

鑽井工程

詹益謙
潘翁海
汪傳瑜 編著
巫文雄
邱宜煜

探採叢書之九



台灣油礦探勘處
中國石油學會
中華民國六十二年六月

12697

TE 2

鑽井工程

探採叢書之九

詹益謙
潘翁海
汪傳瑜
巫文雄
邱宜煜

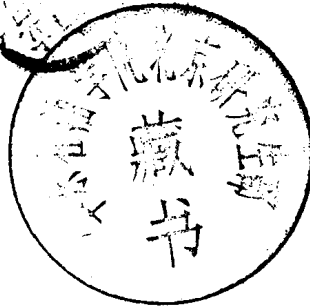
編著



00271271



200430364



臺灣油礦探勘處

中國石油學會

中華民國六十二年六月出版

鑽井工程

對內參考書籍
恕不對外發售

中華民國六十二年六月初版

中國石油股份有限公司臺灣油礦探勘處
中國石油學會技術委員會探採組 合編

探採叢書編譯小組

召集人：靳叔彥

副召集人：黃錦濤

委員：林宏 汪傳瑜 李漢津
李恨之 張日炎 陳瑞祥
潘玉生 郭明哲 張錫齡
韓恕一

幹事：李恨之

序 言

52167/22

「鑽井工程」原係中國石油股份有限公司石油技術訓練班講義，供給受訓學員研習之用；編印之後，深得有關從業同人歡迎。經徵得技訓班劉主任魁餘之同意，將各種專業教材，如油層工程概論、鑽井工程設計、採油工程設計、鑽探試驗、油氣井測試、石油地質學等委請中國石油學會探探組分別修訂為探探叢書，藉供將來專業訓練及有關同人進修或參考之需。

本公司在台經營油氣開發廿餘年，所獲技術及成果，不論在量與質的方面均有長足進步；但對鑽井及採油工程作專業性及有系統之介紹，以此為創舉。叢書係由具有實際經驗之專業人員根據國內外資料整理研究而得；並聘請探探組委員詹益謙、楊舒、杜學林、黃錦溦、董樹勳、李漢津、張錫齡、潘玉生諸先生審訂，內容豐富而實用。

本書承劉主任魁餘及審定委員之協助，得以順利完成刊行，順此誌謝。

中國石油股份有限公司協理兼
台灣油礦探勘處處長

吳 德 楣

中華民國六十二年六月

誌于苗栗

前 言

石油工業技術，突飛猛晉。中國石油公司鑒于目前國內各大專院校尙未設有石油工程科系，爲適應石油事業發展，充實石油基層幹部學識技能，乃於民國五十八年創辦石油技術訓練班，分期甄選在職優秀員工施以專業教育，從而提高其服務效能。惟以此一訓練班創設伊始，教材匱乏，經委請中國石油學會延聘學驗湛深之會員編撰有關叢書，作爲教學之用，並供石油從業人員參閱，藉以提倡普遍研習風氣。

「鑽井工程」一書，即爲本會資深會員詹益謙、潘翁海、汪傳瑜、巫文雄、邱宜煜諸先生聯合編撰，其中除部分取材于國外各種鑽井工程文獻外，編者並就從事于鑽井工程之實際經驗遍舉各種實例，內容充實允當。不過此等著述多係于公餘之暇撰成，而專業辭彙術語容或有欠統一，尙請石油界及有關工業先進不吝指正幸！

中國石油學會
技術委員會採採組

主任委員楊玉璠 謹識

中華民國六十二年六月于台北

目 錄

第一章	鑽井方法概論	1
第二章	鑽井設備	36
第三章	鑽井工具	84
第四章	鑽 進	110
第五章	採 岩 心	134
第六章	井程控制與定向鑽井	152
第七章	鑽井特殊問題	224
第八章	打 撈	252
第九章	套管及水泥工程	265
第十章	海域鑽井簡介	338
第十一章	鑽井工程安全	346
第十二章	鑽井經濟	353
第十三章	鑽鑿與基本岩石性質	374

第一章 鑽井方法概論

第一節 頓鑽 (Cable Tool Drilling)

一、引 言

一八五九年美國第一口油井使用頓鑽法鑽至六五呎，該井位於賓州鐵達斯懷爾 (Titusville) 地區附近，即為歷史上有名的德瑞克井 (Drake Well)，從此揭開美國石油工業的序幕。惟頓鑽法並非美國最先創始使用，一般都公認此種鑽法最先使用者為中國係用於鑽鑿鹽井 (Brine Well)。

