



复杂岩性储层测井评价技术

2013 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

GW-CLE 技术识别复杂岩性不复杂!



目 录

1 简介	3
2 特色技术	5
3 典型案例	12
4 科研装备	14
5 资质与标准	16
6 专家团队	18





中国石油

中国石油天然气集团公司（简称“中国石油集团”，英文缩写：CNPC）是根据国务院机构改革方案，于1998年7月在原中国石油天然气总公司基础上组建的特大型石油石化企业集团，系国家授权投资的机构和国家控股公司，是实行上下游、内外贸、产销一体化、按照现代企业制度运作，跨地区、跨行业、跨国经营的综合性石油公司，主要业务包括油气业务、石油工程技术服务、石油工程建设、石油装备制造、金融服务、新能源开发等。中国石油天然气集团公司2012年国内生产原油1.1亿吨，生产天然气798.6亿立方米，加工原油1.91亿吨，全年实现营业收入2.69亿元，实现利润1391亿元。

2012年，中国石油在美国《石油情报周刊》

世界50家大石油公司综合排名中位居第4位，在《财富》杂志全球500家大公司排名中位居第6位。

中国石油天然气集团公司履行资源、市场和国际化战略，坚持“主营业务战略驱动，发展目标导向，顶层设计”科技发展理念和“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的指导方针，以国家科技重大专项为龙头、公司重大科技专项为核心、重大现场试验为抓手、重大装备、软件、产品、标准为载体，持续推进科技进步，提升科技创新能力，取得一大批具有自主知识产权的先进实用技术。

复杂岩性储层测井评价技术就是具有代表性的重大创新成果之一。

奉献能源 创造和谐

1 简介

随着石油勘探开发的深入，复杂岩性油气藏成为世界关注的焦点。



复杂岩性油气藏包括变质岩油气藏、碳酸盐岩油气藏和火成岩油气藏。碳酸盐岩油气储量接近全球油气储量的一半，产量则占60%。火成岩也可以作为很好的储层，美国、委内瑞拉、巴西、日本、阿根廷、利比亚、古巴、印度和其他一些国家在火成岩中都获得工业油流。变质岩的各种原生和次生裂缝可作为油气储存空间而形成良好的储层。

由于复杂岩性的组成、结构及其各种勘探条件的复杂性，其岩性难以识别，储层难以发现，地质参数难以计算，使得复杂岩性储层评价成为目前油气勘探的难点。

GW-CLE 技术从岩性识别、储层识别、储层评价全面评价复杂岩性储层，准确评价井下地层和介质性状，及时准确发现和评价油气储层，解决复杂岩性储层勘探开发过程中的地质和工程问题，加快油气勘探开发进程，在国内渤海湾盆地、塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地，以及中东、中亚及南美等变质岩、碳酸盐岩、火成岩油气区块广泛应用。





2

特色技术

2.1 岩性识别技术系列

岩性识别是储层识别和储层定量评价的基础。没有准确的岩性识别，储层的定性识别和定量评价就是盲目的，甚至是错误的，会影响射孔、试油及整个完井过程。因此，岩性识别在储层评价过程中，具有极重要的作用。

变质岩、碳酸盐岩、火成岩的岩性识别由于其矿物成分复杂，孔隙空间结构多变，导致应用测井信息分析岩性难度极大。

中国石油形成一套行之有效的岩性识别技术系列，成功攻克复杂岩性识别的这一难题。

岩性识别技术系列包括变质岩岩性综合识别技术、碳酸盐岩岩性综合识别技术和岩性自动识别技术三大特色技术，实现了对变质岩、碳酸盐岩、火成岩的全面识别。



变质岩岩性综合识别技术

变质岩岩性综合识别技术是以实验分析和岩石物理学为基础。

综合利用常规测井资料、地层元素测井资料、成像测井资料，结合神经网络、模糊数学、交会图等技术，实现对变质岩岩性的定性分析、定量评价和自动识别，达到准确识别变质岩岩石的目的。



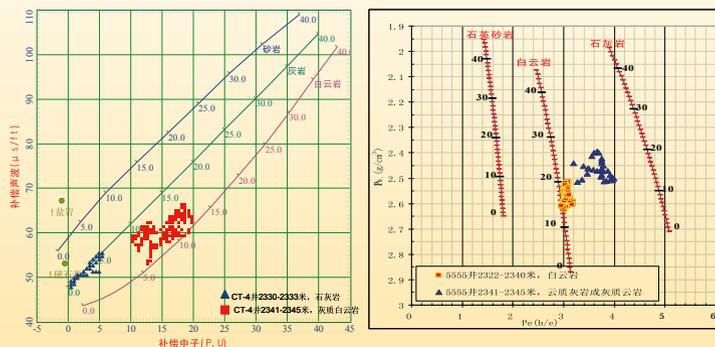
碳酸盐岩岩性综合识别技术

复杂岩性碳酸盐岩储层岩石骨架的主要矿物成分是方解石和白云石，通常还含有一些黏土矿物、有机质、石膏、盐岩、黄铁矿、硅质等，它们虽然含量不多，但对储层的影响及对测井信息的贡献都较大。因此，利用测井资料或者与其他资料相结合对其进行有效识别是十分必要的。



