

吐鲁番坳陷隐伏巨型弧形构造体系与油气勘探

杨占龙, 黄云峰, 吴青鹏, 黄小鹏, 韩小峰, 牛慧赞

(中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:以吐鲁番—哈密盆地燕山期、喜马拉雅期区域构造应力场和构造展布特点分析为基础,以轴面成图为基础的构造趋势分析技术为手段,通过三维空间构造模拟认为吐鲁番坳陷沉积盖层发育EW向展布的3排弧形构造带构成的隐伏巨型弧形构造体系。模拟研究认为,以盆地中部应力突破带为东西方向对称中心,依附于3大主力生烃洼陷(胜北洼陷、丘东洼陷、小草湖洼陷)发育的巨型弧形构造体系东西两侧的油气地质特征具有一定的可比性和对称性。盆地现今构造东西分段、南北分带的特征明显,区域与局部应力场变化是吐鲁番坳陷弧形构造体系形成且具有东西分段、南北分带构造特征的主要原因。由于燕山中晚期到喜马拉雅期博格达山由北向南的冲断推覆,在盆地内发育大规模由北向南的层间差异滑脱推覆构造,弧形构造带西段以NW向展布为主,东段以NE向展布为主,应力的左旋、右旋特征形成了平面构造格局的“弧形”展布并在盆地内部形成3排弧形构造带。近EW向发育的具有挤压性质的断层构成构造圈闭的良好封堵要素,SN向发育的具有走滑性质的平移断层因沟通中下侏罗统水西沟群烃源岩而构成圈闭的良好输导条件。隐伏巨型弧形构造体系的提出在很大程度上改变了对吐鲁番—哈密盆地整体构造格局的认识,依据弧形构造体系东西两侧的可比性和对称性及弧形构造体系本身的构造特点,对进一步扩展吐鲁番坳陷油气勘探领域具有重要的指导意义。

关键词:弧形构造体系;应力场;轴面成图与构造趋势分析技术;油气勘探领域;吐鲁番—哈密盆地

中图分类号:TE121.2

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2014)08-1156-08

引用格式:Yang Zhanlong, Huang Yunfeng, Wu Qingpeng, *et al.* Buried giant Arc-shape structure system and petroleum exploration in Turpan-Kumul Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(8):1156-1163. [杨占龙, 黄云峰, 吴青鹏, 等. 吐鲁番坳陷隐伏巨型弧形构造体系与油气勘探[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8):1156-1163.]

0 引言

自20世纪50年代末吐鲁番—哈密盆地(吐哈盆地)开始油气勘探到80年代末—90年代初大规模系统油气勘探以来,位于盆地西部的吐鲁番坳陷始终是勘探家关注的重点^[1],这与吐鲁番坳陷本身发育有“3大”主力生烃洼陷(胜北洼陷、丘东洼陷、小草湖洼陷)、赋存有数量众多且类型多样的圈闭等有利油气地质条件密切相关。

随着吐哈盆地油气勘探的逐步深入,有关吐鲁

番坳陷构造特征的整体认识也在逐步深化,成盆期构造演化、主体构造带形成与演化及构造带平面展布特征也逐步明朗。吐鲁番坳陷整体为博格达—巴里坤前陆盆地的前缘凹陷,其形成演化与天山造山带构造演化密切相关,狭长形的吐鲁番坳陷本身的构造形成与演化在东西各段具有相同的构造背景和统一的应力场环境。

为了深入、系统地进行台北凹陷乃至整个吐鲁番坳陷的油气勘探,探索油气在纵向层系和平面构造上的富集与分布规律,有必要深入分析盆地整体

收稿日期:2013-08-12;修回日期:2013-09-25.

基金项目:中国石油天然气股份有限公司勘探生产分公司科技项目(编号:2012-04)资助.

作者简介:杨占龙(1970-),男,甘肃宁县人,高级工程师,博士,主要从事含油气盆地油气地质特征综合评价研究.

E-mail: yang_zl@petrochina.com.cn.

