

中国石油勘探与生产 工程技术座谈会报告集

2003

测 井

石油工业出版社

中国石油勘探与生产 工程技术座谈会报告集 (2003)

测 井

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国石油勘探与生产工程技术座谈会报告集(2003):测井/
中国石油天然气集团公司,中国石油天然气股份有限公司编.
北京:石油工业出版社,2004.5
ISBN 7-5021-4553-2

I. 中…

II. ①中… ②中…

III. ①石油工程-学术会议-文集

②油气测井-学术会议-文集

IV. TE-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 126902 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:21

字数:530 千字 印数:1—1500 册

定价:70.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油勘探与生产工程技术座谈会报告集》(2003)

编 委 会

主 任:刘宝和

副主任:刘振武 胡文瑞

委 员:(按姓氏笔画为序)

冉新权 孙 宁 孙为群 刘圣志 刘希俭 吴 奇
吴国干 张 镇 赵政璋

编 审 组

组 长:冉新权

副组长:刘德来 赵 明 韩 红

成 员:(按姓氏笔画为序)

物 探:王喜双 李建军 赵邦六 阎世信 曾 忠
测 井:刘国强 李国欣 陆大卫 金 鼎 欧阳健 周灿灿
赵培华 姜文达
钻 井:毛蕴才 刘玉石 陈 光 陈祖锡 汪海阁 余金海
林 建 杨光胜 郑新权 胡世杰 唐雪平
采油(气):弓 麟 王连刚 闫熙照 张仲宏 张绍礼 杨能宇
魏顶民
地面工程:王怀孝 李 丰 李建民 汤 林 苏春梅 张可刚
张效羽 孟宪杰

编 辑 组

组 长:闫熙照

副组长:李 丰 王宇芬

成 员:(按姓氏笔画为序)

方代煊 付 红 郑吉妹 赵冬梅 高 迎 鲁海汝

序

中国石油天然气集团有限公司在 2003 年工作会上,提出了建设具有国际竞争力的跨国企业集团的奋斗目标,明确了集团公司及股份公司“十五”后三年的主要工作任务。近年来,我们坚持“油气并举”,发展主营业务,加大先进适用勘探开发工程技术的应用力度,不断有新的突破,油气勘探开发形势良好。专业化工程技术服务队伍持续重组,提高了服务质量,增强了市场竞争力。针对各种复杂的勘探对象和各种复杂油气藏,依托重点项目,组织了一系列勘探与生产工程技术攻关,初步形成了油气勘探开发配套工程技术,在开辟油气勘探领域、保障地质目标实现、提高勘探开发效益等方面,发挥了十分重要的作用。与油气勘探开发地质和油气藏开采技术进步同步发展的是,工程技术进步正在日益为实现集团公司建设具有国际竞争力的跨国企业集团做出新的贡献。

虽然工程技术进步对油气勘探开发做出了重大贡献,但还应该清醒地看到,随着勘探程度的逐步提高和重点勘探区域向西转移以及油气藏类型日趋复杂,工程技术面临着许多挑战,要克服技术瓶颈,满足油气勘探开发在新形势下的需要,任务还相当艰巨。我们还需要解放思想,提高认识,团结协作,共同推动油气勘探开发配套的工程技术进步。

2003 年 7 月 8 日到 11 日,中国石油勘探与生产工程技术座谈会在北京召开。这次会议是中国石油天然气集团公司重组以来,召开的级别最高、规模最大、涉及工程技术专业最全的一次工程技术研讨盛会。

在这次会议上,各单位以文字、图片、实物展览等多种形式,充分展示了近年来在勘探开发工程技术方面所取得的丰硕成果。这些成果,涉及各个专业领域,内容丰富,各具特色,有些在国内领先,有些具有国际先进水平。各单位交流的成功经验和做法,实用性和针对性强,特别是油公司与技术服务公司携手合作,共同推进工程技术进步方面的一些典型经验,很有参考和借鉴意义。

为了更好地推广应用这次会议总结出来的成熟主导技术,推动工程技术进步,会议组织者对这次工程技术会议上介绍的研究成果、生产技术和管理经验等方面的报告精选精编,汇集出版这套《中国石油勘探与生产工程技术座谈会报告集》(2003),按专业分为物探、钻井、测井、采油(气)和地面工程五个分册,以便于各级管理人员、工程技术人员和现场操作人员在总结和交流勘探开发工程技术攻关成果和经验的基础上,分析和了解勘探开发工程技术的应用现状、存在问题和未来几年勘探开发对工程技术的需求;了解各专业技术服务公司工程技术能力与水平和发展方向;了解和分析国际、国内勘探开发工程技术与发展趋势,进而根据需求分析与预测,研讨下一步勘探与生产工程技术发展方向以及分工与合作。希望本报告集的出版,能进一步促进中国石油勘探开发与工程技术领域之间的相互了解和协作,共同推进新技术的应用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '吴震' (Wu Zhen), written in a cursive style.

