



香港天文台
HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 479

數字化地震數據與震源參數的測定：
廣東河源地震的震例分析

黃秀霞、梁延剛

華南地震，2002，第 22 卷，第 1 期，p.p. 57 - 63

數字化地震數據與震源參數的測定： 廣東河源地震的震例分析

黃秀霞 梁延剛

(香港天文台)

摘要 以發生在廣東省河源地區的地震為例，展示如何利用數字化地震數據進行波譜分析及震源參數估算，並對該區的地震破裂模式作了初步的分析。利用上述結果，建立了地震矩 M_0 與震級 M_L 的關係式，以便利用震級 M_L 來估算矩震級 M_w 。

關鍵詞： 波譜分析; 地震矩; 矩震級; 應力降; 震源半徑

中圖分類號： P315.61 **文章標識碼：** A

文章編號： 1001-8662 (2002) 01-05-07

1. 引言

香港天文台於 1997 年建立了一個設有 8 個遙測地震觀測站的數字化地震監測台網(圖 1)。台網運用數字化及實時傳送等技術，增強地震數據的處理及分析效能〔林鴻鏞等，1998〕⁽¹⁾。台網中心的電腦系統有方便易用的分析軟件，除了可用以分析震波的各種震相，以便計算震級和震中的位置外，還能通過地震波譜分析估算描述地震動力學的震源參數，例如地震矩、矩震級、震源半徑及應力降等。這些參數對研究地震震源的特徵提供了資料。

本文以天文台地震監測台網記錄的發生在廣東省河源地區的地震為例，展示如何利用數字化地震數據作波譜分析及估算震源參數，並以計算結果建立地震矩 M_0 與震級 M_L 的關係式，從而利用震級 M_L 來估算矩震級 M_w 。本文亦對河源地區震源特性例如破裂模式等作了初步的分析。

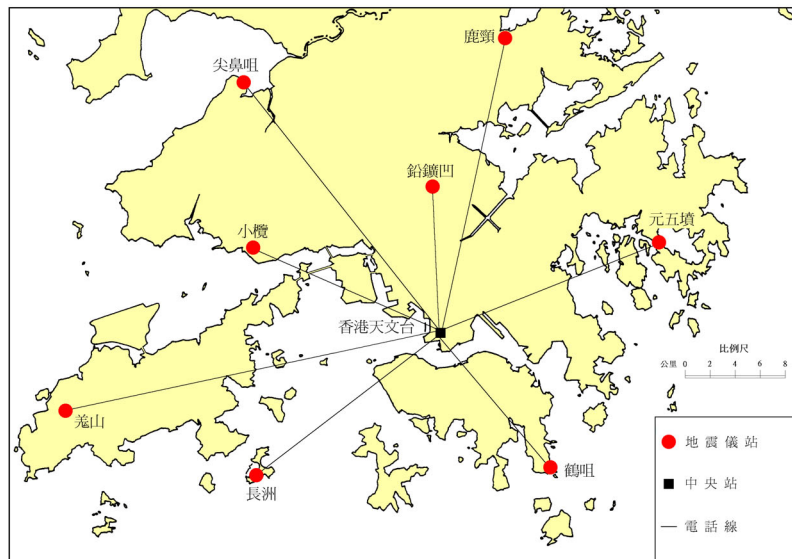


圖 1 香港數字化地震監測台網

2. 數據及方法

2.1 數據

廣東省河源地區在 1999 年 3 月 25 日及 8 月 20 日分別發生了兩次強度達里氏 4 級以上的地震。這兩次地震的震中距離香港天文台約 160km，天文台亦接到多名香港市民報告，表示感覺到輕微震動。由香港天文台的數字化地震監測台網分析得知，3 月 25 日的震級為 M_L 4.8，8 月 20 日的震級為 M_L 4.7，與廣東省地震局的資料接近〔徐起浩等，1999 及 2000〕⁽²⁾⁽³⁾。

天文台的地震監測台網除記錄了上述兩個有感地震外，在這兩次地震發生的前後還記錄了河源地區多次震級較小的地震。本文選取了這一系列 15 個 M_L 介於 2.3 至 4.8 級的地震作研究。由於台網內的鹿頸、尖鼻咀及元五墳地震站的噪音較小，所以選擇了這些台站記錄的地震數據作波譜分析。

