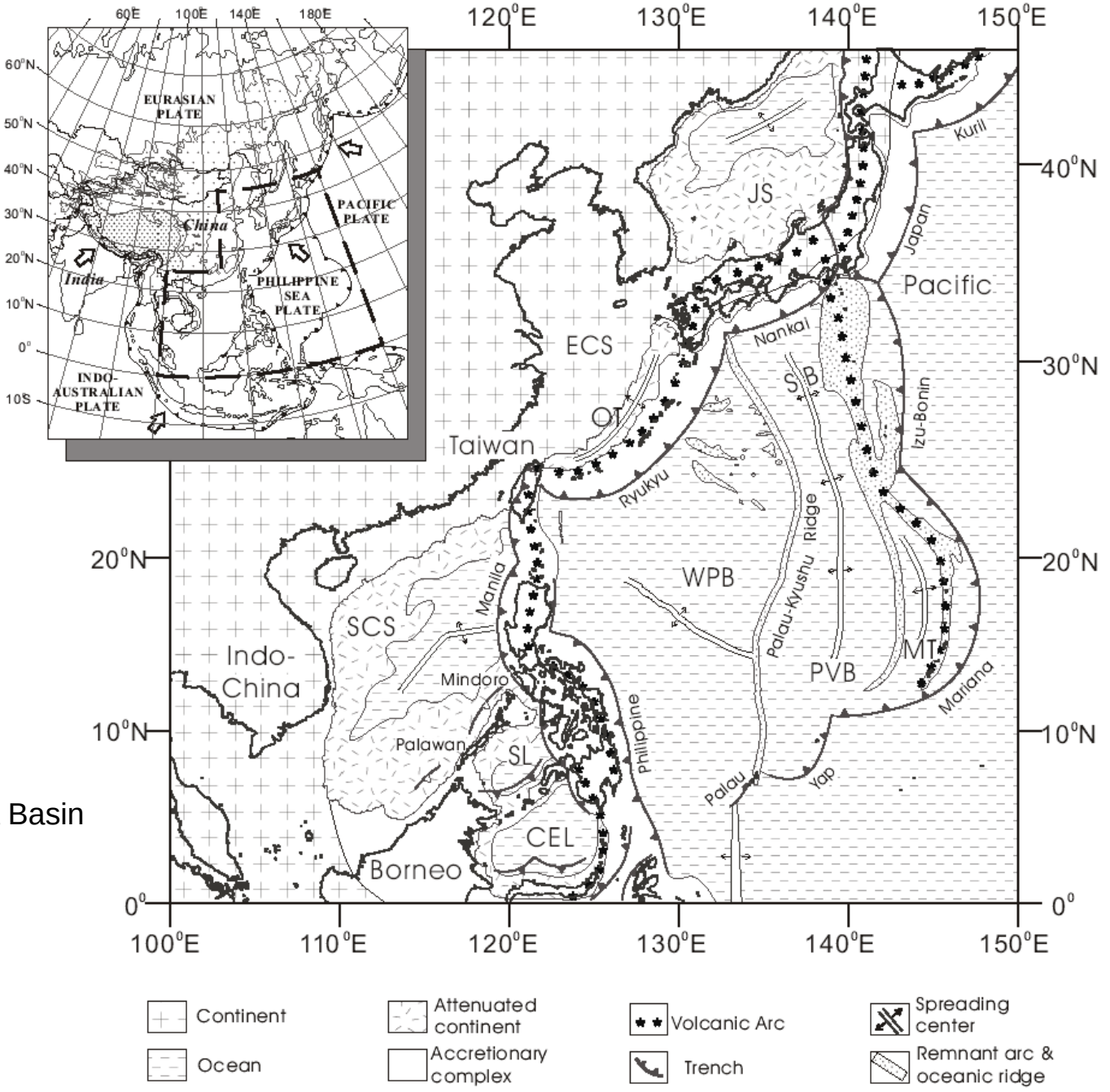
2. 台灣中生代至新生代地體構造演化

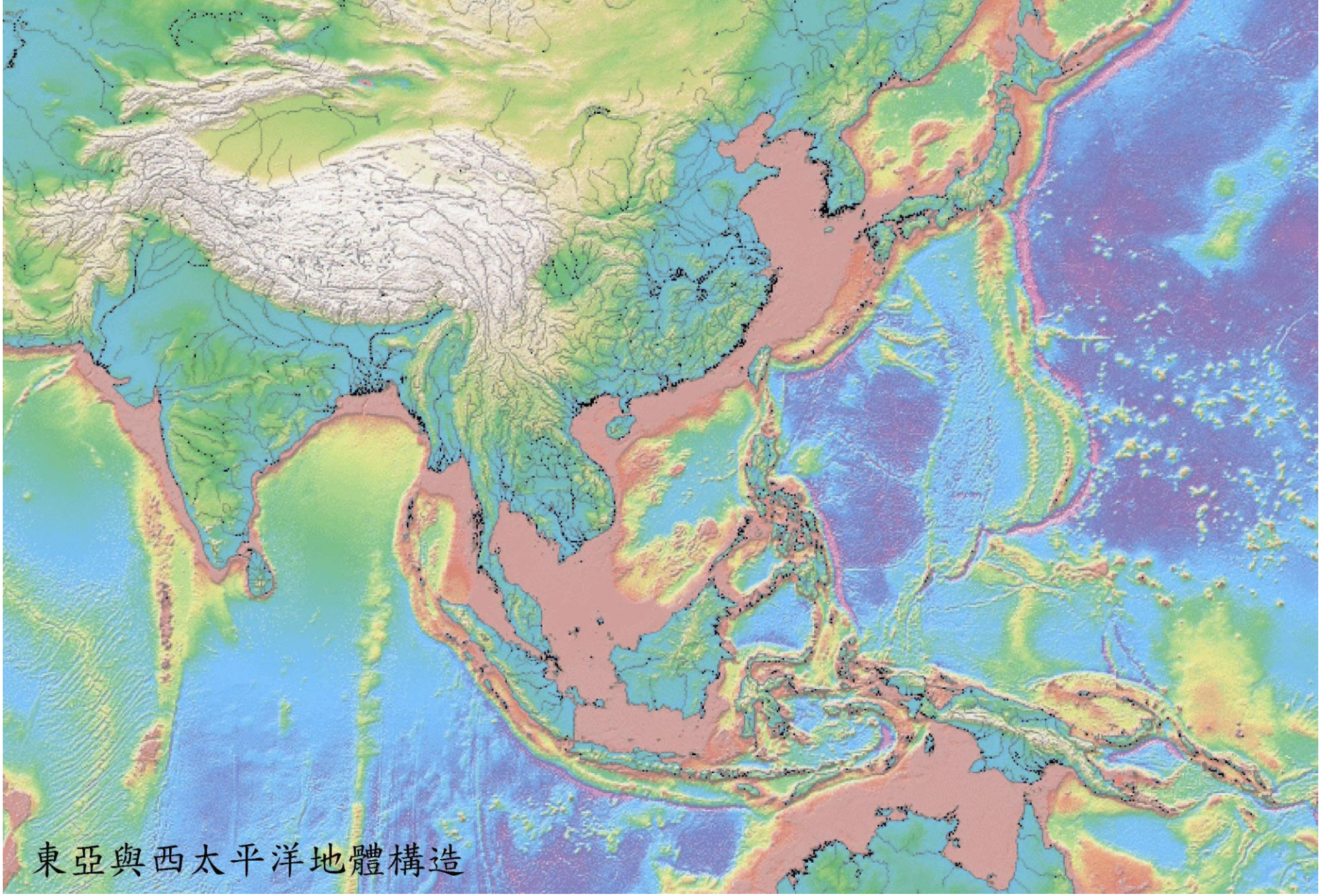
Reading:
鄧屬予(2002)台灣新生代大地構造。
In(黃奇瑜編) 台灣大地構造， 第49~93頁。

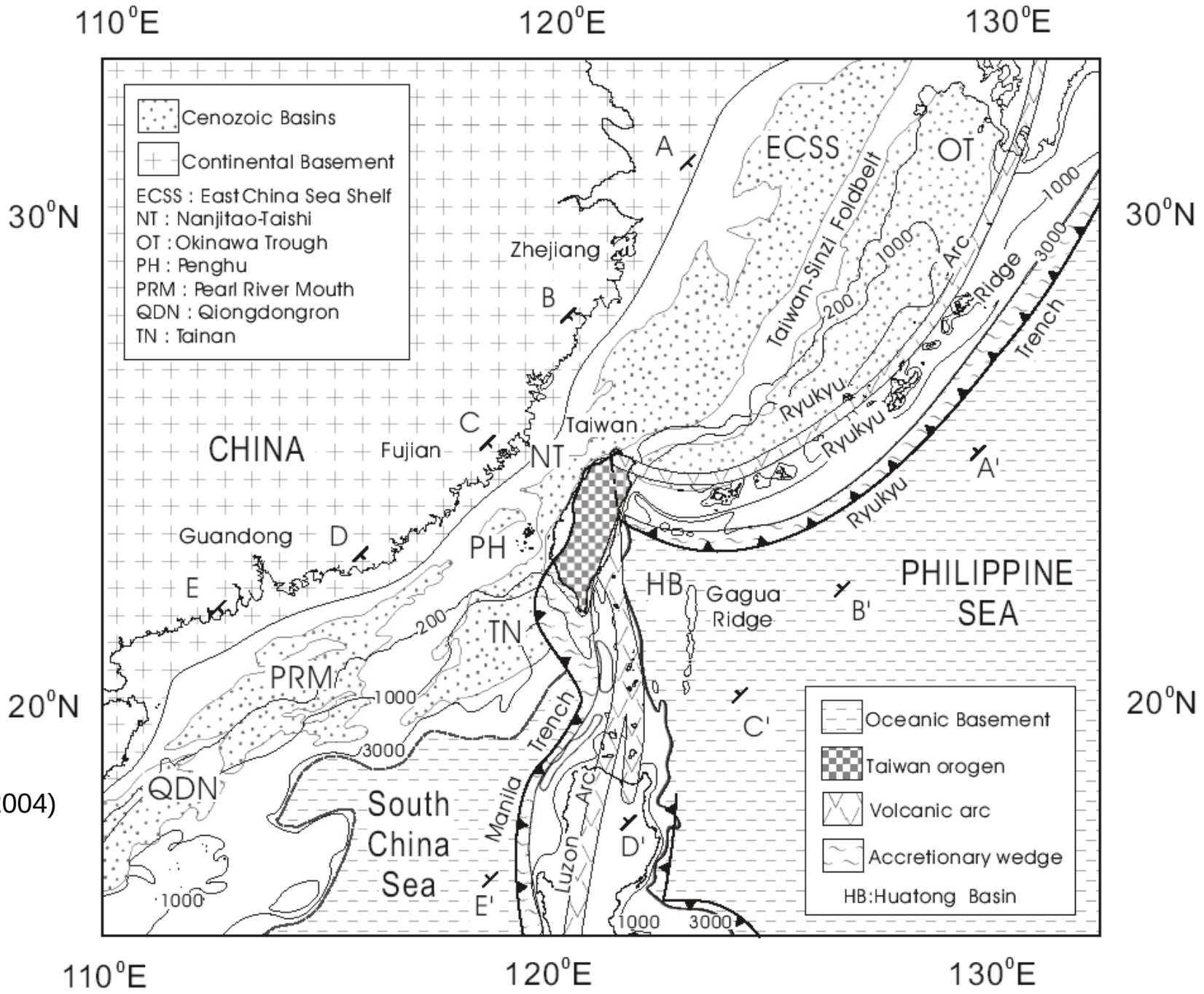
區域地體架構



Tectonic elements:
CEL: Celebes Sea
ECS: East China Sea
JS: Japan Sea
OT: Okinawa Trough
PVB: Parece Vela Basin
SB: Shikuko Basin
SCS: South China Sea
SL: Sulu Sea
WPB: West Philippine Sea Basin

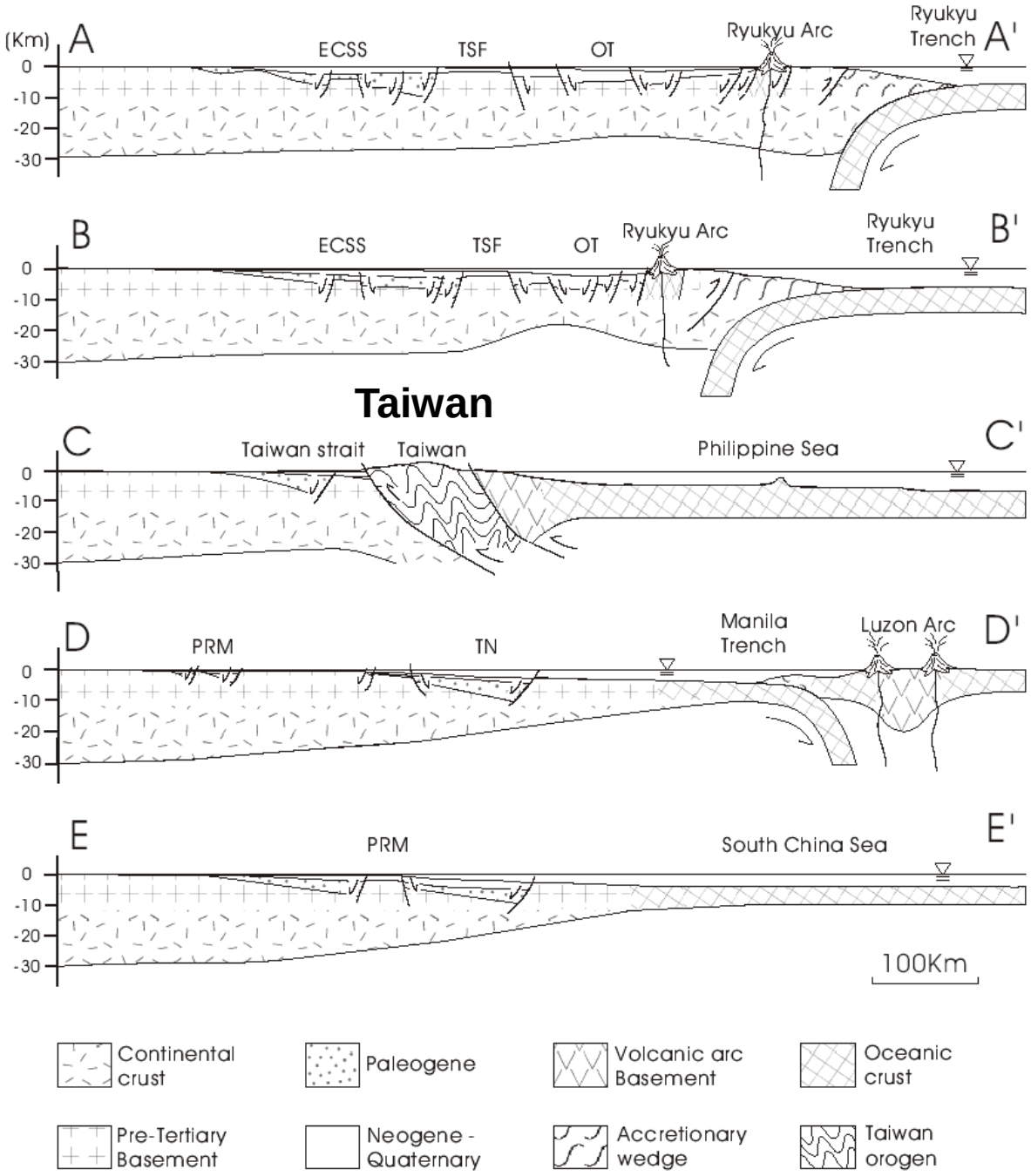
Teng & Lin (2004)


東亞與西太平洋地體構造



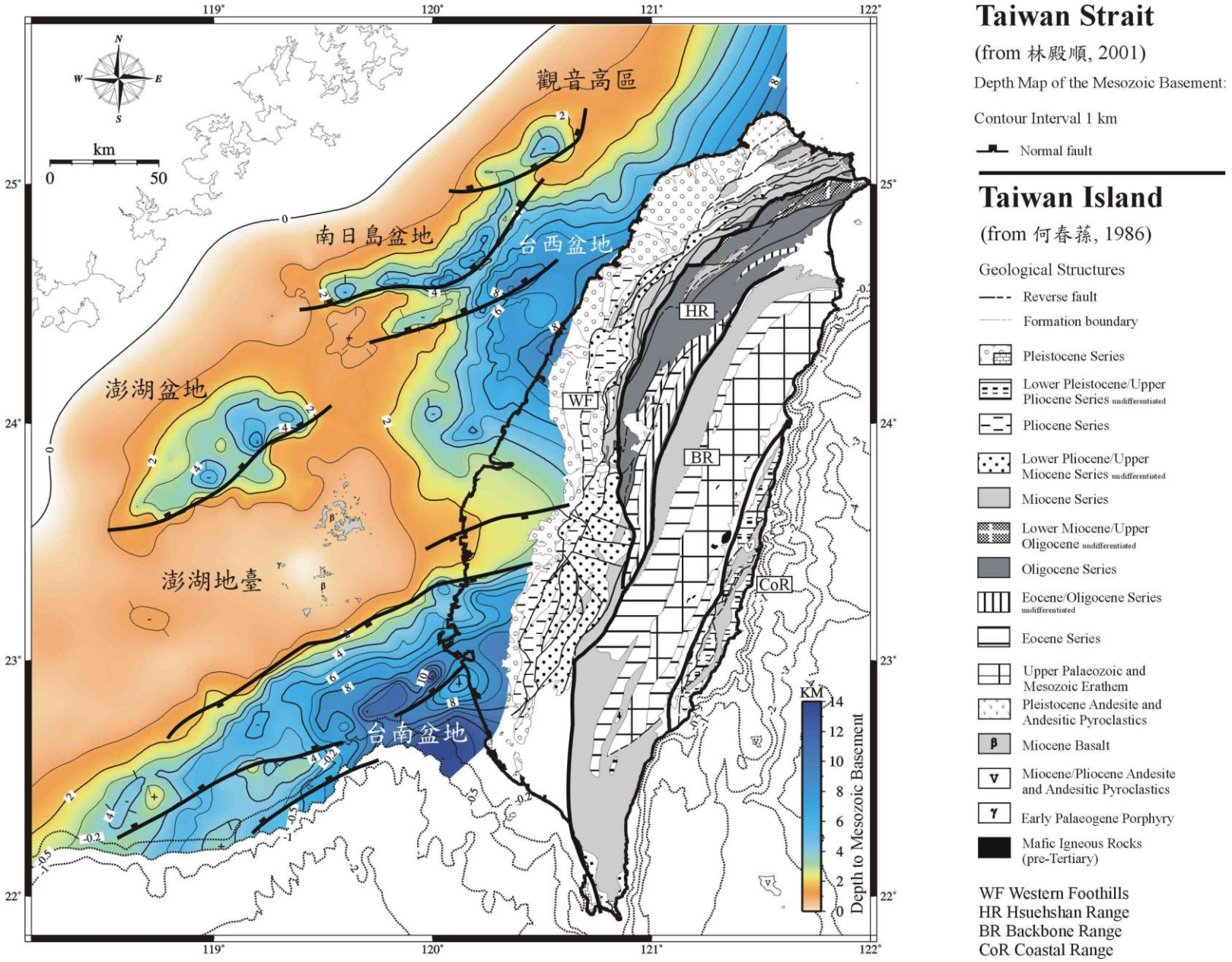
Teng & Lin (2004)

