

國立臺灣大學理學院地質科學系

碩士論文

Department of Geosciences

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

台灣南部嘉義地區麓山帶構造型態轉換之研究

The Transition of Structural Style in the Foothills  
in Chiayi Area, Southern Taiwan



Shu-Lin Huang

指導教授：胡植慶 博士

楊耿明 博士

Advisor: Jyr-Ching Hu, Ph.D.

Kenn-Ming Yang, Ph.D.

中華民國 98 年 8 月

July, 2009

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

台灣南部嘉義地區麓山帶構造型態轉換之研究  
The Transition of Structural Style in the Foothills  
in Chiayi Area, Southern Taiwan

本論文係 黃姝琳 君 (R96224106) 在國立臺灣大學地質科學系、  
所完成之碩士學位論文，於民國 98 年 7 月 30 日承下列考試委員審查  
通過及口試及格，特此證明

口試委員：

胡植慶

杓旺明

黃旭燦

林煥順

楊志成

## 致謝

終於讓我寫到致謝的這個部份了！能完成這個論文首先要感謝我的兩位指導教授，胡植慶老師與楊耿明老師。這兩年的研究生涯裡，感謝胡老師的包容與教導，讓我終能完成論文，以及楊耿明老師教導我很多地質構造與平衡剖面的專業知識。另外，也感謝口試委員對本論文的寶貴意見與指教。

在中油的那段日子是我對於研究生涯剛起步的時候，也是奠定研究基礎的重要階段，我要特別感謝中油的黃旭燦組長，他從不吝嗇對後輩的提攜，總是竭盡所能的提供最好的研究環境，讓我在中油研究時能無後顧之憂。而中油的叔叔伯伯與阿姨們對我也非常疼愛，總是在黃組長的一聲令下不辭辛勞的接送我上山，尤其是助理純菁每次更是以”最快”的速度送我去趕火車，也謝謝其他的助理們在中油這段苦悶，不！是嚴謹的研究生生活裡增添不少樂趣。

謝謝一起奮鬥的伙伴彭葦、偉聖、蓋共、憶菁以及緯婷，有你們的打氣我才能平安的渡過最後的階段，彭葦、偉聖(我沒有要錶你們的意思!)雖然我早你們離開，但你們要好好的活下去，加油!也感謝助理正妹琳與研究室的學長姐們，正妹琳，謝謝你口試當天豐盛的餐點以及平日的照顧；筱婷、恬恬，謝謝你們在最後階段的支持與安慰；宜蓉，謝謝你 AGU 的帶隊以及陪我跟彭葦一起喝咖啡聊是非；佳漢、冠全、昭榮以及孟涵也幫我解決不少難題；感謝黃鐘與國偉，總能在我兵慌馬亂的時候即時出現，解除我的危機，以及致同大神的幫助，讓我釐清了許多思考上的盲點。還有感謝學妹”阿龍”在成大的日子陪我上下學。

謝謝一起生活兩年的俐穎與芳禎，互相照應的日子讓我感覺到家的溫暖。還有家兩隻最可愛的成員，吉喵與 Bobi 你們每天例行的追逐大戰著實減輕的不少苦悶煙酒生的壓力。也感謝 Q 哥在拼論文的緊要關頭適時的體諒與關懷，忍受我不定時的無言亂語，辛苦你了。

謝謝我的家人，在你們支持下終於完成論文，你們一直是我心裡最溫暖的依靠。最後，將這份論文獻給我最親愛的家人，也獻給研究路上幫助過我的大家！

## 中文摘要

本研究區域的範圍北起大尖山、鹿窟斷層一帶，南至馬頭山斷層及布拉社斷層南端，東西向則包含了內麓山帶及外麓山帶。地質圖上，此地區之南北構造線於中端有彎曲並且匯集形成一個緊密的構造帶，且斷層線亦有轉換的現象，此說明緊密構造帶為連接嘉義地區南北構造的一個重要構造轉換帶，因此，本研究目的為了解連結嘉義地區南北之間的構造。首先重建嘉義市附近橫跨內外麓山帶之地質剖面，初步了解地質構造演化；接著，藉由 GeoSec 3D 軟體整合九條地質剖面建立三維模型，一窺嘉義地區深部三維斷層模型；最後使用 GOCAD 軟體，整合三維斷層模型與 3D 地震重定位資料，完整呈現深部斷層形貌與地震活動在空間中的分布。

由地質剖面重建結果得知，馬頭山斷層為一個向西逆衝之逆時序斷層，且中崙背斜形貌由底部分別由向東與向逆衝之上下部楔形體所構成的三角變形帶 (triangle zone) 控制。根據剖面回復過程，逆時序發育的馬頭山斷層與中崙背斜底部的三角變形帶，其形成時間皆晚於觸口斷層及崙後斷層，暗示馬頭山斷層與三角變形帶其活動性可能高於觸口斷層與崙後斷層，成為嘉義地區近期活躍的構造。初步估算斷層水平縮短量，在本剖面中水平縮短量已減至 2.1 公里的觸口斷層，崙後斷層高達約 30.4 公里，顯示觸口斷層其消失的逆衝滑移量已逐漸轉至崙後斷層之上。另外，本剖面異常高的總水平縮短量，約 50 公里，推測原因有二，一為大尖山地區及台中盆地地區斷層水平縮短量應比過去所認知的更來得大；二為獺頭斷層的剪裂特性可能吸收了南北兩區域逆衝滑移量的差異。

三維斷層模型顯示嘉義地區地下斷層形貌主要有三個特點，一為大尖山斷層與九芎坑斷層、鹿窟斷層匯聚於約 5-7 公里深之滑脫面構成為大尖山斷層一帶主要的基底滑移面，而崙後斷層與觸口斷層、馬頭山斷層、布拉社斷層匯聚同一構造面，成為崙後斷層及馬頭山斷層一帶主要的基底滑移面，其深度約 10 公里；二為大尖山-觸口斷層系統地下形貌，受到早期正斷層影響淺部呈高角度斷層形



貌，深部則為低角度滑移逆衝斷層；三為獺頭斷層淺部呈高角度斷層，至深部則以低角度匯入鹿窟斷層的基底滑脫面之中，往南段轉為布拉社斷層，斷層形貌則以低角度斷層為主。最後，由地震資料與地質剖面的分析，崙後斷層、馬頭山斷層以及獺頭斷層構成的緊密構造帶反映出麓山帶前緣的台南盆地與構造高區之交界阻擋了崙後斷層往西繼續推進，結果使得上盤的馬頭山斷層逆時序發育且逆衝至崙後斷層上盤之岩系，造成構造線緊密分佈。

關鍵字：嘉義地區、基底滑脫面、平衡剖面、剖面回復、三維斷層模型、縮短量



## Abstract

The region of study area extends from Tachienshan and Luku faults in the north to Matoushan and Pulashe faults in the south, which includes the internal and external western Foothills in Chiayi area. According to the geological map from CPC, the major faults in study area converge together as a tight structure near Chiayi area and change to different structure style in the southern part of study area. It indicates that the existence of a transition zone between the northern and southern part of the Chiayi area. Therefore, the first goal of this paper is to investigate the linkage in different structure style in this transition zone and how this tight structure zone form between north and south of Chiayi area. To this purpose, we first reconstruct a balanced cross-section near Chiayi city and investigated the overall structures by using nine geological cross-sections from CPC to reconstruct the 3D fault geometry by GeoSec 3D software beneath Chiayi area. Finally, we use GOCAD software to integrate 3D relocated seismicity and 3D fault model and to elucidate the relationship between the active structures and distribution of the seismicity.

Based on the geological profile across the transition zone, the Matoushan fault is an out-of-sequence fault, and the geometry of Chunglun anticline is controlled by the triangle zone resulting from west-thrusting lower wedge and east-thrusting upper wedge. According to the restoration of balanced cross section, the Matoushan fault and the triangle zone probably formed later than Chukou and Lunghou faults. It implies that the Matoushan fault and the triangle zone are much more active than Chukou and Lunghou faults. Based on preliminary estimate from the restored cross section, the shortening of Chukou and Lunghou faults are about 2.1 km and 30.4 km, respectively. The southward decrease of shortening along the Chukou fault indicates that the deficit in shortening has been transferred to the Linghou fault and other

structures. In addition, the significant total shortening of about 50 km along the geological profile of this study indicates the total shortening in Tachianshan area and Taichung area are larger than those as we knew in the past or the Tatou fault, tear fault, absorbed the gap of shortening between north and south part of Chiayi area.

A 3D fault model demonstrates three important geometries of fault linkage beneath Chiayi area. First, the Chiuchiungkeng, Tachianshan and Luku faults merge in a subsurface of about 5-7 km and form an important detachment in the region of Tachianshan area. The Lunhou, Chukou, Matoushan and Pulashe faults merge at the deeper depth of ~10 km and form principle detachment in the region of Lunghou fault. Second, the geometry of the frontal part of Tachishan-Chukou fault system is controlled by pre-existing normal fault. The fault consists of a steeper western part as inverted normal fault (ramp), and a gentle-dipping eastern part in the form of detachment thrust (flat). Third, the vertical NW trending Tatou fault is considered as a high-angle tear fault, which cuts off the Luku fault and turns into the N-S trending Pulashe fault dominated by low-angle fault to the south. Based on the analysis of seismicity and geological profile, the tight structure between the Chukou, Lunghou and Matoushan faults reflects the resistance of the border between incoming basement high and Tainan basin in the frontal region. As a result, the hianing-wall of Matoushan fault was out-of-sequence and thrust on the haning-wall rocks of Lunghou fault, and the tight structure formed.

Key words: Chiayi area, Detachment, Balanced cross-section, Restoration, 3D fault model, Active structures

# 目 錄

	頁數
口試委員審定書.....	I
致謝.....	II
中文摘要.....	III
Abstract.....	V
目 錄.....	VII
圖 目 錄.....	IX
表 目 錄.....	XI
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 前人研究.....	7
1.3.1 地震地體構造.....	7
1.3.2 地質構造剖面.....	10
1.3.3 三維斷層模型.....	13
第二章 地體構造和地質背景.....	15
2.1 區域位置與範圍.....	15
2.2 地質概況.....	19
2.2.1 地質構造.....	19
2.2.2 地層.....	22
2.2.3 藤寮 1 號井.....	27
2.3 活動構造.....	28
第三章 研究方法.....	31
3.1 平衡剖面之建構與理論.....	31
3.1.1 平衡剖面之重建.....	31
3.1.2 理論基礎.....	33



3.2 構造平衡剖面之回復 .....	38
3.2.1 平衡原則 .....	38
3.2.2 回復方法 .....	38
3.3 三維構造模型建立 .....	40
3.4 地震資料選取 .....	41
<b>第四章 研究成果 .....</b>	<b>42</b>
4.1 地質剖面解釋 .....	43
4.1.1 剖面 I 段 .....	43
4.1.2 剖面 II 段 .....	44
4.1.3 剖面 III 段 .....	46
4.2 地質剖面回復 .....	49
4.2.1 三角變形帶之回復 .....	49
4.2.2 前緣逆衝斷層構造之回復 .....	49
4.2.3 斷塊疊置構造與馬頭山斷層之回復 .....	49
4.2.4 觸口斷層構造之回復 .....	50
4.2.5 崙後斷層構造之回復 .....	50
4.3 嘉義區域之地下三維構造模型 .....	56
4.4 嘉義地區地震活動特性 .....	67
<b>第五章、討論 .....</b>	<b>80</b>
5.1 嘉義地區構造演化 .....	80
5.2 觸口斷層與崙後斷層的轉換 .....	83
5.3 嘉義地區之活動構造 .....	85
5.4 嘉義地區發震特性 .....	87
5.5 緊密構造 .....	88
<b>第六章、結論 .....</b>	<b>91</b>
<b>參考文獻 .....</b>	<b>93</b>
中文部份 .....	93
英文部分 .....	94
<b>附錄 A .....</b>	<b>98</b>
<b>附錄 B .....</b>	<b>99</b>
<b>附錄 C .....</b>	<b>101</b>

## 圖目錄

圖 1-1 台灣地體構造架構和主要構造單元。 . . . . .	3
圖 1-2 台灣地區 1990 年至 2006 年地震活動分佈。 . . . . .	4
圖 1-3 台灣 1900 年以來災害性地震之震央位置圖。 . . . . .	5
圖 1-4 嘉義地區地質構造。 . . . . .	6
圖 1-5 嘉義地區地震構造相關研究。 . . . . .	8
圖 1-6 嘉義觸口地區相關之地質構造剖面。 . . . . .	11
圖 1-7 台灣西南部三維逆衝斷層模型。 . . . . .	14
圖 2-1 台灣三維地體造。 . . . . .	16
圖 2-2 台灣褶皺-逆衝帶構造線分佈。 . . . . .	17
圖 2-3 本研究區域範圍。 . . . . .	18
圖 2-4 嘉義地區活動構造分布。 . . . . .	29
圖 2-5 嘉義地區地質構造剖面概略圖。 . . . . .	30
圖 2-6 1995-2005 年之 GPS 觀測資料。 . . . . .	30
圖 3-1 地質構造剖面重建過程。 . . . . .	32
圖 3-2 薄皮構造變形作用可以「推土機模型」表示。 . . . . .	33
圖 3-3 九二一大地震車瀧埔斷層地質構造剖面。 . . . . .	34
圖 3-4 和逆衝斷層有關的三種褶皺作用示意圖。 . . . . .	36
圖 3-5 斷層的再褶皺作用示意圖。 . . . . .	37
圖 3-6 曲滑褶皺回復法回復步驟圖示。 . . . . .	39
圖 3-7 斷層平行回復法回復步驟圖示。 . . . . .	40
圖 4-1 本研究之地質構剖面。 . . . . .	47
圖 4-2 本研究剖面之地質資料。 . . . . .	48
圖 4-3 本研究剖面構造回復步驟及各構造之水平縮短量。 . . . . .	53
圖 4-4 建構三維斷層模型之地質剖面線位置。 . . . . .	56

圖 4-5 三維模型角度表示法示意圖。 . . . . .	58
圖 4-6 嘉義地區九條地質構造剖面位置及三維斷層模型俯視圖與側視圖。 . . . .	59
圖 4-7 嘉義地區地下三維斷層模型之俯視圖與側視圖。 . . . . .	60
圖 4-8 九芎坑-大尖山-鹿窟地下斷層形貌。 . . . . .	61
圖 4-9 崙後-馬頭山-布拉社地下斷層形貌。 . . . . .	62
圖 4-10 大尖山-觸口斷層系統地下斷層形貌。 . . . . .	63
圖 4-11 觸口-崙後斷層系統地下斷層形貌。 . . . . .	64
圖 4-12 獺頭-布拉社斷層系統與鹿窟斷層地下斷層形貌。 . . . . .	65
圖 4-13 嘉義地區各斷層形貌。 . . . . .	66
圖 4-14 嘉義地區地震活動分佈與震源機制解。 . . . . .	69
圖 4-15 大尖山斷層區域地質構造與地震活動。 . . . . .	71
圖 4-16 觸口斷層前緣區域地質構造與地震活動。 . . . . .	72
圖 4-17 崙後斷層區域地質構造與地震活動。 . . . . .	73
圖 4-18 嘉義地區地下三維斷層形貌與長期地震活動分布。 . . . . .	75
圖 4-19 嘉義地區各區塊三維斷層形貌與長期地震活動分布。 . . . . .	77
圖 5-1 本研究剖面之地質構造演化。 . . . . .	82
圖 5-2 中崙背斜構造形貌與地下地質資料。 . . . . .	86
圖 5-3 維吉尼亞州的阿帕拉契亞褶皺逆衝帶概略圖。 . . . . .	89
圖 5-4 台灣西部陸海域張裂盆地構造。 . . . . .	90
圖 5-5 台灣西部海域中新世底部深度分佈。 . . . . .	90

## 表 目 錄

表 2-1 台中、嘉義及台南地區地層對比表。 . . . . .	26
表 2-2 T-1 井鑽遇各地層與斷層之深度、地層走向以及地層傾角。 . . . . .	27
表 2-3 台灣西南部斷層活動情形。 . . . . .	26
表 4-1 嘉義地區地震活動特。 . . . . .	74
表 5-1 台中、嘉義地區地質構造回復結果。 . . . . .	84





# 第一章 緒論

## 1.1 前言

臺灣西南部為人口稠密及城市發展之區域，由於臺灣地處激烈之碰撞聚合帶中，長期以來受到東南-西北向之板塊聚合作用的影響(圖1-1)，逐漸發展一系列以東北-西南向為主的斷層與褶皺系統，且與地震活動息息相關(圖1-2)，許多災害性地震也發生在這個區域，如1906年芮氏規模7.1的梅山地震、1941年芮氏規模7.1的中埔地震以及1946年芮氏規模6.1的新化地震(圖1-3)，因此對於孕震構造的研究和三維地體構造的關聯，是一項重要的課題。

大地構造的活動是造成地層變動及斷層發育的主要原因，而岩層的位態變化以及斷層出露的位置往往能反映出地下構造之幾何形貌，要了解一個區域的構造發育過程，重建地下地質構造是必然的課題。平衡剖面法能最迅速且直觀地再現地下構造的原始幾何形貌，並且迅速提供震測剖面的構造解釋方案。近年來平衡剖面不再僅限於二維構造的呈現，更發展至三維構造模型的建立，透過三維模型不但能一窺研究區域的構造全貌，並提供不同的觀察角度。本研究以臺灣嘉義地區為研究對象，該地區之地下地質構造至今尚未有完整的三維斷層構造模型，故在此將運用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)、二維平衡剖面軟體(2D Move)及三維構造模型(GeoSec 3D)等軟體，重建嘉義地區之地質構造剖面，同時重新利用重新定位的地震震源分布和地震斷層機制解，且使用GOCAD(Geological Object Computer Aided Design)軟體結合三維地質構造剖面，進一步建立三維地震地體架構，以了解該地區活動構造之全貌，這對未來評估斷層潛在災害將會是一項重要的參考。

## 1.2 研究動機

嘉義地區在南北斷層線分布形態不同，在北部，東北-西南向之斷層線多被近東西走向之橫移斷層所截切(圖1-4)，南部斷層線往南則有較好的延伸且呈現近於平行之排列，斷層東側構造則被一系列之向斜所取代，於南北兩區域間，斷層線則呈現彎曲的現象，且獺頭斷層、觸口斷層、崙後斷層以及馬頭山斷層匯聚成一個緊密的構造帶，另外，斷層線亦有轉換的現象，如觸口斷層逐漸匯入崙後斷層之中、鹿窟斷層為獺頭斷層所截切以及馬頭山斷層與崙後斷層則以獺頭斷層為起點往南延伸，因此，嘉義地區緊密構造帶似乎銜接大尖山斷層一帶與崙後斷層及馬頭山斷層一帶之構造。對於該地區附近之地質構造與活動斷層分佈，雖已有諸多研究與論述(Suppe, 1980; Chang et al., 1996; Hung et al., 1999; Huang et al., 2004; Yang et al., 2007; Chen et al., 2008)，然而，嘉義地區緊密構造帶中地下斷層完整的形貌仍不是相當了解。在此除了透過平衡剖面法對緊密構造帶區域之構造發育史進行探討外，也將重新整合嘉義地區地質構造剖面，建構詳細的地下三維斷層模型，直觀地再現地下斷層構造的原始幾何形貌。

在921大地震發生後，研究西部麓山帶之地震活動與潛在活動斷層之關聯成為當今重要之課題，斷層的活動性與地下構造的幾何形貌之關聯已成為學者積極研究之議題(Carena et al., 2002; Yue et al., 2005)，因此本研究將配合嘉義地區長期的地震分布，初步分析地震活動特性與孕震構造之間的關聯性，迅速提供地震剖面的構造解釋方案。

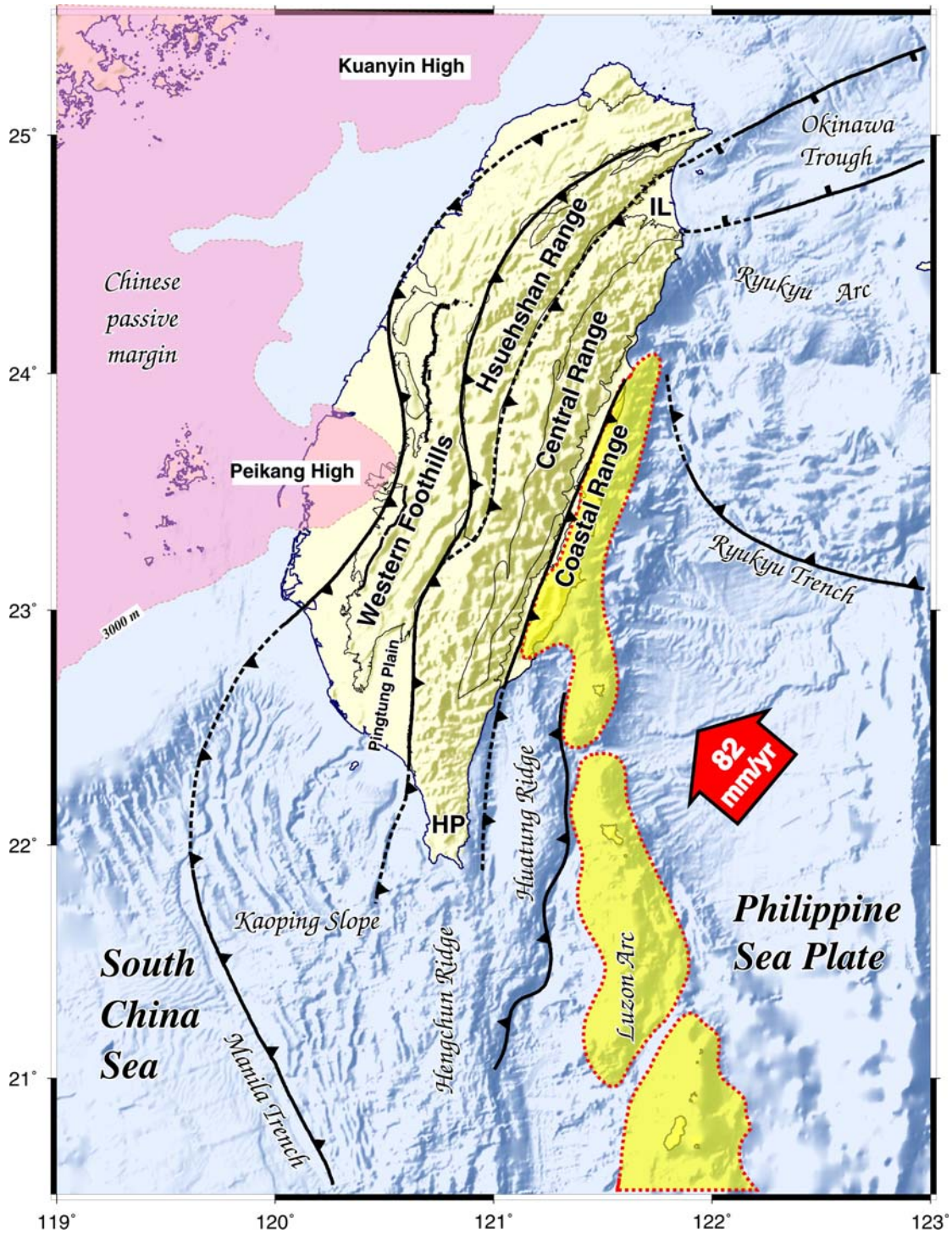


圖 1-1 台灣地體構造架構和主要構造單元(修改自 Ching, 2007)。黑色粗線為台灣地區之主要構造線，粉紅色區域為基盤高區(引自 Lin et al., 2003)，黃色區域顯示呂宋火山島弧，紅色箭頭指示菲律賓海板塊相對於歐亞大陸板塊之運動方向(Yu et al., 1999)。



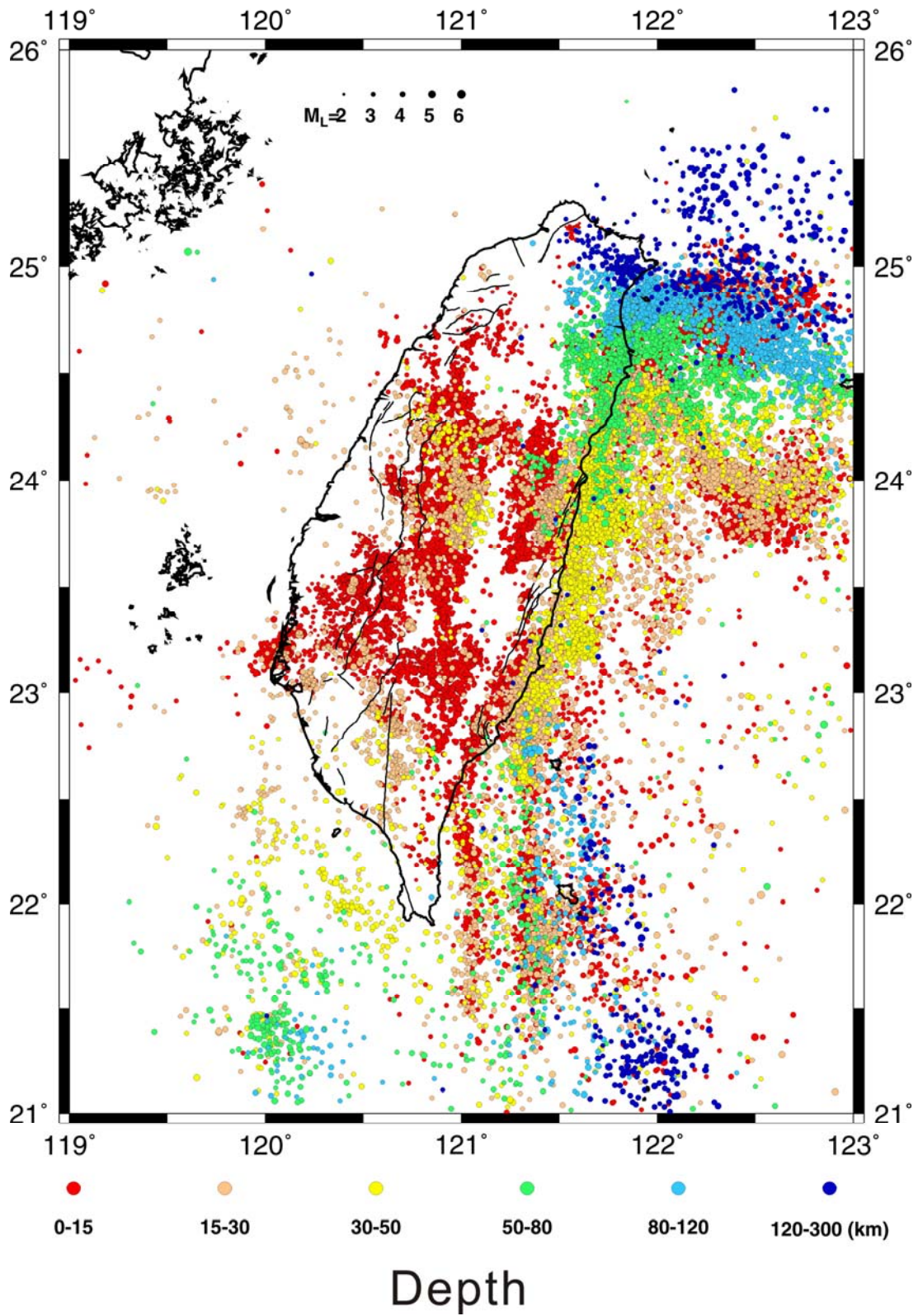


圖 1-2 台灣地區 1990 年至 2006 年地震活動分布，不同顏色代表地震的震源深度（資料來源：中央氣象局 CWB）。

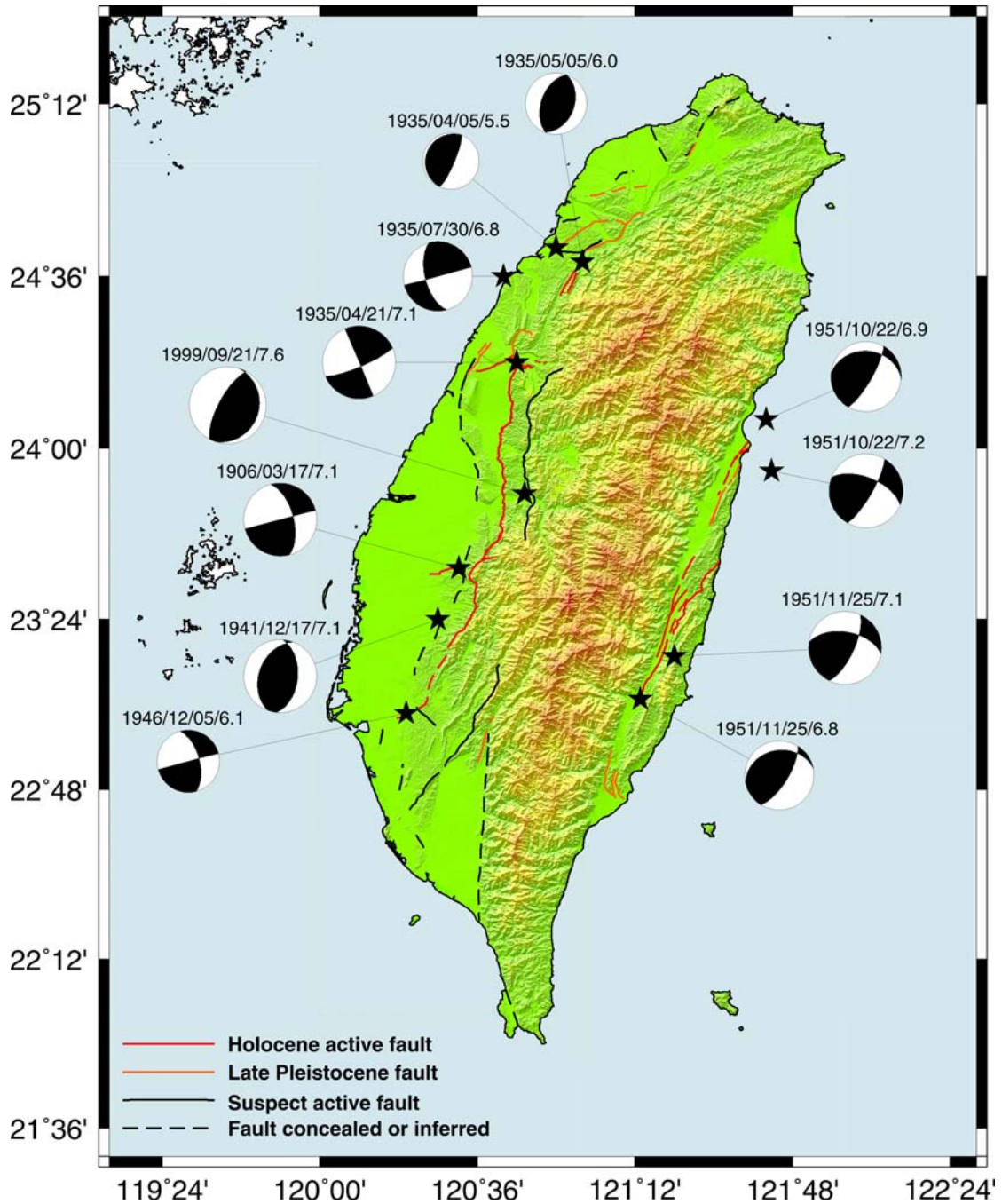


圖 1-3 台灣 1900 年以來災害性地震之震央位置圖。圖中海灘球為其各地震之相對應之斷層機制解，海灘球之四組數字代表年/月/日/震源深度(資料來源：Cheng and Yeh, 1989；中央研究院台灣寬頻地震觀測網；中央氣象局)。



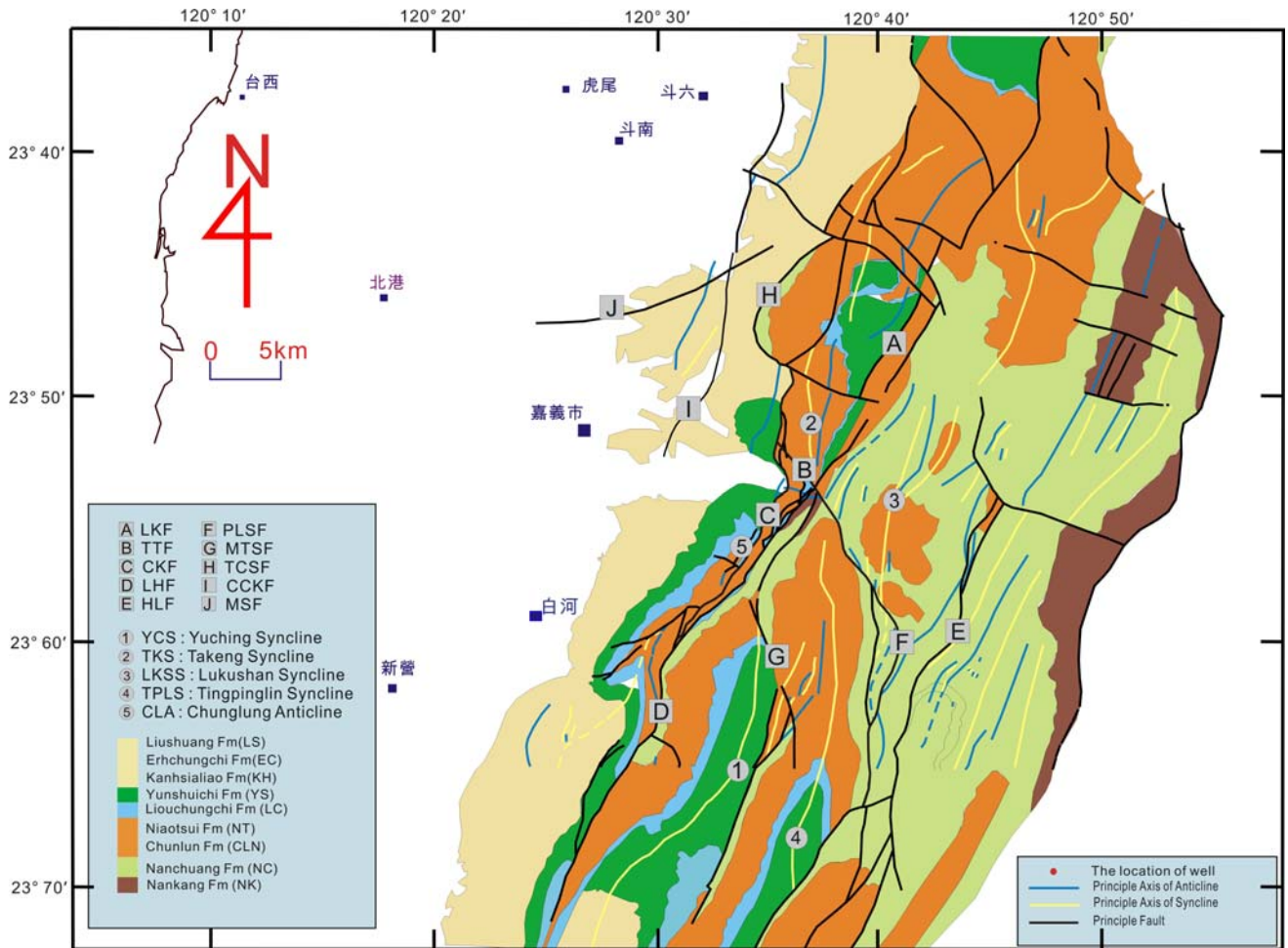


圖 1-4 嘉義地區地質構造，主要斷層線有鹿窟斷層 (Luku Fault, LKF)、獺頭斷層 (Tatou Fault, TTF)、觸口斷層 (Chukou Fault, CKF)、崙後斷層 (Lunghou Fault, LHF)、布拉社斷層 (Pilashe Fault, PLSF)、小林斷層 (Hsiolin Fault, HLF)、馬頭山斷層 (Matoushan Fault, MTSF)、大尖山斷層 (Tachienshan Fault, TCSF) 以及九芎坑斷層 (Chiushiungkeng Fault, CCKF) 及梅山斷層 (Meishan Fault, MSF)。主要的褶皺構造包括玉井向斜 (YCS)、大坑向斜 (TKS)、鹿窟山向斜 (LKSS)、頂坪林向斜 (TPLS)、以及中崙背斜 (CLA)。(資料來源：修改自中油十萬分之一地質圖幅)。

### 1.3 前人研究

嘉義地區由於地震活動頻繁，過去對活動構造研究相當多，除了透過野外地質調查，許多研主要針對麓山帶構造線之分布及斷層特性，也有不少藉由地球物理方法，如反射震測、震波速度反演進行區域性的構造分析。針對本研究方法，大致上可分三類說明：

#### 1.3.1 地震地體構造

在地震構造的研究，早期 Suppe(Suppe, 1980)利用 1973-1975 年地震活動分布探討地震活動與地質構造之間的關聯性(圖 1-5b)，他利用地震活動分布於崙後斷層下盤的疊置斷塊構造內的特性，解釋中崙背斜下方疊置斷塊的存在，不過由於當時地震定位技術的限制，因此地震資料仍顯不足。近年來由於地震定位與紀錄技術的提升，不少學者對於地震構造領域進行深入研究(e.g., Wu and Rau, 1998)，楊志成(Yang et al., 2007)利用嘉義、台南地區的地震活動分佈並結合地質構造剖面、全球定位系統等資料(Global Positioning System, GPS)，探討嘉南地區的發震特性，他認為嘉義區塊及台南區塊均可由一楔形的造山帶前緣來詮釋，各逆衝斷塊座落於一向東微傾的滑脫面上，可視為嘉南地區主要的發震構造(圖 1-5c, d)。陳于高等(Chen et al., 2008)則利用雙差分定位法(hypoDD)重新定位 1999 年嘉義地震及 1990 年至 2004 年嘉義地區之背景地震，透過背景地震的分佈與震源機制解討論小梅背斜區域的構造特性，他認為這些背景地震的產生皆由早期構造再度活動的證據，而小梅背斜的形貌正與下方背衝斷層(圖 1-5e 中的 PF3)的發育有關，且在深部發現兩個深度不同之滑脫面皆有被折彎的現象，推測為另一個更深的背衝斷層構造所造成的。

地震活動除了透露出地下斷層構造的幾何形貌，也能反映出早期構造再度受到擠壓而活化的現象。透過地震資料的分析，或許幫助我們進一步能了解嘉義地區地震活動與早期構造間的關聯性。

