行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

結合三維連續性地電阻剖面影像技術與透地雷達資料於烏 山頂泥火山地下構造與旗山斷層活動性長期監測之研究 研究成果報告(精簡版)

計	畫	類	別	:	個別型
計	畫	編	號	:	NSC 96-2116-M-041-002-
執	行	期	間	:	96年08月01日至97年07月31日
執	行	單	位	:	嘉南藥理科技大學環境資源管理系

計畫主持人:張並瑜

計畫參與人員:碩士班研究生-兼任助理人員:黃亦青

報告附件:出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式:本計畫可公開查詢

中華民國 97年10月17日

一、前言

由於三維地電阻量測方法對於三維之構造物具有極佳之解晰能力,因此本研 究選擇過去已經本研究團隊進行過詳細二維地電阻觀測研究之烏山頂泥火山區 域(陳力齊,2007),作為研究之目標區域。希望藉由三維地電阻方法,觀測泥火 山之之泥漿噴出及儲藏裂隙通道分布情形,並驗證此一三維觀測方法對於不同比 例目標物及不同電阻率變化範圍之解析能力。

陳力齊(2007)泥火山進行了近兩年二維地電阻影像的長期監測後發現,本研究區域三至四公尺左右的地層以下大部分是屬於低電阻區,以上則為高電阻區, 其原因是因為含水率較低的緣故,但是地表近泥漿的噴發口處卻形成兩較明顯的 低電阻區,顯示泥漿通過之列隙存在。

本研究於進行泥火山區域現地三維地電阻量測前,先建立一5m 長寬之草地 實驗場,以驗證現有地電阻儀器進行三維量測之能力,及找出最佳野外電極陣列 排列方式。本研究於草地試驗場之中央利用食鹽水進行地下入滲,以建立一類似 於泥火山地區之地下低電阻垂直目標,並利用不同頻率(2.5Hz,5Hz),以及不同 電極排列方式(回字型順時針、回字型逆時針、弓字型排列)進行量測,以找出較 佳之三維施測方式。經過反覆測試,發現回字型陣列對於存在於之陣列中央之已 知垂向地下構造物具有較佳之解析能力及較少之雜訊,而不同頻率之應用則取決 於現場之干擾源。因此在此一部分之研究,我們選擇採用回字型逆時針排列之電 極陣列方式,以探測泥火山之地下泥漿通道分布情形。

二、量測地區之地質概況

烏山頂泥火山群位於高雄縣燕巢鄉金山村高雄師範大學燕巢校區附近。泥火 山群位於一寬約150公尺、長約200 公尺的平台上,其平台上有兩個高約3公尺之 主要泥火山錐,附近並有數個小型之噴泥口(王鑫等,1988)。

台灣西南部地區大多數泥火山分佈在背斜軸沿線與斷層沿線。分佈於台灣西 南部古亭坑背斜軸上的泥火山,其活動有由北而南逐漸活潑的傾向。而分佈於旗 山斷層沿線之泥火山數目最多,其活動也較背斜軸上之泥火山劇烈(Chow et al., 2006)。本實驗區域之烏山頂泥火山群位於旗山斷層線上(宋國城,2003),本研 究針對兩座主要泥火山錐,泥火山A及泥火山B,進行三維地電阻測量,圖1及 圖2分別為泥火山之地理分布位置圖,泥火山衛星空照圖與兩座主要泥火山影像 照片。



