

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
台灣隱沒碰撞系統之地熱與地磁研究
Heat Flow and Magnetic Study of Taiwan-Subduction Collision

計畫編號：NSC88-2611-M-002-022-ODP

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：徐春田 國立台灣大學海洋研究所

一、中文摘要

熱探針撞入沈積物時所產生之摩擦熱會影響到所測溫度的準確度，尤其是在推算溫度梯度時溫度的解析度更需達 0.001°C 以上才行。另外再根據探針在瞬間加熱後溫度隨時間下降的曲線變化可求取熱導係數的大小。本研究以 1959 年 Carslaw 及 Jaeger 之解為基礎，第一階段對背景溫度、熱容比、起始溫度及熱導係數等參數做回歸以外插法求取背景溫度，第二階段則是取溫度隨時間倒數的變化斜率倒數做為熱導係數的初始值並疊代求取最終之熱導係數，所推導之方法除與已知之理論模型比較外並應用在沖繩海槽及台灣西南海域所收集之熱流資料，證明這種兩方法均較 Villinger 及 Davis (1987) 所提的更為有效與實際。

關鍵詞：溫度梯度，導熱係數，計算流程

Abstract

The frictional heat following the entry of the probe into the ocean floor sediments may greatly affect the accuracy of temperature measurements. High resolution (at least 0.001°C) is particularly important for determining temperature gradients. After removing the frictional heat from the penetration disturbance, the conductivity of the sediments may be obtained by fitting the heating pulse decay. Based on the temperature decay function given by Carslaw and Jaeger (1959), first, the penetration decay is fitted by regression with respect to parameters of ambient temperature, thermal capacity of the cylinder probe, initial rising temperature of the probe above ambient temperature, and the thermal conductivity of the sediment. The ambient temperature during the heat pulse decay can be removed through extrapolation of the regressed function. Second, the initial guess of thermal conductivity of the sediment is estimated by the slope of the measured temperature rise versus $1/t$. Through several iteration, the slope is

finally converged to the correct conductivity. The developed reduction algorithm has been tested on the synthetic data and the measured heat flow data in the Okinawa Trough and offshore of southwestern Taiwan. Results favored our methods in computing and practical consideration compared with those proposed by Villinger and Davis(1987).

Keywords: Temperature Gradient; Thermal Conductivity; Reduction Algorithm.

二、緣由及目的

海底之熱流值是由所測得之溫度梯度與熱導係數之乘積，溫度梯度量測的困難在於當探針插入沉積物時摩擦所生的熱必須靜待一段時間（至少 30 分鐘）才會消失，否則會影響到溫度量測的準確性，這一等待增加了操作探測船的困難度及時間的浪費，其次的困難則是在於熱導係數的測定，這在 1970 年代以前均是以在量測溫度的位置順便做沉積物岩心的採樣並攜回至實驗室量測其熱導係數，這種方法的缺點是沉積物在搬運的過程中，其所含的水分、所受的壓力及溫度均與原來所在的環境不一樣，甚至會因為搬運時的疏忽使沉積物之顆粒鬆散，在實驗室量測時產生極大的誤差，因此目前多採用在海底原處直接量測的方法，包括持續加熱 10 分鐘 (Jemsek et al., 1985) 及脈衝加熱 10 秒鐘 (Lister, 1979) 的方法，後者的優點是省電，在海底需重複施測

時變得極為重要的考慮因素。循此研究方向，本年度計畫的主要目的如下：

1. 推導熱探針量取海底沉積物溫度、溫度梯度及熱導係數的計算方法。
2. 至海上測試前述方法之可行性。
3. 持續收集台灣西南海域之地熱資料。
4. 持續改良與研製新一代測熱流之海底熱探針。

三、結果與討論

筆者與台大海洋研究所張弘毅技正所研發設計的海底熱探針便是採取瞬間脈衝加熱的方式進行，利用第一階段探針插入沉積物的 10 分鐘內量取溫度及第二階段放熱後溫度下降的曲線（圖一）來推測沉積物的熱導係數。雖然所根據的數學理論及解析解，早已在 1959 年由 Carslaw 及 Jaeger 所導出，其解必需以數值積分法演算，至於實際的應用則更加困難，迄至目前為止能實際推導出可行的資料處理步驟亦僅見於 Villinger 及 Davis (1987) 的文章中而已，筆者經過一年的研究提出一種計算溫度及熱導係數的新方法，(1)針對量測溫度梯度的困難，我們是將 Carslaw 及 Jaeger 的解對 T_B (背景溫度)、 α (熱容比)、 T_0 (起始溫度) 及 K (熱導係數) 等參數做回歸並外插求取穩定時之溫度梯度，由於所選取的迴歸函數的恰當，僅需用到探針插入後五分鐘的資料便可外插求取沉積物原來的溫度，並可將所得結果與迴歸所得之 T_B 相比較。

