

# 东濮凹陷文留油田盐岩地震反射特征 及相关油藏类型

孙思敏<sup>1</sup>, 梁德富<sup>2</sup>, 黄述旺<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国石油东方地球物理公司, 河北 涿州 072751)

**摘要:** 利用地震资料, 结合地质、钻井资料, 对东濮凹陷文留地区盐岩的物理性质、地震反射特征、几何形态、与盐岩相关油气藏的类型进行了研究。发现盐岩具有密度恒定特性(低密度)和速度稳定特性(高速度), 基本不随深度变化。盐岩与砂泥岩体之间有较强的波阻抗差, 因而其界面反射特征明显。但盐岩的流动特性造成盐岩体有多种赋存状态, 它们的地震反射特征各不相同, 这是盐岩解释的主要困难。利用地震资料识别归纳出盐层(体)解释判定模式, 认为本区盐岩主要有 3 种赋存状态: 原生板状盐岩、后生变形盐岩和次生盐墙。盐岩流动变形及相变形成了 3 类油气藏: 盐上坳式背斜油气藏、盐侧向封堵油气藏和盐下盐背斜油气藏。

**关键词:** 东濮凹陷; 文留油田; 盐岩; 地震反射特征; 油气藏

**中图分类号:** P631.4; P618.130.2 **文献标识码:** A

东濮凹陷位于渤海湾盆地西南端, 呈北北东走向, 是一个以中、新生界为主的断陷, 发育了巨厚的古近系沉积, 最大沉积厚度超过 7000m, 凹陷内盐岩沉积丰富, 最大累积厚度超过 2000m<sup>[1~2]</sup>。文留地区(图 1)位于东濮凹陷北部, 包括文留构造背斜带及与其相邻的东西洼陷斜坡部位, 面积约 420km<sup>2</sup>, 主要目的层古近系内发育有沙三<sup>4</sup>(Es<sub>3</sub><sup>4</sup>)、沙三<sup>2</sup>(Es<sub>3</sub><sup>2</sup>)、沙一(Es<sub>1</sub>) 3 套盐层, 累积厚度达 1500m。盐层为本区油气富集提供了极好的盖层条件, 形成多套生、储、盖组合, 由于盐岩的遮挡和相变, 形成了多种类型的油气藏。勘探实践证明: 区内油气富集与盐岩的发育及分布有着密切的关系。据统计, 本区已发现的 80% 的油气储量都与盐岩有关。因此, 在地震剖面上识别、总结盐岩的反射特征, 查明盐岩层的赋存状态, 寻找与盐相关的构造, 分析盐构造与油气富集的关系, 对深化本区油气勘探、寻找新的油气藏有着重要的理论价值和实际意义。

## 1 盐岩的地质特征

东濮凹陷古近系厚度巨大, 盐岩沉积在垂向上分布广泛, 从沙四段到沙一段都有发育, 共分四套盐层, 即 Es<sub>3</sub><sup>4</sup>、Es<sub>3</sub><sup>3</sup>、Es<sub>3</sub><sup>2</sup> 和 Es<sub>1</sub> 四套盐岩沉积, 对应于两次湖盆最大的扩张期<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2007-10-30

作者简介: 孙思敏 (1967-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为构造地质与油田开发地质。E-mail: sun62446@163.com.

从平面上看，盐岩沉积分布于凹陷北部，主要分布于文留、濮城和卫城一带。四套盐层的分布范围、沉积中心和厚度各不相同，即使对于同一套盐层，其沉积中心也不稳定，在平面上具有迁移性。在文留地区只发育  $E_{s3}^4$ 、 $E_{s3}^2$  和  $E_{s1}$  三套盐岩层。

