

基於 MEMS 加速度計的 地震烈度速報台網運行分析 以福建省簡易烈度計台網為例

中國地震局廈門海洋地震研究所 / 薛蕾 博士
廈門地震勘測研究中心 / 周藍捷、付萍

簡易烈度計地震預警示範專案——2015 年度任務專項在京津冀地區、福建沿海地區以及川滇交界地區建設了高密度的簡易烈度計台網。福建省地震局通過福建簡易烈度計地震預警試驗區的實施，在莆田部分地區、泉州、廈門和漳州建成 300 個烈度計台站的地震預警與烈度速報台網，絕大多數烈度計託管在經過地震局和運營商聯合勘選的機房內。這批台站成本低、數量多、分佈密集，與傳統的地震台站有較大區別。本文對 2019 年全年烈度計台網的運維資料做了統計和分析，深入挖掘資料，對引入社會化協作的運維模式做了評估，為高密度地震台網的建設和運維提供了經驗和參考。

關鍵字：MEMS 加速度計，烈度速報台網，簡易烈度計

一、引言

簡易烈度計地震預警示範專案——2015年度任務專項，在京津冀地區、福建沿海地區以及川滇交界地區建設了密集的簡易烈度計台網。為盡可能的提高預警效率並減小預警盲区，計畫以MEMS加速度計(曾然, 2014;康濤, 2018;王浩, 2013)建立鄉鎮級別的地震烈度儀網，即每個鄉鎮一個儀器烈度觀測點。示範項目計畫在福建省境內建設簡易烈度計觀測站900個，其中首期建設300個台站已于2016年建設完成。總體目標是依託福建沿海現有及在建地震觀測台站資源，組建三網融合的地震預警與地震烈度速報台網(付萍, 2019)。

由於簡易烈度計台站成本低、數量多、分佈密集，且多為託管，採用社會化協作的建設和運維模式，與以往的地震台站的運行模式有較大區別。因此有必要對已建成台站的運行情況進行分析總結，為密集台站的運行維護積累經驗，也可為下一階段的台站建設提供參考。

二、台網情況概述

高密度簡易烈度計台網可與具備即時傳輸能力的測震台站和強震動台站共同組建地震預警觀測網路(劉鋼鋒, 2011)，可在震後評估地震對城市和農村的影響程度；為震後應急救援和災害評估工作提供更多的決策性依據資訊；為社會大眾提供更豐富的地震資訊服務。

福建省簡易烈度計台網屬於國家烈度速報與預警工程項目福建示範區的一部分，首期300個台站已于2016年建設完畢。台站分佈於福建省莆田市部分地區、泉州市、廈門市和漳州市，平均間距10km左右。為了確實起到評估地震對人口密集區域影響的作用，前期開展了大量的台站佈設勘選，確保每個鄉鎮至少分佈一個台站。在滿足台址環境條件要求的前

提下，為降低簡易烈度計台站的建設成本，本項目採用租用運營商等單位站房的模式，共用站房中的供電和網路資源(鄒振軒, 2018)，可極大的節約建站成本和建設週期。為保證密集的台站有電源和網路支援，除個別台站借助福建局現有台站外，其餘大多選址于運營商符合條件的機房內。設備採用掛牆安裝，穩固安裝於不高於地面30cm的牆壁上，以減少建築物本身對監測資料的影響。供電採用直流48v或市電(220v)轉直流12v。網路採用運營商提供的MPLS-VPN有線連接，即時彙集到地震資料伺服器。

福建省簡易烈度計台網中的簡易烈度計均為北京科益靈動科技有限公司代理的Palert Advance(簡寫為PA)。PA為三軸Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)，測量頻帶0-20Hz，測量範圍±2g(b, c軸向)+1g/-3g(a軸向)。通過有線網路，PA可自動串流輸出即時加速度數據到伺服器。

雖然現代化的運維系統已較能大幅減輕工作量，但由於新建的以MEMS加速度計為主的一般站數量龐大，僅依靠地震系統內部力量難以保證在台站出現異常時對其進行及時保障，必須引入社會化力量作為有效補充。且MEMS加速度計成本低，集成化程度高，維護相對簡單。本專案引入了社會化協作運維方式：每天由運維人員查看台站運行情況，若發現有故障台站，先報修給託管方(屬地運營商)；託管方派單外線人員查看機房網路和電源情況，如有異常則立即進行處理；若託管方回饋機房無異常，則由我方派出外業人員前往該地查看設備運行情況，對故障設備進行維修或更換。

