

柴达木盆地北缘西段油气成藏机理研究

高先志¹, 陈发景²

(1. 教育部石油天然气成藏机理重点实验室, 北京 102249; 2. 中国地质大学能源系, 北京 100083)

摘要: 柴达木盆地北缘西段是一个以中下侏罗统煤系地层为烃源岩的含油气系统, 产油气层位主要是第三系。逆断层及相关褶皱组合构成柴北缘油气藏的主要圈闭类型。渐新世晚期(E_3^2)与上新世末到第四纪(N_2^3-Q)是柴北缘构造变形和圈闭形成的重要时期, 第三系油气成藏也主要发生在这2个关键时期。油藏原油组成和石油包裹体成分分析结果证明第三系油气藏存在不同期次的油气充注历史。下第三系的油气藏存在2期油气充注, 渐新世活动破坏侏罗系古油藏并连通侏罗系烃源岩, 导致古油藏中的低成熟石油和侏罗系烃源岩新生的成熟油气沿断层运移到下第三系圈闭中, 构成第1期油气充注; 上新世末到第四纪(N_2^3-Q)期间, 继续活动的断层导致侏罗系烃源岩高成熟油气沿断层运移到下第三系圈闭中, 形成第2期油气充注。上第三系油气藏主要为1期充注, 即在上新世末到第四纪(N_2^3-Q)新生断层破坏下第三系油气藏, 部分油气沿断层充注到上第三系合适的圈闭中形成次生油气藏。在柴北缘第三系油气藏形成过程中, 断层起到了重要的控制作用。

关键词: 油气成藏; 圈闭演化; 油气运移; 断层; 石油包裹体; 石油充注; 第三系; 柴达木盆地。

中图分类号: P618.130.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)06-0757-06

作者简介: 高先志(1963—), 男, 副教授, 2001年获中国地质大学(北京)博士学位, 现从事石油地质与勘探的教学与科研工作。

0 引言

柴达木盆地北缘(简称柴北缘)是一个以中下侏罗统煤系地层为烃源岩的含油气系统。柴北缘西段指南八仙断裂以西、鄂博梁构造带以北的盆地范围。区内的冷湖油田是我国解放初期最早发现的油气田之一, 至今区内已经发现包括冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号和南八仙等4个油气田^[1], 在冷湖六号、七号及葫芦山—鄂博梁等构造上也获得油气显示。其油气层位除冷湖三号油气田为侏罗系外, 其他油气田或含油气构造均为第三系。柴北缘西段第三系是非生气层系, 其中的油气主要通过断层从侏罗系烃源岩运移而来。中新世柴北缘受到多次构造运动的影响^[2,3], 断层发育具有持续性和阶段性。本文通过对柴北缘第三系圈闭构造演化及油气充注期次研究, 结合断层在油气运移与成藏中的控制作用, 建立了柴北缘油气成藏模式。

1 圈闭类型及其形成时期

1.1 局部构造特征与圈闭类型

柴北缘西段位于柴达木盆地西北, 为阿尔金断裂和祁连山构造带所夹持。在喜马拉雅构造运动期, 青藏高原的隆升与阿尔金断层的走滑作用^[4], 使现今构造几乎全部表现为压扭性的变形特征, 构成大致北北东、北北西和北西西向3组构造线(图1)。主要表现为褶皱和逆冲断层。在平面上表现出反“S”形构造带和旋涡状拗陷。例如, 冷湖构造带, 由西北向东南分别为冷湖1—7号, 平面展布大致呈一个反“S”型。柴北缘逆断层与褶皱两者在成因上密切相关, 因此在剖面上组合成各种构造样式。图2为柴北缘重点勘探构造的构造样式, 均表现出断层与褶皱组合的构造样式。受构造样式的控制, 柴北缘构造圈闭类型多为断背斜、断鼻及断块构造, 完整的背斜构造很少见, 体现了断层在圈闭形成与调整中具有重要的控制作用。

