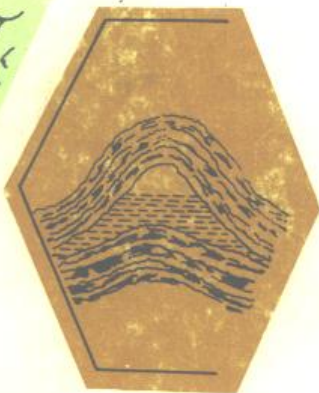




石油知識叢書

海域石油探採方法



序 言

5/15/32

探尋油源是多種科學方法的綜合運用，但具有相當的冒險性，因此也常有人將它比作賭注之一種。

近十餘年來由於石油危機的發生使世人突然警覺到人類對石油能源的過份依賴，而石油價格的起伏更影響全球經濟發展，因而除加速探勘與開發石油資源外，更積極研究其他替代能源，藉以掌握能源供應於不輟。

海域石油探勘是近三十年來全世界積極發展的探油方向，其間由於北海、阿拉斯加、墨西哥灣、澳洲、中東、非洲、南中國海、南美等地海域陸續發現大量具經濟價值油氣，更引起全世界矚目。

海洋佔地球總面積的四分之三，而在水深 200 公尺以內之大陸礁層範圍約 2,800 萬平方公里，據估計經探勘已知之可採石油蘊藏量約在 1,500 餘億桶以上，佔全世界總蘊藏油量約 6 千億桶的 25 %。世界各國均紛紛加強海域石油的探勘工作，預期今後海域石油將逐漸成為重要能源供應的來源之一。

中國石油公司為使社會大眾對海域石油探探有廣泛及進一步的認識，特請中國石油學會合作編撰「海域石油探探方法」一書，提供關切海域探探作業的人士及有關學校師生參閱。

本書內容主要包括海域測勘方法、海域鑽井工程、海域採油工程三大篇，由黃錦澄先生擔任主編，李漢津先生為副主編，並按專業分別請謝世雄、江東益、林松柏等先生為各篇主筆，同時參予各項工程撰寫的專家約二十餘人，集體創作而成。在此特向上述各位先生敬致謝忱。

中國石油學會技術委員會
探探組委員會主任委員



中華民國七十二年十月卅一日

海域石油探採方法

目 錄

篇 章	題 目	頁次
第一篇	海域測勘·····	1
第一章	海域震波測勘技術·····	1
第二章	波動理論·····	23
第三章	震測資料處理·····	35
第四章	反射法震測資料的地質解釋·····	63
第二篇	海域鑽井工程·····	99
第一章	海洋工程·····	99
第二章	定位測量工程·····	113
第三章	錨碇作業·····	135
第四章	海域鑽機之型式及其選用·····	157
第五章	防噴工程·····	173
第六章	海底井口裝置·····	193
第七章	地層測驗工程·····	203
第八章	海域鑽井特殊裝置·····	213
第九章	潛水作業·····	235
第十章	後勤作業·····	247
第三篇	海域採油工程·····	253
第一章	海域完成井工程·····	253

第二章	安全控制設備.....	295
第三章	管線工程.....	313
第四章	防蝕工程.....	323

第一篇 海域測勘

第一章 海域震波測勘技術

第一節 概述

海域震波測勘法係利用特別設計的測勘船（如圖 1-1）在適當的水深海域依據計劃的測線方向航行炸測而言，其原理與陸上震波測勘完全相同，但由於作業環境不同，在測勘設備及操作技術方面乃有差異。震測船之震測設備包括四大部份：導行定位系統、震波記錄儀、人造震源及裝有水中受波器的飄浮電纜（Streamer）。定位系統和震波記錄儀裝設在船上及船艙，人造震源空氣槍則安置於船後，船尾拖曳着飄浮電纜，都以電腦自動控制整個測勘作業。震測儀或水中受波器的波道數有 48, 96, 216, ………, 9999 之分，而飄浮電纜的長度也有 1200, 2400, 3200, ………公尺等不同規格。為使飄浮電纜保持直線，船行以定向定速前進，若速度維持每小時約 6 哩，炸點間隔 50 公尺，則每隔 16 秒需要炸射一次，除了更換測線、天候惡劣或機件故障之外，能夠每天 24 小時持續作業，每天可炸測 50 至 150 公里。海域測勘船的租金雖然昂貴，但因其工作效率甚高，測勘成本反而僅為陸上的十分之一。

海域震測時，人造震源和飄浮電纜是放在水面下 10 公尺左右，可以減低雜波並且免除如陸上鑽掘炸孔之累；人造震源在水層裡面，不產生切變波（Shear Wave）和表面波（Surface Wave），P 波（即主震波或縱波）之成分居多；水層為均勻各向同性之介質，震波