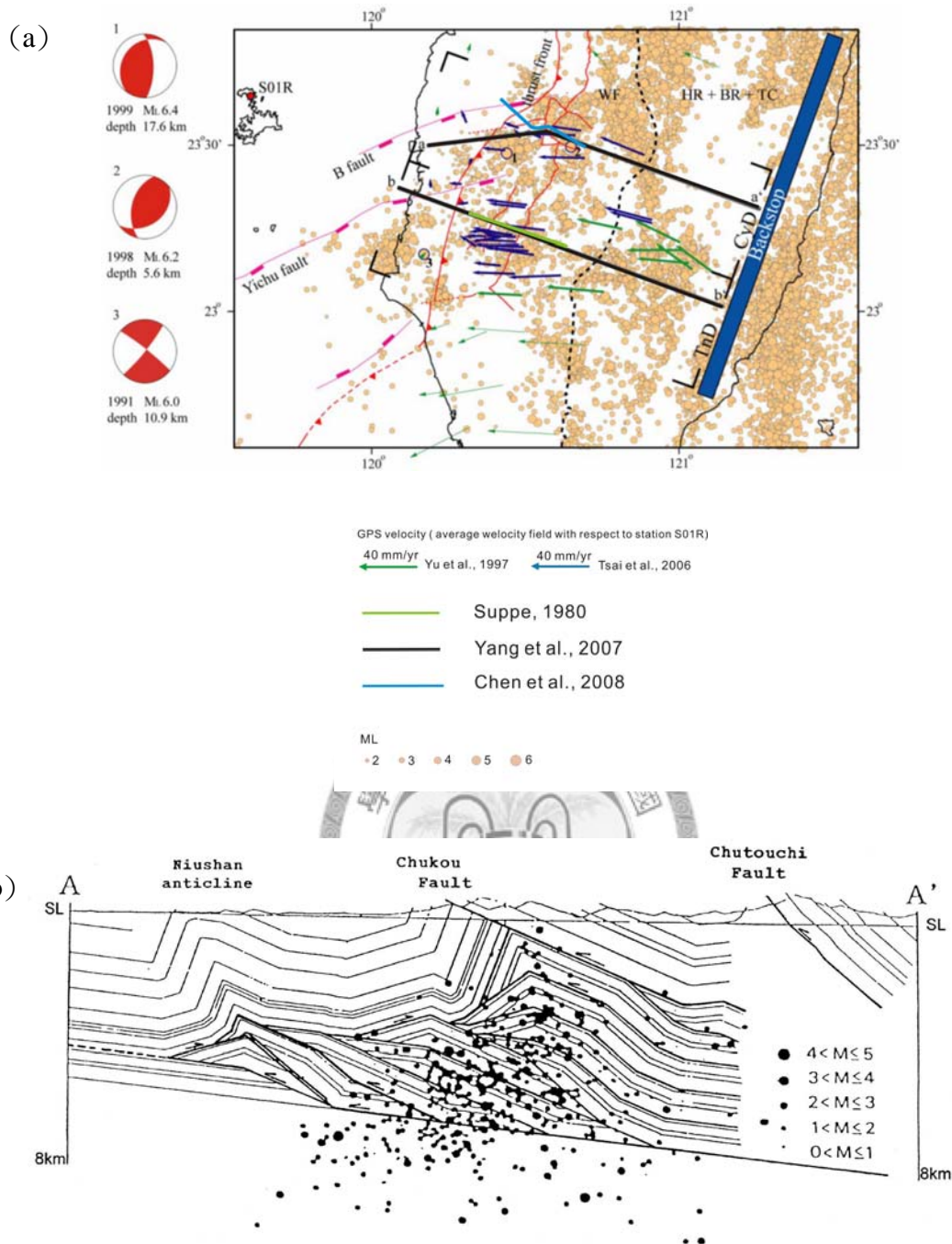


圖 1-5 嘉義地區地震構造相關研究。(a)嘉南地區地震活動分佈與相關研究剖面線位置(修改自 Yang et al., 2007);(b) 觸口斷層下盤之地震活動被認為是疊置斷塊構造的證據(Suppe, 1980) (c)(d)嘉南地區地震活動分布與平衡剖面(摘自 Yang et al., 2007)(e)小梅背斜一帶地震構造特性(摘自 Chen et al., 2008)。



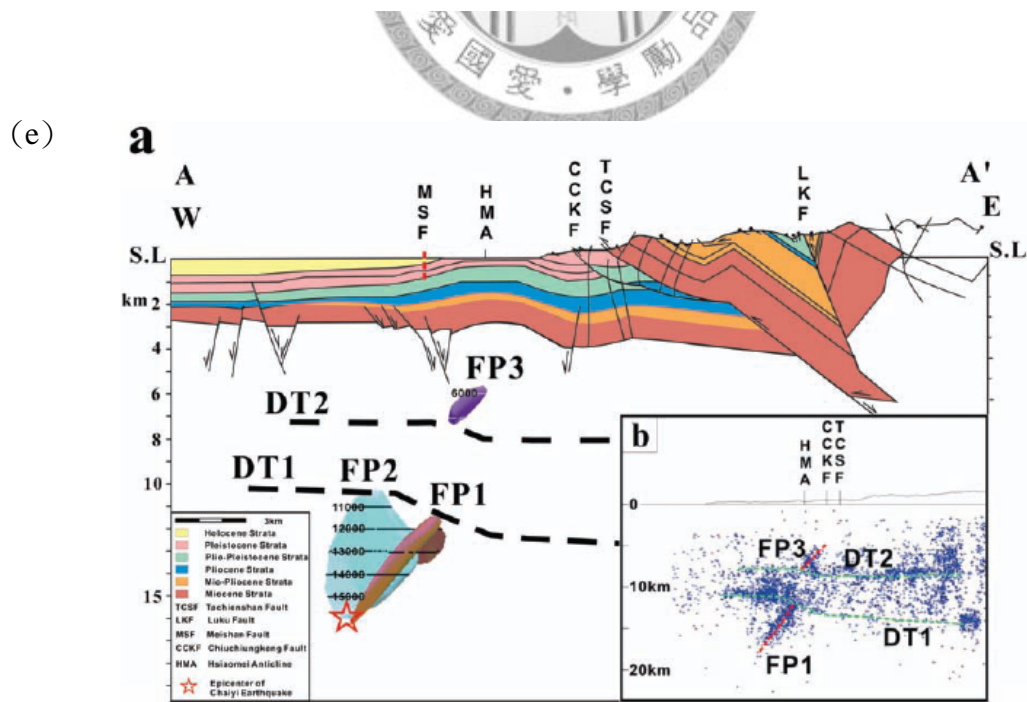
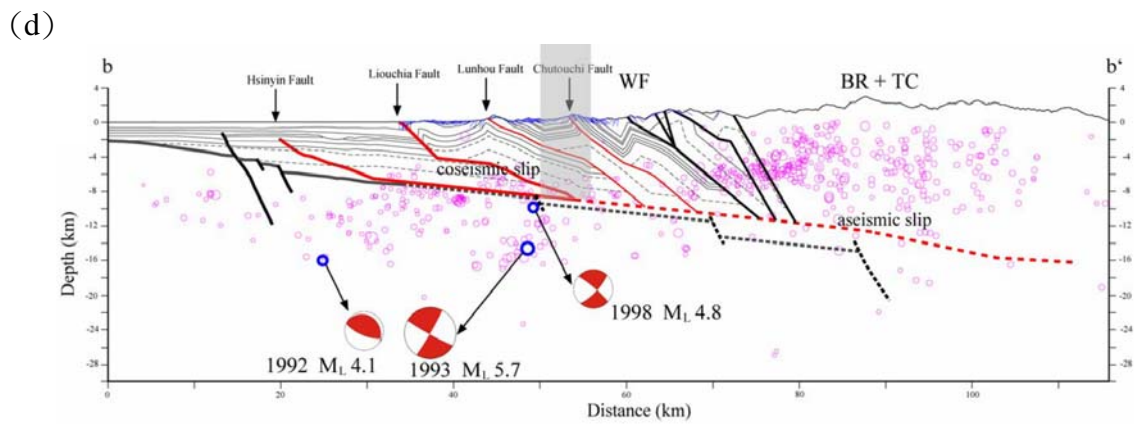
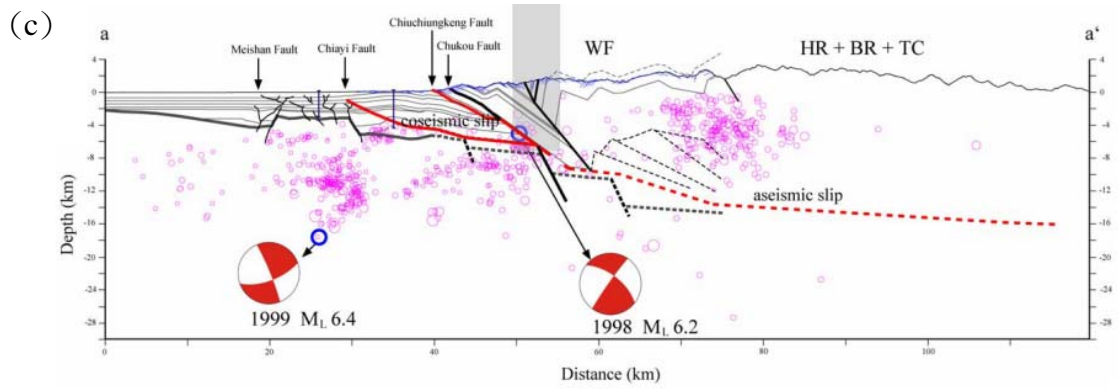


圖 1-5 續。

### 1.3.2 地質構造剖面

對於嘉義地區麓山帶地質構造研究以探討麓山帶區域性的活動斷層構造為主，而近幾年對於嘉義地區的地下構造成因有諸多不同的解釋。Suppe (1976)先以低角度基底滑移斷層—褶皺的觀念來探討台灣西南地區的地下構造成因(圖 1-6b)。而 Suppe and Namson (1979)以及 Suppe (1980, 1983)則是以斷層彎曲褶皺 (fault-bend folding)以及疊置斷塊 (duplex) 來建構觸口斷層系統的地下形貌(圖 1-6a)。其後張渝龍等(Chang et al., 1996) 及洪日豪等 (Hung et al., 1999) 提出新的觀念—正斷層復活的觀念，重新建構觸口斷層系統的地下形貌。其中，張渝龍等 (Chang et al., 1996) 完全拋棄基底滑移的斷層觀念，他認為所有逆衝斷層 (包括觸口斷層) 皆是正斷層復活而產生(圖 1-6c)。洪日豪等 (Hung et al., 1999) 則結合正斷層復活與低角度基底滑移斷層—褶皺(Suppe, 1980)的觀念解釋，故其構造剖面仍出現構造三角帶以及較深的基底滑移斷層(圖 1-6d)。而在楊耿明等(Yang et al., 2001)研究結果顯示，上述前人研究(Suppe, 1976, 1980; Suppe and Namson, 1979; Chang et al., 1996; Hung et al., 1999) 的研究區域，即關仔嶺—白河地區，地下構造地質形貌仍以低角度基底滑移斷層、斷層彎曲褶皺，疊置斷塊以及隱伏斷層為主要的特性。

近年來黃旭燦等(Huang et al., 2004)與楊志成等(Yang et al., 2007)分別於嘉義地區發表了數條地質構造剖面，其中楊志成等結合地震活動與剖面探討嘉南地區的發震特性。由於大量的震測與鑽井資料加入，黃旭燦等(Huang et al., 2004)再一次重新建構了嘉南地區的地下構造形貌，由地質剖面顯示嘉義地區麓山帶存在著兩種不同的變形機制，在嘉義地區北部其構造是由底部階梯狀基盤所主導(附錄 B)，稱為基盤包含模式(basement-involved)，這種階梯狀在構造發育的過程中扮演重要的角色(圖 1-6e)；而相對於北部階梯狀之基盤，嘉義地區崙後斷層與平溪斷層一帶的構造變形機制則為薄皮脫離模式(thin-skinned detachment)，主要沿著深部滑脫面變形，所有斷層皆由深部滑脫面所發育出來的(圖 1-6f)。

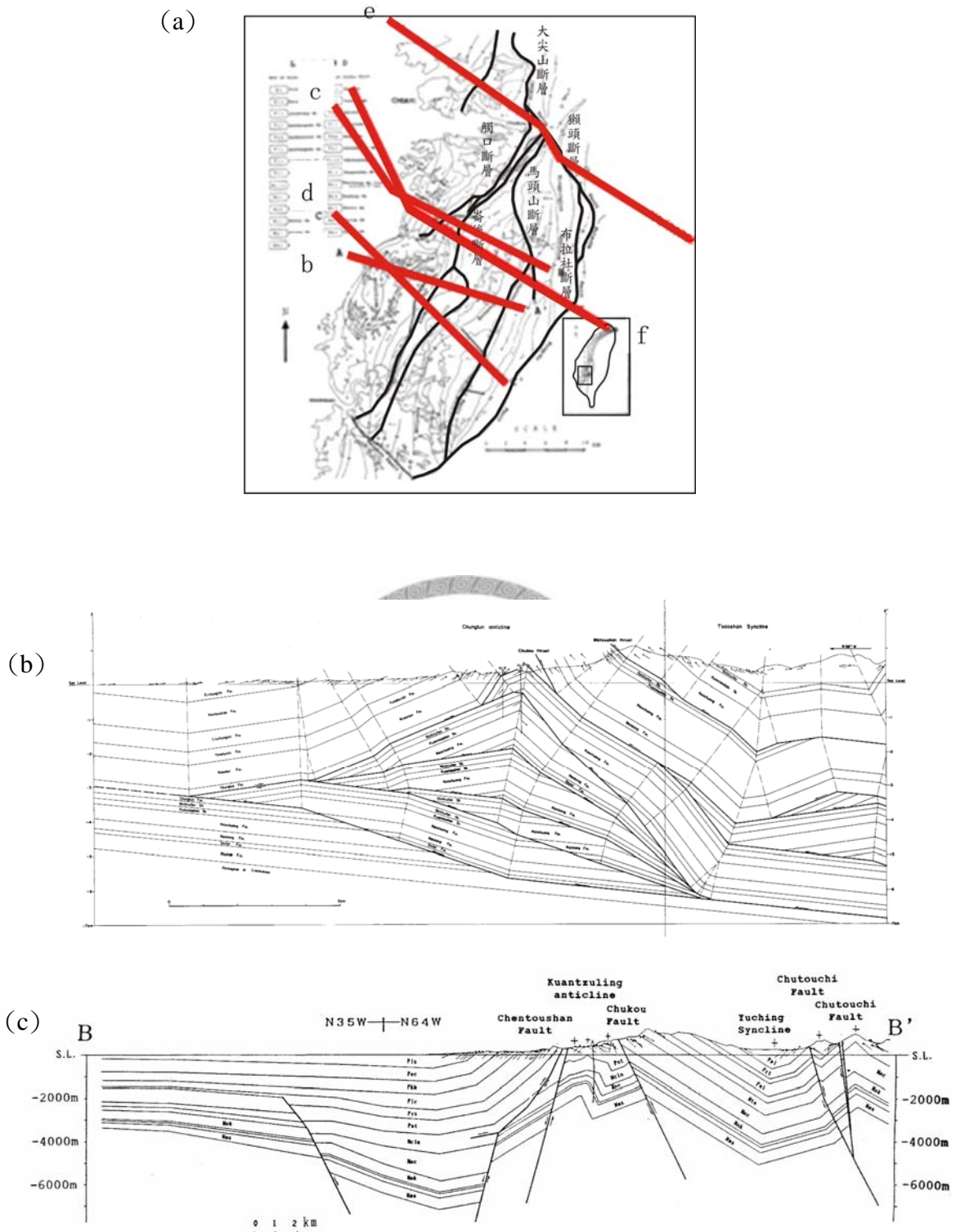


圖 1-6 嘉義觸口地區相關之地質構造剖面。(a)各地質構造剖面之位置；(b)Suppe (1980)建立之地質構造剖面；(c)張渝龍等 (Chang et al., 1996) 建立之地質構造剖面；(d)洪日豪等(Hung et al., 1999)建立之地質構造剖面；(e)(f)黃旭燦等(Huang et al., 2004)建立之地質構造剖面。

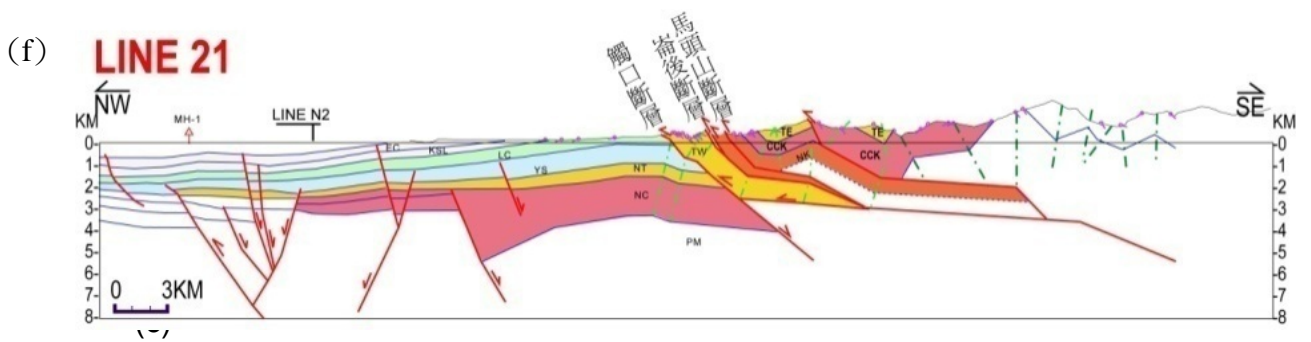
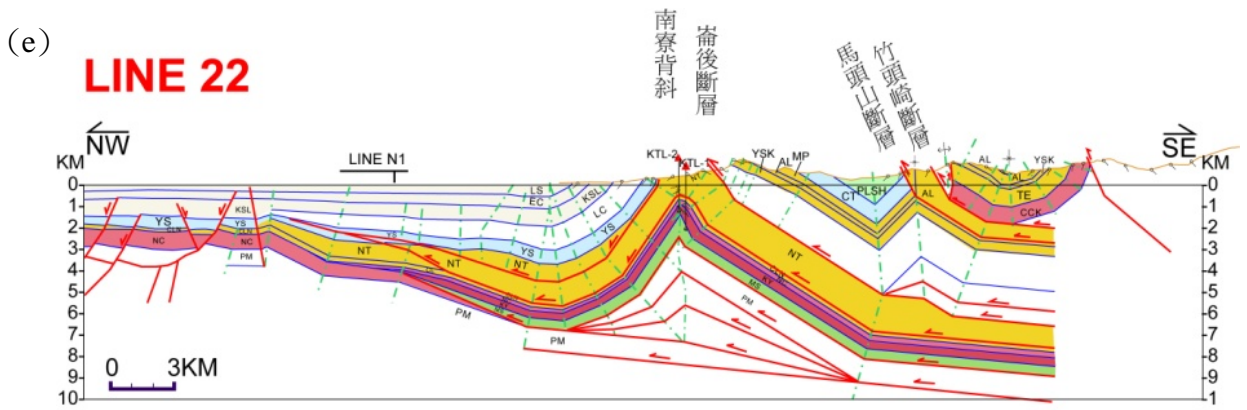
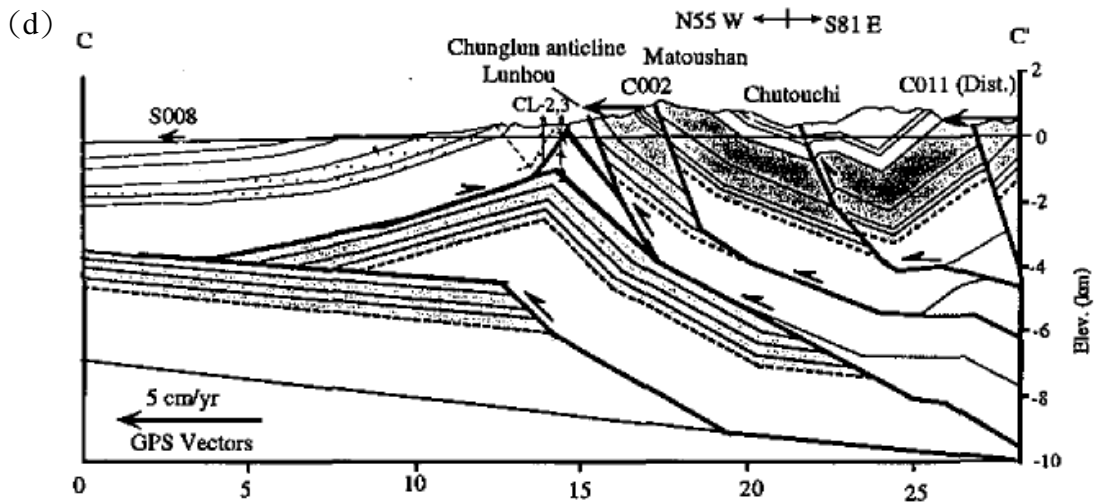


圖 1-7 續。

### 1.3.3 三維斷層模型

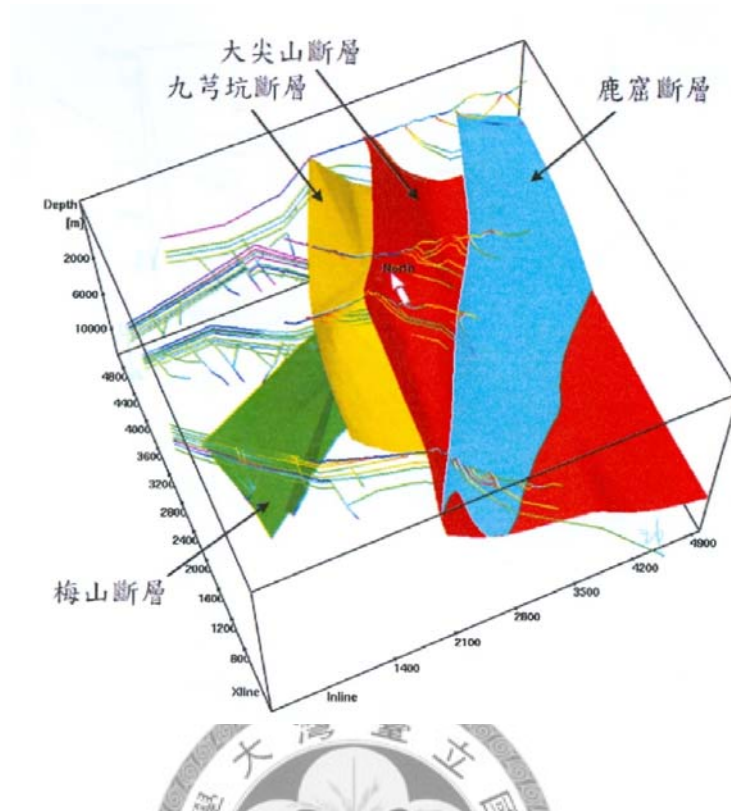
目前構造地質與地層的研究，已由二維進入三維資料整合的分析，在未來構造研究的領域中，三維地層、三維構造之基本模式之應用是重要的趨勢。

黃旭燦等(2004)在嘉南地區，以地質剖面建構此研究區內南北兩個不同構造形貌之三維地質架構(圖 1-7)。在嘉義觸口地區，大尖山斷層、鹿窟斷層以及觸口斷層皆呈東北-西南走向且往深度匯聚在於一滑脫面中，構成一系列之覆瓦狀之逆衝斷層構造(圖 1-7a)；而在台南新化地區，相同的覆瓦狀之逆衝斷層構造在崙後斷層、龍船斷層、平溪斷層以及旗山斷層也可清楚的觀察到。就斷層面的特性而言，崙後斷層走向約略成東北-西南(圖 1-7b)，具備 2 個斷坡(ramp)，且發現崙後斷層具有階梯狀的滑離面。平溪斷層位於內麓山帶地區，具有較複雜的彎曲面，其走向仍持東北-西南方向(圖 1-7b)。

雖然嘉義地區南北之三維斷層模型已有初步的成果，但對於連接南北不同構造區塊之三維模型仍然缺乏。因此，本研究中將會以二維地質構造剖面為基礎，重建大尖山-觸口斷層至竹頭崎斷層一帶的三維地下地質構造，一窺嘉義地區活動構造的全貌。



(a)



(b)

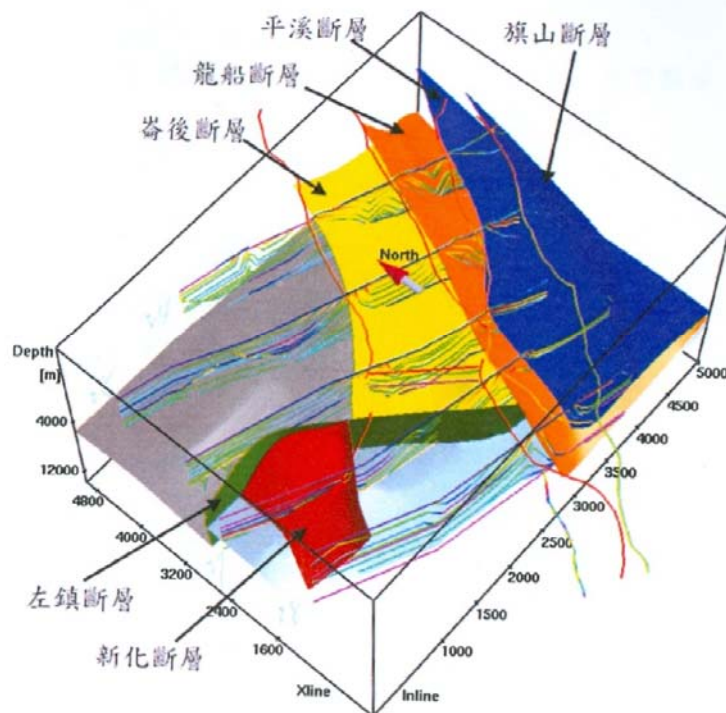


圖 1-8 台灣西南部三維逆衝斷層模型(黃旭燦等, 2004)。(a)嘉義觸口地區(b)台南新化地區。

## 第二章 地體構造和地質背景

### 2.1 區域位置與範圍

台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊碰撞聚合帶上，菲律賓海板塊每年以 8.2 公分的速率向西北方向推進(Yu et al., 1999)，並台灣的東北部及南部形成兩個不同方向的隱沒系統，一為菲律賓海板塊往北隱沒至歐亞大陸板塊下，與其共生的沖繩海槽弧後張裂系統向西延伸至東北部的宜蘭平原；隱沒系統往南轉為歐亞大陸板塊隱沒至菲律賓海板塊下，此由東南向西北的擠壓作用塑造了東北-西南走向之臺灣地體架構(圖 2-1)。台灣主要地質分區分成四個區塊(Ho, 1988)，由東向西分別為以島弧火山系統為主的海岸山脈、變質岩為主的中央山脈、由褶皺與斷層交錯分佈的西部麓山帶及沉積物為主的西部平原區(圖 2-1)。

整個西南部麓山帶的地質構造乃一典型的覆瓦狀排列的褶皺-逆衝斷層帶，地層尚未受到變質作用，但已受到開放型褶皺作用的變形，褶皺-逆衝斷層帶大致走向為東北北-西南南，但呈 S 形彎曲(圖 2-2)，顯示麓山帶構造發育過程受北港高區影響(Lu, 1994, 1995; Lu and Malavieille, 1994; Lu et al., 1998)，其朝平原區凸出的一段面向台西盆地，而內凹的一段則面向北港基盤高區，南段則開始轉朝向台南盆地。

本研究區域所涵蓋的區域包括嘉義地區內麓山帶與外麓山帶，北邊從大尖山斷層一帶，南至馬頭山斷層南端區域(圖 2-3)。

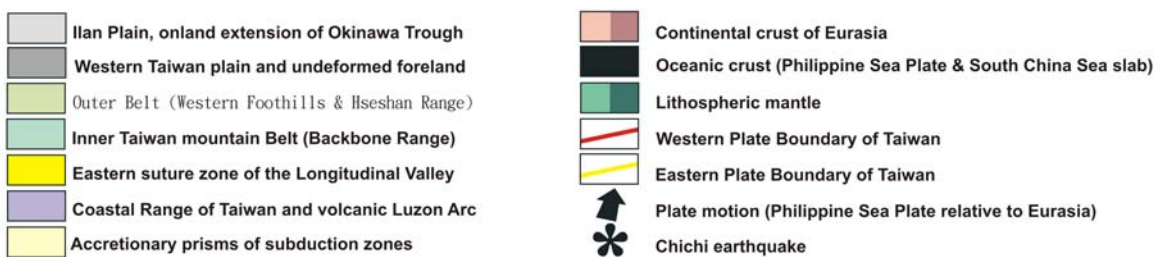
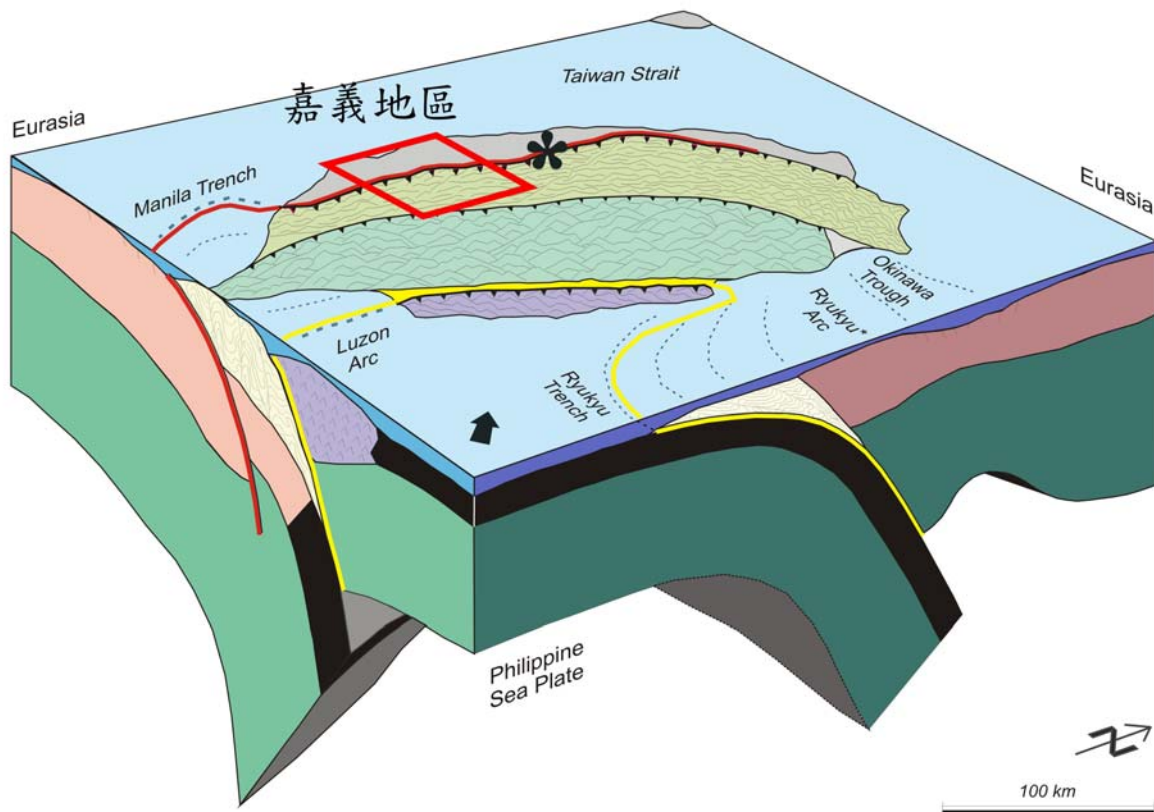


圖 2-1 台灣三維地體構造，主要分成四個地質區塊，由東向西分別為以島弧火山系統為主的海岸山脈、變質岩為主的中央山脈、由褶皺與斷層交錯分佈的西部麓山帶及沉積物為主的西部平原區（摘自 Angelier et al., 2001）。



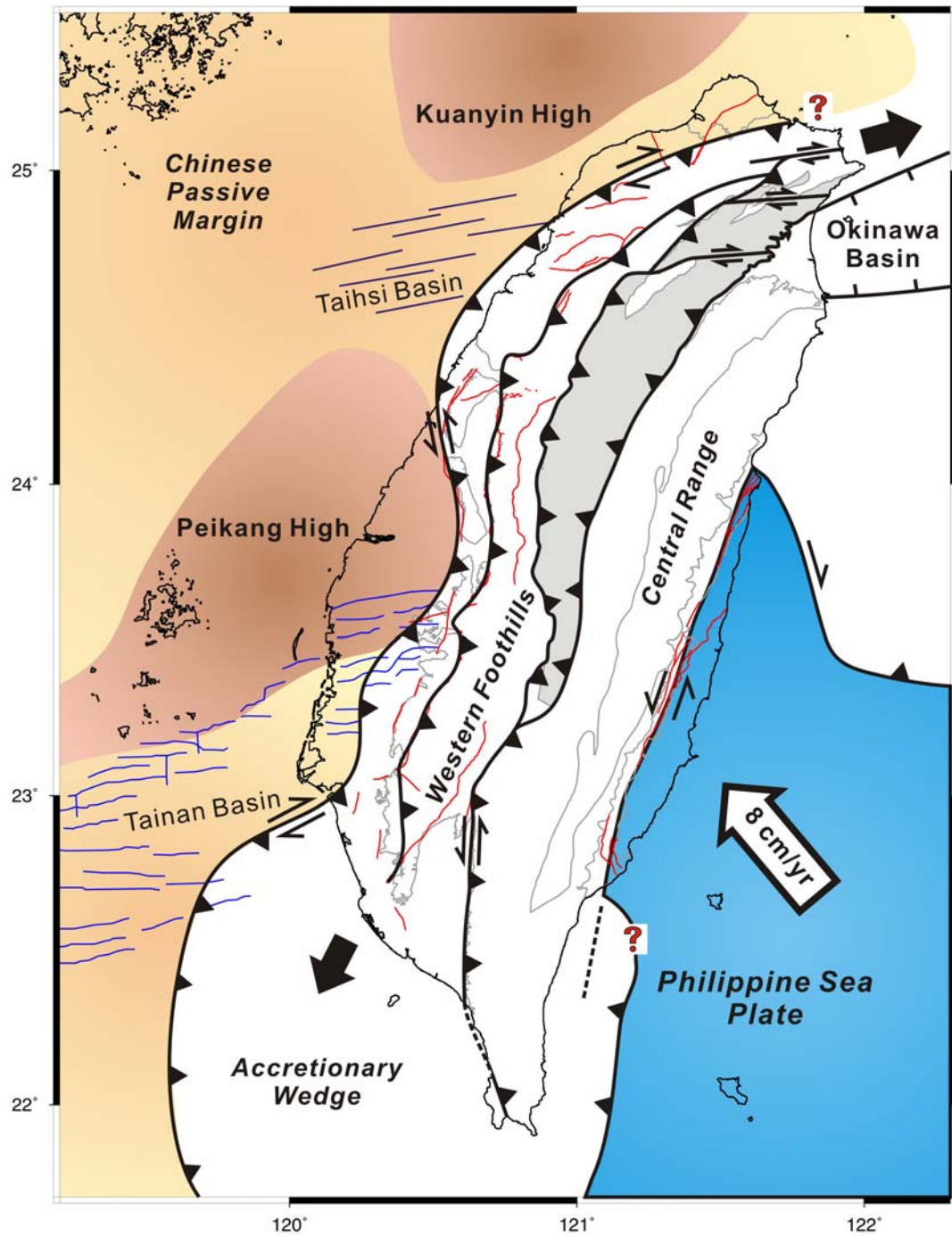


圖 2-2 台灣褶皺-逆衝帶構造線分佈，褶皺-逆衝斷層帶大致走向為東北北-西南南，但呈 S 形彎曲，其朝平原區凸出的一段面向台西盆地，而內凹的一段則面向北港基盤高區，南段則開始轉朝向台南盆地。

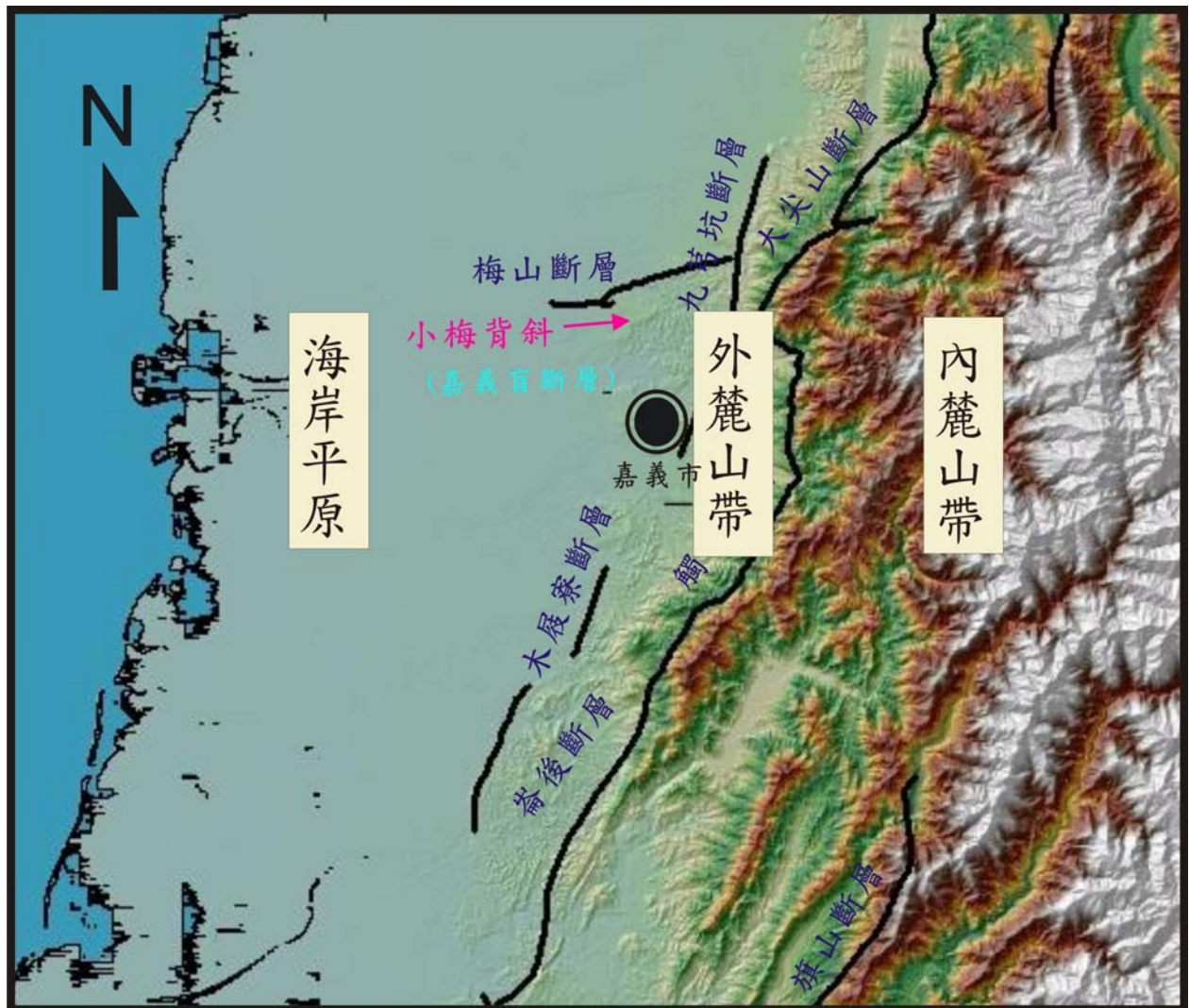


圖 2-3 本研究區域範圍，以大尖山-觸口-崙後斷層區隔為內麓山帶與外麓山帶，九芎坑斷層與木屐寮斷層則區隔外麓山帶與海岸平原(陳文山等，2004)。

## 2.2 地質概況

### 2.2.1 地質構造

在本研究區域中，重要的斷層依序為大尖山、鹿窟、觸口、獺頭、崙後、馬頭山、小林及布拉社斷層等，其中大尖山斷層-觸口斷層-崙後斷層是西南部麓山帶當中最主要的斷層，斷層的斷距超過 2000 公尺；並將其分割為內麓山帶與外麓山帶，並代表麓山帶地形、構造與地層分布主要的分界(陳文山等，2004)。而褶皺構造則以六重溪背斜、南寮背斜、中崙背斜、玉井向斜及頂坪林向斜等主要構造(圖 1-4)，分述如下：

