

剪波分裂與P波頻散衰減研究

陳朝輝

國立中正大學地震研究所

江準熙 林柏佑

中央氣象局地震測報中心

摘要

壹、前言

地震預警一直以來都是地球物理科學學者共同努力的目標之一。當今地震預警研究中大多是利用地震歷史活動資料、地質構造分析、以及一些地震前後變化特徵等作為根據，在強震後歸納分析出合理的解釋。但是由於地震前後異常型態繁多、不同區域的差異性等，造成地震活動有太多不確定機制，所以即使在震前發現異常現象，也很難據此完全準確的發佈地震預警，儘管如此，我們還是希望可以從某些地震活動特性的研究中找出些許地震發生的前兆特性。利用 S 波剪波分裂特性和 P 波頻散衰減特性，此兩種方法顯示的強震前兆能作用於震源區的應力場改變的時間指標；故探討兩個方法隨時間改變監視適應力場作用最直接的方式，也希望能藉由本研究中歸納出一些地震前兆的特徵關係。

The earthquake early warning always is all one of the target of the Earth physical science scholar's joint effort. The earthquake makes use of the earthquake history movable data, geology structure analysis, and some earthquakes mostly to change a characteristic in front and back in the early-warning research nowadays etc. is a basis, at strong earthquake after induce to analyze reasonable of hermeneutic. But because the earthquake in front and back excrescent type difference of the numerous and different district etc., cause the earthquake activity have too many indetermination mechanisms, so even find excrescent phenomenon before shaking, also very difficult release earthquake on these grounds and completely and accurately early warning, for all that, we still hope and can find out earthquake to take place just some little from the research of the some earthquake movable characteristic of early sign characteristic.

Currently, the studies of shear-wave splitting and the attenuation of dispersive P-waves have proved that they can provide time index for change of stress field in the source region or in a potential earthquake-prone area. Thus our intention is to investigate/monitor the temporal changes of the characteristics of shear-wave splitting (delay-times and polarizations) and as well as the temporal variations of the Q (quality factor) values obtained from dispersive P-wave. Hopefully, we can get more insight about the characteristics of earthquake precursors through the above studies.

貳、研究方法

1. P波頻散衰減研究方法

本研究所使用的方法包括 Morlet 小波多重濾波法 (Morlet wavelet multiple-filter method)，連續鬆弛模型理論 (Continuous relaxation model) (Liu et al, 1976)，與基因演算法 (Genetic algorithm method)，其中為了提高訊噪比，以得到較佳頻率解析度，使用牛頓多項式插值法 (Newton polynomial interpolation method) 與高斯濾波 (Gauss filter method)。

基於上述之理論，本研究方法如下：

1. 使用牛頓多項式插值法與高斯濾波對訊號進行重採樣，增加訊號點數。
2. 利用 Morlet 小波多重濾波法 (Morlet wavelet multiple-filter method) 分析直達 P 波第一週期訊號，得群速延遲時間-頻率譜。
3. 根據線性鬆弛模型理論結合基因演算法反演出最佳群速延遲時間-頻率譜，並求出最佳頻散衰減因子 Q_p 。
4. 藉由統計頻散衰減因子 Q_p 值隨時間變化關係，探討強震前後其值之變化特徵。

2. 剪波分裂研究方法

剪力波在行經非均向介質時，會分裂成快波及慢波，根據此特性，我們利用交叉比對 (cross-correlation) 的方法來求得快波與慢波的時間差 (time-delays) 及快波的極化角度 (polarization)，意即當兩個水平分量的剪力波交叉比對係數 (cross-correlation coefficient) 達到最大值時，及為我們所欲求得的時間差及極化方向，本研究所用的剪力波時間視窗 (time-window) 為一個週期或一個半週期的長度。在進行完上述步驟後，可進而研究時間差及極化方向隨時間變化的情形，此地震前兆的研究可作為大地震發生前的時間指標。