本区含盐层系是石盐、石膏与暗色泥（页）岩或钙质页岩及油页岩互层组成的多个盐韵律，最多可达 60 个以上。纯石盐单层厚度一般 10 ~ 80cm，夹水平纹理的泥质薄层，盐与泥之间未见冲刷或暴露的痕迹。石盐晶体一般呈较清洁的云雾状，大小 8 ~ 12nm。石膏一般与灰黑色泥岩呈薄互层状产出，具黑白相间的斑马状条纹，厚度薄，一般小于 1cm，晶体为不透明的粉末状、絮状、雪花状，具挤压变形构造。与盐岩互层的泥岩中含有大量反映深湖一半深湖的介形类化石和分散状的黄铁矿晶体。盐层在红色地层中很少出现，局部见于沙二上段地层中。盐岩沉积与砂泥沉积在平面上具有明显的分带性，从湖心向岸，依次出现盐岩沉积区—盐岩与泥岩沉积区—砂泥岩沉积区，呈同心环状分布。这种横向上的相变与垂向相变、构造结合易于形成各种圈闭<sup>[4~6]</sup>。

2 盐岩的地震特征

2.1 盐岩的物理性质

- (1) 密度恒定特性：盐岩的密度为  $2.2\text{g/cm}^3$ ，具有低密度的特征，不随埋藏深度的变化而变化，而砂泥岩层埋深超过 600m 时，其密度即超过了盐岩。
- (2) 速度稳定特性：盐岩内地震波速度基本稳定在  $4000 \sim 4500\text{m/s}$  之间（图 2），随埋藏深度的变化不大。
- (3) 流动变形特性：随着埋深的增加，压力与温度升高，盐岩塑性增强，盐岩在高温、高压作用下可变成塑性体，由于密度倒转，在上覆地层不均衡的重压下，塑性盐体向上倾向方向流动，造成盐体有多种后生形态，在地震剖面上常有明显外形可以识别。

2.2 盐岩体的地震识别

本区盐岩是由石盐、膏盐夹膏泥岩互层组成的，盐岩和膏泥岩的含量一般在 50% 以上，盐岩的塑性流动还可以形成各种盐体。盐岩的特殊物理性质决定了盐岩与泥岩、砂岩的波阻抗差较大，盐层（体）与围岩的界面会形成强反射，在地震剖面上具有独特的反射特征。

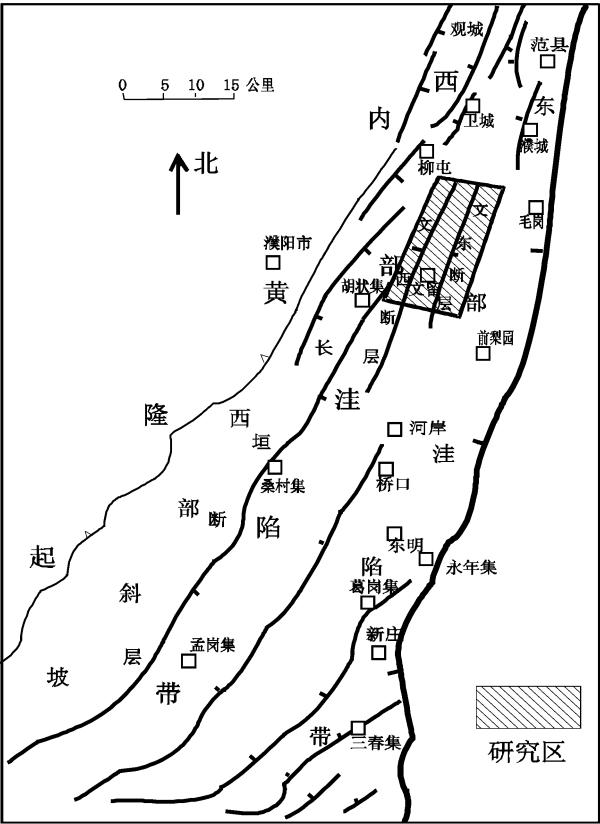


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Map showing the position of the study area

