

208428



北京石油学院讲义

油矿地球物理

第一卷
上册

苏联 Г. А. 車列明斯基教授著



石油工业出版社

北 京 石 油 学 院 讲 义

油 矿 地 球 物 理

第 一 卷

上 册

苏联 Г. А. 車列明斯基教授著

北京石油学院地球物理教研室译

石 油 工 业 出 版 社

內 容 提 要

本書是苏联專家Г. А. 車列明斯基在北京石油學院講授“油礦地球物理”課時所編的講義。兼詳細闡明測井設備的工作原理、操作及保養方法外，對於各種電測地面儀器，特別是中國製造的各種儀器都分別作了介紹。同時，對測井方法、誤差計算、干擾發生的原因及消除的方法也都有所說明。

本書可作地球物理測井專業的主要參考書，對油礦、煤田及金屬礦測井工程技術人員也有很大的幫助。

統一書號：15037·425

油 礦 地 球 物 理

НЕФТЕПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОФИЗИКА

第一卷 上 冊

根據北京石油學院苏联Г. А. 車列明斯基教授(Г. А. ЧЕРЕМЕНСКИЙ)

講義稿翻譯

*

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業局內）

北京市書刊出版登記證出字第082號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 開本 * 印張15 $\frac{3}{8}$ * 278千字 * 印1—1,800冊

1958年10月北京第1版第1次印刷

定價(10)2.50元

前 言

本課程“油矿地球物理”，是作者在北京石油学院为該院教师
和研究生，中等地質勘探技术学校的进修教师，以及中华人民共和国地質部、石油工業部和煤炭工業部的地球物理工程師們所开
設的。

本課程的主要目的是：構造地球物理測井的物理数学基础、
技术、測量方法及資料解釋；給听課者介紹油矿地球物理的現狀
及其今后的发展方向。

課程的內容，基本上符合于苏联高等教育部所批准的大学石
油系及石油学院的油矿地球物理教学大綱。但考虑到北京石油学
院地球物理教研室的需要，中华人民共和国地球物理測井方法的
現狀，研究及生产关于油矿地球物理仪器及設備的工業的需要，
所以本課程某些章节中的講述并不符合于教学大綱所要求的次
序，而且在分量上也有所不同。

由于油矿地球物理在蓬勃地发展，本課程很大一部分教材是
从最近几年来在苏联及其他国家各种刊物中所发表的文章内摘取
来的。

因为油矿地球物理在蓬勃发展，中华人民共和国地球物理教
师及工作人員們还没有充分地掌握俄文，同时还缺少一本适合石
油学院“油矿地球物理”專業教学大綱的有系統的教科書，所以完
全有必要收集各期刊杂志上零星发表的文章加以系統总结。

韓德旺和王貴有同志，在翻譯講稿和整理手稿工作中付出了
很大的劳动，在此向他們致以特別的謝意

Е. А. 車列明斯基

目 录

前 言

緒 論	1
-----------	---

第一部分 主要設備

第一章 電纜	17
§ 1. 電纜的類型	17
§ 2. 電纜的連接法	20
§ 3. 電纜的使用	28
第二章 電極系	29
§ 4. 電極系系數	30
§ 5. 視電阻率	31
§ 6. 電極系的類型	32
§ 7. 實際電極系和理想電極系的適應條件	37
§ 8. 在實際工作中使用的電極系的類型	40
第三章 電極系的構造	42
§ 9. KC 法的電極系	42
§ 10. 其他類型的電極系	44
§ 11. 重錘懸掛器	52
§ 12. 電極	54
第四章 重錘	60
§ 13. 重錘的類型	61
§ 14. 重錘重量的確定	63
§ 15. 在彎曲井內, 電纜為克服摩擦力所受的張力	67
第五章 絞車	72
§ 16. 輕型和中型絞車	72
§ 17. 重型絞車	79

第六章 集电环	83
§ 18. 集电环的类型	83
§ 19. 集电环的维护	89
第七章 輔助設備	90
§ 20. 井口滑輪	90
§ 21. 耦合傳動器	93
§ 22. 指重表	95
§ 23. 轉速表	97
第八章 电源	98
§ 24. 電池	98
§ 25. 電池組	99
§ 26. 蓄電池	101
§ 27. 油矿电力网	103
§ 28. 特种发电机組	107
§ 29. 穩压器	108
第九章 車裝絞車	110
§ 30. ПНК-2000 和 ТПНК-3000 型車裝絞車	111
§ 31. СКП 型車裝絞車	115
§ 32. 絞車使用規則	122
參考書	124

