

The image shows two workers in blue uniforms and hard hats working on a large, cylindrical concrete well. They are using metal rods and tools to install or maintain a seismic instrument inside the well. The background is a grassy field under a clear sky.

產業脈動

## 都會區強震預警精進計畫下的 井下地震儀建置

三聯科技股份有限公司 / 王承韜

民國 109 年臺灣政府因應前瞻基礎建設 2.0「數位建設 - 建構開放政府及智慧城鄉服務」之預算，於中央氣象局辦理「都會區強震預警精進」計畫，藉以改進都會區地震預警系統。主要目的是在期望當臺灣與附近海域發生大地震時，於破壞性地震波侵襲前可提早提供強震警報訊息予都會區民眾進行緊急防震應變。

## 一、都會區強震預警精進計畫工作項目與預期效益

氣象局根據此計畫下的具體工作項目為：擴建井下地震儀觀測站與升級即時自由場強震站以提升都會區強震監測能力，並同時研發現地型地震預警技術。建置都會區客製化地震預警系統，推廣強震預警宣導與應用，並研究臺灣下一代地震預警作業模式，預期的實際效益則是針對都會區發生中大規模淺層地震，強震即時警報發布時間由現行震後 10 秒縮短至 7 秒 (圖 1)，提供民眾更充裕時間緊急應變，協助民眾瞭解強震警報的正確觀念與熟悉應變作為，提升警報防災應用價值。

## 二、井下地震儀系統建置

至此，三聯科技於民國 110 年 4 月自中央氣象局得標井下地震儀建置案<sup>[1]</sup>(以下稱本案)，本案為執行建置期間橫跨兩年，於新北市金山區金山高中、新北市三芝區三芝區公所、新北市雙溪區雙溪高中、桃園市觀音區公所、桃園市大溪區埔頂公園、臺中市霧峰區 921 地震園區 (原定為蘆竹區光明河濱公園)、新北市新莊區運動公園、新北市林口區林口運動公園 (原定為五股區疏洪圳邊公園)、新北市三峽區龍埔公園、汐止區大公雞公園、新北市石碇區石碇茶改場 (原定為平溪區第一公墓納骨塔)、新北市坪林區坪林消防分隊 (原定為坪林區觀音台)、烏來高砂義勇隊園區 (原定為烏來區信賢種籽親子實小) 以及高雄市楠梓區新高雄氣象站等 14 處地點建置井下地震儀觀測站，井下地震儀裝設深度為地表下 80 公尺至 300 公尺。民國 111 年因氣象局測站建置些有遞延，14 站安裝改為安裝 11 站建置 (表 1 與圖 2，扣除桃園市觀音區公所站、新北市新莊區運動公園站以及新北市林口運動公園站等 3 站)。

## 三、井下地震儀系統規劃

本案儀器設備主要為英國製造商 Guralp Systems Limited，該公司為全球寬頻地震儀設計與製造領先者，同時並提供完整的規劃、製造、測試、安裝、維護、維修、以及全面性售後服務。儀器設備規劃、製造、測試、安裝均由 Guralp 負責執行，後續定期維護、維修、與不定期檢測由三聯科技股份有限公司負責執行。

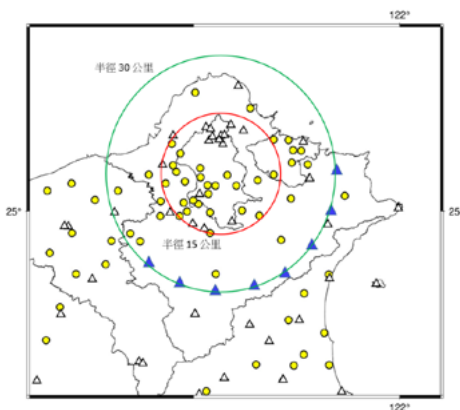


圖 1. 氣象局引入現地型 (On-Site) 預警模式，並選取都會區專屬地震站建立震波觸發的參數種類與門檻，北部地區預期現地型預警 P 波半徑 30 公里範圍<sup>[2]</sup>。



