



中国石化 天然气测井与测试技术 论文集

(2006)

李宝同 主编

中国石化出版社

WWW.SINOPEC-PRESS.COM

中国石化天然气测井与 测试技术论文集

(2006)

李宝同 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

电缆测井及其测试技术在天然气的勘探开发中具有重要的作用。本书是在天然气测井与测试技术交流会论文的基础上,经专家多次评比,筛选出的优秀论文。其内容主要涉及声电成像、核磁测井新技术以及常规测井技术在裂缝型碳酸盐岩、火成岩、砾岩、致密砂岩天然气储层评价中的应用,在凝析油气藏、低电阻气藏等复杂流体识别技术中的应用,在天然气储量计算参数选取、产能估算方面的应用,以及在为岩石可钻性研究、井壁稳定性分析、压裂酸化储气层措施改造优选层位等提供准确的岩石力学参数方面的应用。在电缆气层测试及气藏动态监测方面也进行了探讨。本书是国内从事天然气测井及测试技术人员很好的学习资料。

图书在版编目(CIP)数据

中国石化天然气测井与测试技术论文集. 2006/李宝同主编.
—北京:中国石化出版社,2006
ISBN 7-80229-044-9

I. 中… II. 李… III. 油气测井-文集
IV. TE151-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 049810 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopet-press.com>

E-mail: press@sinopet.com.cn

北京金保真文化有限公司排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 390 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

编 委 会

主 编：李宝同

副主编：曾文冲 常文会 运华云 周功才 张 筠
周家驹 邓敦夏

编 委：（以姓氏笔画为序）

邓敦夏 邓葆玲 运华云 李宝同 李广月
李宗田 李孟杰 周功才 周家驹 张 筠
常文会 曾文冲 程天阁 蒋海军

前 言

天然气作为一种洁净、高效的优质能源，得到世界各国的普遍重视，已成为世界三大支柱能源之一，在世界一次能源结构中的比例已占 1/4 左右。在能源日益紧缺的今天，加快天然气工业的发展，更显紧迫。我国天然气工业近几年得到了快速的发展，中石化在天然气的勘探和开发中取得了骄人的业绩。鄂尔多斯大牛地气田的高效开发，普光特大型气田的发现，东北探区火成岩地层天然气的勘探突破，南方碳酸盐岩储层、西部新疆塔里木及准葛尔深层、川西深层致密砂岩气藏所展示的良好的勘探前景，东部产气老区的稳产和深层及复杂岩性储层气层的发现，都说明了天然气勘探开发所取得的成就，并预示着今后加速发展的潜力和趋势。上述成果的取得，勘探开发工程技术的进步起了重要的作用。但是也要看到，面对日益复杂的勘探开发对象和紧迫的加快天然气发展的使命，工程技术还有许多的问题要解决。

电缆测井及其测试技术在天然气的勘探开发中同在石油的勘探开发中一样具有不可替代的重要作用，但在天然气储层的电缆测井、测试工艺及其资料的评价又有其特殊性。本论文集就是在天然气测井与测试技术交流会论文的基础上，经专家多次评选，修改所选的论文。论文的主要内容涉及声电成像、核磁测井新技术以及常规测井技术在裂缝型碳酸盐岩、火成岩、砾岩、致密砂岩天然气储层评价中的应用；又有在凝析油气藏、低电阻气藏等复杂流体识别技术中的应用；还有在天然气储量计算参数选取、产能估算方面的应用；另外还在为岩石可钻性研究、井壁稳定性分析、压裂酸化储气层措施改造优选层位等提供准确的岩石力学参数方面的应用；在电缆气层测试及气藏动态监测方面，也进行了交流和研讨。有对成功实践经验的总结，也有面对技术难题挑战的研讨与技术对策。其宗旨是总结测井技术在天然气勘探开发方面的应用经验，研讨存在的技术难题与应对措施，促进天然气测井技术的进步，为天然气的勘探开发服务。

曾文冲教授级高工、运华云副总工程师、常文会经理、周功才总工、张筠总工、周家驹高工、李宝同教授级高工分别对论文进行了详细的修改和审阅。李广月副处长、李宗田总工、李孟杰高工、蒋海军高工、邓葆玲高工以及各论文单位的技术负责人也参与了对论文的评选和审定。中国石化出版社的邓敦夏主任、程天阁高工为论文的出版提供了文字及出版技术方面的指导。华北测井公司对论文集的出版提供了大力支持。向上述为本论文集出版做出辛勤工作的同志、给予支持的单位以及论文作者表示衷心感谢。