第二部分 測井仪器及操作方法

第十章 檢流計	129
§ 33. 檢流計的理論	129
§ 34. 在变化力矩作用下的檢流計的活動系統	141
§ 35. 檢流計的計算和外部綫路电阻的選擇	145
§ 36. 檢流計的特性和結構	150
第十一章 測量方法	156
§ 37. 补偿法	156
§ 38. 非补偿(非零位)法	162

第十二章 电位差計	165
§ 39. ЭП-1М 型电位差計	165
§ 40. ЭП-1М 型电位差計的計算	171
§ 41. 中国制造的电位差計	175
§ 42. 自动记录电位差計	176
第十三章 点測和半自动記錄	181
§ 43. 点測法	181
§ 44. 半自动记录	182
§ 45. 可拆卸的半自动记录设备	186
§ 46. 苏联半自动測井站	192
§ 47. 中国半自动測井站	197
第十四章 測井前的准备工作和測井工作的进行	201
§ 48. КС 和 СП 曲綫的比例尺	201
§ 49. 比例尺的計算	202
§ 50. 井场和井的准备工作的	206
§ 51. 对仪器和设备的准备工作, 測井的操作	207
§ 52. 下放和提升电极系的特点	209
§ 53. 找出和排除供电綫路及測量綫路中的故障	211
§ 54. 确定深度	216
§ 55. 曲綫的整理	223
§ 56. 泥漿电阻率的測定	225
第十五章 КС 及 СП 的誤差	227
§ 57. КС 曲綫的誤差	227
§ 58. СП 曲綫的誤差	230
§ 59. 产生 СП 干扰的原因	231
第十六章 АКУ/Л-50 型全自动測井站的实验室	239
§ 60. 用途及簡單的特性	239
§ 61. 測量綫路	242
§ 62. 实验室的構造	245
§ 63. 照相记录仪的構造	248
§ 64. 測井站外部联接綫路	252

§ 65. 測井前實驗室的准备工作	253
§ 66. 曲綫的記錄和測井站轉移前的准备工作	258
第十七章 AKC/JI-51 型測井站的實驗室	261
§ 67. 實驗室的構造	261
§ 68. 測量綫路	262
§ 69. 供電綫路	269
§ 70. 輔助和控制設備	274
§ 71. AKC/JI-51 型測井站工作前的准备工作	283
第十八章 檢流計参数的确定, 檢流計綫路的調节, 工作方 式的選擇, RC 和 CH 綫路并聯时的誤差	285
§ 72. 檢流計参数的确定	285
§ 73. 檢流計綫路的調节	287
§ 74. 檢流計工作方式的選擇	290
§ 75. RC 和 CH 綫路并聯时的誤差	291
第十九章 匈牙利 EL-303, 54 型全自动測井站	300
§ 76. 用途、簡單的技术特性及一般結構	300
§ 77. 測井站的綫路	302
§ 78. 測井站个别部件的結構	311
§ 79. 井下儀器	321
第二十章 多綫式測井站	324
§ 80. 七芯鋁絞電纜綜合測井站	321
§ 81. 中华人民共和国石油工業部多綫式全自动測井站	329
第二十一章 以正弦波交流电供給 AB 綫路的全自动測井站	333
§ 82. 單芯電纜全自动測井站	335
§ 83. 多芯電纜三綫式全自动測井站	338
第二十二章 干扰	339
§ 84. 感应干扰	341
§ 85. 感应干扰和电容干扰	345
§ 86. 由于漏電引起的感应干扰	353
§ 87. 确定感应干扰的方法及消除干扰的措施	356
§ 88. 交流电干扰	359
§ 89. 使 CH 曲綫发生畸变的干扰	369
附录 1 进行地球物理測井工作时的井內事故	379
参考書	384

緒 論

由于中国国民經济及其先进技术装备的发展，近来对石油的需要不断急烈地在增長着。中华人民共和国政府及中国共产党，过去和現在一向对中国石油开采工业的发展給予极大的注意，以便在建設社会主义的时期内能满足人民对石油及石油产品的日益增長的需要。現在，在国内正广泛地展开了普查和勘探工作，寻找新的油气田，这些工作已經在中国的广大地区内进行着。同时，在已經开采的油气田中(老君庙，延長，克拉瑪依，隆昌圣灯山，巴县石油溝等等)，正在不断地提高石油及天然气的产量。

