

中等專業學校教學用書

油井地球物理 探測法

上 冊

蘇聯 斯·格·科馬洛夫著

燃料工業出版社

下
中 等 專 業 學 校 教 學 用 書

油 井 地 球 物 理 探 測 法

上 冊

蘇聯 斯·格·科馬洛夫著
石油管理總局編譯室譯

蘇聯石油工業部批准作為中等石油專業學校教材

燃 料 工 業 出 版 社

油井地球物理 探測法

下 冊

蘇聯 斯·格·科馬洛夫著

石油管理總局編譯室譯

蘇聯石油工業部批准作為石油中等專業學校教材

燃 料 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書原著包括探測油井的地下地球物理方法和解釋地下地球物理測量所得資料的方法兩篇，分兩冊翻譯出版。

上冊包括探測油井的地下地球物理方法一篇，其中詳細闡述電測的基本原理，進行電測的方法，檢查井內情況的方法，以及其他各種地球物理測井的方法。

本書為中等技術學校‘地下地球物理測井法’及‘地下地球物理測井資料的解釋’兩項課程的教科書，並可供地球物理探勘工作人員參考。

* * *

*

油井地球物理探測法

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

上 冊

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1952年列寧格勒俄文第一版翻譯

蘇聯 С. Г. КОМАРОВ 著

石油管理總局編譯室譯

燃料工業出版社出版

廠址：北京東長安街燃料工業部
北京市書刊出版業營業證可進出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：姚祖誥 王顯達 校對：虞維新 祁 峨

書號266油36

850×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 5 $\frac{3}{4}$ 印張 * 142千字 * 印2,101—3,650冊

一九五四年九月北京第一版第一次印刷

一九五五年四月北京第一版第二次印刷

定價一元三角

內 容 提 要

本書繼上冊「探測油井的地下地球物理方法」一章進而敘述「油井地球物理探測資料的解釋」，內容主要為：電阻測井法的理論、電阻曲線的形狀，電極系的選擇，離差測井法，岩層電阻率和岩層物理性質的關係，以及自然電位和其他各種測井法所得資料的解釋。末章專論應用各種測井法解決有關油礦地下地質的各項問題，以便在鑽井時能夠製成準確的岩層柱狀剖面圖，劃定油、氣層在岩層剖面上的位置，並求出所含油、氣的飽合度。

本書為中等石油專業學校地質探勘專業「地下地球物理測井資料解釋」課程的教材，並可供現場地球物理工作隊人員參考。

* * *

油井地球物理探測法

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН
下 冊

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)
1952年列寧格勒俄文第一版翻譯

蘇聯 С. Г. КОМАРОВ 著
石油管理總局編譯室譯

燃料工業出版社出版
地址：北京東長安街鐵屑工廠對面

北京市書刊出版業營業許可證出字第012號
北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：姚祖詒 校對：王壽容 虞維新

書號345 * 油54 * 850 × 1092 1/16開本 * 6 1/4印張 * 155千字 * 定價11,200元
一九五五年一月北京第一版第一次印刷(1—3,000冊)

前 言

在石油工業部中等技術學校的「地下地球物理」專業方面，規定有五種獨立的課程：(1)「地下地球物理測井法」；(2)「地下地球物理儀器」；(3)「電測站和射孔站」；(4)「地下地球物理測井資料的解釋」和(5)「井內的射孔和爆炸工作」。本書包括「地下地球物理測井法」(講授 126 小時)——第一部分和「地下地球物理測井資料的解釋」——第二部分(講授 88 小時)。

由於在地下地球物理的一般問題方面的參考書，比地下地球物理測井資料解釋問題方面的更多些，所以後者敘述得比較詳細。

在本書第一部分中，爲了避免重複起見，把地下地球物理測井資料解釋問題盡量減少；相對地，在第一部分敘述過的，地下地球物理測井資料的解釋教程大綱中的許多問題，則不包括在第二部分以內。