中國大陸邊緣地殼剖面

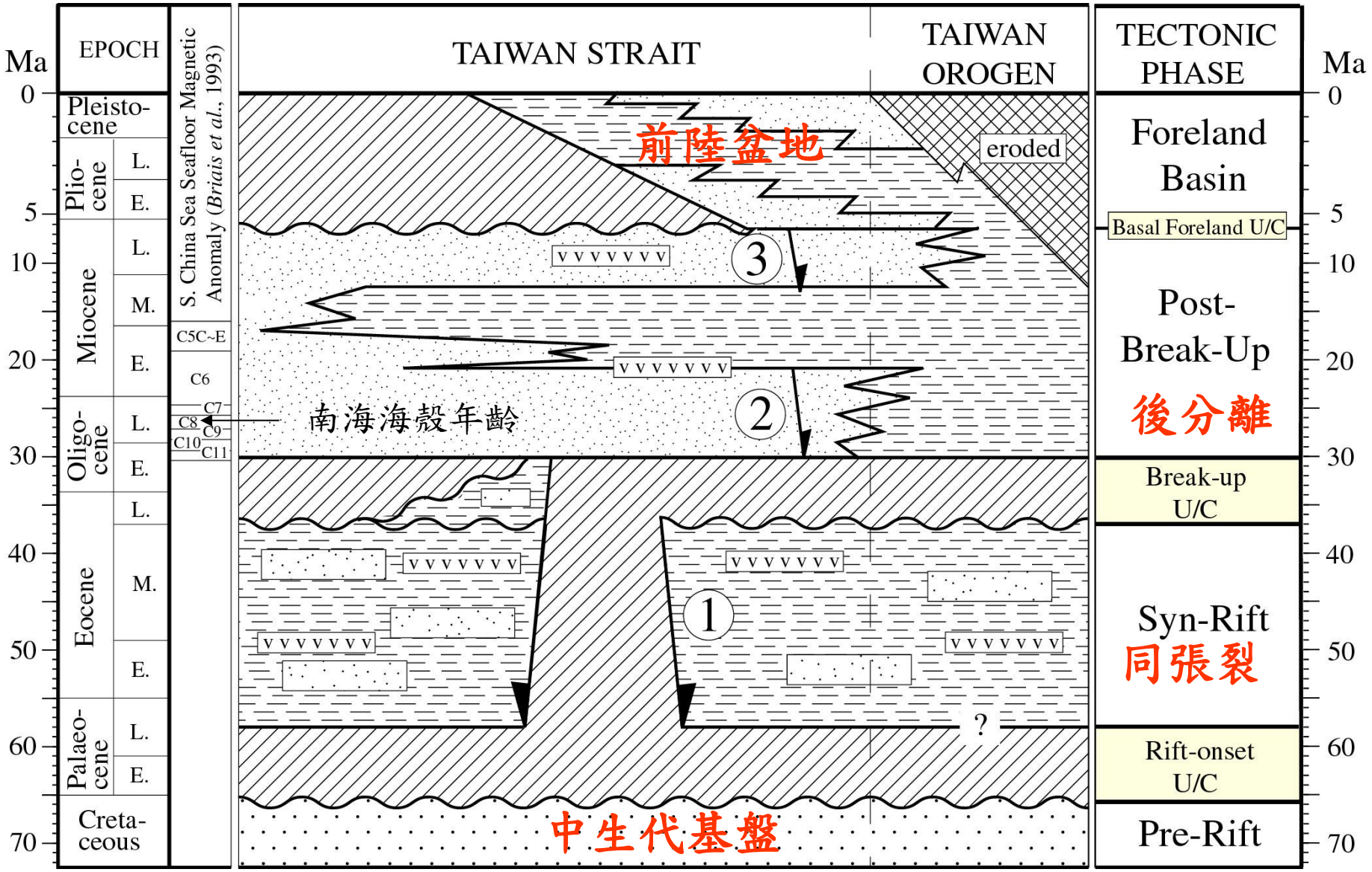


Teng & Lin (2004)

台灣海峽中生代基盤深度與台灣島地質



Cenozoic stratigraphy

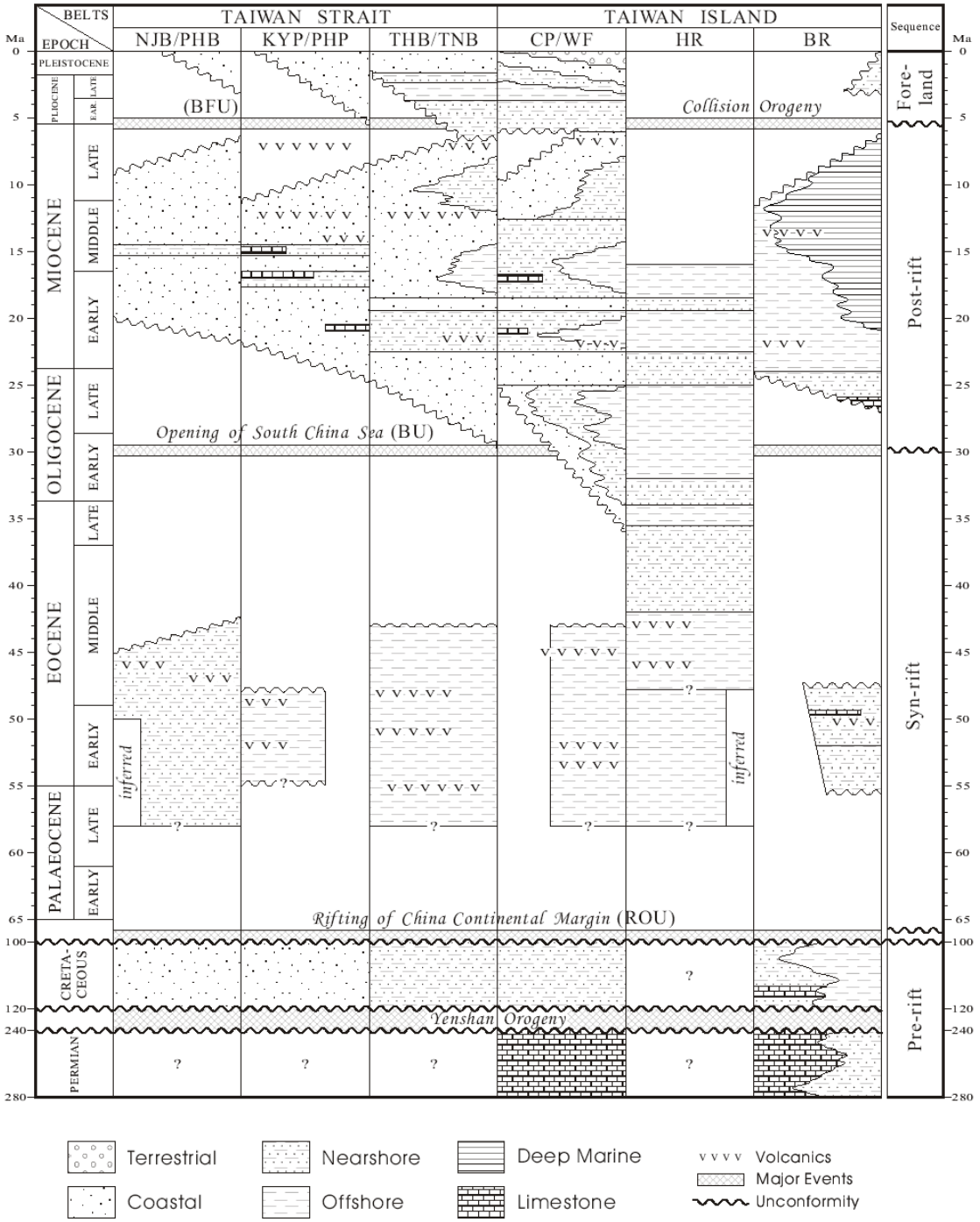


Lin & Watts (2002)

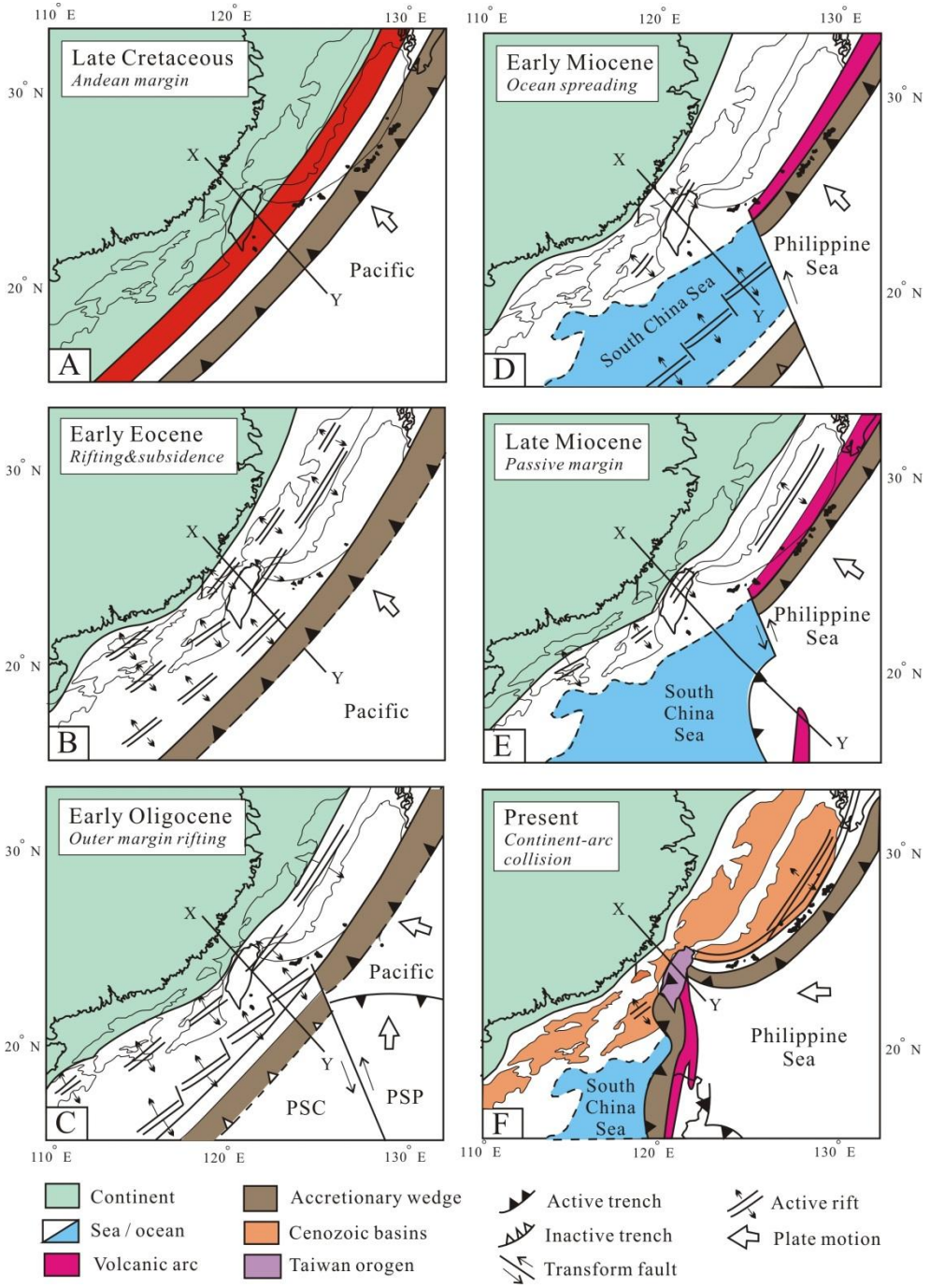
台灣各地體單元的地層

NJB/PHB: 南日島盆地、澎湖盆地
KYP/PHP: 觀音地台、澎湖地台
THB/TNB: 台西盆地、台南盆地
CP/WF: 海岸平原、西部麓山帶
HR: 雪山山脈
BR: 脊樑山脈

Teng & Lin (2004)



中生代—新生代
地體構造演變



Teng & Lin (2004)

中生代隱沒作用

大量花崗岩體：中國東南有大量的酸性深成岩(花崗岩)分布(Yanshanian granitoids；中侏羅紀-晚白堊紀(180-80 Ma)。

台灣地區的花崗岩(97-73 Ma, 王執明與藍晶瑩,1995；Jahn et al., 1986, Lan et al., 1990；1995)則已變質為正片麻岩，出露於中央山脈的太魯閣帶。這些花崗岩體有由西(180-160 Ma)往東(140-80 Ma)變年輕的趨勢。

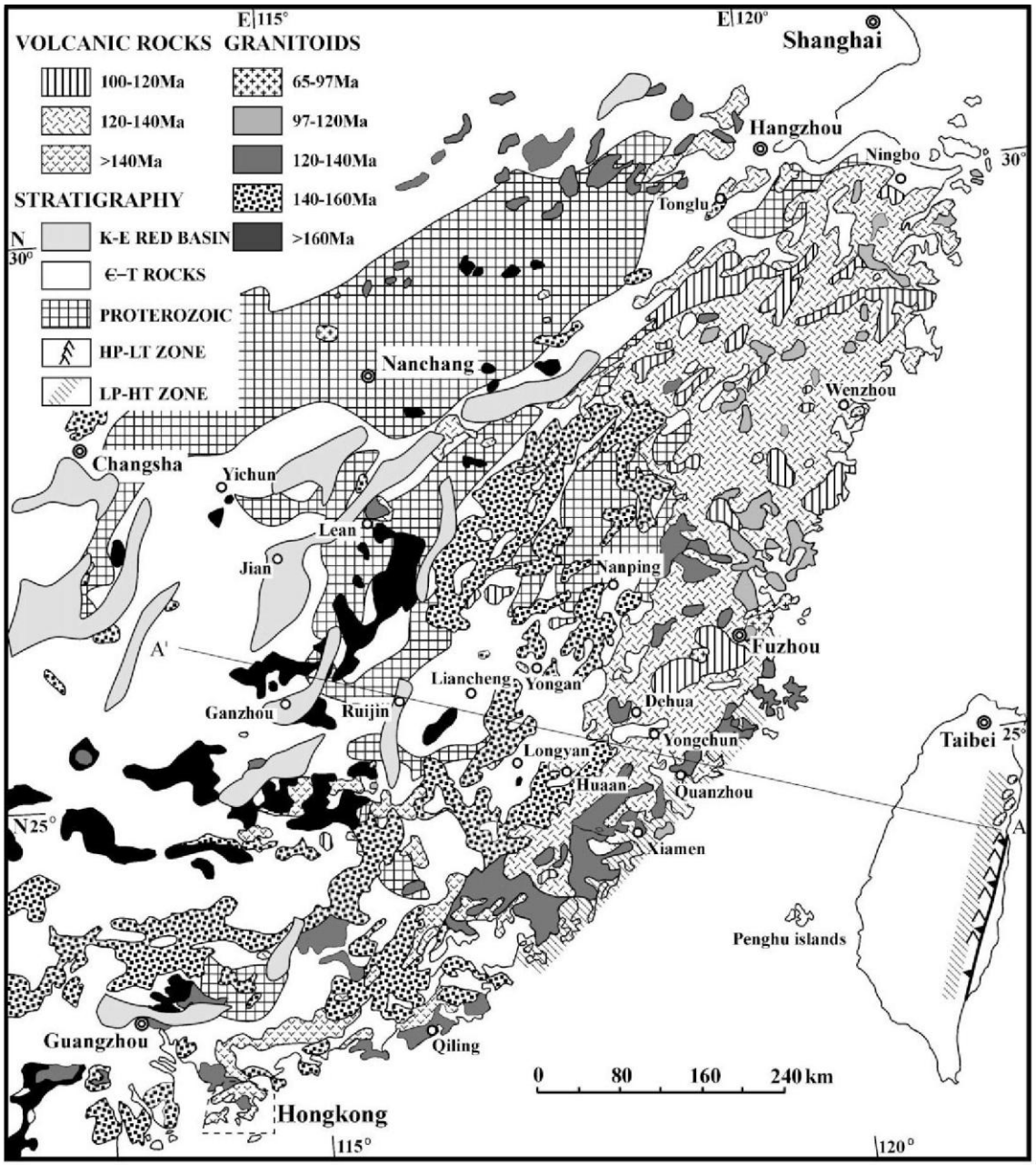


Fig. 1. Distribution of Late Mesozoic igneous rocks in SE China (compiled after 1:200 000 geological map series for four provinces and isotopic dating data selected from publications over the last 20 years).

