

南图尔盖盆地 Doshan 地区底辟构造的发现及勘探意义

代寒松¹,洪亮¹,张明军²,张静¹,张亚军¹,王鑫¹

(1. 中国石油勘探开发研究院西北分院,甘肃兰州 730020; 2. 中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要: Doshan 地区新发现的底辟构造具有典型的双重性,其浅层碳酸盐岩底辟在叠加于下伏深部底辟构造上的同时,还保持与下部底辟构造形态的一致性。底辟构造规模普遍较小,平面多呈 NW-SE 向展布。综合区域应力背景、塑性层形变、裂解气显示等相关要素分析,认为底辟构造属深源型底辟,其形成发育主要受控于晚白垩世。南图尔盖盆地大规模走滑、抬升变形过程中,基底深部古断裂再次活动导致深部物质沿断层小规模上拱。此类构造的发现在为构造研究提供全新模式的同时,也为南图尔盖盆地油气勘探提供了一个新的领域。在位于斜坡-潜山带的底辟构造,有着良好的油气成藏条件,是寻找相关构造、岩性油气藏的理想区域,应作为后期油气勘探的重点。

关键词: 油气运移、聚集;底辟构造;潜山斜坡带;Doshan 地区;南图尔盖盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Discovery of diapir structure and its significances for exploration in Doshan area, South Turgai Basin

Dai Hansong¹, Hong Liang¹, Zhang Mingjun², Zhang Jing¹, Zhang Yajun¹, Wang Xin¹

(1. Northwest Institute, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

Abstract: The diapir structure newly defined in Doshan area, South Turgai Basin is a typical duplex structure. The lower carbonate diapir superimposes on the deeper one, and maintains the consistency of structural configuration with that of the latter at the same time. These small-scale diapir structures are generally on NW-SE trend. They are recognized as deep-source diapirs based on their regional stress background, plastic deformation, and pyrolysis gas show. Their development is mainly controlled by the upswelling of deep materials along small-scale faults due to the revitalization of deep base paleo-faults during the Late Cretaceous large-scale strike-slipping and uplifting deformation in southern Turgai Basin. The discovery of this kind of structures not only provides a new mode of tectonic research, but also a new domain of petroleum exploration in southern Turgai Basin. Diapir structures located in slope-burial hill belt have favorable accumulation conditions, and are favorable targets for discovering structural and/or lithologic hydrocarbon reservoirs.

Key words: hydrocarbon migration and accumulation, diapir structure, burial hill-slope belt, Doshan area, South Turgai Basin

Doshan 地区位于南图尔盖盆地西南侧,是卡拉陶隆起与阿雷斯库姆地堑中段的过度区,为一向南西变高的潜山斜坡(图1)。该区地层厚度较薄,晚侏罗世—白垩纪碎屑岩仅 800~1 200 m。纵向上,碎屑岩稳定覆盖于海西期碳酸盐岩基底之上,而碳酸盐岩之下则为下古生界变质岩^[1-2]。该区勘探程度较低,现有勘探多集中于边缘斜坡带。新一轮地震资料解释发现,碳酸盐岩顶面存在明显的底辟构造,这不仅为该区油气勘探提供了新的构造模式,更为南图尔盖盆地潜山带油气勘探提供了新的方向。因此,对该区

底辟构造的分析认识,对后期盆地勘探工作有着积极的作用。

1 底辟构造发育特征

底辟构造发育于 Doshan 地区西侧,其走向与主要构造方向平行,呈西北—东南排列。在碳酸盐岩顶面形态图上,底辟带由 3 个大小不一的刺穿隆起组成(图 2a)。3 个隆起规模不一,中部和南部的隆起幅度较大,长分别为 0.5 km 和 0.2 km,而宽度均介于 0.2~

