

# 上—更新世臺灣西部前陸盆地的演化： 沈積層序與沈積物組成的研究

陳文山<sup>1</sup> 鄭忠信<sup>2</sup> 陳勉銘<sup>2</sup> 楊志成<sup>1</sup> 張益生<sup>3</sup>  
劉聰桂<sup>1</sup> 洪崇勝<sup>4</sup> 謝凱旋<sup>2</sup> 葉明官<sup>5</sup> 吳榮章<sup>5</sup>  
柯炯德<sup>1</sup> 林清正<sup>1</sup> 黃能偉<sup>1</sup>

## 節　　要

晚中新世以來，弧陸碰撞造成造山帶的快速崛起，加速了山脈的剝蝕速度，同時也在山脈的前緣形成急速沈降的前陸盆地。盆地中巨厚的沈積層序記錄了各時期來自造山帶不同的沈積物，同時也記錄了構造活動的訊息。因此，從層序所推算的構造沈降速率更能顯示前陸盆地的構造演化。晚上新世以來盆地的構造沈降速率遠大於漸一中新世尚處在被動大陸環境的構造沈降速率（50—100 m/Ma）；其速率約增加了 10 至 50 倍。從構造沈降速率曲線來看，顯示晚期上新世以來西部盆地的沈降特性是屬於前陸盆地的構造環境；且其沈降速率亦有極大的變化，尤以中期更新世（1—0.5 Ma；930—2600 m/Ma）的沈降速率突然劇增為晚上新世—早更新世（2.5—1 Ma；500—600 m/Ma）的 1.8—5 倍最為明顯。本文依上—更新世前陸盆地的沈積體系將前陸盆地劃分為臺北、竹苗、臺中與嘉南等四個前陸盆地。

## 前　　言

晚中新世以來，臺灣地區的弧陸碰撞造成歐亞大陸東緣地殼的壓縮與增厚，也因此而隆起形成造山帶。造山帶快速崛起（exhumation）也加速了山脈的剝蝕速度，更使得原來埋藏在地底深處的變質岩抬升裸露出地表（Platt, 1986）。因此，岩層被剝蝕的層序是先由沈積岩而逐漸侵蝕至變質度較高的岩層，被侵蝕下來的碎屑物就堆積在山脈四周的盆地。山脈崛起的同時，在其前緣伴隨著產生一

- 
1. 國立臺灣大學地質學研究所
  2. 經濟部中央地質調查所
  3. 臺糖公司地下水開發及保育中心
  4. 中央研究院地球科學所
  5. 中油公司臺灣油礦探勘總處



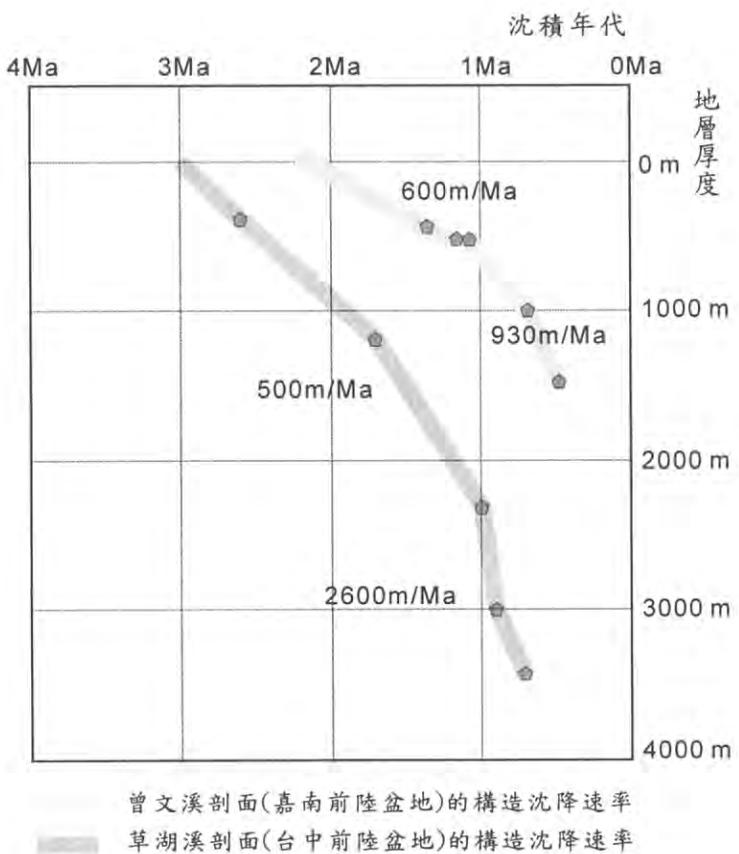
系列的褶皺或逆衝斷層，並使斷層下盤的地殼因荷重而產生變形，形成急速沈降的盆地，稱為前陸盆地（Dickinson, 1974）。前陸盆地的沈降並非單純由構造作用所致，其另一重要因素是大量且快速的沈積物堆積造成的荷重（Kominz and Bond, 1982, 1986）。因此，在這巨厚的沈積層中詳細地記錄各種訊息如氣候變遷，而有關造山活動的訊息也都詳盡的反應在前陸盆地的沈積層序中。換言之，利用前陸盆地中沈積物的各種特性與變化並與漸－中新世處於穩定大陸環境的沈積層序作比較，將有助於了解上－更新世前陸盆地的演化。過去 20 年來關於前陸盆地的研究已有不少的成果（Covey, 1984, 1986；Teng, 1987；陳等人，1992）。本文將再以上－更新統的層序與各種沈積物特性來探討造山帶與前陸盆地的演化關係。

## 構造沈降速率

除了沈積物組成與沈積環境的變化可以反應前陸盆地與造山帶活動的關係之外，配合構造沈降速率的研究更可以確切的詮釋盆地演化史。本節將以西部地區出露最為完整的兩個剖面的層序以反剝法（backstripping）計算晚上新世以來前陸盆地的構造沈降速率（圖一）。本研究以沈積體系將中南部地區劃分為兩個前陸盆地，一為位在中部地區的臺中前陸盆地，此盆地的沈積系統涵蓋有現今的大安溪、大甲溪與大肚溪；以構造來看此盆地位於雙冬斷層與車籠埔斷層的前緣。另一位於西南部地區稱為嘉南前陸盆地，沈積系統屬於濁水溪與曾文溪，位於觸口斷層、平溪斷層與潮州斷層的前緣。本研究選擇草湖溪與曾文溪剖面為代表，從古地磁與化石的研究得到精確的沈積年代，並以反剝法獲得以下各盆地不同時期的構造沈降速率。