其中北部山前弧形带由北向南又可进一步划分为北部掩伏带、中间背斜带和南部斜坡带^[4-6](图 4)。

燕山早期拉张、燕山中晚期—喜马拉雅期压扭构造了吐鲁番坳陷的 2 期构造演化特征。喜马拉雅期的挤压应力场决定了晚期构造以挤压背斜构造为主,喜马拉雅期对燕山期构造改造并定型。纵向上,下构造层为弱张性块断运动,受到喜马拉雅期挤压

构造的改造。上构造层为挤压背冲运动,形成背斜或断背斜构造。平面上,构造叠加样式呈规律性变化,吐鲁番坳陷中部的应力突破带两侧是逆冲断裂发育方位的转折部位,向东,断裂体系主要为 NE—SW 向展布,向西,断裂体系主要为 NW—SE 向展布。应力突破带两侧应力场的左旋、右旋特征决定了吐哈盆地构造带的弧形展布。

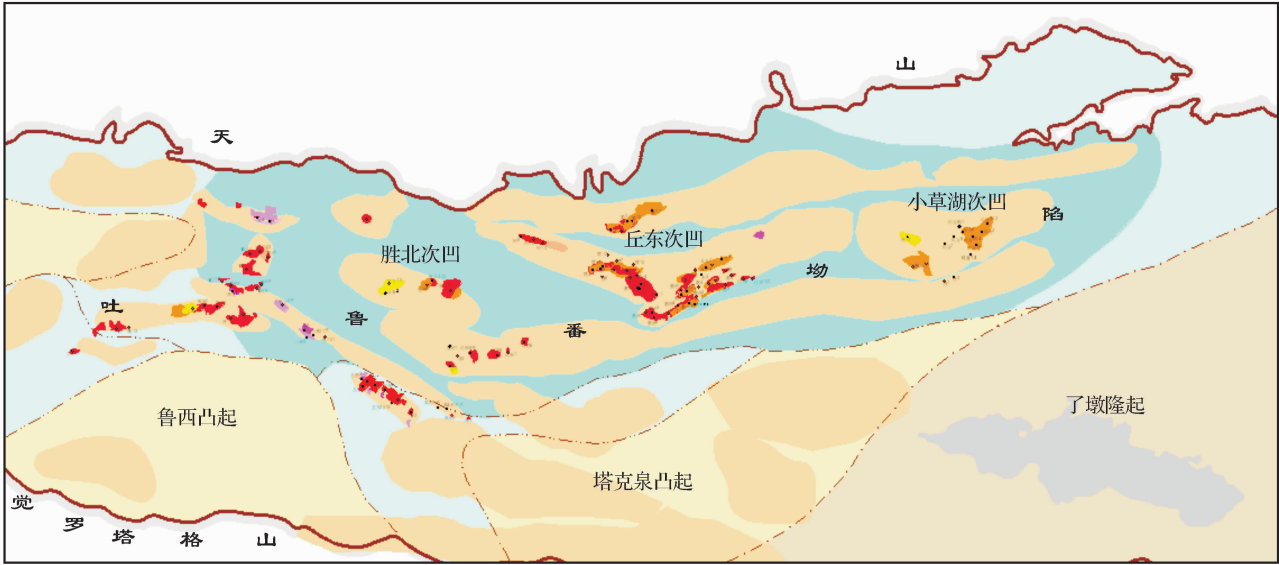


图 2 吐哈盆地吐鲁番坳陷主要构造带平面分布特征

Fig. 2 Main structural domains distribution map of Turpan Depression, Turpan-Kumul Basin

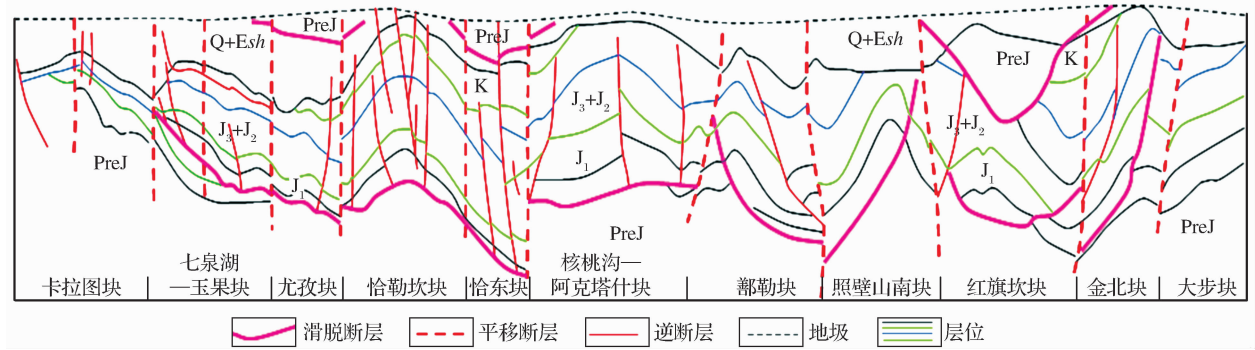


图 3 吐哈盆地台北凹陷北部 EW 向地质解释剖面

Fig. 3 EW geological interpretation section of the northern Turpan Depression, Turpan-Kumul Basin

