

柴达木盆地北缘油气成藏特征

孙德强¹, 张涛², 梁彬³, 祁文珍³, 刘健³,
翟志锋⁴, 杨联系⁵, 刘志舟¹, 赵凡¹

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油工程设计有限公司青海分公司, 甘肃 敦煌 736202; 3. 青海油田勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202; 4. 中国石油测井有限公司青海事业部, 甘肃 敦煌 736202; 5. 青海油田采油一厂, 甘肃 敦煌 736202)

摘要:柴达木盆地北缘油气勘探前景十分广阔,然而由于其地质背景较复杂,目前对油气成藏规律认识的还不清楚。通过对流体包裹体取样测试,分析了研究区成藏期次及油气运移方向,恢复了成藏过程,结果表明:柴达木盆地北缘不同油气田甚至不同区块油气充注期次及成藏条件有所不同,冷湖地区主要有2期石油的形成和运移,也有1期充注,如冷七1井等,南八仙构造区仙5井、仙6井、仙7井样品为2期油气充注,仙3井和仙4井样品中有2期包裹体,但只有1期油气充注;冷湖地区油气成藏分为侏罗纪沉积与剥蚀、古近纪深层油气藏形成和新近纪浅层油气藏形成等3个阶段。

关键词:柴达木盆地北缘;油气;成藏;流体包裹体

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2008)05-0652-05

柴达木盆地北缘西起阿尔金山前的鄂博梁Ⅰ号构造,东到德令哈凹陷的大浪—土尔岗构造带的东端,北界为祁连山前深大断裂系,南界为鄂博梁南缘—陵间断裂、黄泥滩断裂、埃姆尼克山南缘深断裂与盆地中央坳陷带分界(图1),面积近 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1]。柴达木盆地北缘(简称“柴北缘”)是柴达木盆地的一个一级构造单元,包括塞昆断陷、大红沟隆起、鱼卡—红山断陷和德令哈断陷4个亚一级构造单元。柴北缘的油气勘探开始于1956年,到目前为止已发现冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号、鱼卡、马海等油气田,柴达木盆地北缘油气勘探前景十分广阔。本文通过包裹体分析并结合油气成藏理论,对该地区的油气聚集与分布规律进一步研究,为实现油气勘探快速发展提供依据。

1 研究区石油地质概况

柴北缘主要沉积地层侏罗系为一套河湖沼泽相含煤沉积,岩性为泥岩、砂质泥岩、砾岩及煤层。侏罗系烃源岩主要分布于柴北缘的 J_{1+2} ,除平台古凸起及马海—大红沟古凸起缺乏侏罗系外,大致是连

片分布的。烃源岩分布面积约 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,有机质类型以Ⅱ—Ⅲ₁型为主,丰度较高,排烃率高,综合评价为较好生油岩。研究区为鱼卡以西的冷湖、马海、南八仙等区块和油田。经分析,柴北缘已发现的冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号、鱼卡、马海、南八仙等油气田源岩均为侏罗系。柴北缘天然气均为煤成气。侏罗系烃源岩一般在 E_{1+2} 进入排烃期,在 E_3^2 — N_2^1 进入排烃高峰期。

2 油气成藏期次分析

流体包裹体分析是研究油气运移和成藏期次问题的一种非常有效的方法。根据对流体包裹体均一温度、盐度、有机包裹体中的生物标志物特征的研究及有机包裹体的色谱、色—质谱分析,恢复储集岩中初始(古)油气组分的地球化学特征,揭示储集岩中油气组分的地球化学演化过程,追踪油气藏的油源及油气的热演化程度^[2-17],最后分析柴北缘油气的充注期次。本文所分析样品为柴北缘冷湖构造和南八仙构造区第三系的砂岩、细砂岩或含砾细砂岩。

