

工 科 叢 書

油礦工程概論

全一冊

蔡 旭 春 編 著

復興書局發行

20265

工 科 叢 書

油礦工程概論

120/18 (全一冊)

蔡旭春編著



00314343



200314436

復興書局印行

2506



版 權 所 有
中華民國七十四年一月初版
油 礦 工 程 概 論
全一冊 定價 六元七角
編著者 蔡 旭 章
印行者 復 興 書 局
地址：臺北市鎮寧街四十四號
電話：3714911 3316612
本書業經登記字號：行政院新
聞局局版登業字第〇八一八號
發行人 魏 亦 珍
地址：臺北市鎮寧街四十四號

(1780紙拾半)

總 序

六十五年夏間，承復興書局副董事長葉公節先生及總經理兼總編輯柯樹屏先生見訪，告以編行工科叢書計畫，並委屬擔任主編。復興書局近年出版圖書頗多，對於學術文化及社會知識之推廣，具有貢獻。關於工科叢書之籌編，慶珠雖樂觀厥成，惟茲事體大，須集合工學界多人之心力，良非一朝一夕之功，幾經商酌，於同年秋始初步決定原則，並於冬初著手推行。暫定工科各類專書共二十種，如內容及社會反應情況能符合理想，將考慮繼續進行。

計畫既定，慶珠於六十五年冬間分別約請有關之學者專家擔任編著。目前國內以工科著名之校院，有臺灣大學、成功大學、清華大學、交通大學工學院、中原理工學院等。又在新竹之聯合工業研究所，亦直接與工學研究有關。故此批工科叢書二十種，先就上述校院有關係所單位分別商約教授擔任編著。

本叢書編寫方針，有可得而言者：

一、門類分布，儘可能求其比較均勻 工學門類既廣，欲語其專精，僅基本學科之土木、機械等，即可自成專書無數。以言知識之推廣應用，則叢書之旨，其涵蓋面允宜求廣。本叢書之流體力學、固體力學，兼含土木、機械。機械設計、機械製造、空氣動力學屬於機械。熱傳學兼及機械、化工。分析化學、化學工業概論、化工熱力學屬於化工。油礦工程概論、工礦粒體分選處理原理，則屬於礦冶。電路學、電工學、電機機械，專屬電機。應用電子學、半導體電子學、線性系統分析、控制系統、組合語言與程式設計，則或屬電子部門，或與電機相關，或與計算機有關。至於交通工程一書，則屬於交通運

翰而與上本有關者也。

二、年級分布，儘可能求其高低兼顧，自基本理論以至高年級所需專門知識，在各書中求其適當之分配。各書重要章節，其中一部分，較為高深，可供大學有關年級講授需要，而亦有一部分基本材料內容較淺，同時合於專科學校適當年級採用。

三、內容深淺適度，兼供大專應用暨社會參考。大抵言之，本叢書對象以大學為主，專科為副，而兼顧社會有關人士研讀參考，以期有助於進修及深入探討之需。故其內容，求其深淺適度，其屬較深而偏重於大學之部分，亦可兼供專校擇要講習，而當無損於此科之連續性。

四、編著為主，偶有翻譯。近代工學知識日新月異，範疇益廣，門類隨增，從事編著工作者固不容自出機杼，而有賴於旁搜博考，倘直接翻譯權威著作，對於具有直接閱讀原文能力者，或無甚意義；而對於基本條件略遜之人，譯本當亦有所補益。此與文學藝術方面之譯事蓋大有不同。故於現代世界工學新書，所宜去蕪存菁，求其切合我國當前實用。故此一叢書之撰寫方針，以編著為重，偶有翻譯，斟酌所在，儘量求其自成系統。

現代工學範疇既廣，門類既多，自非本叢書二十種所可賅括。其餘重要科目之繼續編行，復興書局蓋有意於此，當俟諸異日。

本叢書之籌編，自初議以至成書問世，承諸位先生之惠助，謹致感佩之忱。至於摘疵糾繆，尚有望於大雅君子。

戴慶球謹序於國立交通大學

編 者 序

有關石油工程方面的中文教科書在國內相當有限，雖然中國石油公司與石油學會合作編纂了一系列有關參考書籍，但以其大半偏重現場作業，故不甚適用作為大專教學。尤其對於初學者而言，這方面的教材更為缺乏。作者有鑑於此乃將在成功大學平日教學的講義，並參考有關書籍及文獻整理編撰成這一本「油礦工程概論」。本書之編撰乃根據下列幾個原則：

(1)本書編撰之內容力求廣泛，舉凡石油工程有關問題，諸如鑽井、採油、油層、石油地質，石油流體及岩層特性，油氣井測試，完成井等工程及方法等皆作系統性的介紹，務期使初學者得一窺堂奧。

