

鑽 採 試 驗

翁豐源 編著
湯淳雄

探採叢書之八



台灣油礦探勘處
中國石油學會
中華民國六十二年六月

鑽 採 試 驗

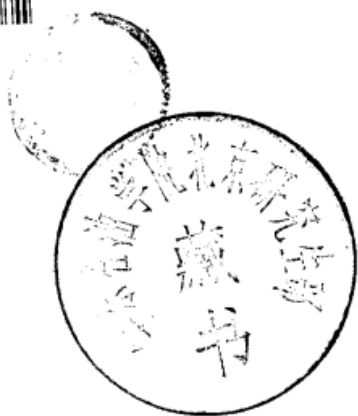
探採叢書之八



翁豐源 編著
湯淳雄



200433138



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

序 言

「鑽探試驗」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。經徵得技術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、鑽井工程、油氣井測試、石油地質學等委請中國石油學會探採組修訂為探採叢書，藉供將來專業訓練以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；並聘請探採組委員詹益謙、楊舒、杜學林、黃錦澄、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

5860/01

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尚未設有石油工程科系，為適應石油事業發展，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，分期甄試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，作為教學之用，並供一般石油從業人員參閱，藉以提倡普遍研習風氣。

「鑽探試驗」一書，即為本會資深會員翁豐源、湯淳雄兩先生聯合編撰，其中部分除取材于國外各種鑽探試驗文獻外，編者並就從事于鑽探試驗之實際經驗遍舉各種實例，內容充實允當。不過，此等着述多係于公餘之暇撰成，而專業辭彙術語容或有欠統一，尚請石油界及有關工業先進不吝指正，是幸！

中國石油學會
技術委員會探採組

主任委員 楊玉璠 謹識

中華民國六十二年六月于台北

中國石油學會

Chinese Petroleum Institute

理事長： 李林學

總幹事： 吳德楫

技術委員會

主任委員： 金開英

探採組主任委員： 楊玉璠

委 員：	吳德楫	畢慶昌	馬廷英
	戴運軌	董蔚翹	孟昭彝
	卞美年	詹益謙	張錫齡
	樊遺風	楊 舒	董樹勳
	靳叔彥	黃清豐	黃錦澄
	潘玉生	吳安富	

地址：台北市忠孝東路一段一四八號

電話：三二二二二五

探採叢書編譯小組

召 集 人： 靳叔彥

副召集人： 黃錦澄

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

目 錄

第一篇 泥漿工程

第 一 章 泥漿概述	1
第 二 章 泥漿之性質及其試驗	5
第 三 章 泥漿工程計算與圖表使用	23
第 四 章 黏 土	43
第 五 章 泥漿之流動性質和膠黏力	52
第 六 章 泥漿之造壁與脫水性質	64
第 七 章 鑽井泥漿	72
第 八 章 油基泥漿	123
第 九 章 完井泥漿	136
第 十 章 困擾性頁岩與泥漿之關係	142
第十一章 地層壓力之預測	152
第十二章 特殊問題之處理	177
第十三章 泥漿水力學	206
第十四章 泥漿固粒之控制	215
第十五章 泥漿工程設計	234
第二篇 油井用水泥	238
第三篇 油氣層岩石之性質及其測定法	301
第四篇 油氣井腐蝕及防蝕	321
第五篇 氣、油、水分析	368