此種鑽法是靠連接於鋼繩 (Steel Cable) 底端之鑽頭 (Steel Bit)，不斷的提起後下降，於下降中對地層施以強烈的衝打作用 (Pounding Action) 而進行，其原理與使用空氣鎚 (Air Hammer) 鑽混凝土及將鐵釘打入木板之方式相同。

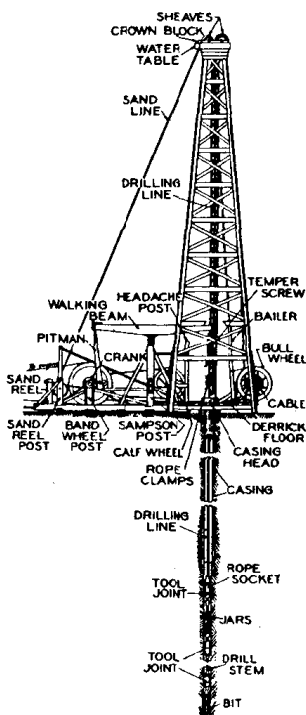
原始的頓鑽設備包含一支升降桿 (Spring Pole)，該升降桿以某一個角度固定於地面，鑽頭則以繩索連繫接於此桿的活動端 (Free End)，為使鑽頭引起往復升降的作用，早期中國人僱用一批人連續由跳台 (Ramp) 跳到升降桿上，然後跳開。在美國許多早期的鹽井亦以類似的方式鑽鑿，唯一不同的是在升降桿上裝有蹄形連合器 (Stirrup)，在其上站有二至三人，使井孔不斷的往底部鑽進。到目前頓鑽設備，材質雖不斷的改進，但基本操作原理仍然相同。

二、鑽井設備及器具

頓鑽設備大致有下列各項 (見第 1-1 圖)

1. 鑽串 (Drill String)：頓鑽法的鑽串包含鑽頭 (Bit)，鑽筴 (Drill Stem)，活環 (Jar) 及將這些設備與鑽繩連接的繩套頭 (Rope Socket) 等，茲分項略述如下：

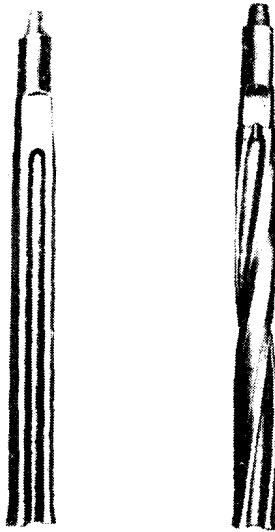
- (1) **鑽頭**：此為一支重鐵棒，通常為 4 至 8 呎長，其底端可視所鑽地層之軟硬而整修成不同角度的尖銳面。用於硬地層者，鑽頭較尖銳，而用於



第 1-1 圖 頓鑽設備

- 軟地層者，則較鈍。此類鑽頭係使用高碳鋼及矽鉬合金鋼 (Molybdenum-Silicon Alloy Steel) 製成。由不同的廠家造出各種不同的型式，很顯然的此類鑽頭很容易磨鈍，需常常修理使恢復原來的尖銳，此可利用井上維護工具自行修復或送往附近的鐵工廠修理(詳見第 1-2 圖)。
- (2) **鑽莖 (Drill Stem)**：此為一支長約 10 至 20 呎之圓筒型鐵棒，以螺絲直接栓於鑽頭上而其外徑視井孔大小及所需之重量而定，鑽莖的作用是供給鑽頭相當之重量以加強鑽頭向下衝打之效果。
- (3) **活環 (Jars)**：為一種強堅的鋼環 (Heavy Steel Links) 成一種互相

嵌緊可伸縮狀態與鏈條之結構極為相似，其作用為對鑽筴等產生一種急勁的向上衝打作用，使鑽串能由鬆軟及黏質的地層鬆脫，而恢復進行清淨有力的向下鑽擊衝打。長衝程的活環具有2至6呎的伸縮作用，常用於打撈工作（主要為取出失落井內或被黏卡之器具等）。鑽井用活環之衝程通常小於1呎，在鑽擊硬地層時常省去不用。



第1-2圖 標準頓鑽鑽頭

- (4) 大接頭 (Tool Joints) : 用於連接鑽頭、鑽筴及其他器材，為一有斜度之粗山絲扣接頭，由器材之末端不同而車製，此種粗山螺紋易於連接栓緊，至於大接頭的肩部平面可使公母接頭由於鐵與鐵相接觸而得到必須的緊密封閉。接頭的適當栓緊極為重要，可防止鑽擊作用所產生的激烈震動引起器具接頭鬆脫。