(1) 振幅特征

振幅信息是地震数据的重要信息之一，其强弱变化可以反映地层岩性的变化。本区盐岩层一般与泥岩互层，二者波阻抗差异很大，盐岩的反射振幅一般较强，其强度仅次于火成岩。在地震剖面上均能见到盐岩的强振幅反射，在瞬时振幅剖面上更显示出高反射强度（85~89dB），与围岩反差特别大。由于本区没有火成岩，因此，通过钻井标定发现，在本区古近系中，反射振幅最强的就是盐岩地层。

(2) 相位特征

相位信息既可反映两种不同岩性韵律变化的特征，也可反映两种岩性的接触关系。本区盐岩层在地震剖面上表现为2个或2个以上能连续对比追踪的相位波组，在瞬时相位剖面上可看出盐岩层的成层性好、连续性好。砂泥岩层段的反射连续性变化较大，而火成岩一般延伸距离较短。

(3) 频率特征

频率在横向上的变化反映岩相的变化。本区盐岩地层的频率低于砂泥岩地层中偏砂相地层，而高于偏泥相地层。在瞬时频率剖面上变化范围在16~23Hz之间，主频范围在18~21Hz之间。

(4) 速度特征

通过岩性-速度量板可知，本区速度与地层岩性之间有对应关系。在3300m以上盐岩速度高于砂泥岩地层，含盐地层的速度随含盐量的增加而增大。在层速度剖面上，盐体表现为高速，含盐层则表现为中偏高的速度（图2）。

2.3 盐岩体的类型与地震反射特征

盐岩在沉积时受水体深浅及物源分布的控制，还受温度、压力升高及后期构造运动的影响在地下变形流动，从而形成一系列盐岩构造及相关的油气藏。因此，要正确认识盐岩体的类型与地震反射特征，首先必须从沉积、构造的角度综合考虑，确定盐体的存在和形态；然后在熟练掌握盐层地震特征的基础上，通过综合分析和科学判断，并用钻井资料验证，确定出盐体解释的判定模式；最后通过从已知到未知，对全区盐层进行解释，查明其分布规律和赋存状态。本区盐岩层有多种赋存状态，按其成因可分成以下3种主要类型。

(1) 原生板状盐岩构造

此种类型的盐构造是原始沉积造成的，在地震剖面上具有板状外形，与上下地层呈平行整合接触。盐岩层内由多个连续至较连续的平行、亚平行结构和强至中强振幅的相位组成（图3-A），它在水平等时切片上表现为一组较连续、能量较强的相位；在瞬时相位剖面上表现出成层性好、连续性好的特征；在瞬时频率剖面上表现为频率偏高的特征。

由于受到区域构造应力的作用，该类盐层常常表现出不均衡的升降，产生区域性倾斜，其上倾方向多以断层与不同岩性的围岩接触，下倾方向一侧受沉积的影响发生相变，与围岩呈指状接触（图3-B）。这类盐岩构造一般分布在文留背斜构造带两侧的前梨园与海通集洼陷的斜坡部位。