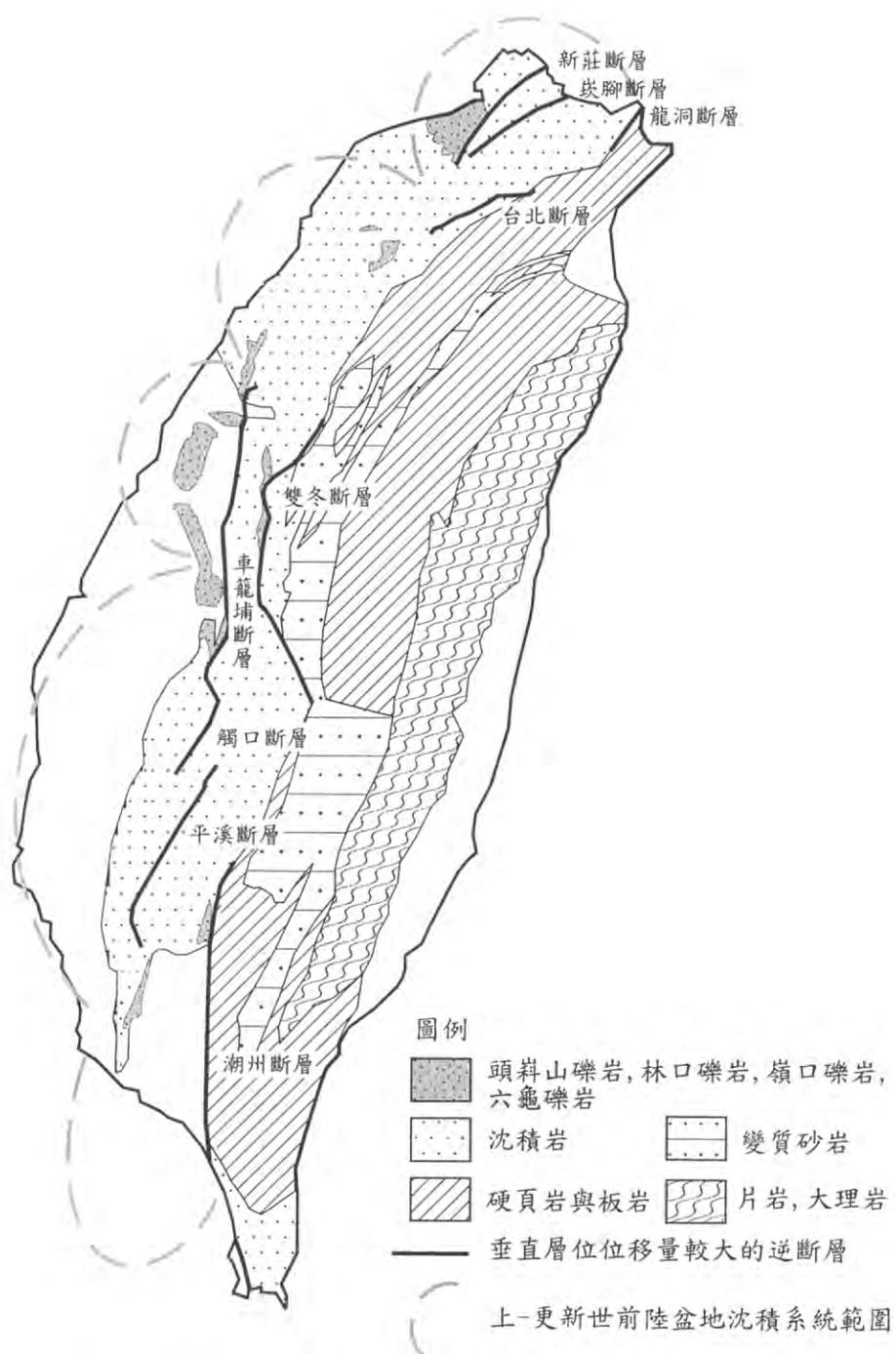
草湖溪剖面（臺中前陸盆地）的層序由下而上依序為錦水頁岩－卓蘭層－頭料山層。晚上新世至早更新世（錦水頁岩－卓蘭層；約 2.5－1 Ma）的構造沈降速率為 500 m/Ma，中更新世（頭料山層；1－0.7 Ma）為 2600 m/Ma。曾文溪剖面（嘉南前陸盆地）的層序為濁水溪層－六重溪層－崁下寮層－二重溪層－六雙層。晚期上新世至早期更新世（濁水溪層－六重溪層；2.2－1.2 Ma）的構造沈降速率為 600 m/Ma，中期更新世（崁下寮層－二重溪層－六雙層；1.2－0.5 Ma）為 930 m/Ma（圖一）。





圖一 臺中與嘉南前陸盆地的構造沈降速率。

從上述資料來看，晚期上新世以來盆地的構造沈降速率遠大於漸—中新世穩定大陸環境的構造沈降速率（50—100 m/Ma；周，1992）；約增加了 10 至 25 倍。從構造沈降速率曲線來看，晚期上新世以來西部盆地的沈降特性是屬於前陸盆地的構造環境。盆地活動期間其沈降速率亦產生極大的變化，中期更新世（約 1—0.5 Ma）的沈降速率突然劇增為前期（2.5—1 Ma）的 1.8 至 5 倍。從沈積層序來看，臺中與嘉南前陸盆地約形成於晚期上新世，約中期更新世末（約 0.7 Ma）前陸盆地向西遷移形成另一新生的盆地位在現今的海岸平原地區（陳等人，1994a，1999）。從圖二的斷層分布可以發現臺中前陸盆地的演化是與雙冬及車籠埔斷層的成因有密切的關係。而西南部地區的嘉南前陸盆地與觸口、平溪與潮州斷層的形成有關。從構造形態來看，竹苗地區的構造似乎是以褶皺為主，沒有較大規模的逆斷層系統，此地區前陸盆地的形成可能與褶皺構造有關。



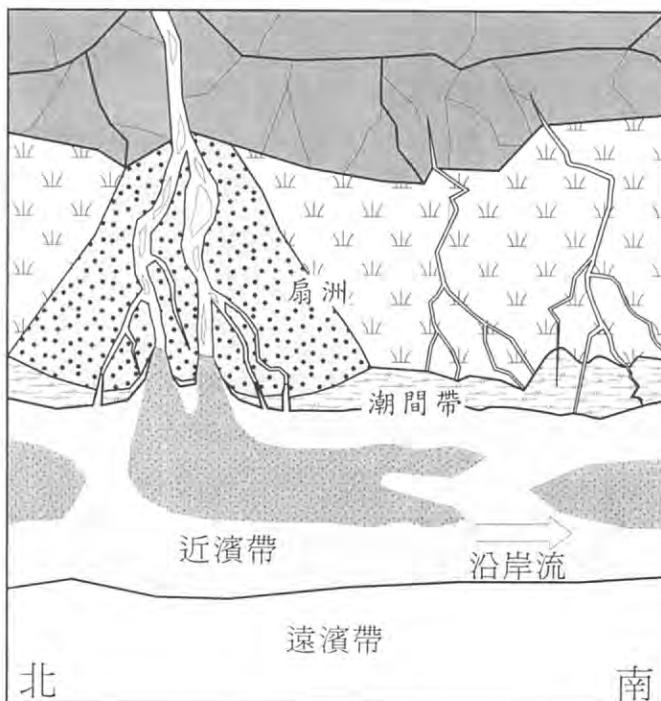
圖二 西部麓山帶的逆斷層分布位置，圖中所繪的斷層是選擇垂直層位的位移量較大的斷層，垂直層位位移量超過 2000 公尺者。從此類逆斷層的分布來看，大致分布在北、中、南三區，竹苗地區似乎不存在位移量較大的斷層系統。從斷層的分布來看似乎與更新統礫岩層的成因有密切的關係。

## 沈積環境與層序

西部地區上一更新統的層序為錦水頁岩、卓蘭層與頭料山層；是一向上變粗（頁岩－砂頁互層－砂岩－礫岩）與變淺（外遠濱－中上遠濱－潮間帶－陸相扇洲）的層序。從構造沈降速率來看，晚上新世盆地以產生急速的下陷，顯示錦水頁岩沈積時已經處於前陸盆地的構造環境（Teng, 1987；周，1992；陳等人，1999）。盆地形成之初，山脈抬升剝蝕速度較慢，沈積物供應量較少，盆地的沈降速率可能遠大於沈積速率，盆地呈現飢餓狀態以泥岩的沈積為主（Covey, 1986）。之後，隨著山脈逐漸的增高與剝蝕速度的遞增，碎屑沈積物快速堆積到前陸盆地。中期更新世，構造沈降速率雖急劇的增加（陳等人，1999），但沈積物也更急遽地遞增，此時臺中前陸盆地已被填滿，形成為陸相沖積扇環境。沈積物組成以來自雪山山脈的輕度變質砂岩為主，可推想此時中段雪山山脈的岩層已大規模的崛起露出地表，此時山脈的高度可能已具有現今的規模。

探討上一更新世前陸盆地的沈積模式的最佳方法就是觀察現今臺灣西部平原的沈積環境。西部的主要河流有頭前溪、大安溪、大甲溪、大肚溪、濁水溪與高屏溪，都發源於中央山脈的西側，向西流經平原進入海峽。當沈積物搬運至平原時大部分則被網羅沈積在山前的盆地中形成平緩的扇洲環境（fan delta），再經扇洲上的瓣狀河搬運至海峽中沈積。臺灣海峽是屬於半封閉型的海洋環境，海岸的營力以潮汐與沿岸流作用為主（Hsu, 1962；楊，1997；柯，1997；陳，1997；圖三）。反觀上一更新世前陸盆地的岩層記錄，錦水頁岩屬於外遠濱環境，以頁岩為主；卓蘭層為中上遠濱環境，以暴風砂岩為主，間夾潮下帶至潮間帶環境的潮汐岩（海退沈積層）。頭料山層香山相為厚層砂岩，以潮汐與沿岸流作用為主，沈積環境為沿岸沙洲、潮間帶與河口灣；水流方向為南北向，顯示海流是沿著南北方向的海岸流動。頭料山層火炎山相為厚層礫岩，沈積環境為扇洲上的瓣狀河環境，水流方向皆由東向西（楊，1997；柯，1997；圖四）。

