

P 波頻散衰減特性於強震前兆之應用

翁啓挺¹ 張文彥² 陳朝輝¹ 劉希強³

¹國立中正大學地震研究所

²國科會自然處

³中國大陸山東地震局

摘要

本研究利用 Morlet 小波多重濾波法(Morlet wavelet multiple-filter method)分析直達 P 波第一週期訊號可得群速延遲時間-頻率譜，並以基因演算法計算最佳衰減頻散因子 Q_p 。藉由統計 Q_p 值隨時間變化趨勢，研究頻散衰減因子的區域特徵及其與區域構造孕震和發震過程的關係。本研究以 1999 年嘉義地震與集集地震為主軸，收集中央氣象局即時觀測網 1998 年至 2000 年之地震資料；並以單一測站為研究單位，挑選距離測站 30 公里以內，且規模 $ML \leq 3.0$ 的地震，分析垂直分量地震訊號，探討直達 P 波從震源到測站波線路徑上於強震前後衰減頻散的變化特徵。結果顯示，頻散衰減因子 Q_p 對於區域裂隙密度變化具有高敏感特性。強震發生之前 Q_p 值有明顯升高的趨勢，這結果與區域應力狀態改變造成構造密度變化有直接關係。而升高的 Q_p 值會於強震前就轉為下降而非一直到強震後才轉為下降。綜合結果，本研究方法應可成為中短期地震預警之重要參數之一。

前言

在當今地震科學領域中，地震預測還是屬於不可掌握的部份，儘管如此，還是希望可以從某些地震活動特性的研究找出些許地震發生的前兆特性。本研究藉由分析強震前後頻散衰減因子的時空變化，探討其區域特徵及區域構造孕震和發震過程之關係，本研究方法顯示的強震前兆能作為震源區應力場改變的時間指標；故本研究也可成為監視應力場作用最直接的方式，希望能藉由本研究歸納出強震前兆的特徵，並期望能對於台灣中短期地震預警研究盡一份心力。

一般研究 Q 值的方法有很多，但是最主要的有兩種，為振幅衰減與頻散衰減。振幅衰減的方法已經有很多前人的研究與應用；隨著數位化地震資料普及與數位訊號處理技術的提升，震波的頻散衰減亦越來越受到人們的重視。Correig (1991a,1991b)和 Cong (2000)的研究中認為，震波的衰減頻散測量方法有五大優點：第一，聚焦和散焦效應對衰減頻散測量的結果影響比較小。第二，衰減頻散研究只需取單一測站的地震紀錄測量與觀測，而不需要知道震源破裂情況；第

三，衰減頻散方法適合分析規模較小的地震、探討介質非均質特性；第四，利用小地震記錄資料可以有效避免較大地震發生時震源沿斷層表面移動所造成的地震波記錄的複雜性。第五，利用直達 P 波的第一個週期記錄研究衰減頻散可有效避免各種雜訊的干擾。

資料與研究方法

本研究主要以 1999 年嘉義地震與集集地震為主軸，探討頻散衰減因子於兩個強震前後之變化特徵。而分析之地震資料來自於中央氣象局即時觀測網 1998 年至 2000 年之觀測資料，其中爲了使 Q 值量測精準，只會挑出地震品質良好(包括雜訊少、地震資料穩定等)之測站作爲研究單位；而資料挑選條件爲：1.爲了使直達 P 波第一週期訊號容易挑選，且讓高頻訊號不因距離而衰減，震央距與震源深度都設定爲小於等於 30KM 之地震 2.由於較大之地震會造成地震訊號的複雜度，亦會造成直達 P 波第一週期訊號挑選上的困難，且規模較大之地震含有較多的低頻能量，不適合用於頻散衰減之研究，所以在地震規模設定上使用震舉規模小於等於 3 之地震。

本研究所使用的方法與原理包括 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)，其中爲了增加訊號點數使 Q 值量測更爲精準，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，探討強震前後之變化特徵。

研究結果

由於測站分佈不均以及各測站地震資料品質不一等因素，本研究結果一共挑出七個地震訊號品質較好與資料量充足之測站作爲研究單位，如圖一所示，其中星號分別代表集集地震(1999 年 9 月 21 日)與嘉義地震(1999 年 10 月 22 日)，的震央位置。每個測站皆會統計出不同時間點、震央距與震源深度之 Q_p 值分佈關係(如圖二所示)。並計算扣除震央距與震源深度效應之 Q_p 值(稱 Q_p 殘值)隨時間、震央距與震源深度之分布(如圖三所示)，最後會以動平均方式平滑地呈現 Q_p 殘值隨時間之變化關係，如圖四所示。

結果顯示，震源區與附近區域， Q_p 殘值於強震前後經歷一段由低值轉高最

後又降低的變化。此變化推測為強震前因區域應力狀態相對提高，使原有裂隙變得緊密，使震波傳遞過程衰減降低，因此 Q_p 值升高。高應力狀態所造成的小破裂，使液體滲透率增高，造成震波傳遞衰減增高，使 Q_p 殘值於強震前就轉為下降而非到強震後才轉為下降，與 Chen et al(1999)之文獻所提震源區在強震前會出現 P 波速度低值與高的 V_p/V_s 吻合。最後，強震後區域應力狀態降低，使介質裂隙由密轉鬆，衰減值增高， Q_p 值驟降，最後回到低值。

結論

由於本研究是以天為單位分析每個測站地震資料，因此有足夠多的樣本將 Q_p 殘值應用於探討區域應力狀態時空變化特徵。另外本研究使用具有時變特性與自適應性的 Morlet 小波轉換提高對訊號頻率的解析，再利用基因演算法反演最佳 Q_p 值，這兩個提高精確度的方法結合上一點特性，凸顯了本研究方法的優異性。