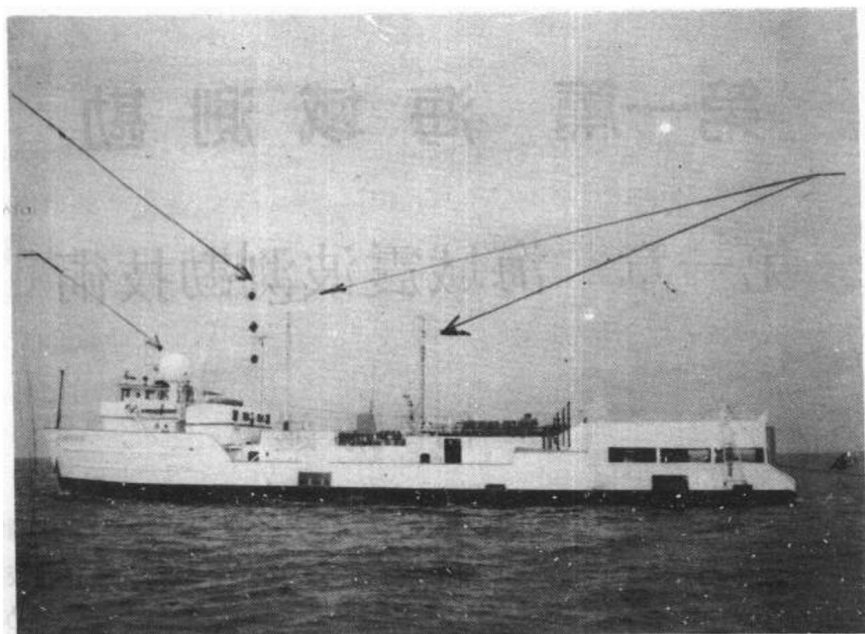


圖 1 - 1 民國六十九年中油公司僱用之測勘船
Atlantic Seal

傳播性質優越，又因人造震源與水中受波器對水層之耦合良好，人造震源所產生之波形，較容易維持不變；水層之速度固定不變，水面雖有波浪起伏，但可視為水平，剩餘靜態修正沒有像陸上資料那麼嚴重，以上敘述者為海域震測之優點。水層之上下界面均為良好的反射界面，很容易形成各種類型的複反射，則為海域震測嚴重之缺點。如何選用人造震源、飄浮電纜和定位系統及管制品質等則為海域震測技術重點所在。

第二節 氣泡震盪效應

不論以炸藥法、混合氣體點爆法、高壓空氣瞬間放出法或電壓瞬

間放電法等做為海上震測震源時，多少均會產生氣泡震盪現象。當震源爆炸時，急速產生之氣體形成氣泡，當氣泡內氣體分子向外壓力大於靜水壓力情況下，其淨壓力向外，氣體分子運動向外擴散，氣泡增大（圖 1-2），但其淨壓力逐漸減小，當氣泡壓力減至等於靜水壓力時淨壓力為零，此刻氣泡分子向外擴張速率最快，故氣泡繼續向外擴張但其速率漸減，淨壓力向內逐漸增加，最後氣泡停止擴張，但儲積而向內之淨壓力使氣泡開始回縮，氣泡慢慢又回縮至最小體積，擴張與回縮能量之交替變換產生震盪現象，每一震盪即產生一震波。