(2)至於熱導係數的計算，我們發現在海洋沉積物的熱導係數範圍內（0.4~1.6W/mK），由溫度—時間的斜率倒數關係所求得的 K ($K=Q/4\pi \cdot \text{斜率}$) 無論在任何時刻均是正確值的上限（圖二），因此我們採取的策略是以收集所得之熱衰減曲線之斜率倒數做為 K 之初始值，代回上述式子之理論解並求出新的斜率倒數（即得新的 K 值）並做 K 值修正，再代入該式求取更新之斜率，再修正如此經由四、五次疊代使得最終收斂之 K 值。這些求取溫度梯度及熱導係數的過程與 Villinger 及 Davis (1987) 所提出的計算流程相比較，筆者所提出的計算步驟更加直接簡單且更為準確。圖一是說明熱探針插入不同熱導係數 (K) 的海底沉積物經過短暫之加熱（或摩擦生熱）後，其溫降之理論曲線與熱導係數大小之關係。圖三是利用筆者所推導之回歸方程式可將探針第一階段插入沉積物的極短溫度資料外推至穩定時（30 分鐘以後）之溫度以利於推算地溫梯度。圖四係針內之電阻絲加熱後之溫度衰減曲線，經由疊代計算後收斂出完全準確之熱導係數（與理論模型比較）。所推導之方法除與前述之已知理論模型比較外並應用在沖繩海槽及台灣西南海域所收集之熱流實測資料以檢測其效果（圖五及圖六）。

四、計畫成果自評：

1. 配合我們設計製造之熱探針量取海底熱流的方式而推導出求取溫度、溫度梯度及熱傳導係數之計算流程，經與標準模型比對及應用於現

場收集資料之結果均可證明這一計算流程非常有效是一創舉。

2. 新設計之探針經測試結果，溫度之解析度已可達 0.0001°C 較一般文獻上所提的 0.001°C 高達 10 倍。
3. 西南海域收集了 8 處新的熱流資料。
4. 沖繩海槽之 89 站熱流資料應再重新分析，目前進度稍有落後。

五、參考文獻

- Carslaw, H.S., and Jaeger, J.C., 1959. *Conduction of Heat in Solids*, 2nd ed., Oxford University Press, London, 1959.
- Jemsek, J., Von Herzen R., and Andrew P., 1985. In-situ measurement of thermal conductivity using the continuous-heating line source method and WHOI outriggered probe. Tech. Report WHOI-85-28, Woods Hole Oceanographic Institution, 73pp.
- Lister, C.R.B., 1979. The pulse-probe method of conductivity measurement. *Geophys. J.R.Astron. Soc.*, 57, 451-461.
- Villinger H., and Davis, E.E., 1987. A new reduction algorithm for marine heat flow measurements. *J. Geophys. Res.*, 92, 12846-12856.