#### 1. 鹿窟斷層(LKF)

鹿窟斷層在地表呈北北東走向，其北端為內磅斷層截切後，北接石壁斷層，斷層西側出露地層大部分為卓蘭層，東側出露地層則為大窩砂岩。此斷層面為向東傾斜之高角度逆斷層，傾角約  $65^{\circ}$ (楊耿明等，2001)。

#### 2. 大尖山斷層(TCSF)

從南投縣竹山嶺向西南經桶頭至柿子寮後再轉向東南至嘉義竹崎金獅寮附近，長度約為25公里，為一東傾之逆衝斷層(中國石油公司，1986；黃鑑水等，1992，1993)。中國石油公司台探總處(1986)及劉桓吉與李錦發(1998)認為車籠埔斷層的南端與大尖山斷層的北端，同時與一橫移斷層—鹿寮斷層連接，但未說明鹿寮斷層與兩斷層的關係。在地下斷層形貌上，大尖山以 $40^{\circ}$ 的傾角自地表下傾，至深處與水平的九芎坑斷層合併於澗水溪層中部後，向東延伸3公里即轉為約傾角 $32^{\circ}$ 的斷層，顯示大尖山斷層下盤保留正斷層特性(楊耿明等，2001)。

### 3. 觸口斷層(CKF)

觸口斷層沿線出露上盤地層以桂竹林層、南莊層、南港層為主；下盤地層為沖積層、台地堆積層、頭嵙山層、六重溪層、澗水溪層、烏嘴層與中崙層（中國石油公司，1986）。在觸口斷層與大尖山斷層線兩側的地層層位落差明顯。耿文甫（1974）調查臺灣西南部之南莊層的出露點，位於觸口斷層上盤的南莊層，層位落差有數百公尺。依照黃鑑水等（1994）調查觸口斷層在觸口附近東側上盤之南莊層與西側下盤之六重溪層接觸，層位落差達2千公尺以上，但越往南層位落差漸緩。過觸口南邊，上盤改由烏嘴層與下盤六重溪層接觸，層位落差至1千公尺以下，而在觸口斷層以東與之約略平行的崙後斷層越往南的層位落差與規模則逐漸加大。

在地下斷層形貌上，中油公司曾在中崙附近探井，由中崙CL-1探井資料推論，觸口斷層向上至地表傾向東南頗為陡直，像地下逐漸變緩沿層面至深處消失（張錫齡，1962），斷層面呈曲面凹向下的形式。由地層層序推測知地表附近可能為高角度逆斷層，到地底某深度再轉成低角度逆斷層（詹新甫和耿文甫，1968），黃鑑水等（1992, 1993, 1994）則認為觸口斷層為自東向西逆衝之第四紀高角度斷層逆斷層，走向主要近北北東-南南西，其將中新世晚期的地層逆衝至上新更新世的地層上。

#### 4. 崙後斷層(LHF)

崙後斷層（中國石油公司，1986）為逆移斷層，一般認為是觸口斷層的南向延伸（例如張徽正等，1998；林啟文等，2000）。斷層大致呈北北東-南南西走向，與觸口斷層大致平行且相隔甚近的一條斷層，北端到獺頭斷層為止，其中在關子嶺地區與觸口斷層相接，再往南與地層大致平行。崙後斷層於部分位置將南港層的地層逆衝上來與相當於桂竹林層的關刀山砂岩相接觸，岩體相當的破碎。崙後斷層也是分隔臺灣西部外麓山帶與內麓山帶的主要斷層。斷層上盤主要出露地層包括長枝坑層、糖恩山砂岩、鹽水坑頁岩、隘寮腳層、茅埔頁岩與竹頭崎層（中國石油公司，1986）。崙後斷層截切更新世中期以前的地層，在曾文溪與菜寮溪流流域並未發現截切更新世晚期地層的證據。近期的跨崙後斷層的地殼變形結果顯示，斷層兩側的水平位移量約 20 公厘/年，因此仍有明顯的壓縮作用，但斷層可能以非震性的潛移方式活動（林啟文等，2007）。由地層分離圖果顯示，崙後斷層發育初期至少有兩個側斜坡與兩個下部斷坪，在側向分別代表位於長枝坑層底部附近及糖恩山砂岩之內的兩段低緩滑移面，向上分別連結兩個位於淺層的竹頭崎層和北寮頁岩的上部斷坪（王佳彬等，2005）。

#### 5. 馬頭山斷層(MTSF)

為一逆斷層，最北段從獺頭斷層開始出現，往南延伸連接竹頭崎斷層與頂坪林斷層。斷層東側出露最老岩層為南港層與南莊層，斷層走向在北端大致平行於南莊層，往南則截切烏嘴、中崙等年輕地層。斷線兩側層位之落差，北段甚小，中段漸增至 1000公尺，至南段三腳南山山嶺之下，已達200公尺以上。

#### 6. 獺頭斷層(TTF)

乃一橫斷層，斷線之走向與地層幾成直交，斷線西南之草山向斜，已於小公田附近圈合，地層屬關刀山砂岩以上至大窩細砂岩，而斷線東北之地層，則為南庄煤系，走向為北 40 度西，傾斜向東北，兩者顯然不相連續。

## 2.2.2 地層

本研究區域中以中新世至上新世之沉積地層為主，地層分布大致以區隔內外麓山帶的大尖山-觸口斷層為界，斷層兩側分布有明顯的差異。在大尖山-觸口斷層以東之地層以第三紀中新世至第四紀更新世之沉積岩為主，包括中新世的南港層、紅花子層、長枝坑層、糖恩山砂岩、鹽水坑層與上新世早期的隘寮腳層(鳥嘴層)、茅埔頁岩、竹頭崎層、北寮頁岩等；而斷層以西出露地層則以中新世晚期至全新世沖積層為主，包括中新世晚期的中崙層、上新世的鳥嘴層、澗水溪層與更新世的六重溪層、崁下寮層、二重溪層、六雙層以及現代沖積層等。

在地層的命名上，除大尖山斷層區域附近之地層為台中區域地層系統外，其餘出露的地層主要以崙後斷層做區隔分成嘉義區域及台南區域兩套地層系統，各地區的地層系統對照如表 2-1 所列。綜合多位前人研究本區域之地層特性，整理如下：

### 1. 六雙層(LS)

六雙層出露分布於台灣西南部丘陵，以及掩覆於西南部平原的台南層之下，大部份由暗灰色至青灰色泥岩和夾有砂岩和粉砂岩互層的頁岩組成(張錫齡，1962)，有時也含有較厚的砂岩，及豐富的貝類和有孔蟲化石以及漂木碎塊。

### 2. 二重溪層(EC)

二重溪層為中油在西南部所建立的三個更新世地層其中之一，與崁下寮層或鏡面砂岩成同時亦上覆於古亭坑層之上。由頁岩和細粒至中粒砂岩的互層組成，砂岩內含有豐富的海相貝類化石和漂木碎塊。

### 3. 崁下寮層(KH)

以頁岩和粗粒砂岩為主，主要分布在六甲沿線之東側。

### 4. 六重溪層(LC)

以砂質泥岩或泥質砂岩為主，主要分布在關子嶺地區西側，岩層內富含貝類化石，有時呈薄層的密集狀態，有時呈碎屑零散分布；岩層有時也呈薄層狀，並



顯出一些明顯的沉積構造。

#### 5. 沅水溪層(YS)

在關子嶺地區為相當重要的一地層，以泥質砂岩和砂質泥岩為主，中間夾一透鏡狀之石灰岩體，此石灰岩體即構成枕頭山的材料。石灰岩體的組成大致是東側為底棲性有孔蟲與貝類碎屑，往西為石灰藻，再往西側為鈣質海綿與泥之混合，並成 10 公分以內之層狀，最西側為貝類、珊瑚及其碎屑。整體而言為含碳酸鈣質的生物碎屑膠結而成。其中海綿與泥混合的部分即構成麒麟尾的主要材料。

#### 6. 烏嘴層(NT)

烏嘴層是關子嶺溫泉泉源的最主要分布地層，主要由淡灰色至灰色的泥質細砂岩所組成，夾薄層灰色頁岩。為厚層塊狀砂岩，所以在地形上特別突出，乃因厚層砂岩抗蝕力較強之故，其中偶爾也見到零散的貝類化石。

#### 7. 中崙層(CLN)

中崙層主要由灰黑色頁岩和砂質頁岩組成，局部夾有泥質砂岩，地面和地下剖面全厚達 500 公尺左右。

#### 8. 南莊層(NC)

含煤的南莊層的南界在阿里山，在阿里山煤田內，南莊層主要的岩石為淡青灰色厚層砂岩、砂岩和頁岩所成條帶狀的薄葉互層、和深灰色頁岩，若干白砂岩的薄層可能是臺灣北部南莊層中最有特性的岩石代表。海相化石已經逐漸增多，植物碎片在煤層附近的炭質頁岩中也有相當數量。阿里山區的南莊層的厚度為 1000 公尺，但它的底部還沒有出露。在阿里山以南，與南莊層相當的地層就全部變為海相地層，不再含煤。在臺灣的南部（臺南縣和高雄縣），含煤的南莊層已經為海相地層所取代，和其相當的海相地層自下至上有三民頁岩的大部、紅花子層及長枝坑層，本研究中統稱南莊層。

#### 9. 南港層(NK)

本層總厚約 1000 公尺，分佈於烏山嶺西腹、關子嶺、中埔鄉凍子腳、中崙及藤寮子等地東面，於觸口之東為獺頭斷層所截斷，為砂岩與頁岩所成。

#### 10. 北寮頁岩(PL)

本層有出露於口宵里斷層以東及玉井向斜一帶，約 450 公尺厚。岩性以灰色頁岩為主，常夾有薄至中層之疏鬆泥質砂岩。

#### 11. 竹頭崎層(CT)

本層出露於口宵里兩側，厚約 300-650 公尺，並向東北方減薄，但其砂岩百分比則向東北方向增加。岩性以淡灰色細粒部份中粒之塊狀砂岩和泥質砂岩夾灰色頁岩之地層為主。

#### 12. 茅埔頁岩(MP)

本層厚度約有 200-250 公尺，以青色至灰色之頁岩夾薄層泥岩為主，偶夾厚泥質砂岩，並於曾文新村之東南方為口宵里斷層所截切。

#### 13. 隘寮腳層(AL)

本層厚約 300-460 公尺，向東北方增厚，砂岩並且向西北方增厚而發育成淘選良好之砂層。主要岩性為淡灰色、灰色、黃灰色細粒至中粒，淘選良好之砂岩與泥質砂岩及暗灰色頁岩，砂頁岩互層，層面良好平直，砂岩中時呈不規則紋層構造，本層富含雲母片、碳物質、及貝類化石、漣痕等，並常見化石。

#### 14. 鹽水坑層(YSK)

本層厚約 260-300 米，向東北方增厚，於三腳石附近，凸鏡狀砂岩發達並有崩移構造。本層岩性主要由暗灰色之頁岩與砂質頁岩組成，偶夾褐灰色砂岩或石灰質砂岩，下段可見夾厚層灰色之細粒部份中粒泥質砂岩或砂質頁岩數層，常呈鈣化。各層並富含密集化石帶，層面不清晰，本層在地形上因差異侵蝕多呈低漥河谷或鞍部。



#### 15. 糖恩山砂岩(TE)

本層厚約 650-700 米，以青灰色細粒緻密砂岩與泥質砂岩為主，夾有深灰色頁岩及砂質頁岩。砂岩富含雲母片，堅硬緻密多呈塊狀，常呈陡峭崖壁，河流切穿深隧峽谷，泥質砂岩中因生物擾動頗為強烈，泥質與砂質混濁膠雜，層面不明析。

#### 16. 長枝坑層(CC)

本層厚度約 400 公尺，該層上部含有二至三層中至粗粒疏鬆厚層砂岩。本層由很厚的一套深灰色頁岩和淡灰色細粒砂岩組成，含有不同種類的海相化石。砂岩很緻密堅硬，部分且為石灰質，主要成份是亞混濁砂岩。砂岩中偶爾可以見到炭質或植物碎片，沒有見到白砂岩和煤層。頁岩非常堅緻，略有硬化的現象。長枝坑層的厚度可以達到 1200 公尺，向東或向南可能更厚，大概有 1600 公尺左右。

#### 17. 紅花子層(HH)

出露於紅花子一帶，厚度約 1000 公尺左右，岩性主要以灰色厚至極厚層細粒砂岩和部份泥質砂岩，間夾砂岩與頁岩之互層，並含碳質物及雲母碎片，本層所夾塊狀砂岩，由上部至下部砂岩泥份漸增，而於地形上常呈懸崖峭壁。

#### 18. 三民頁岩(SM)

主要出露紅花子北面一帶，岩性以深灰色至黑灰色緻密頁岩為主，間夾灰色及細粒薄層泥質砂岩或粉砂岩，偶夾厚層泥質砂岩。

表 2-1 台中、嘉義及台南地區地層對比表(引自 Yang et al., 2007)。

Age(Ma)		台中地區 Taichung Domain	嘉義地區 Chiayi Domain	台南地區 Tainan Domain	圖示 Units	構造 Tectonic Phase			
0.012	更新世 Pleistocene	現代沖積層	現代沖積層	現代沖積層		Collision			
0.5		頭嵙山層 Toukoshan Fm	六雙層 Liushuang Fm	六雙層 Liushuang Fm	LS				
1			二重溪層 Erchungchi Fm	二重溪層 Eehchungchi Fm	EC				
			炭下寮層 Kanshialiao Fm	玉井頁岩 Yuching Sh. 蘇厝砂岩 Sungshien ss	KH		YC CM		
2	卓蘭層 Cholan Fm	六重溪層 Liouchungchi Fm	北寮頁岩 Peilliao Fm	LC	PL				
3		錦水頁岩 Chinshui Sh	汙水溪層 Yunshuichi Fm	YS	CT				
4	上新世 Pliocene	魚藤坪砂岩 Yutengping Ss	鳥嘴層 Niaotsui Fm	隘寮腳層 Ailiaochiao Fm	NT	AL			
5							十六份頁岩 Shihliufen Sh	茅埔頁岩 Maupu Sh	MP
6	中新世 Miocene	關刀山砂岩 Kuantaoshan Ss	中崙層 Chunlun Fm	鹽水坑頁岩 Yenshuikeng Sh	CLN	YSK			
7							糖恩山砂岩 Tangenshan Sh	TE	
9		上福基砂岩 Shangfuchi Ss	南莊層 Nanchuang Fm	長枝坑層 Changchihkeng Fm	NC	Nanchuang Fm	CC		
10							東坑層 Tungkeng Fm	紅花子層 Hunghuatzu Fm	HH
11			三民頁岩 Sanmin Sh			SM			
12	中新世 Miocene	觀音山砂岩 Kuanyinshan Ss	南港層 Nankang Fm	南港層 Nankang Fm	NK	NK			
15							打鹿頁岩 Talu Sh.		
							北寮層 Peilliao Fm		
20		石底層 Shihtsi Fm					ST		
		碧靈頁岩 Piling Sh.				PLI			
		木山層 Mushan Fm				MS			
25	漸新世 Oligocene	五指山層 Wuchishan Fm							
30									

### 2.2.3 藤寮1號井

本研究剖面中的地表地質資料為中油十萬分之一的嘉義地質圖幅(中國石油公司, 1986)與臺南地質圖幅(中國石油公司, 1989), 地下地質資料則為楊耿明等(2001)所發表台灣陸斷層帶地質構造與地殼變形調查研究-西南地區(觸口斷層)的T-1探井地下地質資料。T-1井總井深為2197.7公尺, 由上往下鑽遇的地層分別有湮水溪層下段、烏嘴層、中崙層以及南莊層, 且於深1350公尺及1720公尺處鑽遇斷層及假整合, 其中斷層出現在中崙層間, 假整合則為南莊層頂部, 各地層之深度如表2-2所示。

表 2-2 T-1 井鑽遇各地層與斷層之深度、地層走向以及地層傾角(資料來源: 楊耿明等, 2001)。

地層	湮水溪層下段	烏嘴層	中崙層	斷層	中崙層	假整合	南莊層
鑽深(公尺)	0-32	32-671	671-1350	1350	1350-1702	1702	1702
地層走向		N50°E	N25°E		N30°E		N55°E
地層傾角		10°NW	13°NE		16°SE		12°NE

## 2.3 活動構造

台灣西南部地區為目前正在活動的構造帶，根據經濟部中央地質調查所的「活動斷層概論—五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說，本研究區域中梅山斷層、大尖山斷層以及觸口斷層皆為第一類活動斷層(表 2-3)。然而，Shyu et al. (2005)卻認為由地形上的證據顯示觸口斷層已經停止活動，目前嘉義地區活動構造則是位於嘉義丘陵(及中崙背斜、南寮背斜等)與嘉南平原下方的低角度盲斷層(圖 2-4, 2-5)。

在其他相關研究中，陳柔妃(1998)與黃筱婷(2008)分別利用地形計測指標與河流水力侵蝕模型針對嘉南地區活動構造進行研究。其中，在陳柔妃的研究結果中，觸口斷層至九芎坑斷層河流坡降指標值明顯偏高，推測可能為逆衝斷層造成之抬升作用影響，且在小梅背斜軸部具有活動的跡象；另外，黃筱婷(2008)的研究結果顯示嘉義地區構造抬升率以八掌溪為界，八掌溪以南的區域其構造抬升率較八掌溪以北的區域高。

在 GPS 研究方面，在蔡旻倩(2003)的「台灣西南部 GPS 姿造時間序列分析與地殼變形模式研究」中，水平地殼運動速度場顯示，以九芎坑—木屐寮—六甲斷層的線型位置為分界，由東到西有明顯速度變小的趨勢，在嘉南沿海一帶，其相對於澎湖白沙島的速度幾乎為零。另外，由景國恩等(2008) 1995-2005 年之 GPS 觀測資料顯示(圖 2-6)，在觸口—崙後斷層東側的區域 GPS 速度向量場明顯大於西側的區域，此結果暗示了觸口—崙後斷層東側目前可能有構造活動。

因此，嘉義地區活動構造的分布與觸口斷層之活動性目前仍無較一致的看法與定論。

表 2-3 台灣西南部斷層之活動情形(資料來源：摘自林啟文，2000)

斷層名稱	活動斷層分類	斷層性質
九芎坑斷層	存疑性	逆移斷層兼具右移性質
梅山斷層	—	右移斷層
大尖山斷層	—	逆移斷層
木屐寮斷層	存疑性	逆移斷層
六甲斷層	存疑性	逆移斷層
觸口斷層	—	逆移斷層
新化斷層	—	右移斷層
後甲里斷層	存疑性	正移斷層
左鎮斷層	存疑性	左移斷層

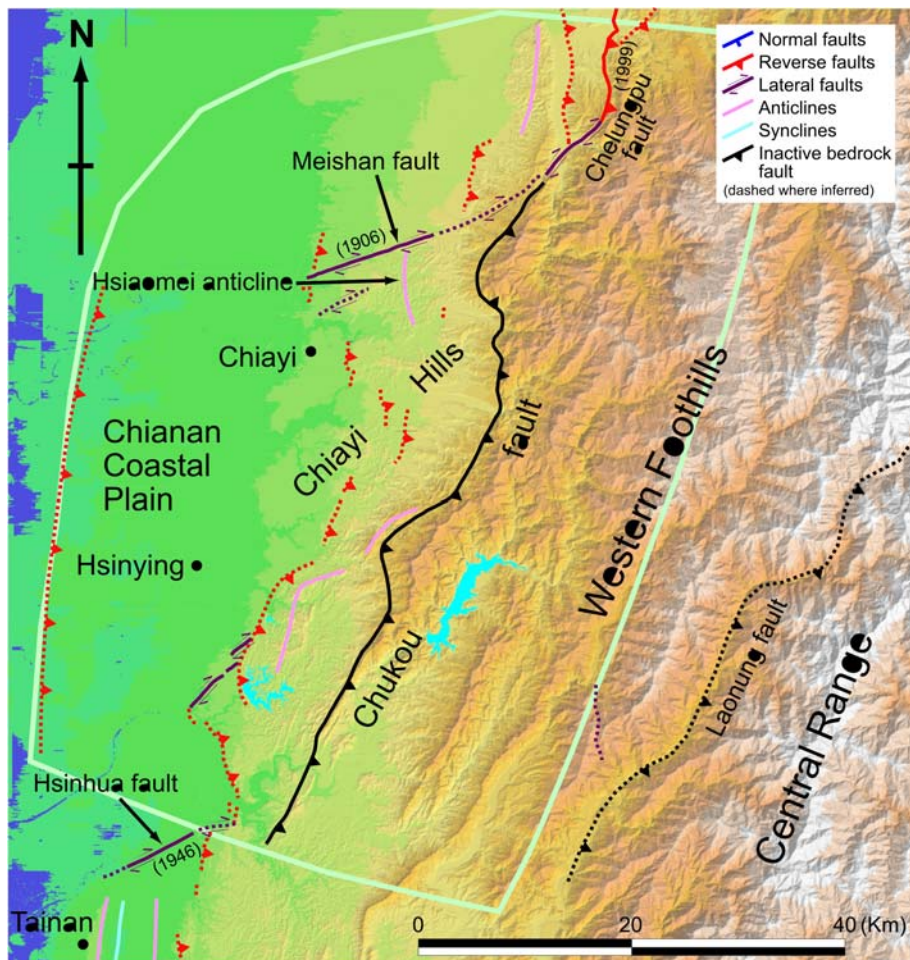


圖 2-4 嘉義地區活動構造分布，由地形證據顯示觸口斷層已不再活動(Shyu et al., 2005)。



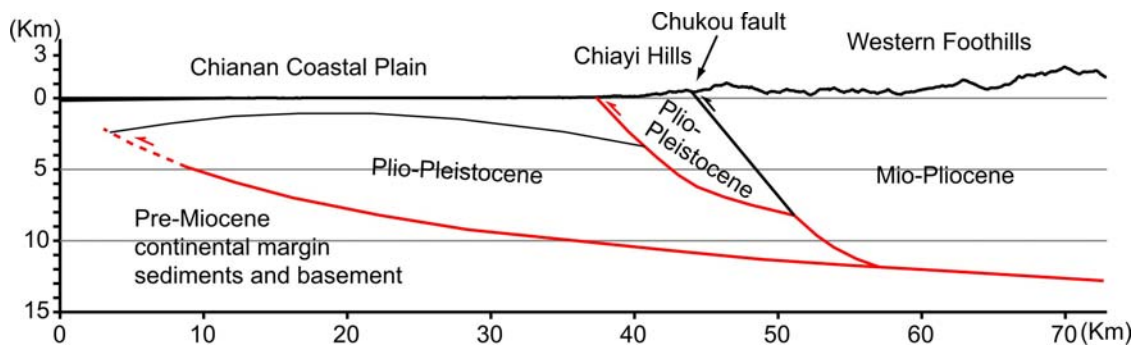


圖 2-5 嘉義地區地質構造剖面概略圖，紅線為活動構造，黑線為非活動構造，嘉義丘陵與嘉南平原為嘉義地區的活動構造(Shyu et al., 2005)。

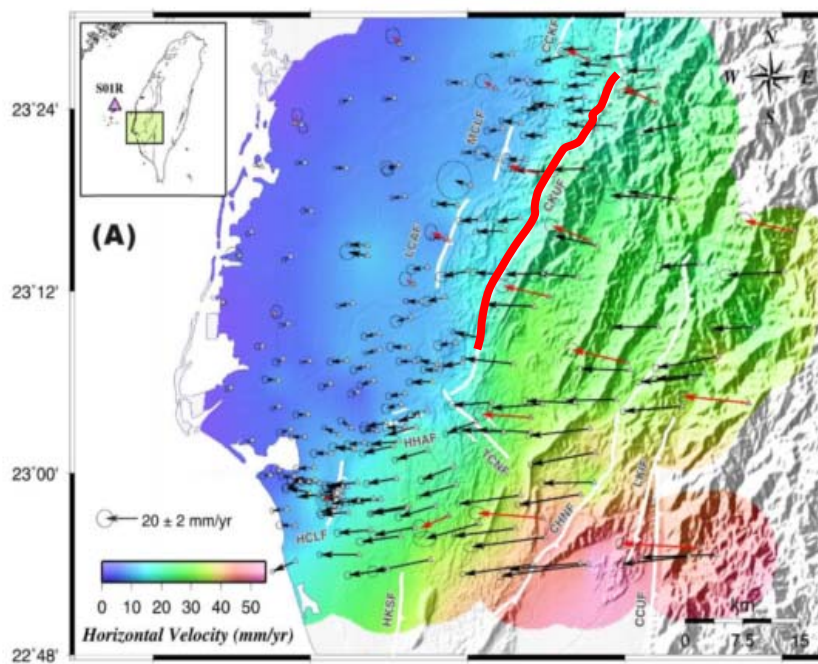


圖 2-6 1995-2005 年之 GPS 觀測資料，紅線為觸口—崙後斷層，黑色箭頭為 GPS 速度向量場，單位 mm/yr(景國恩等，2008)。

## 第三章 研究方法

### 3.1 平衡剖面之建構與理論

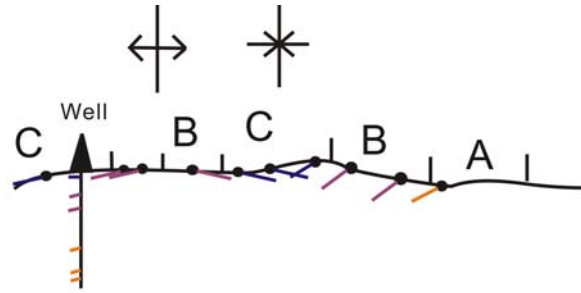
構造平衡法是以嚴謹的作圖方法所建立的構造地質剖面，它是根據該剖面沿線全部可用的各種地質資料，包括地表上沿剖面一線良好的地質控制資料，如地層邊界和斷層出露位置及傾角變化。加上地下資料，如井測及震測資料，以及沿剖面走向上的各種地質特性變化所建立的構造地質剖面，所以能提供更準確的地下構造變形的模型。根據變形前後岩體在體積、面積、長度以及厚度守恆的假設，這些構造其褶皺兩翼以及斷層面之間的夾角有一定的數學關係(Suppe, 1983)，因此，依據此關係，可以將地表地質資料及井下資料和震測資料，依一定的準則來建構合理的地質平衡剖面，以顯示變形前緣及褶皺衝斷帶之構造形貌及特性。

#### 3.1.1 平衡剖面之重建

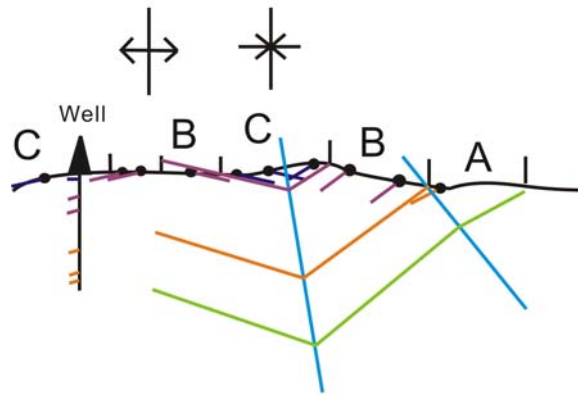
本研究所採用的是轉折法(kink method)來描繪地下的構造，其重建的過程首先收集沿剖面線附近的地表及地下地質資料，如地層傾角、地層和斷層的邊界位置以及鑽井資料投影至剖面線上(圖3-1a)；接著依地層傾角建立各傾角間之分角線，即地層轉折處(圖3-1b)；最後再根據地層邊界、斷層及褶皺軸的位置將地表資料往深部延伸，地下斷層的型態除了參考地表所量得的資料外，其深部的傾角受上下盤地層位態的影響，通常後翼的傾角反映斷坡的幾何型態。

另外，地表地質所顯示的斷層跡線和地層界線之間交接的關係，往往反映地下斷層和地層界線之間之交角關係(Woodward et al., 1985)。因此，也可以參考這種關係來推測斷層在地下滑移的特性，並藉以建立較合理的地下構造剖面。

(a)



(b)



(c)

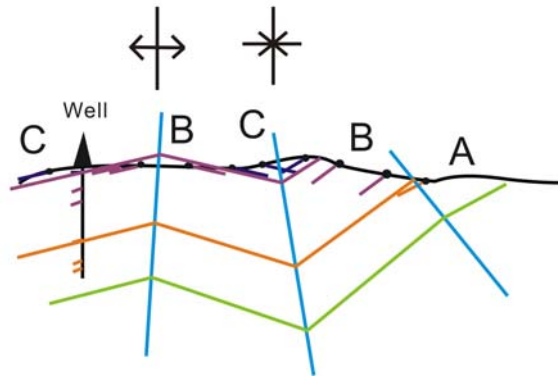


圖 3-1 地質構造剖面重建過程。(a)收集沿剖面線分佈之地質資料，如地層傾角、地層與斷層分界及井下地質資料投影至剖面線上；(b)利用地層傾角的變化建立分角線，此為地層轉折處；(c)再根據地層邊界、斷層及褶皺軸的位置以分角線為轉折處往深部延伸。



### 3.1.2 理論基礎

#### 1. 薄皮理論

Suppe(1980)認為台灣西部之變形主要發生在 10 公里以上的淺層，屬於薄皮構造(thin-skinned tectonics)變形作用。在此理論之下，地表所有主要的斷層面，都會向下連接到幾公里至 10 公里深，較為平緩之一個或以上的「基底滑脫面(décollement)」，而所有地殼變形也都會發生在此一滑脫面之上(圖 3-2)。在薄皮構造作用中，台階式則是薄皮理論中逆衝斷層的普遍型式，由長而平的斷坪(flat)與其間連接短而陡的斷坡(ramp)交替構成，斷坪發育在岩性較弱的岩層之中或岩性強度差異極大的岩系界面上，而斷坡發展於強硬的岩層中，斷坪與斷坡之間轉折位置會成為岩盤向西逆衝時的阻礙，以及應力聚積的位置，常為大地震發生之處，以九二一集集地震，該地震許多錯動行為都可用薄皮逆衝理論適度解釋(圖 3-3)。

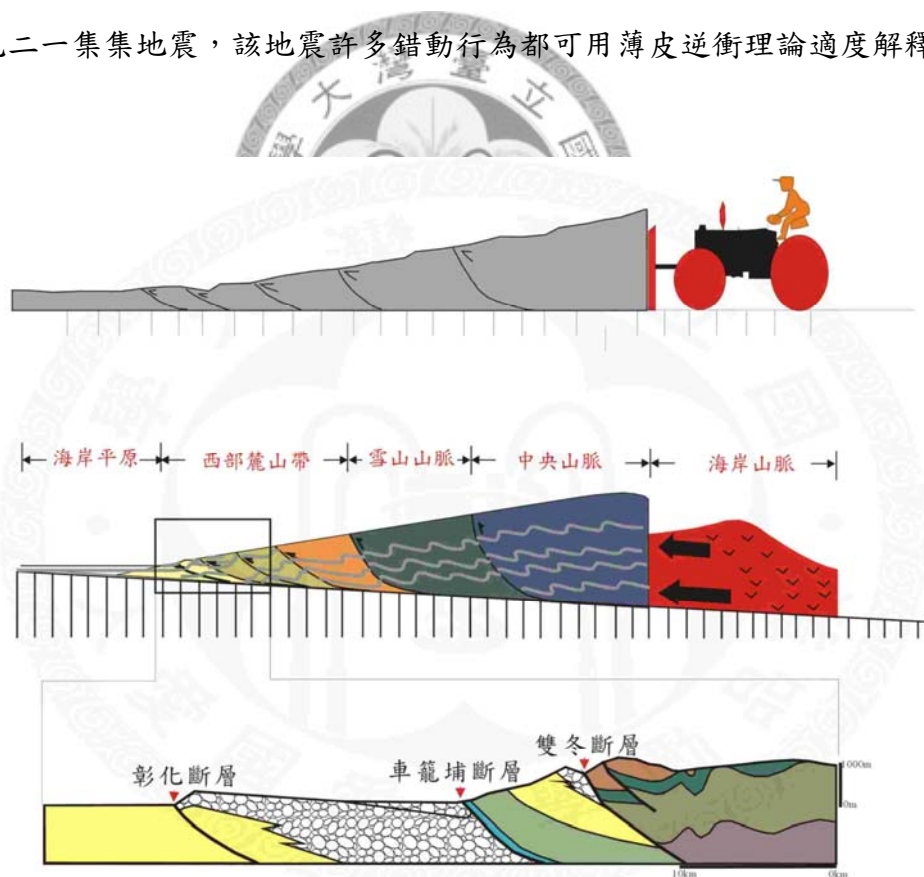


圖 3-2 薄皮構造變形作用可以「推土機模型」表示。以臺灣為例，海岸山脈是推土機，大陸邊緣的沉積物及大陸地殼則是土堆，菲律賓與歐亞板塊聚合的力量提供了推土機的動力來源。當推土機向前推動，土堆的形狀像楔形體，底部會沿著一個斷層滑脫面滑動，並產生許多斷層延伸至地表(Suppe, 1980)。

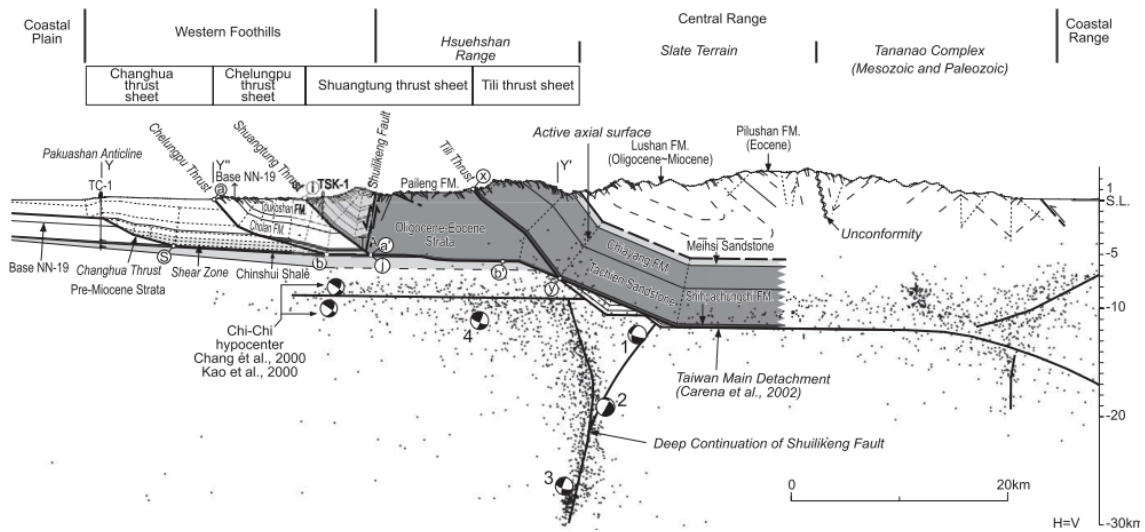


圖 3-3 九二一大地震車籠埔斷層地質構造剖面，九二一主震位於更新世錦水頁岩滑脫面下 5-6 公里深，且微地震分布 (Carena et al., 2002) 說明台灣主要基底滑脫面於 10-12 公里深。因此九二一地震一開始並非發生於車籠埔斷層，而是某些未知的深部斷層 (Yue et al., 2005)。

## 2. 斷層相關褶皺

在褶皺逆衝帶中褶皺的發生一定伴隨逆衝斷層的發生。在造山帶變形前緣的褶皺大致因曲面斷層的滑移作用而形成的，依其構造形態與生成機制可分為：斷層彎曲褶皺 (fault-bend fold, Suppe, 1983)、斷層擴展褶皺 (fault-propagation fold, Suppe and Medwedeff, 1990)、基底滑離褶皺 (detachment fold, Homza and Wallace, 1995; Mitra, 1990)，這三種類型的褶皺因為斷層的發育而演化成混合的類型 (Jamison, 1987)，詳細分述如下：

- (1) 斷層彎曲褶皺：是指一條斷層沿著底部的斷坪在滑動，再向上截切產生斷坡及斷坪，之後再接著沿下盤斷坪往前繼續滑動，而上盤的岩層由於斷層面的彎曲而在彎曲處產生一個褶皺作用 (圖 3-4a)。

- (2)斷層擴展褶皺：是指岩層在其底部的滑離面上有斷層產生，此斷層並未出露地表，而是在斷層終止處之上部地層產生一褶皺作用（圖 3-4b），換言之，其底部的縮短量，在上部則以褶皺的方式來取代。斷層與褶皺作用幾乎時同時產生，並隨著斷層往上持續的擴展，褶皺也會持續發展，在此種作用下，其褶皺的前翼通常很陡直，甚至出現倒轉的現象。
- (3)基底滑離褶皺：是直接位於滑脫面上的一種褶皺（圖 3-4c），這種構造涉及到位於滑脫面上盤的抬離及等斜褶皺作用，因此有時亦被稱為抬離褶皺（lift-off detachment），這種形成的機制顯然需要一個非常軟落的滑脫面。



