

簡易烈度計技術要求及應用

振聯科技有限公司 / 王波翔

為加快推進地震預警體系建設，根據中國地震局統一部署和要求，2015 年度在京津冀地區、福建沿海地區以及川滇交界地區組織開展了烈度計地震預警示範區建設。盡可能的提高預警效率並減小預警盲區，以烈度計建立鄉鎮級別的烈度計網，即每個鄉鎮至少有一個烈度計觀測點。觀測點原則上平均間距控制 10 公里，同時為給觀測點提供網絡和電源，新建的觀測點選址在電信機房、學校、鄉鎮村政府辦公室場所。

一、設備技術及功能要求

地震烈度計觀測地面振動加速度，根據地震波振幅最大部分的波形資料測算地震烈度。地震烈度儀的觀測資料也可應用於地震預警，此時要求其對 P 波震相信號的採集具有較高的分辨力，即要求動態範圍更大。如圖 1 所示。

(一)、動態範圍要求

1. 動態範圍 > 60dB (觀測資料用於烈度測算時)

上限：19.6m/s² (烈度計峰值)

下限有效資料：<0.014m/s² 信噪比的計算為動態範圍 60dB (有效值之比)

中國地震烈度表給出的峰值加速度：

—— IV 度：0.16m/s²

—— V 度：0.31m/s² (0.22 ~ 0.44)

峰值加速度小於 0.16m/s² 根據事件觸發信噪比需要大於 4 (S 波觸發)，因此雜訊峰值小於 0.04m/s²。由於峰值因數約等於 3，雜訊有效值為小於 0.013m/s²。在 20Hz 的頻率上，通過計算雜訊譜密度小於 300μg/√Hz。如圖 2 所示。

2. 動態範圍 >80dB (觀測資料用於烈度測算時)

上限：19.6m/s² (烈度計峰值)

下限有效資料：< 0.0014m/s² 信噪比的計算為動態範圍 80dB (有效值之比)

地震波 S 波震相峰值大約是 P 波震相峰值的 3~10 倍，在震源模型理論推算約為 5 倍。在實踐應用過程中，震相峰值比 S/P ≈ 4。

峰值加速度小於 0.16m/s²，烈度計需要能夠偵測到 P 波，因此 P 波峰值為 0.04m/s²，烈度計需要能偵測到 P 波觸發，信噪比大於 10，因此雜訊峰值小於 0.004m/s²。峰值因數約等於 3，雜訊有效值為小於 0.0013m/s²。在 20Hz 的頻率上，通過計算雜訊譜密度小於 30μg/√Hz。如圖 3 所示。

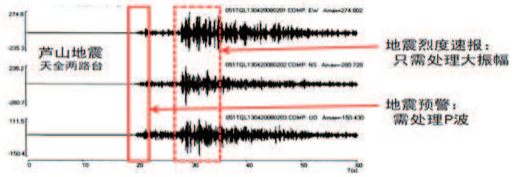


圖 1. 地震預警與烈度速報的區別

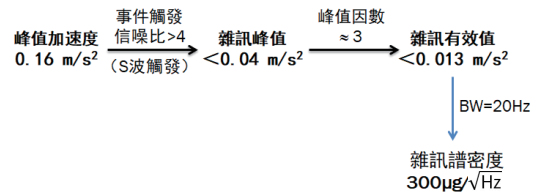


圖 2. 烈度速報對於 MEMS 的要求

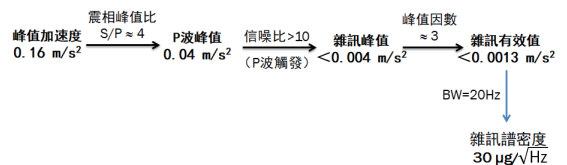


圖 3. 地震預警對於 MEMS 的要求

為了滿足烈度計能夠偵測地震 P 波的震動，因此烈度計在選用 MEMS 感測器的時候，雜訊譜密度需要小於 $30\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，因此建議使用表 1 中對應型號的 MEMS。

