

文章编号: 1000-0550(2002)02-0314-06

库车油气系统油气成藏期与成藏史^①

赵靖舟^{1,2} 戴金星²

(西安石油学院 西安 710065) 2(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘 要 根据圈闭形成时间法、生烃史法、油藏地球化学方法、包裹体测温法、露点压力法、油气水界面追溯法等多种方法对库车油气系统油气成藏期综合分析认为,该油气系统具有多期成藏、多阶连续的成藏特点。其主要成藏期有 3 期:即晚第三纪康村早中期(17~10 Ma)、康村晚期—库车早中期(10~3 Ma)、库车晚期—第四纪西域期(3~1 Ma)。前 2 期为轮台凸起油气藏形成的主要时期,形成三叠系湖相油藏以及侏罗系中低成熟煤成凝析油气藏。库车晚期—西域期是库车坳陷气藏的主要形成时期,主要形成高一过成熟气藏以及少量次生油藏,最近发现的克拉 2 大气田以及克拉 3、大北 1、依南 2、吐孜 1 等气藏均属该时期成藏。

关键词 塔里木盆地 库车油气系统 油气藏 成藏期 油藏地球化学 流体包裹体

第一作者简介 赵靖舟 1962 年出生 教授 油气藏地质、天然气地质及地球化学

中图分类号 TE122.3 **文献标识码** A

近年来,库车油气系统特别是库车前陆逆冲带的油气勘探不断取得新的突破,发现了克拉 2 特大型气田和一系列重要含气构造,从而使库车前陆坳陷成为塔里木盆地天然气勘探的重点地区。然而,有关该油气系统油气藏的形成,特别是成藏期和成藏史方面的研究目前还比较薄弱。鉴此“九五”攻关以来,笔者就库车油气系统的油气成藏期与成藏史开展了较全面系统深入的研究。考虑到库车油气系统构造变形、生排烃作用、油气运移聚集等与成藏有关的各种重大地质事件均主要发生在晚第三纪—第四纪短短的 24 Ma 期间,因此,认为只有对其油气藏的形成时间做出较精细的刻划,才可对该油气系统的油气勘探起到更加有效的指导作用。在研究方法方面,鉴于库车油气系统油气藏形成的多期性和复杂性,单一的研究方法很难对其成藏期作出准确判断,因而本项研究运用了圈闭形成时间法、生烃史法、油藏地球化学方法、包裹体测温法、露点压力法、油气水界面追溯法等多种成藏期研究方法,以求对库车油气系统的成藏期作出较精细的研究和较准确的判定。限于篇幅,本文仅就其中几种主要方法的分析结果以及库车油气系统成藏期研究的结论加以简要论述。

1 油藏地球化学与成藏期次判别

通过油气成熟度与烃源岩在不同演化阶段的成熟度进行对比,可以确定油气藏的成藏期次和成藏时间

下限。库车油气系统目前所发现的油气藏类型丰富多样,正常比重的黑油、凝析油、凝析气—湿气、干气均有矿藏形成,反映了油气藏形成的多期性。其中以气藏发现最多,正常比重的黑油油藏相对较少。因此,以下重点对库车油气系统天然气的成熟度加以分析和对比。

库车油气系统目前发现的天然气均为煤型气^[1],其成熟度可由甲烷碳同位素 $\delta^{13}C_1$ 得到很好反映。根据戴金星等提出的煤型气成熟度 $R_o-\delta^{13}C_1$ 回归方程^[2,3]计算结果,库车油气系统天然气存在 4 种不成熟度类型的气藏(图 1):未熟—低熟气、成熟气、高成熟气和过成熟气,反映该区油气藏形成具有多期次性的特点。其中轮台凸起目前发现的气藏主要为未熟—低熟气和成熟气藏,未发现高一过成熟气,说明该隆起主要有 2 期成藏。库车坳陷已发现的气藏中,除未发现未熟—低熟气外,其余 3 种成熟度类型的天然气即成熟气、高熟气和过熟气则均有分布,其中形成气藏的主要为高熟气和过熟气,表明该坳陷可能也有 2 期成藏。就原油成熟度而言,库车油气系统已发现未熟—低熟油、成熟油和高成熟油 3 种类型的原油^②。其中低熟—未熟油主要来自侏罗系煤系源岩,成熟油既有侏罗系来源又有三叠系来源。这 2 类油藏在轮台凸起均有发现,而库车坳陷已发现的 2 个油田(依奇克里克油田、大宛齐油田)主要为成熟油。可见,库车油气系统原油不仅具有多源性,而且也具有多期性。这与前