圖 2. 北部井下地震儀觀測站，預期新增 16 站，因測站取得緣故，目前預計新增 14 站<sup>[2]</sup>。

表 1. 測站系統規格表

| 項次 | 項目(名稱)                 | 數量 | 廠牌     | 型號  |
|----|------------------------|----|--------|---|
| 1  | 井下加速度地震儀 (5T Borehole) | 14 | Guralp | 5TB                                       |
| 2  | 井下寬頻地震儀 (3T Borehole)  | 14 | Guralp | 3TB                                       |
| 3  | 24位元資料擷取裝置             | 14 | Guralp | Downhole Minimus+<br>Surface Control Unit |
| 4  | 資料擷取裝置儲存備用模組           | 14 | Guralp | SanDisk                                   |
| 5  | 電源系統與雷擊及突波保護裝置設備       | 14 | 三聯整合   | Power Module                              |
| 6  | 地震即時資料蒐集軟體             | 1  | Guralp | SCREAM!4.6 Discovery                      |

系統規劃硬體主要有井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀、數位記錄器、可拔插記錄器以及 UPS 不斷電兼具防突波電源模組系統，地震儀以及記錄器建置在井體埋入地表以下深度約 100 米的岩盤，其餘系統皆安裝在儀器屋裡面 (圖 3，除 GNSS 天線接收器以外)。

#### 四、系統建置施工

井下地震儀先架起於地表做通電測試，觀察訊號所提供之即時資訊，等待儀器屋觀察即時資訊表現正常無誤後，方可移動至井口開始下井安裝。井下地震儀下井方式以 5 毫米鋼纜懸吊緩降作業，每 20 公尺以應力釋放裝置和通訊光纜夾緊，避免通訊光纜在垂降作業時纏繞並同時可將光纜重力釋放於懸吊鋼纜上。本案井下地震儀以埋沙方式安裝固定至井底，於儀器下井之前先倒入細沙做鋪陳儀器置底後基盤 (約 20 公分高基盤)，再來進行吊掛儀器緩降下作業，將其至定位底部後再進行埋沙作業。在確定井下地震儀部分埋入細沙後，會將儀器往上約 10 公分高，確保細沙與儀器間填滿無空隙，完成固定安裝作業 (圖 4)。



圖 3. 測站主要分成儀器屋 (左) 與井體 (右)，儀器屋配置地表收錄系統 (如可拔插記錄器以及 UPS 不斷電兼具防突波電源模組系統)，井體在地下配置地震儀系統。



圖 4. 右邊通訊電纜端的作業人員，手握的機構為連接的彈簧設備，目的為吸收纜線與儀器端所造成的環境振動避震器單元。

井孔在儀器下井以前，先使用吸水性材料垂降入整個井體做吸水觀察，此步驟是將管壁凝結水吸乾並且測試井底是否有積水，如有積水可將水份吸乾。在整體下井施工作業完畢後，井口會以橡皮塞密封井口，避免井口內溫度以及濕度受到大氣擾動影響，最後則在鋼纜最末端鎖緊應力釋放裝置，應力釋放裝置會承重於橡皮塞上面的金屬圓盤上，然後將剩餘的鋼纜以及通訊光纜盤旋於水泥井口內做收納封蓋，完成作業 (圖 5)。

井下地震儀下井方式使用固定於車上之鋼纜捲揚機，首先將 5 毫米鋼纜全數捲上捲揚機，作業時透過架在井口水泥基座上的鋼纜三角架，以定滑輪轉換方向進入井口，由捲揚機帶動鋼纜往井底緩緩送入，此時通訊光纜以人力輔助同鋼纜一併帶動進入，當通訊光纜到達應力釋放裝置點位時，將通訊光纜與鋼纜以應力釋放裝置鎖緊，依序下井至最末端深度 (圖 6)。在所有作業完畢後，清潔作業環境並還原井蓋與收拾周邊作業工具。