作者對於在審閱原稿時提出許多寶貴而重要的意見的 И. М. 阿立平，И. А. 列夫舒諾夫，И. К. 庫哈連柯，И. Е. 愛依得曼，特別是 Д. М. 斯列普羅陀里斯基和 С. Ф. 維鮑爾尼等同志，表示感謝。

第二篇 油井地球物理探測資料的解釋

緒 論

鑽井時應當能够保證：

- a) 製成鑽井穿透岩層柱狀剖面詳圖；
- б) 把各儲油層分割出來，並估計出這些含油、氣層的油、氣含量（飽和率）。

鑽井岩層柱狀剖面圖和所穿透的這些岩層性質的鑑定，一般是根據所採取的岩樣和由井內沖洗出的岩屑來進行的；可是在同一條件下，比這還要重大，並且在有些情況起着主要作用的，要算應用地球物理方法測井所得各種資料。

於測井時，沿着井身進行某一些參數的測定（視電阻率、井內自然電位、 γ 射線等），這些參數，能够反映出岩層的物理性質（電阻率、形成自然電場的能力、自然放射性等）。根據這些測定的結果，在鑽井岩層剖面裏面，把各層岩層分割出來，並且把這些岩層所具地質上的特徵，加以確定。

把測井所得結果，轉變為說明鑽井所穿透各層岩層性質的地質資料，這就叫作測井資料的說明 [Истолкование 解釋]。

測井資料的解釋，有條件地可以分成兩個階段：第一階段為根據量測所得結果，確定出岩層某些物理性質上的變化；這一個階段，叫做地球物理上的解釋。然後把由於地球物理解釋的結果，所求出岩層全部物理上性質的總合作為根據，以確定出岩層地質上的性質；這一個階段，叫做地質上的解釋。

因此，在電測測井時，第一階段的解釋（地球物理上的解釋）就是確定岩層的電阻率和形成自然電動勢的位置（Э.Д.С.П.С.）。然後根據這些資料，來鑑定岩層所具的特徵（砂層、黏土層等）、以及這些岩層所含油、氣的含量等。這就構成電測資料在地質上的解釋。

目 錄

前言.....	1
序言.....	1

第一篇 探測油井的地下地球物理方法

第一章 電測.....	3
§ 1. 基本概念.....	3
§ 2. 電場.....	5
§ 3. 視電阻率.....	14
(a) 均勻介質電阻率的測定.....	14
(b) 視電阻率.....	15
(c) 單極電極系及雙極電極系.....	17
(d) 電位電極系及梯度電極系.....	17
(e) 電極系的代表符號.....	19
(f) 不常用的電極系.....	20
§ 4. 自然電位.....	21
(a) 電極電位.....	21
(b) 自然電位.....	23
§ 5. 三芯電纜電測線路.....	25
(a) 原理上的線路.....	25
(b) 半自動記錄.....	27
(c) 自動記錄電位差計.....	33
(d) 光電自動記錄電位差計.....	34
(e) 自動照像記錄.....	36
(f) 用正弦交流電將電流供給電極 AB 的電路.....	40
§ 6. 用單芯電纜作電測.....	41
§ 7. 電測的進行.....	48
(a) 曲線的比例尺.....	48
(b) 電極 AB 電路中電流強度的確定.....	48

(e) 記錄電阻曲線及自然電位曲線	51
(i) 深度的測量	54
(d) 作曲線圖	55
§ 8. 電路的絕緣	56
§ 9. 記錄視電阻率及自然電位時所遇到的干擾	64
(a) 感應干擾	64
(b) 記錄視電阻率曲線的儀器的記錄裝置的振動	66
(c) 金屬的影響	67
(i) 測量自然電位時的干擾	69
§ 10. 單電極電測	74
第二章 其他各種測井法	77
§ 11. 放射性測井	77
(a) 原子的構造	77
(b) 放射性	78
(c) 放射性輻射線	80
(i) 放射性輻射強度的測定	82
(d) 中子	84
(e) 放射性測井	87
(x) 放射性測井的裝置	90
§ 12. 油氣測井	93
(a) 氣測井	93
(b) 螢光分析	98
§ 13. 其他幾種測井	100
(a) 機械測井	100
(b) 電解測井	102
(c) 磁力測井	104
第三章 井內情況的檢查	106
§ 14. 測定泥漿電阻率	106
§ 15. 井內溫度的測定	109
(a) 電阻溫度計	109
(b) 溫度的測定	112
(c) 測定溫度時的干擾	113