2 頓鑽用的繩索 (Rig Lines)

標準式的頓鑽鑽機，具有三條繩索用於各種不同的用途。即鑽繩 (Drilling Line)、汲砂繩 (Sand Line) 及套管繩 (Calf or Casing Line)。

(1) 鑽繩 (Drilling Line)

鑽繩捲繞在拉繩輪 (Bull Wheel) 上，穿過井架頂端的滑輪 (Sheave) 懸垂下來以絲槓 (Temper Screw) 懸接於遊樑上，遊樑 (Walking Beam) 為司鑽進行鑽井時必須注意的設備。在鑽井中，鑽繩承受很大的負荷，不只要支持鑽具 (Tools) 及其本身的重量且還負擔鑽井時搖擺 (Fluctuation) 及向上衝打 (Jarring) 的力量，及與套管或裸孔的井壁發生磨擦。因此，即使在使用上極為小心，其壽命仍然很短。最常用的鑽繩為 6×19 (6股19絲) 由普洛鋼或改良普洛鋼所製之蕨心鋼繩，其大小常用者為 $\frac{3}{4}$ 吋到 1 吋。在深井鑽井時亦有採用底端較小，頂端較大之鑽繩如 $1 \frac{1}{8} \times 1 \times \frac{7}{8} \times \frac{3}{4}$ 吋。這種鑽繩可減少遊樑的負荷且在頂端採用大徑鑽繩主要是因其能承受較大之引張負荷。

(2) 汲砂繩 (Sand Lines)

汲砂繩捲繞在砂繩捲軸上，穿過井架頂端之滑輪懸垂下來，其底端接一個汲筒 (Bailer)，於鑽井工作進行中，此汲筒通常都垂直擺在鑽井台 (Derrick Floor) 之一邊。當鑽進一段時間後，鑽串需起出井外，下汲筒至井底將沉積的岩屑 (Cuttings) 及流體 (Fluid) 汲出，使井內清淨，以便再下鑽串鑽進。如此不斷輪流進行，即為頓鑽法鑽進之方式。汲砂繩所承受之負荷及擔負之工作，比起鑽繩 (Drilling Line) 可說非常輕微，故可用外徑較小及較便宜的鋼繩，通常為 $\frac{7}{16}$ 到 $\frac{5}{8}$ 吋， 6×7 結構的普洛鋼 (Plow Steel) 所製。

(3) 套管繩 (Calf Lines)

套管繩捲繞在套管繩輪 (Calf Wheel) 上，穿過井架頂端之天車懸垂下來，與遊車 (Block) 串繞成滑輪組，主要用於下套管，由於套管串重量大，故套管繩所受之負荷為頓鑽繩索中負荷最大者，然而此套管繩在操作上所受之損害不像鑽繩那般嚴重，且其承受之重量亦可較準確的估計出來。並可由天車與遊車間穿繩數目之變化而使套管繩之負荷在預定的安全係數範圍內。套管繩通常為 $\frac{3}{4}$ 到 1 吋， 6×25 結構的改良普洛鋼所製。

由於頓鑽所使用之繩索很多，且其磨損厲害，故其維護費及更換費用佔很大的項目，一般都竭力設法延長鋼繩壽命。第 1-1 表為頓鑽

法所用的鋼繩大小及構造。

第 1-1 表 油氣井所用的鋼繩大小及構造

種類及井深	鋼繩大小外徑；吋	鋼繩規範
<u>汲砂繩</u>		
淺井	1/4 到 1/2 吋	6×7 PS 或 IPS, 光亮或鍍鋅綫 PF 或 NPE, RL, FC
中深井	1/2 到 9/16 吋	
深井	9/16 到 5/8 吋	
<u>鑽繩</u>		
淺井	5/8 到 3/4 吋	$6 \times 21FW$ 或 6×19 密閉繩
中深井	3/4 到 7/8 吋	PS 或 IPS , NPF RL 或 LL , FC
深井	7/8 到 1 吋	
<u>套管繩</u>		
淺井	3/4 到 7/8 吋	$6 \times 25 FW$ IPS , PF 或 NPF RL , FC 或 $IWRC$
中深井	7/8 到 1 吋	
深井	1 到 $1\frac{1}{8}$ 吋	