圖1、烏山頂泥火山地理位置



圖 2、烏山頂泥火山衛星空照圖及 A, B 兩座泥火山照片影像

2. 回字型陣列之佈設

本研究針對烏山頂泥火山的兩座火山錐進行回字型電極陣列佈設,由於越往 噴發口其坡度越大,在佈線上極為不易,因此由坡度較為平坦的火山噴發口周圍 (據噴發口中心約3-5公尺)開始佈設80根探測用電極。佈線方法如圖3所示, 陣列之佈設由內逆時鐘向外,並且使用 GPS 紀錄其電極座標,以利反覆定點測 量,由於泥火山錐A為本區最高大之泥火山,加上目前並無泥漿油噴出口噴出, 為了解A火山錐在休眠後地底是否還有泥漿通道的分佈,本研究分別在2007年 12月30日,2008年1月7日,及2008年2月25日對A火山錐進行三維回字 型電極陣列佈線測勘,另外,在2008年4月11日則進行A火山錐與另一火山錐

B的三維測勘,以針對兩泥火山的狀況進行評估比較(現場佈線情形見圖4、圖5 與圖6)。



圖3、泥火山回字型電極陣列佈線圖



圖4、兩座火山錐的相對位置



圖5、泥火山A佈線情形



圖6、泥火山B佈線情形

3. 三維地電阻觀測結果與解釋

3-1 泥火山 A 三維探測影像

本研究於 2007 年 12 月 30 日針對泥火山錐 A 進行首次野外三維實測,由於 本研究所用儀器為原來使用於二維電極影像法之 Lippmann 4point light hp 儀 器,因此為使用於三維地電阻測勘,儀器上之設定採用二維地電阻測勘時所用之 Dipole-dipole 以及 Wenner 電極排列設定,再於讀取之資料中修改加入三維之 實際電極位置相對座標,並將上述測勘資料併合入一資料前處理檔,最後使用 AGI 公司之 EarthImager 3D 反演算程式進行三維之地電阻反演算。圖 7a 至 7e 分別顯示泥火山在電阻率值 1.2 Ohm-m, 1.8 Ohm-m, 2.5 Ohm-m, 3.9 Ohm-m, 5.3 Ohm-m 之等值面,由先前於泥火山地區採取之土壤樣本所建立之地電阻率-含水 率關係,顯示出此一地區大致在 5.0 Ohm-m 以下已為過飽合之狀態。因此就飽和 之低電阻區域分佈型態而言,在 2007 年 12 月時之泥火山錐地下仍存在一大致為 直立方向之泥漿通道,此一泥漿通道並有部份向南北方向側向延伸。(見圖 8a 至 8e)



圖 7、泥火山 A 於(a)1.2Ω-m, (b) 1.8Ω-m, (c) 2.5Ω-m, (d) 3.9Ω-m, (e) 5.3Ω-m 之三維地電阻影像等值面(箭頭所示方向為北方)

3-2 泥火山A三維時序探測結果

由 2007 年 12 月 30 日開始,本研究另分別在 2008 年 1 月 7 日,2008 年 2 月 25 日,2008 年 4 月 11 日進行泥火山 A 之三維時序探測,並建立泥火山 A 之時序電 阻率改變影像(圖 9a 至 9d)。由圖 9 中 1.8Ω-m 等值面範圍之變化,泥火山 A 在 觀測期間有漸漸變乾之趨勢,此一趨勢也可同時由地表上之噴發口在此一時間內 無噴發泥漿之觀察得到相互印證。而變化最劇之時期為 2007 年 12 月 30 日至 2008 年 1 月 7 日間,在短短 8 日間,泥漿通道範圍變化最為劇烈。



圖 8、泥火山 A 於 1.8Ω-m 之三維地電阻影像等值面不同視角之影像(箭頭所示 方向為北方)



圖 9、泥火山 A 於(a)2007/12/30,(b)2008/1/7,(c)2008/2/25,(d)2008/4/11, 之三維地電阻影像 1.8Ω-m 等值面變化(箭頭所示方向為北方)

而由 2008 年 2 月 25 日至 4 月 11 日將近兩個月之時間內,等值面範圍變化不大, 顯示此段時間相對的泥漿通道範圍之改變較為穩定。

3-3 泥火山B三維地電阻探測結果

本研究於 2008 年 4 月 11 日另針對泥火山錐 B 進行首次三維地電阻實測,結 果顯示較同一時期之泥火山 A 而言,泥火山 B 之低電阻率區域範圍要大的很多, 顯示泥火山 B 較泥火山 A 要活躍。



