

燕巢烏山頂泥火山地電阻長期監測之研究

陳力齊，張竝瑜，黃亦青
嘉南藥理科技大學環境工程與科學研究所

摘要

高雄縣燕巢地區燕巢烏山頂泥火山位於旗山斷層構造帶上，區域地質組成以泥岩為主。本研究利用二維之地電阻剖面測勘方法，針對此一地區進行為期一年之監測研究，以了解可能之地電阻率變化與旗山斷層之活動相關性，提供建立本區泥火山之地下構造解釋與機制模型。本研究也嘗試探討不同電極排列(Array)方式用於長期監測之適用性。初步之連續監測結果顯示此一地區地電阻分布在淺部(<3m)有較明顯之連續性變化，而電阻率變化較明顯之區域則位於噴泥錐位置附近之地層。而在測量期間 2006 年 12 月 26 日晚，屏東縣恆春鎮外海發生三起芮氏規模 6.7、6.4、5.2 強震，因此次地震震央接近本監測區域，比較地震前後地電阻剖面影像差異，並未發現有明顯變化，顯示地震對於研究區域之影響不大。未來將調整電極排列方式與間距，針對 3 米內之主要地電阻變化區域進行三維監測，以嘗試藉由地電阻率變化區域之體積推估了解飽和/未飽和區域之分佈變化，進而推估氣體釋出量之變化。

前言

烏山頂泥火山自然保留區位於高雄縣燕巢鄉金山村。本區位在一海拔約175 m，寬約150 m，長約200 m的平台上。燕巢地區的泥火山活動熱烈，集中在烏山頂自然保留區，並沿旗山斷層之斷層線成帶狀分佈；旗山斷層呈東北-西南走向，北由高雄縣三民鄉經杉林、甲仙、旗山至燕巢鄉，長度約65公里。王鑫(Wang, 1976)由衛星影像判釋結果指出旗山線形與旗山斷層吻合，且向西延伸至半屏山構造及壽山構造的北側。目前已知影響地下地層電阻的因素包含：岩性、礦物的組成、含水量、孔隙率和溫度等，其中與體積含水率有絕對的相關性(黃定雄，1986)，由於泥火山中之湧出之氣體與液體來自地殼，岩石應力變化影響釋出之氣體速度與體積含量，在泥火山氣體與泥漿水之混合體中，氣體占有之部分較圍岩之電阻率相比為高電阻區，而泥漿水則為低電阻區，釋出氣體體積含量較多時，地下高電阻區將擴大，因此地電阻剖面影像可以提供泥火山地下電性地層與構造分佈，加以辨認可能之氣體與泥漿通道。本研究嘗試藉由長期之地電阻剖面監測：

- (1) 了解可能之地電阻率變化與旗山斷層之活動相關性，提供建立本區泥火山之地下構造解釋與機制模型。
- (2) 探討不同電極排列(Array)方式用於長期監測之適用性。

- (3) 嘗試藉由地電阻率變化區域之體積推估了解飽和/未飽和區域之分佈變化，進而推估氣體釋出量之變化。

研究方法

一般影響地下地層電阻的因素有岩性、礦物組成、含水量、孔隙率、孔隙水組成及溫度等，當地層層序變化造成有明顯的層間電阻率對比，或是欲探測地下不同電阻率目標之存在，例如隧道、埋藏金屬物、未爆彈(UXO)等，就適用於地電阻方法作為探測工具。地電阻法之測勘原理，乃利用直流電或低頻交流電流經由一對電極(A、B)通入地下，於地下建立人工電場。並利用另一對電極(M、N)測量電場在 M、N 間之電位差，而據此計算地層的視地電阻率(Apparent Resistivity)，進而再運用反演算計算方法推求地層真實地電阻率(True Resistivity)。目前一般現地地電阻測量方式則是運用上述之電極排列法，於地表沿一直線測線，順序改變電極間距與電極位置，如此可以測得沿測線之不同深度、不同位置之視電阻率分佈，此種方法稱之為(二維)地電阻影像剖面法(Resistivity Image Profiling, RIP)。本研究所採用的儀器為德國 LGM 公司之 4 point Light hp 地電阻儀，並聯接可由電腦程式控制調變頻道之 ActEle 系統，最多可以同時接連 255 根電極，進行快速、高密度之地電阻影像剖面量測。本研究所採用的反演算數值軟體為德國 Geotomographie 公司所開發出之二維地電阻影像逆推反算程式 SENS2DINV，並進行地形校正以增加地電阻剖面影像(RIP)的準確度。現地之地電阻之測線布設如圖 1，電極間距為 1.5 公尺，每次施測均進行三條固定地電阻測線之量測，監測之頻率則約為每月一次。

