

# 柴达木盆地侏罗系油气成藏模式与油气聚集规律

谢宗奎<sup>1</sup>, 李生德<sup>2</sup>, 车明<sup>3</sup>, 马斯辉<sup>2</sup>, 李志勇<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 青海油田 监理中心, 甘肃 敦煌 736202;

3. 中国石油长庆油田公司 第四采油厂, 陕西 靖边 718500)

**摘要:** 针对柴达木盆地侏罗系油气勘探目标选择的难点, 从烃源岩与圈闭时空配置的角度, 建立侏罗系油气早期聚集早期成藏、早期聚集晚期成藏、晚期聚集晚期成藏 3 种模式。盆地油气来源、充注时期、油藏调整及破坏等方面存在规律性, 这决定了油气分布的有序性, 呈现出“断褶区聚气, 山前、潜伏区聚油, 凸起顶、凸起斜坡区油气并存”的基本格局和油气富集程度依次变好的序列。据此预测油气富集范围, 从中优选冷湖 4 号东斜坡、乌南—巴依凸起斜坡、怀头他拉—德北斜坡、潜伏 I 号等新靶区。

**关键词:** 有序性; 模式; 油气藏; 侏罗系; 柴达木盆地

**中图分类号:** P618.130.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)02-0166-04

## Mode of Jurassic Hydrocarbon Reservoir Formation and Rules of Reservoir Accumulation in Qaidam Basin

XIE Zong-kui<sup>1</sup>, LI Sheng-de<sup>2</sup>, CHE Ming<sup>3</sup>, MA Si-hui<sup>2</sup>, LI Zhi-yong<sup>1</sup>

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Supervision Center, Qinghai Oilfield Company, Dunhuang 736202, Gansu, China;

3. Fourth Oil Production Factory, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Jingbian 718500, Shaanxi, China)

**Abstract** It is very difficult to decide the most vantage points for drilling Jurassic petroleum in Qaidam Basin. From the view point of collocating the source and traps in space and time, this paper sets up three modes of pool formation, that is early accumulation-early hydrocarbon reservoir formation, early accumulation-late hydrocarbon reservoir formation, and late accumulation-late hydrocarbon reservoir formation. The characteristics of oil and gas origin, infusing time, and reforming or destroying determine the arrangement of oil and gas reservoirs in a particular order. The order may be described as follows: natural gas accumulates in the faultage-anticline zone, oil congregates in piedmont and latency, oil and gas co-exist in the top and slopes of uplift. Furthermore, the grade of the enrichment in this order gradually increases. According to the regularity, the enrichment corners can be predicted, among which the eastern slope of Lenghu-4, the slope of Wunan-Bayi uplift, the slope of Huaitoutala-North Delingha and Latency-1 are the unexceptionable drilling targets.

**Key words:** gradational; mode; hydrocarbon reservoir; Jurassic System; Qaidam Basin

## 0 引言

柴达木盆地是中、新生代含油气盆地, 侏罗系主要分布在北部块断带, 油气资源量  $20 \times 10^8$  t, 分布在昆特依—伊北凹陷、赛什腾—鱼卡断陷、马

海一大红沟凸起、大柴旦—红山断陷、德令哈凹陷、埃北斜坡、埃姆尼克凸起等构造单元。经过 40 年的勘探, 发现了冷湖三至五号、鱼卡油田和南八仙、马海油气田及多个碎屑岩含油气层系(基底 J-E-N)(图 1), 油气藏以构造圈闭类型为主。近年来, 数口

收稿日期: 2006-06-24

基金项目: 青海油田项目(20020228)

作者简介: 谢宗奎(1970-), 男, 甘肃民勤人, 博士研究生, 从事油气成藏研究。E-mail: xzkh@sina.com

探井虽获工业油气流, 但探明储量与资源潜力极不相称。地质认识侧重于烃源岩演化、构造变形等<sup>[1-5]</sup>。因地质条件的复杂性, 油气成藏关键因素仍在探索中, 直接制约了钻探成功率。笔者从烃源岩与圈闭时空配置研究烃源岩、圈闭特征, 建立成藏模式, 总结富集规律, 提出勘探目标。

