

# 盐相关盆地油气地质特征及其勘探认识 ——以红海盆地为例

张勇刚,吕福亮,范国章,王 彬,李 丽,李 东,邵大力,杨 姣  
( 中国石油杭州地质研究院 浙江 杭州 310023)

摘 要: 全球已发现的工业油气田中与盐系地层有关的约为 58% ,总结盐相关盆地油气地质特征及其勘探经验,为含盐盆地的油气发现具有重要的意义。通过对红海盆地的岩盐发育和分布规律研究、盆地生储盖特征分析及红海盆地实际勘探经验总结,认为含盐盆地具有以下特征: 含盐盆地盐系地层发育,岩盐因构造变形可形成多种类型的盐构造,油气勘探应以寻找各种盐构造油气藏为主; 含盐盆地盐下易形成高温高压,盐下储层主要为碳酸盐岩和砂岩,这种异常高压对储集层的储集性能是有利的,盐下应以储层类型和圈闭识别为主要勘探目标; 含盐盆地地质情况复杂,勘探工程难度大,需加强钻井工程研究; 含盐盆地盐下地震成像普遍较差,加强盐下地震处理技术研究,辨别盐下“假构造”,是盐盆勘探取得突破的关键。

关键词: 红海盆地; 含盐盆地; 盐构造; 构造变形; 高温高压; 划眼; 卡钻

中图分类号: P618. 13

文献标识码: A

文章编号: 1008 - 858X( 2012) 01 - 0009 - 07

## 引 言

世界上许多含盐盆地同时也是含油气区,据统计,全球含油气盆地和具远景的含油气盆地有 180 多个,其中 115 个盆地发现了工业油气田,而其中 58% 的油气田又与盐系地层有关,深水油气发现中与盐相关的盆地达到 75%<sup>[1]</sup>。

在全球探明油、气储量中,由含盐盆地控制的油、气储量分别占到 89% 和 80%<sup>[2]</sup>。在过去的 20 年中,因为许多产油盆地受岩盐形变影响,具有发育大型圈闭的潜力,全球对岩盐区已经进行了大量的研究,研究发现,含盐盆地的油气在生、储、盖、运、圈、保等方面明显受到盐的影响,借鉴国外含盐盆地的研究成果,总结分析盐相关盆地油气地质特征及其勘探经验(图 1),对于含盐盆地的油气勘探具有非常重要的意义。

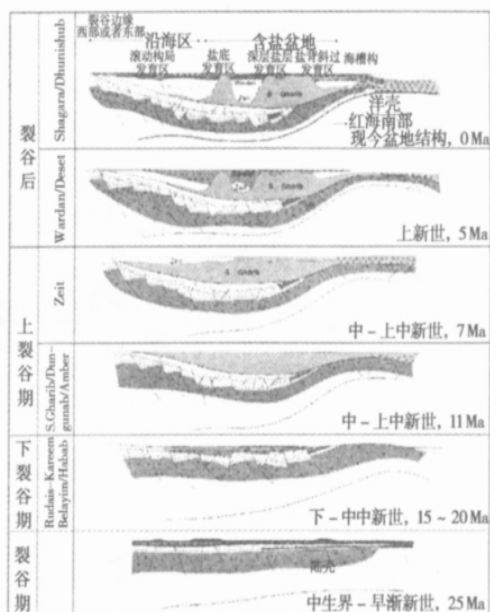


图 1 红海盆地构造—地层演化图

Fig. 1 Tectono-stratigraphic evolution of the Red Sea Basin( modified from EREX 2008)

收稿日期: 2011 - 08 - 15; 修回日期: 2011 - 12 - 09

作者简介: 张勇刚( 1977 - ) 男, 硕士, 工程师, 主要从事地震解释及地质综合研究。E - mail: zhangyg - hz@ petrochina. com. cn。

