

深海顛倒溫度計之使用與維護

溫良碩 劉康克

中央研究院 地球科學研究所
國立臺灣大學 海洋研究所

三、深海顛倒溫度計之維護

(一)深海顛倒溫度計之收存方法

(二)深海顛倒溫度計之拆卸與修復

1. 氣密

2. 未充氣

3. 漏氣

4. 如何去除深潛水的氯鹽

5. 清洗

四、結語

五、附註

六、參考文獻

第一部分 (a) 深海顛倒溫度計之收存方法

中華民國七十九年七月

第二部分 (b) 深海顛倒溫度計之拆卸與修復

第三部分 (c) 深海顛倒溫度計之拆卸

第四部分 (d) 深海顛倒溫度計之拆卸與修復

(e) 清洗方法與去氯鹽方法

目 錄

一， 前言	---1
二， 深海顛倒溫度計之操作與使用	---1
(一)深海顛倒溫度計之種類	---1
(二)深海顛倒溫度計之選擇	---2
(三)深海顛倒溫度計之操作	---3
(四)深海顛倒溫度計測量數據之校正與處理	---5
三， 深海顛倒溫度計之維修	---7
(一)深海顛倒溫度計之故障情形	---8
(二)深海顛倒溫度計故障之原因與修護	---8
1、氣泡	---9
2、卡桿	--12
3、溢流	--14
4、如何去除儲槽內的氣體	--15
5、滯流	--18
四， 結語	--20
五， 謹謝	--20
六， 參考文獻	--20
圖一 (a)防壓式顛倒溫度計, (b)受壓式顛倒溫度計	--21
圖二 (a)防壓式顛倒溫度計適用範圍	--22
(b)受壓式顛倒溫度計適用範圍	
圖三 顛倒架裝於採水瓶上之狀態	--23
圖四 (a)溫度計於顛倒時, 水銀脈在正常斷點分裂	--24
(b)溫度計於顛倒時, 水銀脈在儲槽口分裂	

	(c) 溫度計於顛倒時，水銀脈在迴轉區內分裂	--24
	(d) 水銀脈在儲槽口以內分裂，且支桿內之水銀也未流出	--24
	(e) 水銀脈在正常斷點分裂，但支桿內之水銀未流出	--24
圖五	(a) 水銀溢流，儲槽內有一大氣泡	--25
	(b) 水銀溢流，主柱內之水銀脈沒有分裂	--25
圖六	(a) 顛倒溫度計正立時，氣泡應在之位置	--26
	(b) 顛倒溫度計內氣泡停留於不應在之位置	--26
圖七	利用熱吹風機將儲槽加熱，使水銀推著氣泡向前進	--27
圖八	(a) 運轉區內 a b c 三點示意圖	--28
	(b) 於加熱過程中，水銀脈不可冒然進入主柱內	--28
圖九	(a) 經過甩動後，分離之水銀體充溢根球並到達刻度為零之位置，表示氣泡仍主要在運轉區內	--29
	(b) 經過甩動後，分離之水銀體未充溢根球，表示氣泡已由運動區延伸到達主柱內	--29
	(c) 氣泡起點不在運動區內	--29
圖十	儲槽內有氣體，造成溢流現象	--30
圖十一	水銀體經過加熱及甩動過程後，於根球口留下一小氣泡	--31
圖十二	具有鵝頸構造之受壓式顛倒溫度計於正立時，儲槽內氣泡會在的位置	--32
附錄一	顛倒溫度計選用基本資料表	
附錄二	顛倒溫度計測量數據表	
附錄三 a	防壓式顛倒溫度計校正資料	
附錄三 b	受壓式顛倒溫度計校正資料	
附錄四	顛倒溫度計損壞記錄表	

附錄五 頸倒溫度計校正計算電腦程式

附錄六 頸倒溫度計使用記錄和計算實例

許多研究者在測量水溫時，會將水溫計之管子浸入水中之後，再把溫度計的感溫元件（即感溫水銀球）取出，使感溫水銀球之水溫由外觀之溫度來推算出水溫。但是，由於水溫計上的溫度刻度並非感溫元件所對應的溫度，因此我們仍需要另備溫度計（或稱溫度表）才能得出正確結果。另一方面在使用此種方法時，則必須要考慮到水溫計之感溫元件與水溫之溫度差，所以這兩項溫度的差值便是水溫計所需要校正的。

由於科學研究上許多不同類別的溫度計都有其不同的優缺點，所以本文的目的，即在於進一步研究如何能較為完全的保證正確的測量。對於此一目的，我們使用了在技術上十分普遍及簡單的感溫水銀球溫度計，因為它幾乎可以說是應用最廣泛的工具。希望這種觀念能被研究者們所接受，並用這種方法，去使各類別溫度計能更準確地在實際的狀況下表現出一個可靠且一致性的數値。如果有可能的話，在這裡要指出的是，

二、深海頸倒溫度計之操作與使用

(一) 深海頸倒溫度計之操作

1. 故障與難以避免的錯誤 (Faulty and Reversible Thermometers)：要操作深海

頸倒溫度計，首先要了解其工作原理。這裏將討論到溫度計之溫度計的溫度表示方法，以及其操作方法。在這裏我們將會遇到許多問題，這些問題

一. 前言

海洋學者常利用溫度與鹽度做為基本參數以解析水團之特性與動向。然而隨著電子科技之進步，使得測量水團溫度的工具由早期之深海顛倒溫度計轉為 CTD 等儀器。但是，由於 CTD 上的溫度及壓力感應器在使用期間可能會產生偏差，而我們仍需使用傳統工具〔也就是顛倒溫度計〕才能查驗出這種偏差；另一方面在使用訊錘採水時，如：使用南森瓶或大型採水瓶，可藉以獲得樣水採集點的準確溫度及深度。所以使用深海顛倒溫度計測定水溫仍有其必要性。

由於以往國內海上作業使用顛倒溫度計皆是師徒口口相授，而沒有文字的記述，以致一些寶貴的經驗無法完整的保存下來；另外，對於初次使用者也沒有一定的步驟及資料可供研究，所以我們便毛遂自荐撰寫本手冊以提供使用及維護的人員參考，希望這樣能使溫度計有正確的使用與維護方法，並使得顛倒溫度計經常保持在最佳的狀況，以獲得更加可靠且有一致性的數據。如果有疏漏之處，也請讀者指正。

二. 深海顛倒溫度計之操作與使用

(一) 深海顛倒溫度計之種類

1. 防壓式顛倒溫度計 (Protected Deep Sea Reversing Thermometer, 簡稱 DSRT)

一支防壓式深海顛倒溫度計是由主溫度計與副溫度計所組成，它的外殼是封閉的玻璃管，主溫度計的兩端各為儲槽 (reservoir) 及根球 (bulb)

，由毛細管連接起來，溫度計在製造時，內部空氣大部份被抽掉，所以水銀可以自由流動，如果裡面空氣太多時，就會形成氣泡而影響流動。溫度計在正立時，水銀充滿儲槽經過毛細管到達根球。溫度計在顛倒時，水銀在支桿(appendix)前端的斷點(breaking point)分開，然後下流到根球及主毛細管內，此時現場溫度即被紀錄下來。詳細之結構圖請參閱圖一(a)。

2、受壓式顛倒溫度計(Unprotected Deep Sea Reversing Thermometer)

受壓式顛倒溫度計和防壓式相似，但是它的玻璃外殼有一端沒有被封閉，以致於在海中時，儲槽會受到海水的壓力而吸壓，所以水銀柱會升高，因而所測得的溫度比實際要高，高出的溫度就可以用來推算現場水壓，進而可計算水深。詳細構造見圖一(b)。

(二)深海顛倒溫度計的選擇

當我們在海上使用顛倒溫度計時，第一個所要面對的問題便是，如何才能適切的選擇不同測定範圍的溫度計，以便獲得較高的測定精密度。比如說，在三千公尺深的海水，它的水溫大致在 2°C 左右，如果我們選用範圍在 $-2\text{~}30^{\circ}\text{C}$ 的防壓式顛倒溫度計量測水溫，雖然也可以得到數據，但是其準確度遠不如使用範圍在 $-2\text{~}6^{\circ}\text{C}$ 的溫度計來得好；另一方面來說，如果選用範圍在 $-2\text{~}20^{\circ}\text{C}$ 的受壓式顛倒溫度計來量測水壓的話，不是讀不到數據(由於超過刻度)便是溫度計由於受壓過大而爆裂了。要決定使用何種溫度範圍的溫度計，可以使用圖解；以本省附近為例，先要選定一具代表性的垂直溫度變化曲線(見圖二)，我們稱之為

"T-T(Z)"，接著劃出溫度計的範圍。以-1~20°C 的溫度計來說，防壓式的可用於~200m 以下的深度，然後再對每一支受壓式溫度計作 "T=T(Z)+QZ/10" 之圖形(見圖二)，其中 Q(°C/Bar) 是受壓式溫度計的壓縮係數，若是 0~20°C 的受壓式溫度計則只能用在 200~1500m。所以在使用前必需審慎的參考基本資料，再加以適切靈活的運用，即可獲得準確的水溫資料，又能保護儀器不致於受損。有關目前國科會海研一號貴儀中心所新購的各溫度計的基本資料及適用範圍，請參閱附錄一。

(三) 深海顛倒溫度計的操作

1、出海前準備：

準備記錄紙(見附錄二)，選取溫度計並檢查水銀是否正常及校正資料(見附錄三)是否齊全。

2、船上使用前準備：

檢查溫度計與採水瓶上之顛倒架是否操作正常，溫度計如有故障情形，則應立刻填寫損壞記錄(見附錄四)，以便返回實驗室後加以修復。

3、配合輪盤採水器使用：

《1》將溫度計，裝進顛倒架(reversing rack)中。上下以橡皮管(外徑約一點五公分)塞住，以免受震。

《2》將三至四副類倒架以倒立之狀態(儲槽在上)加裝於已裝在輪盤採水器之採水瓶上(見圖三a)。

《3》錘測(Cast)開始前，在卡定採水器上下蓋時，將裝好溫度計之類倒架旋轉後，將固定索扣於上蓋之拉索上(見圖三b)，此時溫度計應為正立狀態。

《4》錘測時，在每一預定採集深度停留五分鐘以便讓溫度計與週遭海水達成溫度平衡後，再啓動船上採水器控制按鈕使溫度計旋轉一百八十五度(見圖三c)，以記錄現場水溫，此時再等候一分鐘才可移動採水器。

《5》錘測結束後，收取採水器上收時，特別注意不要撞及船沿，以免溫度計受劇烈撞擊而毀損。當輪盤採水器要放置在甲板上時，要十分輕緩，避免震動，以免溫度計的水銀從儲槽漏下而影響讀數。待取上甲板十五分鐘達溫度平衡後，再分別由兩人讀取主、副溫度計內水銀柱所顯示之溫度並記錄之，如果二人所讀之主溫度計數值差異在 0.02°C 以上時，應重新判讀。

4、配合信錘採水器之使用：

《1》將溫度計，裝進類倒架或南森瓶溫度計架中。上下以橡皮管(外徑約一點五公分)塞住，以免受震。

《2》錘測開始前，將裝好溫度計之採水瓶裝設於水文鋼纜上。此時溫度計應為正立狀態。

《3》錘測時，打下信錘使溫度計翻轉並記錄現場水溫。但要注意信錘到達第一個有溫度計之探水瓶時，探水瓶在水中至少要停留五分鐘，以便讓溫度計與週遭海水達成溫度平衡。

《4》錘測結束後，收取探水瓶上船時，特別注意不要撞及船沿，以免溫度計受劇烈撞擊而毀損。待取上甲板十五分鐘達溫度平衡後，再分別由兩人讀取主、副溫度計內水銀柱所顯示之溫度並記錄之，如果二人所讀之主溫度計數值差異在 0.02°C 以上時，應重新判讀。

(四) 深海顛倒溫度計數據之校正與處理

在顛倒溫度計旋轉一百八十度後，分離之水銀流進主柱及根球內，並記錄當時之現場溫度。但是因為溫度計內水銀柱的高度會受到外界溫度之影響，這是由於玻璃及水銀的膨脹係數不同之故，如果要精確的得到現場水溫就必須將這些因素考慮進去並加以修正，才能得到正確之水溫。