在发展石油工业的第一个五年計劃中(1953—1957年)，曾規定了迅速增加原油及天然气的产量。在完成这项巨大的任务中，油矿地球物理，即測量油气井的物理方法起着很大的作用。人民政府及中国共产党，正采取一系列的措施，用新的現代化的技术来装备采油及地質勘探工作，并且对新干部的培养也十分重視。从北京石油学院設立“油矿地球物理”專業，便可看出人民政府及中国共产党对培养新干部的关怀。

油矿地球物理是鑽井地球物理的一部分，它包括不取岩心来研究井的地質剖面的全套地球物理方法，以及研究为普查、勘探和开采油气藏而鑽的井的技术情况。

測井以及某些井內操作，是以研究岩石的各种物理性質(参数)为基础的。現在，在油矿地球物理中，綜合地球物理測井方法，不仅用以普查及勘探有用的矿物(石油，天然气，煤，等等)，而且还为了檢查井的情况和监督油气田的正确开采。

在苏联，油矿地球物理成長于最初的几个五年計劃期間。当时，为了要保証有計劃地迅速地发展工业，必須在最短时期内建

立可靠的原料基地。那时，已經肯定了旧有的普查及勘探石油、天然气、煤等矿产的方法，不能保証完善地查明和研究矿床，而且并不具有足够的經济效果及必要的勘探速度。由于这些原因，給当时苏联的生产工作者和科学研究机关提出了創造沒有上述缺点的勘探方法的任务，而这种方法也就在相当短的时期中創造出来了。

油矿地球物理之所以能在地質勘探中获得如此广泛的应用，是由于它具有以下的优点：

- 1) 油矿地球物理提高了勘探油田的速度；
- 2) 降低了鑽井工程的成本，因为它可以改变为分段取心，并且在某些情况下可以进行不取心鑽井；
- 3) 比起仅应用研究岩心所获得的資料能得出更加完整的有关油田地質及儲藏量的資料。因为，即使我們能从井中取出 100% 的岩心，（这是非常少有的事）也得不到地层中油气水的百分含量、地层傾角和方位角的資料，以及其他为解决普查、勘探及开采工作中产生的問題所需要的資料。

在油矿地球物理中，若利用仅能測定岩石一种性質的方法时，則对所提出的問題并不总能得出單值的唯一的解答。为了要获得單值的解，在油矿地球物理中常采用以研究岩石各种物理性質的綜合方法。这些方法，就是要在井中进行測量来研究自然埋藏条件下岩石的物理性質；統称之为“測井”，但这个名称并不完全合适（“測井”一词俄文为 *Кароттаж* 由法文 *Corottage* 而来，意为取岩心，按字譯应为帶有短的圓心的胡蘿卜）。

在井中研究岩层的方法，按其所研究的岩层的物理性質，可分为以下几种方法：

甲. 电法 电法又分为：

- (1) 研究岩层电阻率(或导电率)的方法，其中又包括下列方法：

- 1) 视电阻率法(简称为RO);
- 2) 接地电阻法及其派生方法;
- 3) 记录电流法(简称为PT);
- 4) 滑动接触法(简称为MCK)。

(2) 岩层自然电位法(简称为CH或BC), 此法是测量在岩层及井内泥浆中所产生的电场的电位,

(3) 人工电位法(简称为BH或SK-电解测井)。此法是研究岩层中通过电流时所产生的, 而在电流断路后观测到的电场的电位。

乙. 热法 该法以研究人工热场及自然热场为基础。热场的分佈决定于井的周围岩层的导温率, 导热率(热阻率)以及其它因素。

丙. 电磁法 这种方法以研究岩层的导电率、导磁率、介电常数、岩层吸收及反射电磁能的性质为基础。该法又可分为: 1) 感应法, 此法研究岩层的导电率及磁化率; 2) 磁法, 该法根据磁化率、自然磁场和人工磁场的强度来划分岩层。

丁. 放射性法 即根据自然放射性及人工放射性来研究岩层的方法。放射性法分为:

(1) TM法, 这种方法以研究岩层自然放射性(γ 射线)为基础。

(2) TLM法, 该法应用人工 γ 射线源, 测量场源强度及井周围的岩层散射 γ -射线强度。

(3) HIM法, 即根据中子照射岩层时产生的 γ -射线来研究人工放射性的方法; IHIM法, 此法研究岩层中中子的分佈特点。

(4) 随着水、泥浆及水泥一同注入井中的放射性同位素法。

戊. 机械法 分为:

(1) 进尺时间法, 该法研究进尺时间, 即钻进1公尺岩层所消耗的时间。这个时间与所钻岩层的临界应力成正比例。测定钻

进一單位井深时消耗于鑽碎岩层的能量的方法，是机械法的一种；

(2) 測定岩石硬度法。

己。井徑測定 就是要測定在鑽井过程中各种岩石坍塌的情况。因此，在井内对着不太結实的岩层，可以看到井徑的扩大。这样我們就能根据井徑測定的資料来研究岩层。

庚。气测法 以分析泥漿中溶解的天然气来确定鑽穿岩层的含气性及含油性。

辛。螢光法 該法是根据观察泥漿的螢光来研究岩层的含油性。

在上列地球物理方法中，电法应用得最广，其次按下列的顺序，为放射性法、热法、气测法及其他方法。

在“油矿地球物理”課程中，講述各种地球物理測井方法的物理数学原理、技术、工作方法及資料解釋；講述与使用地球物理技术有关的井内測量及操作；并指出現有的各种方法及整个油矿地球物理的发展远景。

整个这部油矿地球物理教程分为兩卷。第一卷講述电法測井；第二卷講述非电法測井。第一卷又分上下兩册。

上册講述地球物理測井法中(主要是电法)用的主要設備、仪器及方法。由于近代仪器及設備的种类很多，順便对于与电法測井沒有直接关系但与所用技术有关的某些問題也給予概括的敘述。

在下册中講述电法測井的理論与解釋。

在第二卷中講述放射性及其他非电法測井，在該卷中，与講述每种方法的物理基础、理論、資料解釋及操作方法的同时，还討論在第一卷中沒有包括的某些技术問題。

在进一步講述該課以前，需要談一下，如何研究油矿地球物理这門科学，并确定它在其他地球物理科学中的地位。

油矿地球物理，是組成鑽井地球物理各門科学中的一門科

学。众所周知，和鑽井地球物理一样，油矿地球物理的研究对象也是地壳。鑽井地球物理，包括油矿地球物理在内，在研究其对象时所使用的方法，是一种建立在唯物辩证法的基础上的地球物理方法。

恩格斯说过：“科学的兴起与发展从开始起便是由生产所决定”(恩格斯“辩证法与自然科学”，人民出版社，第一頁)。这句话完全适合于鑽井地球物理。象各門科学一样，它的产生，决定于苏联过渡到社会主义工业国对国民經济方面日益增长的要求。在鑽井地球物理学中，一方面看到它和实践及地質勘探工作的极紧密的联系，另一方面，看到它和地質学及物理数学的极紧密的联系。

油矿地球物理，和鑽井地球物理一样，也是研究地壳的，因此，它和地質学是有联系的，因为地質学的研究对象也是地壳。鑽井地球物理，在使用个别地質方法研究其对象时，亦采用以研究地質方法所不能得到的岩层物理性質为基础的地球物理方法。

綜合地全面地研究岩石，可以解决下列主要問題：

- (1) 研究岩层，及其結構，厚度以及它在井剖面上的位置；
- (2) 确定岩层的孔隙度及估計其滲透率；
- (3) 确定作对比用的标准层；
- (4) 查明油田的地質構造；
- (5) 在井的剖面中划分出：
 - 1) 含油及含气岩层，并确定其油、气、水饱和度；
 - 2) 煤层，并确定其品种及結構；
 - 3) 矿体帶，并确定其矿物成分。

除了解决这些問題以外，在鑽井地球物理学中，首先在油矿地球物理中，应用綜合方法研究井的技术情况，可以用远距离操作来测定：

- 1) 井的傾角及方位角；

- 2) 井徑;
- 3) 水泥返回高度;
- 4) 漏水处及管外液流的位置;
- 5) 井內水和石油液面的高度。

解决上述問題，要借助井下仪器，通常用特制的電纜把仪器放入井中。井下仪器的讀数由電纜傳至地面，用測量仪器加以記錄。

一般都用綜合方法解决鑽井地球物理中的大部分問題，因为，現有地球物理測井方法中的無論哪一種方法，都不能完善地及明确地解决所提出的問題。近来，我們采用更全面的綜合方法，因为，和地面地球物理勘探法一样，大家企图由发现異常轉为发现油田，由分段(不全部)取心过渡到不取心鑽井。大家都知道，不取心鑽井可以大大地提高鑽井速度及降低鑽井成本。

