

中国石油学会石油测井委员会

# 第一届测井年会论文选集



石油工业出版社

TE14  
5  
3

中国石油学会石油测井委员会

# 第一届测井年会论文选集

6821/11

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本文集是中国石油学会石油测井委员会于1986年召开的第一届测井年会——油田开发测井及复杂地层测井学术讨论会上评选出的有代表性的论文汇编。全集分为石油开发测井部分及复杂地层测井部分，共37篇。这些论文基本上反映了当前我国在这两个领域中的技术水平。开发测井部分中，介绍了目前所研究出的针对我国不同地质特点的油田开发测井技术、测井理论和资料解释，以及实验室研究成果。例如用测井资料研究油田开发动态参数，残余油饱和度，剩余油分布及判断各种复杂地层水淹层的水淹级别等。同时还介绍用测—注—测—注—测工艺确定剩余油饱和度技术以及工程测井中找水、找窜技术等。复杂地层测井部分中的内容，包括针对各种复杂地层所建立的解释模型、理论分析、方法探讨及相应的计算机处理软件。该文集还囊括了许多成功经验及现场应用实例。

本文集可供从事测井、油田（煤田）开发、地质技术人员及科研人员参考。

### 中国石油学会石油测井委员会 第一届测井年会论文选集

石油工业出版社出版  
(北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京妙峰山印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 25<sup>1</sup>/<sub>4</sub>印张 4插页 602千字 印1—2,500

1988年9月北京第1版 1988年9月北京第1次印刷

书号：15037·2941 定价：5.30元

ISBN 7-5021-0092-X/TE·92

## 出版者的话

中国石油学会石油测井委员会于1986年5月28日至6月2日及同年的11月4日至9日分别在沈阳和镇江召开了第一届测井学术年会——油田开发测井及复杂地层测井学术讨论会。这两次会议共交流了100余篇论文，这些论文都来自于生产、科研第一线，题材丰富，技术先进，具有一定的深度和广度，基本上反映了我国当前在油田开发测井及复杂地层测井领域中的技术水平。为了便于各油田之间相互学习、取长补短和促进国际间的交流，会议决定从这些论文中评选出部分有代表性和较优秀的论文，汇编成《第一届测井年会论文选集》，并要求公开出版发行。我社考虑了这一要求并结合我国当前在石油(煤田)勘探和开发工作中的实际需要，决定出版本文集。

本文集共包括37篇文章，分为两大部分——油田开发测井部分及复杂地层测井部分。在第一部分的内容中，涉及到油田整个开发过程中所使用的测井方法，其中包括裸眼井及套管井的调整井测井，生产测井，工程测井等一些成功的测井技术、测井理论及解释方法。在第二部分主要汇集了复杂地层测井这一领域内所取得的新成果。因此本文集可供从事油田(煤田)测井、开发、地质技术人员及科研人员参考。

在本文集的编写出版过程中，中国石油学会石油测井委员会的张春生、张作信同志做了大量的组织工作，包括稿件的收集和初审工作，特此致谢。

# 目 录

## 第一部分 油田开发测井

### 一、大庆油田薄层水淹层综合解释方法研究

..... 刘宝生、王宗群、官凤英 (1)

二、碳氧比次生伽马能谱测井及其在辽河盆地的应用 ..... 常熹 (11)

三、斯伦贝谢测井解释及其在中原油田的应用 ..... 王祥 (21)

四、油田开发时期测井评价的实验研究 ..... 林纯增 周渤然 张和平 (34)

五、生产动态测井资料现场快速解释方法 ..... 吴锡令 曾才顺 (49)

六、中子寿命测一注一测一注一测确定残余油饱和度技术 ..... 朱锡瑛 (60)

七、结合堵水作业的中子寿命“测一注一测”技术 ..... 刘应 (70)

八、石油测井解释专家系统OWLI ..... 张建朝、楼启明、葛君敏 (77)

### 九、油、水两相测井模拟装置及解释方法研究

..... 张宝群、曲以新、王瑜珑 (89)

十、同位素示踪测井有关问题的探讨 ..... 吕志强 (104)

十一、井下电视测井的应用 ..... 王玉玲 (115)

十二、快速求解复杂地层中电磁测井响应的方法 ..... 张庚骥 金勇 (124)

十三、高角度裂缝碳酸盐岩油藏剩余油分布的研究 ..... 廖明书 李薇 (133)

十四、磁测井在油田套管检测中的应用 ..... 曹瑜玲 (140)

十五、克拉玛依油田水淹层解释与研究 ..... 陈淦 (153)

## 第二部分 复杂地层测井

一、复杂储集层——泥岩裂缝储集层解释方法探讨 ..... 谷士明 (167)

### 二、利用模糊数学方法判断低矿化度粗岩性储集层的油、水层

..... 洪恒令 尚林阁 郭凤琴 (175)

### 三、利用逐步判别分析方法判断低矿化度、粗岩性储集层的油水层

..... 郭凤琴 (185)

四、混合花岗岩裂缝性储集体测井评价 ..... 牟维新 吴光泉 (201)