以下將敘述防壓式及受壓式顛倒溫度計之校正公式，附錄五將列出校正之電腦程式以供參考，附錄六列出使用顛倒溫度計的記錄和計算實例。

1. 防壓式顛倒溫度計

$$C_P = \frac{(T_A - t)(T_A + V_0)}{K - 1/2(T_A - t) - (T_A + V_0)}$$

C_p ：防壓式溫度計修正值。

T_A ：主溫度計之讀數。

t ：利用校正曲線校正後之副溫度計讀數。

K ：為水銀與玻璃之熱膨脹係數比。

V_0 ：為 0°C 時在儲槽及主柱內之水銀體積(以溫度刻度表示)。

3、標準水溫度之計算

則實際水溫(T_W)應為：

$$T_W = T_A + J + C_p$$

J ：為主溫度計之刻度校正值(參見附錄三 a)。

2、受壓式類倒溫度計

$$C_u = \frac{(T_w - t)(T_B + V_0)}{K - 1/2(T_w - t)}$$

C_u ：受壓式溫度計修正溫度。

T_w ：實際水溫(由防壓式類倒溫度計得來)。

t ：利用校正曲線校正後之副溫度計讀數。

K ：水銀與玻璃之膨脹係數比。

V_0 ： 0°C 時在儲槽及主柱內之水銀體積。

T_B ：主溫度計之讀數。

則受壓式類倒溫度計之水溫相對值 T_u 應為：

$$T_U = T_B + J + C_U$$

J：主溫度計之刻度校正值(參見附錄三 b)。

3、樣水深度之計算

我們可以利用下式計算求得溫度計在顛倒時的深度，若要更精確的計算，可利用附錄五之程式。

$$D = \frac{T_U - T_W}{\rho \times g \times Q}$$

D：樣水深度。(m)

Q：受壓式溫度計之壓縮係數。 $(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$

ρ ：水柱平均密度。 (kg/m^3)

g：重力加速度。 (m/sec^2)

三、深海顛倒溫度計之維修

由於操作時的意外，保養不當，或是製造時之缺陷，顛倒溫度計往往會發生故障。為解決故障的問題，下面將詳述常見之故障情形及其修護的方法。切記在進行任何修復步驟時，手邊一定要有放大鏡(約五倍)以便觀察溫度計內水銀活動之情形。

(一)顛倒溫度計故障之情形

以下是顛倒溫度計常見之故障情況：

1、主柱內之水銀脈不在斷點分裂。如果水銀是在儲槽頸處分裂，則支桿內以及斷點到儲槽口內的水銀會流光(圖四 b)，使得所讀到之數據偏高。如果水銀脈在支桿斷點前面或迴轉區內分離(圖四 c)，則在其分裂處後之水銀根本不會流動，而使得所讀之數據偏低。

2、主柱內之水銀脈在儲槽口分裂(圖四 d)，但支桿內之水銀並沒有流出或者有殘留，則會使得所讀之數據偏高。另一種情形是水銀脈雖然在斷點處分裂，但是支桿內之水銀未流出(圖四 e)，這樣的話會造成所讀之數據偏低。

3、水銀溢流。也就是在顛倒狀態時，水銀由根球延續到儲槽，此時儲槽內會有一大氣泡(圖五 a)。這可能是在水銀脈分離後，又從儲槽漏下來。

4、主柱內之水銀脈沒有分裂，則根本就無數據可判讀(圖五 b)。

5、主柱內之水銀在輕拍之後才會流動，或根本不流動。

(二)顛倒溫度計故障之原因與修護

1. 氣泡 (Bubble)

最常見的故障原因是在主柱內之水銀脈中有氣泡存在。正常情況下，顛倒溫度計在正立時(即儲槽在下方)，主柱內之氣體應該在水銀脈的最上方才對(圖六 a)，但是由於受到震盪或是在顛倒時不當的操作，而使氣體竄入水銀脈中形成氣泡(圖六 b)，當顛倒時，水銀脈會在氣泡處分裂。若將顛倒溫度計以倒立狀態長期置放也可能產生上述之情形，所以當錘測完畢時，必需在讀完溫度後迅即將顛倒溫度計正立放置。要記住不管在搬運或收存時，顛倒溫度計一定要置於正立狀態，除非氣溫低到攝氏零度以下。每當水銀脈有不當的分裂時，必須先假定是由於氣泡所引起，然後再進行下列修護步驟，如果不能解決，才可能是其它原因造成。若是受壓式顛倒溫度計發生故障，則在執行修護步驟前，可將玻璃外殼拿掉後再進行。

如果分裂點在儲槽頸以上，可用下列步驟除去氣泡。主要的方法是將儲槽加熱，使水銀膨脹將氣泡向上頂，然後讓主柱中水銀脈下降，與下面的水銀相匯合，再冷卻儲槽，使水銀收縮下降，這時保持氣泡位置不變。經過反覆的加熱和冷卻，逐漸將氣泡起點移到迴轉區，再藉著旋轉、甩動等方法，使氣泡進入主柱而終於因此到達根球中。詳細步驟如下：

《1》將顛倒溫度計水平拿著，持住重心所在，然後用熱吹風機或酒精燈將儲槽加熱，使得儲槽中之水銀因受熱膨脹(見圖七)，而頂著氣泡在毛細管內推進。在加熱時慢慢的旋轉顛倒溫度計，這樣才會使加熱均勻且不會太快，一旦儲槽摸起來燙手的話立即停止加熱，要不然加熱過劇

的話會使溫度計破裂，造成有毒的水銀蒸氣外洩。加熱的目的是使由儲槽膨脹出來的水銀脈頂著氣泡向前移動，到達圖八 a 所示迴轉區內 a、b、c 三點。要注意在初加熱過程中不要讓水銀脈擠入主柱內，由於迴轉區之毛細管口徑較主柱內徑大，所以一旦水銀進入主柱其流速會遽然加快(圖八 b)。如果因加熱過快使膨脹出來的水銀脈與前端分裂之水銀相會合，使內膨脹壓力過大，就會導致器材損毀。特別注意在加熱過程中，要持續的利用放大鏡觀察溫度計內水銀的動態。如果分裂點在儲槽頸部，則無法一次加熱就使水銀脈進入迴轉區，要進行第(2)(3)步驟後，再反覆加熱。如果分裂點在更低的地方，可能會被軟木塞擋住，所以加熱時必需更小心。

《2》當完成初步加熱後，將顛倒溫度計持正，使原先在根球與主柱內之水銀向下流動與加熱過之水銀相會。然後慢慢將儲槽冷卻，先用嘴輕吹，再用溼毛巾輕撫，最後再浸入冰水槽中，這樣會使水銀受冷而再凝聚起來。當水銀脈相接時，氣泡會被推到靠玻璃壁，當水銀收縮時，上面的水銀會從氣泡旁邊流下去。注意！千萬不要將熱溫度計立刻放入冰水中，這樣玻璃可能會破裂。

《3》如果氣泡已經在迴轉區，則當儲槽完全冷卻後，用左手握住正立之顛倒溫度計迴轉區的位置，使迴轉區的螺旋軸與左前臂呈一直線，然後利用手腕迅速向身體內側轉動九十度使得顛倒溫度計呈水平狀態，再用放大鏡檢查主柱內之水銀脈是否在氣泡處分裂，如果是的話，將顛倒溫度計向倒立相位傾斜一些，使分離之水銀向根球流動。用左手旋轉是為了配合顛倒溫度計的左螺旋迴轉區，使得水銀脈受到離心力更容易在氣泡處分裂，而不是在斷點分裂。這時候仔細觀察水銀流進根球之情形，如果水銀充溢根球並且延伸到刻度為零的位置(圖九 a)，則再進行第

二次加熱，然後再進行前述(2)及(3)之步驟，讓氣泡起點跑到c點之位置。如果水銀沒有充溢根球而留下一小空間的話，氣泡起點之位置應已在c點了。

如果氣泡不是在迴轉區(如圖九c)，則上述的九十度旋轉的方式就有所不同。應當用手(左右手都可以)垂直握住溫度計，前臂向上，然後整個前臂向外側向下揮去，使溫度計變為水平，這樣可使水銀脈在氣泡處分裂。

有些溫度範圍很低(如 -2°C ~ 6°C)的溫度計，它的主柱內徑很小，在九十度旋轉後，水銀脈很不容易分離進入主柱，所以在一轉完之後，立刻用右手水平地握住溫度計，將迴轉區上面一點的地方(即由迴轉區進入主柱的那一段)，在左手指節上輕敲，使水銀脈較容易進入主柱，並使氣泡向前擴張。

《4》將溫度計倒立，如果在氣泡以外之水銀沒有沈入根球的話，則抓著儲槽的位置向下甩一下(好像用體溫計一樣)，使主柱內的水銀沈入根球，再將儲槽加熱使水銀進入主毛細管並到達根球外緣喉部，然後將顛倒溫度計顛倒，這樣水銀應會流出支桿並進入根球。當水銀流至根球與其內之水銀相會時，氣泡就會被擠到根球邊緣。

《5》現在將顛倒溫度計拿好，稍微傾向正立位相(水平四十到四十五度)，兩手分別握住儲槽及根球的位置，像是要倒蕃茄醬一般，先向下甩幾下後再突然停止，這樣可使主柱內之水銀向下擠，而將氣泡往上推，當氣泡在兩分離水銀脈中間時，將顛倒溫度計向顛倒位相傾斜約四十五度，使分裂之水銀與根球內水銀再交會，這樣會使氣泡跑回原來的位

置(即根球的最外部頂端)，顛倒溫度計便完成修復工作，並可繼續於海上使用。

2、水銀卡在支桿(Mercury Sticks in the Appendix)

當我們將顛倒溫度計顛倒時，常常會發現支桿內的水銀並沒有流出來(如圖四)，這種情形發生的可能原因是；(1)水銀中有雜質，所以產生化學親和力，(2)製造時回火的不好，以致使用一段長時間後，毛細管產生變形或裂縫，而使水銀被留置其上，(3)在儲放或運送顛倒溫度計時，不慎讓顛倒溫度計底部撞擊到堅硬的物體上，使支桿因受到水銀壓力產生而破裂現象。

當將顛倒溫度計顛倒時，若發現毛細管內水銀脈分裂不當，就算是支桿內充溢著水銀，仍要先假設故障原因是由於氣泡所造成的，然後按照第一節所述的步驟反覆三至四次，如果發現仍有水銀殘留在支桿內時，才能認定是由支桿缺陷所造成的。通常水銀卡在支桿之情形可因其嚴重性概分為下列三項：

[A] 如果從旁輕敲顛倒之顛倒溫度計，會使水銀流出支桿且在正常之斷點分裂，則此為輕微之黏滯，顛倒溫度計仍可在南森瓶上使用，而不會有問題，但不適合用在Niskin採水器(下面會解釋)。

[B] 如果卡在支桿的水銀牢固到需要強烈的敲擊才會下落的話，則顛倒溫度計極需修理，才能在海上使用。

[C]如果不論敲或者不敲，水銀都會不規則的分裂流出支桿且會殘留一些在支桿中的任何地方，則此顛倒溫度計已嚴重損壞，必須送回原廠修護。

幾乎在所有的例子當中，卡桿的情形不論輕微或嚴重，水銀皆會因敲擊而流出支桿，但如果我們用放大鏡去觀察支桿內部的話，仍會發現有極微量的水銀殘留在那兒。當然有時候可能是老兄你將玻璃投影誤認為是水銀微粒，所以在觀察時，要慢慢旋動顛倒溫度計以便從各個角度觀察，以免鬧笑話。

如果輕輕晃動不能使水銀流出支桿，則用放大鏡輕敲顛倒溫度計底部(顛倒狀態)。如果還不行，則用手水平輕握著顛倒溫度計，然後利用軟木槌輕輕敲打根球的位置。這動作會使支桿內的水銀蹦出來，如果以水平方式不成，那就將其倒立後再搥它一下。至於搥擊的力道要多大呢？這可要老兄自行體會了，當然是以不損壞儀器為要項啦！如果實在沒把握的話，則請較資深的人修理，因為搥得過重會使儲槽頸部的軟木塞鬆開導致水銀槽內的水銀沖出來。特別要注意的是，在執行修護工作時，必須在每一次搥擊後，讓水銀重行匯合，然後再進行下一次輕敲，不可連續敲擊。