1.2 圈闭主要形成期

圈闭演化历史受盆地构造演化历史的控制。柴

收稿日期: 2002-08-18

基金项目: CNPC2001年油气勘探科技工程项目“柴达木盆地石油地质综合研究与区带优选”。

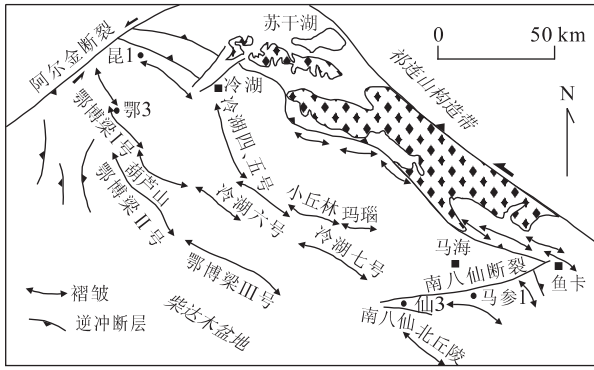


图 1 柴达木盆地北缘西段构造纲要示意

Fig. 1 Sketch map showing structures of the northwestern Qaidam basin

达木盆地中生代构造演化具有持续性和阶段性特点,存在相对强烈期和相对平静期.表现为沉降幅度、压缩强度和断层形成数量的不同.图 3 表示的是柴北缘西段主干测线不同时期的相对压缩量变化图,从中可见,自新生代以来,柴北缘存在 2 个压缩突变期,即 E_3^2 和 N_2^3-Q ;其中, N_2^3-Q 时期的压缩量最大,可占总压缩量的一半.从断层发育时期看,上述 2 个时期,也是柴北缘地区断层形成的重要时期.从图 2 典型构造样式可以看出,断层的发育明显存在两期,两期形成的断层在剖面上构成双层结构. E_3^2 地层与 N_2^3-Q 地层在断层数量与特征上有很大差异,例如南八仙构造, T_1 (N_2^3 地层底界面) 构造图上分布着多达 33 条断层;而 T_4 (E_3^2 地层底界

面)构造图仅分布有 11 条断层; E_3^2 地层中的断层具有基底卷入特征,断面较陡, N_2^3-Q 地层中的断层具有推覆滑脱特征.这反映两者是由不同时期不同性质的构造运动所致.

综上所述,新生代柴北缘构造圈闭的形成及调整改造可以概括为 2 个主要时期,即 E_3^2 和 N_2^3-Q .这 2 个时期形成的断层及断层相关褶皱对油气的运移和聚集起到了重要作用,是柴北缘含油气系统的 2 个关键时期.

2 油气充注期次

油气充注期次可通过油藏地球化学方法来研究.本文利用原油烃类组成、储层包裹体的荧光性及烃类组成讨论柴北缘第三系油气的充注期次^[5].

2.1 油藏烃类组成

油气藏中的油气是油气注入(运移)储层并聚集于其中的结果,因此其化学组成能反映油气成藏的历史.油藏中烃类的组成受其来源和次生蚀变等因素的影响.不同生烃母质、不同演化阶段形成的石油,其组成有差异.柴北缘烃源岩的干酪根均为 II_B 型,基本不存在由于生烃母质类型的不同而造成原油组成的差异,组成的差异与烃源岩热演化程度和运移散失有关.