1 烃源岩分布与热演化特征

早—中期侏罗世柴达木盆地北部温暖潮湿<sup>[6]</sup>, 广泛沉积了暗色泥岩和煤系地层, 分东、西两段呈 10 多个凹陷连片分布(图 1)。东段下、中侏罗统发育较全, 形成三凹夹两隆格局, 湖相暗色泥岩厚大于 400 m, 生烃中心在德令哈、红山和埃南凹陷。西段以陵间断裂为界, 下、中侏罗统呈南、北两带分布, 剥蚀较多, 其中西段南带湖相深灰色泥岩一般厚 400 ~ 800 m, 昆特依—伊北凹陷为生烃中心; 西段北带沼泽相煤系地层和深灰色泥岩厚 200 ~ 400 m, 生烃中心在赛什腾—鱼卡凹陷。下侏罗统有机质类型以 I、II 型为主, 中侏罗统以 II 型居多。早—中侏罗世、晚侏罗世—白垩世、古—中新世、上新世以来古地温梯度依次为 3.2 ~ 3.0、2.8、2.7 ~ 2.6、2.4 °C/100 m, 热模拟显示侏罗统烃源岩埋深 3 200 m 才能大量排烃, 仅在昆特依凹陷中心极小范围内。在晚侏罗世接近生油门限深度(加剥蚀量)<sup>[4]</sup>, 全区主力烃源岩在古新世进入生油窗, 但后续演化进程存在地区差异。

(1)冷湖四号、马海凸起、鱼卡、红山及山前地区由于新近纪构造抬升, 延缓了烃源岩的演化进程, 拓宽了生油窗, 现今仍处生油高峰期。

(2)赛什腾凹陷北部及昆北斜坡现今处于高成熟阶段。

(3)赛—昆凹陷中部、伊克雅吾汝、德令哈凹陷在上新世已进入生气阶段, 生油窗最窄。

2 圈闭发育与分布

2.1 圈闭发育特征

构造圈闭和地层圈闭为区内主要类型, 受沉积构造演化控制, 盆地经历了 4 个阶段<sup>[1, 6]</sup>。

2.1.1 早—中侏罗世断陷

该区为张性断陷, 在基底凸起上(如马海凸起、冷湖四号、埃姆尼克凸起)发育披覆背斜圈闭、地层圈闭等, 其他地区无主要构造圈闭产生。

2.1.2 晚侏罗世—白垩纪挤压台升

该区侧向挤压, 大面积产生背斜背景的构造圈闭, 而且构造作用对后续圈闭造成影响, 有挤压造成抬升剥蚀, 形成区域性不整合面, 为地层圈闭提供了必要条件; 在第三系沉积前仍呈相对隆凹格局, 有发育披覆背斜的古地貌条件。

