

文章编号: 1671-8585(2008)05-0392-06

# 天然气储层预测技术及应用

——以雅克拉地区卡普沙良群底块砂岩储层为例

徐才文, 李宗杰, 杨子川

(中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 雅克拉地区自 SC2 井在白垩系卡普沙良群底块砂岩获得工业油气流后, 加大了勘探开发力度。为了指导开发井的部署, 综合利用钻井、岩心、测井、地震等资料, 对本区主要储层进行了预测研究, 建立了一套以地震属性参数(振幅、频率)提取技术、地震测井联合反演技术、三维可视化解释技术为主的碎屑岩储层预测技术系列。通过储层预测技术应用, 整体掌握了该区储层纵横向分布规律及储层特征, 准确预测了雅克拉构造的含油气范围, 为油田开发井部署提供了有力的基础数据和科学依据。

**关键词:** 沉积相; 地震属性; 联合反演; 储层预测; 油气检测

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

雅克拉构造有 SC2, S7, S4, S5, S15 等多口井钻获工业油气流, 证明该构造为下古生界奥陶系下统、寒武系中统碳酸盐岩凝析气藏与中生界侏罗系和白垩系卡普沙良群砂岩凝析气藏组成的复合凝析气藏。但前期雅西、雅克拉(新采集)、雅东三维地震资料是由不同时期不同仪器采集, 不同处理系统处理的, 几块三维资料之间存在着时间、振幅、频率等方面的不一致问题, 且本区主要碎屑岩储集岩系下白垩统砂岩和侏罗系砂岩储层特征及展布规律较复杂, 横向变化大, 很难利用地震资料进行预测, 影响了本区的勘探开发进程。我们利用雅克拉连片处理资料, 建立了本区碎屑岩储层预测技术方法, 开展了圈闭评价研究, 为勘探开发提供了有利的钻探目标。

## 1 卡普沙良群底块砂岩储层基本特征

### 1.1 岩性特征及沉积相

白垩系卡普沙良群底块砂岩岩性较粗, 主要为砂砾岩、砾岩、含砾砂岩等, 其间仅有 3~4 层的薄层泥岩, 颜色以棕褐、褐棕色为主。从岩性特征来看, 卡普沙良群底块砂岩的下砂层由灰、灰白色砾岩、砾质粗砂岩及炭质泥岩条带组成, 发育粒序、块状及平行、交错层理, 局部发育反粒序层理。而上砂层底部多为薄层砾质砂岩、砂砾岩, 下部为粗—中粒砂岩, 中部为细砂岩, 上部为细—粉砂岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩, 砂岩内含丰富的炭屑及灰绿色扁平状泥砾, 局部泥砾顺层排列, 自下而上发育粒序层理、交错层理以及平行、水平、波纹层理

等。从下砂层到上砂层, 岩性整体呈由粗变细的特征, 下砂层为以扇三角洲平原辫状河道相为主的沉积, 而上砂层则以扇三角洲前缘水下分流河道沉积为主。

### 1.2 成岩作用及储集空间类型

白垩系卡普沙良群底块砂岩的成岩作用包括压实作用、胶结与交代作用、溶蚀作用。储集空间类型有粒间孔(包括原生粒间孔、粒间溶蚀孔和粒间溶蚀扩大孔)、粒内溶孔、晶间孔和石英加大后残余粒间角孔。其中原生孔略占优势, 次生孔也相当发育, 二者呈消长关系。由于压实作用及构造活动的应力作用影响, 形成了一些构造微裂缝和压溶缝, 但其作为一种储集空间类型只占了很小一部分, 作用有限。

## 2 地震属性与岩性敏感性分析

储层物性、储层流体变化等信息是隐藏于地震数据中的<sup>[1]</sup>。根据钻井结果进行地震属性分析并对其作出标定, 可以揭示出与储层相关的信息。因此, 我们利用地震属性提取和地震相分析技术, 对白垩系卡普沙良群底块砂岩储层进行地震属性分析, 建立了岩性解释的地球物理模式。