图 4 为南八仙油气田第三系不同储层原油的正构烷烃分布特征.从中可见,上第三系的原油正构烷

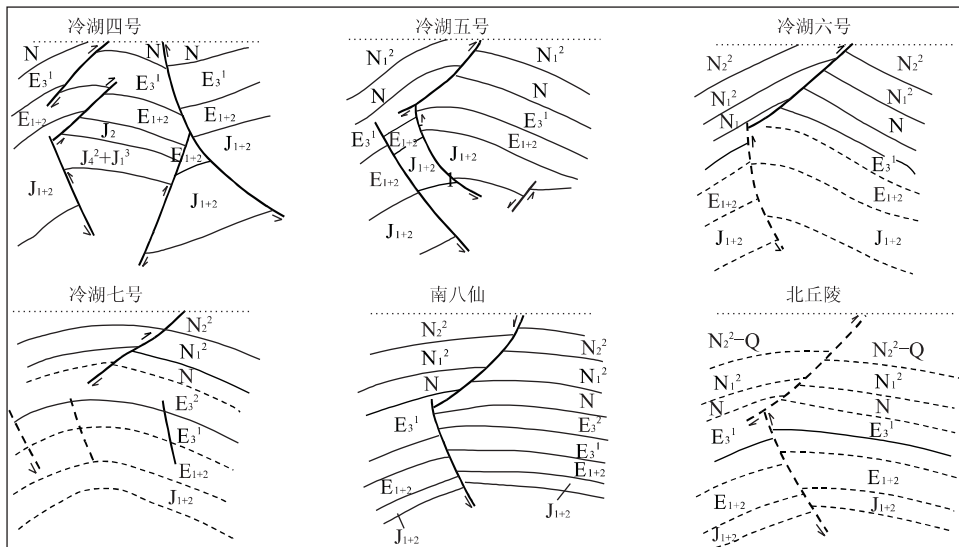


图 2 柴达木盆地北缘西段重点勘探构造的构造样式

Fig. 2 Styles of the main exploration structures in the northwestern Qaidam basin

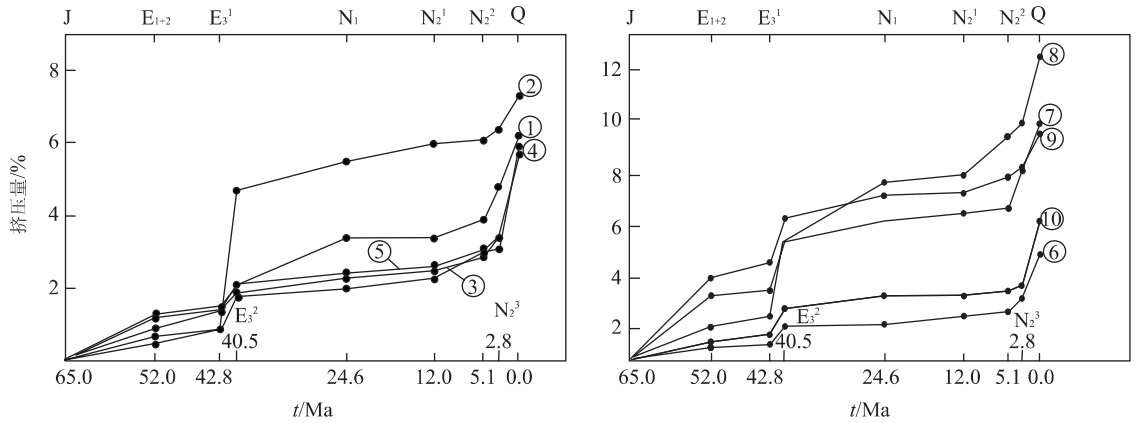


图 3 柴达木盆地北缘西段不同测线构造挤压量对比(①~⑩表示测井号)

Fig. 3 Compress intensity in different stages of the northwestern Qaidam basin

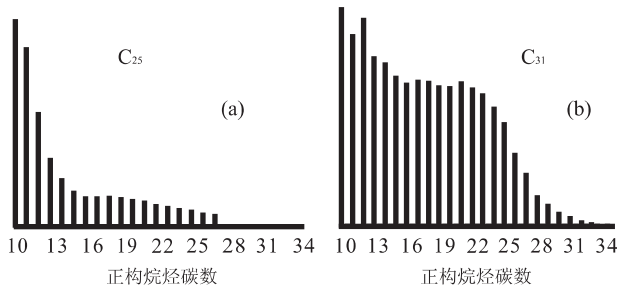


图 4 南八仙油气田不同油藏原油的正构烷烃分布^[6]