2.1.3 古近纪拗陷

全区拗陷, 发生过补偿沉积并填平补齐, 主要在中生界残山上发育披覆背斜圈闭、地层圈闭, 在山前及潜伏地带产生岩性圈闭。

2.1.4 新近纪—第四纪挤压褶皱

受强烈侧向挤压, 全区形成断褶构造带, 并对先存构造改造、定型。主要产生断块、断背斜、背斜等圈闭。

总之, 晚侏罗世—白垩纪、新近纪—第四纪为大面积构造圈闭产生期, 而侏罗纪、古近纪只在隆起背景上继承性发展圈闭。

2.2 圈闭分布特征

沉积与构造演化还决定了圈闭的分布, 具有平面分区、垂向叠置特征。

2.2.1 平面上分区

圈闭受构造区带的控制, 呈现 4 个区带分布(见图 1): 山前区, 包括冷湖零—三号、平台—结绿素、鱼卡—绿梁山南、红山、怀头他拉—德北斜坡,

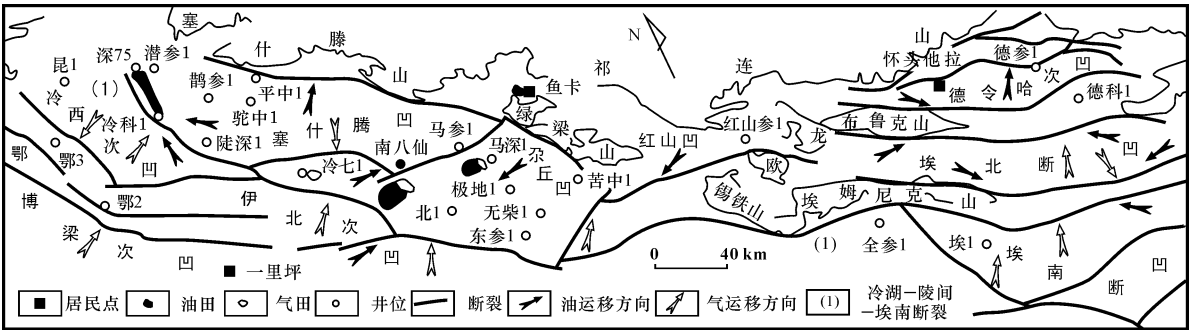


图 1 柴达木盆地侏罗系油气勘探成果及油气运聚关系

Fig. 1 Accumulation and the Main Exploration Harvest in Jurassic System Petroleum System, Qaidam Basin

以地层削蚀不整合、断块圈闭为特色; 潜伏区, 包括赛什腾凹陷内的潜伏 III—VI 号、昆特依凹陷北的潜伏 I 号, 主要为岩性、岩性-构造圈闭类型; 基底凸起区, 包括马海一大红沟凸起、冷湖四—五号凸起、长山一大浪凸起、乌南—巴依凸起, 类型丰富, 披覆背斜圈闭最独特; 断褶区, 包括鄂博梁 I—葫芦山、鄂博梁 II—III 号、冷湖六—七号、小丘陵—玛瑙, 断背斜圈闭占主体。

2.2.2 垂向分区

各区带圈闭形成期次、叠加样式不同: 山前区, 古近纪前侏罗系构造圈闭已经形成, 由于剥蚀严重, 第三系基本不残存构造圈闭如图 2(b); 潜伏区, 圈闭形成时期与山前区大体相同, 但第三系圈闭完整, 上覆岩层封堵性较好。依据地层剥蚀程度的差异, 基底凸起区分凸起顶部和凸起斜坡区, 前者多保存基底—渐新统圈闭, 后者除此之外, 还保存新近系圈闭如图 2(a); 断褶区, 构造圈闭在新近纪—第四纪形成<sup>①</sup>如图 2(c)。

3 油气成藏模式

油气藏是圈闭与发生运移的油气建立联系后的产物, 它的形成取决于圈闭的产生发展与烃源岩演化产生的油气在时间、空间中相接触的机会<sup>[7]</sup>。建立油气成藏模式就是对这个接触机会的深刻剖析, 区带上起解释、预测油气分布的作用。综合分析柴达木盆地侏罗系油气勘探及研究成果, 依据烃源岩与圈闭时空耦合建立 3 种模式(图 2)。

3.1 早期聚集早期成藏式

油气在古新世开始聚集, 渐新世成藏。该模式在凸起区分布。凸起区圈闭形成时间最早, 由生烃深凹环绕, 是油气运移与聚集的低势能区, 以汇聚

流型聚集为主, 所以, 油气来源充裕。南八仙深层(E<sub>3</sub>)油藏图 2(a) 藿烷  $c(C_{32}S)/c(S+R)$ 、甾烷  $c(C_{29}S)/c(S+R)$  的烃源岩指标分别为 0.18 ~ 0.30、0.10 ~ 0.14, 而原油指标依次为 0.60、0.45 ~ 0.51, 表明原油成熟度高于烃源岩, 油气来源于周缘(深凹)。

新近纪以来的构造作用对油气藏进行调整、破坏, 部分油气重新分配、散失。改造后的圈闭与古油气藏的分布位置一致, 油气能得到补充。凸起区虽遭剥蚀, 若残留渐新统区域性泥岩盖层, 油气藏仍能保存。