從現今的沈積體系來看，河流在進入盆地時便在山前快速堆積呈厚層的礫石層。因此，地層中出露的厚層礫岩透鏡體都代表曾是一個古老的扇洲或沖積扇環境，也代表一個古老的河流。現今更新統礫岩出露的位置與現今西部各大河流的關係（圖五），陳等人（1994a；陳，1997）認為西部各大河流早在中更新世之前就已經形成且大致已具有現今河流的規模。從岩層的記錄可以知道上一更新世以來臺灣西部前陸盆地的沈積體系已經與現今的沈積體系沒有太大的差異。



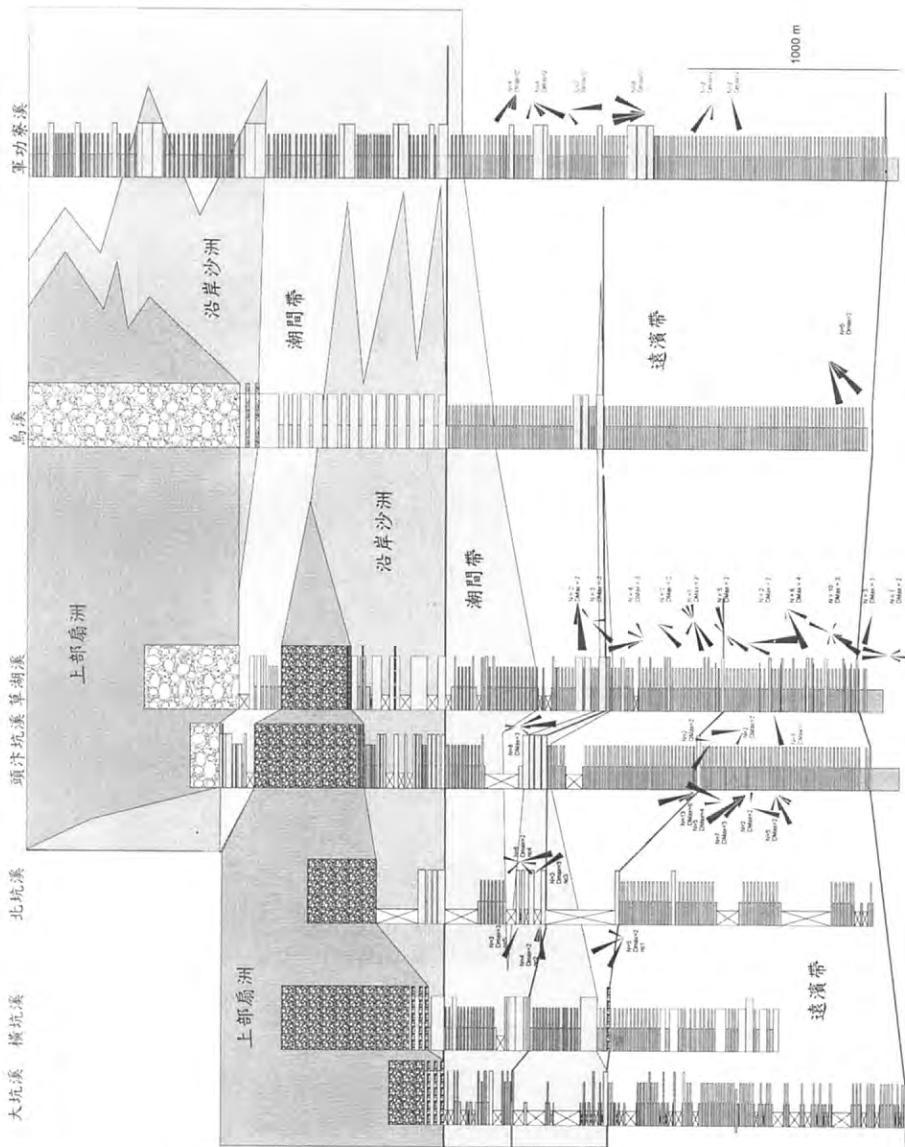
圖三 現今西部各河流將沈積物搬運至平原地區時堆積形成扇洲形態的沖積扇，河流形態以瓣狀河為主。河流再將沈積物搬運至海岸與海峽中，海岸環境以潮汐作用為主，沿岸有寬平的潮間帶，近濱環境以沿岸流為主，形成沿岸沙洲，海峽中的營力作用以暴風為主，亦受到沿岸流的影響。

## 沈積物特性

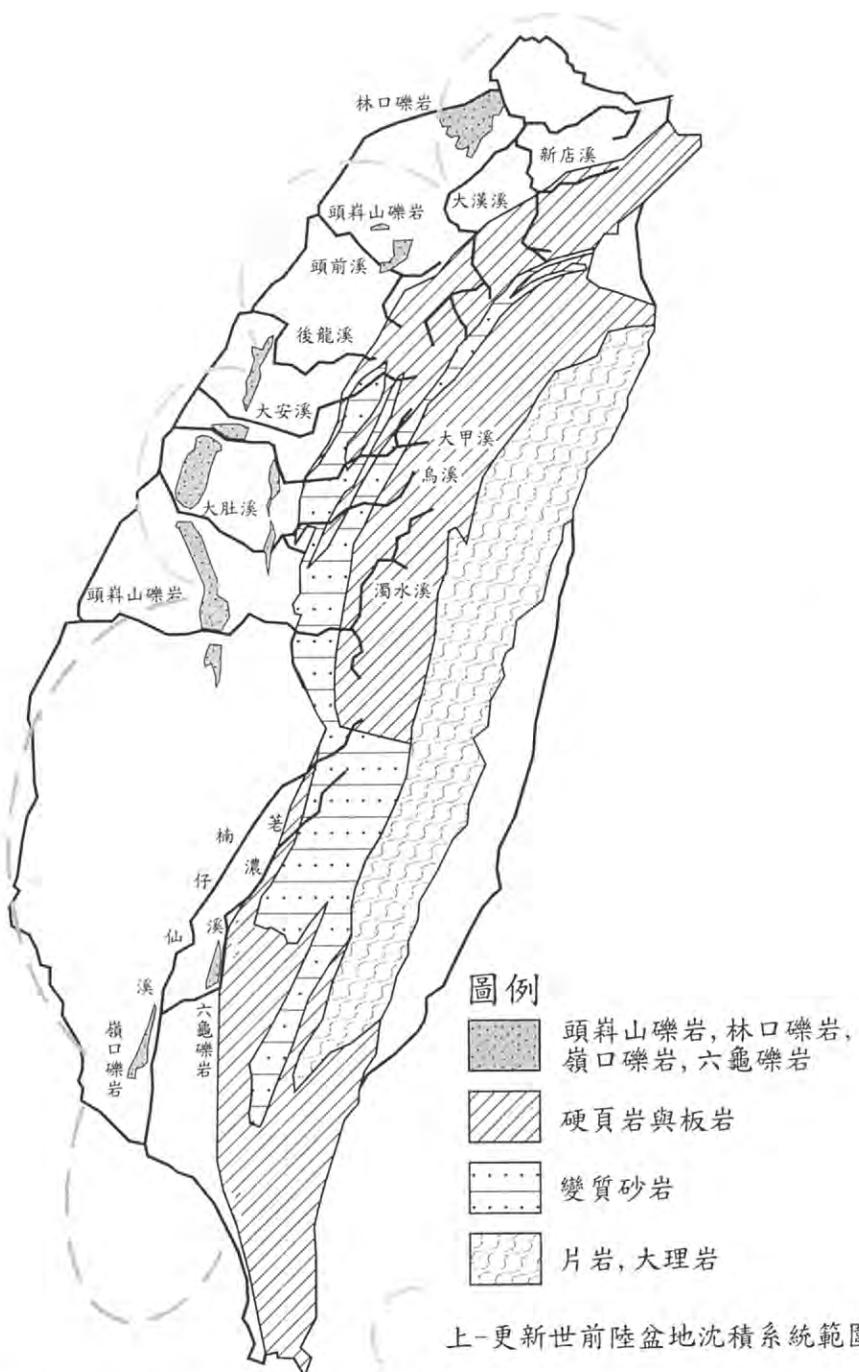
沈積物組成變異的影響因素有許多，其中以來源區岩性與大地構造環境的影響最為深遠（Dickinson, 1974；Dickinson and Luczek, 1979；陳, 1996）。來源區的岩性在先天上就已控制其未來鄰近地區沈積盆地中碎屑物的組成，而大地構造環境的變化更會造成來源區的岩性產生改變與剝蝕速率。Dickinson (1974) 首先利用沈積物組成特性來解析大地構造環境，尤其能清楚反應來源區的剝蝕歷史。因此，本節將以上一更新統沈積物中的岩屑、黏土礦物與碎屑鈷石年齡組成的特性與始－中新統比較，探討中央山脈的剝蝕歷史與前陸盆地的演化關係。

