

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

台灣西南部活斷層的大地構造分析

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2119-M-002-012-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學地質科學系暨研究所

計畫主持人：鄧屬予

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 26 日

一、中文摘要：

台灣西南部橫跨碰撞造山帶和相鄰的前陸地區。前陸地區以正斷層為主，潛伏在雲嘉平原的地下。斷層面的走向大抵在東北東-西南西到東-西向之間，傾斜多向南。斷層截切深部中新統以下的地層，有些則可向上貫穿上新-更新統而接近地表。造山帶則以逆斷層和逆衝斷層為主，多出露於地表。斷層面的走向大多呈北北東-南南西，傾角陡緩不一，但多數向東南傾斜。斷層的間距則有由西向東減少的趨勢。

前陸地區的正斷層是大陸邊緣張裂活動的產物，主要形成於中新世晚期，上新世以來已停止活動。在目前西北-東南向的擠壓作用下，有些正斷層已反轉成逆斷層或平移斷層。造山帶內的逆斷層系統是碰撞擠壓作用的產物，正由東向西不斷發展。在山脈的前緣，由於垂直向的壓力較小，橫向的壓力相對較大，因此所造成的軸差應力最大，利於逆斷層的滑動。在山脈的後方，山脈的荷重使得垂直壓力逐步增加，軸差應力隨之減小，因此不利用逆斷層的發展。整體而言，台灣西南部最活躍的斷層應位於變形前緣的附近，在前陸地區外緣和造山帶內部的斷層活動性相對較低。

就現有的測量資料看來，台灣西南部地表變形率最大的地方是在造山帶變形前緣的兩側。許多截切地表及晚第四紀地層的大斷層，如觸口、白河、九芎林等，以及歷史文獻所記載的災害性大地震，幾乎全發生於此。而近代儀器紀錄也顯示本區不但地震頻繁，而且多為壓縮型的地震。這些現象都說明了變形前緣是台灣西南部最主要的斷層活動區。

關鍵詞： 活動斷層、地震、構造地質、大地構造、西南台灣

Abstract

Southwestern Taiwan comprises part of the collision orogen and its neighboring foreland area. The foreland area is characterized by an array of NEE to E-trending, south-dipping normal faults buried beneath the Yun-Chia plain. The collision orogen is marked by imbricated NNE-trending, east-dipping thrusts and overthrusts that are either exposed on the surface or buried in the subsurface.

Normal faults of the foreland formed mainly in the late Miocene as a result of crustal extension in the China continental margin that has ceased to be active since the Pliocene. Presently these normal faults are undergoing NW-directed compression and some have been reactivated as reverse or strike-slip faults. The thrusts of the collision orogen are the product of the E-W compression, which continues pushing the orogenic pile to deform internally. The deformation front of the orogen, where the gravitational force induced by the orogenic pile is the smallest and the deviatoric stress greatest, is the area most prone to thrusting and, hence, is the area of highest potential for active faulting.

Based on available geodetic data, the area near the deformation front of the collision orogen has the greatest strain rate in southwestern Taiwan. Numerous late Quaternary faults, including some causing disasters in the historical records, are located in that area. Recent instrumental records also show that earthquakes of compressional mechanisms are distributed near the deformation front. All these phenomena seem to indicate that faults near the deformation front are the most active in southwestern Taiwan.

Key words: Southwestern Taiwan, Active Fault, Earthquake, structural geology, Tectonics

二、緣由與目的：

從過去的紀錄看來，台灣西南部曾發生多次劇烈的斷層滑動，並引發大地震。除了歷史文獻中所記載的早期事件外，在過去100年中，有明確科學報導者就有梅山、台南、白河和新化四次。其他僅有地震而無地表斷裂者更是不計其數。這些斷層活動所造成的災害規模大小不等，有些和921的災害規模相當。

如果我們翻開現有的地質圖，就不難發現台灣西南部的斷層縱橫綿密。這些斷層的活動性如何？是否會產生大地震？從過去的震災調查報告或相關研究中，我們知道某些斷層可能是活的。然而這些活斷層只佔已知斷層總數的十分之一，其他絕大多數的斷層是否已不再活動？在已知的活斷層中，各別斷層的活動性如何？這些問題還沒有明確的答案。

為了進一步瞭解台灣西南部的斷層，我們從區域性的大地構造框架著手，先分析台灣西南部的斷層型態及分布狀況，再從斷層的形成機制及發展歷史來推斷其活動性。研究的範圍北起濁水溪，南抵恆春半島，東起中央山脈，西迄海岸。

三、結果與討論：

台灣位於菲律賓海板塊和歐亞板塊的交界上，是呂宋島弧衝撞中國大陸邊緣所形成的造山帶。台灣東部的海岸山脈向南延伸，可以連結呂宋島弧的火山列和弧前盆地，而中央山脈和西部麓山帶則銜接呂宋島弧的增積岩楔。如果從呂宋島弧系統的立場來看呂宋到台灣之間的變化，就可發現當大陸邊緣逐步進入馬尼拉海溝的隱沒帶時，增積岩楔會隨之增長，從一個低窄的海脊發展成台灣的中央山脈和西部麓山帶。

