

台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學科

作品名稱：斷層附近地下水透露的地震信息

學 校：臺北市立建國高級中學

作 者：周 瑛

作者簡介



我是周瑛，從小我立志想做科學家。兩年前，我抱著學習的態度，參加了第一次科展。也實踐了一個小小的夢想。這是我第二次參加，無論成功與否，對我而言都是意義非凡。因為我知道，只要參加過必能增長自己的經驗與心得。

斷層附近地下水流動透露的地震信息

Abstract

Earthquakes are results of rapid sliding of two crystal blocks around fault inducing seismic motions. Huge disasters caused by large earthquakes as the Ji-Ji Earthquakes occurred on 21st September 1999 show importance of earthquakes forecast. In our country and foreign countries, there appeared not a small number of reports suggesting there are clear precursors of ground water and electro- magnetic changes amount other numerous phenomena. Recently there are reports that point out the possibilities to investigate slight motion of ground water near active faults using electro-magnetic instruments. In order to investigate the problem more in detail a simple laboratory experiment is designed to study the electric field induced by the simulated water flow. The electric field changes are compared with at without water flow. It is shown that there appeared electric potential changes of an order larger than measurement limits. The preliminary laboratory experiments indicate usefulness for the research on the properties of ground water motion during earthquakes occurrence process, and that monitoring the flow of ground water near active faults is useful method in the earthquake prediction.

摘要

近年來科學家從事地震研究，發現地震前斷層附近地下水流以及電磁場會發生變化。但或因位置不確定，或因變化量甚小而不易量測。本研究針對上述地震預警中兩項重要的關鍵—水及電，嘗試製作電極，並利用室內模擬地下水流動與野外斷層的電位量測，檢測斷層活動期間電場的變化。其結果顯示，當地下水因地殼受擠壓而流動時，可明顯觀察到電場的變化。這表示藉由本實驗測量地震發生前的電位變化，可監測地震前板塊應力的改變，進而提供地震可能發生的資訊。

壹、前言

古人不明白地震成因乃至引發種種聯想；現代學者陸續發現地震前兆，但實際地震預警卻過於微小而難以量測。本研究嘗試合併地震預警中極為重要的關鍵—水及電，進行地下水流動與電位變化的研究，以了解地震訊息。

921集集大地震發生至今已逾兩年，但是造成巨大人員傷亡以及財物損失至今仍令國人心有餘悸。從地質學的觀點來看，台灣恰好位於不可避免的地震斷層帶，歷史上也曾記錄了數次造成慘痛傷亡的大地震。人類在經歷一次次的大地震後不禁要問：「如此強大的能量釋放，難道事前都沒有任何徵兆或信息嗎？」

古代中國人覺得地震前微小震動所引起的低頻地鳴如牛鳴，因而認為地震是由於「地牛翻身」的緣故；無獨有偶的是，古代日本人發現地震前河川中大量的鯰魚出現異常活動，由於不知其原因，也附會於地下的大鯰魚活動。甚至希臘人看到水井在一夕之間暴漲或乾涸等，產生種種聯想不勝枚舉，在在都說明了地震前像地動、水位異常變化的可能，但都因過於微小而難以量測。

921集集大地震後，相關的研究報告指出，地震發生半個月前，地球磁場和地下水曾發生明顯的變化。事實上，板塊運動發生時，斷層活動引發地下水變化，其水位高度、水溫、及所含礦物質濃度都有十分明顯的變化。然而從前偵測地下水的技術未臻發達，故對於地震前地下水的流動趨勢未十分了解，所以很少有人對地殼孔隙中水流動所造成的電位變化做探討與進行模擬研究。本實驗透過模擬地下水流動，研究地下水流動與電位的關係，並觀察造成的電位變化，進而推估地震前板塊受壓情形以為地震預警之參考。

貳、研究方法

- 自製電極
- 進行地下水模擬實驗
- 類比野外實驗作數據分析

一 實驗裝置的製作、準備

1.自製電極：

參考自然電位的資料得知，若直接使用裸露銅棒測量電壓值，會有數值變化快速，十分不穩定的現象，因此不將銅條和土壤作直接接觸，而以石膏作為兩者之間的媒介。根據電極的材料和介質的種類，自製不同的電極〈圖一〉。



圖一 自製石膏電極
此為銅—石膏電極，規格為 2cm*2cm*3cm

2.訂作電極：(No.1 , No.4)