X.M. Zhou, W.X. Li / Tectonophysics 326 (2000) 269±287

歐亞板塊東緣有**成雙變質帶**分布(包括台灣)。

玉 里帶：高壓、低溫(trench type)、含蛇綠岩系(ophiolite complex)，變質年代110-100 Ma (Lo and Yui, 1996)；

太魯閣帶：高溫、低壓，變質年代118-107 Ma (Wang and Lu, 1997, Sci. China (Series D))。

陸相斷陷盆地(中國東南，晚侏羅紀-始新世，大都形成於晚白堊紀)。

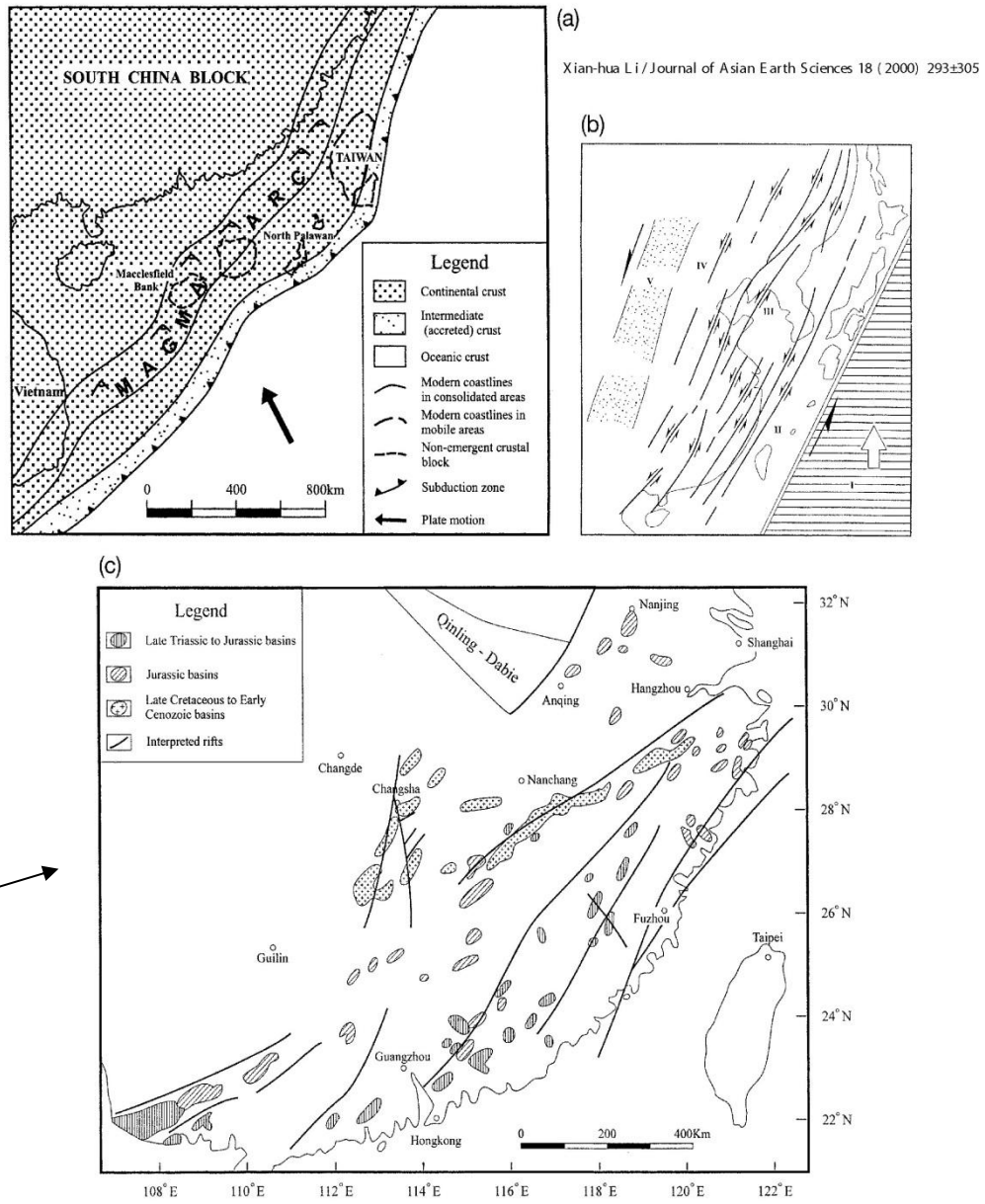
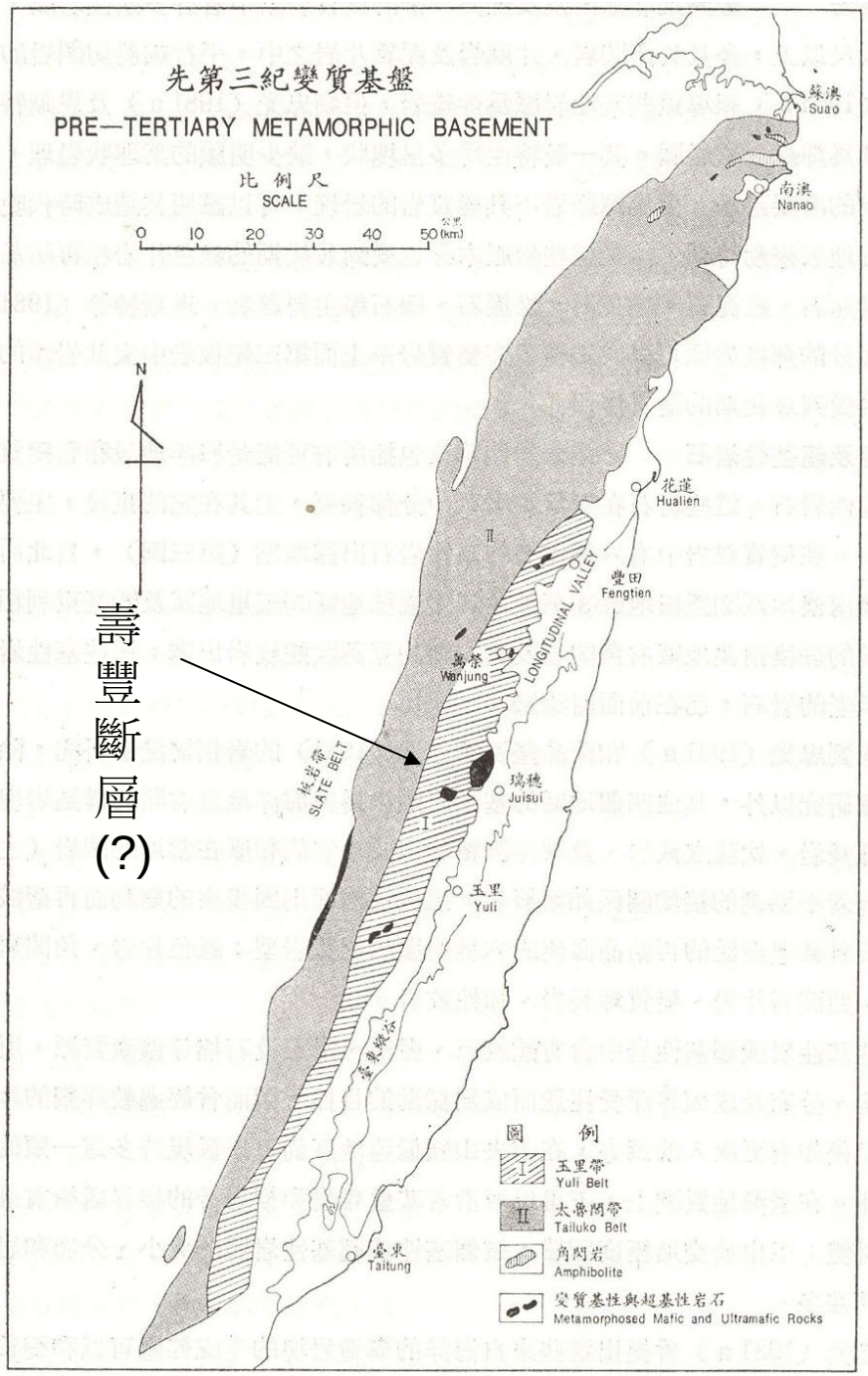


Fig. 4. (a) The Andean-type continental margin model for SE China showing a magmatic arc trending southwestward o shore from the coast areas, through the Reed Bank and the Macclesfield Bank, to southern Vietnam (Holloway, 1982). (b) Sketch showing the Mesozoic sinistral shear system in eastern China (Xu et al., 1987). I: oceanic crust (Kula Plate) moving northward; II: shear rim zone; III: Tan-Lu transcurrent fault system in inner zone; IV: uplift zone in continent; V: donewarping zone in continent. (c) Mesozoic basins and the interpreted rifts in SE China (modified after Gilder et al., 1991, 1996).



壽豐斷層(?)

先第三紀變質雜岩 (先第三紀變質基盤或大南澳片岩,何春蓀,1986)

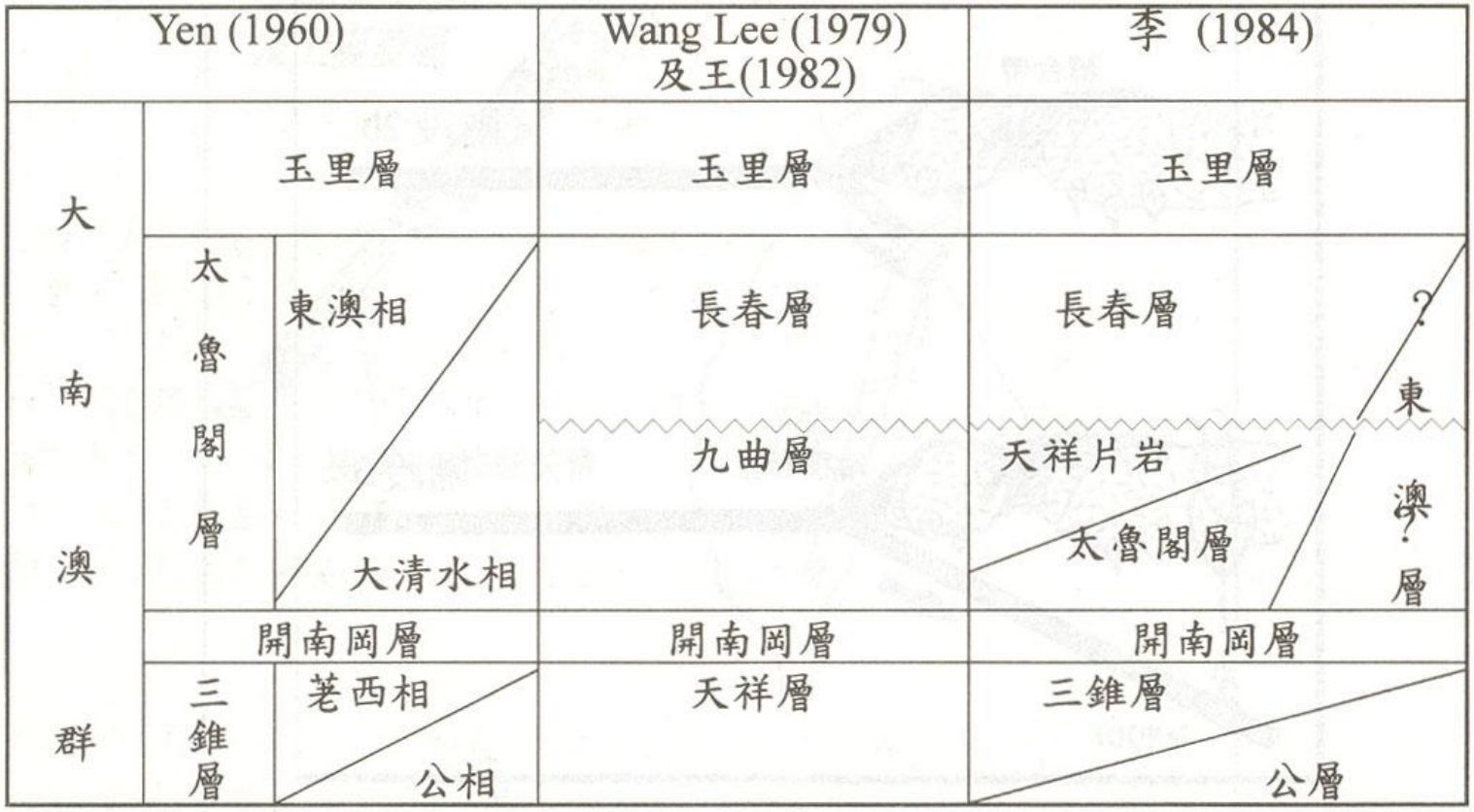
太魯閣帶: 黑色片岩、綠色片岩、矽質片岩(包括變質燧石)、大理岩、混成岩、片麻岩、角閃岩

壽豐斷層?(Yen, 1963)

玉里帶
黑色片岩、綠色片岩、、變質基性洋底(蛇綠岩系)等

年代:二疊紀蜓科(fusilina)與珊瑚化石 in marbles (Yen et al., 1951; Yen, 1953)以及中生代溝鞭藻化石 in black schists (late Jurassic ~ early Cretaceous, 陳政恆, 1989)

中生代成雙變質帶(Yen, 1963)
太魯閣帶(高溫低壓,古岩漿弧, Biq, 1971):高溫花岡岩質岩漿侵入
玉里帶(高壓低溫,海溝, Biq, 1971):高壓藍閃石片岩

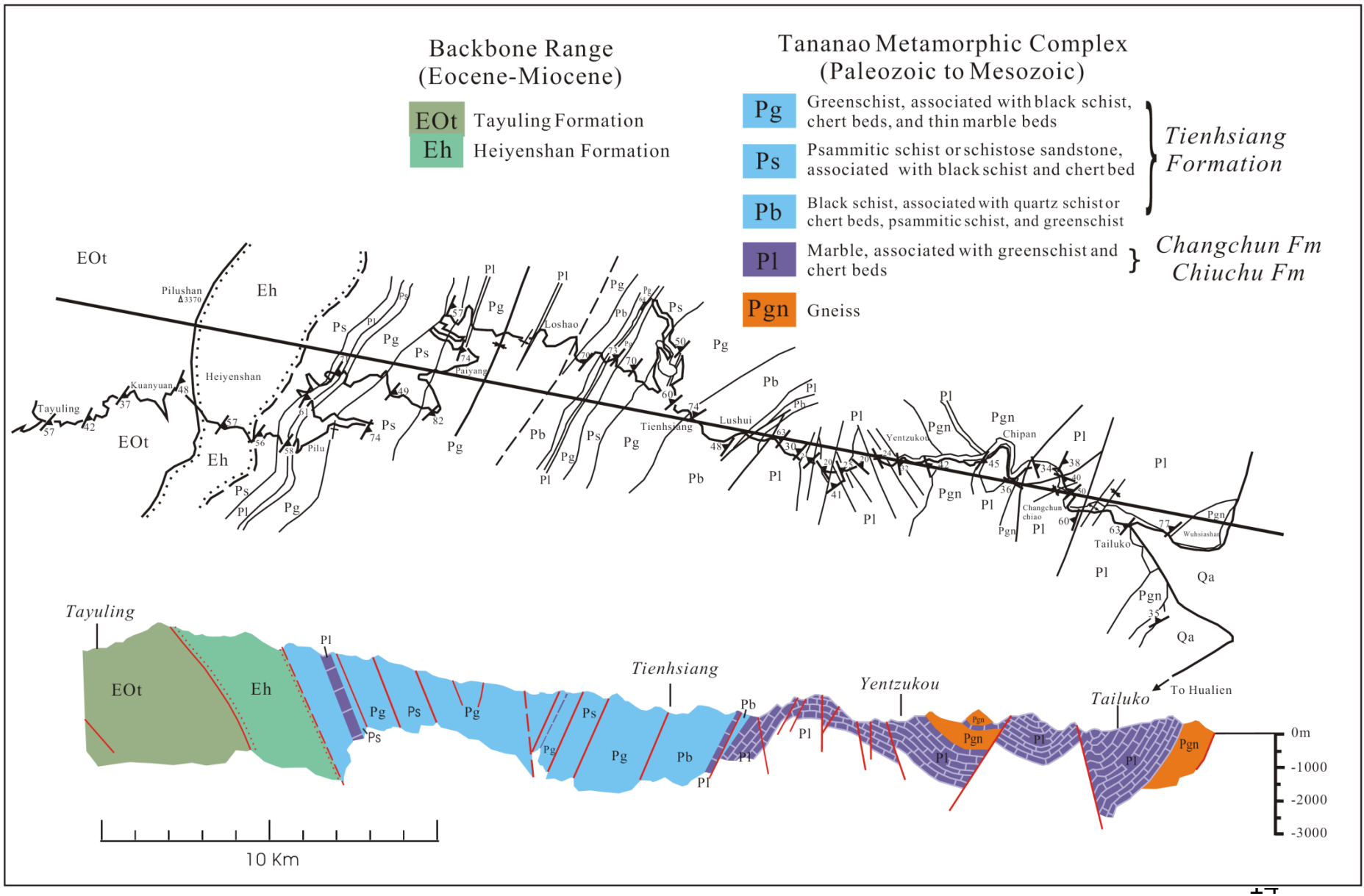


大南澳片岩地層對比表(李春生,1984)

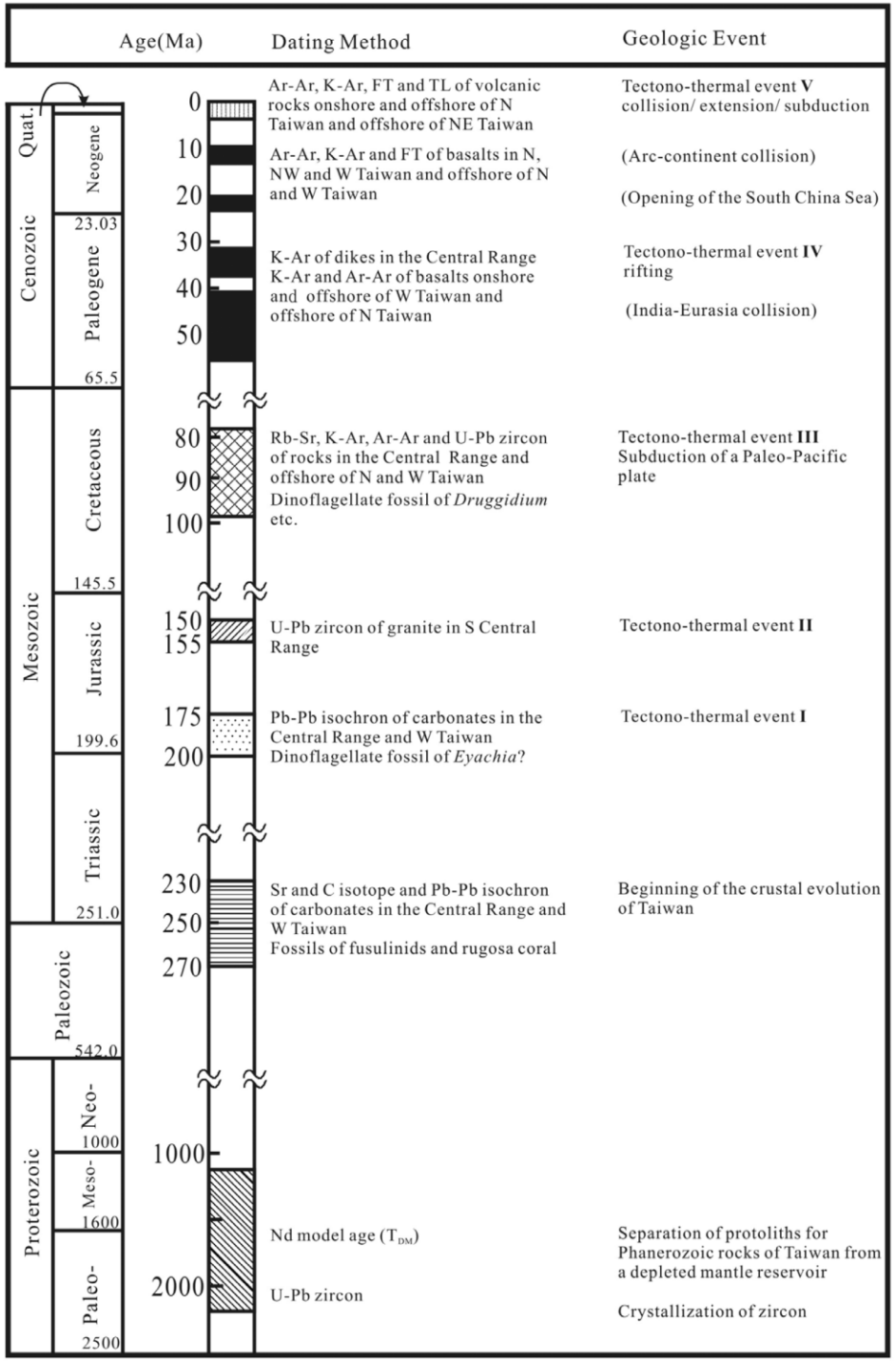
大南澳片岩 (王執明，1982)

玉里層:石英雲母片岩、雲母片岩、綠色片岩、蛇紋岩
長春層:綠色片岩、大理岩、石英岩(變質燧石)、角閃岩
/\/\/\ 硬綠泥石岩（chloritoid rock，由古生代土壤（高鋁紅土）變質而成/\/\/\
九曲層:大理岩
開南岡層: 混成岩、片麻岩
天祥層:石英雲母片岩、千枚岩、變質砂岩