三、分析方法

本文採用資料採擷技術作為主要分析方法。資料採擷技術是一種迅速發展的新邊緣學科，它的合理應用可以從巨大的資料體系中提煉並分析出不易察覺的關係，最後給出一個有用的並可以理解的結論。簡而言之，資料採擷就是在資料中發現某種模式、知識，也可理解為資料間的關係。(梁循，2006)

本文的資料來源選取自 2019 年全年福建地區的簡易烈度計台站共計 300 台的運行日誌。運行日誌詳細記錄了每日台網總體運行情況，各個異常台站的故障現象、故障發生時間、報修和回饋資訊、故障處理時間及方式等資訊。本文應用資料採擷技術，先將運行日誌進行集合，再集中提煉出故障台站、故障發生時間、損毀修復時間和故障類型等分類特徵，用以尋找和分析台網運行、台站故障及處理的規律。

四、運行情況及分析

(一)、台網總體運行情況

2019 年，台網未發生網路安全故障，系統崩潰、長時間斷記等重大運行故障，日運行率均處於 95% 以上，全年平均運行率為 97.14%。簡易烈度計台站總共發生故障 201 台次，處理故障 200 台次。

(二)、台站故障類型分析

台站發生的故障主要分為以下幾類：

1. 網路故障：包括網路鏈路故障，網路設備（光貓、網線等）故障。
2. 電源故障：包括供電停止，穩壓電源故障等。

3. 設備故障：主要指簡易烈度計設備硬體故障。
4. 未知原因故障：台站短暫離線後未經處理，而後自動恢復。
5. 網站遷改：因各種原因造成的網站位置變更，需要對設備進行遷移。
6. 混合故障：有上述兩種原因以上的故障同時發生。

2019 年台站故障主要以網路故障、儀器故障和電源故障為主（見圖 1），占比分別為 43.98%、21.47%、20.42%。

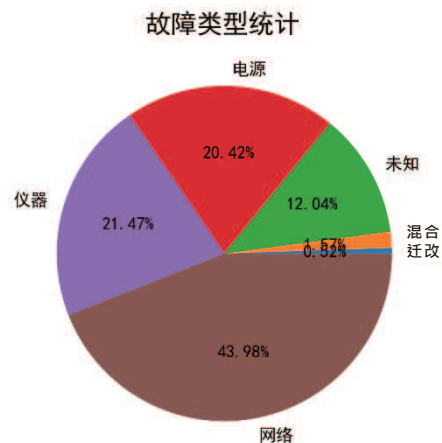


圖 1. 故障類型統計

(三)、不同地區的台站故障率

圖 2 為不同地區的烈度計台站故障率的對比情況。其中，圖 2a 為莆田、泉州、廈門和漳州地區的故障率對比情況。由於網路故障、電源故障和儀器故障對台網的影響較大，圖 2b、2c 和 2d 將這三種故障單列出進行對比。因為不同地區的台站個數差別較大，因此下圖中都將每個地區的故障率進行歸一化處理，單位統一為每 100 台中發生的故障的台次。

從圖 2 可以看出，廈門和泉州地區的全年故障率較低，約為 40 台次/100 台，莆田和泉

州地區故障率較高，約為 60-80 台次 /100 台；不同地區的網路故障率差別較大：泉州地區的網路故障率最低，低於 10 台次 /100 台，漳州地區的網路故障率超過 40 台次 /100 台；電源故障率差別不大，最低為廈門地區—5 台次 /100 台，最高為泉州和漳州地區—13 台次 /100 台；不同地區的儀器故障率差別較大：最低為廈門地區約為 5 台次 /100 台，最高為莆田地區超過 20 台次 /100 台，泉州和漳州地區約為 13 台次 /100 台。

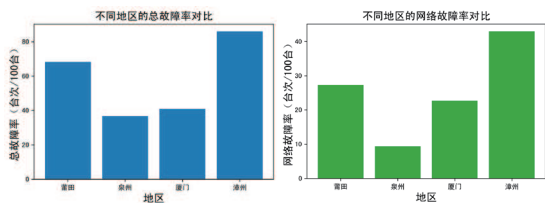


圖 2-a

圖 2-b

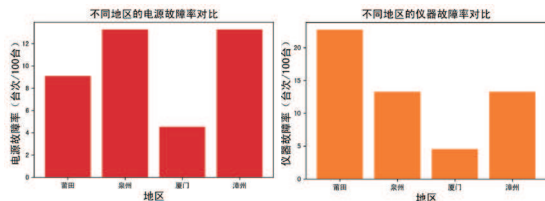


圖 2-c

圖 2-d

圖 2. 不同地區故障率對比

不同地區的故障率有較大差別，漳州地區的故障率較高，主要是網路故障和電源故障造成。造成這種狀況的原因可能是，簡易烈度計台站大多託管于運營商基站，由於不同屬地運營商的機房條件、供電設備和網路設施存在一定差異，導致不同地區的台站故障率存在較大差異。