## 1 红海盆地油气地质特征

### 1.1 红海盆地概况

红海盆地位于非洲大陆与阿拉伯板块的交界处,介于欧亚板块之间,分布于埃及、苏丹、沙特阿拉伯、也门及厄立特里亚境内,南北长 1 700 km,东西宽 300 km(最宽处),属于新生的大洋裂谷盆地<sup>[3]</sup>。盆地区域构造演化分为 3 个阶段:前裂谷期(晚渐新世之前)、裂谷期(晚渐新世—中新世)、后裂谷期(上新世—现今),其中裂谷期控制了主要的沉积组合特征及分布,受构造作用及岩盐变形的影响,红海盆地在东西向上从海岸到洋中脊可以划分为 3 个带:滨海带、盐盆区和新生洋壳区,盐构造是红海盆地的主要特征之一(图 1)。滨海区和盐盆区都有钻井,滨海区的部分探井已经钻探到了盐下地层甚至基底,很多探井都获得了良好的油气显示,揭示了盆地的主要生储盖结构特征,为我们针对含盐盆地研究,制定一套合理的勘探思路提供了条件。

### 1.2 红海盆地岩盐分布特征

红海盆地中新世中、晚期,南北通道关闭,海平面下降,导致蒸发岩快速沉积,全区内普遍沉积岩盐和石膏层。上新世以后,上覆地层不平衡导致盐流动,岩盐控制了沉积和构造。岩盐在该区不同构造带,盐层的发育特征明显不同,在盆地的浅水区为碎屑岩带,以滨岸带、滚动背斜带和盐刺穿构造带为特征,盐层呈层状展布,厚度约 100~800 m,是主要的勘探区带;深水区以大规模盐丘发育为特征,盐层呈丘状展布,地层厚度约 1 000~4 500 m,目前勘探程度低,但为本区潜在的勘探目标区(图 2)。盐不仅具有较强的致密性,而且具有极强的可塑性,当具有足够的埋深和承受不平衡的巨大压力时就会发生可塑性流动,岩盐受上部地层改造明显。在近物源区以挤压外推盐体为主,在远物源区以充填沉积分割盐体为主。岩盐因构造变形可形成多种类型的盐构造,在盆地滨岸带,受多排滚动滑脱断裂的影响,主要盐构造类型为盐底辟和盐焊接;在盆地盐盆区,主要盐构造类型为盐墙和盐舌<sup>[4]</sup>(图 3)。

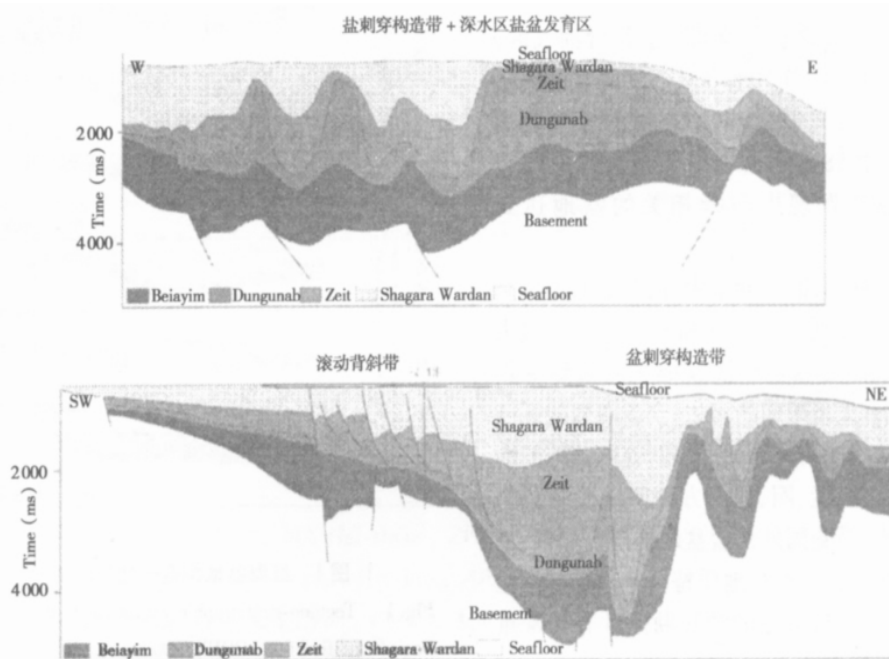


图 2 红海盆地中段西侧地层分布剖面图

Fig. 2 Stratigraphic distribution profiles in the western of the middle part Red Sea Basin