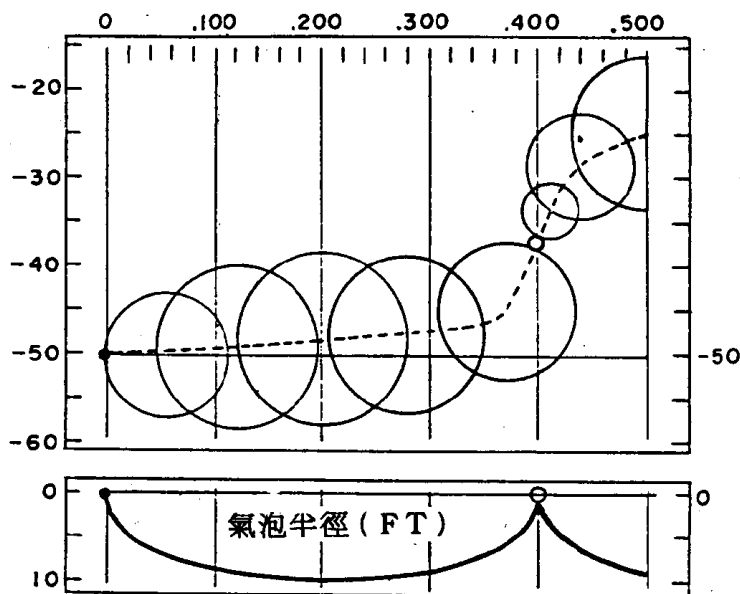


圖 1-2 炸藥爆炸後，氣泡半徑之變化及
其在水中之位置

當氣泡能量逐漸損失且移向海面時，震盪週期即變長，以炸藥約 7.5 公斤為例，產生之氣泡於震測剖面上顯示週期約 0.2 秒至 0.4 秒，氣泡震盪所產生之反射波彼此重疊，無法辨認何者為炸藥爆炸瞬間之反射信號或氣泡震盪產生之反射信號。若炸藥在水深 2 公尺以內爆

炸時，氣泡極易排出海面並會產生壯觀的水柱且可聽見空爆聲（Air Blast）顯示震能不足。

第三節 海域震測震源

海域震測震源種類多，概分炸藥法震源及非炸藥法震源。炸藥法震源除美國西方物探公司所發展之Maxipulse 尚在應用外，幾已近絕跡。非炸藥法震源中，各種型式震源經多年之使用及淘汰下，只剩下幾種優越性震源。根據SEG年報記載全世界使用中之海域震源，空氣鎗或空氣鎗組（Air Gun Array）約佔76%，內炸法震源（Implosive）如蒸氣鎗約佔19%，混合氣點爆法如AQUAPULSE約佔3%。中油公司近十年來海域震測所使用之震源除民國六十三年五月曾以MAXIPULSE系統以及AQUAPULSE系統為震源外，其餘均以空氣鎗組做為震源。本節將就目前使用率較高四種震源加以敘述：

一、空氣鎗

基本原理係利用高壓空氣瞬間釋放產生震能。其結構如圖三所示。圖1-3(a)顯示空氣鎗在充氣狀態。由四至六部空氣壓縮機提供之高壓空氣（一般壓力約2000—5000 psi）經鎗頂充氣口充填A氣室，並經活動梭中央孔道充填B氣室，由於活動梭之C凸緣截面積大於D凸緣截面積，梭體所受總壓力向下，因此空氣鎗在預備擊發狀態。欲擊發空氣鎗時，由定位電腦輸送來之引炸指令信號電流流經空氣鎗頂部之線圈，因而使活門張開（圖1-3(b)），高壓空氣經活門下孔道到達C凸緣底部，抵消一部份C凸緣上部向下之壓力，活動梭總壓力變為向上，因而使活動梭急速向上運動，下氣室空氣逸出產生震能，活動梭上衝力量因下氣室B空氣之逸出逐漸減低使梭體到達上氣室頂端時停止移動，高壓空氣經注入口再次充填A氣室以及B氣室，於是空氣鎗又回到原被擊發前之狀態。

