

# 氣力揚升式人工湧升流初步海上實驗

梁乃匡 彭海覬

國立台灣大學海洋研究所

## 摘要

本研究是設計製作小規模的海上實驗用氣力揚升式湧升流系統，探討以氣力揚升方式將深層較低溫與高營養鹽海水提昇至表層海面的各影響因素與實際應用可能遇到的問題。本次實驗是利用海研二號，駛至基隆外海水深約 45m 處，在船邊施放柔性管，並以空壓機經由輸氣管將空氣灌入柔性管中，同時量測進氣量與柔性管底管進入管內的流速；另於水深約 80m 處，以 CTD 放於斜溫層上緣，輸氣管放於斜溫層下緣，同時以 CTD 量測當地溫鹽剖面與隨時間的變化，觀察灌氣時海水溫鹽的變化，藉以評估不用柔性管直接灌氣的可行性。由此次小規模的海上實驗，可提供實際收放安裝所需之經驗，並產生使用與不使用湧升管兩種方式相結合的新構想。

## A Field Experiment of Air-Lift Artificial Upwelling(I)

Nai-Kung Liang Hai-Kuen Peng

Institute of Oceanography

National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

## ABSTRACT

The study is a preliminary field experiment of an Air-Lift Artificial Upwelling System. The research vessel is OR2 and the experiment location is at the coast of Keelung. There are two types of tests, one is that with soft-pipe and another without soft-pipe. Due to strong current and small amount of air flowrate, the result is obscure. However, we still got some valuable experiences and a new concept design of the system.

## 一、前言

隨著二百哩專屬經濟水域時代的來臨，合理有效利用本國周邊海域資源，為國家資源永續發展重要的一環。我國由於沿近海域面臨過漁與漁場環境逐漸惡化之影響，因此經由資源保育、控制漁船數、污染防治與淨化等恢復漁場機能之同時，亦應積極發展周邊海域栽培漁業，促進資源增殖，而建立海洋牧場將是最受矚目之焦點。目前世界之海洋牧場多數以養殖方式從事生產，亞洲係世界養殖生產活動最高之地區，自 1975 年起每年產量均占世界總養殖生產量之 80~85%，目前在靜穩之內灣或內海等閉鎖海域之增養殖已逐漸推廣普及，而海洋牧場亦

有逐漸向自然環境更為險峻之外海推展之趨勢。

海洋生物資源豐富，可惜除了大陸棚及湧升流區，大部份海域的基礎生產力都很低，主要原因是上層營養鹽很低；然而水深 200 米以上的深層海水溫度較低且含有豐富的營養鹽，如能藉人工湧昇底層未被利用之營養鹽，補給海域表層，提高漁場豐度，增強海洋的基礎生產力，將可應用於海洋牧場中漁場的開發。

要達到將深層海水抽至海洋上層以產生漁場，所需抽水揚程很小，但抽水量需很充沛，且需考慮深海水壓、腐蝕與海上裝設等問題。一般幫浦的揚程高但抽水量不大，無法滿足需求。因此產生利用氣力揚昇抽取深海水的構想。

氣力揚升式湧升流的構想是以壓縮空氣充入垂

直管中，利用氣泡與水之混合體較輕與氣泡浮昇動能帶動流體上昇之機制，將底層高營養鹽的海水抽昇至表層，以提供海洋增養殖一套可行的方法。但由於氣水泥和後之揚升機制複雜，雖經實驗室中 U 型管、直立水槽、深水槽等多次模擬實驗，結果顯示以空氣壓縮機打氣的抽水方式抽水效率很高，尤其在低進氣流量時效果更佳，湧升水量可達進氣流量的百倍，但這些實驗並未考慮海上風浪、海流、海水溫鹽變化與分層等影響條件，且湧升管也遠小於實際應用所需尺寸，故需海上實驗來了解現場因素的影響。

抽取低溫高鹽的深海水也可利用來調節溫排水海域之溫度與提高溫差發電的效率；如能應用本法，將氣打入水庫下層水中，造成上下層水的流動，可避免水庫水質惡化，改善水庫生態環境；另外也可提供一種對於深海錳核等礦產的開採方法。