外層以 PVC 灰色水管隔離外層土，下層用石膏封底，但不封死(以便電解液流出)，內層正負極分別使用 Ag、AgCl 電極，中間注入 AgNO_3 電解液即完成〈圖二〉。



圖二 訂作電極
此為銀—氯化銀電極、電解質為硝酸銀溶液

二 進行模擬實驗

本實驗針對地震發生前地下水異常之流動現象，進行量化的電位計測分析。由於地下水的異常流動在含水層〈砂層〉有較明顯的變動，因此利用模擬箱堆積不同種類的砂或黏土層，設計出一套由實驗箱的砂層端注水，而由另一端流出的實驗設備。

三 資料整理分析

進行資料統整時，因為必須測量相當多的次數，像是求標準偏差值、或是處理幾個具代表意義的數據時，觀測的誤差、儀器本身的精密度以及數值的安定程度都要特別列入考量。

參、室內實驗

- 測量電極的靈敏度

- 測量電極的分極程度
- 測量電場的安定程度
- 模擬地下水對土壤電位值的影響

一 在長形海棉內放入兩個電極，這是模擬電極插入土壤中時的情形。將此裝置放入電解質溶液中，待其吸足水後測量電壓值。再讓海棉橫向形變，這時水會在海棉中移動後流出。觀察此時的電位值可以發現在待測載體發生形變，同時造成內含水流動時，電位值的改變。這可以作為以下模擬實驗電位值變動的參考依據。實驗過程如下圖所示：圖四計測電表之電位值為 161.5mV。圖五為海棉受外力而形變後的電位值，為 2960.0mV。可知水流動造成的電位變化是明顯的。



圖三 海棉內吸足水時量測的電位值



圖四 施加應力使海棉內水流動所量測的電位值

二 1. 電極的評估：

利用可以人工控制的實驗環境，確實了解實驗設備的精確程度。實驗環境如下：購入培植土製作環境後，將 12 個不同材質的電極埋入土中，使之不露出土面；將電極配對，使用三用電表，測量一對電極不同時間之電位差值。經過評估之後，決定以 (α, β) 、 (a, b) 此兩種電極搭配訂作之銀電極作為日後正式實驗時所用之電極。在一定的環境條件下，只要小心進行實驗，使用電極 (α, β) 、 (a, b) 計測，靈敏度能達到 3mV。

2. 訂作模擬箱：

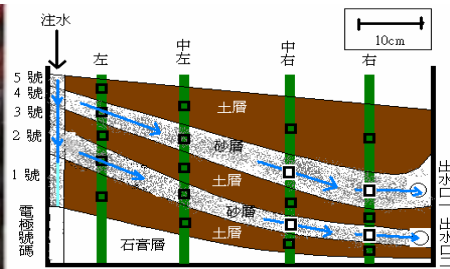
訂作一個壓克力實驗模擬箱〈圖五〉，在距右邊 5cm，距底面分別 5cm 與 15cm 之處各鑽一個直徑為 1cm 的小洞。

3. 環境製造：

由於不易找到露天可供進行長期觀測之電極埋藏地點，且考慮到挖洞與埋藏電極之不易，因此使用石膏粉、培植土、以及砂粒進行電極的埋藏。首先鋪上一層石膏，使其形成左高右低的斜坡，然後把電極依高度網綁在木棒上，放第一層土之後插入，接下來放一層砂粒，且砂層要通過小洞；接下來再放一層泥土，然後放一層砂粒，也一樣要經過小洞。最後放最表層的土壤。但在最左邊要放入一層由砂粒形成的斷層帶，以利水流注入。



圖五之一 實驗模擬箱



圖五之二 實驗模擬箱〈示意圖〉

最下層為石膏〈作成傾斜地形〉，而地層由下至上分別為土層、砂層、土層、砂層、土層，上面的紅色部分為電線，木棒為固定電極之用。

三 實驗一、測驗電極的接觸電位：

使用另外一個未埋入土中的銅條—食鹽—石膏電極，以及一根銅條，測量出表面各電極間的電位差，以及將標準電極埋在欲測量電極旁邊時與其電位差〈表一〉。藉此了解電極的安定性。

表一：接觸電位記測資料

流動時比未流動時，電位大致上都有減少 20mV 的現象

數值 (mV) 配對電極	未流動		流動	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
V左—Vs	139.3	0.26	111.4	22.74
V中左—Vs	64.0	0.10	47.7	0.33
V中右—Vs	-101.8	0.25	-120.3	0.73
V右—Vs	-42.5	0.05	-59.9	1.57

