第一章　緒論

新生代早期，印度板塊碰撞歐亞板塊造成西藏高原的抬升，同時亦造成周圍分布廣闊的走向滑移斷層的生成，紅河-哀牢山剪切帶(Ailao Shan-Red River Shear Zone, ASRRSZ；圖 1.1)即為其主要的走向滑移斷層之一(Tapponnier et al., 1982)。紅河-哀牢山剪切帶由喜馬拉雅山東構造結(Eastern Syntaxis of the Himalaya)向東南延伸橫越中南半島，為一西北-東南走向之剪切帶，包含四個變質帶：雪龍山(Xuelong Shan, XLS)、點蒼山(Diancang Shan, DCS)、哀牢山(Ailao Shan, ALS)、及象背山(Day Nui Con Voi, DNCV)變質岩複合體。曾有許多學者針對紅河-哀牢山剪切帶提出不同的說法，而越多的研究資料顯示出東亞地體構造的複雜性並非單一種說法能解釋，需投注更多的研究以利釐清其構造運動及演化模式。

1.1 前人研究

紅河-哀牢山剪切帶為南中國陸塊與中南半島上之一條地質和地形學上的不連續帶(Leloup et al., 1995)，早在 70 年代開始，便已有學者指出紅河-哀牢山剪切帶為印度碰撞歐亞大陸所產生的主要應變結果(Tapponnier & Molnar, 1977)，亦有學者認為紅河-哀牢山剪切帶是華南地塊與印支地塊的縫合帶(Tapponnier et al., 1990; Leloup et al., 1995)。此後不斷有學者利用不同的研究方法針對紅河-哀牢山