3.2 早期聚集晚期成藏式

油气在古新世开始聚集, 但在上新世才能成藏。该模式在山前及潜伏区分布, 与上述模式相比, 圈闭产生时期相同, 但油气来源及充注程度不同。以自身成熟度较低的烃源岩为主, 周缘(南部)烃源岩次之, 周缘成熟度较高的油气以发散流汇聚(如绿梁山南缘)。鱼卡(J<sub>3</sub>)油藏图 2(b)原油藿烷  $c(C_{32}S)/c(S+R)$ 、甾烷  $c(C_{29}S)/c(S+R)$  分别为 0.58、0.28, 表明成熟度不高。

在山前区因剥蚀严重, 油气藏的保存条件欠佳, 能量损耗较大, 冷湖三号油田、鱼卡油田, 显示油层压力系数极低。潜伏区存在岩性、岩性-构造油藏, 保存条件优越。

3.3 晚期聚集晚期成藏式

油气在新近纪聚集, 并在新近纪成藏, 圈闭形成期稍稍滞后于烃源岩大量排烃期。该模式主要分布在新近纪—第四纪圈闭产生区, 即断褶区、基底凸起区。

在断褶区, 构造圈闭基本上错过了最大排烃时期, 以捕获成熟度较高的油气为主, 形成原生天然

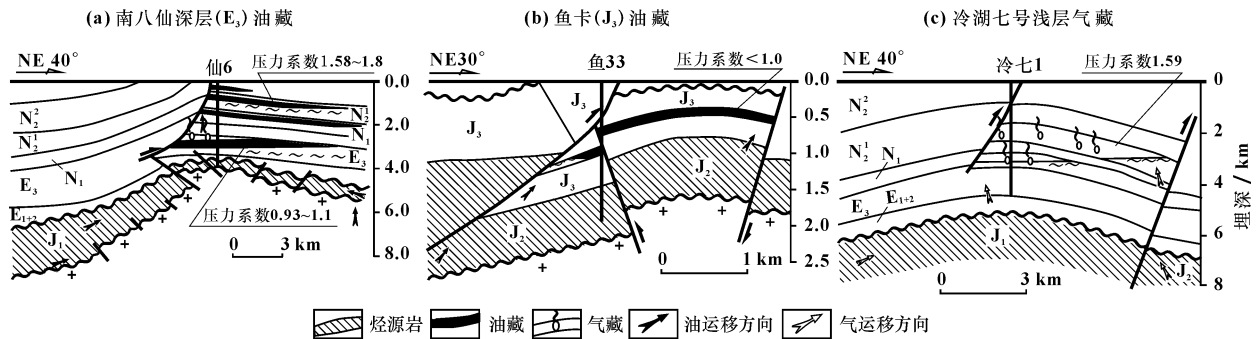


图 2 柴达木盆地侏罗系油气成藏模式

Fig. 2 Modes of Hydrocarbon Reservoir Formation in Jurassic System Petroleum System, Qaidam Basin

① 管志强, 余辉龙, 徐子远, 等. 柴达木盆地天然气富集规律及勘探目标选择. 2000.

气藏,如冷湖七号浅层气藏,天然气类型为湿气型,甲烷为76.8%见图2(c)。在基底凸起斜坡区,圈闭除获得成熟度较高的油气外,由于先存油藏的改造,捕获了成熟度相对低的油气,能短期成藏,持续充注,形成混合性油气藏,如南八仙浅层(N)油藏见图2(a)。南八仙深、浅层油气藏原油密度分别为0.758、0.859 g/cm<sup>3</sup>,压力系数依次为1.58~1.8、0.93~1.1,反映浅层原油密度虽小但压力系数较大,浅层油藏是晚期聚集的结果。