2.2 震源參數的測定方法

圖 2 是香港天文台地震監測台網的鹿頸台站記錄的廣東省河源地區的一個典型地震記錄圖。天文台的監測系統附有軟件可利用富里埃變換把時間區域的 P 或 S 波段地震記錄轉換到頻率域上，有關富里埃變換的方法詳情可參考文獻〔4〕。軟件將由富里埃變換的記錄波譜，經儀器頻率響應及傳播路徑衰減的校正後，得出如圖 3 的震源波譜圖。軟件所採用的衰減公式如下：

$$F(f) = \frac{A(f)}{R} e^{-\frac{\pi f R}{QV}} \dots\dots\dots(1)$$

式中 f 為頻率， $F(f)$ 為台站記錄的富里埃波譜， $A(f)$ 為震源處的富里埃波譜， R 為震源距， Q 為介質品質因數， V 為對應的 P 或 S 波波速。

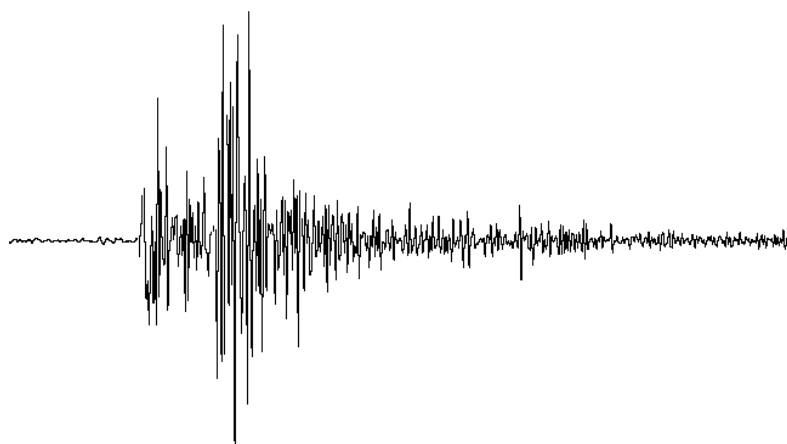


圖 2 河源地區的一個典型地震記錄圖

地震波譜圖通常可以用三個頻譜參數：低頻高度 Q_0 、拐角頻率 f_0 及高頻衰減斜率 γ 來描述。如圖 3 所示，隨頻率增加，地震信號的趨勢斜率會在某點突然作很大的改變，這個低頻趨勢及高頻趨勢的交點頻率稱為拐角頻率 f_0 。低頻高度 Q_0 ，高頻衰減斜率 γ 分別是指頻率小於 f_0 時的長週期頻譜的平均高度及頻率大於 f_0 時的高頻衰減斜率。

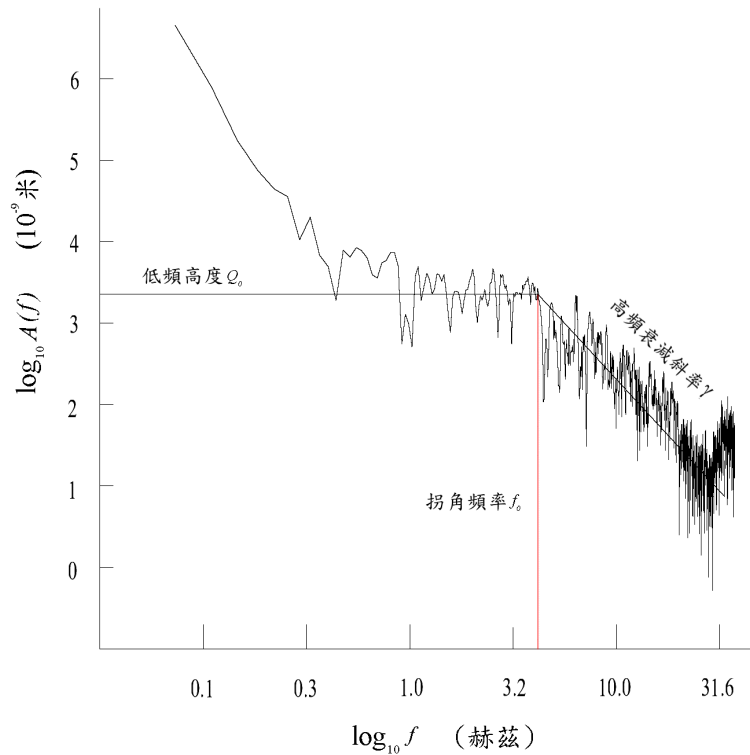


圖 3 河源地區的一個典型震源波譜圖

布龍〔Brune, 1970〕⁽⁵⁾ 提出一種震源斷層位錯的理論。他把斷層等效為一個半徑為 r 的圓盤，並假定剪切應力在整個斷層面上同時作用。根據這個圓盤形位錯模式，可得下列公式求解震源參數〔韋士忠等，1987〕⁽⁶⁾：