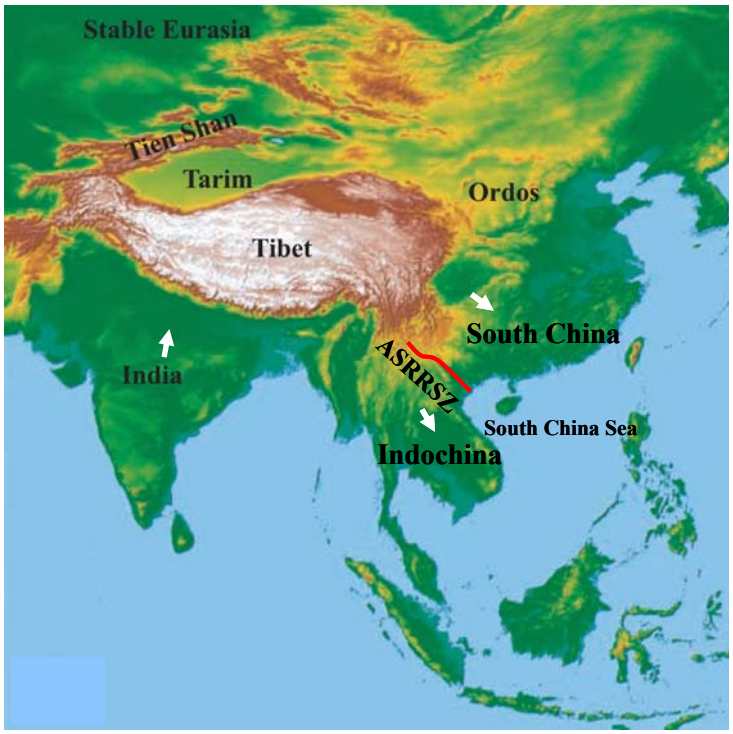

圖 1.1 紅河-哀牢山剪切帶相關地理位置圖(修改自 Replumaz & Tapponnier, 2003)。

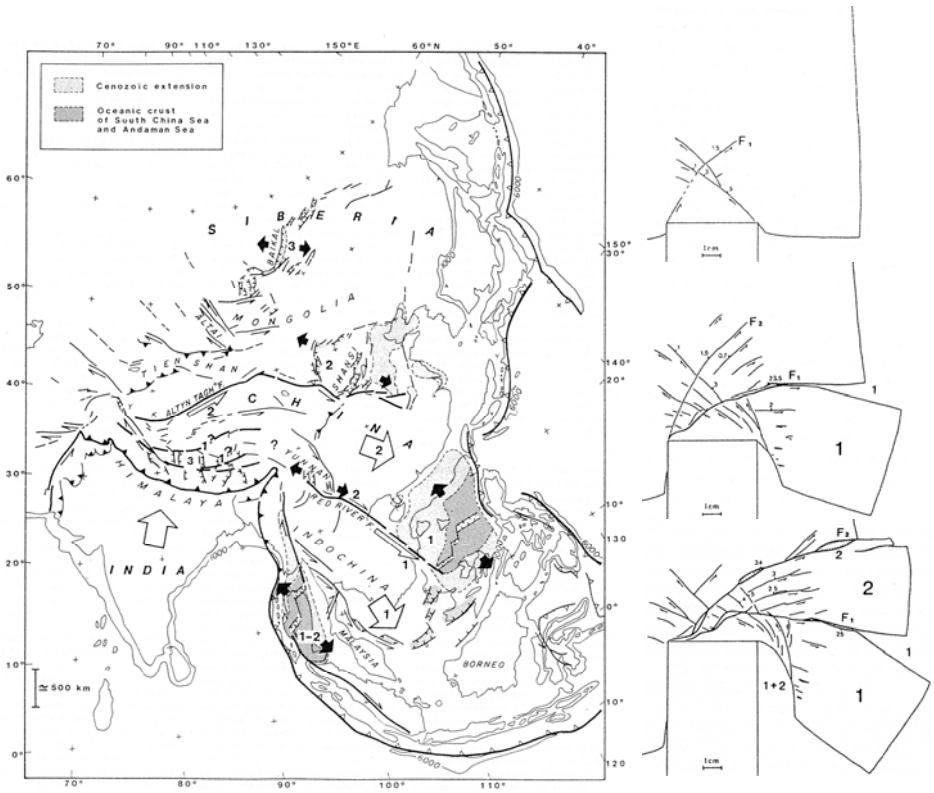

圖 1.2 板塊碰撞脫逸模式(Tapponnier et al., 1982)。右小圖中的 1 代表左圖中的中南半島，2 代表華南，F1 即為紅河斷層。

剪切帶的活動模式做研究與解釋，其中有兩種不同的模式被提出，其中一種模式主張岩石圈近似一黏性薄層，在板塊碰撞力的作用之下陸塊本身縮短增厚的流性變形(e.g., England & Houseman, 1986; England & Molnar, 1997)；另一種模式則主張剛性的板塊碰撞脫逸模式(Continental Extrusion Model; e.g., Tapponnier et al., 1982, 1986; Leloup et al., 1995)。

Tapponnier et al. (1982, 1986)所提出板塊碰撞脫逸模式(圖 1.2)屬於剛性變形，認為印度碰撞歐亞大陸時，陸塊因巨大的水平應力而沿著主要走向滑移斷層活動，其陸塊的內部變形量很少，舊有的板塊邊界重新活動形成紅河-哀牢山剪切帶的左移運動，使中南半島沿著紅河-哀牢山剪切帶向東南脫逸，並導致南海的張裂。其後印度持續碰撞歐亞大陸，水平應力持續作用之下，使南中國陸塊隨之脫逸，而紅河-哀牢山剪切帶則由左移運動轉變成為右移運動。

Leloup et al. (2001)更進一步以拉鍊構造模式(Zipper Tectonic Model；圖 1.3)，來解釋新生代以來板塊碰撞脫逸模式中的中南半島沿紅河-哀牢山剪切帶左移運動脫逸時之區域主應力改變情形。當中南半島沿著不在小圓上的紅河-哀牢山剪切帶左移脫逸時，紅河-哀牢山剪切帶之西北段的構造為逆衝斷層和褶皺等擠壓性構造，使點蒼山和雪龍山受擠壓而抬升，其區域主應力為南北向的滑移壓縮