四 實驗二、測量電場的安定性：

選擇兩個電極，測量 60 分鐘之間每 15 秒鐘電位差的變化，以及使水流動後的電位差改變，藉此了解土壤電位的安定程度與受到水流的影響。

五 實驗三、測量模擬地下水流動對電位差值變動的影響：

使用先前的模擬箱，在未加水時與加水時，測量每兩配對電極的電位差值。記錄完成後將編號為左五的電極電位設成 0mV，相對於此電極，計算模擬箱中其他電極的對應電位值。如此即能將模擬箱中的數據變成電位場的形式，進而歸納在透水層與不透水層中，水流對於電位差值變動的影響。

肆、實驗結果

- 有水流動時，電位形成不同的分佈；但在相同環境條件下，電位的分佈是穩定的。因此可檢測電壓穩定度，建立量測標準。
- 水流動時的電位值比未流動時增加約 19%。隨著有、無水的流動，電位的分佈呈現有規則的變動。因此可判定是水流動所造成的。

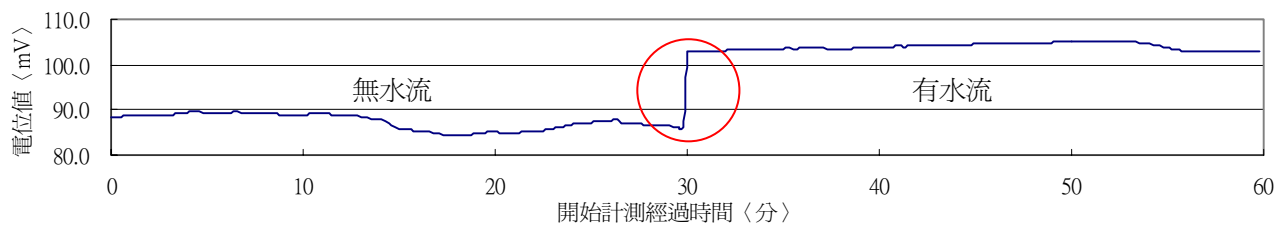
一 實驗一：

水流動時的安定度隨著測點不同而異，最好的情形與未流動時的安定度差不多。實驗二中不同種類的測量結果如附錄中表2-1上段所示。當使用標準電極時，接觸電位差的標準偏差值在0.05 mV至0.26 mV之間；但同時計測銅電極的數據，其值卻擺動不定。此為土壤和銅

的接觸電位不安定之故；用自製電極計測，電位值約有3mV的幅動。加水後的接觸電位差如表2-2所示。比較數據後，可斷言接觸電位差在有無水流的情況下是有明顯差異的。電位在水流動時與不流動時的差，自左至右分別為-7.0、-16、-10、-19mV。這個差異性是否因電極過大，自身與土壤間的接觸電位仍未可知，但兩兩電極之間的電位差可以校正接觸電位差，而成爲可以參考的數據。

二 實驗二：

測量電場安定性實驗結果如圖六。由原始數據可以發現水未流動與流動時，平均值與標準偏差值分別爲 87.4mV < 1.7mV>、103.9mV < 0.8mV>，所以此電極十分穩定。兩者的情況，數據的幅動程度都在 3mV 以內，但是流動時的比未流動時，電位多出 16.4mV，約爲標準偏差的十倍，大過數據幅動狀況。因此水流動會產生電位的變化。



圖六 電場安定度的實驗結果

三 實驗三

上述測量模擬地下水的流動對電位差值變動的結果，由表二可知，在含水層〈砂層〉的電位變化較爲明顯。隨著水的流動，電位的變動是有意義的。

未 流 動	水平	左	中左	中右	右
	垂直				
	5號	0	13.1	-42.6	29.2
	4號	9.1	10.8	19.5	22.5
	3號	1.4	12.8	12.4	3.7
	2號	7.5	14.6	37.5	41.1
1號	-8.6	10.6	12.7	-5.4	
流 動	水平	左	中左	中右	右
	垂直				
	5號	0	-13.9	-66.6	-150.3
	4號	-16.1	-18.1	-31.7	-48.8
	3號	3.3	15.1	17.2	22.6
	2號	-12.9	-14.9	-41.8	-43.8
1號	7.0	-14.9	-10.5	-12.6	
流 動 未 流 動	水平	左	中左	中右	右
	垂直				
	5號	0	-27.0	-24.0	-179.5
	4號	-25.2	-28.9	-51.2	-71.3
	3號	1.9	2.3	4.8	18.9
	2號	-20.4	-29.5	-79.3	-84.9
1號	15.6	-25.5	-23.2	-7.2	