### 砂岩岩象

始新統－中新統的砂岩組成以石英為主約占 80–95%，其餘為長石、雲母（白雲母為主少見黑雲母）與火成岩碎屑。除了早古第三紀的砂岩含有較大量的火山岩碎屑之外，新第三紀砂岩中火山岩碎屑的含量較少；另一特徵是中新統砂

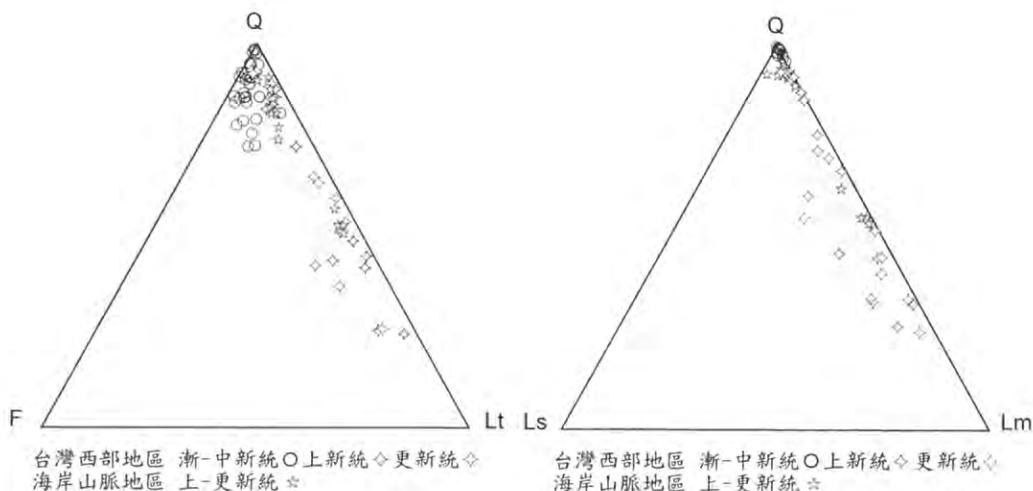


臺中前陸盆地的上一更新統層序，卓蘭層的沈積以暴風作用為主的遠濱環境，間夾海退期形成的潮間帶環境。頭嵙山層香山相的環境以潮間帶與沿岸沙洲為主，沿岸流方向主要為南北向。火炎山相為扇洲的沈積環境，河流形態為瓣狀河，水流方向由東向西。臺中前陸盆地的主要由兩個扇洲所構成，由古大甲溪與大肚溪兩河系所形成。



圖五 西部地區更新統礫岩層出露的位置與現今各河系的地理關係，可以看出礫岩層是由現今西部各大河流於山脈前緣的前陸盆地所沈積的扇洲。從現今各河流域所涵蓋的地質構造區亦可以清楚的了解更新世以來所供應造山沈積物的特性。從沈積體系來看，可以分為五個西部前陸盆地。

岩含有少量的片岩與變質砂岩岩屑。晚中新世，沈積物開始呈現含有砂岩、硬頁岩與變質砂岩的岩屑石，以恆春半島的上部中新統與利吉混雜岩中的晚中新世的砂岩岩塊（陳等人，1985；陳，1988；Sung and Wang, 1985）最具代表。上新世，大量的造山帶碎屑沈積物堆積在山脈四周的前陸盆地與碰撞盆地（collision or peripheral basin）。岩屑含量明顯隨時代而逐步的遞增，比率可由 10 % 至 70 %。崛起的山脈被侵蝕後沈積的岩屑種類，逐步由沈積岩岩屑轉變為以變質岩岩屑為主，砂岩（頁岩）→變質砂岩（硬頁岩）→板岩→片岩（圖六）。但因各處山脈崛起的時代不同造成各沈積盆地岩屑的變化時序則稍有差異。晚期上新世（3 Ma），海岸山脈碰撞盆地早已沈積大量的板岩岩屑（Teng, 1979；Chen and Wang, 1988；Dorsey, 1988）。西部前陸盆地的沈積物直到晚上新世才出現砂岩與頁岩岩屑（Wu, 1968, 1970；Chou, 1971；陳等人，1992, 1994b；張，1994）；早期更新世才有大量的硬頁岩與變質砂岩岩屑（陳等人，1992, 1994b），中期更新世才有大量的板岩岩屑（陳等人，1994a；張，1994）。