圖 10、泥火山 B 於(a)1.2Ω-m, (b) 1.8Ω-m, (c) 2.5Ω-m, (d) 3.9Ω-m, (e) 5.3Ω-m 之三維地電阻影像等值面(箭頭所示方向為北方)

另外,泥火山b在地表形成主副兩個噴發口,然而由地下地電阻率等值面分佈研判,主副噴發口之泥漿來源為同一泥漿通道,而主副噴發口之位置也約略與

1.2 Ohm-m 及 1.8 Ohm-m 等值面所形成之兩個泥漿通道分佈位置一致。

4. 討論

由三維地電阻的結果來看,兩座泥火山均呈現明顯的泥漿通道所形成之低 電阻率區域,而此低電阻區域之分布也恰與地表泥火山錐之分佈位置一致,顯示 三維地電阻方法可以清楚描繪泥漿通道所形成之低電阻率範圍。另外由連續的觀 測結果顯示,在觀測期間(2007年12月30日至2008年4月11日),泥火山A 有逐漸呈現休眠狀態之趨勢,在地表上已無泥漿噴發,相較於所測得之三維時序 地電阻等值面影像,其低電阻區明顯縮小,此一變化可能由於泥漿逐漸乾燥所導 致。

與草地實驗場比較,泥火山實測之電極增加到 80 根,在測量上出現較多雜 訊,在測量時由於電流太小無法通過地層,自動變換電流後儀器多半使用極限值 100mA 的電流輸入,由於自然狀態中本來就有許多不均值的物體,有可能是因為 電流太小(100mA)而導致攜帶雜訊太多。顯示三維電極陣列佈線在測量範圍過大 時易造成較多雜訊,必須逐一檢視原始訊號濾除雜訊。

5. 結論

本研究採用回字型逆時針電極陣列方式進行監測,以獲取最佳反饋訊號,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。初步結果顯示可能之垂向及橫向之低電阻區域分佈,反應可能之泥漿通道,且位於北側之較高的泥火山A,低電阻所代表之泥漿通道區域在觀測期間(2007年12月30日至2008年4月11日)有逐漸縮小之趨勢,呈現逐漸乾涸之傾向。較同一時期之泥火山A而言,泥火山B之低電阻率區域範圍要大的很多,顯示泥火山B較泥火山A要活躍。另外,泥火山b在地表形成主副兩個噴發口,然而由地下地電阻率等值面分佈研判,主副噴發口之泥漿來源為同一泥漿通道,而主副噴發口之位置也約略與1.20hm-m及1.80hm-m等值面所形成之兩個泥漿通道分佈位置一致。顯示三維地電阻影像能有效的呈現地下構造之分佈即時續的變化。然而由於輸出訊號較小,造成較大的雜訊的影響,增加實驗之困難度及解析度的降低。未來我們將持續進行本區之三維地電阻研究,並嘗試併合二維及三維資料進行大型反演算,以提高影像之解析能力。

参考文獻

Archer, G. E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Trans. Am. Inst. Min. Metal. and Petro. Eng., 146, 54-62.

Bolt, B. A., 1993, Earthquakes, W. H., Freeman, New York, Vol. XIII, p.331.

Bonilla, M.G., 1975. A review of recently active faults in Taiwan. U.S. Geological Survey Open-File Report, no. 75-41, 58pp.

Coggon, J. H., 1973, A comparison of IP electrode arrays, Geophysics, 38, 737-761.

Fechner, T., 2005, SensInv2D-Manual., Geotomographie. Inc.

Hsieh, S.H., 1970. Geology and gravity anomalies of the Pingtung Plain, Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, no. 13, 76-89.