Q_p 殘值隨時間之變化，等於紀錄了強震從孕震到發震的過程，如同將地震波線所涵蓋的區域之裂隙密度隨時間變化投影到 Q_p 殘值隨間的變化中。從結果中也可看出直達 P 波頻散衰減因子反映在區域構造裂隙密度變化上具有高敏感特性， Q_p 殘值持續上升代表可能正有地震孕育中，當 Q_p 殘值轉為下降，隱含某地震之孕震達最後階段。

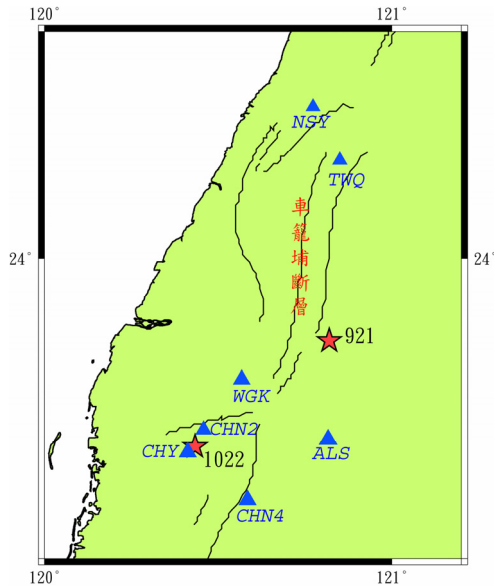
在未來可利用各區域現有或新建立之雜訊少、地震品質良好的微震網測，增加 Q_p 殘值測量精準度，甚至使用非天然地震，強化 Q_p 殘值於時間尺度上的敏感度，監控 Q_p 殘值之變化，使之成為中短期地震預警之重要參數。

參考文獻

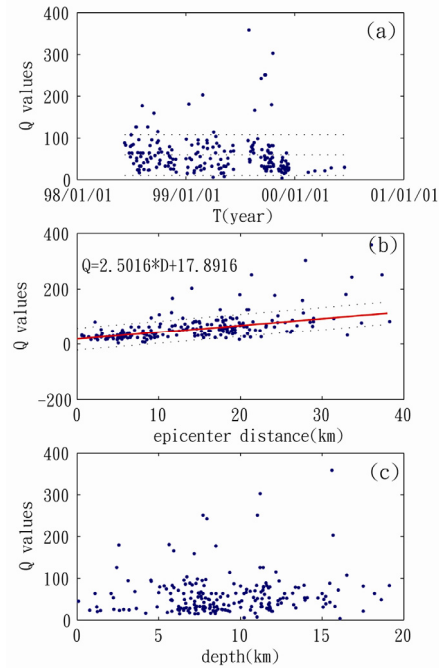
- Chen, C.H., J. Y. Liu, H. Y. Yen, X. Zeng, Y. H. Yeh, 2004. Changes of geomagnetic total field and occurrences of earthquakes in Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* ;15:361-370.
- Chen C. H., W. H. Wang, T. L. Teng, 2001. 3D velocity structure around the source area of the 1999 Chi-Chi Taiwan earthquake before and after the mainshock. *Bull. Seism. Soc. Am.* ;91(5):1013-1025.
- 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.
- Correig A. M., 1991a. On the measurement of body wave dispersion. *Journal of Geophysical Research* ;96 (B10):16525-16528.
- Correig A. M., 1991b. Body-wave dispersion: measurement and interpretation. *Pageoph* ;36(4):561-575.

Doornbos, J.D., 1983. Observable effects of the seismic absorption in the Earth. *Geophys. J. R., Astron. Soc.* ;75:693-711.

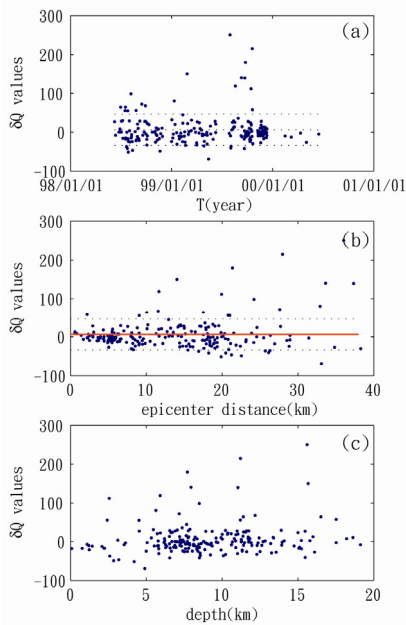
Wuenschel, P.C., 1965. Dispersion body wave-An experimental study. *Geophysics* ;30:539-551.



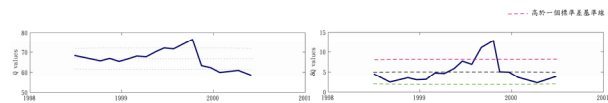
圖一 研究之測站分佈圖(藍色三角形:測站位置, 紅色星號:震央位置, 黑色實線:斷層線)



圖二 Qp 值分佈圖(a.Qp 值隨時間分佈關係 b.Qp 值隨震央距分佈, 紅色實線為回歸所得之線性關係 c.Qp 值隨震源深度分佈關係)



圖三 Qp 殘值分佈圖(a.Qp 殘值隨時間分佈關係 b.Qp 殘值隨震央距分佈, 紅色實線經修正斜率為 0 c.Qp 殘值隨震源深度分佈關係)



圖四 a.Qp 值隨時間變化曲線 b.Qp 殘值隨時間變化曲線, 其中黑色虛線為平均 Qp 殘值平均值, 桃紅虛線與綠色虛線分別代表高於平均值一個標準差與低於平均值一個標準差