## 二、海上實驗設計

本次實驗包含使用湧升管與不使用湧升管兩種類型，實驗架構如圖 1 所示。實驗裝備包含：水中攝影機、照相機、潛水裝備、浮球 4 個(4 段鋼索與索頭)、柔性管(直徑 1m, 管長 30m)一段、空壓機一台、RCM 流速計一台、空氣流量測計、感應元件數化器(兩台)、筆記型電腦、工具箱、5kg 重錘一個、延長線 5M 一條、輸氣管與繩索等。

### (一)柔性管實驗過程與分析

實驗程序(照片 1~8)：

1. 海研二號航至基隆外海(Lat:25 19.018, Lon:121 35.217)停機，該處水深 67m；
2. 在船上以 4 段鋼索與索頭將浮球與柔性管連接、開啓 RCM 並與鐵圈固定；
3. 以捲揚機索連接固定流速計之鐵圈；
4. 將筆記型電腦、感應元件數化器、進氣量量測計、進氣管設定並測試；
5. 以吊車將浮球與柔性管吊至海面，再解開綁柔性管的繩索，由 RCM5 重量讓下管口自行下沉拉直柔性管，而上管口保持在水面位置；
6. 將氣管索與 5kg 重錘由柔性管口放入，至標示之進氣深度(20、25m)停止；
7. 以 CTD 量測溫鹽剖面；
8. 啓動空壓機並與氣管連接，調整進氣壓力，測試進氣穩定度，分別於進氣量為 6·12·18·24·30sLpm 每種進氣量連續開約 5min，中間停約 3min，每

次進氣穩定後記錄進氣量 10sec，共 10 組氣量；

9. 停止供氣後，以船上 CTD 量測溫鹽剖面；
10. 將氣管索與重錘由柔性管口收起；
11. 以吊車拉上鐵框與浮球，以捲揚機拉下方 RCM 與下鐵框，合力收回柔性管；
12. 調整變形之柔性管，整理裝備，回程。

實驗時海研二號船是停機隨流飄移，故由船速(每分鐘一筆)(圖 2)與 ADCP 資料(由海面下 2m 每隔 8m 一筆，每串約 2 分鐘)(圖 3)顯示船速大約與表面流速一致。

所得 RCM 每 30 秒一筆的流速與 10 秒平均的進氣量資料如(圖 4)所示。雖然對應關係並不明顯，但顯示有進氣時皆有流速，可判斷有海水由柔性管中被抽上。

### (二)無湧升管實驗過程與分析

實驗程序(照片 9)：

1. 海研二號航至基隆外海(Lat:25 19.460, Lon:121 35.407)停機，該處水深 77m；
2. 將筆記型電腦、感應元件數化器、進氣量量測計設定，並啓動空壓機測試；
3. 以 CTD 量測溫鹽剖面；
4. 將氣管索加重錘後綁於 CTD 邊，氣管口較 CTD 長約 10m，將 CTD 放於溫躍層上緣(深約 44m)，則氣管口深約 54m，氣量開到最大(約 30sLpm)，連續觀測 40min 後發現溫鹽沒有明顯變化，就結束實驗；
5. 將 CTD、氣管索與重錘收起；

由實驗開始、結束所量測之溫鹽剖面(圖 5)與連續量測之溫深鹽變化(圖 6)，並未看出下層水被抽上來的現象，雖然可能是氣量不足或海流作用，但由於船是隨流飄移且 CTD 就在氣管出口上方 10m，因此判斷單獨以氣管灌氣不使用湧升管，可能將水帶過溫躍層(thermocline)的量很小。

## 三、理論實測比對

將流速乘管截面積所得出流量(Vw:cms)，以氣力揚升式人工湧升流理論分析，由如下的功率平衡方程式可推算所需之進氣量(Va:cms)。

$$N_L = N_p + N_R + N_{Rm} + N_B + N_E + N_u + N_S + N_h + N_{rise} \quad (1)$$

1. 將水揚升高出靜水面，增加位能所需之功率( $N_p$ )；

2. 上管中氣液混合體因黏滯性於管內流動損耗的功率( $N_R$ )；
3. 下管中液體因黏滯性於管內流動損耗的功率( $N_{Ru}$ )；
4. 氣液混合體運動所需的功率( $N_B$ )；
5. 管中次要損失：係由於管徑變化、管向變化、管內零星配件與入口損失等，但由於揚升管為平直長管，如採用管壁進氣方式，則只需考慮入口損失之功率( $N_B$ )與彎管損耗功率( $N_u$ )；
6. 氣液相對速度造成滑動摩擦損耗功率( $N_S$ )；
7. 出水管口與水表面齊平時，需考慮表面張力影響水面抬升( $H_S$ )對啓動空隙率( $\epsilon_0$ )的影響；
8. 管口在水面下時需加入出水管口深度( $H_d$ )之影響；
9. 水面隆升( $H_r$ )所需功率( $N_{Lw}$ )；
10. 海水垂直分層間密度差的效應( $N_h$ )；