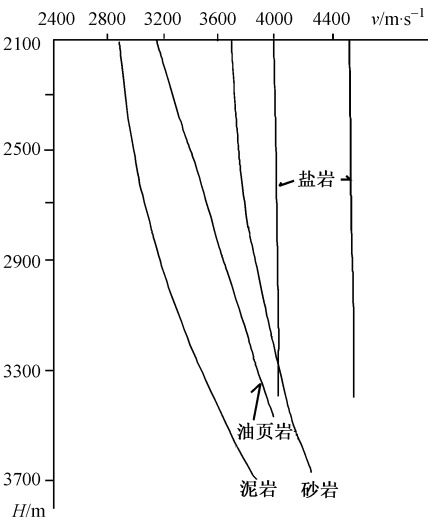


图2 文留油田不同岩性速度-深度变化特征

Fig.2 Velocity versus depth of different lithologies in the Wenliu oilfield

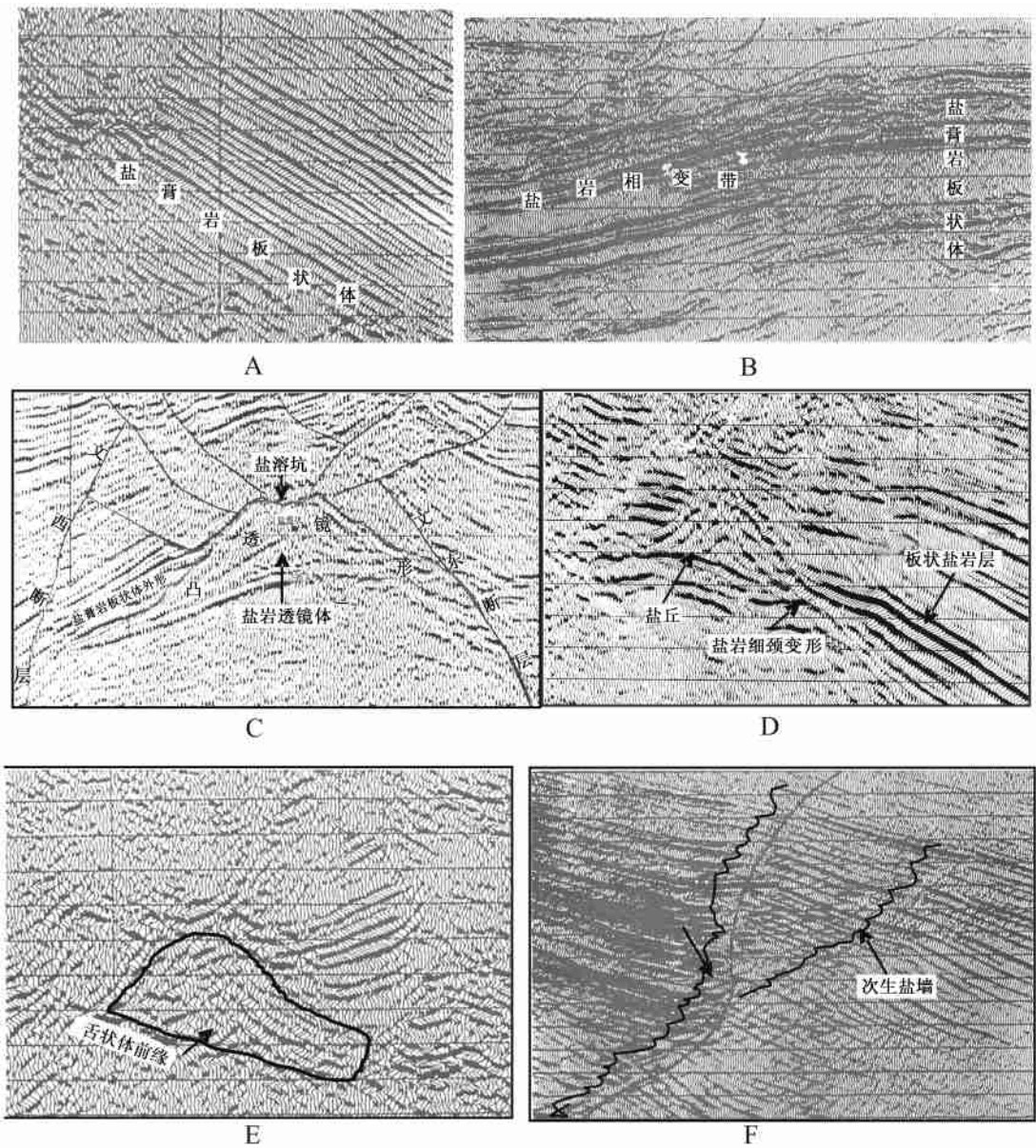


图 3 东濮凹陷文留油田盐岩地震反射特征

Fig 3 Seismic reflection feature of halite in the Dongpu depression of the Wenliu oilfield