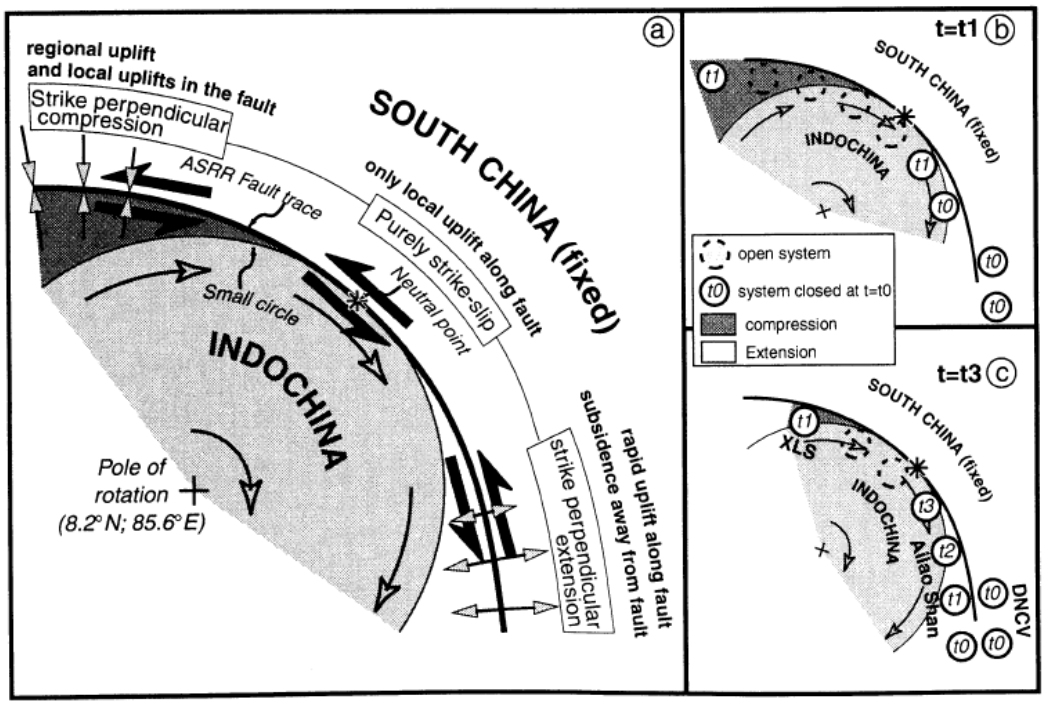

圖 1.3 拉鍊構造模式(Leloup et al., 2001)。(a)沿著不在小圓上的走向滑移斷層之滑移壓縮、純剪切、和滑移伸張的理論位置;＊為彌度 (Midu)；(b, c)圖解在拉鍊構造模式中，雪龍山(XLS) 、點蒼山(DCS)、哀牢山(ALS)的歷時發展。

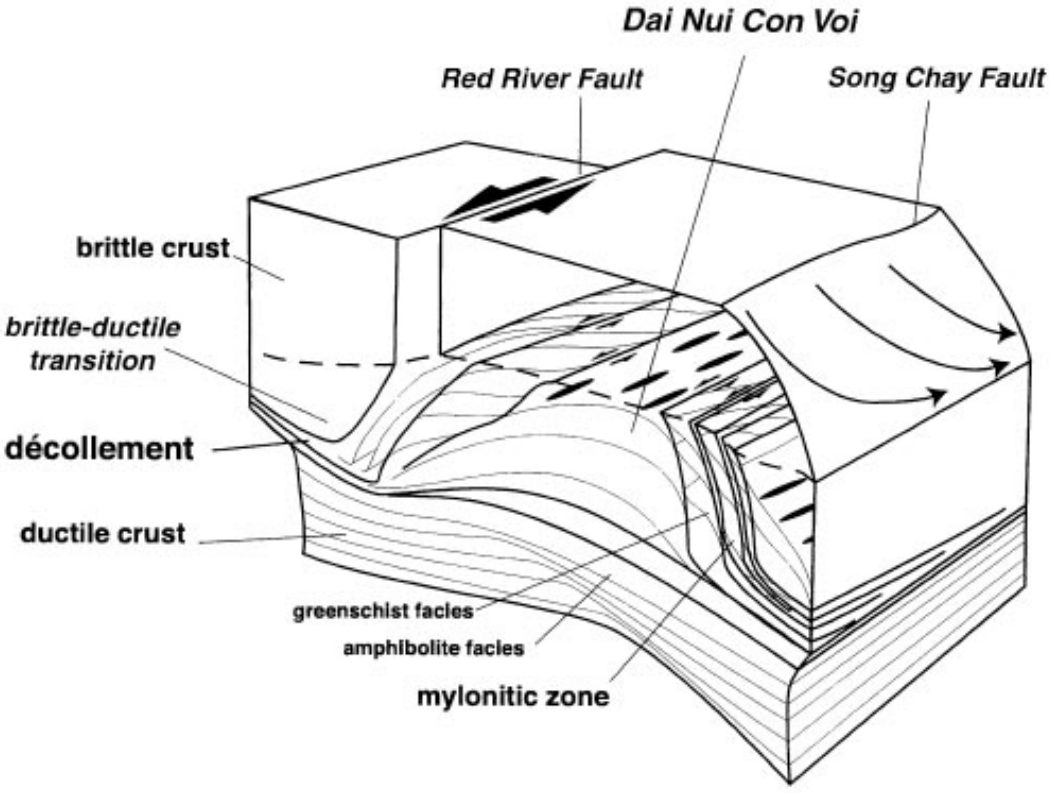

圖 1.4 紅河-哀牢山剪切帶沿一中部地殼水平剪切帶(Midcrustal Subhorizontal Shear Zone)左移剪切之 3D 示意圖(Jolivet et al., 2001)。