第一篇 泥漿工程

第一章 泥漿概述

一、鑽井流體與泥漿

鑽井工程所應用之循環流體分為三大類：1. 氣體：如空氣、天然氣等，應用在氣體鑽井，其鑽進率高，鑽頭壽命長，無漏泥之虞，然需要特殊鑽井設備，且不適於出水層地區使用。2. 氣液混合流體：如含氣泥漿。3. 液體：即通常所謂泥漿，係一種適合於鑽鑿地層之膠質流動體，其在鑽井工程上有如血液在人體之循環，直接、間接影響鑽井工程之成敗至鉅。泥漿是由液體與固體所組成的，液體為水或油，而固體則可分為不起任何化學變化的惰性物（如細砂與重晶石粉），與膠質物（黏土、壤土及其他藥劑）。最原始的鑽井流體就是水，遠在十二世紀時，我國在鑽鑿水井與鹽水井即發現用水鑽井，不但能先濕潤地層，使地層軟化，且有助於排除鑽屑，故我國為使用泥漿最早的國家，而後經歐洲傳入美國，再經多年來的改良，從黏土泥漿、鈉質泥漿、鈣質泥漿而進步到鉍質泥漿、油泥漿，也就是說從零價的水為基礎進入一價之鈉質泥漿，二價之鈣質泥漿，今又進入三價鉍質泥漿，由簡單到複雜，由複雜再回到簡單。

泥漿工程必須考慮下列三項：1. 泥漿之種類與設計～於特定地區（層）選用適當泥漿，2. 泥漿性質及處理～化學處理及機械處理，相輔併用以維持良好的泥漿性質，3. 泥漿費用～充分明瞭藥品的功用性能及適當之使用量，以最經濟方法鑽達預定深度。

二、泥漿之功用及特性

泥漿的性質以增進工作安全，及鑽進率，同時在完井後不影響生產能力為主要原則，茲將其主要功用列舉如下：

1. 移除鑽屑

循環泥漿最大目的是將井底的鑽屑移到地面，經過泥漿篩而除去；鑽屑之排除乾淨與否和鑽頭壽命及鑽進率有關，泥漿之移除鑽屑能力與環孔上昇速度、泥漿比重及黏度等有密切之關係，環孔上昇速度隨泥泵的大小能力、泵速、井眼大小、鑽桿大小而定，通常在 100 ~ 200 呎/分，泥漿比重愈高，移除能力愈大，黏度愈大時鑽屑在泥漿中懸浮時間愈長，循環速度只要超過鑽屑下沉速度，即足夠將鑽屑移到地面。

2. 冷却及潤滑鑽頭及鑽桿

當鑽進時，鑽頭及鑽桿因受摩擦及受地溫之影響，產生熱度，此熱度經泥漿之循環而發生冷却作用。泥漿本身也有很小的潤滑作用，但通常都是靠加油形成油乳泥漿或加高壓潤滑劑（Bit Lube）減低扭力，延長鑽頭壽命，減少泵壓及減少磨損。

3. 形成強韌泥壁防止井塌

泥漿由於含有膠質物及化學藥劑之作用，能在井壁形成一層極薄而強韌、滲透性很低之泥壁，不但可防止泥漿的漏失，又可保護井眼之完整不致有井塌發生。

4. 控制高壓層，以防止噴井

泥漿柱壓不但可抑制地層中之流體進入井內，同時給予地層支撐力量以防止井孔坍塌，通常地層壓力大約每公尺 1.52 磅/平方英尺；以水柱重量加上鑽屑已足夠平衡地層壓力，但鑽進中遇到高壓水、油、氣層時，必須增加泥漿比重，以提高其泥漿柱壓防止井噴。

5. 懸浮及分離鑽屑、砂粒

理想之泥漿，具有膠黏性與靜止增黏性，在泥漿停止循環時，黏度增加懸浮鑽屑，使其不致下沉，回復循環時則又恢復其流動性質，當鑽屑到達地面時，其大塊鑽屑經由泥漿篩而除去，粗粒者則流經流槽時沉澱，較細者則經過機械處理除去之，否則不但影響泥漿性質，並將磨蝕泥泵及管件。