岩石薄片

碳酸盐岩岩性综合识别技术运用微观岩心分析技术、宏观岩相分析技术，可以有效识别和划分碳酸盐岩储层的矿物成分、沉积成岩环境、岩石的主要类型、特定岩性组合的岩相发育带和预测油气富集区域。



交会图识别岩性

2.2 储层识别技术系列

在成像测井出现之前，储层识别主要依靠常规测井资料。但是复杂岩性储层地质条件复杂，特别是裂缝型、洞穴型储层在纵、横向上严重的非均质性，给单纯依靠常规资料识别储层带来了困难。

在常规测井资料分析基础上，应用成像测井、偶极横波测井、核磁共振测井等测井新技术精细、准确地识别复杂岩性的储层技术，建

立和完善了真假裂缝的识别、真假孔洞的识别、裂缝孔洞的有效性评价等方法。

储层识别技术系列包括基于成像测井模式库的储层识别技术、裂缝有效性评价技术、利用核磁共振测井识别复杂孔隙结构储层技术、井眼轨迹横截面上地质体产状可视化技术和储层综合识别技术等特色技术。



储层综合识别技术

基于优势岩性序列理论，利用交会图技术定量识别储层，利用常规测井资料定性识别储层，通过成像测井资料实现对储层裂缝发育程度及产状的定性描述，并采用多极子阵列声波测井资料评价储层裂缝的有效性，从而得到储层划分标准，达到综合识别储层的目的。