五、裂缝型复杂岩性地层的测井解释 ..... 欧阳健 王杰英 (219)

六、一个裂缝性气藏的气水关系 ..... 文华川 (232)

七、川东石炭系储集层的测井评价 ..... 赵良孝 (241)

### 八、应用地层倾角资料研究孤北潜山内部构造、裂缝分布和油气富集规律

..... 何登春 田洪 (248)

九、应用测井资料评价前震旦系变质岩储集层 ..... 李德云 (256)

十、声阻抗在复杂岩性煤层解释中的应用 ..... 方潮杰 (266)

十一、利用测井方法划分热变煤与天然焦 ..... 章元鼎 (274)

十二、用交会法对高灰分煤进行相关分析.....	陈有礼 (278)
十三、电磁波传播测井在地层评价中的应用.....	尚作源 马庆刚 (297)
十四、复杂岩性地层测井解释的岩性参数选择.....	李舟波 (296)
十五、模糊数学在复杂岩性油气层解释中的应用.....	王继贤 (304)
十六、我国复杂煤层测井技术应用与分析.....	叶庆生 (314)
十七、利用测井资料探讨碳酸盐岩地层渗透率的计算方法 .....	丘琳 陈太炳 (322)
十八、复杂砂岩地层的油层评价——粗、细粒砂岩, 淡地层水储集层的 解释技术.....	衡志 (337)
十九、泥岩裂缝储集层研究.....	吴蕙英 (347)
二十、克拉玛依油田石炭系玄武岩储集层测井解释研究.....	卞德智 (366)
二十一、利用自然伽马能谱测井资料对大庆地区泥质成分及其分布规律 的探讨.....	傅有升 牛超群 (375)
二十二、复杂岩性解释程序(FCRA)的方法原理及其应用 .....	李国平 (386)
测井中常用的许用单位与非许用单位换算表 .....	(395)

# 第一部分 油田开发测井

## 一、大庆油田薄层水淹层综合解释方法研究

刘宝生 王宗群 官凤英

(大庆石油管理局测井公司)

**摘要** 本文提出的薄层水淹层综合解释方法,适用于大庆油田长垣地区有效厚度为0.5m以上的砂岩储集层。该方法根据油田开发的需要,提供了油层和水淹层的孔隙度、渗透率、目前含水饱和度、束缚水饱和度以及水淹等级等地质参数。

油层和水淹层的划分,曲线形态的识别是采用了逻辑推理方法;地质参数的确定是采用了数学地质方法。

上述方法通过大庆油田8口资料井(共计144个层)的验证,以及对新开调整井的多次普查,均见到明显的效果,证实该方法具有较大的实用价值。

同时,本文对标准化、比值和限值等方面也作了介绍。

### 引 言

大庆长垣是早期注水开发的油田,目前已进入高含水期开发阶段。两米以上的储集层水淹现象严重,老井含水率上升,产量递减,给油田稳产带来很大困难。但大庆油田是一个多薄层的油田,两米以下储集层的地质储量非常可观。为保证油田稳产,薄层开发成为急待解决的问题。进行薄层水淹层综合解释方法的研究就是在这种形势下开展的,它是油田的重点科研项目。

1979年,大庆油田在水淹层综合解释方面曾取得了很大进展,对有效厚度 $H \geq 1.2\text{m}$ 的地层其解释符合率达到80%以上。但薄层和差油层的解释精度较低,仅有40%的符合率。为合理开发油田,确保原油稳产,从1979年起,开展了对薄层解释的研究。1983年,薄层测井及其解释技术开始用于薄层开发领域,迅速地改变了生产中的被动局面。新开调整井合格率由原来的49%上升到85%左右;综合含水率由38%下降到15%左右;单井日平均产油14t上升到28t。近年来,油田每年新钻调整井都在1000口以上,采用这套薄层测井解释技术进行油层和水淹层的综合评价,使合格井率始终保持在85%左右,含水在15%左右,单井日平均产油超过设计产能5吨左右。由此可见,在油田的整体开发中,各个环节都是成功的,测井这一环节也不例外,它有效的发挥了薄层的产油能力,为油田开发提供了可靠数据从而获得了较高的经济效益。

## 水淹层解释物理基础

油层水淹以后，可引起下列变化：

1) 电阻率 $R_t$ 下降。本地区的地层多属正旋回沉积，在水的重力作用下，油层底部易被水淹，且强水淹较早，由于含水饱和度 $S_w$ 的增加，导致地层电阻率 $R_t$ 下降(图1)。

2) 声波时差 $\Delta t$ 增大。由于层内液压力增大，使岩石骨架压力下降和孔隙喉道增大；由于油气溢出，改变了相对应井段的泥浆性能，使泥浆中多油及多气泡。于是引起声波时差的增大(图1)。