① 国家“九五”重点科技攻关项目“塔里木盆地油气分布规律”(编号 99-111-01-04-05)专题部分成果

② 赵靖舟,李启明,王清华,庞雯.塔里木盆地油气分布规律(99-111-01-05-05)报告,2000

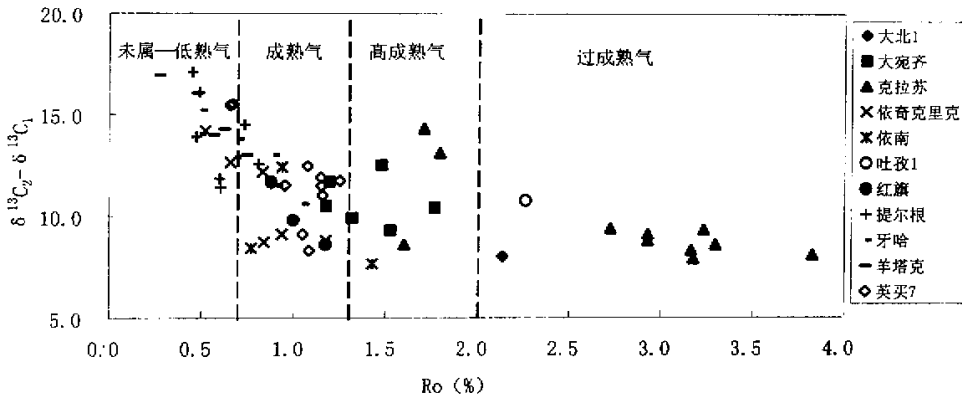


图 1 库车油气系统天然气 R_o 与 $\delta^{13}C_2-\delta^{13}C_1$ 相关图

Fig. 1 Relationship between gas maturity (R_o %) and $\delta^{13}C_2-\delta^{13}C_1$ from Kuche petroleum system

述天然气的分析结论完全一致。

总之,天然气和原油成熟度均反映库车油气系统油气藏的形成具有明显的多期性。这是由库车坳陷三叠系与侏罗系两套源岩叠合分布、成熟度东西分区、南北分带、源岩以成气为主以及煤系源岩的成烃特点等决定的。

2 烃类流体包裹体分析与成藏期次确定

流体包裹体含有丰富的成藏信息。80 年代特别是 90 年代以来,流体包裹体方法开始在油气成藏年代学与成藏史研究中得到广泛应用^[4~7],已成为当代油气成藏年代学研究的主要方法之一。该方法在库车油气系统成藏期次的确定方面也取得了良好的应用效果。

2.1 库车坳陷烃类包裹体特征与成藏期次确定

有机包裹体分析表明,库车坳陷存在 2—3 期油气运移充注事件(表 1):

第 1 期充注以油为主,包裹体颜色与类型等反映油气成熟度不高,为成熟油,充注时间为康村早中期(17—10Ma)。依奇克里克油田、大宛齐油田最早可能即形成于这一时期,只不过因后期高成熟气的注入,造成油气差异聚集而形成现今次生油藏的面貌。克拉 2、依南 2 气藏储层虽有该期油包裹体存在,钻探结果也发现了少量原油,但之所以未形成油藏,可能与后期构造破坏特别是干气的大量注入有关,后期干气的大量注入使得早期聚集的油气被驱替而沿断层向上溢出。

第 2 期充注以气为主,油少量,油气成熟度较高,可能为成熟—高成熟阶段凝析油气,充注时间在西部拜城凹陷及周缘为康村晚期(10~5 Ma),在东部阳霞凹陷及周缘为库车期(5~2 Ma)。天然气成熟度分析表明,依奇克里克油田、大宛齐油田均有该期高成熟气的注入。