祝中国石化的天然气事业获得更大发展！祝电缆测井及测试技术为天然气的勘探开发作出更大贡献！

编 者

2006 年 7 月 4 日

目 录

胜利油气区中深层天然气测井评价技术及应用	张晋言 李绍霞 谢 云 (1)
丰深 1 凝析气藏储量计算参数研究	王 真 (12)
胜利油田深层试气工艺技术	吴 平 张太斌 王绍光 (20)
测井资料在大牛地气田地震储层预测中的应用	邓葆玲 于文芹 (32)
利用常规测井资料计算气藏横波速度	李敬功 (43)
东濮凹陷深层气测井评价及压裂选层	陈 彬 史振勤 刘志远 (48)
安棚深层系凝析油气藏流体测井评价方法研究	刘正锋 李光军 (56)
泌阳凹陷浅层气层测井评价方法研究	潘正林 (67)
塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层测井评价	张卫峰 樊政军 柳建华 马 勇 盛海波 (74)
塔河油田奥陶系快速地层固井质量评价方法	蔺学昊 张晓明 秦伟强 周红涛 (83)
测井新技术在川西须二段致密碎屑岩储层评价中的应用	葛 祥 苟光辉 (88)
微电阻率扫描成像测井在川西碎屑岩解释中的应用	张 筠 徐炳高 (95)
成像测井识别裂缝与高分辨率地震反演技术应用	徐炳高 张 筠 (101)
川东北地区飞仙关组储层油气识别技术研究	徐炳高 (107)
川西地区新场气田沙溪庙组气藏测井多参数评价方法技术	张 筠 徐炳高 (113)
基于常规测井的碳酸盐岩储层评价	吴见萌 李成萌 (121)
洛带气田遂宁组致密储层产能影响因素分析	葛 祥 王志文 (129)
川西遂宁组致密砂岩储层饱和度参数 m 、 n 浅析	林绍文 (137)
电成像测井在建南地区碳酸盐岩储层评价中的应用	万云强 陈明剑 (142)
建南地区碳酸盐岩测井储层评价	陈 敏 欧阳华 岳文正 (149)
深层天然气地层测试技术	罗 冰 (158)
天然气层测试资料影响因素及分析	吉玉林 (162)
大牛地气田上古生界天然气储层测井识别及评价标准	赵永刚 华新军 周功才 熊才华 (167)
大牛地气田上古生界天然气储层地应力计算模型的建立及应用 效果评价	滑爱军 陈利要 李永杰 (182)
大牛地气田上古生界天然气储层水泥胶结评价技术及效果评价	陈利要 滑爱军 李建伟 (190)

利用测井资料对大牛地气田上古生界天然气储层进行产能预测的

应用效果评价 冉利民 张松阳 黄国骞 (200)

致密砂岩气层的测井评价——以鄂尔多斯盆地大牛地气田下石

盒子组盒3段为例 谭世君 刘绪钢 刘忠群 张健 (208)

鄂尔多斯盆地塔巴庙石炭-二叠系深盆气藏探讨 宁正伟 苏复义 (218)

鄂尔多斯盆地塔巴庙地区二叠系下石盒子组盒1段砂岩成岩相及与储集性能

关系分析 王代国 (223)

大牛地气田上古生界天然气储量计算技术

..... 王向黎 吴春萍 孟军田 王代国 王树华 (230)

核磁共振测井技术在残雪油气田油气藏评价中的应用 赵天沛 盛蔚 (239)

胜利油气区中深层天然气测井评价技术及应用

张晋言 李绍霞 谢 云

(中石化胜利油田测井公司)

摘 要:从胜利油气区天然气勘探开发的历程出发,回顾了天然气测井评价技术的发展,并以近期完成的《孤北地区上古生界气层测井评价方法研究》、《胜利油气区中深层天然气测井资料普查》项目为例,系统地介绍了近两年来在中深层天然气测井评价方面取得的进展和成果。

关键词:中深层 探测技术 评价技术 应用实例

胜利油田经过四十多年的油气勘探,先后在永安镇、胜坨、平方王等 34 个油气田发现了天然气藏(田),在 Nm、Ng、Ed、ES₁、ES₂、ES₃、ES₄、Ek、Mz、O、C-P 和 Art 等 12 个层位钻遇了气层。天然气藏成因与地质情况的复杂性及多样性,给天然气层的测井评价提出了巨大的挑战。

近年来随着油气勘探技术及工艺水平的不断进步,不同成因、构造复杂的隐蔽性油气藏相继被发现,也从过去的重油轻气转到近年来的油气并举、天然气专探。2001~2005 年在济阳坳陷部署了天然气井位 19 口,现已完钻 12 口。特别是 2004 年孤北地区上古生界煤成气勘探取得实质性的突破,孤北古 1 井上古生界气层压裂试气,获得日产 116000m³的高产工业气流;2005 年在民丰地区丰深 1 井沙四段压裂后,8mm(孔板 20)油嘴求产,日产气 118340m³,日产油 81.7t。预示着资源丰富、生储盖有利的胜利油气区中深层天然气勘探具有广阔的前景。

一、天然气测井技术发展回顾

(一)测井找气技术发展历程回顾

胜利油气区自 20 世纪 60 年代开始勘探以来,勘探历经寻找构造油气藏、复式油气藏、隐蔽性油气藏等三个阶段。相应的测井探测技术的发展可分为模拟测井、数字测井、数控测井和成像测井 4 个阶段。天然气测井评价技术也经历了定性评价到定量评价直至拓展到单井精细解释、多井资料综合评价及其他地质应用等阶段。

(二)浅层天然气特点及测井评价技术^[1]

1. 浅层天然气的特点

浅层岩石固结性差,基质孔隙发育,储层物性好,基质电阻率数值低。因此测井信息反映气特征明显,图 1 是浅气层、油层、水层的典型曲线图。储层的特点导致气层在测井信息

张晋言,高级工程师,1986 年毕业于华东石油学院矿场地球物理专业,从事测井评价及地质应用研究工作,地址:山东省东营市北二路 313 号胜利测井公司,邮编:257096,电话:0546-8761540, E-mail: zhangjy@slof.com。