表中簡字說明：

FW：充填式構造鋼繩。

PS：普洛鋼。

IPS：改良普洛鋼。

PF：預先做好者 (Preformed)。

NPF：非預先做好者 (Non-Preformed)。

RL：右繞鋼絲繩。

LL：左繞鋼絲繩。

FC：蕪心。

IWRC：單獨的鋼絲心。

3. 地面設備：

- (1) 標準式頓鑽機之地面設備有一部份已於上述中提到，如拉繩輪，套管輪及汲砂輪，都用於捲繞它們自己的鋼繩。這些輪子只是一種捲筒

，用以支持鋼繩操作的負荷及捲繞預定長度的鋼繩，遊樑由遊樑支柱（Samson Post）支持，賦給鑽繩一種往復上下的動作。遊樑與大皮帶輪（Band Wheel）是靠曲柄（Crank）及拉桿（Pitman）連接。大皮帶輪以皮帶（Belt）與原動機連接，由皮帶的帶動而旋轉。

- (2) 最先使用於頓鑽的原動力（Prime Mover）為蒸汽機（Steam Engine）目前則以內燃引擎（Internal Combustion Engine）如汽油引擎或柴油引擎為最普遍。電動馬達亦曾被使用，但數量並不很多。
- (3) 汲筒（Bailer）及抽砂泵（Sand Pump）使用頓鑽法鑽井時，必須時時將井內沉積的岩屑設法由井內除去，為此吸砂繩常接一個汲筒下至井內將岩屑汲出，汲筒為一段管子，上端具有一個彎環（Bail），底端有一個閥（Valve）通常為盤形閥或止回閥（Disc or Flapper），此閥底下連有一支向下的凸出桿（Protruding Stem）。當汲筒下降，凸出桿碰到井底時，則盤形閥或止回閥即打開，岩屑即進入汲筒內，當汲筒提起時，此閥即關住，使進入汲筒內的岩屑保留在內而不洩漏或失去，如此往復上下，直到汲筒內撈取相當數量之岩屑後，再提出汲筒，將筒內之岩屑倒去，然後再下汲筒汲岩屑，如此繼續進行至井內的岩屑，汲取清淨為止。有時遇到井內的岩屑很粗時則需採用抽砂泵加以汲取。抽砂筒與汲筒相似，不同的是具有一個活塞，可構成足夠的空間以吸收岩屑進入，至於操作方式與汲筒相同。將汲筒取出的岩屑加以鑑定，可得到寶貴的地質資料，供地層鑑定或油氣徵象判斷及鑽井操作之參考。
- (4) 井架（Derricks）

井架為進行鑽井操作的工作台，具有相當長的垂直空間，供鑽井時起揚鑽具及下套管之用，它必須具有相當的強度以支持鑽井時所遭遇的負荷。井架負荷的大小一般依照井孔及套管的深度及大小而定。

4. 可移式頓鑽鑽機（Portable Cable Tool Rigs）

正如前述，美國標準式頓鑽鑽機，一般很少使用，鑽井包商（Contractor）為節省操作成本，都改用可移整體式鑽機（Portable Unitized Rigs）在此鑽機中，仍保留三個捲揚軸，而遊車在不使用時，將它吊掛在旁邊，以免影響鑽井工作的進行。原動機與鑽機（包含捲筒及控制設備），在安置上緊密靠近，全套鑽機設備安置在一個底座（Skid）或拖車（Trailer）上以得到最大

的機動性能。標準式井架為伸縮式雙柱桅式井架 (Telescoping Double Pole Mast) 所取代，此井架可倒下放在鑽機上面以便搬運。此種桅式井架，有者能承受 170,000 磅的操作負荷。可移式井架可用於鑽鑿 7,500 呎之井眼或用於 10,000 呎井眼之修井工作，此類設備的主要益處在於節省運費及籌鑽時間。由於鋼料的材質，原動機，動力的傳動方式，離合器刹車，及其他控制系統等的改進，使可移式頓鑽設備得到更有效率及更節省的操作。

三、鑽進方法及原理

頓鑽是利用鑽繩連接鑽具，靠鑽頭的上下衝打作用鑽鑿地層，經一段時間之後，用汲砂繩下汲筒將岩屑取出使井內清淨後，又下鑽頭，如此反覆進行至鑽達相當深度後，下一層套管將地層封閉，然後改用較小徑鑽頭，又開始鑽鑿，直到鑽達目標後，才下生產套管及進行完井工作。在頓鑽法中，沒有泥漿循環系統，除於地表剛開始鑽進時需要使用清水或粗泥漿以進行鑽鑿工作外，以後則不必使用泥漿。