另外，如果是受壓式顛倒溫度計出毛病的話，最好是不要去除玻璃外殼來執行修護工作。但要注意不要使固定架將外殼上的固定孔撞裂了。若是將溫度計取出來敲，則要特別小心，不能太用力。當受壓式顛倒溫度計去除玻璃外殼時，也可利用火焰加熱支桿到 360°C 使水銀氣化而去除水銀殘體，但是要非常小心，因為過熱會使玻璃破裂而水銀蒸氣逸出造成危險，所以沒把握的話，最好是請專家來處理。

上述第[A]項輕微黏滯性的溫度計可用在南森瓶，因為顛倒時離心力使水銀脈沖向根球，當南森瓶顛倒卡住後，鋼索振動亦可幫助水銀自支桿流出，但使用Niskin採水器時，顛倒架是在中心處翻轉，水銀則受力向兩頭走，這使得支桿中的水銀更不易出來，往往一支正常的顛倒溫度計在受到這種猛烈的轉動時，水銀脈會產生不正常的斷裂，所以絕對不要在岸上或甲板上利用控制器空轉顛倒溫度計。

3、溢流(Flooding)

溢流的原因是由於儲槽內有氣體造成的(如圖十)，如果貯槽內有氣體，則顛倒溫度計可能經常產生溢流現象，但也可能偶而發生。如果顛倒溫度計有卡桿之情形則更容易發生溢流之情形。有時候由於顛倒溫度計顛倒後四週的溫度升得太高，就會產生溢流的情形，這情形是由於溫度計設計不良所致。正常的溫度計，可忍受升溫 40°C ，儲槽中的水銀只會漲到迴轉區，但有的迴轉區的內徑太小，只能忍受升溫 30°C ，而不是由於有氣泡之關係。我們如何判定儲槽中是否有氣體呢？

《1》用低於 5°C 的冷水冷卻儲槽後將顛倒溫度計顛倒。

《2》保持在顛倒狀態，將儲槽加熱到超過顛倒時溫度 $35\sim40^{\circ}\text{C}$ 以上。這時水銀會膨脹而從儲槽進入迴轉區。在正常情形下，水銀脈會在斷點分裂，然後進入迴轉區。

《3》如果水銀沒有分裂，則向下甩動一下，讓分離形成，如果在斷點分裂，則可確定儲槽內沒有氣體。

《4》如果儲槽中有氣體，則水銀根本不會在斷點分裂，而會在氣泡處分裂，而使水銀脈充溢整個主柱，顯示出儲槽內的氣泡所在。

4、如何除去儲槽內的氣體

如果顛倒溫度計的儲槽是與主柱呈一直線的，其儲槽中之氣體可用下列方法予以去除，其方法是盡量將水銀移出儲槽，並使水銀脈與儲槽內水銀分離，然後將儲槽內水銀冷卻、收縮，使氣泡浮到儲槽頸部，再利用第一節所述的方法，將氣泡趕出儲槽。

《1》在一千毫升的大燒杯中用半公分厚七公分寬的泡沫膠做襯裡，如果燒杯是玻璃的話，則在底部鋪上一金屬片以避免溫度計與底部玻璃接觸。放入一些乾冰，然後灌入酒精大約八分滿，再用一些絕熱物體將燒杯包住。另外再準備 $-5\text{--}10^{\circ}\text{C}$ 之冰水槽。

《2》於室溫下將溫度計顛倒，當根球內水銀滿到約五分之四時，將溫度計恢復水平，輕握住溫度計儲槽的部位，然後像用體溫計一般，向下甩一下，再迅速回復水平位置。這動作是使水銀在根球口分離，使水銀聚在根球底部，留下一小段空間在根球口(見圖十一)，然後將溫度計正立，此時根球內水銀應聚在頂端口，不會下降，如果沒有被氣泡卡住反而流入主柱內和其餘水銀交匯，則不要繼續此法。

《3》現在呢，有一些水銀聚在根球底端，而主柱內的水銀脈則駐留在根球口到斷點之間。這時用手持着溫度計中間，呈水平狀，然後用手腕旋轉一百八十度，這樣會使得分離之水銀停在根球，而使另一些水銀回到迴轉區。此時輕輕的搖動或晃動顛倒溫度計，使水銀愈來愈深入迴轉區。

《4》將儲槽加熱，使得其內之水銀膨脹與迴轉區內之水銀相會，然後冷卻儲槽，使水銀約占滿迴轉區二分之一到三分之二的空間。

《5》一隻手將溫度計置於水平或稍微有些向顛倒狀傾斜，然後用另一隻手順著溫度計的長軸方向輕打根球尾端，這樣會使手中溫度計向前移動約一寸，內部的水銀則從支桿流出且在裂點分離。現在向同軸方向甩動溫度計，使得迴轉區水銀向前移到第b點彎處，這樣在正立的時候此區之水銀不會再流入支桿或儲槽。現在將溫度計正立，這時有一些水銀會留在根球，而稍多一些則留在迴轉區，此時支桿必須是空的，且儲槽溫度大約在室溫。

《6》現在先將溫度計正立並置於冷水槽中預冷，然後取出擦掉玻璃外殼上之水珠後再插入超冷酒精槽，拿出拿進兩三次後再將其留在超冷槽中。此時旋轉顛倒溫度計讓其均勻冷卻，並不時輕輕由上往下撞擊觀底。但要特別小心不要使得這兩部份的水銀向下移動，要不然就必須從頭開始了。將溫度計在冷槽壁上及底部輕敲，使儲槽內的氣體向上移動並位於所有水銀之上方。這種超冷處理，只需幾分鐘，溫度計必須時常取出觀察水銀是否凝結在玻璃壁上，如果有凝結現象出現，則停止超冷處理，以免發生危險。

《7》將溫度計從超冷槽取出，然後以正立狀態使其慢慢回復常溫，可用手或是溼毛巾磨擦，但記得不要用加熱的方式，除非溫度已達到攝氏零度以上。也可繼續輕敲，直到看見水銀膨脹進入儲槽頸部。當水銀向上移動進入儲槽時，則可進行前面第一節所述加熱及冷卻步驟以去除水銀脈中之氣泡。如果在受壓式顛倒溫度計中是使用直立式儲槽的話，超冷只能進行幾秒，切不可將儲槽整個浸入超冷槽，如果這樣做的話，則儲槽口部之水銀會凝固，而使水銀不會因收縮而進入儲槽，且在完成超冷手續之後，顛倒溫度計回復至室溫時底部回溫較快而膨脹，頸部的水銀可能仍在凝固態，就會使儲槽內壓增加，導致破損。

具有鵝頸狀儲槽之受壓式顛倒溫度計其去除儲槽內氣體的步驟是不一樣的。當顛倒溫度計正立時，存在於鵝頸型儲槽內之氣體其位置應在儲槽最末端(見圖十二)。而在顛倒時，因氣體擴張，所以仍留在原處，除非輕敲後才會跑到儲槽進口處。其去除步驟如下所示：

《1》在顛倒時，如果氣泡仍在儲槽末端，將溫度計在手肘關節上輕敲一下使氣泡移動到進口處。

《2》現在抓一把碎冰，然後握住顛倒狀之溫度計，冷卻儲槽，使得儲槽內水銀收縮。

《3》現在扶正溫度計大約離水平十度左右，這樣可使得在頸部及主柱內的水銀流回儲槽，可能需要由軸向敲一下受壓式顛倒溫度計，以使其流動，但要注意，不要讓氣泡跑回儲槽末端使其仍留在進口處。

《4》當氣泡的體積縮小約一半時，迅速將溫度計顛倒，並用手指關節將儲槽側面輕微敲擊一下。這將會使氣泡移至進口之前緣，使水銀脹在那兒分裂，而分離之水銀向下移動進入主柱內並向根球前進，而另一些水銀便會充滿儲槽，這時氣泡便跑到頸部前緣。

《5》現在將儲槽小心加熱(顛倒狀態)，使水銀膨脹至頸部處。

《6》現在稍微扶正溫度計，離水平約二十度左右，然後由軸向輕拍一下，加速水銀流動，使得分離的水銀與儲槽內膨脹的水銀相會。這時氣泡會受壓然後滑至咽喉處。這種現象不管用或不用放大鏡都不見得觀察得到。

《7》將溫度計顛倒離水平約十度，再用碎冰冷卻儲槽。稍微顛倒的角度可以確使氣泡不會滑回儲槽造成再次的分裂。受冷卻的水銀，會向儲槽移回並且通過受壓的氣泡，並且將氣泡留置原位。

《8》差不多冷卻一分鐘後，將顛倒溫度計全部顛倒，同時輕敲以增進在氣泡處水銀之分離。

《9》現在再將儲槽加熱。在此二次加熱後，再以第六節所述將氣泡弄回根球。

5、滯流 (Failure to Drain)

有一些顛倒溫度計，除非使用機械方法，否則不能使水銀在顛倒以後再正立時從根球流出。這原因是先天性的，可能是毛細系統過度真空或是水銀及根球玻璃有雜質，所以造成化學或分子鍵結或是形成汞齊，導致根球內水銀向外緣底部移動。一般來說，當溫度計讀數愈低，則正立顛倒溫度計時，只有少部份的水銀從根球向下進入主柱。而使用機械刺激的方法，完全視水銀從根球離開的阻力而定。

《1》假設顛倒溫度計仍正立在瓶上或顛倒於架上之管內，首先用軟木椎輕敲管子，如果這樣無效，則從底部敲顛倒架，架上只有一支時才可如此。如果架上有多支顛倒溫度計，則絕對禁止敲打基座，需將滯流的那支從基座架上取下。

《2》現在用手正立滯流之顛倒溫度計，然後以同軸方向，向下甩。

《3》如果這樣還不能使水銀流出根球，則必須先行清除支桿再進行下一步驟，以免因更劇烈的動作，而造成支桿的損壞。水平放置顛倒溫度計，將儲槽加熱直到少量之水銀膨脹到支桿以上進入迴轉區（前節所說之“a”點）。部份傾斜顛倒狀，然後向下軸向搖動或是輕敲根球底部，然後搖動溫度計，利用游離水銀之惰性，使部份分離之水銀圍繞迴轉區，這樣在溫度計扶正後，水銀便不會回流至支桿，再將溫度計扶正。

《4》現在支桿內已沒有水銀了，正立顛倒溫度計，用槌輕敲儲槽之尾部。再使顛倒溫度計呈水平，然後在正立時以槌撻擊。

《5》稍微扶正顛倒溫度計並甩一下，使正立毛細管內之水銀流回迴轉區。如果水銀不在迴轉區交流，則再將儲槽加熱（顛倒溫度計水平）使得

水銀相交，並使之到達毛細管喉部。現在顛倒顛倒溫度計，朝軸向搖動使水銀流出支桿至根球，然後再繼續如第二節中(5)中所述的步驟。

四・結語

不論當我們使用、維護及保存顛倒溫度計時，應牢記以下幾點：

- 1、顛倒溫度計的構造複雜且容易打破，所以取用時要非常小心。
- 2、當顛倒溫度計在水瓶內或是呈顛倒狀時，才可使之傾斜。
- 3、不論在運輸或保存過程顛倒溫度計都必須正放，絕不可倒放，除非天氣極端地寒冷。
- 4、如果有故障發生，首先檢查是否是由氣泡所引起的。
- 5、如果有大量的水銀在支桿內或其上時，絕不可正立顛倒溫度計，以免損壞儀器。
- 6、定期的檢查、測試顛倒溫度計並記錄之。

五・誌謝：

非常感謝臺灣大學龔國慶先生、郭廷瑜先生予本文寫作及實驗多方指正與提供協助，另外邱淨華小姐之鼎力協助在此一并致謝。此研究是由國科會計劃NSC79-0209-M001-01資助。