2004 年 1 月

目 录

测井技术在勘探开发中大有作为.....	李国欣 刘国强 赵培华(1)
油气田测井工程技术现状与发展	李剑浩(59)
准噶尔盆地油气勘探测井技术难点、现状与技术需求	匡立春 罗兴平 李小钊(89)
发展先进适用的测井成套技术与装备 为油气勘探开发服务	王敬农(112)
塔里木盆地油气层识别与油气藏评价技术难点及需求方向	肖承文 李进福 张 莉 赵 军 陈新林(132)
新疆油田测井工程新技术及进展	何亿成 黄思赵 孙德杰 李桂秋(152)
渤海湾盆地油气层识别与储层评价技术研究进展及需求分析	周灿灿 周凤鸣 司兆伟 程相志 胡英杰 周明顺 李俊国(167)
四川油气田气藏测井工程新技术及进展	姚声贤 齐宝权 任兴国 陈 峰(200)
强化测井管理 提高应用水平 为油田可持续发展提供有力保障	吴世旗 孙晓军 邓 刚(212)
提升科技创新能力 发展生产测井技术 为我国油田开发提供技术支持	谢荣华 王金钟 聂锐利 刘学锋(241)
发展测井技术 满足油田开发需要.....	石德勤 荆万学(282)
以测井资料评价为中心 大力培养特色技术 为油田勘探开发可持续发展提供优质服务	尹庆文 柴细元 韩 成 张学成 丁娱娇(294)
地质导向钻井技术及其在我国的研究进展	苏义脑 盛利民 窦修荣 邓 乐 李 林 王家进(306)
国外测井新技术及发展趋势.....	杨 虹 朱桂清(317)

测井技术在勘探开发中大有作为

——中国石油天然气股份有限公司测井技术进展与挑战

李国欣 刘国强 赵培华

(中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司)

一、引言

测井是地质家的“眼睛”，测井技术是准确发现油气层和精细描述油气藏必不可少的手段，为油气储量参数计算、产能评估及开发方案制定与调整提供重要的科学依据。

近年来，低幅度小断块、低孔低渗、复杂岩性/储集空间和高含水等类型的复杂油气藏已成为主要勘探开发对象的特点，勘探与生产分公司统筹规划、认真组织，以科研课题为纽带、以重点井评价为依托进行了技术攻关与适用技术的引进，测井技术应用取得较大进展。以低电阻油气层、低孔低渗油气层和高含水期水淹层识别与评价为重点的评价技术以及以成像、核磁共振测井为代表的先进适用性采集技术为增储上产做出了重要贡献，基本适应了中国石油勘探开发的形势。概述如下：

(1)低电阻油气层识别与评价成效显著，为油气层的快速识别与评价及增储上产做出了重要贡献。

渤海湾盆地各油田低电阻油层测井评价完成了大量的有效工作(40个目标区块)，基本清楚了低电阻油层的成因，深化认识了该盆地低电阻油藏的特征，形成了一些有针对性、效果较好的评价方法，从而发现了一大批新油层。准噶尔盆地测井新技术的应用，快速发现与评价了腹部白垩系的低电阻油层，为陆梁油田的发现与评价发挥了关键作用。

(2)低孔低渗油气层识别与评价进展明显。

针对鄂尔多斯、松辽、准噶尔和塔里木等盆地普遍存在的低孔低渗储层，开展了大量的岩石物理研究与测井特征分析，研究了低孔低渗储层成因，初步建立了适应的测井解释评价模型，探索了低孔低渗储层孔隙结构研究方法、饱和度参数确定方法和产能级别评估方法，提高了试油获得率。

(3)复杂岩性/储集空间油气层评价测井新技术作用突出。

测井识别与评价复杂岩性/储集空间油气层主要依赖于新技术。近几年来，测井新技术在塔里木盆地、四川盆地、酒泉盆地和渤海湾盆地深层等目标评价中发挥了关键作用，取得了较好的地质效果。尤其是声、电成像测井已成为碳酸盐岩、火成岩等以裂缝、孔洞为主的复杂储集空间评价的有力手段，化学元素俘获测井等技术的应用提高了识别岩性类型及计算岩性组分的能力。

(4)高含水期水淹层识别与评价进步较大。

高含水期水淹层测井识别与评价的进步表现在水驱油藏测井响应机理研究取得进展、水淹层测井系列更趋优化及水淹层测井资料在油田开发中作用增强等方面。通过多年研究,基本清楚了地层电阻率和含水饱和度随注入水电阻率的变化规律,确认了含水饱和度指数与岩石润湿性、油水在孔隙内的分布状态以及地层水电阻率间的关系。

随着中国石油油气勘探开发深度与广度的进一步拓展,测井技术面临的挑战越来越大,因此,测井技术必须围绕勘探开发难点与热点,明确测井油气藏评价的需求,规划相应的技术对策,即立足于目标区的岩石物理研究,大力发展与应用先进适用的新技术,发展一体化多学科相融合的测井油气藏评价配套技术,从而不断提高测井技术解决复杂油气藏勘探生产中疑难问题的能力,形成中国石油测井油气藏评价核心技术。管理上尽快建立和完善管理体系,培养和壮大高水平的评价队伍,加大先进适用及有效的测井新技术的应用力度,强化测井设计与监督的管理。技术与管理这两方面的需求与对策都需要深刻思考、认真解决,不可偏废,只有这样,才能更好地满足勘探开发的需求。