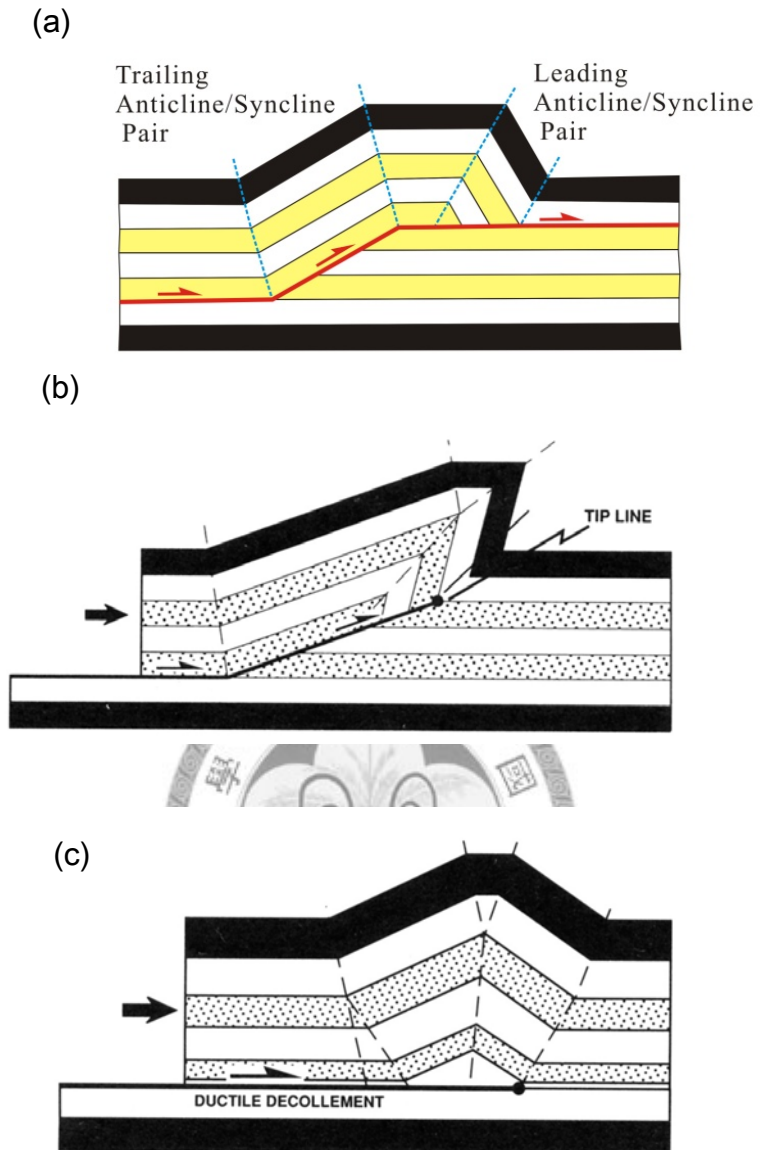


圖 3-4 和逆衝斷層有關的三種褶皺作用示意圖(摘自 Mitra, 1990)。(a)斷層轉折褶皺(Suppe, 1983)；(b)斷層擴展褶皺(Suppe and Medwedeff, 1990)；(c)滑離褶皺(Homza and Wallace, 1995；Mitra, 1990)

### 3. 斷層再褶皺作用

在台灣西部麓山帶中，逆衝斷層的發育一般認為是由後陸(hinterland)向前陸(foreland)推進的，因此當在早期斷層的下盤發育出新的逆衝斷層時，會引起上覆岩系和早期斷層再次褶皺，而下盤繼續發育出新的逆衝斷層，會進一步強化斷層上盤所有岩系及老斷層(圖 3-5)。

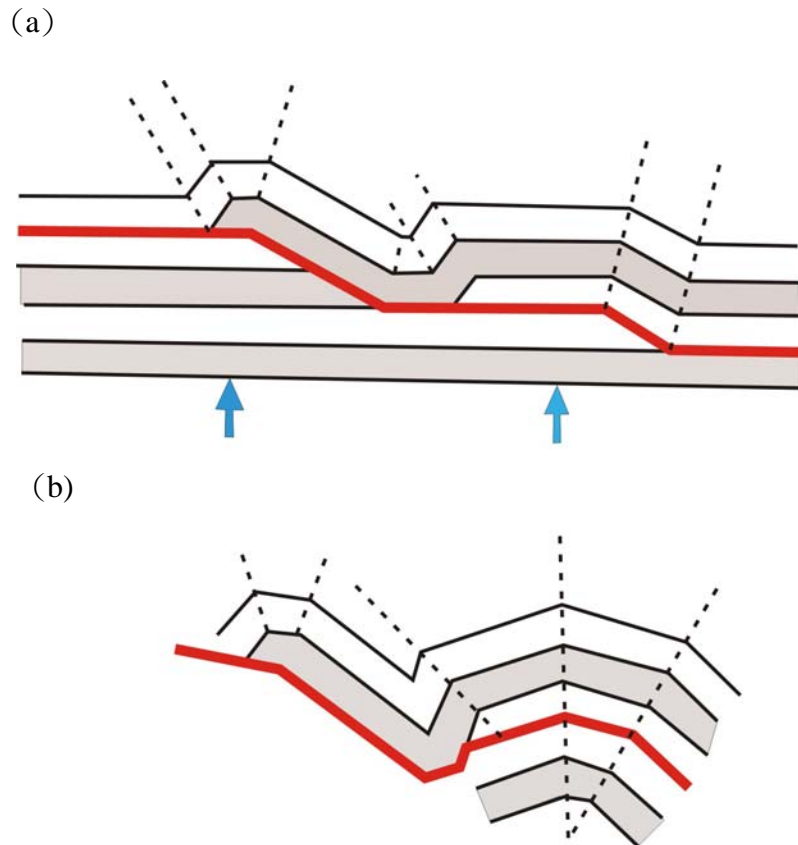


圖 3-5 斷層的再褶皺作用示意圖(Woodward et al., 1989)。(a)早期發育之逆衝斷層；(b)後期發育之新逆衝斷層使上覆岩系及早期斷層發生褶皺。

## 3.2 構造平衡剖面之回復

本研究所用回復工具為 Midland Valley Exploration 公司所發展之 2D Move 軟體。其主要的平衡原則及回復方法如下：

### 3.2.1 平衡原則

在造山帶的前緣及外麓山帶之地層未受變質作用，形成褶皺的變形機制是以曲滑褶皺作用 (flexure-slip folding) 為主。在此情況下其變形遵循以下幾點原則：

1. 在變形時岩石體積保持不變。
2. 岩石體積僅受侵蝕或成岩壓密改變。
3. 脆性破壞為主要的變形機制。
4. 褶皺作用與斷層作用有關。
5. 因為壓溶作用或是構造擠壓作用改變的岩石體積會被忽略。

### 3.2.2 回復方法

本次研究所使用的平衡剖面回復法分別為其軟體功能之曲滑褶皺回復 (flexural slip unfolding) 與斷層平行回復 (fault parallel flow) 兩種方法，其主要回復步驟分述如下：

#### 1. 曲滑褶皺回復法

為一等面積回復法，其回復原則包括地層長度在攤平前後不變、褶皺面積不變以及地層厚度保持不變(圖 3-6)。

- A) 紅線為斷層，template bed (TB 紫線) 為最後要被壓平的地層，passive bed (綠線與藍線) 為地層線，地層線須配合 TB 變化而變動，pin 為地層固定線。
- B) 依照 TB 建立平行線，綠線與 TB 平行，而藍線則切過與 TB 平行的平行線。
- C) 將 TB 壓平後，綠線與 TB 同為水平線，而藍線的形貌在回復後則會又較大的向下量，若 TB 視為地層，則綠線為地層，藍線為侵蝕面。

## 2. 斷層平行回復法

此方法利用斷層面上的分角線當作上盤活動的方向轉折依據，以平行斷層面的線當作上盤運動的流線，遇到分角線轉折，接著藉由設定滑移量或指定上盤地層回復至下盤對應之地層進行回復(圖 3-7)。

- A) 現今構造的幾何形貌，紅線為斷層。
- B) 沿著斷層線建立與斷層分角線之平行線。
- C) 將平行線沿著斷層往左側移動，使上盤與下盤之地層線對齊。

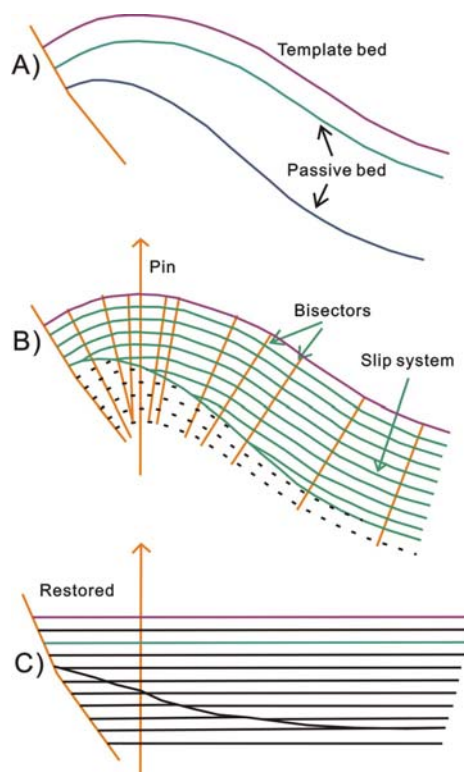


圖 3-6 曲滑褶皺回復法回復步驟圖示。



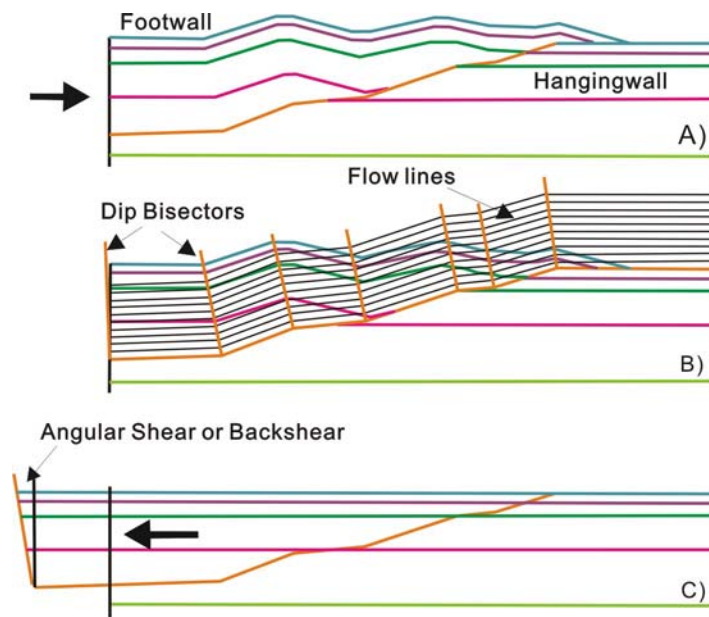


圖 3-7 斷層平行回復法回復步驟圖示。

### 3.3 三維構造模型建立

在過去西部麓山帶構造之研究主要是以二維的平衡剖面來了解地下構造幾何形貌，目前對於麓山帶二維構造剖面之研究雖然以趨於成熟的階段，對於三維的構造模型的論述並不多。2002 年台灣中油公司陸續引進能建構三維構造模型之軟體，其目的在於希望透過三維構造的重建，能夠了解地下構造的延伸，希望能一窺主要活動構造的全貌，進而了解活動機制與行為。本研究使用 Paradigm Geotechnology 公司所發展之整合剖面軟體 GeoSec 3D 建立三維構造模型。GeoSec 3D 可整合多條平衡剖面，將剖面之相同地層線以外插的方式製作網格，將二維線狀的剖面建立成三維的地層面。在建立區域的地層面與斷層面之後，使用 Gocad Research Group 發展之 GOCAD 軟體結合 3D 重定位地震資料，進一步使研究者更容易觀察嘉義地區地下斷層形貌與地震活動在空間上的分佈狀況。

在建構三維斷層模型前必須先整合研究區域內所有的地質構造剖面，除了針對各地質剖面中之地層與斷層統一定義外，還須建立各地質剖面詳細的端點座



標，由於三維斷層模型呈現的是立體空間概念，需要精確的剖面位置，因此剖面的端點座標必須經過修正。建構的過程中，須考量斷層間的截切關係再做適度的切割與延伸，如此一來才能建構出符合地表地質概念之地下三維斷層模型。

### 3.4 地震資料選取

本研究選取的地震資料範圍是  $120.1^{\circ}\text{E}$ - $121.1^{\circ}\text{E}$  和  $23^{\circ}\text{N}$ - $23.8^{\circ}\text{N}$ ，由吳逸民蒐集強地動觀測網(TSMIP)與中央氣象局短週期觀測網(CWBSN) 1991 至 2007 年間的地震資料，並配合 Wu et al. (2007)所發表的台灣地區三維速度模型進行地震重定位與震源機制解。

地震定位方法為三維測站修正定位法(3DCOR)，由 Wu et al. (2003)提出結合三維速度構造與測站修正的方法。以 1998 年的瑞里地震為例，所得的走時殘差(RMS)、震源位置之水平誤差(ERH)與垂直誤差(ERZ)分別為  $0.08\pm 0.03$ 、 $0.10\pm 0.09$ 、 $0.17\pm 0.17$ 。

震源機制解方面採用的是初動法，利用測站所接收之初達波相極性(first motion polarity)及震源與各測站間之相對位置來推求在空間中斷層面錯動的走向與傾角，所需的參數為各測站位置相對震源知之方位角(azimuth)、震源射出角(take-off angle)與初達 P 波或 S 波的極性等三項，本研究中僅選取芮氏規模大於 4。

## 第四章 研究成果

本研究成果總共分成三個部分包含地質剖面的重建、地質剖面的回復、嘉義地區三維斷層模型建立。由地質剖面的結果，在本研究剖面中大致可以看出幾個重要的斷層形貌特性。觸口斷層仍為正斷層復活之反轉構造，且烏嘴層層位落差甚小，顯示早期正斷層特性在本區已逐漸消失。馬頭山斷層為逆時序發育斷層，切穿崙後斷層上盤之地層。中崙背斜為向東伸向(east-vergent)之構造形貌，由底部的三角變形帶(triangle zone)所造成。根據平衡剖面回復，觸口斷層的水平滑移量減至 2.1 公里，崙後斷層與馬頭山斷層各別為 30.4 公里與 20.37 公里，其中觸口斷層與崙後斷層相較於大尖山區域皆有明顯的變化；請詳見章節 4.1 與 4.2。

透過整合嘉義地區地質剖面，建立三維斷層模型，嘉義地區地下斷層大致呈現幾個重要的構造形貌。首先嘉義地區南北主要基底滑脫面深度不同，大尖山斷層與九芎坑斷層、鹿窟斷層匯聚於約 5-7 公里深之構造面成為大尖山斷層一帶主要的基底滑移面。而崙後斷層、馬頭山斷層與布拉社斷層則匯聚於深 10 公里之滑脫面成為崙後斷層及馬頭山斷層一帶主要的基底滑移面。另外，大尖山-觸口斷層系統包括早期正斷層構造與正斷層復活之逆衝構造，此逆衝構造由北往南延伸成為嘉義地區重要的底部滑脫面，並且逐漸匯入崙後斷層。獺頭斷層的地下構造呈現南北兩段不同的形貌；在北段，淺部呈高角度斷層至深部則以低角度匯入鹿窟斷層的基底滑脫面之中，在南段，轉為布拉社斷層，斷層形貌則以低角度斷層為主；請詳見章節 4.3。

由地震活動分析結果，嘉義地區之地震活動幾乎分布於 15 公里以上的深度，且在大尖山斷層區域較崙後斷層區域集中，此分布特性可能是受南北區域構造不同所影響；在崙後斷層與馬頭山所構成的緊密構造帶中，地震幾乎集中在麓山帶前緣區域，成為緊密構造帶中構造最活躍之區域；請詳見章節 4.4。

## 4.1 地質剖面解釋

本研究剖面可以呈現地表上三條主要斷層，觸口、崙後、馬頭山、布拉社及小林斷層，觸口、崙後、馬頭山與小林斷層最終合併於一條較深的滑脫面，而小林斷層則成階梯狀斷層面並沿淺部滑脫面滑移(圖 4.1)。在本研究剖面中，以觸口斷層與布拉社斷層為界分成東、中及西三段，在觸口斷層以西的東段構造為一個平緩的背斜，以東則為一系列的逆衝斷層以及相關構造，分述如下：

### 4.1.1 剖面 I 段

觸口斷層以西為本剖面西段(I)，屬於嘉義地區平原區。以地表地質而言，觸口斷層以西構造較平緩、簡單，地層大致上向西傾斜(圖 4.2)。以前緣逆衝斷層與中崙背斜兩個構造為主：

#### 1. 前緣逆斷層

此為一於中崙層間滑移的背衝斷層，接近地表逐漸變陡，在地表與觸口斷層相接。由藤寮 1 號井(T-1)鑽井結果顯示，中崙層異常增厚且在層間有一斷層構造，推測中崙層之增厚現象可能為斷層逆衝所造成之層位落差。另外，前緣逆衝斷層以西之地層皆向西傾斜  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ，無任何逆衝斷層出露於地表且地層傾角並無劇烈變化，故推測前緣逆衝斷層沿中崙層間滑移。

#### 2. 中崙背斜

在地表上，中崙背斜位於觸口斷層西側，背斜軸部出露中崙層與烏嘴層，西翼往西延伸至平原區，東翼則被觸口斷層地表跡線所截切。地表地質資料顯示中崙背斜西翼地層朝西邊緩緩傾斜，愈靠近軸部傾斜角度越大，傾角約從  $20^{\circ}$ - $28^{\circ}$ ，軸部兩側傾角對稱，推測淺部為平緩的背斜構造。從藤寮 1 號井鑽井結果顯示，南莊層地層傾角約  $15^{\circ}$ ，為中崙背斜之東翼，且觸口斷層地表跡線和東側的烏嘴層面平行，顯示觸口斷層沿著中崙層頂部滑移往地表方向截切較年輕的地層，因

此中崙背斜深部地層向東傾斜平行於觸口斷層(圖 4-2)。本研究以三角變形帶解釋中崙背斜的成因(圖 4-1)，下部楔形體沿著漸新世底部經一斷坡爬升至早中新世底部，而上部楔形體沿著早中新世底部及下部楔形體頂部滑移。

#### 4.1.2 剖面 II 段

觸口斷層以東至布拉社斷層為本剖面中段(II)，屬於內麓山帶，構造相當複雜，多由褶皺與斷層相互交錯而成，由西往東，構造依序有：觸口斷層、崙後斷層、馬頭山斷層以及頂坪林向斜等：

##### 1. 頂坪林向斜

頂坪林向斜西以馬頭山斷層，東以布拉社斷層為界，兩斷層皆為由東往西逆衝之逆斷層。出露地層最老為南莊層，最年輕為隘寮腳層。地質圖上，馬頭山斷層依序切穿南港層、長枝坑層以及糖恩山砂岩與鹽水坑層，其中南港層只於斷層最北端出露，往南則沿著平行長枝坑層且地層傾角平行斷層(圖 4-2)，故此推測在頂坪林向斜之東翼下部推測有斷塊疊置構造(duplex structure)，此疊置構造可能是由崙後斷層之上覆岩系受擠壓後形成一系列逆衝斷塊，滑移至頂坪林向斜底部疊置，並將頂坪林向斜東翼拱起。

##### 2. 馬頭山斷層

由上述得知，馬頭山斷層為一沿著長枝坑層底部滑移之斷層，受控於頂坪林向斜軸部位置，斷層於地下 2200 公尺處轉平，而由於上部疊置構造，馬頭山斷層在地下 2800 公尺處必須轉折，切穿上部的糖恩山砂岩、南莊層及南港層，最終匯入與崙後斷層相同的底部滑脫面(圖 4-2)。

另外，馬頭山斷層地表跡線由東往西依序切過北寮頁岩至長枝坑層，切穿的地層愈來愈老，暗示馬頭山斷層為逆時序發育(out-of-sequence)的斷層，在構造的演化順序上晚於西側的崙後斷層及其相關構造。

##### 3. 崙後斷層

地表上沿著崙後斷層東側出露的最老岩層為南港層，但出露於地表的情況時有時無，且有平行長枝坑層之現象，往南切穿切穿糖恩山砂岩、鹽水坑層以及隘寮腳等地層。根據上述地質圖上斷層與地層的相交情況(圖 4-2)，推測崙後斷層在地表下應以長枝坑層為主要之滑移面，僅有部份區域有切過南港層。在崙後斷層上盤的地層層序，被馬頭山斷層截切，僅出露長枝坑層，往南卻出露較年輕之地層，因此推測在崙後斷層上覆岩系，應存在比長枝坑層較年輕地層。

另外，根據崙後斷層東側與藤寮 1 號井鑽資料所作的比較，顯示南莊層厚度由崙後斷層下盤到其上盤之間增厚數倍(圖 4-2)，為解決地層增厚現象，在崙後斷層地下轉成水平滑移面之東端，應以一高角度向下切入更老的地層並連接更深的水平滑移面，此滑移面深度則主要由崙後斷層上下盤南莊層之間的厚度來決定，本研究以復活斷層面解釋。依順時序(in sequence)發育的構造平衡考量，該復活的正斷層形貌受到後期觸口斷層向西逆衝的影響，斷層面將有不等量的滑移形成階梯狀斷層面。

由此重建斷層地下形貌，在接近地表處為高角度斷層面，向下逐漸轉平，在約 5 公里深轉成水平滑移面，往東，再沿鳥嘴層頂部向下切穿鳥嘴層，至中崙層頂部轉平後，再次下切中崙層、南莊層、南港層及早中新世地層，形成一階梯狀斷層面(圖 4-1)。

#### 4. 觸口斷層

在本研究區域中，可以看出沿著觸口斷層出露最老的地層為鳥嘴層，地層走向大致與平行於斷層(圖 4-2)，顯示觸口斷層為沿著中崙層頂部滑移的層面斷層，另外，在觸口斷層東西兩側鳥嘴層地層增厚的現象可以解釋觸口斷層為早期正斷層反轉之逆衝構造。由上述重建觸口斷層地下形貌，在接近地表處為高角度斷層面，向下逐漸轉平，在約 6 公里深轉成水平滑移面，與崙後斷層匯入同一滑脫面之中(圖 4-1)。

### 4.1.3 剖面Ⅲ段

本剖面東段(Ⅲ)斷層逆衝不斷將較老之地層上覆於年輕地層之上，全區被南莊層所覆蓋，僅在部份地區出露南港層(老於南莊層)，主要的斷層包括布拉社斷層與小林斷層，由於靠近中央山脈變質區，使得此區受到強烈擠壓作用，產生一系列的褶皺構造，在重建過程中僅能以背斜與向斜軸向下延伸的位置做為斷層轉折處(圖 4-2)。重建結果，布拉社斷層最終會與崙後斷層與馬頭山斷層合併，而小林斷層在本研究剖面中沿著淺部滑脫面活動。另外，此區域之南莊層厚度增厚現象也暗示著小林斷層向東延伸可能下切至更深的地層(圖 4-1)。



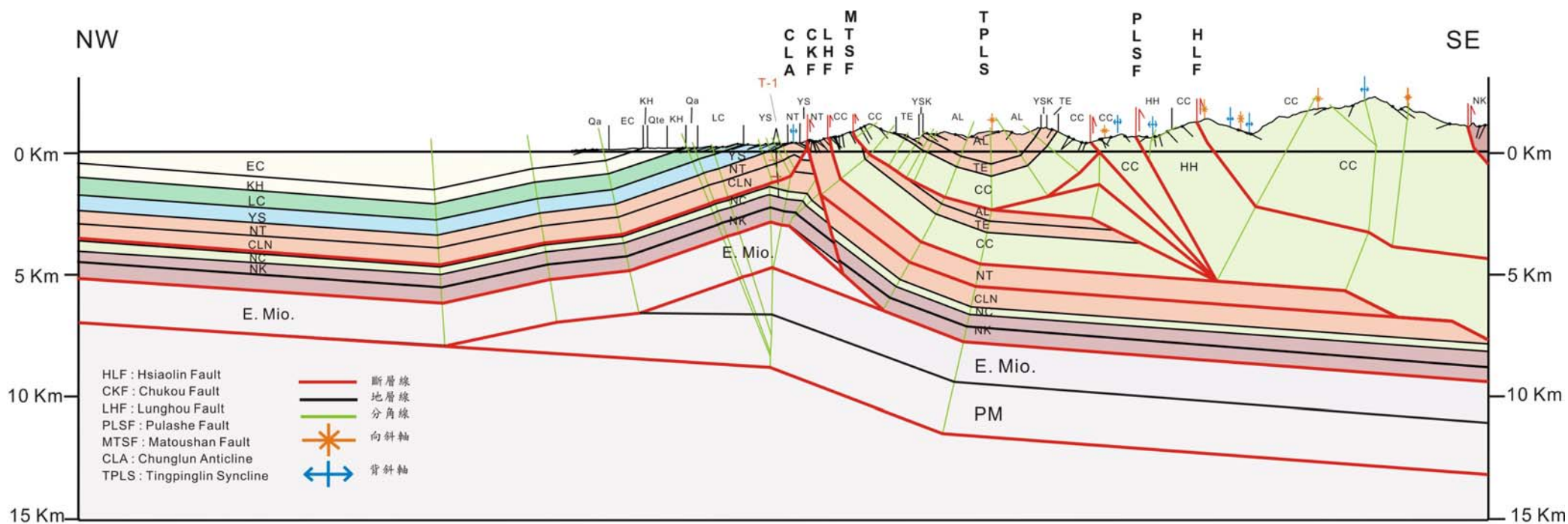


圖 4-1 本研究之地質構造剖面，觸口斷層以西構造較為平緩，由前緣背衝斷層及中崙背斜構成，以東為一系列逆衝斷層組成，其中觸口斷層、崙後斷層及馬頭山斷層皆為層面斷層，往東延伸與布拉社斷層匯聚於深部滑脫面上；而小林斷層則匯入較淺之滑脫面上。

上新世 Pliocene	現代沖積層(Qa, Qte)	鹽水坑層(YSK)
	六雙層(LS)	糖恩山砂岩(TE)
	二重溪層(EC)	長枝坑層(CC)
	崙下寮層(KH)	紅花子層(HH)
	六重溪層(LC)	三民頁岩(SM)
上新世 Pliocene	法水溪層(YS)	南港層(NK)
	烏嘴層(NT)	南港層(NK)
漸新世 Oligocene	隘寮腳層(AI)	早中新世(E. Mio.)
		漸新世(PM)

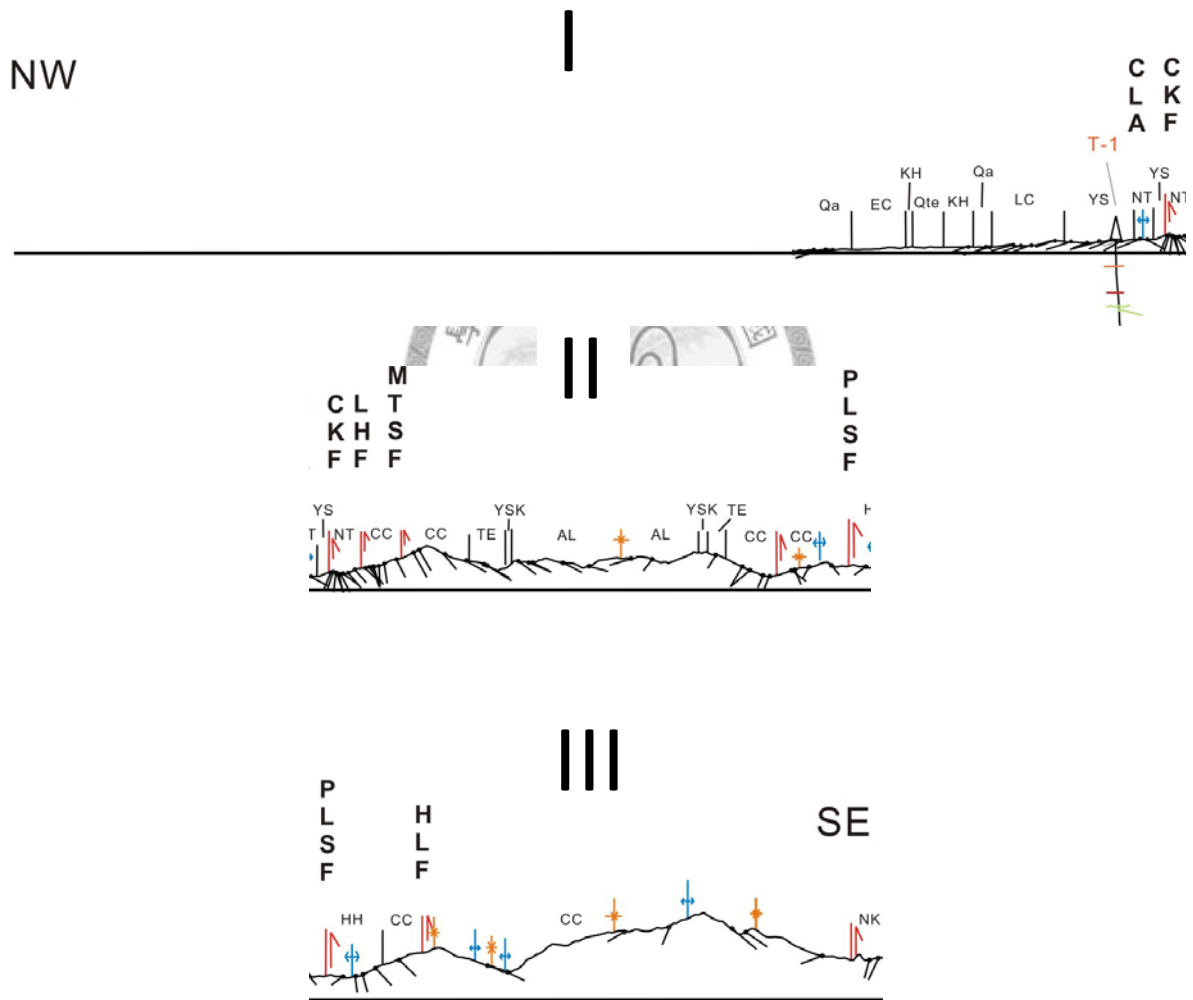
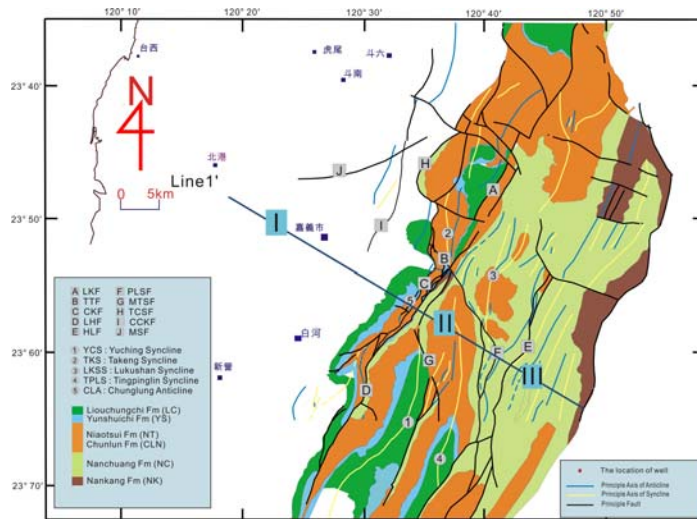


圖 4-2 本研究剖面之地質資料，包括地層傾角、地層邊界、斷層與褶皺軸位置以及井下資料，本剖面觸口斷層與布拉社斷層為界分成三段，由西向東依序為 I、II 以及 III 三段。



## 4.2 地質剖面回復

本研究運用 2D Move 軟體進行構造平衡剖面的回復，來檢驗其構造剖面幾何型態上之合理性以及估算斷層之滑移量。整個回復過程我總共分成 5 個步驟進行，分述如下：

### 4.2.1 三角變形帶之回復

首先回復造成中崙背斜的三角變形帶；此變形帶由兩個楔形體構成，下部楔形體沿著深約 7-13 公里之深部滑脫面，上部楔形則沿著 5-10 公里之淺部滑脫面(圖 4-3, Step 1)。本研究利用斷層平行回復法(fault parallel flow)先將下楔形沿著深部滑脫面回復，接著再將上部楔形沿淺部滑脫面回復，而楔形上方之地層則利用曲滑褶皺法(flexural slip unfolding)將地層攤平，回復結果剖面由原先的 58.54 公里增至了 59.03 公里，顯示中崙背斜有 0.49 公里的縮短量。

### 4.2.2 前緣逆衝斷層構造之回復

此斷層沿著中崙層層間由西往東逆衝，依據斷層平行回復法回復，此階段之縮短量為 0.6 公里(圖 4-3, Step 2)。

### 4.2.3 斷塊疊置構造與馬頭山斷層之回復

首先利用斷層平行回復法回復斷塊疊置構造，將斷塊沿馬頭山斷層拉回至崙後斷塊下方之岩系；接著回復馬頭山斷層，馬頭山為逆時序發育，發育的時間晚於崙後斷層且沿著長枝坑層底部滑移，因此利用斷層平行回復法將拉回與崙後斷層之上的南莊層底部對齊。回復結果顯示，馬頭山斷層在本研究剖面有 20.37 公里之縮短量(圖 4-3, Step 3)。

#### 4.2.4 觸口斷層構造之回復

根據地質構造剖面觸口斷層為早期正斷層之反轉構造，在此先不考慮正斷層之影響，僅回復後期之逆衝斷層。觸口斷層最早期沿著中崙層頂部滑移，在此利用斷層平行回復法回復，結果有 2.1 公里之縮短量，將觸口斷層滑移量回復後，崙後斷層之東端正斷層將回復成平整的高傾角面(圖 4-3, Step 4)。

#### 4.2.5 崙後斷層構造之回復

崙後斷層沿著南莊層底部滑移，在斷層的兩側南莊層地層厚度變化相當明顯，為生長斷層的特性之一，另外，位於南莊層上的中崙層在地層厚度一致，推測此生長斷層在南莊層頂部停止陷落，因此根據斷層平行回復法必需將崙後斷層上盤之南莊層頂部對齊下盤之南莊層頂部，回復結果顯示，崙後斷層在此之縮短量為 30.4 公里(圖 4-3 : Step 5)。

由地質剖面回復，依時序演化分別為中崙背斜、前緣背衝斷層、斷塊疊置構造與馬頭山斷層、觸口斷層以及崙後斷層共 5 個階斷。各主要斷層之水平縮短量：馬頭山斷層有 20.37 公里，觸口斷層減小至 2.1 公里，崙後斷層則高達 30.4 公里之縮短量。根據斷層縮短量估算結果，在剖面中，觸口斷層減小的縮短量與崙後斷層異常的縮短量顯示觸口斷層逆衝滑移量已逐漸轉至崙後斷層之中。

(a)三角變形帶之回復

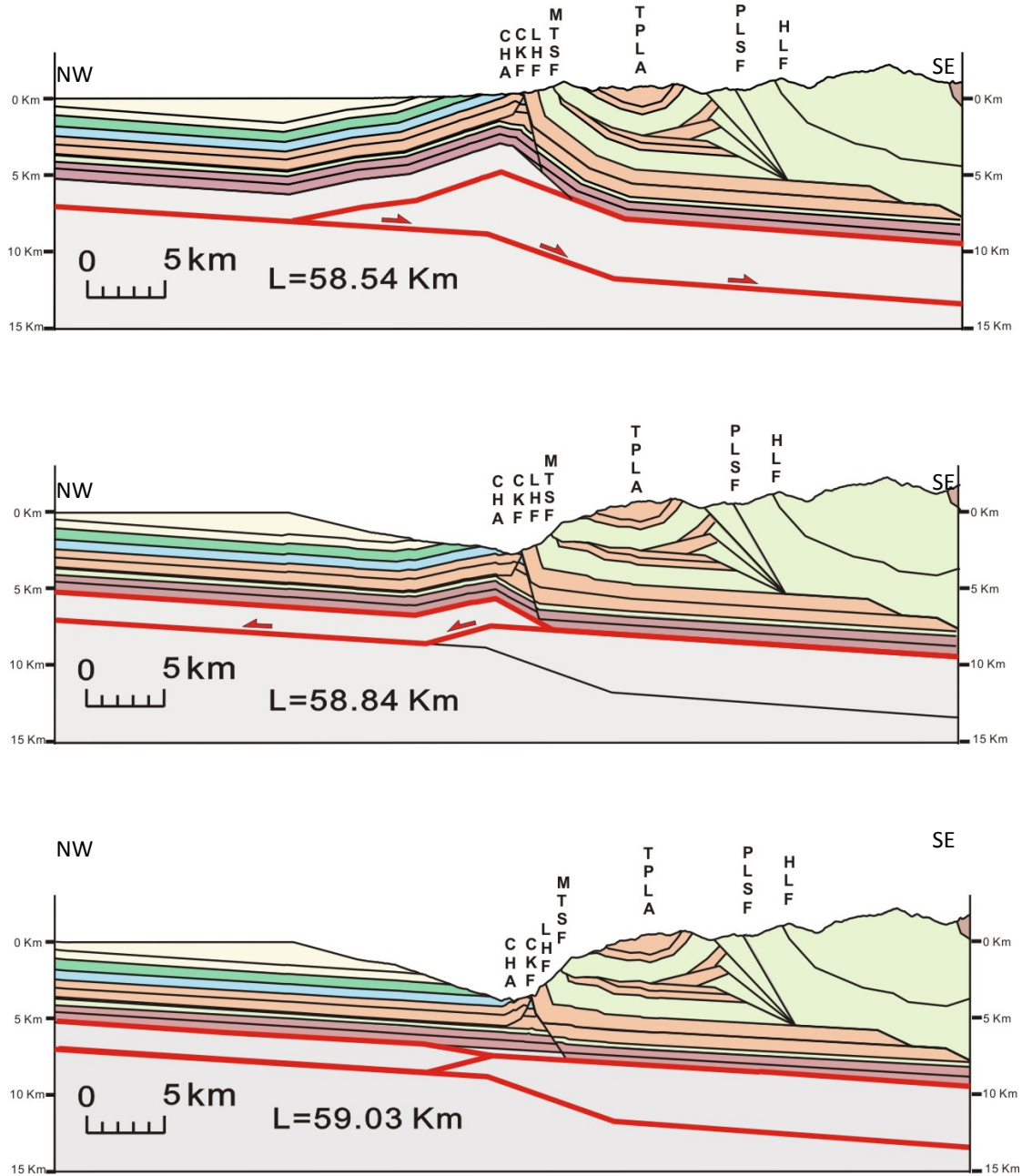


圖 4-3 本研究剖面構造回復步驟及各構造之水平縮短量，回復過程一共分成五個步驟進行。(a) Step 1:三角變形帶之回復；(b) Step 2:前緣背衝斷層之回復；(c) Step 3:馬頭山斷層與疊置構造之回復；(d) Step 4:觸口斷層之回復；(e) Step 5:崙後斷層之回復。