六・參考文獻

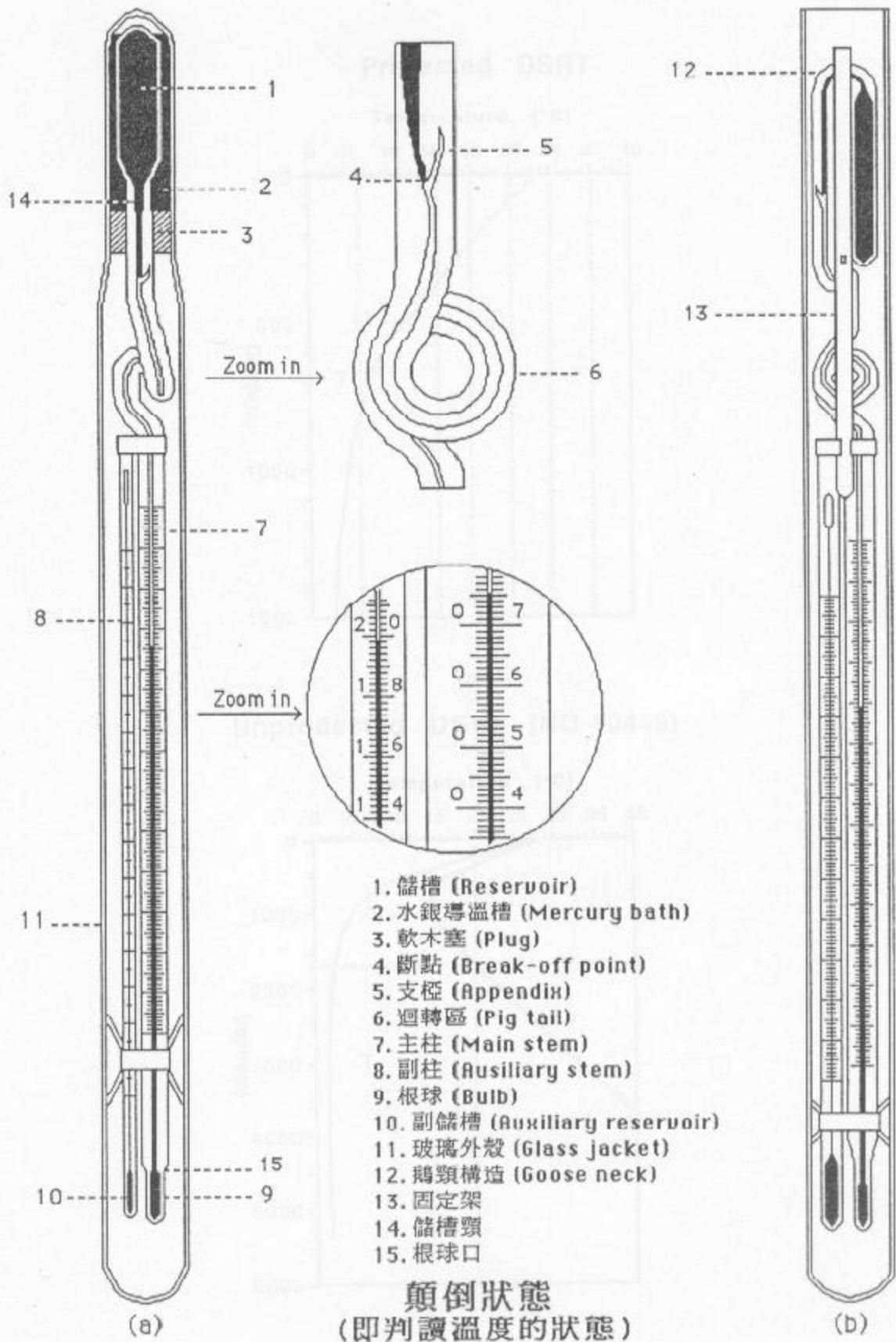
DeCamp, L. E., "Instruction Manual for Obtaining Oceanographic Data" ,
H.O. Pub. No. 607, Third Edition, 1968.

Whitney, G. G., Jr., Notes on Malfunctional Behavior and its Correction in Deep Sea Reversing Thermometers, Woods Hole Oceanographic Institution , Technical Report No. 52-59, 1952.

Whitney, G. G., Jr., Diagnosis and Correction of Malfunctional Behavior in Deep Sea Reversing Thermometer, Woods Hole Oceanography Institution, Technical Report No. 79-68, 1979.

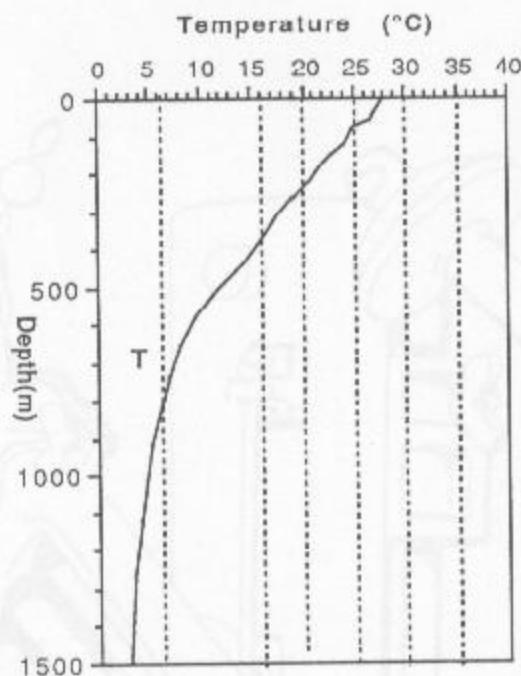
- 
1. 玻璃儲器室
 2. 水銀溫度計存儲室
 3. 玻璃 (Pine)
 4. 玻璃 (深度 -17 度)
 5. 玻璃 (螺旋)
 6. 玻璃 (長管)
 7. 玻璃 (短管)
 8. 玻璃 (導管管)
 9. 玻璃
 10. 玻璃 (儲器室 reservoir)
 11. 玻璃 (玻璃接頭)
 12. 玻璃 (玻璃接頭)
 13. 玻璃
 14. 玻璃
 15. 玻璃口
- 圖四
(壓縮玻璃或壓縮)

下圖(a)為壓縮式深海溫度計 (Protected deep-sea reversing thermometer)
下圖(b)為壓縮式深海溫度計 (Unprotected deep-sea reversing thermometer)



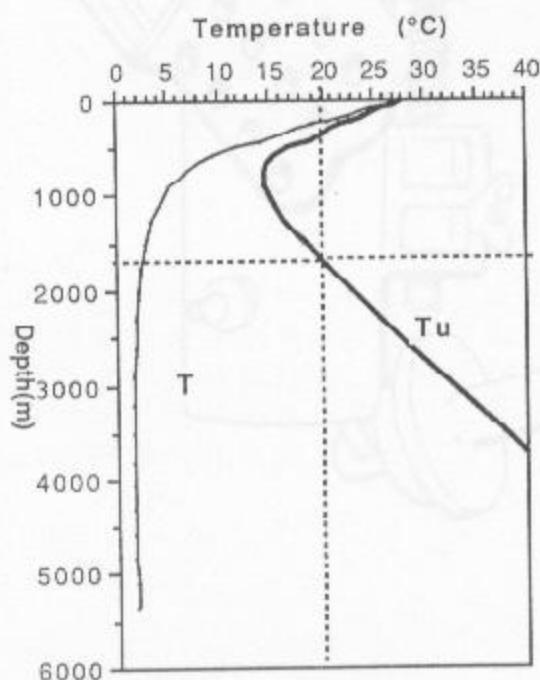
圖一.(a)防壓式顛倒溫度計(Protected deep-sea reversing thermometer)
(b)受壓式顛倒溫度計(Unprotected deep-sea reversing thermometer)

Protected DSRT



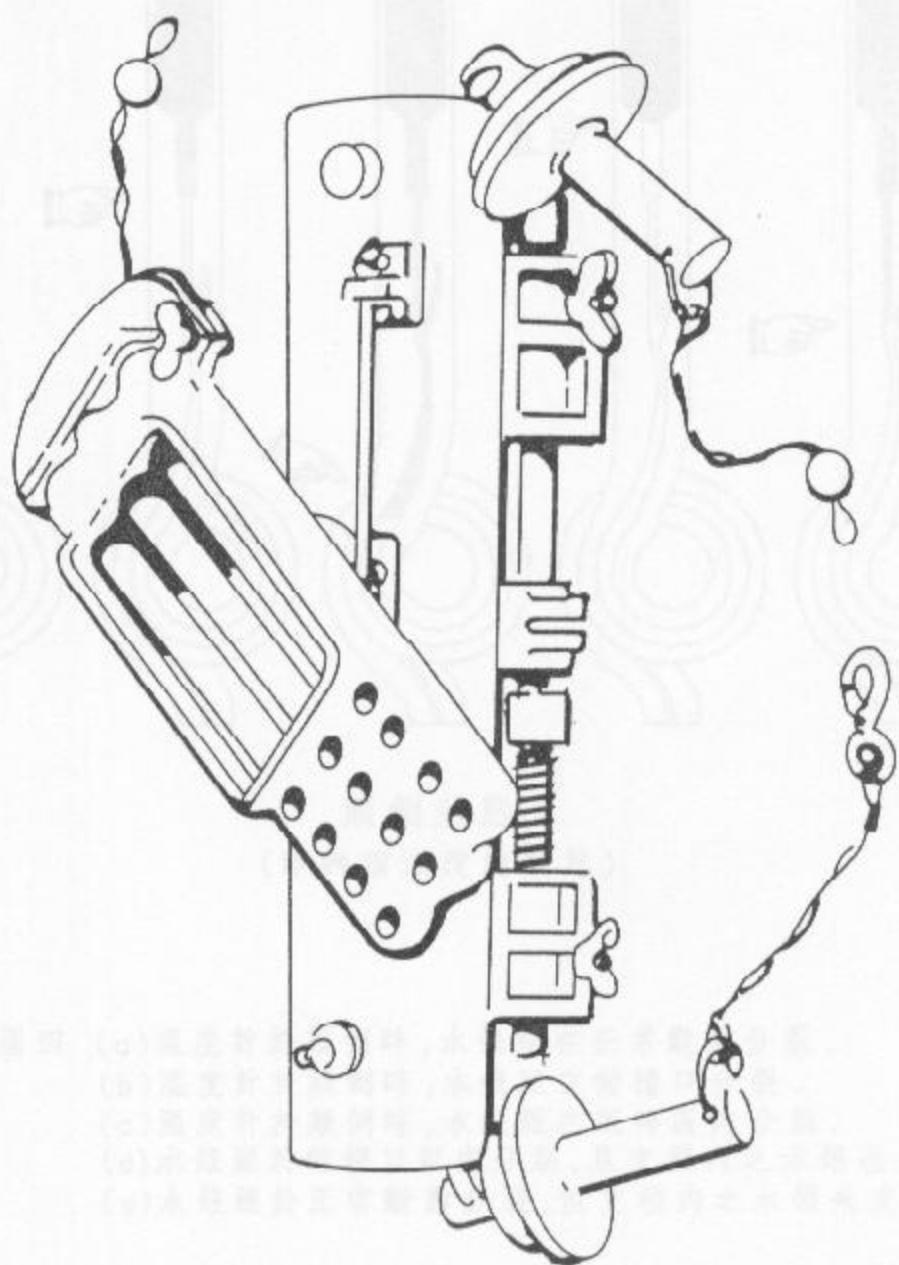
(a)

Unprotected DSRT (NO-10449)

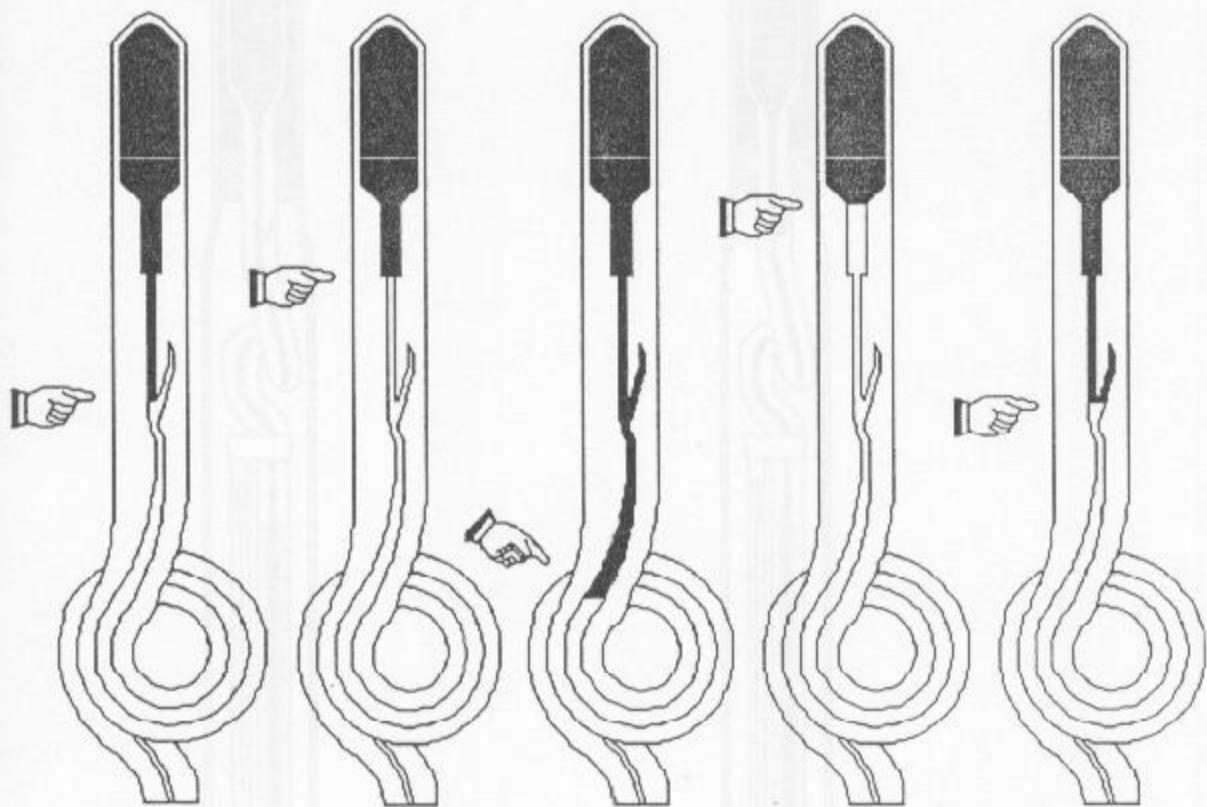


(b)

