

柴达木盆地北缘山前带平台地区 天然气成藏条件及勘探方向

田继先^{1,2}, 孙平², 张林², 郭泽清², 翟志伟³, 周飞³, 赵健³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;
3. 中国石油青海油田公司勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736200)

摘要:柴达木盆地北缘山前带平台地区为长期继承性古隆起, 位于祁连山前, 紧邻赛什腾凹陷。从烃源岩、储盖组合、圈闭及油气运移等方面, 分析了平台地区的成藏条件。研究表明: 平台凸起为源外成藏模式, 赛什腾凹陷的侏罗系烃源岩所生油气, 经断层及不整合面运移到具有古隆起背景的古近系砂岩储集层聚集成藏。平 1 井的突破, 证实了柴北缘山前带源外成藏模式和古隆起具备较好的勘探潜力, 也是下一步柴达木盆地主要的勘探方向。

关键词:源外成藏; 古隆起; 平台地区; 柴北缘山前带

中图分类号: TE121.1⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2014)04-0526-06

引用格式: Tian Jixian, Sun Ping, Zhang Lin, *et al.* Accumulation conditions of natural gas and exploration domains in Pingtai area, piedmont zone of the north Qaidam[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(4): 526-531. [田继先, 孙平, 张林, 等. 柴达木盆地北缘山前带平台地区天然气成藏条件及勘探方向[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(4): 526-531.]

0 引言

柴达木盆地是我国西部的大中型新生代陆相含油气盆地, 由北缘断块带、西部坳陷区和东部坳陷区组成。柴达木盆地北缘(以下简称“柴北缘”), 油气勘探始于 1954 年, 1958 年在冷湖构造带发现了冷湖油田, 此后相继发现了冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号、鱼卡及南八仙等几个油气田。1996 年在冷湖五号二高点构造上钻探的冷科 1 井发现了下侏罗统巨厚的优质烃源岩, 展现出柴北缘良好的勘探前景^[1-2]。长期以来, 柴北缘的天然气勘探主要集中在冷湖—南八仙—马北构造带和鄂博梁—鸭湖—伊克雅乌汝构造带上, 柴北缘山前带研究较为薄弱。平台古凸起位于柴达木盆地赛什腾山前, 西起潜西, 东至结绿素, 北界为大小赛什腾山, 南界为驼南断裂(图 1), 勘探面积为 1 000 km²。自 20 世纪 50 年代

以来相继钻探了几口井, 但都未取得预期效果, 长期以来一直认为柴北缘山前带距油源较远, 保存条件不好。2011 年在平台地区钻探了平 1 井获得工业气流, 证实了平台凸起具有源外成藏模式。但该地区总体认识程度低, 基本成藏条件与潜力尚不明确, 因此开展平台地区的成藏条件及勘探方向研究对于柴北缘山前带油气勘探具有重要的指导意义。

1 地质概况

柴达木盆地是在前侏罗纪柴达木地块上发育起来的一个典型的中新生代内陆湖相沉积盆地, 其中柴北缘地区面积约为 30 000 km², 探明石油地质储量为 2 621.56 × 10⁴ t, 天然气地质储量为 124.96 × 10⁸ m³, 探明率仅为 4.2% 左右, 勘探潜力巨大^[2]。研究已证实中下侏罗统为柴北缘的主力烃源岩层, 中侏罗统的残余地层主要分布在冷湖—南八仙构造带以东及以

收稿日期: 2013-05-16; 修回日期: 2013-06-30.

基金项目: 国家科技重大专项“中国大型气田形成条件、富集规律及目标评价(二期)”(编号: 2011ZX05007); 中国石油重大科技专项“柴达木盆地建设千万吨油气田综合配套技术研究”(编号: 2011E-03)联合资助。

作者简介: 田继先(1981-), 男, 甘肃庄浪人, 博士研究生, 主要从事天然气地质研究. E-mail: tjx69@petrochina.com.cn.