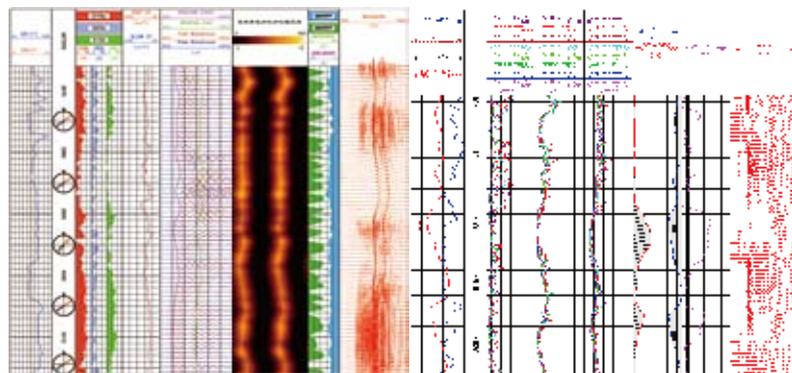


裂缝有效性评价技术

裂缝有效性评价技术包括：基于交叉偶极声波的裂缝有效性评价技术和基于斯通利波的裂缝有效性评价技术。

基于交叉偶极子声波的裂缝有效性评价技术利用交叉偶极子横波的各向异性方位确定地层最大主应力方向，进而分析裂缝系统走向和地应力方向的角度关系来判断裂缝有效性。

基于斯通利波的裂缝有效性评价技术是利用阵列声波幅度衰减和时间延迟情况来判断裂缝充填情况，进而判断裂缝的有效性。

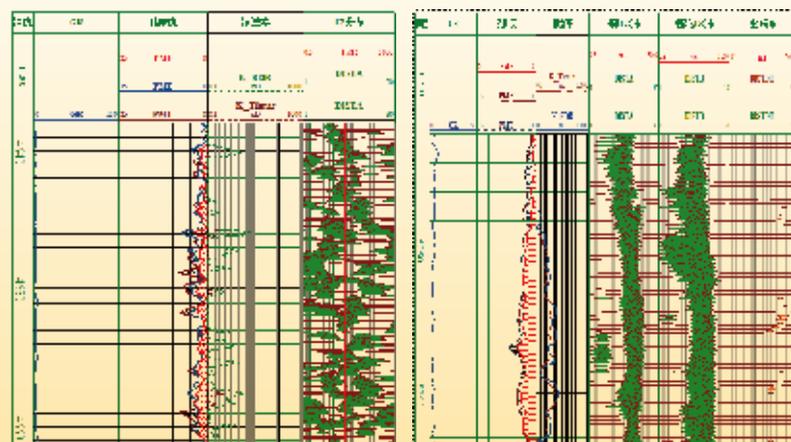


基于交叉偶极子声波的裂缝有效性评价技术

复杂孔隙结构储层识别技术

复杂孔隙结构储层识别技术，通过核磁共振测井标准 T_2 谱的分布直观地揭示复杂岩性储层的孔隙结构，识别出相应储层类型。

可与岩心分析对照，但较钻井取心便宜，且可实现连续测量。通过岩心实验数据检验，符合率可达 75%。



2.3 储层评价技术系列

储层评价是以测井资料为基础，结合地质、地震资料，岩心分析资料以及开发过程中的动静态资料等，从测井角度综合评价含油气储层，计算复杂岩性储层的参数、查明流体性质。

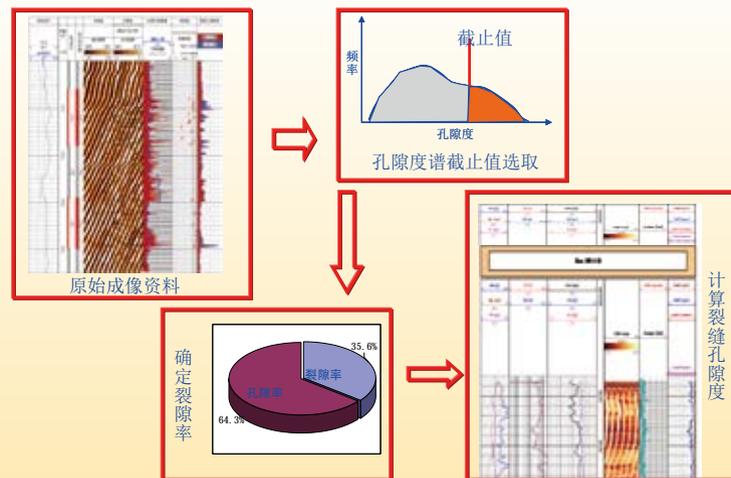
基于声电成像模拟井的裂缝参数评价技术

- 基于声电成像模拟井，推导出裂缝宽度计算公式，利用该公式计算裂缝宽度。



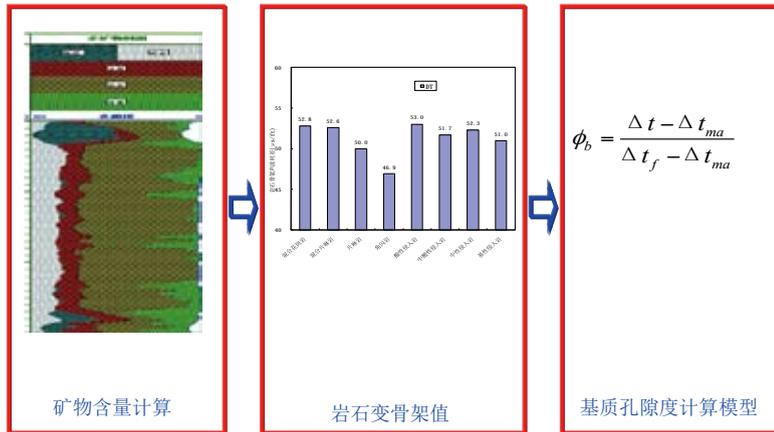
岩石裂缝

- 利用成像测井孔隙度谱分析方法评价基质孔隙与次生孔隙。



- 可以准确地计算裂缝次生孔隙度，判断裂缝发育的程度。

基于变骨架声波时差法的基质孔隙度评价技术



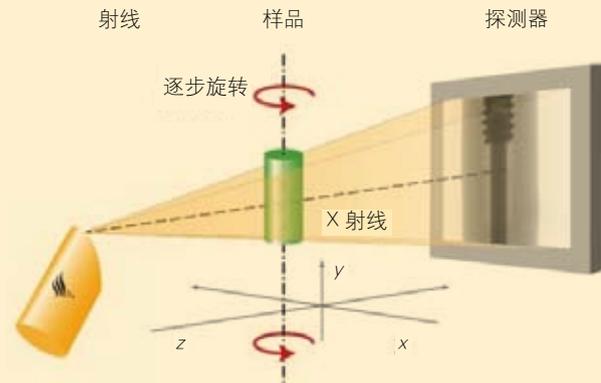
基于变骨架声波时差法的基质孔隙度评价技术通过多矿物解释处理软件能够准确计算组成岩石的各种矿物含量，在此基础上，可以准确求得岩石的变骨架声波时差值，进而利用基质孔隙度解释模型精确求取岩石基质孔隙度值。