表 1 盐下 Rudeis 组地化指标(引自 EREX 2008)

Table 1 The geochemical exponents of Rudeis Fm in the pre-salt

井名	厚度/m	TOC/%		有机质类型	成熟阶段
		范围	平均		
Durwara - 2	75/393	0.4 ~ 2.1	1.24	Ⅱ	高成熟
Halaib - 1	160/163	0.8 ~ 1.5	1.11	Ⅱ	高成熟
J - 1	305	0.5 ~ 2.5		Ⅱ - Ⅲ	高成熟

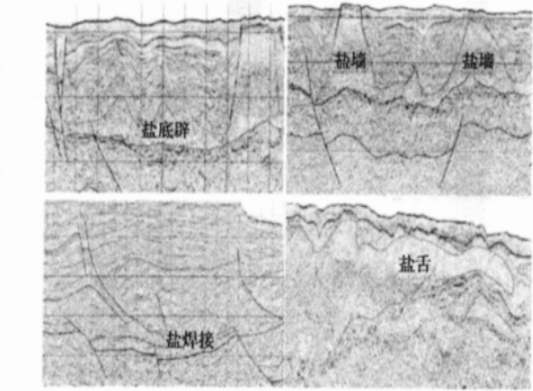


图 3 盐构造类型(盐底辟、盐焊接、盐墙、盐舌)

Fig. 3 Salt structural types( salt diapir ,salt weld ,salt wall and salt tongue)

1.3 红海盆地生储盖特征

红海盆地已钻井地层及油气显示分析 ,盆地主要发育两套烃源岩 ,主力烃源岩为裂谷早期的盐下 Rudeis 组深海泥岩(表 1) ,此外 Be-layim 和 Dungunab 组海相泥岩也是重要的生油岩(未证实) ;其次为盐上的 Zeit 组下部三角洲泥岩 ,泥岩( 10 ~ 150 m ,TOC 0.5 ~ 0.9 ,Ⅱ2 ~ Ⅲ型) 厚度与质量变化大 ,有机质类型主要为Ⅲ型 ,生气为主 ,在浅水区达到早成熟阶段( Ro 0.7% ~ 1.0% ) ,靠近深水区的地层才达到成熟 ,已得到钻井证实(表 2) 。

表 2 盐上 Zeit 组地化指标(引自 EREX 2008)

Table 2 The geochemical exponents of Zeit Fm in the post-salt

井名	深度/m	TOC/%	有机质类型	成熟阶段
Suakin - 1	2 323 ~ 2 560	1 ~ 6	Little Ⅲ ,main Ⅱ	成熟
Bashayer - 1	2 195 ~ 2 743	0.4 ~ 6.18	Ⅲ	成熟
Suakin - 2	2 240 ~ 2 746	0.71 ~ 1.1		
S. Suakin - 1	? ~ 3 389	1.31		
Digna - 1		<0.25		

表 3 C 井盐下和盐层砂岩储层测井解释成果表

Table 3 Sandstone reservoir logging interpretation of pre-salt and salt Fm in the C well

顶界/m	底界/m	毛厚度/m	净厚度/m	孔隙度 /%	含水饱和度 /%	备注
2 772.00	2 777.10	5.10	2.20	14.00	55.00	盐胶结砂岩
2 782.10	2 792.50	10.40	8.00	17.00	50.00	盐腔结砂岩
2 794.00	2 798.00	4.00	4.00	17.00	51.00	盐胶结砂岩
2 802.00	2 815.30	13.30	12.00	13.00	58.00	盐胶结砂岩
3 232.00	3 236.00	4.00	1.00	14.00	50.00	泥质砂岩

红海盆地的主要储层为碳酸盐岩和砂岩。盐下储层发育碳酸盐岩和砂岩 ,其碳酸盐岩地层分布范围有限 ,区域物源的发育 ,限制了生物礁的生长和分布范围 ,从部分已钻遇盐下地层井上综合分析认为 ,主要发育滨浅海相砂岩 ,储层厚度大、层系多 ,但单层厚度变化大(图 4) ,有效孔隙度约为 13% ~ 17% ,平均孔隙度约为 15% ;盐上储层以高能环境的三角洲