(2) 后生变形盐岩构造

该类盐岩构造为盐岩沉积后流动的产物，具有多种外形，但无论其形态如何，盐岩外形轮廓都较清楚，多表现为刺穿围岩<sup>[7~8]</sup>，并使围岩中连续性好的波组中断。有时也表现为围岩反射超覆于盐岩之上，此时上覆地层常发育有莲花状正断层并伴有披覆构造。与原生板状盐岩层相比，这种变形后的盐岩构造在地震剖面上多表现为内部杂乱、反射轴短而强的特征；在瞬时振幅剖面上，虽然表现为强振幅，但成层性变差；在瞬时相位剖面上，可看到围岩明显地超覆在盐岩之上；在瞬时频率剖面上，其频率有所降低；在层速度剖面上速度有所升高。这类盐岩变形构造主要分布在文留背斜构造带的主体部位，按其形态又可分细为 3 种

类型。

①盐背斜：该种构造的几何外形为背斜，剖面特征与正常地层形成的背斜不太相同，典型形态为核部厚、翼部薄的凸透镜状（图 3-C），上覆地层多为莲花状堑式断层，断层发育，围岩超覆于岩体之上。盐体内为杂乱反射夹短而强的反射。在水平切片上，岩体轮廓为较强的反射，内部为杂乱的弱相位夹短而强的相位。一般分布在文留北部中央地垒块上，受基底隆起的影响，断层使它与洼陷内的板状母盐岩脱离。

②盐丘：该盐岩构造的几何形态似钟形或丘状，剖面特征为顶部呈圆弧的钟形或锥形，明显刺穿上覆地层，盐丘内部为杂乱反射，偶有塔式叠层反射出现，其顶面构造形态在平面上呈小背斜或穹隆，上覆地层的较好反射同相轴中断于盐丘上。盐丘一般分布在文留南部中央地垒带或单斜的上倾方向，它与板状盐岩体由细颈变形盐岩相连（图 3-D）。

③盐岩楔状体：该盐岩构造的几何外形呈楔状挤入砂泥岩地层中。剖面上呈舌状，上覆地层受挤压有上拱的现象。内部反射杂乱，偶有短而强的同相轴。它是整个低洼区盐体向上倾方向流动挤入的末端，因而也称它为“舌状体前缘”（图 3-E）。

### （3）次生盐墙构造

该盐岩构造的空间几何形态似一堵墙，在剖面上看为侵入式，与围岩的接触面参差不平（图 3-F）。它是由盐岩沿断层面通道上升后重新结晶而形成的。这种盐岩体一般分布在洼陷斜坡部位的断层面附近。

## 3 与盐岩相关的油气藏的类型

盐岩层是理想的盖层和封堵层，经过后期变形后，盐岩层形成了形态各异的盐构造，与生油层、储集层配置在一起，形成了多种类型的油气藏<sup>[9-11]</sup>。根据油气藏形成条件和勘探实践分析，本区形成了下列油气藏类型（图 4）。

### （1）盐上堑式背斜油气藏

油藏形成与盐背斜有关，由于盐体上拱使上覆地层产生背斜构造并产生堑式断层，背斜两翼延伸到两侧洼陷处，油气集中到顶部，常形成以背斜为背景的规模很大的系列断块油气藏（图 4-A）。此类油气藏在文留地垒带顶部多见，如文 25 井沙二下油藏、文 10 井沙三<sup>3</sup>油藏、文 122 井和文 224 井东营组油藏就属此类。

### （2）盐侧向封堵油气藏

根据成因可分为 4 种亚类型：

①断层遮挡式油气藏：该类油气藏多形成于文东反向屋脊状断块带，储层上倾方向通过断面被盐岩遮挡。如濮深 7 井沙四段油气藏，文 201 井和前参 2 井沙四段气藏均属此类。在文西顺向屋脊带也有这种油气藏存在，如文 19 井沙三<sup>3</sup>油藏。