6. 可支持鑽桿或套管的一部份重量

井深增加，管串增長，井架之負荷亦隨之增加，因為管串在泥漿中泥漿有浮力作用，故可減輕井架之負荷。浮力與比重有關，提高比重，則浮力增加。

7. 保護地層，供給地下資料

良好的泥漿，除了可保護完整的井眼及防止對生產層發生不良影響外，可提供地層資料及表示明顯之電測曲線供地質人員參考。有時為了要知悉所鑽之地層資料，加鹽用以控制電阻，然鹽却對泥漿有污染，增加脫水，有時加油用以改善泥漿性質，但却干擾地質人員之判斷。

8. 可使套管計劃合理化間接減低鑽井成本

良好泥漿性質可對井眼形成一層保護膜，穩定井孔，並可依最經濟之套管計劃而不必提早下套管，節省套管費用，且良好的泥漿能使鑽井順利，節省鑽井時間，均間接減低鑽井成本。

9. 水馬力之有效運用

泥漿之流動性質良好，則鑽頭所承受的水馬力高，因此鑽頭經常保持乾淨，鑽進率快，通常應維持排除井底鑽屑之最低循環量為宜。

綜合上述之功用，理想之泥漿，應具備下列特性及條件：(A)適當比重及黏度，(B)造壁性良好，有防止塌井之作用，(C)不受高溫高壓之影響，即在高溫高壓下性質穩定，(D)不易受水泥污、鹽污，(E)氣體及無用之固粒侵入時容易排除，(F)有抑制頁岩水化或膨脹之能力，(G)容易調配及維持。

三、泥漿之組成

鑽井泥漿之組成與鑽井工程有密切之關係，鑽鑿不同的地層，則需要不同型式的泥漿。經濟、污染、泥漿原料水、壓力、溫度及其他有關因素是選用鑽井泥漿的重要條件，有時，水為理想的鑽井流體，因此常被用以鑽鑿低壓地層地區，當水在某種情況下不能適應所需功用時，就須加入其他“成分”，以得到較佳性能，甚至於改變流體的性質。有些地區用水鑽井，地層固粒溶於水中，即形成良好的泥漿，然而某些地區則須於開鑽前，在水中添加黏土以產生黏度及封堵井壁，防止泥漿漏失於滲透性地層中。大部份的鑽井

流體均為水基泥漿，其水為連續相，黏土及其相類似者呈懸浮狀。泥漿添加劑的種類雖多，但所有水基泥漿均具有三個基本成分（Components）或基本相（Phase）。

1. 水 相

水是泥漿的連續相。配製泥漿或維持時用水。分為清水與鹽水兩大類。

2. 活性固粒

即膠質物，為泥漿的主體。如非膨脹性黏土、高嶺土及膨脹性壤土。利用化學處理控制其活性固粒以達到控制泥漿性質的目的。

3. 惰性固粒

即惰性物，在泥漿中不起任何化學作用，如細砂、重晶石粉及其他惰性鑽屑。

四、習 題

- 1 鑽井流體分為那三大類？
- 2 簡述泥漿之演變及其發展趨勢？
- 3 略述泥漿之功用？
- 4 何謂泥漿三個基本相？

第二章 泥漿之性質及其試驗

一、緒 言

泥漿之性質分爲物理性質與化學性質，其各個性質與泥漿之功用均有密切關係，而各個性質均有關連作用。故調整泥漿性質，以配合鑽井工程之需要是一種藝術。但性質之好壞則需做各種不同之性質試驗，以作爲控制泥漿之依據而適應各種鑽進地層之種種變化，發揮泥漿之效用，以期鑽井安全順利。

二、物理性質

1. 比重 (Specific Gravity)

泥漿之比重與鑽進率、地層壓力及井況均有密切之關係。泥漿之比重主要是用來造成泥漿柱壓，以壓制地層壓力，使地層流體無法侵入井內，以免造成噴井，同時亦可給予地層一種壓力，使地層不易坍塌。然而泥漿柱壓與地層壓力差並不能太大，否則易發生差壓黏卡或將地層壓裂而造成漏泥現象。故泥漿之比重必須控制在不自噴井與不漏泥之間，且儘量減輕差壓以增加鑽進率，通常差壓爲兩倍環孔之壓力損失或 300 ~ 500 psi。