(b) 前緣背衝斷層之回復

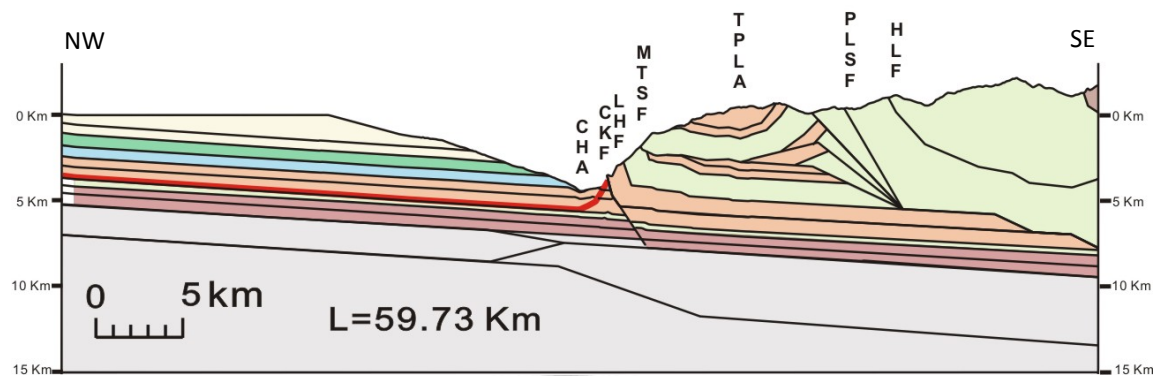
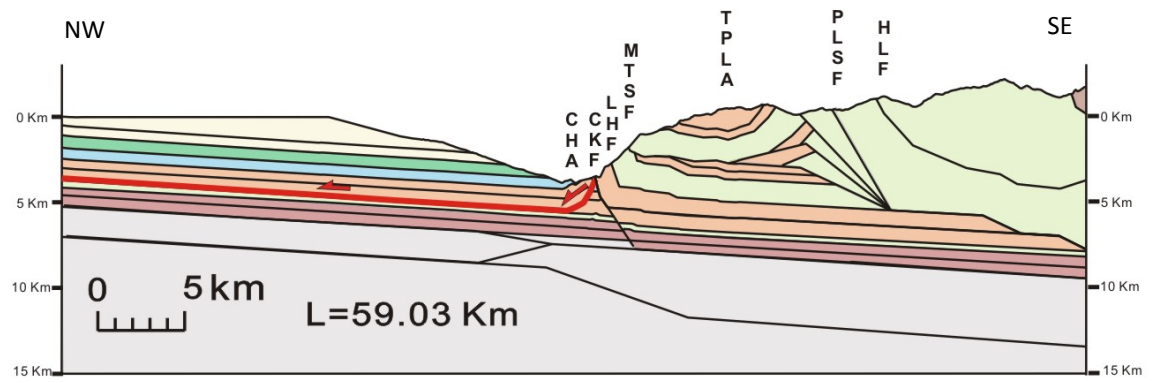


圖 4-3 續。

(c)馬頭山斷層與疊置構造之回復

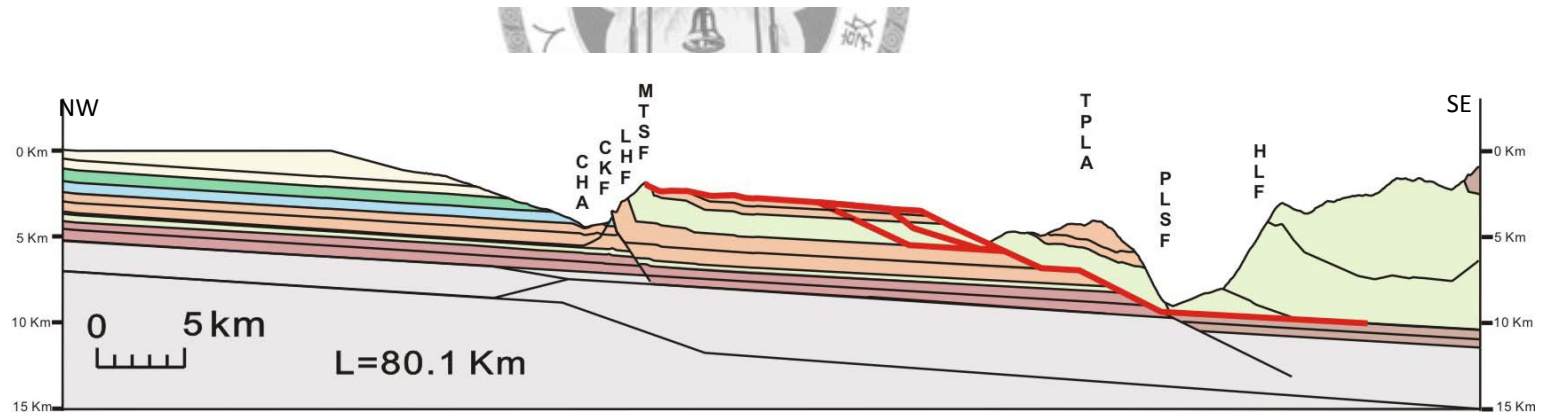
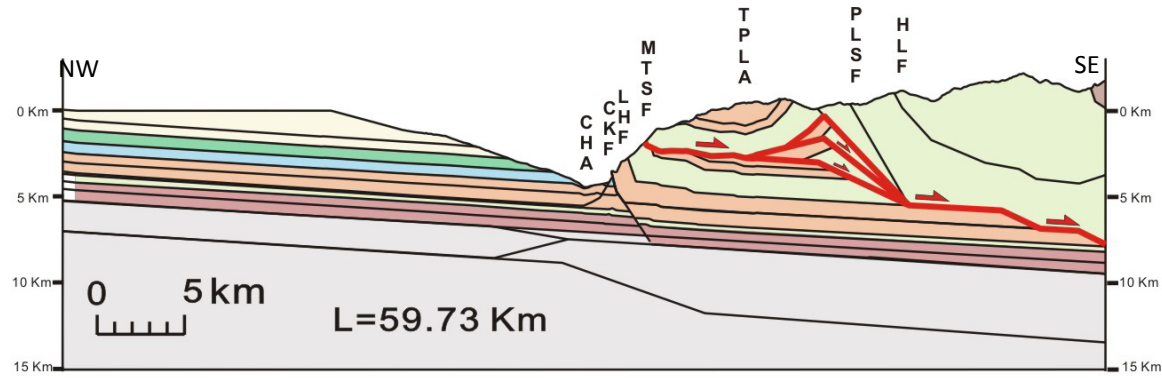


圖 4-3 續。

(d) 觸口斷層之回復

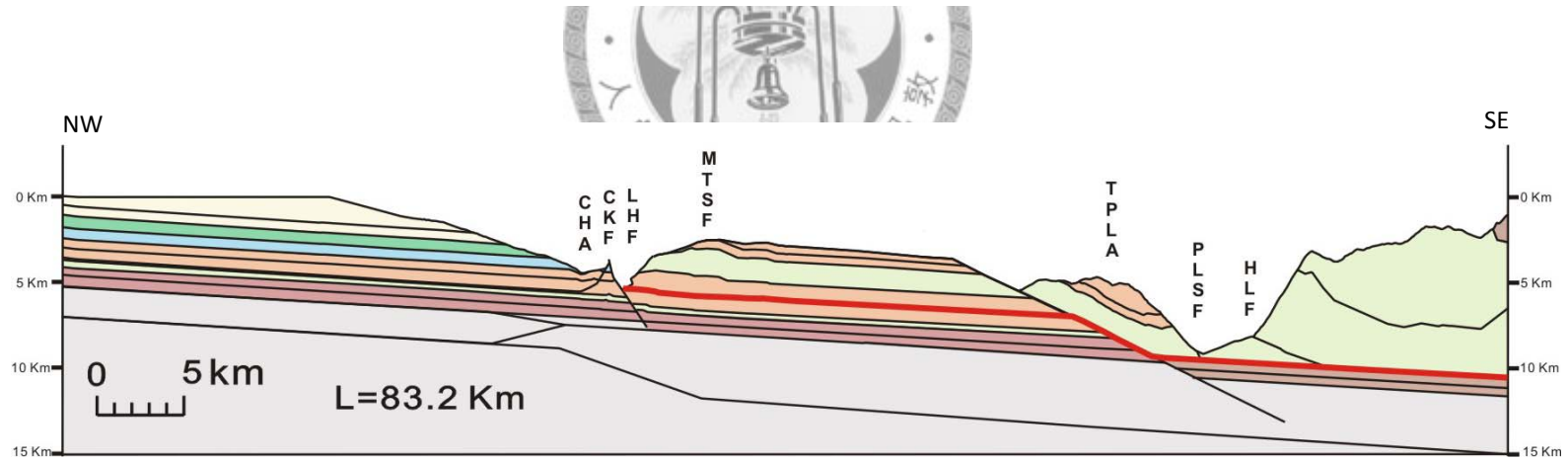
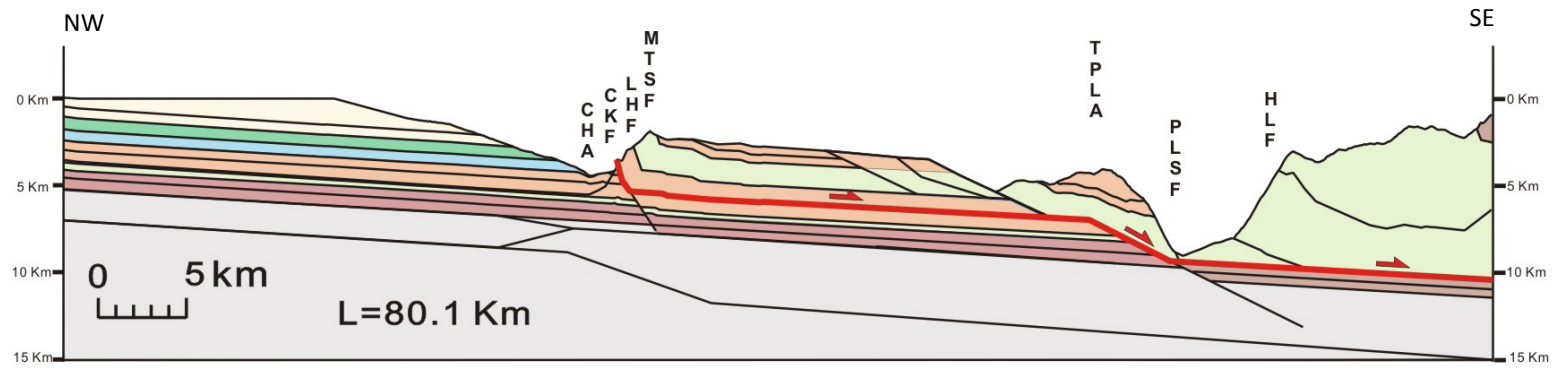


圖 4-3 續。



(e) 崙後斷層之回復

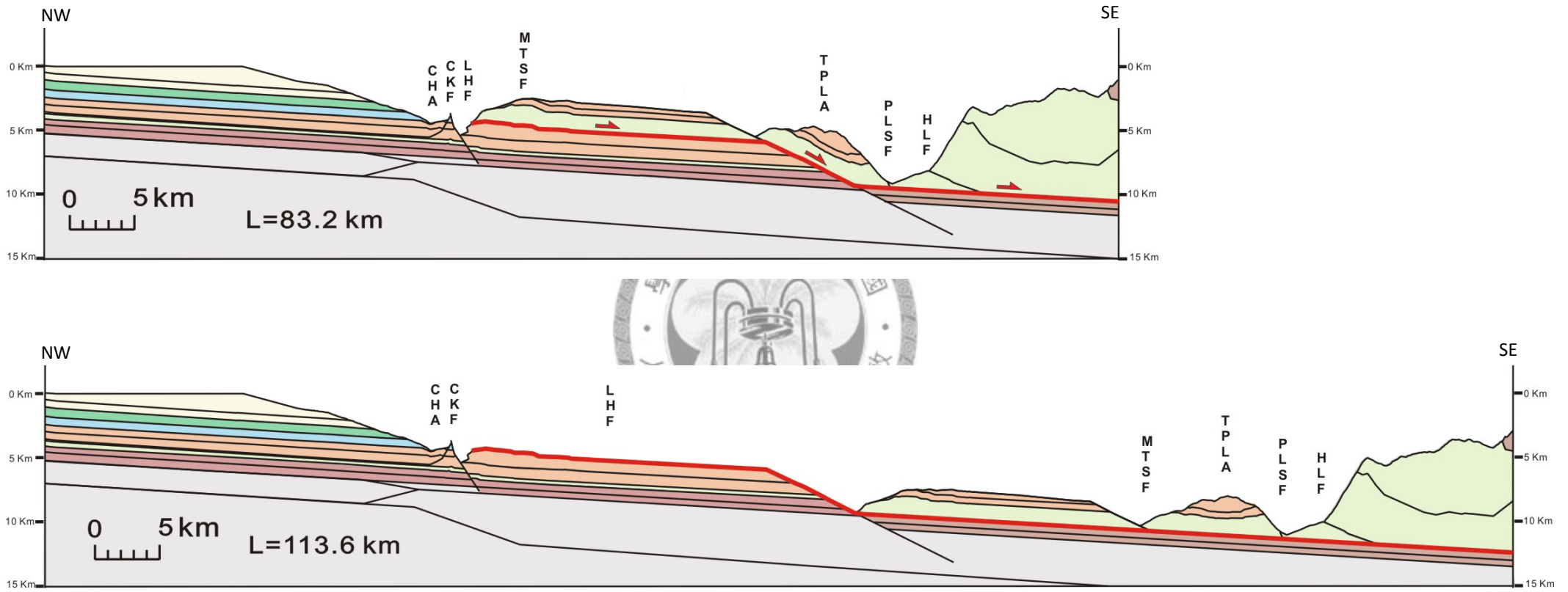


圖 4-3 續。

### 4.3 嘉義區域之地下三維構造模型

本研究整合嘉義地區地質構造剖面，在此利用楊耿明(2007)Line1 以及黃旭燦等(2004)所建構的 Lines 18-23 等七條東西向之剖面，以及一條南北向之剖面 Line N2，加上本研究之地質構造剖面 Line 1' 共九條剖面建立三維構造(圖 4-4)。由於此區域受到複雜之褶皺逆衝作用，地層受到斷層多次截切，因此變得相當支離破碎，在重建上很難建構出地層完整的形貌，本研究僅重建研究區域內斷層的三維地下幾何形貌。

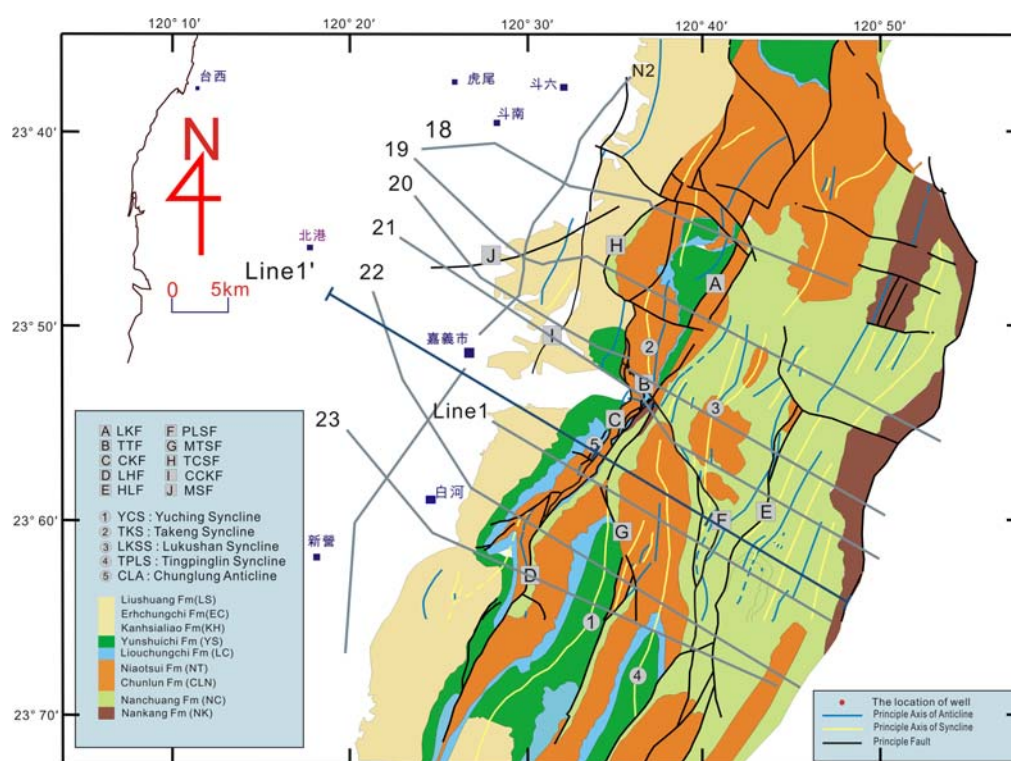


圖 4-4 建構三維斷層模型之地質剖面線位置 (修改自中油十萬分之一地質圖

幅)，Lines 18-23 及 Line1、N2 (灰線，楊耿明等，2007 以及黃旭燦等，2004)，Line 1' 為本研究剖面 (深藍色線)。

在此利用  $\theta$  與  $\varphi$  兩個角描述三維模型所呈現的觀看角度，以三維模型做為相對的中心， $\theta$  表示觀察者之方位角， $\varphi$  表示觀察者之俯角(圖 4-5)，可以從不同方位角及俯角利於觀察三維地下構造形貌(圖 4-6,4-7)。

由重建的結果大致可以看出嘉義地區幾個重要斷層幾何形貌，大尖山-觸口-崙後斷層在嘉義觸口地區為分隔內外麓山帶重要的構造線，由三維斷層模型重建結果，此構造線北段大尖山斷層與九芎坑斷層、鹿窟斷層形成一系列覆瓦狀構造，斷層往深部匯聚於約 5-7 公里深之構造面，此構造面為大尖山區域主要的基底滑移面(圖 4-8)，而構造線南段觸口斷層、崙後斷層、馬頭山斷層與布拉社斷層匯聚於較深之滑脫面上成為崙後斷層區主要的基底滑移面，而小林斷層則匯聚於較淺的滑脫面上(圖 4-9)。

在楊耿明等(Yang et al., 2001)的西南部地質構造剖面中，大尖山-觸口斷層早期同屬相同之正斷層系統，因此 Line 18 和 Line 19 剖面中大尖山斷層深部之正斷層形貌與 Line 20 和 Line 21 剖面上的觸口斷層形貌在早期屬於同一正斷層，依此概念我們保留了大尖山-觸口斷層早期正斷層地下構造形貌(圖 4-10)，此正斷層由大尖山斷層往南延伸至觸口斷層，根據 Lines 18-21 剖面觸口斷層上下盤之大窩細砂岩地層厚度不一致，上盤約為下盤的 4-5 倍厚，層位落差亦較大，往南層落差逐漸變小，在本研究剖面中已縮減至 1.5 倍，最後終止於崙後斷層(圖 4-10)。觸口斷層的另一個構造形貌為反轉構造，在 Line 18 至 Line 20 剖面中，大尖山與觸口在近地表處以高角度斷層面呈現，而深部則轉為水平之底部滑脫面。根據重建結果顯示，反轉構造的斷層形貌由大尖山地區一路往南延伸至觸口斷層地區，再往南逐漸匯入崙後斷層地區的底部滑脫面中(圖 4-11)，因此大尖山-觸口斷層正斷層地下形貌受到早期正斷層影響淺部呈高角度斷層形貌，深部則為低角度滑移逆衝斷層。

地質圖上，獺頭斷層為截切鹿窟斷層、崙後斷層與馬頭山斷層之剪裂斷層(tear fault)，為嘉義地區另一條重要的構造線，獺頭斷層往北連接觸口斷層，往

南則轉成逆衝斷層形態的布拉社斷層(圖 4-12)。在 Line 20 剖面上，獺頭斷層與鹿窟斷層匯入相同的滑脫面。在 Line 21 與本研究剖面中，布拉社斷層往深部延伸則匯入崙後及馬頭山之底部滑脫面。由重建結果顯示，獺頭—布拉社斷層的地下構造呈現南北兩段不同的形貌；在北段，淺部呈高角度斷層至深部則以低角度匯入鹿窟斷層的底部滑脫面之中。在南段，轉為布拉社斷層，斷層形貌則以低角度斷層為主，最終匯入崙後斷層區域主要的滑面之中 (圖 4-13)。

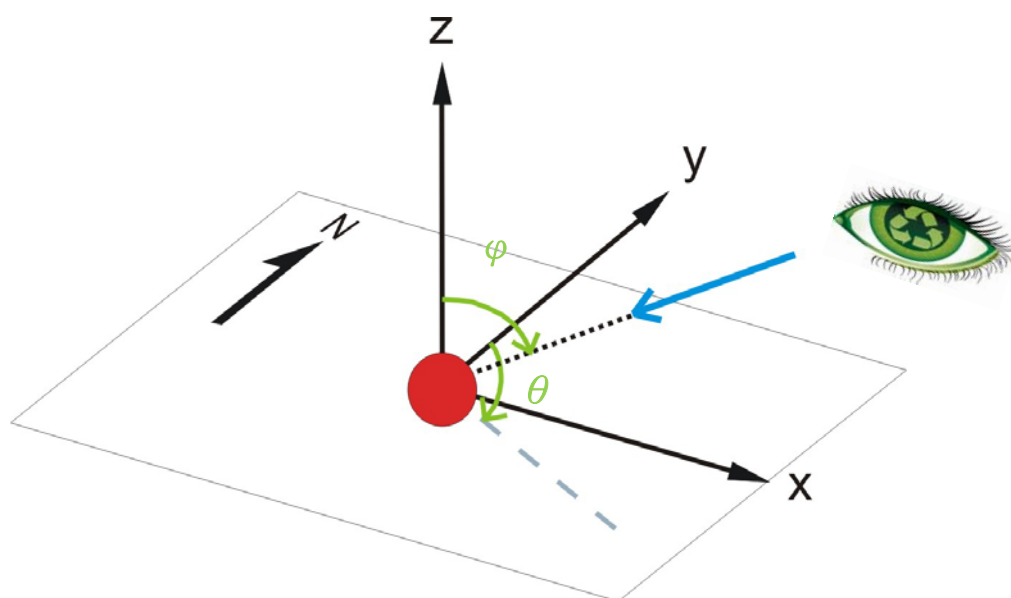


圖 4-5 三維模型角度表示法示意圖， $\theta$  為平面之方位角； $\varphi$  為觀察者之俯角。藍線為觀察方向，灰線為觀察方向在水平面之投影。

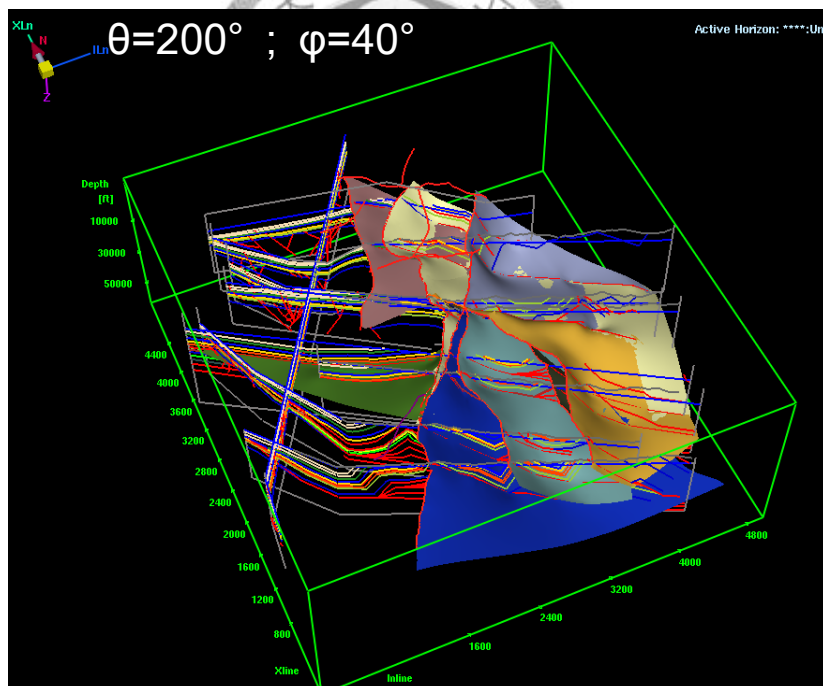
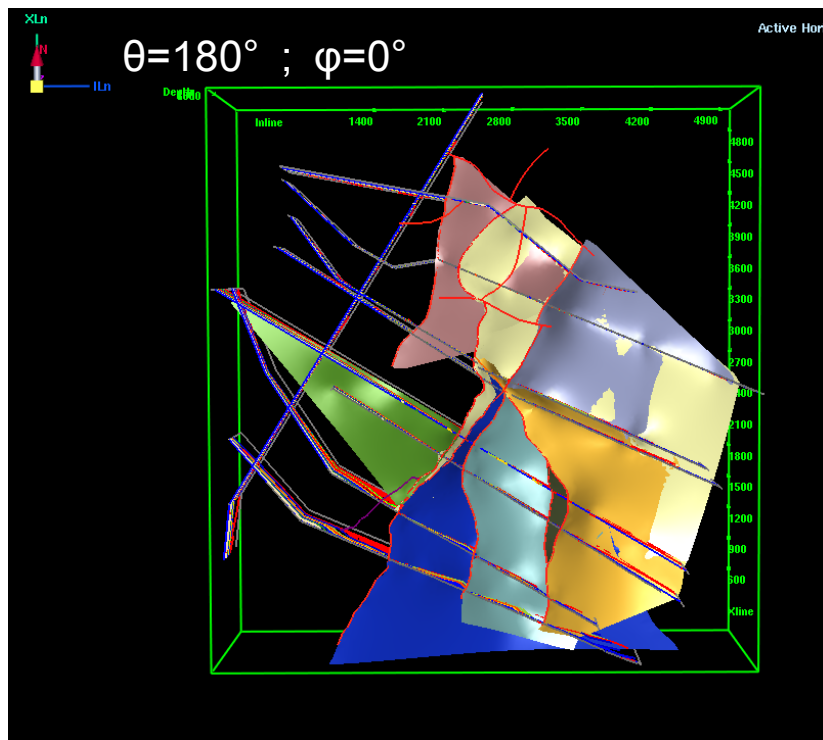


圖 4-6 嘉義地區九條地質構造剖面位置以及地下三維斷層模型之俯視圖與側視圖，不同顏色代表不同斷層面。灰色為鹿窟斷層，淡黃色為大尖山與觸口斷層系統，暗紅色為九芎坑斷層，深藍色與淡綠色則分別為過獺頭斷層後才出現之崙後斷層與馬頭山斷層，黃色為獺頭斷層，往北段連接觸口斷層，往南則延伸為布拉社斷層，西邊綠色則為背衝斷層。

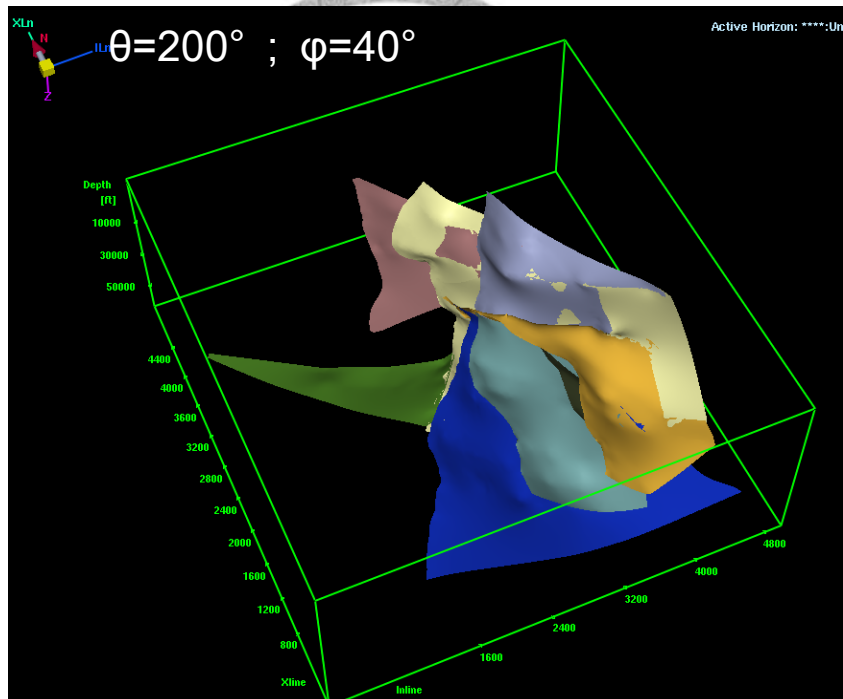
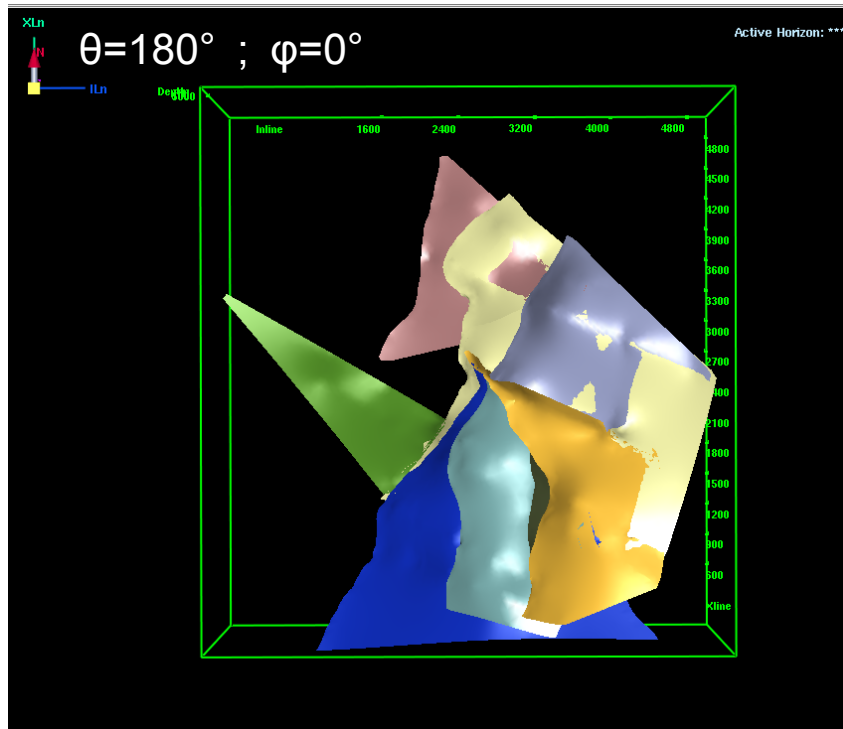


圖 4-7 嘉義地區地下三維斷層模型之俯視圖與側視圖。灰色為鹿窟斷層，淡黃色為大尖山與觸口斷層系統，暗紅色為九芎坑斷層，深藍色與淡綠色則分別為崙後斷層與馬頭山斷層，黃色為獺頭斷層，往南則延伸為布拉社斷層，西邊綠色則為背衝斷層。



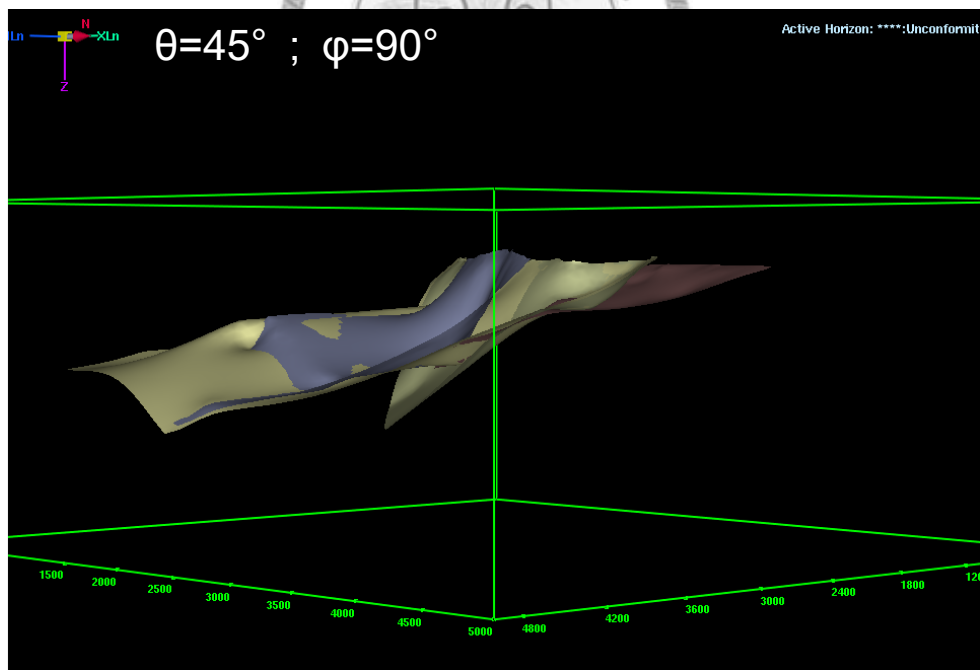
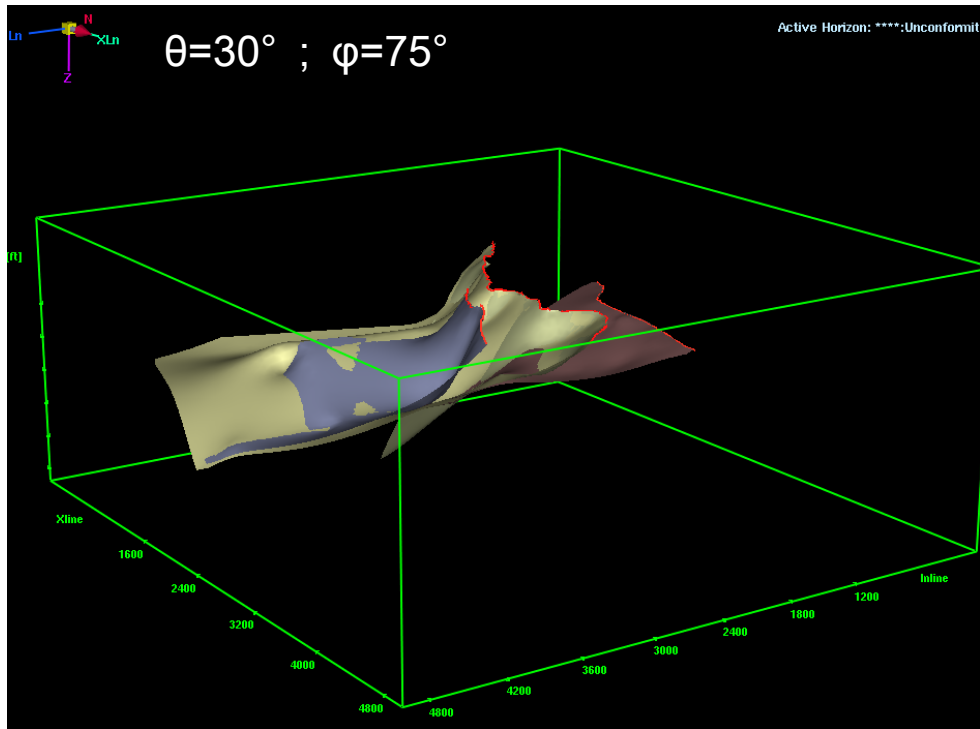


圖 4-8 九芎坑-大尖山-鹿窟地下斷層形貌，暗紅色為九芎坑斷層，淡黃色為大尖山斷層，紫色為鹿窟斷層。

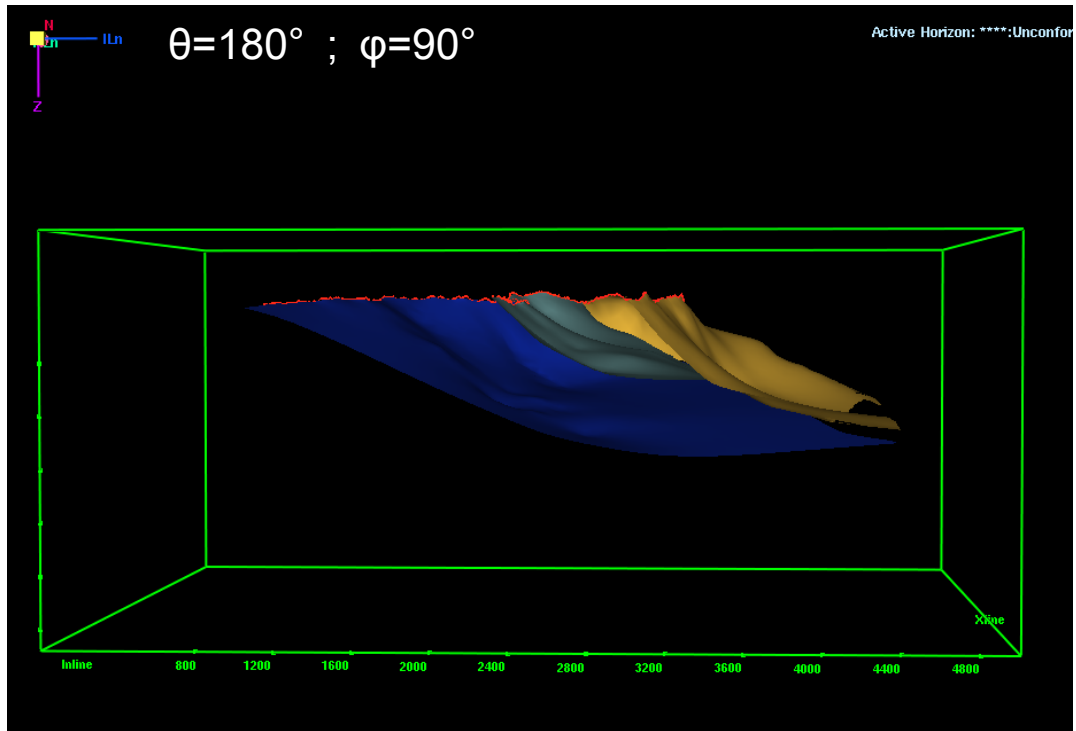


圖 4-9 崙後斷層、馬頭山斷層與布拉社斷層地下斷層形貌，橘色為布拉色斷層，綠色為馬頭山斷層，藍色為崙後斷層。

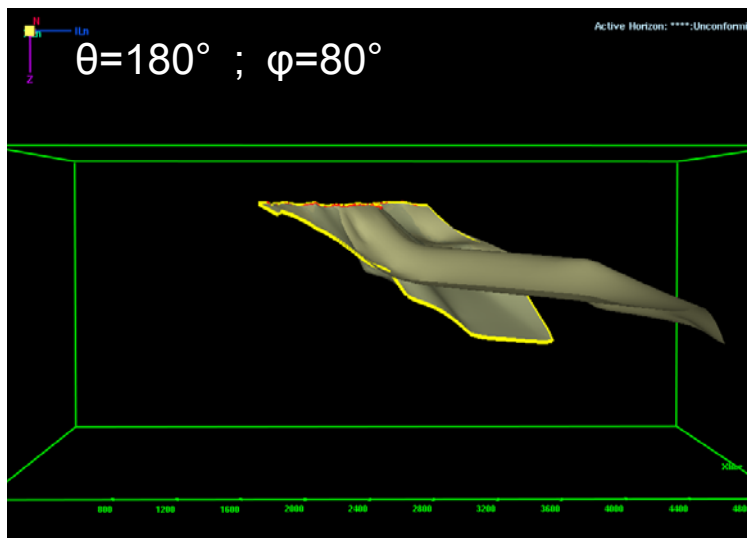
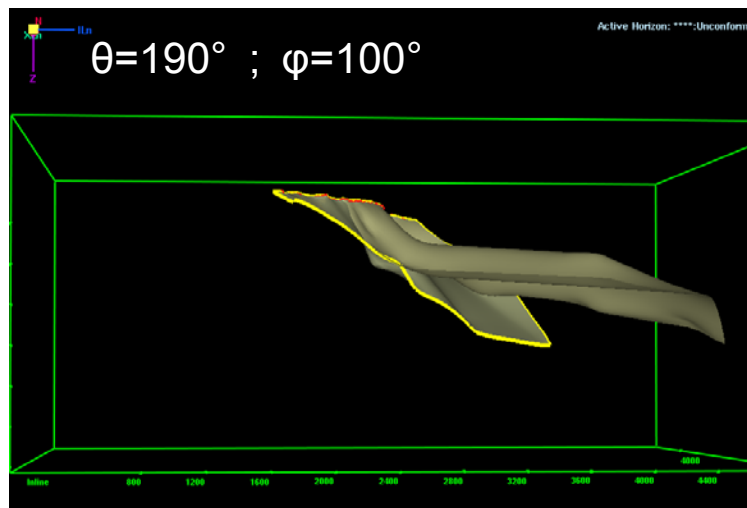
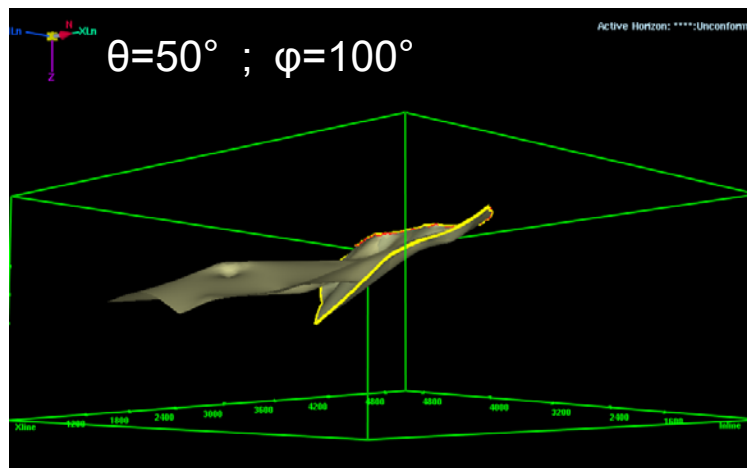