断层封堵性是影响此类油气藏的重要因素之一。新近纪以来区域最大主压应力场方向为南南西—南西<sup>[8]</sup>,推测区内北西走向的断层闭合,封闭性好。

## 4 油气聚集规律

### 4.1 烃源岩演化阶段与圈闭发育时期的关系制约油气资源类型的分布

区内断褶区圈闭覆盖在凹陷之上,凸起区圈闭除自身烃源岩外被多个生烃中心环绕,山前带分布烃源岩并接近生烃中心。这种组合在时间上的耦合关系制约油气资源类型的分布:山前及潜伏区,圈闭产生时间早于烃源岩开始大量排烃时间,且烃源岩演化进程相对偏缓,以聚油为主;断褶区,圈闭形成时间稍稍晚于最大排烃期,以聚气为主;凸起区,圈闭发育时间伴随烃源岩演化的全过程,油气并举(见图1)。

### 4.2 早期腹部油气侧向运移为主,晚期腹部油气垂向运移显著

湖泊沼泽相砂体连通性不好,对油气运移不利,但侏罗系顶、底两套不整合面能充当油气运移的通道,使疏导层与烃源岩的接触面区域化。区内分布北西、北东东两组4期断裂见图2(a)。这种烃源岩—疏导体系(不整合面+断裂)—圈闭(储盖组合)组合系统,增大了生储盖组合的有效性。

对于油气运移而言,断层具有封堵或疏导截然相对功能,断层的开合决定油气运移的方向。古近纪,烃源岩处于成熟阶段,在南东东—东西方向最大主压应力场的作用下<sup>[8]</sup>,北西走向的断层(如冷湖—陵间—埃南断裂)开启,此时基底凸起区产生圈闭,腹部(断褶皱区)油气沿断裂侧向运移,并指向凸起区。新近纪以来,烃源岩步入高一过成熟阶段,北西向的断层闭合,此时腹部产生构造圈闭,油气以垂向运移为主(见图1)。

### 4.3 烃源岩与圈闭的时空耦合决定油气富集程度

断褶区,大容积圈闭覆盖在生烃深凹之上,生气阶段时油气垂向运移显著,且表层北西向断层封堵性好,对聚集天然气优越,但由于新近纪以来腹部烃源岩基本上进入过熟阶段,所以,烃源岩生气量可能限制天然气藏的规模。山前区,圈闭形成早,但其南部油气以发散流汇聚,而自身烃源岩演化缓慢,成藏期较长,形成侏罗系自生自储油藏,又遭后期改造与破坏,地层能量损失较多,开发工艺要求相应较高。潜伏区与山前区相比,圈闭封堵性能较好,可能存在岩性、岩性-构造类型的规模侏罗系自生自储油气藏。凸起顶部,圈闭形成时期伴随了油气运移全过程,古近纪油源断层开启,腹部油气以侧向运移为主,在古近纪已规模成藏,但受新近纪构造作用的剥蚀,保存条件要求比较严格,又因新近纪补充油气,若渐新统顶部厚层泥岩未遭剥蚀,仍有发现规模油气藏的可能性。凸起斜坡区,除具有与凸起顶部一致的烃源岩条件外,还发育完整的深、浅两大套储盖组合,深层油藏破坏后,能在浅层聚集,并在新近纪里持续充注,油气藏的规模最大。总之,油气来源、含油层系、成藏时期、成藏后油气充注时间、破坏与调整等方面存在有序性,决定着油气富集程度。

## 5 结语

(1)烃源岩与圈闭存在时空耦合,形成早期聚集早期成藏、早期聚集晚期成藏、晚期聚集晚期成藏模式。

(2)油气有序分布,呈现出“断褶区聚气,山前、潜伏区聚油,凸起顶、凸起斜坡区油气并存”的基本格局和“断褶—山前—潜伏—凸起顶—凸起斜坡区”油气富集程度依次变好的序列。

(3)区带目标选择:在凸起区,优选冷湖四号东斜坡、乌南—巴依凸起斜坡,目的层以深层为主,兼顾浅层;在潜伏区,优选潜伏Ⅰ号,瞄准岩性-构造圈闭,逐步开拓凹中找砂新领域;在山前区,优选怀头他拉—德北斜坡,落实德令哈凹陷烃源岩并了解含油性。

成文中,得到中国地质大学万天丰教授的指导,特致感谢!