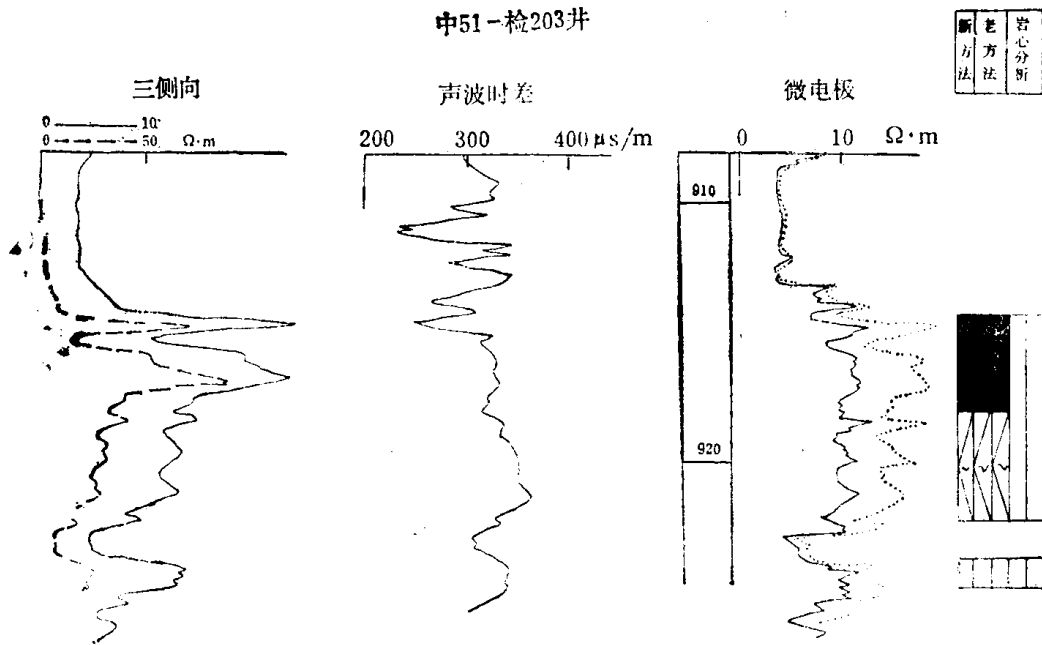


图 1 水淹层 $R_t$ 下降， $\Delta t$ 增大典型示例

南6-检4-28井

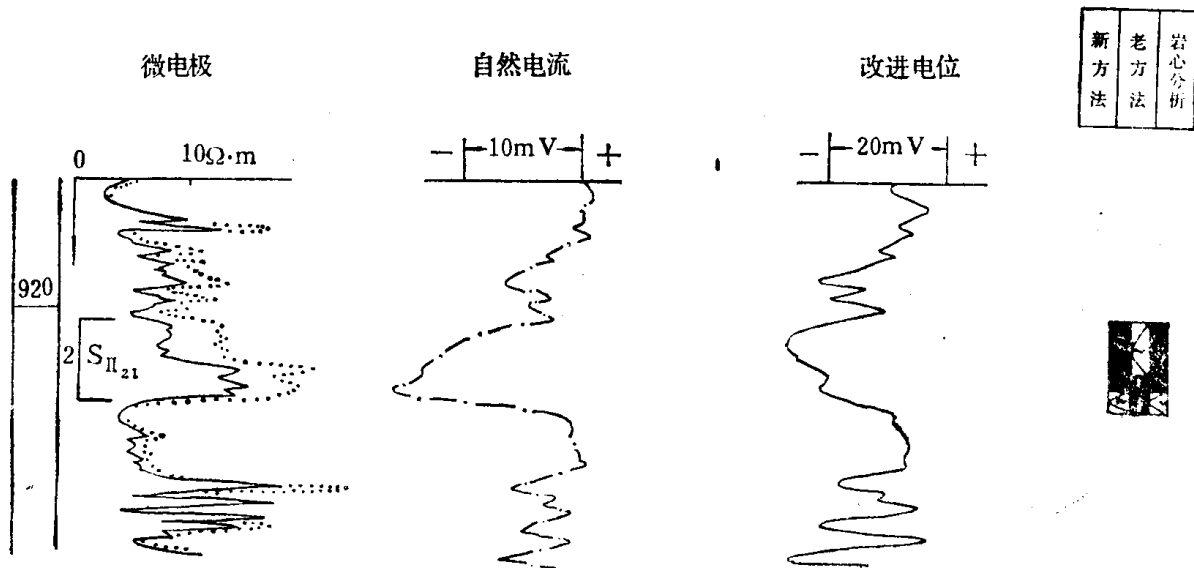


图 2  $I_{SP}$ 与SP判断水淹层典型示例



3) 自然电位SP幅度下降, 大庆长垣原始地层水矿化度为7000~8000ppm, 弱水淹时降至5000~7000ppm, 中水淹时降至5000~3000ppm, 强水淹时, 可降至2000~3000ppm。因SP值与矿化度C有关, 所以C下降, SP幅度也下降, 强水淹时反映明显(图2)。

4) 自然电流 $j_{sP}$ 幅度增大。因水淹层内自由离子增多<sup>①</sup>, 使井下自然电动势内阻r减小, 因此在水淹部位 $j_{sP}$ 与SP有明显的反差异, 对薄层水淹层判断很有利(图2)。