二、迎接挑战,发展中国石油测井油气藏评价的核心技术

随着中国石油天然气股份有限公司(以下简称股份公司)的成立,测井技术如何形成具有油公司特色的技术系列、如何发展以应对油气勘探开发的挑战即是股份公司测井界需要解决的问题。

1. 测井技术的特点

测井是一门地球物理应用学科。它于井眼中利用自然的或人工激发的信息在地层中产生各种地球物理场的响应,通过接收其反馈信息而刻画探测范围内的岩石物理特征和流体性质。

测井技术具有以下几方面的特点:

1)信息量大且面广

测井利用的信息包括声、电、核、磁、光等各种地球物理场的众多信息,尤其是随着成像测井的发展与应用,覆盖面与应用面更广。

2)纵向分辨率高

测井纵向分辨率很高,为分米级。但是其横向分辨率却较小,目前最大探测深度的阵列感应测井也仅为几米左右。当然,随着井间测井技术的发展,测井的横向探测深度将会大大增加。

3)井眼环境影响大

测井资料是在井筒内采集的,必然要受到井眼环境的影响,如钻井液、井壁水泥环、管柱等因素的制约。测井技术在仪器设计、采集设计和处理分析中都尽量设法克服这些制约,如在裸眼井测井,贴井壁测井仪可以在不同程度上剔除井壁不规则的影响,可以一定程度上消除钻井液侵入作用。

2. 股份公司测井面临的挑战

近年来,股份公司的勘探开发对象越来越复杂,测井评价的主要对象发生了很大的改变,表现出许多不适应,面临着前所未有的挑战。

1)测井评价的主要对象

股份公司目前的主要勘探开发对象可以概称为“三低二高一复杂”油气藏,其储量分布见

图 1,而开发区的含水率见图 2。

所谓“三低”即孔隙度低、渗透率低、油藏幅度低。低孔低渗油气藏的特点是孔隙度和渗透率都低,一般孔隙度小于 12%、渗透率小于 $5 \times 10^{-3} \mu m$,研究证明,大多数复杂岩性/储集空间油气藏同时具有孔隙度低和渗透率低的特点,而储层的低孔低渗和/或复杂岩性/储集空间的特点导致孔隙结构将十分复杂,低孔低渗油气

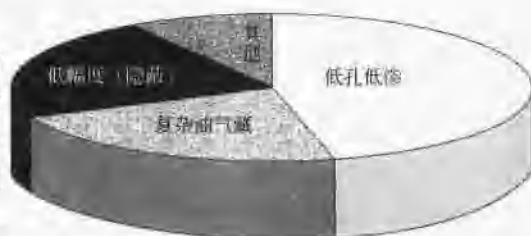


图 1 股份公司近几年各类储量分布示意图

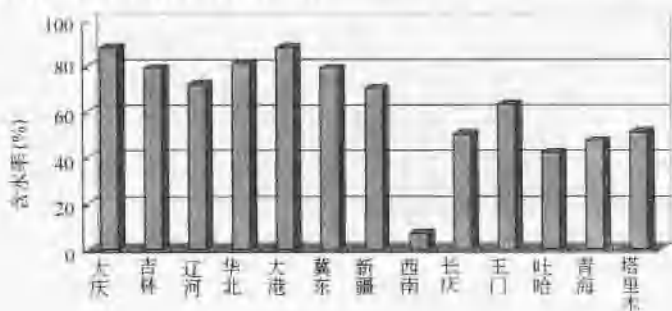


图 2 2002 年各油田开发区含水率分布图

藏的储量已占总储量的 65%。低电阻油(气)藏在各油田均被大量发现,广泛分布,层位主要为白垩系和第三系,其主要特点为油藏幅度低,大多小于 30~50m,加之油水密度差较小,导致油藏的饱和度变低。

所谓“二高”即开发区含水率高、采出程度高。据 2002 年统计,股份公司的主力原油开发区平均含水率为 83%,部分油田的含水率更高达到 88%以上;同时,这些油区的采出程度也已很高,平均为 72%。“二高”的特点使油水关系更加复杂化,导致剩余油分布分散且饱和度低。

所谓“一复杂”即储层岩性/储集空间复杂。复杂岩性/储集空间油气藏主要分布于在东部深层和西部各盆地,其显著特点是岩性种类多样且组分变化大(有砾岩、白云岩、白云质泥岩、泥灰岩和变质岩等等)以及储集空间类型复杂而展布形态多样(有原生粒间、次生粒间、层状溶洞、散布溶洞、高角度裂缝、低角度裂缝和网状裂缝等)。

