

# 剪波分裂與 P 波頻散衰減研究 ( II )

## The studies of shear-wave splitting and the attenuation of dispersive P-wave ( II )

主管單位：中央氣象局

陳朝輝

Chen, Chau-Huei

國立中正大學地震研究所

### 摘要

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 波衰減頻散特性，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的改變為監視應力場變化最直接的方式，也希望能藉由本研究歸納出一些地震前兆的特徵關係。

關鍵詞：剪波分裂、P 波頻散衰減

### Abstract

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.

Keywords : shear-wave splitting、the attenuation of dispersive P-waves

## 一、前言

當前的地震預報，正是在成因不甚清楚的情況下，根據對地震活動的歷史資料、地質構造分析，以及地震發生前出現的種種異常現象，於某些假設條件下進行的。有關地震前兆的訊息，都包含著相當程度的不確定性。另一方面的問題是地震前兆的複雜性，它表現在空間分布上的不均勻性，異常型態上的多樣性，不同地區的差異性，異常與地震關係的不確定性等，使得地震的前兆異常與地震之間具有非常複雜的關係。除了具前兆異常有地震、無前兆異常無地震外，往往還出現有異常無地震和無異常有地震的情況。不同地區、不同類型，乃至不同時期發生的地震，其前兆異常的種類、數量、形態、幅度、時間過程、空間展布等往往有相當大的差別。由於人們對地震前兆的複雜性和產生這種複雜性的物理機制缺乏認識，所以即使在震前發現了部分異常現象，也難以據此做出完全準確的預報。

近年來台灣、日本、美國、土耳其與印度等地都遭受到強震的侵襲，造成人員死傷，與經濟的損失等嚴重災情。由於台灣位於環太平洋地震帶上，受到歐亞大陸版與菲律賓板塊的碰撞擠壓的影響，地震活動十分頻仍，致使歷年來地震在台灣造成重大的災害損失，除了1999年的921集集大地震與1022嘉義地震造成兩千多人傷亡與經濟上的損失外，1906年梅山地震、1935年台中新竹地震、1941年中埔地震、1946年新化地震、1964年白河地震、1986年花蓮地震與1998年的瑞里地震皆造成民眾生命財產上重大的損失(鄭世楠等人,1998)。此外由於台灣經濟高度成長，各項建設持續進行，而大部分的建築物結構物的位置都集中在地質較鬆軟的平原、盆地上，也因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，希望藉由本研究中歸納出一些地震前兆的特徵關係，使之用於地震發生的預警上。

## 二、研究方法與原理

### 2.1 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。

## 2.2 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。

## 三、資料選取與處理

### 3.1 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 1 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。

### 3.2 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，截取一個週期的訊號進行分析。

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）。

#### 四、結果與討論

結果顯示，TWQ 測站所在位置與附近區域於集集地震與嘉義地震前後發生應力狀態之改變；本測站 Qp 殘值於集集地震前後出現變化特徵，而嘉義地震前後較無明顯變化，因此推測本測站所在位置與附近區域應力狀態之變化與集集地震前後造成的區域應力狀態之改變比較有相關，與嘉義地震前後造成的區域應力狀態改變較無明顯之相關性（圖 2）。

CHY 測站位於嘉義地震震央附近。結果顯示，本測站 Qp 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，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（圖 3）。

##### 4.1 強震前後 Qp 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 Qp 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。

##### 4.2 Qp 與震央距及震源深度之關係

各測站研究統計結果顯示，Qp 值會隨震央距與震源深度增加而增加（圖 2、圖 3），Qp 隨震央距的線性增加研究中可以回歸方法求得，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。

##### 4.3 平均 Qp 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 Qp 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。

##### 4.4 強震前剪波分裂特性之變化

由CHN4及NSY測站資料的分析結果顯示，大地震發生前，剪波分裂之極化角度呈現180°翻轉的趨勢（圖4）。而由WGK與CHY測站資料的分析結果顯示，剪波分裂的延遲時間在大地震前有下降的趨勢，反應裂隙逐漸閉合，而使剪波分裂的特性不明顯（圖5）。

#### 4.5 P 波頻散衰減研究結果與剪波分裂結果相互做比對

由CHY測站結果發現，Qp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（圖6）。

#### 4.6 Qp 殘值應用於中短期地震預警之展望

Qp 殘值於強震前後的變化有一個非常重要之特徵，即 Qp 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 Qp 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 Qp 殘值，能預期的是，強震前 Qp 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。