(c) 溫度計的校準	117
(d) 自然熱場	117
(e) 溫度計測量結果的應用	118
(ж) 熱測井	121
§ 16. 地下水流入井內處所及管外液體流動的測定	125
(a) 泥漿電阻計法	125
(б) 溫度計法	127
(в) 電阻計和溫度計的應用	131
(г) 液面的測定	132
§ 17. 井徑的測定	133
(a) 感應井徑規	133
(б) 電阻井徑規	136
(в) 進行井徑的量測	138
(г) 井徑曲線的應用	142
§ 18. 測定井身彎曲	142
(a) 測量井身傾斜角度的儀器	144
(б) 應用電法測量來測定井斜的儀器	145
(в) 照像井斜儀	149
(г) 其他各種井斜儀	150
(д) 鑽井時的測量井斜工作	151
(e) 測量井斜結果的顯示	153
(ж) 使鑽具在井底定向的各種方法	155
(з) 岩層傾角的測定	156

目 錄

第二篇 油井地球物理探測資料的解釋

緒 論	158
第四章 電阻測井法的理論	161
§ 19. 三次元介質中的電場	161
(a) 不均勻介質中的電場	162
(b) 視電阻率的測定	163
(c) 可以用數學方法解決的情況	164
§ 20. 不考慮井的影響而計算出的視電阻率	165
(a) 岩層接觸時的視電阻率	166
(b) 在岩層接觸界面面處的電阻曲線	169
(c) 岩層的視電阻率	172
(d) 高電阻率岩層	173
(e) 低電阻率岩層	178
§ 21. 無窮厚岩層的視電阻率	180
(a) 視電阻率的求出	181
(b) 二層離差曲線	187
(c) 三層離差曲線	190
(d) 離差曲線的等值性	192
§ 22. 電阻率為無窮大的岩層的視電阻率	193
(a) 視電阻率的計算	193
(b) 電阻曲線的形狀	197
(c) 電阻曲線的極大值	200
(d) 泥漿電阻率和圍岩電阻率的不同數值	202
§ 23. 電阻曲線的形狀	204
(a) 高電阻率均質岩層	205
(b) 低電阻率均質岩層	207
(c) 交互岩層	208
(d) 岩層組	211

(п) 實際電阻曲線·····	213
§ 24. 有限厚岩層的視電阻率·····	214
(а) 梯度電極系, 高電阻率岩層·····	214
(б) 梯度電極系, 低電阻率岩層·····	219
(в) 電位電極系·····	220
§ 25. 電極系的選擇·····	220
§ 26. 離差測井法·····	224
(а) 測量的進行·····	224
(б) 離差曲線的構成·····	225
(в) 被解釋的離差曲線和理論離差曲線的比較·····	228
(г) 電探曲線的右部·····	232
(и) 離差法應用上的限制·····	234
(о) 離差法測井資料處理的結果·····	235
第五章 岩層電阻率 and 它所具物理性質的關係 ·····	238
§ 27. 鹽類水溶液的電阻率·····	238
(а) 地層水的礦化作用·····	238
(б) 鹽類水溶液的電阻率·····	240
§ 28. 岩層電阻率·····	244
(а) 岩層電阻率和地層水礦化作用之間的關係·····	244
(б) 岩層電阻率 and 它的孔隙率以及孔隙形狀的關係·····	244
(в) 各種不同岩層的電阻率·····	243
(г) 岩層內礦物組成分對於岩層電阻率所發生的影響·····	251
(и) 含油含氣岩層的視電阻率·····	252
第六章 自然電位測井法 ·····	255
§ 29. 自然電位·····	255
§ 30. 產生自然電場電動勢的原因·····	259
(а) 井內擴散電位·····	259
(б) 濾過電位·····	269
(в) 氧化-還原電位·····	271
§ 31. 地層水礦化程度的測定·····	271
第七章 其他各種測井法 ·····	275
§ 32. 放射性測井·····	275