中橫東段路線地質圖

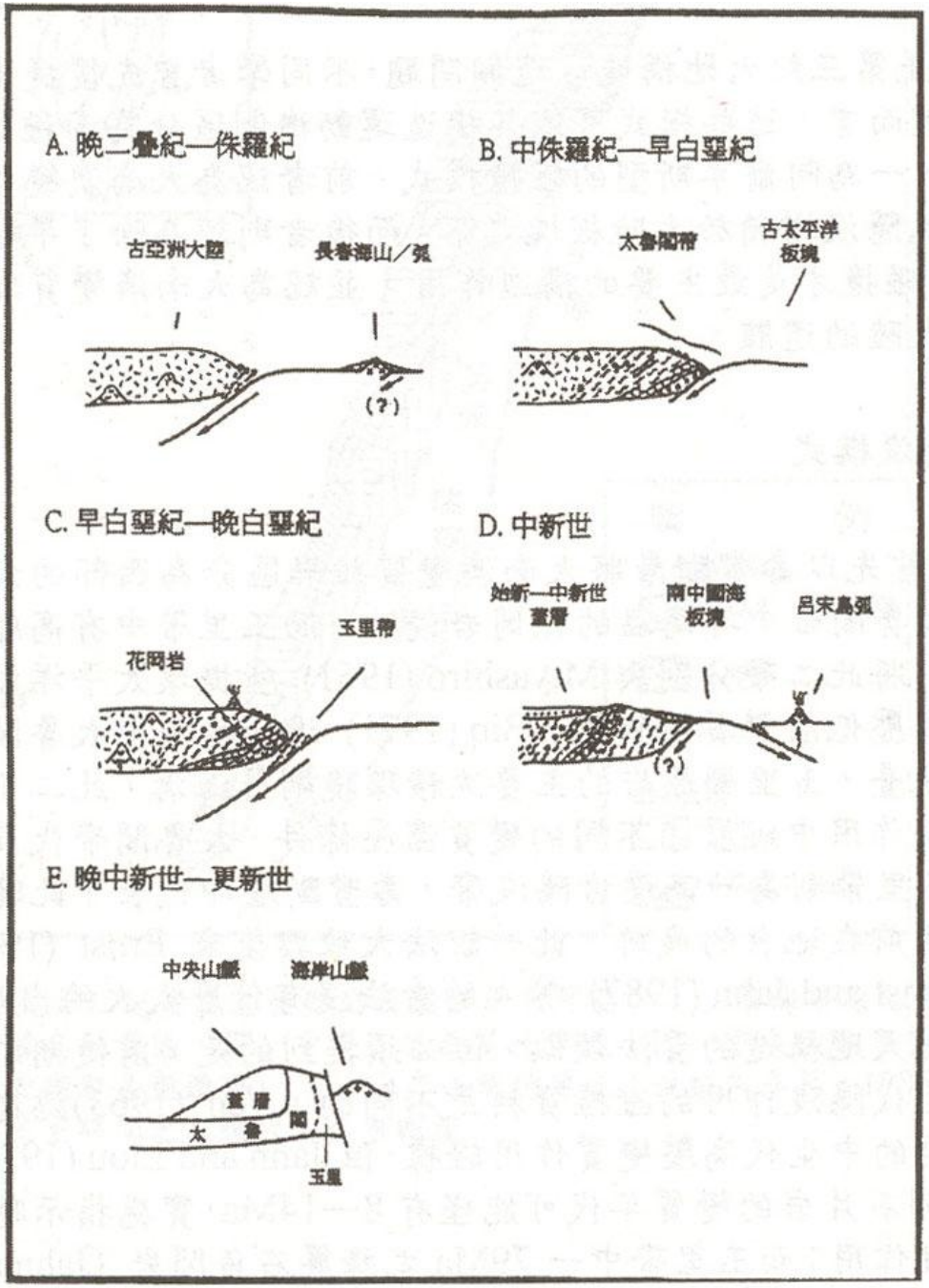


Chan et al. (2001)



大南澳片岩及台灣地區的主要變質事件

(Lan et al,2008)



Scenario 1: Andean-type Subduction

(A) Late Permian ~ early Jurassic

古海洋板塊向西隱沒至歐亞板塊之下，在隱沒海溝之東，有長春海山(弧)隨著海洋板塊向西移動。

(B) Mid-Jurassic ~ early Cretaceous

隱沒作用於大陸邊緣造成火成活動，長春海山(弧)並隱沒附加於海溝沉積物。此期(即為長春運動)形成的隱沒增積雜岩，即為現今太魯閣帶的主體。

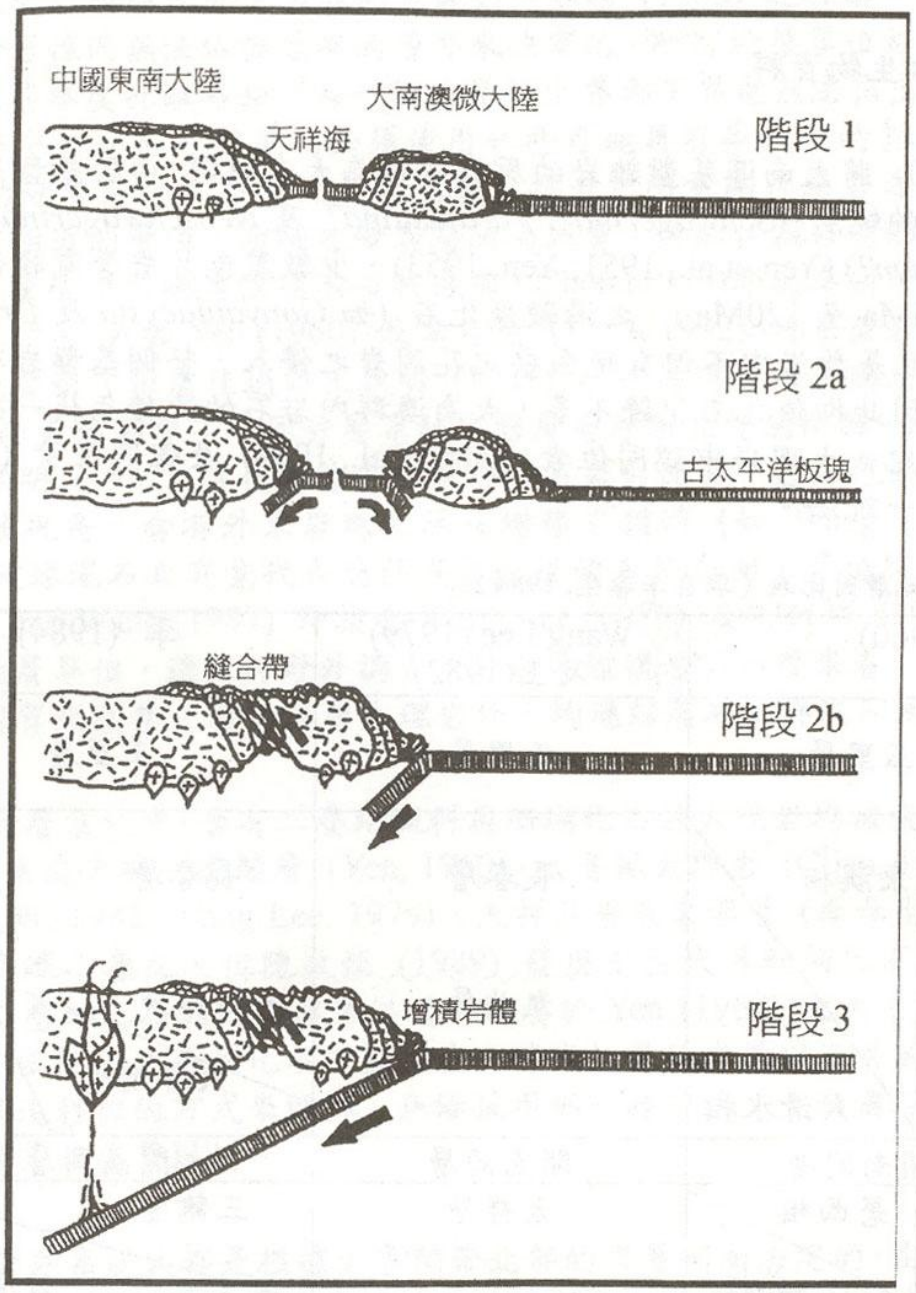
(C) Early Cretaceous ~ late Cretaceous

海洋板塊持續向西隱沒於太魯閣帶，產生火成活動。此期(即為南澳運動)形成之隱沒增積雜岩，即為現今之玉里帶。

(Yui et al., 1998)

大南澳片岩的源岩沉積年代、岩石變質年代、變質特性及對應之構造運動(Yui et al., 1998)

地區	原岩基質 主要沈積年代	構造運動 變質年代（變質特性）		
太魯閣帶以西古亞洲大陸邊緣	≧早侏羅紀 （＞180Ma）	(長春運動) ≧153Ma （高溫）	（南澳運動） ？	（蓬萊運動） ？
太魯閣帶	中侏羅紀－ 早白堊紀 （180－120Ma）	~175Ma （高壓？）	≧95－85Ma （高溫）	~10Ma→＜5Ma （高壓？）（中壓）
玉里帶	早白堊紀－ 晚白堊紀 （120－90Ma）		~110Ma -100Ma （高壓）	~10Ma→＜5Ma （高壓）　（中壓）



Scenario 2: Alpine-type Collision

(A) Early Jurassic

大南澳微大陸(現在的開南岡片麻岩及其上覆的大理岩)與邊緣海(天祥海)形成。

(B) Late Jurassic ~ early Cretaceous

天祥海開始隱沒，使得大南澳微大陸向西飄移，最終造成微大陸與中國大陸東南之碰撞。

(C) Late Cretaceous

形成向西的隱沒帶，造成福建沿岸之火成岩。

(Wang Lee & Wang, 1987)

中生代至現代東亞/西太平洋主要地體構造運動

1. 印支陸塊(中南半島Indochina block)與南中國陸塊(South China block)沿紅河一帶碰撞(Indosinian orogeny):Triassic (~220 Ma)。
2. 中生代：Kula 板塊往西北、斜向隱沒至歐亞板塊東緣(Xu , 1989, Osozawa, 1998, AGU Geodynamics Series, 27, 245-258；斜向隱沒造成歐亞板塊東緣產生一系列大規模的左移斷層e.g.,郯廬斷層、長樂、南澳斷裂帶)。
3. 古第三紀：Kula 板塊停止隱沒，(至少)台灣附近地區成為受張裂活動影響的大陸邊緣。
4. 印度與歐亞板塊碰撞(India-Eurasia collision): since 55-50 Ma (early Eocene)。
5. 東亞大陸邊緣張裂，形成一系列的張裂盆地：Paleogene (古第三紀c. 60-30 Ma)。
6. 西菲律賓海(West Philippine Sea Basin)擴張(62-40 Ma)，Celebes Sea 於始新世時擴張。
7. 太平洋板塊移動方向改變：c.40 Ma以前往北；c. 40 Ma以後往西(cf. Hawaii-Emperor seamount chain 的轉折)；42Ma時，印度—歐亞hard collision。

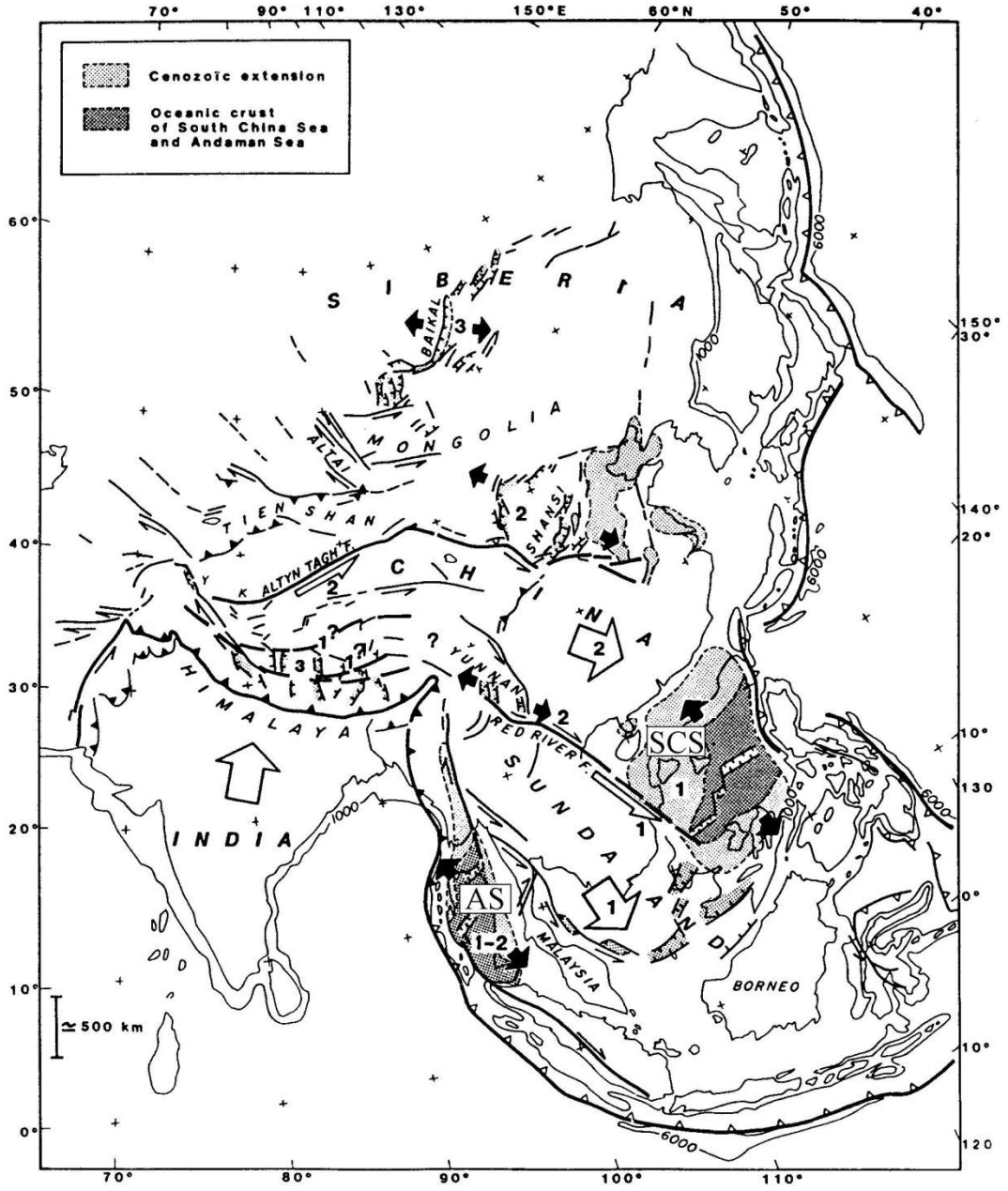
8. 菲律賓板塊順時針旋轉：自45Ma以來順時針轉了約90°
9. 漸新世—中新世：台灣附近地區為被動大陸邊緣，但(1)於歐亞板塊東緣產生一系列邊緣盆地：日本海(30-16 Ma)、南中國海 (30-16 Ma)、Sulu Sea Basin；(2)太平洋板塊往西隱沒至西菲律賓海盆下，形成弧後盆地:Parece Vela Basin(30-17 Ma), Shikoku Basin (25-12 Ma)。
10. 澳洲板塊與歐亞板塊碰撞(since ~20 Ma)：造成Sunda Platform(e.g., Borneo)逆時針旋轉(20-10 Ma, Fuller et al., 1991, J. SE Asia Earth Sciences, 6, 161-184)。
11. 中中新世(~15 Ma)：南海南部微陸塊(Reed Bank(禮樂灘)、North Palawan block、Dangerous Grounds) 沿著Palawan Trench(已不活動, died)，與島弧碰撞，南海停止張裂。
12. 晚中新世：台灣弧陸碰撞。
13. 晚中新世—現代：(1)邊緣海擴張：Okinawa Trough (late Miocene-Quaternary)、Andaman Sea (late Miocene-Quaternary)。(2)西太平洋隱沒帶往東退縮(eastward rollback)，造成往東年輕的弧後盆地：Mariana Trough (6-0 Ma).

印度-歐亞板塊碰撞

碰撞帶周圍的板塊水平運動可用”extrusion tectonics”模式解釋(Tapponnier et al., 1982)

Stage 1.

向北移動的印度地塊於55-50Ma開始與歐亞板塊碰撞，持續的碰撞迫使中南半島(Indochina)地塊於34~22 Ma時，沿著哀牢山—紅河斷裂帶(ASRR, Ailao Shan – Red River；本帶部分地區也是早中生代的中南半島、南中國兩陸塊的縫合帶)產生左移滑動約500公里。同時，中南半島向東脫逸時，還沿著順時針方向轉了25°。斷裂帶的左移錯動與地塊旋轉，使得大陸地殼被拉張變薄，終於產生南中國海海洋地殼(30-16 Ma)。{Note: ASRR約在 5 Ma時變成右移斷層，但位移量小。}



Tapponnier et al. (1982)

Stage 2.

印度地塊持續往北擠入歐亞板塊，ASRR停止活動，造成南中國海停止擴張。此時，西藏高原北緣一帶的阿爾金(Altyn Tang)斷裂帶，成為下一次的主要的左移斷層帶(20-0 Ma)，中國東南部與西藏陸塊便被迫沿著本斷裂帶向東脫逸數百公里。

Stage 3.