#### 參考文獻

1. Abercrombie, R.E. (1997) . Near-surface attenuation and site effects from comparison of surface and deep boreholes recordings, *Bull. Seism. Soc. Am.* 87,731–744.
2. Al-Shukri H. J., and B. J. Mitchell (1988) . Reduced seismic velocities in the source zone of New Madrid earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* 78,1491-1 509.
3. Akbar N., J. Dvorkin, A. Nur (1993) . Relating P- wave attenuation to permeability, *Geophysics* 58 ( 1 ) ,20-29.
3. Aytug H., C. Saydam(2002) . Solving large-scale maximum expected covering location problems by genetic algorithms: A comparative study, *European Journal of Operational Research* 141,480–494.
4. Castro R. R., C. J. Rebollar, L. Inzunza, L. Orozco, J. Sanchez,O. Galvez, F.J. Farfan, I. Mendez (2003) . Direct body-wave Q estimates in northern Baja California Mexico, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 103, 33-38.
5. Chai B. B., T. Huang, X. H. Zhuang, Y. X. Zhao, and J. Sklanky (1996) . Piecewise Linear Classifiers using Binary tree structure and genetic algorithm , *Pattern Recognition* 29 ( 11 ) ,1905-1917.
6. Chen, C.H., J. Y. Liu, H. Y. Yen, X. Zeng, Y. H. Yeh (2004) . Changes of geomagnetic total field and occurrences of earthquakes in Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 15, 361-370.
7. Chen C. H.,W. H. Wang, T. L. Teng (2001) . 3D velocity structure around the source area of the 1999 Chi-Chi Taiwan earthquake before and after the mainshock, *Bull. Seism. Soc. Am.* 91 ( 5 ) ,1013-1025.
8. Cong L, J. Mejia, B. J. Mitchell (2000) . Attenuation dispersion of P waves in near the New Madrid seismic zone, *Bull. Seism. Soc. Am.* 90 ( 3 ) ,679-689.
9. Correig A. M., and B. J. Mitchell (1989) . Attenuative dispersion at La Cerdanya, eastern Pyrenees,*Phys Earth Planet Int.* 57,304-310.
10. Correig A. M. (1991a) .On the measurement of body wave dispersion, *Journal of*

Geophysical Research 96 ( B10 ) ,16525-16528.