3 区域与局部应力场特征

区域与局部构造应力场的变化是吐哈盆地吐鲁番坳陷构造格局东西分段、南北分带和“3 大”弧形构造带构成的巨型弧型构造体系形成的主要原因。

从台北凹陷燕山期—喜马拉雅期构造形成的应力场格局来看,北部天山造山带向南的挤压作用是全区构造应力场的主导因素。吐鲁番坳陷阿克塔

什—鄯勒地区是天山造山带向南的主压应力区,西南部的布尔加凸起和鲁西古凸起与东南部的塔克泉古凸起和了墩隆起之间的古深洼槽是天山造山带向南挤压应力主应力的突破方向。在此以西,主压应力方向逐渐变化为 NE—SW 向;以东变化为 NW—SE 向。西南部和东南部的 2 大古凸起是全区逆冲—推覆构造形成的主要阻挡控制要素。吐鲁番坳陷西部整体发育左旋构造体系,东部地区发育右旋

构造体系(图 5)。在应力突破带以西,由于胜北洼陷相对比较宽缓,在洼陷内部,发育了 NW—SE 向的葡北—胜北—红南—连木沁构造带。

纵观整个吐鲁番坳陷,以阿克塔什—鄯勒到南

部的 2 大古凸起之间的深洼槽为界限(主应力突破带),东西 2 个部分的应力场及其发育的构造格局具有一定的对称性,在一定程度上决定了盆地东西两侧构造发育特征具有一定的可比性。

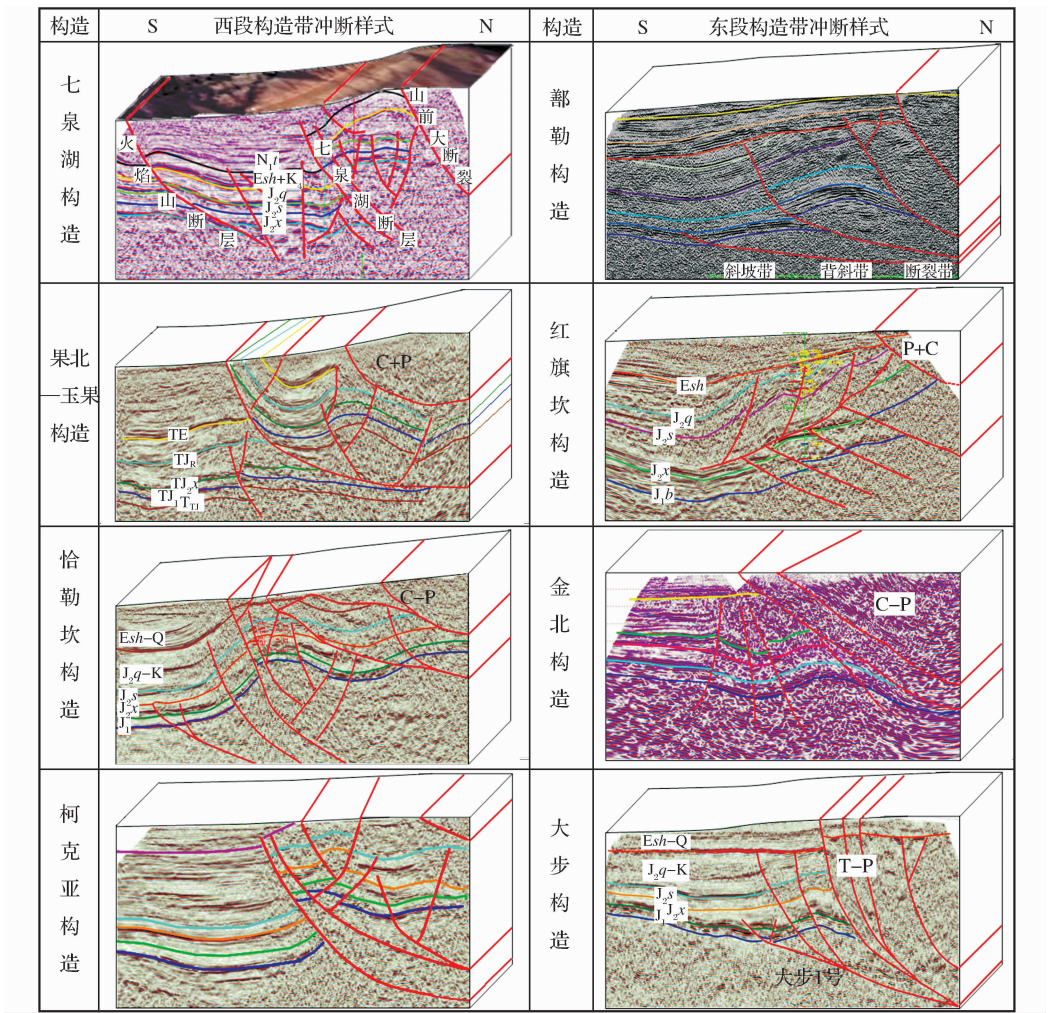


图 4 吐鲁番坳陷北缘主要构造带构造样式综合图

Fig. 4 Comprehensive map of major tectonic belt structural styles of the northern Turpan Depression