北的赛什腾凹陷和鱼卡凹陷,下侏罗统主要分布在冷湖—南八仙构造带以南。平台地区位于祁连山前,紧邻赛什腾凹陷,为长期继承性古隆起,侏罗系本身不发育,主要沉积古近系,古新世、始新世—渐新世早期为古近纪湖盆的发生、发展阶段,随着周边老山继续隆升,盆地开始下沉,是大型湖泊出现之前湖盆的发生、发展时期。该地区自上而下地层主要为 E_3^2 地层、 E_3^1 地层和 E_{1+2} 地层, E_3^2 地层以灰色泥岩和棕灰色砂质泥岩为主,并发育少量浅灰色含砾细砂岩及砾岩。 E_3^1 分为上下 2 段,上段岩性以灰色泥岩、棕红色砂质

泥岩互层为主;下段以棕灰色砂质泥岩和泥质粉砂岩为主,夹灰色含砾粗砂岩,局部发育杂色细砾岩。 E_{1+2} 地层以红色粗碎屑岩沉积为特征,以棕红色泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,夹棕红色含砾粉砂岩和灰色砾状砂岩,同时发育少量棕褐色泥岩和砂质泥岩,局部发育杂色细砾岩。 E_{1+2} 地层与下部的基岩呈不整合接触,基岩岩性主要为杂色的花岗岩。平台地区受祁连山挤压作用影响,具有明显冲断带构造特征,断层非常发育,距离生烃凹陷较远,邻近凹陷的油气能否运移至山前带聚集成藏至关重要。

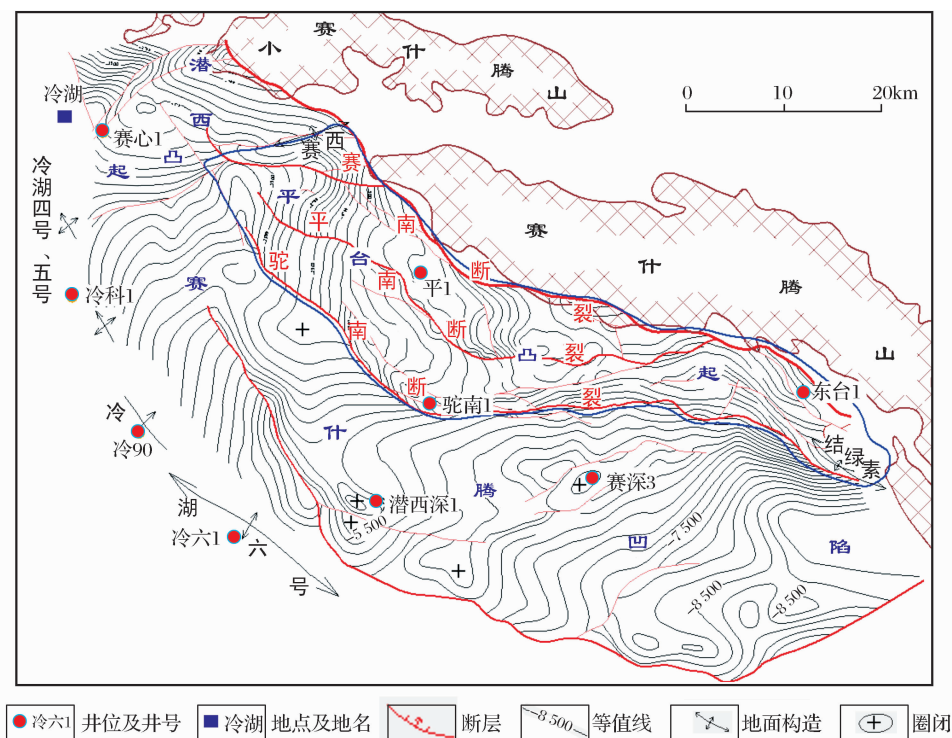


图 1 平台凸起位置示意

Fig. 1 Position map of Pingtai salient

2 成藏条件分析

2.1 烃源岩条件

柴达木盆地柴北缘的油气主要来源于中、下侏罗统。下侏罗统(J_1)主要分布在冷湖构造带以南(包括冷湖构造带),据冷科 1 井钻遇的下侏罗统地层看,视厚度在 1 200m 左右,以灰色泥岩及砂质泥岩的湖相沉积为主,生油岩为深灰色、灰黑色泥岩。中侏罗统(J_2)主要分布在冷湖构造带以北(图 2),钻井证实中侏罗地层以含煤及砂泥岩的滨浅湖相沉积为主^[3],生油岩为浅灰绿色、浅灰黑色泥岩及少量的炭质泥岩,有机质丰度较高,为一套中等烃源岩。

