺岩中是由再結晶的較細密的物質所組成；C' 面是在韌性變形中一個葉

表 4.1 各期葉理面之交角差

Sample	S ₀₁ & S ₁ angel dif.	S ₁ & S ₂ angel dif.	S ₂ & S ₃ angel dif.
03YNR014	70.6	55.1	54.9
03YNR015	85.3	44.1	50
03YNR016	—	67.3	—
03YNR017	57.1	53.3	74.8
03YNR018	64.9	77.4	—
03YNR019	79.5	68.6	63.7
03YNR020	81	51.6	60.4
03YNR021	—	—	51.1
03YNR022	74.6	60.9	83.2
03YNR023	77.1	37.4	53.7
03YNR024	55.4	42.6	53.9

理或劈理(Scholz, 2002; Blenkinsop, 2000)。其 C 面、C'面和 S 葉理是在一次斷層活動中同時形成的塑性變形，並無前後形成之關係，其之間的夾角應小於或等於 45 度。

前人在研究紅河-哀牢山剪切帶上的變質岩時，皆以 S-C or S-C'組構來分析變質岩的顯微構造(Leloup et al., 1993, 1995, 2001)，但所針對的標本並非是斷層攪碎帶上的糜嶺岩，而是變質岩體中的片麻岩，故分析的方式應為片麻岩岩理疊置關係，而非 S-C or S-C'岩組。表 4.1 為本研究葉理分析中各期葉理面之交角差，除了 03YNR015 (gneiss)、03YNR023 (biotite gneiss)、和 03YNR024 (gneiss)中 S₁和 S₂葉理面之交角差小於 45 度之外，大部分的交角差皆大於 45 度，表示紅河-哀牢山剪切帶上的葉理組構並非 S-C or S-C'組構，應以片

麻岩岩理疊置關係來做分析。

當變形作用之 σ_1 方向接近早期葉理時，方位相近的舊葉理易被再利用重新活動。而在顯微觀察分析時，發現 $S_{0/1}$ 和 S_2 的方位相近，表示 $S_{0/1}$ 可被再利用成 S_2 重新活動，故在判別其疊置關係時須格外注意。

4.2 哀牢山變質帶葉理分析結果之地質事件意義

由前人在紅河-哀牢山剪切帶上的變質岩定年的結果，大致可推知紅河-哀牢山剪切帶曾受過二次大規模的構造事件，即中生代中南半島和南中國陸塊縫合的印支期(Lepvrier et al., 1997; Nam et al., 1998; Wang et al., 2000; Maluski et al., 2001; Nam et al., 2003)，以及新生代晚期印度碰撞歐亞大陸的喜馬拉雅造山期，其中印度碰撞歐亞大陸使因中南半島和南中國陸塊脫逸(Tapponnoer et al., 1982, 1990)，紅河-哀牢山剪切帶因而先後發生左移(Gilley et al., 2003; Harrison et al., 1996; Leloup et al., 2001; Nam et al., 1998; Wang et al., 1998, 2000)和右移(Leloup et al., 1993)。印支期、左移和右移三期變動很可能造成了紅河-哀牢山剪切帶變質岩體三期的塑性變形和剪切。

Carter et al. (2001)提出晚二疊紀-中三疊紀的印支期運動中，中南半島和南中國陸塊的縫合，致使古特提斯海(Paleo-Tethys)閉合(圖

4.1)，其相對運動為西北-東向伴隨右旋剪動，與本研究分析結果中第一期塑性變形事件(D1)的右旋的應力狀態相符，而 Gilley et al. (2003)亦提出紅河剪切帶的第一期變形作用發生於印支期，因此可以推測分析結果中的第一期塑性變形 D1 為印支期運動。

在本研究結果中所分析出的第二期塑性變形事件(D2)是哀牢山變質帶中主要的變形事件，顯示在第二期塑性變形作用時的主應力 σ_1 來自於水平擠壓力，其次才是 σ_2 岩壓。Jolivet et al. (2001)提出紅河-哀牢山剪切帶左移運動時因印度板塊碰撞歐亞大陸而使地殼增厚，於中部地殼產生一水平剪切面(圖 1.4)。當岩壓大於板塊運動之水平擠壓力，地殼大量增厚才能產生近水平剪切面及近水平之葉理面，而本研究中第二期塑性變形的的主應力 σ_1 為水平擠壓力而非岩壓，因此 Jolivet et al. (2001)的中部地殼水平剪切面之說法與本研究觀察結果不符合。