研究表明, 并非所有的地震属性都与岩性有关, 我们针对全区稳定分布的白垩系卡普沙良群底块砂岩层( $T_3^3-T_4^0$ )及其上覆泥岩层( $T_3^3-T_3^3$  以上

收稿日期: 2008-08-18; 改回日期: 2008-09-01。

第一作者简介: 徐才文(1964—), 男, 工程师, 现从事塔河油田地震资料综合解释研究工作。

10 ms),沿 S15 井、S6 井过井线分别提取层间频率、吸收系数、振幅等地震属性,与 10 口井统计的卡普沙良群底块砂岩的测井波阻抗及泥质含量分布曲线进行了对比分析(图 1~图 5),结果表明:

1) 砂岩层和泥岩层的层间吸收系数曲线差异不明显,说明该属性与岩性关系不密切;

2) 两种岩性的振幅曲线虽然能显著区分,但考虑到振幅与含油气有关,因此不宜采用振幅属性进行岩性分析;

3) 砂岩层和泥岩层的频率曲线存在明显差异,且频率属性对油气不敏感,因此本地区地震频率属性可用于岩性分析;

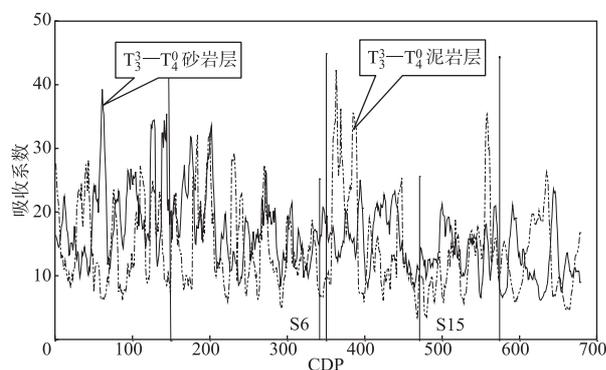


图 1 S15 井- S6 连井线砂泥岩吸收系数曲线

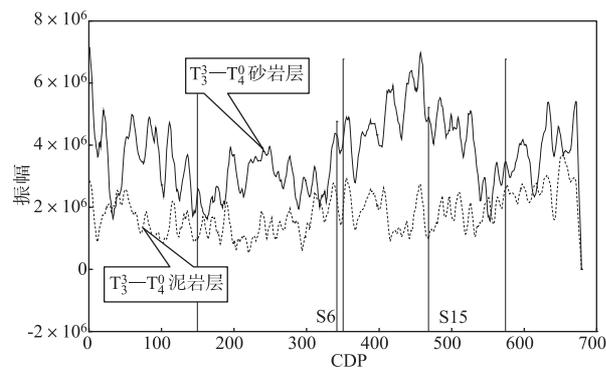


图 2 S15 井- S6 连井线砂泥岩振幅曲线

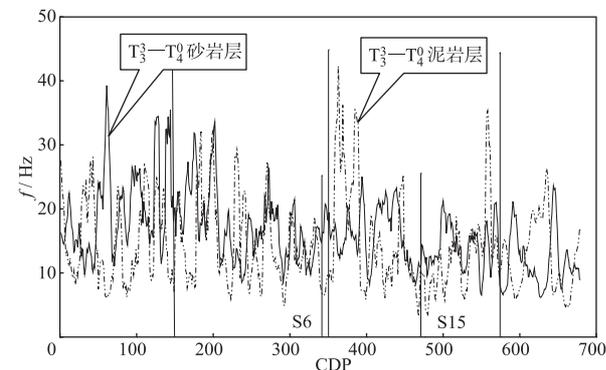


图 3 S15 井- S6 连井线砂泥岩频率曲线

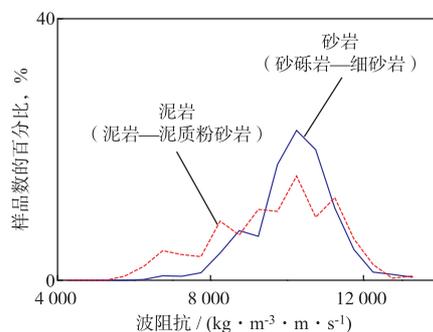


图 4 卡普沙良群底块砂岩波阻抗分布曲线