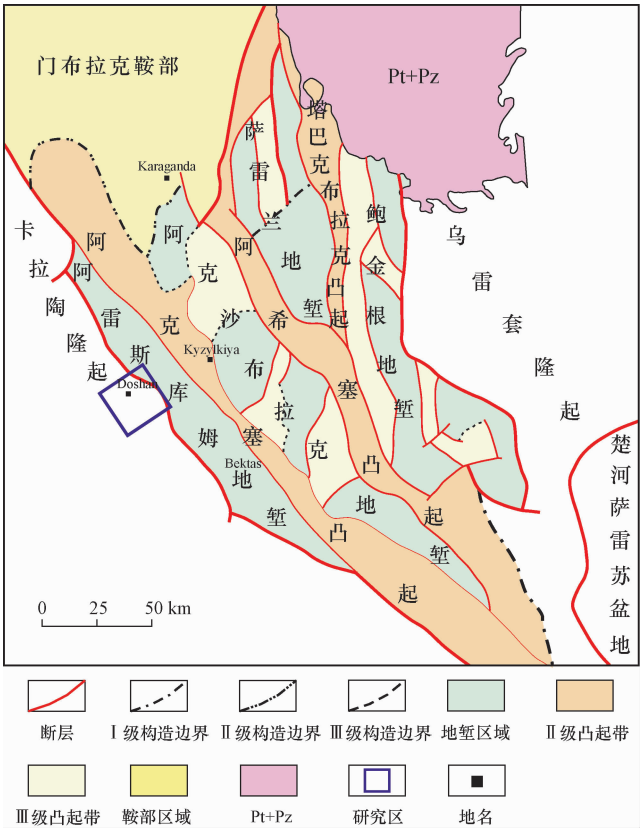


图1 南图尔盖盆地 Doshan 地区构造位置
(文献[1],有修改)^[1]

Fig. 1 Structural location map of Doshan area in the south Turgai Basin (modified from reference [1])

0.25 km,底辟隆起时间高度约 0.2 s (折算高度 200 m)。北部底辟隆起在研究区内规模较小,长约 0.15 km,宽约 0.1 km,隆起时间高度约 0.9 s(折算高度约 100 m)。

底辟构造在剖面上具有明显的双重性(图 3)。在

白垩系内部,下伏泥质白云岩向上挤压突破,形成底辟隆起。白垩纪地层在隆起边缘发生明显翘倾。在底辟上部未突破区,则形成小幅度的背斜构造与伴生正断层。

而在碳酸盐岩层,其内部也显示出底辟切割作用的特征。低频-弱振幅连续反射同向轴(代表碳酸盐岩)受到下部杂乱强振幅反射(可能的深部岩性地震响应)向上突破,并形成刺穿隆起。与浅层类似,碳酸盐岩内部层系在底辟周缘也表现出明显上倾掀斜。在隆起上部未刺穿区域,地震响应由低频-弱振幅-连续反射,转变为低频-中振幅-弱连续(部分杂乱)的反射特征,表明刺穿发育位置上部碳酸盐岩较为破碎的特征(图 3)。

整体上,上、下底辟隆起具较好的对应性,两者平面展布及构造幅度均体现出明显的相似性。同时,结合碳酸盐岩层内底辟区与未底辟区厚度差异不明显的特点判定,上部底辟的形成主要是受下部底辟隆起所控制。因此,上部的泥质白云岩底辟与下部深部岩性底辟形成期次及规模均具有一致性。

