

油 氣 井 測 試

邱紹平 編著
吳金通

探採叢書之十二



石油工業出版社
重慶分社
地址：重慶市中區
電話：二一四一



200353857

12894

P631.4

油 氣 井 測 試

探採叢書之十二

邱 紹 平
吳 金 通 編著



00293594



臺 灣 油 礦 探 勘 處
中 國 石 油 學 會

中華民國六十二年十月出版

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

中 國 石 油 學 會

Chinese Petroleum Institute

理 事 長： 李林學

總 幹 事： 吳德楣

技術委員會

主任委員： 金開英

探採組主任委員： 楊玉璠

委 員：	吳德楣	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

序 言

5964/04
「油氣井測試」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、鑽井工程、鑽探試驗、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

中華民國六十二年十月

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尚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，作爲教學之用，並供一般石油從業人員參閱，藉以提倡普遍研習風氣。

「油氣井測試」一書，即爲本會資深會員邱紹平、吳金通兩先生聯合編撰，其中部分除取材于國外各種油氣井測試文獻外，編者並就從事于油氣井測試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

中華民國六十二年十月于台北

SYMBOLS

BHT	— Bottom Hole Temperature
d	— Diameter of the Hole
D_i	— Average Diameter of Invaded Zone
e	— Bed Thickness in Feet
t_{mc}	— Mud Cake Thickness
R_m	— Resistivity of the Mud
R_{mf}	— Resistivity of the Mud Filtrate
R_{mc}	— Resistivity of the Mud Cake
R_w	— Resistivity of the Formation Water
R_i	— Resistivity of the Formation—Uncontaminated Zone
R_o	— Resistivity of the Formation when 100% Water
R_{so}	— Resistivity of the Flushed Zone (Close to Bore Hole)
R_s	— Resistivity of the Surrounding Beds
$R_{16"}$, $R_{64"}$, $R_{18"}$, $R_{1"x1"}$, and $R_{2"}$	— Apparent Resistivity of 16" Normal, 64" Normal, 18" Lateral, 1"x1" Microinverse and 2" Micronormal respectively
$R_{66.4}$ or $R_{66.4}$, $R_{55.5}$ and $R_{66.4}$	— Apparent resistivity of 6FF40, 5FF40, and Medium Induction, respectively
R_{MLL} and R_{PL}	— Apparent Resistivity of Microlaterolog, and Proximity log respectively
R_{LL}	— Apparent Resistivity of Laterolog
F	— Formation Resistivity Factor
F_a	— Apparent Formation Resistivity Factor
Φ	— Effective Porosity in Per Cent
S_o	— Water Saturation, Per Cent of Pore Space in Uncontaminated Zone
S_{so}	— Water Saturation, as above, in Flushed Zone
ROS	— Residual Oil Saturation as Per Cent of Pore Space; = $(1 - S_{so})$
K	— Coefficient in the SP Formula
SSP	— Static Spontaneous Potential
PSP	— Pseudostatic Spontaneous Potential—The SP Found in a Thick Shaly Sand
α	— SP Reduction Factor— PSP/SSP
k	— Permeability in millidarcies
Δt	— Sonic Transit Time in microseconds per foot
ρ_s	— Bulk density in grams per cubic centimeter



目 錄

第一章 電測.....	1
第一節 電測概論.....	1
第二節 電測儀器簡介.....	14
第二章 電測解釋.....	118
第一節 概論.....	118
第二節 電測解釋所用之記號.....	120
第三節 解釋程序.....	123
第四節 解釋方法.....	135
第五節 範例.....	137
第三章 穿孔.....	143
第一節 概論.....	143
第二節 穿孔設備簡介.....	143
第四章 地層測驗.....	150
第一節 地層測驗之意義.....	150
第二節 地層測驗之器材.....	150
第三節 地層測驗之操作.....	162
第四節 油氣產率之估算.....	177
第五節 井底採樣分析.....	183
第六節 井底壓力曲線.....	188
第七節 地層測驗之應用.....	198
附錄.....	208