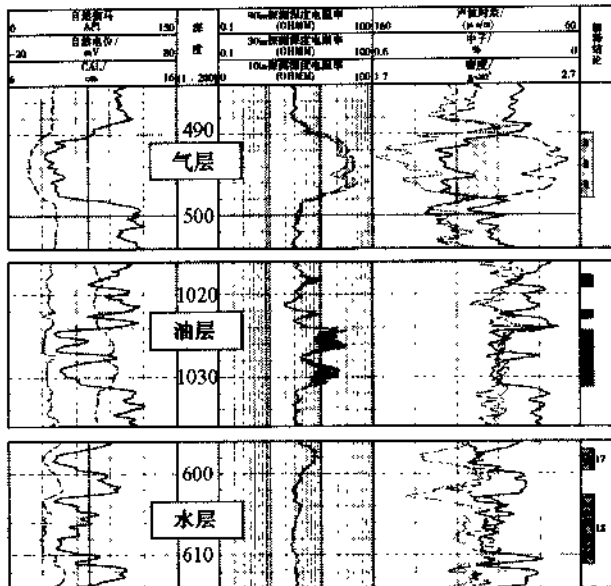


图1 浅气层、油层、水层的典型曲线图

上具有如下特征：声波时差测井数值明显增大，中子测井数值明显减少，密度测井数值明显减小，电阻率数值为高值，深浅电阻率曲线呈明显的减阻侵入特性，含气丰度越高，电阻率数值越大。

对于浅层天然气测井评价，经过解释技术人员多年的总结和研究，形成比较成熟和完善的评价方法，包括天然气储层识别技术、天然气储层定量解释技术及综合分析技术等。

识别技术：主要有视压实系数法、三孔隙度差值及比值法、纵横波速度比、A-K法、流体识别图法、交会图及直方图技术、时间推移测井方法、核磁共振测井等18种识别方法。

定量解释技术：运用于气层较成熟的定量解释方法包括：油气校正法、雷伊麦公式算法、三角形交会法、地区经验方程计算法、库可尔方法、渗透率参数的计算方法等。上述各类方法通过计算机处理运算，提供包括气层孔隙度、渗透率、含气饱和度及泥质含量等各类地质参数，为储层综合评价提供准确的地质参数及可靠的定量判别结果。

综合分析技术：综合分析技术是进行气层最终评价的关键，它可以提高气层的评价精度，是天然气评价不可缺少的重要环节。

综合分析包括两个方面的内容：

一是各种测井资料及其相互关系的综合分析。

二是测井与非测井资料之间的综合分析。

2. 天然气测井解释专家系统^[1]

目前胜利测井公司主要应用“八五”期间自主开发的天然气测井解释专家系统评价浅层天然气井。天然气测井解释专家系统（简称GAS系统）是在原砂泥岩测井解释专家系统的基础上，重新建造知识库、参数库、函数库及完善部分专家系统的外壳，突出天然气测井解释的新方法，强调天然气测井解释的经验总结，编制成天然气测井解释专家系统软件，可有效地对砂岩、碳酸岩盐等储层和煤层气等非常规储层进行测井评价。

该系统可同时对泥岩盖层计算干粘土、湿粘土含量、孔隙度与突破压力等参数，以及对膏盐盖层矿物进行划分，并进行盖层质量分级别评价。系统自动给出20条气层识别曲线、35种静态、动态地质参数，并自动给出评价结论及进行可信度分析，进而综合评价含天然气的地层。

二、中深层天然气特点及测井评价的有效方法

近两年中深层天然气勘探快速发展，给天然气测井评价技术进步带来了新的发展机遇和动力。与此同时，该类气层地质情况的复杂性及多样性，也给测井评价带来了许多困难。主

要来自以下五个方面：①储层岩性复杂，以及储层内流体的多样性，使天然气的物理特征在测井响应上表现微弱。②成岩作用强，储层物性差，储集空间相对复杂，双重孔隙发育，部分掩盖了天然气对测井信息的贡献。③储层内存在明显的非均质性，降低了测井计算储层参数的精度，难以建立具有广泛适用性的测井解释模型。④部分井目的层井壁垮塌，使核磁共振、电阻率及孔隙度等测井信息质量受到影响，不能如实地反映地层的实际情况。⑤天然气的可压缩性大，部分井由于钻井周期长，钻井液密度大，易受泥浆侵入，从而使气层特征不明显。因此，对于中深层天然气，提取和合成的气层特征识别参数应该满足：①提高直观识别气层的分辨率和准确性，减小测量误差的影响；②放大或突出天然气判识信息，减小岩性等因素影响。

“九五”及“十五”的科研成果表明，视压实系数法、双时差法、纵横波速度比等在浅气层识别方面具有明显优势的气层识别方法，不适应中深层天然气的识别。而三孔隙度差值及比值法、交会图及直方图技术、时间推移测井、核磁共振测井等在判断中深层气方面具有明显优势。

对于中深层天然气藏，测井评价的关键在于：一是利用丰富的声、电、核等多种测井信息，根据复杂地层的地质情况和特点，进行深入地储层“四性”关系及气层识别方法研究；二是测井与非测井资料（录井、气测、井壁取心、岩心和测试资料，以及地区性地质特征、地震资料与油气田研究成果等）之间的综合评价。

三、中深层天然气测井评价实例分析

目前，胜利油气区中深层天然气勘探的重点地区主要有孤北上古生界煤成气、民丰地区沙四段砂砾岩体凝析气以及渤南地区沙四段裂解气等。

（一）孤北地区上古生界天然气测井评价

孤北地区目前钻遇上古生界地层的探井有 18 口，其勘探历程可分为两个阶段：第一阶段是 20 世纪 80 年代末期到 90 年代初期，属于钻探下古生界地层兼探上古生界的含油气情况，其中义 155 及渤 93 两口探井分别在上古生界的下石盒子组获得低产气流。由于当时钻探在油气层保护、测井、测试等技术的不适应性，不能有效的解决深层天然气勘探的工程问题，故该区煤成气的勘探未取得成功。第二阶段是“十五”期间，中石化股份公司在西部大牛地天然气勘探的突破，给东部探区提出了加快上古生界煤成气的勘探的要求。自 2003 年以来，胜利油田在济阳坳陷的车西、孤北、林樊家以及孤南等地区部署并完钻了 7 口煤成气专探井，但由于地质和成藏条件的复杂钻探效果不甚理想，除孤北地区的孤北古 1 井在上石盒子组奎山段获得高产工业气流，渤 930 井试气仅获低产气流外，其余的孤北古 2、孤北古 100、林 28、垦古 55 及车古 29 等井均失利。钻探结果表明，煤成气的成藏机制是非常复杂的，制约因素很多。钻探煤成气失利的原因包括气源、储层、构造位置、保存条件等多方面。孤北地区失利的原因主要是储层及构造因素。