Fig. 4 Distribution of the normal hydrocarbons of oil from the Eocene (a) and Neocene (b) reservoirs^[6]

a. 上第三系; b. 下第三系

烃分布具有单峰特点,而下第三系的原油不同,其正构烷烃分布存在 $nC_{10}—nC_{12}$ 与 $nC_{21}—nC_{23}$ 的双高峰特点,并且存在微弱的奇数碳优势。 $nC_{10}—nC_{12}$ 含量高代表高成熟石油, $nC_{21}—nC_{23}$ 含量高代表正常的石油,奇数碳优势反映低成熟石油。由此可见下第三系原油存在不同时期不同成熟程度的烃类的混合现象。比较上、下第三系石油的组成特征可以推断,上第三系油藏为一期充注形成;下第三系油藏经过早期低成熟石油和晚期高成熟石油多次充注形成。

2.2 储层油气包裹体颜色及组成

20 世纪 80 年代以来,储层有机岩石学方法逐渐被引入研究油气的充注历史,石油包裹体已被用来作为石油运移的重要示踪标志^[7~9]。沉积储层中的流体包裹体是自生矿物生长过程所捕获的运移流体,在油气藏的油水界面附近活跃的成岩作用带中分布较多。流体包裹体记录了油气运移时油气和孔隙水的性质、组分和物理化学条件,因此对储层横向上和

垂向上进行一定规模的系统取样分析,可以确定油气运移的时间、深度、相态、方向、通道和油源性质等。

在荧光显微镜下,不同组成的油气包裹体显示不同的颜色。荧光颜色间接反映油气的热演化程度,低成熟石油为橙色,高成熟石油或凝析油为蓝色或黄绿色。一般情况下,同期形成的包裹体,其油气组成相似,荧光颜色相同。如果储层分布不同颜色的包裹体,说明它们形成于不同期次,反映流体发生过多次充注。柴北缘第三系储层包裹体多为浅色和无色的气液两相包裹体,也可见到纯气相包裹体和纯液相包裹体。分布于硅质胶结物和次生加大边中的包裹体显无色和浅黄色;分布于石英裂缝中的次生包裹体多表现为深褐色和灰黑色。较典型的例子是仙 5 井 2 886~2 888 m 样品和仙 8 井 1 549~1 558 m 样品,其硅质胶结物中可明显见到由不同颜色组成的两相包裹体。这些包裹体的大小不等,一般为 3~20 μm ,呈群体分布。在荧光下这些油气包裹体呈现出亮白色、浅黄色和淡蓝色等不同颜色。石英愈合裂缝中的包裹体呈串珠状分布,个体较小,一般小于 6 μm ,荧光下发蓝白色,主要为气态烃和轻烃包裹体。从包裹体的相态类型分布看,其分布的层位和深度有所不同,下第三系包裹体以气液两相烃类包裹体居多,其中石英愈合裂缝中的包裹体,其气烃比例较高,在 30% 以上;硅质胶结物和石英加大边中油气包裹体的气态烃含量低,一般小于 30%;上第三系包裹体则以气态烃包裹体居多,两相包裹体中气态烃比例较高,与下第三系石英愈合裂缝中包裹体的气液比数值相近,一般在 20%~70%。这说明,下第三系成岩早期硅质胶结物和石英次生加大生长过程,捕获的包裹体主要以液态烃为主,为早期包裹

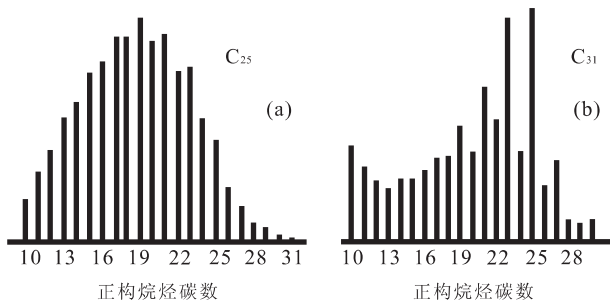


图 5 南八仙油气田储层包裹体中正构烷烃分布^[5]