4 巨型弧形构造与油气富集的关系

在由南向北的“3 排”弧形构造带构成的巨型弧形构造体系中,南部的火焰山—七克台弧形带已经发现了吐鲁番、葡萄沟、火焰山、鲁克沁和七克台等油气田(藏);中部的鄯善弧形带也发现了葡北、胜北、温吉桑、米登和红台—疙瘩台等油气田(藏),特别是近期在柯克亚地区中下侏罗统水西沟群的致密砂岩气勘探中取得重要突破;北部的弧形带在鄯勒—勒东地区取得了勘探突破,红旗坎—照壁山等地区也发现了良好的油气显示点,充分展示了吐哈盆地巨型弧形构造体系丰富的油气资源。

南部的火焰山—七克台弧形带处于 3 排弧形带的最前沿,沿侏罗系水西沟群和前侏罗纪地层发育了大规模向南的逆冲推覆构造,构造变形作用最强,逆冲断裂冲出地表与南部长期发育的布尔加—鲁西、塔克泉—了墩古隆起的阻挡作用密切相关,由于“通天”断层的大规模发育,南部火焰山—七克台弧形带油气赋存层系多,既发育有经历高演化程度的鲁克沁稠油藏,又发育近地表的浅层次生常规油气藏。

南部的火焰山—七克台弧形带是呈弧形展布的、被 2 大古凸起阻挡的直接产物,该区油气藏的发育受二叠系和侏罗系 2 大含油气系统烃源岩的共同

控制。

中部的鄯善弧形带是油气最为富集的构造区带,这主要与该区处于3大生烃洼陷的包围之中、构造圈闭发育且因上覆沉积层厚、油气保存条件较好密切相关。近年来,随着中下侏罗统水西沟群致密砂岩气勘探的突破,有望进一步扩大中部弧形带的油气勘探规模,使中部弧形带油气勘探在深度上

向深层、在平面上向构造带次高点扩展。

北部弧形带以鄯勒—勒东地区为中心向东西两侧延伸扩展,从西向东已经发现了七泉湖、玉果、恰勒坎、鄯勒和照壁山等油气田(藏)或良好的油气显示点,已经初步展示了北部弧形带的油气勘探潜力,其中鄯勒地区从下侏罗统到新近系等层系都取得了良好发现。