圖 4-10 大尖山-觸口斷層系統地下斷層形貌。

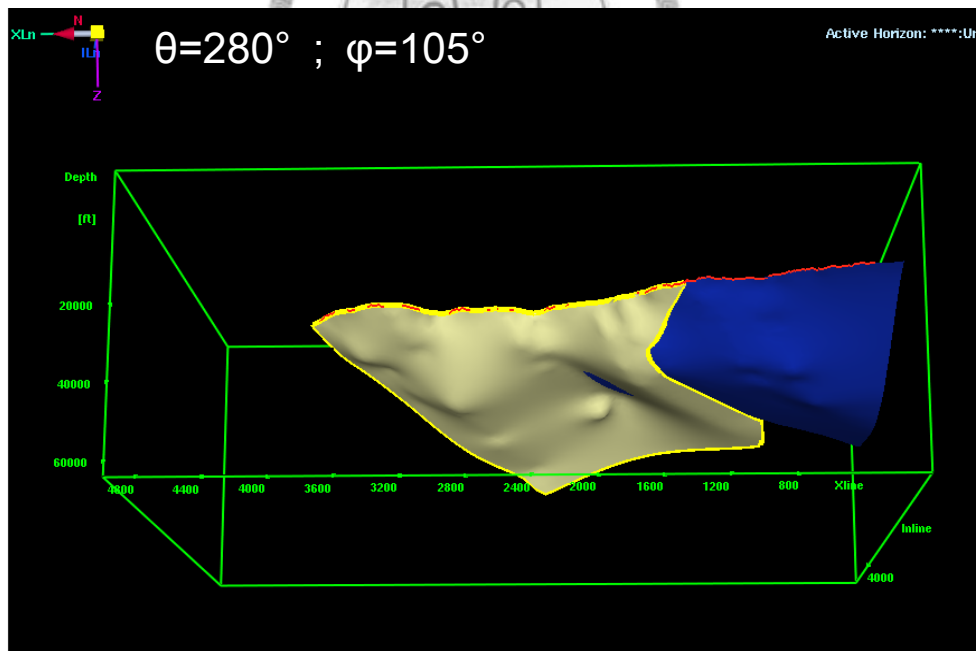
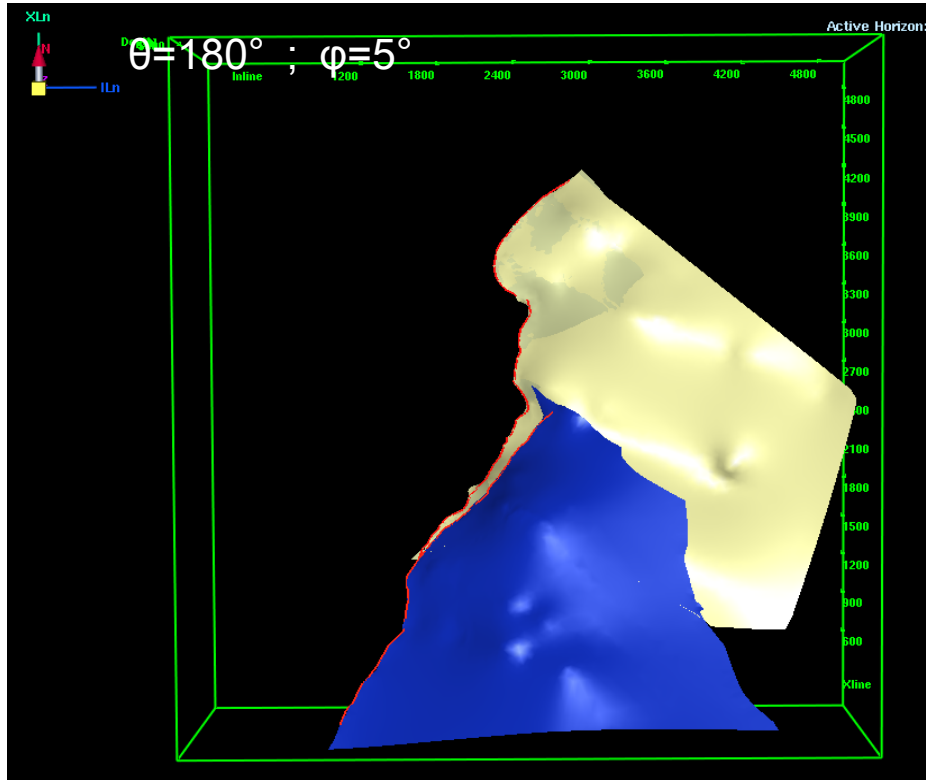


圖 4-11 觸口-崙後斷層系統地下斷層形貌，藍色為崙後斷層，淡黃色為觸口斷層。

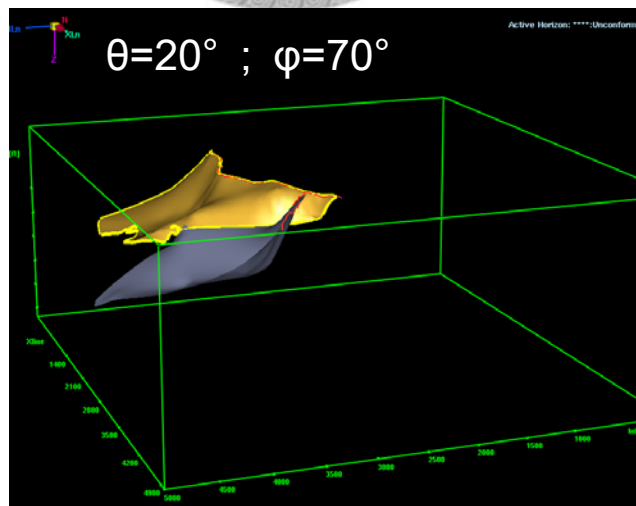
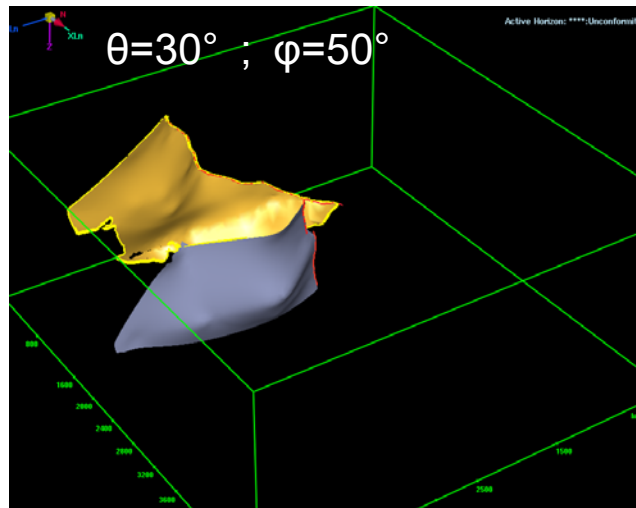
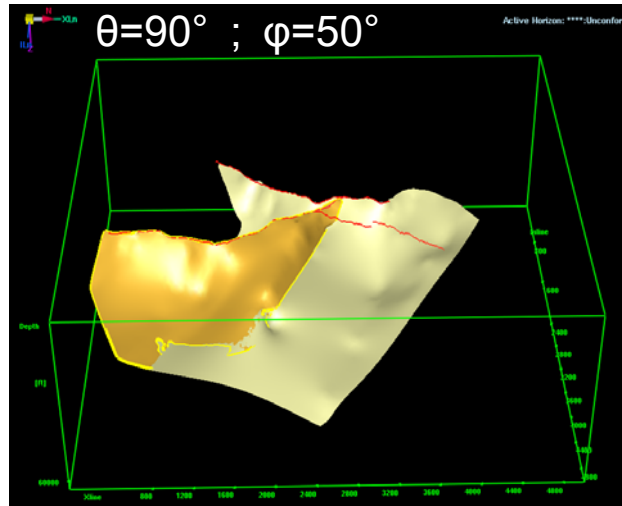


圖 4-12 獺頭-布拉社斷層系統與鹿窟斷層地下斷層形貌，橘色為獺頭與布拉社斷層，紫色為鹿窟斷層，淡黃色為大尖山-觸口斷層系統。

$$\theta=0^{\circ} ; \varphi=0^{\circ}$$

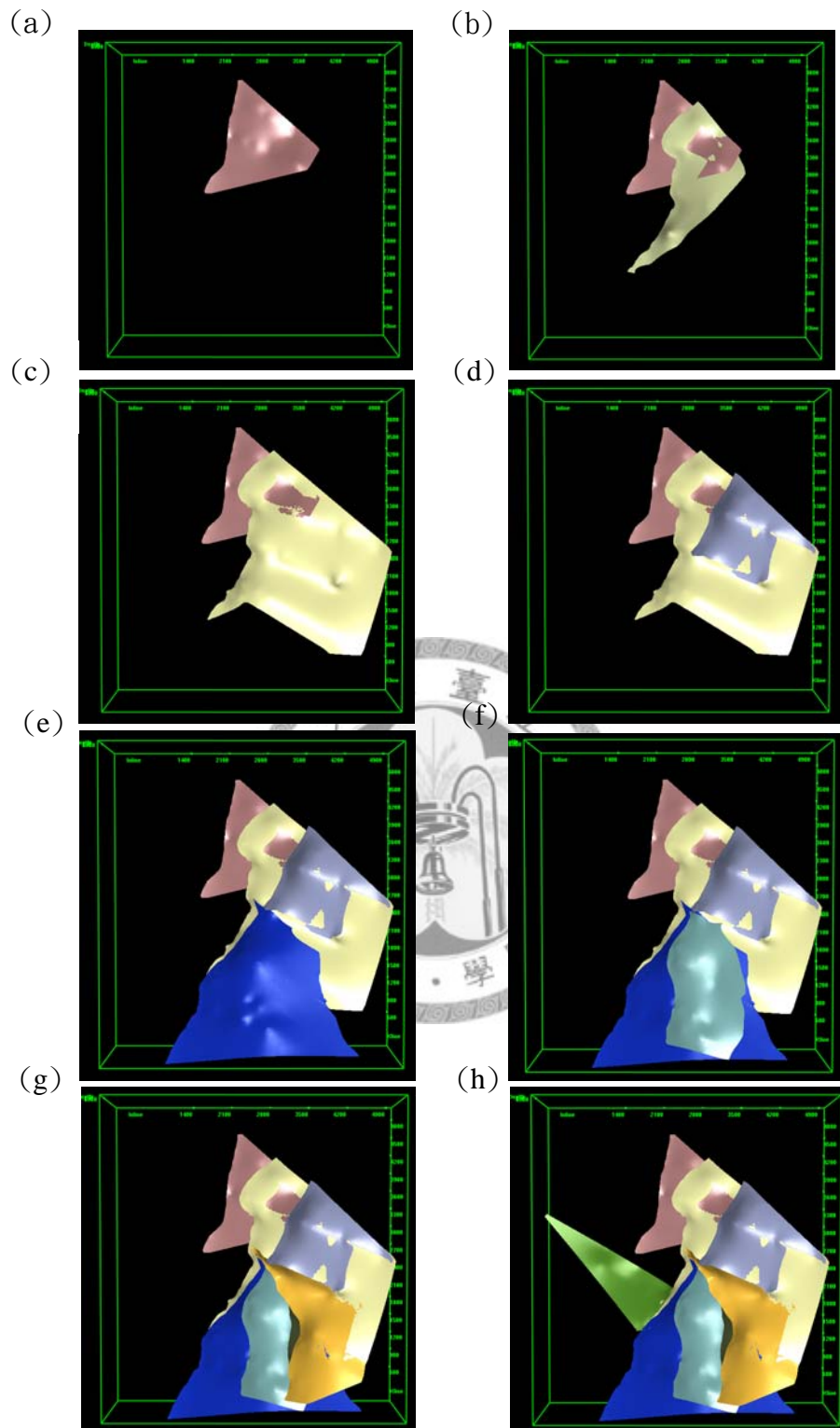


圖 4-13 嘉義地區各斷層形貌：(a)九芎坑斷層(b)大尖山—觸口斷層早期正斷層形貌(c)大尖山—觸口斷層反轉構造(d)鹿窟斷層(e)崙後斷層(f)馬頭山斷層(g)獺頭—布拉社斷層(h)前緣背衝斷層。



#### 4.4 嘉義地區地震活動特性

在本章節中將透過八條橫跨嘉義地區內麓山帶之地震活動的深度分佈剖面，由北至南為 Line A 至 Line H(圖 4-14)，配合位於相同位置的地質構造剖面且整合三維斷層模型與地震活動的空間分布，針對研究區域中的地震構造活動特性進行初步分析。

本研究中選取的地震資料為吳逸民利用中央氣象局 1991-2007 年的地震重定位資料經 3D 重定位地震資料與震源機制解(Focal mechanism)，再使用地球物理資料繪圖軟體(GMT)將與沿剖面垂直距離兩公里之地震投影至剖面上。

從嘉義地區地震分佈明顯的可以看出，地震活動的分佈大致以觸口斷層為界，觸口斷層以東，地震活動集中於本研究剖面之南北兩側，而本研究剖面所經過之緊密構造帶地震活動相對較少；在觸口斷層前緣地區，相對於緊密構造而言地震活動相當活躍(圖 4-14b)。觸口斷層前緣地震分成南北兩群地震群，北部地震群主要為 1999 年嘉義地震之地震序列(Chen et al., 2008)，而南部地震群則為規模 4-5 之小群地震。從震源機制解，嘉義地震有兩組機制解，一組走向為東北-西南之走向滑移斷層，與北邊之梅山斷層一致，一般認為是梅山斷層往深部延伸之斷層面，另一組為北北西走向之逆衝斷層，嘉義地震主震為此形態之震源機制解；南部地震群有東西走向的走向滑移斷層，也有逆衝斷層形態，但逆衝斷層走向較不一致(圖 4-14a)；由震源深度分佈結果顯示，位於大尖山斷層一帶之地震活動主要集中於大尖山斷層下盤且分佈約在 10-15 公里深(圖 4-15)，其中 Line A(圖 4-15a)中大尖山-觸口斷層系統下盤的三個地震群皆深於其斷層線，而在 Line B(圖 4-15b)中則集中於大尖山斷層轉至水平處，暗示此處為應力累積的地方。位於觸口斷層區域的剖面(圖 4-16)，其地震活動特性不同於大尖山區域，在此區域中內麓山帶地震活動聚減，主要的地震活動則是分佈於內麓山帶前緣區域，且由 Line D(圖 4-16a)與 Line E(圖 4-16b)剖面中可以清楚的看到這些麓山帶

前緣的地震活動似乎有一個明顯的界線，過此界線地震活動聚減。在緊密構造南邊之地震活動主要沿著 10 公里深左右分佈(圖 4-17)，此與前人地質剖面中的底部滑脫帶一致。

在空間上同樣也可以看出，地震活動於主要斷層下方約 10-15 公里形成一個寬帶(圖 4-18a)，且分別於大尖山斷層下方、觸口斷層前緣以及崙後斷層下方地震活動特別活躍(圖 4-18b)，其中在崙後斷層下方地震分布形成一個向東加深的滑脫面(圖 4-19a)；在觸口斷層前緣則有一明顯向西傾斜之界線(圖 4-19b)；而在大尖山斷層下方地震雖然分布於 10 公里深，但卻無明顯之滑脫面且集中於大尖山斷層之下方(圖 4-19c)。

縱合以上的觀察結果，嘉義地區地震活動特性大致為，地震活動幾乎分佈於 10-15 公里之間的深度，且分佈特性南北區域不同；另外，在觸口斷層區域中，地震幾乎集中在觸口斷層前緣區域，成為緊密構造帶中構造最活躍之區域(表 4-1)。



(a)

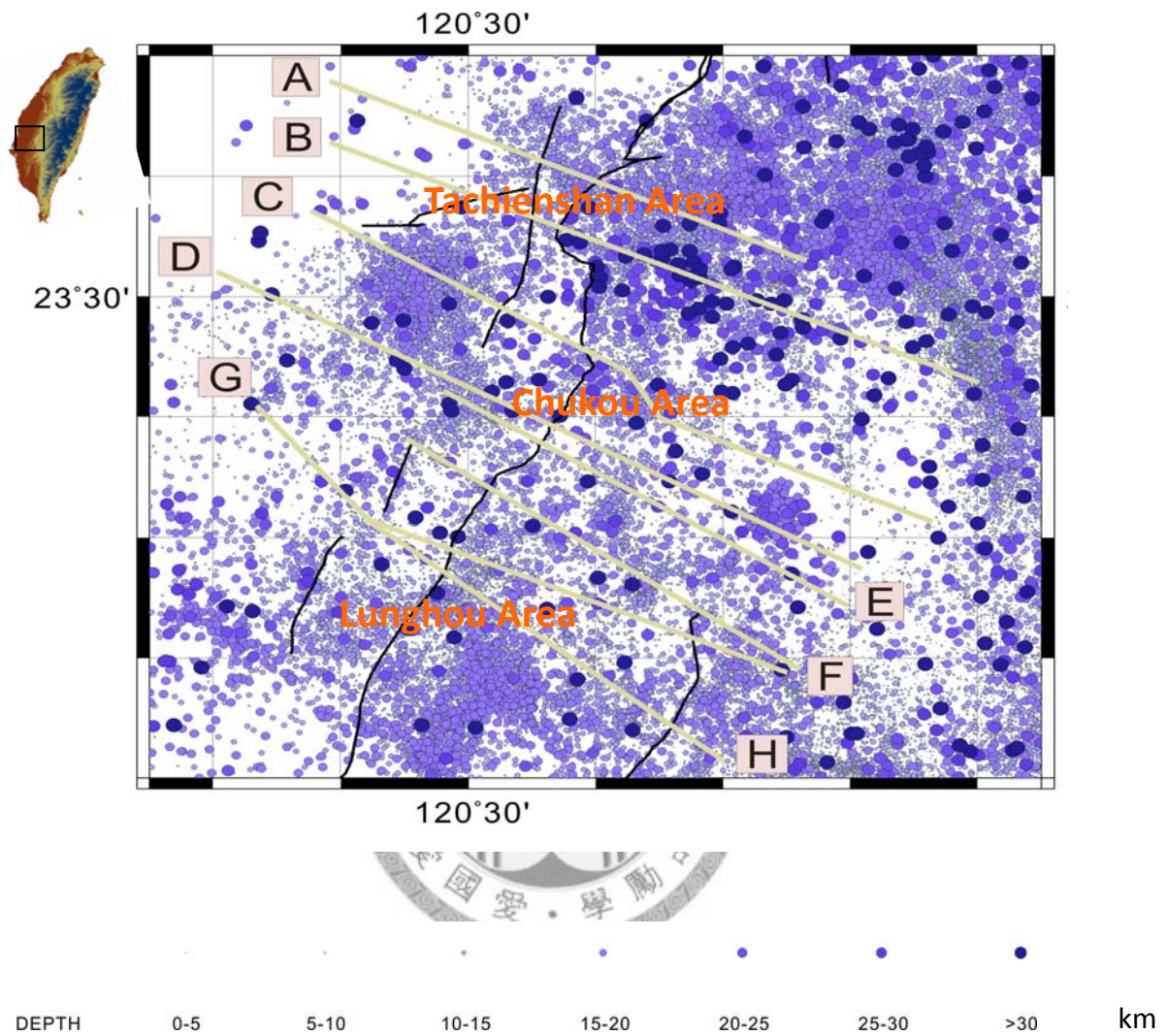


圖 4-14 嘉義地區地震活動分佈與震源機制解。(a) 1991-2007 年地震活動分佈，綠色區塊為大尖山斷層區域，紅色區塊為緊密構造帶區域，黃色區塊為崙後斷層區域。與(b)觸口地區震源機制解。

(b)

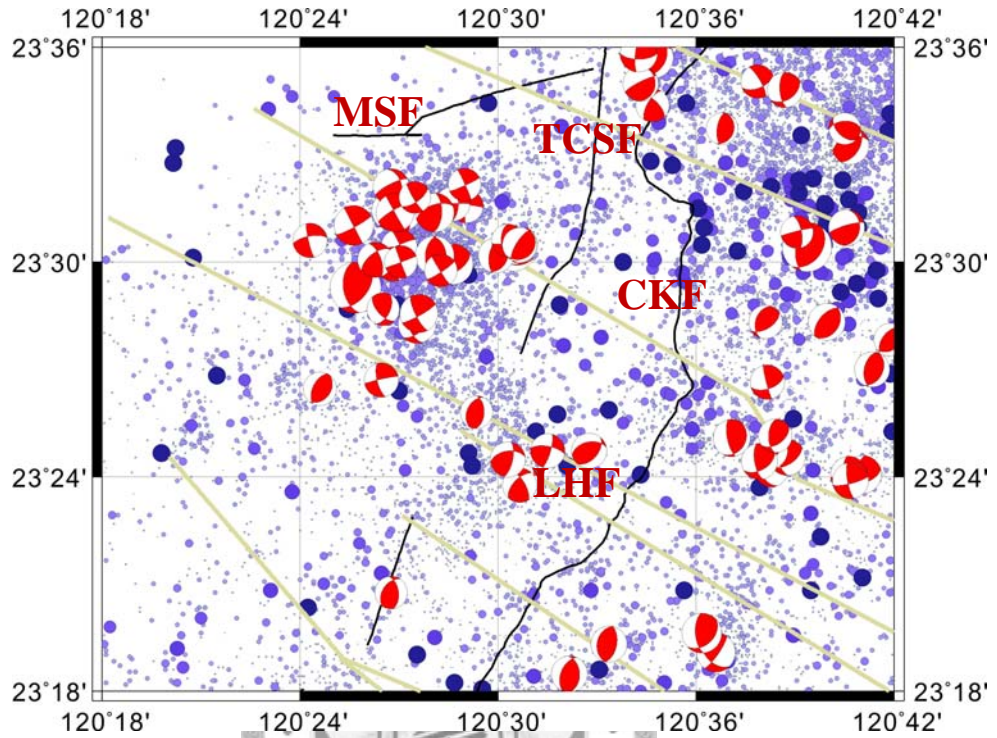


圖 4-15 續。



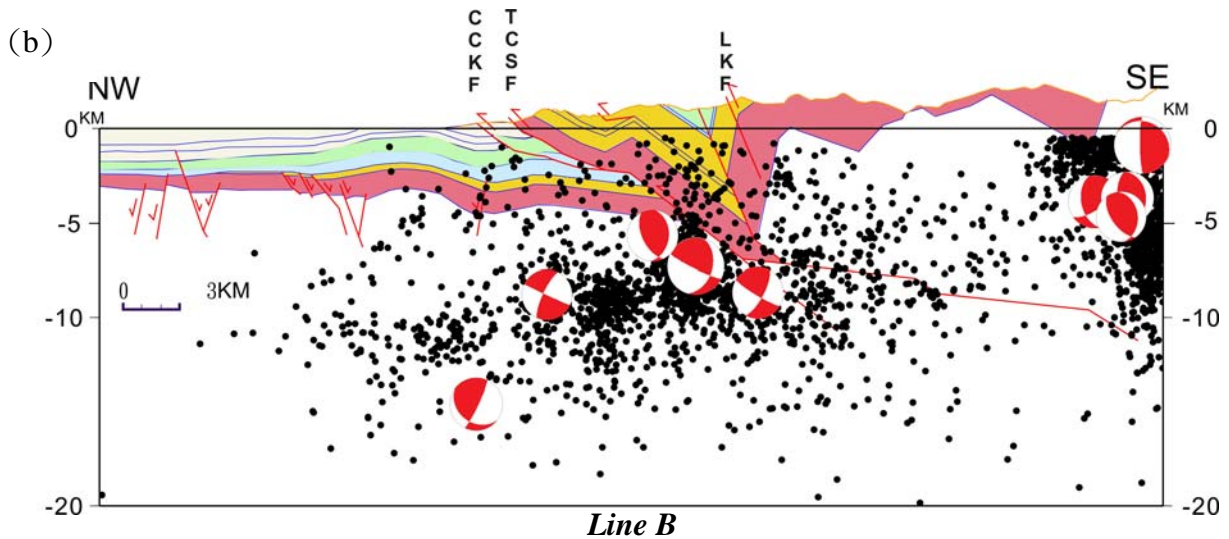
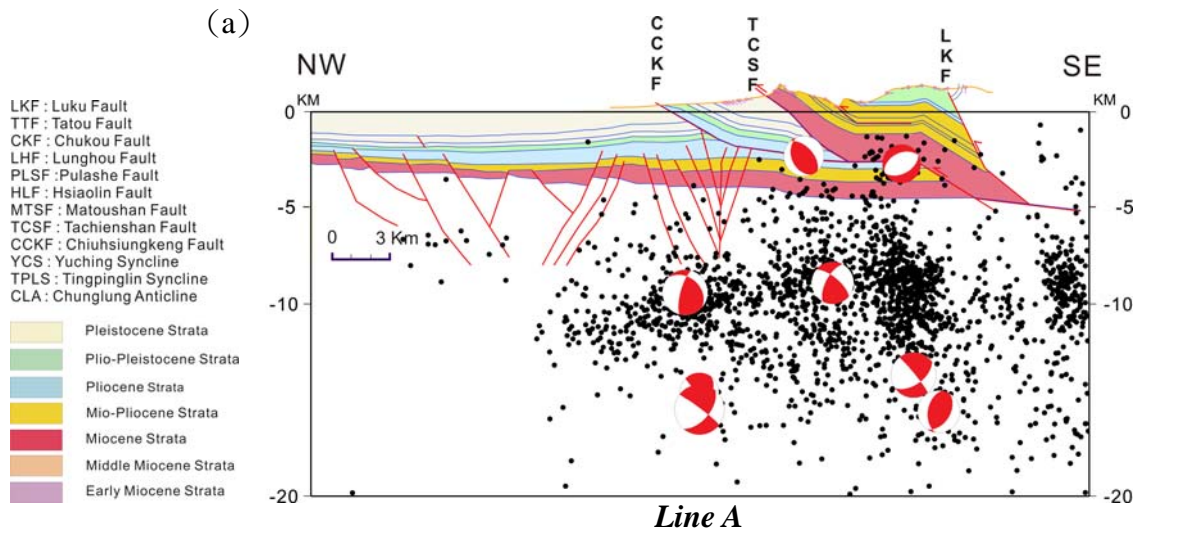


圖 4-16 大尖山斷層區域地質構造與地震活動，黑色圓點為震源分佈，紅色為震源機制解。(a)沿地質構造剖面 Line 18 之地震活動分佈；(b)沿地質構造剖面 Line 19 之地震活動分佈。

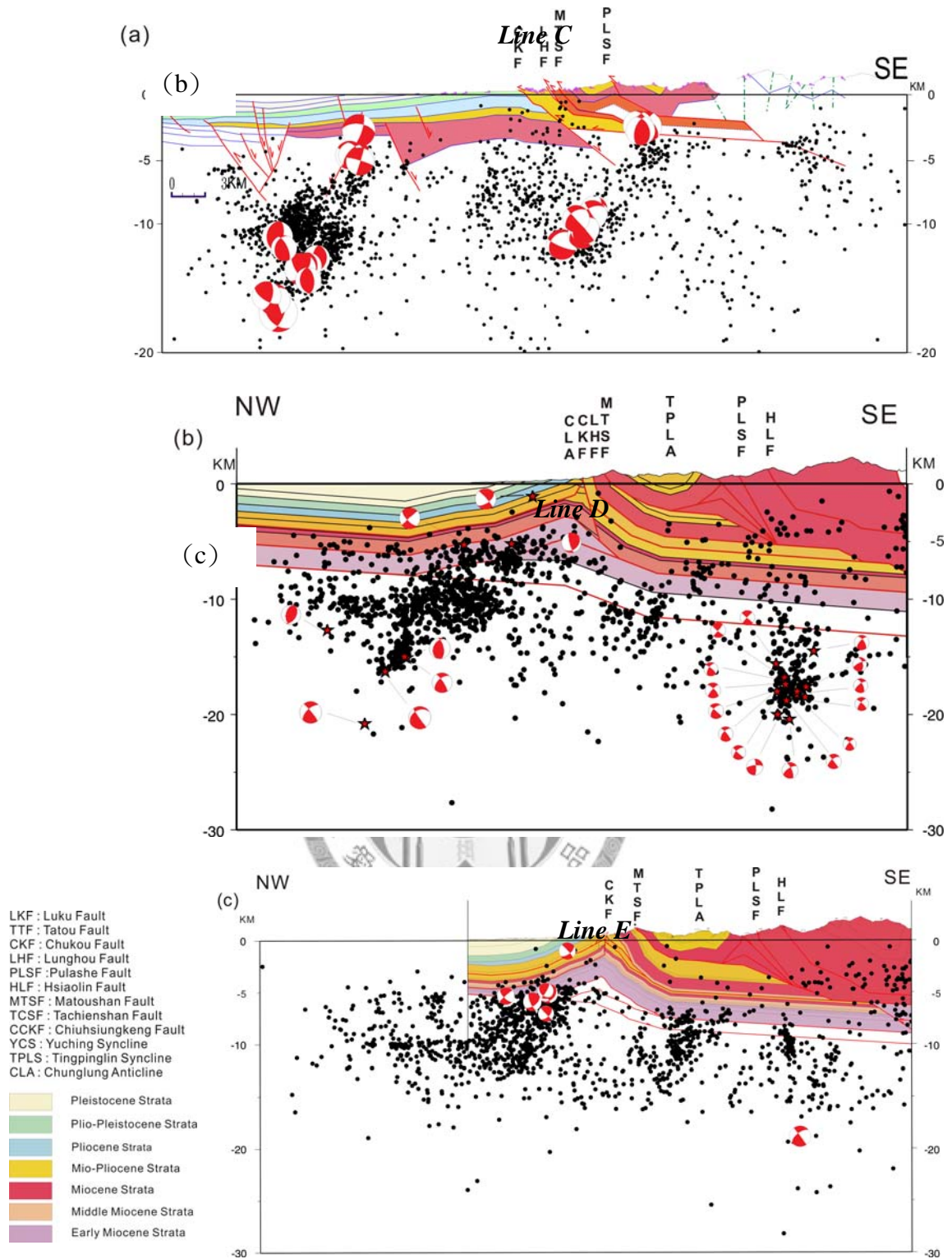


圖 4-17 觸口斷層區域地質構造與地震活動，黑色圓點為震源分佈，紅色為震源

機制解。(a)沿地質構造剖面 Line 21 之地震活動分佈；(b)沿地質構造剖面 Line 1'之地震活動分佈；(c)沿地質構造剖面 Line 1 之地震活動分佈。



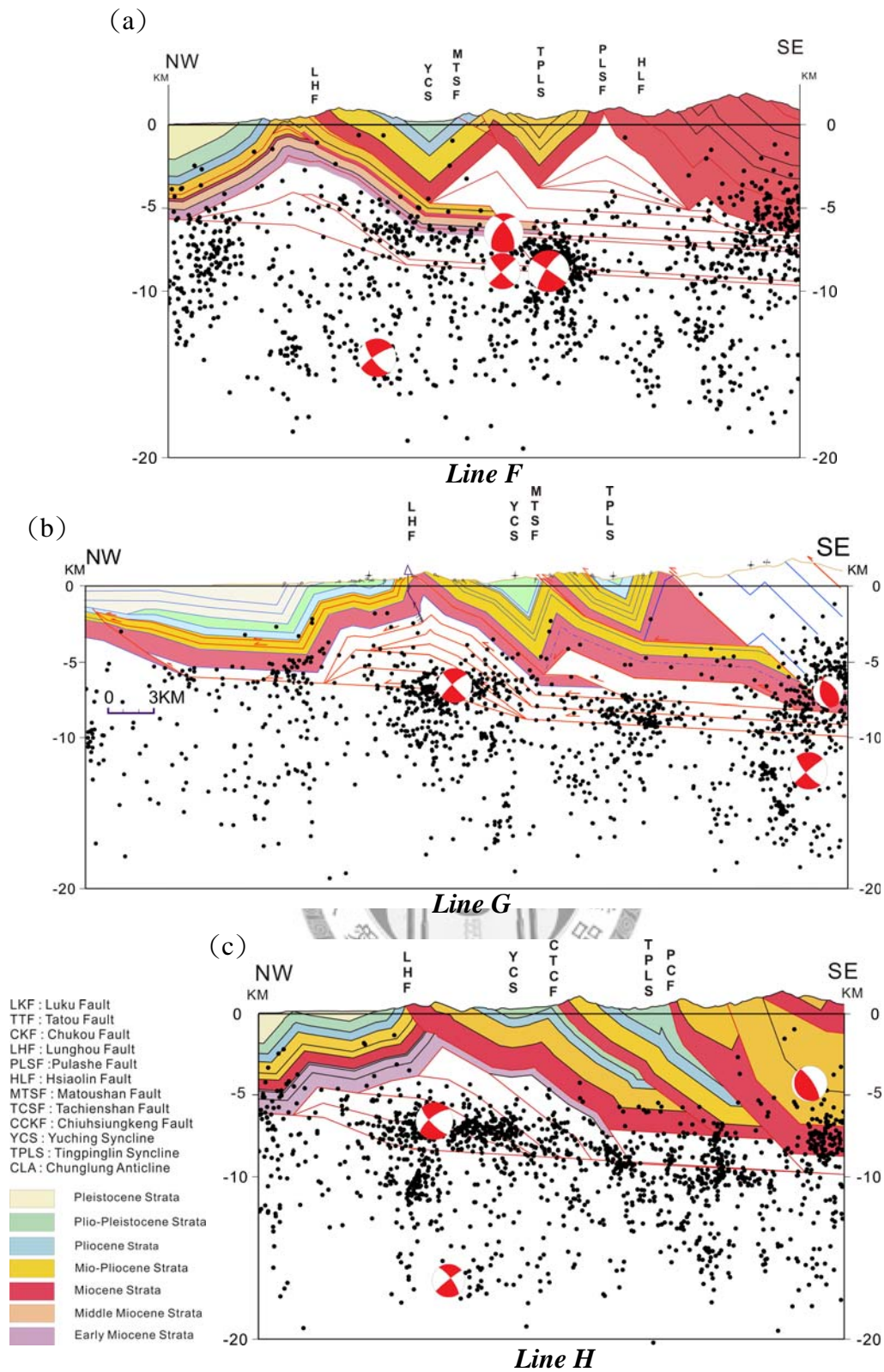


圖 4-18 崙後斷層區域地質構造與地震活動，黑色圓點為震源分佈，紅色為震源機制解。(a)沿地質構造剖面 Line 22 之地震活動分佈；(b)沿地質構造剖面 Line 23 之地震活動分佈；(c)沿地質構造剖面 Line 2 之地震活動分佈。

表 4-1 嘉義地區地震活動特性。

	大尖山斷層區域		觸口斷層			崙後斷層區域		
	Line A	Line B	Line C	Line D	Line E	Line F	Line G	Line H
分佈深度範圍	5-12 km	5-11 km	5-16 km	5-16 km	6-15 km	6-15 km	7-15 km	8-15 km
地質剖面構造深度	5 km 深	5 km & 9 km	5 km	14 km	10 km	10 km	10 km	10 km
分佈特性	1. 震分佈較於密集且集中於大尖山、九芎坑斷層下盤。		1. 內麓山帶前緣地震活動頻繁。			1. 地震分佈較於分散且約在 10 公里上下。		