空氣鎗產生之震能漣波形態，其主頻率依空氣鎗尺寸（以下氣室

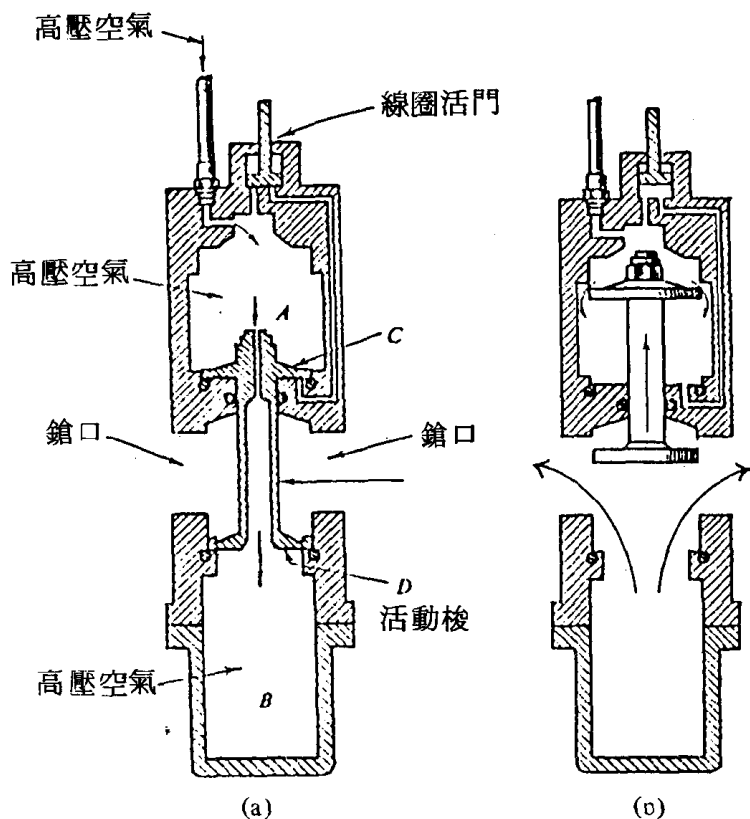


圖 1 - 3 空氣鎗內部結構

B 容積計算)，充填空氣之壓力，以及引炸深度而定（圖 1 - 4），為減低空氣鎗氣泡震盪現象，Unipulse 公司將空氣鎗之下氣室設計成二部份，中間以小孔道連接，因此使下氣室放氣時間延長，有害之氣泡震盪波延遲產生。不過目前世界上應用最廣克服氣泡震盪的方法為應用調制之空氣鎗組（Tuned Air Gun Array）。歷年來中油公司即應用此法以減小氣泡效應。其調制之方法有二種，（一）將各尺寸空氣鎗以微電腦控制使其均在同一時間引炸，由於各空氣鎗產生之氣泡震盪波週期各不相同，互有抵消作用，因而使空氣鎗組產生之氣泡震盪減至最低。（二）將各尺寸空氣鎗以事先設計並試驗好之引炸時間由微

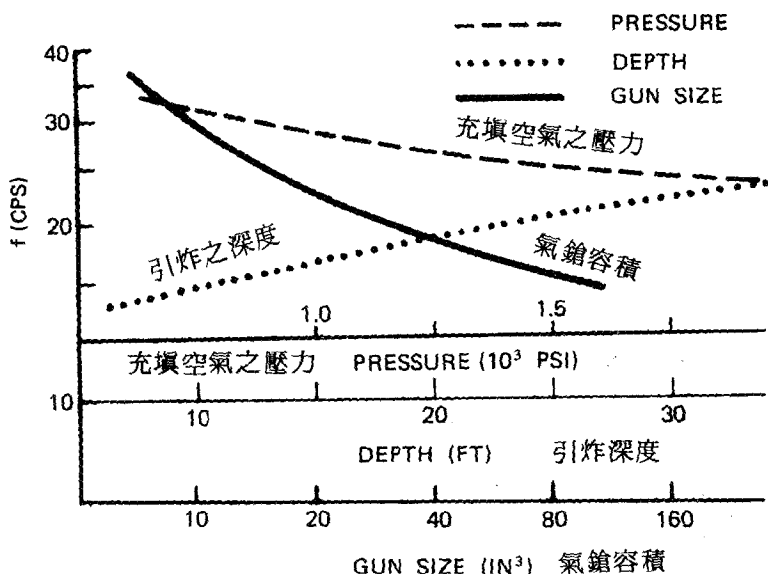


圖 1-4 空氣鎗震能漣波主頻率與充填高壓空氣壓力，引炸深度以及空氣鎗尺寸關係

電腦發出引炸指令，其產生之漣波為吾人所要的型態，氣泡震盪效應最低。目前震測地層解析愈來愈重要，高解析震測剖面需要有優良之震源漣波，因此目前一般測勘船均配備有微電腦控制之震源同步系統隨時監視各尺寸空氣鎗之引炸延遲或提前情況並隨時加以調整。圖 1-5 為民國六十九年 Digicon 公司測勘船上之震源同步控制系統，螢光幕上顯示各尺寸空氣鎗之操作狀態，包括延遲或提前時間，誤炸 (Miss Fire) 或自炸 (Auto Fire)，圖 1-6 (a) 為中油公司民國六十七年僱用 GSI 測勘船 Dunlap 號施測所用調制空氣鎗組於左舷及右舷拖拉空氣鎗佈置型態，操作之空氣鎗總容量為 1450 立方吋，由三部 NORWALK 壓縮機充填 2000 psi 高壓空氣。空氣鎗之引炸深度為 6.5 公尺，圖 1-6 (b) 為調制空氣鎗組產生之漣波及頻譜，由漣波圖形可看出氣泡效應極小，而頻譜上顯示寬平之頻率響應曲線。