第 3 期充注以气占绝对优势,包裹体颜色和组成类型反映其成熟度很高,出现了固体沥青包裹体,说明

表 1 库车坳陷流体包裹体特征与成藏期次

Table 1 Characters and formation periods of hydrocarbon fluid inclusions from Kuche

| 气藏 | 期次 | 产状 | 均一温度/℃ | 颜色 | 主要类型 | 相组成/% | | | 形成时间 /Ma |
|------|-----|-------|---------|-------|-----------|--------|-------|------|----------|
| | | | | | | 气态烃 | 液态烃 | 沥青 | |
| 克拉 2 | I | 方解石 | 90~110 | 浅黄、亮黄 | OL、VOL | 20~30 | 60~80 | 0~10 | 14~10 |
| | II | 石英加大边 | 130~145 | 灰、暗褐 | VOL、OV | 60~90 | 0~40 | 5~15 | 10~6 |
| | III | 次生裂缝 | 156~169 | 褐黑、黑 | OV、VOL、AS | 70~100 | 5~15 | 5~20 | 3~1 |
| 克拉 3 | II | 石英加大边 | 107~120 | 灰、褐 | VOL、OV | 55~90 | 0~40 | 5~15 | 10~9 |
| | III | 次生裂 | 146~158 | 褐黑、黑 | OV、VOL、AS | 60~100 | 5~15 | 5~20 | 3~1 |
| 依南 2 | I | 自生方解石 | 92~104 | 棕黄 | OL、VOL | 5~20 | 80~95 | <5 | 17~13 |
| | II | 石英加大边 | 128~138 | 深灰 | VOL | 20~30 | 60~80 | 0~10 | 5~2 |
| | III | 次生裂缝 | 152~163 | 暗褐、灰黑 | OV、VOL、AS | 60~100 | 0~40 | 0~10 | 2.5~1 |

为高一过成熟气,充注时间主要在库车晚期—西域期(3~1 Ma),东部同样稍晚于西部。克拉2、克拉3、大北1、依南2、吐孜1等气藏均属该期形成的高、过成熟气藏。可见,库车坳陷3期油气的充注在时间上基本上是连续的或有部分重合,其间并无截然的界限。这主要是由于该坳陷中生界三叠系和侏罗系两套烃源层在时间上连续沉积,在空间上叠合分布,同时又发育生烃范围较宽的煤系源岩。

2.2 轮台凸起包裹体特征与成藏期次确定

轮台凸起油气藏一般有2期包裹体。其中第1期主要分布于硅质胶结物、方解石胶结物和石英加大边中,少数分布于次生裂隙中;第2期则主要分布于次生裂隙中,也有分布于石英加大边。牙哈3、牙哈5、牙哈1等下第三系储层均以第2期包裹体为主。羊塔克地区同样以第2期包裹体为主,但也有第1期包裹体分布。而英买7等下第三系主要只有第1期包裹体,奥陶系包裹体则多属第2期。可见,轮台凸起存在2期油气注入过程,其中第2期油气注入强度可能相对较大,分布较普遍。据周兴熙等^[9]根据露点压力计算结果,轮台凸起凝析气藏普遍形成于库车期以来,也说明库车期油气注入强度较大。

范善发等(1998)亦曾报导了牙哈地区2期包裹体的存在,其均一温度分布在52.6~122.5℃,范围较宽。其中第1期包裹体均一温度范围为52.6~100℃(主要在75~100℃),形成时间为康村中晚期(8~12 Ma),第2期均一温度主要分布于100~120℃,形成时间为康村末期(6.5 Ma)。但据田作基等(1998)测温资料研究结果,轮台凸起油气藏的成藏期主要在库车早期,时间为5~3 Ma。上述结果之所以存在较大偏差,一方面与地层埋藏史恢复有关,另一方面与所用包裹体测温数据不同有关。田作基等(1998)的测温资料主要是与油气共生的盐水包裹体的均一温度,而范善发等(1998)用的是油气包裹体的测温结果。一般来说,同一储层中烃类包裹体的均一温度低于与其共生盐水包裹体的均一温度,二者差值多在20℃左右,最大可达40℃^[7,8]。因此,采用不同的包裹体均一温度,必然会得到不同的形成时间。研究表明,烃类包裹体的形成时间一般可能代表了油气充注的最早时间。由此判断,牙哈、台2、羊塔克等轮台凸起油气藏的成藏时间应在康村早中期至库车早期(12~3 Ma)。

