

石油和天然氣的生產

■ 范來富

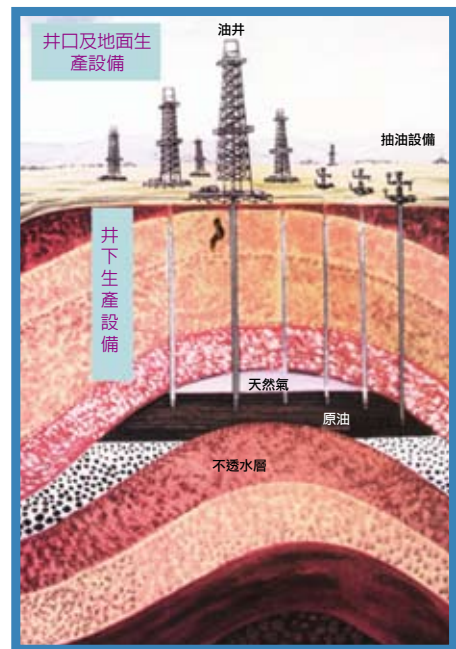
生產井設備，包括井口的控制閥（一般稱為聖誕樹）、井內的油管串、井底的安全閥等，萬一損壞或失靈，安全閥可以自動關井，把危險降到最低。此外，要防止井口產生冰狀水合物，以避免堵塞生產管線。

油氣井的完井工程

在鑽鑿油氣井前，石油公司利用先進的探勘法勘定井口位置及目標油氣層，並鑽鑿探勘井證實有豐富的油氣蘊藏後，還必須確認生產層的深度、壓力、產率、油氣成分等。然後，設置適當的井底及井口控制設備準備生產，這過程稱為完井工程。

接著，依據井場的地面環境，安裝地面生產設備，把井底的油氣輸送至地面。然後在井場初步分離後，再透過管線輸送到汽油廠或煉油廠進一步處理，才能正式進入生產體系，供應給客戶。

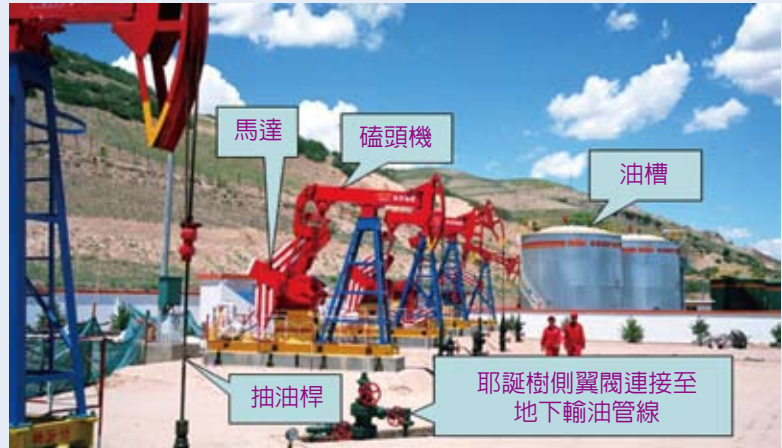
油氣生產層的深度由數百至數千公尺不等，其溫度大致可依地溫梯度計算，通常是每加深100公尺，增溫約攝氏3度；壓力則依水柱壓梯度來估計，每加深10公尺，每平方



儲油氣地層與油氣井生產



水井手壓唧筒式井口設備



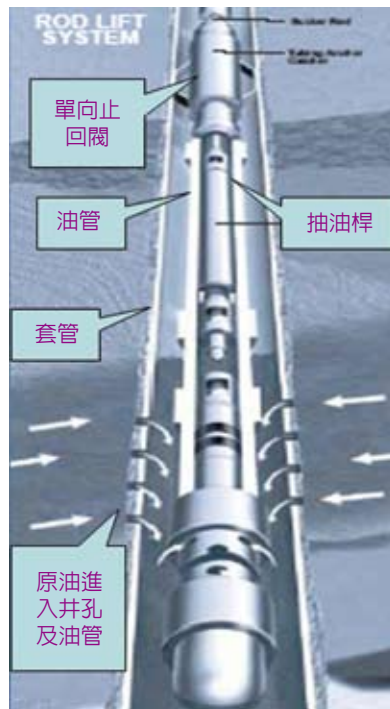
油井泵抽式井口設備

公分約增加1公斤或每平方英寸約增加14.22磅。生產層的流體包括液態的油、水，以及氣態的天然氣，這些流體會因壓力差自地層流入井內，再往上流到地面，是一種降壓、降溫的生產過程。