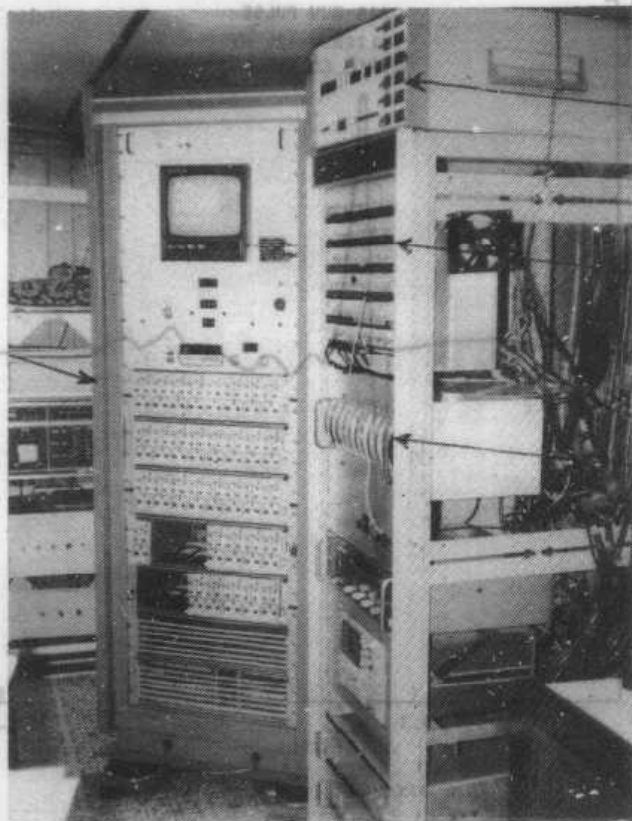
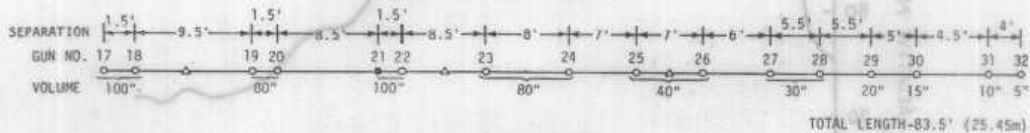


圖 1 - 5 Digicon公司自動震源同步系統或稱CLASS系統

右舷 (STARBOARD)



左舷 (PORT)