(四)、台站故障時長分析

故障時長是指台站故障發生到故障恢復所經歷的時間。故障時長越短，對台網整體的運行率影響越小。

如圖 3 所示，故障時長與故障類型相關：未知原因故障、電源故障和網路故障的故障時長較短，小於 10 天；(設備故障時長在 20 天左右；)混合故障時長超過 100 天，網站遷改時長超過 200 天。造成上述差別的原因在於不同類型故障的修復和處理方式不同：電源故障和網路故障，僅需報修託管方，由託管方進行排查後，對故障部分進行修復或更換即可；設備故障由託管方排除電源或網路故障後，再由我方運維人員派出外業人員前去運營商機房對烈度計設備進行修復和更換處理；混合故障往往需要我方運維人員和託管方進行多次協調，可能還需多次前往站址進行故障排查和處理；網站遷改涉及運營商與協力廠商產權和租約等不確定因素，需要較長時間進行協調和處理。

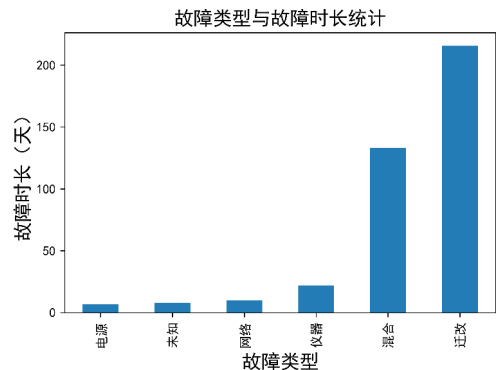


圖 3. 故障類型與故障時長統計

不同地區的故障處理時長也有差別。總體來說，莆田地區的故障時長最長，約在 25 天左右，泉州、廈門和漳州地區的故障處理時長基本都在 5-10 天，如圖 4-a；其中，網路故障處理時長：莆田地區超過 25 天，其餘地區約在 5 天左右，如圖 4-b；電源故障處理時長：漳州地區最長，超過 6 天，其餘地區約為 1-3 天，如圖 4-c；(儀器故障處理時長：莆田地區最長，平均 40 天左右，其餘地區平均在 10-15 天左右，如圖 4-d。)

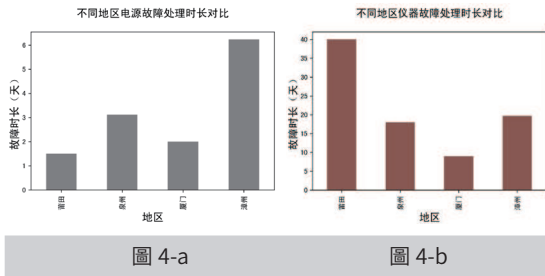
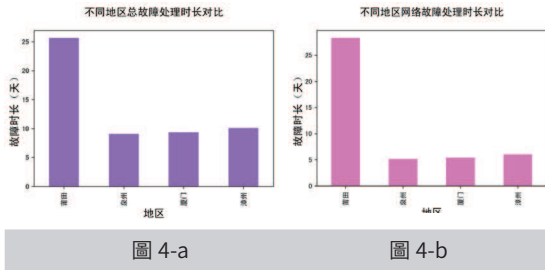


圖 4. 不同地區的故障處理時長統計

不同的故障類型採用的處理方式不同，所需的處理時長也不同。台網中經常發生的幾種故障處理時長較短，對整個台網運行率影響不大。由於所有的台站故障必須先由運營商確認故障類型，運營商回應速度對故障處理時長有較大影響。不同地區的運營商回應速度、業務流轉模式及技術水準有差異，造成了不同地區的故障處理時長有較大差別。

(五)、多次故障的台站分析

在簡易烈度計台網中，發現有個別台站反復發生故障。2019 全年台網中發生過 3 次以上故障的有 17 個台站，共發生了 72 次各類故障。圖 5 中對這些台站的故障類型進行了統計，其中網路故障最多，達 28 次；其餘為設備故障、電源故障和未知原因故障，各為 10-15 次左右。

其中台站 E6611 發生了 12 次故障，詳細情況如表 1 所示。在該台站發生的故障類型較多，設備、網路、電源和未知原因都有出現，其中網路和未知原因故障出現次數較多。為查明情況，運維人員對該台站進行了排查，未發