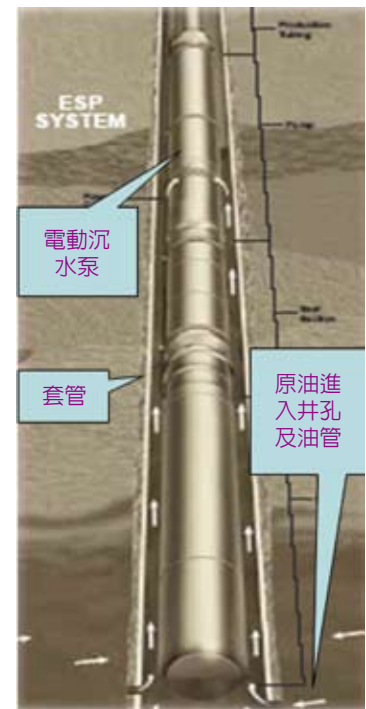
油井的特性及生產設備

生產層中若是以重成分（即含碳數較多的碳氫化合物）為主時，就是液態—油層，產出到地面後就是一般所稱的「原油」。因高溫高壓而溶解在油層中的少量較輕成分，會在生產過程中逐步揮發、氣化成天然氣，這種生產井稱為「油井」。油井一般深度較淺、地層壓力較低，且流體較重及膨脹性小，往上流動時壓力下降較大，位於井口處的壓力大多是每平方英寸數百磅。

油井的主要生產設備包括井下的油管，以及因外形特徵而被稱作「聖誕

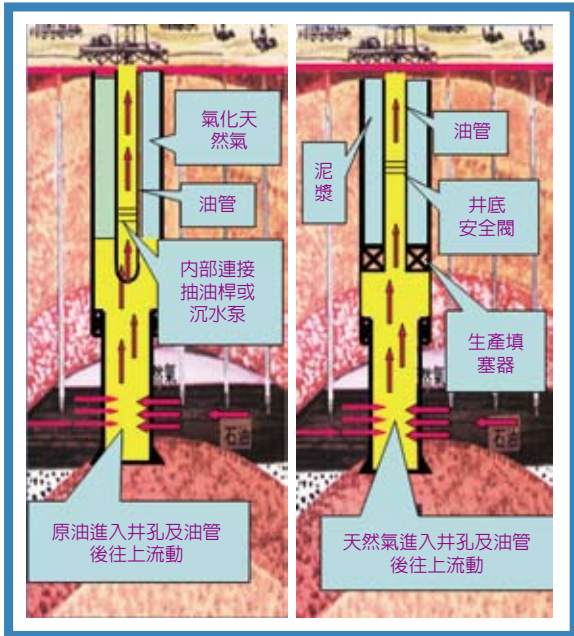


油井泵抽式井下設備



油井沉水泵式井下設備

生產層中的油氣若是以重成分（即含碳數較多的碳氫化合物）為主時，就是液態—油層，產出到地面後就是一般所稱的「原油」，這種生產井稱為「油井」。



(左) 油井井下剖面圖及(右) 氣井井下剖面圖。

樹」的井口開關設備兩部分。以往有些人家附近會見到手壓唧筒式水井，現在在農場或漁產養殖場也偶爾可見電動沉水泵式的水井。油井與這些水井類似，它的完井生產方式及設備也與它的前輩類似。

原則上，深度較淺或產量較小的油井採用類似唧筒的泵抽完井方式。做法是在井內安裝抽油桿，以連接底部的單向止回閥。抽油桿頂端延伸至井口耶誕樹，再連接由馬達帶動的唧筒裝置（美國俗稱「大約翰」，台灣則因它的動作而稱作「磕頭機」）。就像用水桶在水井汲水一樣，把井底的原油源源不絕地汲出井口耶誕樹，經側翼開關閥流入地面管線。