原設計以關閉進氣量為改變各種進氣量試驗的分界，意即關閉時之預測流速為零，就可分辨出所設計不同進氣量與不同進氣深度搭配成的十次試驗結果，但經由 RCM 量測之流速與當時進氣量相比較後(圖 7)，發現變動很大並不如預計，不能明確分辨進氣量與流速的相對關係，只好取 5 組進氣量鄰近較大流速來概估。量測之湧升量(Vw)是使用 RCM 量測管口中間流速資料再乘以管截面積推算，假設管未傾斜、未壓縮、未震動且管口正好與水面齊平來推算，結果如(圖 7)所示，與理論有很大差異，原因應是管傾斜與扭曲、管徑變形、氣管深度的變化、海流、船受波浪起伏牽引管的拉放與管口距水面的變化等影響，可能高估了湧升量。由於影響變數太多，本次初步海上實驗的結果僅止於影響因數的定性探討，並不適於做理論修正的依據。

#### 四、討論與結論

由本次海上氣力湧升實驗，可發現氣力揚升裝置中最主要的部份為湧升管，基於施工與經濟等因素的考慮，湧升管的設計需兼顧重量較輕、組裝簡易、收放快速，又有足夠支撐強度與耐久性。這次設計的柔性湧升管以 5mm 鐵絲圈為骨架，塑膠帆布為管壁，構想雖佳，但鐵絲圈強度不足，受側向力變形後不能回復，鐵絲圈在收放過程中容易變形與扯開，造成柔性管徑嚴重變形，會影響抽升流量。經檢討後將設計充水成形的柔性管，未注水時可收為較小體積，便於裝運與安裝，此部份將再進一步研究。

海浪的波動與海流對管的作用力，除了會造成

柔性管的傾斜與變形，而影響管內流量；更會對柔性管、浮球與錨定等設施的結構體造成損害。因此實際長時間使用的海上裝，需再做分析設計強度較高的結構。

湧升管是本系統最重要也最貴的部份，而且管徑愈大管長愈長搬運與收放都愈困難，但管徑小抽水效率又會降低。如能省去柔性管將大為降低成本，使氣力揚升的方法更為可行，先前在實驗室中做過實驗，發現不用湧升管仍能將鹽水湧升。因本試驗時海流不小，空氣流量又不大，試驗結果不易量出，應先在水庫內進行試驗較為可行。又湧升管佔成本份量很大，宜愈短愈好，因此可考慮兩種方式合併的新構想，即將湧升管出水口放在斜溫層上緣的深度，利用湧升管將深海水帶過斜溫層，然後以開放的方式讓氣泡帶動水湧升與擴散，如此可減少湧升管長度，並由於下層海流較慢，海流的影響會比較小，將進一步實驗以確定此構想。

#### 謝誌

本論文係國科會專題研究計畫「氣力揚升式人工湧升流之海上實驗(1/2)」(NSC 89-2611-E-002-019)之部份研究成果，承蒙國科會經費之贊助使本研究得以進行，謹致感謝之意。

#### 參考文獻

1. 彭海鯤、梁乃匡 (1999) "氣力揚升式人工湧升流之研究(續)"，中華民國第 21 屆海洋工程研討會論文集，pp589-596。
2. 彭海鯤(1999) "氣力揚升式人工湧升流之實驗與理論"，國立台灣大學海洋研究所博士論文。
3. 梁乃匡、彭海鯤、謝立德(1998) "氣力揚升式人工湧升流之滑動摩擦影響研究"，中華民國第二十屆海洋工程研討會論文集，623 頁-629 頁。
4. 梁乃匡、彭海鯤、謝立德(1997) "氣力揚升式人工湧升流之研究"，中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集，716 頁-723 頁。
5. 歐慶賢、翁平勝(1997) "海洋牧場的相關技術與經營管理(上)"，農委會漁業署漁業推廣第 127 期，13 頁-26 頁。
6. Liang, N. K. (1996) "A Preliminary Study on Air-Lift Artificial Upwelling System", *ACTA OCEANOGRAPHICA TAIWANICA*, Vol.35, No.2, pp187-200.
8. Ohnuki, H. Akimoto(1996) "An Experimental Study on Developing Air-Water Two-Phase Flow Along a Large Vertical Pipe: Effect of Air Injection Method", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol.22, No.1, pp.1143-1154.