5) SP的泥岩基线偏移。由于C的下降, 可在油层—水淹层及水淹层—泥岩层界面上造成地层水矿化度差异, 从而有浓差电位 $\Delta SP$ 的出现, 使SP的泥岩基线偏移(图3)。

图3中 $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ 分别表示泥浆水, 原始地层水和水淹层中水的矿化度。

6) 侵入带电阻率 $R_x$ 相对值增大。因泥浆压力影响, 可在砂岩层段造成侵入带。因 $C_0$ 值低, 于是在水淹层段 $R_x \geq R_i$ ; 在油层段 $R_x \ll R_i$ 。

上述变化成为目前判断油层水淹的主要依据。

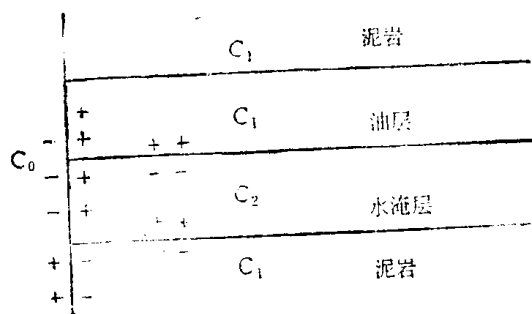


图3  $\Delta SP$ 形成示意图

## 综合解释基础

测井解释是一项多种知识综合运用过程, 它通过测井曲线来透视地层, 因此碰到的问题及解决的方式也比较特殊。通常的测井方法由于受到泥浆、井径、侵入带直径、地层厚度以及围岩等多种因素的影响, 给综合解释造成困难, 薄层解释就更加困难了(图4)。

环境对于薄层的影响要比厚层更为突出, 但常规的环境校正方法不适合薄层, 须要寻找新的方法。为此采取了如下三项措施:

### 测井曲线的标准化处理

测井信息存在着多种干扰, 各种干扰的影响程度也不相同。除去前面所述的干扰外, 还有仪器间的误差, 例如两只井下仪器在同一环境中进行测量, 其最大误差可达到50%以上。地面测量仪器间的测量误差亦有类似情况。标准化处理的目的是并不是谋求消除这些干扰, 而是希望把每口井所受的干扰能处理到互相近似的程度。并从中找出岩电关系上的共同规律。大庆长垣延伸广泛, 但其沉积条件及岩性差别不大。因此这种标准化处理是合理及可行的。所谓的标准化处理是指以密闭取心井为依据, 通过标准井的选择, 形成以标准井为中心的评价体系。

设标准井某曲线值为 $x_i$ , 与标准井相对应的被处理井的曲线值为 $y_i$ , 平均值分别为 $\bar{x}_i$ 和 $\bar{y}_i$ 。令 $\bar{x}_i/\bar{y}_i = \sigma_i$ , 取 $Y_i = \sigma_i \cdot y_i$ , 则 $Y_i$ 就是曲线 $y_i$ 处理之后的结果。其余点以此类推直至全部曲线处理完毕。

### 曲线的比值处理

用分子与分母间的约分关系来消除环境影响, 从而达到校正的目的。近年来, “成对”