最近和未來：阿爾金斷裂帶持續往東延伸，並連接甘肅-渭河斷層，使得陝西、中國北部與渤海灣的地殼持續拉張，最終並可能拉出”東中國海洋地殼”。

Note: 脫逸地體構造(extrusion tectonics)：板塊間的水平擠壓，造成某一板塊分成數個地塊沿著走向滑移斷層滑移，造成地塊往未被束縛的空間脫逸。

Tapponnier et al. (1982)

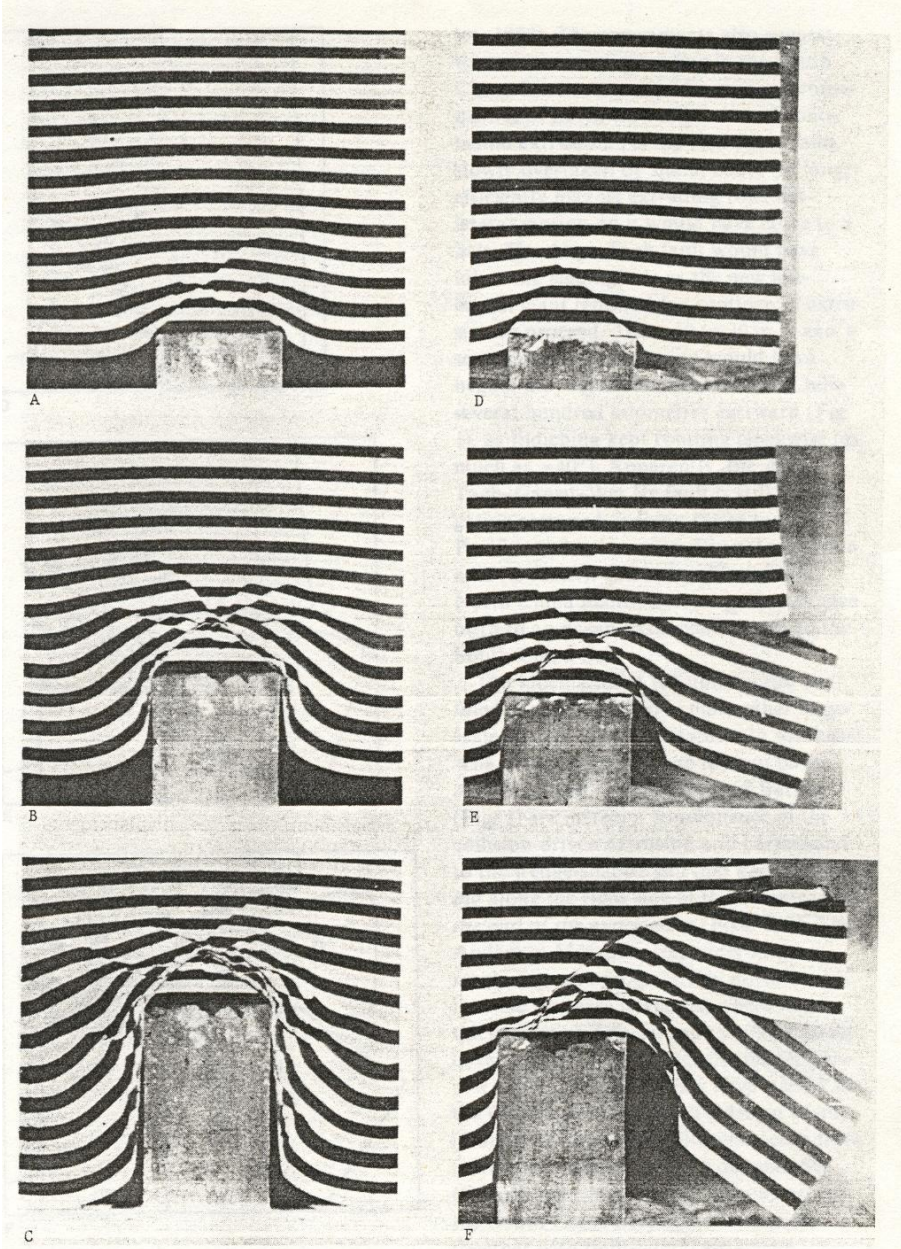
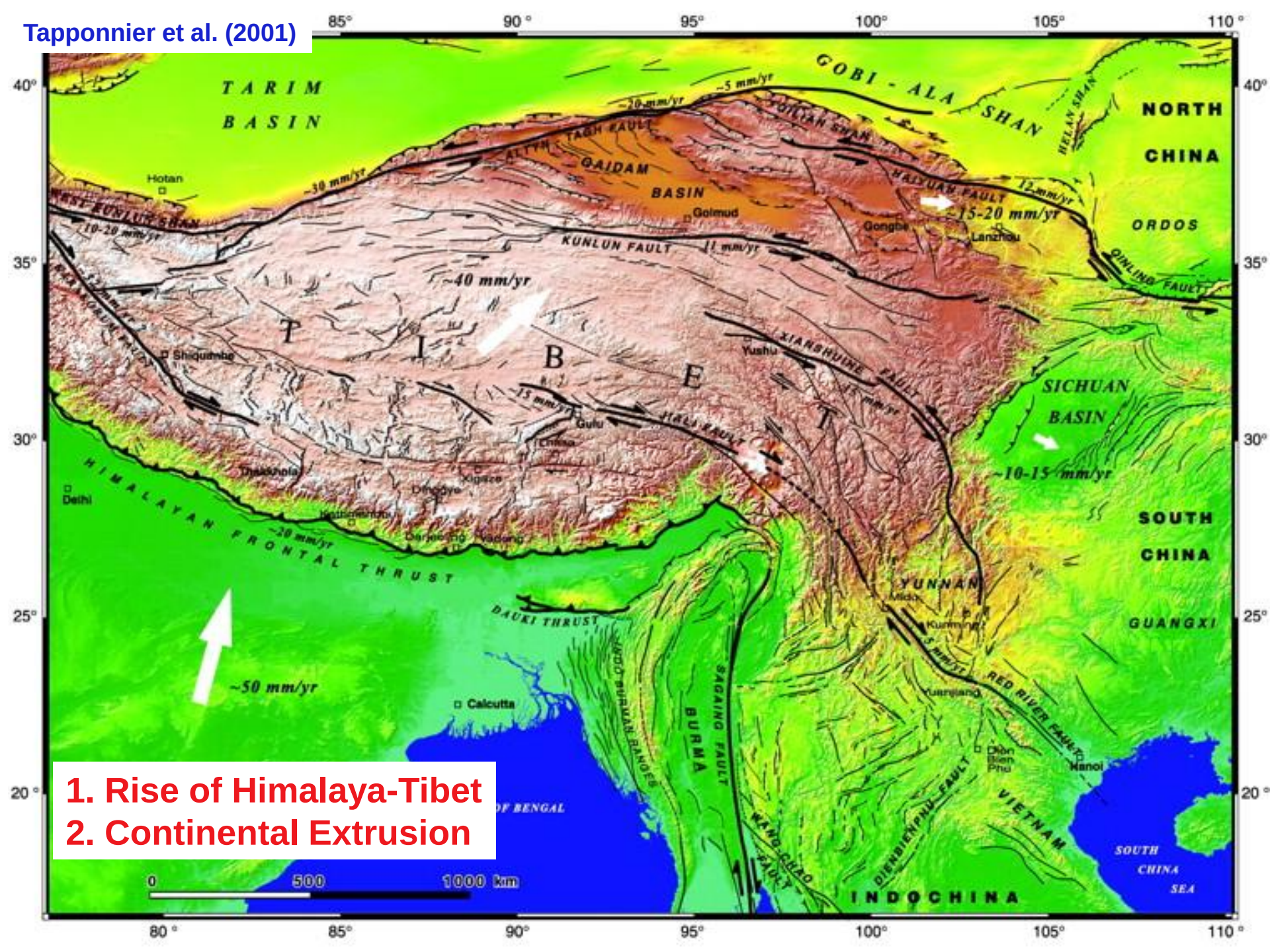


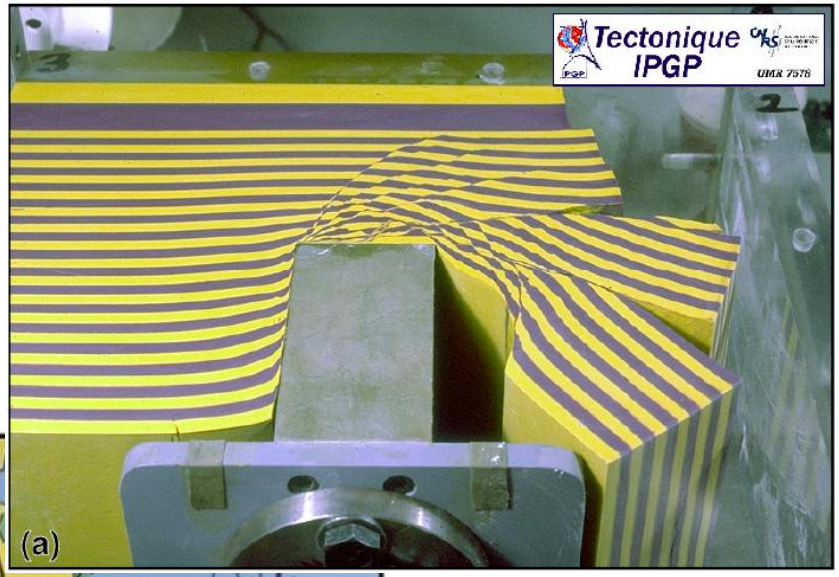
Figure 2. Three successive stages of two indentation experiments on plasticine. A, B, C: bilaterally confined; D, E, F: unilaterally confined (free side on right). Indenter displacements for A and D = 1.2 cm; for B and E = 3.5 cm; for C and F = 6.3 cm. Note narrow shear zones or faults, and open gaps on right side in E and F (after Peltzer and others, 1982).

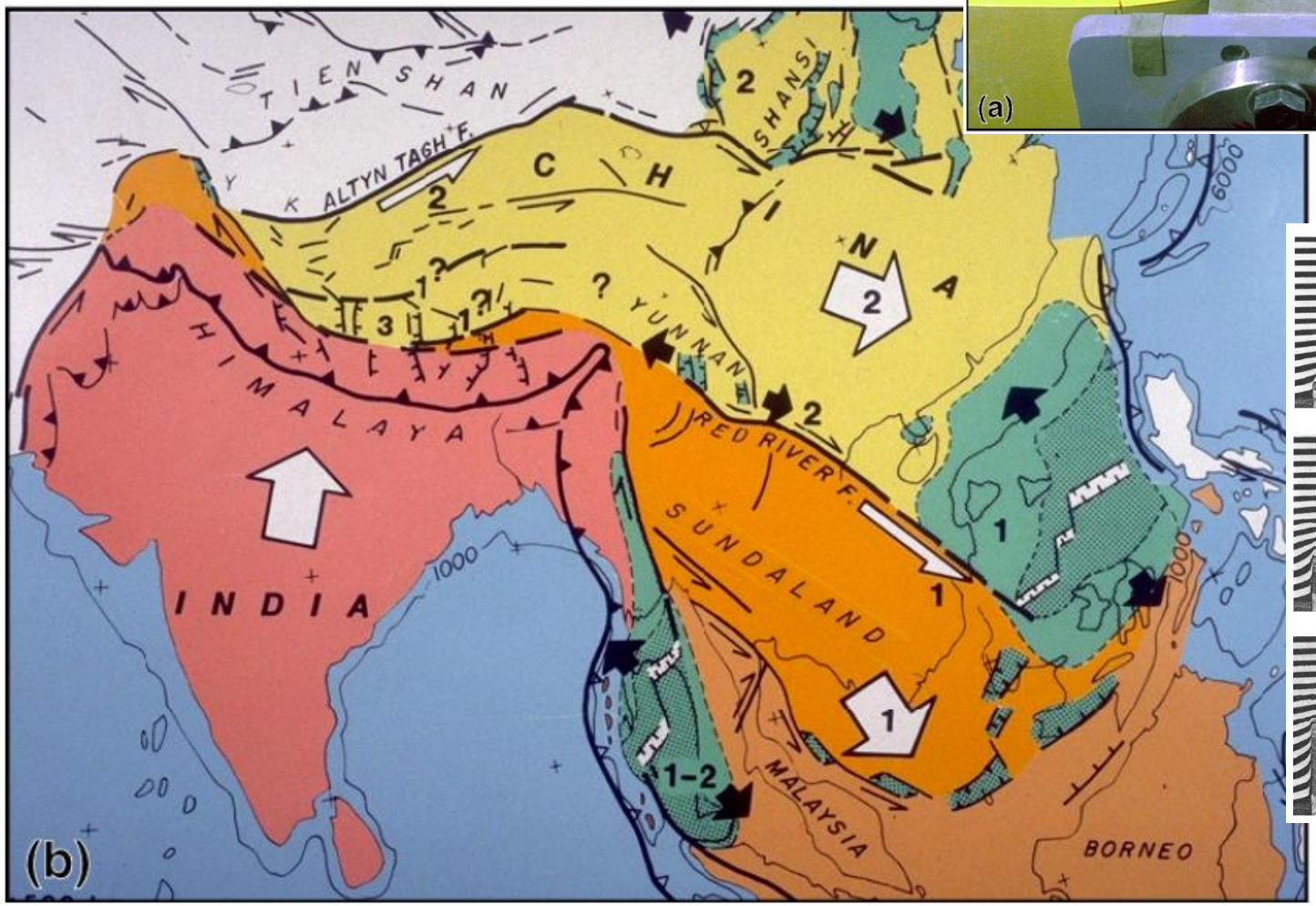
Tapponnier et al. (2001)

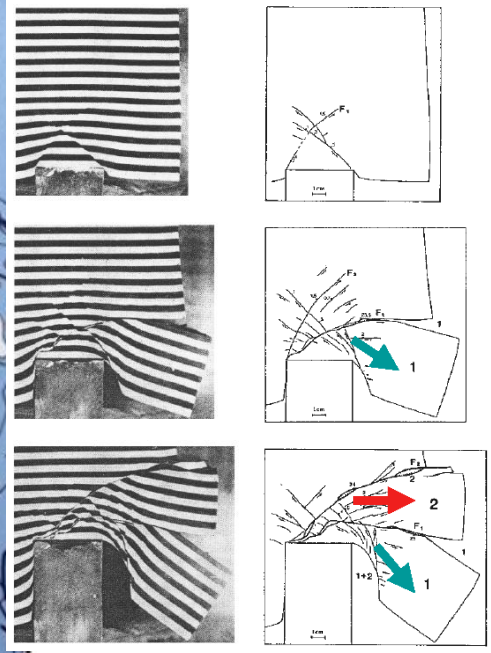


1. Rise of Himalaya-Tibet
2. Continental Extrusion

Tapponnier et al. (1982)





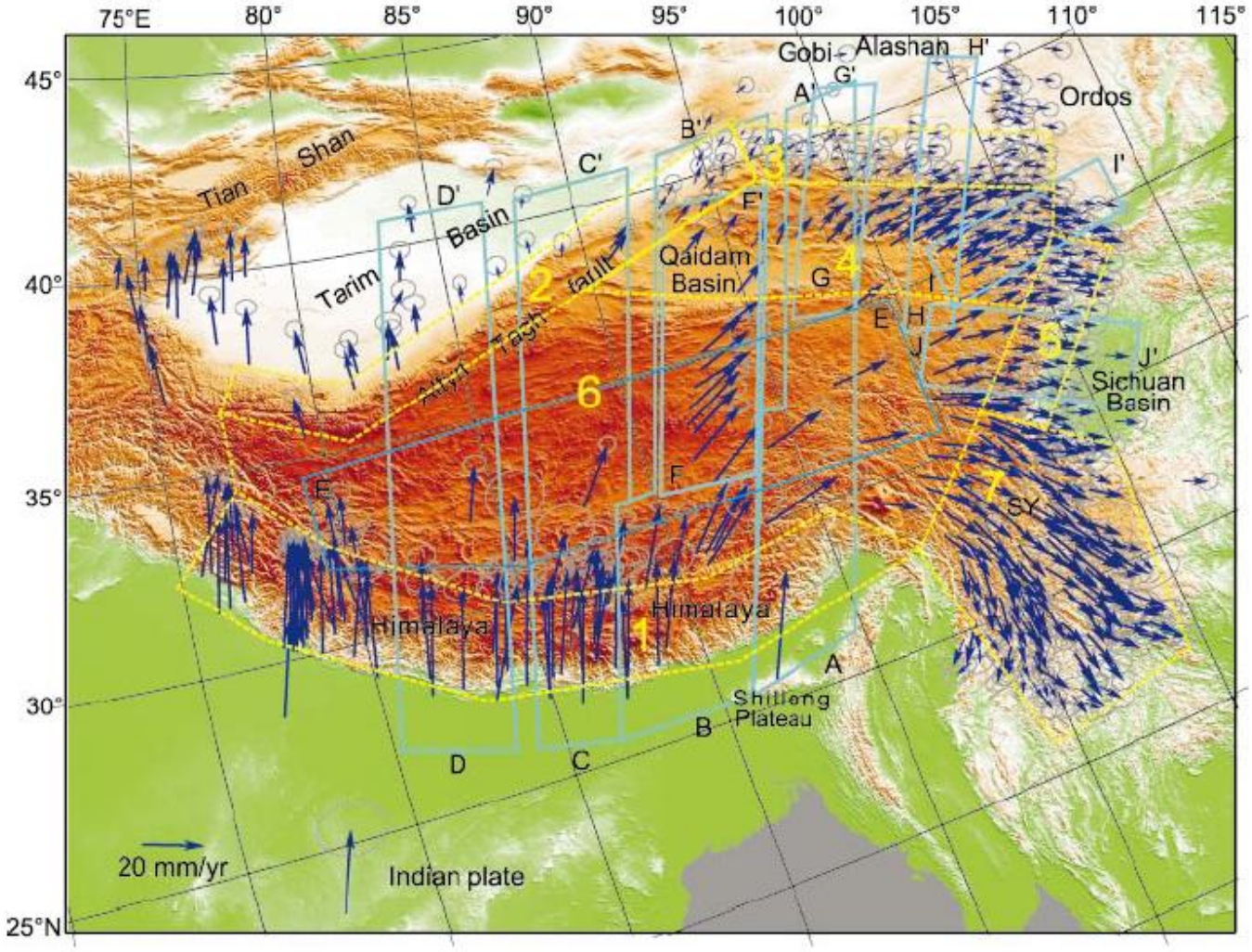


Continuous Deformation

of the Tibetan Plateau from GPS Data

Zhang et al. (2004, Geology, 32, 809-812)

- **Present-day tectonics in the plateau is best described as deformation of a continuous medium.**
- **Shortening and crustal thickening on the NE/E margins of the plateau accommodates much of the Indian penetration into Asia.**