圖二. (a)防壓式顛倒溫度計適用範圍。
(b)受壓式顛倒溫度計(No.10449)適用範圍。



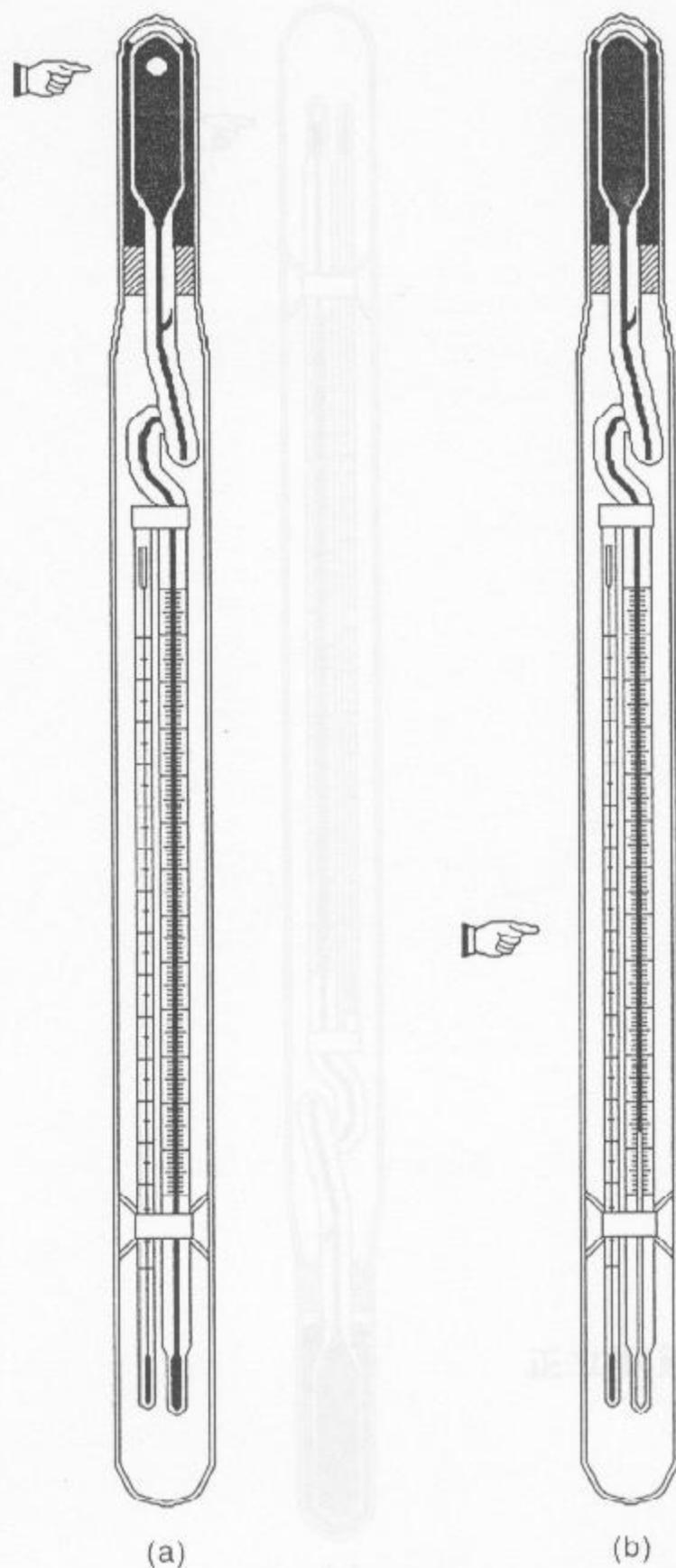
圖三。顛倒架裝於Niskin採水瓶上之狀態。



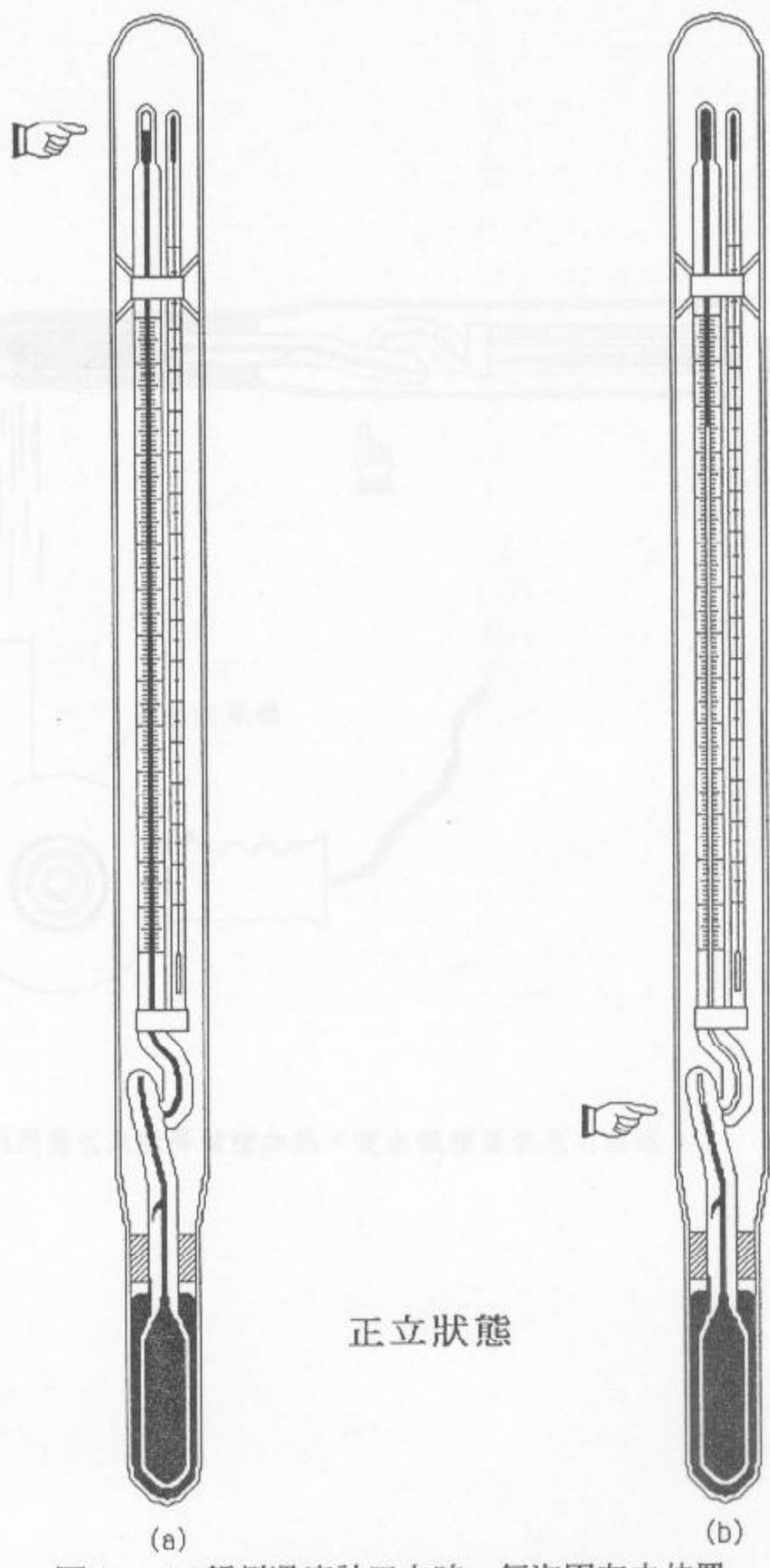
顛倒狀態
(即判讀溫度的狀態)

- 圖四 (a) 溫度計於顛倒時，水銀脈在正常斷點分裂。
 (b) 溫度計於顛倒時，水銀脈在儲槽口分裂。
 (c) 溫度計於顛倒時，水銀脈在迴轉區內分裂。
 (d) 水銀脈於儲槽口以內分裂，且支桿內之水銀也未流出。
 (e) 水銀脈於正常斷點分裂，但支桿內之水銀未流出。

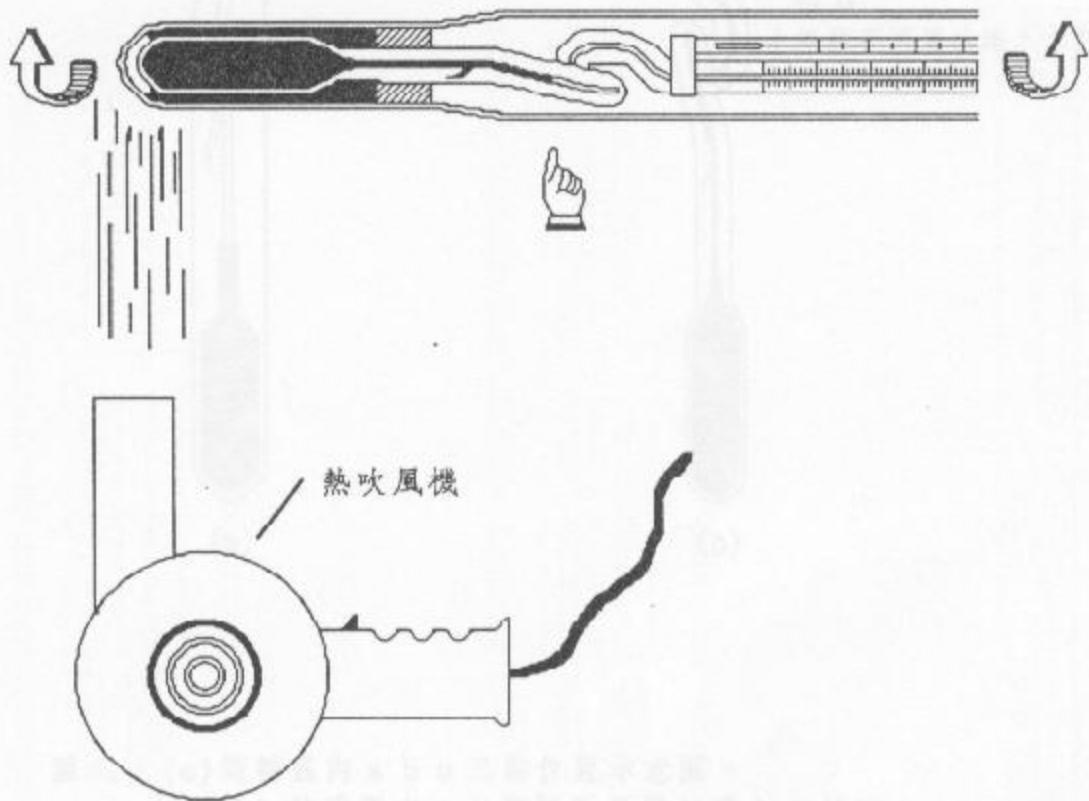
圖五：(a)水銀柱長，儲槽內有一大液泡。
 (b)水銀柱短，儲槽內水銀柱現有分裂。



