

# 潛水作業與海域石油探勘

徐兆銘

## 前言

潛水就是人類進入水中或水底工作並安全地返回地面的交通方法，它可分為兩種方式，一為受壓潛水（Pressurized Diving），也就是人類直接進入水中工作，人體所受之壓力（水壓）隨深度之增加而增大。一為常壓潛水（Unpressurized or Isobaric Diving），工作人員進入密封之容器，如潛水鐘、潛艇或其他未加壓之設備等，隔絕水壓而進入水底。在密封之設備內，人體可免除因壓力增加而引起的生理及心理上之困擾，如氧氣中毒、二氧化碳過多、惰性氣體造成的昏迷以及潛水病等。可是工作人員與外界隔離，工作效率自然比受壓潛水差得多。今天，由於潛水設備與技術不斷地改良，潛水人員已能在高壓的水中工作，而不致造成生理與心理之障礙。

## 潛水的發展

西元前四一五年，希臘的潛水夫摧毀希拉古斯（Syracuse）港口樁木，是史書上記載最早

早的潛水活動，當時已使用無底潛水鐘（Open Bottom Diving Bells）。一五〇〇年代，已有各種不同實用程度的潛水設備問世，最令入驚奇的是，某些設備能夠完成打撈船隻及回收水底貨物等困難的工作。（見圖一）

一八一九年，奧古斯都塞比（Augustus Siebe）設計的開罩式（Open Helmet）潛水設備，可說是今天潛水裝置的先驅，現代所有的潛水設備都是由開罩式不斷改良演變而成的。（見圖二）

無底潛水鐘，係將壓縮空氣從水面泵送至水底金屬罩中，壓縮空氣之壓力恆與水壓相等，因為多餘的空氣必從金屬罩底部溢出，潛水夫可以毫無困難地呼吸。由於早期機械技術上的限制，壓縮空氣未能普遍應用於潛水活動，現代由於機械技術與設備之進步，已能克服水深的困擾，而將大量壓縮空氣輸送至水底。

一九〇六年，哈丹博士（Dr. J. S. Haldane）以數學和生理學為基礎，研究成一套減壓之步驟和方法，現代使用的減壓程序之計算，就是從哈丹的方法衍變而來的。

第二次世界大戰，對於潛水設備和技術的發展影響極大，閉路呼吸系統（Closed-Circuit Breathing System）的發明，可避免

因呼吸排出之氣泡而暴露潛水夫的踪跡。同時也發明了許多更精巧的呼吸裝置，以用於救難行動，潛艇之拯救及其他複雜的水中工作；並且壓縮空氣還可裝在潛水夫背上的高壓鋼瓶內，絲毫不影響潛水夫的工作效率。

從一九六〇年起，世界各先進國家，紛紛從事人類在水中生活與工作的秘密研究；在十年內，獲得了許多重要的潛水經驗。美、法兩國亦大力推廣各項水下試驗計畫，以驗證一種稱為飽和潛水（Saturation Diving）的新觀念，也就是人類長期在三〇〇呎水深的壓力下生活，工作的試驗。由於這些計畫的成功，使許多有關海洋活動的技術得以突飛猛進，如複雜的海底交通工具，水下維生系統，及各項新式潛水設備等。

一九六〇年代末期，這些水下試驗漸走下坡，因為支持該試驗之團體或個人，發現進行這些潛水試驗無法在短期內收回其投資之成本。許多科學或工業上的潛水試驗遂告停頓，大部份的水底交通工具被變賣或進庫貯存。

一九六七年，由於海域石油工業之急速擴展，許多商業性的潛水公司如雨後春筍般地誕生，這些潛水服務公司能在六〇〇呎深之水底從事各項工作，以應石油公司深水鑽井之需要；雖然各國之潛水試驗已告萎縮，但因海域石油工業之崛起，和石油開採有關的潛水活動卻因此而欣欣向榮，使這些潛水服務公司躍居今日潛水技術與設備之領導地位。

## 海域油田的潛水活動

目前大部份的海域石油探勘，雖仍局限在水深六〇〇呎以內的地區，但其目標已指向更深的水域了，許多潛水合約規定潛水能力須達一〇〇

○呎，而要求一五〇〇呎者亦相當普遍，不久的將來，要求的潛水能力可能達二〇〇〇呎，因此，下列幾個問題，必須先瞭解透澈，以因應未來更深的潛水活動。

#### 一、設備問題：

雖然超過三〇〇〇呎水深海域鑽井已於一九七六年宣告成功，而且海底鑽井設備亦漸邁向「免潛系統」(Diverless System)的境界，但是若緊急事故，仍舊潛水夫來解決。水深三〇〇呎以內的潛水，可說毫無困難了；今天大部份的潛水設備都能應付六〇〇呎的水深及最新的鑽機上；甚而還有超過一〇〇〇呎水深的潛水設備。但是潛水工業面臨的難題是：六〇〇呎潛水設備之設計標準，並不適於深水潛水之用。因為一般六〇〇呎潛水設備是由三〇〇呎潛水設備改裝而成的，只是增加其容積，更換壓力表與調節器，而其結構、設備與儀器則一成不變，這種改造的潛水設備目前已面臨淘汰邊緣，新式的潛水設備，必須針對水深所增加的壓力，加以技術上的改良，以減低危險性，如精密的氣體控制，長期浸浴冷水中的能力，潛水夫在減壓艙內實施冗長減壓程序的舒適感等。