至於如何得到最好的鑽進率，則與地層及井深有關，依照地層的軟硬選擇合適的鑽頭，並依井深而採用最合適的衝程 (Stroke Length)、衝打速度 (Speed)、及鑽具重量 (Tool Weight) 即可得到最好的鑽進率，通常這些數字的選擇與工作的經驗有關，而在施工上亦需考慮到鑽井器材的強度大小，安全及經濟效益。

四、頓鑽法的優劣點

1. 優點：

- (1) 採用頓鑽法的優點為節省成本，在許多淺層鑽探工作，使用頓鑽法較旋轉鑽法便宜，其原因有下列各點：
 - A. 設備簡單，最初的成本較少，折舊費用亦較少。
 - B. 每日的操作費用較省：如油料，維護費，人工，及用水量等都較少
 - C. 運輸費用較省。
 - D. 籌鑽時間及費用較少。
 - E. 在淺層及地質堅硬之地區，其鑽進率與旋轉法者相當。
- (2) 由於每鑽數呎即下汲筒或抽砂泵，取出岩屑，故可得到各地層在不同深度之準確資料。

(3) 由於沒有泥漿系統，故地層如含有油氣蘊藏時，油氣可無限制的進入井內，而得到最正確的徵兆。

2. 劣點：

(1) 鑽井深度雖曾達到11,145呎，但一般說來仍不適於深井鑽鑿。

(2) 鑽進率甚低，無法與旋轉鑽相抗衡。

(3) 缺乏泥漿循環系統，引起下列缺點：

A. 鑽遇高壓層時，無法控制，易導致井噴而危害人員或設備。

B. 無法控制鬆弛的地層，及易於坍塌的地層，故需採用較多層的套管。

(4) 常因鑽繩斷掉而引起打撈，故不適於鑽鑿深井。

(5) 在旋轉鑽法廣泛被使用的地區，幹練的鑽井工及器材修理工不易僱到，如僱用素質較差者常使費用增加。

五、頓鑽法現時的應用

以美國而言，於1960年時，使用頓鑽法所鑽之井眼約全部井數的百分之十，主要用於淺層地區如賓州，維幾尼亞州西部，俄亥俄州，密西根州，堪薩斯州東部，及奧克拉荷馬東北部等地區。就所鑽井眼之進尺而言，頓鑽法的數字極小，無法與旋轉法比較。

目前頓鑽鑽機因有下列數個輔助作用，故在某些情況仍被採用：

1. 用於鑽鑿生產層，對於某些對泥漿敏感的生產層或很薄且底下緊接水層的生產層，壓力低及易導致漏泥的生產層等，都可採用頓鑽法施鑽。
2. 用於修井或完井工作：由於每天的操作費用低廉，故極適於修井或完井工作。
3. 為旋轉鑽作預先之開導工作：利用較低費用之頓鑽法預先鑽鑿表土及下完導管(Stove Pipe)，便於旋轉鑽順利開始鑽進，無需為導管而耽擱。
4. 鑽鑿水井：如旋轉鑽用水所需的淺層水井，可用頓鑽法鑽鑿。

第二節 旋轉鑽法 (Rotary Drilling)