4.3 哀牢山變質帶葉理交軸分析結果之構造歷史的意義

由前人在紅河-哀牢山剪切帶上的變質岩定年的結果，推知印支期、紅河-哀牢山剪切帶左移期和右移期三期為紅河-哀牢山剪切帶變質岩體三期的塑性變形和剪切。由本研究結果顯示，哀牢山變質帶之葉理交軸共有三期(圖 4.2)，其位態皆為西北-東南向，第一期塑性變形伴隨右旋剪動，第二期塑性變形伴隨左旋剪動，第三期塑性

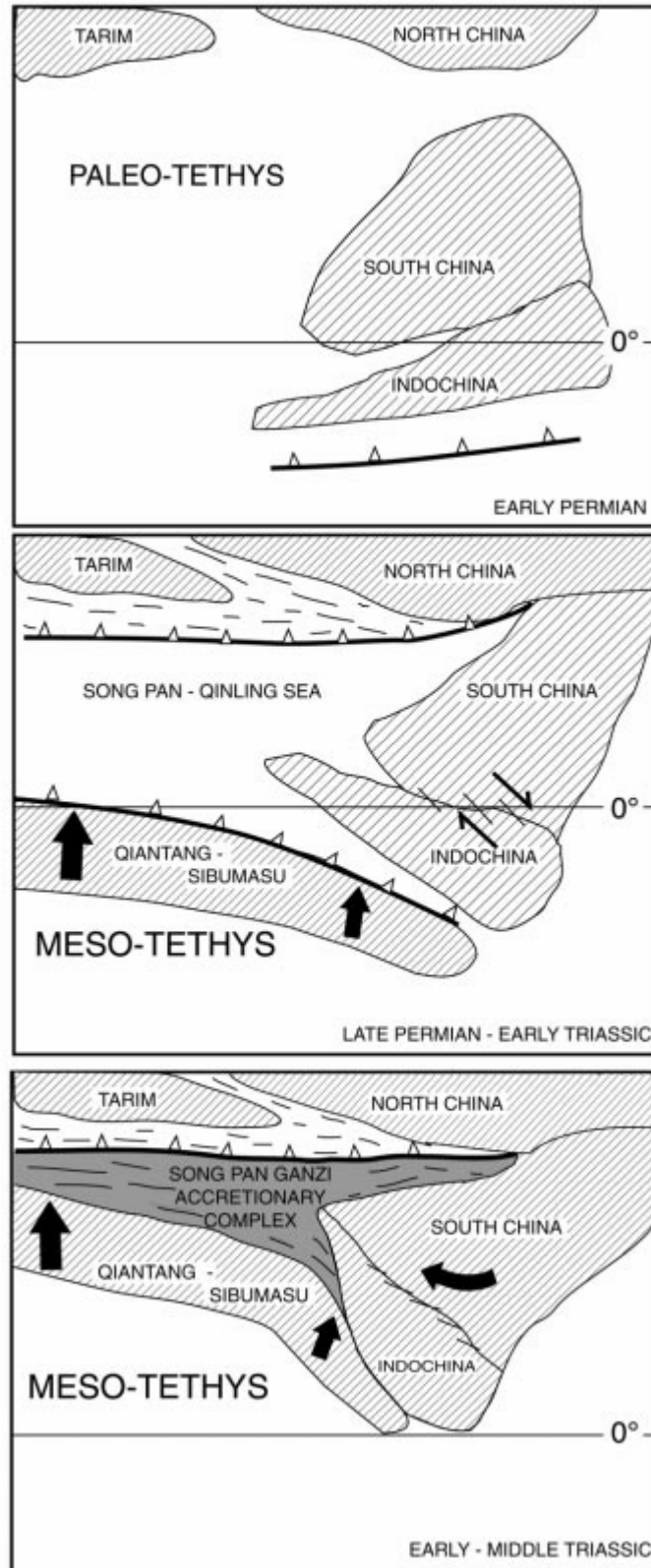


圖 4.1 晚二疊紀-中三疊紀之古地理模式(Cater et al., 2001)。圖中指出南中國陸塊和印支地塊(中南半島, Indochina)的相對運動, 以及古特提斯海(Paleo-Tethys)的閉合。

變形伴隨右旋剪動，皆可與之相對應，而三期變形期之區域主應力 σ_1 方向皆為東北-西南向。

Carter et al. (2001)提出晚二疊紀-中三疊紀的印支期運動，中南半島和南中國陸塊的縫合(圖 4.1)，其相對運動為西北-東向伴隨右旋剪動，形成的葉理交軸可能為南-北向或西北-東南向，此推論與本研究中之第一組葉理交軸之位態為西北-東南向，顯示紅河-哀牢山剪切帶在第一期塑性變形期(D1)受東北-西南水平擠壓力相符。因此，第一期塑性變形作用應為晚二疊紀-中三疊紀的印支期運動。