表 1. 符合要求的 MEMS 型號

型號	生產廠家	量程	雜訊	頻帶	非線性
ADXL325	Analog Devices	$\pm 3\text{g}$	$250\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	5.5KHz	0.2%
FXLN8361QR	Freescale	$\pm 2\text{g}$	$130\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	1.1KHz	0.5%
ADXL103	Analog Devices	$\pm 1.7\text{g}$	$110\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	5.5KHz	0.2%
LIS352AX	ST Microelectronics	$\pm 2\text{g}$	$100\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	2KHz	0.5%
FXLS8471Q	Freescale	$\pm 2\text{g}$	$99\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	400Hz	0.5%
LIS344ALH	ST Microelectronics	$\pm 2\text{g}$	$50\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	2KHz	0.5%
LIS244ALH	ST Microelectronics	$\pm 2\text{g}$	$50\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	2KHz	0.5%
Model 2220	SILICON DESIGNS	$\pm 2\text{g}$	$8\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	400Hz	0.15%
Model 1221	SILICON DESIGNS	$\pm 2\text{g}$	$5\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	400Hz	0.15%
SF1600S	COLIBRYS	$\pm 2\text{g}$	$0.3\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	1.5KHz	0.2%

(二)、測量範圍及頻率要求

根據地震波頻譜－振幅譜（振幅隨頻率變化的關係）如圖 4，烈度計測量範圍： $-3\text{g} \sim 1\text{g}$ 或 $-2\text{g} \sim 2\text{g}$ ，頻率要求：頻帶 0.01Hz~40Hz。對於烈度測算和預警應用，主要針對 0.1Hz~20Hz 頻帶的信號進行處理。

(三)、其他技術與功能要求

5% 的加速度測量誤差不影響烈度測算和預警震級估算，根據 MEMS 加速度感測器指標的調查，1% 的線性度誤差是一個合理的要求，至少內建兩種方法：閾值觸發方法和 STA/LTA 比值觸發方法，應進行帶通濾波，低頻截止頻率 0.1 ~ 0.5Hz，高頻截止頻率 10 ~ 20Hz，IIR 濾波器帶外倍頻程衰減 $\geq 12\text{dB}$ ，FIR 濾波器阻帶衰減 $\geq 40\text{dB}$ ，時間服務支援衛星授時

或網路授時方式，簡易烈度計具有即時事件檢測和事件保存功能，簡易烈度計具備預警參數如烈度值的即時計算功能，計算方法和流程符合《儀器地震烈度計算暫行規程》（中震測發【2015】18 號），烈度值偏差不超過 0.1。簡易烈度計具備 TCP/IP 協定傳輸資料。資料通信協定符合通用標準，且支援同時至少向 2 個伺服器位址傳輸資料功能。

簡易烈度計具備連續不間斷運行能力，設備可以選用連續方式、觸發方式、狀態方式，可以選擇回傳預警和烈度速報參數及回傳即時波形和時間段波形。

簡易烈度計安裝方便，可固定於建築物承重牆體上或堅固的地面。

二、簡易烈度計的應用

Palert Advance 地震烈度計通過中國地震局在哈爾濱團隊的地震烈度計統一測試，性能指標符合中國地震局對於地震烈度儀的統一要求，成為合格入網產品。Palert 系列產品在臺灣從 2010 年起陸續安裝了多台 Palert 系列產品並投入長期觀測，蒐集了豐富的地震烈度速報資訊和地震預警資訊。系統運作十年間觀測成效穩定。在 2012 年 130 台 Palert 系列產品在唐山簡易烈度計台網在網運行，具有 97% 的設備運行率，並產生了可靠的地震預警測試資訊，相關性能成果得到河北省地震局的肯定。

(一)、Palert 系列產品在唐山台網應用

Palert 每台設備安裝的間距為 10 公里，安裝在中國電信基站，由電信方面提供電力、避雷和通信保障（採用有線光纖傳輸）。為了長期觀測 Palert 和強震計數據比對，因此在唐山地震局的強震動台站安裝 10 台。如圖 5 所示設備安裝位置情況。圖 6 為安裝現場情況。

2014 年 10 月 14 日唐山市灤縣發生 3.3 級地震，Palert 與強震計 BBVS-60 同台址。採集的地震波形頻譜特徵基本上一致。圖 7 為三軸波形一致，圖 8 為三軸波形及頻譜比對（由於 Palert 與 BBVS-60 在時間上相差 0.04 秒）。