11. Correig A. M. ( 1991b ) .Body-wave dispersion: measurement and interpretation,  
Pageoph 36 ( 4 ) ,561-575.

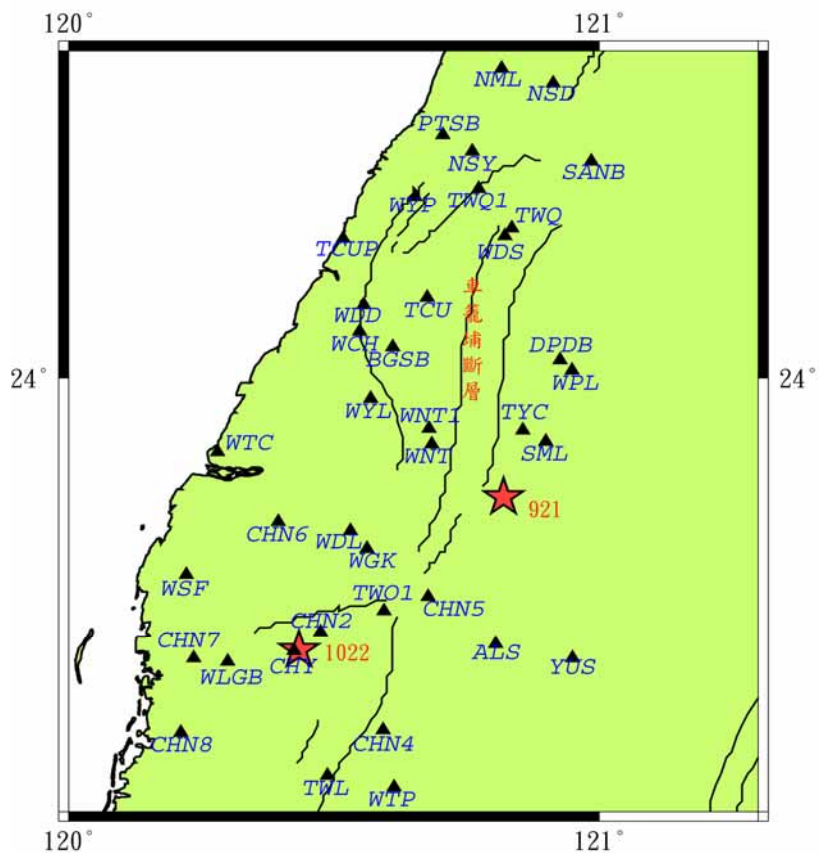


圖 1、中央氣象局中南部地區即時觀測網測站分布圖