附錄：圖表與照片

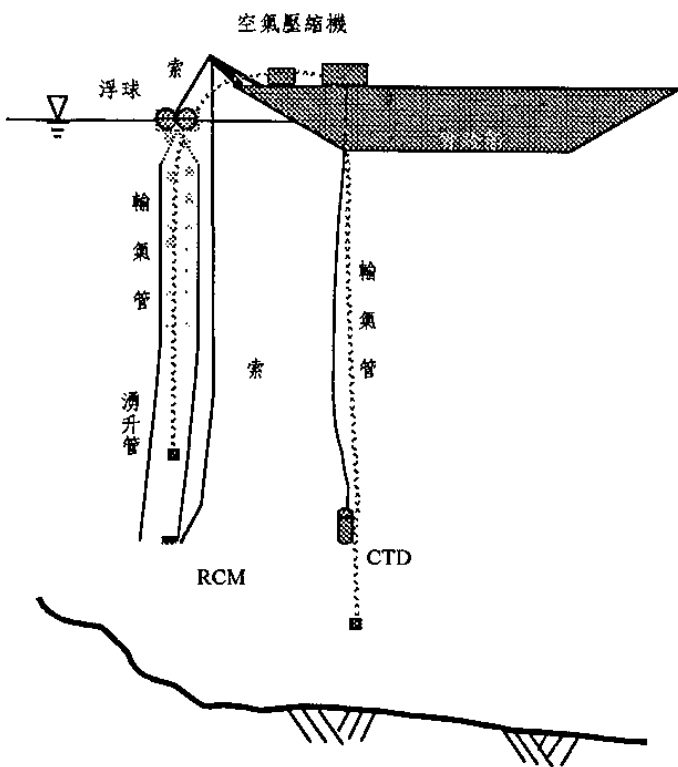


圖 1 有管與無管之海上實驗配置圖

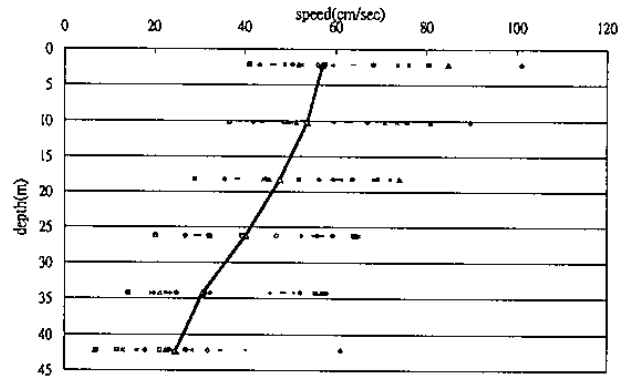


圖 3 船測 ADCP 之流速分佈

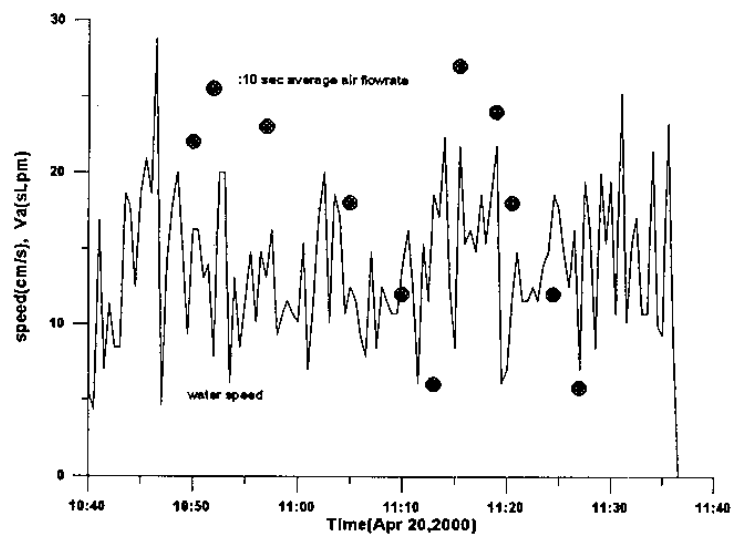