鑽井地球物理，實質上是地質学，它是从地質和物理的科学体系中发展出来的，这完全符合于恩格斯的說，“各种不同的科学，必然一定是一个从另一个发展出来”(恩格斯“自然辯証法”，人民出版社 209 頁)。

鑽井及油矿地球物理学的理論基础，正在逐漸深入地被研究着。現在，鑽井地球物理学，已經走过了只能收集事实和竭力把它們系統化的“幼年时代”。从鑽井地球物理的某些部分中，已經找出了在實踐中不止一次被証实了的各種規律。油矿地球物理理論基础的进一步研究，和对地壳进行全面研究的任务——研究岩石及矿物的物理性質、地壳的地質構造和对測量結果更精确的地質解釋——有极其密切的关系。

作为一門科学，油矿地球物理学必須研究普查及勘探油气田的問題；研究資料的地質解釋問題；进一步改善实际觀測的技术及方法，以便扩大地球物理勘探法所能解决的問題的範圍；提高生产率，改善劳动条件及降低生产成本，等等。鑽井地球物理，

同时包括油矿地球物理，今后发展的基本道路，可作如下的提示。

随着大量实际资料的积累和鑽井地球物理各方法的理論基础的深入研究，这门科学的各个部分：电法測井、放射性法、热法、及其它方法，具有越来越大的意义。因此，这里可以看到鑽井地球物理將按着它的个别方法的发展道路而分成一系列的單独的科学。

另一方面，現在也可以看到按划分成部門科学的路綫制定鑽井地球物理的发展道路，即划分成油矿地球物理，金屬矿鑽井地球物理，等等。它們的研究对象，是整个地質科学系統的总对象——地壳的个别方面。这样，这里就生动的表明了在第一种情况下，我們有了分析的方向，而在第二种情况下，則有綜合的方向，两个方向仅能彼此紧密結合地共同存在着，因为“思維不仅在于把同类的因素，綜合成为統一体，而且更在于以同样的程度把意識的对象分解成它們的因素，沒有分析，不会有綜合”(恩格斯“反杜林論”，三联書店，41頁)。

根据表 1 可以确定油矿地球物理在其它科学中的地位。

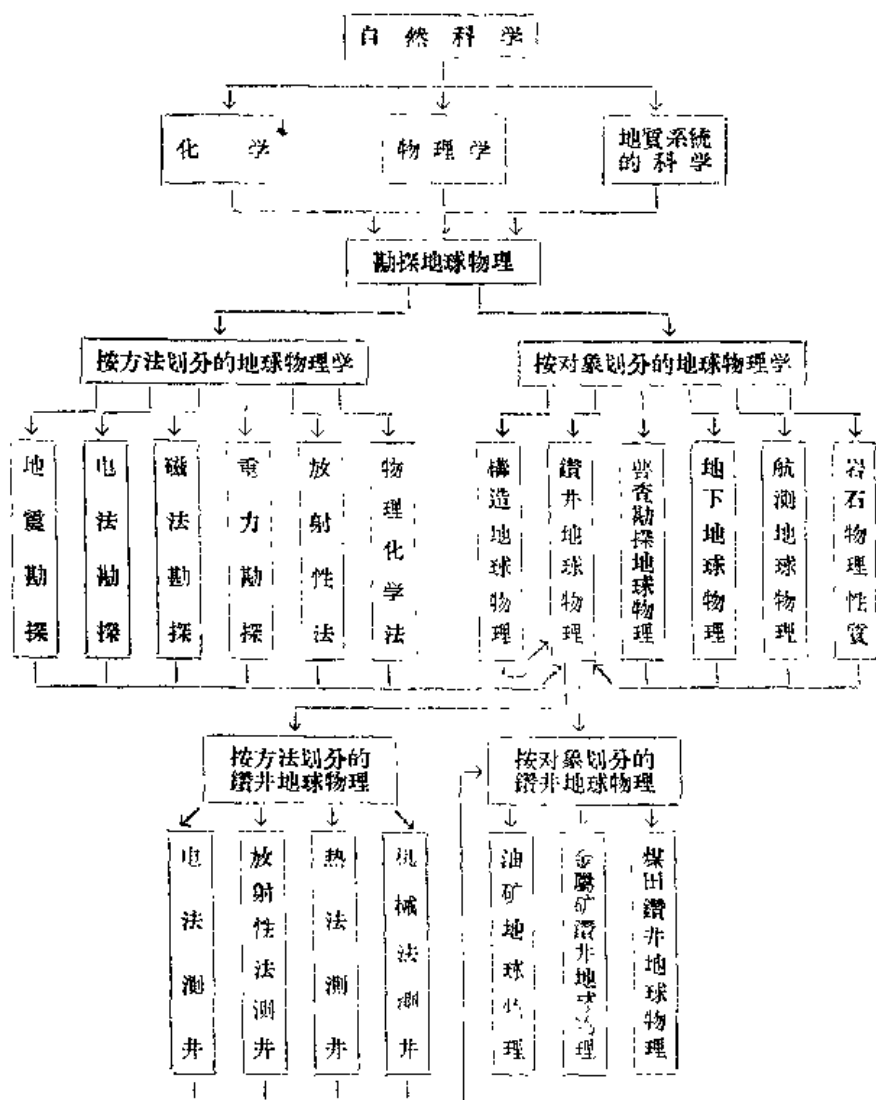
Л. В. 戈魯比亞特尼科夫在測量井温方面所做的工作，是苏联也是全世界最早做的工作，它奠定了运用油矿地球物理的基础。这些工作 1906 年是在比比-埃依巴特油田(苏联)，以后在阿普歇倫半島的其它油田(苏联)上进行的。后来，油矿地球物理中又增添了电阻井温仪(В. 庫茲涅佐夫等，1928)和測量井斜的仪器。其中第一架仪器是巴庫工程师-石油工作者利赫納扎洛夫(1927 年)創造的仪器。