$$\text{地震矩} \quad M_0 = \frac{4\pi\rho V_s^3 R Q_{0s}}{0.85} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{震源半徑} \quad r = \frac{2.34V_s}{2\pi f_{0s}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{應力降} \quad \Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3} \dots\dots\dots(4)$$

式中 ρ 為介質密度， V_s 為 S 波波速， R 為震源距， Q_{0s} 及 f_{0s} 為 S 波的低頻高度及拐角頻率。

地震矩 M_0 是震源力學狀態的基本參數之一，等效於震源斷層

位移的點源力矩，可用作量度地震的強度。利用以下常用的公式可將地震矩轉換成矩震級〔Kanamori，1977〕⁽⁷⁾：

$$\text{矩震級 } M_w = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 10.73 \quad \dots\dots\dots (5)$$

矩震級 M_w 與震級 M_L 的估算方法不同。在計算震源釋放出來的能量時，矩震級 M_w 實質考慮了斷層的幾何形態及地震破裂的規模，因而較 M_L 更能反映震級真實情況。

震源半徑表示斷層位移的規模，從式(3)可知震源半徑與拐角頻率成反比。應力降是地震發生前和後震源斷層面上剪切應力的差別，從式(4)可知應力降與地震矩和震源半徑的大小有關。

2.3 地震破裂模式的判別方法

不同的地震破裂方式理論導出的 f_{0s}/f_{0p} 頻率比值會有所不同 (f_{0s} 、 f_{0p} 分別表示 S 波及 P 波的拐角頻率)。例如，根據薩萬奇〔Savage，1972〕⁽⁸⁾ 的雙側破裂模型(震源斷層某處首先破裂錯動，然後向兩側以有限速度傳播)， f_{0s} 稍大於 f_{0p} ，而單側破裂模式(震源斷層先由一端開始破裂，然後以有限速度傳向另一端)的 f_{0s} 則大 f_{0p} 約 1 倍，而破裂圓盤形位錯模式的 f_{0s} 會小於 f_{0p} 。地震儀實測的 f_{0s}/f_{0p} 數值可顯示地震的破裂模式。趙志光等〔1985〕⁽⁹⁾ 曾就南黃海地區的地震系列，比較實測與理論的 f_{0s}/f_{0p} 值，推斷該區的地震破裂模式是以雙側破裂為主。

韋士忠等〔1987〕⁽⁶⁾ 提及可根據陳培善破裂圓盤形位錯模式〔陳培善等，1978〕⁽¹⁰⁾ 以下列公式近似地推算 f_{0s} 與 f_{0p} 之比：

$$\frac{f_{0s}}{f_{0p}} = \frac{\frac{1}{V_r} + \frac{\pi}{4V_p}}{\frac{1}{V_r} + \frac{\pi}{4V_s}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中 V_r 為破裂速度。在兩種極端情況下：當 $V_r \rightarrow 0$ 時， $f_{0s} = f_{0p}$ ；當 $V_r \rightarrow \infty$ 時， $f_{0s}/f_{0p} = V_s/V_p = 0.583$ 。由於式(6)中的 f_{0s}/f_{0p} 隨 V_r 單調減小，因此，破裂圓盤形位錯模式的 f_{0s} 與 f_{0p} 之比應分布在 0.583 至 1 之間。

3. 計算結果

對 15 個河源地區地震震例進行波譜分析及利用公式(1)至(5)得出波譜和震源參數 Q_0 、 f_0 、 M_0 、 M_w 、 r 及 $\Delta\sigma$ 。在計算過程中，須設定 P 波波速 v_p 、S 波波速 v_s 、介質密度 ρ 及介質品質因數 Q 。參考文獻〔6〕、〔11〕、及〔12〕的設定值，本文設定 v_p 、 v_s 、 ρ 及 Q 為 6 km/s、3.5 km/s、2.7 g/cm³ 及 700。