#### 二、昏迷問題

潛水夫呼吸的氣體可分為二種，一為空氣，一為混合氣體，在深水中若以空氣為呼吸介質，則有生理上的限制，因空氣中含有氮，氮在血液中的含量超過某一限度，會使人昏迷不醒，因此用空氣潛水最大的深度為二〇〇呎，大於這個深度，部份或全部的氮氣必須以對人體無昏迷作用的惰性氣體來代替(通常採用氦氣)。

#### 三、減壓問題

潛水夫完成工作後，必須按照預定的程序減壓，使體內各組織所吸收之壓縮性氣體以不產生氣泡的方式，緩慢排出體外，否則會引起減壓

病或潛水病(Decompression Sickness or Bends)。潛水時，體內吸收惰性氣體的量，隨深度及水中停留時間而增加，減壓程序所需時間的長短，視體內惰性氣體之多寡而定，因此減壓時間隨深度及水中活動時間的增加而增加。能縮短減壓時間又不影響設備與人員安全的操作技術有好幾種，最普遍的是短期潛水(Short Duration Diving)。

短期潛水就是盡量縮短潛水夫水底受壓工作的時間，(通常不超過一小時)，以便在數小時之內完成減壓程序。由於受壓時間短，人體吸收之惰性氣體亦少，減壓程序可在二十四小時之內完成。在六〇〇呎以內的水深，短期潛水的水底工作時間通常不超過半小時。

現行採用的減壓表(Decompression Table)是以模擬潛水之理論計算為基礎，這些計算數字經模擬試驗證實合用後，才引用至現場實際作業，再經修正而得。但是水深超過六〇〇呎所使用的減壓表則尚未經實驗證明，因此無法應用到深水潛水的減壓程序。

短期潛水是海域鑽井中相當重要的工作，許多鑽井器材的故障，須由潛水夫一至二次之潛水作業來修復。國際海洋工程公司(Ocean Engineering International)曾統計一九七一年內約三〇〇〇次潛水作業中，百分之九十九在一小時內完成。其中百分之八十是在半小時之內完成的。同樣的統計，一九七一至一九七二年間，在愛爾蘭海域的鑽井工作中，共有二二二三次潛水作業，其平均潛水時間為每次十六分鐘。由此可知，鑽井工程所需要之潛水作業，通常在一小時之內即可完成。

與短期潛水完全不同的是飽和潛水(Saturation Diving)。一九六六年，飽和潛水之觀念首次被介紹至海域石油工業界，首先，它說

明了更合理的「潛水時間與減壓時間之比例」，也就是人體在某一深度之壓力下，所吸收之惰性氣體隨工作時間而增加，但到達某一工作時限，人體組織內之惰性氣體即呈飽和狀態，此後，減壓所需時間只與深度有關了。潛水夫能在該深度(稱為飽和深度)停留更久而無需增加其減壓時間。但是，完成飽和潛水後，潛水夫要減壓至一大氣壓，須耗費很長的時間(一個星期以上)，因此其優點乃被漫長的減壓程序抵銷了。以現在使用的減壓表來估計飽和潛水減壓時間大約每增加一〇〇呎水深，即須增加減壓時間一天。

理論上，人體組織在任何壓力下，至少須二十四小時才能達到完全飽和狀態。實際上，只要潛水夫在某一深度停留之時間超過傳統減壓程序的範圍，均須實施飽和減壓(Saturation Decompression)手續，以策安全。

在六〇〇呎深的水底工作二小時的潛水夫，顯然並未到達飽和狀態，為什麼不能依照傳統的減壓表來施行減壓程序呢？因為傳統之減壓程序比飽和減壓快得多，到目前並沒有任何理論上或經過實驗證實的資料來支持這種做法，也沒有人敢直接應用於工作現場，除非更進一步的試驗獲得成功，否則唯一的途徑仍是飽和減壓。

#### 四、壓縮障礙

即使我們吾人擁有經過試驗成功的減壓表來實施減壓程序，但在超過六〇〇呎以上的潛水活動，仍會遭遇壓縮障礙(The Compression Barrier)的困擾。當壓力增加時，人體即開始吸收惰性氣體，基於這個理由，海底工作時間應從人體開始受壓時算起；由於潛水作業有一定的時限，若能縮短加壓的時間(即下潛之時間)，即能增加實際海底工作時間。