①刘宝生、王德贵: “自然电流与改进自然电位测井方法研究”, 《大庆油田开发报告集》1983年。

新	方	法	
老	方	法	
产	液	量	方/日
含	水	陆	%
氯	离	子	ppm

萨南8-J<sub>3</sub>-328井

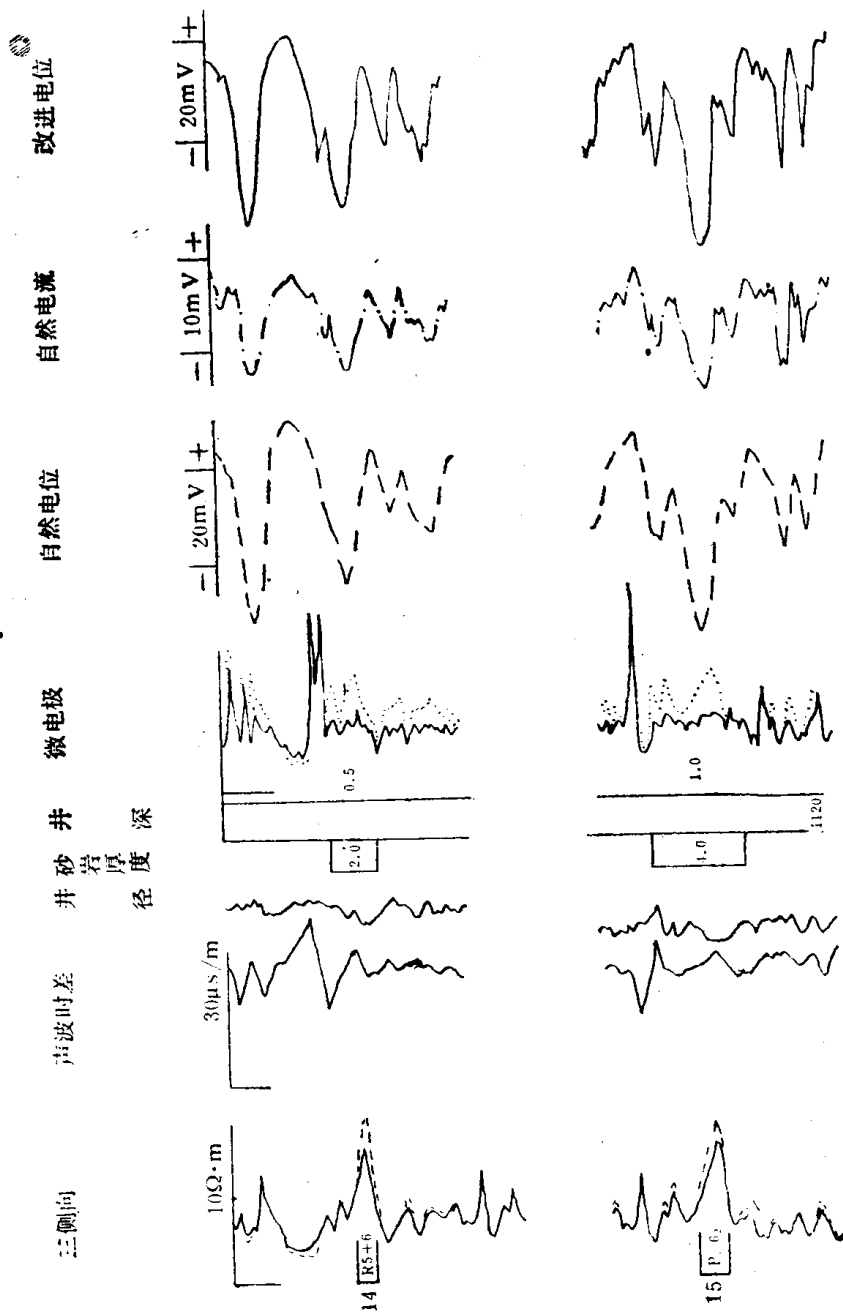


图 4 薄层典型图例

测井方法使用较多。在资料处理时，也十分重视曲线间的相对变化，并从中获得了很大益处。所说的“成对”测井，是指微电极，短梯度，三侧向—双侧向，自然电流和自然电位等测井方法。这些测井方法不仅仪器的几何形状大同小异，而且测速、时间差以及测量时的井身条件基本相同，因而环境影响也基本相同。所不同的只是各自的探测深度及所代表的物理意义不同。当两种测井曲线进行比值时，就可以实现利用约分来消除环境影响的目的。当然只有“成对”测井方法才能有意义。在六十年代初，王庚阳同志曾采用短梯度比值进行渗透率计算，其效果较好。目前已发展为多种曲线的比值和多种方法的计算。如通过SP与 $j_{SP}$ 的比值进行水淹层判断和井下自然电动势内阻 $r$ 的计算，用多种比值组合计算渗透率等，均见到了良好的地质效果。

### 限值处理

在寻找曲线与地层的对应关系时，前面已证明，在某些范围内曲线的波动与岩性有很好的对应关系，例如， $45\Omega\cdot m \leq R_{LL3}^d \leq 55\Omega\cdot m$ 时，空气渗透率可达2000~3500mD左右；但实际上测井值可达到 $150\Omega\cdot m$ ，而渗透率并不再增大。类似情况较多，如果在计算中不加任何限值，便不会得到好的计算结果。当然，合理的限值来源于众多的岩电资料的分析，以及周密的调查研究，并在实践中不断地加以修正。

## 储集层的综合评价方法

储集层的综合评价是地球物理学、石油地质学与数学地质方法综合运用过程，它体现了上述学科在本地区运用的经验和技术水平。储集层综合评价是油田开发中的重要环节。

目前，本油田评价的范围是对于有效厚度 $H \geq 0.5$ 米以上的储集层。主要评价区域为大庆长垣以内。评价层系是萨尔图、葡萄花和高台子油层组，分别用S、P、G表示。评价内容包括：油层和水淹层的判断；孔隙度( $\phi$ )、渗透率(K)、含水饱和度( $S_w$ )、束缚水饱和度( $S_{wi}$ )等地质参数的计算。评价方法为：采用逻辑推理法用以判断油层和水淹层；采用数学地质法进行地质参数的计算；用 $S_w - S_{wi}$ 的差值确定水淹等级。

在储集层综合评价工作中，把油田多年以来的测井解释经验进行了全面而系统的总结，从众多的测井信息中筛选出了 $\Delta SP$ 、 $\Delta j_{SP}$ 、 $r$ 、 $R_{LL3}^d$ 、 $\Delta t$ 等信息作为逻辑推理参数，并确立了逻辑关系（图5）。

图5中的 $\Delta SP$ 表示自然电位（SP）存在泥岩基线偏移， $\Delta j_{SP}$ 表示 $j_{SP}$ 与SP存在着如图2所示的形态差异。 $r$ 表示井下自然电动势内阻。