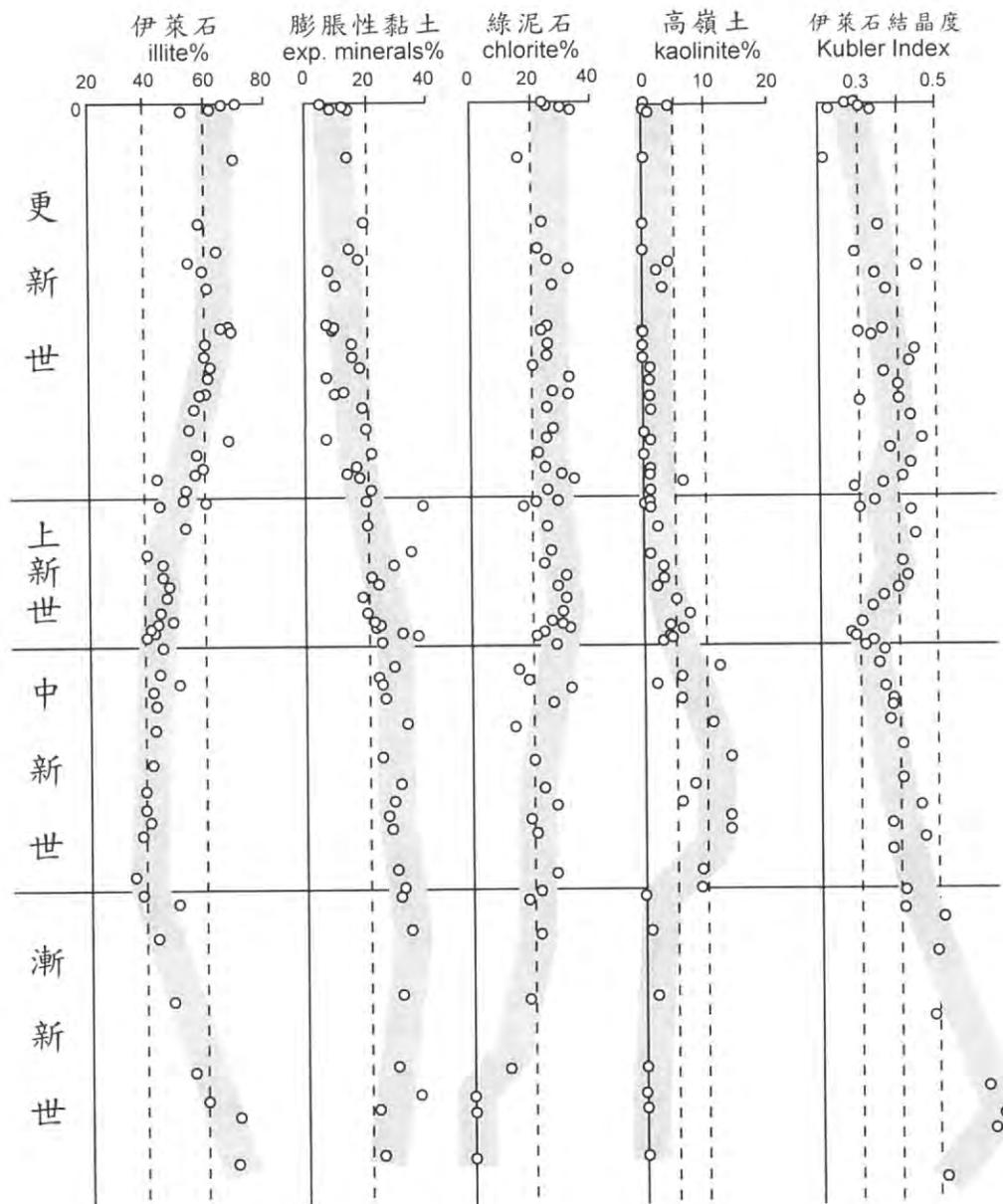


圖六 漸—更新統砂岩的岩象組合，上—更新統沈積物源於中央山脈的變質岩區，因此變質岩岩屑與岩屑的含量逐漸的遞增。Q 石英，F 長石，Lt 岩屑，Ls 沈積岩岩屑，Lm 變質岩岩屑。

## 黏土礦物

漸—中新統，黏土礦物組成以膨潤石混層黏土為主，伊萊石含量逐漸減少（可能受成岩作用影響），高嶺石含量逐漸增加（陳，1993）。上新世之後，伊萊石的相對含量逐漸增加，其結晶度逐漸變佳，膨潤石混層黏土則逐漸遞減，高

嶺石含量減少 (Buchovecky and Lundberg, 1988; Hsueh and Johns, 1985; Yao et al., 1988; 陳, 1993; 張, 1994; 圖七)。伊萊石的變化乃是受來自造山帶的變



圖七 漸新統一更新統中的黏土礦物含量變化，伊萊石含量逐漸變多，結晶度變佳。膨脹性黏土與高嶺石含量減少。上述黏土礦物含量的變化是由於來自造山帶變質岩的碎屑物含量逐漸的遞增。

質岩岩屑的遞增所影響，相對也造成膨潤石混層黏土與高嶺石的減少。中新統中原含有少量的高嶺石，但經再侵蝕沈積為上一更新統的沈積物時，其含量必更為減少。因此上一更新統的高嶺石含量非常少或沒有。

## 鋯石定年

從未變質的上部漸新統至更新統沈積岩層中取得的碎屑鋯石做核飛跡定年，其結果可以顯示沈積物的來源。北部地區上部漸新統中碎屑鋯石年齡主要為 65–150 Ma，其中又以記錄 60–90 Ma（晚白堊紀）的碎屑鋯石最主要，其來源是晚侏羅紀至白堊紀的火山岩，但以晚白堊紀的火山岩為主要侵蝕對象。中新統碎屑鋯石的年紀亦以 65–150 Ma 為主，但其中除 90–130 Ma 的鋯石較上部漸新統有明顯增加之外，150–200 Ma 的碎屑鋯石含量亦明顯的增加（鄂，1995）。中部中新統（南港層）以上的岩層中大於 225 Ma 的碎屑鋯石有明顯的增加。碎屑鋯石年齡除了可以代表岩漿岩生成的年代之外，假若岩層受到變質作用而變質溫度超過  $250 \pm 50$  °C 時，則會重置（reset）原來鋯石所記錄的年齡；當岩層冷卻至  $250 \pm 50$  °C 時則會重新記錄當時的年代。因此，造山運動過程中被深埋的岩層逐漸崛起時，當通過地溫梯度  $250 \pm 50$  °C 時，岩層中的碎屑鋯石會開始記錄此時的崛起年代。所以，未經變質沈積岩中的碎屑鋯石是未曾被重置，其年齡代表源岩的年代，並從年代可以推測源岩為何與源岩的剝蝕歷史。上新統至更新統中碎屑鋯石年齡的組合較為分散（每一標本統計的鋯石數量約 70–100 顆），其較漸一中新統的最大差異是含有小於 10 Ma 的鋯石（鄂，1995；圖八）。總體來看，漸新統與中新統僅含有極少量小於 65 Ma 的鋯石；但上一更新統中小於 65 Ma 的鋯石含量則逐漸遞增。年齡小於 65 Ma 的鋯石可能來自中央山脈的輕度變質岩，代表被部分重置的年齡或完全重置的年齡 (<5 Ma)，從同一標本中的岩屑組成亦表示有來自中央山脈的輕度變質岩岩屑，並且隨地層愈年輕所含的年齡小於 10 Ma 的碎屑鋯石有遞增的趨勢。

以下將從碎屑鋯石年齡、砂岩與黏土礦物組成的特性與變化來討論造山帶與前陸盆地的大地構造意義。在探討之前必須先了解漸一中新統沈積物來源的特性，才能與之比較。晚中新世之前，臺灣地區尚處於穩定大陸的構造環境，來自中國東南地區的沈積物穩定且持續的沈積在東側的大陸棚。晚中生代，中國東側沿海地區正處於晚燕山期的岩漿活動，地表主要覆蓋著大規模晚中生代的火山岩，而其下伏的岩層有燕山期的花崗岩、晚古生代—早中生代的沈積岩與早古生代或之前的變質岩。因此，晚新生代造山之前臺灣地區的沈積物主要是來自此系列的岩層。以下將分別討論造山前後沈積物的特性與意義。

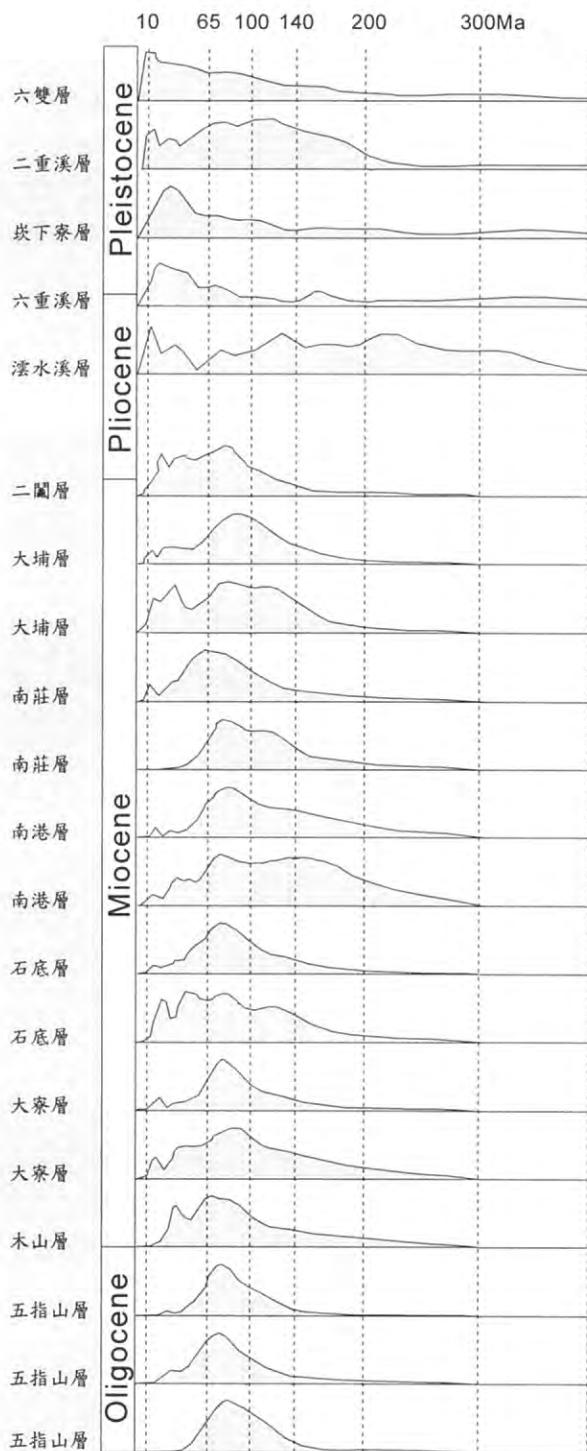
古新世，尚有部分屬於張裂環境的火山作用，因此沈積物中含有大量的火山岩碎屑。始－中新世，亦有短暫的火山活動，但沈積物的主要來源是侵蝕來自晚中生代火山岩。沈積物組成以石英為主，黏土礦物以膨潤石混層黏土為主；從碎屑鋸石年齡組合主要為 65–150 Ma，更可以證明沈積物主要來自晚中生代的岩漿岩。中新統的沈積物則有些微的差異，其中含有少量片岩岩屑、高嶺石的含量增加，年齡大於 225 Ma 的碎屑鋸石含量亦明顯增加。此特性表示晚中生代火山岩下伏的花崗岩與變質岩在中新世已逐漸的露出地表遭受侵蝕。大體而言，始－中新世的沈積物一直維持穩定的組成，經歷長期的剝蝕作用才造成上述岩性的變化。這種緩慢的變化顯示地殼一直處於穩定的抬升與剝蝕作用。