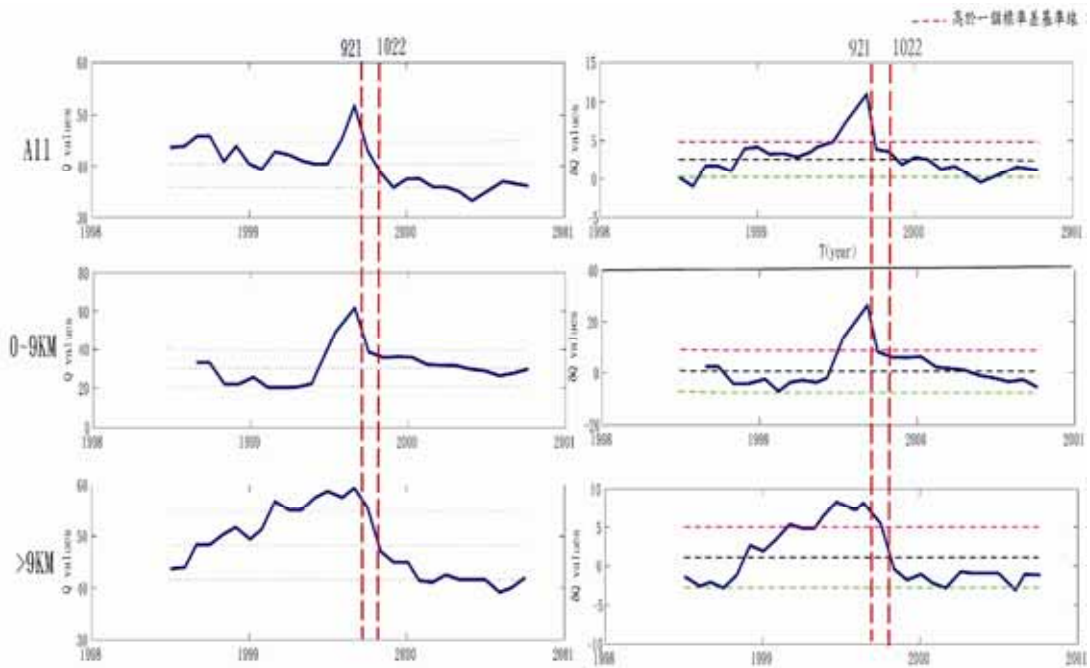


圖 2、TWQ 測站 Qp 值與 Qp 殘值隨時間變化曲線

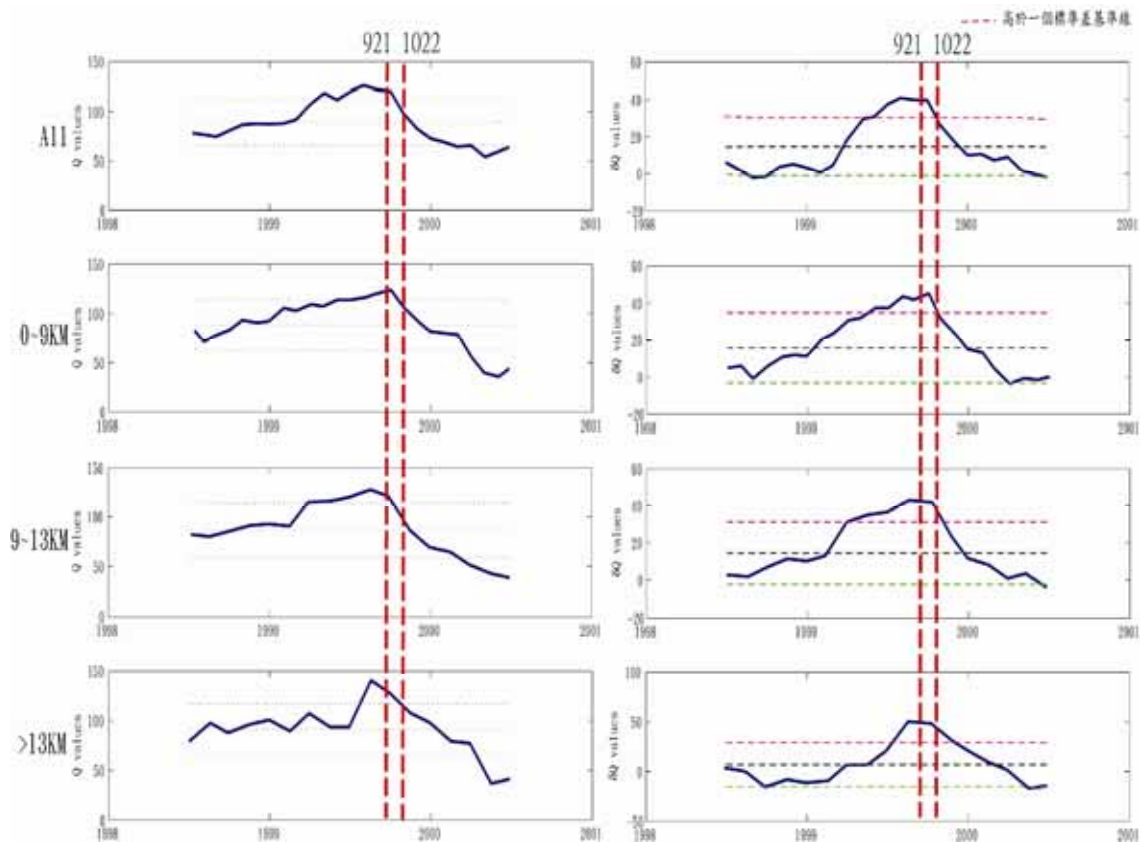


圖 3、CHY 測站 Qp 值與 Qp 殘值隨時間變化曲線

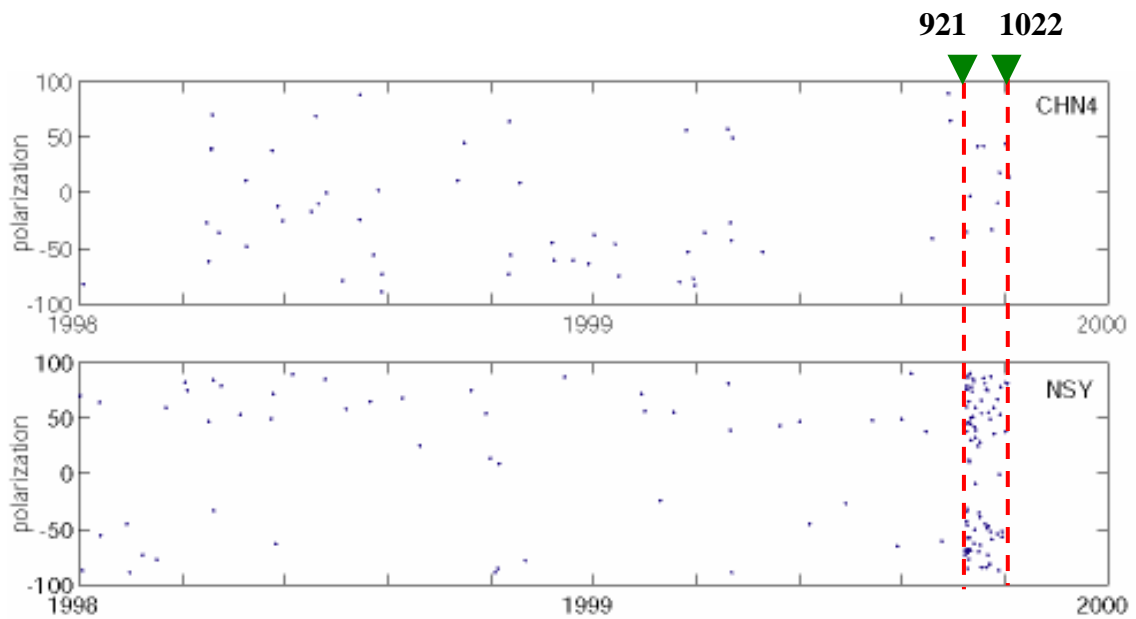