该技术利用岩石的变骨架声波时差值计算基质孔隙度比传统的利用单一矿物声波时差骨架值计算的基质孔隙度更加精确。

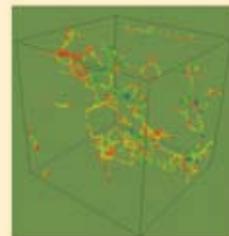
三维数字岩心构建技术

三维数字岩心构建技术利用 X 射线束对岩心进行 360° 扫描，X 射线束和不同密度的岩石组分相互作用，产生相应的吸收和衰减，通过电子计算机断层扫描技术，从而得到岩心三维灰度图像。

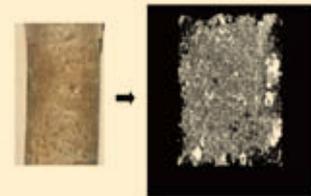
通过对三维灰度图像进行灰度图像二值化、岩心表征单元体积 (REV) 分析和孔隙结构分析等分析，实现对实物岩心的三维数字岩心构建。目前，X 射线 CT (Computed Tomography) 的精度可达到 1 μm。



三维数字岩心构建技术实验原理



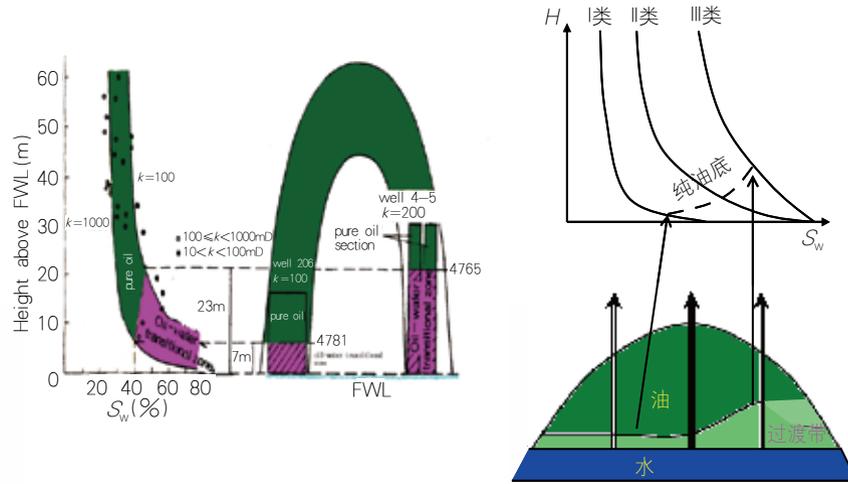
孔隙拓扑结构



白云岩三维数字岩心构建

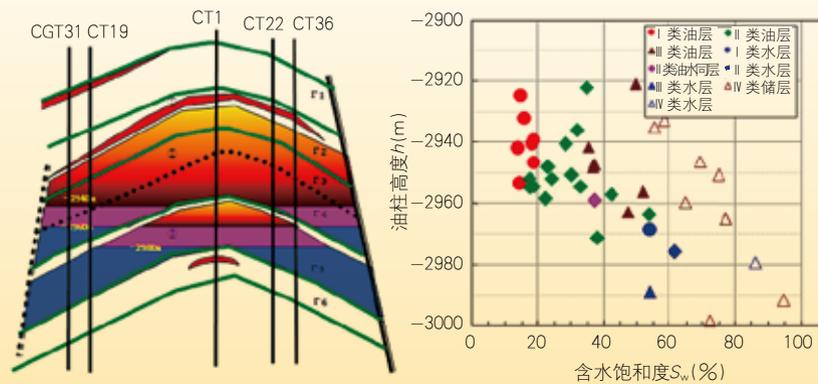
储层流体评价技术

基于测井资料，多学科相结合综合评价复杂储层流体性质，识别油气水界面。



油水过渡带精细解释构造

储层流体评价技术包括：胶结指数法评价储层流体性质技术，视流体参数法评价流体性质技术，油藏背景下气—油—水界面及油水过渡带分析技术，测录井结合识别流体技术。



气—油—水界面及油水过渡带分析

3 典型案例



3.1 辽河油田太古界变质岩潜山油藏测井评价

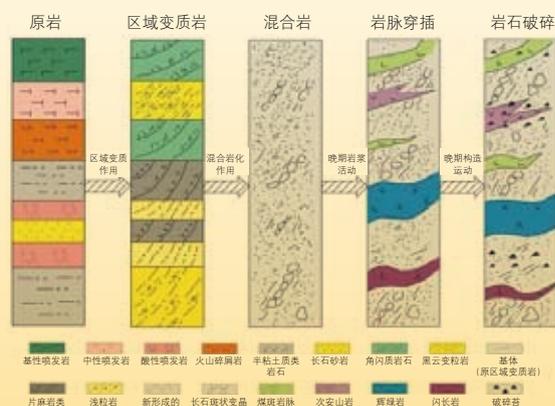