現站房環境有異常狀況。自 2019 年 1 月 16 日該站更換烈度計設備後，也未見烈度計設備故障發生。推測該網站可能由於供電或網路不穩定，導致故障頻繁發生。

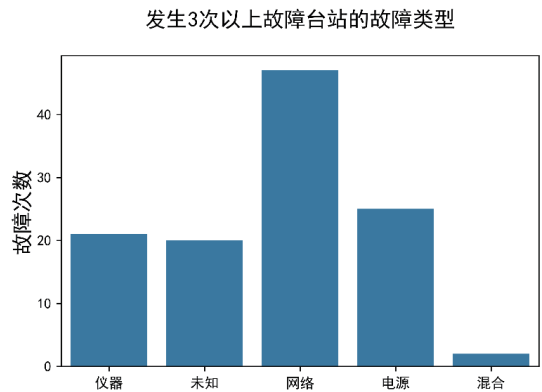


圖 5. 發生 3 次以上故障台站的故障類型統計

表 1. 台站 E6611 詳細故障情況

台站名	故障發生時間	損毀修復時間	故障類型
E6611	2019/1/7	2019/1/16	設備
E6611	2019/1/25	2019/1/26	網路
E6611	2019/3/25	2019/3/26	網路
E6611	2019/5/16	2019/5/19	未知
E6611	2019/6/9	2019/6/11	網路
E6611	2019/7/2	2019/7/4	電源
E6611	2019/7/12	2019/7/15	網路
E6611	2019/7/17	2019/7/21	未知
E6611	2019/7/21	2019/7/25	電源
E6611	2019/8/5	2019/8/14	未知
E6611	2019/8/25	2019/8/28	未知
E6611	2019/12/2	2019/12/16	網路

五、結論與討論

福建省簡易烈度計台網 2019 年全年運行率維持在較高水準，達 97.14%，月運行率均超過 95%。表明現有的社會化建設和運維模式能滿足地震烈度速報台網穩定運行的需求。

但台網在現有的運行模式下故障率偏高，300 個台站在 2019 年全年共計發生各類故障 201 台次；運維工作強度大，全年共處理各類故障共 200 台次。故障原因有以下幾類：網路故障、儀器故障和電源故障、未知原因故障、網站遷移以及混合故障，前三類占故障的絕大多數（超過 80%）。但這幾類故障所需的處理時長較短，對於台網運行率的恢復是有利的。

各個地區的故障率有較大差別，漳州地區的故障率較高，主要是網路故障和電源故障造成，可能與不同屬地運營商採購的設備差異導致；各個地區故障處理時長也有較大差別，原因在於不同地區的運營商回應速度、業務流轉模式及技術水準有差異。

以上對台網運行情況的總結和分析，為今後的密集地震台站的社會化建設和運維也積累了一些經驗：

- (一)、台網中的網路故障和電源故障較多，說明託管方使用的網路和電源設備在長期開啟運行的情況下，較易發生故障。在今後新建 MEMS 加速度計台站時，應儘量採用品質有保證的網路和供電設備。
- (二)、故障處理時長受託管方的影響較大，應建立更好的溝通協調機制，縮短回應時間，提高故障處理的回應速度。
- (三)、個別台站容易反復發生故障，嚴重影響運行率，加重運維負擔。在今後的工作

中，應重點關注這些台站，與運營商密切配合，排查原因（機房環境、網路設備和供電設備等），解決故障隱患，提高運行率。

參考資料

- [1] 曾然、林君、趙玉江，2014. 地震檢波器的發展現狀及其在地震台陣觀測中的應用，地球物理學進展，29(05)：2106-2112。
- [2] 康濤，2018. MEMS 加速度記錄在地震預警中的應用研究，碩士學位論文，哈爾濱：中國地震局工程力學研究所。
- [3] 王浩、丁煒，2013. MEMS 加速度計與傳統地震加速度計的比較研究，大地測量與地球動力學，33(S2)：93-95。
- [4] 付萍、鄭韶鵬、薛蕾，2019. 簡易烈度計設備選型及一般月臺站建設，科技創新導報，(02)：136-137。
- [5] 劉鋼鋒、朱威、鄒彤，等，2011. MEMS 加速度感測器在強震觀測中的應用，大地測量與地球動力學，31(S1)：168-170。
- [6] 鄒振軒、孫侃、汪貞潔，等，2018. 基於 MEMS 台站的溫州珊溪水庫區域高密度烈度台網，大地測量與地球動力學，38(07)：765-770。
- [7] 梁循，2006. 資料採擷：建模、演算法、應用和系統，電腦技術與發展，16(01)：1-4，65。