(a) 放射性測井曲線所具幾種特性.....	275
(6) 進行解釋的主要原則.....	278
(b) 放射性測井的應用.....	280
§ 33. 其他各種測井.....	284
(a) 油氣測井.....	284
(6) 機械測井.....	287
(b) 於地質方面的應用井徑儀測量井徑.....	290
第八章 應用各種測井法解決有關油礦地下地質各項問題	293
§ 34. 各井岩層剖面的對比.....	293
§ 35. 岩層特性的判別.....	306
(a) 砂質-粘土質岩層剖面	306
(6) 碳酸質岩層剖面.....	312
§ 36. 岩層含油氣飽和率的估計.....	318
(a) 油氣飽和率的測定.....	318
(6) 對於岩層內可供油礦採取油氣量的估計.....	322
(b) 綜合性的解釋.....	324
(r) 根據測井資料進行油藏的探究.....	326
§ 37. 岩層柱狀剖面圖的繪製.....	329
§ 38. 各種油井地球物理探測方法的綜合.....	333

第二篇 油井地球物理探測資料的解釋

緒 論

鑽井時應當能够保證：

- a) 製成鑽井穿透岩層柱狀剖面詳圖；
- б) 把各儲油層分割出來，並估計出這些含油、氣層的油、氣含量（飽和率）。

鑽井岩層柱狀剖面圖和所穿透的這些岩層性質的鑑定，一般是根據所採取的岩樣和由井內沖洗出的岩屑來進行的；可是在同一條件下，比這還要重大，並且在有些情況起着主要作用的，要算應用地球物理方法測井所得各種資料。

於測井時，沿着井身進行某一些參數的測定（視電阻率、井內自然電位、 γ 射線等），這些參數，能够反映出岩層的物理性質（電阻率、形成自然電場的能力、自然放射性等）。根據這些測定的結果，在鑽井岩層剖面裏面，把各層岩層分割出來，並且把這些岩層所具地質上的特徵，加以確定。

把測井所得結果，轉變為說明鑽井所穿透各層岩層性質的地質資料，這就叫作測井資料的說明 [Истолкование 解釋]。

測井資料的解釋，有條件地可以分成兩個階段：第一階段為根據量測所得結果，確定出岩層某些物理性質上的變化；這一個階段，叫做地球物理上的解釋。然後把由於地球物理解釋的結果，所求出岩層全部物理上性質的總合作為根據，以確定出岩層地質上的性質；這一個階段，叫做地質上的解釋。

因此，在電測測井時，第一階段的解釋（地球物理上的解釋）就是確定岩層的電阻率和形成自然電動勢的位置（Э.Д.С.ПС）。然後根據這些資料，來鑑定岩層所具的特徵（砂層、黏土層等）、以及這些岩層所含油、氣的含量等。這就構成電測資料在地質上的解釋。

測井資料的解釋方法，是根據蘇聯地質學家和地球物理學家進行測井的豐富經驗產生出來的。在製定對於測井資料進行解釋的各種方法方面，所獲得的一些成就，主要是由於蘇聯學者們的努力所創建的測井理論，達到高度的水平。蘇聯地球物理工作者——石油工作者在研究測井理論方面以及把這些理論應用到解釋這一個目標，都起了主導作用，這是大家所公認的。

測井理論的首創人爲 B. A. 傅科，於 1932 年得出井身所切割爲岩層在無限厚的情況下電阻法測井的理論。隨後，於 1936 年，A. И. 薩波落夫斯基又研究出岩層爲無限厚，電阻率爲無限大，並且在井內存在有泥漿浸透地帶的情況下測井法的理論。