由經驗得知，人體可在數分鐘之內(通常為十分鐘)，被加壓至六〇〇呎深的水壓；假設水

深六〇〇呎的工作時限為半小時，則潛水夫在減壓開始之前只有二十分鐘的實際工作時間。從試驗結果顯示，急速加壓至六〇〇呎以上之深度，會引起所謂高壓神經併發症（High Pressure Nervous Syndrome 簡稱為HPNS）。

HPNS之病理尚不清楚，但會顯現嚴重的困倦、暈眩、戰慄、嘔吐等症狀。現代預防HPNS的方法，是對人體緩慢加壓（每小時四十呎——根據美國海軍所訂之標準），然後在潛水結束後，施以飽和減壓。在實際作業上，若按照這個標準操作，下潛在一〇〇〇呎須費二十五小時，假設水底工作僅需一小時，則潛水夫須受二十五小時之加壓，一小時工作及十天之減壓程序，這對僅僅一小時有效的工作來說，所花費之金錢和時間實在無法令人滿意。

今天許多商業性潛水服務公司所關心的焦點，集中在超過六〇〇呎水深所須之短時工作，以配合將來鑽井工程的需要。如果發現有任何辦法能將人員在短時間內安全地加壓至水底工作壓力，則在海底工作半小時或一小時之後，所須減壓之時間亦相對地縮短。要做到如此快速又安全的潛水作業，只有靠不斷地研究和試驗了。

#### 五、轉界點（The Crossover Point）

水深一〇〇〇呎並非今日潛水工業界的主要難題，現在最大的困難在於四五〇至七〇〇呎的深度，而該深度又是今後兩三年內潛水作業的主要範圍；到目前為止，在該範圍內潛水所使用之減壓程序，並未經過嚴密的試驗，因此將極可能引起嚴重的潛水病（Bends），所以適合這個深度的潛水設備與技術，必須比現有的更完善更安全可靠。

#### 六、水深與潛水時限的關係

深度在六〇〇呎以內的海域鑽井潛水工作，若事前有完善的計畫，配合經驗豐富的潛水夫以

短期潛水的方式作業，大部份工作均能在半小時之內完成。至於六〇〇呎以內的長期水底工作，則採取飽和潛水方式，飽和潛水通常用於淺海工程構築比海域鑽井更廣泛、更實用。超過六〇〇呎的潛水作業，水底工作時間須有一定的限度，以縮短減壓所需的時間。為避免HPNS的發生而減緩下潛加壓速率，也會縮短海底有效的工作時間，以致無法在一定時間內完成工作。目前短期潛水的深度限制不易明顯劃分，但為操作安全計，似以七五〇呎左右為宜。

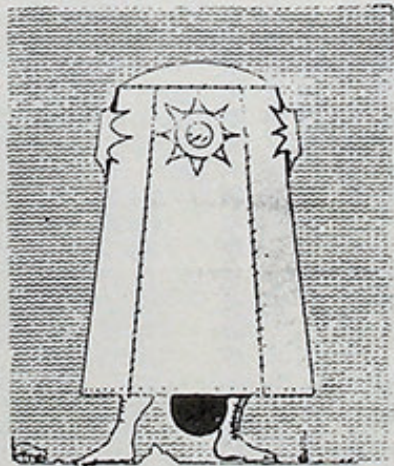
通常一個優秀的潛水夫，只要潛入超過六〇〇呎的水中作業，將會考慮到使用飽和潛水的可行性；在這個深度，是否採用飽和潛水，則視潛水夫是否能在工作時限內完成任務而定。假設在六五〇呎的深度，水底有效工作時限為十分鐘，若在這個時限內無法完工，必要的話要求潛水夫趨近飽和狀態，繼續其未完的工作，可是事後潛水夫必須在減壓艙內接受六至七天漫長而枯燥無味的減壓程序。

深度超過七五〇呎，則非用飽和潛水不可了。只有完善的飽和潛水設備與經驗豐富的潛水夫，再加上周密的工作計畫，才能安全、迅速地完成任务。

#### 結語

今天，我國正大力推廣海域石油探勘及港口的興築，潛水作業日益受各界重視，在國內已有蓬勃發展的趨勢，但是仍有許多人還不甚瞭解潛水作業的困難與亟待解決的難題，它不像一般人想像中那麼多采多姿，那麼富有浪漫氣息，它是集海洋、物理、機械、生理及藝術於一爐的海洋工程技術。希望本文能讓讀者（尤其是本公司海域鑽井工程人員）對潛水作業先有基本的認識，以迎接開發海洋資源時代的來臨。

圖一：最早期的無底潛水鐘，係以皮革覆在釘好的木架上而成。用鐵球作加重物，使人潛水鐘一起下降，潛水夫還可在水底走動，要上浮時，只須將鐵球棄置水底即可。



圖二：一八一九年奧古斯都塞比設計的潛水衣，是今日潛水衣的先驅，空氣由水面泵送至金屬頭盔內，頭盔與甲冑（皮革製品）密接，多餘之空氣由甲冑底部排出。