晚新生代造山時期的沈積物是具有大量的岩屑且變質岩岩屑逐漸的遞增；黏土礦物的伊萊石含量與其結晶度隨著變質岩岩屑的增加而遞增與變佳。小於 65 Ma 的碎屑鋸石含量亦隨著變質岩岩屑的增加而有增加且變年輕的趨勢。年齡低於 65 Ma 的碎屑鋸石（尤其是小於 10 Ma）大部分都來自變質岩，其年齡代表在變質過程中被完全或部分重置的年齡。從沈積物組成顯示由沈積岩急速的轉變為變質岩岩屑，表示此時期地殼正急劇的抬升與剝蝕。根據上述始新統－更新統沈積物的特性，陳（1994b）將新生代以來的砂岩分為三大類型並依構造環境的意義分為（一）穩定大陸型砂岩（Passive-margin type sandstone, Pm 型砂岩）以含石英為主的石英質砂岩或長石質石英砂岩。（二）前陸盆地型砂岩（Foreland-basin type sandstone, Fb 型砂岩）含有來自造山帶的砂岩、硬頁岩、變質砂岩、板岩與片岩岩屑。（三）碰撞盆地型砂岩（Collision-basin type sandstone, Cb 型砂岩）除了含有 Fb 型的岩屑之外，尚有來自增積岩體的蛇綠岩岩屑。上述三大類型砂岩的形成主要是受控於大地構造環境。

Dickinson (1974) 將造山帶前後的盆地劃分為前陸盆地與鄰邊盆地（碰撞盆地）。這些盆地的沈積物主要來自造山帶，但本文為何又劃分為兩種來討論。原因是造山時山脈前後兩側地殼的抬升速率不同，盆地中碎屑物的組成在層序的變化時序有所差異。為了便於了解山脈東西兩側的剝蝕歷史與盆地的沈積歷史而加以區分。以下就從碰撞與前陸盆地中各時代的沈積物特性與變化來看造山帶的剝蝕歷史。

弧陸碰撞的初期，位於大陸東側的地殼可能部分隱沒到菲律賓海板塊之下（陳與王，1996）。之後，地殼持續受擠壓而產生壓縮與增厚的現象，造成地殼急劇的抬升並快速的剝蝕，逐漸將造山帶底部的變質岩層裸露地表。若以造山帶被剝蝕的層序來看沈積在盆地中的碎屑物應先以沈積岩岩屑為主，逐漸轉變為變





圖八 漸新統—更新統各岩層中碎屑鈣石的群體頻度一年代分布圖，漸—中新統沈積物源自於中國東南地區前中生代的變質岩與晚中生代的火成岩，上—更新統沈積物是源自於造山帶的沈積岩與變質岩層。

質度較高的變質岩岩屑。因此，岩層中碎屑沈積物的組成順序必定會如同上述的剝蝕層序，沈積岩岩屑先沈積於較老的岩層中，依序變質度較高的岩屑堆積在較年輕的岩層中。從岩屑組成亦可以清楚的看出當時山脈裸露的岩層。

晚期中新世，東部的混雜岩砂岩岩塊與恆春半島的岩層中已明顯發現含有砂岩、硬頁岩、變質砂岩與蛇綠岩的岩屑與礫石。顯示菲律賓海板塊與歐亞大陸已產生擠壓，已形成以沈積岩為主的增積岩體山脈，部分海板塊也被推擠上沖形成增積岩體（陳等人，1985；Sung and Wang, 1985；Pelletier and Stephan, 1986）。

晚期中新世末—早期上新世初，火山島弧與歐亞大陸產生碰撞並將大陸邊緣的沈積層推擠形成高起的山脈。位在東部地區的碰撞盆地中已明顯接受到大量來自沈積岩與輕度變質岩山脈的沈積物。西部的沈積層中尚未有此岩性，如出礦坑剖面的東坑層沈積物的來源尚屬於福建地區的物質。

晚期上新世（約 3 Ma），東部的碰撞盆地已堆積大量來自變質岩山脈與被刮積而上沖到增積岩體之上的海洋板塊物質。盆地的構造沈降速率明顯表示此時中西部地區才開始形成前陸盆地，開始接受到沈積岩為主的碎屑沈積物，也顯示中部地區的山脈剛隆起，形成以沈積岩為主的山脈。從造山帶東西兩側盆地中的碎屑物特性來看，表示先前晚期中新世已形成的山脈此時（晚期上新世）已大規模露出板岩層。今日，此一在晚期上新世提供板岩岩屑的以板岩構成的山脈可能早已被侵蝕殆盡而裸露出更高變質度的岩層，其可能是位在現今露出大南澳片岩的北段中央山脈地區或是現今琉球西側為增積岩體構造環境的島嶼如西表島與石桓島（出露有大南澳片岩）。中期更新世之後（約 1 Ma），前陸盆地中才沈積大量的變質砂岩與板岩岩屑，此時中段中央山脈也已大規模出露雪山山脈的岩層。東部的碰撞盆地中，則持續沈積以板岩為主的沈積物，但也開始出現少量的片岩岩屑，表示片岩層也已開始裸露。晚期更新世，大南澳片岩才大規模的裸出地表，大量受侵蝕沈積在碰撞盆地中。從岩屑沈積的時序來看，位於中央山脈東西兩側的同一變質度岩層出露至地表的年代不同，此乃中央山脈東西兩側的抬升速率不等以及南北抬升的時代不同所造成（陳等人，1994b），從中央山脈變質岩中的碎屑鋸石年齡也可以顯示此一現象（謝，1990）。