辽河油田的太古界潜山带是典型的变质岩发育带，存在岩性划分混乱，储层识别不清，潜山内幕不明，储量无法预测等难题。中国石油利用变质岩测井评价技术，确定了储层的“优势岩性”，明确了油藏的出油底界，建立了辽河坳陷太古界潜山岩性、裂缝、储层的识别和评价标准，使得岩性从最初的无法系统识别达解释符合率 90% 以上，储层一次识别准确率从 85% 提高到 95% 以上，油层一次解释符合率从 74% 达到 85% 以上，出油底界扩展到 -4700m，其中兴隆台潜山新增探明储量 3173 万吨，整体探明储量 1.27 亿吨，大民屯南部潜山新增预测储量 6000 多万吨，为辽河油田变质岩潜山油气藏的勘探开发提供了技术支持。

岩石类别	测井分类	主要岩性	测井曲线形态特征	
			密度-中子	自然伽玛
变质岩	①混合花岗岩类	斜长混合花岗岩 二长混合花岗岩 斜长浅粒岩	“纹合状”或“正差异”	中、高“锯齿状”
	②混合片麻岩类	斜长混合片麻岩 二长混合片麻岩 条带状混合岩 角砾状混合岩	小的“负差异”或“纹合状”	中、高“锯齿状”
	③片麻岩类	黑云母斜长片麻岩 角闪斜长片麻岩 混合岩黑云（角闪）斜长片麻岩 混合岩化黑云（角闪）斜长变粒岩	小的“负差异”或“纹合状”	中、高“锯齿状”
	④角闪岩类	角闪岩 斜长角闪岩	大的“负差异”	低“平直状”
岩浆岩	⑤酸性岩家岩类	花岗岩、花岗斑岩	较大的“正差异”	中、高“平直状”
	⑥中性侵入岩类	闪长玢岩 安山玢岩 闪长岩	小的“负差异”或“纹合状”	中、高“平直状”
	⑦基性侵入岩类	煌斑岩 辉绿岩	大的“负差异”	中、低“平直状”

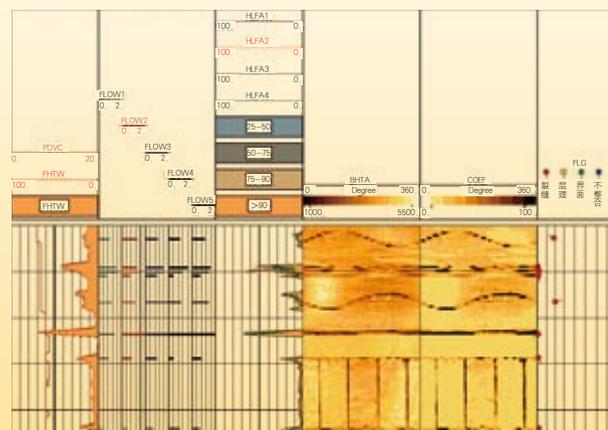
岩性标准	测井解释混合花岗岩、混合片麻岩、片麻岩及酸性、中性侵入岩类		
储层定性划分标准	常规测井	高阻背景下的低阻特征、三孔隙度增大	
	m 电成像测井	直观识别潜山裂缝发育段	
	阵列声波测井	利用声幅衰减、频移、时滞识别裂缝发育段并判断裂缝有效性	
	录井	气测或岩屑录井显示级别高	
储层定量划分标准	测井项目	上限	下限
	深电阻率	2000Ω·m	100Ω·m
	声波时差		55μs/tt
	钻时	钻时降低明显	