Fig. 5 Distribution of the normal hydrocarbons in the inclusions from the Eocene (a) and Neocene reservoirs (b)^[5]

a. 上第三系; b. 下第三系

体;下第三系裂缝中和上第三系石英加大边中以气态烃为主的包裹体是晚期形成的。

运用气相色谱和质谱分析技术,可以详细分析石油包裹体的组成。本文包裹体成分分析采用总包裹体成分分析方法,即储层样品经过抽提处理,剔除样品中游离的和吸附的烃类后,再磨碎并抽提,得到的抽提物即为总包裹体的有机组分,对该抽提物进行分离后,通过色谱和质谱分析得到饱和烃及生物标记化合物的组成。

图 5 为储层包裹体的正烷烃分布。从中可见,上、下第三系两者包裹体的正构烷烃分布同样存在明显的差异,其特点与储层原油有相似性,也有不同之处。下第三系石油包裹体的正构烷烃表现为低碳数和高碳数出现明显的双峰分布,但主峰分布在 nC_{27} — nC_{31} ,并且在 nC_{25} — nC_{31} 间存在明显的奇数碳优势。这些特征不仅说明存在不同成熟度烃类的混合,更显示出低成熟石油占更重要地位。上第三系包裹体的正构烷烃分布基本为单峰分布,奇数碳优势微弱,说明上第三系包裹体形成时油气成熟度较高,且基本为同期形成。

包裹体的烃类与储层原油的烃类比较可见,储层石油的高成熟的轻烃含量与中低成熟的重烃含量间的相对关系是相反的。说明包裹体中的烃类反映的是充注早期低成熟石油的特点。当储层孔隙被原油充填后,介质条件发生改变,自生矿物生长受到抑制,难以继续捕获包裹体,形成相对高成熟的石油包裹体的数目较少;而储层游离的早期石油,会被后来成熟度相对高的石油所稀释,早期特征逐渐被后来者所掩盖。因此,包裹体中的烃类特征反映的是注入早期的石油特征,储层石油则反映注入后的总体结果。

综上所述,储层原油组成及储层包裹体正构烷烃分布都反映了柴北缘上第三系与下第三系具有不同的成藏期次。上第三系主要为晚期、一期油气充注,下第三系为两期以上的油气充注。

3 断层在柴北缘油气成藏中的作用

逆断层在柴北缘分布普遍,它们在油气藏形成与演化中起到重要作用。但是不同的断层、不同时期形成的断层以及断层在不同时期在油气成藏过程中表现出或起遮挡或起通道等不同的作用形式。

通过断层遮挡形成的与断层有关的圈闭在柴北缘具有重要地位。柴北缘业已发现的几个油气田的主要圈闭均与断层作用有关(图 2)。但是由于柴北缘断层的多次活动,起遮挡作用的断层在持续时间上和空间分布上都是比较局限的。只有那些具有较厚和稳定分布泥岩盖层的局部构造,通过泥岩对接和泥岩断层滑抹作用才能形成断层遮挡圈闭^[2]。柴北缘几年来的油气勘探未能获得较好效果,多与断层封闭的有效性有关。

断层作为油气运移通道,在柴北缘起到油源断层与漏失通道的不同作用,这对油气成藏具有不同的意义。

3.1 “油源断层”作用

油源断层指烃源岩通过断层把油气输送到圈闭中。柴北缘油源断层主要为早第三纪发育的断层,特别是 E_3^2 及其以前活动的断层。这一时期的断层具有继承燕山期断层活动的特点,其产状具有基底卷入性质,断面较陡,向下延伸到侏罗系地层中。

早第三纪油源断层存在 2 种油气运移形式:一种是把中晚燕山期在侏罗系形成的古油藏中的低成熟原油部分输送到第三系,因为煤成油具有早生早排的特点,侏罗系古油藏原油具有低成熟特点;另一种是,断层把侏罗系烃源岩中的高成熟度的油气输送到下第三系地层中,因为渐新世末是中下侏罗统烃源岩二次生烃的高峰期^[2]。根据上述机理,可很好地解释下第三系储层包裹体出现的低熟油与高成熟油的混和现象,即侏罗系原生低熟油藏中的石油被早期断层破坏后,向上运移到下第三系,与来自侏罗系高成熟烃源岩二次生成的成熟石油相混合并聚集于下第三系中。