②盐丘遮挡（非断层侧向遮挡）油气藏：由单斜地层在上倾方向上被盐丘封堵所形成。按盐丘与生、储油层的配置关系又可分为两种，即断鼻盐丘油气藏和三向盐丘封堵单斜油气藏。前者（图 4-C-①）断层的一侧是鼻状构造或半背斜构造，另一侧被盐丘堵截，这种油气藏极易形成高压油气藏，多分布在文东地区徐楼反向正断层上升盘，如文 203 井沙三<sup>3</sup>高压油气藏。后者是指单斜地层在上倾方向及两侧被盐丘封堵的情况下形成的槽状油藏（图 4-C-②），这种油气藏分布在文南中央地垒带上。

③盐相变遮挡岩性油气藏：沙三<sup>2</sup>、沙三<sup>4</sup>盐岩板状体向下倾方向相变成砂岩、泥岩、页

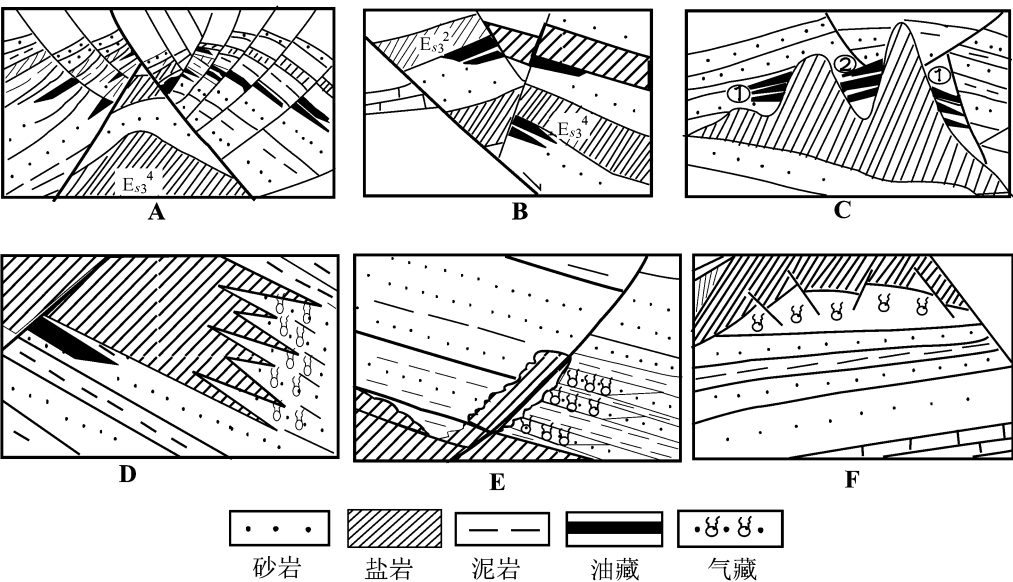


图 4 与盐岩相关的油气藏的类型  
Fig 4 Hydrocarbon reservoir types relating to halite

岩，可在相变线一带形成良好的盐封堵油气藏（图 4D）。

④盐墙遮挡油气藏：在生、储、盖条件较好的单斜地层中，如果有断层或裂缝发生，并向下延伸至盐岩地层中，则盐岩地层中的高浓度、高压盐水顺断层或裂缝上升形成盐墙，可对单斜地层中下倾方向的油气起遮挡作用而形成油气藏（图 4-E）。

（3）盐下盐背斜油气藏

这种油气藏是以盐背斜作盖层而形成的，一般作为盐背斜系列构造的一部分（图 4F），如文北区块文 23 井的沙四段气藏。

4 结语

盐岩作为一种特殊的沉积层具有独特的物理性质，除了原始沉积的层状盐岩外，还可以发生流动变形，形成各种规模、各种形态的盐岩体，它们与沉积、构造等条件相配合可形成多种类型的油气圈闭。盐岩层（体）在地震剖面上具有独特的反射特征。目前本区发现的各种圈闭基本都与大型盐岩体有关，研究盐岩层（体）的反射特征，总结盐体的类型，对于指导识别更多的小型或复杂的盐岩体以寻找小型圈闭，从而深化本区油气勘探具有重要意义。

参 考 文 献

[ 1 ] 中国石油学会石油地质委员会. 碎屑岩沉积相研究 [ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1988: 272 ~ 286.