2) 测井技术的不适应性

从图 3 和图 4 可以看出,上述的“三低二高一复杂”油气藏与中高孔渗饱油气藏有着明显的不同,主要体现在低孔隙度低渗透率、低幅度低含油饱和度,复杂孔隙结构,储层非均质严重,导致测井非线性响应,这些特点使得油(气)层与水层测井响应的差别变小且复杂,而钻井液侵入作用、测井系列不合适和不适用性则进一步缩小这种差别,使油气层识别、孔隙度求准、渗透率估算以及饱和度模型建立及其参数确定变得相当难,油气藏规律更加难以掌握,“眼睛”的视力降低,表现出许多不适应性。因此,必须更新测井采集技术,发展评价技术,克服这些不适应性。

3. 股份公司测井的对策

为了迎接挑战,股份公司测井只有立足岩石物理研究,提高采集水平、创新评价方法,加强队伍建设,才能满足地质目标日益复杂化对测井技术的要求,着重抓好以下六方面的工作:

(1)开展可靠扎实的岩石物理研究;

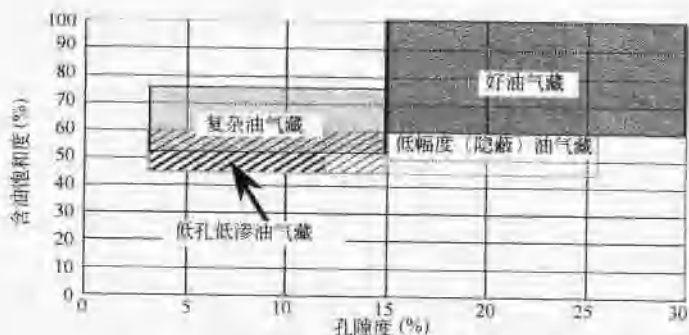


图3 不同油气藏类型的孔隙度—饱和度分布特点

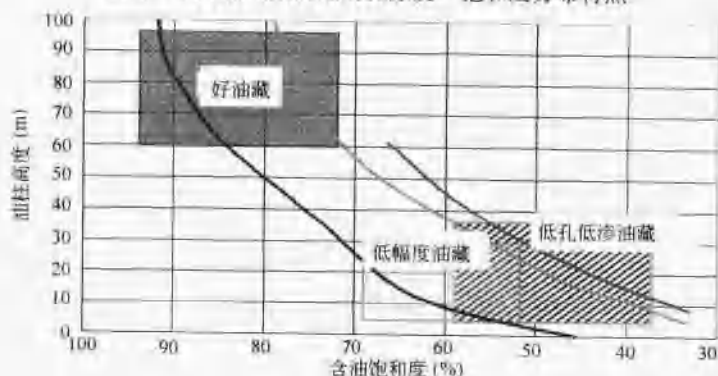


图4 不同油气藏类型的饱和度—油藏幅度分布特点

- (2)探索创新有效的识别评价方法;
- (3)深化先进适用技术评价与推广;
- (4)注重测井老资料的挖潜与研究;
- (5)关注最前沿技术的发展与应用;
- (6)完善严格的设计监督管理制度。

经过测井管理与技术人员近几年的不断摸索,油公司的测井工作是针对勘探开发目标,依托市场取资料,依靠自己搞评价,重点完善与发展以下两个层次的技术。

1)油气层测井精细评价技术

油公司测井的首要任务是识别与评价油气层,其主要内容包括分析孔隙度、渗透率、饱和度和储层有效厚度等储层参数。面对日趋复杂的油气层,要较好地完成这些工作并不像中高孔渗油气层那样容易,因此,应该以岩石物理为基础、岩心刻度测井为手段,建立精细的孔隙度、渗透率和饱和度解释模型,发展油气层识别和精细评价技术。为此,应该抓好以下三个方面的工作:一是推广和深入研究先进适用的成熟技术,提高技术的贡献率;二是关注和积极评价前沿技术的发展与应用前景,保障技术的及时更替;三是注重和深化研究测井老资料的重新认识与应用,挖掘老资料的使用价值。

2)一体化多学科相融合的测井油气藏评价技术

尽管油气层识别与评价是油公司测井的首要任务,但不能停留于此,而应以此为基础,结合油气藏勘探开发的静、动态信息,研究饱和度在油气藏中的分布规律,发展一体化多学科相融合的测井油气藏评价技术,这是油公司测井的核心工作内容。

总之,油公司的测井定位是与服务公司有所区别的,是立足于油气藏研究“油味”很浓的测井技术,它贯穿整个油气藏生命周期的评价手段,从预探阶段的油气层识别到评价阶段的油气藏静态评价、岩石物理研究、储量参数计算进而到油气藏管理阶段的动态监测直至油气藏的枯竭,测井工作在勘探开发整个过程中自始至终起着十分关键的作用,是勘探开发工作不可缺少的重要一环。油公司的测井不是简单对几条曲线的判别,而是头顶油藏模型、脚踏岩石物理对测井资料精细评价的过程。因此,油公司的测井工作应加强多学科结合,更好地为增储上产服务。