$r$ 值可通过解如下联立方程获得：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{SSP}{r+r_t+r_m} \cdot r_m = ASP + B \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{SSP}{r+r_t+r_0'} \cdot r_0' = aj_{SP} + b \end{array} \right. \quad (2)$$

$$r = \frac{r_0'(ASP+B)(r_t+r_m) - r_m(aj_{SP}+b)(r_t+r_0')}{r_m(aj_{SP}+b) - r_0'(ASP+B)} \quad (3)$$

式中  $r_m$ ——泥浆柱上的阻抗值；

$r_0'$ ——表示测 $j_{SP}$ 时的标准电阻等效值；

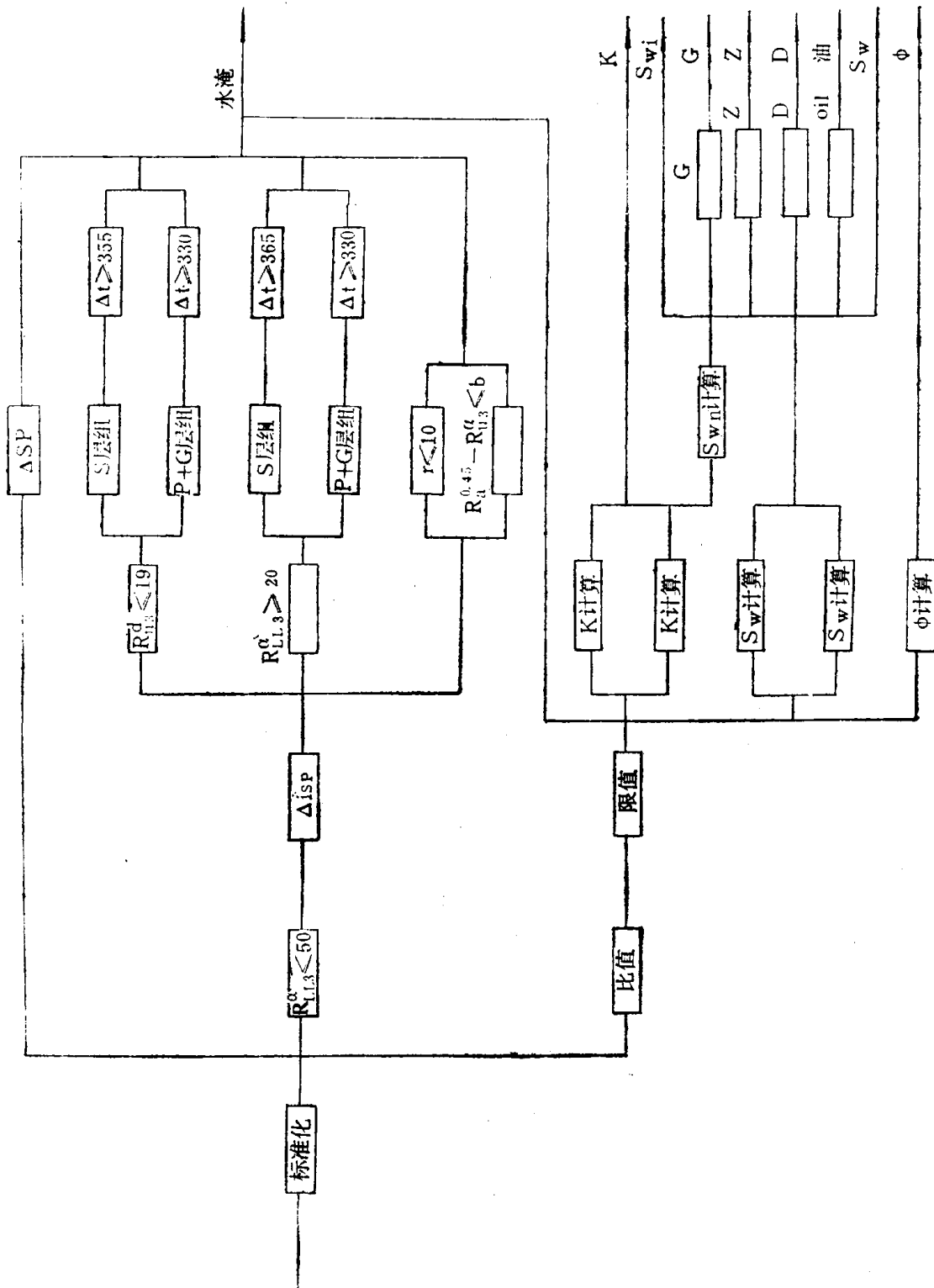


图 5 薄层解释方法运行框图

$r_i$ ——地层等效电阻；

A、B、a、b——系数。

泥浆柱上的阻抗值 $r_m$ 用下式计算：

$$r_m = \frac{4R_m H_1 H_2}{\pi(D^2 - d^2)(H_1 + H_2)} \quad (4)$$

式中 D、d——分别表示井径和电极外径；

$H_1$ 、 $H_2$ ——分别表示由测量点到上、下围岩的距离。

标准电阻等效值 $r_0'$ 用下式计算：

$$r_0' = \frac{4R_m r_0 H_1 H_2}{4R_m H_1 H_2 + \pi r_0 (D^2 - d^2)(H_1 + H_2)} \quad (5)$$