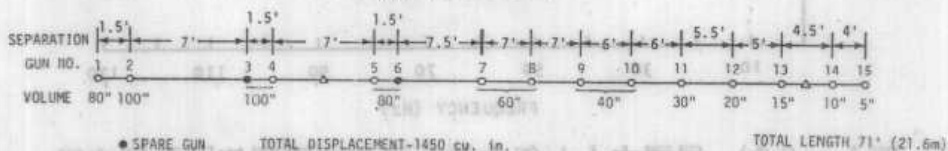


圖 1 - 6 (a) 民國六十七年中油公司海域震測使用調制空氣鎗組各尺寸空氣鎗佈置圖

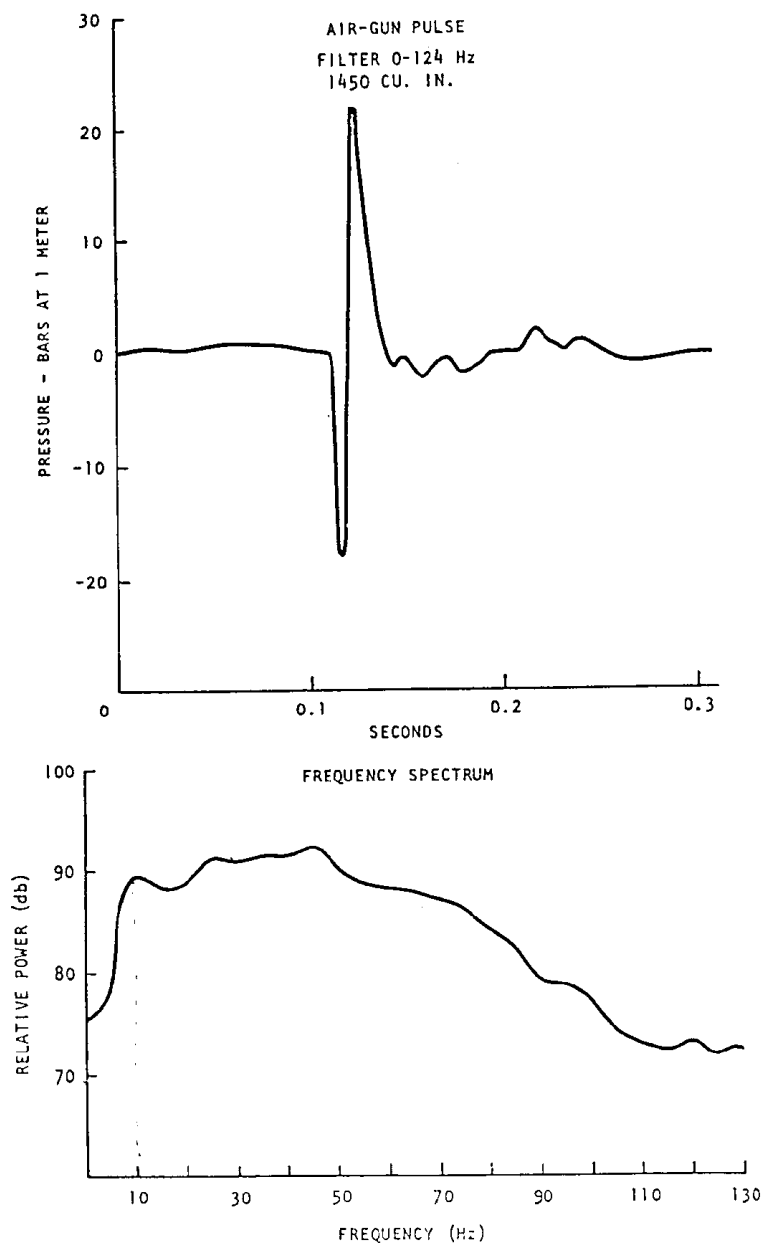


圖 1 - 6 (b) 民國六十七年中油公司海域震測使用調制空氣鎗組震源產生之漣波及頻譜

二、Aquapulse

Aquapulse 是混合氣點爆法之一 基本原理係將丙烷與氧氣之混合氣在一外部為橡皮扣緊並用鋼架支撐套筒前端之燃燒室中由火星塞點爆（圖 1 - 7），產生之氣體在橡皮套筒內任其膨脹，打擊筒外海水產生震波，當套筒排氣活門張開時，特殊設計之真空排放系統將廢氣導入海面。Aquapulse 亦應用組合型態以增強能量。