3 油气水界面分析与成藏时间确定

利用油气水界面追溯法确定成藏期的基本原理是油气藏形成后,其油气水界面为一水平的界面,因

此可以通过追溯现今油气水界面在地质历史上最早出现的时间来确定油气藏的形成时间^[10,11]。据此,“九五(二期)攻关”以来,笔者利用油气水界面追溯法对库车油气系统的英买7和牙哈油气田的形成时间进行了研究,取得了较好效果。下面以英买7油气田为例,就其油气水界面变迁与成藏时间加以分析讨论。

图2为根据现今油气水界面与构造演化史编制的英买7油气田油气水界面演化剖面图。可以看出:早第三纪末,英买7构造带仅形成几个平缓的披覆背斜,自西向东为英买21、英买17和英买7三个局部高点。但此时的油气水界面尚未形成,各井油气水界面的连线不成直线,而随构造同步起伏,反映此时尚未形成油气藏。吉迪克期,英买7构造带现今各局部构造形成,

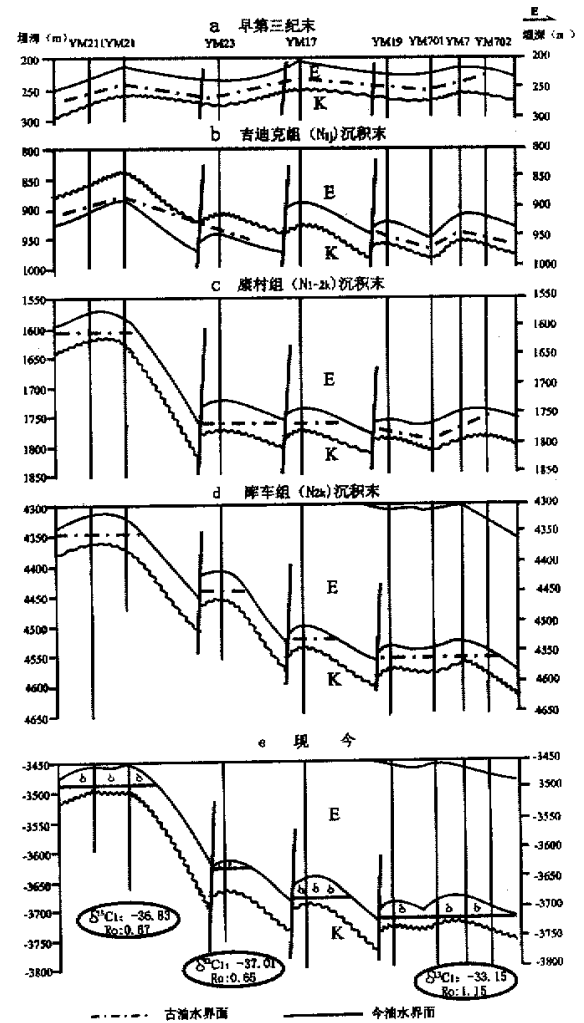


图2 英买7构造带油气水界面演化剖面图

Fig.2 Evolutionary profile of the oil-water contact in Yingmai 7 belt

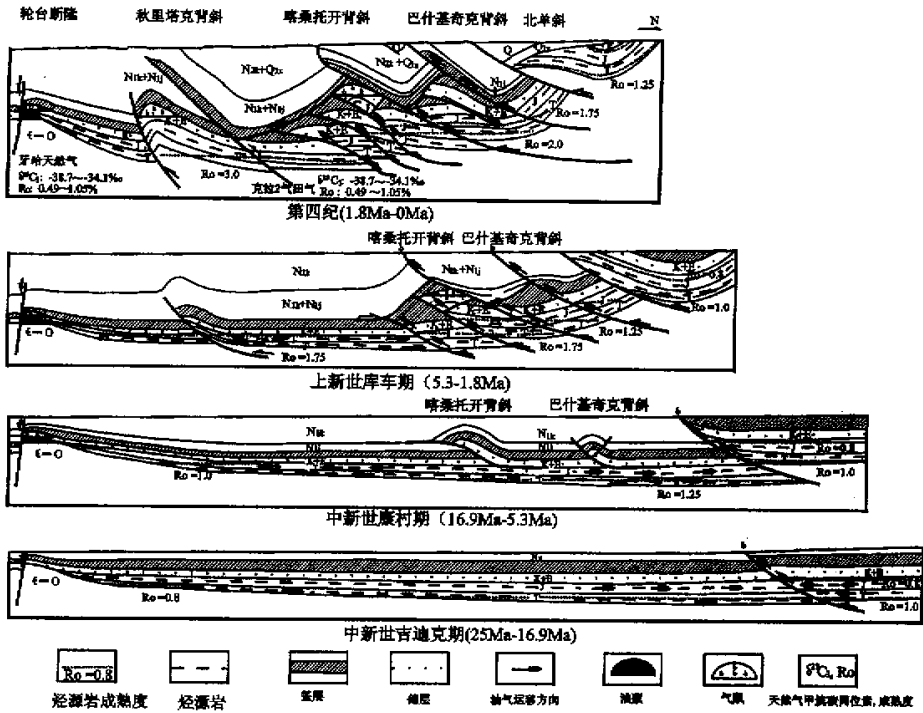


图 3 库车油气系统油气成藏演化史

Fig. 3 Profile showing hydrocarbon accumulation history of the Kuche petroleum system

但此时的油气水界面连线仍为与构造基本同步起伏的折线, 油气藏仍未形成。

康村期, 英买 7 构造带构造幅度进一步加大, 西部英买 211—英买 21 与中部英买 23 和英买 17 号构造的油气水界面形成, 说明此时英买 21、英买 23、英买 17 号油气藏已开始形成。但此时的英买 23 与英买 17 号油气藏可能为同一油气藏, 具有统一的油气水界面, 其油气水界面埋深相同, 储层因构造幅度和断距不大而相互连通。