[ 2 ] 陆荣生, 赵春元, 陈树文, 等. 中国石油地质志 (卷 7, 中原油田) [ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 35 ~ 43.

[ 3 ] 纪友亮, 冯建辉, 王声朗, 等. 东濮凹陷沙三段高频湖平面变化及低位砂体预测 [ J ]. 高校地质学报, 2003, 9 (1): 99 ~ 110.

[ 4 ] 梁宏斌, 朱光有, 张水昌, 等. 冀中坳陷晋县凹陷下第三系断陷湖盆的演化与烃源岩的形成 [ J ]. 石油实验地质, 2005, 27 (6): 583 ~ 586.

- [ 5 ] 屈红军, 李文厚, 苗建宇. 东濮凹陷濮卫洼陷盐岩发育规律及成因探讨 [ J ]. 中国地质, 2003, 30 (3): 309 ~ 314.
- [ 6 ] 向树安, 凌庆珍, 涂水江, 等. 江汉油田盐间非砂岩储层的特征及裂缝的成因 [ J ]. 地质力学学报, 2006, 12 (4): 462 ~ 468.
- [ 7 ] 闫东育, 张同兴, 黄国平. 东濮凹陷沙三段盐丘浅析 [ J ]. 石油勘探与开发, 2004, 28 (6): 99 ~ 100.
- [ 8 ] 云金表, 赵利华. 东营凹陷中央隆起带构造特征、沙箱模拟与形成机制研究 [ J ]. 地质力学学报, 2003, 9 (2): 113 ~ 121.
- [ 9 ] 王彬, 史军. 东濮凹陷沙三段盐岩层对油气成藏的影响 [ J ]. 西部探矿工程, 2005 (4): 67 ~ 68.
- [ 10 ] 刘晓峰, 解习农. 与盐构造相关的流体流动和油气运聚 [ J ]. 地学前缘, 2004, 8 (4): 343 ~ 348.
- [ 11 ] 贾承造, 赵文智, 魏国齐. 盐构造与油气勘探 [ J ]. 石油勘探与开发, 2003, 30 (2): 17 ~ 19.

## SEISMIC REFLECTION CHARACTERISTICS OF HALITE AND RELATED HYDROCARBON ACCUMULATION TYPES OF THE WENLIU OILFIELD IN THE DONGPU SUBBASIN

SUN Si-min<sup>1</sup>, LIANG De-fu<sup>2</sup>, HUANG Shu-wang<sup>1</sup>

(1. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

*2. Bureau of Geophysical Prospecting, CNPC, Zhuzhou 072751, Hebei, China)*

**Abstract:** The physical properties, seismic reflection features, geometry and halite-related hydrocarbon accumulation types in the Wenliu oilfield of the Dongpu subbasin were studied by using seismic reflection data, combined with geological and drilling data. The studies show that halite is characterized by a constant low density and a high stable velocity, which in the main do not change with depth. The boundary between halite and arenaceous rocks show distinct reflection features because there is a strong impedance difference between them. However, due to the flow feature, halite has several modes of occurrence and their seismic reflection features are different, which makes it difficult to recognize halite. A discrimination model for halite beds (bodies) has been summarized by using seismic data. There are three main modes of occurrence for halite in the study area: primary platy halite, post-deformational halite and secondary salt wall. The flow deformation and facies change of halite formed three types of hydrocarbon accumulations, namely, graben-type anticlinal accumulations above salt, lateral salt-sealed accumulations and anticlinal accumulations below salt.

**Key words:** Dongpu subbasin; Wenliu oilfield; halite, seismic reflection characteristics; hydrocarbon accumulation