1926 年，法国康拉特·史留貝尔，首次証明了利用視电阻率法研究井中岩层的可能性。1927 年，在彼舍勒勃朗(法国)，以后于 1929 年又在荷屬东印度的油田、委内瑞拉、俄克拉荷馬及其它区域的井內用視电阻率法进行了最初的几次生产工作。

苏联的生产工作者和科学家，对研究地球物理測井方法有很

大的貢獻。在苏联，油矿地球物理的发展史是科学和实践紧密合作的鮮明例子。在全部油矿地球物理的发展史中，生产工作者提出了問題，和科学家密切的合作，研究与广泛使用新的地球物理方法，并且扩大了应用这些方法所解决的問題的范围。

表 1



例如，根据地質学家 Л. В. 戈魯比亞特尼科夫，Л. В. 查勃列夫，B. A. 謝尔斯基，С. В. 沙金，A. H. 斯諾尔斯基等人的倡議，1929 年，在苏联格罗茲內石油托拉斯首次在井內运用了地面地球物理中使用过的电測剖面法。甚至在使用这种方法的最初阶段，不仅能根据所得的資料划分出标准层，并且，更主要的是能找出已知的和在鑽井过程中漏掉的含油层，这就增加了油田的工業資源。

在电測井发展的初期，进行电測井就已經不是什么繁重的操作。例如，如果从超过 1000 公尺的深处取出 1 公尺岩心需要鑽井队連續工作六小时，甚至更多的時間，那么，采用电測井，即使是在它发展的初期，就已能在 12—15 小时内得到每隔 1 公尺測一次的 1000 公尺深井的視电阻率曲綫 (EC)。誠然，那时的 EC 曲綫是很不完善的。特別是，滲透的含油层和含气层和不含油气的致密岩石(石灰岩，强膠結的砂岩等)，皆显示有同样性質的異常。这就使地質剖面难于解釋。

从 1931 年起，羅馬尼亞也开始进行电法測井(EC 法)。

1931 年，由全苏地球物理勘探处工作人員的倡議，开始研究井中的自然电势(自然电位 CH 或 HC)。自然电位法扩展了用电法解決問題的范围，特別是能够在井的地質剖面中划分出滲透地层。因此，在某些程度上，縮減了資料解釋的多值性和保証获得有关井剖面的更加完整的資料。这样就使測量工作量增加，而同时又促进了測量 EC 及 CH 技术的改进。因此，在 1931 年末，就采用了連續的記錄(半自动記錄)，可以同时記錄 EC 及 CH 曲綫。这种記錄方法，不致漏掉井剖面中的薄地层，并且使同时記錄 EC 及 CH 的速度增加到 250—500 公尺/小时。

有效的使用 EC 及 CH 法，进一步地在油矿实际工作中推广了地球物理勘探法的应用。因此，在很短的時間內，就研究出了檢查油井技术情况的方法和仪器，可用以測定：