Л. М. 阿立平研究出更爲全面地電阻測井法的理論。1938 年，他對於井內有泥漿浸入或者沒有泥漿浸入無限厚的岩層電測測井理論的基本情況，加以發展，並且得出作爲橫向測井法（離差法）基礎的大量計算資料。

後來 Л. М. 阿立平又研究出關於有限厚度岩層電阻法測井的理論，並得出計算薄層岩層的計算資料。

由於在不考慮井身所受影響情況下，計算出有限厚度的岩層以及電阻爲無窮大的岩層這兩種電阻率曲線，並且也於 1934—1938 年在 А₃НИИ（由 С. Г. 科馬洛夫領導）和在 ВКГР 分別進行了一系列電阻係數計算工作，這就使電測測井理論獲得極重要的補充，並且保證了這些理論能夠用解決一些基本實用問題。這樣的工作在巴庫和莫斯科一直到最近幾年還在繼續着。

С. Г. 科馬洛夫進行製定關於離差測井法的解釋方法，他爲了這一個目的，擴充了計算數據，並且綜合出有關電測測井理論的某些定則。

在研究電測測井法的物理基礎方面，各種實驗工作，具有重大的價值，如在巴庫和格羅茲內於 1933—1936 年所進行的（С. Г. 科馬洛夫、Г. С. 馬洛佐夫、Л. А. 哥爾賓科、И. М. 科干、Т. М. 莎尼娜等）這些實驗工作，破天荒第一次給予電阻測井法（岩層電阻率、所含油氣飽和度所發生的影響）以及自然電位測井法（擴散電位的理

論)以理論上的根據。

從近年繼續進行研究的電測測井物理學基礎理論上面，應當指出格羅茲內地球物理工作者們(Г. С. 莫洛佐夫等)於1938—1940年對於自然電位(ИС)所進行的集體研究工作(В. Н. 達哈諾夫)於1939年開始在莫斯科石油學院所進行關於自然電位和岩層電阻率的研究工作，А. М. 涅查(格羅茲內)於1944—1951年關於自然電位的研究工作得出極有價值的結果，最後要指出И. Е. 愛依得曼(薩拉托夫)所進行關於碳酸鹽類沉積岩層的自然電位和電阻率的研究工作。

值得特別指出的，就是В. Н. 達哈諾夫教授在他所著「測井曲線圖的解釋」(1941年初版，1948年再版)這一本名著裏面把測井資料解釋方法工作中的經驗，得出綜合性的結論，這對於測井資料解釋方法上的發展，起着相當巨大的作用。

第四章 電阻測井法的理論

§ 19. 三次元介質中的電場

在電阻測井法中，我們所量得的，是視電阻率。視電阻率和電極記錄點所對着的岩層電阻率有所不同。視電阻率和下列各項因素有關：

電極系附近岩層的電阻率和它的厚度，井徑，泥漿的電阻率，以及電極系上各電極之間的距離。介質越不均勻，視電阻率和岩層真電阻率之間的區別就越大。

在着手解釋井內電測結果以前，應當計算一下視電阻率和真電阻率之間的差別，究竟有多少，並且把視電阻率曲線變為真電阻率曲線。為此，必須規定，在所得最具有特徵情況的各種不同電極系的電阻曲線形狀以及視電阻率的數值。就是為了選擇標準電極系，也是要這樣做的。

視電阻率，可以應用理論公式把它計算出來，或者用模型測量出來。

於計算視電阻率時，一般都假定電極系為理想電極系，並且為單極的梯度電極系，就是說，有一個供電電極 A 以及兩個測量電極 M 和 N 。在這種情況下，視電阻率將為(參看 § 3 (r))

$$\text{在電位電極系中: } \varrho = \frac{4\pi L}{I} U_M, \quad (85)$$

$$\text{在梯度電極系中: } \varrho = \frac{4\pi L^2}{I} (\text{grad } U_M)_z \quad (86)$$

或按公式 (9) 計算出：

$$\varrho = - \frac{4\pi L^2 E_z}{I}, \quad (86')$$

上式 L ——電極距 ($\overline{AM}$ 和 $\overline{AO}$)；