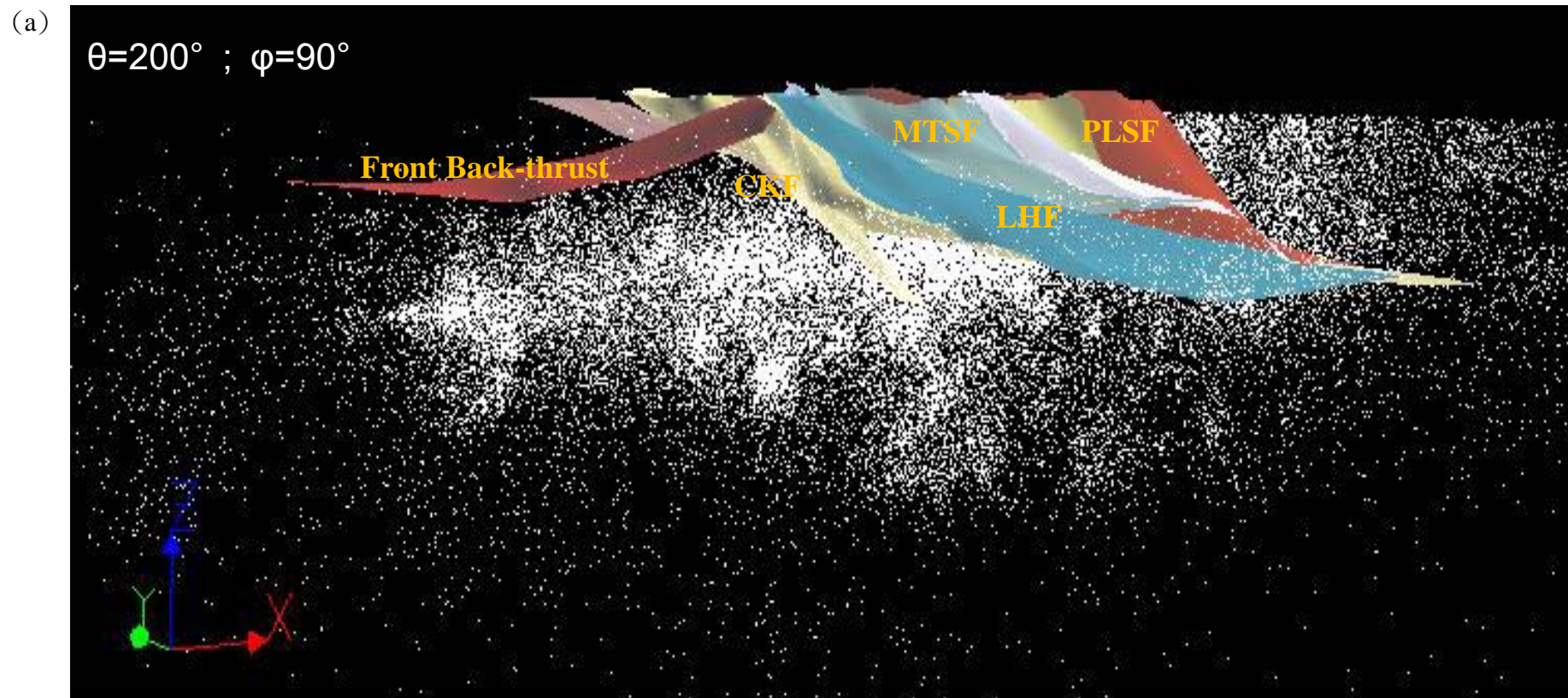


圖 4-19 嘉義地區地下三維斷層形貌與長期地震活動分布。(a)側視圖，地震活動集中在 10-15 公里之間；(b)仰視圖，在大尖山斷層下方、觸口斷層前緣以及崙後斷層下方地震活動頻繁。



(b)

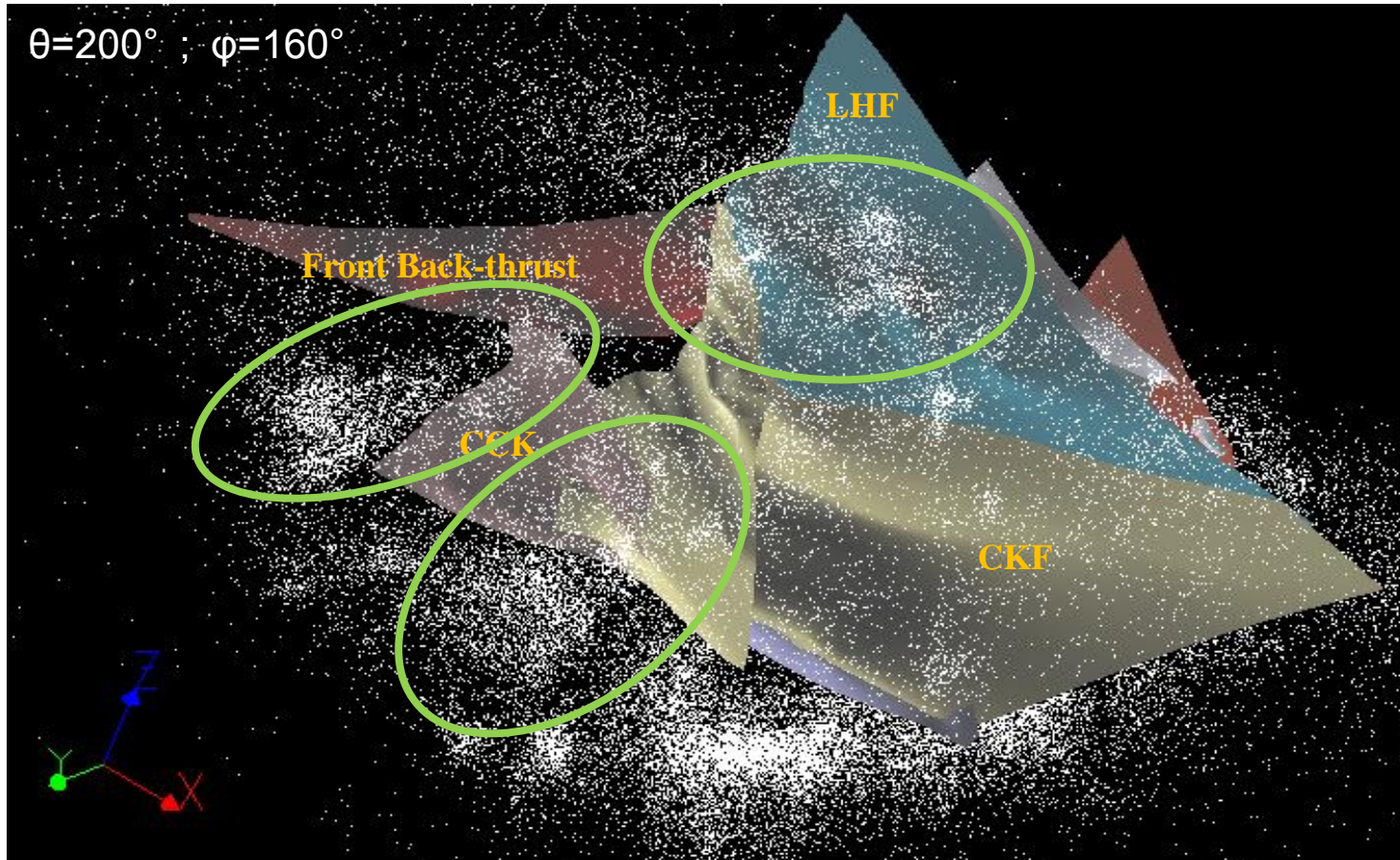


圖 4-18 續。

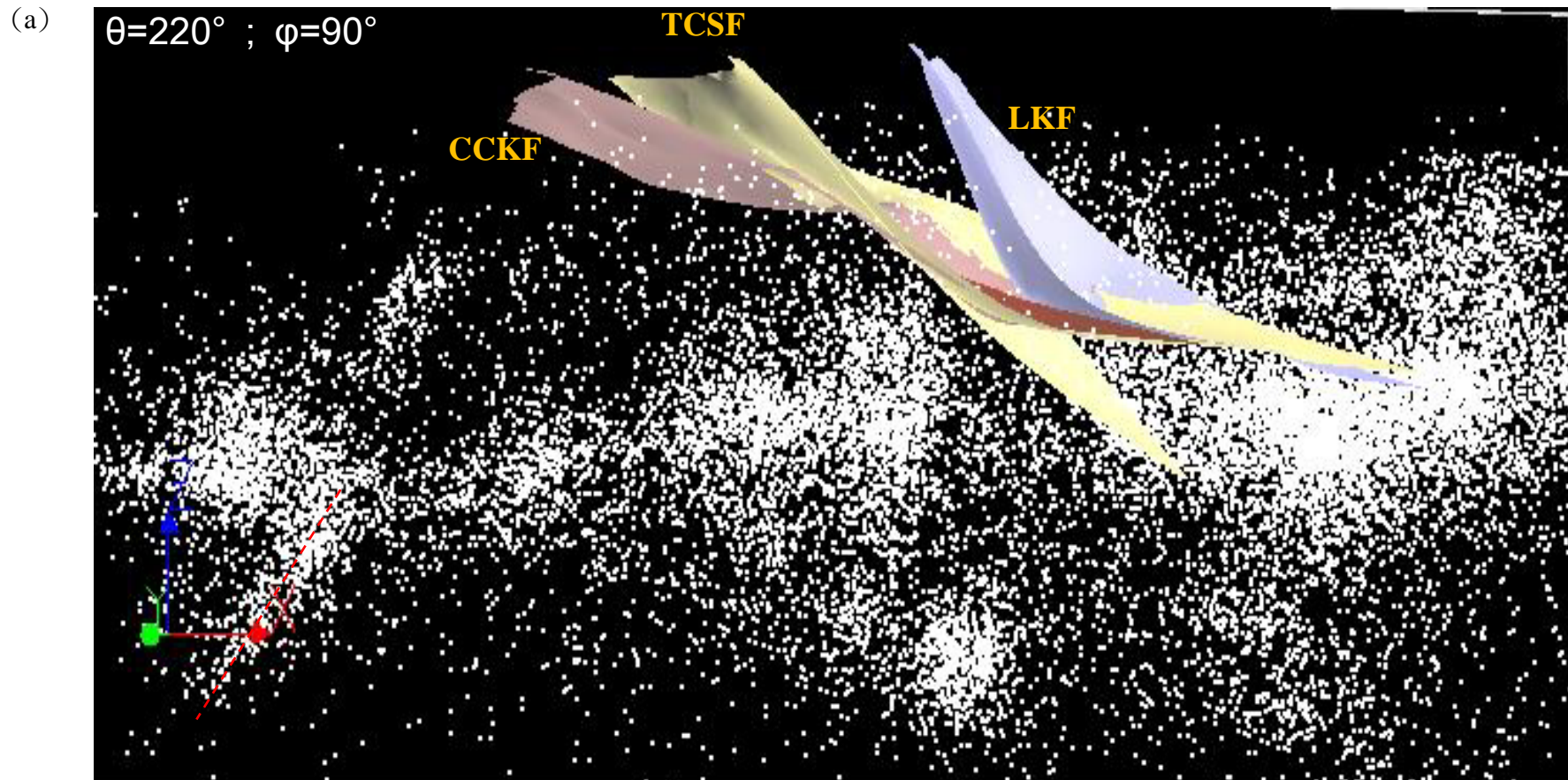


圖 4-20 嘉義地區各區塊三維斷層形貌與長期地震活動分布。(a) 大尖山斷層區塊地震活動集中於大尖山斷(b)觸口斷層前緣地震活動分布形成一向西傾斜之界線；(c) 崙後斷層區塊，地震活動由西向東沿一滑脫面分布。



(b)

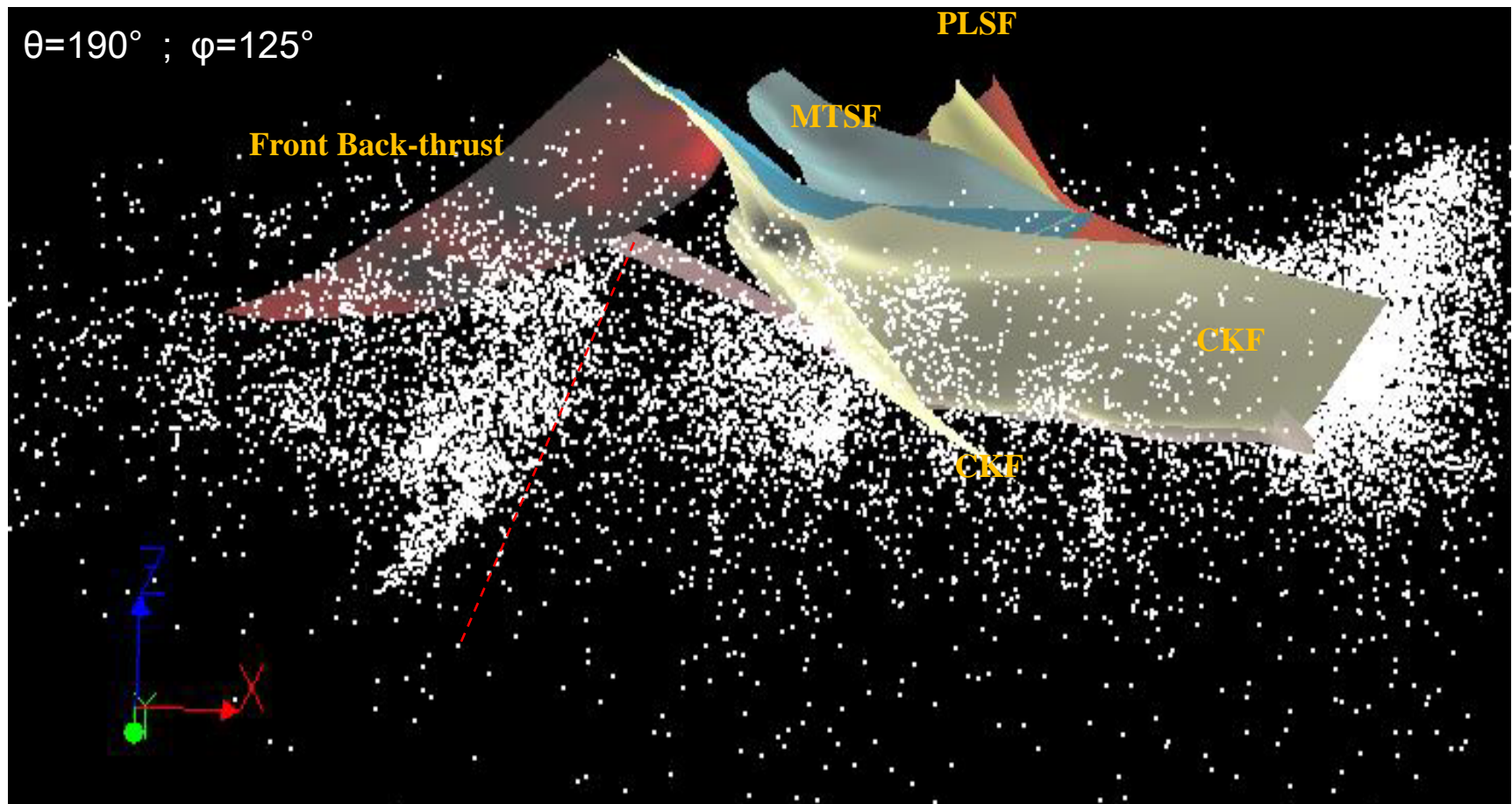


圖 4-19 續。



(c)

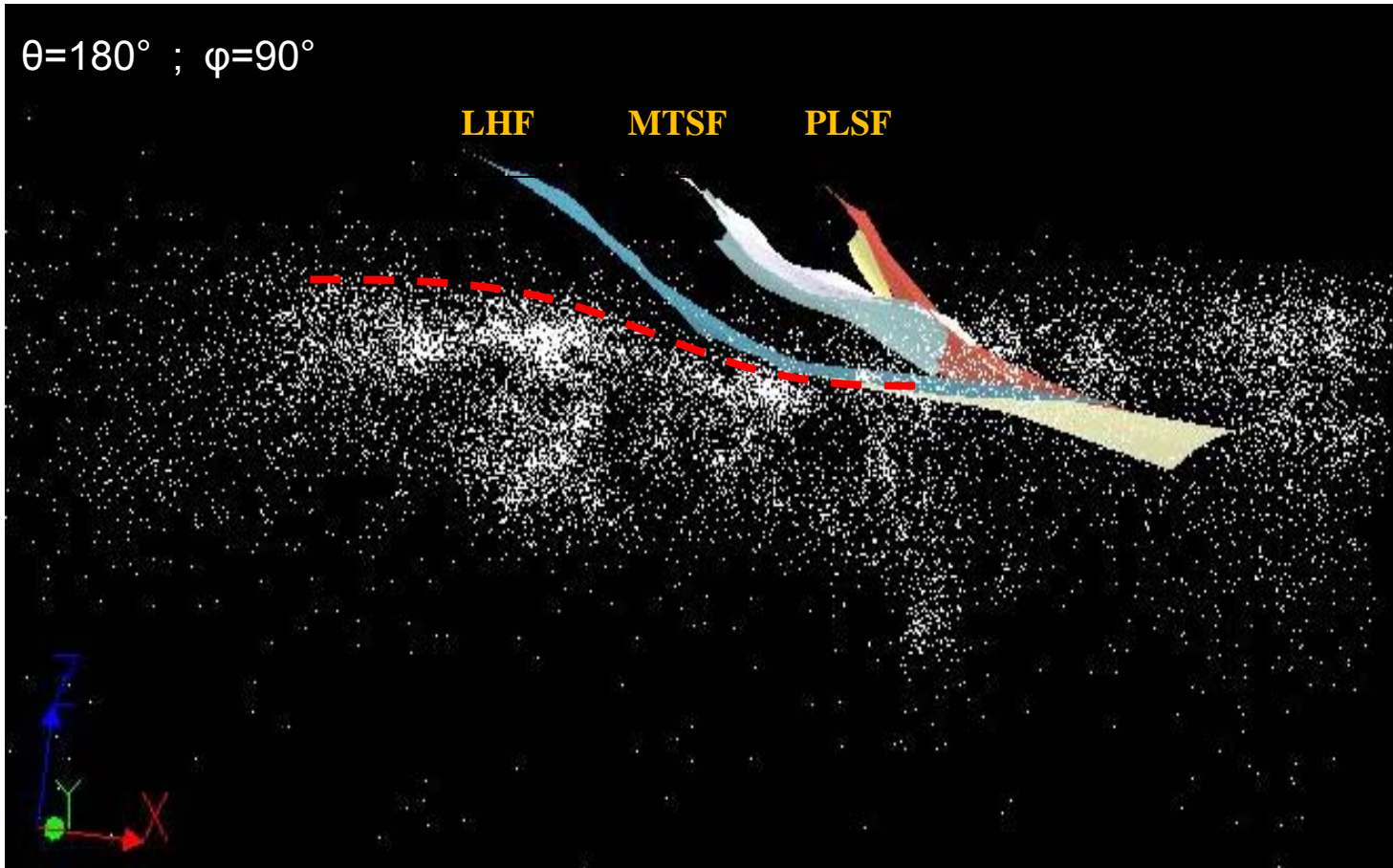


圖 4-19 續。

## 第五章 討論

### 5.1 嘉義地區構造演化

本研究重建嘉義地區地質構造剖面，並且利用 2D Move 軟體協助回復，透過軟體回復我們可以回溯區域地質最初的狀態，即受構造擠壓作用前地層的水平狀態，根據斷層發育的時序重現本研究剖面的地質構造演化過程。

台灣西部麓山帶地質構造為典型覆瓦狀逆衝斷層構造，在斷層發育的時序中，大致由東往西，即往前陸方向逐漸發育，本研究剖面橫跨了內外麓山帶，沿線經過的主要斷層由東往西分別為小林斷層、布拉社斷層、馬頭山斷層、崙後斷層、觸口斷層以及前緣反向逆衝斷層，其中除了馬頭山斷層外，其他斷層發育皆為順時序。在本章節中，僅討論自崙後斷層活動開始以來的構造演化依斷層活動時間分成七個階段呈現：

首先是崙後斷層的發育(圖5-1a)，在崙後斷層開始活動前，最東側之布拉社與小林斷層早已發育，且正斷層構造為造山運動前形成的，此階段中崙後斷層開始活動(圖5-1a)，崙後斷層沿著以長枝坑層底部為滑移面之下部斷坪發育，往上切穿中崙層至鳥嘴層，再沿鳥嘴層頂部滑移，最後長枝坑層、糖恩山砂岩、鹽水坑層以及隘寮腳層等較老之岩系滑移上覆於鳥嘴層之上。

在崙後斷層形成之後，下盤繼續發育出觸口斷層(圖5-1b)，受到早期正斷層構造的影響，原先低角度之逆衝斷層在遇到正斷層構造後則沿此高角度的斷層面衝出地表，形成近地表為高角度之逆衝斷層，深部乃一低緩傾角的滑移斷層(圖5-1b)。

當觸口斷層活動停止後，新的斷層構造並未繼續在觸口斷層下盤發育，相反的，由崙後斷層上盤發育另一條新的斷層構造，即馬頭山斷層(圖5-1c)，因此馬頭山斷層是逆時序發育的，在發育的過程中，馬頭山斷層沿前期崙後斷層與觸口斷層東端之滑移面發育，至中崙層頂部切穿觸口斷層上盤之鳥嘴層與崙後斷層上盤之岩系，形成斷坡，最後沿崙後斷層上盤的鳥嘴層發育。由於馬頭山斷層的發育將東側的長枝坑層、中崙層與鳥嘴層帶往地表，造成地層重複出現。在此階段中，在應力擠壓持續作用下，造成崙後斷層上覆岩系產生斷塊，沿馬頭山斷層滑動，形成疊置構造(圖5-1d)，而馬頭山斷層上覆岩系由於受到疊置構造的拱起，形成現今的頂坪林向斜(圖5-1d)。

演化到了後期在觸口斷層前緣區域發展出背衝構造（圖5-1e），此背衝斷層沿著中崙層接近底部的滑移面向東逆衝，造成上盤地層抬升；最後一個階段為中崙背斜形成（圖5-1f），沿著漸新世底部與中新世底部逐漸發育出分別向西與向東逆衝之楔形體，先發育沿早中新世五指山層底部滑移向東逆衝之上部楔形體，爾後再發育沿漸新世木山層底部滑移經一斷坡爬升至早中新世五指山層底部向西逆衝之下部楔形體，將上方地層拱起，成為中崙背斜（圖5-1g）。



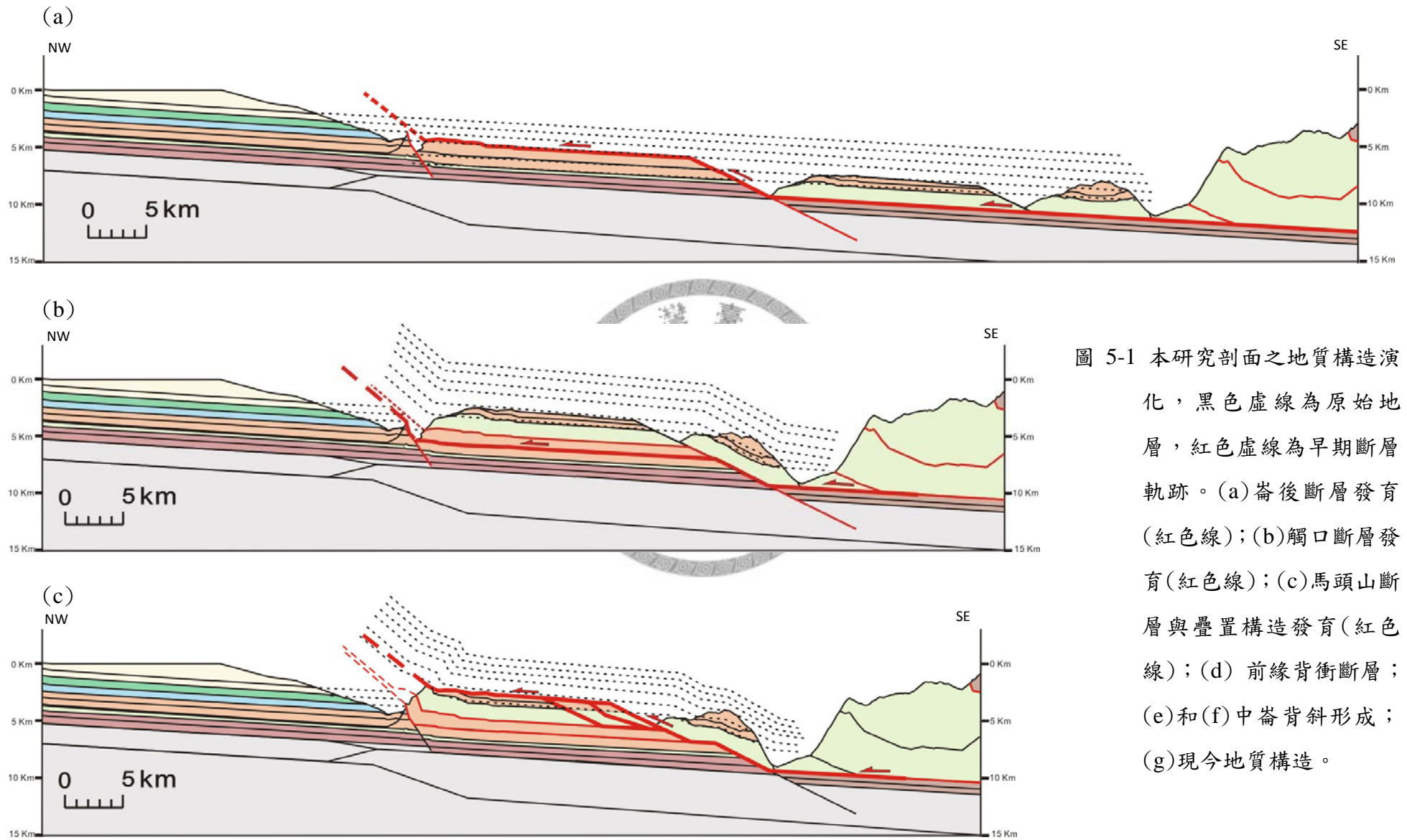


圖 5-1 本研究剖面之地質構造演化，黑色虛線為原始地層，紅色虛線為早期斷層軌跡。(a) 崙後斷層發育(紅色線)；(b) 觸口斷層發育(紅色線)；(c) 馬頭山斷層與疊置構造發育(紅色線)；(d) 前緣背衝斷層；(e) 和(f) 中崙背斜形成；(g) 現今地質構造。

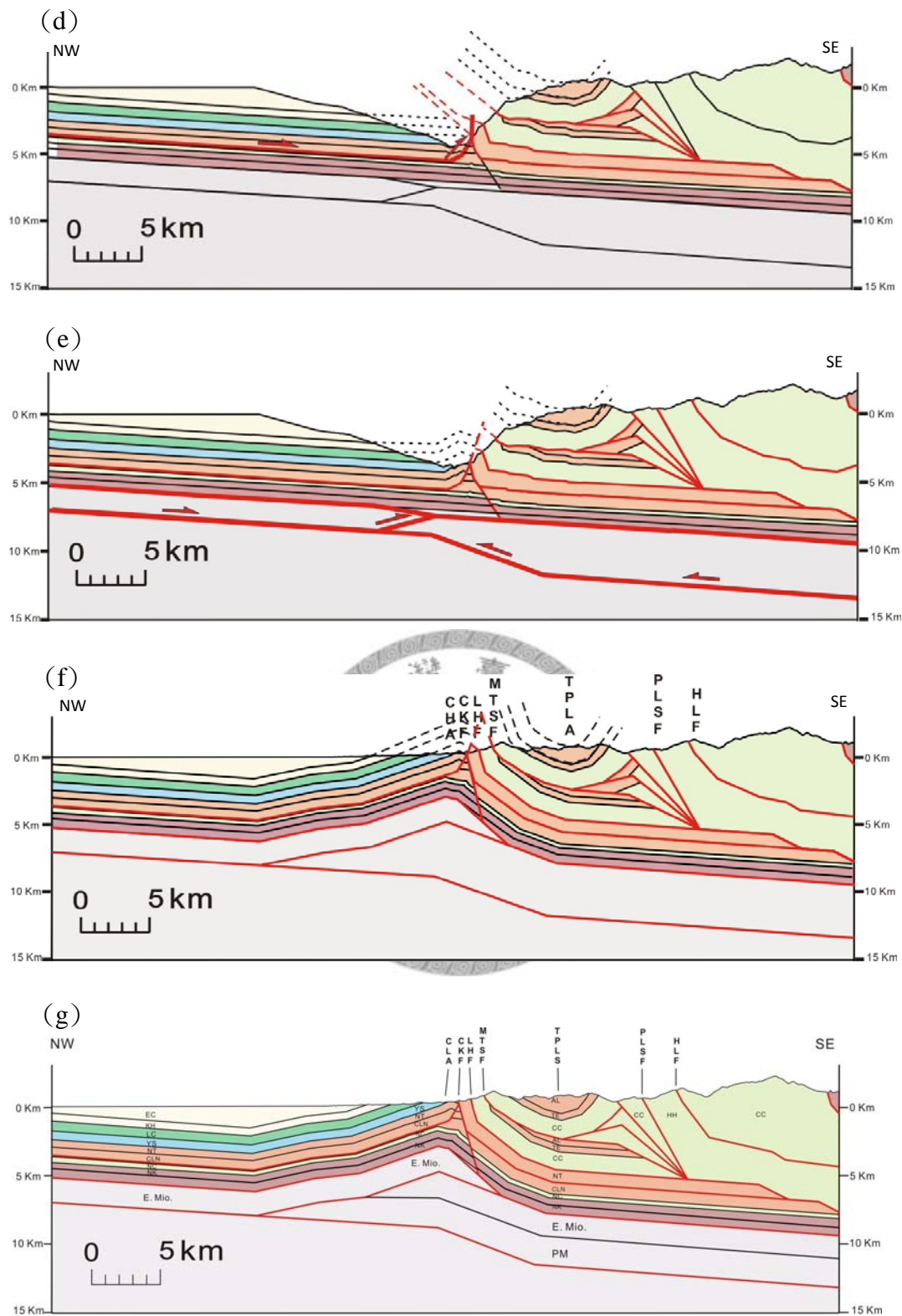


圖 5-1 續。

## 5.2 觸口斷層與崙後斷層的轉換

由本研究所建構的嘉義地區地下三維斷層模型顯示(圖 4-9)，觸口斷層幾何形貌包括早期高角度正斷層，和深部以低角度逆衝至淺部轉成高角度的反轉構造，反轉構造往北延伸連接至大尖山斷層，往南匯入崙後斷層後，大尖山—觸口斷層系統之滑移量逐漸轉移到崙後斷層。另外，大尖山與鹿窟斷層終止於獺頭斷層的逆衝滑移量很可能也被崙後斷層所吸收。

根據台中、嘉義地區地質構造溯源分析結果(表 5-1)，在台中盆地的 Line 16 剖面(黃旭燦等，2004)上，車籠埔斷層、彰化斷層以及彰化斷層之前緣斷層三斷層共縮短 12.6 公里，在 Line 13 剖面(黃旭燦等，2004)上，彰化斷層與車籠埔斷層總縮短量 19.75 公里。往南，嘉義觸口地區，Line 18 剖面(黃旭燦等，2004)中九芎坑斷層與大尖山斷層兩大斷層收縮量共 12.27 公里。統計結果顯示，各地區之最小縮短量皆小於本研究中觸口斷層與崙後斷層的總縮短量 32.5 公里。其中，嘉義觸口地區的大尖山與鹿窟斷層之最小縮短量為 15 公里，也遠低於嘉義崙後地區之水平縮短量，推測其可能的原因有二，一為大尖山地區與台中盆地第一區之水平縮短量應比過去所認知的 15 公里更來得大；二為獺頭斷層的剪裂特性可能吸收了南北兩區域逆衝滑移量的差異。

表 5-1 台中、嘉義地區地質構造回復結果(摘自 黃旭燦等，2004)。

剖面名稱	地區	縮短量 (公里)	斷層水平縮短量	備註
Line 1'	嘉義 崙後	32.5	觸口斷層水平滑距 2.1 公里，崙後斷層約 30.4 公里。	本剖面
Line 18	嘉義 觸口	12.3	九芎坑斷層約 2.8 公里，大尖山斷層約 9.5 公里。	楊耿明等， 2001a
Line 16	台中 盆地	12.60	彰化斷層 0.7 公里，車籠埔斷層 11.5 公里。	楊耿明等， 2003
Line 13	台中 盆地	19.75	彰化斷層 7.2 公里，車籠埔斷層 12.6 公里。	楊耿明等， 2003



### 5.3 嘉義地區之活動構造

對於嘉義地區之活動構造以及觸口斷層的活動性目前仍無一致的看法，部份前人研究(黃鑑水等，1994、陳柔妃，1998)認為觸口斷層現今正處於活動時期。近來對於新期構造的研究認為新期構造活動常常伴隨著河階或地表抬升的現象，但觸口斷層在地表地形上卻無顯著的變化，缺乏地表抬升的直接證據(Shyu et al., 2005)，讓觸口斷層之活動性受到質疑。地質圖上，馬頭山斷層地表跡線截切愈來愈老的地層，此斷層跡線與地層之交角關係顯示馬頭山斷層可能為一逆時序發育斷層。由本研究剖面的重建，馬頭山斷層的發育晚於觸口斷層與崙後斷層，顯示現今前者的構造活動性高於後面兩者，因此八掌溪以南的區域較高的構造抬升率(黃筱婷，2008)可能並非由觸口斷層所造成的，而是其東側的馬頭山斷層；另外，由 GPS 資料顯示(蔡旻倩，2003、景國恩等，2008)結果，觸口—崙後斷層東西兩側區域 GPS 速度向量場顯著變化也暗示了觸口—崙後斷層東側之馬頭山斷層構造可能正在活動。

除了馬頭山斷層外，在觸口斷層前緣的嘉義丘陵(即中崙背斜與南寮背斜)有抬升沖積扇階地，說明嘉義丘陵可能存在年輕的變形構造(Shyu et al., 2005)，此外我們也發現觸口斷層前緣同為地震活動密集之處，間接暗示了此區域構造處於活動時期的說法。過去對於中崙背斜地下形貌的解釋有；Suppe(1980)與楊耿明等(2001)的斷層彎曲褶皺以及疊置斷塊(duplex)；洪日豪等(Yang et al., 1999)則是以正斷層復活的觀念以及 Suppe(1980)的基底滑移觀念，重新建構大尖山-觸口斷層系統的地下形貌；Mouthereau and Lacombe(2006)是以增厚的中新世地層解釋。在本研究剖面中，認為受控於中崙背斜伸向朝東的構造形貌，以分別朝東西逆衝之上下兩個楔形體之所構成的三角變形帶解釋。此三角變形帶形貌除了符合平衡剖面回復的合理性，另外，楊耿明等人(2007)在「臺灣西南部麓山帶地層增厚所顯示的地下構造特性」的研究中，中關仔嶺 3 號井鑽井資料顯示約 2-3 公里深之處有連續的新第三系地層，而本研究剖面中逆衝斷層帶前緣的背斜構造頂部和底部的構造高度差為 3 公里(圖 5-2)，因此三角變形帶最淺的可能深度為上部先中統地層基盤。

綜合上述討論，馬頭山斷層與三角變形帶之活動性較觸口斷層與崙後斷層高，成為嘉義地區現今重要的活動構造。

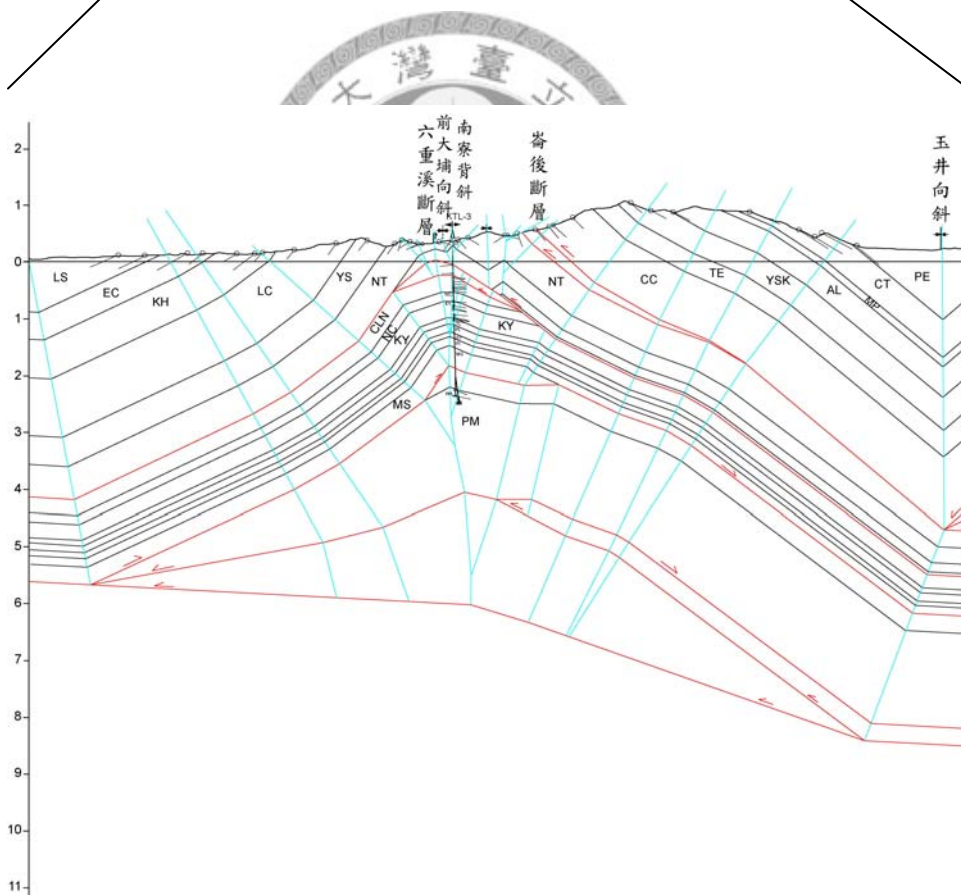
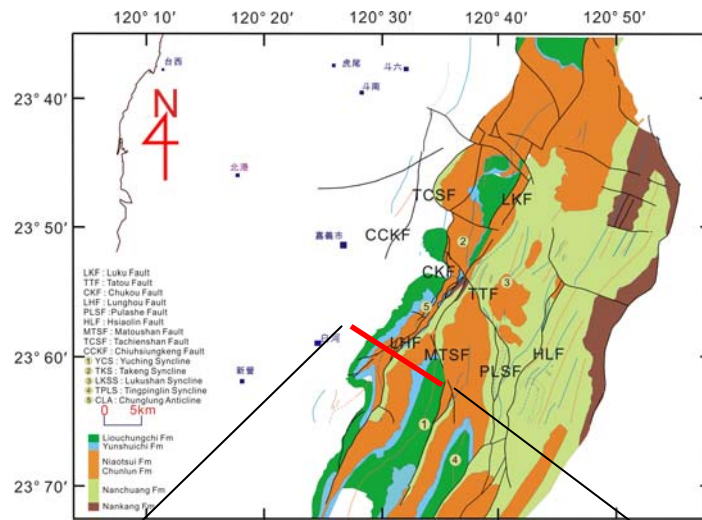