圖 4、CHN4 測站與 NSY 測站之極化角度隨時間之變化



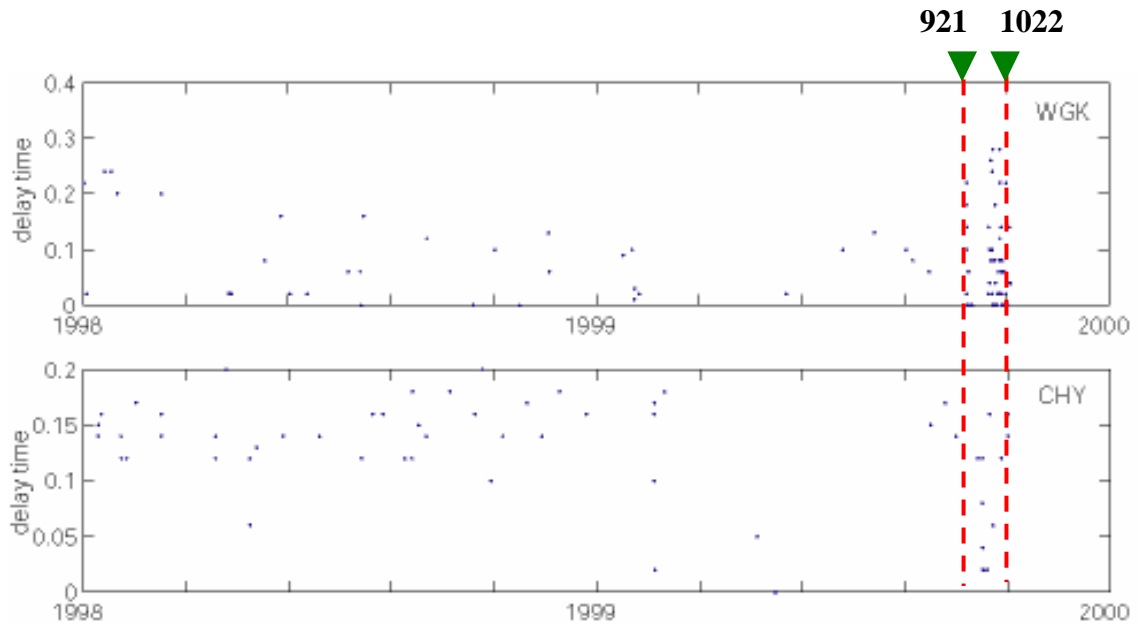


圖 5、WGK 測站與 CHY 測站之延遲時間隨時間之變化

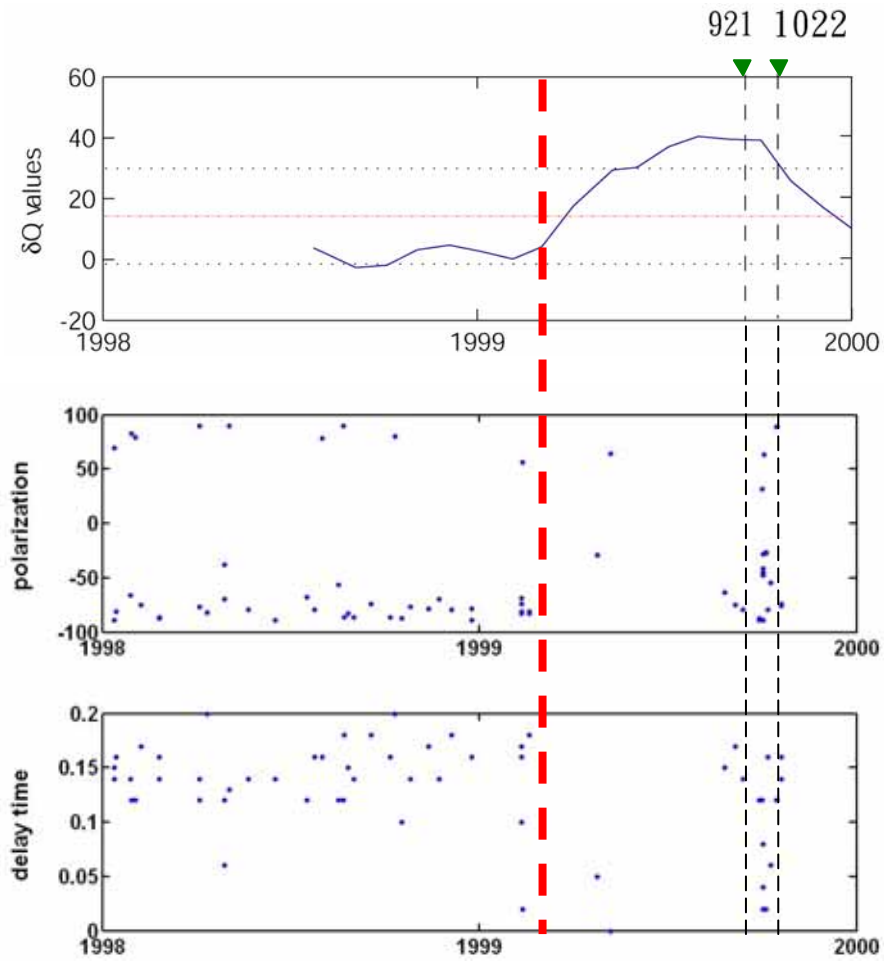


圖 6、CHY 測站 Qp 殘值與剪波分裂特性隨時間變化之比較