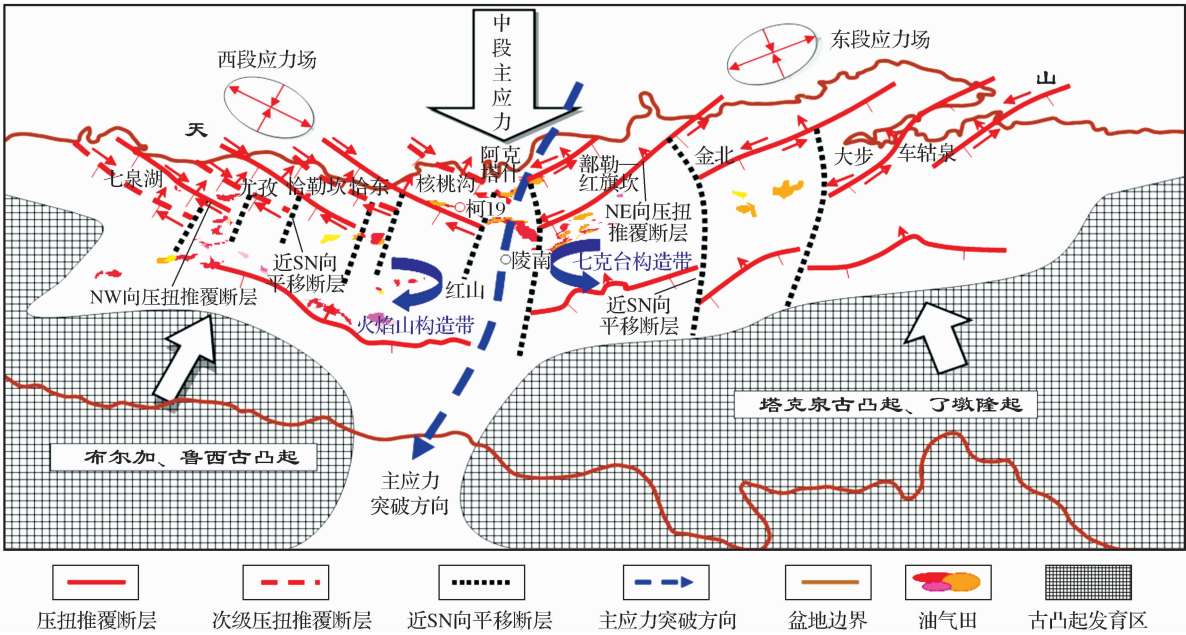


图5 吐鲁番坳陷喜马拉雅期应力场格局分布平面图

Fig. 5 Stress field distribution map in Himalayan Period of Turpan Depression

纵观3个弧形构造带整体的油气赋存特点可以看出,处于吐哈盆地东西构造格局转换带的主应力突破方向部位是油气赋存的最有利地区^[7-9]。处于该部位南部的火焰山油藏与鲁克沁稠油藏、中部的鄯善油田、北部的鄯勒油气田的共同特点是油气赋存层系多,由南向北由稠油—油—油气共处逐步变化,该转换带是吐哈盆地油气最为富集的区带,这与该区处于东西应力格局转换、由北向南主应力突破的集中发育区有关。从空间势能的角度来看,在整体喜马拉雅期压扭应力场环境中,该区是全盆地应力最为松弛的部位,是流体运移的最有利指向区,有利于油气的聚集。中部弧形带由于盖层条件好而有利于油气的保存。

5 吐鲁番坳陷三维构造演化模拟

采用以轴面成图为基础的构造趋势分析技术(Structural trend analysis by axial surface mapping)全面开展了吐鲁番坳陷喜马拉雅期以来的空

间构造演化模拟研究(图6)。该技术是哈佛大学地球科学系在北美洛基山和阿帕拉契亚山前陆冲断带构造演化研究过程中逐步形成的一种半量化的空间构造演化分析与模拟技术^[10],该技术的优势在于在分析单个剖面构造形态演变的过程中,通过轴面控制和构造趋势分析系统考虑了相邻区块的构造变形,从而在一定程度上克服了二维构造演化模拟过程中体积难以守恒的缺点^[11-12]。

借此技术,在全面分析吐鲁番坳陷整体构造格局和区块构造演化特点的基础上,以野外地质调查、非地震建场勘察、区域地震剖面等分析为基础,分析并构建了吐鲁番坳陷的原始构造形态,将吐鲁番坳陷从西向东简化为13个构造特征互有差异的构造条带(假设东西两边2个块体的边部在整体构造变形过程中保持不变,维持原始形态),以北部天山造山带向南的构造挤压应力为主要应力场来源,系统考虑不同演化阶段从北向南的构造滑移量。模拟认为吐鲁番坳陷发育3排弧形构造带,整体属于后退

式发育模式,前缘的2大古凸起(西部的布尔加—鲁西古凸起、东部的塔克泉—了墩古隆起)的阻挡作用是形成第1排弧形构造带形成的主要原因,2大古凸起之间的洼槽属于应力薄弱带,其与天山造山带最南端突出点的连线为整个喜马拉雅期构造应力场的应力突破带(在原始模型上根据吐鲁番坳陷应力突破带的实际发育位置构建了应力突破带的发育位置)。该应力突破带的构造活动确定了整个吐鲁番坳陷东西近于对称的弧形构造格局,随着天山造山带向南的逐步推覆和吐鲁番块体向南构造滑移量的增大,南部第1排弧形构造带因前缘的直接阻挡作

用而变形最大并累积了较大的势能,促使吐鲁番块体在第1排弧形构造带北部发育新的构造应力释放带,从而逐步从南向北发育了第2排、第3排弧形构造带,第2排弧形构造带的发育对第1排弧形构造带有一定程度的改造作用,同样,第3排弧形构造带的发育对第2排、第1排弧形构造带也具有一定程度的改造作用,在喜马拉雅期末最终定型了吐鲁番坳陷的整体构造格局。总体来看,第1排弧形构造带变形程度最高,第2排、第3排弧形构造带变形程度较低,且第3排弧形构造带受喜马拉雅后期构造变形影响而改造强烈。