2 底辟构造性质及形成机理

2.1 构造性质

研究区底辟构造可能主要受控于深部物质的上涌,属于深源型底辟。

2.1.1 纵向挤压应力为主

剖面观测表明,研究区底辟隆起构造形成于晚白垩世。而区域研究表明,南图尔盖盆地整体较大规模

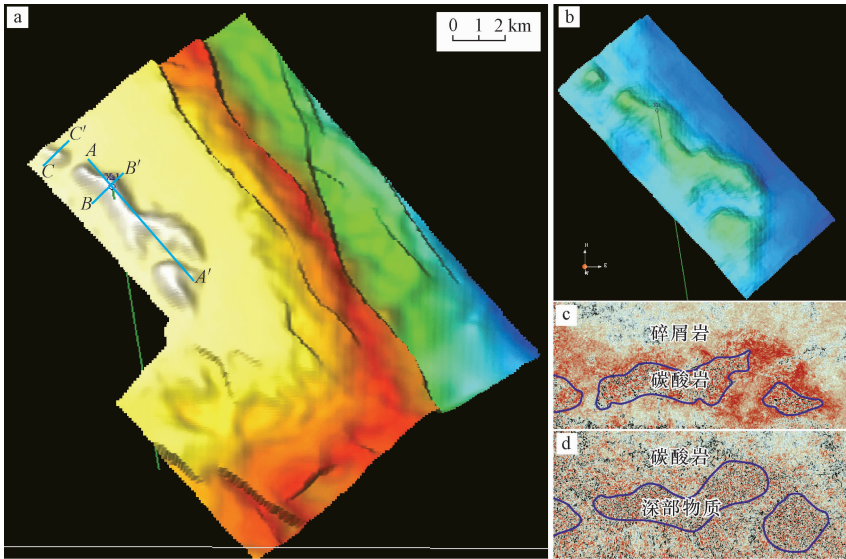


图2 南图尔盖盆地 Doshan 地区底辟构造平面发育特征

Fig. 2 Plane view of the diapir structure distribution in Doshan area,the South Turgai Basin
a. 碳酸盐岩顶面形态;b. 碳酸盐岩底面形态;c. 底辟区 560 ms 相干切片;d. 底辟区 880 ms 相干切片