三、统筹规划,认真组织,油气层评价技术取得长足进展

为了降低股份公司勘探开发的成本与风险,提高整体效益,围绕勘探开发目标的重点与难点,做到分层次、有步骤地组织测井技术攻关与引进,为此,勘探与生产分公司在股份公司成立后,立即组织制定了股份公司测井技术发展规划,力求经过几年的努力,逐步建立起具有股份公司特色的勘探开发测井油气层识别与油气藏评价的技术体系。

过去三年,股份公司勘探与生产公司的科研、生产课题紧紧围绕所制定的测井技术规划,以求较好地满足油气勘探开发难点与重点中的测井需求,有针对性地设置了一些攻关项目(见表1),即积极开展低电阻、低孔低渗、复杂岩性/储空间和高含水期等复杂油气层的测井评价方法研究。通过这些课题的开展,将各油田与中国石油勘探开发研究院的科研力量有力地组织起来,开展技术攻关,并及时地推广行之有效的经验与方法。可以说,通过统筹规划、认真组织,测井油气层评价技术已取得长足进展,在勘探生产中已发挥出了明显的增储上产、降低成本的效果。

表1 近三年的股份公司勘探与生产分公司的测井评价技术主要课题

课题	年度				参加单位
	2000	2001	2002	2003	
渤海湾低阻油气层识别与评价	☆	☆	☆		辽河、华北、大港、冀东油田
低孔、低渗油气层识别与评价	☆	☆	☆	☆	大庆、新疆、吉林、塔里木、长庆油田, 中国石油勘探开发研究院及廊坊分院
先进适用测井新技术评价	☆	☆			塔里木、新疆、西南油(气)田, 中国石油勘探开发研究院
复杂岩性油气层识别与评价			☆	☆	青海、辽河油田, 中国石油勘探开发研究院廊坊分院
MDT 应用效果评价			☆	☆	新疆、冀东、西南油(气)田, 中国石油勘探开发研究院
西部特低阻油层识别与评价			☆	☆	中国石油勘探开发研究院
硼中子测井水淹层剩余油饱和度评价		☆	☆		华北油田, 中国石油勘探开发研究院

1. 低电阻油气层测井识别与评价成效显著

1) 渤海湾盆地低电阻油层的识别与评价,增储上产作用明显

渤海湾盆地的低电阻油层测井评价项目历经5年,覆盖了辽河、华北、大港和冀东四油田,较深入地评价了辽河油田的雷11块、牛心坨油田、牛居油田、锦3-17-5井区、黄5井区、海

南3井区、锦29井区、马圈子油田、沈84块、高升、于楼、葵花岛和茨32块等13个区块,华北油田的滦南背斜、留西大王庄、晋南地区、文安地区、廊固凹陷、泽70断块、别古庄和柳泉等8个区块,大港油田的板桥油田(板北、板中、板南)、张巨河油田(张东构造)、羊二庄油田、板64、板70-18井区、唐家河、港东、港西、港中、王徐庄和白水头等12个区块,冀东油田的北堡地区、老爷庙地区、高尚堡油田、杜林油田、柳赞油田、唐海地区和马头营地区等7个区块,共计40个区块,基本上涉及了中国石油渤海湾盆地主要的勘探开发区块,完成了大量的工作量。目前,渤海湾盆地低电阻油层识别与评价研究已较圆满地阶段性结束。

通过各参与单位的努力,基本清楚了低电阻油层的成因,提出了有针对性的评价解释方法,深化了渤海湾盆地低幅度小断块油藏的测井认识,发现了一大批具商业价值的油层,增储作用明显。

(1)深入认识了渤海湾盆地低电阻油藏的特征。

大量测井与油藏资料的分析研究表明,渤海湾盆地的低电阻油藏具有以下几点基本特征:

①油藏幅度低,一般介于10~30m;

②油水密度差小,一般介于0.065~0.2g/cm³;

③厚度小,一般在1~5m之间,小于5m的油气层占到83.3%;

④层位分布集中,埋深较浅:大港油田以Nm、Ng、Ed为主,埋深一般在1800~2000m;冀东以Ng为主,埋深一般在1800~2100m;辽河以Es、Ed为主埋深,一般在2000~2300m;华北以Es、Ed为主,埋深一般在2000~2800m;

⑤沉积微相大多为三角洲前缘相,纵向上为水进期的起始阶段和水退期的结束阶段的低能水体。

(2)基本清楚了低电阻油层的成因。

通过大量的岩石物理、油藏特征以及曲线响应特征等方面的分析与研究,清楚了渤海湾盆地低电阻油层的成因,可分为内因和外因两大类型,具体如下:

①内因。

A. 油水重力分异能力差,含油饱和度较低。

由于渤海湾低电阻油藏的幅度低、油气密度差小和单层厚度小,孔隙空间内的双相流体间的液柱驱动油水分异的压力小,难以形成纯油层而大多为含水油层、油水同层或含水层,因此,含油饱和度低。