另有多種混合氣點爆法如海域測勘用之 Dynoseis，其原理係利用混合氣在金屬氣室內爆炸，爆炸產生之大量氣體推動金屬活塞打擊海水產生震能。

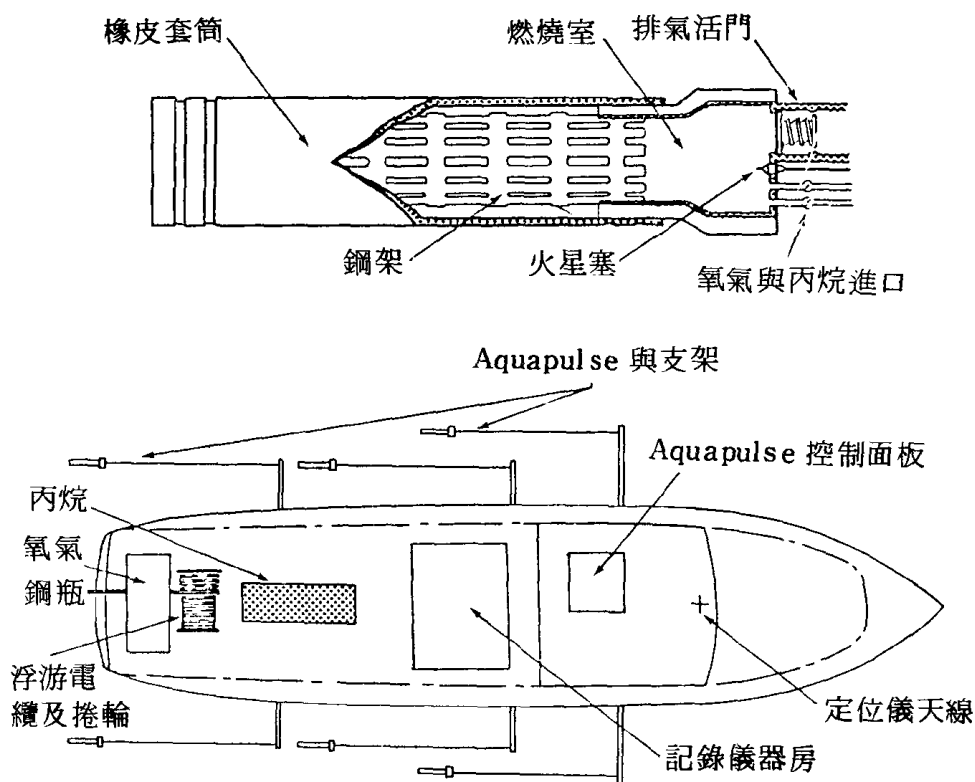


圖 1 - 7 Aquapulse 震源系統以及其在測勘船上作業佈置圖，
圖上顯示六集鎗組合型態

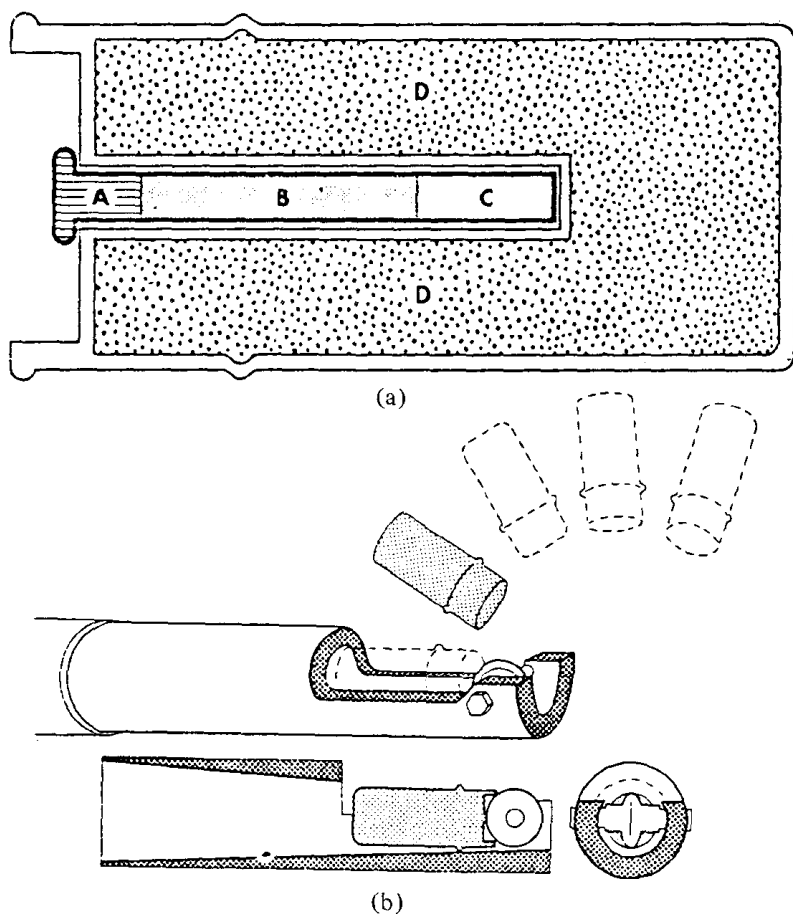


圖 1 - 8 Maxipulse 系統 (a) 罐頭裝炸藥剖面圖，A — 衝擊雷管，B — 延遲引信，C — 推進器，D — 炸藥。(b) Maxipulse 投擲情形。

三、Maxipulse

其原理係將小罐頭裝約半磅之炸藥，經水管導至一引炸輪（圖 1 8），彈藥內之延遲雷管使炸藥延遲約 1 秒鐘爆炸，測勘船離開炸點約 5 公尺，水管上安裝之壓力感應器將爆炸脈波以及隨後之氣泡震盪

波送至記錄儀記錄在輔助波道上。震測處理時以去氣泡處理程式 (Debubbling) 將氣泡震盪波效應消除並可將震源漣波 (Source Signature) 改換成所需之形態。

四、蒸氣鎗 (Vaporchoc)

蒸氣鎗為目前使用最多之內炸法震源，其基本原理係將高溫及高壓之蒸氣導入水中，急速凝聚消失而產生震能。其基本結構如圖 1 - 9 所示。船上蒸氣產生器經遙控活門以及熱絕緣導管注入蒸氣桶中，由定位電腦而來之引炸指令使擊發活門張開，蒸氣急速衝入水中產生水泡，水蒸氣凝聚，水泡消失，海水衝向凝聚點產生震能，由於沒有氣泡，不會產生氣泡震盪波。