(2)本書編撰之主要目的在作為大專有關石油工程課程之基本教材，其中內容更配合豐富之實例及圖表加以說明，期使教者與學者不至於有晦澀之感。

(3)本書儘可能將理論與實際配合，因此可以使學者在現場工作時不致有脫節現象；而現場工作人員亦可引為參考資料，以深入瞭解其操作原理。

(4)本書之編撰不是手冊形態，因此僅能針對作者認為較具代表性及較重要的基本課題加以討論。

石油工程有關範圍牽涉甚為廣泛，嚴格講起來，要在一本書中詳盡地加以討論實在是不可能的，正因如此，在本書中有關各章節之內容難免有偏廢之處，加以筆者才疏學淺，教學經驗有限，謬誤之處在所難免，尚祈海內外賢達不吝指正為幸。

目 錄

第一章 石油的特性及儲油層岩石特性	1
第一節 石油的化學組成	1
第二節 油，氣流體物理特性	4
第三節 孔隙率，滲透率與飽和率	47
第四節 孔隙率，滲透率，飽和率間之關係	50
第二章 石油地質概述	57
第一節 石油的成因	57
第二節 儲油氣岩層	58
第三節 石油的產狀	70
第四節 地下壓力與溫度	74
第五節 石油的移棲與聚集	82
第六節 石油探勘法	89
第三章 頓鑽	97
第一節 前言	97
第二節 鑽井設備	97
第三節 鑽進方法及原理	106
第四節 頓鑽法之優劣點	116
第五節 頓鑽法之應用	117

第四章 旋轉鑽機	120
第一節 前言	120
第二節 主要的鑽井設備	125
第五章 旋轉式鑽井泥漿之成分，功用及一般性質	156
第一節 前言	156
第二節 鑽井流體試驗	157
第三節 泥漿之基本功用	166
第四節 常用鑽井泥漿之組成與特性	174
第五節 鑽井問題與泥漿控制	189
第六節 鑽井泥漿計算	196
第七節 現場泥漿系統之維護	202
第八節 空氣泥漿，天然瓦斯泥漿及泡沫泥漿	204
第六章 旋轉式鑽井水力學	210
第一節 前言	210
第二節 牛頓流體流動計算	211
第三節 塑性流體流動計算	213
第四節 通過鑽頭噴嘴及水道之壓力降	217
第五節 標準循環系統之壓力降計算	220
第六節 水力學與鑽進率	235
第七節 管件運動所造成之衝壓	236
第八節 空氣，瓦斯及泡沫泥漿鑽井	243

第七章 影響鑽進率之因素	254
第一節 前言	254
第二節 岩石破壞之基本概念	256
第三節 岩石特性	260
第四節 機械因素	265
第五節 鑽井泥漿特性對鑽進率之影響	274
第六節 水力因素	282
第七節 其他鑽井方法	293
第八章 旋轉鑽井技術	301
第一節 前言	301
第二節 垂直鑽井	301
第三節 定向鑽井	333
第四節 打撈作業	344
第九章 採岩心及岩心分析	354
第一節 前言	354
第二節 一般採岩心方法及設備	354
第三節 操作步驟	358
第四節 回收岩心之處理及採樣	360
第五節 一般岩心分析	363
第六節 特殊岩心分析	381
第十章 油氣井測錄	395
第一節 鑽進記錄柱狀圖	395

4 油礦工程概論 (全一冊)

第二節 岩屑記錄柱狀圖.....	396
第三節 泥漿測錄.....	398
第四節 電測.....	399
第五節 放射性測井.....	437
第六節 聲波測井.....	447
第七節 其他測井設備.....	450

第十一章 地層污損..... 459

第一節 地層污損之原因.....	459
第二節 地層污損之防止.....	470
第三節 地層污損之定量分析.....	472

第十二章 鑽桿地層測驗 489

第一節 一般步驟.....	489
第二節 一般考慮因素.....	492
第三節 地層測驗器材及其組配.....	496
第四節 壓力記錄圖之定性分析.....	499
第五節 測驗資料之分析.....	506
第六節 電纜地層測驗.....	517

第十三章 油氣田蘊藏量估算及油氣田開發..... 533

第一節 前言.....	533
第二節 油氣蘊藏量定義.....	533
第三節 蘊藏量之計算方法.....	534
第四節 油氣層生產動態計算.....	552

第十四章	油井水泥工程與套管工程	578
第一節	前言	578
第二節	下套管水泥操作	579
第三節	擠壓水泥作業	600
第四節	套管型態與規範	602
第五節	有關設計之考慮因素	605
第六節	套管設計步驟	622
第七節	特殊考慮因素	645
第八節	油管選擇	647
第十五章	完成井工程	653
第一節	裸孔完井法	653
第二節	傳統穿孔完井法	654
第三節	除砂問題	664
第四節	永久型完成方法	668
第五節	多層完井	670
第六節	側孔鑽井	672
第七節	水與氣之排除——水錐與氣錐	673
第八節	激勵處理方法	678
第九節	生產井激勵處理之利益及其限制	686