TABLE OF CONTENTS

Symbols.	Reference
R_w	SWSC 1962
1 Resistivity of N _a Cl solutions	A6
2 Estimation of formation temperature	A2
3 R _{mc} and R _{mt} determination	A4
4 Determination of R _{so}	A10
5 Determination of R _w	A12
6 SP correction for bed thickness.	
R_i	
7 Bore hole effect 16" Normal (Electrical log).	
8 Bore hole effect 18" 8" Inverse.	
9 Bore hole effect 16" Normal (Induction Electrical log)	B4
10 and 11 Correction charts for thin beds 16" Normal	B12-B13
12 Laterolog and Proximity log : geometrical factors	
13 Induction log : bore hole effect; G _i versus D _i	B16
14 6FF40 Induction : bed thickness correction	B14
15 6FF40 + 16" Normal : determination of R _i	
16 to 19 Laterolog + Induction : determination of R _i	
F, R_{so}	
20 F versus Φ	C10
21 F and Φ from R _{so}	C12
22 and 23 Microlog : determination of R _{so}	C4-C6
24 Microlaterolog : determination of R _{so}	C14
25 Proximity log : mud cake correction.	
Φ	
26 Gamma Ray : bore hole effect.	
27 Neutron GNAM : determination of porosity index.	
28 and 29 Neutron GNT-F, G and H : Ra-Be Source 15" 1/2 spacing : determination of porosity index.	
30 and 31 Neutron GNT-F, G and H : Ra-Be source 19" 1/2 spacing : determination of porosity index.	
32 and 33 Neutron GNT-F, G and H : Am-Be Source 15" 1/2 spacing : determination of porosity index.	
34 and 35 Neutron GNT-F, G and H : Am-Be Source 19" 1/2 spacing : determination of porosity index.	

§

36	Neutron GNT-F, G and H : porosity equivalence chart.	
37	Sonic : determination of porosity	C20
38	Formation Density compensated PGT-D : determination of porosity, $\rho_{\text{fluid}} = 1.0$	C16
39	Formation Density compensated PGT-D : determination of porosity, $\rho_{\text{fluid}} = 1.15$.	
40	and 41 Gas bearing formations : (N + FDC), determination of Φ .	
42	Clean formations : GNT-F, G and H + FDC, determination of lithology and porosity.	
43	Clean formations : FDC + Sonic, determination of lithology and porosity.	
44	Clean formations : GNT-F, G and H + Sonic, determination of lithology and porosity.	

S_w

45	Nomogram for the determination of S_w in clean formations	D2
46	6FF40 + 16" Normal : approximate value of S_w	D14
47	and 48 Determination of S_w (R_{lim} + Laterolog).	
49	and 50 Determination of S_w (Proximity log + Laterolog)	
51	and 52 Grids for Resistivity + Sonic, or Resistivity + Formation Density plots.	

Shaly formations

53	Shaly sands : determination of S_w	D4
54	Shaly sands : determination of Φ	D6
55	Shaly formations : determination of Φ and p (percentage of shaly material), (N+FDC).	

Miscellaneous

56	Permeability in sandstones and shaly sands	E4
57	Cement Bond log : Interpretation chart.	

第一章 電 測

第一節 電測概論

電測原理早在 1912 年由法國 Schlumberger 兄弟共同着手研究而在 1927 年於法國 Pechelbronn 油氣田施行了歷史上之電測，因該測井資料可以代替採岩心而得以勘查地下岩性因此稱“Electric Coring”乃係今日所熟悉之最基本測井方法。在探礦初期即頓鑽時代每一口井僅有岩屑或井內產物之記錄，因每數英尺之岩屑均掘出地上而予以鑑別故地層之變化甚為明顯並且易於判別，又井內殆空，井內一旦湧出產物如水、氣或油無疑的即是該深度該地層之產物。自從淺油層之發現及科學的進步，頓鑽不但成本提高實際上已不能再存在而劃入了現今之旋轉鑽井（Rotary Drilling）時代，但旋轉鑽使用了泥漿以便保護井況 排出岩屑（Cutting）因此井孔之泥漿柱壓阻擋了地層液氣體之流入井內，又岩屑自井底排出地面有時間上之差異，是故地層之變化不再明顯易判，因而掀起了電測之應用以及其迅速的發展，如今各油井公司均設法訓練此項工程之專門人才。電測之進步可能導致大油氣田之發現且近年來石油之發現有着漸漸發生困難及成本提高之趨勢，故電測之技術越被重視，因電測之科學的應用可節省鉅大金錢，若是每一口井下套管後在每一可滲透地層均予以穿試雖然不會誤失生產層但未免為人力物力之鉅大浪費，而電測可指示如何穿試而發現油氣田。除此外電測亦可提供探勘上或鑽井上所需之各種資料以謀求工程上所遭遇困難之解決途徑，例如井孔之彎度及方向，井徑之大小，地下構造地層之斜度及方向，水泥封閉情形等等不勝枚舉，在本文各節裏一一介紹。