1. 气层评价难点

孤北地区气层主要分布在二叠系上石盒子组奎山段及下石盒子组地层中，属于低孔、特低及超低渗透地层，孔隙度一般在 2%~12%，峰值在 6%~8%；渗透率一般在 $(0.01 \sim 2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均 $0.46 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层岩石成岩作用强，岩性复杂、物性差、储集空间的复杂性（原生孔隙及次生孔隙并存）及流体的多样性，使煤成气层的识别存在局限性，制约

了测井资料对气层的评价。

针对地层特点,进行储层“四性”关系及岩石物理实验分析。研究表明,储层岩性的变化对物性、电性及含气性的影响非常明显,岩性对电性的影响尤为突出,超过流体对电性的贡献,不同岩性气层的电阻率数值相差很大。因此,该区块识别气层的关键是利用测井资料解决岩性的识别的问题,根据岩性的变化确定气层的判别标准,通过研究孔隙结构的变化来分析储层的渗流能力。

2. 岩性分析及识别

上古生界为河流相沉积,主要岩性为石英砂岩、长石石英砂岩、含砾砂岩、中砂岩、细砂岩等。岩性不同,储层物性、电性特征差别很大。岩性的变化不仅表现为层间,层内岩石矿物成分的变化也很明显,存在明显的非均质性。对于石英砂岩,石英含量大于80%~90%,岩屑矿物成分也为石英,易形成构造微裂缝,石英含量越高储层物性条件越好。受矿物成分及含气的双重影响,气层的电阻率数值高。而对于长石石英砂岩,岩屑及胶结成分为泥质,由于粘土矿物的影响,易充填次生孔隙,使有效孔隙度减小,气层的电阻率数值因岩性及物性发生变化而降低。

研究证实,测井资料划分岩性,不仅要考虑不同储层间岩性的变化,还应重点研究层内岩性变化对储层电性、物性及含气性的影响。岩性判别是该区测井评价气层的重要基础工作。

长期以来,岩性及沉积环境研究主要是通过大量钻井取心、岩屑录井资料的分析来实现的。由于取心井特别是连续取心井很少,因而很难做到对油田各井的地层剖面及含油气变化进行完整的描述。一般地说,同一沉积环境中某类岩性的地层具有一组特定的测井参数值。利用测井资料获得井剖面地层的岩性组合,依据常规测井、核磁共振、成像等多种测井信息,采用统计分析、聚类分析、判别分析及交会图技术等各类分析方法,绘制测井岩性识别图,进行岩性划分。

以石英中-细砂岩为例,岩心观察其颜色为灰白色。测井响应特征:自然伽马明显低值,数值小于35API;自然伽马能谱测井表现为低钾、低钍的特征;中子数值减小,声波数值变化不大,密度数值也有所减小,密度-中子孔隙度重叠有差异(类似气层的特征); T_2 谱分布呈单峰,数值增大,反映孔隙结构相对单一,分选相对较好;FMI图像表现为高阻亮色(超过砾岩的电阻率数值),深侧向电阻率数值为高值。石英砂岩所表现出的这些特点,很容易影响解释人员对气层的判断,将岩性对电性的影响误判为含气的影响。长石砂岩,岩心观察其颜色为灰红色,测井响应特征:自然伽马数值大于35API;非气层三孔隙度测井重叠无差异; T_2 谱分布呈双峰,反映孔隙结构相对较为复杂;深侧向电阻率数值明显低于石英砂岩电阻率。

3. 气层的定性识别

(1) 常规测井资料识别气层

储层的非均质性导致含气性比较复杂,普遍具有含水饱和度高的特点。储层条件决定测井解释体积方程中,岩石骨架对电性的贡献尤为突出。不同岩性的气层电阻率下限值相差较大,纯石英砂岩气层,其GR数值一般小于35API,气层电阻率下限数值为 $50\Omega\cdot m$ 。在无含气影响的情况下,其三孔隙度测井值中子-密度数值减小,声波时差数值相对变小,表现为中子-密度孔隙度重叠有较小的差异;当储层含气时,中子-密度孔隙度曲线重叠差异非常明显,一般差值大于6个孔隙度。而长石等其它碎屑岩及泥质含量高的气层电阻率下限值为 $18\Omega\cdot m$ 。中子-密度孔隙度差值应大于3个孔隙度。

中深层天然气层,中子测井受气影响最大,数值明显较水层及油层减小;受含气影响,

密度测井数值相对油层、水层减少；而由于岩层的成岩作用强，孔、渗性差，含气造成的声波减速有限，故相对浅层而言，气层的声波时差测井数值变化不明显。

(2) 核磁共振测井识别气层

气层的 T_2 谱分布特征： T_2 谱受控于扩散弛豫，气体的扩散速度快，具有较短的 T_2 时间。含水石英砂岩储层，物性好，孔隙结构单一， T_2 分布呈单峰，为自由流体峰，分布在 T_2 截止值的右边。图 2 是孤北古 1、孤北古 2 井气层和水层的核磁共振 T_2 测井图，其岩性均为石英砂岩，左侧为孤北古 1 井的气层段，在岩性一致的情况下，受天然气的影响， T_2 分布呈双峰，自由流体峰向 T_2 减小的方向迁移；右侧为孤北古 2 井的水层段， T_2 分布多呈单峰，且峰向 T_2 增大的方向迁移，分布在 T_2 截止值的右边。