Leloup et al. (2001)提出的拉鍊構造模式(圖 1.3) 中，當中南半島沿著紅河-哀牢山剪切帶左移脫逸時，紅河-哀牢山剪切帶之西北段的區域主應力為南北向的滑移壓縮(transpression)應力，而其東南

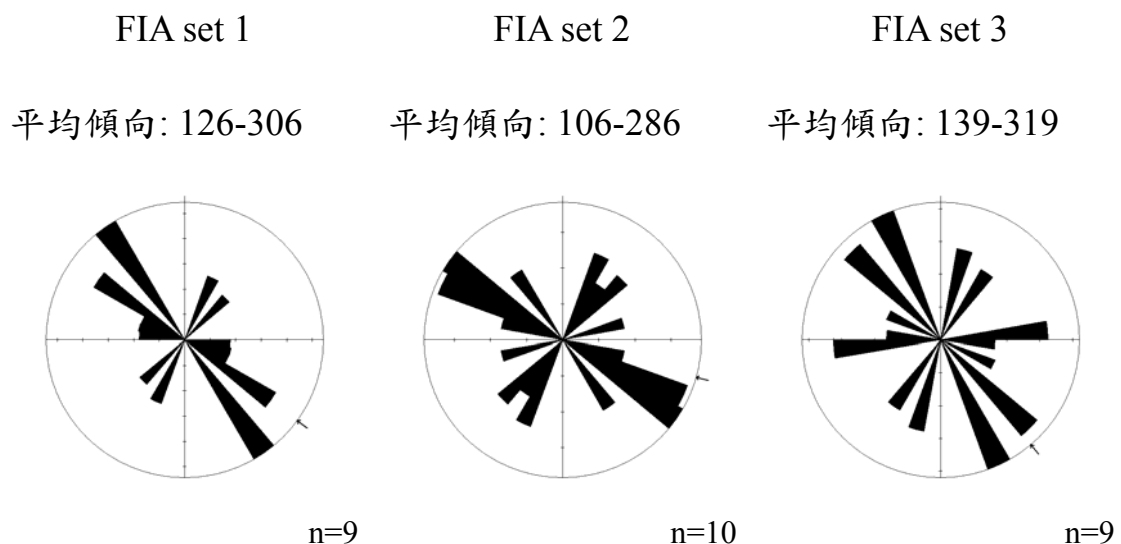


圖 4.2 三組葉理交軸分析結果之玫瑰圖。

段之區域主應力改變為東西向的滑移伸張(transtension)應力，陸塊因受區域應力場的改變而發生旋轉，使在紅河-哀牢山剪切帶上的高度變質岩複合體由東南向西北歷時抬升，直至紅河-哀牢山剪切帶左移停止，轉而南中國陸塊沿紅河-哀牢山剪切帶右移脫逸，並使南中國海張裂方向改變(Briais et al., 1993)。但是本研究分析葉理交軸的結果顯示，第二期塑性變形之區域應力並未發生改變，中南半島沿紅河-哀牢山剪切帶左移時期仍為東北-西南水平擠壓的區域應力，此結果與拉鍊構造模式的區域應力方位之應變不符。

由本研究結果顯示，哀牢山變質帶之三期葉理交軸位態皆為西北-東南向，故三期變形期之區域主應力方向(σ_1)皆為東北-西南向，其中第二期塑性變形之葉理交軸(106-286)，較第一期(126-306)及第三期(139-319)之葉理交軸偏東西向。Burchfiel (2004)提出的中部地殼流體模式(圖 1.5)當中，區域主應力 σ_1 的來源方向應為持續的南-北向，而本研究結果顯示三期變形期之區域主應力 σ_1 方向皆為東北-西南向，此結果與 Burchfiel (2004) 的中部地殼流體模式較為符合。

4.4 象背山變質帶 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代意義

本研究氬-氬定年實驗結果所得年代約為 27-21 Ma (表 3.2)，角閃石的數據中，M03-5B、M03-6Ah 與 M03-7 所得的年代分別為 25.7

± 0.3 Ma、 24.7 ± 2.8 Ma 與 26.9 ± 1.6 Ma，黑雲母所得的年代，由研究區域東北側 RR15 的 21.5 ± 0.3 Ma (Wang, et al., 1998)、M03-3 的 23.6 ± 0.9 Ma、至西南側 M03-6Ab 的 24.7 ± 0.7 Ma。實驗結果顯示角閃石及黑雲母的定年結果有輕微東北向西南增加的趨勢(圖 4.2)，但其變化量並不大，角閃石所得的年代落在 26.9-24.7 Ma 之間，黑雲母所得的年代落在 24.7-21.5 Ma 之間。