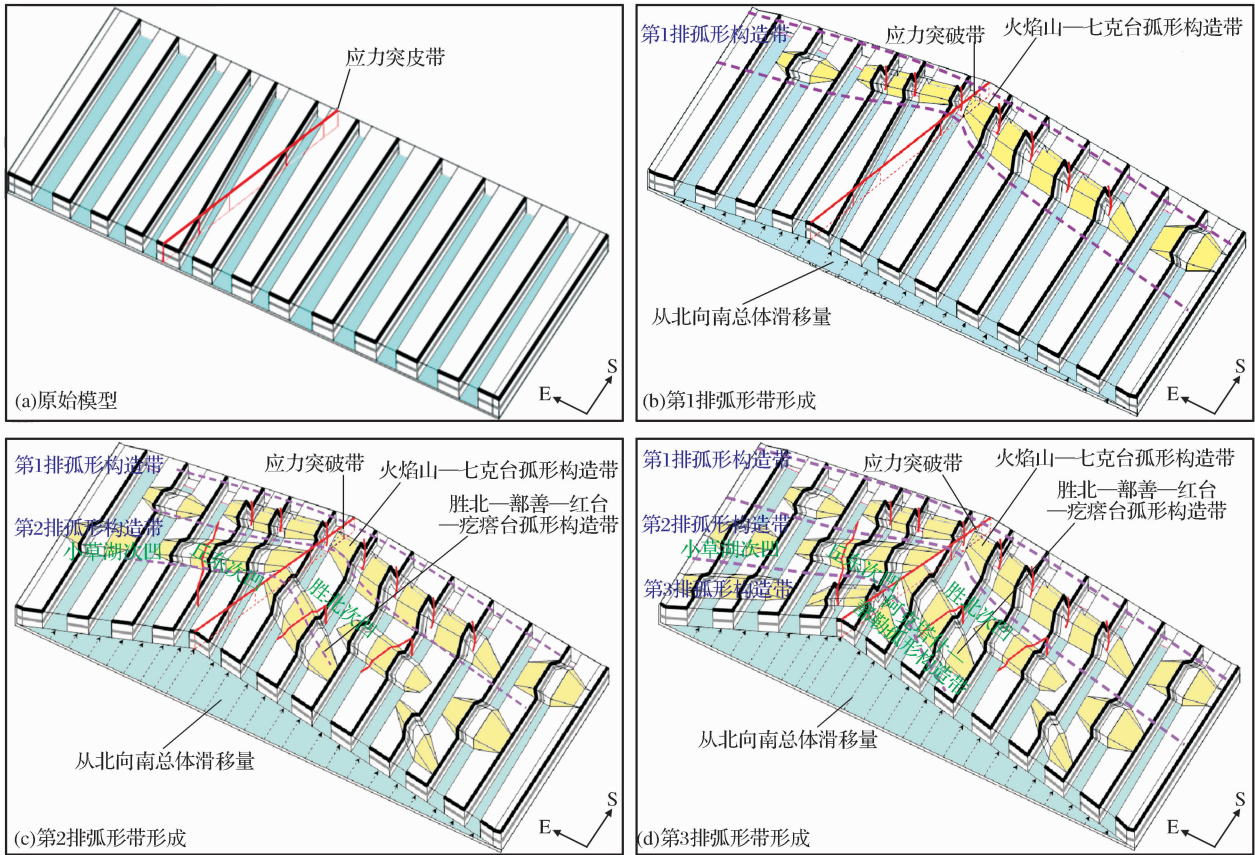


图 6 吐鲁番坳陷三维几何学与运动学模拟

Fig. 6 Three dimensional geometry and kinematics modeling of Turpan Depression

组成喜马拉雅期应力场的应力突破带区域是吐鲁番坳陷内最为脆弱的区带,从流体运移的角度来看,该区带是最有利的油气运移指向区。从目前的勘探来看,该区带两侧从南到北均有油气藏发现且在多个层位聚集油气,是坳陷目前油气最为富集的地区,主要包括鄯勒、巴喀、米登、温吉桑和七克台等油气藏。从地质角度来看,密集发育的断裂有效沟通了水西沟群烃源岩系与上部良好储层,油源条件优越。从北向南挤压作用下发育的近 EW 向

断裂的压性封堵与向南发育的局部构造构成良好的圈闭条件,为油气局部富集创造了良好的圈闭要素。

发育众多近 SN 向平移断层是“狭长形”的吐鲁番坳陷在挤压应力场下的典型特征,这些近 SN 向平移断层断穿层系多,从前侏罗系、侏罗系、白垩系发育到古近系—新近系、第四系(图 7);总体断距不大但在沉积盖层内多层系长距离分布,从而构成良好的纵向油气输导体系。对各个构造带来说,近

SN 向平移断层是必不可少的纵向油气输导体系,而近 EW 向的处于构造高部位的压扭断层往往构成构造圈闭的封闭要素。对于洼陷内部来说,近 SN 向平移断层使中、下侏罗统的烃类向更高层位运移,从而使台北凹陷中上侏罗统、白垩系等多层系富集油气,如红南—连木沁油田、胜北油田、山前的鄯勒油气田等。