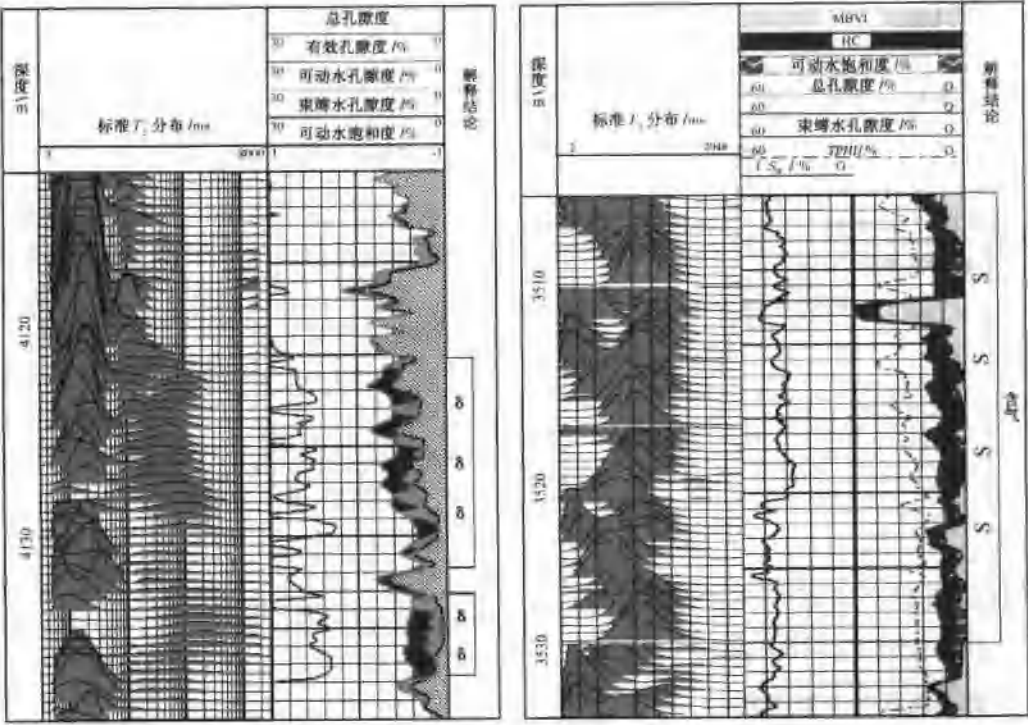


图 2 孤北古 1、孤北古 2 井气层和水层的核磁共振 T_2 测井图

4. 利用核磁共振资料研究孔隙结构^[2]

孔隙喉道的大小是反映孔隙结构的重要参数，一般通过对岩心测量进行求取，受取心获得的岩心数量及实验成本的限制，往往是对储层某些深度点的测量，不能取得连续的描述喉道参数（孔喉中值、孔喉平均值及最大连通孔喉半径等），从而影响对整个储层的孔隙结构变化的完整描述。而通过核磁共振实验分析，结合压汞实验资料，刻度核磁共振测井取得的 T_2 分布信息，计算伪毛管压力曲线及孔喉半径，并给出连续的平均孔喉半径曲线等成果，是目前研究孔隙结构重要的手段之一。

T_2 值与孔隙喉道半径 r 之间存在着正比关系，即 $P_c = C \cdot \frac{1}{T_2}$ ， $r = \frac{0.735}{P_c}$ 。因此，可将 T_2 分布转换为孔喉半径的分布，平均孔喉半径为 $\bar{r} = C \cdot T_{2gm}$ 。

其中的经验系数 C 是用压汞实验分析的数据与核磁共振实验测量的 T_2 谱计算的毛管压力进行刻度得出。

图3是核磁共振实验计算的伪毛管压力曲线与压汞实验获得的毛管压力曲线对比图。通过对多块岩心进行压汞实验,刻度核磁共振实验得到的 T_2 分布,获得计算孔喉半径的经验系数 C 。