研究結果與討論

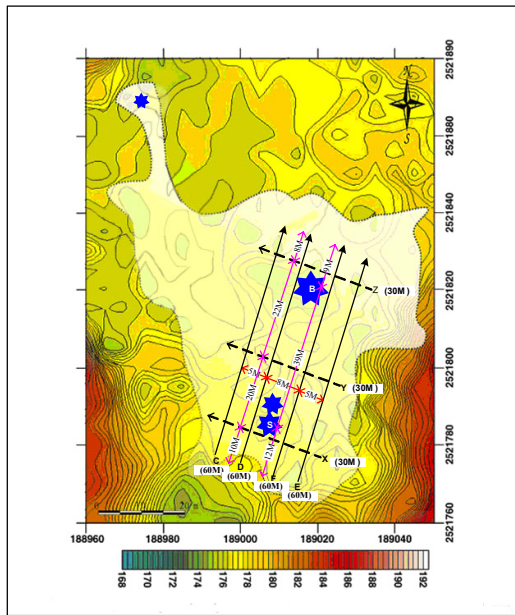
初步之連續監測結果顯示此一地區地電阻分布在淺部(<3m)有較明顯之連續性變化(圖二)，經測試 Wenner、Dipole-Dipole、以及 Schlumberger 電極排列方法，結果顯示以 Dipole-Dipole 作為長期監測之影像為最佳，而電阻率變化較明顯之區域則位於噴泥錐位置附近之地層。顯示本研究之初步推論合理，可藉由地電阻率變化區域之體積推估了解飽和/未飽和區域之分佈變化，進而推估氣體釋出量之變化。在測量期間 2006 年 12 月 26 日晚，屏東縣恆春鎮外海發生三起芮氏規模 6.7、6.4、5.2 強震，現地觀測雖發現在測線 E 的南側則出現地層下陷情形，因此次地震震央接近本監測區域，比較地震前後地電阻剖面影像差異，而淺層地層地電阻在約在泥火山 B 附近地電阻率增加約 1.3~1.4 $\Omega \cdot m$ ，而在地下 3 公尺以後則無顯著變化。

由於目前烏山頂地區為自然保留區，無法以鑽孔方式驗證地電阻率剖面之正確性。加上二維地電阻測勘(將電阻排列為一直線進行二維之地下電阻測勘)往往受三維地下構造之異向性干擾，導致剖面之影像位置可能偏移正確之分佈位置，