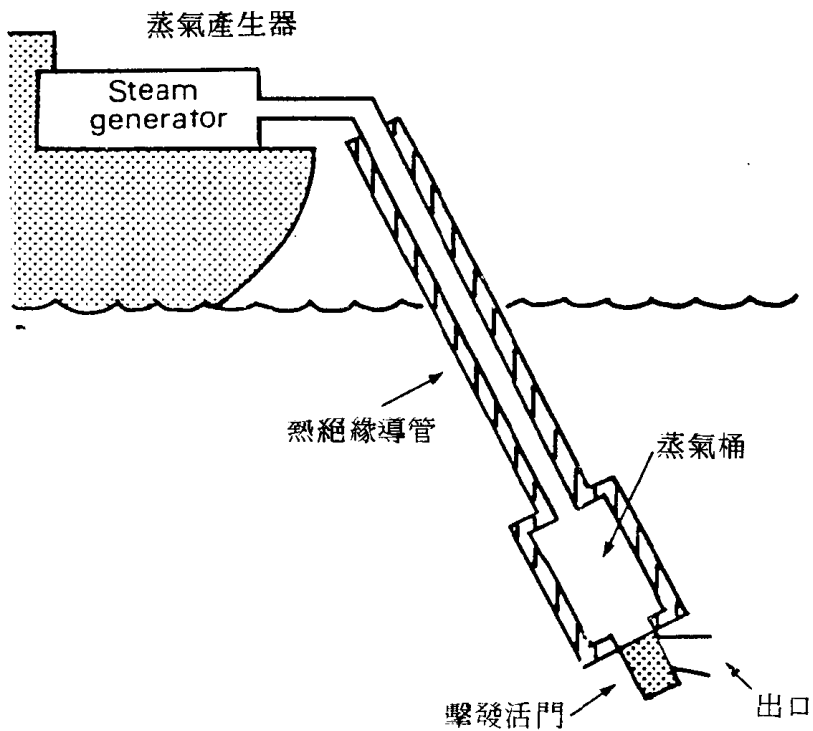


圖 1 - 9 蒸氣鎗震源系統

第四節 海域震波接收電纜

海域震測震波接收之基本元件為水中受波器（Hydrophone），與陸上震測之地動感應型受波器（Geophone）原理不相同。水中受波器以具有壓電效應之晶片在水中感受因震波傳送產生之微小壓力變化，並轉換成電流變化以便輸送至放大器，放大後記錄下來。水中受波器一般成對配置來消除測勘船水平加速效應。此加速消除水中受波器（Acceleration cancelling hydrophone）為晚近震波測勘之重要發明之一，它不但可抵消船之水平加速，並有排阻雜波之功效，因而提高震波之信號／雜音比，使海域測勘在惡劣天候下作業成為可能。

水中受波器安置在飄浮電纜（Streamer）內，由測勘船拖曳於船尾並沉入水中適當深度（約10—20公尺），圖1—10為標準飄浮電纜佈置圖，每二十個以上水中受波器串聯成為一受波站，每條電纜

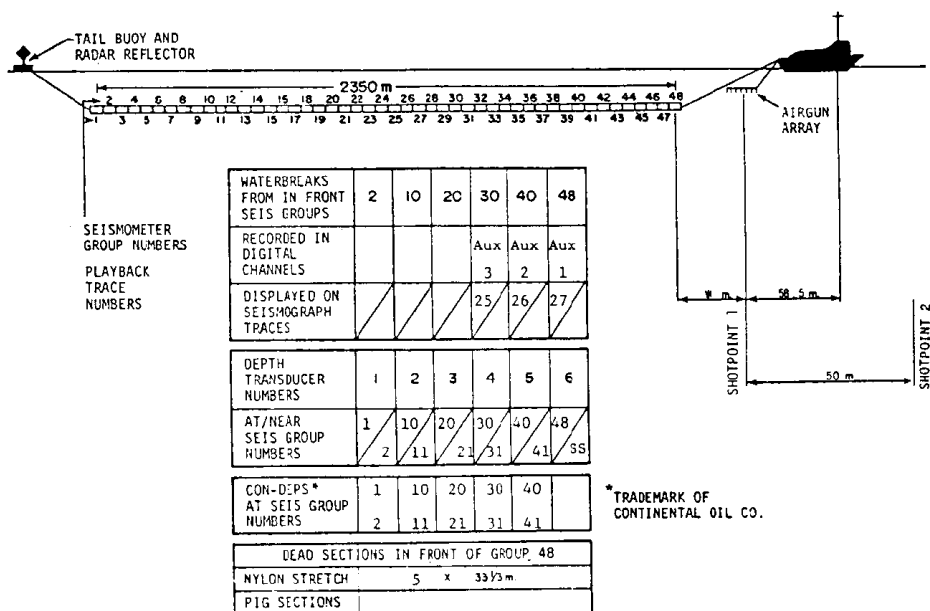


圖 1—10 民國六十一年中油公司海域測勘飄浮電纜佈置圖

可依測勘需要配置 24, 48, 96, 120 等各種不同數目的受波站，受波站之間距亦可依測勘需要加以適當配置，電路接線及拖拉鋼索均置於電纜膠管中，管中充以煤油使電纜飄浮於適當深度，靠近船體之引入段（Lead in）電纜有 100 公尺以上，用來吸收船體震動之雜波並使整條電纜定速穩定地向前拖移，有些測勘船為儘量減小船尾搖動急拉產生之雜波，於引入段後加裝 100 公尺以上之尼龍制震段（Nylon Stretch Section），飄浮電纜尾端均裝有纜尾浮標（圖 1-11），船上的雷達幕可偵視浮標頂部雷達反射器之回波以便隨時監視其受拉。撤前故茲受 84 英尺，04，03 英寸，01—1 圖



圖 1-11 纜尾浮標