## 五、系統運轉狀況

本案測試期間，於民國 111 年 1 月 3 日臺灣東部外海發生芮氏規模 6.0，深度 16.4 公里地震 (圖 7)，雙溪、金山與高雄站收錄到地震資料。民國 111 年 5 月 9 日臺灣東部外海發生芮氏規模 6.1，深度 27.5 公里地震，汐止、三芝、三峽 3 站擷取此地震資料。民國 111 年 10 月 28 日宜蘭東部海域發生芮氏規模 5.1，深度 63.9 公里地震，霧峰、烏來、坪林、石碇以及大溪等，以地震記錄波形圖檔作為正常運作之測試紀錄依據。



圖 5. 井口端作業完畢收納纜線與鋼索，將剩餘的纜線收納入井體。中間部分封井單元由上至下依序有應力釋放裝置、金屬盤以及橡皮塞，收納完畢及蓋上井蓋。



圖 6. 三峽站捲揚機端作業圖。此圖正在將鋼纜預先捲上車體內的電動捲揚機。

## (一)、井下記錄器數據整體狀況

圖 8 為本站井下記錄器 Minimus Plus 系統截圖，井下記錄器在測試期間表現正常。本系統使用 PTP 校時，由帶有 IP 位址之 PTP Master 校時模組，連接儀器屋外的 GPS 天線進行時間與空間的精確校正。

## (二)、地震事件收錄擷取

圖 9 為觀測站測試期間地震波形紀錄。根據圖 7，編號 001 顯著有感地震在雙溪區域震度約落於 3-4 之間。寬頻速度型地震儀 3T Borehole 三軸向波形明顯，因為強烈振動有破格 (Over Scale) 特性，加速度型地震儀 5T Borehole 收錄到極佳的 P、S 波以及表面波到時特性。

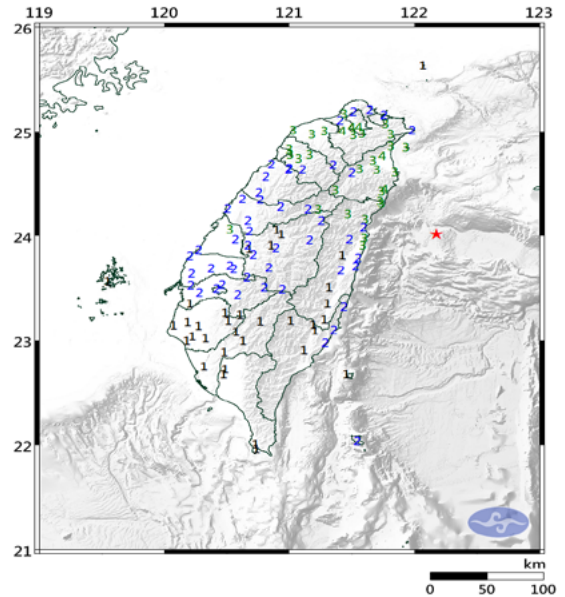


圖 7. 民國 111 年氣象局發布編號 001 顯著有感地震報告，發震時間 111/1/3, 17:46:37<sup>[3]</sup>。

System type: Minimus Plus | Host label: BH THREE | Host name: MINP-EA60 (192.168.0.78) | Serial number: 0EA60