式中  $r_0$ ——标准阻抗。

## 参 数 计 算

### 1. 有效渗透率计算

$$\text{油层 } K = \begin{cases} 10^x, & \text{当 } H < 4\text{m时, } H \text{层厚。} \\ a, 10^x, & (a = 2), H \geq 4\text{m时。} \end{cases}$$

$$\text{水淹层 } K = \begin{cases} b \times 10^x (b = 1.2), & \text{当 } H < 4\text{m时。} \\ c \times 10^x, (c = 2.4), & \text{当 } H \geq 4\text{m时。} \end{cases}$$

$$x = 0.909 + 0.095 \left( \frac{R_{LL3}^d}{R_{LL3}^s} \right)^2 - 0.225 \left( \frac{1}{\Delta t^1} \right) + 0.257A \quad (6)$$

$$A = \frac{R_s^{0.45}}{R_s^{0.25}} - \frac{R_{LL3}^d}{R_{LL3}^s} + \Delta t^1 + \frac{2j_{SP}}{SP} \quad (7)$$

式中,  $R_s^{0.45}$ 、 $R_s^{0.25}$ 分别是0.25米和0.45米底部梯度电极系视电阻率。

$$\text{在 S层组: } \Delta t' = \frac{\Delta t - 300}{50}$$

$$\text{在 P和G层组: } \Delta t' = \frac{\Delta t - 270}{50}$$

### 2. 目前含水饱和度的计算

油层

$$S'_{\nu} = 27.78 - 0.46R'_{LL3} + 0.37j_{SP} - 0.1345SP \quad (8)$$

水淹层

$$S^2_{\nu} = a \cdot S'_{\nu} (a = 2)。$$

### 3. 有效孔隙度的计算

$$\phi = 6.28 + 0.0648\Delta t \quad (9)$$

### 4. 束缚水饱和度的计算

$$S_{w1} = a + \frac{b}{\lg K} \quad (0 \leq a \leq 3 \quad 45 \leq b \leq 55) \quad (10)$$

### 5. 水淹等级划分

水淹等级分为三级, 用G、Z、D表示:

G级水淹:  $41\% \leq S_w - S_{wi} \leq 100\%$

Z级水淹:  $31\% \leq S_w - S_{wi} \leq 40\%$

D级水淹:  $6\% \leq S_w - S_{wi} \leq 30\%$

## 地质效果分析

大庆油田的薄层水淹层解释技术是于1983年在萨南4~8区开始使用,然后扩展到整个长垣上,并在推广和使用过程中得到了逐步的完善和提高。通过实际资料分析与验证,证明该方法的地质效果明显。

### 符合率分析

薄层解释方法是以4口密闭取心井和4口试油井共计144层为基础资料进行定型的。通过对这些资料的分析,该方法的符合率及精度如下:

- 1) 油层和水淹层划分。在144层中符合139层,符合率达到96.5%。
- 2) 水淹等级划分。在144层中符合122层,符合率为84.7%。
- 3) K、 $S_w$ 、 $\phi$ 计算。计算精度如表1~3所示。

表 1 K的计算误差分析

平均相对误差	单 相 关 系 数			复相关系数	F值
	d S <sub>2</sub> (R <sub>LL3</sub> )	1/Δt	A <sub>1</sub>		
± 46.1%	0.556	0.1	0.702	0.762	4.2

表 2 S<sub>w</sub>的计算误差分析

绝对平均误差	相对平均误差	单 相 关 系 数			复相关系数	F值
		R <sub>LL3</sub>	I <sub>SP</sub>	SP		
+ 3.32%	± 15%	0.629	0.756	0.627	0.832	2.79

表 3 φ的计算误差分析

绝对平均误差	相对平均误差	单 相 关 系 数	复相关系数	F值
		Δt		
± 0.87%	± 3.0%	0.765	0.765	71.94

该项解释技术在油田应用以来,其效果是好的,但根据用户所提供的实际投产使用效果证明,该方法在解释上尚有失误。例如每口井中约有两个低含水层被误射孔,同时也曾出现过两个1米以下的差油层被漏射孔的现象。本地区每口井要解释的层约为25~30个,因此生产中的实际符合率大约是84~87%。

众所周知,科技成果指标往往高于生产中达到的实际指标。其原因是,对资料井的分析是在已知结论的条件下进行的,并经过了反复的推敲,这与生产中的解释条件差别较大。此外,由于资料井数量有限,会存在着一定的局限性和统计误差,因此图版精度与生

产实际会有所区别。大庆油田目前存在的误差距为10%左右。因此在生产中实际的使用指标是：油层和水淹层划分，符合率为85%左右，水淹层等级划分，符合率为75%。

### 新老解释方法的对比分析

1) 试油对比情况。根据4口井41个单层的资料分析，老方法解释符合率为70.5%，新方法解释符合率为85%。分别将新老解释方法所解释的油层及产油量进行单井产量核算，老解释方法日产油量17.2t，日产水量7.33t，含水31%；新解释方法日产油28.86t，产水1.62t，含水5.3%。平均日增产油11.66t，少产水6.11t。上述结果除解释方法不同之外，其它条件完全相同，故可以说明解释技术水平的高低。