Lacombe, O., Mouthereau, F., Angelier, J., and Deffontaines, B., 2001. Structural, geodetic and seismological evidence for tectonic escape in SW taiwan.Tectonophysics, no.333: 323-345.

Narayanpethkar, A. B., Vansanthi, A., Mallick, K., 2001, Possible relationship between temporal electrical resistivity variation and occurance of the earthquake of 30 September 1993 in Latur region, Maharashtra, India., Current Science, Vol.18, No. 9, 1224-1231.

Simandoux, P., 1963, Mesures dielectrique en milloux poreux, application a mesure des saturations en eaux, etude du comportement des masifs argileux, Rev. de l'institut Francais du Petrole, Supplementary issue.

Sumner, J. S., 1976, Principles of induced polarization for geophysical exploration: Elsevier Scientific Pub. Co.

Tsan, S.F. and Keng, W.P., 1968. The Neogene rocks and major structural features of southwestern Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, no. 11, 45-49.

Wang, S., 1976. ERTS-1 satellite imagery and its application in regional geologic study of southwestern Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.13,37-57.

中國石油公司台探總處(1992)高雄-屏東地質圖(1:100,000), 中國石油公司 出版。

楊潔豪、游峻一、陳平護 (2001) 1999 年台灣中西部集集地震地電阻變化,九十年度中國地球物理年會暨學術研討會, p201~207。

游峻一、楊潔豪、陳平護 (2000)地震前後車籠埔斷層(草屯段)之電性變化, 集集大地震特集, p123~126。

耿文溥(1981)台南以東丘陵區之地質。經濟部中央地質調查所彙刊,第1號, 1-32頁。

宋國城 (2003) 有關旗山斷層的一些新觀察。九十二年度中國地球物理學會年會

暨學術研討會論文摘要。

陳力齊,2007,應用地電阻測量方法於環境監測與實驗室入滲試驗技術之研究, 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系所碩士論文。

胡植慶(2004)高屏地區活動斷層之衛星定位系統測量。2004 年台灣活動斷層 與地震災害研討會,7685p.

沈里俊(2003)利用 GPS 衛星測量在高雄屏東地區地殼變形觀測之研究。國立 台灣大學地質科學研究所碩士論文。

成果自評

本研究針對三維地電阻影像探測進行一連串研究,發現若經仔細的設計測線 排列方式,可對地下目標物進行三維之影像掃描,並呈現連續影像,對未來災害 監測、斷層探勘、污染監測等具有極大之用處。然而由於本研究所使用之儀器設 定固定為二維模式,要轉為三維模式使用因受限於電極位置無法於儀器設定上任 意調整,導致無法輸出較大功率,因此探測深度有限,目前僅能到約三公尺深左 右,雖理論上加大陣列尺寸即可獲得較大探測深度,但加大陣列卻也增加了雜 訊,因此愈增加測深在現階段仍有瓶頸,亟待未來利用可任意設定電極輸出模式 及位置之儀器解決此一問題。



出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 96-2116-M-041-002
計畫名稱	結合三維連續性地電阻剖面影像技術與透地雷達資料於烏山頂泥火山地下 構造與旗山斷層活動性長期監測之研究
出國人員姓名	張竝瑜
服務機關及職稱	嘉南藥理科技大學環境資源管理系助理教授
會議時間地點	2007.12.10-2007.12.14 美國舊金山
會議名稱	2007 美國地球物理年會秋季會議
發表論文題目	A Long Term Observation of Resistivity Variation at the Wushangting Mud Volcano Site in Southwestern <mark>Taiwan</mark>

一、參加會議經過

ニ、

本人此次出席於美國舊金山所舉辦之美國地球物理年會秋季會議,並於會中發表過去兩 年來針對高雄燕巢屋山頂泥火山之地電阻研究成果。此次發表之研究成果係針對 2006-2007 年間,泥火山之二維地電阻研究監測提出監測成果及結論。由於 2006 年 12 月 26 日於恆春地 區發生規模達到七級之恒春地震,使得本區地電阻在地震前後呈現明顯之變化。也與相關之 學者交換對於本研究之看法,對於未來之研究方向修正,有極大之收穫。