| System Status              |                               |                                  |                         |                       |                          |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| General Status             |                               |                                  |                         |                       |                          |
| Host name                  | MINP-EA60                     | Host label                       | BH THREE                | System type           | Minimus Plus             |
| Serial number              | 0EA60                         | Firmware version                 | 2.1-12933               | IPv4 address          | 192.168.0.78 (Static)    |
| Digitiser temperature      | 38.907 °C                     | Digitiser humidity               | 24.98%                  | Input voltage         | 12.522 V                 |
| System time                | 2:32:11 AM<br>Fri 14-Jan-2022 | Uptime                           | 15d 21h 20m 5s          | ETH status            | sckt: 11/60<br>data: 0/6 |
| GNSS Status                |                               |                                  |                         |                       |                          |
| GNSS connection status     | Disconnected                  | Last timestamp                   | 0000-00-00<br>00:00:00  |                       |                          |
| Last lock time             | Never                         | GNSS stability                   | Disconnected            |                       |                          |
| Latitude                   | 25.034910                     | Longitude                        | 121.862953              |                       |                          |
| Altitude                   | -12.3                         | Horizontal dilution of precision | Undefined               |                       |                          |
| GNSS PPS status            | Not Trusted<br>No Pulse       | GNSS NMEA stream                 | Bad input               |                       |                          |
| GNSS Lock state            | No lock                       | Number of satellites             | Used: 0<br>In view: 0   |                       |                          |
| PTP Status                 |                               |                                  |                         |                       |                          |
| PTP state                  | Phase Locked                  | Last PTP timestamp               | 2022-01-14<br>02:32:10Z | Last PTP lock time    | 2021-12-29<br>05:13:27Z  |
| Master IPv4 address        | 192.168.1.20                  | Master clock class               | PRI_REF_PTP             | Master clock accuracy | < 2.5us (0x24)           |
| Network path delay         | 33.3 us                       | Network jitter estimate          | ± 336 ns                | Network outliers      | 9%                       |
| Data Record Status         |                               |                                  |                         |                       |                          |
| microSD status             | Recording                     | microSD total                    | 60424192 KiB            | microSD used          | 2698348 KiB              |
|                            |                               |                                  |                         | microSD free          | 85%                      |
| Sensors Status             |                               |                                  |                         |                       |                          |
| Number of sensors detected | 2                             |                                  |                         |                       |                          |
| Sensor0                    | Serial number (0)             | T310881                          |                         | Firmware ver (0)      | 8.2-0                    |
|                            | Integrator Z (0)              | 1261                             |                         | Integrator N (0)      | 148                      |
|                            | Seismometer Z (0)             | -2410                            |                         | Seismometer N (0)     | -492                     |
| Sensor1                    | Serial number (1)             | T051107                          |                         | Firmware ver (1)      | 0.0-0                    |
|                            | Integrator Z (1)              | 0                                |                         | Integrator N (1)      | 0                        |
|                            | Seismometer Z (1)             | 8402                             |                         | Seismometer N (1)     | -7947                    |
|                            |                               |                                  |                         | Integrator E (0)      | 65                       |
|                            |                               |                                  |                         | Seismometer E (0)     | -629                     |
|                            |                               |                                  |                         | Integrator E (1)      | 0                        |
|                            |                               |                                  |                         | Seismometer E (1)     | -8672                    |

圖 8. 雙溪高中測試期間記錄器系統狀況圖：系統於測試期間擷取井下記錄器測站系統狀況整體表現網頁，記錄器會顯示井下地震儀記錄器目前的儀器序號、通訊、電力、溫度、濕度、時間同步以及連續記錄狀況，例如連續記錄波形 Count 值以及剩餘儲存空間，圖中底下 Sensor Status 欄位裡，Sensor0 以及 Sensor1 分別為 3T Borehole 與 5T Borehole 的 3 軸向即時數值。

