

矿場地球物理論文集

2

苏联 B·H·迭哈諾夫等著

石油工业出版社

內 容 提 要

本論文集刊載莫斯科石油學院科學研究部礦場地球物理教研室和放射性油井實驗室工作人員的集體著作。在這些著作中，闡明了礦場地球物理的一般問題，岩層的物理性質及電測井等問題。

本書可供礦場地球物理部門的專業人員、地球物理專業的學生和有關的石油工作者作參考之用。

(我社1956年7月出版的“地下地球物理論文集”為第1集。今後我社將陸續順序出版此類論文集——出版者)。

В.Н. ДАХНОВ, Д.И. ДЬЯКОНОВ,

ВОПРОСЫ

ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1955年列寧格勒版翻譯

統一書號：15037·364

礦場地球物理論文集

2

鄭厚安譯 王日才校訂

*

石油工業出版社出版(地址：北京六鋪炕石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張7 $\frac{1}{2}$ * 127千字 * 印1—1,000冊

1958年4月北京第1版第1次印刷

定價(10)1.20元

序 言

近年来，在矿場地球物理学方面出現了一些新的方法，这些方法使我們能够極精確而詳細地研究井的剖面。这些新方法包括微电測井法（微电極系法，微屏蔽接地电阻法，屏蔽接地电阻法和接地电阻差法），岩層人工極化电位法以及各种研究井剖面的中子測井法，在根据地球物理資料研究岩層儲油性的方法方面，在地球物理勘探的技术方面，在新勘探法（包括磁法勘探）的創造方面，也都进一步趨於完善。

莫斯科古勃金石油学院矿場地球物理教研室和放射性法實驗室所完成的科学研究專題，就反映了上述問題。这些科学研究的結果都收集在本論文集。

在本書的第一篇論文中，Л. И. 嘉柯諾夫敘述了如何佈置解釋工作的問題，这是地球物理測井的重要阶段之一。除此以外，本論文集的前兩部分还收集了有关井剖面的微电測井法和岩層人工極化电位法的研究結果以及岩層儲油性研究結果等方面的資料（B. И. 达哈諾夫，B. M. 多勃雷宁，B. H. 柯布蘭諾娃，M. T. 拉狄胡娃，P. A. 列昂諾娃，E. M. 米罗什尼欽柯，E. A. 涅曼，B. C. 涅曼和 H. H. 舍費尔的論文）。这些論文是教研室多年来进行科学研究工作的基本方向。特別要指出，教研室全体工作人員不仅探討了井剖面微电測井法和岩層人工極化电位法的勘探和解釋的理論問題和方法問題，而且还与克拉斯諾达尔州地球物理托拉斯、格罗茲內石油地球物理托拉斯和巴什基里亞石油地球物理托拉斯等生产單

位的工作人員合作，對這些方法廣泛進行了試驗，並隨即在工業上加以應用，從而證明上述方法有很高的效率。

莫斯科石油學院地球物理教研室全體人員出版本文集的目的，是要尽可能比較全面地論述他們的科學研究工作的結果。其中有許多工作是根據同石油地球物理總局地球物理勘探科學研究所（НИИГП）訂立的合同進行的，作為對石油工業的一種幫助。

莫斯科石油學院院務委員會將感謝讀者們的認真批評，並將負責詳細回答現場工作人員提出的問題，因為我們認為在將本文集所論述的科學研究工作的結果進行工業試驗和應用時，是可能會發生一些問題的。

目 錄

序言

I. 矿場地球物理的一般問題

關於改善石油工業中矿場地球物理資料的解釋和利用……………
……………Д. Н. 嘉柯諾夫(1)

II. 岩層的物理性質

碳酸鹽岩層孔隙率的近似確定法…………… B. H. 達哈諾夫(10)
關於岩層有效孔隙率的計算問題…………… B. H. 柯布蘭諾娃(20)

III. 电測井

用屏蔽接地电阻法研究油井的薄層剖面……………
……………B. H. 柯布蘭諾娃, P. A. 列昂諾娃(29)
接地电阻法电測井的理論基础……………B. H. 達哈諾夫, F. A. 涅曼(48)
屏蔽接地电阻法分段电极系…………… E. A. 涅曼(85)
在电測井中用屏蔽接地电阻法和微屏蔽接地电阻法研究接触电阻
…………… E. M. 米罗什尼欽柯(92)
球狀电极系法(接地电阻差法)…………… E. A. 涅曼(101)
查明泥漿濾液滲入岩層的地帶內的电阻率分佈情况……………
……………E. A. 涅曼, E. M. 米罗什尼欽柯(132)
电阻率在泥漿滲入帶的分佈情况与橫向測井曲線形狀之間的关系
的研究…………… E. A. 涅曼(139)
視电阻率与梯度-电极系相鄰电极之間的距离的关系 ……………
……………B. H. 達哈諾夫, B. C. 涅曼(158)
电測井模型試驗用的电阻率为某一指定值的岩層模型結構……………
…………… E. A. 涅曼(164)