相沉积为主 ,横向上岩性变化快 ,纵向上砂地比变化大 ,单砂层厚度一般为 5 ~ 10 m ,砂地比为 18% ~ 38% ,砂岩储层埋藏浅 ,有效孔隙度约为 15% ~ 25% ,平均孔隙度大于 18% 。本区砂岩含盐沉积是影响储集性能的重要因素之一 ,盐以胶结物形式沉淀在砂岩孔隙中 ,从而影响砂岩的储集性能(表 3) ,易使砂岩储层变得致密坚硬<sup>[5]</sup>。

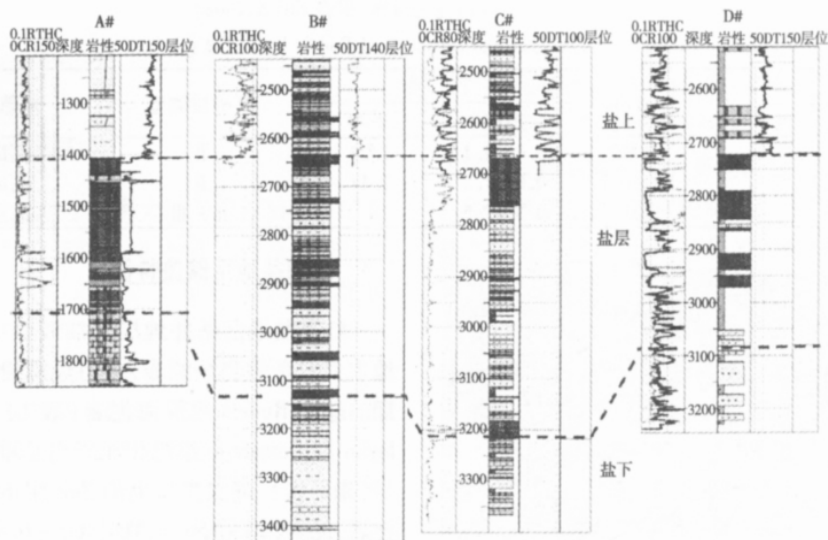


图 4 盐下联井地层对比图

Fig.4 Well tie correlation in the pre-salt

红海盆地盐层广泛分布,盐丘主要沿断层分布,从滨浅海区已钻遇盐层井上岩性统计分析,盐层段通常为岩盐夹粉砂岩、泥岩和白云岩等薄层的互层特征,通常单层岩盐厚度从几米到几十米(图5),深水区目前暂无钻井,但从地震解释上看岩盐无论规模和厚度都普遍较大(图4)。厚层岩盐为盐下地层提供了良好的盖层条件,同时控制了本区的构造演化 and 油气的分布特征,盐体的构造运动为地下流体创造了可以运移的通道,同时也为油气聚集成藏提供了一定的空间,在盐构造的周围可以形成大型圈闭和各种类型的油气藏<sup>[6-7]</sup>。红海盆地盐下构造继承了基底裂谷构造特征,主要圈闭类型为地堑、地垒和断背斜,油气藏类型为下生上储;盐上地层与盐层相互改造作用明显,主要发育滚动背斜、盐构造相关圈闭,盐下油源很难通过厚层的盐层运移到盐上地层,盐构造之间的迷你盆地内泥岩能够达到成熟,在局部范围内形成自生自储油气藏(图5)。

## 2 红海盆地勘探特点

### 2.1 红海盆地具有高温高压特征

红海盆地为典型的高温高压盆地,这已从

多口钻井中得到证实,从最新的钻井资料上显示,盆地最高井底温度(BHT)达160℃,盐下最大泥浆密度系数达2.1 g/mL(图6),对钻井工程和钻井泥浆性能优化带来了极大的挑战。