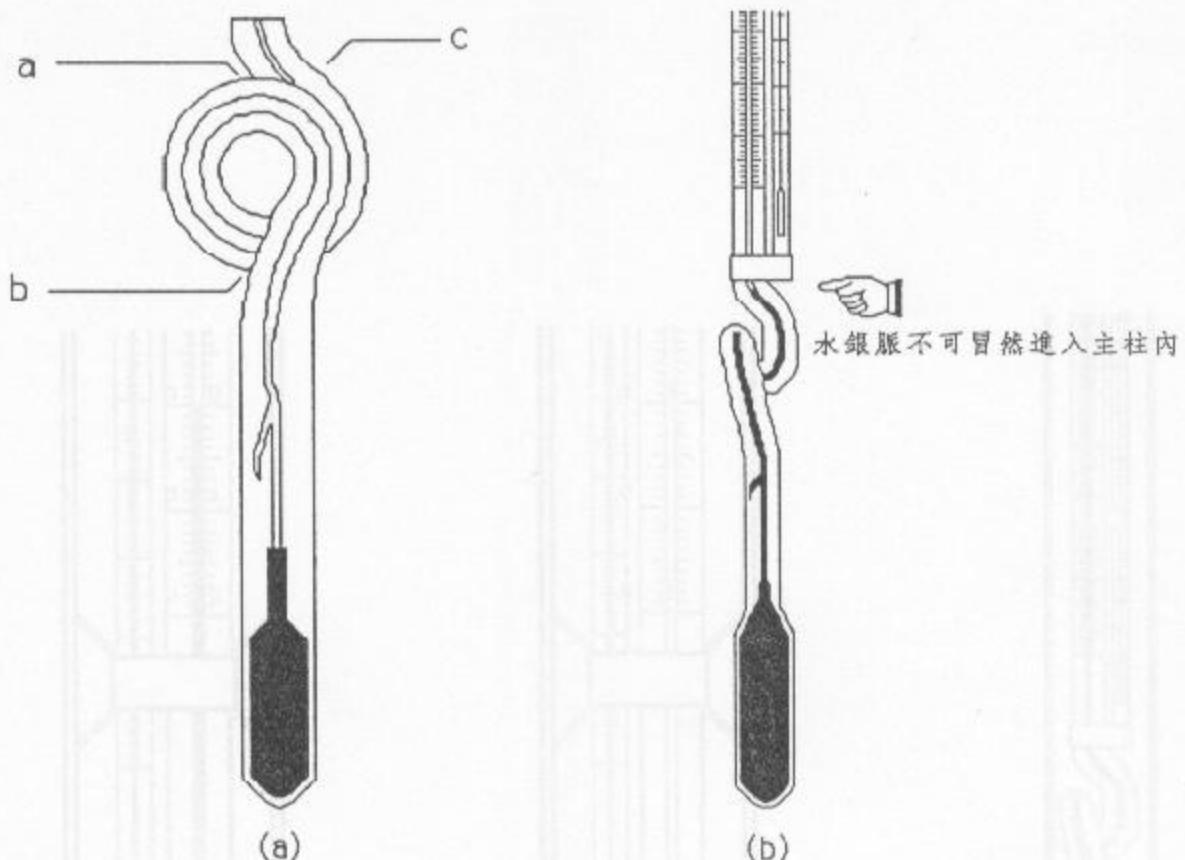
圖五。(a)水銀溢流，儲槽內有一大氣泡。
(b)水銀溢流，主柱內之水銀脈沒有分裂。



圖六. (a)顛倒溫度計正立時，氣泡因在之位置。
 (b)顛倒溫度計內氣泡停留於不應在之位置。

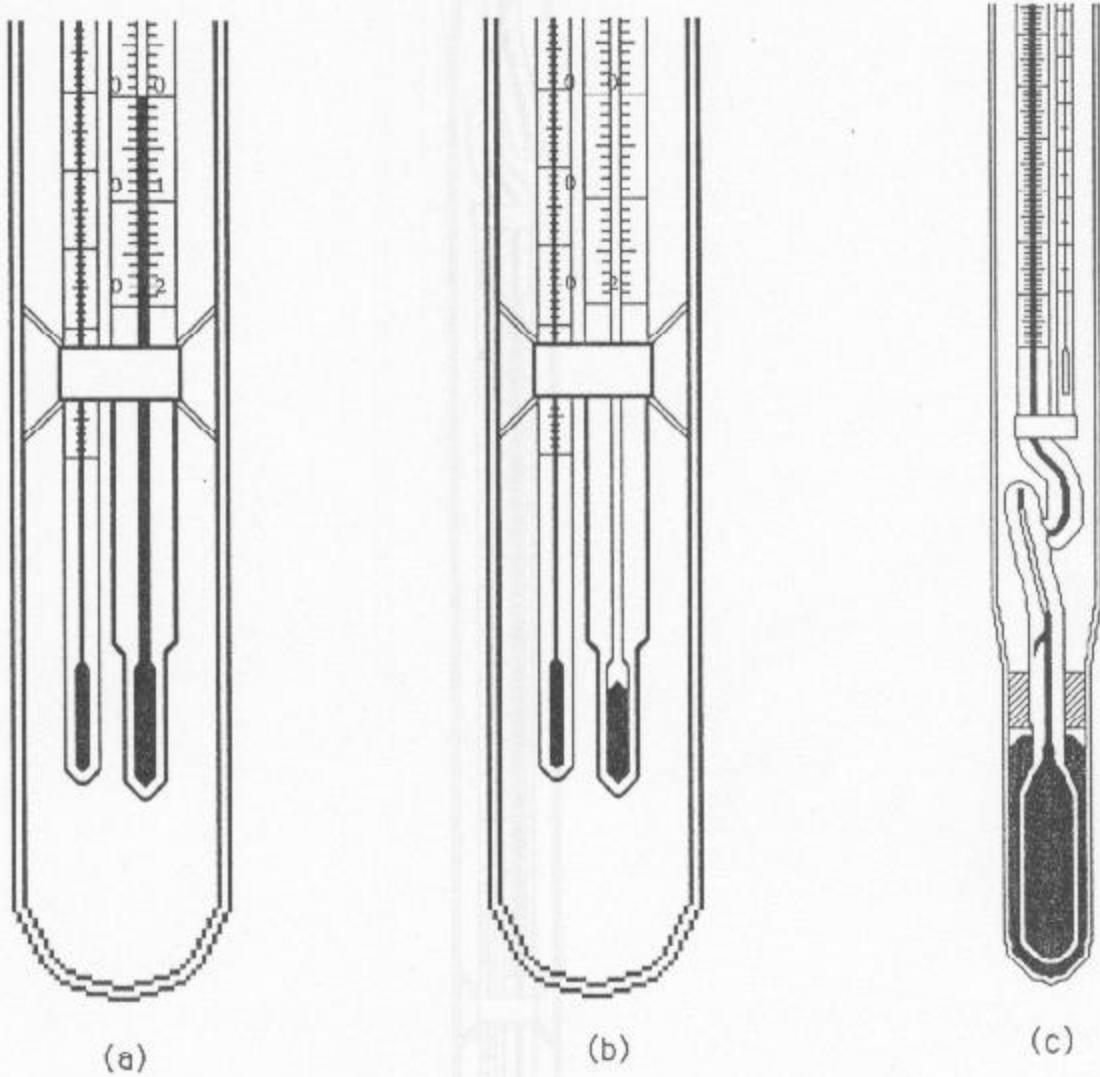


圖七・利用熱吹風機將儲槽加熱，使水銀推著氣泡向前進。

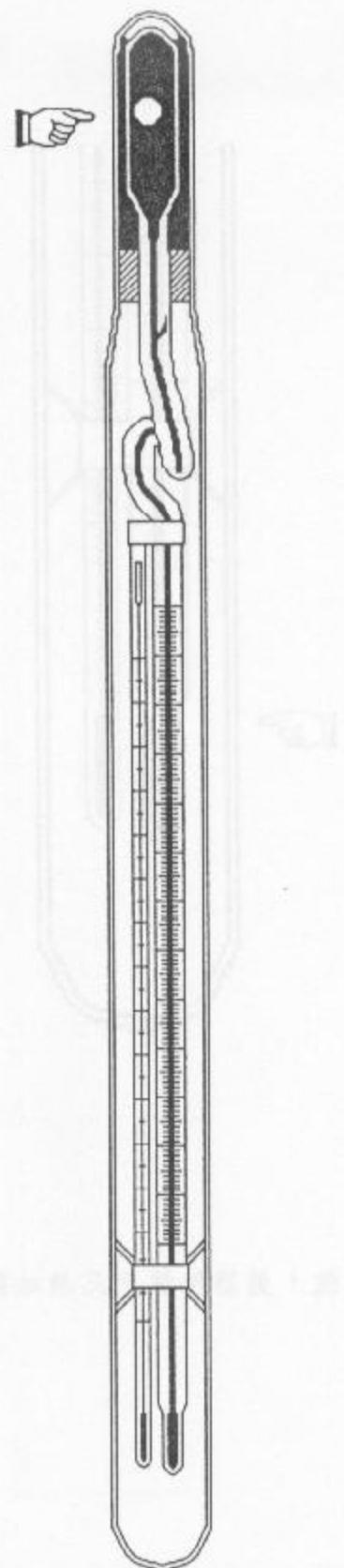


圖八・(a)迴轉區內 a b c 三點位置示意圖。
 (b)於加熱過程中，水銀脈不可冒然進入主柱內。

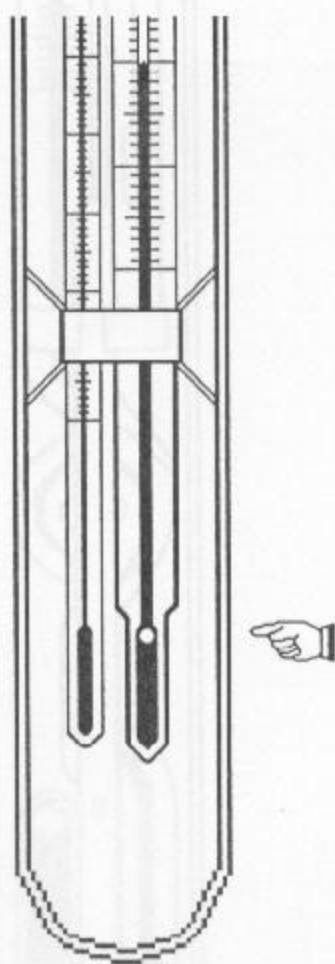
圖八・(a)迴轉區內，分離之水銀脈勿使有反彈現象而至主柱內，以免
 水銀脈之管口進入主柱內。
 (b)迴轉區溫度，分離之水銀脈未充份凝固，此時氣泡已由潤滑液包
 围與主柱相連之。
 (c)氣泡距離不在迴轉區內。



圖九。(a)經過甩動後，分離之水銀體充溢根球並到達刻度為 0 之位置，表示氣泡仍主要在迴轉區內。
 (b)經過甩動後，分離之水銀體未充溢根球，表示氣泡已由迴轉區延伸到達主柱內。
 (c)氣泡起點不在迴轉區內。