平台地区紧邻赛什腾中侏罗统生烃凹陷,烃源

岩分布面积为 3 200km²,赛什腾凹陷 J_2 有效烃源岩厚度为 200~300m,油气资源量达 1.9×10^8 t。有机碳平均含量为 3.95%,烃源岩类型以 I—II 型为主。根据前人^[3-5]对伊北凹陷及赛什腾生烃凹陷沉积埋藏生烃史研究表明,赛什腾凹陷白垩纪晚期开始进入生烃门限, E_3 处于生油高峰期, N_1 达到凝析油和湿气生成阶段, N_2 至今进入过成熟干气阶段($R_o > 2.0\%$)。因此该区有较好的油气源条件。

2.2 储盖组合条件

平台古凸起北部的赛什腾山发育花岗岩,具有良好母岩基础,主要储层类型有古近系三角洲相的砂岩和基岩风化壳两大类。钻井证实平台地区主要为辫状河三角洲沉积(图 3),储层以中砂岩—细粉

砂岩为主,由于埋藏较浅,平台地区的储层物性明显好于冷湖构造带及鄂博梁构造带这 2 个柴北缘天然气主力勘探区。岩心实验分析显示下干柴沟组下段 E₃ 储层孔隙度平均为 13.1%;渗透率平均为 16.7 ×10⁻³ μm²(图 4),岩性以中砂—细粉砂为主,孔隙类型以原生粒间孔为主。路乐河组 E₁₊₂ 储层孔隙

度平均为 18.6%;渗透率平均为 14.8 ×10⁻³ μm²,岩性主要为粗砂—细粉砂,孔隙类型以原生粒间孔为主,发育少量溶蚀孔。平台地区缺乏区域性的泥岩盖层,但局部泥岩较为发育,尤其以 E₁₊₂ 上部以及 E₃ 最发育,大量发育的局部泥岩对于油气的封堵起到良好的效果,构成良好的储盖组合条件。