B. 粘土附加导电能力较强,油层电阻率降低。

图5中的1号、4号和5号层的主要测井值见表2,其中,1号层是好油层,4号层为水层,而5号层日产液37.4t、含水率5.2%。它们的泥质含量基本相同(自然伽马值差异小),同为油层的5号和1号层电阻率值相差大,而5号层较接近于水层4号层,且自然电位幅度最小。5号层的X衍射实验分析表明,粘土类型中蒙脱石含量绝对占优,而蒙脱石的阳离子交换作用最强(表3),其附加导电能力应该较强,从而导致电阻率降低、自然电位幅度变小。5号层是典型粘土附加导电作用产生的低电阻油层。

表2 各层测井值

层号	GR(API)	SSP(mV)	RILD($\Omega \cdot m$)	流体性质
1	5.5	35	10	油层
4	5.0	20	3	水层
5	6.2	10	5	油层

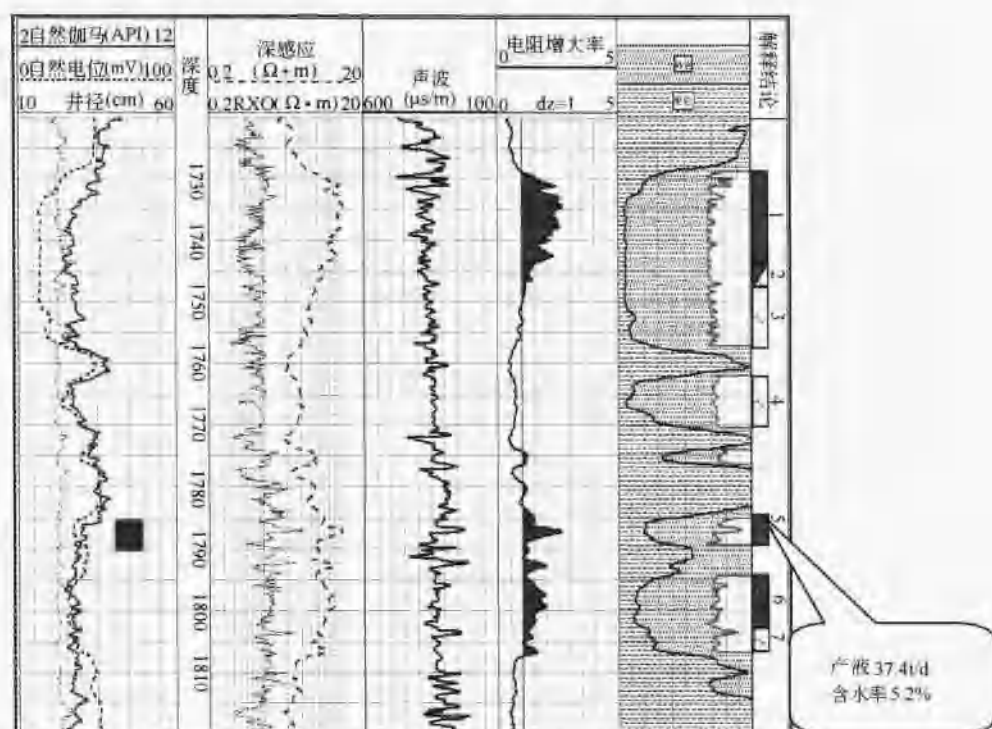


图5 典型的粘土附加导电作用低电阻油层

表3 粘土类型的阳离子交换量(CEC)

粘土类型	蒙脱石	伊利石	高岭石	绿泥石
CEC	80~150	10~40	3~15	10~40

此外,孔隙结构变差,岩电关系复杂,电阻率降低,以及油层地层水为盐水饱和、矿化度高,这些因素均可形成低电阻油层(图6)。

②外因。

A. 钻井液侵入的作用,极大地复杂化了油水关系,导致油层与水层的电性差异小。

B. 电阻率测井系列的不合理性,人为地降低了电阻率指示油层的能力。

(3)形成了一些有针对性、效果较好的评价方法。

通过对四个油田所采用的评价方法进行分类提炼,归纳形成了以下几种有针对性的评价方法:

①纵横向对比识别法。

该方法为将本井与同一断块同层位试油出油的邻井,在岩性、物性、电性、油气显示级别等方面进行横向对比,然后与本井相同层位已试油层(或相邻的水层)进行纵向对比。根据其测井曲线特征与已试油层的相似性,以及与本井相邻水层的差别,结合该层所在层系沉积环境、油藏特征,定性地对油、气、水层综合评价。此方法被大量采用。但是,此方法要求解释人员要充分了解目标区块的地质背景及油气藏特点,明显地为专家经验性方法。