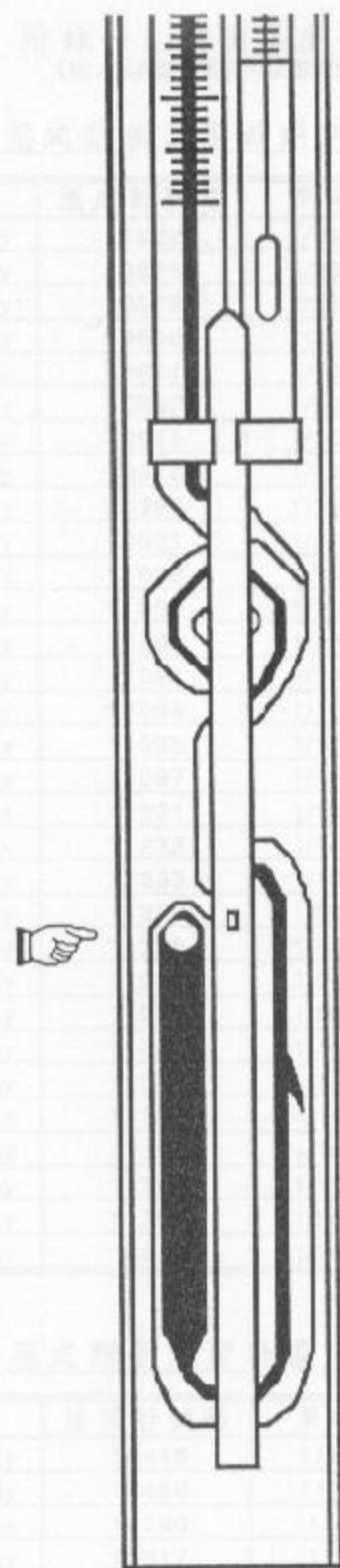


圖十・儲槽內有氣體，造成溢流現象。



圖十一·水銀體經過加熱及甩動過程後，於根球口留下一小氣泡。

圖十二·具有簡單總括之實驗方法與成皮質試驗上所出現之氣泡之位置的示場。



圖十二，具有鵝頸構造之受壓式顛倒溫度計於正立時，儲槽內氣泡會在儲槽的末端。

附錄一 類倒溫度計選用表

《註：以西菲律賓海水之溫度分佈為參考》

防壓式類倒溫度計選用基本資料表

製造廠商	溫度計號碼	準確度	溫度範圍	使用深度(m)
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10622	1/20 °C	-2~16°C	≥390
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10623	1/20 °C	-2~16°C	≥390
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10679	1/20 °C	-2~16 °C	≥390
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10680	1/20 °C	-2~16°C	≥390
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10861	1/50 °C	-2~6°C	≥840
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10862	1/50 °C	-2~6°C	≥840
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10915	1/10 °C	-2~20°C	≥250
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10916	1/10 °C	-2~20°C	≥250
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10920	1/10 °C	-2~35°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10921	1/10 °C	-2~35°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11078	1/10 °C	-2~20°C	≥250
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11092	1/10 °C	-2~25°C	≥100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11093	1/10 °C	-2~25°C	≥100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11094	1/10 °C	-2~25°C	≥100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11095	1/10 °C	-2~25°C	≥100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11096	1/10 °C	-2~25°C	≥100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11097	1/10 °C	-2~25°C	≥100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11231	1/10 °C	-2~20°C	≥250
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11232	1/10 °C	-2~20°C	≥250
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11233	1/10 °C	-2~20°C	≥250
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11279	1/50 °C	-2~6°C	≥840
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11280	1/50 °C	-2~6°C	≥840
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11281	1/50 °C	-2~6°C	≥840
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11282	1/50 °C	-2~6°C	≥840
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11303	1/10 °C	-2~30°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11304	1/10 °C	-2~30°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11305	1/10 °C	-2~30°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11306	1/10 °C	-2~30°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11307	1/10 °C	-2~30°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11308	1/10 °C	-2~30°C	≥0
Gohla-Precision, Kiel, Germany	16623	1/20 °C	-2~16°C	≥390

受壓式類倒溫度計選用基本資料表

製造廠商	溫度計號碼	準確度	溫度範圍	使用深度(m)
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10449	1/10°C	-1~20°C	600~1200
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10456	1/10°C	-1~46°C	≤4600
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10769	1/5°C	0~60°C	≤5100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10817	1/5°C	0~60°C	≤5400
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10874	1/10°C	-1~35°C	≤3700
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10892	1/10°C	0~20°C	800~1700
Gohla-Precision, Kiel, Germany	10963	1/10°C	0~46°C	≤5300
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11118	1/10°C	0~30°C	≤3000
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11120	1/10°C	0~30°C	≤3100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11121	1/10°C	0~30°C	≤3100
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11194	1/10°C	0~35°C	≤3700
Gohla-Precision, Kiel, Germany	11202	1/10°C	0~30°C	≤3000

顛倒溫度計測量數據表
Data Log Sheet for Deep Sea Reversing Thermometer

航次 (Cruise) :	覈測日期 (Date) :	氣溫 (Air Temp.) :	°C
站號 (Station) :	覈測時間 (Time) :	氣壓 (Barometer) :	mbs
梯次 (Cast) :	天候 (Weather) :	深水瓶 (Bottle type) :	2.

瓶號 Bottle NO.	CTD Depth (m)	左溫度計(防壓式) Left Thermometer (Protected)					中溫度計(防壓式) Center Thermometer (Protected)					右溫度計(受壓式) Right Thermometer (Unprotected)					計算深度 Thermometric Depth(m)
		NO.	T _{main}	I	C _P	T _w	NO.	T _{main}	I	C _P	T _w	NO.	T _{main}	I	C _U	T _u	

附記：

$$C_P = \frac{(T_A - t)(T_A + V_0)}{K - 1/2(T_A - t) - (T_A + V_0)}$$

$$C_U = \frac{(T_W - t)(T_3 + V_0)}{K - 1/2(T_W - t)}$$

$$\begin{aligned} T_W &= T_A + I + C_P \\ T_U &= T_B + I + C_U \\ D &= \frac{\rho \times g \times Q}{T_U - T_W} \end{aligned}$$

GOHLA - Precision

special workshop for deep sea reversing thermometers

MANUFACTURER's TEST

protected deep sea reversing thermometer

Serial Number 10622

Main Thermometer Scale - 2 to + 16 °C
Graduated in 0,05 °C Vol. up to 0° = 105,6 °C

Auxiliary Thermometer Scale -10° to + 50 °C, in 1/5 °C

The main thermometer has been tested at atmospheric pressure three times independently, as shown:

MAIN THERMOMETER

Temperature in °C	1st Measurement	2nd Measurement	3rd Measurement
0,00	0,00	0,00	+0,005
2,00	2,005	2,005	2,005
4,00	4,005	4,005	4,005
6,00	6,005	6,005	6,005
8,00	8,005	8,005	8,005
10,00	10,01	10,01	10,01
12,00	12,01	12,01	12,01
14,00	14,015	14,015	14,015
16,00	16,015	16,015	16,015

accuracy of readings ± 0,01 °C

AUXILIARY THERMOMETER

0,0°	10,0°	20,0°	30,0°	40,0°
-0,05	9,95	19,95	30,05	40,05

readings to next 0,05 °C

The main thermometer is made of thermometer glass type SCHOTT 2954 III with k-factor of 6140.
The instrument is pressure protected up to 8000 m.

examined by

Kiel, the

Ralf Gohla

20th January 1990

0,02°C

GOHLA - Precision

special workshop for deep sea reversing thermometers

MANUFACTURER'S TEST

with official determination of pressure factor
for pressure unprotected deep sea reversing thermometer

10449

Serial Number

Main Thermometer Scale - 2 to +20 °C
Graduated in 0,1 °C **Vol. up to 0°C =** 192 °C

pressure factor "Q" overleaf

Auxiliary Thermometer Scale -10 ° to + 50 °C, in 1/5 °C

The main thermometer has been tested at atmospheric
pressure three times independently, as shown:

MAIN THERMOMETER

temperature in °C	1 st Measurement	2 nd Measurement	3 rd Measurement
0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	5,005	5,005	5,005
10,00	10,00	10,00	10,00
15,00	14,995	14,995	14,995
20,00	19,995	19,995	19,995

accuracy of readings ± 0,01 °C

AUXILIARY THERMOMETER

0,0 °	10,0 °	20,0 °	30,0 °	40,0 °
0,0	10,0	20,0	29,95	39,95

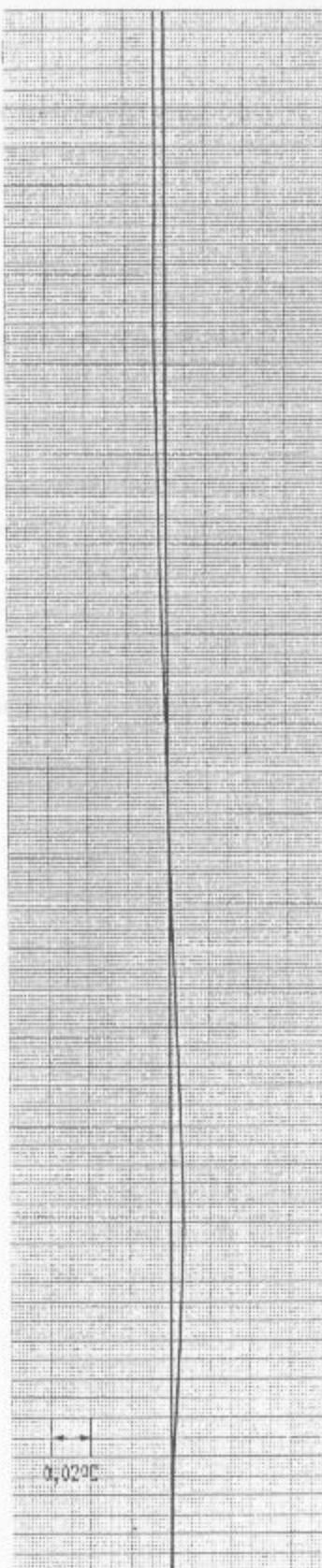
readings to next 0,05 °C

The main thermometer is made of thermometer glass
type SCHOTT 2954 III with k-factor of 6140.

examined by

Kiel, the

30th July 1988



OFFICIAL PRESSURE TEST

LANDESAMT FÜR DAS MESS- UND EICHWESEN BERLIN has tested the pressure unprotected deep sea reversing thermometer on the basis of manufacturer's test result for scale correction and V_0 as shown overleaf and has found for

$$\text{pressure factor "G" } = (0,1024 \pm 0,0002) ^\circ\text{C/bar}$$

Neither the scale corrections nor the value of V_0 have been examined by this office.

If the reading on the auxiliary thermometer scale shows the surrounding temperature t' , the corrected reading of the main thermometer has to be added by

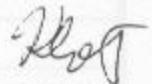
$$c = \frac{[t + V_0] \times [tw - t']}{t' + 8140}$$

tw is the corrected reading of the pressure protected thermometer used at the same time.

Reference number: 10449

Berlin, den 26.08.15

Im Auftrag



Klotz
Landesamt für das
Meß- und Eichwesen
1 Berlin 10, Abteilung 5-1

附錄四 順倒溫度計損壞記錄表

顛倒溫度計故障記錄表

航次：	梯次：	檢查人：
站號：	日期：	記錄人：

溫度計號碼： 採水瓶型：

故障原因說明 :