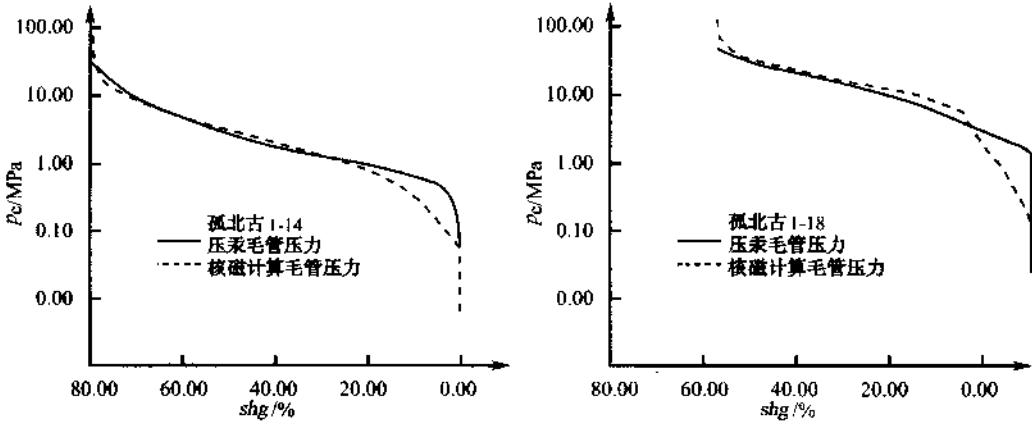


图3 核磁实验计算毛管压力与压汞实验获得的毛管压力对比图

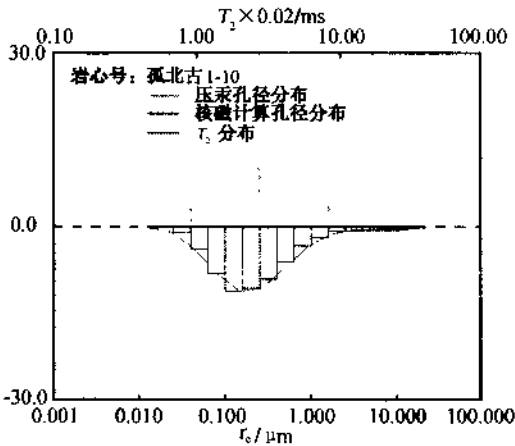


图4 计算孔喉半径分布实验分析对比图

5. 测井解释标准的研究

根据研究工区储层的特点,在准确划分岩性、研究孔隙结构特征的基础上,利用孔隙度差值法、交会图技术、核磁共振测井等识别气层的方法,确定不同岩性气层的解释标准(表1、表2)。

表1 上古生界石英砂岩储层解释标准

标准 结论	$RD/(\Omega \cdot m)$	$\phi/\%$	$S_w/\%$	$AC/(\mu s/ft)$	$DEN/(g/cm^3)$	$\phi_D - \phi_N/\%$	CR/API
气 层	≥ 50	≥ 8	< 50	≥ 67	≤ 2.4	≥ 7	≤ 35
低产气层	≥ 30	≥ 6	< 50	≥ 65	≥ 2.40	≥ 4	≤ 35
气水同层	23~50	≥ 10	50~70	≥ 70	≤ 2.48	≥ 4	≤ 35
油 层	≥ 30					1~2	≤ 35
低产油层	≥ 30						≤ 35
水 层	< 23	≥ 10	≥ 70	≥ 70	≤ 2.4	1~4	≤ 35
干 层	≥ 27	< 6		≤ 64	≥ 2.4	≤ 2	≤ 35

表 2 上古生界其它碎屑砂岩储层解释标准

标准 结论	$RD/(\Omega \cdot m)$	$\phi/\%$	$S_w/\%$	$AC/(\mu s/ft)$	$DEN/(g/cm^3)$	$\phi_D - \phi_N/\%$	GR/API
气 层	≥ 18	≥ 8	< 50	≥ 67	≤ 2.4	≥ 2	≥ 35
低产气层	≥ 10	≥ 6	< 50	≥ 65	≥ 2.40	$2 \sim 4$	≥ 35
气水同层	≥ 10	≥ 10	$50 \sim 70$	≥ 70	≤ 2.48	$2 \sim 4$	≥ 35
油 层	≥ 20					$1 \sim 2$	≥ 35
低产油层	≥ 20						≥ 35
水 层	< 10	≥ 10	≥ 70	≥ 70	≤ 2.4	0	≥ 35
干 层	≥ 27	< 6		≤ 64	≥ 2.4	≤ 2	≥ 35

气层的含气饱和度一般大于 50%，孔隙度大于 8%。若储层岩性为纯石英砂岩，则气层的电阻率下限值为 $50\Omega \cdot m$ ，若储层岩性为长石、细砂岩等其他碎屑岩，则气层的电阻率数值大于 $18\Omega \cdot m$ 。含气层的含气饱和度低，含气饱和度为 30%~50%，孔隙度大于 6%。

6. 认识成果

孤北地区上古生界煤成气评价经过了认识（评价）—实践（测试）—再认识（科研攻关）的过程。根据初步测井评价结果，对储层进行测试，分析解释结论和测试成果之间存在矛盾的因素，进行储层“四性”关系研究，逐渐认识到储层岩性的变化对测井信息的影响非常突出，掩盖了天然气对测井资料的贡献。因此对该类天然气进行评价，综合各类资料解决岩性的划分问题，在此基础上，根据不同岩性确定相应的天然气层判识标准。研究认为，原解释评价结论偏高是一个普遍的问题。

如孤北古 2 井奎山段的 3517.7~3524.5m 井段，压裂后试气以出水为主，累积产水 $2439m^3$ ，深侧向电阻率下限数值为 $20\Omega \cdot m$ 。渤 930 井万山段的 3761~3774.1m，压裂后试气以出水为主，日产水为 $27.48m^3$ ，含微量气，电阻率数值大于 $20\Omega \cdot m$ 。孤北古 1 井奎山段的 4120.6~4139m，压裂后获得日产 $11.6 \times 10^4 m^3$ 的工业气流，钻开气层中间测井采集的深侧向电阻率下限数值大于 $20\Omega \cdot m$ ，受泥浆侵入影响，完井测井采集的电阻率下限数值为 $18\Omega \cdot m$ 。这三口井的电阻率下限数值基本相同，但试气结果却相差很大。主要是岩性的影响，孤北古 1 井纯石英砂岩气层的电阻率数值大于 $50\Omega \cdot m$ ，长石砂岩、泥质砂岩等岩性的电阻率数值为 $18\Omega \cdot m$ ，电阻率数值受到岩性及含气双重影响。而孤北古 2 及渤 930 井纯石英砂岩段，电阻率数值在 $25 \sim 35\Omega \cdot m$ 之间，电阻率测井值主要反映的是岩性的贡献，含气饱和度低，测井再评价为水层（含气）。

（二）民丰地区沙四段砂砾岩体

民丰地区沙四段盐下为近岸水下扇的砂砾岩体沉积，埋藏深度超过 4000m。录井描述主要岩性为粗粒径的砾状砂岩，沉积厚度大，分选较差。与孤北地区一样，具有低孔渗、双孔介质等特点。由于沉积环境的差异，与孤北上古生界气层相比，该类气层具有沉积厚度大，岩石矿物成分复杂，储层非均质性极强、孔隙结构异常复杂的特点，其测井评价难度更大。