圖 4 RCM 所測流速與當時平均進氣量

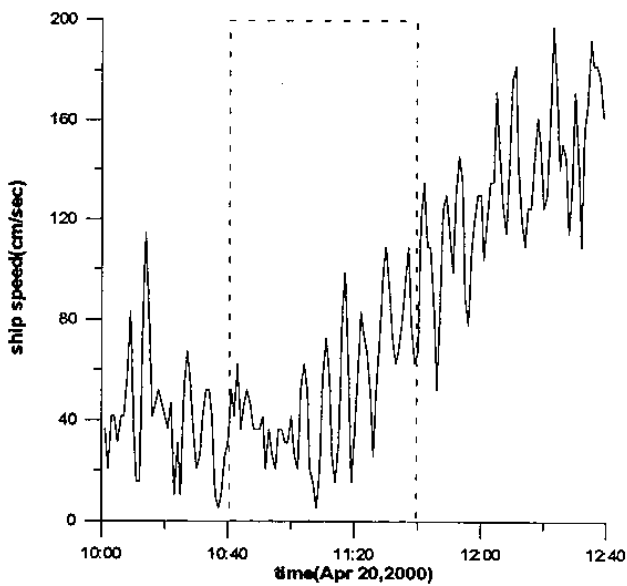


圖 2 實驗時船速資料

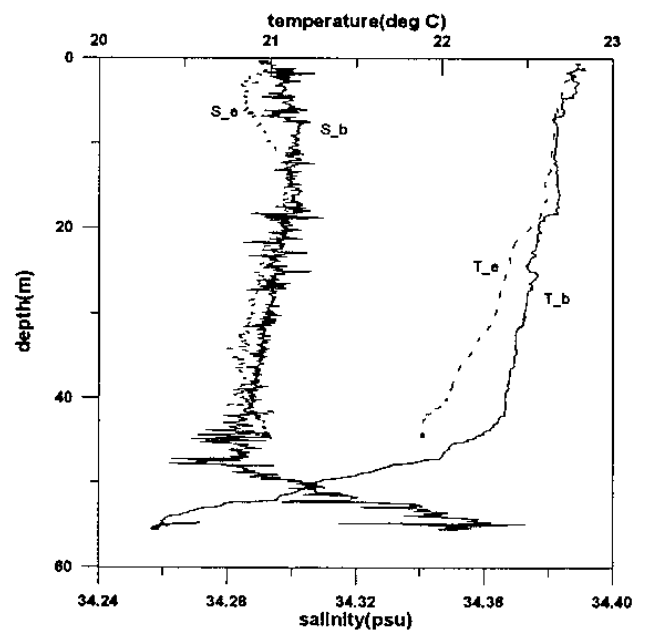


圖 5 無湧升管實驗之前後溫鹽剖面