電測之施行，儀器機件之結構上可分為兩大部份，一為捲揚機，另一為記錄部份。捲揚機以馬達或引擎帶動而捲筒上裝有足夠長度之電纜，通常使用雙重鋼絲裝甲表皮，內部為單芯，三芯，六芯或七芯等之導線，電纜之前

端裝有接頭以便連接所需之測井儀 (Sonde)，在捲筒之另一端裝有滑環 (Slip Ring Collector) 以便連接至記錄房以達成輸送電流並收回信號之連環作業。記錄房內具有自動記錄儀 (Automatic Recorder 或稱 Camera) 及各種控制盤 (Panel) 指示器。記錄儀多採用光感印式 (Photographic System) 也有電子筆劃式 (Electronic Pen-Drive Type)。當電纜接頭連接測井儀完妥時徐徐放下井內，記錄房內之指重錶 (Weight Indicator) 可指示下降情形，捲揚機前端夾在電纜上之齒輪帶動深度錶 (Depth Meter) 同時電纜上之電磁信號 (每 100 英尺或 25 公尺一個) 由電磁信號檢讀器 (Magnetic Mark Detector) 之指示可予以深度之校正。到達井底後發動捲揚機之引擎或馬達徐徐捲上電纜，此時由控制盤之操作輸送測井儀所需之電流或信號並收回相當於測井深度之地層信號而將推動記錄儀之測流儀 (Galvanometer) 或筆，成為電測圖上之曲線，一方面夾在電纜上齒輪之轉動，轉動了記錄器之膠片筒或紙筒如此完成了連續自動記錄之步驟，俟至地上或所需測定深度時將記錄儀停止，洗妥膠片 (即電測原圖) 後即完成該項電測。電測圖之縮尺通常採用 1/500 及 1/200，也有 1/20，1/40，1/100 及 1/1,000，又深度之表示有英尺及公尺兩種。電測儀有車載式 (Tuck Unit)，滑座式 (Skid Unit) 及海洋式 (Offshore Unit)，除此外也有特殊設計專為淺井或山上使用之攜帶或輕便型 (Portable Type) 者。

通常所謂電測不外是求地層真電阻，孔隙率 (或地層因數) 以及地層水之電阻，由此三者可推知地層水或油氣之飽和狀態，以便明瞭該地層有無油氣之生產。電測圖上之讀數將受多種不同因素之影響，例如裸眼大小，井孔內泥漿電阻，某地層厚度以及鄰接地層之電阻，砂岩內之頁岩成份及其存在情形，泥漿過濾液浸污 (Invasion) 地層深度，電測儀器性能上之反應等等。為減少電測解釋上之未知因素，已發明了許多種儀器，但電測之技術仍在日新月異不斷地發展中，茲將各種因素簡單說明之。

一、電阻 (Resistance or Resistivity)

電阻是當電流通過物質時所遭遇到的阻力程度之表示，根據歐姆定律 (Ohm's Law) 由公式 $E = IR$ 又可以 $R = \frac{E}{I}$ 表示，即導體內所通過之電流