库车期, 东部英买 7~19 油气藏也最终形成, 二者具有统一的油气水界面。与此同时, 随着库车期构造挤压作用的进一步增强, 西部英买 21 号构造幅度进一步加大, 英买 17 和 23 号构造也发生差异升降, 形成 2 个相互独立的局部构造, 原来统一的英买 17—英买 23 油气藏至此演变为 2 个不同的油气藏。

可见, 英买 7 构造带油气藏最早形成于晚第三纪康村期, 并首先形成英买 21、英买 23 和英买 17 号油气藏, 此后至库车期又形成英买 7~19 号油气藏, 即该构造带油气藏的形成具有西早东晚的特点。这一结论与天然气甲烷碳同位素和成熟度的分布完全吻合。该

区带天然气甲烷碳同位素明显表现为西轻东重, 成熟度西低东高。西部英买 211 井 (E) 天然气 $\delta^{13}C_1$ 为 -36.84% , R_o 为 0.67% ; 中部英买 23 井 (E) 天然气 $\delta^{13}C_1$ 为 -37.01% , R_o 为 0.65% , 与英买 211 井基本相同, 反映二者为同期成藏, 且形成的是低熟气藏。东部英买 19 井 (E) 天然气的 $\delta^{13}C_1$ 则达 33.55% , R_o 为 1.15% , 英买 7、英买 9 井天然气的 $\delta^{13}C_1$ 和 R_o 与此类似, 英买 7 井 (E) 天然气的 $\delta^{13}C_1$ 为 -33.53% , R_o 亦为 1.15% , 英买 9 井 (E+K) 天然气 $\delta^{13}C_1$ 为 -33.95% ~ -33.02% , R_o 为 1.07% ~ 1.25% 。可见英买 7、9、19 井的天然气基本为同期形成, 且为成熟度较高的成熟气, 从而与英买 21 和英买 23 号气藏不同期。即英买 7 构造经历了 2 期油气充注过程, 早期康村期形成英买 21 和英买 23~17 低熟气藏, 晚期库车期形成英买 19 和英买 7~9 成熟气藏, 并使得早期统一的英买 23~17 气藏调整为两个独立的气藏。牙哈构造带同英买 7 构造带一样, 也经历了康村期和库车期 2 次油气充注成藏事件, 其中第 1 期康村期也主要为低成熟油气的注入期, 第 2 期库车期主要为成熟油气的注入期。