此次參加之議程主要為近年來新興之近地表地球物理(Near Surface Geophysics)探勘領 域之議程,近年來地球物理之應用,逐漸由原先之油氣探勘工程外,逐漸轉向防災工程與環 境科學之應用領域,相關之研究學者與論文也逐漸增加。也因此 Near surface geophysics 領域在近兩年之美國地物年會中已成為一個固定之議程。此次本人另還參加 near surface geophysics group 的歡迎午宴,會中議程之負責人 standford 大學的 Rosemary 教授也針對 未來近地表地球物理探勘之研究方向提出一些看法,並提供 CUSHI 等水資源研究計畫對於近 地表地球物理領域合作研究之機會,另外也改選出下一屆議程之負責人 Rugter 大學之 Slater 教授。Slater 教授也針對其應用地球物理技術於生物環境工程研究之遠景,提出個人看法。

三、與會心得

整體而言,目前近地表地球物理領域之發展頗為多元且迅速,國外已有許多學者及學生 積極從事不同應用領域,如污染整治工程,災害監測、生物技術、醫學工程之研究,國內這 種跨領域之研究卻略顯不足。 由此次之會議議程與眾多研究學者研究方向來看,目前跨領域(例如防災規劃、環境監 測、污染整治、生物工程、醫學工程)利用高解析度地球物理技術之應用越來越多,此一新領 域卻少有研究學者參與。一方面由於國科會之既有補助多集中於傳統主題,如地震及斷層研 究,一方面也缺乏誘因鼓勵此種跨領域之新興研究提出,國內如何克服此種架構上之困難, 鼓勵更有彈性之跨領域研究,實為國家科學政策未來之一個難題?

A Long Term Observation of Resistivity Variation at the Wushangting Mud Volcano Site in Southwestern Taiwan

Chang, Ping-Yu¹ and Chen, Li-Chi² ¹Dept. of Environmental Resources Management, Chia-Nan University, Taiwan pingyuc@mail.chna.edu.tw <u>₽</u>Dept. of Environmental Engineering, Chia-Nan University, Taiwan richchen2100@yahoo.com.tw

ABSTRACT

The mud volcano is a geomorphic feature formed by gases and fluid gushing through fault fissures at the mudstone area. The extensively eruption of fluid in mud volcanoes in the Yanchao area of southwestern Taiwan reveals the activities of the active Chishan Fault. However, there are no direct evidence showing the relationships between erupted gas volumes and fault activities. Through the time-lapse resistivity monitoring in the area, we hope to provide useful information to evaluate the fault activities. Our in-field monitoring site is located at the Wushangting Preservation Zone, which are on the Chishan Fault line in Yanchao. The measuring period is from July 2006 to May 2007, measuring frequency is once a week in the first month and is decreased to about once a month in the following months. The average resistivity at the research site is between 3.36 to 9.43 Ohm-m. During the period, the major changes of resistivity are located between the surface and a depth of 3-m. On December 26th, 2006, three earthquakes occurred as high as 7.0, 7.0, 5.1 and 5.8 at the Richter scale outside the sea of PingTung county, about 100 km southwest from the monitoring site. After the earthquakes, the resistivity is found to be raised up over 20 Ohm-m between the surface and a depth of 3-m. There are a lot of reasons that may cause the changes of resistivity, for example, the temperature, the humidity, the earthquake activities and its subsequent influence, i.e., gas or fluid emission from the subsurface. After examine the weather records during the monitoring period, we suggest that the decrease of resitivity in the monitoring site is most likely to be the subsequent influence of the earthquake activities. Currently, we are continuing the resistivity monitoring surveys and hope to provide more data in order to be compared with the previous observation