大小與兩端電位差之大小成比例，其一定之電位差與電流之比率稱為電阻，其單位為歐姆（Ohm）以 Ω 表示之。某物質之固有電阻是電流通過單位長度與單位斷面積之立體時在該溫度下所有的電的阻力，以公式 $R = \rho \frac{\ell}{A}$ 表示， ρ 為固有電阻。即某物體之電阻是該物質之固有電阻乘長度與斷面積之反比例，如以固有電阻表示 $\rho = R \frac{A}{\ell}$ ，其單位為歐姆公尺以 $\Omega - \text{Meter}$ 表示之。電測所測之電阻係固有電阻，本文為簡便起見僅稱電阻，其使用單位是 $\Omega - \text{Meter}$ 或 $\Omega / \text{meter} / \text{meter}^2$ 。固有電阻是物質之固有性質，不論其形狀或大小均為一定，譬如玻璃、橡皮、空氣均為良好的絕緣體，它們具有甚高之固有電阻，反之金屬品被決定用為導電線因它們具有低固有電阻。水的電阻是由其所溶解在內的鹽類的濃度以及溫度而變，濃度越大電阻越低，溫度越高電阻越低，而液體之電阻在電測上相當重要。地層裡所含之液體略可決定地層之電阻，因地層內之固體在乾燥時並不導電，換言之電測所記錄之電阻亦即是測定地層內之水份。決定地層電阻的兩大因數是所含的水之性質與量，所謂性質就是電阻由鹽份與溫度而變。所謂量就是由其地層孔隙率以及由油氣所佔之剩餘空間而變。地層之電阻是若干本身之電阻以及所含有之液體之電阻而定，岩石本身具有極高之電阻可至幾 $10^9 \Omega - \text{Meter}$ ，油氣亦均具高電阻但水僅具 $0.02 \sim 10 \Omega - \text{Meter}$ 之低電阻。凡是沉積岩均具有空間或孔隙且包含有水份。因此為地層水所控制，而在電測圖上之電阻曲線其指示有著複雜的因素。故必須慎重處理之。

二、 孔隙率（Porosity）

孔隙率是某岩樣之總體積中孔隙所佔之百分率，像一塊玻璃片係稱密均勻的物質並無孔隙率，但海棉狀之物質具有高孔隙率。有效孔隙率係該等細孔或空間互相連接而可使流體流通之孔隙率而言，某岩樣之總孔隙率不僅係可連通之細孔並包括被粘合物質絕緣之細孔在內，但此種被隔離之空間所含有之任何油氣並不能生產，因它不但無利益且無經濟價值，所以有效孔隙率乃係僅需測定者，在本文所稱之孔隙率係指有效孔隙率。地下地層之孔隙率可有廣泛地變化。稠密的石灰石以及硬石膏實際上孔隙率等於零。堅固的砂

岩可有 10 至 15 % 之孔隙率，而不結合砂岩可能高至 30 % 或更高，頁岩及黏土可能含有 40 % 體積之液體但因顆粒非常之精細實際上液體不能流通，它們的細孔或空間並非互相連通的，故其孔隙率並非有效的。孔隙率亦可依照鄰接細孔之物質之成因而分類。在純砂岩裡細孔是存在於顆粒之間，此種孔隙率稱為“內粒子孔隙率”（Intergranular Porosity），乃係一般砂層沉積時所產生者，孔穴及次生孔隙率係沉積後由地層水之沖激而造成。如略帶酸性的脫水可能在石灰岩裏由連通的峽溝而製造或擴大孔間且可溶解混在內之貝殼而產生孔穴，反之，如脫水富有礦物質時由於其沉澱而實際上堵塞孔間或峽溝減小了其孔隙率。次生孔隙率之另一重要型式者為由於脫水之作用，白雲石代換方解石而產生，即脫水富有鎂鹽類時可滲透方解石而徐徐以鎂代換鈣，因代換作用係原子與原子，分子與分子之間進行而白雲石之分子量比方解石者小 12 % 結果減少了岩基（Matrix）容積而增加了孔間之體積，扭力加於地層亦可能發生，結果產生裂痕而可儲存液體，通常此種裂痕的真正孔間是很小，如果鄰接物質是緻密時，地層一般僅具非常小的有效孔隙率。實際上幾個上述成因需一段時間，因此地層之孔隙率具有複雜的起因。但無論細孔或孔穴或裂痕之成因以及其互相間之關係如何，有效孔隙率之定義仍然不變，總而言之，孔隙率是互相連通的孔間體積 V_p 與總岩樣體積 V 之比率，通常是小於 1，並無單位而由百分率表示且以 ϕ 之記號標示之，可以公式表示如下：

$$\phi(\%) = 100 \times V_p / V$$

三、地層因數（Formation Resistivity Factor or Formation Factor）

假設某純地層（不具頁岩成份）以水百分之百飽和，水的電阻為 R_w 而地層電阻為 R_o ，其 R_o / R_w 之比率必然為一定數值，且與電阻值 R_w 無關，此種一定之比率稱為地層電阻因數，通常簡稱為地層因數（Formation Factor）而以 F 表示之。以公式表示如下： $F = R_o / R_w$ 。設每一邊為一公尺之立體容器以電阻為 $1 \Omega - M$ 之液體充滿，在此情形孔隙率為 100 % 而其立體電阻亦必為 $1 \Omega - M$ ，但如填入少許砂粒而頂出部份液體時孔隙率就會減小同時立體電阻必然會增高，如果繼續再加上細砂粒填滿粗砂粒間之空間而頂出大部份之液體時，更減低了孔隙率，致使立體電阻繼續升高，假設此