Ssplit：假設剪波分裂為兩個相位，而在彼此間存在的時間差為延遲時間。Ssplit 計算相關函數，估算延遲時間與極化角度，以求得在水平向上振幅最大的震波圖。資料處理所需的時間窗格為一或一個半剪波的波長；而極化方向由北方以逆時針方向旋轉。我們估計極化角與延遲時間的誤差區間在 5% 內。極化角的準確性在 12 度的範圍內，延遲時間最大的誤差原因為採樣區間，其為 0.01 或 0.02 秒 (採樣頻率為 100 或 50 次/秒)。

參、資料選取

1. P 波頻散衰減

本研究使用中央氣象局即時觀測網之地震資料；如圖所示，為本研究之研究區域之測站分布圖，其中黑色三角形為測站位置，而紅色星號為嘉義地震與集集地震之震央位置。挑出地震品質良好之測站(包括雜訊少、資料量穩定等)，挑選每個測站強震前後各約一年之垂直分量地震資料。其中為了確保直達 P 波訊號不受其他波相干擾，以利我們精確挑選出直達 P 波第一週期訊號，且讓高頻能量不因距離過遠而衰減，能精確量測 Q_p 值，故挑選範圍為以測站為中心，震央距 < 30 公里、震源深度 < 25 公里之地震；且因為大地震有較高的低頻能量，不適合用來測量頻散衰減，且大地震會因斷層錯動量大，增加了訊號之複雜度，因此地震規模設定在 $ML \leq 3.0$ 之地震。且每個測站以天為單位，原則上一天挑選一筆最佳的地震資料(無雜訊干擾、第一週期完整等)進行分析。