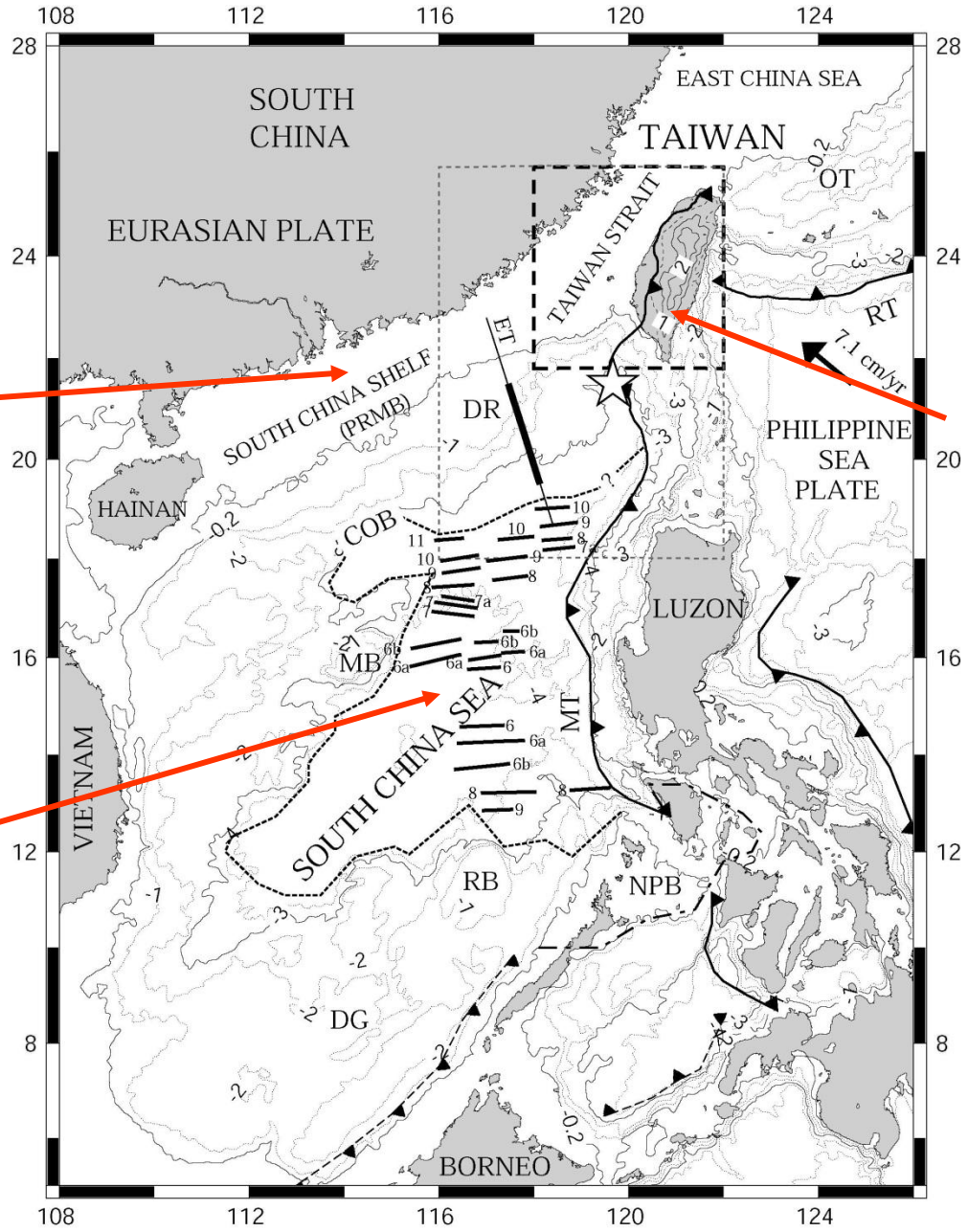


Tectonic framework of the South China Sea region

Passive margin formed by rifting during Paleogene

South China Sea oceanic basin formed during Oligocene to Miocene (~30 to 16 Ma)

Lin *et al*. (2003)

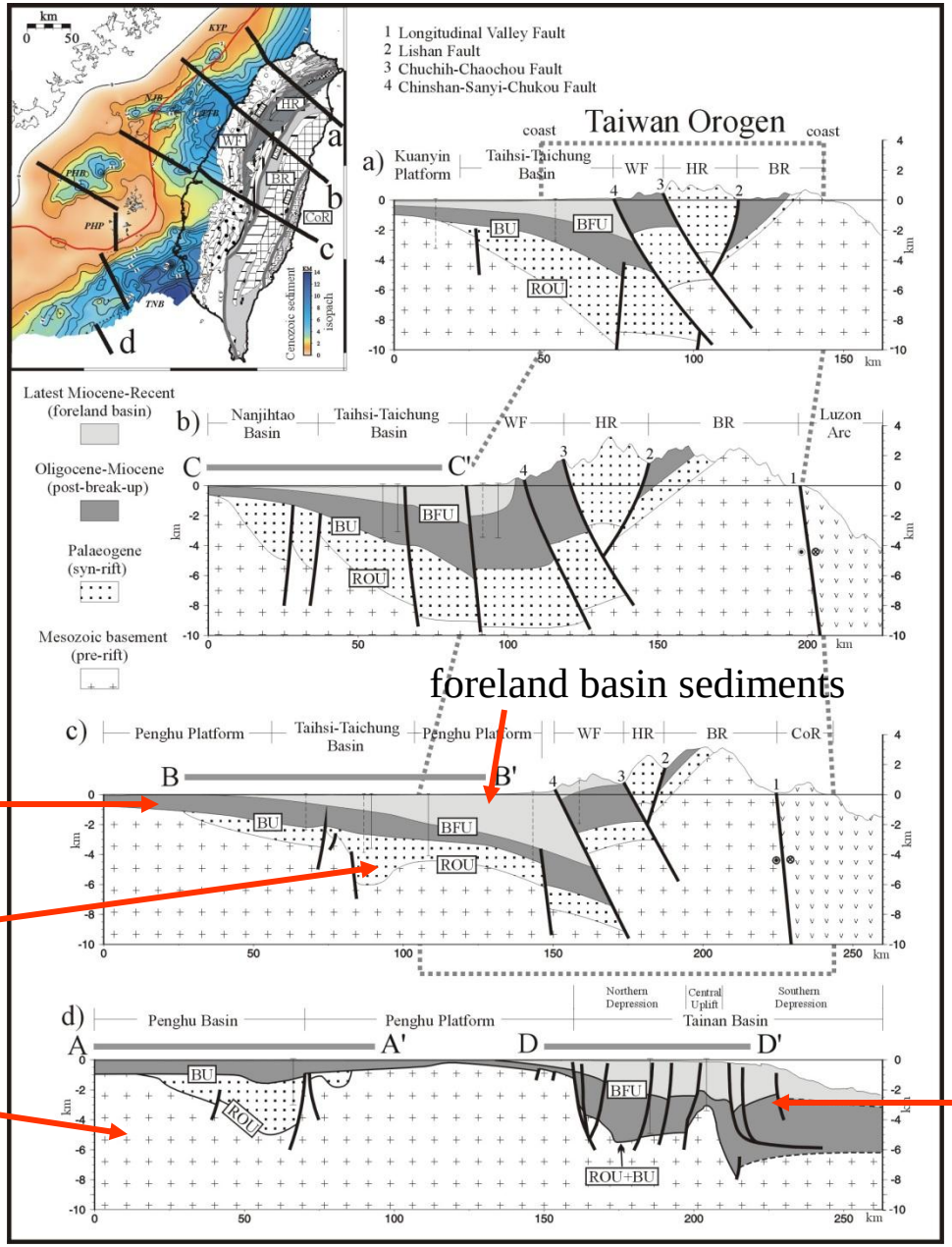


Collision of the passive margin and the Luzon volcanic arc since ~6 Ma

台灣地區中生代至現代地體構造演化

- 中生代：位於西傾隱沒帶上的火山島弧。
- 白堊紀末期：隱沒作用在台灣以南似乎停止，但在台灣以北(e.g.,東海)可能持續。
- 古新世-始新世：地殼/岩石圈張裂，形成一系列靠近大陸內部的內槽盆地(由北而南為東引島盆地、南日島盆地、澎湖盆地)以及靠海側的外槽盆地(由北而南為北彭佳嶼盆地、南彭佳嶼盆地、台灣盆地、台西盆地—雪山槽)。
- 中漸新世(30 Ma)：大陸地殼/岩石圈於現在南海北坡的陸-洋殼交界(約平行水深3000 m 處)被拉斷，形成南海海洋地殼，海洋地殼持續擴張至中中新世(16 Ma)
- 中漸新世-晚中新世：台灣地區為被動大陸邊緣，其基盤沉降以廣佈、均勻的熱收縮作用為主，但於局部地區仍有地殼張裂作用(形成台南盆地)與火成活動。另一方面，中新世早中期，菲律賓海板塊開始凌駕於南海地殼上，因而產生Luzon arc。
- 晚中新世-現代：弧陸碰撞。

Geological cross-sections



Oligocene-Miocene post-breakup sediments

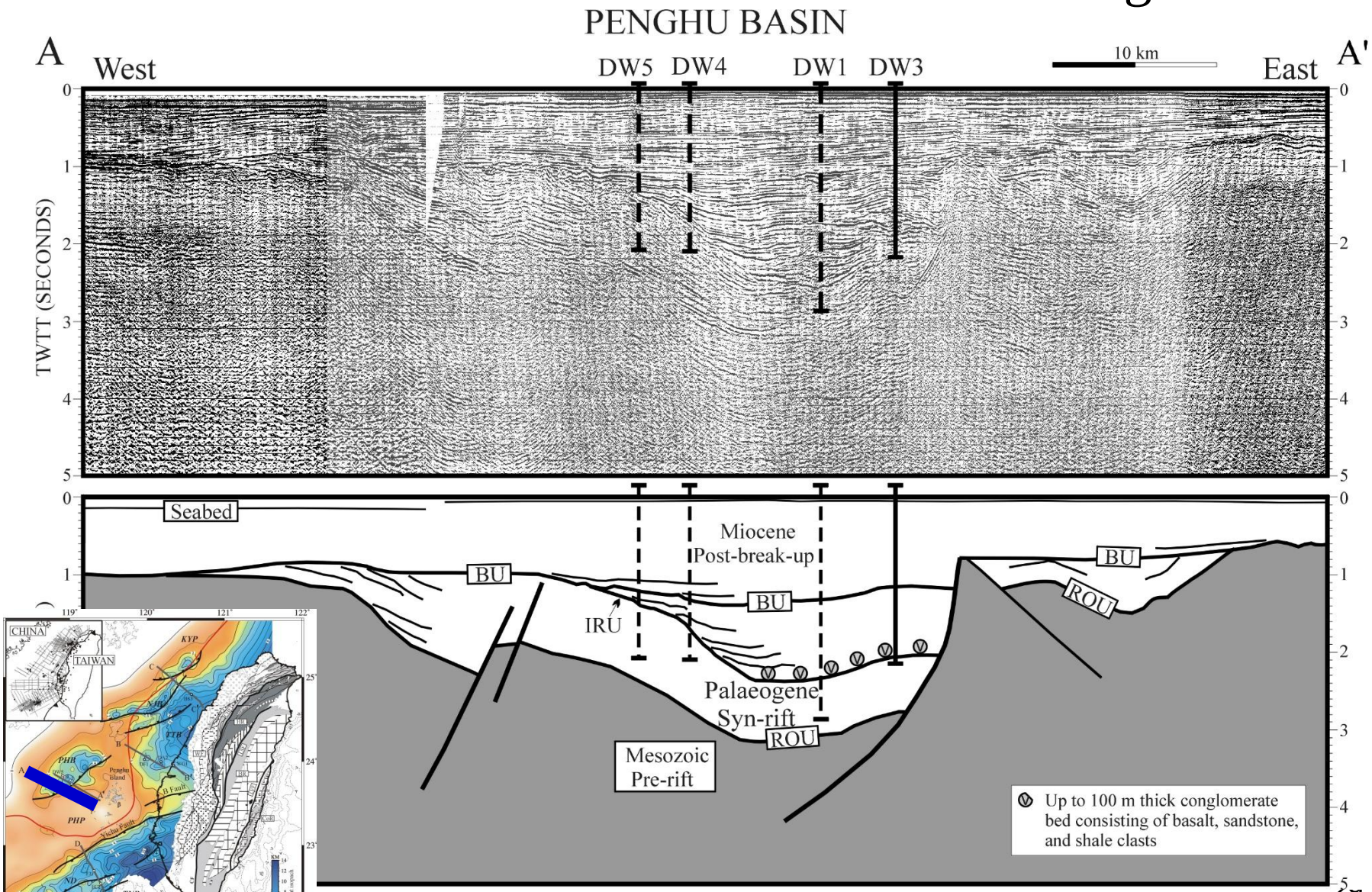
Paleogene syn-rift sediments

Mesozoic basement

Lin *et al*. (2003)

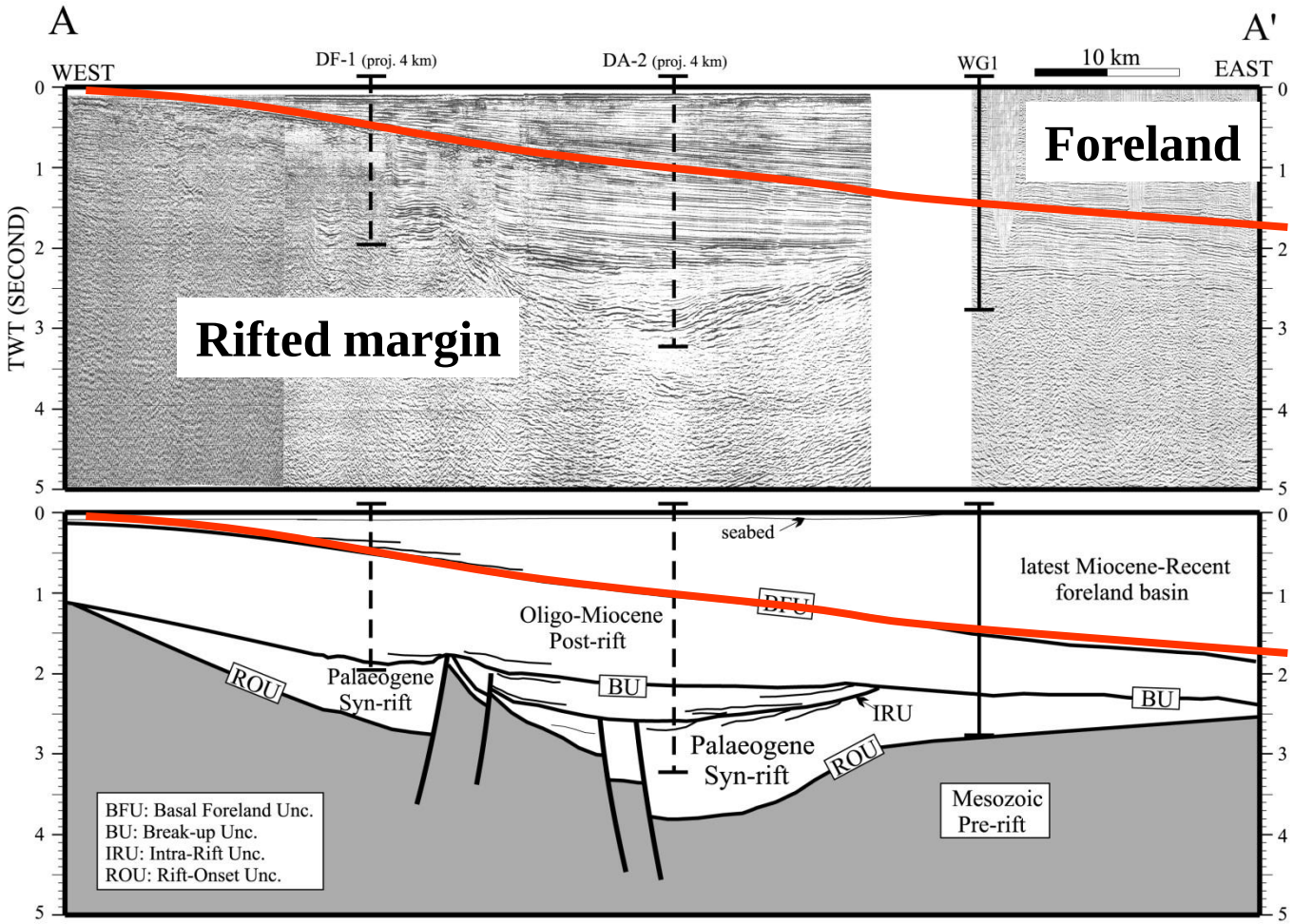
Tainan basin -- a post-breakup basin

Seismic reflection profile showing the undeformed South China Sea rifted margin



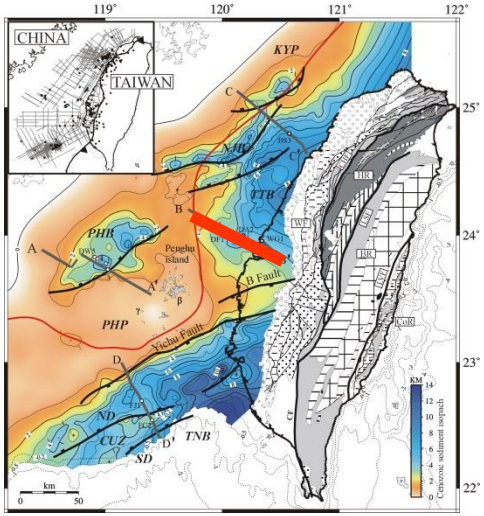
Lin *et al*. (2003)

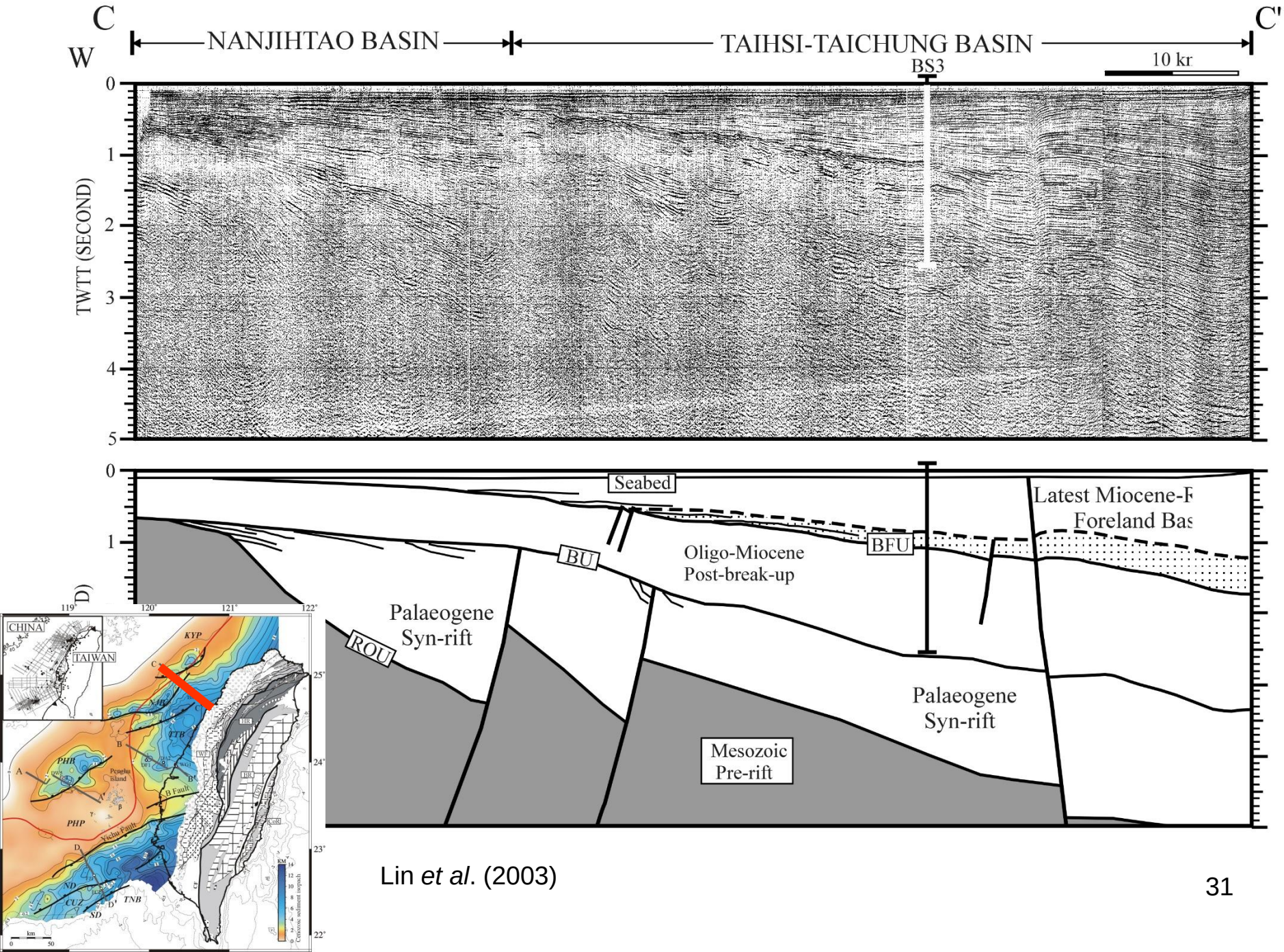
Seismic reflection profile showing the West Taiwan foreland basin and the underlying rifted margin