第一章 石油的特性及儲油層岩石特性

石油是一天然生成的碳氫化合物之混合物，其生成的產狀有固態的，液態的，也有氣態的，因其成分相當複雜故其各種物理特性也變化很大，在石油工程的計算上我們必需先對其物理特性有一充分之瞭解才能得一正確的結果，有些特性我們可由有限的資料應用公式直接計算，然而有些特性則必需經由實驗或應用經驗相關圖表查得，本章之目的即介紹其應用的方法與應用的範圍。

儲油層的岩性在油層工程上是相當重要的一環，油氣蘊藏量的計算，生產動態分析等計算，都必需要有相當可靠的岩性資料，我們亦一併在本章中作一簡單的介紹。

第一節 石油的化學組成

天然生成的石油沈積物主要的成分乃是碳氫化合物。當其大部分由較小的分子組成且在常溫，常壓下以氣體狀態存在時，我們稱之為天然氣或“天然瓦斯”(Natural gas)，標準的天然氣組成由表 1-1 見其一斑。

表 1-1 天然氣的組成

(碳氫化合物)	摩爾百分率 (%)
甲烷 (Methane)	70~98
乙烷 (Ethane)	1~10
丙烷 (Propane)	微量~5
丁烷 (Butane)	微量~2

戊烷 (Pentane)	微量~1
己烷 (Hexane)	微量~0.5
庚烷等 (Heptane ¹)	微量~0.0
(非碳氫化合物)	
氮 (Nitrogen)	微量~15
二氧化碳 (Carbon dioxide)*	微量~1
硫化氫 (Hydrogen sulfide)*	微量 (有時)
氦 (Helium)	微量或無~5

註：* 有時天然氣中常含有多量的二氧化碳或硫化氫。

常有一些天然氣田在生產至地面後除了氣體之外同時也有相當量的凝結油出現，這類的天然氣組成可由表 1-2 略見其一斑。

表 1-2 同時生產凝結油的天然氣組成

(碳氫化合物)	摩爾百分率 (%)
甲烷 (CH_4)	50~92
乙烷 (C_2H_6)	5~15
丙烷 (C_3H_8)	2~14
丁烷 (C_4H_{10})	1~10
戊烷 (C_5H_{12})	微量~5
己烷 (C_6H_{14})	微量~3
庚烷等 (C_7H_{16})	0~1.5
(非碳氫化合物)	
氮 (N_2)	微量~10
二氧化碳 (CO_2)	微量~4
硫化氫 (H_2S)	0~6
氦 (He)	0

當這些混合物大部分為大分子碳氫化合物時，則在常溫，常壓下呈液態者我們稱之為原油 (Crude oil)。一般的原油其成分非常複雜，且變化萬端，常有多達數百種不同化合物的，若以化學組成來表

示則極不切實際，因此有人以其沸點或融點來加以區分，如表 1-3 所示。

表 1-3 標準原油成分組成

原油成分	沸點或（融點）（°F）	化學組成	用 途
碳氫瓦斯	—	$-C_1 \sim C_4$	天然瓦斯，瓶裝燃料瓦斯。
石油醚（Petroleum ether）	~160	$C_5 \sim C_6$	溶劑，清潔劑，油漆稀釋劑。
汽油（Gasoline）	160~400	$C_7 \sim C_8$	車用汽油，溶劑。
柴油（Kerosene）	400~575	$C_{10} \sim C_{16}$	柴油引擎燃料，照明燈用油，噴射引擎燃料。
輕油（Light gas oil）	575~850	$C_{16} \sim C_{30}$	潤滑油，藥用油，變壓器用油，礦物用油，裂解原料。
重油（Heavy gas oil）	850~1100 (125)	$C_{30} \sim C_{60}$	潤滑油，路油，燃料油（Bunker fuel）。
殘渣（Residuum）	1200+ (1200+)	C_{+80}	焦油，瀝青。

原油又可依其較大分子為芳香族有機化合物（Aromatic organic chemicals），或為石臘族（Paraffinic organic chemicals）而分成芳香族原油（Aromatic crude oil）或石臘族原油（Paraffinic crude oil）。原油成分若大部分屬石臘族者，在分餾中我們常可以得到很好的潤滑油，相反的若大部分屬芳香族者，在分餾中因較重的成分多，故瀝青，焦油等較多。在不同地區或不同層次中，原油的性質變化亦相當大。有些為深黑色的，其比重，黏度等皆大；有的呈棕色或淡而透明，比重及黏度皆低。幾乎所有的原油其基本的元素含量如表 1-4 所示：