時所測出之立體電阻為 $10 \Omega - M$ ，其與液體電阻之比率為 10。假若不改變容器內之現況而完全以 $0.1 \Omega - M$ 之水頂換 $1 \Omega - M$ 之液體時該立體電阻必定為 $1 \Omega - M$ 而其與水的電阻比率仍然為 10，此種一定比率稱為地層因數即 $F = R_o / R_w = 10$ 。如上述例題中砂粒之增加導致孔隙率之減低以及立體電阻之提高，然而水的電阻不變，故立體電阻之提高惟一之原因是地層因數之增大所致，地層因數係地層結構而定。如果地層內之孔間具有平行之圓柱溝時地層電阻與孔隙率就成反比例，然而因不同大小與形狀之礦物質顆粒及粘含物質之存在，電流通地層時經過多數彎曲的途徑，自孔間內至孔間之間之連路，由大而小變化無窮。經過嚴密地試驗在純地層，其地層因數與孔隙率之互相關係可由如下實驗公式表示 $F = \frac{a}{\phi^m}$ ，其中 a 係常數， m 為粘

接因數 (Cementation Exponent) 亦係常數，兩者由經驗擬定。Schlumberger 常用 Humble 公式： $F = \frac{0.62}{\phi^{2.15}}$ ，另有 Archie 公式 $F = \frac{1}{\phi^2}$ 適

合于堅固地層如硬砂岩及石灰岩，而 $F = \frac{0.81}{\phi^2}$ 仍適合于一般砂岩可得較接近之數值。有時石灰岩含有由裂隙連通之孔穴，如此增加孔隙率但終因太小

， $F = \frac{1}{\phi^2}$ 之公式往往被採用僅具粒子孔隙率之砂岩或石灰岩之情況，可是由地區性之別 m 有時可大於 2。在頁質地層裏無論其頁岩係沉積時成為薄片狀或散佈在細孔，均構成岩基導電之一部份且頁岩本身之極細孔間因不能使流體流通，因此頁岩成份僅影響其地層電阻但不能資成有效孔隙率。頁岩成份之對地層電阻之影響程度由頁岩內含有之游離水之電阻而變，同時亦由地層因數而變。游離水電阻越低由頁岩之影響越小，由地層因數之影響越大。鹽水電阻低至某一限度時（在大多數之頁質砂岩且在室溫時為 $0.1 \Omega - M$ ）地層因數實際上成為一定數，因頁岩之導體性質如與水之電阻相比已可忽視。在此種情況下所測出之地層因數稱為極限地層因數 (Limiting Formation Factor) 是略與有效孔隙率相關，與純砂之地層因數相同。

四、 滲透率 (Permeability)