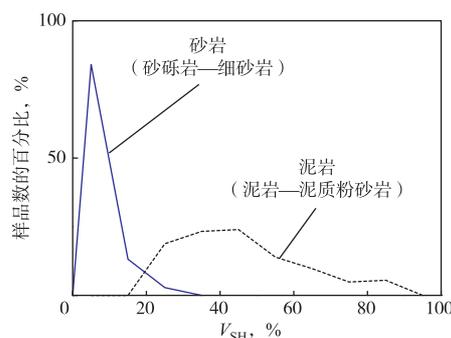


图 5 卡普沙良群底块砂岩泥质含量分布曲线

4) 砂岩与泥岩夹层的波阻抗分布范围分别是  $8\ 000\sim 12\ 000\ (\text{kg}/\text{m}^3)\cdot(\text{m}/\text{s})$  和  $6\ 500\sim 12\ 000\ (\text{kg}/\text{m}^3)\cdot(\text{m}/\text{s})$ ,泥质含量分布范围分别为  $0\sim 15\%$  和  $15\%\sim 90\%$ 。显然,波阻抗不能用来区分砂岩层中的泥岩夹层,但利用泥质含量可将二者完全分开。对泥质含量数据体进行定量解释,可获得砂体的真实厚度。

### 3 波阻抗及储层物性参数反演

#### 3.1 三维波阻抗反演

针对目的层进行了基于模型的地震、测井数据波阻抗联合反演,即在地质模型、地震特征的约束下,通过合成记录与实际地震道反复迭代分析,不断调整井旁道反演的波阻抗模型,当二者最佳匹配(残差最小)时,对应的波阻抗即为波阻抗反演结果<sup>[2]</sup>。图 6 为卡普沙良群-三叠系和苏维依组波阻抗反演结果。

#### 3.2 储层物性参数反演

本区储层物性参数反演主要是指利用测井泥质含量曲线(经过井校正)进行泥质含量体的反演。方法是:在同一地质模型层内,以相邻道相关性原理为基础,进行测井参数外推,在地震记录道上提取能反映地下地质体空间变化的有用信息,将其与地质模型结合起来控制反演测井参数的异常及横向变化<sup>[3]</sup>。图 7 是卡普沙良群-三叠系泥质含量反演结果。