表 1 列出了各個地震震例的震源參數計算結果，顯示了利用不同地震站的數據得出的地震震源參數相差不遠。鹿頸、尖鼻咀及元五墳台站頻率比 f_{0s}/f_{0p} 的計算結果都是介乎 0.583 至 1 之間。根據本文第 2.3 節的判斷，實測結果較符合破裂圓盤形位錯模式。

地震矩 M_0 的值在 10^{12} 至 10^{15} N.m 的範圍內。圖 4 顯示了由這三個地震站的地震數據分別得出的 M_0 與 M_L 關係式，三條直線均非常接近，表明了 $\log_{10} M_0$ 與 M_L 呈很強的線性關係。由線性回歸法求得鹿頸、尖鼻咀及元五墳台站 $\log_{10} M_0$ 與 M_L 的相關係數分別為 0.97、0.97 及 0.98。

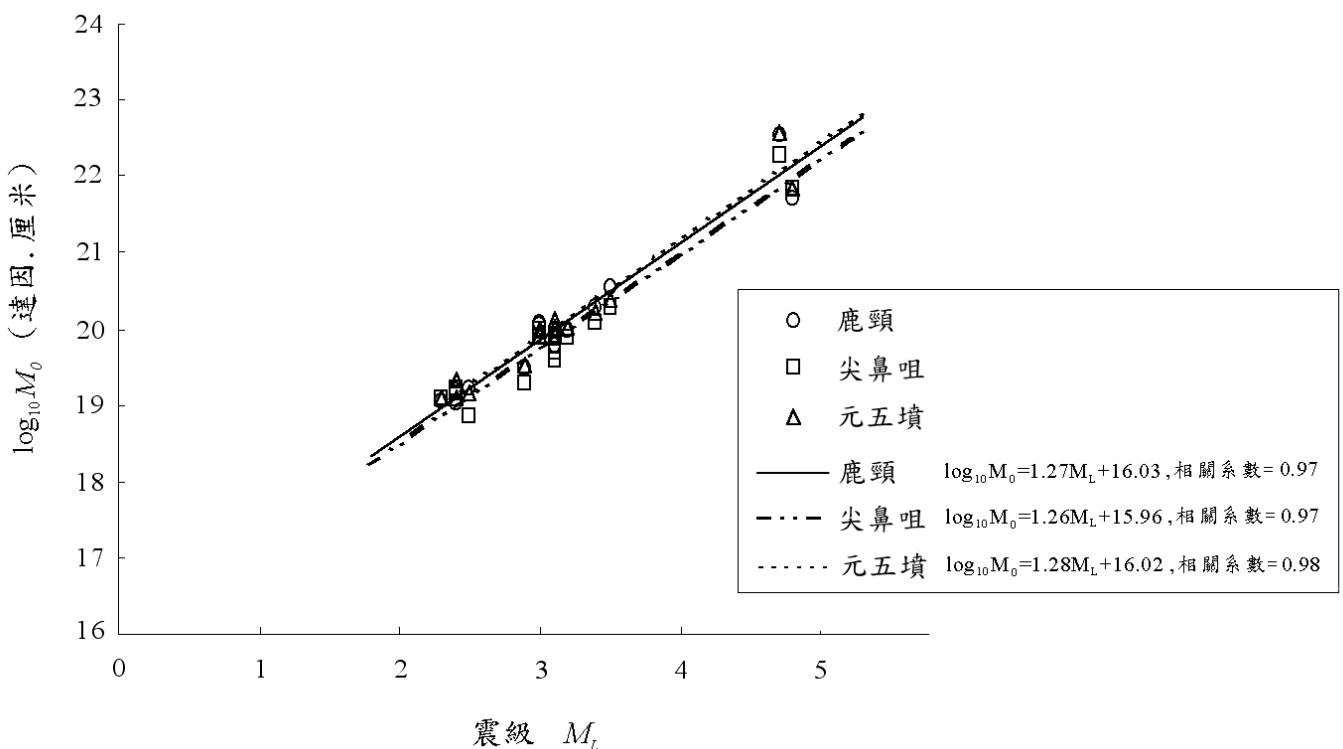


圖 4 鹿頸、尖鼻咀及元五墳地震站的地震矩 M_0 和震級 M_L 的關係

表 1 廣東省河源地震震源參數的計算結果

發震時刻 (香港時間) 年 月 日 時 分	地震站	地震矩 M_0 (N.m)	拐角頻率比 f_{0s} / f_{0p}	矩震級 M_w	震源半徑 r (km)	應力降 $\Delta\sigma$ (bar)
1999 3 5 11 33	鹿頸	1.90×10^{13}	0.81	2.8	0.37	1.64
	尖鼻咀	1.22×10^{13}	0.69	2.7	0.24	4.00
	元五墳	1.70×10^{13}	0.92	2.8	0.29	3.05
1999 3 7 05 55	鹿頸	1.08×10^{13}	0.80	2.6	0.33	1.32
	尖鼻咀	9.33×10^{12}	0.72	2.6	0.31	1.37
	元五墳	9.33×10^{12}	0.81	2.6	0.38	0.72
1999 3 9 01 32	鹿頸	3.00×10^{12}	0.72	2.3	0.21	1.42
	尖鼻咀	1.92×10^{12}	0.90	2.1	0.17	1.73
	元五墳	3.38×10^{12}	0.89	2.3	0.19	2.01
1999 3 13 05 47	鹿頸	9.33×10^{12}	0.64	2.6	0.35	0.95
	尖鼻咀	7.41×10^{12}	0.74	2.5	0.23	2.57
	元五墳	1.32×10^{13}	0.88	2.7	0.28	2.54
1999 3 15 08 29	鹿頸	9.40×10^9	0.82	2.6	0.27	2.09
	尖鼻咀	7.58×10^{12}	0.81	2.5	0.22	3.07
	元五墳	1.06×10^{13}	0.78	2.6	0.33	1.24
1999 3 25 06 10	鹿頸	5.12×10^{14}	0.82	3.7	0.48	20.20