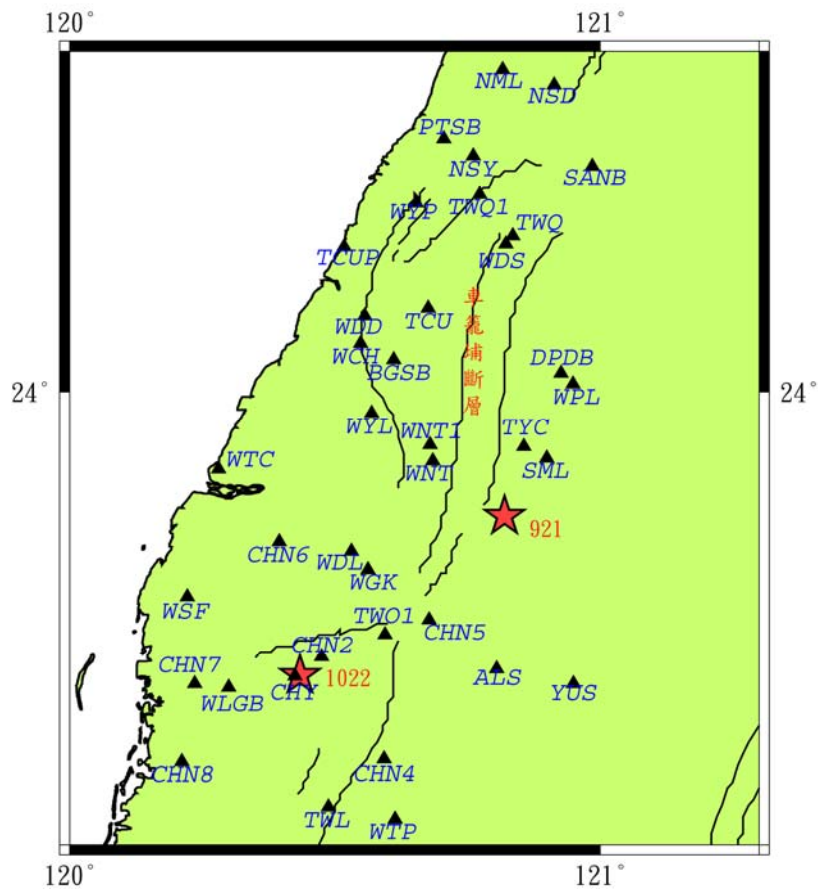


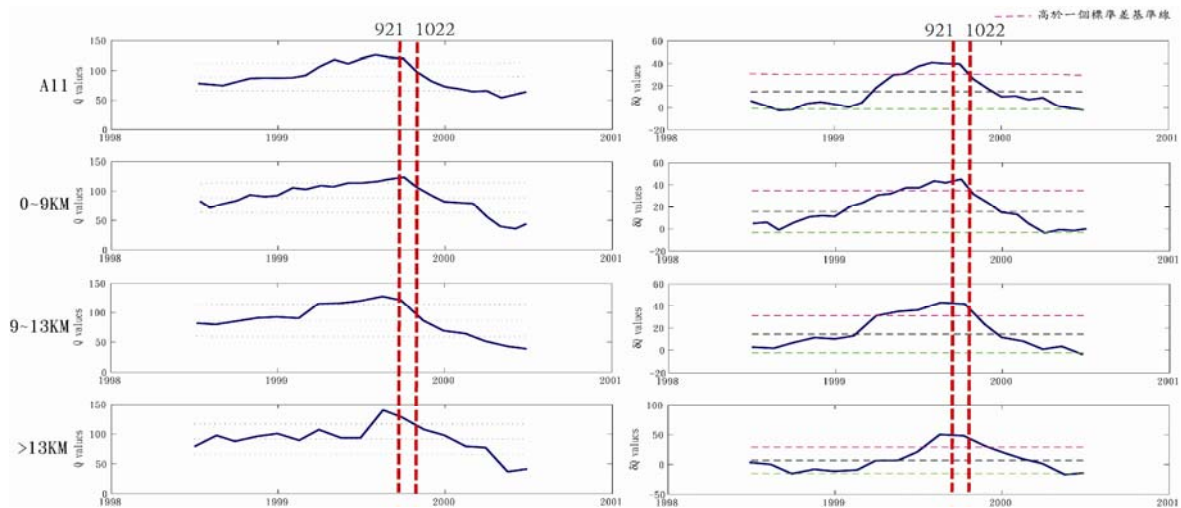
圖 中央氣象局中南部地區即時觀測網測站分布圖

2. 剪波分裂

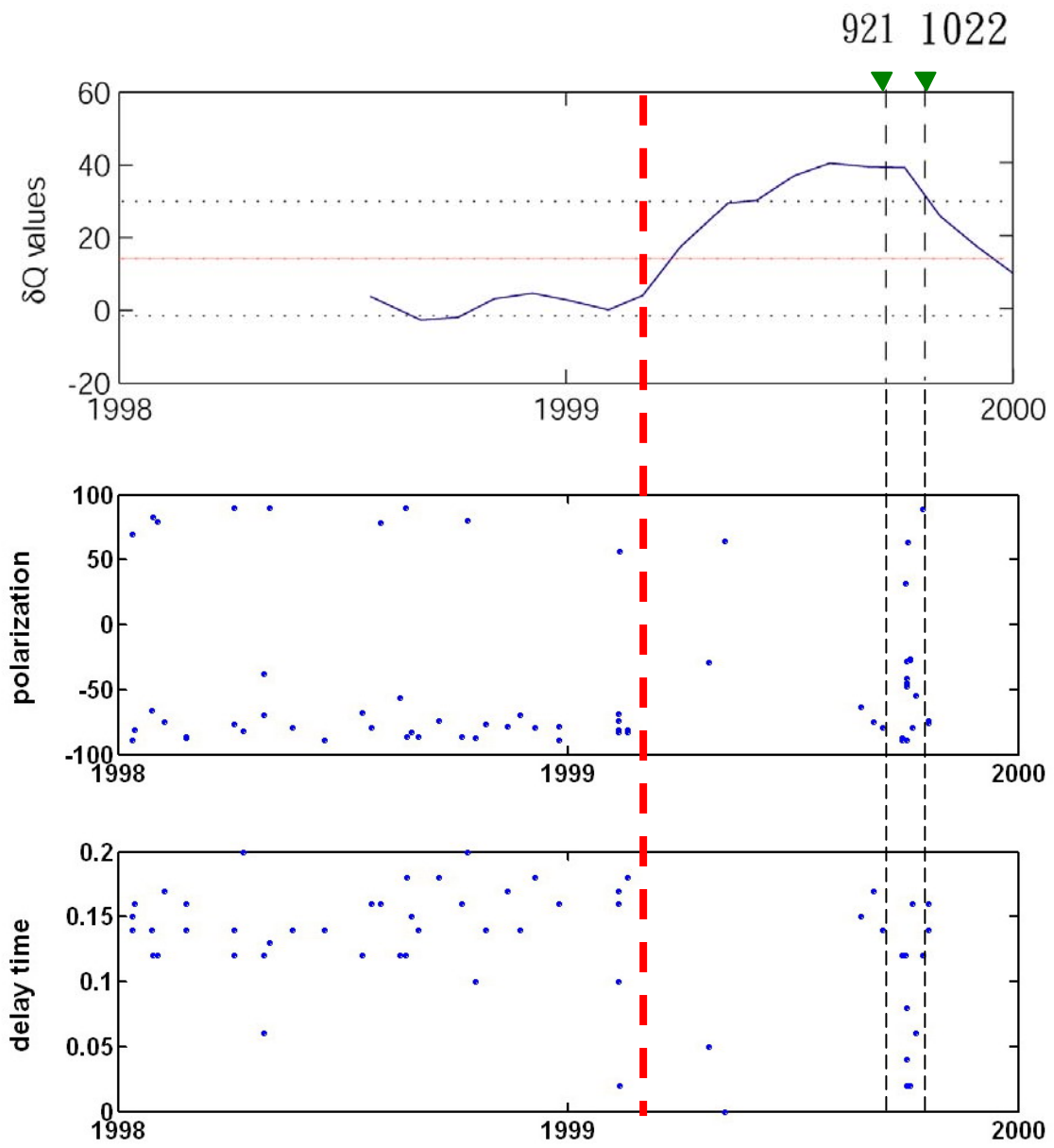
從中央氣象局即時觀測網之地震資料中，選擇地震資料品質良好的測站，並挑選出震央距 \leq 震源深度， $ML \leq 3.0$ 之地震事件，將三分量的波形積分成位移，並施以 1-10HZ 之帶通濾波，截取 3 至 4 秒的數據進行分析。