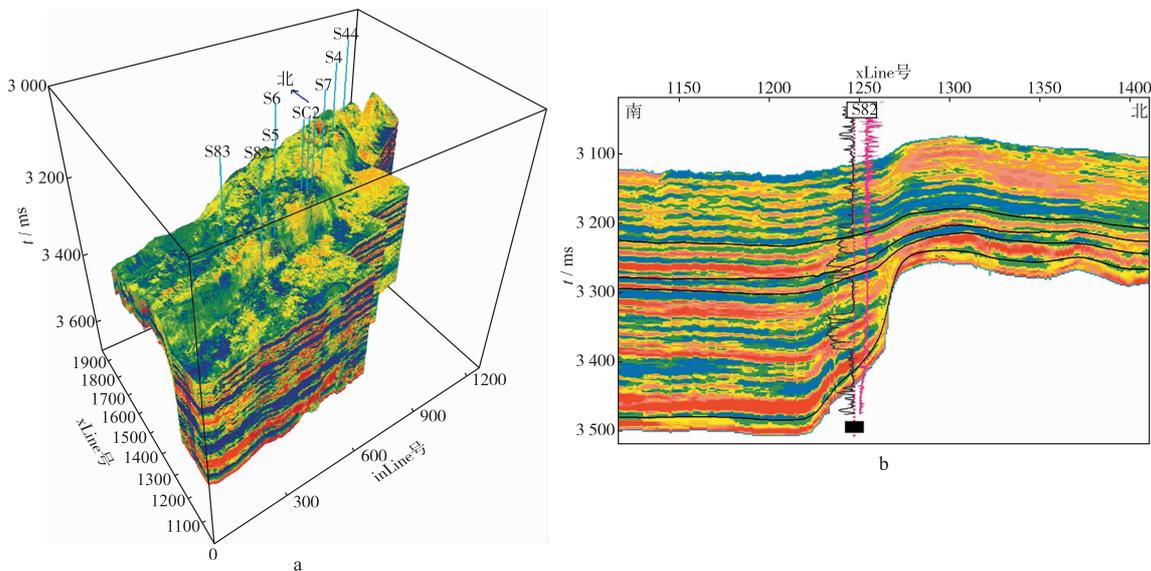


图 6 卡普沙良群-三叠系和苏维依组波阻抗反演结果立体(a)和剖面(b)显示

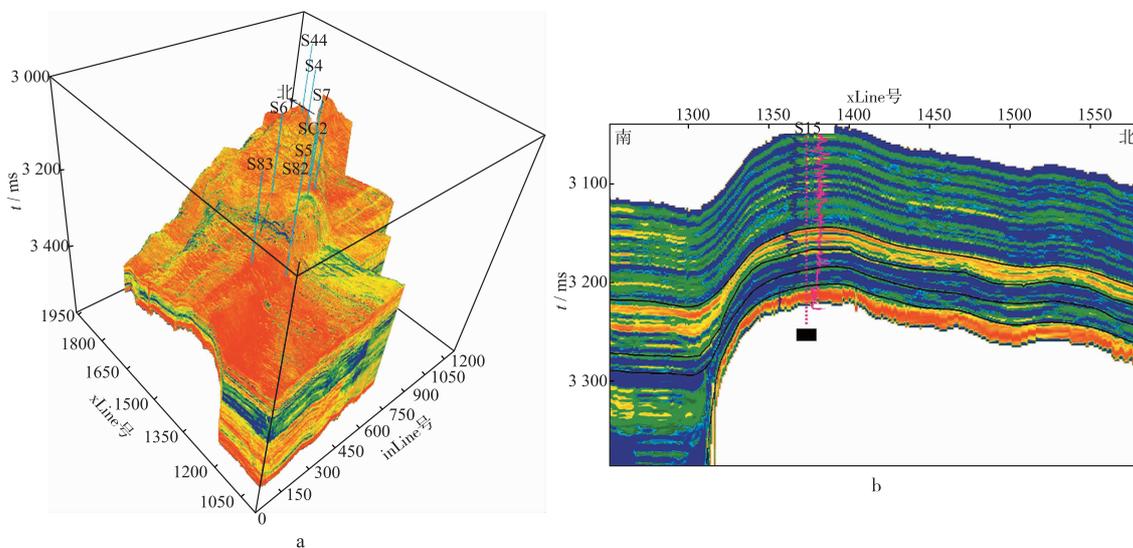


图 7 卡普沙良群-三叠系泥质含量反演结果立体(a)和剖面(b)显示

## 4 卡普沙良群底块砂岩储层综合解释与描述

### 4.1 储层物性解释模型

#### 4.1.1 孔隙度解释模型

利用岩心资料,对砂岩孔隙度进行波阻抗与泥质含量的二元回归,其表达式如下:

$$\varphi = 33.5736 - 0.165886V_{SH} - 0.00199398Z$$

样品数为 151 个,相关系数为 0.79。据此可反演得到卡普沙良群底块砂岩孔隙度数据体。

#### 4.1.2 渗透率解释模型

利用岩心孔隙度与渗透率进行回归分析,可见二者之间有良好的对应关系(图 8),相关系数可达

0.788。其表达式为

$$k = 0.013131\exp(0.544634\varphi)$$

据此可反演出卡普沙良群底块砂岩渗透率体。

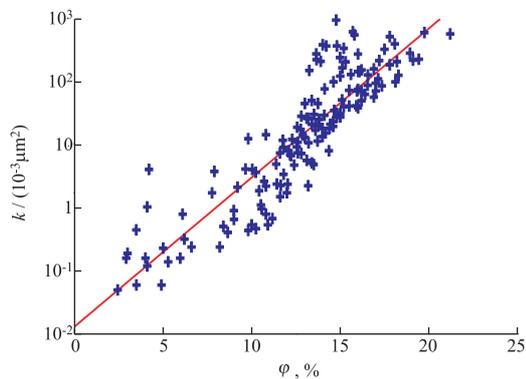


图 8 卡普沙良群底块砂岩孔隙度与渗透率交会分析

### 4.2 地震属性的平面展布特征及岩性横向变化趋势分析

根据地震层间瞬时频率和地震相展布特征, 经过钻井标定, 开展了卡普沙良群底块砂岩储层段的岩性横向变化趋势分析。

卡普沙良群底块砂岩层的层间瞬时频率平面图(图 9a)表现为近东西向的两个区块, 分界线位于 S6 井和 YK1 井—S7 井中间, 呈近南北向展布, 东部区块为高频区, 西部区块为低频区。高频区内 S7 井和 S4 井的泥岩夹层多, 砂地比(砂层厚度与地层厚度的比值)为 0.79~0.84; 而低频区

的 S5 井和 S83 井泥岩夹层较少, 砂地比高, 可达 0.92。

地震属性特征反映了砂岩层岩性的变化: 高频区砂层的泥岩夹层较多, 可能是处于辫状河三角洲平原亚相沉积区域, 河道迁移较快, 河道相砂与河道间泥岩互层所致; 而低频区的砂层泥岩夹层较少, 可能是处在三角洲前缘亚相的沉积区域, 水下分流河道砂、河口砂坝砂、滩砂相砂互相叠置, 泥岩层较少的缘故。卡普沙良群底块砂岩层的地震相图也反映了同样的地震属性平面变化特征和岩性变化趋势(图 9b)。

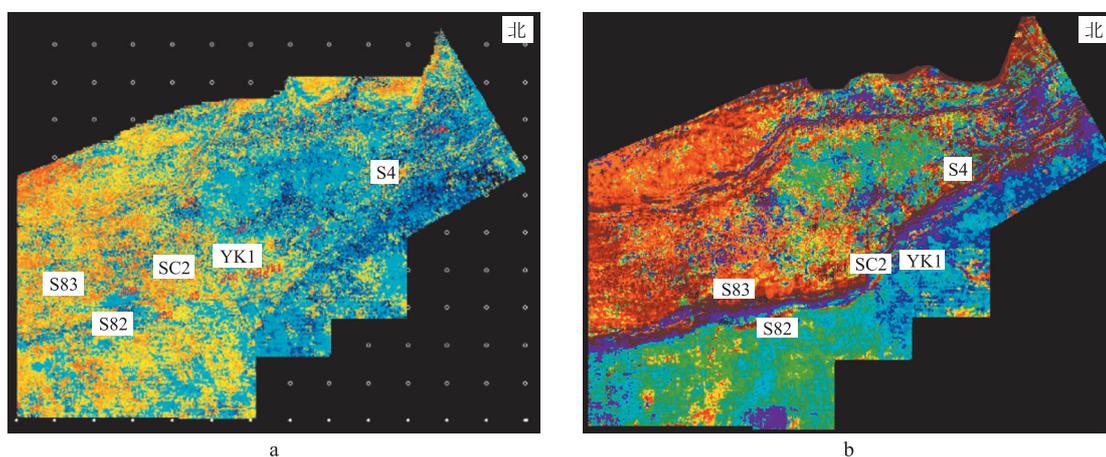


图 9 白垩系卡普沙良群底块砂岩层瞬时频率(a)和地震相(b)

### 4.3 储层纵横向变化特征

#### 4.3.1 储层展布特征

卡普沙良群底块砂岩下气层厚度变化范围 8.2~70.5 m, 平均 35.2 m, 较上气层明显增厚(图 10a)。轮台断裂将其划分为南、北 2 个区域, 南厚北薄。在轮台断裂下盘区域, 下气层增加了一套超覆在侏罗系地层上的砂岩, 厚度约比北部增加 20~30 m, 但南北两个区域同样都有东北薄、西南

厚的特点。

卡普沙良群底块砂岩上气层分布较为广泛(图 10b), 仅在工区东北角局部缺失。钻井砂层厚度最小 3.9 m, 最大可达 28.4 m, 平均 19.3 m。S7 井以东地区砂层较薄, 一般小于 12 m, 以西区域砂层较厚, 平均为 21.4 m, 明显有东薄西厚的特点。砂体相对较厚的区块一般呈近东西向展布, 结合沉积相研究成果, 应是主河道砂体。