	尖鼻咀	6.87×10^{14}	0.64	3.8	0.48	26.70
	元五墳	7.14×10^{14}	0.71	3.8	0.54	19.51
1999 3 25 07 09	鹿頸	1.63×10^{12}	0.82	2.1	0.22	0.67
	尖鼻咀	7.03×10^{11}	0.86	1.8	0.17	0.61
	元五墳	1.44×10^{12}	0.90	2.0	0.24	0.47
1999 3 26 12 05	鹿頸	5.98×10^{12}	0.92	2.5	0.19	3.27
	尖鼻咀	4.88×10^{12}	0.77	2.4	0.18	3.75
	元五墳	8.44×10^{12}	0.85	2.6	0.28	1.73
1999 8 13 16 00	鹿頸	1.18×10^{15}	0.76	2.7	0.35	1.20
	尖鼻咀	7.90×10^{12}	0.81	2.5	0.22	3.21
	元五墳	8.17×10^{12}	0.79	2.5	0.34	0.89
1999 8 16 04 12	鹿頸	1.06×10^{12}	0.82	2.0	0.18	0.80
	尖鼻咀	1.44×10^{12}	0.84	2.0	0.18	1.06
	元五墳	1.18×10^{12}	0.94	2.0	0.20	0.61
1999 8 19 21 14	鹿頸	1.52×10^{12}	0.83	2.1	0.33	0.19
	尖鼻咀	1.62×10^{12}	0.98	2.1	0.15	2.04
	元五墳	2.09×10^{12}	0.77	2.2	0.21	1.03
1999 8 20 01 14	鹿頸	3.36×10^{15}	0.65	4.3	1.00	14.71
	尖鼻咀	1.85×10^{15}	0.64	4.1	0.81	14.96
	元五墳	3.69×10^{15}	0.60	4.3	1.09	12.59
1999 8 20 02 44	鹿頸	1.10×10^{12}	0.84	2.0	0.24	0.35
	尖鼻咀	1.19×10^{12}	0.74	2.0	0.19	0.71
	元五墳	1.19×10^{12}	0.85	2.0	0.21	0.53
1999 8 20 05 32	鹿頸	8.58×10^{12}	0.74	2.6	0.38	0.68
	尖鼻咀	3.96×10^{12}	0.83	2.3	0.22	1.61
	元五墳	1.03×10^{13}	0.89	2.6	0.28	2.11
1999 8 21 11 15	鹿頸	3.42×10^{13}	0.80	3.0	0.39	2.52
	尖鼻咀	1.86×10^{13}	0.91	2.8	0.30	2.93
	元五墳	2.36×10^{13}	0.95	2.9	0.32	3.22