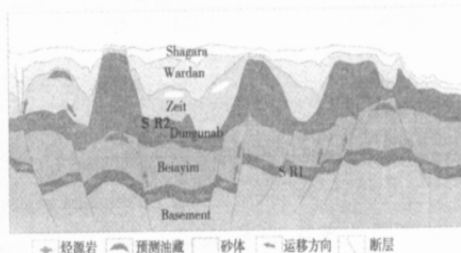


图 5 红海盆地中段西侧油藏模式图

Fig.5 Reservoir pattern profile in the western of the middle part, Red Sea Basin

异常高压和第三系的膏岩盐分布密切相关,一般来说,当膏岩盐的厚度大于400~500 m时,其下面就可能存在高压<sup>[8]</sup>。红海异常压力存在的主要原因为盐层及盐变形的控制,由于上覆地层的不均衡性,导致了盐层的流动,同时受盐层的良好封堵性作用,形成了本区异常高压区,如图地震层速度剖面上可见异常高速度带(图7)。膏盐层下常形成超压带和各种盐构造,若是在盐层之下发育有砂岩等储层,则在同等深度,该储层的孔隙压力或者流体

压力将会比其它的未被盐体覆盖的储层的孔隙压力或者流体压力大,这种异常高压难以得到释放,使得砂岩等储集层未能够进一步压实,进

而使该储集层的储集性能得以保持,为油气的运移和聚集提供了通道和空间<sup>[9]</sup>。

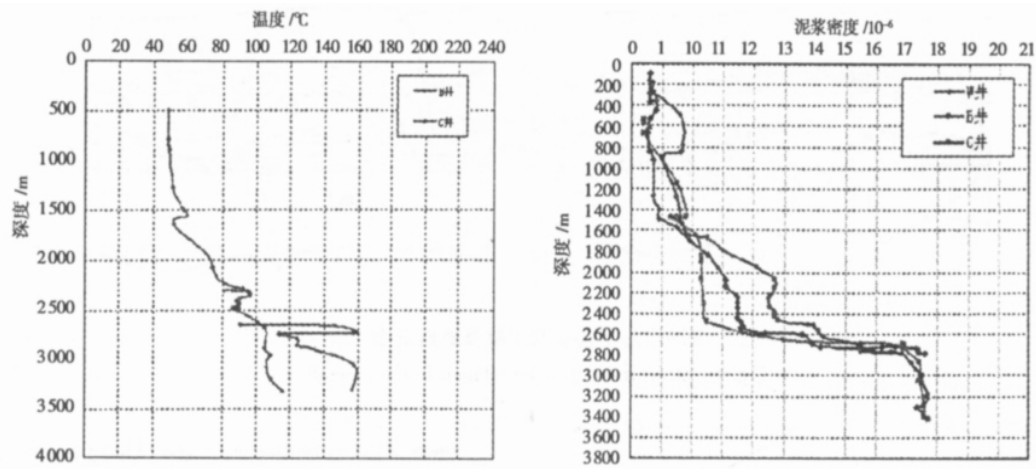


图 6 井底温度和压力实测数据( W、B、C 井)  
Fig. 6 Measured Bottom hole temperature and pressure( W ,B ,C wells)

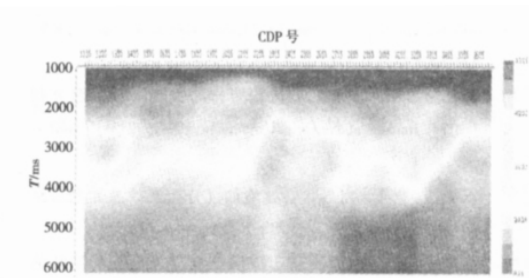


图 7 地震层速度剖面  
Fig. 7 Seismic interval velocity profile

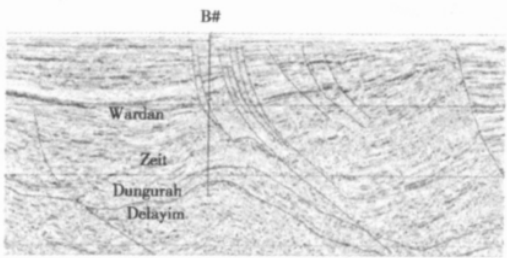


图 8 浅水区过 B 井地震剖面  
Fig. 8 Seismic profile crossing B well in the shallow water area