太古界储层划分标准

岩性常规测井特征模式库



辽河太古界岩石演化过程示意图



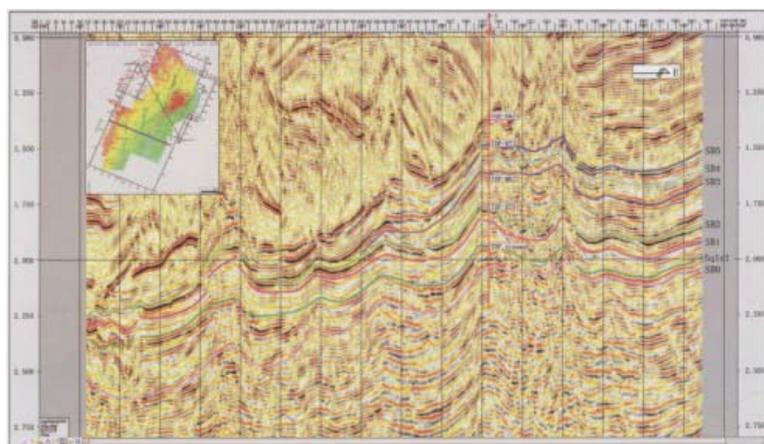
裂缝评价

3.2 哈萨克斯坦北特鲁瓦油田碳酸盐岩储层测井评价

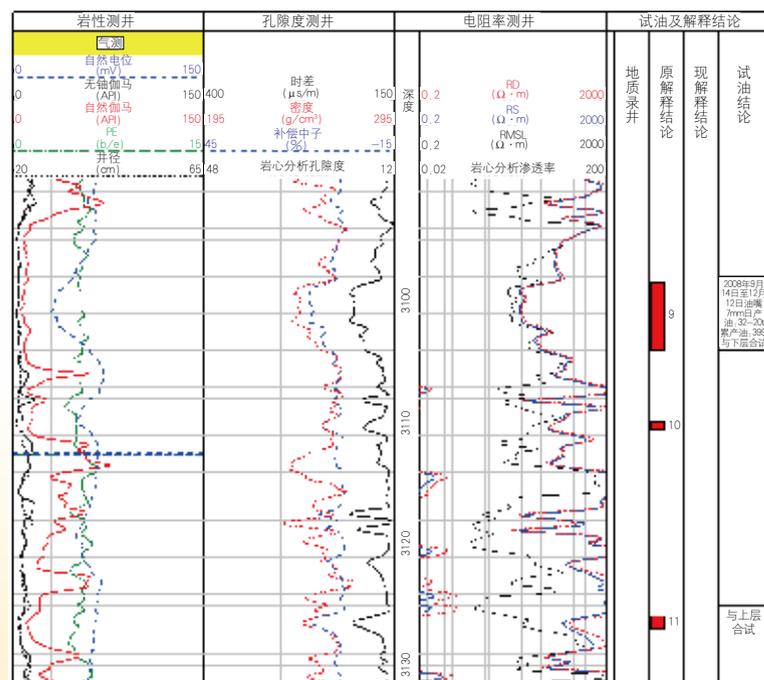
滨里海盆地北特鲁瓦油田是中石油在哈萨克斯坦发现的第一个亿吨级整装大油田。该油田主要目的层是石炭系碳酸盐岩储层，受上覆巨厚岩盐的影响，地震预测储层难度较大，对油藏的认识一直比较模糊。随着勘探开发的深入，岩性、储集性、含油（气）性及油藏类型等疑难问题逐渐凸显，开展碳酸盐岩储层测井评价和油藏规律研究迫在眉睫。

通过测井资料的精细研究发现，该油气田油藏类型复杂多变，油水界面并不单一。平面上，至少存在四个断块，每个断块都具有独立的油水系统；纵向上，受储层物性变化影响，存在局部可达 30 多米的油水过渡带。

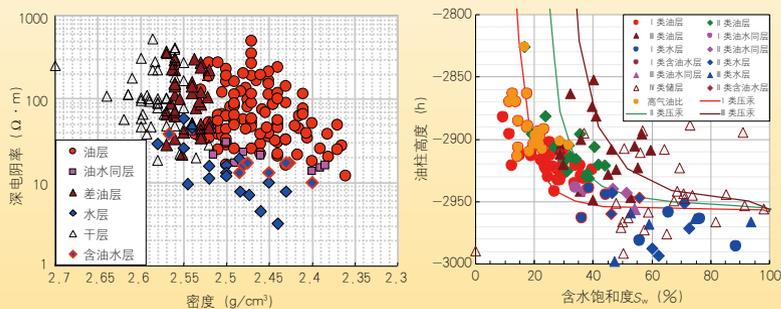
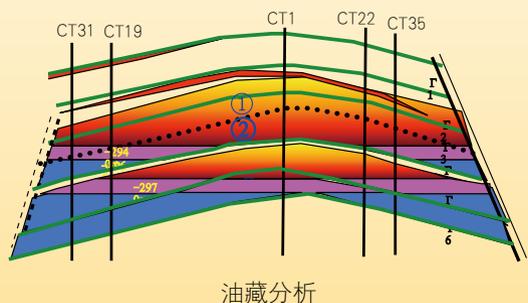
建立的油气水识别图版及解释标准已在北特鲁瓦油田得到广泛应用，油气水解释符合率大大提高，由原来的 75% 上升到 97%，为该油气田由勘探转开发提供了重要的技术支撑。