- 2
- 厚度小和厚度中等的高电阻岩层的电阻率近似测定法.....
..... B. H. 达哈諾夫(169)
- 扩散-吸附活动性与岩层性质的关系
..... B. H. 达哈諾夫, B. II. 柯布蘭諾娃(173)
- 关于微粒砂质粘土岩层的人工极化电位的问题.....
..... M. P. 拉狄朔娃, II. B. 舍费尔(178)
- 人工电位法的实验..... M. P. 拉狄朔娃, B. M. 多勃雷宁(191)

1. 矿場地球物理的一般問題

關於改善石油工業中矿場地球物理資料的解釋和利用

Л. И. 嘉柯諾夫副教授

本文簡要地敘述了目前苏联石油工業中的矿場地球物理問題，提出了解釋和利用矿場地球物理資料的主要任务和一般原理，並建議改进解釋工作的組織機構。

根据傑出的石油地質学家 Л. В. 戈盧比亞特尼柯夫教授的創議，苏联於 1929 年第一次在格罗茲內油田上採用地球物理測井法。苏联石油地質学的創始人 И. М. 古勃金院士在一开始实际应用地球物理測井法时，就給予它很高的評價，認為这是不用取岩心而能取得地質录井資料的很完备的新方法。

苏联的矿場地球物理学是在社会主义計劃經濟的有利基础上發展起来的，並且在相当短的时期内就被广泛地应用于石油工業的測井工作中。目前，在煤炭工業、探矿工業和其他工業部門中也都採用了矿場地球物理方法。

在測井的方法和技术方面，苏联的矿場地球物理学現在已經达到电子学、原子核物理学和其他現代科学知識最新成就的水平。

苏联矿場地球物理学所以能得到發展，是因为切实研究

了所採用的方法的物理要素和数学原理，並經常把这种方法同工業中的实际应用效果結合起来。

€ B. A. 福克院士、A. H. 札布洛夫斯基教授、B. H. 达哈諾夫教授、Л. M. 阿尔宾教授、C. T. 柯馬洛夫技术科学博士以及其他許多苏联学者和工業部門工作人員的理論著作，已經解决了与应用矿場地球物理方法及深入解釋已得資料有关的重要問題。

矿場地球物理工作在石油工業和其他工業部門中已得到广泛的發展，因此就要求有大量經過專業訓練的高度熟練的工程技术人员。为了满足工業方面的需要，許多高等学校从1951年就开始培养“油气井地球物理探測法”專業方面的工程师。

在这一專業的教學計劃中，特別注意如何來解釋和利用地球物理測井結果的問題。另外，还開設了“岩層物理性質”等新課程。在地質專業、油矿專業和經濟專業的教學計劃中，也大大增加了“矿場地球物理学”这一門課程的分量。

进一步考虑在其他專業課程中适当增加矿場地球物理学的分量，是今后改进对石油專業工程人員以及与鑽井和採油有关的其他專業工程人員培养的任务。

現在的矿場地球物理工作，就是在鑽井和採油时进行的广泛的綜合研究工作。因此，迫切的任务是要尽量詳細地解釋和全面地利用已得的測井結果。

近年来，矿場地球物理資料的解釋工作已經加强了一些。但是，解釋工作的水平和質量仍旧落后於工業的需要。

1953年2月举行的石油地球物理管理总局矿場地球物理处工作人員大会指出，許多石油工業企業的矿場地球物理資

料的解釋水平很低，這是由於解釋工作的組織機構不能令人滿意所致。

有效地利用最新的技術和科學成就(其中包括礦場地球物理測井的廣泛綜合利用)，對於勝利執行蘇聯共產黨第十九次代表大會關於增加油氣和其他礦產量的指示，起着很大的作用。

但是，要充分利用一切可能利用的地球物理方法，就必須大力開展解釋工作。解釋工作的開展又必然會使許多目前還研究得不够的測井方法得到進一步的發展，並使其物理要素更為明顯。