②中子伽马测井重叠识别法。

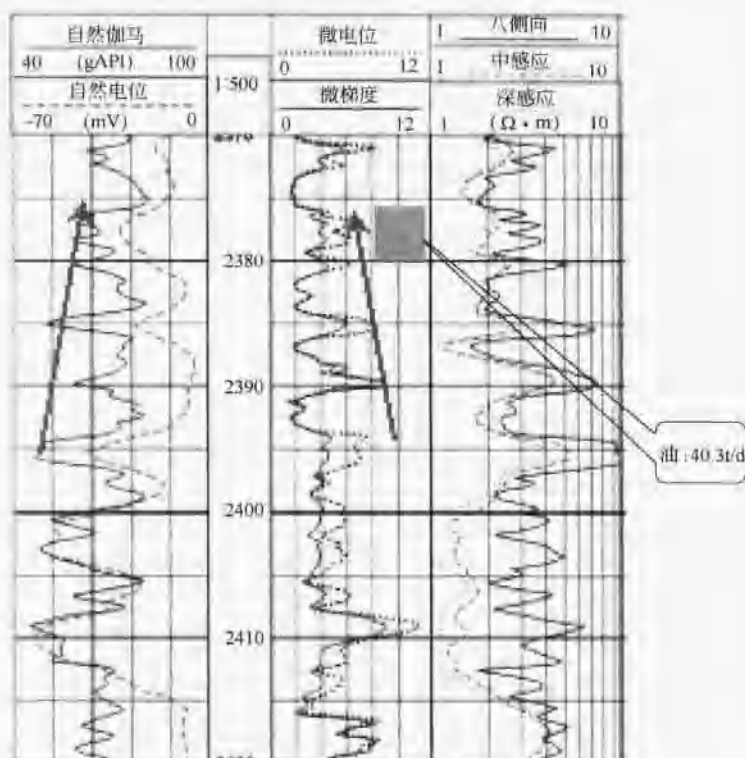


图6 低电阻油层分布于正旋回结束的实例

该方法在华北、辽河两油田的低电阻油气层识别中效果较好,其基本原理为对比时间推移中子伽马测井形成叠合曲线而识别出油气层。如图7为华北油田利用中子伽马重叠识别气层的实例,该井的20号、21号和22号层具有明显重叠特征,测试得油74.88t/d、气 $4.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

但是,图8中28号和29号层对应的两次中子伽马测井重叠特征很弱,它们合试产气 $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、油 $3.6 \text{ m}^3/\text{d}$,可见此方法存在一定的局限性。通过分析,认为该方法的适用条件为:孔隙结构好、气油比较高、气柱高度较大、泥质含量较低的气层。中子伽马时间推移测井识别气层的效果相对较好。

③阳离子交换能力法。

考虑到储层中的粘土附加导电作用,以自然伽马或自然电位估算储层的阳离子交换容量,采用 Wax—Smits 方程或双水模型计算饱和度,如图9。此图中,通过考虑建立自然伽马估算粘土附加导电能力的模型并采用 W—S 方程,其计算饱和度明显较简单应用 Ariche 方程要合理,可以区分出油层、油水同层和水层。

④侵入模拟与校正法。

分别根据双侧向和双感应测井的测量原理,模拟不同钻井液性能在不同储层条件下这两种电阻率测井的侵入特征,从而提取电阻率侵入校正方法。表4为大港油田的侵入作用校正的实例,从中可见:在岩性、孔渗性、浸泡时间和侵入压差均同等条件下,钻井液侵入对油层电阻率的影响最大,水层最小,油水同层介于两者之间。