地震资料



测井资料

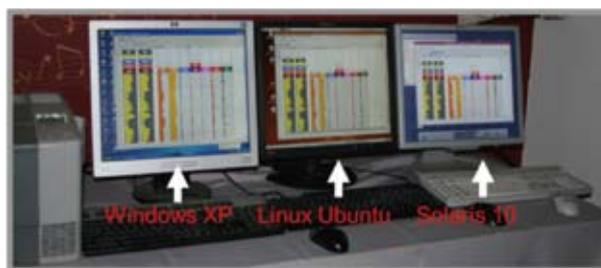
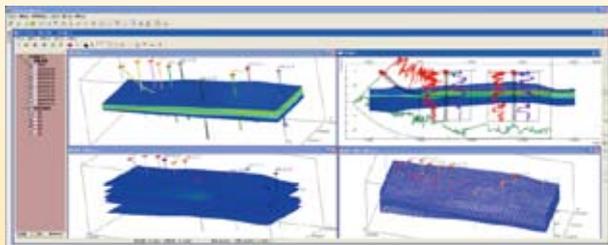


4 科研装备

中国石油拥有先进完善的科研装备，包括有：自主研发的测井资料解释处理一体化软件 CIFLog-GeoMatrix，电法模拟实验井，电声成像模拟试验装置，放射性刻度井群。

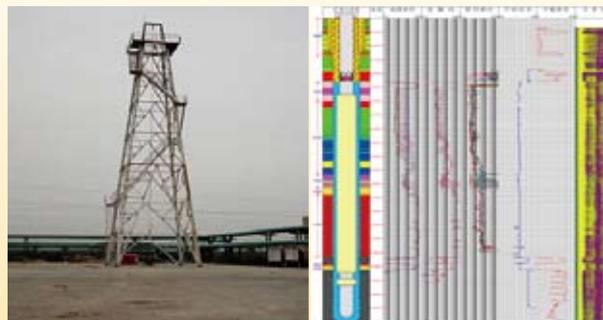
CIFLog-GeoMatrix 测井资料解释处理一体化软件

CIFLog-GeoMatrix 测井资料解释处理一体化软件采用 JAVA 的自平衡技术不需转换测井数据实现跨平台、多操作系统处理。采用多语言包、资源文件配置技术，实现各种语种、资源文件及符号系统的快速转化；不同制式的一键快速切换技术；开发系统的多语言支持，可使原有测井解释方法快速移植，满足国际市场多元化需求。功能完备的处理模块，可实现引进和国产测井装备共用一套软硬件系统进行解释处理，满足市场上多种测井系列并存的多样化需求。



电法模拟实验井

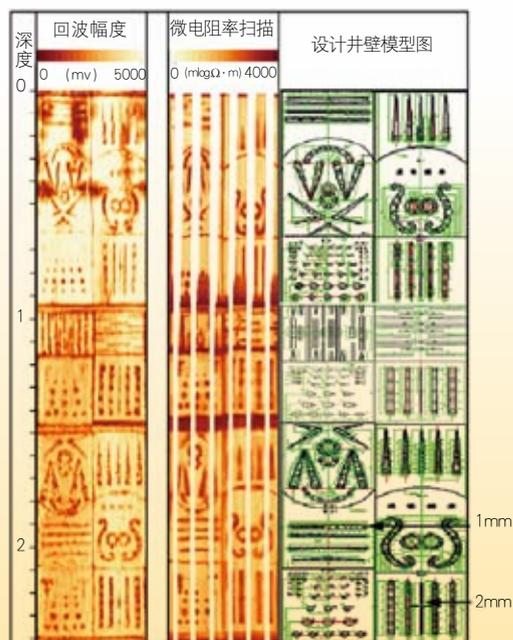
电法模拟井井深 553 m，采用金属和非金属材料并经特殊工艺制成。形成了多种具有不同电阻、时差及水泥胶结情况的模拟地层。层位组合采用薄厚交替的方式，主要用于电法和声法测井仪器的检测和标定。



电法模拟实验井

电声成像模拟试验装置

电声成像模拟试验装置是一套四组全空间竖立式地层模拟试验装置。使用天然石灰岩、天然花岗岩和天然砂岩制作了 $\Phi 152\text{mm}$ 、 $\Phi 215\text{mm}$ 和 $\Phi 241\text{mm}$ 三种井眼及 $\Phi 152\text{mm}$ 和 $\Phi 215\text{mm}$ 组合的电声成像模拟井。井壁上刻画了各种孔洞和裂缝，模拟地层各种地质现象。用以对相关测井仪器进行标定，建立数值仿真系统，进而根据相关测井仪器对各种已知岩石的响应来建立相应的处理评价标准。