从自生矿物的发育、有机包裹体的变化特征来

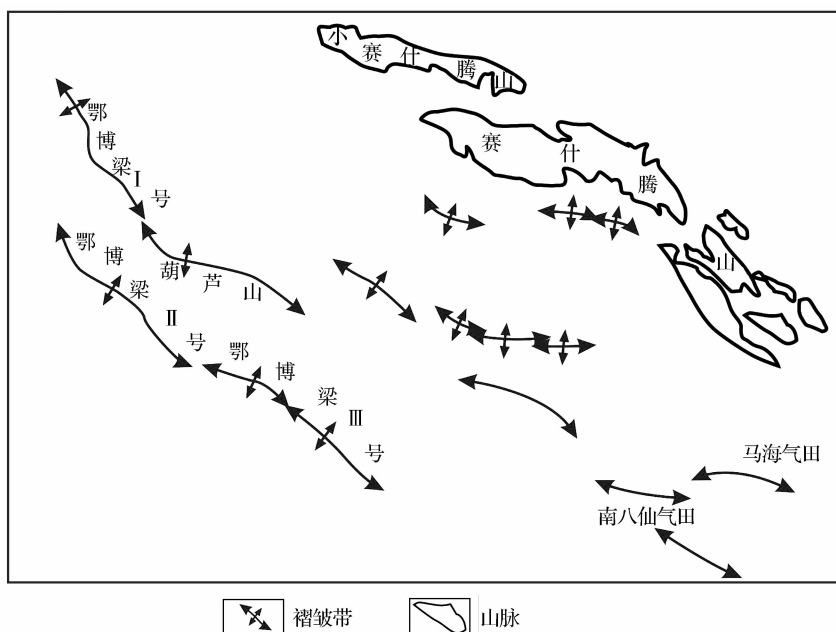


图1 柴达木盆地北缘主要断裂带分布

看,冷湖地区主要有2期石油的形成和运移(仅冷四1井出现有3期),早期主要体现在石英加大边中的有机包裹体,多数为气液相烃类包裹体,部分为液态烃包裹体,根据有机包裹体的相组成及物理特征来看,有机质处于成熟阶段。而第一期的成岩温度较低,平均温度为 $61\sim 87^{\circ}\text{C}$ (图2),可能是石油形成后

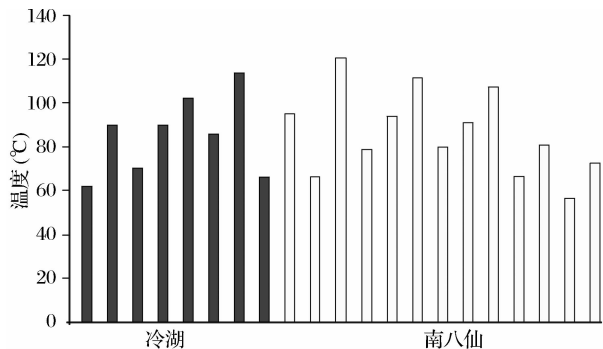


图2 柴达木盆地冷湖与南八仙流体包裹体均一温度分布

经较长距离垂向运移而受上部较浅地层温度影响的结果。第二期石油的运移和充注可由石英裂隙及次生石英中的有机包裹体反映出来,该期有机包裹体颜色较深,出现较多的气液包裹体,气液比较高,并有一些气态烃包裹体。从与有机包裹体共生的盐水溶液包裹体的盐度和均一温度来看,潜参1井样品中边缘裂隙中的包裹体与冷四1井石英裂隙、深86井的次生石英及冷七1井的石英裂隙中的包裹体的盐度和均一温度比较接近(平均值范围分别为 $9.8\%\sim 13.0\%$ (质量百分含量,下同)和 $91\sim 114^{\circ}\text{C}$),普遍比石英加大边中的高,这些次生矿物或裂隙中的

包裹体应属同一成岩期形成的。但冷七1井第一期包裹体中未见有机包裹体,说明没有油气运移进入该地层。仅见到后期石英裂隙中出现有机包裹体,即冷七1井 N_2^1 地层只有1期油气充注。其余潜参1井、冷四1井和深86井均有2期石油充注。根据本区构造沉积史和热演化史,这2期油气充注分别发生于 E_3 和 $N_1-N_2^1$ 时期。