2) 新开调整井产量情况对比。根据大庆萨南4~8区的实际资料统计，老的解释方法平均单井日产油15.54t，产水9.5t，含水37.9%；新的解释方法平均单井日产油27.5t，产水3.44t，含水11.1%。单井平均日增产油11.96t，少产水6.06t。而原设计产能其单井平均日产油为20t，含水低于30%，说明新方法达到了设计指标。大庆杏树岗北部地区新方法平均单井日产油16.6t，产水2.7t，含水14%。该区原设计产能日产油10t，含水低于30%。新老解释方法的对比分析结果如表4所示。

表4 新老解释方法对比表

	井口数	单井平均情况				符合率%	
		产液 t/d	产油 吨/日	产水 t/d	含水 %		
老方法	生产井	100	25.04	15.54	9.5	37.9	
		49	18.9	14.15	4.8	25.3	
	试油井	4	24.93	17.2	7.73	31	71
新方法	生产井	55	30.98	27.5	3.44	11.1	
		52	19.3	16.6	2.7	14	
	试油井	4	30.48	28.86	1.62	5.3	85

到目前为止，大庆油田在水淹层解释技术方面共取得两项重要结果，即厚层解释技术和薄层解释技术。其解释符合率在85%左右。

## 结 束 语

大庆油田已稳产了十年，今后还要继续稳产十年。但是，油田经过多年的注水开发，已处于高含水期开发阶段。调整井、更新井和注水井纵横交错，并且距离越来越近。由于注水压力、注水时间及岩性差异等原因，给常规的动态分析带来极大困难。因此，测井解释将处于越来越重要的位置，所要求解释的精度也越来越高。为此，测井及解释技术需要进行更大规模的变革。

在注水井附近找油，向薄层要油是水淹层解释的一项长期的和十分艰巨的任务，也是油田能否稳产的关键一环。无疑，测井解释将在油田的开发建设中，发挥越来越大的作用。

\* \* \*

本课题在研究过程中，曾得到大庆石油管理局唐曾雄、牛超群、陈永生、李振芳、李明刚等同志的热情帮助、并在公司领导耿秀文同志领导下完成的，在学术方面给予很大帮助的还有李胜贵、刘义修、唐永福等同志及石油部勘探开发科学研究院院，大庆石油学院等单位领导，老师和同行。

本专题是常明彻，王德贵等同志工作基础上的继续和发展。

曾参加本项工作的同志还有任贵荣、吴秀珍、徐连珍等，文字整理唐永福，技术审核牛超群。在此一并表示感谢。



## 二、碳氧比次生伽马能谱测井及其 在辽河盆地的应用

常 熹

(辽河石油勘探局)

**摘要** 在注水开发区的调整井内,为了达到在下套管后能进一步评价储集层的含流体性质,以及确定储集层剩余油饱和度,判断水淹程度等目的,近年来,辽河油田采用了CLS系统的碳氧比(C/O)测井仪和CSU系统的次生伽马能谱测井仪(GST)。本文对这些仪器的方法原理,设计思想,测量技术,模拟试验等及资料解释内容进行分析,并列实例说明其应用效果。

### 引 言

从50年代开始,在测井技术发展,加快了核物理测井方法的研究。随着中子源的制造和核射线探测技术的不断发展,促进了核测井技术水平的提高。碳氧比测井作为测井的重要方法之一,经过了方法原理、测量技术、样机研制、模拟试验、刻度方法、现场试验、解释方法和计算机处理程序的研究,直到70年代才小量的投入生产。以后又经过多次改进和提高,在80年代扩大了使用范围。目前在西方国家提供商业服务的有美国德莱赛-阿特拉斯公司和斯伦贝谢公司的次生伽马能谱测井仪。根据有关资料介绍,该仪器在美国老油田的使用中已具有商业性价值;在苏联几个大油田的注水开发区内亦有较多应用,并取得了良好的效果<sup>[1, 2]</sup>。在国内大庆油田已开始生产应用<sup>①</sup>。

辽河盆地已开发的油气田中,已有部分油田进入中后期开发,采出程度达27%以上,因而采取注水开发的综合措施是保持油田稳产的关键。在补打调整井时,非常需要确定储集层的剩余油饱和度,判断油层的水淹程度,从多层的大段采油井中找未被动用的油层。同时,有的油田,由于纵向剖面是多套气、油、水层的复杂组合,在投入开发后,需要划分纯气层和高含气的油层。但因在完井过程中受到泥浆侵入的严重污染,给气层的划分带来一定的困难。为此,采用了CLS测井系统的碳氧比测井仪和CSU测井系统的次生伽马能谱测井仪。

### 方法原理简述

碳氧比及次生伽马能谱测井是以 $(n, n' \gamma)$ 核反应为基础的。即物质中的元素受到中子撞击和激发后,有些元素产生较“敏感”的次生伽马反应。通过测量被激发元素的次生伽马能谱,达到解决测井任务的目的。

① 杨荫祖等编写的“大庆油田碳氧比(C/O)能谱测井确定剩余油饱和度”一文。