3.2 破坏作用

断层对柴北缘油气藏的破坏作用比较严重,地

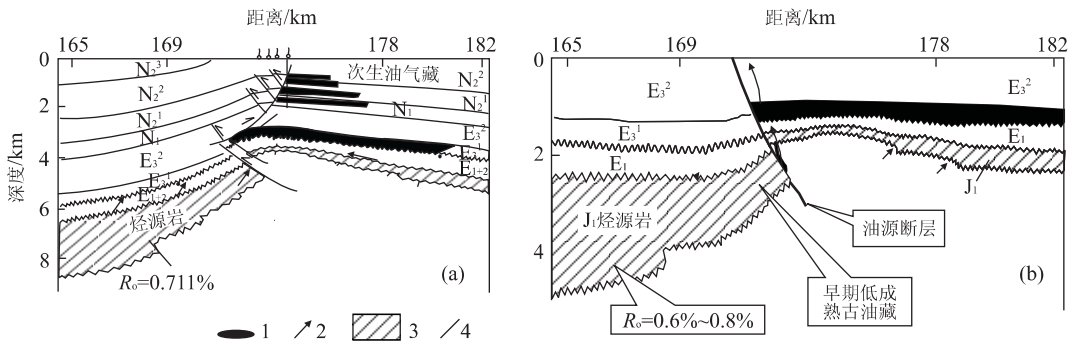


图 6 柴达木盆地北缘西段第三系油气成藏模式

Fig. 6 Models of petroleum accumulation into traps of the northwestern Qaidam basin

a. 上新世—第四纪; b. 渐新世. 1. 油藏; 2. 油气运移方向; 3. 烃源岩; 4. 断层

面油气苗多处可见. 断层的破坏作用是影响柴北缘油气勘探效果的重要因素之一. 断层对油气藏的破坏表现在 2 个方面: 一种是将深层或古油气藏切割, 在上第三系形成次生油气藏; 另一种是导致油气藏中的油气通过断层逸散到地表, 形成油气苗.

N_3^2 —Q 时期发育的断层多属推覆滑脱性质, 断面较缓, 很少深达侏罗系地层, 因此它们在油气成藏中主要表现为形成次生油气藏或起破坏作用.

综上所述, E_3^2 发育的断层与 N_3^2 —Q 时期发育的断层对油气藏形成的意义不同.

4 油气成藏模式及结论

根据圈闭形成历史和油气充注期次, 以及不同时期断层的作用特点, 可以认为柴北缘下第三系的油气藏与上第三系的油气藏具有不同的成藏过程(图 6).

下第三系的油气藏的形成分 2 个阶段: 在渐新世, 有 2 种不同来源的油气通过油源断层进入圈闭, 即早期聚集在侏罗系古油藏中的低熟石油与渐新世侏罗系烃源岩二次生成的成熟石油, 两者在充注时期上基本同期, 进入下第三系储层后发生混合, 在充注过程中, 储层自生矿物捕捉油气形成低成熟石油包裹体; 上新世以后, 断层再次活动, 侏罗系烃源岩高成熟的油气继续通过断层向下第三系储层运移, 并与圈闭中的油气相混合, 原来石油的低成熟特征逐渐减弱. 因此, 下第三系油气藏为二期充注的结果.

上第三系油气藏主要为一期形成, 即在 N_3^2 —Q 时期发育的断层破坏了下第三系的油气藏, 导致部分下第三系油气藏中的石油通过断层向上运移到上第三系形成油气藏, 属于一期充注形成的次生油气藏. 由于上第三系离地表较近, 盖层封闭性较差,

存在部分油气散失, 只有具备良好的盖层条件(盖层、异常压力、封闭)才形成聚集.

在柴北缘第三系油气藏形成演化中, 断层起到了重要的控制作用. 因此深入研究断层的封闭性对今后勘探目标的选择, 提高勘探成功率有重要意义.

参考文献:

[1] 穆剑, 汪立群. 论柴达木盆地冷湖—南八仙构造带的含油气远景[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 18—22.
 MU J, WANG L Q. Petroliferous prospect of Lenghu-Nanbaxian structure belt in Qaidam basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(2): 18—22.