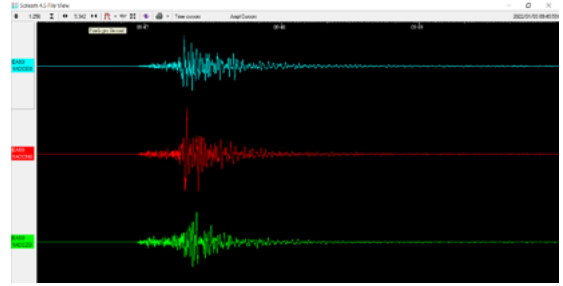
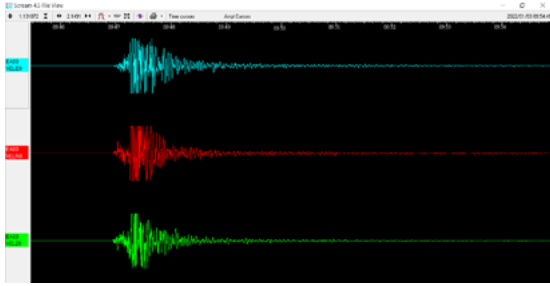


圖 9. 民國 111 年氣象局編號 001 顯著有感地震，由雙溪高中站運作測試的井下地震儀所擷取的波形繪製，左半部三軸向為井下寬頻地震儀（速度計），右半部為三軸向井下強震地震儀（加速度計），軸向由上至下分別為 Z 軸、N 軸、E 軸。



圖 10. 都會區強震預警精進計畫下建置新井下地震儀規劃，111-113 年中區預計新增 5 站<sup>[2]</sup>。

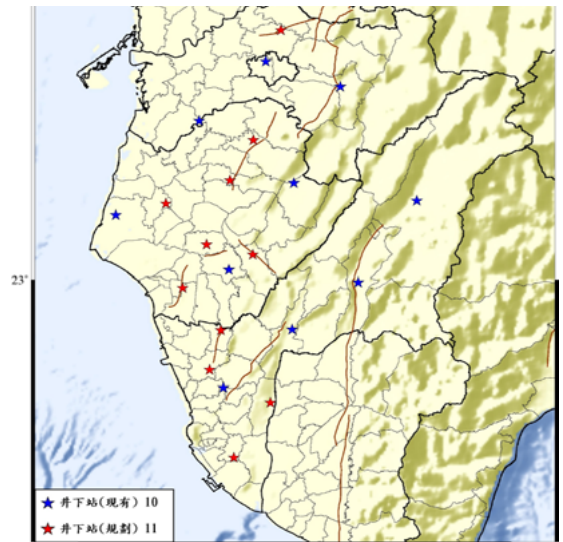


圖 11. 都會區強震預警精進計畫下建置新井下地震儀規劃，111-113 年南區預計新增 11 站<sup>[2]</sup>。

## 六、系統未來規劃

三聯科技擁自民國 89 年以來推廣地震預警系統即有強震警報應用推廣經驗。民國 108 年更在承接氣象局所協助的台鐵地震警報器專案，擁有跨域整合的完整流程。包含地震預警，強震即時警報、地震觸發通報以及有感地震報告

等與時間搶快的完整流程皆有參與。氣象局未來在規畫都會區型強震精進計畫，除了北部區域以外，還會有中區以及南區的新增規劃 (111 年 -113 年，圖 10、圖 11)。三聯科技有幸參與北區規劃，如能再進而協助國內多所地點建置，將是可以樂觀其成的一項地震預警的精進指標。

## 誌謝

本文部分內容乃筆者協助「交通部中央氣象局 110-111 年度井下地震儀觀測站儀器設備採購案」建置報告所撰寫之文章，經氣象局同意後轉載，至此感謝。

## 參考資料

- [1] 中央氣象局網站 [https://www.cwb.gov.tw/Data/service/news/Upload/prospective\\_plan\\_urbanEQ\\_20220307.pdf](https://www.cwb.gov.tw/Data/service/news/Upload/prospective_plan_urbanEQ_20220307.pdf)
- [2] 圖片來源：民生公共物聯網數據應用及產業開展計畫 - 都會區強震預警精進計畫 - 地震預警系統的精進作法投影片 (中央氣象局提供)。
- [3] 圖片來源 <https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/earthquake/details/2022010317463760001>