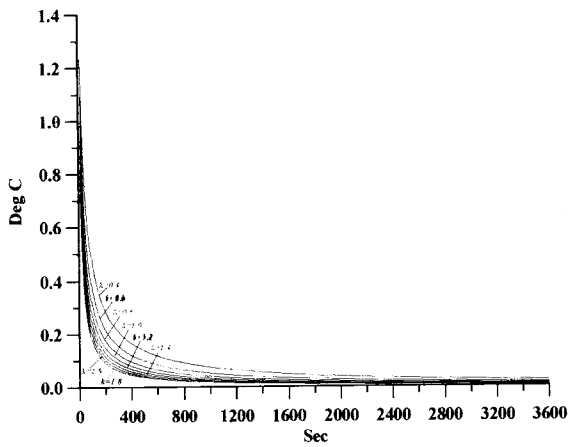


圖 一

放熱後溫度之下降因K 之不同而不同

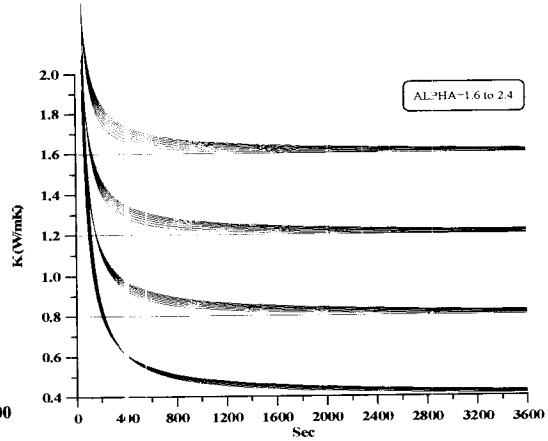


圖 二

斜率所得之K 均為理論值0.4, 0.8, 1.2, 1.6 之上限

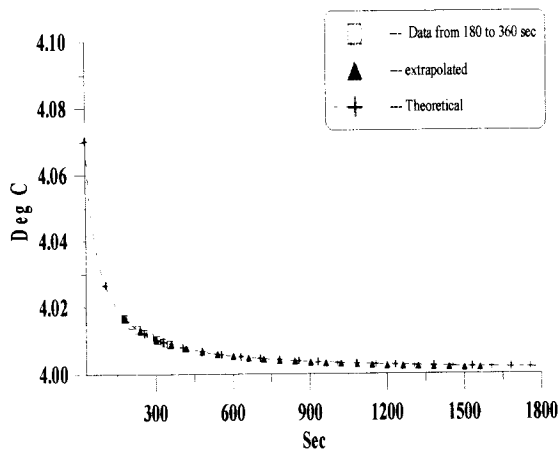


圖 三

由180 至360 秒之資料外插與理論值之比較

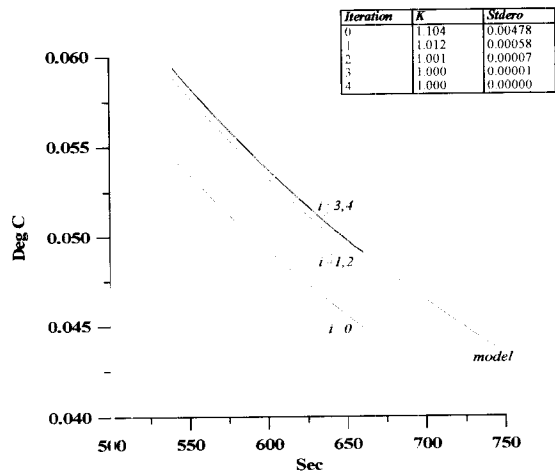


圖 四

經4 次疊代後所求得之K 值及其所產生之溫度曲線與理論值相比較

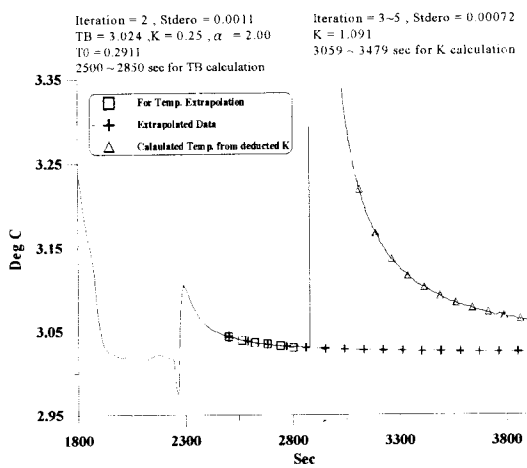


圖 五

於沖繩海槽西南端熱流測站之測試結果

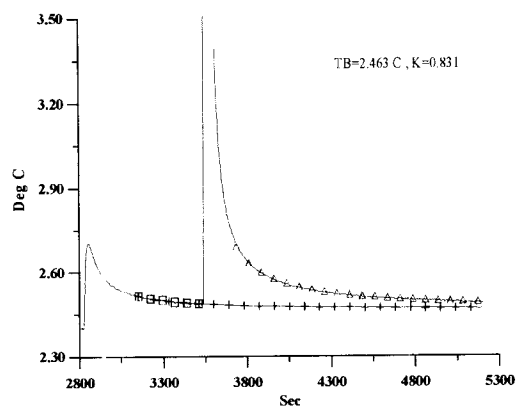


圖 六

於台灣西南海域熱流測站之測試結果