應當盡量多吸收一些地球物理和地質人員參加解釋工作。吸收大批礦場地球物理大隊的工作人員和地質部門的工作人員來解釋已測得的結果，將能提高他們對測井工作的興趣，從而提高所測結果的質量，使測井方法趨於完善，並擴大測井方法的綜合利用。

但是，目前有些地區的解釋工作組織得並不好，因而可能利用的礦場地球物理方法都沒有被充分利用，這就給石油工業造成了很大的損失。

地球物理資料是供給地質部門使用的，而地球物理大隊的工作人員通常却不參加自己測得的測井結果的解釋工作。他們只在個別場合才被找來做專門的結論，特別是關於橫向電測深的結論。

有些地球物理學家往往以個人特有的創造精神解決了許多重要的解釋問題。但這樣的工作總是帶有偶然性的，不能完全滿足現代工業的要求。

我們必須採取有效的組織措施，以保證解釋工作得到應

有的發展。

地球物理資料的解釋工作應該直接在礦場地球物理大隊里開始，為此，必須把礦場地球物理大隊固定在一定的地區內，並責成大隊的工程技術人員研究其職責所屬地區的地質和地球物理條件，並經常參加解釋工作。

在礦場地球物理大隊的編制中，應當配備解釋工程師。在地球物理企業中，必須設立解釋小組的組織。從事整理和編輯地球物理企業的工作成果的解釋小組，應該是這些企業的基本組成部分。在這些小組中，應當配備熟練的地球物理學家和地質學家。為了領導解釋工作，在大的生產組織（托拉斯，公司）中必須配備主任地質師和總工程師來領導這一工作。

礦場地球物理企業必須經常研究測井的結果，以便確定其在地質上所收到的效果，使測井方法完善起來，使綜合測井法得以推廣，並使測得結果的解釋方法能更加精確。

應該特別注意研究對採用新的地球物理測井法的結果進行解釋的理論根據和方法。在這些新的測井法中包括放射性測井法、井溫測量法、人工電位測井法、薄層剖面研究法（屏蔽接地電阻法）以及微電測井法（微電極系）等等。

解釋小組應該擬訂適用於勘探區內主要類型的地質剖面的礦場地球物理資料解釋法的規則，並為各種測井法（特別是橫向電測深法）做出結論。

只有在具備適當的試驗基地時，才能對地球物理測井結果進行研究和解釋。必須在礦場地球物理企業的專門實驗室中，加緊有系統地研究岩層和油層水的物理性質。

為了不使地球物理資料的解釋工作抽象化，為了使解釋工作能解決具體的地質問題，所以必須有熟練的地質師直接

參加地球物理企業中解釋小組的工作。

只有利用探區現有的切資料，才能根據地質測井結果求得具體地質問題的單一的解答。在對地球物理資料進行綜合性解釋時，必須考慮到區域地質資料、探區的野外地質測量資料、從前的鑽井勘探資料、經過多方面研究的岩心資料、油層水的實驗室分析資料以及其他地質錄井和試井資料。上述資料都歸地質處掌握，在解釋礦場地球物理資料時，地質師應該經常研究這些資料，並要最有效地利用它們，地質處是礦場地球物理資料的主要需要者，它們會向地球物理處提出各種各樣的任務。所以，地球物理資料的主要綜合性解釋工作，必須在石油托拉斯地質科和油礦地質科中進行，也可以在聯合企業所屬地質處的解釋小組中進行。

另一方面，必須根據每種地球物理方法的一定的理論基礎，以及根據各個問題在物理數學方面的解答來解釋地球物理資料，這些物理數學方面的解答是在嚴格計算從井中測得的每一個參數曲綫的地球物理特性時求得的。地球物理處的工作人員在很大程度上都知道上述利用地球物理資料的特性。因此，在石油托拉斯地質科，以及在油礦地質科和聯合企業地質處的解釋小組中，一定要有極熟練的地球物理工程師。

如上所述，顯然只有通過地球物理工程師和地質師的緊密合作，才能最有效地解釋地球物理資料。如由地質處單獨進行解釋，就不能充分利用一切可能利用的地球物理方法，並且因為沒有考慮到已測得的參數曲綫的地球物理特性而造成很大的錯誤。另一方面，如單獨由地球物理部門進行解釋，則又往往會與油礦地質方面的迫切任務脫節，並且會因