肆、結果

CHY 測站位於嘉義地震震央附近。結果顯示，本測站 Q_p 殘值於集集地震前後無明顯變化，而嘉義地震前後出現變化特徵，推測本區域應力狀態之改變與嘉義地震前後造成的區域應力狀態改變有較高之相關性。



CHY 測站不同震源深度範圍之 Q_p 值與 Q_p 殘值隨時間變化曲線



伍、結果與討論

以目前所分析的CHY測站資料討論：

1. **強震前後 Q_p 殘值之時空變化**：從研究結果中可以看出，震源區與震源區附近區域 Q_p 殘值於強震前後經歷一段由低值轉高然後又降低的變化，推測這樣的變化趨勢歸因於強震前後整個區域應力狀態變化所造成的結果。
2. **Q_p 與震央距及震源深度之關係**：各測站研究統計結果顯示， Q_p 值會隨震央距與震源深度增加而增加， Q_p 隨震央距的線性增加研究中可以回歸方法求得，而隨震央距的增加如圖 4-9 所示，這與 Cong(2000)之 P 波頻散衰減研究中得到的 Q 值隨震央距增加的結果是吻合的。
3. **平均 Q_p 值的變化與集集地震及嘉義地震之關聯**：研究結果顯示，整個研究區域的 Q_p 殘值在集集地震與嘉義地震發生前出現上升趨勢，地震發生後下降，顯示整個區域速度構造與應力狀態在兩個強震前後出現改變。
4. **Q_p 殘值應用於中短期地震預警之展望**： Q_p 殘值於強震前後的變化有一個非常重要之特徵，即 Q_p 殘值因應力狀態改變產生相對提高後，會於那個時間點轉為下降，此下降點的意義非常重大，它意味著某地震之孕震過程已達最後階段；但是由於 Q_p 殘值隨時間變化是以動平均方式呈現，研究中所看到的是整個強震後所分析統計的結果，若是將研究方法使用在即時地震資料分析統計 Q_p 殘值，能預期的是，強震前 Q_p 殘值升高的變化是較能確定且容易觀測到的，但是下降點與下降趨勢於強震發生前可能不會有太明顯的下降變化。
5. **P 波頻散衰減研究結果與剪波分裂結果相互做比對**：結果發現， Q_p 殘值與剪波分裂的極化角及延遲時間，開始產生異常的時間相當一致。