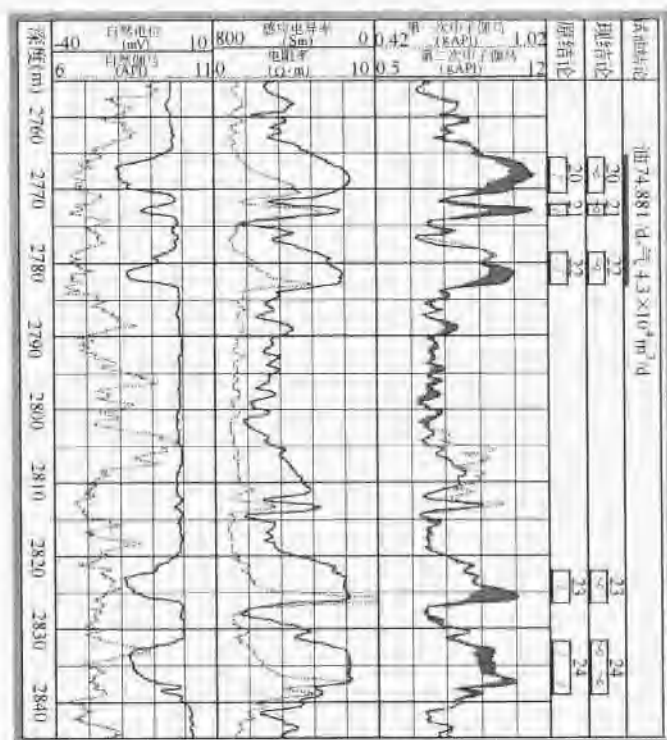


图7 中子伽马重叠法识别气层

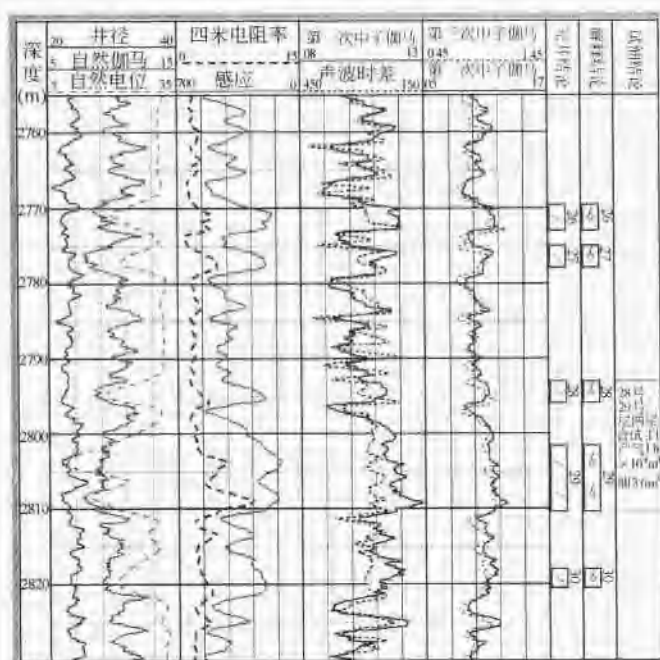


图8 中子伽马识别气层的局限性

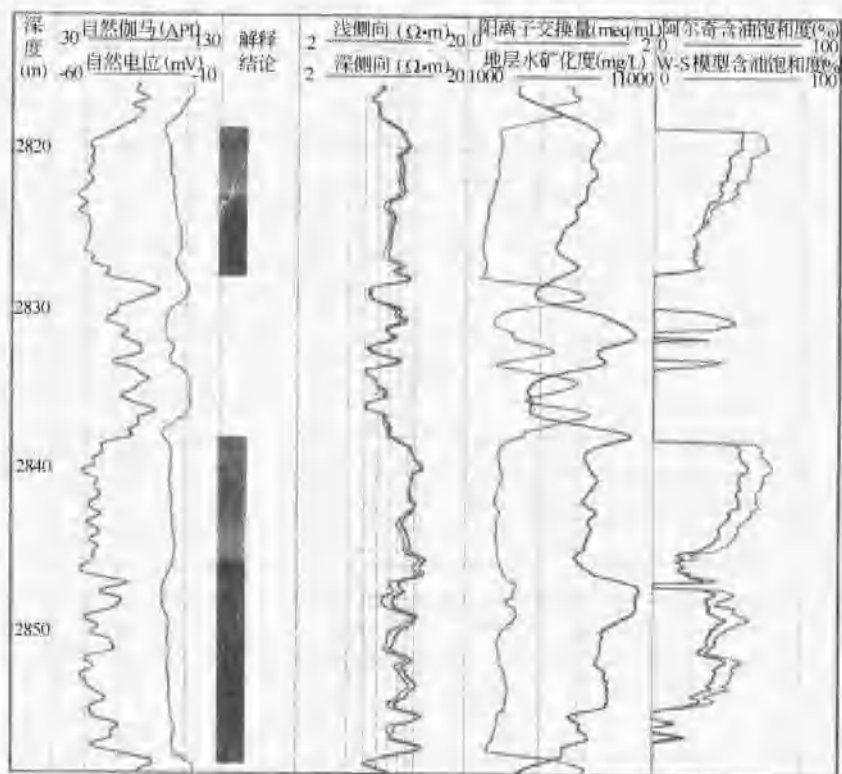


图9 W—S方程计算饱和度

表4 电阻率数值模拟侵入校正表

深度 (m)	层号	井段 (m)	解释结论	校前 R _{ild} (Ω·m)	校后 R _{ild} (Ω·m)	ΔR _{ild} (Ω·m)	T _i (d)	r _i (m)
2963	63	2954.4 ~ 2967.0	油层	10	15.2	5.2	6	1.7
3981	64	2978.4 ~ 2994.4	油水(中)	5.4	7.6	2.2	6	1.4
3019	68	3017.0 ~ 3020.0	油水	5.2	7.6	2.4	7	—
3026	68	3020.0 ~ 3026.5	水层	3.8	4.9	1.1	7	1.18
3140	72	3138.0 ~ 3144.0	油层	5.8	9.0	3.2	7	—
3146	72	3144.0 ~ 3155.0	水层	4.1	5.65	1.55	7	1.85

尽管模拟校正可以一定程度上剔除钻井液侵入的影响,但是,模拟分析用于定量校正计算尚不成熟,因为有许多参数(如渗透率、孔隙度、流体粘度、压力差等等)均难以得知,而且现有的模拟是单点计算的,不能连续处理,实际应用尚存在一些问题,尤其是模拟算法中均采用均匀介质的理论模型。

(4) 新增了相当规模的石油天然气储量。

近五年来,各油田通过对低电阻油(气)层的研究认识,发现了一批低电阻油(气)层,尽管单位区块的新增低电阻油(气)储量不大(一般为几十万吨),但累计储量可观,且不少可以直接