为沒有考虑到所測地区的地質条件而造成严重的錯誤。

在解釋油井技术狀況的地球物理研究結果时，必須考虑到測井工作的一切技术条件。同时也要吸收鑽井处和採油处的工作人員参加解釋工作。

日前，在某些矿場地球物理企業和联合企業的地質处中，已經建立了解釋小組。但是首先，这些解釋小組沒有充分配备好極熟練的地球物理工程师、地質师和矿場工作人員。其次，它們的工作一般都沒有計劃性和目的性。在石油托拉斯地質科和油矿地質科中现在还缺乏地球物理工程师。

只有地球物理工程师，地質师和矿場工作人員一起来有系統地解釋內容極为丰富的地球物理資料，才能研究出最有效的矿場地球物理方法，並从中获得一切能貢獻給石油工業的东西。

在研究矿場地球物理的科学原理的目前情况下，根据已測得的地球物理測井資料能解决下列重要問題：

(1) 确定鑽井剖面的層位，根据已作出的地球物理对比来繪制地質構造圖，以便研究所測地区的地質構造；

(2) 詳細研究所測井的剖面，把剖面划分开来，並确定剖面中每一岩層的性質；

(3) 根据矿場地理物理資料来繪制适当的圖，再以这些圖来研究已鑽剖面的岩性及其在区域面积上的变化；

(4) 研究組成測井剖面的各岩層的儲油气性，並查明儲油層和儲气層；

(5) 研究含油、气層，即确定其深度、总厚度、含油(气)部分的厚度及其儲油气性、油(气)飽和程度以及油气在油田内的分佈情况。此外，利用矿場地球物理資料还能計算儲油

量；

(6) 研究含水層，即确定其成層深度、厚度、儲水性、所含水的矿化度和温度；

(7) 編制探区剖面的地質-地球物理綜合特性表，对比各区之間的剖面，解决区域地質問題；

(8) 解决与油井的鑽进、試油、採油、修井和油井报废有关的各种技术問題。

解釋工作應該按照一定的系統进行，这种系統通常包括下列各个步驟。

为了便於进行解釋工作並使解釋工作精确起見，首先必須把該区測井所得的全部地球物理原始資料都整理好。同时，必須为每一口鑽好的油井繪制一个綜合曲綫圖，圖中应按标准的比例尺标出主要的地球物理参数。

解釋工作的第一步是对每一地球物理測井曲綫圖进行个别解釋，並要考虑每一測得的参数的全部理論特点。完成这一工作后，就能把所測剖面划分成若干具有一定地球物理特性的岩層。此外，必須在各种不同参数的曲綫圖上分出地球物理的对比層(标准層)，也就是分出在該区域中很稳定的異常。

第二步是綜合解釋該井内各种不同参数的曲綫圖。在做这一步工作时，必須考虑到全部現有的剖面地質記錄資料，其中包括对岩样和油層水試样的各种分析資料。这一步工作也包括对横向測井結果进行解釋的工作。完成这步工作后，就能利用已測定的各个被分出的岩層的地球物理特性来确定岩層的岩性和繪制該井的精确的地質剖面圖。同时，剖面圖上所分出的含油氣層和含水層还必須經過特別仔細的研究，

以便确定各个分層确实的成層深度和厚度、滲透率的大小、含油飽和率和含油比，以及含水層的孔隙率和所含水的矿化度。

解釋工作的最后一步是对整个探区的矿場地球物理資料进行綜合性的解釋。結果，就能繪制出一幅或几幅整区的或該区部分地段的綜合性地質-地球物理剖面圖。同时根据地球物理資料繪制各种地質構造圖，以便研究整个地区和該区各个地段的地質構造。

产油層和各个油氣藏都須經過專門的研究，然后才能查明它們的地質特性、岩相特性、分佈情况、岩層厚度和含油氣飽和率在該区内的变化情况。这时，就可以得到極为重要的資料，从而能确定現有的油氣儲量，並为某一油藏和整个油田設計出合理的开采方法。

对各地区地球物理資料进行綜合性的解釋，就能为解决重要的区域地質問題提供極有价值的材料。通过地区間的对比方法，就能很順利地利用矿場地球物理資料来确定相隣地区剖面的地層層位，研究該区地質構造的一般特性和發育史，研究各种沉积交替程序的区域演变及其厚度、岩相特性及其岩性成分。进行上述研究工作的目的，是要确定新油氣田普查和勘探的远景。