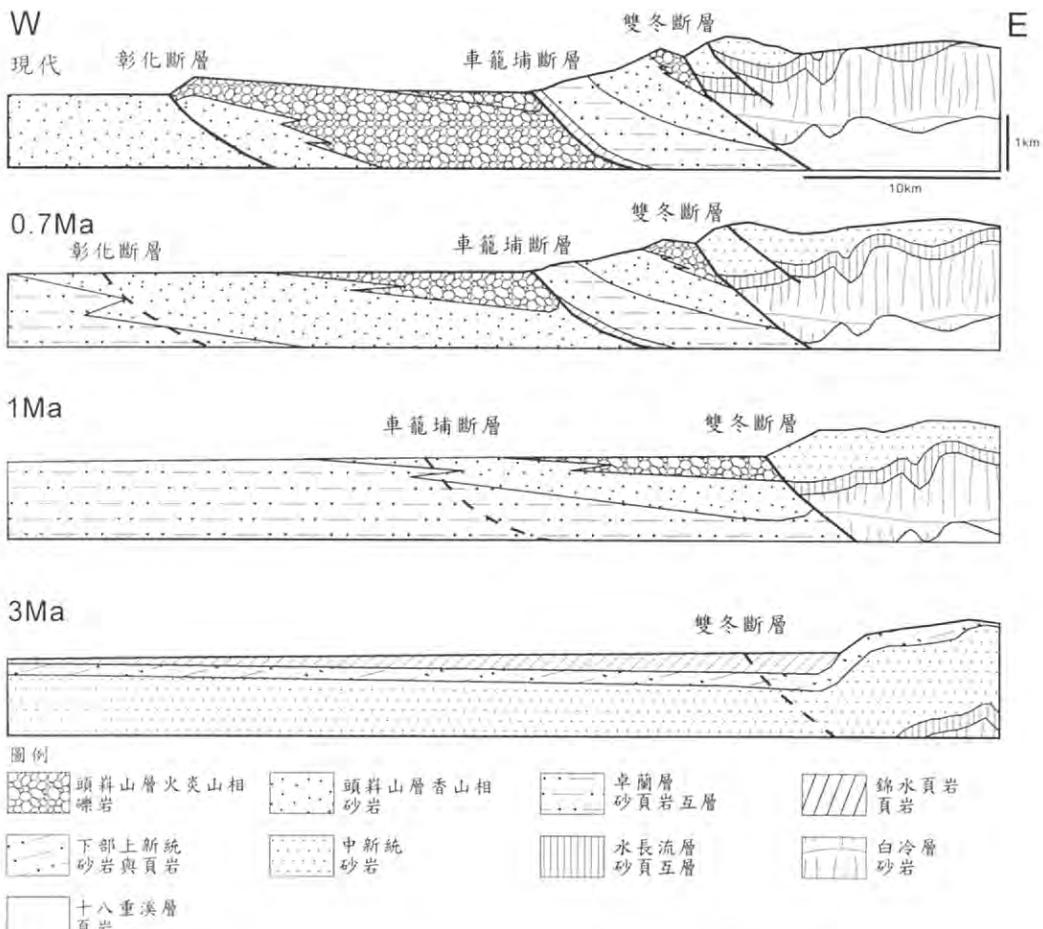
## 討 論

從上—更統的沈積層序、沈積物組成特性與構造沈降速率來看，臺中與嘉南前陸盆地約形成於晚期上新世（3 Ma），中期更新世（1 Ma）為主要的構造沈降



期。中期更新世末 (0.7 Ma)，因前陸盆地前緣的逆斷層作用使得盆地逐漸的抬升，並向西遷移形成另一新期的前陸盆地。從上述前陸盆地的演化時序來看，3 Ma、1 Ma 與 0.7 Ma 似乎是一值得探討的時間。前陸盆地的形成與造山帶的抬升及前緣逆衝斷層的形成有密切關係。因此，從中央山脈抬升的時序可以看出與前陸盆地的演化時序似乎有相關的訊息。從雪山山脈輕度變質砂岩的碎屑鋯石測得核飛跡年齡大致可獲得以下的抬升時序。北、中、南橫貫公路剖面的鋯石核飛跡年齡分別北橫約為 5 Ma、中橫為 3 Ma、南橫為 1 Ma (謝，1990)。此年齡表示雪山山脈初期抬升時通過  $250 \pm 50$  °C 地溫梯度線的年代 (鋯石核飛跡定年的封閉溫度與雪山山脈岩層的變質溫度相近)。北段雪山山脈抬升較早約在晚中新世，依序向南愈年輕。Suppe (1981) 認為臺灣島是由北向南逐步的抬升，原因是碰撞主應力持續向南偏移所致，而上述鋯石核飛跡定年資料更可以看出雪山山脈抬升的時序確實有逐漸向南遷移的現象。顯然約在 3 Ma 時的碰撞主應力已偏至中部地區，造成中段雪山山脈的抬升，同時在山脈的西緣形成前陸盆地。1 Ma 時主應力稍偏向南側，前陸盆地的沈降中心繼續向西遷移，此時盆地的沈降最為快速。同時，中段雪山山脈的變質岩也已大範圍抬升至地表，並提供大量粗粒沈積物 (頭料山層) 堆積到前陸盆地中 (圖九)。陳等人 (1992) 與李等人 (Lee et al., 1996) 認為臺中前陸盆地的形成最初與水長流斷層有關。依據化石 (Huang, 1986) 與構造 (黃，1996) 的資料來看，皆表示沒有水長流斷層的存在 (黃，1996) 或其垂直地層位移量非常小。以此特性顯示此斷層的作用是不足以形成大規模的地殼沈降與形成前陸盆地。因此，本文認為晚上新世開始形成的臺中前陸盆地是與雙冬斷層有關；車籠埔斷層形成時，先期的臺中前陸盆地才逐漸被抬升，並在車籠埔斷層前緣形成現今位於臺中地區的前陸盆地。

第四紀以來，弧陸碰撞過程中在造山帶的西緣形成多條的逆衝斷層，並在斷層前緣造成地殼的凹陷並形成前陸盆地。前陸的凹陷是因山脈隨著逆斷層的上衝作用疊加在斷層前緣的地塊之上，造成前緣地殼的過度負重而產生均衡作用形成地殼的饒曲現象 (flexure of lithosphere)，並在斷層的前緣形成凹陷盆地 (Price, 1973； Beaumont, 1981)。逆衝斷層所背載的上衝山塊 (orogenic wedge) 須有相當大規模的山塊才能使地殼持續的產生饒曲現象及凹陷盆地。因此，逆衝斷層的作用必須有相當大的垂直位移量，才能負載相當重量的上衝山塊。本文就依此特性認為現今臺灣西部地區垂直位移量較大的逆斷層極可能與上新世以來前陸盆地的成因有關。目前選定垂直位移量超過 2,000 公尺的逆斷層有北部地區的龍洞斷層、臺北斷層、崁腳斷層與新莊斷層。中部地區有雙冬斷層與車籠埔斷層。南



圖九 臺中前陸盆地的演化過程。從雙冬斷層以東的構造來看是屬於褶皺變形的構造區，沒有垂直位移量大的逆斷層。因此，臺中前陸盆地的因為雙冬斷層的作用所形成。中段雪山山脈的隆起約在 3 Ma，初期以褶皺作用為主，此時可能已經形成前陸凹陷。約 1 Ma，雙冬斷層形成前陸盆地才急劇的沈陷。約 0.7 Ma，車籠埔斷層形成，在其前緣繼續形成前陸盆地。約 0.5 Ma 時，在西側再度形成彰化斷層，造成前期的前陸盆地轉變為背負盆地 (piggyback basin)。

部地區有潮州斷層、平溪斷層與觸口斷層。本文依照沈積體系與逆斷層的分布，將前陸盆地暫時劃分為雙冬與車籠埔斷層前緣的臺中前陸盆地；觸口與平溪前緣的嘉南前陸盆地；潮州斷層前緣的高屏前陸盆地；而北部地區位於龍洞、臺北、崁腳與新莊斷層前緣的臺北前陸盆地。竹苗地區的構造形態與上述地區較為不同是以褶皺為主且無大規模的逆斷層系統，此地區形成的前陸盆地的構造成因可能