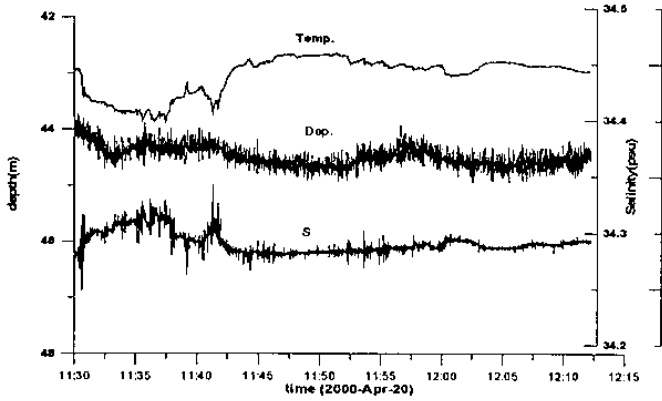


圖 6 無湧升管實驗量測時之溫深鹽變化

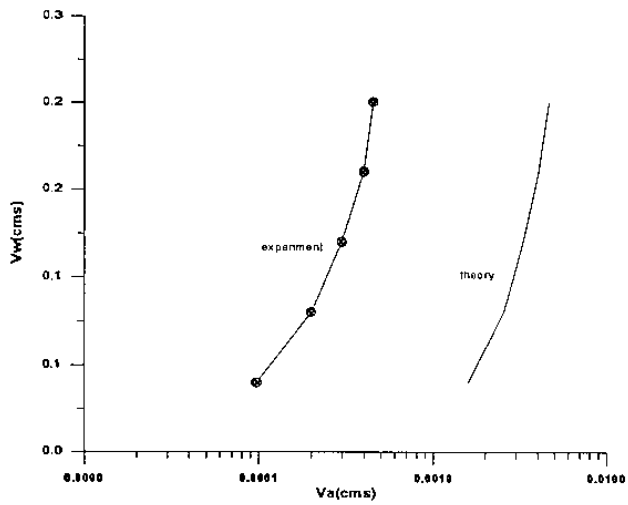
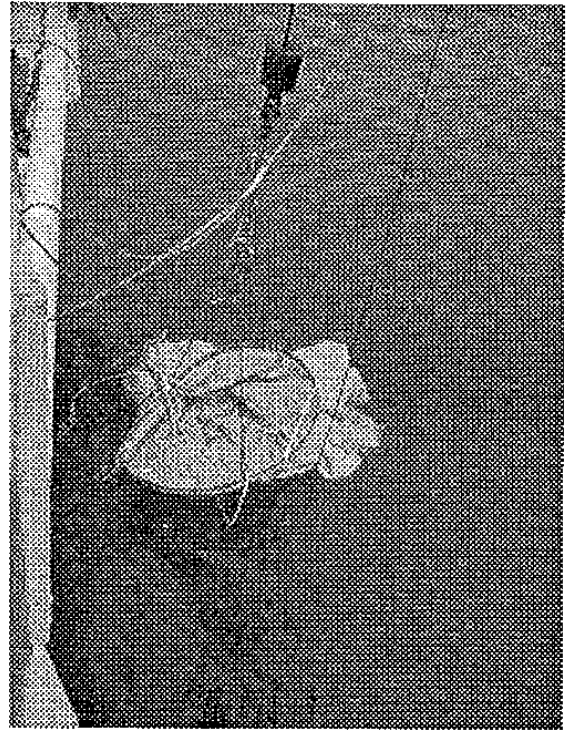
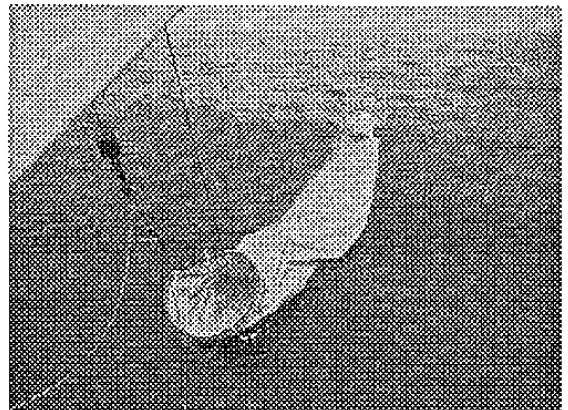