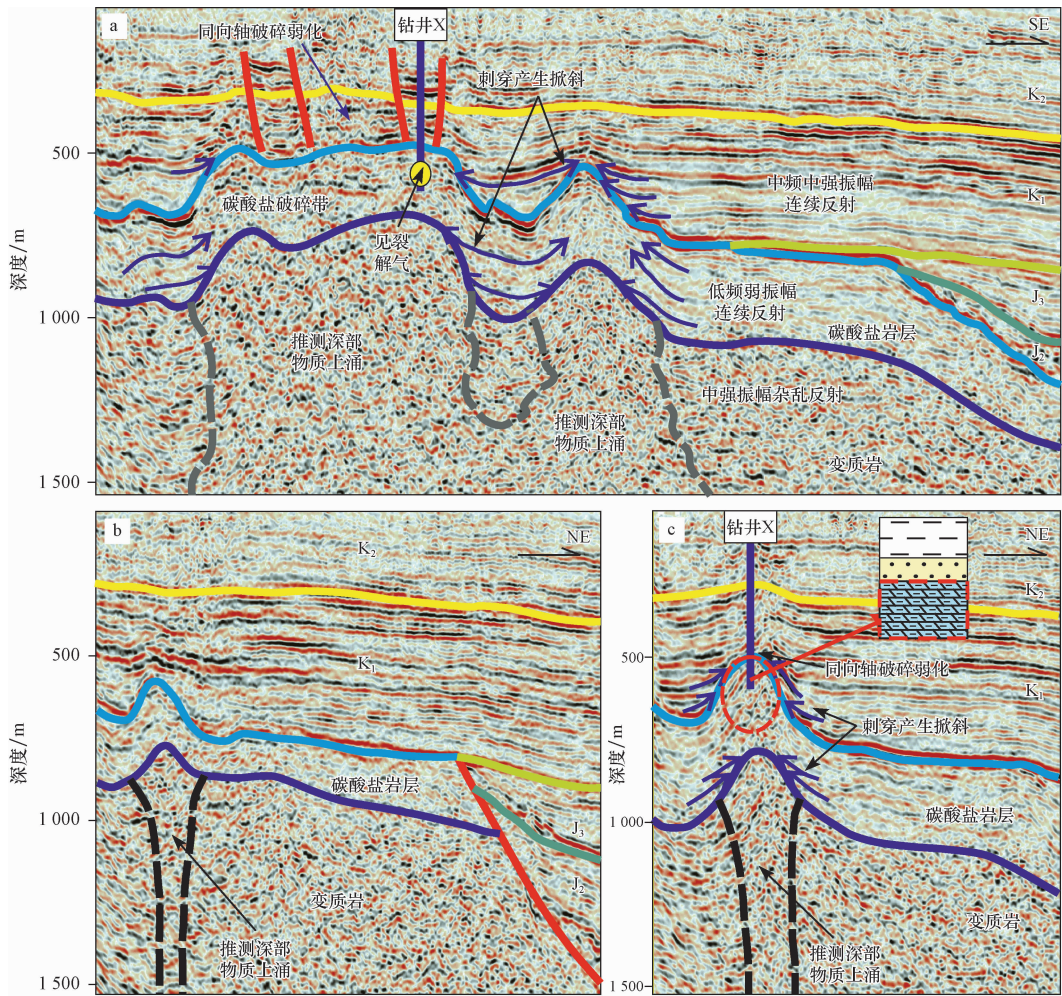


图 3 南图尔盖盆地 Doshan 地区底辟带构造剖面

Fig. 3 Sectional view of the diapir structure belt in Doshan area, the South Turgai Basin

的挤压运动主要为侏罗纪末,白垩纪总体表现为拉张背景下的拗陷作用^{[1-3]①②}。因此,底辟隆起的发育时代与盆地对应水平挤压时代不吻合。

同时,底辟隆起上覆的白垩系,褶皱隆升幅度远小于下部。若为水平应力挤压,较刚性的碳酸盐岩地层褶皱隆起幅度,应远小于上部白垩系陆相地层。而小幅度水平挤压所形成的褶皱往往具有长宽比明显,宽缓,且纵向幅度不大的特点,而这与研究区底辟隆起窄而陡、且部分呈穹窿状的构造特征差别较大。

因此,总体认为研究区底辟构造应的主要应力来自于局部纵向上隆,而不是水平挤压。

2.1.2 埋藏浅,构造平缓,塑性层发育活动可能性低

研究区与国内外典型塑性(泥岩、盐岩、变质岩等)底辟相比,埋深较浅(碳酸盐岩底面埋深约 1 000~1 200 m),难以形成塑性底辟流动所需的高

压、高温、高压差等地质条件^[5-6]。在相邻的 Aryskum 拗陷,侏罗系—白垩系累计厚度近 5 500 m,深部碳酸盐岩顶面应处于较高的温压条件,但并未见塑性底辟的现象。因此,构造位置更高、埋藏更浅的研究区,变质岩塑性层发育可能性较低。

同时,在底辟带之外,研究区总体表现为宽缓倾斜的斜坡。而塑性层在发生底辟的同时,也必然导致相邻区域塑性地层减薄,从而引发上覆地层挠曲,进而产生凹陷、龟状背斜等次生构造^[5-7]。研究区底辟构造带相邻区并未发现此类构造,因此研究区底辟活动不应为变质岩等塑性底辟。

2.1.3 裂解气表明存在深部热作用

目前,钻井 X 已在碳酸盐岩层内部发现了天然气,测试表明属于原油裂解气。油源对比表明,裂解气与东北部裂(拗)陷内中、上侏罗统原油具有同源

① 黄志龙. 南土尔盖盆地油气藏形成规律研究. 北京: 中国石油勘探开发研究院, 2007: 7-8.

② 樊太亮. 南图尔盖盆地北部层序地层及沉积体系研究. 北京: 中国石油勘探开发研究院, 2007: 5-6.

性,均来自于中侏罗统主力烃源岩。但凹陷内中侏罗统烃源岩仅处于成熟阶段,未进入生气阶段,主要以生成原油为主^[3-4]。凹陷内中、上侏罗统圈闭内均以大量产出原油为主,天然气含量相对较少。与裂(坳)陷带相比,在构造演化史中,隆起带持续处于较高的构造位置,其埋深较浅,所以隆起带上碳酸盐岩基底的埋藏古地温应远低于裂(坳)陷带。因此,可以推测底辟构造上 X 钻井中导致裂解气形成主要热力来源于下伏深部热物质上涌导致局部加热的烘烤作用。