2. 2 断裂和盐层发育对勘探工程的影响

在盆地的浅水区,发育多排的滚动滑脱断裂,在钻探过程中,如果钻遇断裂发育区,特别是钻遇通天大断裂,由于泥浆的浸泡和冲刷,导

致周围砂岩疏松,泥浆会沿着断裂发生漏失,因此,在设计井位目标时,应尽量避免大断裂的影响;而在钻遇岩盐地层时,由于岩盐的特殊物理性质,会导致井筒缩径,因此在钻探岩盐过程中,适时控制钻探速度,及时进行地层划眼工作,避免钻杆卡钻或下套管遇卡等地质灾害的发生(图 8)。

2. 3 红海盆地盐下构造识别难度大

随着对含盐油气盆地的勘探深入,对盐构造的研究也由初期对盐上构造的研究转向对盐下深层构造的研究,重点是对盐下“假构造”的识别。岩盐在区域构造应力和上覆地层重力的作用下发生塑性流动,在流动过程中容易与围岩混杂,给地震解释造成很大难度。盐上构造圈闭类型多样、结构复杂,但地震容易识别;盐下油气勘探中,盐层与围岩(砂泥互层)速度的差异性,在地震剖面上盐下地层会产生上拉效应,使其下伏地层在常规地震剖面上出现畸变,使得构造建模及圈闭落实非常困难,即盐下存在假构造<sup>[2,10]</sup>。盐层和盐下地震成像技术已成为制约盐下油气勘探的关键,从研究区复杂的地质条件及二维地震资料局限性分析,针对红海盆地深水或超深水区二维地震资料可以满足

油气地质条件分析及区带优选的需要,但难于解决盐丘复杂构造准确成像及井位目标优选等

研究工作(图9)。

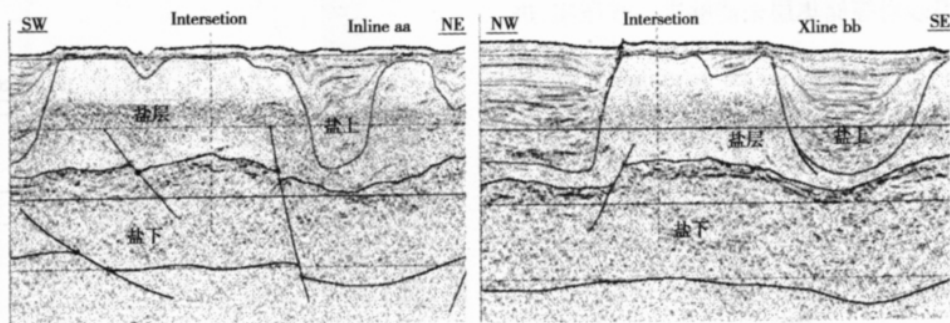


图9 盐下构造圈闭解释地震剖面

Fig.9 Structural trap interpretation in the pre-salt

### 3 含盐盆地油气勘探认识

1) 含盐盆地盐系地层发育,这些盐系地层不仅可作为良好的区域盖层,对油气保存十分有利,而且可形成多种盐构造,因此,盐盆油气勘探应以寻找各种盐构造油气藏为主。

2) 含盐盆地盐下储层主要为碳酸盐岩和砂岩,通常盐下比盐上圈闭规模大,而且盐层下方易形成异常高压,这种异常高压对储集层的储集性能是有利的,盐盆勘探应以盐下储层类型和圈闭识别为主要勘探目标。

3) 含盐盆地地质情况复杂,勘探工程难度大,高温高压、小断裂发育、岩盐缩径等工程风险因素为钻井泥浆配制和套管程序优化等带来了一定的挑战,盐盆勘探需加强钻井工程研究。