表 1-4 標準原油元素含量

元素	重量百分率 (%)
碳 (C)	84~87
氫 (H)	11~14
硫 (S)	0.06~2.0
氮 (N)	0.1~2.0
氧 (O)	0.1~2.0

第二節 油、氣流體物理特性

2-1 氣態石油之特性：就石油工程而言，天然氣之來源不外下列三類：

- (1) 由以產油為主之生產井——油井。
- (2) 由以產天然氣為主之生產井——氣井。
- (3) 由凝結油氣井 (Gas-condensate gas well) 生產而來。

天然氣之主要成分乃是由較輕的石臘族組成，而且以甲烷為主。此外尚有少量的非碳氫化合物的雜質。在未討論其特性之前，我們先介紹一些基本定義：

(1) 標準狀況 (Standard conditions)：在石油工程上所指的標準狀況為一大氣壓 (14.7 psia) 及 60°F。

(2) 氣油比 (Gas-oil ratio)：氣油比常簡寫成 GOR，乃是皆上述的三類生產井生產之地面經過井口之油氣處理設備後，在標準狀況下氣與油之體積比，常用之單位為立方呎／美桶 (SCF/STB)。

(3) 溼氣 (Wet gas)：所謂的溼氣，並不是指天然氣中含有水分，而是指天然氣中含有較重之碳氫化合物，而在標準狀況下有液態凝結

油出現。通常在任何的天然氣井中多少皆含有液態凝結油，因此在實用上我們定義以其氣油比（GOR）不大於 100,000 SCF/STB 之天然氣者稱之為濕氣。

(4)乾氣 (Dry gas): 乾氣乃指凡天然氣在標準狀況下其氣油比大於 100,000 SCF/STB 者稱之。

(5)GPM: 為 Gallon per thousand standard cubic feet 之縮寫 (M代表 1000, 因此 $1\text{MCF} = 10^3 \text{ ft}^3$, $1\text{MMCF} = 10^6 \text{ ft}^3$), 這個單位也是天然氣在某種情況下之油 - 氣體積比。

(6)酸氣 (Sour gas): 乃是指天然氣中含有硫化氫 (H_2S) 者。

(7)甜氣 (Sweet gas): 乃是指天然氣中不含有硫化氫者。

(8)臨界溫度 (Critical temperature): 在臨界點之溫度稱之。

(9)臨界壓力 (Critical pressure): 在臨界點之壓力稱之。

(10)臨界點 (Critical point): 在相態圖中 (Phase diagram) 起泡點 (Bubble point) 曲線與露點 (Dew point) 曲線相交點，亦即在該點該混合物之液態與氣態之內涵特性 (Intensive properties) (諸如比重、黏度、顏色等) 一致，或不可分。

(11)偽臨界特性 (Pseudo-critical properties): 所謂的偽臨界特性乃指在一碳氫系統中，用以代表該混合物之臨界壓力與臨界溫度。

2-1-1 理想氣體 (Ideal gas): 所謂的理想氣體我們可以定義如下:

(1)氣體分子所占之體積與該氣體在某溫度與壓力下所占有之體積之比可以忽略不計，亦即氣體分子本身不占有體積。

(2)氣體分子與分子，或分子與容器壁間沒有吸引力或排斥力存在。

(3)分子與分子間之碰撞屬完全彈性，即無能量損失。

因此由查一波定理與亞佛加德羅假說，我們可以得壓力 - 體積與

溫度間之關係如公式 (1-1):

$$PV = nRT \dots\dots\dots (1-1)$$

其中: n —氣體之摩爾數

P —壓力

V —體積

T —溫度 (絕對溫度)

(1-1) 式亦可改寫為

$$PV = \frac{W}{M} RT \dots\dots\dots (1-2)$$

其中: W —氣體重量

M —氣體之分子量

上 (1-1), (1-2) 兩式中之 R 為一常數, 與氣體性質無關, 我們稱之為氣體常數 (Gas constant), R 值隨使用之單位而異, 如表 1-5 所示:

表 1-5 氣體常數值

P	V	T	n	R
atm	liter	°K	gram/MW	0.0821
atm	cc	°K	gram/MW	82.1
psia	ft ³	°R	lb/MW	10.72
psfa	ft ³	°R	lb/MW	1544

2-1-2 實際氣體 (Real gas): 實際上並無理想氣體一物, 所有的氣體在應用公式 (1-1) 或 (1-2) 式時, 多少會有偏差, 因此在計算實際氣體時我們採用下式:

$$PV = ZnRT \dots\dots\dots (1-3)$$

式中的 Z , 我們稱之為氣體偏差因數 (Gas deviation factor) 或氣