在隱沒演化到碰撞的過程中，台灣南部處於隱沒的末期和碰撞的初期。在高雄-台東以南，一部分的大陸邊緣已進入隱沒帶，增積岩楔也已上升成山，然而呂宋島弧的弧前盆地尚未完全閉合，歐亞板塊仍向東隱沒。到了高雄-台東以北，呂宋火山島列完全拼貼上陸，碰撞山脈已然成形。目前碰撞作用仍在進行，呂宋島弧仍不斷把台灣推向前方的大陸邊緣上。

台灣西南部橫跨碰撞造山帶和一部份尚未造山的大陸邊緣。造山帶包括了中央山脈和西部麓山帶，兩者大抵以荖蕞-潮州斷層為界。中央山脈出露的岩盤年代較老，變質程度較高，主要是第三系板岩；不過在山脈南端的恆春半島，岩層則尚未變質。西部麓山帶岩層的年代較輕，且未變質，主要是上第三系和第四系沉積岩層。受到碰撞擠壓作用的影響，造山帶的地層多已褶曲斷裂。造山帶的變形前緣縱貫雲嘉平原的東緣，其西面的雲嘉平原則屬於「前陸」地區。

前陸區以正斷層為主，潛伏在雲嘉平原的地下。斷層的走向大抵為東北東-西南西到東-西之間。大多數的斷層向南傾斜，少數向北。斷層的傾角多大於60°，不過有些斷層的角度在深處(>5Km)趨於平緩，形成類似鐘狀。從地層錯移的角度觀之，這些正斷層主要截穿中新統和更老的岩層，有些斷層被上新-更新統覆蓋，有些人則可貫穿上新-更新統而接近地表。不過雲嘉平原的地表是一片平坦的沖積平原，並沒有出現正斷層所造成的構造地形。

宏觀而言，前陸地區的正斷層序列是中國大陸邊緣伸張型斷裂系統的一部

分。在鄰近的台灣海峽和南海北坡，類似的正斷層序列比比皆是。雲嘉平原地下的正斷層，不論走向、傾斜和地層錯移方式，都與台灣西南外海的台南盆地相似。事實上，初步的震測分析顯示台南盆地的地下構造和地層均可向陸上延伸，連接到雲嘉平原之下。這些正斷層主要形成於中新世中晚期，反應了北北西-南南東向的伸張作用。

造山帶以逆斷層和逆衝斷層為主，不但潛伏於地下，且多出露於地表。在西部麓山帶，這些斷層的走向大多呈北北東-南南西，且與相同走向之褶皺伴生。斷層的傾角陡緩不一，但多數向東南傾斜。斷層的間距則似乎有由西向東減少的趨勢。在中央山脈，各種大小尺度的斷層甚多，但因地層多韌性變形，地表所見之斷層大多伴隨小型褶皺出現，斷距不大，側向延續性不高。除了少數斷層造成明顯的地層落差外，其他多難以具體在地質圖中展現。

造山帶的斷層雖然錯綜複雜，但其形態可從增積岩楔的變形方式加以推測。在海域，震測資料顯示增積岩楔是由一系列疊瓦狀的褶皺和逆斷層所組成；其底部有一滑脫面，使其與下方向東俯衝的基盤拆離。這些覆瓦狀的褶皺和斷層可向北延伸上陸，連接到西部麓山帶和中央山脈。在陸上，構造地質分析和初步震測資料也顯示西部麓山帶是由覆瓦狀的褶皺和斷層組成。雖然我們目前還沒有足夠的資料來確認造山帶的滑脫面位置，然而基於構造幾何學和地震學的研究，這個滑脫面很可能介於地下5~15 Km深處，並且由變形前緣向東傾斜。因此整體而言，台灣的構造特徵與增積岩楔類同，它的褶皺和斷層系列反應了近東西向的橫向擠壓作用。

台灣西南部和海域的台南盆地相連，在碰撞造山之前，兩者原本同為一連續的沉積盆地。根據海域的震測資料分析，台南盆地主要被一組近東西向的正斷層切割。大多數的斷層造成中新統以下的地層明顯地錯移，因此很可能發生於中新世晚期，相當於南海大陸邊緣張裂的第三期。雲嘉平原與台南盆地的正斷層系列彼此連接，屬性類似，應同為該期張裂活動的產物。