在 2005 年度中深层天然气测井资料复查中，东营北带及渤南洼陷沙四段作为裂解气复查的重点地区和目标。通过老井复查和再评价，提出优选丰深 1 井进行重新测试和对储层进行压裂改造。压裂前 5mm 油嘴控制放喷，日产气为 $8597m^3$ ，2005 年 11 月 8 日，重新实施压裂试气后获得高产工业油气流，6mm 油嘴放喷，油压 18.8~19.3MPa，日产气为 $80036m^3$ ，

日产油为 51.5t。实现了胜利深层天然气又一重大突破。

1. 测井评价的难点

经对油气样品地化指标分析证实，丰深1井盐下气藏为凝析气藏。在原始地层压力温度条件下，烃类呈气态分布，随着采出后压力及温度的降低，一部分烃类呈液态轻质油，一部分还是为气态的天然气。

(1) 由于该气藏的储层是高能环境下的砂砾岩扇体沉积的产物，岩石成熟度及分选性差，岩石放射性物质含量高，因此测量的自然伽马数值普遍为高值，无法利用自然伽马曲线对储层进行准确划分。

(2) 自然电位曲线在划分砂砾岩体储层、识别岩性及反映渗流能力等应用上也受到很大的限制。

(3) 由于砂砾岩母岩碎屑含量高、孔隙结构复杂，岩石骨架数值难以选取，不能准确掌握地层的孔隙度参数。

综上所述，对此类气层进行测井评价的难点在于：一是如何划分有效储层，二是如何准确计算孔隙度、渗透率、含气饱和度等各类地质参数。只有解决了上述问题，才能正确的对气层进行评价。

2. 初步认识

(1) 常规测井资料只能定性划分该类储层。

目前，民丰地区钻遇盐下砂砾岩体的共有丰深1及丰8井两口井，我们分别获取了其孔隙度及三电阻率等常规测井资料，如图5所示。从图中可以看出丰8井与丰深1井处于不

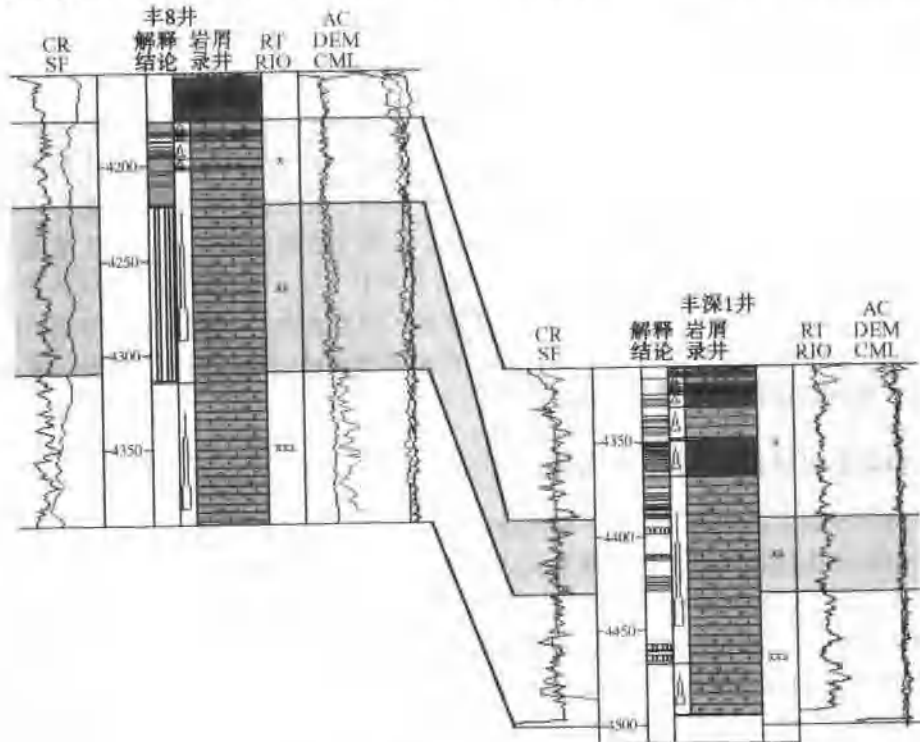


图5 丰8井与丰深1井对比图

同的扇体上,其中丰8井构造位置较丰深1井高180m。

从2井的自然伽马测井曲线数值来看,由于其岩性均以砾状砂岩为主,自然伽马测井数值均为高值,储层划分难度大。从三孔隙度测井资料分析,按标准刻度,丰深1井1316~4389m处为砂砾岩体沉积段,三孔隙度曲线重合较好,而丰8井砂砾岩地层三孔隙度测井曲线密度数值增大,声波时差数值减小,两者重合在一起,而中子测井数值明显增大,为典型的砂砾岩非储层的沉积特征(致密砂砾岩沉积的明显特征为中子数值大)。常规测井资料反映两口井储层的变化特征不明显。从两井计算的孔隙度等数据对比来看,差别不明显,反映不出两者的储层孔隙结构及质量的差异。

常规资料评价储层,不确定因素增多。如丰深1井的4420~4430m井段,三孔隙度重叠重合性较好,与电阻率曲线间的对应性也较好,电阻率数值比较高,但自然伽马数值却高于顶部气层段,储层划分及质量评价都存在不确定的因素,测井评价解释为两层含气层。该类型的地层,利用常规测井资料不能实现对储层的准确划分。