一、引言

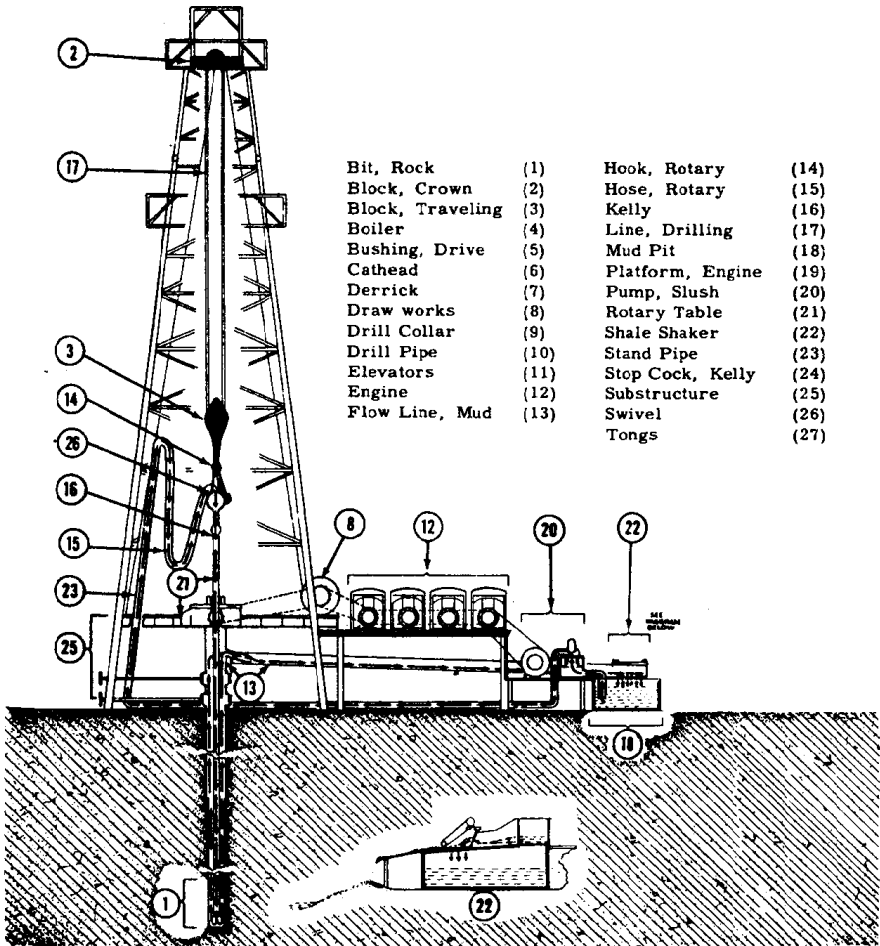
旋轉鑽法在鑽井方法中屬於較新的一種，最初於 1863 年為法國的土木工程師李斯柯 (Leschot) 所使用。而美國旋轉設備的專利於 1866 年發生，與頓鑽法的情況一樣，最先應用於鑽鑿水井。直到 1900 年左右二位水井包商貝克兄弟 (M. C. Baker 及 C. E. Baker) 將他們的旋轉鑽機由達克塔州 (Dakota) 南部移到德克薩斯州的科西卡那地區 (Corsicana, Texas) 才正式用於軟地層的鑽井。1910 年盧卡斯氏 (Captain Lucas) 於德州梭尖 (Spindle Top) 地區使用旋轉鑽機鑽到油田，這次驚人的發現，被認為是美國西南各州石油工業之興起，為旋轉鑽被大量使用的開端。迄 1920 年初期，旋轉鑽法即已被普遍應用。值得一提的是在 1914—1918 年間，美國的井眼有百分之九十為頓鑽法所鑽，至 1960 年，正好相反，百分之九十為旋轉鑽法所鑽，目前則更是旋轉鑽的天下，頓鑽法已經很少使用。

在旋轉鑽法中，使用旋轉鑽頭並於鑽頭上加以適當的重量施行鑽進。鑽頭與鑽鉸及鑽桿連接，並由鑽鉸及鑽桿傳動所需的旋轉扭力，使鑽頭旋轉鑽鑿地層。鑽鉸及鑽桿都由高品質的鋼料製成。鑽碎的岩屑由泥漿循環時帶出，泥漿由鑽串 (包含鑽桿及鑽鉸) 的內孔進入井內，經由鑽頭的噴嘴 (Nozzle) 或水路 (Water Course) 排出，然後由井孔與鑽串之間的環孔 (Annular Space) 將岩屑循環上來。當此泥漿達到地面時經過泥漿篩 (Mud Screen 或叫 Shale Shaker) 分離粗顆粒的岩屑，然後注入一系列的泥漿罐或泥漿池 (Tank or Pit) 使其有足夠的時間沉澱岩屑或進行必需的機械處理。然後這些清淨的泥漿又被泥泵 (Pump) 抽汲及泵入井內繼續循環，第 1-3 圖即為旋轉鑽各種主要的設備。

接管工作 (Making a Connection)：為鑽串中加入一單支鑽桿的過程，其細節如第 1-4 圖所示。鑽井中，當鑽頭磨鈍時，常需將此鑽頭由井底取出以便更換，此時需將鑽桿由井內起出，其操作如第 1-5 圖，在此圖中鑽桿是每四單根 (Four Joint) 構成一立根 (Stand) 立根的長短並不一定，

全視井架的高低而定，可由二單支或三單支組成。

安置在拖車上的旋轉鑽機如第 1-6 圖所示，可得到較大的機動性，此種鑽機適用於鑽鑿深度 10,000 呎以內之小徑井眼，所謂小徑井眼 (Slim-Hole) 是指其孔徑較一般常用尺寸為小者。



第 1-3 圖 旋轉鑽機設備圖