2.1.4 深源底辟有利发育地质条件

研究区临近卡拉陶隆起与南图尔盖盆地阿雷斯库姆地堑交界区中段。其深部(地幔区)可能具有较强的活动性。同时,海西期是南图尔盖盆地隆-坳相间构造格局的主要形成期,大规模基底断裂均形成于此^[1-4]。位于交界地带的 Doshan 地区深部该时期可能已发育部分断裂。晚白垩世以来的喜马拉雅运动,南图尔盖盆地整体发生较大规模的走滑,其深部物质活动可能较为活跃^[1,4]。在盆地的边缘区域,活动较强烈的深部物质极可能沿基底断裂向上小规模涌动,并在浅层形成底辟,而这又与研究区底辟构造的形成时间极为吻合。

因此,研究区底辟构造应为喜马拉雅期,盆地在发生右行走滑的同时,部分位置深部物质沿先存基底断裂小规模上拱所形成,应属于深源型底辟^[8-11]。

2.2 底辟构造形成机制

研究区在海西期可能已发育了小规模深部断裂。晚白垩世以来的喜马拉雅运动,南图尔盖盆地整体进入走滑、隆升剥蚀阶段,活跃的深部物质沿古断层上涌,并在白云岩底部发生小幅度底辟活动。研究区泥质白云岩在深部物质上涌形成的挤压(可能伴随热作用)作用下,发生破碎、变形。由于碳酸盐岩层属于刚性地层,破碎变形的白云岩,难以向两侧未受深部底辟作用影响的白云岩层内转移,因而整体刺入上覆相对塑性的白垩系碎屑岩层,以达到平衡,从而形成浅层碳酸盐岩底辟,以及上白垩统内一系列相伴生的地层破碎和引张正断层(图4)。

3 底辟构造对油气勘探的意义

底辟构造的发现对于南图尔盖盆地潜山-斜坡带的油气勘探有着重要意义。位于潜山斜坡带之上的底辟构造,由于构造位置突出,在形态上往往表现为正向高点,相邻坳陷内的油气,通过砂层、断层在到达潜山-

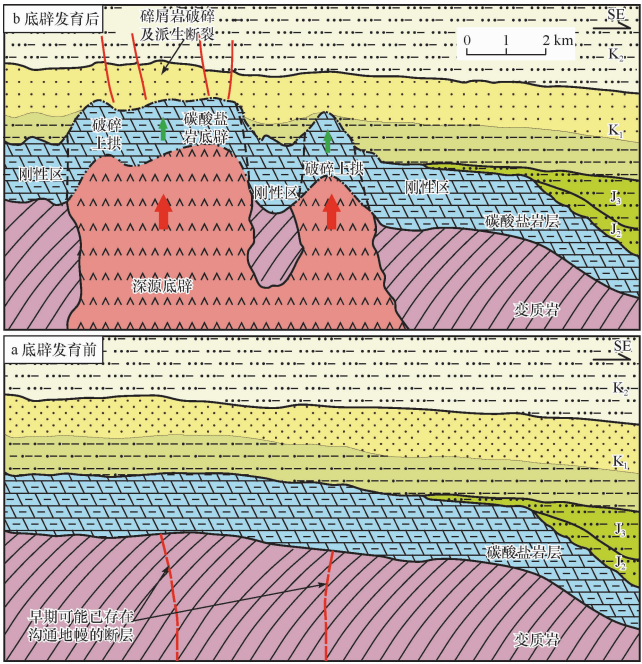


图4 南图尔盖盆地 Doshan 地区底辟构造发育机制
Fig. 4 Models of diapir structure development in Doshan area, the South Turgai Basin

斜坡带后,更易于向底辟带运移,因而是油气运移的有利指向区^[12]。

而底辟构造的形成,也伴生了多种类型的碎屑岩圈闭的发育(图5)。在底辟隆起上方往往形成次生型背斜圈闭。受引张作用的影响,次生背斜往往被派生断层切割,形成断块、断背斜等构造圈闭。而底辟构造两侧地层往往形成掀斜,早期较水平的砂体尖灭发生上倾,形成上倾尖灭型岩性圈闭。而砂岩透镜体受掀斜影响也发生小幅度倾斜,在底辟周缘裂隙的沟通下,更易于油气充注形成透镜型油藏^[12]。