深度較深或產量較大的油井，因「磕頭機」無法負荷，必須改用馬力較大的電動沉水

泵的完井方式。做法是在油管底端連接電動沉水泵後，再往上組接一支一支的油管，最後把沉水泵下到井底，油管頂端就吊掛在耶誕樹底部。油管組接時，也在它的外緣外接電纜線連接至地面電源，以供應沉水泵電力，生產時只要啟動電源，就可把原油往上泵出而流入地面管線。

氣井的特性及生產設備

生產層中的油氣若是含碳數較少的碳氫化合物時，就是氣層，產出地面後就是一般所稱的「天然氣」（其中含有因高溫高壓而成為蒸氣的少量較重成分，在生產過程中會逐步凝結成凝結油），這種生產井稱為「氣井」。氣井一般深度較深、生產層壓力較高，流體較輕且隨壓力下降而急速膨脹，由井底往上流動時的壓力下降較小，使得井口壓力常高達每平方英寸數千磅以上。

氣井因須使用耐高壓器材、減壓設備、防止洩漏的自動關閉裝置等，因此需要較多設備及較厚重的材料以確保生產順利及安全。

與油井相較，氣井通常深度較深且壓力較高，以氣體自身膨脹的方式生產，井底到井口都是處在高壓狀態下。一支一支組合接到井底的油管通常約0.5公分厚，是一體成形的無接縫、耐高壓鋼管。長而重的油管串除頂端吊掛在耶誕樹底部外，其底端也必須放置於特別設置在生產層上方的生產填塞器上，以承受部分油管串重量。

生產層中的油氣若是含碳數較少的碳氫化合物時，就是氣層，產出地面後就是一般所稱的「天然氣」，這種生產井稱為「氣井」。

此外，完井後的天然氣生產是由地層流入填塞器下端的井孔，再進入油管往上流出。在生產填塞器的上方，油管與套管間的環孔充滿泥漿，泥漿柱有平衡油管內、外及填塞器上、下方壓力的功能，生產填塞器也有承受泥漿重量及隔絕上方泥漿與下方流體的功用。

氣井一般需在油管的適當位置裝設「井底安全閥」，安全閥可利用特殊設計的鋼線設備放到油管內的預定位置，或在必要時取出檢修。安全閥裝設後，在正常生產狀態下，流體可自由流通。但若地面設備意外破裂而造成大量洩漏，導致超過設計量的流體通過安全閥時，會因壓力差過大而牽動安全閥彈簧，使閥門轉成關閉狀態，以達到自動關閉生產的目的。

氣井的井口耶誕樹除具有特殊加厚設計外，大都採用雙層主閥，並搭配一側翼閥的多重安全設計。一般操作僅開關上主閥及側翼閥，下主閥則保持常開狀態，僅在特殊需要時才關閉。

此外，因氣井的高壓特性，另裝設了下列二種附屬的井口裝置。在耶誕樹側翼閥之後，通常是立即連接類似於井底安全閥功能，但設計關閉壓力差較小的「井口安全閥」。任一地面設備的大量洩漏都會先導致這安全閥自動關閉，是防止洩漏的第一道防線。若這安全閥仍無法止住洩漏時，才會啟動第二道防線的井底安全閥並自動關閉。這兩道防線使氣井的生產安全獲得雙重保障。

一般家庭用的天然氣僅需約每平方英寸3~5磅的壓力，而氣井的井口壓力動輒每平方英寸數千磅，因此需要逐步減壓才能輸送至用戶端。一般在井口安全閥之後，會立即連接「井口節流嘴」的第一段減壓裝置，以及設置在「加熱器」中間的第二



氣井雙串油管井口耶誕樹

段節流嘴減壓裝置。節流嘴的節流減壓原理類似水龍頭開關，是在管線轉彎處加裝中間有小孔的圓棒，使得上游管線內的氣體流經小孔後再進入下游管線，以局部減少管線內流通孔徑的方式達到減壓的目的。

油氣井地面生產設備

一般而言，油井產出的流體以原油及少量的天然氣為主，但常伴隨產出地層水。尤其是在生產末期，有時產出的地層水量比原油還多。在高油價的時代，即使產能是10%原油、90%地層水的油井，還是有生產價值的！氣井產出的流體則