附錄五 順倒溫度計校正計算電腦程式

PROGRAM DSRT

```
c=====
c #PURPOSE:
c 1.To correct the value of temperature of the protected & unprotected
c   reversing thermometer.
c 2.Use the different value between the protected & unprotected
c   thermometer to calculate the depth.
c
c #DESCRIPTION OF PARAMETERS:
c cruise : the number of cruise
c station: the number of station
c cast   : the number of cast
c bottleno:the number of bottle
c lat    : the value of latitude
c pno1   : the number of left protected thermometer
c pno2   : the number of center protected thermometer
c upno   : the number of right unprotected thermometer
c Tm11   : the value of main thermo. from reader1
c Tm12   : the value of main thermo. from reader2
c Tm21   : the value of main thermo. from reader1
c Tm22   : the value of main thermo. from reader2
c Tm31   : the value of main thermo. from reader1
c Tm32   : the value of main thermo. from reader2
c ta11   : the value of auxi. thermo. from reader1
c ta12   : the value of auxi. thermo. from reader2
c ta21   : the value of auxi. thermo. from reader1
c ta22   : the value of auxi. thermo. from reader2
c ta31   : the value of auxi. thermo. from reader1
c ta32   : the value of auxi. thermo. from reader2
c T(I,J) : array of thermometer data
c=====
```

```
CHARACTER*6 station,bottleno
INTEGER cruise,cast,ctd
REAL T,NO,K,Ic,lat,Ic31,Ic32
DIMENSION T(43,32)
OPEN (5,file='data007',status='old')
OPEN (6,file='table.out',status='new')

read(*,*) cruise
write(6,7)cruise
7 format(1x,'cruise:',i4)
write(6,8)
8 format(1x,74('-'))
write(6,9)
9 format(1x,'| sta.|cast|bo.no| CTD | Tp1 | Tp2 |Tp(avn)| Tu
+ | P(dbar)| Depth(m)|')
write(6,11)
11 format(1x,74('='))

Do 10 I=1,43
READ (5,*,end=15) (T(I,J),J=1,32)
10 continue
15 write(*,*)"Please enter the data as follows"
write(*,*)" station"
read(*,12)station
12 format(a6)
write(*,*)"enter cast or enter a--z to quit"
read(*,*,err=180)cast
write(*,*)"bottleno"
```

```
13  read(*,13)bottleno
    format(a6)
    write(*,*)'CTD'
    read(*,*)ctd
    write(*,*)'latitude'
    read(*,*)lat
    write(*,*)'the protected thermometer number1'
    read(*,*)pnol
    write(*,*)'Tmain(reader1)'
    read(*,*)Tm11
    write(*,*)'Tmain(reader2)'
    read(*,*)Tm12
    write(*,*)'taux(reader1)'
    read(*,*)ta11
    write(*,*)'taux(reader2)'
    read(*,*)ta12
    write(*,*)'the protected thermometer number2'
    read(*,*)pno2
    write(*,*)'Tmain(reader1)'
    read(*,*)Tm21
    write(*,*)'Tmain(reader2)'
    read(*,*)Tm22
    write(*,*)'taux(reader1)'
    read(*,*)ta21
    write(*,*)'taux(reader2)'
    read(*,*)ta22
    write(*,*)'the unprotected thermometer number'
    read(*,*)upno
    write(*,*)'Tmain(reader1)'
    read(*,*)Tm31
    write(*,*)'Tmain(reader2)'
    read(*,*)Tm32
    write(*,*)'taux(reader1)'
    read(*,*)ta31
    write(*,*)'taux(reader2)'
    read(*,*)ta32
```

```
C=====
C   # search thermometer number in order to correct #
C=====
```

```
20  Do 20 I=1,43
    if (pnol .EQ. T(I,1)) goto 30
    continue
    write(*,*)'Error!!This thermometer number is not found.'
    goto 15
25  Do 21 I=1,43
    if (pno2 .EQ. T(I,1)) goto 40
    continue
    write(*,*)'Error!!This thermometer number is not found.'
    goto 15
35  Do 22 I=1,43
    if (upno .EQ. T(I,1)) goto 50
    continue
    write(*,*)'Error!!This thermometer number is not found.'
    goto 15
```

```
C=====
```

```

c      # aim:
c          1. do correct of protected & unprotected thermometer
c          2. calculate depth
c
c      # parameter :
c
c      Tplc : the temp. after corrected from Tm11,Tm21,Tm31
c      Tp2c : the temp. after corrected from Tm12,Tm22,Tm32
c      Tpm1 : the average Tmain temp. of Tplc,Tp2c (first thermometer)
c      Tpm2 : the average Tmain temp. of Tplc,Tp2c (second thermometer)
c      Ic   : correct value of Tmain
c      tc   : correct value of taux
c      Tul  : correct temp. Tm31
c      Tu2  : correct temp. Tm32
c      Tum  : the average of Tul,Tu2
c      Tpm  : the average of Tpm1,Tpm2
c      Pb   : pressure(bar)
c      P    : pressure(dbar)
c      g    : gravity
c      D    : depth of water
c-----

```

```

30  call cor1(T,I,Tm11,Ic11)
    call cor1(T,I,Tm12,Ic12)
    call cor2(T,I,ta11,tc11)
    call cor2(T,I,ta12,tc12)
    Tplc=Tp(T,I,Tm11,ta11,Ic11,tc11)
    Tp2c=Tp(T,I,Tm12,ta12,Ic12,tc12)
    Tpm1=0.5*(Tplc+Tp2c)
    goto 25

```

```

40  call cor1(T,I,Tm21,Ic21)
    call cor1(T,I,Tm22,Ic22)
    call cor2(T,I,ta21,tc21)
    call cor2(T,I,ta22,tc22)
    Tplc=Tp(T,I,Tm21,ta21,Ic21,tc21)
    Tp2c=Tp(T,I,Tm22,ta22,Ic22,tc22)
    Tpm2=0.5*(Tplc+Tp2c)
    Tpm=0.5*(Tpm1+Tpm2)
    goto 35

```

```

50  call cor1(T,I,Tm31,Ic31)
    call cor1(T,I,Tm32,Ic32)
    call cor2(T,I,ta31,tc31)
    call cor2(T,I,ta32,tc32)
    tp1c=tpm1
    tp2c=tpm2
    call cuu(T,I,Tm31,ta31,tc31,Tplc,cu1)
    call cuu(T,I,Tm32,ta32,tc32,Tp2c,cu2)
    Tul=Tm31+Ic31+cu1
    Tu2=Tm32+Ic32+cu2
    Tum=0.5*(Tul+Tu2)
    Pb=(Tum-Tpm)/T(I,2)
    p=Pb*10
    x=(sin(lat/57.29578))**2

```

```

y=9.780318
h=1.0+(5.2788e-3)*x+(2.36e-5)*x**2
g=y*h
z=(((-1.82e-15)*p+2.279e-10)*p-2.2512e-5)*p+9.72659)*p
D=z/(g+(1.092e-6)*p)

C=====
c      # print result
C=====

      write(6,70)station,cast,bottleno,ctd,tpm1,tpm2,tpm,tum,p,d
70    format(1x,'|',a4,'|',14,'|',a5,'|',15,4(' ',f7.3),2(' ',f8.3))
         write(6,8)
         goto 15

175 continue
180 stop
end

C
C
C          END OF MAIN PROGRAM
C
C
C=====

C
C
C          subroutine corl
C
C          # purpose:
C            use for calculate the calibration of Tmain
C
C          #usage :
C            call corl(T,I,Tmain,Ic)
C
C          #parameter:
C            T : array of thermo. data
C            I : thermo. position in array
C            Tmain: the value of main thermo.
C            Ic:   the calibration of Tmain
C=====

subroutine corl(T,I,Tmain,Ic)
dimension T(43,32)
real Ic
Do 200 J=4,18,2
If (T(I,J) .LE. Tmain .AND. Tmain .LE. T(I,J+2)) goto 201
200 continue
write(*,*)"The Tmain is error."
pause
201 w=(T(I,J+3)-T(I,J+1))
x=T(I,J+2)-T(I,J)
y=(Tmain-T(I,J))
z=T(I,J+1)
Ic=w/x*y+z
return
end

```

```
C=====
C           subroutine cor1
C   # purpose:
C       use for calculate the calibration of taux
C
C   #usage :
C       call cor1(T,I,taux,tc)
C
C   #parameter:
C       T : array of thermo. data
C       I : thermo. position in array
C       taux: the value of taux thermo.
C       tc:  the calibration of taux
C=====
```

```
subroutine cor2(T,I,taux,tc)
dimension T(43,32)
Do 300 J=22,28,2
If (T(I,J) .LE. taux .AND. taux .LE. T(I,J+2)) goto 301
300 continue
write(*,*)"The taux is error."
pause
301 w=(T(I,J+3)-T(I,J+1))
x=T(I,J+2)-T(I,J)
y=(taux-T(I,J))
z=T(I,J+1)
tc=w/x*y+z
return
end
```

```
C=====
C           subroutine cuu
C
C   # purpose:
C       use for calculate the correct value of unprotected thermo.
C
C   #usage :
C       subroutine cuu(T,I,Tmain,taux,tc,Tp,cu)
C
C   #parameter:
C       T : array of thermo. data
C       I : thermo. position in array
C       Tmain: the value of main thermo.
C       taux: the value of taux thermo.
C       tc:  the calibration of taux
C       Tp:corrective temp.of protected thermo.
C       Cu:corrective temp.of unprotected thermo.
C=====
```

```
subroutine cuu(T,I,Tmain,taux,tc,Tp,cu)
dimension T(43,32)
k=6140
a=Tp-(taux+tc)
c=Tmain+T(I,3)
```

```

b=(K-0.5*(Tp-(taux+tc)))
Cu=a*c/b
return
end

=====
c          real function Tp
c # purpose:
c     use for calculate the correct value of protected thermo.
c
c #usage :
c     real function Tp(T,I,Tmain,taux,Ic,tc)
c
c #parameter:
c     T : array of thermo. data
c     I : thermo. position in array
c     Tmain: the value of main thermo.
c     taux: the value of taux thermo.
c     Ic: the calibration of Tmain
c     tc: the calibration of taux
=====
```

```

real function Tp(T,I,Tmain,taux,Ic,tc)
dimension T(43,32)
real Ic
K=6140
a=Tmain-(taux+tc)
c=Tmain+T(I,3)
b=K-0.5*(Tmain-(taux+tc))-(Tmain+T(I,3))
Cp=a*c/b
Tp=Tmain+Ic+Cp
return
end
```

***** What does the program do ? *****

- (1) Making corrections to DSRT readings using the calibration curves
- (2) Calculating the pressure and thermometric depth from the difference between readings of the unprotected (Tu) and the protected (Tp) thermometers.

***** The output format for DSRT program *****

cruise: 239

```
sta.!cast!bo.no! CTD Depth! Tp1 ! Tp2 !Tp(ave)! Tu ! P(dbar)! Depth(m)
=====
R ! 1!2 ! 81 ! 122.442!22.382! 22.412!23.235! 89 ! 88
```

***** The input format for DSRT program *****

words shown on the screen

! Example

```
Please enter the cruise number !239
-----
please enter the data as follows, enter cast or enter a--z to quit ! 1
station ! R
bottleno ! 2
CTD Depth ! 81
the protected thermometer number1 ! 11306
Tmain(reader1)
Tmain(reader2)
taux(reader1)
taux(reader2)
the protected thermometer number2 ! 22.41
Tmain(reader1)
Tmain(reader2)
taux(reader1)
taux(reader2)
the unprotected thermometer number ! 22.42
Tmain(reader1)
Tmain(reader2)
taux(reader1)
taux(reader2)
latitude ! 21.39
! 21.58
! 11307
! 22.37
! 22.37
! 21.8
! 21.98
! 11202
! 23.21
! 23.22
! 21.8
! 21.8
! 22.07
```

顛倒溫度計測量數據表

Data Log Sheet for Deep Sea Reversing Thermometer

航次(Cruise) :	239	觀測日期(Date) :	1/8/1990	氣溫(Air Temp.) :	°C	觀測員(Observers)
站號(Station) :	R	觀測時間(Time) :		氣壓(Barometer) :	mb	1. 王康元
梯次(Cast) :	1	天候(Weather) :	陰	採水瓶(Bottle type) :	Niskin	2. 魏毅謙

瓶號 Bottle NO.	深度 CTD Depth (m)	左溫度計(防塵式) Left Thermometer (Protected)						左溫度計(防塵式) Left Thermometer (Protected)						右溫度計(受壓式) Right Thermometer (Unprotected)						計算深度 Thermometric Depth(m)							
		NO.			T _{min}	T _{aux}	V ₀	I	C _p	T _w	NO.	T _{min}	T _{aux}	V ₀	I	C _p	T _w	NO.	T _{min}	T _{aux}	V ₀	I	C _u	T _u	Q		
		NO.	T _{min}	T _{aux}	V ₀	I	C _p	T _w	NO.	T _{min}	T _{aux}	V ₀	I	C _p	T _w	NO.	T _{min}	T _{aux}	V ₀	I	C _u	T _u	Q				
2	8	113.66	22.41	21.39	-0.04	-0.03	22.44	21.5	22.37	21.6	92.9	-0.01	-0.11	22.38	21.8	-0.02	-0.07	21.5	117.02	-2.1	-1.7	2.0	1.011	20.7	22.7	83	
2.4	115	113.05	21.44	21.85	-0.05	-0.07	21.44	21.43	22.1	-0.07	21.44	21.4	21.49	-0.07	-0.03	21.41	21.49	22.05	-0.02	-0.02	22.47	1.07	22.67	0.897	11.3		
9A	252	110.96	14.13	20.8	10.1	-1.17	14.00	10.1	14.12	21.0	10.1	1.14	13.97	14.12	21.0	10.1	14.67	21.4	10.1	1.14	13.97	14.67	21.4	0.912	10.74	16.68	2.62
3	356	116.2	21.0	10.9	-1.16	-1.17	11.45	11.23	11.50	21.22	11.53	-1.15	-1.16	11.45	11.50	21.22	11.53	11.58	21.18	11.52	21.18	1.0446	15.18	21.62	1.071	3.45	

附記：

$$C_P = \frac{(T_A - t)(T_A + V_0)}{K - 1/2(T_A - t) - (T_A + V_0)}$$

$$C_U = \frac{(T_W - t)(T_B + V_0)}{K - 1/2(T_W - t)}$$

$$T_W = T_A + l + C_P$$

$$T_U = T_B + l + C_U$$

$$D = \frac{T_U - T_W}{\rho \times g \times Q}$$