Yu & Chou (2001)

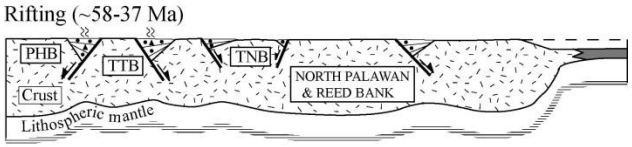
Lin & Watts (2002)



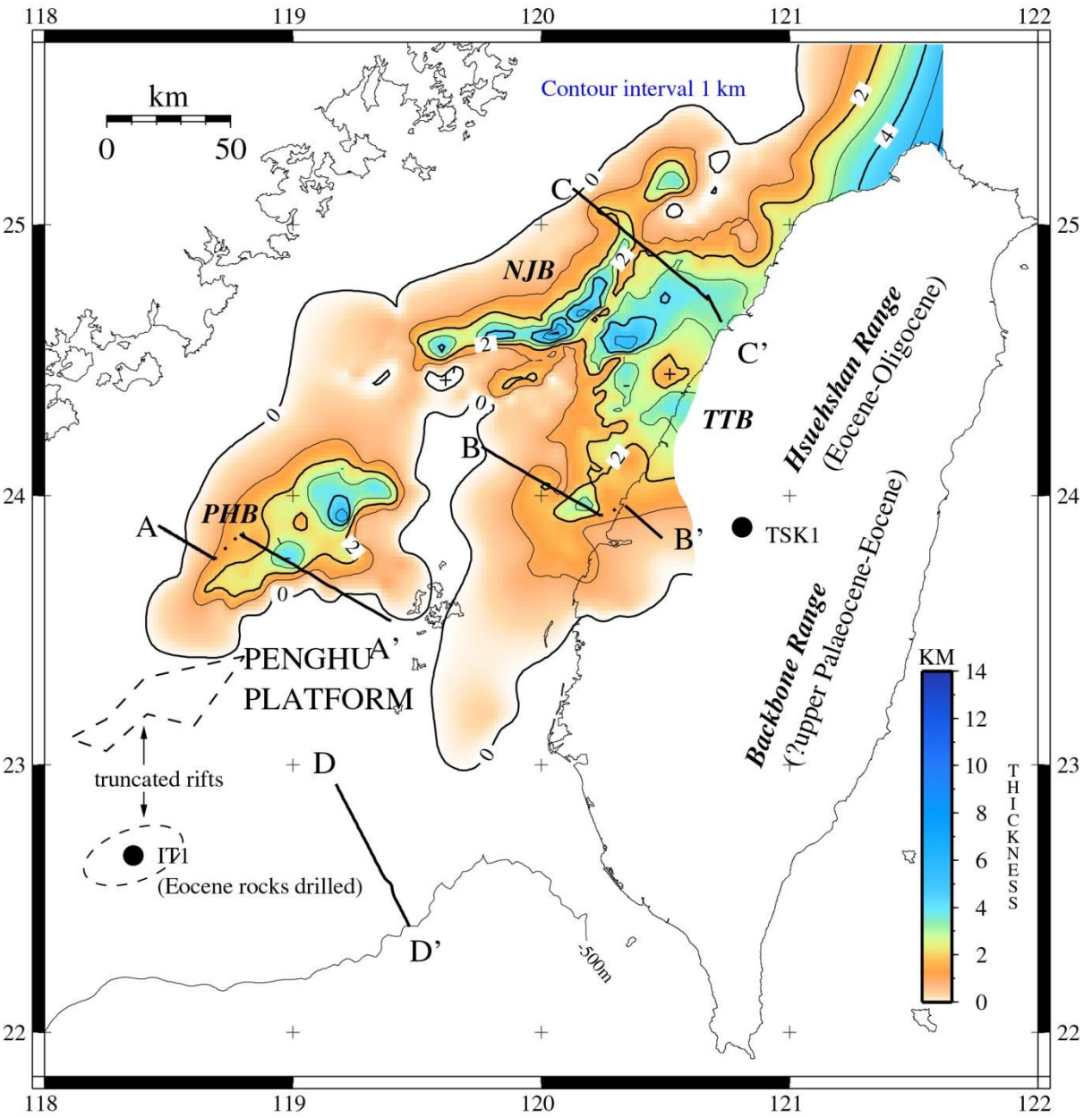


Lin *et al*. (2003)

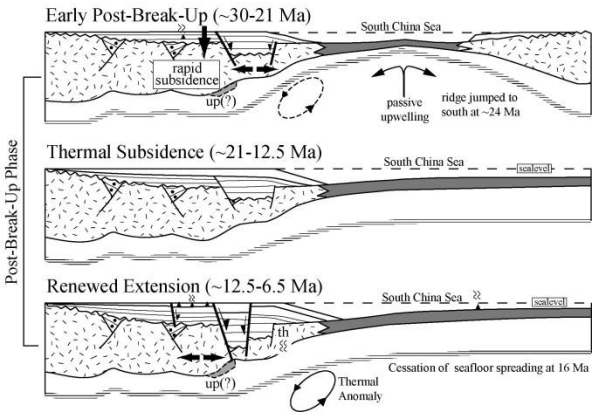
Syn-rift sediment isopach (~58-30 Ma)



Lin *et al*. (2003)

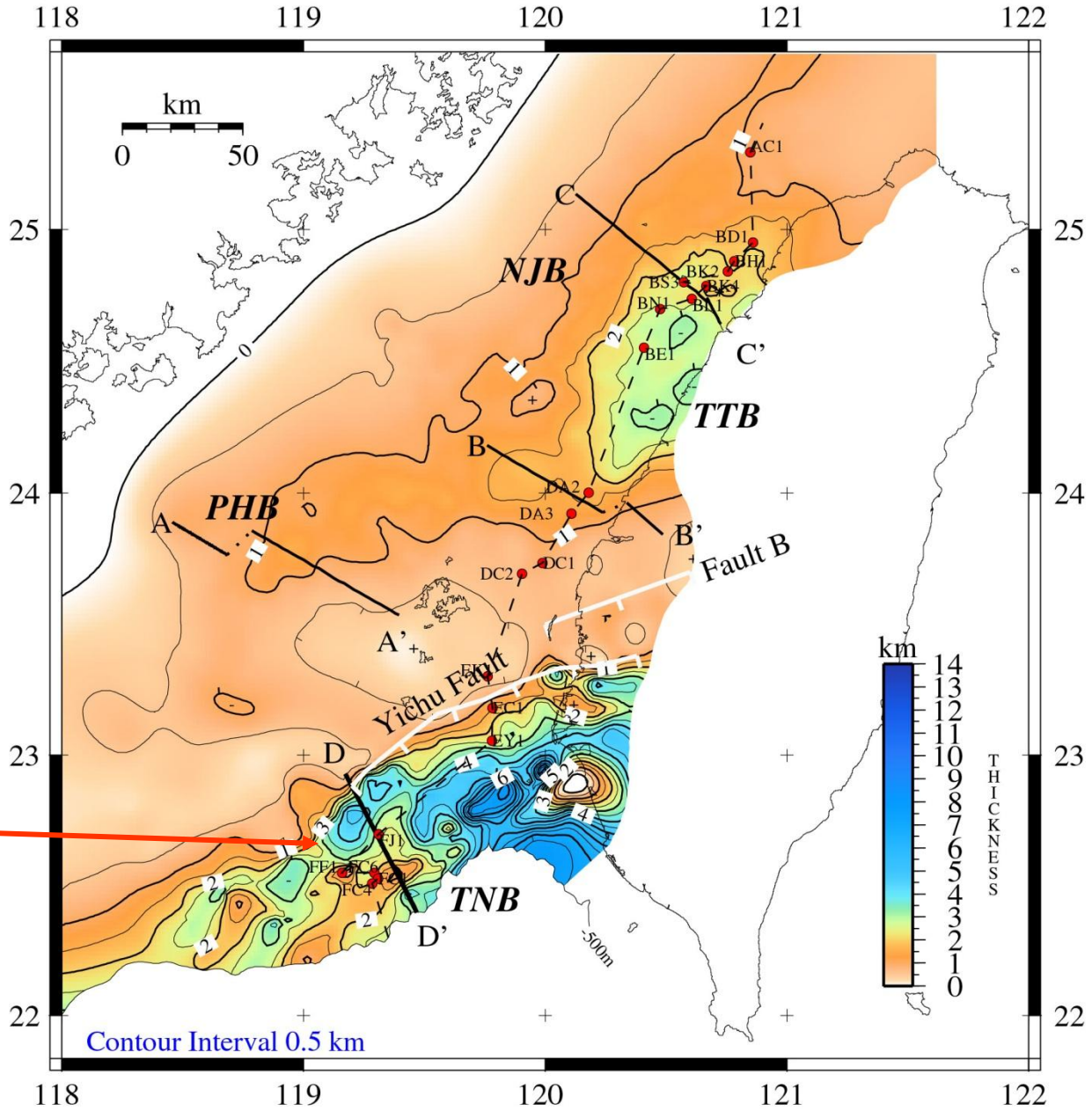


Post-breakup sediment isopach (~30 – 6.5 Ma)

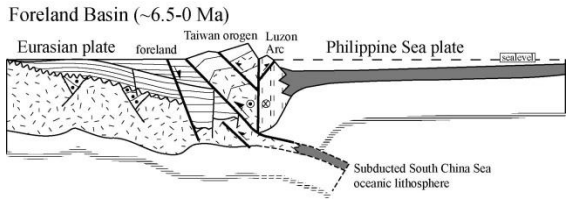


Rifting

Lin *et al*. (2003)

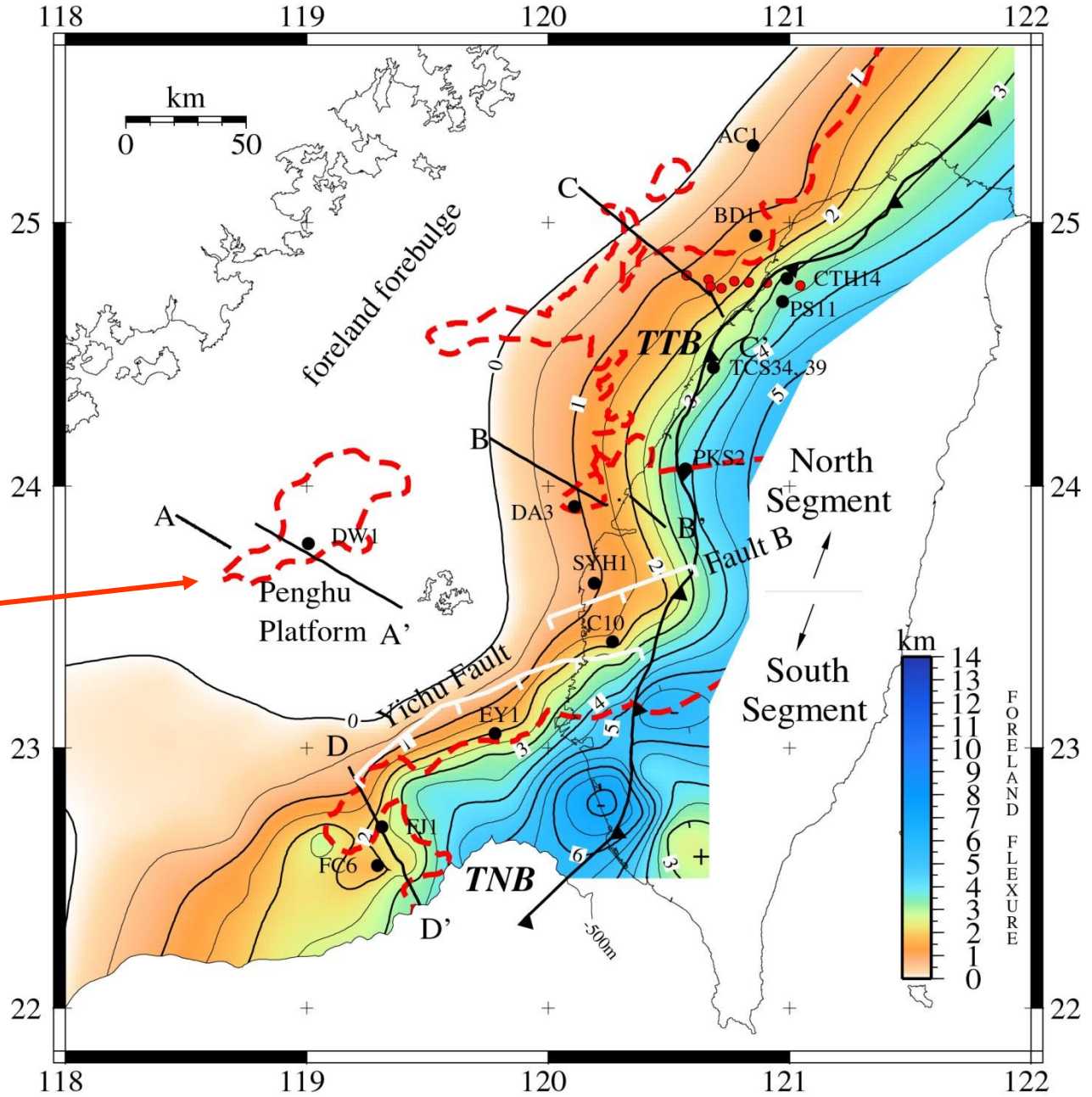


Foreland basin sediment isopach (~6.5 – 0 Ma)

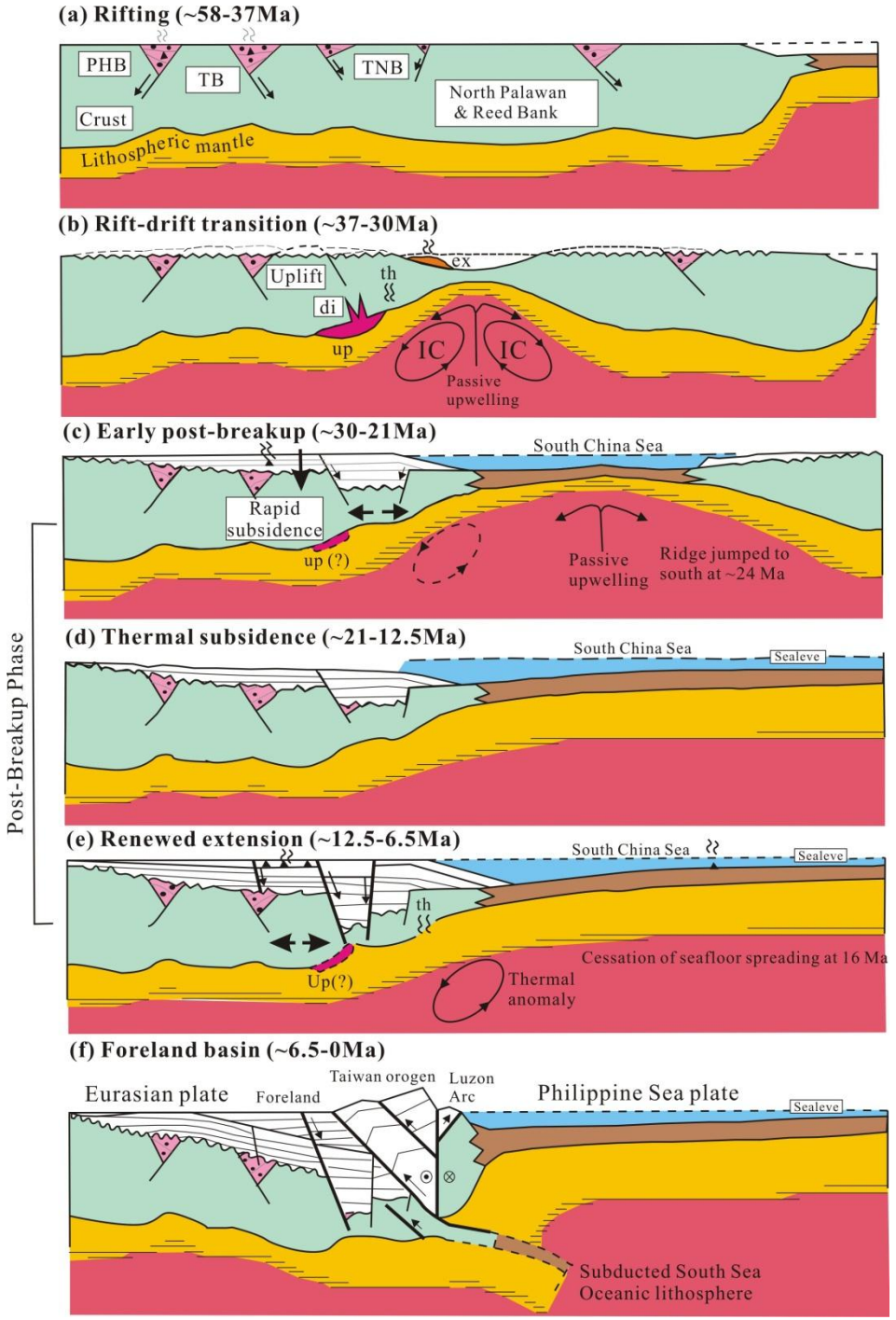


Rift basin center prior to orogenic loading

Lin & Watts (2002)