在前人研究中曾報導過象背山變質帶中，鉀氫定年角閃石的年代為 28.5-26.4 Ma，而黑雲母的年代則為 24.7-24.5 Ma (Nam et al.,

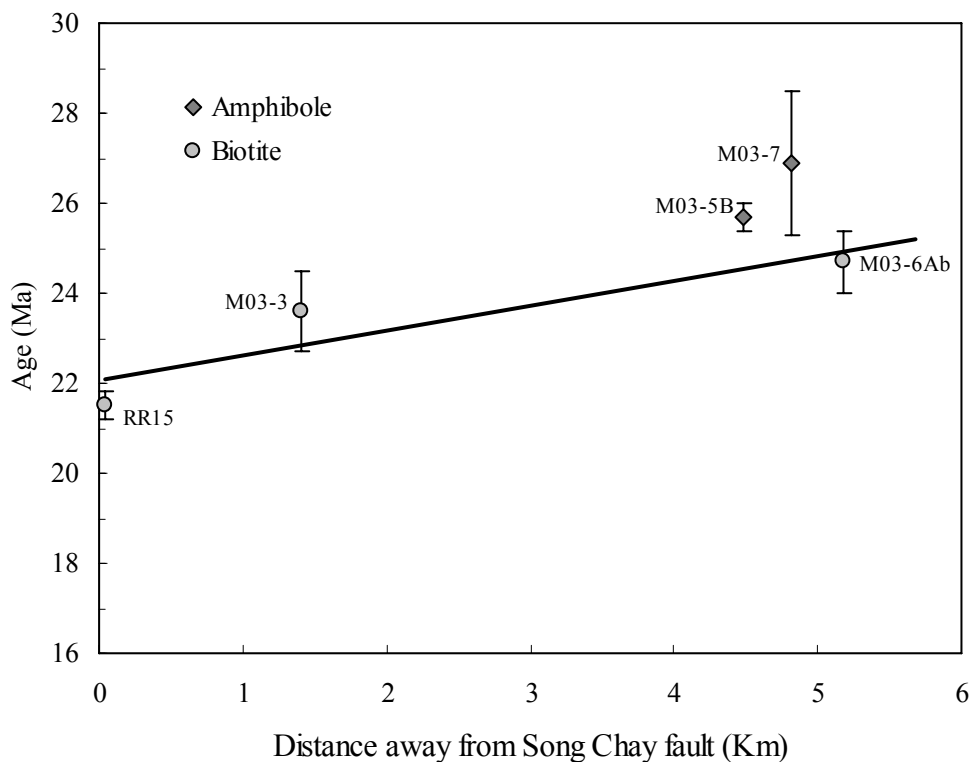


圖 4.2 象背山變質帶標本位置與年代變化圖。標本點 RR15 資料參考自王珮玲 (1998)。

1998); 氫氫定年中, 黑雲母的坦原年代在 26-23.1 Ma (Harrison et al., 1996; Wang et al., 2000), 反等時線年代在 27.4-25.8 Ma (Wang et al., 2000; Leloup et al., 2001), 而許多學者皆認為紅河-哀牢山剪切帶左移運動的發生年代大致在第三紀(Leloup et al., 1995; Lee and Lawver, 1995; Chung et al., 1997; Wang and Burchfiel, 1997), 其中象背山最早的左移剪切年代為 27 Ma, 左移活動持續到 22 Ma (Wang et al., 2000)。

綜合前人研究與本研究之實驗結果, 角閃石的年代(26.9-24.7 Ma)與黑雲母的年代(24.7-21.5 Ma)與前人提出的年代結果相近, 而由角閃石及黑雲母所得的年代約集中於晚期漸新世至早期中新世, 同礦物的年代變化量不大, 且與前人提出的紅河-哀牢山剪切帶左移運動的年代相近(Harrison et al., 1996; Nam et al., 1998; Wang et al., 2000; Leloup et al., 2001)。由於驗所得的年代數據變化量不大, 顯示象背山變質帶左移運動時期南-北兩側抬升的時間差異不大, 可視為同時期抬升。Jolivet et al. (2001)所提的中部地殼水平剪切面模式(圖 1.4), 提出紅河-哀牢山剪切帶在 33 Ma 時, 由西南側先抬升再逐步向東北側抬升, 在年代上應會有一明顯的年代變化, 此與實驗結果同時期抬升不盡相符。而 Burchfiel (2004)提出的中部地殼流體模式(圖 1.5)當中, 陸塊內部變形向上抬升, 故剪切帶兩側的抬升時間差

異應不大，此與本研究結果較為符合。