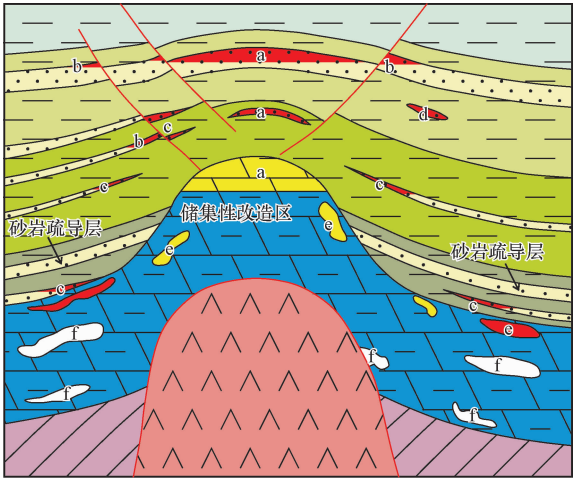


图5 南图尔盖盆地 Doshan 地区底辟构造相关油藏类型模式
Fig. 5 Pattern reservoirs related to diapir structures in Doshan area, the South Turgai Basin

- a. 背斜型油藏; b. 断块遮挡油藏; c. 岩性尖灭油藏;
- d. 透镜体油藏; e. 碳酸盐岩溶蚀孔隙洞型油气藏;
- f. 未充注的孔洞

底辟作用更有利于碳酸盐岩油藏发育。由于底辟构造为油气运移的有利指向区,其相邻区域碳酸盐岩顶面附近(海西期削蚀面)的溶蚀孔洞,较其他位置更易得到油气充注形成油藏。在碳酸盐岩底辟隆起上部,受挤压、破碎以及可能的深部热流体的改造^[12-15],隆起上部整体形成一具有良好孔、渗条件的大背斜。当上方存在较好泥岩段封堵时,则可构成规模较大的背斜圈闭。在不整合面(碳酸盐岩顶部)、砂岩渗透层提供油气疏导的前提下,碳酸盐岩底辟隆起拥有较大的潜力聚集相邻坳陷带的油气,形成碳酸盐岩背斜型油藏。

而受底辟引发的局部热作用还可能形成具有一定规模的裂解气藏。隆起带早期碳酸盐岩古油藏内的原油在底辟构造发育时,向其调整汇聚过程中受到深源底辟热烘烤的影响发生裂解,形成裂解气,并最终聚集在底辟隆起内形成裂解气藏。

总体而言,潜山-斜坡带底辟构造的发现,并不仅仅为研究区提供了一种新的构造模式。由于其自身有利的油气成藏条件,底辟构造的发现更为南图尔盖盆地斜坡-潜山带的油气勘探提供了一个新的领域。

4 结论

- 1) Doshan 地区底辟构造具有典型的双重性(上部碳酸盐岩底辟,下部深部物质底辟),上、下底辟在构造形态及幅度上具有一致性,是同一期形成的产物。
- 2) 底辟构造,受控于喜马拉雅运动期的深部物质上拱,属于深源底辟,而非塑性底辟或者水平挤压下的差异褶皱变形。
- 3) 形成于潜山-斜坡带的底辟构造,具有优越的成藏条件,为南图尔盖盆地潜山-斜坡带的油气勘探提供了新领域,因此有必要后期对该类型构造进行更为深入的研究。

参 考 文 献

[1] 田作基,徐志强,郑俊章,等. 图尔盖盆地阿雷斯库姆坳陷石油地质特征和成藏模式[J]. 新疆石油地质,2010,31(1):107-109.
Tian Zuoji, Xu Zhiqiang, Zheng Junzhang, et al. Petroleum geology and accumulation in Arysium depression in Turgay Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2010,31(1):107-109.