不同。但從沈積體系來看是屬於獨立的沈積系統，所以也暫時稱為竹苗前陸盆地。關於上述前陸盆地的成因必須有更詳細的構造分析與地層層序的研究，才能有更進一步的解析。

## 參考文獻

- 陳振華、陳文山、王源、陳勉銘（1992）由臺灣中部前陸砂岩之岩象研究看褶皺逆衝帶之剝蝕歷史。地質，第十二卷，第二期，第 147—165 頁。
- 陳文山、何信昌、王源、楊昭男、高銘健、張益生、鄂忠信、陳勉銘（1994a）臺灣西南部上新統至更新統的岩象學研究與地層對比。經濟部中央地質調查所特刊，第八號，第 83—99 頁。
- （1996）白堊紀以來臺灣地區沈積物特性與其地質意義。中央大學，紀念顏滄波教授地質研討會論文集，51—56 頁。
- 、王源、楊昭男（1994b）依沈積岩象特性建立從穩定大陸到弧陸碰撞造山帶環境的演化模式。中國地質學會 83 年年會論文摘要，83—87 頁。
- （1997）臺灣西部前陸盆地的沈積體系。中國地質學會 86 年年會論文摘要，1—4 頁。
- 、洪崇勝、謝凱旋、葉明官、陳勉銘、何信昌、林清正、黃能偉（1998）西南部地區上—更新統的層序地層的探討—假整合構造的沈積意義與對比。『臺灣之第四紀』第七次研討會論文集，108—112 頁。
- 、林清正、黃能偉、洪崇勝、謝凱旋（1999）臺灣西南部上新世—更新世前陸盆地中第五、六級（100k.y.、41k.y.）沈積層序的特性。中國地質學會 88 年年會論文摘要，1—4 頁。
- 陳勉銘（1993）烏溪及東北海岸剖面漸新世以後泥質岩中的黏土礦物特性與其構造環境之意義。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，59 頁。
- 楊志成（1997）臺灣中部地區錦水頁岩、卓蘭層與頭料山層的沈積環境研究。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，120 頁。
- 張益生（1994）臺灣西南部麓山帶上部中新統至更新統砂岩岩象與黏土礦物之分析及其構造意義。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，86 頁。
- 鄂忠信（1995）由臺灣地區上部漸新統至更新統碎屑性鈷石的核飛跡年代探討源岩區的岩層特性。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，178 頁。
- 謝雪莉（1990）臺灣島數條東西向剖面之核飛跡定年研究。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，134 頁。

黃文正（1996）臺灣中部國姓地區水長流斷層兩側褶皺的形成機制。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，76頁。

周素卿（1992）臺灣西部前陸盆地地史分析初探。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，64頁。

柯炯德（1997）三義台地、大肚台地及八卦台地地區頭嵙山層之沈積環境研究。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，90頁。

Beaumont, C. (1981) Foreland basins. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 65, 291-329.

Buchovecky, E.J. and Lungberg, N. (1988) Clay mineralogy of mudstones from the southern Coastal Range: unroofing of the orogen versus in-situ diagenesis. *Acta Geol. Taiwanica*, 26, 247-261.

Chen, W.S. and Wang, Y. (1988) The Plio-Pleistocene basin development in the Coastal Range of Taiwan. *Acta Geol. Taiwanica*, 26, 37-56.

Chou, J.T. (1971) A preliminary study of the stratigraphy and sedimentation of the mudstone formations in the Tainan area, southern Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, 8, 187-219.

Covey, M. (1984) Lithofacies analysis and basin reconstruction, Plio-Pleistocene western Taiwan foredeep. *Petrol. Geol. Taiwan*, 20, 53-83.

\_\_\_\_\_ (1984) The evolution of foreland basins to steady state: evidence from the western Taiwan foreland basin. *Spec. Publs int. Ass. Sediment.*, 8, 77-90.

Dickinson, W.R. (1974) Plate tectonics and sedimentation. In: Dickinson W.R. (ed.), Tectonics and sedimentation. Spec. Publ., Soc. Econ. Paleont. Mineral., Tusa, 22, p. 1-27.

\_\_\_\_\_ and Suczek, C.A. (1979) Plate tectonics and sandstone composition. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 63, 2164-2182.

Dorsey, R.J. (1988) Provenance evolution and unroofing history of modern arc-continent collision: evidence from petrography of Plio-Pleistocene sandstone, eastern Taiwan. *Jour. Sed. Petrol.*, 58, 208-218.

Hsu, T.L. (1962) A study on the coastal geomorphology of Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 5, p. 29-46.

Hsueh, C.M. and Johns, W.D. (1985) Diagenesis of organic material and clay minerals in the Neogene sediments of western Taiwan. *Petro. Geol. Taiwan*, 21, 129-171.

Huang, C.Y. (1986) Oligocene and Miocene stratigraphy of the Kuohsing area, central Taiwan. *Acta Geol. Taiwanica*, 24, p. 281-318.

Kominz, M.A. and Bond, G.C. (1982) Tectonics subsidence calculated from lithified basin strata. *Abstr. Progr. Geol. Soc. Am.*, 14, p. 534.

\_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_ (1986) Geophysical modelling of the thermal history of foreland basins. *Nature*, 316, p. 138-142.

- Lee, J.C., Lu, C.Y., Chu, H.T., Delcaillau, B., Angelier, J. and Deffontaines, B. (1996) Active deformation and paleostress analysis in the Pakua anticline area of western Taiwan. TAO, 7, 4, p. 431-446.
- Pelletier, B. and Stephan, J.F. (1986) Middle Miocene obduction and Late Miocene beginning of collision registered in the Hengchun Peninsula: geodynamic implications for the evolution of Taiwan. Mem. Geol. Soc. China, 7, 301-324.
- Platt, J.P. (1986) Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks. Geol. Soc. Am. Bull., 97, 1037-1053.
- Price, R.A. (1973) Large-scale gravitational flow of supra-crustal rocks, Southern Canadian Rockies. In: DeJong K.A. and Sholten R. (eds.), Gravity and Tectonics. 491-502.
- Sung, O.C. and Wang, Y. (1985) Petrofacies of Miocene sediments in the Hengchun Peninsula and its tectonic implication. Proc. Geol. Soc. China, 28, 23-44.
- Suppe, J. (1981) Mechanics of mountain building and metamorphism in Taiwan. Geol. Soc. China, 4, 67-89.
- Teng, L.S. (1979) Petrographic study of the Neogene sandstones of the Coastal Range, eastern Taiwan (I. northern part). Acta Geol. Taiwan, 20, 129-155.
- \_\_\_\_\_ (1987) Stratigraphic records of the late Cenozoic Penlai Orogeny of Taiwan. Acta Geol. Taiwanica, 25, 205-224.
- Wu, F.T. (1968) Petrographic study of oil sands of the Chunlun Structure, Chiayi, Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, 6, 183-195.
- \_\_\_\_\_ (1970) Petrographic study of sandstones in the Kuantzuling area, Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, 7, 229-241.
- Yao, T.M., Tien, P.L. and Wang Lee, C.M. (1988) Clay mineralogical studies on the Neogene Formations, Taiyuan basin, southern Coastal Range of Taiwan. Acta Geol. Taiwanica, 26, 263-277.

# THE EVOLUTION OF FORELAND BASINS IN THE WESTERN TAIWAN : EVIDENCE FROM THE PLIO-PLEISTOCENE SEQUENCES

**Wen-Shan Chen<sup>1</sup>, Chung-Hsin Erh<sup>2</sup>, Mien-Ming Chen<sup>2</sup>,  
Chih-Cheng Yang<sup>1</sup>, I-Sheng Chang<sup>3</sup>, Tsung-Kwei Liu<sup>1</sup>,  
Chorng-Shern Horng<sup>4</sup>, Kai-Shuan Shea<sup>2</sup>, Ming-Guan Yeh<sup>5</sup>,  
Jong-Chang Wu<sup>5</sup>, Chiung-Te Ko<sup>1</sup>, Chin-Cheng Lin<sup>1</sup>  
and Neng-Wei Huang<sup>1</sup>**

## ABSTRACT

A 3-4 km thick sequence of orogenic sediments is deposited in foreland basins of the western Taiwan. Knowing the age of the strata level-by level also allows us to calculate the sedimentation rate and tectonic subsidence rate. Tectonic subsidence rates is approximately 500-600 m/My during the Late Pliocene-Early Pleistocene (3-1 Ma) and 2150-2600 m/My during the Middle Pleistocene (1-0.7 Ma). Thus foreland basins began 3Ma ago in western Taiwan.

The Late Pliocene- Pleistocene sequences of foreland basin consist of a shallowing upward succession which exhibits a general coarsening upward trend in lithology. Depositional environments in foreland basin were quite diverse, ranging from storm-dominated offshore, tidal-dominated to river-dominated fan delta environments, which seem to be influenced by local tectonics. Yet, the five- and six-order (100k.y. ~ 41k.y.) depositional cycles in these succession are undoubtedly related to the sea-level changes which are well correlated with the Quaternary eustatic variations.

- 
1. Institute of Geology, National Taiwan University
  2. Central Geological Survey, MOEA
  3. Center of Groundwater Development and Conservation, Taiwan Sugar Corporation
  4. Institute of Earth Science, Academic Sinica
  5. Taiwan Petroleum Exploration Division, Chinese Petroleum Coporation