(transpression)應力，剪切帶為滑移壓縮左移剪切；在彌度(Midu)時轉為純左移剪切；而到其東南段時構造多為正斷層，並導致南中國海張裂(Leloup et al., 2001)，其區域主應力改變為東西向的滑移伸張(transtension)應力，剪切帶為滑移伸張左移剪切。故中南半島繞著旋轉極(8.2°N，85.6°E)順時針旋轉，使在紅河-哀牢山剪切帶上的高度變質岩複合體象背山(DNCV)、哀牢山(ALS)、點蒼山(DCS)、雪龍山(XLS)由東南向西北歷時抬升，越往西北的變質岩複合體之冷卻時間越晚(Harrison et al., 1996; Wang et al., 1998, 2000; Gilley et al., 2003)，直至紅河-哀牢山剪切帶左移停止，轉為南中國陸塊沿紅河-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)。

在前述的剛性板塊碰撞模式中，紅河-哀牢山剪切帶為一切穿整個岩石圈的剪切帶(Leloup et al., 1995, 1999, 2001; Zhang and Schärer, 1999; Gilley et al., 2003)，而 Jolivet et al. (2001)在研究象背山變質岩複合體及其附近的構造時，提出在 33 Ma 以前紅河-哀牢山剪切帶因印度碰撞歐亞大陸造成地殼增厚，產生一個位於中部地殼的水平剪切面(圖 1.4)，其後在 30 Ma 因南中國海的張裂，使紅河-哀牢山剪切帶南部發生南北向拉張，導致各變質岩複合體隆升並使紅河斷層發生左移活動。Burchfiel (2004)卻提出中部地殼流體模式(Middle

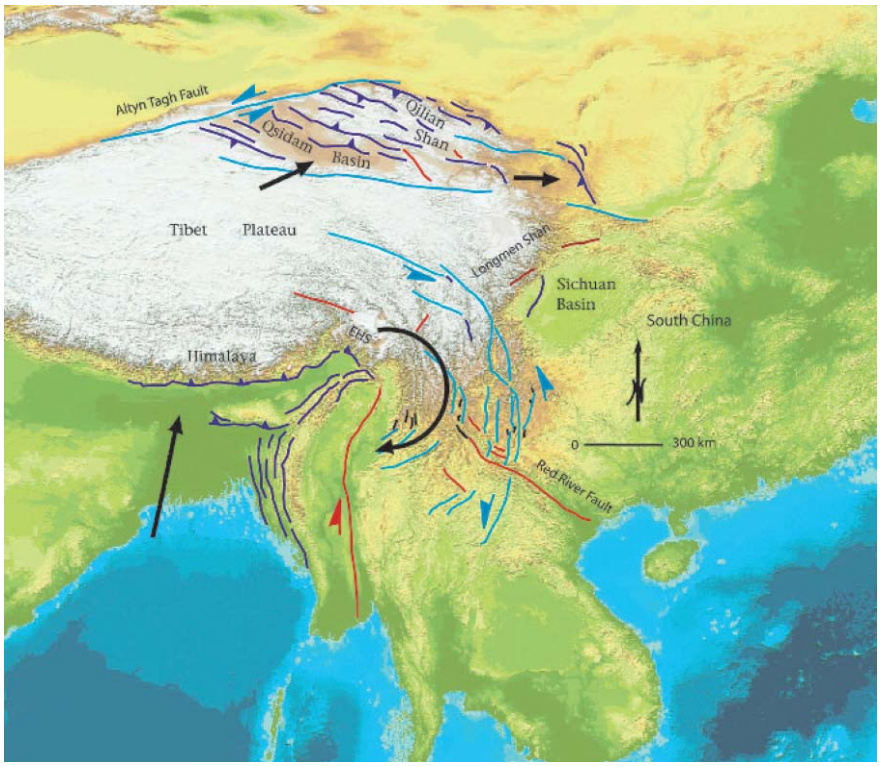

圖 1.5 晚新生代至今藏東及其鄰近區域之大地構造概括圖(Burchfiel, 2004)。黑色箭頭標示為印度和高原東北的地殼部分相對於歐亞大陸的運動，以及在高原東南的地殼部分相對於南中國的運動；左移斷層標示為藍色；右移斷層標示為紅色；縮短構造標示為紫色；張裂構造標示為短黑線；EHS：東喜馬拉雅山構造結。