提高泥漿比重須添加密度大且不與泥漿發生作用之物質，目前所用的是硫酸鋇，即重晶石 (Barite) 其比重在 4.2 以上，可配高達 2.80 比重之泥漿。比重之測定是用比重秤 (Mud Balance) 量度之 (如第 2-1 圖)。

其操作步驟：



第 2-1 圖 比重秤

- (1) 自秤桿上取下泥漿杯，旋開杯蓋，杯內注滿泥漿。若有氣泡時，輕攪（敲）除去之。
- (2) 將杯蓋旋緊使多餘泥漿從小孔溢出，拭淨附於杯外之泥漿。
- (3) 將泥漿杯接置於秤桿，移動游錘至秤桿平衡（觀察水平氣泡）。
- (4) 讀出游錘的比重刻度至小數二位。

注意事項：

- (1) 使用後用水洗淨。
- (2) 時常以清水校正。

2. 黏度與膠黏力

泥漿黏度之主要功用是帶出鑽屑，靜止時懸浮鑽屑、重物質。所謂黏度係流體對流動之抵抗力，故受下列因素所影響：A. 基本流體黏度，B. 泥漿中顆粒之大小、形狀及數目，C. 粒子間內在引力。黏度之測定法常用有下列三種：

- (1) 馬氏漏斗計（Marsh Funnel）：此係現場常用者，如第 2-2 圖。

A. 試驗步驟

- a. 將漏斗直立安放於漏斗架上，以食指掩塞漏斗出口。
- b. 泥漿經漏斗頂部篩網傾入器內篩網底面上（1,500 cc）。
- c. 移去手指，同時按下秒錶，計量流出 946 cc 泥漿所需時間以秒表示之。並記錄當時泥漿溫度。



第 2-2 圖 漏斗黏度計

B. 注意事項

- a. 使用後洗淨並務必不使漏斗出口變形。
- b. 時常以清水校正，若有誤差，則為漏斗之出口管縮小或變大。清水（70°F）流出 946 cc 所需之時間為 26 ± 0.5 秒。

- (2) 史氏黏度計 (Stormer Viscometer) : 因操作不方便, 目前很少用, 僅在檢驗壤土時用之, 如第 2-3 圖。

A. 試驗步驟

a. 黏度測定

- (a) 將泥漿倒入杯內, 使泥漿面離杯頂 $\frac{1}{4}$ 吋。若泥漿中含有堵漏材料或其他粗物質, 則須先經 20 目篩篩過再倒入杯內。
- (b) 將杯子放在儀器上, 沿凹槽往上移, 扭緊固定螺釘。
- (c) 放鬆制動器, 轉動轉筒以攪拌泥漿。
- (d) 固定制動器, 加入預計法碼 (使轉筒轉動 600 rpm 之重量) 。
- (e) 放鬆制動器, 使轉筒旋轉 20 ~ 30 轉後, 測定旋轉 60 轉的秒數。
- (f) 調整法碼重量, 使轉筒旋轉 60 轉於 6 秒間, 測定數次以求正確之法碼重量。
- (g) 從第 2-1 表即可查出黏度 (cp) 。



第 2-3 圖 史氏黏度計

第 2-1 表 史氏黏度計換算表

公克	厘泊	公克	厘泊	公克	厘泊	公克	厘泊	公克	厘泊
0	0	130	34	215	76	300	119	440	189
50	5	135	36	220	79	305	121	450	194
55	6	140	39	225	81	310	124	460	199
60	7	145	41	230	84	315	126	470	204
65	9	150	44	235	86	320	129	480	209
70	10	155	46	240	89	325	131	490	214
75	12	160	49	245	91	330	134	500	219
80	14	165	51	250	94	340	139	510	224
85	16	170	54	255	96	350	144	520	229
90	18	175	56	260	99	360	149	530	234
95	20	180	59	265	101	370	154	540	239
100	22	185	61	270	104	380	159	550	244
105	24	190	64	275	106	390	164	560	249
110	26	195	66	280	109	400	169	570	254
115	28	200	69	285	111	410	174	580	259
120	30	205	71	290	114	420	179	590	264
125	32	210	74	295	116	430	184	600	269