表二 電位變化圖〈單位：mV〉

流動與未流動時，電位分佈與距離有關，另外含水層〈2號、4號〉在水流動時的變化較爲明顯。

伍、討論

- 模型尺度與實際自然狀況的類比
- 考慮自然狀況時板塊擠壓的應力
- 實際量測自然環境時，因數據變化極微小，必須使用非分極電極

一 由於模擬實驗為比例重現自然狀況的模型，因此進行室內模擬實驗與野外實驗的數據並無法直接比較結果。各種尺度比例如表三所示。此外也有必要考慮流動電位係數。若加上這些比例關係，室內模擬實驗即可實際運用於野外觀測。

	室內	野外	比值
長度	50cm	50km	10^5
流速	0.1cm/s	10^4 cm/s	10^3
孔隙大小	10^5	10^{-11}	10^6

表三
模型尺度與實際比例的關係

二 被指為前兆現象的地下水及電磁場變動實際上是不可分的。例如有人提出在斷層附近應力增加的同時，因膨脹效果使孔隙發生變化，造成地下水流入等異常現象的模型。所以在模擬實驗中，尚須考慮電場變動等相似的實驗，才能解決真正的問題。

三 爲了比較室內實驗與野外觀測的數據，本研究同時挑選陽明山溫泉附近進行野外實驗，所使用的電極為1m長的鍍銅鐵棒。地點選於地表為黏土質土壤之處。因爲接觸電位相當不穩定，因此在土壤黏度較高之處計測，必須使用非分極電極。

陸、結論

- 實驗發現，不同材質含水層所量測到的電位值會有明顯的差異
- 模擬結果顯示，當含水層中水流狀態改變時，電位變化可達20%
- 測量地震發生前的電位變化，可監測板塊應力的改變

綜合上述模擬與觀測結果，結論如下：

- 一 電極安定度的分析結果，非分極電極以銅—石膏電極，分極電極以磨光銅條最爲穩定。安定度在0.1—1.0mV左右，適用於模擬實驗的數據測量。
- 二 隨著土壤狀態，接觸電位時而變大，因此整個實驗不能間斷，必須當日完成。
- 三 本來每個實驗都必須校正電極，但由於電極已被埋入無法屢次計測，只好使用相對電位值計算。
- 四 在實驗中，無論水在流動或未流動時，電位差值的幅動均在0.8-1.7mV之間，說明電場是穩定的。
- 五 地下水流動狀態會顯現在電場的變化上，因此可使用檢測微小斷層附近地下水變化的手法。
- 六 地震前斷層附近水流動產生的原因可能是應力增加或是伴隨應力增加而產生的膨脹現象。所以應評估是否在模擬環境中考慮此類變因。

縱使地震前存在許多自然變化的徵兆，但是在實際須長期監測之際，礙於儀器精度不足，總是十分困難。本研究進行室內實驗，嘗試模擬地下水流動，測量流動電位。雖只是模擬實驗，但在相關的研究方面卻是新的嘗試。因爲到目前爲止地下水與電磁場兩種敏感的前兆現象都只單獨被研究。實際實驗指出，電場計測配合地下水流動檢測的範圍相當廣，因此想要更深入探討地球電場的分佈與地下水流動的關係，就可以使用檢測微小斷層附近之地下水變化的手法。

柒、參考文獻

木村政昭

動物在地震發生前的徵兆與預知
水文出版社，【2000】
麥瑟斯·萊維；馬里歐·薩爾瓦多利
大地怒吼：地震和火山的故事
時報文化，【1997】

G.H.Bolt；M.G.M.Bruggenwert
土壤化學A基礎篇
中央圖書出版社
固相之表面電荷：黏土礦物、有機物的帶電

Murray B.Mcbrid
土壤環境化學
國立編譯館

Liu , J.Y., Y.I. Chen, S.A. Pulinets, Y.B. Tsai, Y.J. Chuo (2000) Seismoionospheric Signatures Piror to the September 20, 1999, Taiwan Earthquake, Geophys. Res. Lett.,27.