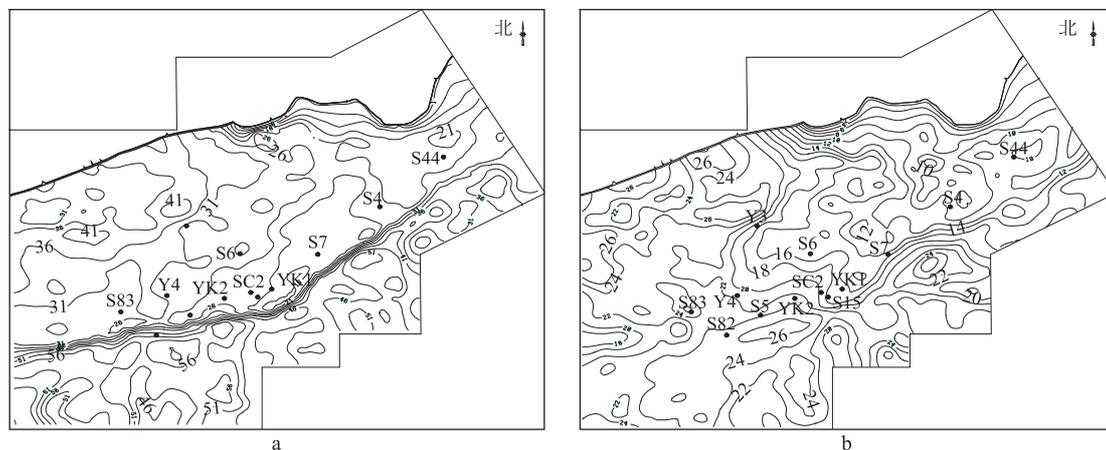


图 10 卡普沙良群底块砂岩下(a)上(b)气层砂岩厚度等值线

#### 4.3.2 储层物性特征

卡普沙良群底块砂岩下气层孔隙度 9.5%~18%, 平均 13.3%, 渗透率  $(2.2 \sim 330.3) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $20.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 为中等偏差储集层(图 11), 均表现出东北物性差, 西南物性好的特点。