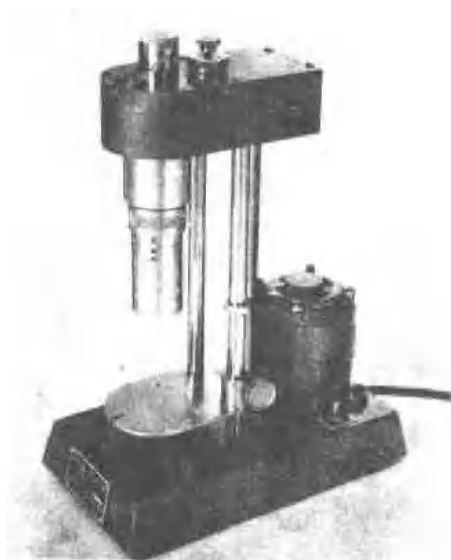
b. 膠黏力測定

- (a) 與黏度測定步驟(a)~(c)相同。
- (b) 固定制動器，待泥漿停止時再放鬆制動器。
- (c) 反覆上述步驟，以求得轉筒旋轉 $\frac{1}{8}$ 轉之最小重量，以公克表示，此即初始膠黏力。
- (d) 再同上(a)~(c)步驟，不過讓泥漿停置10分鐘後再放鬆制動器，慢慢增加重量，直到開始並繼續轉動時之重量，即為10分鐘之膠黏力。若操作超過1分鐘，則需重新測定。

B. 注意事項：測完洗淨，擦拭後放入箱內。

(3) 范氏黏度計 (Fann V-G Meter, Direct-Indicating Viscometer)

此種儀器為目前控制泥漿流動性質的主要儀器，操作簡便，如第2-4圖，為實驗室內所使用。第2-5圖為現場所使用，其操作法分述如下：



第2-4圖 范氏黏度計



第2-5圖 手搖黏度計

A. 試驗步驟

a. 塑性黏度及屈服值

- (a) 將剛攪拌之泥漿置於杯中，並將泥漿杯移置儀器下面，將儀器降到（或將泥漿杯上移，視儀器型態而定）旋轉筒刻線與泥漿面平。
- (b) 開動馬達，將開關擺在高速位置，按下轉速鍵于 600 r.p.m.，待儀器頂部之指示規（Indicator Dial）讀數穩定後，記下 600 r.p.m. 之讀數。

(c) 將開關擺至低速位置，同法讀取 300 r.p.m. 之讀數。

(d) $600 \text{ r.p.m. 讀數} \div 2 = \text{視黏度, 厘泊 (cp)}$

$600 \text{ r.p.m. 讀數} - 300 \text{ r.p.m. 讀數} = \text{塑性黏度, 厘泊 (cp)}$

$300 \text{ r.p.m. 讀數} \cdot \text{塑性黏度} = \text{屈服值, 磅/100 平方呎}$

“N” 值 $= 3.31 \log \frac{600 \text{ r.p.m. 讀數}}{300 \text{ r.p.m. 讀數}}$

b. 膠黏力

- (a) 以 600 r.p.m. 轉速攪拌泥漿 15 秒鐘後，將轉速鍵拉至 3 r.p.m. 位置。
- (b) 關掉馬達，靜置 10 秒鐘後，再開啓馬達，讀出指示規之最大讀數，即為初始膠黏力（磅/100 平方呎）。
- (c) 同法，靜止 10 分鐘，則為 10 分鐘膠黏力。