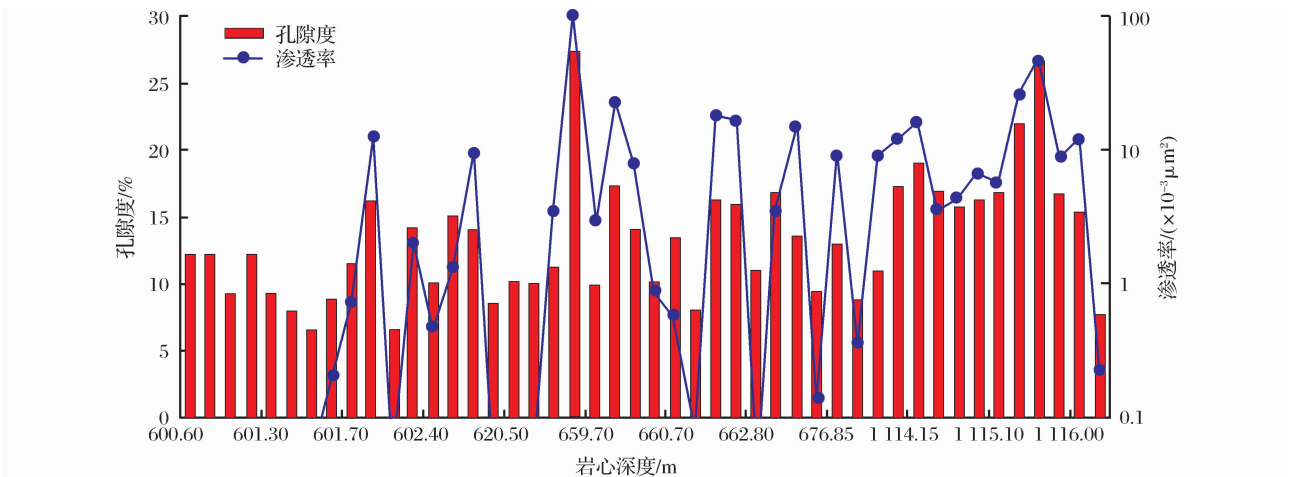


图 4 平 1 井岩心孔隙度和渗透率分布特征

Fig. 4 Distribution map of well Ping1's core porosity and permeability

2.3 圈闭条件

平台地区受祁连山挤压作用的影响,具有明显的冲断带构造特征,赛南、平南和驼南 3 排主要断层控制了该地区的圈闭发育特征(图 1),3 组断裂间不同类型圈闭是有利的勘探目标区。根据圈闭形态、成因以及遮挡条件可将该地区的圈闭类型划分为构造圈闭、岩性—地层圈闭和构造—岩性复合型圈闭 3 大类。从图 5 过平 1 井的自然伽马反演图上可以看出该地区有 3 种类型的圈闭:①构造圈闭:平台地区构造圈闭非常发育,浅层断层少,构造形态相对比较完整,而且具有继承性特点,以背斜及断背斜圈闭为主,已发现的平 1 井气藏为背斜型构造气藏。②岩性—地层圈闭:平台地区为古生代变质岩基础上发育的长期继承性古隆起,具备形成岩性—地层圈闭的良好条件。岩性圈闭主要为河道砂体;地层圈闭包括不整合面遮挡圈闭和基岩风化壳等,岩性—地层圈闭是该地区下一步油气藏勘探的重要类型。③构造—岩性圈闭:由于赛什腾山前带地层以辫状河沉积为主,砂体横向变化快,加上古隆起背景发育,容易在构造背景形成上倾尖灭的构造—岩性圈闭,这类圈闭在柴北缘山前带极为发育,圈闭面积大,分布广泛,是寻找规模油气藏的重点圈闭类型。总之平台地区圈闭形成条件优越,圈闭类型多,古隆

起背景及广泛发育的辫状河砂体,使得平台地区具备良好的圈闭条件。

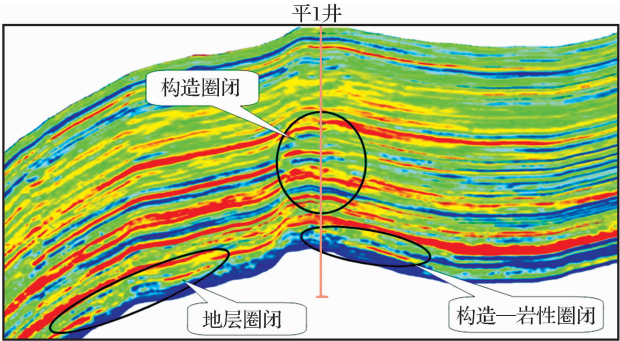


图 5 平台地区圈闭类型

Fig. 5 Trap types of Pingtai area

2.4 疏导体系

柴北缘地区主要以下生上储、下生侧上储源储组合为主,深大断裂纵向沟通油源,不整合与砂体控制油气横向运聚,3 种运移通道在空间上构成良好的立体输导体系。平台地区为持续性古隆起,稳定的构造背景为油气的运移和聚集提供了有利条件。虽然平台地区自身未沉积侏罗系地层,而且距离赛什腾凹陷较远,但该地区深大断裂发育,邻近赛什腾凹陷油气可沿断层、砂体及不整合面运移至邻近圈闭聚集(图 1),并且位于驼南断裂带附近的驼南 1

井钻井见到较好的油气显示,加上山前带露头沥青说明该地区的断层及不整合面具备成为油气运移通道的条件。平1井获得工业气流证实了北缘山前带

具备源外成藏条件,北缘山前带的深大断裂、砂体及不整合面构成的联合疏导体系组成了良好的油气运移通道(图6)。

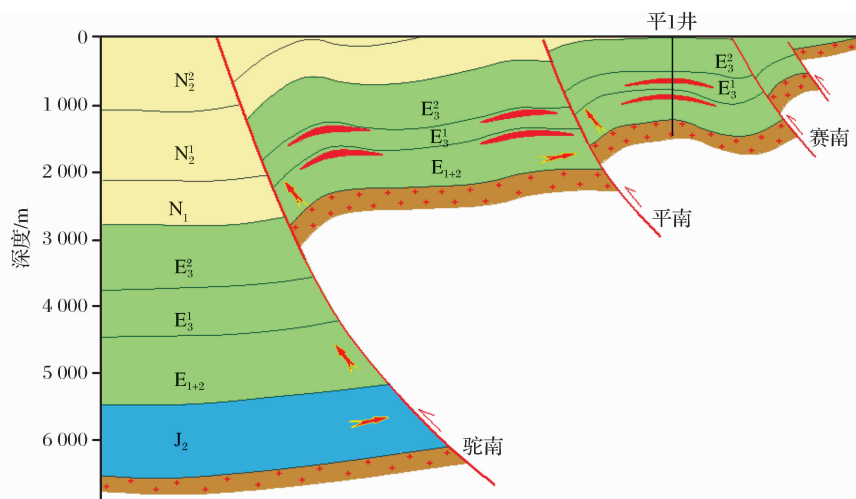


图6 柴北缘平台地区成藏模式

Fig. 6 Accumulation Model map of Pingtai area in the northern margin of Qaidam Basin