呂宋島弧大約在500萬年前開始撞進大陸邊緣。在呂宋島弧向西北移動的同時，大陸邊緣的地層逐步被拖進隱沒帶；一部分的地層在隱沒帶被刮起，堆積在增積岩楔；一部分則隨著下衝板塊進入隱沒帶深部。如今在台灣西南部，增積岩楔已凌駕在大陸棚的外緣，原本堆積在大陸坡以下的地層，多已被堆疊在增積岩楔的後部，出露在中央山脈中；而大陸棚外緣及部分前陸盆地的堆積層，則被填塞在增積岩楔的前部，形成西部麓山帶。

在增積岩楔前進的過程中，大陸邊緣的地層會不斷地從前方墊塞在岩楔的下方，並逼使岩楔順著前緣斷層向上爬升。如此一來，前緣斷層所受到的垂直壓力和摩擦力會逐漸上升，斷層面愈來愈難滑動。另一方面岩楔的垂直壓力會導致應力集中在岩楔前方的地層中，從而促使岩楔底部的滑脫面向前伸展，在岩楔前的地層中發展出一條新的前緣斷層。當岩楔主要的滑動移到新斷層時，新舊前緣斷層之間的地層就形成一個斷片捲入岩楔中。如此週而復始，岩楔前方的地層地墊而入，新的斷片不斷堆砌，岩楔就發展成一系列覆瓦狀排列的斷層和斷片。在台灣西南部的造山帶中，成串的覆瓦狀斷層和斷片就是透過這種機制形成的。從橫切這些覆瓦狀構造的剖面中，我們可以看出每一個斷片的地層特徵不盡相同，但總體而論，地層的年代有由西向東愈來愈老的趨勢。這顯示斷片的形成時間愈往西愈晚，與增積岩楔發展的方向符合。

作為大陸邊緣張裂活動的產物，前陸地區的正斷層主要形成於中新世晚期，從上新世以來，整個南海大陸邊緣的張裂活動基本上已經停止，而且被西

北—東南向的擠壓作用取代。在南海北坡，大陸邊緣的正斷層不但不再活動，而且多被反轉成逆斷層或平移斷層。在台灣海峽和雲嘉平原，第三紀正斷層大多被第四系地層覆蓋，顯示近期已不再活動。這一點，從台海和雲嘉地區地震不多也得到支持。

從大地應力的格局而言，碰撞造山運動給台灣地區帶來了強烈的橫向擠壓作用。這個西北向壓力對前陸地區東北東向的正斷層而言，多少帶來一些斜向的擠壓作用，很可能使原來的正斷層反轉成逆斷層或平移斷層。除了橫向擠壓外，山脈的重壓也使得大陸邊緣產生撓曲，一方面在山脈的前緣造成下沉，另一方面則使較遠的大陸邊緣上升，並形成近乎平行山脈的正斷層。

相對於前陸地區，造山帶的斷層在近期無疑要活躍得多。在碰撞造山運動的擠壓下，造山帶內的覆瓦狀斷層系統由東向西不斷發展。在山脈的前緣，由於垂直向的壓力較小，而橫向壓力又相對較大，因此所造成應力差最利用逆斷層的滑動。到了山脈的後方，山脈的荷重使得垂直壓力逐步增加，造成其與橫向擠壓力差距減小，不利用逆斷層的發展。此外，當各個斷片從變形前緣被墊塞到後方時，斷層面會逐步旋轉，趨於鉛直；而斷層帶及圍岩會逐步脫水硬化。這些變化都使得造山帶後方的斷層愈來愈不易滑動。因此，整體而言，造山帶最活躍的斷層應位在變形前緣附近，而愈往造山帶的內部，斷層活動性愈低。

就現有的測量資料看來，台灣西南部地表變形率最大的地方是在西部麓山帶的西緣和雲嘉平原的東緣，也就是造山帶變形前緣的兩側。此區地形並不崎嶇，但地表變形十分明顯。許多截切地表及晚第四紀地層的大斷層，如觸口、白河、九芎林等多出露於此區。歷史文獻所記載的災害性大地震，幾乎全發生於此。而近代儀器紀錄也顯示本區不但地震頻繁，而且多為壓縮型的地震。這些現象都說明了變形前緣是斷層最活躍的地區。

四、成果自評：

本研究的分析建立在三項重要的基礎上：即斷層的分布和形態、斷層的形成機制，以及現今的大地應力狀態。由於這三項基礎的相關資訊並不完備，所作出的推論恐怕也不週全。目前所得只是初步的結果，雖然大體上和現有的構造資訊吻合，但未來隨著基礎資料的增加，還有進一步探討的空間。

本研究是一個區域性的綜合分析，並不針對各別斷層進行探究。因此，我們只能標示出活斷層可能發生的地區，而不能指示某些特定斷層的活動性。相較於前人的活斷層研究，我們發現本區以往所認定的活斷層，如潮洲和恆春斷層，並非位於變形前緣附近。這顯示本區很可能有脫序斷層。這些脫序斷層很可能受控於增積岩體的底積作用，目前還無法詳細論證，有待未來深入的研究。