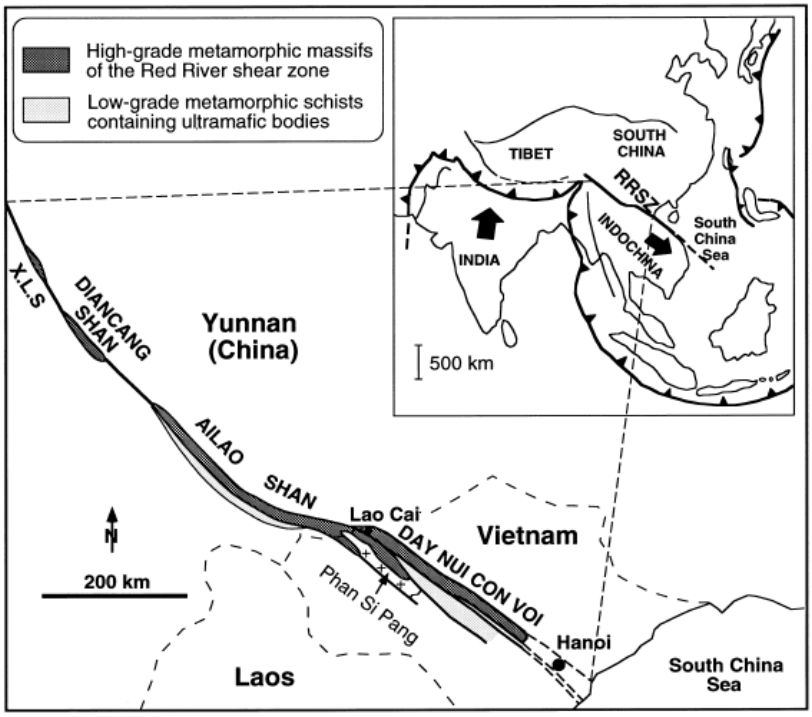

圖 1.6 紅河-哀牢山剪切帶中四變質岩複合體之位置示意圖(Nam et al., 1998)。

Crustal Flow Model；圖 1.5)，認為印度碰撞歐亞板塊時，其區域主應力$\sigma 1$方向應為南-北向，並造成陸塊內部變形，而喜馬拉雅山東構造結所經之處的局部地殼發生旋轉並沿著南-北向的剪切帶順時針旋轉，而使中南半島及南中國陸塊沿紅河-哀牢山剪切帶左移剪切。

地球年代學證據指示紅河-哀牢山剪切帶的左移塑性剪切約在晚第三紀(e.g., Schärer et al., 1990, 1994; Harrison et al., 1992, 1996; Leloup et al., 1993, 2001; Zhang and Schärer, 1999; Gilley et al., 2003)，其中鈾-鉛年代顯示為 33.1 ~ 22.4 Ma (Zhang and Schärer, 1999; Schärer et al., 1994)，氬-氬年代顯示為 30.6 ~ 17.3 Ma (Harrison et al., 1996; Leloup et al., 2001)，釷-鉛年代顯示為 33.2 ~ 18.9 Ma (Gilley et al., 2003)，並藉由比對雲南及越南境內之二疊紀至三疊紀的洪流玄武岩以及古第三紀高鉀岩漿的位置，可知其左移位移量約為 600 km (Chung et al., 1997)；而後期的右移剪切約在第四紀(Allen et al., 1984; Replumaz et al., 2001)，經由第四紀河流錯移的情形可知其右移位移量約為 500 m ~ 50 km (Replumaz et al., 2001)。由以上的定年資料，可以歸納出紅河-哀牢山剪切帶在印支期後所記錄的年代約在 34 ~ 19 Ma 之間，即早期漸新世至早期中新世，並推測其肇因於為紅河-哀牢山剪切帶左移剪切，其剪切年代為 27 ~ 17 Ma 之間