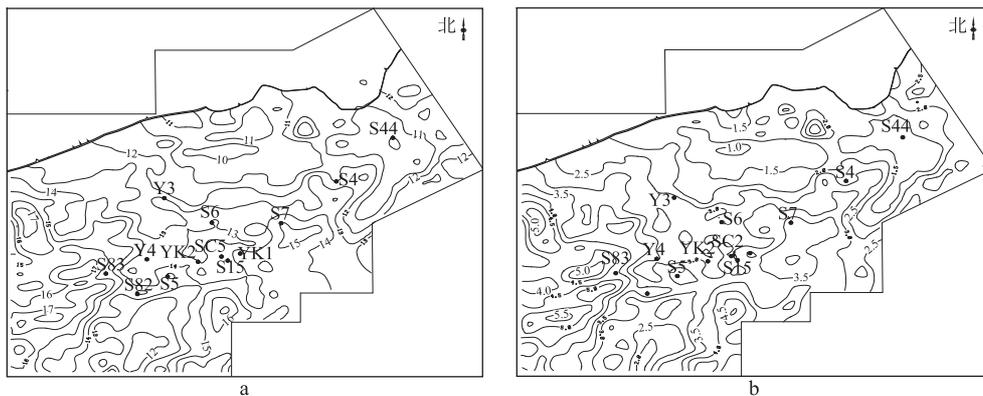


图 11 卡普沙良群底块砂岩下气层砂岩孔隙度(a)和渗透率(b)等值线

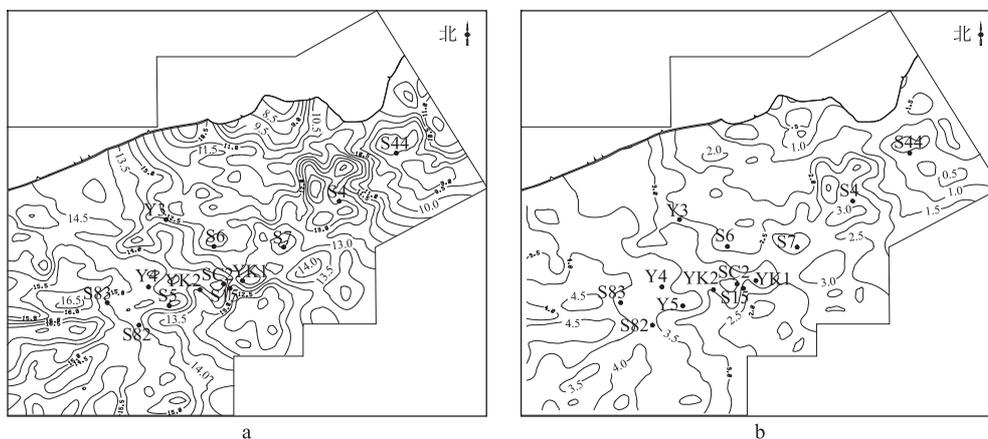


图 12 卡普沙良群底块砂岩上气层砂岩孔隙度(a)和渗透率(b)等值线

卡普沙良群底块砂岩上、下气层东北物性差、西南物性好的变化趋势与沉积相的展布特征相一致, 说明沉积环境对物性有明显的控制作用。同时, 三角洲平原相的砂岩中泥质等杂基含量较高(S44 井为 5%~15%), 白云母化等成岩作用增强, 有可能是东北部物性差的另一个主要原因。

## 5 油气预测<sup>[4~7]</sup>

本区油气检测主要采用地震属性提取技术, 首先针对目的层进行精细的构造解释; 然后沿解释的层位或层间提取各种地震属性, 如最大振幅、最小振幅、振幅变化率、能量、频率等; 最后依据所提取属性的异常现象及各种属性与油气的关系, 分析检测储层的含油气性。

上气层物性亦同下气层一样, 呈东北物性差, 向西南物性变好的趋势, 如图 12 所示。孔隙度值变化范围为 8%~17%, 平均为 13.2%; 渗透率范围为  $(0.1 \sim 148.4) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均为  $18.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 亦为中等偏差储层。

### 5.1 油气敏感性分析

储层含油气时, 会造成地震振幅、频率、吸收系数等参数的变化<sup>[5]</sup>。本区 S6 井为水井, S15 井为高产油气井, 根据这 2 口井的特点, 从雅克拉三维地震资料中抽取过 S6 井和 S15 井的连井测线, 沿白垩系卡普沙良群底块砂岩提取了 21 种地震属性。通过反复试验处理参数, 最终确定利用频率、吸收系数、能量 3 种地震属性, 结合工区地质、钻井的油气解释成果等资料, 进行了油气敏感性分析(图 13~图 15):

1) 在含水与含气区间, 卡普沙良群底块砂岩层频率曲线的变化不明显, 说明频率属性对油气不敏感;

2) 在含水与含气区间, 卡普沙良群底块砂岩层吸收系数曲线的变化也不明显, 这可能是由于油藏埋藏深(5 000 m), 地震波自身的衰减明显大于油藏

对地震波的衰减,因此,吸收系数对油气也不敏感;