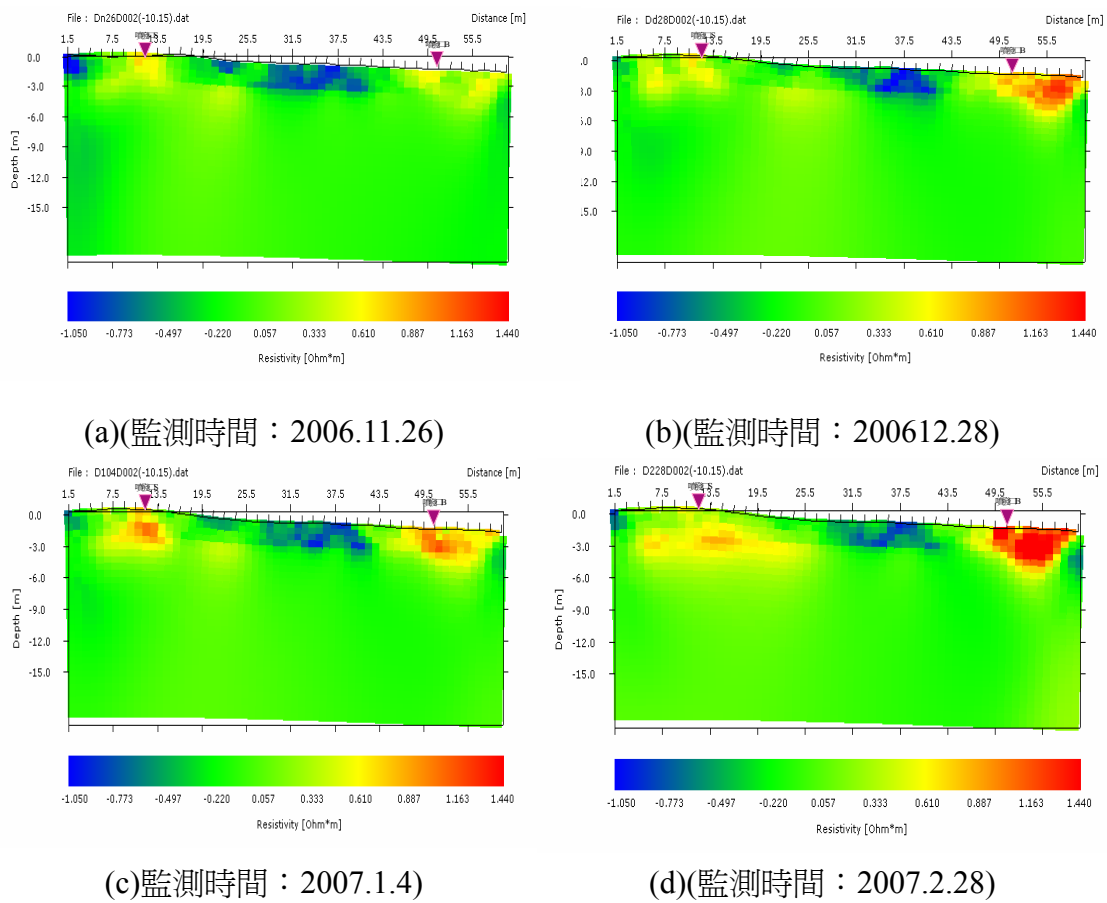
因此在二維地電阻剖面影像之建立與高低電阻率分佈體積推估上可能造成相當之不確定性。另外由於地電阻率變化最大之區域分布於<3m 之深度，可能之原因有(1)近地表補注或蒸發影響，或(2)沿斷層釋放之氣體累積分佈範圍的改變，爲了釐清何者爲變化之主要來源，並進行較精細且準確的地球物理量測，正確提供氣體釋放量之量化估計，未來本研究擬採用地電阻之三維測勘方法，採用 1m 之電極間距，針對目前認爲主要地電阻改變區域進行精密測勘，並運用透地雷達(100MHz 及較低頻之頻率 38~75MHz 之發射天線組)資料，協助了解地下地層及構造分布情形以做爲驗證，以提高地球物理探勘之準確程度與解析度，並交互驗證探勘之影像構造解釋結果，建立電性地層模型。

參考書目

- 黃定雄，1986. 台灣南部泥質砂岩電測特性之研究，石油鑽探工程，第27期，69-93 頁
- 張宏武，2001. 台灣西南泥岩之電阻率構造，國立中央大學碩士論文，共122頁
- 王鑫、徐美玲、楊建夫，1988 . 台灣泥火山地形景觀，台灣省立博物館年刊
- Thomas, H.; Weller, A., and C. Tran, 2005, The effect of dike geometry on different resistivity configurations: *Journal of Applied Geophysics*. 57, 278 - 292
- Giao, P.H., 2003, Electric imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits: *Journal of Applied Geophysics* 52, 157 - 175
- Chow, J. J., Chang, S., and H. Yu, 2006, GPR reflection characteristics and depositional models of mud volcanic sediments—Wushanting mud volcano field, southwestern Taiwan: *Journal of Applied Geophysics* 60, 179–200.



圖一 本研究地區地電阻測線之方位與泥火山相對位置(地形圖修改自 Chow et al., 2006)



圖二 測線 D 之地電阻剖面影像變化(與 2006.10.15 量測之地電阻背景值差值)