油井產出的流體以原油及少量的天然氣為主，但常伴隨產出地層水。在高油價的時代，即使產能是10%原油、90%地層水的油井，還是有生產價值的！

以天然氣及少量的凝結油為主，同樣也會伴產地層水。在生產末期還常因出水量太大而積存井內，影響產氣量或導致生產層天然氣被「壓死」而停產！

依生產安全及維護作業，油氣井的生產井場需要考量多種因素，可以有單井或多井並排的橢式井等布置方式，約需有50×100公尺的範圍。井口及各種地面設備間也要保持一定距離，尤其是井口耶誕樹四周必須保留相當空間，供各種井下設備設置、取出、閥門開關、檢修等操作。一般的地面生產設備隨產出流體特性的不同而有變化，依安裝順序包括加熱器、分離器、生產歧管等。

加熱器

油井以產出較高溫的液體為主，一般不需加熱。但氣井產出的大量氣體則因井口耶誕樹的節流減壓而使體積膨脹、溫度降低，嚴重時

甚至造成節流嘴下游的管線中產生冰狀水合物而堵塞，因此一般需要先經過加熱的程序。

「加熱器」類似家庭用熱水器，天然氣管線連接至圓筒狀的加熱器內，浸泡在水中的彎曲蛇管底部再以該井自產的天然氣燃燒加熱，以熱水間接加熱管內的天然氣。若壓力仍然過高，還會在加熱器蛇管的中段裝設第二段節流嘴來減壓及加熱，加熱的程度以管內流體能順利流動為原則。

分離器

油氣井產出的流體經加熱後，進入分離器以分離原油、天然氣及地層水或水蒸氣。「分離器」就是分離不同流體的設備，外形類似家庭用水塔，但它的內部依序裝置擋板、分隔板及液面控制浮筒。

管內三相（三種）流體進入較大內徑的圓筒狀分離器後，首先碰撞擋板以減低流動速



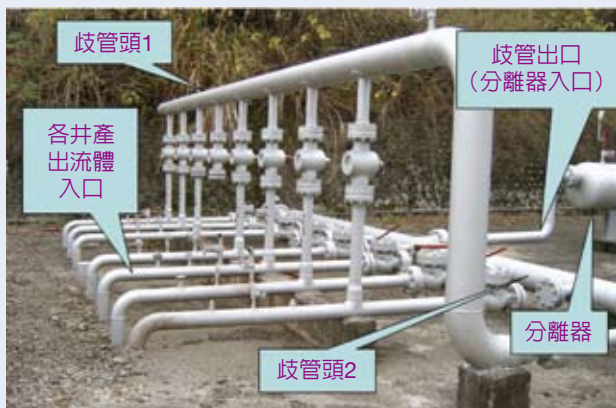
(左) 單井井場布置與 (右) 橢式井井場布置。



(左) 4組加熱器並排分別加熱4口井的天然氣。(右) 加熱器內部蛇管取出檢修。



臥式分離器



生產歧管

率，然後在分離器後半部利用重力分離原理，天然氣由頂部管線引出，液體下層的地層水由底部管線引出。液體上層的原油則越過分隔板進入最後隔間，由底部的另一管線引出。

分隔板的前半部或後半部分別設置液面控制浮筒，控制液面在適當高度，以使三種流體各自流入正確的管線。

生產歧管

眾多生產井產出的流體，經各自井場的分離器分離後，原油、天然氣及地層水可利用「生產歧管」匯集或運輸至特定地點集中處理。各礦區生產井的原油可匯集至油槽等待載運，或直接由管線輸送至煉油廠煉製。天然氣則通常先經管線輸送至汽油廠處理後，再供應到用戶端。

地底下產出的地層水通常含有高鹽分，必須集中後重新擠注至地層中，或經特殊設備處理以去除油氣、鹽分、雜質、固粒等，經檢驗合格後才能排放至河流中。台灣中油探採事業部的生產井產出的地層水，目前是以擠注入已通過地方政府環保單位核可的還原井為主。

范來富
中油採油工程處