滲透率是測定流體流通地層之容易程度。對某岩樣及任何均勻的流體，滲透率是一定而可使流體不致與岩石互相作用，滲透率之單位是達西 (Darcy) 但因過大，實用單位是達西的千分之一，即毫達西 (Millidarcy) 而用 K 表示之。滲透岩石必須具有連通之孔隙，毛細孔或裂縫，換言之必具備有效孔隙率。滲透率值與孔隙率值之間具有概略的關係，一般而言，孔隙率大滲透率大但並非是絕對的。有些砂岩具有很大的有效孔隙率但因顆粒非常之小致使流體之移動受到限制以及曲折如此其滲透率可能很小，其他地層，如石灰石可能由緻密的岩石組成而分裂為多數的裂縫，此種地層孔隙率必然很小，但裂縫之滲透率可能相當可觀。實際上 0.05 英吋之裂縫，相當于 1,000 毫達西之滲透率長 550 呎之砂岩。因此裂狀之石灰石可能僅具非常小之孔隙率但同時具有非常龐大之滲透率。有效滲透率與某一流體之地層滲透率有關，當另一流體同時存在一起時，它不但由岩石而定，同時由存在於孔間之兩種或以上之不同液體之相對量而定，譬如假設某一岩樣含有油與水各一半份量之混合流體，在一端以水加壓則在另一端擠出油與水之混合流體，但因油被擠出，岩樣之水飽和率 (Water Saturation) 增大，隨着水之有效滲透率亦增大，當某一段時間後油不再流出而僅有水，即部份之油存於孔間不能再隨着水之流動而移動，成為剩餘油飽和率 (Residual Oil Saturation)，此時岩樣之水的有效滲透率 (K_w) 保持一定但其值小於該岩樣之純一流體之滲透率。相反地如加壓於油時隨着油飽和率之增大對油之有效滲透率亦增大，到某點水不再隨着油流出，而部份之水留在岩樣成為不能再小之水飽和率。此時岩樣之對油之有效滲透率 (K_o) 成為一定而其值小於該岩樣之純一流體之滲透率。有效滲透率亦使用滲透率相同之單位而考慮流體各予記號。如 O 代表油， W 代表水， g 代表瓦斯，變成 K_o ， K_w ， K_g 。當幾個流體共存時對某一種流體之相關滲透率 (Relative Permeability) 係該流體有效滲透率與岩樣純一流體之滲透率之比，以公式表示水的相關滲透率等 K_w / K ，油的相關滲透率等於 K_o / K ，顯然地相關滲透率是介於 0 ~ 1 間，因係比率並無單位通常以百分比表示之。

五、飽和率 (Saturation)

某地層之飽和率是有效孔隙的容積被流體所佔之部份，在電測中習慣上考慮地層水因它是導電的。故水之飽和率 (Water Saturation)，為含有地層水之孔間容積分數，如果地層之孔間僅具水可以說此地層具有 100 % 之水飽和率而水之容量是等於孔間之體積。在許多情況油氣層具有所謂潛水面 (Water Table)，此面以下岩石以水完全填充，此面以上水飽和率徐徐減低而達最低值。地層之水飽和率可由 100 % 至甚小值而變，但絕不等於零，無論砂岩儲存有豐富的油或氣必然含有不被油氣帶出之少量毛細管水，像此種砂岩其水飽和率亦不會等於零而此種飽和率稱之為不能再小之水飽和率 (Irreducible Water Saturation)。同樣地從所謂帶油砂岩裏 (Oil-Bearing Sand) 絕不能由普通流體帶出所有的油而部份的油仍然留在孔隙中，此種油飽和率稱為剩餘油飽和率 (Residual Oil Saturation 簡寫為 ROS)。當油砂岩被採岩心而此岩心易受泥漿過濾液之侵污，在起揚至地面之途徑其壓力也許由幾千磅減至一氣壓，因此溶解在油內之瓦斯膨脹而遺失過濾液及少許的油，故最後岩心含有之流體略相似於未經擾亂之地層者。此種結果在側壁採樣 (Side Wall Coring) 時亦同，因其樣品取之裸眼近處且易受泥漿過濾液之侵污及經過徐徐減壓。假設 V_w 係水所佔之孔間體積而 V_p 係岩樣總孔間體積則 V_w/V_p 是水的飽和率，如果油與水共存時油的飽和率將為 $V_o/V_p - V_w/V_p$ 或 $1 - V_w/V_p$ ，飽和率係無次元為一種比率以 S 之記號標示之，另外加以小記號以表明不同流體之飽和率， S_o 係油飽和率而且如果孔間僅有水與油存在時， $S_o = 1 - S_w$ 。飽和率通常以百分比表示即 $S_w(\%) = 100 V_w/V_p$ ，在地層孔隙率含有不導電的油氣時導電的水顯然影響了地層電阻，換言之如此情況時地層電阻成為碳氫化合物與水之相對含有量之函數。油氣層之水飽和率係由許多因數而定，例如岩石之特性 (孔隙率，滲透率，顆粒表面積等等)，所含流體之特性 (粘度，密度等等)，所討論油氣層之部份標高在潛水面以上之高度等等，就此點而論通常提高油氣層之標高將減低水飽和率，從潛水面之 100 % 至油氣頂部之最小值而變。因該最小值永不為零。故可滲透岩石之電阻可能為異常地大 (在低孔隙率，低水飽和率之情況下可能係幾千 $\Omega - M$) 但絕不為無限大。在真正純地層之情況時，地層電阻