(Wang et al., 1998)。

亦有學者提出紅河-哀牢山剪切帶左移運動開始的時間在 30 Ma 以後(Chung et al., 1997; Wang et al., 1998, 2000)，晚於南中國海開始打開的時間 30 ~ 16 Ma (Taylor and Hayes, 1983; Briais et al., 1993; Cande and Kent, 1995)，而 40 ~ 30 Ma 時藏東為張裂時期而噴發高鉀玄武岩(Chung et al., 1998)，故主張因藏東和南中國海的張裂使紅河-哀牢山剪切帶成為一弱帶，因此在印度碰撞歐亞大陸時，中南半島沿此弱帶脫逸而造成紅河-哀牢山剪切帶左移的說法。而後 Searle (2006)整合岩相學、構造與定年資料將紅河剪切帶重新檢視，顯示紅河剪切帶活動時間晚於其變質高峰期與岩漿入侵事件，比對前人的定年資料推測紅河剪切帶左移運動的時間約開始於 21 Ma 之後，晚於南中國海張裂的時間，故南中國海張裂的機制並非導因於紅河剪切帶的左移。

1.2 研究區域地質背景

紅河-哀牢山剪切帶為一西北-東南走向之剪切帶，由藏東經河內盆地至南中國海綿延一千多公里，為新生代印度板塊碰撞歐亞板塊所造成的主要走向滑移剪切帶之一(e.g. Leloup et al., 1995; Harrison et al., 1996; Nam et al., 1998)，寬約 10-20 公里，共分四個變質岩複合體(metamorphic complex；圖 1.6)，由北而南分別為雪龍

山(Xuelong Shan, XLS)、點蒼山(Diancang Shan, DCS)、哀牢山(Ailao Shan, ALS)、象背山(Day Nui Con Voi, DNCV)變質岩複合體。紅河-哀牢山剪切帶中大部分的變質岩複合體均明顯顯示出近乎平行於剪切帶走向(西北-南東方向)的葉理構造，並指示出為左旋剪切構造(Leloup et al., 1995)。本研究區域以紅河-哀牢山剪切帶南端的哀牢山及象背山變質帶作為研究對象。

哀牢山變質岩複合體(圖 1.7)位於中國雲南省，為一西北-東南走向之剪切帶，屬於紅河-哀牢山剪切帶中的變質帶，長約 470 公里，寬約 10-15 公里，自南澗經元江、紅河、元陽、至河口與越南象背山相鄰，是個狹長的剪切變質帶(Bureau of geology and mineral resources of Yunnan, 1983)。變質岩複合體主要由高度變質岩所組成，其中以糜嶺狀片麻岩(mylonitic gneisses)及角閃岩(amphibolite)為主，並包含少量的混成岩(migmatites)、雲母片岩(micaschists)、和大理岩(marbles)，以及偉晶岩(pegmatite)和淡色花崗岩(leucogranite)的小型侵入岩體(Leloup et al., 1995)。

象背山變質岩複合體(圖 1.8)位於越南西北部，為一西北-東南走向之剪切帶，屬於紅河-哀牢山剪切帶最南端的變質帶，長約 300 公里，寬約 10 公里，北自老街(Lao Cai)與哀牢山相鄰、南自越池(Viet Tri)末入紅河三角洲並被新第三紀-第四紀沉積物所覆蓋(Nam et