(下转第182页)

考虑地震作用影响时,当选取烈度为Ⅶ度时,稳定系数计算结果为 1.607,Ⅶ度时下降为 1.294,Ⅸ时仅为 0.931<1.0,说明边坡在Ⅸ度烈度条件下会产生失稳破坏。作为一种新的计算方法,其适用性和有效性尚需要今后在实际应用中验证和完善。

## 4 结语

等分圆弧极限分析方法对土质边坡极限分析法做了有意义的改进,使塑性极限分析理论解决土质边坡稳定性问题变得较为简洁实用。特别需要指出的是,该方法假定土体材料为刚塑性体,运用极限分析上限定理,以等分圆弧滑面作为指导思想,实现了公式推导的简化。在考虑自重荷载、自重荷载+水平地震力、自重荷载+孔隙水压力 3 种不同工况条件下,分别推导得到了相应的稳定系数计算公式。算例与经典 Spencer 法、Morgenstern-Price 法的计算结果对比显示,该方法用于计算土质边坡稳定系数具有一定的实用性及应用前景。

### 参考文献:

[ 1 ] 赵法锁,宋飞,王艳婷,等.基于 GIS 的略阳县地质环境质量评价[ J ].地球科学与环境学报,2006,28(1):88-93.  
[ 2 ] 何清雨,陈征宙,周心经,等.三峡库区马家屋场一后坪滑坡

成因及稳定性分析[ J ].地球科学与环境学报,2005,27(4):19-23.  
[ 3 ] Drucker D C, Prager W. Soil Mechanics and Plastic Analysis of Limit Design[ J ]. Quarterly of Applied Mathematics, 1952, 10(2): 157-165.  
[ 4 ] 陈惠发.极限分析与土体塑性[ M ].北京:人民交通出版社,1995.  
[ 5 ] 陈祖煜.土质边坡稳定分析——原理·方法·程序[ M ].北京:中国水利水电出版社,2003.  
[ 6 ] Donald I, Chen Z Y. Slope Stability Analysis by the Upper Bound Approach: Fundamentals and Methods[ J ]. Canadian Geotechnical Journal, 1997, 34(11): 853-862.  
[ 7 ] Chen Z Y, Donald I. Comparison between the Limit Equilibrium and Limit Analysis Method[ C ] // Proceedings of the 10th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Beijing: International Academic Publisher, 1995.  
[ 8 ] 王根龙,门玉明,陈志新,等.土坡稳定性塑性极限分析条分法[ J ].长安大学学报:自然科学版,2002,22(4):28-30.  
[ 9 ] 王根龙.土坡稳定性塑性极限分析条分法及可靠性研究[ D ].西安:长安大学,2002.  
[ 10 ] 龚晓南.土塑性力学[ M ].杭州:浙江大学出版社,1997.  
[ 11 ] 李广信.高等土力学[ M ].北京:清华大学出版社,2004.  
[ 12 ] Fredlund D G, Krahn J. Comparison of Slope Stability Methods of Analysis[ J ]. Canada Geotechnical Journal, 1977, 14(3): 429-439.

(上接第 169 页)

### 参考文献:

[ 1 ] 汤良杰,金之钧,张明利,等.柴达木盆地构造古地理分析[ J ].地学前缘,2000,7(4):421-429.  
[ 2 ] 刘洛夫.柴达木盆地东部地区烃源岩的生源与沉积环境[ J ].古地理学报,2001,3(2):82-91.  
[ 3 ] 党玉琪,胡勇,余辉龙,等.柴达木盆地北缘石油地质[ M ].北京:地质出版社,2003.  
[ 4 ] 李侠.阿尔金构造带形成机制探讨[ J ].长安大学学报:地球

科学版,2003,25(1),7-10.  
[ 5 ] 王新宇,李盛富,鄢全树.柴北缘沙柳河榴辉岩岩石化学及变质条件研究[ J ].地球科学与环境学报,2005,27(1):14-19.  
[ 6 ] 顾树松.中国石油地质志(14)[ M ].北京:石油工业出版社,1990.  
[ 7 ] Perrodon A. Petroleum Systems Models and Applications[ J ]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(3): 319-326.  
[ 8 ] 万天丰.中国大地构造学纲要[ M ].北京:地质出版社,2004.