圖 5 是文獻〔9〕收集不同作者在不同地區的地震矩與震級 M_L 的關係示意圖。為方便比較，本文把鹿頸台站的結果亦加進圖內。雖然不同的地區有不同的地質構造，但所建立的地震矩 M_0 與震級 M_L 的關係是比較一致的。

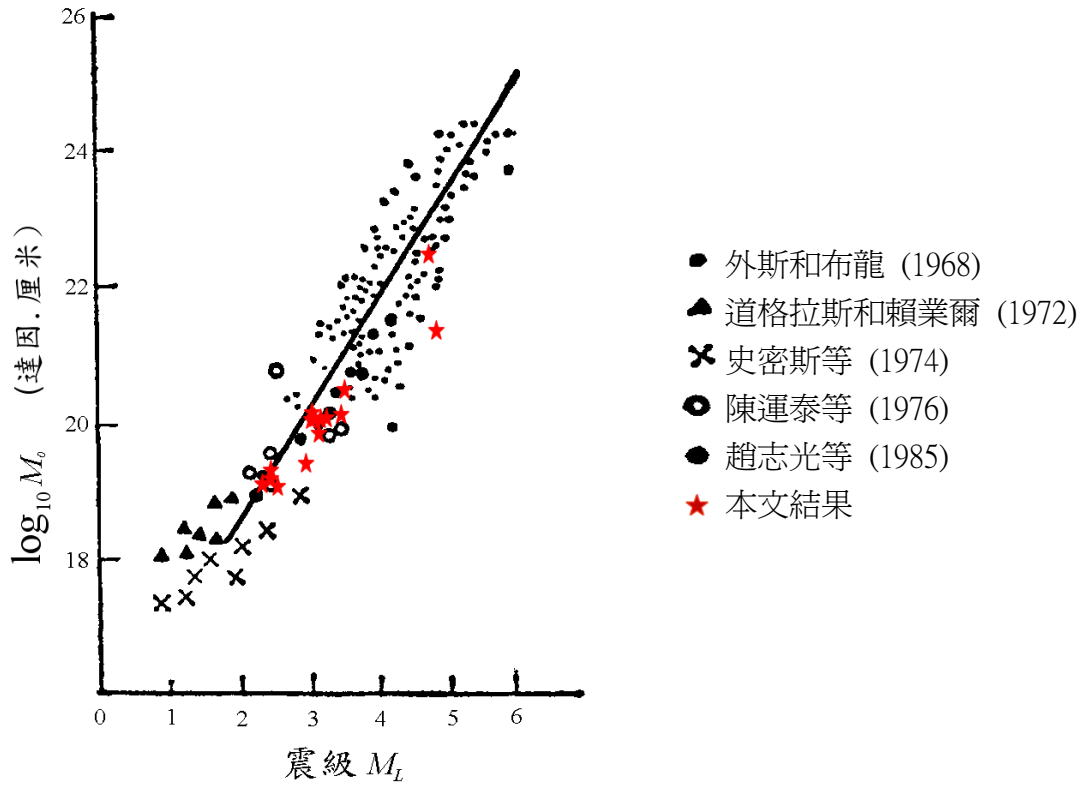


圖 5 地震矩與震級的關係示意圖

對於 M_L 4 級或以下的地震，由鹿頸、尖鼻咀及元五墳台站計算得出的震源半徑分別介於 0.18 至 0.39km、0.15 至 0.31km 及 0.19 至 0.38km 之間。文獻〔12〕對一系列在新豐江水庫震級 M_L 為 1.5 至 4.1 的地震推算得的震源尺度為 0.05 至 0.7km，與本文的結果相差不遠。相關分析顯示震源半徑與震級 M_L 基本上呈線性關係，由鹿頸、尖鼻咀及元五墳台站求得的相關系數分別是 0.78、0.85 及 0.81。

表 1 顯示除了兩個較大($M_L > 4$)的地震外,其餘 13 個較小地震的應力降均在 5 bar 以下。圖 6 是鹿頸台站應力降、震源半徑及地震矩三者的關係圖。可以看出,較小地震的應力降與震源尺度無明顯的關係,這結果與文獻〔12〕的推論相同。