[2] 孔祥宇,殷进垠,张发强. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地油气地质特征及勘探潜力分析[J]. 岩性油气藏,2007,19(3):48-53.
Kong Xiangyu, Yin Jinyin, Zhang Faqiang. Oil-gas geological features and its exploration potential in South Turgay Basin, Kazakhstan[J]. Lithologic Reservoir,2007,19(3):48-53.

[3] 胡望水,薛天庆. 底辟构造成因类型[J]. 江汉石油学院学报,1997,19(4):1-7.
Hu Wangshui, Xue Tianqing. Genetic types of diapiric structures[J].

Journal of Jiangnan Petroleum Institute,1997,19(4):1-7.

[4] 张树林,田世澄,朱芳冰. 莺歌海盆地底辟构造的成因及石油地质意义[J]. 中国海上油气地质,1996,10(1):1-6.
Zhang Shulin, Tian Shicheng, Zhu Fangbing. Genetic of diapiric structures and its means for petroleum geology in Yin Gehai basin[J]. China Offshore Oil And Gas(geology),1996,10(1):1-6.

[7] 杨克绳,胡平,党晓春. 冷底辟与热底辟地震信息[J]. 地震地质,2007,29(3):558-577.
Yang Kesheng, Hu Ping, Dang Xiaochun. Seismic information of cold diapir and hot diapir[J]. Seismology and Geology,2007,29(3):558-577.

[8] 金春爽,乔德武,淡伟宁. 渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):19-29.
Jin Chunshuang, Qiao Dewu, Dan Weining. Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):19-29.

[9] 高印军,杨磊,韩文明,等. 尼日尔三角洲泥底辟和泥火山的形成机理[J]. 新疆石油地质,2010,31(3):332-334.
Gao Yinjun, Yang Lei, Han Wenming, et al. Formation mechanism of mud diapir and mud volcano in Niger Delta[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2010,31(3):332-334.

[10] 周心怀,于一欣,汤良杰,等. 渤海地区底辟构造及其油气地质意义[J]. 石油学报,2009,30(4):518-521.
Zhou Xinhui, Yu Yixin, Tang Liangjie, et al. Diapir structures and their significances on hydrocarbon accumulation in the off shore Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sincia,2009,30(4):518-521.

[11] 罗小龙,汤良杰,谢大庆,等. 塔里木盆地雅克拉断凸走滑作用及其形成机理[J]. 石油与天然气地质,2013,34(2):257-263.
Luo Xiaolong, Tang Liangjie, Xie Daqing, et al. Strike-slip movement and its genetic mechanism in Yakela faulted salient, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(2):257-263.

[12] 何家雄,祝有海,马文宏,等. 泥底辟及含气陷阱与油气运聚关系[J]. 中国地质,2010,37(6):1720-1732.
He Jiaxiong, Zhu Youhai, Ma Wenhong, et al. The relation of mud diapir, gas trap and oil-gas accumulation[J]. Chain Geology,2010,37(6):1720-1732.

[13] 李国蓉,刘树根,宋来明,等. 西昌盆地东吴期深部热液作用及其对志留系碳酸盐岩储层的改造[J]. 矿物岩石,2009,29(4):60-65.
Li Guorong, Liu Shugen, Song Laiming, et al. The hydrocarbon fluids process of dongwunian period and related alternation to carbonate reservoir of Silurian in Xichang Basin[J]. Mineral Petrology,2009,29(4):60-65.

[14] 吕修祥,杨宁,解启来,等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J]. 石油与天然气地质,2005,26(3):284-296.
Lü Xiuxiang, Yang Ning, Xie Qilai, et al. Carbonate reservoir transformed by deep fluid in Tazhongarea[J]. Oil & Gas Geology,2005,26(3):284-296.

[15] 钱一雄,何治亮,陈强路,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):1-9.
Qian Yixiong, He Zhiliang, Chen Qianglu, et al. Sealing capacity of the Ordovician carbonate rocks in Tazhong area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):1-9.