圖 5-2 中崙背斜構造形貌與地下地質資料。通過關仔嶺 3 號井剖面 Line 2，鑽井資料顯示連續的新第三系地層，因此，疊置斷塊最淺的可能深度為上部先中統地層基盤(楊耿明，2007)。

## 5.4 嘉義地區發震特性

由 4.4 章節中整理的嘉義地區地震活動特性(表 4-1)，可以發現觸口斷層前緣與其南北兩側地震活動分布特性不同，其分布上的差異可能來自於區域構造導致不同的發震機制。楊志成(Yang et al., 2007)認為嘉南地區之主要的發震構造座落於一向東微傾的滑脫面上(圖 1-5c, d)，在 4.4 章節中崙後斷層區域(圖 4-17, 4-19c)與觸口斷層區域(圖 4-16, 4-19b)的地震活動主要沿著一個約 10 公里深且往東逐漸加深的滑脫面分布，且地質構造也沿著相同深度之低角度滑脫面滑移，此特性與楊志成等(Yang et al., 2007)認為的嘉南地區發震構造相符，而在大尖山斷層區域卻沒有沿著一向東加深的滑脫面，相反地地震活動集中於九芎坑斷層與大尖山斷層下方，且震源機制解多半為逆衝斷層型態，為應力經累積後釋放的現象，此地震活動特性顯示大尖山斷層區域之發震構造可能受到底部階梯狀基盤所影響(Yang et al., 2007)。

觸口斷層區域與崙後斷層區域的發震構造大致為一個向東加深的滑脫面，其中觸口斷層區域地震密集的分佈於觸口斷層前緣，這些異常地震活躍的現象暗示此區域構造正處於活動階段，且震源機制解帶有逆衝斷層與走向滑移斷層兩種型態，暗示此區域屬於受到應力擠壓作用，地震活動是隨時間持續釋放的，這說明構造擠壓為持續進行的，推測可能是由於麓山帶構造在板塊擠壓往西推近時，受到西北方北港高區的影響而產生的應力累積現象。另外，此區域部分的走向滑移型態的斷層可能為早期存在的正斷層受到應力作用再度活化所形成的。

由二維地質剖面建構的三維斷層模型顯示，大尖山斷層與九芎坑斷層、鹿窟斷層為一系列覆瓦狀構造，斷層往深部匯聚於約 5-7 公里深之基底滑脫面(圖 4-8)，大尖山斷層區域的斷層構造淺於 7 公里，而現今的地震活動分布卻深於這些先前存在的構造，暗示在大尖山斷層區域主要基底滑脫面下方構造正在活動。Shyu et al. (2005)根據河階抬升的證據，也認為現今位於觸口斷層西側之活動構造，是由於構造下方低角度活動盲斷層所造成的。在地形與地震資料均指出在早期存在的基底滑脫面下方的構造具有活動現象，推測在大尖山斷層區域可能正逐漸發育出另一個更深的滑脫面。

## 5.5 緊密構造

Mitra(1986)針對在維吉尼亞州的阿帕拉契亞褶皺逆衝帶中緊密構造線(圖 5-3)進行地質構造剖面之研究,研究結果顯示這些緊密構造線由地下一系列上盤疊置構造(hanging-wall duplex)所構成的。他認為上盤疊置構造的發育是由於底部斷層滑移受到阻擋,造成斷層構造線有緊密分布現象。

根據楊耿明等(1996)對西部陸海域張裂盆地構造研究,台灣西南海域的最後一期張裂活動形成南北兩個向東變寬的張裂盆地,即台南盆地與台西盆地。其中台南盆地內的構造形貌主要由東西走向,並以高角度切入深部中生代或古第三紀基盤的正斷層所組成,盆地北側邊界的正斷層以雁行排列成東北-西南走向的斷層帶,(圖 5-4)。從林殿順(2003)西部海域中新世地層頂部深度變化之研究也可以看出,台南盆地與北港基盤高區以南傾的義竹斷層為界(圖 5-5),斷層構造一直延伸至嘉南平原區,仍維持東西走向的態勢。楊志成等(2007)透過地震資料分析,認為海岸平原區之下亦存在一系列早期發育且近乎東西向的正斷層,並以義竹斷層為界將中生代的基盤區分為北淺南深的基盤形貌,可分別對應至嘉義區塊及台南區塊。此一結果顯示中生代基盤的形貌著實影響褶皺逆衝斷層帶的發育,然而此基盤並未加積至造山帶前緣內。

由 4.4 章節地震活動特性分析結果,在崙後斷層前緣地區地震活動相當頻繁且集中,這些在緊密構造前緣活躍的地震活動,代表此處應力增加能量釋放的證據,暗示在延伸至嘉南平原的西南海域,早期正斷層可能對麓山帶的構造演化產生影響,另外,在本研究剖面中,馬頭山斷層的逆時序發育,即發育晚於崙後斷層,也是麓山帶在演化的過程中受到阻擋的結果。綜合以上的觀察,嘉義地區崙後斷層與馬頭山斷層所構成的緊密構造線,可能是當麓山帶逆衝斷層由東往西發育時,西南海域的台南盆地與構造高區之交界阻擋了崙後斷層往西繼續推進,結果使得上盤的馬頭山斷層逆時序逆衝至崙後斷層上盤之岩系,導致此區域構造線如此分布。

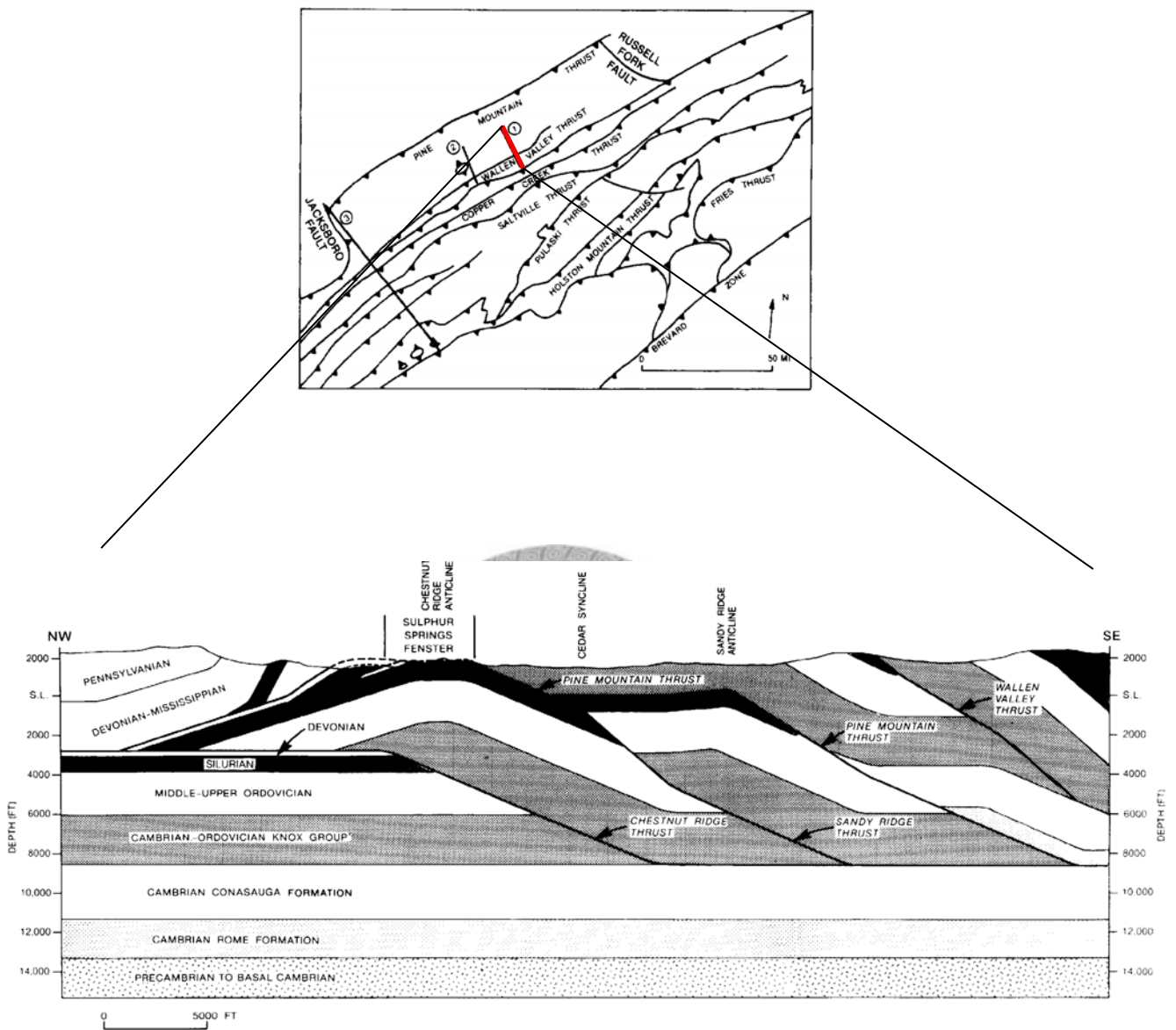


圖 5-3 維吉尼亞州的阿帕拉契亞褶皺逆衝帶概略圖，(a)地質構造剖面 cross-section 1，緊密構造線的地下地質構造一系列上盤疊置構造(hanging-wall duplex)組成(摘自 Mitra, 1986)。



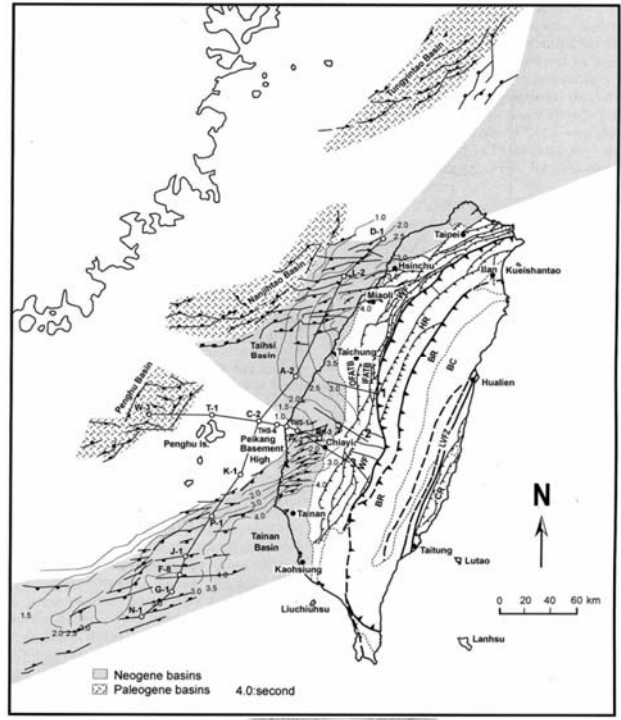


圖 5-4 台灣西部陸海域張裂盆地構造(摘自楊耿明等，2006)。

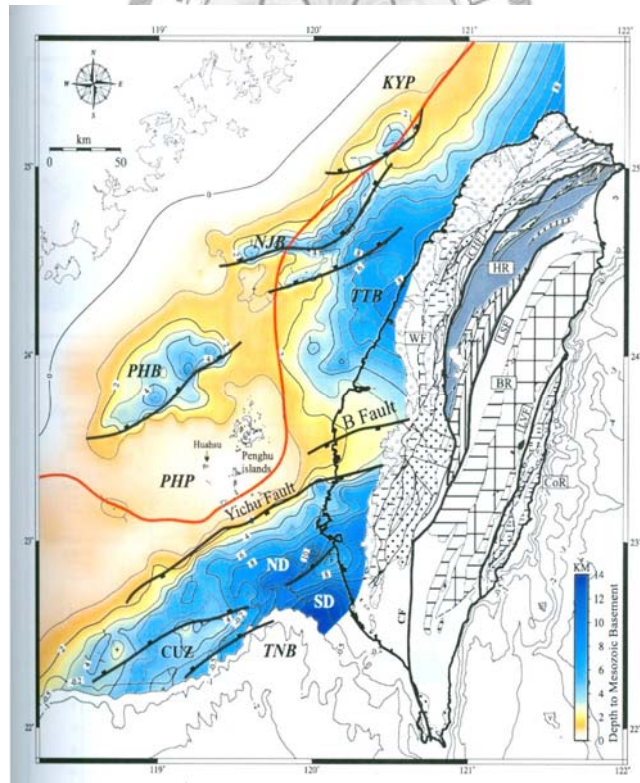


圖 5-5 台灣西部海域中新世底部深度分布，南邊的台南盆地以早期義竹正斷層為北界，向陸域延伸至嘉義地區逆衝帶前緣(摘自 Lin et al., 2003)。

## 第六章 結論

本研究透過地質剖面重建與回復、三維模型建構以及呈現地震活動與深部斷層形貌的空間分布，不僅了解嘉義地區現今的構造活動情形，也建構出整個複雜的斷層地下形貌以及地震活動與現今構造之空間分布關係，針對台灣西南部嘉義地區的研究，我們做了以下的結論：

1. 根據剖面重建結果，嘉義地區主要斷層，如觸口斷層、崙後斷層及馬頭山斷層屬為層面斷層，皆沿著相同的深部滑脫面發育。由構造的時序發育，馬頭山斷層為逆時序發育，其活動性高於於西側的觸口斷層與崙後斷層，為現今嘉義地區的活動構造之一。另一個活動性高的構造為中崙背斜，其形貌由底部低角度滑移的三角變形帶-為分別向西及向東之上下部楔形體，所造成。因此馬頭山斷層及中崙背斜為嘉義地區之活動構造。
2. 由剖面回復結果，其中觸口斷層與崙後斷層，分別為 2.1 公里與 30.4 公里，顯示觸口斷層其消失的逆衝滑移量已逐漸轉至崙後斷層之上。另外，本剖面異常高的總水平縮短量，約 50 公里，推測原因有二，一為大尖山地區及台中盆地地區斷層水平縮短量應比過去所認知的更來得大；二為獺頭斷層的剪裂特性可能吸收了南北兩區域逆衝滑移量的差異。
3. 在三維模型方面，嘉義地區主要的地下斷層形貌有，大尖山斷層與九芎坑斷層、鹿窟斷層匯聚於約 5-7 公里深之滑脫面構成為大尖山斷層一帶主要的基底滑移面，而崙後斷層與觸口斷層、馬頭山斷層、布拉社斷層匯聚構造面則成為崙後斷層及馬頭山斷層一帶主要的基底滑移面，約 10 公里深；大尖山—觸口斷層正斷層地下形貌受到早期正斷層影響淺部呈高角度斷層形貌，深部則為低角度滑移逆衝斷層；獺頭斷層淺部呈高角度斷層至深部則以低角度匯入鹿窟斷層的基底滑脫面之中，往南段轉為布拉社斷層，斷層形貌則以低角度斷層為主。
4. 綜合地質構造剖面與地震活動分析，嘉義地區崙後斷層與馬頭山斷層所構成的緊密構造線可能是當麓山帶逆衝斷層由東往西發育時，西南海域的台南盆地與構造高區之交界阻擋了崙後斷層往西繼續推進，結果使得上盤的馬頭山斷層逆時序逆衝至崙後斷層上盤之岩系，導致構造線緊密分布。



5. 由地形與地震資料顯示在早期存在的基底滑脫面下方的構造具有活動現象，推測在大尖山斷層區域可能正逐漸發育出另一個更深的滑脫面。因此，未來在嘉義地區觸口斷層前緣區域將成為構造活動最頻繁之處，很可能會發育數條之活動斷層，值得密切注意。



## 參考文獻

中文部份：

中國石油公司，1986，台灣西部地質圖，嘉義圖幅(1：100,000)，中國石油公司台灣油礦探勘總處編印。

中國石油公司，1989，台灣西部地質圖，臺南圖幅(1：100,000)，中國石油公司台灣油礦探勘總處編印。

王佳彬、楊耿明、黃旭燦、丁信修，2005，臺灣西南部麓山帶逆衝斷層面分析中國地質學會九十四年年會暨學術研討會。

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正，2000，臺灣活動斷層概論—五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第十三號，共 122 頁。

林啟文、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧，2007，臺灣西南部的活動斷層：二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊，第 17 號，共 141 頁。

耿文甫，1974，臺灣西南部之南莊層。台灣省地質調查所彙刊第 24 號，75-79。

張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁，1998，台灣活動斷層概論，經濟部中央地質調查所特刊第十號，103 頁。

張錫齡，1962，臺灣嘉義縣中崙 CL-1 探井及高雄縣滴水崁 TK-1 探井之地下地質，台灣石油地質，第 1 號，第 51-65 頁。

陳文山、楊志成、楊小青、顏一勤，2004，大尖山斷層-觸口斷層-崙後斷層的構造特性，中國地質學會 93 年年會暨學術研討會。

陳柔妃，1998，嘉南地區活動構造之地形計測指標研究，國立成功大學地球科學研究所碩論。

景國恩、饒瑞鈞、李建成、胡植慶、侯進雄，2008，由 1995-2005 年之 GPS 觀測資料探討台灣西南部之地殼變形，經濟部中央地質調查所特刊，第 20 號，17-31。

黃筱婷，2008，嘉義地區的相對構造活動速率及其與地表地形的相關性：利用河流水力侵蝕模型，國立台灣大學地質科學研究所碩論。

- 黃鑑水、劉桓吉、張憲卿，1992，台灣南部觸口斷層之地質調查與探勘研究(一)，國科會防災科技報告 81-22 號。
- 黃鑑水、劉桓吉、張憲卿，1993，台灣南部觸口斷層之地質調查與探勘研究(二)，國科會防災科技報告 81-22 號。
- 黃鑑水、張憲清、劉桓吉，1994，臺灣南部觸口斷層之地質調查與探勘，經濟部中央地質調查所彙刊第 9 號，51-76。
- 詹新甫、耿文甫，1968，臺灣西南部新第三紀地層及主要地質構造，中國地質學會彙刊第 11 號，45-59。
- 楊耿明、丁信修、際文榮、吳榮章，1996，台灣西部地三紀盆地架構，中油公司探採所研究彙報第 19 期，第 245-265 頁。
- 楊耿明、洪日豪、吳榮章、黃旭燦、丁信修、徐祥宏，2001，斷層活動性觀測與地震潛勢評估高查研究，台灣陸斷層帶地質構造與地殼變形調查研究(1/5)-西南地區(觸口斷層)，經濟部地質調查所，20-33 頁。
- 楊耿明、黃旭燦、梅文威、王佳彬，2007，臺灣西南部麓山帶地層增厚所顯示的地下構造特性，2007 台灣地球科學聯合學術研討會。
- 黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏，2004，斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究：台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究(5/5)-台灣中部麓山帶地區，經濟部地質調查所，25-27 頁。
- 蔡旻倩，2004，台灣西南部 GPS 資造時間序列分析與地殼變形模式研究，國立中央大學地球物理研究所碩論。

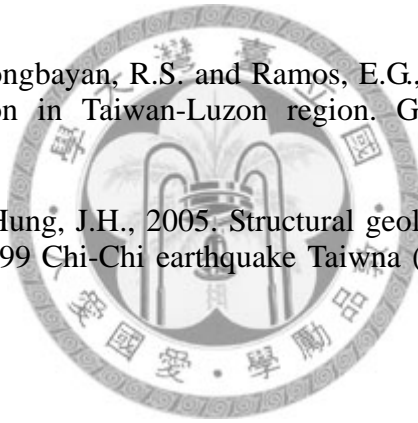
#### 英文部分：

- Angelier, J., Lee, J.C., Chu, H.T., Hu, J.C., Lu, C.Y., Chan, Y.C., Lin, T.J., Font, Y., and Deffontaines, B., 2001. Le séisme de Chichi (1999) et sa place dans l'orégene de Taiwan. C.R. Acad. Sci. Paris, Earth Planet. Sci. 333, 5-21.
- Carena, S., Suppe, J. and Kao, H., 2002. Active Detachment of Taiwan Illuminated by Small Earthquakes and its Control of First-order Topography. *Geology* 30, 953-938.
- Chang, Y.L., Lee, C.I., Lin, C.U., Hsu, C.H., and Mao, E.W., 1996. Inversion Tectonics in the Fold-thrust Belt of the Foothills of Chiayi-Tainan area, southwestern Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan* 30, 163-176.

- Chen, Y.G., Kou, Y.T., Wu, Y.M., Chen, H.L., Chang, C.H., Chen, R.Y., Lo, P.W., Ching, K.E. and Lee, J.C., 2008. New seismogenic source and deep structures revealed by the 1999 Chia-yi earthquake sequence in southwestern Taiwan. *Geophys. J. Int.* 172, 1049–1054.
- Cheng, S.N., and Yeh, Y.T., 1989. Catalog of the earthquakes in Taiwan from 1604 to 1988. *Inst. Earth Sci. Academia Sinica IES-R-661*, 255pp.
- Ching, K.E., 2008. Kinematics of Taiwan Collision Zone from GPS Observations. Doctoral thesis, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan 102 pp.
- Ho, C.S., 1988. An Introduction to the Geology of Taiwan: Explanatory Text of the Geologic Map of Taiwan, Min. of Econ. Aff., Taipei, Taiwan, Republic of China, 192 pp.
- Homza, T.X., and Wallace, W.K., 1995. Geometric and Kinematic Models for Detachment Folds with Fixed and Variable Detachment Depths. *J. Struct. Geol.* 17, 575-588.
- Hung, J. H., Wiltschko, D.V., Lin, H.C., Hickman, J.B., Fang, P., and Bock, Y., 1999. Structure and motion of the southwestern Taiwan fold and thrust belt. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 10, 543-568.
- Jamison, W.R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *Struct. Geol.* 9, 207-219.
- Lin, A.T., Watts, A.B., Hesselbo, S.P., 2003. Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the south China Sea margin in the Taiwan region. *Basin Res.* 15, 453-478.
- Lu, C.Y., 1994. Neotectonics of the Taiwan forland thrust belt. *Petrol. Geol. Taiwan* 29, 1-26.
- Lu, C.Y. and Malavieille, J., 1994. Oblique convergence, indentation and rotation tectonic in the Taiwan mountain belt: insights from experimental modeling. *Earth Planet. Sci. Lett.* 121, 477-494.
- Lu, C.Y., Chen, P.Y. and Chu, H.T., 1994. Transpression structures in northern Taiwan: a case study along the northern coast between Maoao and Tali. *Ti-Chih*, 14, 43-60(in Chinese).
- Lu, C. Y., Angelier, J., Chu, H. T. and Lee, J. C., 1995. Contractional, transcurrent rotational and extensional tectonics: Examples from northern Taiwan. *Tectonophysics* 246, 129-146.
- Mitra, S., 1986. Duplex Structures and imbricate thrust systems: Geometry, structural position, and hydrocarbon potential. *Am. Assoc. Petrol. Geol.* 70, 1087-1112.

- Mitra, S., 1990. Fault-propagation folds: Geometry, kinematic evolution and hydrocarbon traps. *Am. Assoc. Petrol. Geol.* 74, 921-945.
- Mouthereau, F., Lacombe, O., Deffontaines, B., Angelier, J. and Brusset, S., 2001. Deformation history of the southwestern Taiwan foreland thrust belt: Insights from tectono-sedimentary analyses and balanced cross-sections. *Tectonophysics* 333, 1-30.
- Mouthereau, F., Deffontaines, B., Lacombe, O. and Angelier, J., 2002. Variations along the strike of the Taiwan thrust belt: Basement control on structural style, wedge geometry, and kinematics. *Geol. Soc. of Am. Special Paper* 358, 25.
- Mouthereau F., Lacombe O., 2006. Inversion of the Paleogene Chinese continental margin and thick-skinned deformation in the Western Foreland of Taiwan. *J. Struct. Geol.* 28, 1977-1993.
- Shyu, J.B., Sieh, K., Chen, Y.G. and Liu, C.S., 2005. Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes. *J. Geophys. Res.* 110, B08402.
- Suppe, J., 1976. Décollement folding in southwestern Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan* 13, 25-35.
- Suppe, J., 1980. Imbricated structure of western Foothills belt, south central Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan* 30, 163-176.
- Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. *J. Am. Sci.* 283, 684-721.
- Suppe, J., and Namson J., 1979. Fault-bend origin of frontal folds of the western Taiwan fold-and-thrust belt. *Petrol. Geol. Taiwan* 16, 1-18.
- Suppe, J., and Medwedeff, D. A., 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geol. Helv.* 83, 409-454.
- Teng, L.S., 1990. Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan. *Tectonophysics* 183, 57-76.
- Woodward, N.B., 1987. Stratigraphic separation diagrams and thrust belt structural analysis. *Wyoming Geol. Assoc. Guidebook*, p. 69-77.
- Wu, F.T., and Rau, R. J., 1998. Seismotectonics and identification of potential seismic source zones in Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 9, 739-754.
- Wu, Y.M., Chang, C.H., Hsiao, N.C., Wu, F.T., 2003. Relocation of the 1998 Rueyli, Taiwan, earthquake sequence using three-dimensions velocity structure with stations correction. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.* 14, 421-430.

- Wu, Y.M., Chang, C.H., Zhao, L., Shyu, J.B.H., Chen, Y.G., Sieh, K., Avouac, J.P., 2007. Seismic tomography of Taiwan: Improved constraints from a dense network of strong-motion stations. *J. Geophys. Res.* 112, B08312.
- Woodward, N. B., Boyer, S. E. and Suppe, J., 1985, An outline of balanced cross-sections, *Am. Geophys. Union Short Course in Geol.* n. 6, 132.
- Woodward, N., Boyer S., and Suppe J., 1989. Balanced geological crosssections: An essential technique in geological research and exploration. In 28th International Geological Congress, Washington, D.C., 132 pp.
- Yang, B.C.C., Chen, W.S., Wu, L.C. and Lin, C.W., 2007. Active deformation front delineated by drainage pattern analysis and vertical movement rates, southwestern Coastal Plain of Taiwan. *Asian Earth Sci.* 31, 14, doi:10.1016/j.jseas.2006.07.026.
- Yang, K.M., Huang, S.T., Wu, J.C., Ting, H.H., and Mei, W.W., 2006. A review and some new insights on foreland tectonics in western Taiwan. *Int. Geol. Rev.* 48, 910-941.
- Yu, S.B., Kuo, L.C., Punongbayan, R.S. and Ramos, E.G., 1999. GPS observation of crustal deformation in Taiwan-Luzon region. *Geophys. Res. Lett.* 26(7). 923-926.
- Yue, L.F., Suppe, J. and Hung, J.H., 2005. Structural geology of a classic thrust belt earthquake: the 1999 Chi-Chi earthquake Taiwan (Mw=7.6) *Struct. Geol.* 27, 26.





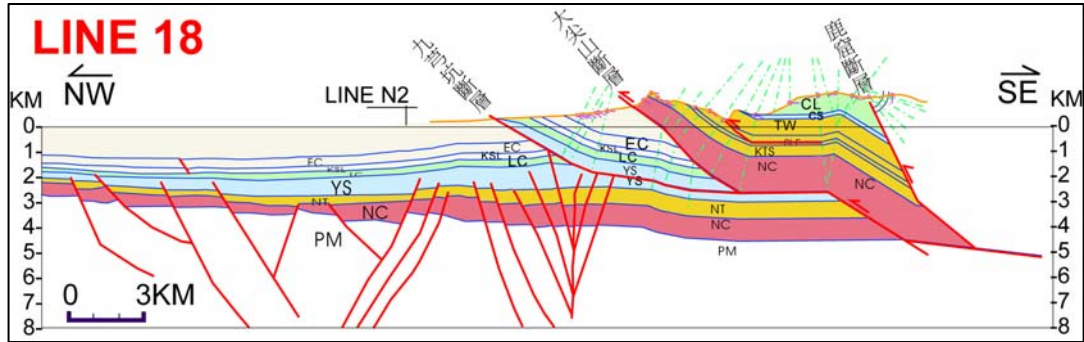
## 附錄 A

表 A-1 地質剖面之端點直角座標，使用 TWD67 TM2 座標系統。

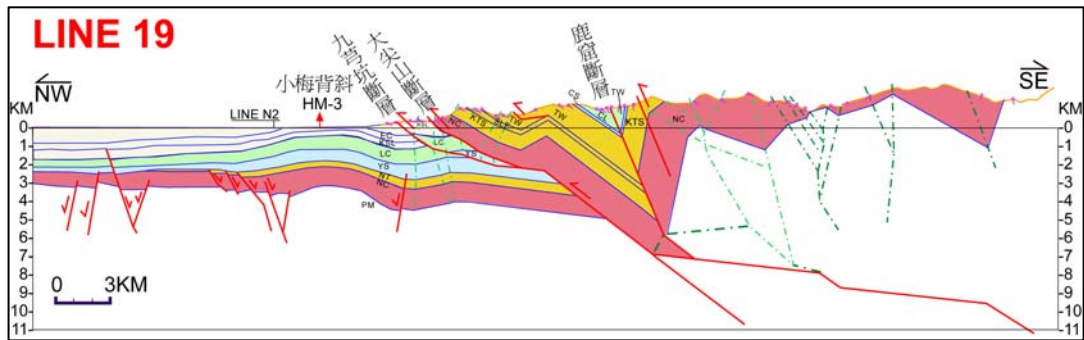
地質剖面	西端	東端	備註
Line 1'	X : 178002	X : 229654	本研究剖面
	Y : 2602326	Y : 2574831	
Line 1	X : 196122	X : 228503	黃旭燦等(2004)
	Y : 2591274	Y : 2571473	
Line 18	X : 187560	X : 243653	黃旭燦等(2004)
	Y : 2616617	Y : 2599860	
Line 19	X : 188151	X : 239264	黃旭燦等(2004)
	Y : 2615803	Y : 2592530	
Line 20	X : 189359	X : 232201	黃旭燦等(2004)
	Y : 2610784	Y : 258403	
Line 21	X : 187508	X : 244555	黃旭燦等(2004)
	Y : 2607866	Y : 2577839	
Line 22	X : 186521	X : 219284	黃旭燦等(2004)
	Y : 2603494	Y : 2569642	
Line 23	X : 182915	X : 214809	黃旭燦等(2004)
	Y : 2588881	Y : 2569310	
Line N2	X : 213757	X : 211341	黃旭燦等(2004)
	Y : 2616673	Y : 2642559	

## 附錄 B

(a)



(b)



(c)

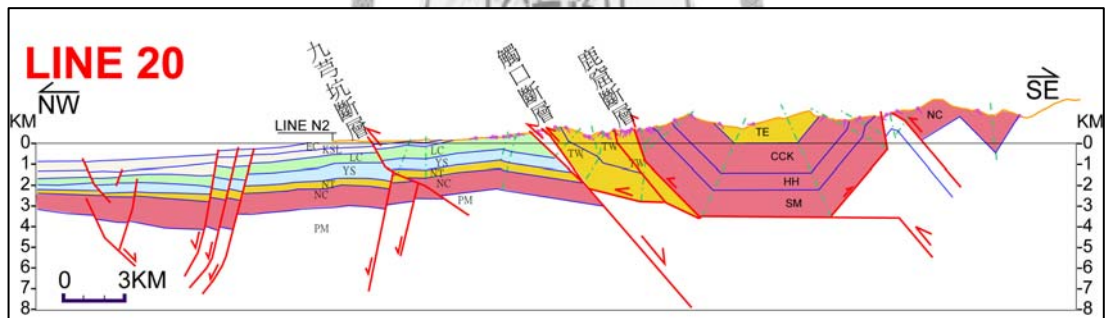
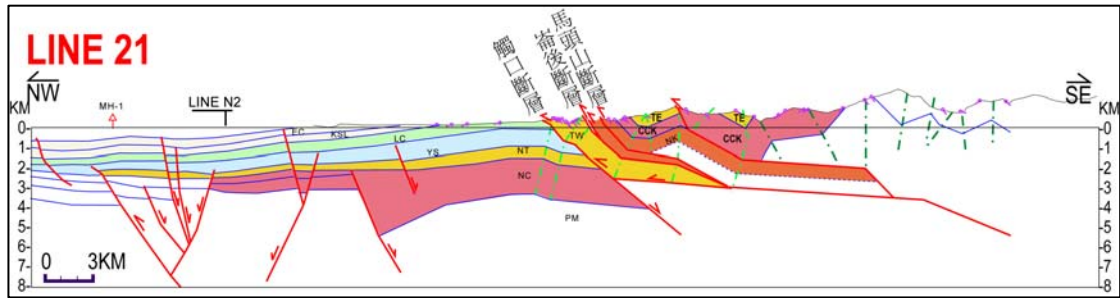
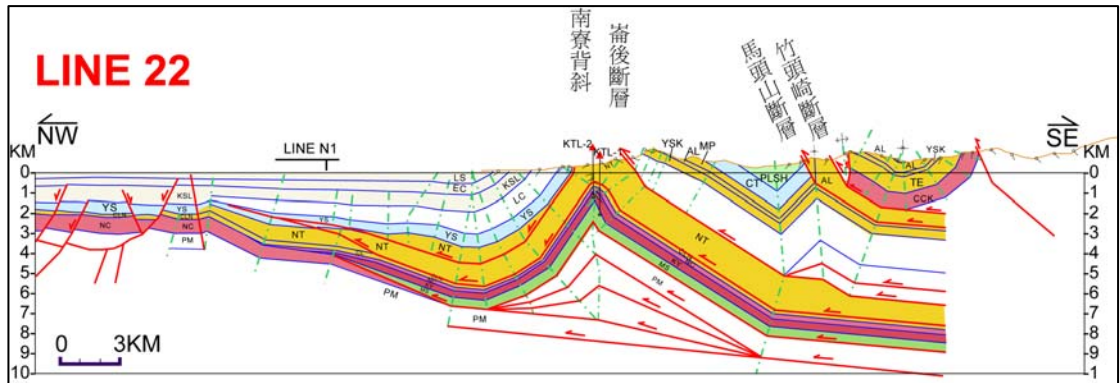


圖 B-1 建構三維斷層模型之地質構造剖面圖(摘自黃旭燦等, 2004)。(a)Line 18 地質剖面, 顯示大尖山斷層及九芎坑斷層合併於澗水溪層中部, 其下盤保留正斷層特性(楊耿明等, 2001); (b)Line 19 地質剖面, 顯示九芎坑斷層、大尖山斷層及鹿窟斷層為同一逆衝斷層系統, 其下盤保留正斷層及緩和之背斜構造(修改自楊耿明等, 2001); (c)Line 20 地質剖面, 顯示九芎坑斷層位移量減小, 並與觸口斷層分開, 其下盤保留正斷層特性(修改自楊耿明等, 2001); (d)Line 21 地質剖面, 顯示觸口斷層為重要之邊界逆衝斷層, 其上盤之崙後斷層及馬頭山斷層為重要之層面斷層(修自楊耿明等, 2001); (e)Line 22 地質剖面, 顯示關仔嶺背斜構造至平原區之構造變化, 關仔嶺背斜具有碟置斷塊(duplex)構造(修自楊耿明等, 2001); (f)Line 23 地質剖面, 顯示南寮背斜與六重溪背斜地下疊置的逆衝斷塊(修自楊耿明等, 2001); (g)Line N2 地質剖面。

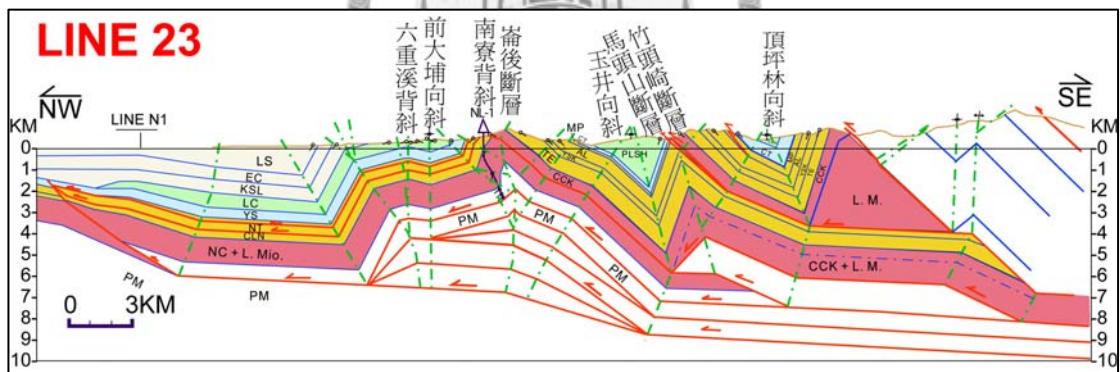
(d)



(e)



(f)



(g)

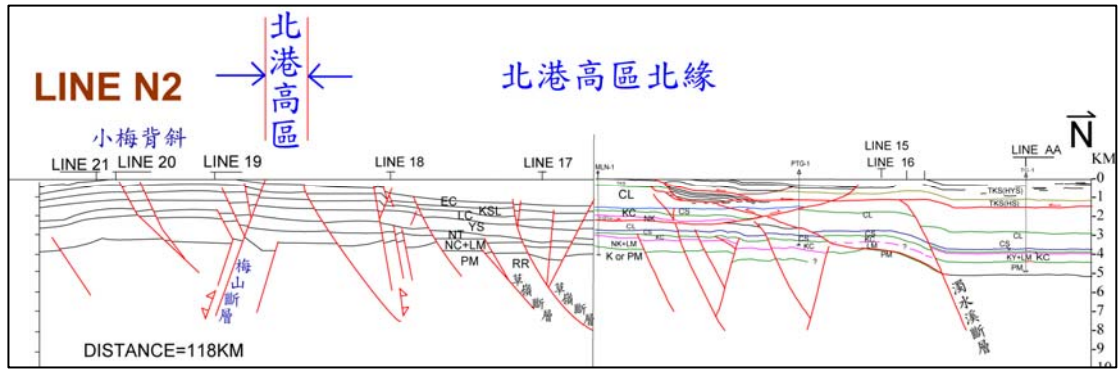


圖 B-1 續。

## 附錄 C

表 c-1 地震深度剖面之端點直角座標，使用 WGS84 全球定位座標系統。

地震剖面線	西端	東端
Line A	120.400983	120.765875
	23.678954	23.529659
Line B	120.391209	120.901277
	23.628034	23.428459
Line C	120.376609	120.864735
	23.571451	23.313088
Line D	120.303062	120.809225
	23.520735	23.273893
Line E	120.480890	120.798020
	23.431631	23.243555
Line F	120.451659	120.760843
	23.381890	23.190395
Line G	120.333998	120.751089
	23.409299	23.187589
Line H	120.120420097	120.700045
	23.315288	23.114968