南八仙构造区仙3井和仙4井样品中有2期包裹体,但只有1期油气充注。早期包裹体赋存于较晚期的石英加大边(Ⅱ)中(早期石英加大边中的包裹体形态较小,主要为液相盐水溶液包裹体,本次未进行研究),包裹体的类型主要为气液两相盐水溶液包裹体,气液比较大,有机包裹体不很发育,仅见少量的液态烃包裹体。晚期包裹体赋存于石英裂隙及次生石英中,有机包裹体很发育,包裹体呈深褐色,气液比也比较大(多数为 $10\%\sim 35\%$),并见有一些气态烃包裹体和沥青包裹体,反映该期包裹体中有机质成熟度较高。根据有机包裹体的特征,结合本区的沉积埋藏史和热演化史,为大量湿气和凝析油形成的重要时期,其油气形成于 N_2 时期。南八仙构造仙5井、仙6井、仙7井有3期包裹体,但仅后2期发育有较多的有机包裹体,反映出2期油气充注。石英加大边、硅质胶结物(早期)及石英细脉中包裹体多数为盐水溶液包裹体(液相和气液相2类),无色、浅黄及浅褐黄色,有机包裹体不发育,仅偶见少量液态烃包裹体。盐水溶液包裹体均一温度较低,平均温度为 $74\sim 81^{\circ}\text{C}$,盐度 $9.6\%\sim 10.2\%$,也较

为接近,应处于同一演化阶段的产物,为第Ⅰ期包裹体。仙7井次生裂隙、仙5井石英加大边(较晚期)及仙6井硅质胶结物中的包裹体,颜色均较暗,主要为灰色、黑灰色、深褐色,以气液两相烃类包裹体为主,含有一定的沥青和气态烃包裹体,占10%~15%,与其同期的气液相盐水溶液包裹体的均一温度和盐度较为接近,平均温度88~95℃、盐度10.8%~11.5%,是同一成岩阶段的产物,为第Ⅱ期包裹体,从有机包裹体的特征看,应处于正常原油的生成时期。本期包裹体的均一温度较低,可能是富油气流体经历了长距离的垂向运移受浅部低温地层影响所至。从有机包裹体的特征看,这一期包裹

体与仙3井和仙4井的第Ⅰ期包裹体是同一期形成的。赋存于硅质胶结物、石英裂隙(晚期)及颗粒间胶结物裂隙中的包裹体,其盐水溶液包裹体的盐度也较为接近,应为同一期的产物,即第Ⅲ期包裹体。与盐水溶液包裹体共生的有机包裹体几乎都是气态烃包裹体和沥青包裹体,呈黑色、深褐、褐黑色,包体大小悬殊较大,形态不规则,从有机包裹体的特征看,应处于大量湿气和凝析油的形成阶段。从有机包裹体的特征看,这一期包裹体与仙3井和仙4井的第Ⅱ期包裹体是同一期的。根据有机包裹体的特征及本区的沉积埋藏史和热演化史,仙6井、仙7井样品中2期充注的油气分别形成于 E_3-N_1 和 N_2 时期(图3)。