处于古隆起之上的平台地区构造活动相对较弱,因而保存条件相对较好,有利于已经聚集成藏的天然气保存。总之,良好的天然气成藏地质条件决定了平台古隆起乃至柴北缘山前带是下一步天然气勘探的有利地区。

3 有利勘探方向

前人^[6-9]对柴北缘西段油气成藏机理有一定的研究,但对于柴北缘山前带成藏条件研究较为薄弱,长期以来有观点认为山前带距生烃中心较远,埋藏浅盖层不发育,成藏条件不佳。本文研究认为柴北缘赛什腾凹陷侏罗系地层较为发育,油气资源丰富,油气运移疏导体系发育,具备源外成藏条件,储盖组合条件良好,勘探潜力巨大。综合评价认为,赛什腾山前带和赛什腾凹陷潜伏构造(图1)是柴北缘下一步有利的勘探区带。

3.1 赛什腾山前带

赛什腾山前带包括平台凸起区和潜西凸起区,以发育北倾南冲逆断层为特征,断层活动时间长、断距大,中、新生界地层沉积较薄。除潜西部分地区发育侏罗系烃源岩外,大部分侏罗系地层被剥蚀,甚至缺失。但赛什腾山前带紧邻冷湖、赛什腾侏罗系生烃凹陷,有深大断裂发育,深层的油气曾经通过断层运移至浅层聚集,这一点可以从山前带露头的沥青及平1井得到证实。赛什腾山前带具有继承性古隆起特征,

这种紧邻生烃凹陷的继承性古隆起储层极其发育,是油气长期运聚的指向区。古近系地层埋藏较浅,基岩风化壳发育,储层条件好,构造及岩性圈闭分布广,是古隆起背景上的源外油气聚集有利区。因此赛什腾山前带是柴北缘未来天然气勘探的重要领域。

3.2 赛什腾凹陷内潜伏构造带

赛什腾凹陷潜伏构造带烃源岩发育,油源充足^[10]。构造规模大、数量多,受断层控制,中生代末已初具雏形,上覆地层在断层的持续活动下,圈闭继承性发育,构造幅度不断增大,而主控断层基本上于新近纪中期停止活动,构造最终定型,因而深层圈闭可长时间捕获油气,形成原生油气藏。此外由于该区离构造应力相对集中的盆缘区较远,晚喜马拉雅运动对构造的影响不大,圈闭保存比较完整,浅层可在油气发生二次运移时形成次生油气藏。从储盖组合上看,古近系广布洪泛平原、滨浅湖相沉积,河道砂体、湖相滩坝砂体厚度大,横向分布稳定,物性良好,同时泥岩盖层发育,纵向上构成砂泥岩互层式旋回,成藏组合优越。因此,赛什腾凹陷内圈闭形成与生排烃期的合理匹配,后期的保存条件较好,是柴北缘天然气勘探的有利方向。

4 结论

柴达木盆地北缘山前带紧邻侏罗系生油凹陷,有机质丰度高,生烃条件好,具备形成油气田的资源

基础。邻近凹陷的烃源岩可通过断层、古风化壳及砂体通道运移至山前聚集成藏。源外成藏模式和古隆起将是下一步柴达木盆地主要的勘探方向,赛什腾山前带及凹陷内潜伏构造带将是柴北缘天然气勘探的重要接替区。

参考文献(References):