4) 含盐盆地盐下地震成像普遍较差,加强盐下地震处理技术研究,辨别盐下“假构造”,是盐盆勘探取得突破的关键。

#### 参考文献:

- [1] Hudec M R, Jackson M P A. Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(10): 1535-1564.
- [2] 卫孝锋. 含盐盆地地震勘探技术浅析 [J]. 海相油气地质, 2002, 7(2): 54-58.
- [3] Bosworth W, Huchon P, McClay K. The Red Sea and Gulf of Aden Basins [J]. Journal of African Earth Sciences, 2005, 43(2005): 334-378.
- [4] 戈红星, Jackson M P A. 盐构造与油气圈闭及其综合利用 [J]. Journal of Nanjing University, 1996, 32(4): 640-649.
- [5] 宋明雁, 李莉. 世界含盐盆地油气分布规律及其勘探经验 [J]. 世界石油工业, 1998, 5(5): 14-17.
- [6] 金文正, 汤良杰, 万桂梅. 浅谈盐及相关构造与油气的关系 [J]. 西北油气勘探, 2005, 17(3): 29-34.
- [7] 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(中国地质大学·北京), 2001, 8(1): 343-349.
- [8] 徐士林, 吕修祥, 杨明慧, 等. 库车坳陷膏盐岩对异常高压保存的控制作用 [J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 5-8.
- [9] 陈发亮, 陈业全, 魏生祥, 等. 东濮凹陷盐湖盆地油气富集规律研究 [J]. 盐湖研究, 2003, 11(4): 33-38.
- [10] Ward R W, et al. 对盐体下部沉积构造成像: 我们到达何种程度? [J]. 郑金仕, 译. 石油物探译丛, 1995: 53-56.

[1] Hudec M R, Jackson M P A. Advance of allochthonous salt

## Salt-related Basin Hydrocarbon Geology Characteristics and Exploration Recognition——A Case Study of Red Sea Basin

ZHANG Yong-gang ,LÜ Fu-liang , FAN Guo-zhang , WANG Bin ,LI Li ,

LI Dong ,SHAO Da-li , YANG Jiao

( Petrochina Hangzhou Research Institute of Geology , Hangzhou 310023 ,China)

**Abstract:** The hydrocarbon discoveries in relation with salt bed account for approximate 58% . Salt basin's hydrocarbon geological characteristics and exploration experience are very important for hydrocarbon discovery. Directed by Red Sea basin's salt bed existence and distribution regular study , source-reservoir-seal characteristics analysis and exploration activities , salt basin was considered to have following several features: salt layers are abundant in salt basin , forming various salt structures for salt deformation and hydrocarbon exploration give first place to seeking salt tectonics reservoirs; the pre-salt reservoirs dominated by carbonate and sandstone usually have high temperature and high pressure which is benefit for reservoir's properties and reservoir types and traps identification are crucial for the pre-salt exploration; it is necessary to strengthen drilling engineering study due to complicated geology and great difficulty in engineering; the seismic imaging quality is general weak in the pre-salt , which is the breakthrough key for enhancing seismic process technology study and distinguish “false structural” under the salt layer.

**Key words:** Red Sea Basin; Saliferous Basin; Salt tectonics; Structural deformation; High temperature and high pressure; Reaming; Pipe-sticking

( 上接第 8 页)

**Abstract:** Longhu Diggings is one of the most important potash deposits in Khorat Plateau , Laos , ZK309 hole is one of the most representative holes in this area , it is a perfect penetrated drilling where we have got complete mud rock samples. In light of analysing the upper clasolite strata , minerals and elements , mudstone as one of the cycle of sedimentation of diagenesis , we concluded that minerals and elements in mudstone are bound up with the type and character of below salt stratum. The changing regularity of saline minerals in vertical direction accord with the depositional environment that change from low salinity to high salinity. The saltation of minerals and elements located in 103 ~ 107 metres indicates that the fluid e-luviation had taken place during the late consolidation stage of rock salt sedimentation. It is easy to conclude that the fluids were water with low salt content and mixture of little seawater and much freshwater by analysing the minerals and elements. In terms of distributions and contents of and carbonate minerals , we concluded that there were high magnesian fluids , we had the composition of clay minerals of mudstone compared with other facies and land facies basin of China , and concluded it leaning towards sea facies. Additionally , it has more chlorite , we speculated that it may be from ocean environment.

**Key words:** Laos; Longhu Diggings; Mudstone; Mineral and geochemistry character; Sedimentary facies