3) 在含水与含气区间,卡普沙良群底块砂岩层能量曲线的差异明显,含油气后振幅增强,表明地震的能量属性对油气敏感。

以上分析结果表明,利用地震的能量属性可以对含油气异常区域进行预测。

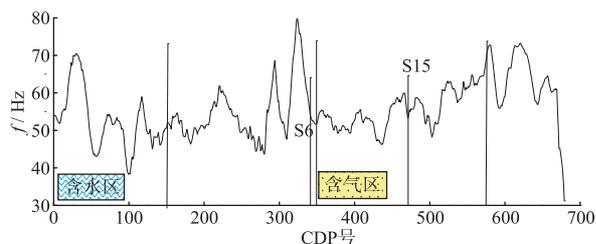


图 13 S6 井- S15 井连井线卡普沙良群底块砂岩层地震频率曲线

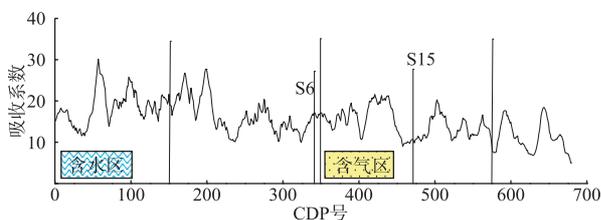


图 14 S6 井- S15 井连井线卡普沙良群底块砂岩层地震吸收系数曲线

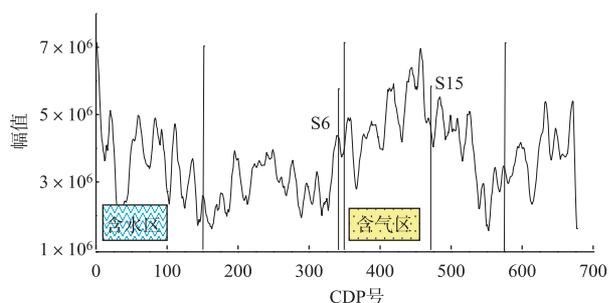


图 15 S6 井- S15 井连井线卡普沙良群底块砂岩层地震能量曲线

### 5.2 含油气储层的地震响应特征

根据白垩系卡普沙良群底块砂岩的地震振幅属性与含油气性关系较为密切这一结论,从三维地震资料中沿层提取了振幅属性,如图 16 所示。由图可见工区内有一个明显的强振幅区,依据含油气储层与振幅的关系,可以将这个区域确定为有利的含油气异常区。

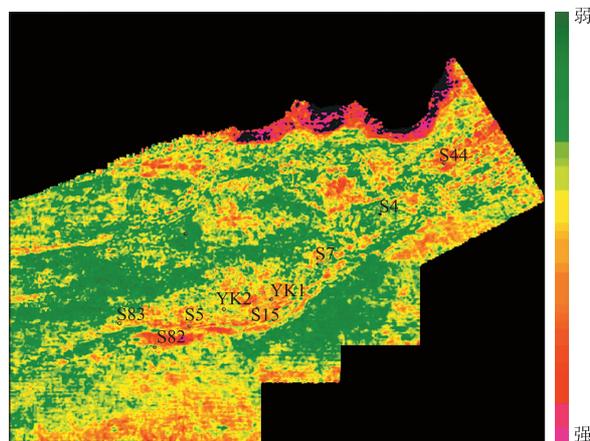


图 16 卡普沙良群底块砂岩地震振幅属性油气检测异常范围

## 6 结束语

在大量试验的基础上,本文总结建立了以地震属性提取技术(振幅、频率)、测井参数反演技术等为主的碎屑岩储层预测技术,预测了雅克拉地区卡普沙良群底块砂岩主要储层分布范围,为该区储量计算、油藏建模提供了基础数据。利用地震以及储层预测成果资料,进行了白垩系卡普沙良群底块砂岩油气检测,指出了雅克拉构造的含油气范围,为该区油田开发井的部署提供了科学依据。

### 参 考 文 献

- 1 李明,李守林,赵一民.塔里木盆地某地区碳酸盐岩裂缝储层预测研究[J].石油物探,2000,39(2):24~35
- 2 李宗杰,王胜泉.地震属性参数在塔河油田储层含油气性预测中的应用[J].石油物探,2004,43(5):453~457
- 3 王玉梅,季玉新,李东波.应用地震属性技术预测 A 地区储层[J].石油物探,2001,40(4):69~76
- 4 王成彬.全三维储层解释技术及其应用[J].石油物探,2003,42(4):480~485
- 5 王勤聪,李宗杰,孙雯.塔河油田碳酸盐岩储集层地球物理识别模式[J].新疆石油地质,2002,23(5):400~401
- 6 刘丽.地震多参数在塔河油田储层含油气性预测中的应用[J].勘探地球物理进展,2005,28(4):290~293
- 7 薛诗佳.几种参数在储层横向预测中的应用探讨[J].勘探地球物理进展,2004,27(6):428~431

(编辑:戴春秋)