从目前整个台北凹陷已经发现油气田的平面分布格局来看,台北凹陷的油气平面分布沿构造格局东西转化的主应力突破一线具有一定的东西对称性,这与东西两侧近于对称的构造格局所产生的近

似的具有可比性的油气地质条件相吻合。仅有的差别在于胜北洼陷沉积盖层块体较大而洼陷规模较大,在一定程度上预示了胜北洼陷具有更为丰富的油气资源潜力,截至目前,胜北洼陷周缘发现了众多中小规模的油气藏,洼陷整体发现的油气藏规模与洼陷本身的优越油气地质条件、洼陷规模仍不匹配。弧形构造带低部位整体油气勘探程度较低,3 排弧形构造带逆掩断裂带下盘由于临近生烃凹陷,油气成藏条件优越,具备深入勘探的资源 and 地质基础,如鄯勒—勒东南部的博格达低断阶带、胜北构造带南翼、鄯善弧形带逆掩断裂带下盘等。

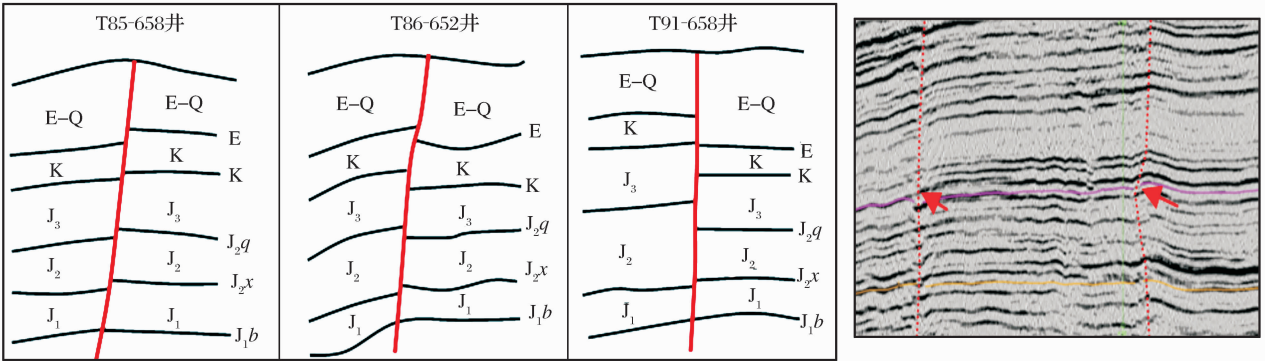


图 7 台北凹陷近 SN 向平移断层特征及其在地震剖面上的显示
Fig. 7 The nearly NS-trending strike-slip faults and theirs display on seismic section

6 结论

- (1)吐哈盆地吐鲁番坳陷具有明显的东西分段和南北分带构造特征。燕山中晚期—喜马拉雅期天山造山带向南的差异挤压作用是构造带东西分段的主要成因机制,而南北分带是不同构造活动阶段的直接产物。
- (2)区域和局部应力场的变化是吐鲁番坳陷“3 大”弧形构造带形成的主要原因,坳陷西部具有典型的左旋构造特征,而东部为典型的右旋构造特征,东西两侧的构造发育和油气地质特征具有明显的对称性和可比性。
- (3)鄯善弧形带是吐哈盆地油气最为丰富的勘探领域,随着有关南部弧形带构造格局的进一步深入认识和北部山前弧形构造带的提出,可进一步扩大整个盆地的油气勘探领域。
- (4)结合吐鲁番坳陷的构造发育特征和基本油气地质条件分析认为,吐鲁番坳陷台北凹陷西部的胜北构造南翼、鄯善弧形构造带逆掩断裂带下盘、鄯勒低断阶带等区域是近期预探的有利地区。

参考文献 (References):

- [1] Yuan Mingsheng, Liang Shijun, Yan Liecan, *et al*, Petroleum Geology and Exploration Practice of Turpan-Kumul Basin [M]. Beijing: Press of Petroleum Industry, 2002. [袁明生, 梁世君, 燕列灿, 等. 吐哈盆地油气地质与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.]
- [2] Yang Zhanlong, Chen Qilin. Some Speculations on lithologic traps exploration of Taibei Depression, Turpan-Kumul Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 323-329. [杨占龙, 陈启林. 关于吐哈盆地台北凹陷岩性油气藏勘探的几点思考[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 323-329.]
- [3] Yang Zhanlong. Accumulation condition and exploration domains of natural Gas, Taibei Depression, Tuha Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 688-692. [杨占龙, 吐哈盆地台北凹陷天然气成藏条件与勘探方向[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 688-692.]
- [4] Yang Zhanlong, Peng Licai, Chen Qilin, *et al*, Petroleum accumulation condition analysis and lithologic reservoir exploration in Shengbei Depression of Turpan-kumul Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 19(1): 62-67. [杨占龙, 彭立才, 陈启林, 等. 吐哈盆地胜北洼陷岩性油气藏成藏条件与油气勘探方向[J]. 天然气地球科学, 2007, 19(1): 62-67.]
- [5] Yang Zhanlong, Chen Qilin, Zhang Huquan, *et al*. Reservoir