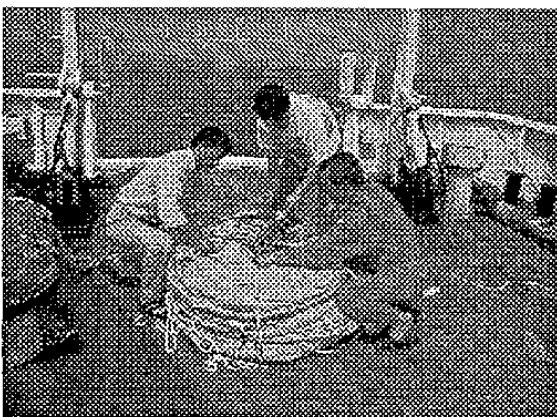
圖 7 取數點實驗值與理論比對圖



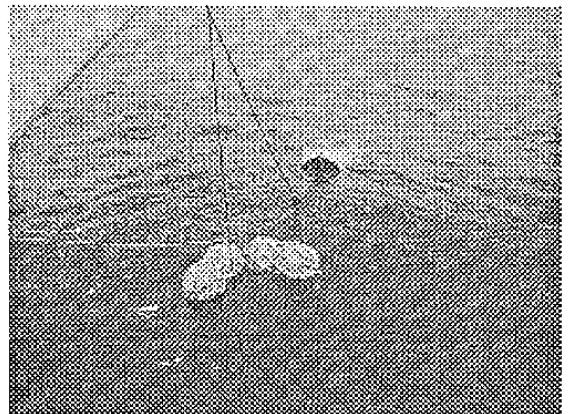
照片 2 以吊桿將柔性管吊放入海中



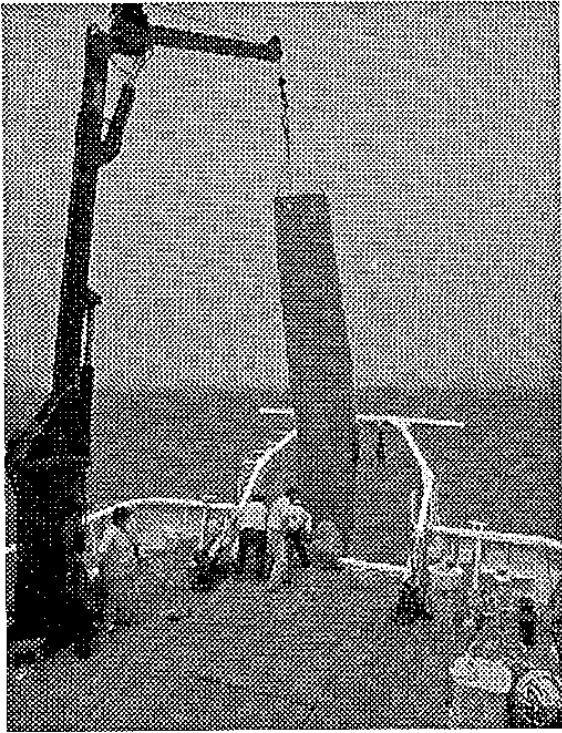
照片 3 解開繩索後，柔性管隨海流展開



照片 1 將 RCM 海流儀固定在鐵圈上



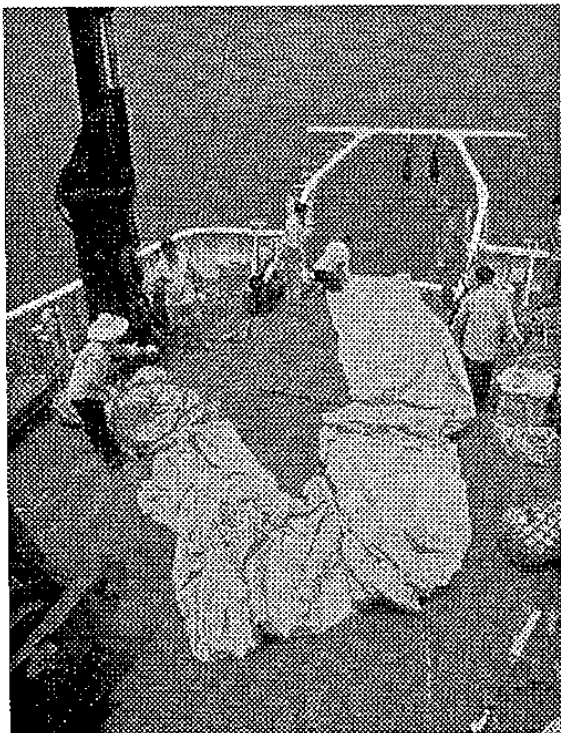
照片 4 下管逐漸沈入海中並放下浮球



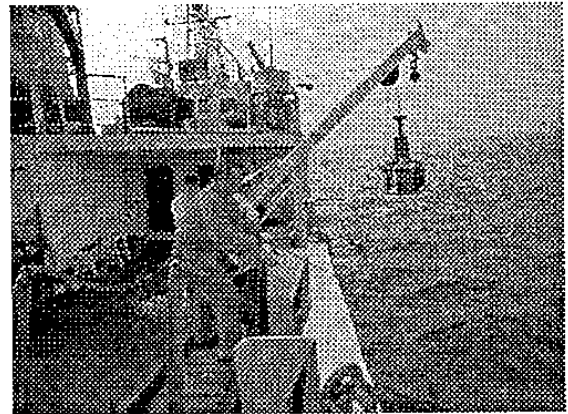
照片 5 以吊桿將柔性管吊起



照片 8 將變形的鐵絲圈矯正，再一圈圈整理疊合成如施放前的一整輪圈



照片 6 放下管口卸下吊索繼續收柔性管



照片 9 放下 CTD 與進氣管