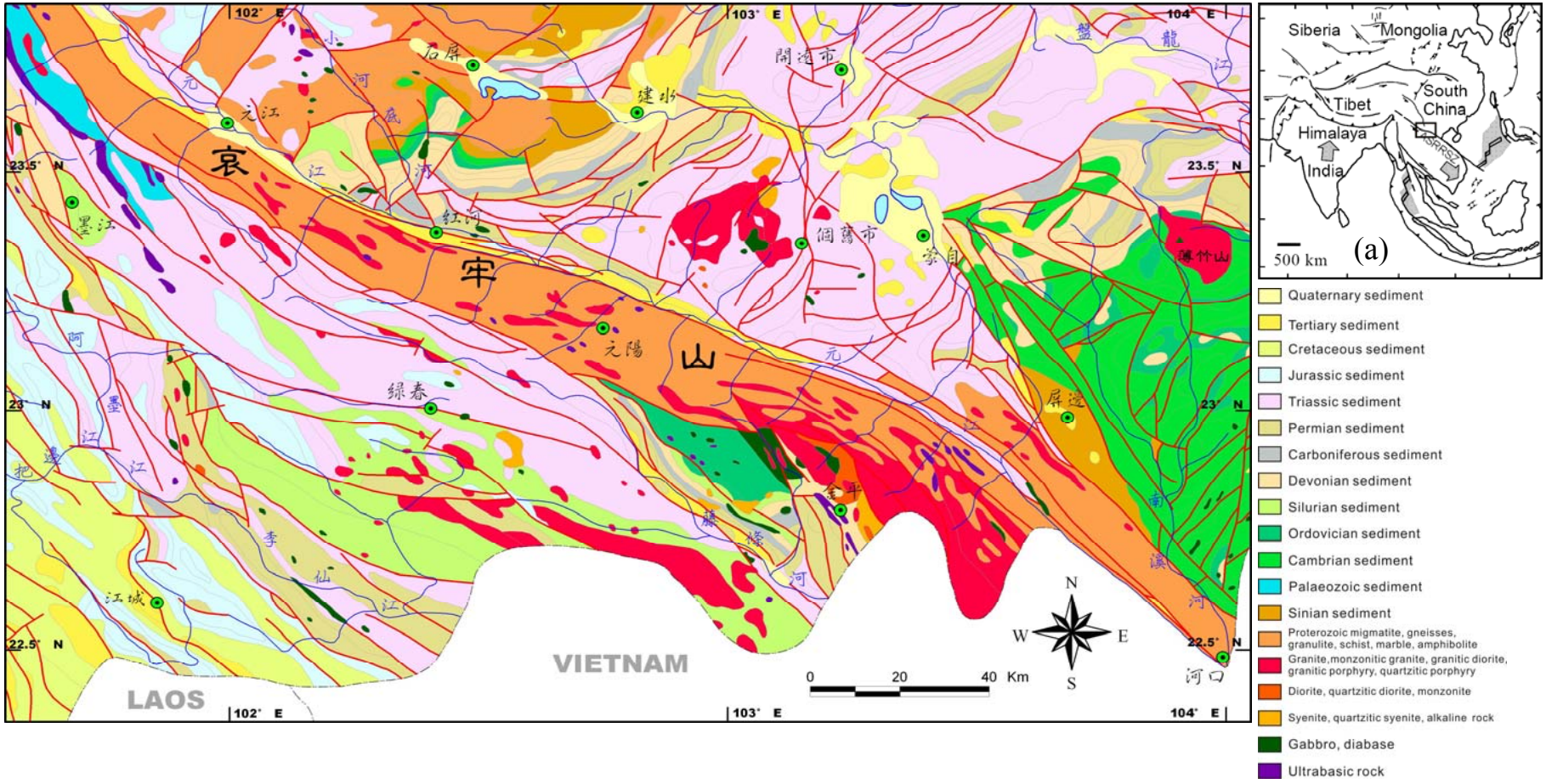

圖 1.7 雲南哀牢山變質帶區域地質圖。(a)東南亞大地構造架構圖(Wang et al., 1998)；(b) 雲南哀牢山變質帶區域地質圖(Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan, 1983)。