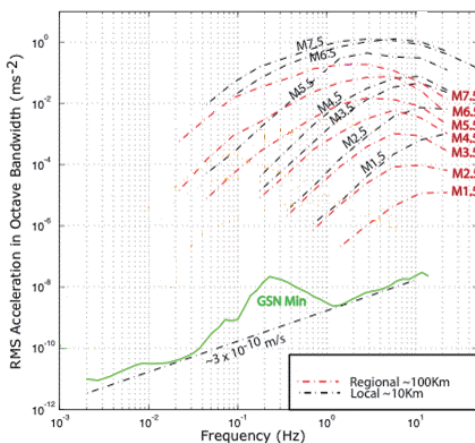


圖 4. 振幅隨頻率變化的關係

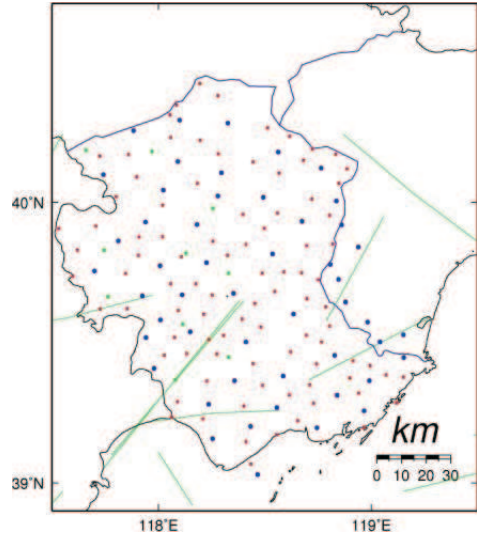


圖 5. 所示設備安裝位置情況



圖 6. 安裝現場情況 (張家口移動基站)

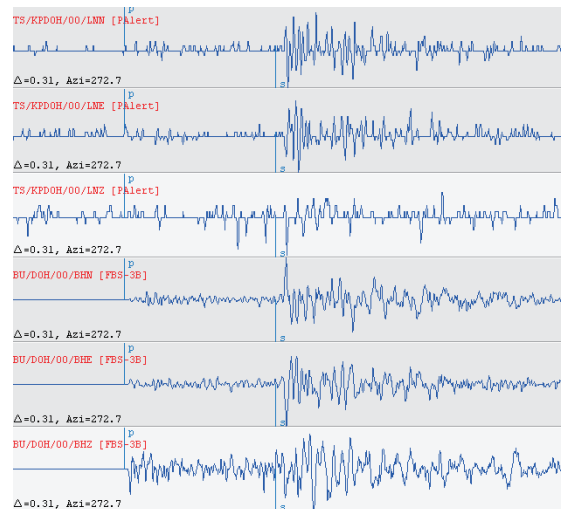


圖 7. Palert 與強震計 BBVS-60 三軸波形一致

(二)、Palert Advance 在福建省地震局應用

前期通過國立臺灣大學吳逸民教授多次與福建省地震局學術交流，同時三聯科技與福建省地震局開展了深入合作，在感測器、資料傳輸方式、資料內容、封包格式等方面共同開發符合福建省地震局要求的地震烈度計。目前 Palert Advance 實際安裝 350 台，分佈在莆田、泉州、廈門、漳州。如圖 9 所示。

同時於 Palert Advance 在福建全面安裝期間，進行了大量的設備穩定性及資料可行性的比對測試。如：泉州台山洞內對比測試 (圖 10)，水庫氣槍浮台對比測試 (圖 11)，設備組網測試 (圖 12)，經過一系列的測試，Palert Advance 能夠與其他類型的地震計在性能穩定、資料擷取、處理及通信等方面與之媲美。