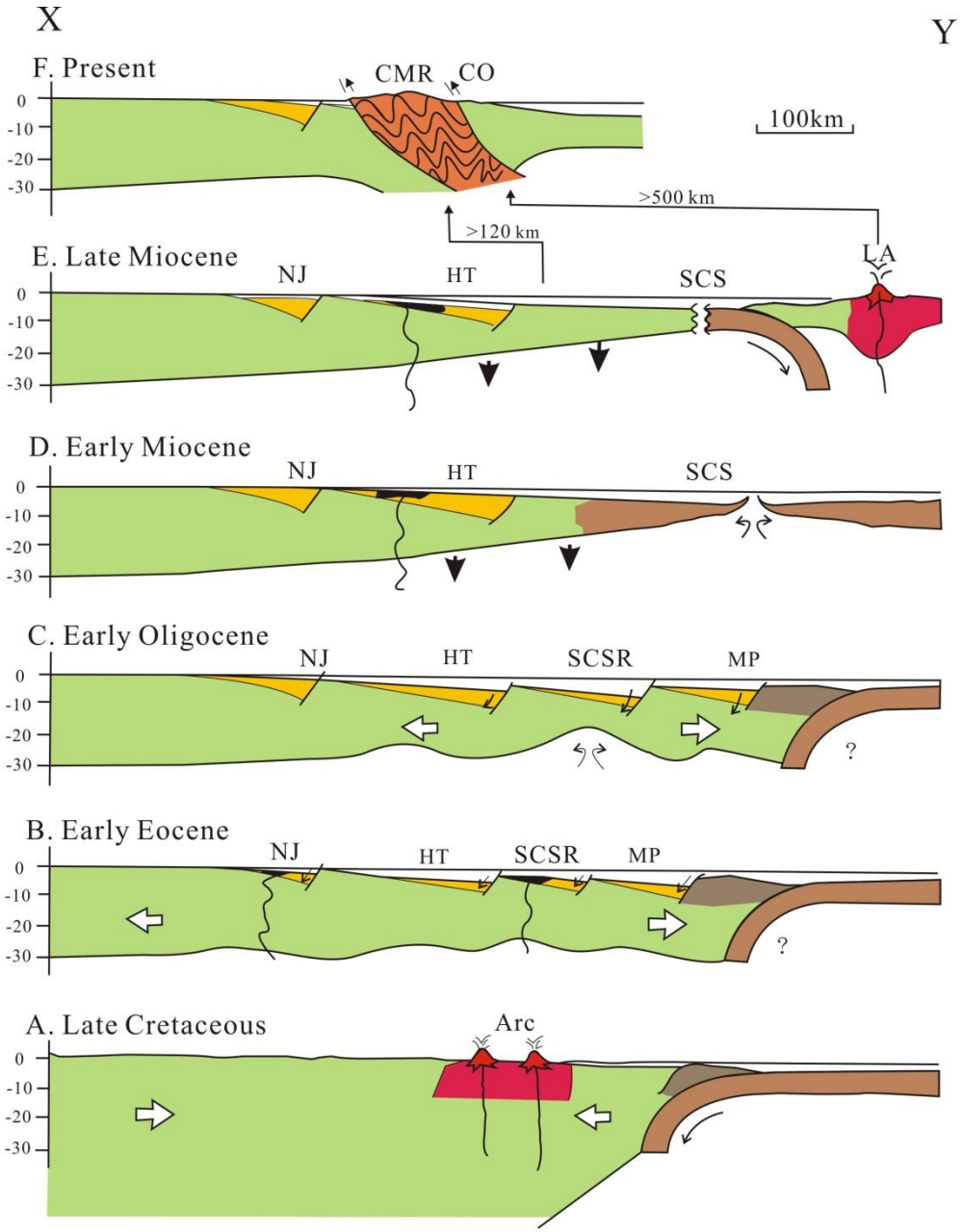


Lin *et al.* (2003)
新生代盆地演化



Lin *et al.* (2003)

Teng & Lin (2003)
新生代盆地演化



Teng & Lin (2004)

Compression Extension Subsidence Rift basalt Arc volcanism

台灣新生代地體構造的其他模式

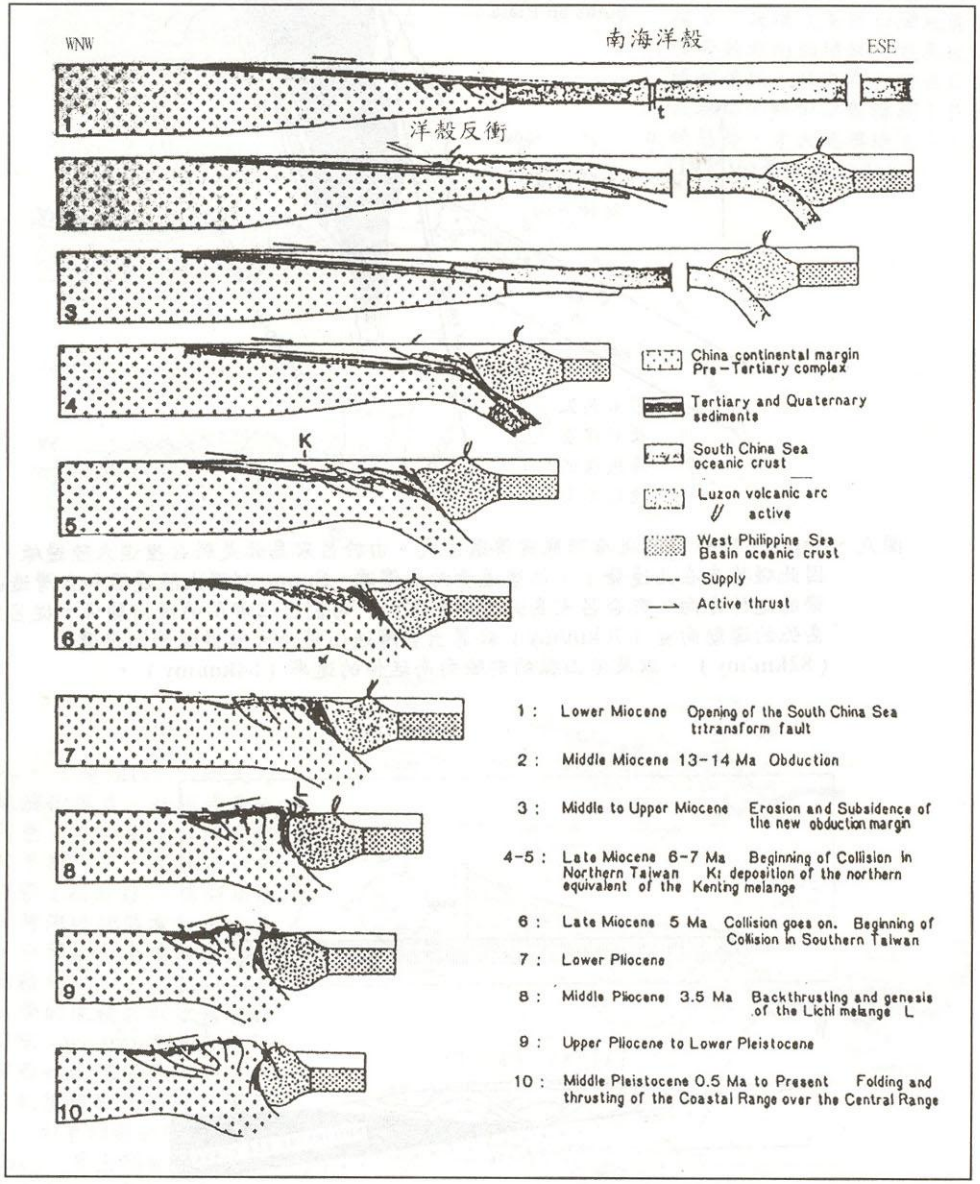
A. Obduction then collision (Pelletier & Stephan, 1986)

1. 中新世中晚期，中國大陸邊緣發生海洋反衝作用(obduction)，使得SCS海洋地殼逆衝於中國大陸邊緣上。反衝上陸的海洋地殼，往東與往南提供海洋地殼物質，分別堆積於東部的利吉層(他們認為本層是傾瀉層,olistostrome)與南部的石門礫岩中。

2. 7 Ma後，呂宋島弧與大陸邊緣碰撞。

(反衝上陸的洋殼用來解釋恆春半島中新統中，一些來路不明的基性火成岩碎塊。)

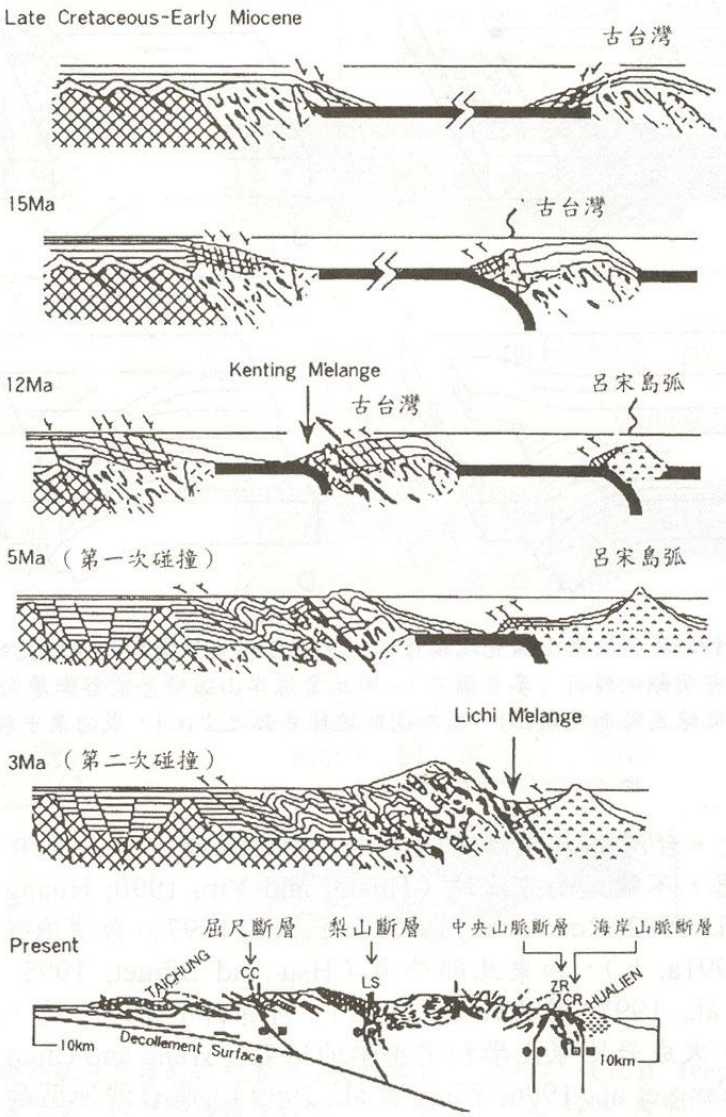
(碰撞前台灣地區是琉球島弧往西南的延續，主要根據重力異常資料的解釋。)



圖十一、 Pelletier & Stephan (1986) 的反衝與碰撞模式。這個模式主張在中新世中晚期（剖面 2 與 3），中國大陸邊緣曾發生一次反衝作用(obduction)，使得南海的海洋地殼向西北西逆衝於中國大陸邊緣之上。在 700 萬年前以後（剖面 4），呂宋島弧逐步推擠大陸邊緣之上，形成台灣的山脈（剖面 5-10）。

B. Double collision (Lu and Hsu, 1992)

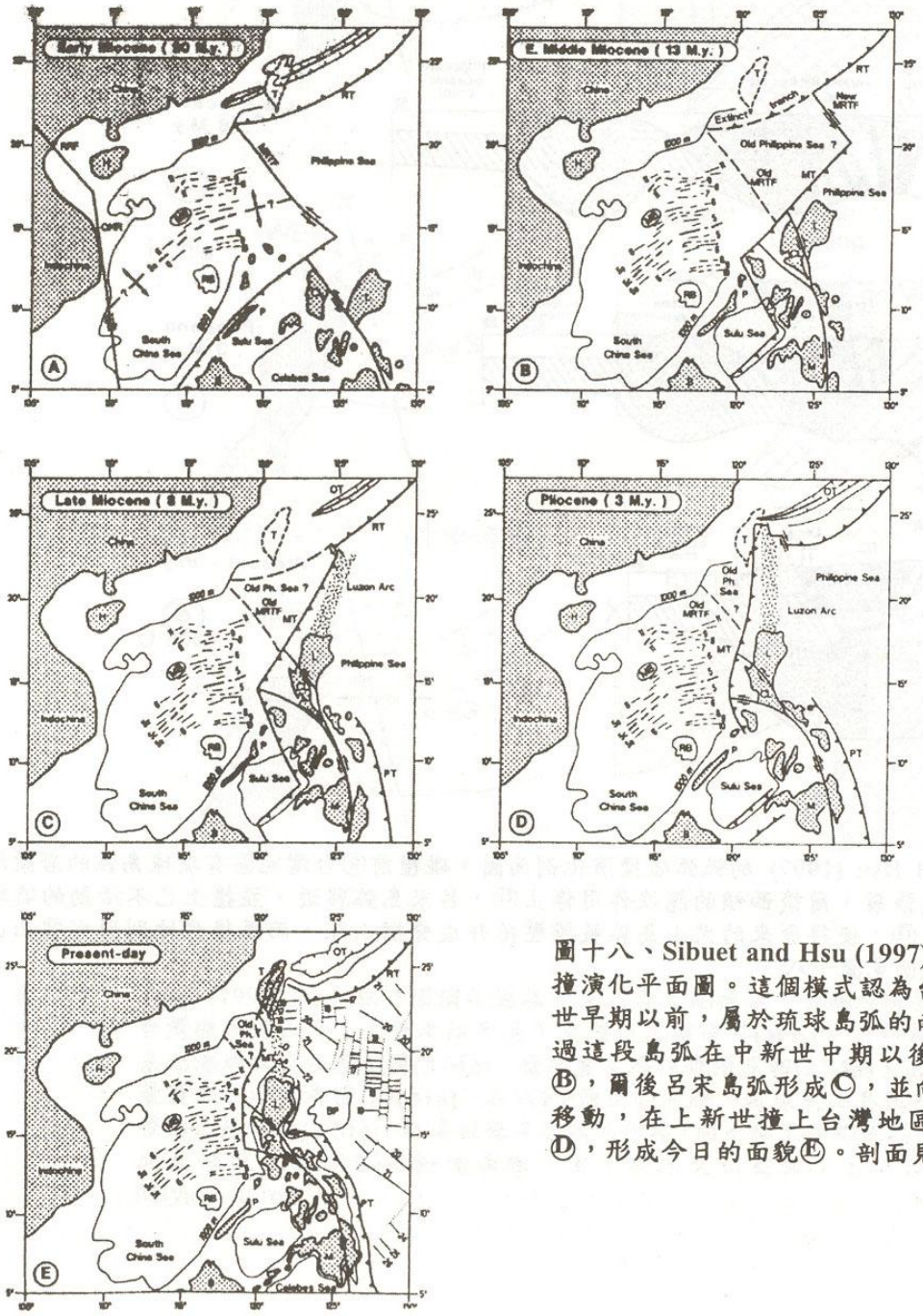
台灣的中央山脈從晚白堊紀以來為孤立的微大陸(micro-continent)，四周皆與洋殼相連。中新世中期於陸殼西側產生東傾的隱沒帶，使陸殼開始往西漂向歐亞板塊，並於晚中新世撞上大陸邊緣。然後才被Luzon arc 追撞。(中央山脈陸殼先撞上大陸邊緣是用來解釋墾丁混同層)



圖十六、 Lu and Hsu (1992) 的兩階段弧陸碰撞。這個模式認為台灣的先第三紀變質岩層原來靠在中國大陸邊緣，在白堊紀晚期，開始逐漸漂離大陸，形成一獨立的塊體，稱之為『古台灣』。到了中新世中期 (15 Ma)，此塊體的西緣產生一向東傾斜的隱沒帶，使得塊體開始漂向大陸邊緣，並在中新世晚期 (5 Ma) 先撞上大陸邊緣，爾後呂宋島弧才跟著撞上(3 Ma)。因此台灣真正的板塊邊界在梨山斷層，梨山斷層以東都屬於菲律賓海板塊。

C. Arc-arc collision (Hsu & Sibuet, 1995; Sibuet & Hsu, 1997)

在弧陸碰撞前，台灣地區是位於北傾隱沒帶上方的島弧系統，而不是被動大陸邊緣。這個島弧系統是琉球弧溝系統往西南的延續。隱沒作用於中中新世停歇，接著發生呂宋島弧碰撞。(碰撞前台灣地區是琉球島弧往西南的延續，主要根據重力異常資料的解釋。)

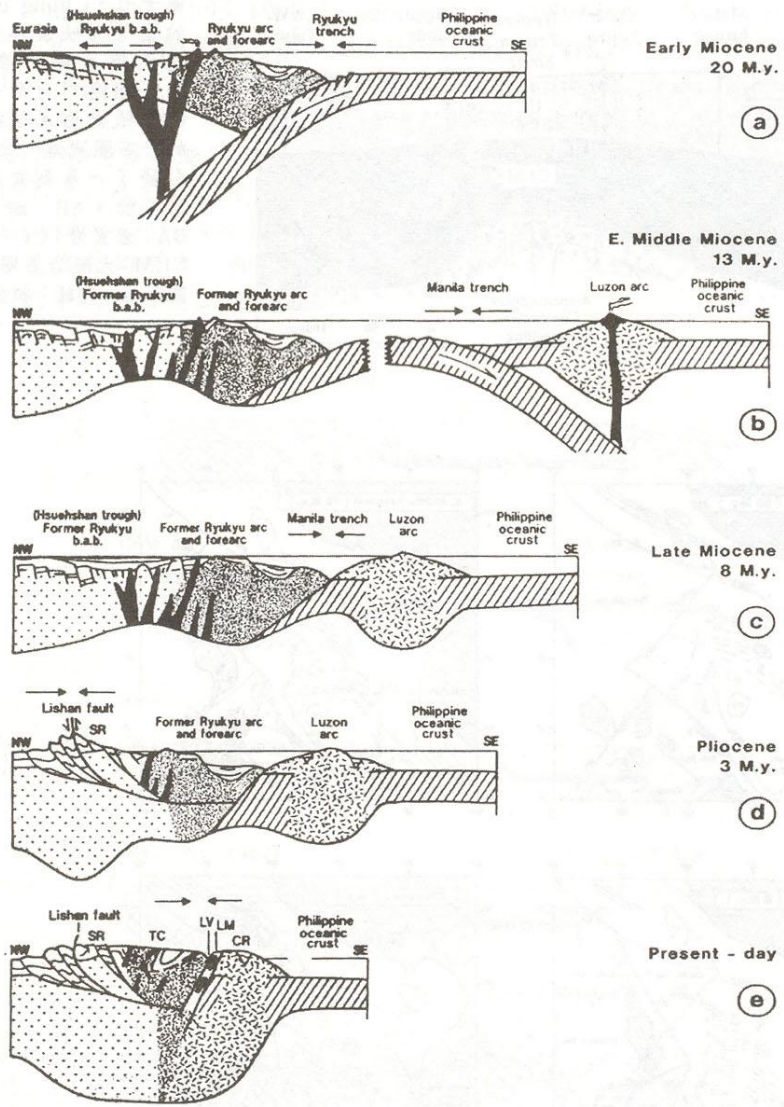


圖十八、Sibuet and Hsu (1997) 的弧弧碰撞演化平面圖。這個模式認為台灣在中新世早期以前，屬於琉球島弧的南段Ⓐ，不過這段島弧在中新世中期以後停止活動Ⓑ，爾後呂宋島弧形成Ⓒ，並向大陸邊緣移動，在上新世撞上台灣地區的古島弧Ⓓ，形成今日的面貌Ⓔ。剖面見圖十九。

Arc-arc collision

(Hsu & Sibuet, 1995;

Sibuet & Hsu, 1997)



圖十九、Sibuet and Hsu (1997) 的弧弧碰撞演化剖面圖。碰撞前ⓐ台灣地區有琉球島弧的岩漿活動和弧後張裂，爾後西傾的隱沒作用停止ⓑ，呂宋島弧移近，並撞上已不活動的琉球島弧ⓒ，ⓓ，使得原來的火山島弧被擠壓抬升成脊樑山脈，而弧後盆地則形成雪山山脈ⓔ。平面見圖十八。