[2] 狄恒恕, 王松贵. 柴达木盆地北缘中、新生代构造演化探讨[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1991, 16(5): 533—539.
 DI H S, WANG S G. Study of the evolution of the Mesozoic and Cenozoic structures in the northeast margin of Chaidam basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1991, 16(5): 533—539.

[3] 曹运江, 陆廷清, 徐望国. 柴达木盆地北缘地区逆冲推覆构造及其油气勘探意义[J]. 湘潭矿业学院学报, 2000, 15(2): 12—17.
 CAO Y J, LU T Q, XU W G. Overthrust and its significance of oil-gas exploration in the northern margin region of Qaidam basin [J]. Xiangtan Min Inst, 2000, 15(2): 12—17.

[4] 车自成, 刘量, 刘洪福, 等. 阿尔金断裂系的组成及与相关中生代含油气盆地的成因特征[J]. 中国区域地质, 1998, 17(4): 377—384.
 CHE Z C, LIU L, LIU H F, et al. Constituents of the Altun fault systems and genetic characteristics of related Meso-Cenozoic petroleum bearing basin [J]. Regional Geology of China, 1998, 17(4): 377—384.

- [5] 龚再升, 杨甲明, 郝芳, 等. 莺歌海盆地与琼东南盆地成藏条件的比较及天然气勘探方向[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(3): 286—290.
GONG Z S, YANG J M, HAO F, et al. Difference in natural gas accumulation conditions between Yinggehai and Qiongdongnan basins and its implications for natural gas exploration [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(3): 286—290.
- [6] 高先志, 陈发景. 应用包裹体确定油气成藏期次——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.
GAO X Z, CHEN F J. Application of fluid inclusions to determination of the times and stages of hydrocarbon reservoir filling: a case study of Nanbaxian oilfield in the Qaidam basin [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 548—554.
- [7] 郑有业, 李晓菊, 马丽娟, 等. 有机包裹体在生油盆地中的应用[J]. 地学前缘, 1998, 5(2): 325—331.
ZHENG Y Y, LI X J, MA L J, et al. Application status of organic inclusion in the research on oil generating basin [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5(2): 325—331.
- [8] 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—225.
QIN J X, ZHANG C J, LI T S, et al. Fluid inclusion in Xichang basin and its application to hydrocarbon exploration [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(3): 216—225.
- [9] Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1993, 57: 3641—3659.

Accumulation Model of Petroleum in the Tertiary System of the Northwestern Qaidam Basin

GAO Xian-zhi¹, CHEN Fa-jing²

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing 102249, China;
2. Department of Energy Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The northwestern Qaidam basin is a Jurassic-Tertiary petroleum system. Thrust faults and anticlines are related with faults form main types of traps of the area. The E_3^2 and N_2^3 —Q are the two key elements for the formation of the traps and for the migration and accumulation of petroleum. The composition of petroleum in the reservoirs and in the inclusions indicates that the reservoirs of the Eocene and Neocene underwent different times and stages of petroleum filling. The reservoir of Eocene underwent two stages of petroleum filling: in the end of Eocene, the low-mature petroleum was formed at the end of Jurassic period and entrapped in the Jurassic reservoirs and the mature petroleum formed at the end of Eocene epoch migrated up through the faults and was mixed in the Eocene reservoirs. During N_2^3 —Q, newly formed high-mature petroleum migrated up once more through the reliving faults and was mixed with the petroleum in the Eocene reservoirs. While the reservoirs of the Neocene mainly underwent one stage of petroleum filling. During N_2^3 —Q, petroleum in the Eocene reservoirs was pumped up through faults, with some petroleum entrapped secondly in the Neocene reservoirs and some petroleum escaped to the surface. It is concluded that the faults played a very important role in the migration and accumulation of petroleum in the Tertiary system of the northwestern Qaidam basin.

Key words: accumulation of petroleum; evolution of traps; migration of petroleum; fault; inclusions of petroleum; petroleum filling; Tertiary; Qaidam basin.