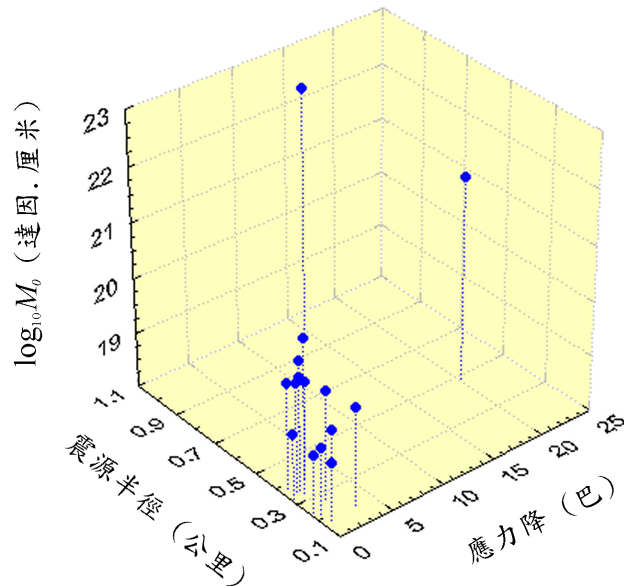


圖 6 應力降、震源半徑與地震矩的關係圖

4. 討論及結論

本文討論了如何利用香港天文台數字化地震監測台網的記錄作波譜分析及震源參數估算。對發生在廣東省河源地區的地震數據進行波譜分析,建立了地震矩 M_0 與震級 M_L 的關係式,以便利用 M_L 計算矩震級 M_w 。本文導出的關係式與其它作者利用不同資料得出的結果相距不大,但基於數據是來自 M_L 2.3 至 4.8 級的河源地區地震,所以結果較適用於該區的小地震。另外,通過比較理論與實測資料的 P 和 S 波的拐角頻率,可初步推論該區的破裂方式。

在計算路徑衰減時,本文設定品質因數 Q 為一常數,與頻率無關。對震中距為幾十公里的地方震,這假設是可接受的,但對於一、二百公里的近震, Q 應隨頻率而變化⁽⁴⁾。此外,本文的有限震例資料及在計算過程中,模式的選取,P 波波速 V_p 、S 波波速 V_s 、介質密度 ρ 的設定亦會影響得出的結果。

在完成此文的過程中，得到香港天文台譚焯明博士及吳淑嬌女士的寶貴意見，在此表示謝意。

參考文獻：

- (1) 林鴻鋆，譚焯明，梁延剛，等·香港數字化地震監測台網[J]·華南地震，1998，18(1)：99-103。
- (2) 徐起浩，左開挺，鍾貽軍，等·1999年3月25日廣東河源 M_L4.7 級地震宏觀影響場[J]·華南地震，1999，19(4)：66-71。
- (3) 徐起浩，繆維成，張國榮，等·1999年8月河源新豐江 M_L4.9 級地震[J]·華南地震，2000，20(2)：57-61。
- (4) 王凌南，陳翰明，趙仲和·南黃海地震系列的波譜分析(一) [J]·地震，1985，5(3)：30-38。
- (5) James N. Brune · Tectonic Stress and the Spectra of Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes [J] · Journal of Geophysical Research，1970，75(26)：4997-5009。
- (6) 韋士忠，陳培善，辛書義，等·用中小地震波譜研究華北北部地區的應力場和地震危險性[J]·地震，1987，(2)：1-9。
- (7) H. Kanamori · The energy release in great earthquakes [J] · Journal of Geophysical Research，1977，82：1981-1987。
- (8) J.C. Savage · Relation of Corner Frequency to Fault Dimensions [J] · Journal of Geophysical Research，1972，77(20)：3788-3795。
- (9) 趙志光，王凌南，陳翰明，等·南黃海地震系列的波譜分析(二) [J] ·地震，1985，5(4)：19-48。
- (10) 陳培善，卓鈺如，金巖，等·唐山地震前後京津唐張地區的應力場[J]·地球物理學報，1978，21(1)：34-58。
- (11) 鄭治真，齊國英，郭業平·張家口—懷柔地區的微震震源參數[J]·地球物理學報，1976，19(3)：234-238。
- (12) 王妙月，楊懋源，胡毓良，等·新豐江水庫地震的震源機制及其成因初步探討[J]·地球物理學報，1976，19(1)：1-17。