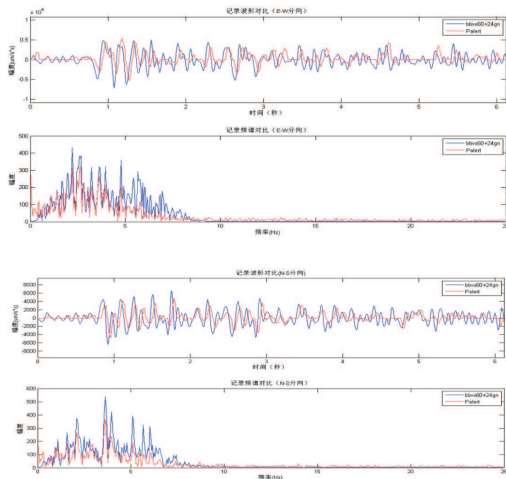


圖 8. 三軸波形及頻譜比對



圖 10. 泉州台山洞內對比測試

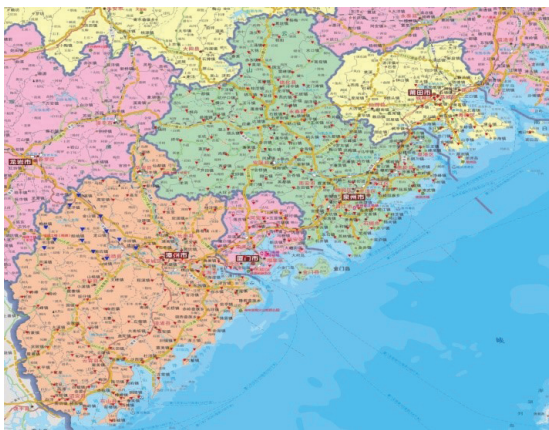


圖 9. 350 台 Advance 安裝位置

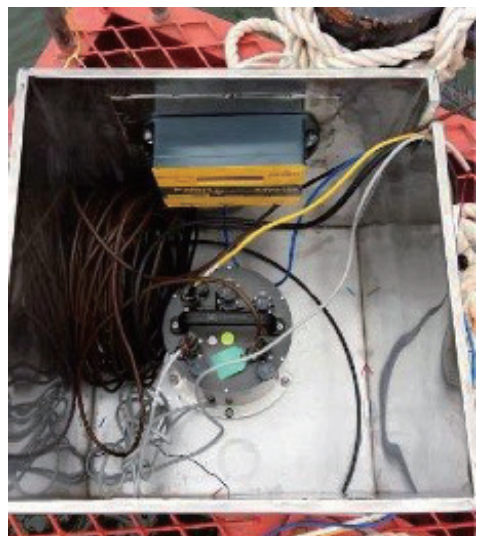


圖 11. 水庫氣槍浮台對比測試

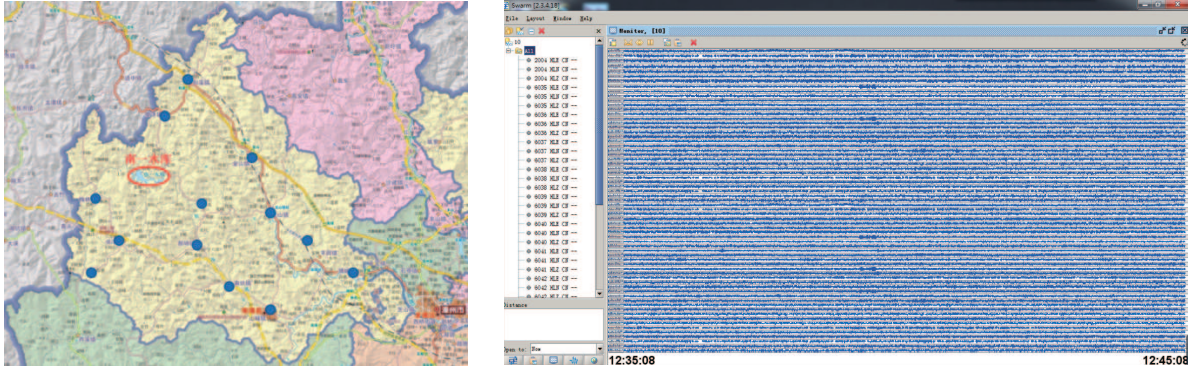


圖 12. 設備組網測試

三、結語

在性能方面：烈度計較其他類型的地震觀測儀更具備良好地震預警 P 波偵測。在性價比方面：烈度計採用的 MEMS 加速度計，價格方面更加實惠，適合於每十公里就安裝一台烈度計。設備調試方面：由於是電子式，不需要每年的設備調試需求。因此烈度計得到廣泛的應用，例如廠房的微振動監測、結構物健康診斷、國界邊防的地面震動監測等等應用。

參考資料

- [1] 地震行業標準 DB/T 59 —— 2015 地震觀測儀器進網技術要求 地震烈度儀。
- [2] 高景春、馬強、黃文輝、繆發軍 簡易烈度計台網方案討論與唐山震例分析。
- [3] 福建省地震局 福建簡易烈度計地震預警試驗區建設工作情況。
- [4] 付萍、鄭韶鵬、薛蕾，簡易烈度計設備選型及一般台站建設。