- [1] Fu Suotang, Wang Liqun, Xu Ziyuan, *et al.* Geological conditions of deep gas pools and their favorable prospects[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(6): 851-846. [付锁堂, 汪立群, 徐子远, 等. 柴北缘深层气藏形成的地质条件及有利勘探区带[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(6): 841-846.]
- [2] Wang Mingru, Hu Wenyi, Peng Dehua. Oil and gas prospect of Jurassic strata in northern Qaidam Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1997, 24(5): 20-24. [王明儒, 胡文义, 彭德华. 柴达木盆地北缘侏罗系油气前景[J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(5): 20-24.]
- [3] Liu Luofu, Tuo Jincai, Yu Huijuan, *et al.* Geochemical characteristics of Jurassic source rocks in northern Qaidam Basin[J]. *Journal of the University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2000, 24(1): 64-67. [刘洛夫, 妥进才, 于会娟, 等. 柴达木盆地北部地区侏罗系烃源岩地球化学特征[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2000, 24(1): 64-67.]
- [4] Tian Guangrong, Yan Cunfeng, Tuo Jincai, *et al.* Late hydrocarbon accumulation characteristic of coal related gas in northern Qaidam Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(6): 1028-1032. [田光荣, 阎存凤, 妥进才, 等. 柴达木盆地柴北缘煤层气晚期成藏特征[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(6): 1028-1032.]
- [5] Chen Zhiyong, Xiao Ancheng, Zhou Suping, *et al.* The main control of actor for Jurassic distribution in Qaidam Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 149-155. [陈志勇, 肖安成, 周苏平, 等. 柴达木盆地侏罗系分布的主控因素研究[J]. *地质前缘*, 2005, 12(3): 149-155.]
- [6] Zhang Min, Yin Chengming, Chen Yan. Strategy of hydrocarbon exploration in the Petroleum system of the northern Qaidam Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 143-149. [张敏, 尹成明, 陈琰. 柴达木盆地北缘含油气系统与油气勘探方向[J]. *沉积学报*, 2005, 23(1): 143-149.]
- [7] Luo Qun. The distribution of petroleum reservoirs and the hydrocarbon accumulation in west part of northern margin of Qaidam Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2010, 31(1): 10-13. [罗群. 柴北缘西部油气藏分布与成藏特征[J]. *新疆石油地质*, 2010, 31(1): 10-13.]
- [8] Wan Chuanzhi, Li Hongzhe, Chen Yingbin. Petroleum accumulation mechanism and advantage direction pf exploration in the west segment of the northern fringe of Qaidam Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(5): 653-658. [万传治, 李红哲, 陈迎宾. 柴达木盆地北缘西段油气成藏机理与有利勘探方向[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(5): 653-658.]
- [9] Gao Xianzhi, Chen Fajing. Accumulation model of petroleum in the Tertiary system of the northwestern Qaidam Basin[J]. *Earth Science*, 2002, 27(6): 757-762. [高先志, 陈发景. 柴达木盆地北缘西段油气成藏机理研究[J]. *地球科学*, 2002, 27(6): 757-762.]
- [10] Xing Lantian, Zhang Xiaobao, Zhang Rui, *et al.* Kinetics of hydrocarbon generation for Jurassic source rocks and application in northern Qaidam Basin: Take Saishenteng Depression as an example[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(1): 161-166. [邢蓝田, 张晓宝, 张瑞, 等. 柴北缘侏罗系烃源岩生烃动力学及其应用——以赛什腾凹陷为例[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(1): 161-166.]

Accumulation Conditions of Natural Gas and Exploration Domains in Pingtai Area, Piedmont Zone of the North Qaidam

TIAN Ji-xian^{1,2}, SUN Ping², ZHANG-Lin², GUO Ze-qing², ZHAI Zhi-wei³, ZHOU Fei³, ZHAO Jian³

(1. *China University of Geoscience (Beijing)*, Beijing, 100083, China;

2. *Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang* 065007, China;

3. *Exploration and Development Research Institute of Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang* 736200, China)

Abstract: Pingtai area, which is located in the Qilian Mountains, is an ancient uplift for long-term and next to the Saishiteng Depression. In this paper, we discuss the accumulation conditions of oil and gas in the Pingtai area in combination with source rocks, reservoir-cap rock assemblages, trap, and migration pathway. Results show that the oil and gas accumulation in the Pingtai salient was happened outside of source rocks, oil and gas generated from the Jurassic source rocks in the Saishiteng Depression was migrated and gathered into the Tertiary sandstone reservoirs though faults and unconformity, those reservoirs always have background of ancient uplift. The exploration breakout of Ping 1 well confirmed that the ancient uplift and accumulation outside sources have good exploration potential in the piedmont zone of the Northern Margin and is main exploration direction in the Qaidam Basin.

Key words: Accumulation outside sources; Ancient uplift; Pingtai areas; The north Qaidam piedmont zone