(4) 手搖黏度計（Rheometer）

A. 試驗步驟

- a. 將剛攪拌之泥漿，注於泥漿杯中，放置儀器下。
- b. 降低儀器，使轉筒上之刻線與泥漿面等齊。
- c. 將變速桿位於高速位置，旋轉曲桿攪拌 15 秒鐘。
- d. 將變速桿放於左下方，即 600 r.p.m. 位置，搖動曲柄，連續搖動；直至有滑脫感覺為止，亦即穩定之讀值，記下讀數。
- e. 將變速桿拉上成水平位置，即 300 r.p.m. 位置，搖動曲柄，穩定之讀數即為 300 r.p.m. 的讀數。
- f. 視黏度，塑性黏度，屈服值之計算與上述同。
- g. 高速攪拌 15 秒鐘，停止 10 秒，或 10 分鐘，以穩定且緩慢的速度轉動齒輪軸，即可測出初始或 10 分鐘之膠黏力。

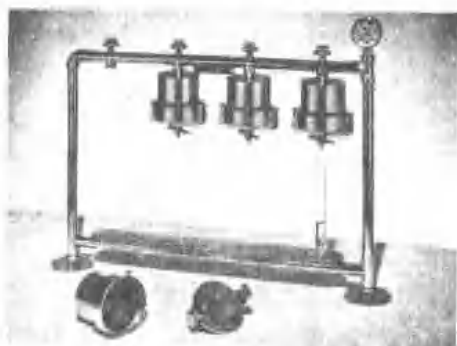
- B. 注意事項：將轉筒浸于水中，高速攪拌，將轉筒小心扭移，擦淨浮銹及其他部份。並儘量避免倒置，以防止水侵入齒輪而損害儀器。

3. 脫水與造壁性

泥漿在循環中，經過地層時，由於地層本身有孔隙，故泥漿將滲透入地層，地層往往由於泥漿之入侵造成崩井，以致發生卡鑽或其他不良後果，故泥漿之脫水與造壁性質甚為重要。泥漿之脫水性質仍測定泥漿中固粒成分形成薄膜之泥壁且其低滲透率之能力。由於泥壁具有低滲透率，故脫水少，此乃靠泥漿中之膠體物質之含量多寡與其物理型態而定。脫水性質試驗，分為API脫水與高溫高壓脫水試驗，前者是在常溫與 100 psi 壓力下之過濾試驗，而後者是在 300 °F 與 500 psi 下之過濾試驗，今分述如下：

(1) API 脫水試驗：試驗儀器如第 2-6 圖。

- A. 用手指塞住容器之加壓孔，注泥漿於容器內，距“0”橡膠墊圈槽 $\frac{1}{4}$ ”處
- B. 放妥“0”橡皮墊圈，上面放一張濾紙，蓋上蓋子，拴緊之。
- C. 將容器倒置，連接於過濾試驗器，容器底下置一乾淨量筒。



第 2-6 圖 API 脫水試驗器

- D. 旋緊壓力調節器，加壓 100 psi，扭開進氣閥 $1 \sim \frac{1}{2}$ 轉，並開始計時。
- E. 加壓 30 分鐘後，放鬆壓力調節器，關閉進氣閥，打開洩氣瓣，以洩放儀器內之壓力。
- F. 讀取量筒中之濾液 cc 數至小數 1 位。
- G. 放出泥漿，將濾紙上形成之泥壁，以水輕緩沖洗，測泥壁厚度，以三十二分之幾吋表示。泥壁型態亦以硬質、軟質、強韌質、膠質等表示之。

(2) 高溫高壓脫水試驗：試驗儀器如第 2-7 圖。

- A. 試驗前先接通電熱器電源，將溫度計插入定位預熱至 310 °F 後，調節溫度控制器，使溫度穩定。
- B. 泥漿攪拌均勻後倒入杯內，使泥漿面低於杯上端半吋以讓其膨脹。