如上所述，为要借助地球物理測井法来順利地解决重要的石油地質問題，就必須經常整理、詳細解釋和充分利用已測得的結果。

只有通过地球物理工程师、地質师和矿場工作人員的紧密合作，只有通过科学工作者和生产人員的合作，才能完成上述任务。

地球物理測井資料的詳細解釋工作是同下列工作分不开的：進一步發展礦場地球物理法的理論，開展科學研究工作以及對礦場地球物理資料進行解釋時所必須的岩層物理性質的實驗室研究工作。

深入解釋礦場地球物理資料，就能為國民經濟提供更多的石油和天然氣。深入的解釋工作可以使我們更詳細地研究井的地質剖面，查明新的含油氣層，確定經過鑽探的地區的地質結構，並發現新的油氣田。最後，為了根據現代的科學原理來合理地開發油田，就絕對必須詳細解釋礦場地球物理資料。

II. 岩層的物理性質

碳酸鹽岩層孔隙率的近似確定法

B. H. 达哈諾夫教授

本文論證根據橫向測井曲線等值性的參數 U 和用理想電位電極系測量視電阻率的辦法，來確定岩層孔隙率的可能性。

在研究碳酸鹽岩層中的井身剖面時，往往要求在剖面中分出孔隙率大的岩層，並求出其孔隙率的近似值。

與白云岩化和裂縫形成有關的碳酸鹽岩層的高孔隙率地帶，普通都是在一定年代的沉積中成帶狀地分佈，其分佈狀況決定於這些沉積的形成和後來保存的條件。

由於工業性油氣聚集通常都發生在孔隙率大的地帶，所以確定這些地帶的位置是有實際意義的。

經過詳細的計算證明，在飽含水的岩層中鑽井時（水的電阻比鑽井泥漿的電阻小得多），岩層孔隙率 k_n 的大小可以根據用電極距不大的理想電位電極系測得的視電阻率的數據加以近似的確定。

從電測井的理論知道，當電位電極系和梯度電極系的電極距不大時，視電阻率的大小主要是由下列參數值決定的：

$$U = \frac{\rho_2' - \rho_2}{\rho_0} \ln \frac{D}{d_0}, \quad (1)$$

式中 ρ_2' 和 ρ_2 分別代表飽含泥漿濾液地帶的岩層電阻率 and 這一地帶以外的岩層電阻率； ρ_0 ——泥漿的電阻率； D ——飽

含泥漿地帶的直徑； d_0 ——井的直徑。

大家知道，含水岩層的電阻率 ρ_{nn} 是由岩層的孔隙率 k_n 決定的。經過多次的觀察可以看出，在雙對數座標系中，在相當大的孔隙率變化範圍內，這種關係可以近似一條直線（圖 1），它符合下列公式：

$$\lg \frac{\rho_{nn}}{\rho_{ns}} = \lg P_n = -b \lg k_n, \quad (2)$$

式中 ρ_{ns} 是岩層中水的電阻率； $P_n = \frac{\rho_{nn}}{\rho_{ns}}$ ① 是相對電阻率，它決定岩層電阻率與岩層孔隙率之間的關係； b 為直線

$$\lg P_n = -b \lg k_n$$

的角係數，它的大小取決於岩層的構造特性，變化範圍在 1.2（疏松而均質的粗砂層）到 2.5（致密砂岩和石灰岩）之間。

在含有泥漿濾液的地帶，岩層孔隙中液體的平均電阻率可以用 ρ'_0 來表示，這樣我們就可以從公式(1)中導出下式：

$$U = \frac{P_n \rho'_0 - P_n \rho_{ns}}{\rho_0} \ln \frac{D}{d_0} = 2.303 P_n \frac{\rho'_0 - \rho_{ns}}{\rho_0} \lg \frac{D}{d_0} = P_n \xi. \quad (3)$$

從公式(3)中得知，參數 U 與相對電阻率 P_n 成正比。

如果地層水的電阻率 ρ_{ns} 比配制泥漿用水的電阻率 $\rho_{\Phi 0}$ 小得多，同時也比 ρ'_0 小得多（碳酸鹽岩層常常有這種情況），那末，

$$U = 2.303 P_n \frac{\rho'_0 - \rho_{ns}}{\rho_0} \lg \frac{D}{d_0} \approx 2.303 P_n \frac{\rho'_0}{\rho_0} \lg \frac{D}{d_0} = P_n \xi', \quad (4)$$

式中

$$\xi' = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \ln \frac{D}{d_0} = 2.303 \frac{\rho'_0}{\rho_0} \lg \frac{D}{d_0}. \quad (5)$$

① 與作者以前的著作所不同的地方是，這裡的相對電阻率和含水岩層的電阻率都用俄文符號標出。