根据上述常规测井资料,只能定性认为丰深1井有效储层厚度比较大。而丰8井储层厚度变薄,储层整体变差。丰深1井在该套砂砾岩体解释气层9层,25.8m,含气层30.3m/10层;丰8井在该套砂砾岩体解释气层5.5m/3层,含气层22.3m/4层。

由此可以认为,利用常规资料来划分该类储层的有效储层、识别岩性、计算地质参数及研究孔隙结构存在一定的难度和局限性。它给后续的试气作业及储量计算带来了一些不确定的因素,成功率及准确度都受到影响。

(2) 应用核磁共振测井资料,能较好地解决砂砾岩体地层的评价问题。

核磁共振测井在对砂砾岩体储层评价中具有不可替代的优势,近年来,在沉积背景与民丰地区相似的坨庄、王庄等砂砾岩体油气藏的勘探中,核磁共振测井在进行储层及非储层的识别、孔隙度等各类地质参数计算、孔隙结构研究方面,取得比较好的应用效果,较好地解决了制约砂砾岩体油气层评价的储层划分及参数计算等问题。

如具有相似沉积特征位于北部陡坡带的坨174井,在2878.2~2895.2m处,储层岩性为砂砾岩,岩屑及气测录井未见油气显示,常规测井资料储层与非储层无明显,计算孔隙度数值为4%~5%,常规测井及地质资料显示其为干层。而核磁共振测井标准 T_2 谱呈三峰,峰向 T_2 谱增大的方向迁移, T_2 谱表现为轻质油的特征,计算总孔隙度为6%,最大含油孔隙度为3%,根据核磁共振测井,将上述两层解释为差油层。对其进行测试,日产油为0.37t,压裂后,初期放喷日产油为10~20t。利用核磁共振结合其它测井资料,有效地解决了砂砾岩体储层划分、流体类型识别及地质参数计算等问题。

3. 勘探部署及测井资料评价技术展望

(1) 勘探部署。

根据丰深1井勘探成果,在丰深1井四周部署了丰深2、丰深3、丰深4三口预探井,丰深2、丰深3井正在钻进中。在同属北部陡坡带西段的利津地区部署了利深1井。通过这些井的逐步实施,争取在“十一五”期间开拓砂砾岩体深层气勘探的新局面。

(2) 测井资料优化设计及评价技术展望。

针对中深层天然气的特点,优化选择合理的、有别于浅气层的测井采集系列,提高录取信息的丰度和适用性,则可大大提高气层评价的成功率及解决各类地质问题的能力(表3)。

表3 中深层天然气藏测井系列设计

项 目	测 井 内 容	解 决 问 题
常规项目	自然电位、自然伽马、井径、2.5m底部梯度电阻率、井斜、井斜方位角、微电极、4m底部梯度电阻率、高分辨率感应、补偿声波、中子、密度。盐水泥浆及地层电阻率较高时应加测双侧向	储层划分, 岩性识别, 气层识别, 参数计算
增测项目	核磁共振测井	划分储层, 研究孔隙结构, 准确计算地质参数
增测项目	成像测井	研究地层特征, 岩性、沉积相及微相, 识别裂缝
增测项目	高分辨率阵列感应测井	识别气层, 研究泥浆侵入对气层影响
增测项目	多极子阵列声波测井	地层各向异性分析, 岩石力学参数计算

为了适应深层隐蔽性油气藏勘探的需要, 综合核磁共振、成像测井等各类测井信息, 胜利测井公司有关人员针对低孔渗深层的特点, 提出了三参数理论, 即利用宏尺度参数 (如 ϕ 、 V_{SH} 、 S 、 K 等)、微尺度参数 (孔喉半径、表比面积等)、渗流参数 (相对渗透率等) 三大类参数综合评价储层质量, 并进行了分析, 结合三类参数研究基础上, 可进一步综合识别流体性质。图6是中深层天然气测井评价系统设计框图, 可以相信, 随着研究的不断深入, 以及天然气勘探实践的不断拓广, 将形成一套完整的中深层天然气测井评价技术及其配套的软件系统。

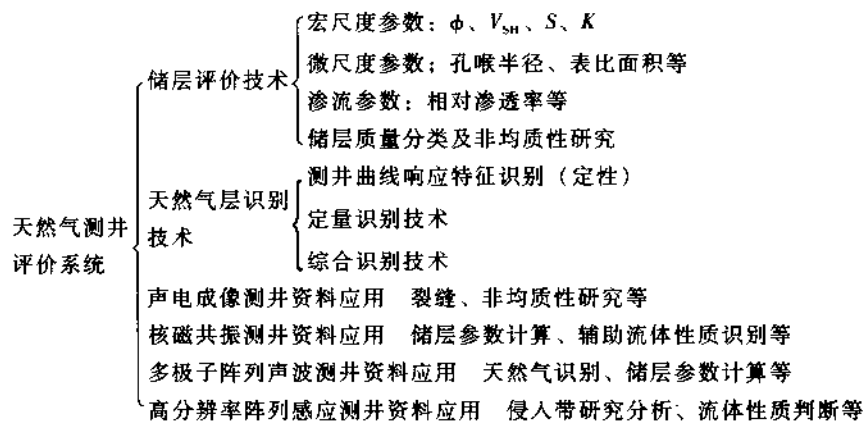


图6 中深层天然气测井评价系统设计框图

四、认识及建议

(1) 中深层天然气测井评价是今后天然气测井评价技术发展的一个重要方面。

(2) 优化测井设计, 及时进行测井, 同时加强完井试气及油气层改造等工作是深层天然气获得突破的关键技术。

(3) 加强核磁共振、声电成像等测井新技术的应用是解决复杂储层的有效手段和途径。