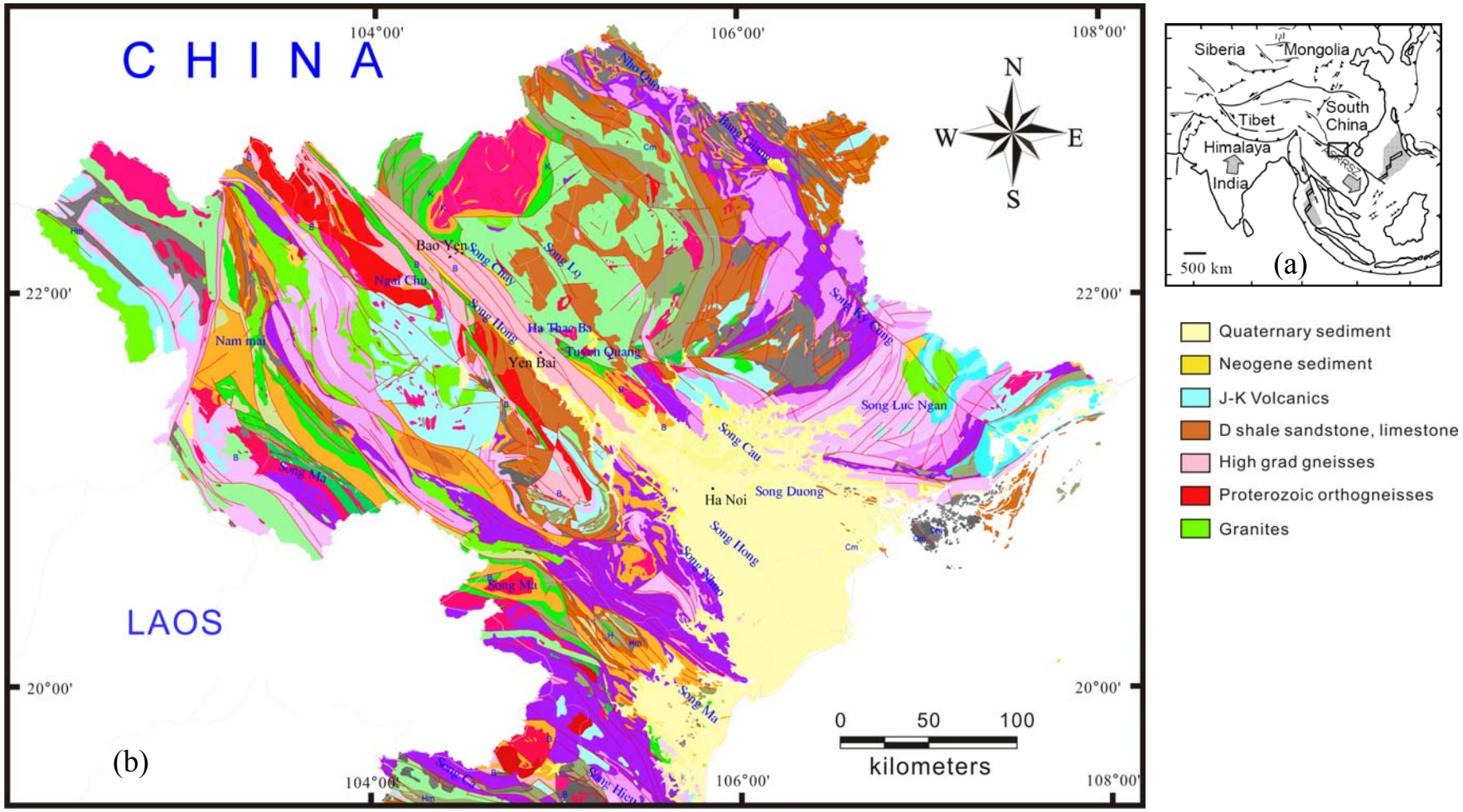

圖 1.8 越南北部地區地質圖。(a)東南亞大地構造架構圖(Wang et al., 1998)；(b)越南北部地區地質圖(General Geological Department of Vietnam, 1986)。

al., 1998)，剪切帶東北側以齋河斷層(Song Chay Fault)為界、西南側以紅河斷層(Song Hong Fault)為界，是個狹長的剪切變質帶(General Geological Department of Vietnam, 1986)。變質岩複合體主要包括了黑雲母-矽線石-石榴子石片麻岩、石榴子石-黑雲母片麻岩、雲母片岩、和混成岩，以及部分的糜嶺岩帶、角閃岩、和大理岩的透鏡體，並伴隨有因剪切帶活動而產生的淡色花崗岩和偉晶花崗岩等火成岩(Jolivet et al., 2001)。

1.3 研究動機與目的

由前人研究當中可知，在眾多學者的致力研究之下，已對東亞地體構造的演化發展出不同的地體運動模式，而有鑒於前人的研究當中，大多以區域地質普查、局部採樣定年、溫壓重建、程式模擬等方式研究為主(e.g. Leloup et al., 1995; Nam et al., 1998; Jolivet et al., 2001; Burchfiel, 2004; Searle, 2006)，缺乏區域應力的分析研究，故本研究嘗試在哀牢山變質岩複合體採集定向岩石標本做顯微構造分析，利用葉理交軸分析法，以推知本研究區域各變形期所受的主要應力方向的改變情形，探討紅河-哀牢山剪切帶區域應力方向之變遷歷史。

而在前人的定年研究當中，多以局部採樣定年探討紅河-哀牢山剪切帶之變形年代(e.g. Wang et al., 1998, 2000; Leloup et al., 2001;

Nam et al., 2003)，故本研究嘗試在橫跨象背山變質岩複合體走向上採集岩石樣本，利用 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 之雷射探針定年技術，針對變質帶上的片麻岩及角閃岩中的角閃石及黑雲母進行定年分析，以探討紅河-哀牢山剪切帶在象背山地區之橫向年代變化。