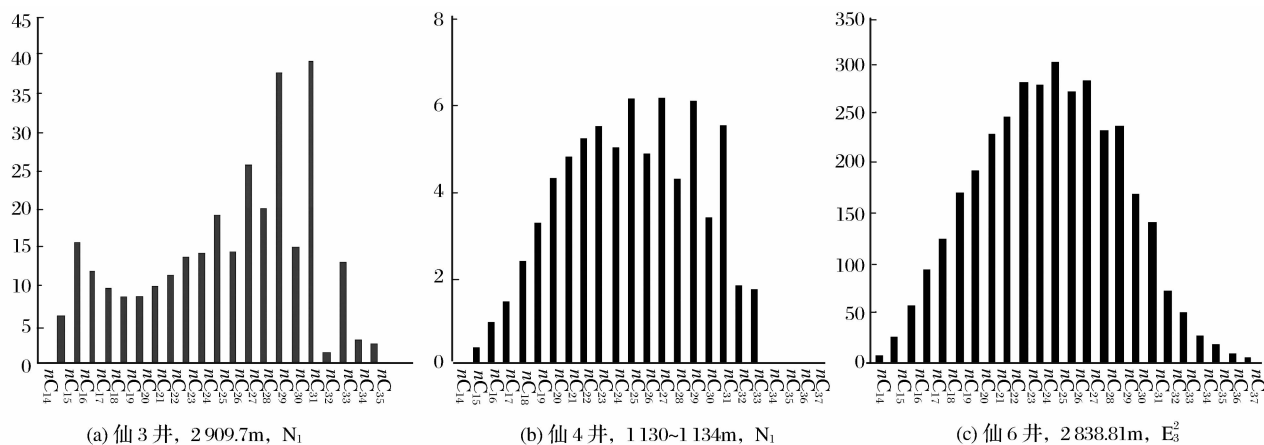


图3 柴达木盆地北缘流体包裹体色谱

3 油气运移方向分析

根据不同地区同期包裹体的均一温度结合相对温度(均一温度/样品深度)来概略分析冷湖及南八仙构造不同地区古地温的变化情况。从平均温度及相对温度的总体情况来看,冷湖构造,从北西到南东方向,古地温有增高的趋势。从北西部的潜参1井到南东的冷四1井、深86井和冷七1井,温度总体上逐步升高。不论早期石英加大边的成岩温度、还是晚期次生裂隙的形成温度均是如此。表明冷湖构造自北西到南东方向,热演化程度逐步增高。盐度与古地温有同等的变化趋势,且早期的盐度低于晚期的盐度,表明晚期成岩流体浓度逐步增高,但是由古近系至新近系,流体的盐度在降低,这与地层水中的矿化度的变化趋势正好相反,可见新近系地层中包裹体所捕获的流体并非来自本层,而是下部地层流体运移上来的。比较不同层位盐水溶液包裹体的盐度发现,层位越新,盐度越低,反映出流体的垂向运移特征,运移通道为断裂和裂隙。

南八仙地区总体上自南西至北东方向,盐度逐步降低反映出地下流体的运移方向是仙3井→仙7井→仙6井→仙4井,沿着这个方向油气的成熟度也逐渐增高,从有机包裹体的特征上也可体现出来,即沿上述方向有机包裹体颜色逐渐变深,气态烃及沥青包裹体含量增高,气液2相有机包裹体的气液比也有逐渐增高的趋势

4 油气藏形成与演化过程恢复

冷科1井揭示冷湖五号构造侏罗系产能低、储层物性差。而冷科1井提示的优质烃源岩和频繁的油气显示表明构造具备良好的油源条件,圈闭规模大、构造落实。但钻探效果相对较差,为了正确回答这个问题,通过与油气成藏有关的各地质因素和地质作用在时空上的配置关系,动态地恢复油气藏的形成和演化过程,从而较为客观全面地评价油气藏的成藏条件及制约因素,认识油气分布规律。

4.1 侏罗纪沉积与剥蚀阶段

侏罗纪冷湖五号地区温暖湿润,先后接受了一

套湖相一扇三角洲相一沼泽相一半深湖相沉积,具备了一套巨厚的优质烃源岩和良好的盖层条件,储集层段主要为湖西山组扇三角洲发育段和小煤沟组含油段,其他层段不太发育;中侏罗世早期,下部烃源岩开始进入生油门限,中侏罗世末,冷湖五号地区抬升剥蚀(但没冷湖四号抬升高),下侏罗统上部小煤沟组含油段砂岩剥蚀殆尽,有机质热演化处于停滞,在燕山运动—喜马拉雅运动早期,侏罗系源岩的成熟度仅达到未成熟—低成熟阶段,生成油气的规模有限,此时并未形成独立的构造圈闭,油气难以大规模聚集成藏。

4.2 古近纪深层油藏形成阶段

喜马拉雅运动早期,东倾 42 号逆断层基本没有较大活动,冷湖五号背斜构造此时仍然是向西抬高。古近纪初期沉积了一套河流相的砾状砂岩、砂砾岩。随着地层的快速沉降,渐新世中期,湖西山组主要烃源岩开始进入大量生烃期,在生、储、盖组合有利地区可以形成深层岩性或断层遮挡等其他类型(无构造圈闭)油气藏。侏罗系在 E₃ 初期就开始进入晚成岩阶段 B 期,侏罗系储集层物性已经变差,难以为油气大量聚集提供运移通道和储集空间,但不排除在相对较好的沉积相带形成较好的疏导层。侏罗系基本为与冷湖四号连为一体的鼻状低幅构造,未形成独立的圈闭。油气以向冷湖五号及其他方向运移为主,冷湖五号高点形成原生油气藏可能性不大。