- ring conditions of J-K lithologic oil and gas in Shengbei Depression[J]. *Natural Gas Industry*, 2005, 25(supplement B): 56-59. [杨占龙, 陈启林, 张虎权, 等. 胜北洼陷 J-K 岩性油气藏成藏条件分析[J]. *天然气工业*, 2005, 25(增刊 B): 56-59.]
- [6] Yang Zhanlong, Chen Qilin, Guo Jingyi. The particularity analysis of stratigraphy reservoirs in Shengbei Depression[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 16(2): 181-185. [杨占龙, 陈启林, 郭精义. 胜北洼陷岩性油气藏成藏条件特殊性分析[J]. *天然气地球科学*, 2006, 16(2): 181-185.]
- [7] Zhang Jianwei, Yang Zhanlong. Tectonic features of orogenic-type basins and oil and gas accumulation in northwestern China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2005, 25(3): 52-56. [张建伟, 杨占龙. 中国西北部造山型盆地构造特征与油气赋存[J]. *沉积与特提斯地质*, 2005, 25(3): 52-56.]
- [8] Yang Zhanlong, Chen Qilin. Tectonic Evolution and Hydrocarbon Occurring of Block-type Basins in Hinterland of Asia[C]. 2010 AAPG ICE, Sept. 12-15, 2010, Calgary, Alberta, Canada.
- [9] Yang Zhanlong, Chen Qilin, Huang Yunfeng, *et al*. Buried Giant Arc-type structural System and Petroleum Exploration in Turpan-kumul Basin, Northwest of China[C]. 2011 AAPG ICE, Oct. 23-26, 2011, Milan, Italy.
- [10] Shaw J H, John F Bilotti, Brennan P. Patterns of imbricate thrusting[J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 111(7): 1140-1154.
- [11] Shaw J H, Hook S C, Suppe J. Structural trend analysis by axial surface mapping[J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78: 700-721.
- [12] Shaw J H, Hook S C, Suppe J. Structural trend analysis by axial surface mapping[J]. *Reply*, 1996, (80/5): 780-787.

Buried Giant Arc-shape Structure System and Petroleum Exploration in Turpan-Kumul Basin

YANG Zhan-long, HUANG Yun-feng, WU Qing-peng, HUANG Xiao-peng, HAN Xiao-feng, NIU Hui-yun
(North Branch, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the analysis of regional stress fields and structure distribution in Yanshan and Himalayan periods, with the technique of structural trend analysis by axial surface mapping, it is concluded that a huge arc-shape structure system mainly consisting of three local arc-shape structure belts is buried in east-west direction in the sedimentary cover of Turpan Depression. With the symmetric centre of stress break belt in the middle of depression, the petroleum geological features are comparable and symmetrical in west and east phases of the arc-shape structure system, which attached the three main hydrocarbon-rich sags (Shengbei, Qiudong and Xiaocaohu Sags). The structure of basin is obviously characterized by different sections in west-east and various belts in north-south. The change of regional and local stress fields is the main reason for the formation of this type of structure scheme. Because of the different slip within strata from north to south during Middle to Late Yanshan and Himalaya movements, the structure belt of the west piedmont section is mainly distributed in northwest-southeast and the east, northeast-southwest. The left and right cycles of stress fields in west and east sections result in the formation of arc structure system in plane. There are three different arc-shape structure belts formed within Turpan depression from north to south, which formed a huge arc-shape structure system. The extrusion faults in EW development are good sealing elements of structure traps. The strike-slip faults in NS development are good hydrocarbon transporting elements of structure traps because they cut through the Lower Jurassic hydrocarbon source rocks of Shuixigou Formation. The conclusion of this buried giant arc-shape structure system largely changes the overall understanding of tectonic framework of Turpan Depression. The opinions of the comparability and symmetry in EW of this huge arc-shape structure belt system are favorable for understanding the future exploration domains of Turpan-Kumul Basin.

Key words: Arc-shape structure system; Stress field; Structural trend analysis by axial surface mapping; Hydrocarbon exploration domain; Turpan-Kumul Basin