电声成像模拟试验装置

放射性刻度井群

共有 8 口放射性仪器刻度井，可以刻度如中子、密度、伽马和能谱等仪器。7 个刻度井，直径 1m，深度 16m。1 个玻璃钢套管井，直径 300mm，深度 20m。



放射性刻度井群

5

资质与标准

5.1 资质

中国石油具有工程总承包、工程勘探设计等国家甲级资质和建设部、交通部一级施工资质，获得国家（AAA）级信誉等级证书，通过了GB/T19001质量管理体系认证。

中国石油拥有一支长期从事复杂岩性油气藏测井评价技术研发的高水平专家团队，“辽河陆上太古界变质岩潜山油藏测井评价方法研究”获2012年度中国石油天然气集团公司科学技术进步奖二等奖。



5.2 专 利

累计获得相关专利 6 项。

专利名

井筒斯通利波的慢度测量方法：

地层各向异性的评价方法

一种基于超声成像测井的裂缝定量评价方法

一种确定地层中多种矿物组分含量的方法

一种测定井筒中地层产状的方法

一种电成像测井图全井壁复原方法

专利号

201210493582.2

201210493762.0

201210125518.9

201210125507.0

200510076818.2

200510075171.1



5.3 标 准

中国石油严格执行相关国家或行业标准。

油藏地质特征描述技术要求

SY/T 5355—2000

裸眼井单井测井数据处理流程

SY/T 5360—2004

石油工业应用软件工程规范

SY/T 5232—2012

岩石声波特征的实验室测量规范

SY/T 6351—2012

油藏描述方法

SY/T 5579.1—2008

探井测井数据处理与资料解释技术规范

SY/T 6451—2010

电、声成像测井资料处理解释规范

SY/T 6488—2000

复杂岩性地层测井数据处理解释规范

SY/T 6546—2011

核磁共振测井资料处理及解释规范

SY/T 6617—2005

石油测井原始资料质量规范

SY/T 5132—2012

电缆式地层测试器测井资料解释规范

SY/T 5691—2006

岩石电阻率参数实验室测量及计算方法

SY/T 5385—2007

5700 成像测井资料解释处理流程

Q/SY-GWDC-CJ0965—2010

探井单井测井资料解释规程

Q/SY-GWDC-CJ1272—2010

调整井测井资料解释规程

Q/SY-GWDC-CJ1273—2010

6

专家团队



陆大卫 教授级高级工程师，石油地球物理测井专家。现任中国石油学会常务理事、中国石油学会石油测井专业委员会主任、国际职业测井分析家协会 (SPWLA) 北京分会主席、石油测井专业标准委员会主任、《测井技术》杂志主编。多次组织我国石油测井行业中长期技术发展规划编制工作。
电话：13901062602



李 宁 教授级高级工程师，高级技术专家。博士生导师。国家油气重大专项“复杂油气藏测井综合评价技术、配套装备与处理解释软件”项目长。主持研发我国两代大型测井处理解释软件。获国家科技进步二等奖 2 项，省部级奖 7 项。发表论文 56 篇，撰写和主编专著 5 部。
电话：010-83597591
Email: ln@petrochina.com.cn



汪 浩 长城钻探工程有限公司测井公司副经理兼总地质师，主持和参与完成科研项目 20 多项，获中国石油天然气集团公司技术创新奖二等奖 2 项。发表学术论文 15 篇。
电话：0427-7811595
Email: lh_wanghao@cnpc.com.cn



伍东 技术专家，长城钻探测井技术研究院副院长。获得国家能源局科技进步一等奖 1 项，省部级奖 7 项，局级奖 18 项。发表学术论文 20 多篇。

电话：010-80169309

Email：lh_wudong@cnpcc.com.cn



尤征 主持和参与完成科研项目 10 多项，获局级奖 6 项，申请发明专利 1 项，发表学术论文 10 多篇。

电话：010-59285543

Email：youzheng@cnlc.com



余明发 博士，高级工程师，主持和参与完成科研项目 15 项，申请发明专利 3 项。发表学术论文 20 余篇。

电话：010-59285511

Email：yumingfa@163.com



联系人：刁顺 先生
电 话：86-10-5998-6059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

Contact: Mr. Diao Shun
Tel: 86-10-5998-6059
Email: sdiao@cnpc.com.cn