4.3 新近纪浅层油气藏形成阶段

柴达木盆地在经历了印支运动后,盆地大面积抬升,三叠纪时基本为剥蚀区。侏罗纪时盆地基底

开始沉降,形成盆地沉积盖层与前中生界基底间的角度不整合,即地震 T₀ 反射层,界面之上侏罗系超覆现象十分明显。中生界沉积之后,受晚期燕山运动影响,盆地基底又一次抬升,中生界地层在不同地区遭受不同程度的剥蚀,并形成中生界与新生界之间广泛发育的不整合(T_R)。由此,柴北缘中生界沉积整体经历了一个构造基准面上升与下降的过程,基准面上升阶段的沉积地层主要由下侏罗统或中侏罗统组成,基准面下降阶段沉积以上侏罗统和白垩系为代表。

喜马拉雅运动晚期,该区发生大规模的褶皱和断裂作用,于构造轴部附近形成了具走滑性质的 I 号大逆断裂带,该断裂带既是油气由深层运移到中浅层乃至地表的通道,也为断层下盘新形成的油气藏提供了遮挡条件;与此同时,加强和改造了早期构造,并使断裂附近的早期油气藏遭受调整,甚至破坏。构造运动使早期微型油气藏破坏的油气以及新生成的油气能够突破盖层的阻挡沿 I 号断裂带向上运移,油气开始第二期大量充注,油气一部分进入 I 号大逆断裂带下盘,受断层遮挡而形成浅层油气藏,一部分沿 I 号大逆断裂带上盘或直接运移至地表,由于缺乏保存条件而散失。由于规模性原生油气藏存在可能性不大(冷科 1 井在 E₁₊₂ 等层具有良好的储层,试油只见到大量的水可能与此有关),所以次生油气藏难以形成。冷湖一高点浅层油气藏可能主要是鼻状构造高部位原生油气藏破坏的结果(图 4)。因此没有古圈闭也就没有规模性原生油气藏,当然也无规模性次生油气藏。

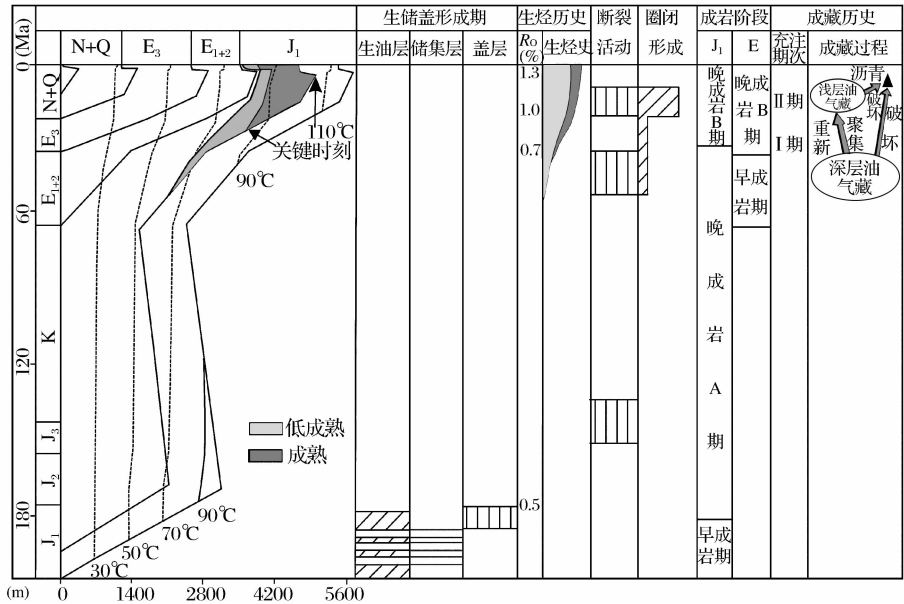


图 4 冷湖五号二高点油气成藏与演化过程

5 结论

(1)柴达木盆地北缘油气充注期次因不同区块和油田而有所不同,其中冷湖构造带内冷七 1 井 N_2^1 地层只有 1 期油气充注,而潜参 1 井、冷四 1 井和深 86 井均有 E_3 和 $N_1-N_2^1$ 2 期油气充注;而南八仙油气田仙 5 井、仙 6 井、仙 7 井样品中 2 期充注的油气分别形成于 E_3-N_1 和 N_2 时期。流体包裹体生物标志化合物也支持油气 2 期充注的观点。

(2)柴北缘冷湖构造带油气来源于下侏罗统 III₁ 型(部分 II 型)烃源岩。该带经历了 1 期与 2 期油气充注。第 1 期油气充注发生在古近纪(E_3)末期,该次充注与侏罗系生烃期相对应,主要表现为深层油气的形成和有限聚集、运移散失;第 2 期油气充注发生在 $N_2^2-N_2^3$,该次充注与喜马拉雅运动晚期该区发生大规模的褶皱和断裂作用相对应,主要表现为浅层油气藏的临时聚集与形成。由于深层无足够的原生气藏物质供给,因此深浅都无规模性油气藏。

参考文献:

- [1] 康竹林. 柴达木盆地北缘块断带油气勘探前景[J]. 勘探家, 1999, 4(3): 27-30.
- [2] Burruss R C, Cerone K R, Harris P M. Fluid inclusion petrography and tectonic-burial history of the Al Ali No. 2 well: evidence for the timing of diagenesis and oil migration, northern Oman Foredeep[J]. Geology, 1983, 11: 567-570.
- [3] Burruss R C. Palaeotemperatures from fluid inclusions: advances in theory and technique[C]//Naeser N D. Thermal History of Sedimentary Basins: Methods and Case Histories. Berlin: Springer-Verlag: 119-131.
- [4] Pirron J. Organic inclusions in salt. Part 1: Solid and liquid organic matter carbon dioxide and nitrogen species in fluid inclusions from the Bresse basin[J]. Org Geochem, 1995, 23(5): 391-402.
- [5] Pironon J. Organic inclusions in salt. Part 2: oil-gas and ammonium inclusions from the Gabon margin[J]. Org Geochem, 1995, 23(8): 739-750.
- [6] 覃建雄, 张长俊, 李天生, 等. 西昌盆地流体包裹体及其在油气勘探中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(3): 216-224.
- [7] 高先志, 陈发荣. 应用流体包裹体研究油气成藏期次——以柴达木盆地南八仙油田第三系储层为例[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 548-554.
- [8] 赵靖舟. 塔里木盆地烃类流体包裹体与成藏年代分析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 21-25.
- [9] 米敬奎, 戴金星, 张水昌. 含油盆地包裹体研究中存在的问题[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(5): 602-605, 636.
- [10] 李明诚. 石油与天然气运移 [M]. 3 版. 北京: 石油工业出版社, 2004: 241-245.
- [11] 周凤英, 张水昌. 塔里木盆地轮南地区轮南 2 井油藏的注入史分析[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 670-676.
- [12] 张金亮. 利用流体包裹体研究油藏注入史[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 1998, 13(4): 21-24.
- [13] 覃建雄. 矿物流体包裹体研究在油气资源评价和油气勘探远景预测中的应用[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 47-52.
- [14] 高志先, 陈发景. 应用流体包裹体研究油气成藏期次——以柴达木盆地南八仙油田第三系储层为例[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 548-554.
- [15] 袁剑英, 陈启林, 陈迎宾, 等. 柴达木盆地油气地质特征与有利勘探领域[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 640-644.
- [16] 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: 158-172.
- [17] 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.

Reservoir-forming Features of Oil and Gas in North of Qaidam Basin

SUN De-qiang¹, ZHANG Tao², LIANG Bin³, QI Wen-zhen³,
LIU Jian³, ZHAI Zhi-feng⁴, YANG LIAN-xi⁵, LIU Zhi-Zhou¹, ZHAO Fan¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. China Petroleum Engineering CO. (Qinghai), Dunhuang 736202, China; 3. Petroleum Exploration and Development Research Institute, Qinghai Oilfield Company, Dunhuang 736202; China; 4. Qinghai Department of Logging Limited Company of CNPC, Dunhuang 736202, China; 5. No. 1 Production Plant of Qinghai Oilfield, Huatugou 816400, China)

Abstract: Despite of its encouraging exploration prospect, the northern Qaidam basin has a complex geologic background which makes it difficult to understand the reservoir-forming law of oil and gas. Analysis on accumulation times and migration direction and rebuilding on accumulation conditions reveal that different oil and gas fields, even different blocks have different petroleum charging times and pool-forming conditions, and that the pool-forming of Lenghu Area in the northern Qaidam basin is divided into there stages: sedimentary and erosion in Jurassic, deep pool-forming in Early Tertiary and shallow pool-forming in Late Tertiary.

Key words: Northern Qaidam Basin; Oil and gas; Pool forming; Fluid inclusions.