总之,由油气水界面追溯法分析可以看出,轮台凸起存在着2期油气注入,第1期时间为康村期(17~5 Ma),第2期为库车期(5~2 Ma)。

4 库车油气系统成藏期与成藏史

综合分析可以看出,库车油气系统具有多期成藏、多阶连续的成藏特点,与一般煤成气的成烃特点一致^[12]。其主要成藏期有3期:晚第三纪康村早中期(17~10 Ma)、康村晚期—库车早中期(10~3 Ma)、库车晚期—第四纪西域期(3~1 Ma)。

其中康村期早中期,库车坳陷三叠系烃源岩已达到成熟阶段,三叠系湖相泥岩开始排出液态烃,而侏罗系煤系烃源岩基本上尚处于未熟—低熟阶段。因此,该时期主要形成湖相油藏以及煤成未熟—低熟气藏以及少量煤成油藏。此时,轮台凸起张性断裂构造带局部构造也已形成,库车坳陷北部局部构造也开始形成雏形(图3)。因此该时期形成的油藏和未熟—低熟气藏主要分布于库车前陆坳陷的南北边缘地区,以南部轮台凸起成藏条件最好。库车坳陷大宛齐油田和依奇克里克油田可能也在康村期开始形成。

康村晚期—库车早中期,库车坳陷三叠—侏罗系烃源岩普遍达到成熟阶段,库车坳陷北部和西部甚至达到高成熟演化阶段,因而该时期排烃量较大,以形成凝析气藏为主,是库车油气系统凝析油气藏形成的主要时期。库车前陆逆冲带的大宛齐油田和依奇克里克油田以及轮台凸起大部分凝析气藏均主要是在这一时期形成的。

库车晚期—第四纪西域期,库车坳陷烃源岩普遍达到高一过成熟阶段,因而以形成高成熟贫凝析油的凝析气藏(东部)和过成熟干气藏(中西部)为主,形成的气藏主要分布于库车坳陷,克拉2、克拉3、大北1、依南2、吐孜1气藏等均是在这一时期形成的。因此,该时期是库车前陆逆冲带已发现气藏的主要形成时期。另外,大宛齐油田和依奇克里克油田也是在该时期由于高一过成熟气的大量注入、造成油气差异聚集而形成的次生油藏(另文讨论)。

参 考 文 献 (References)

1 李先奇. 塔里木盆地天然气聚集及地球化学特征[J]. 勘探家, 1997, 2(2): 31~36 [Li Xianqi. Natural gas accumulation and geochemical

characteristics of the Tarin basin[J]. Explorationists, 1997, 2(2): 31~36]

- 2 戴金星, 戚厚发, 宋岩. 鉴别煤成气和油型气若干指标的初步探讨[J]. 石油学报, 1985, 6(2): 31~38 [Dai Jinxing, Qi Houfa, Song Yan. Discussion on the identification indicators for coal-formed and oil-associated gases[J]. Acta Petrolei Sinica, 1985, 6(2): 31~38]
- 3 戴金星, 宋岩, 关德师, 甘立灯. 鉴别煤成气的指标[A]. 见 煤成气地质研究[C]. 北京: 石油工业出版社, 1987. 156~170 [Dai Jinxing, Song Yan, Guan Deshi, Gan Lideng. The indicators for coal-formed gas identification[A]. In: Symposium on geological research of coal-formed gas[C]. Beijing: The Petroleum Industry Publishing House, 1987. 156~170]
- 4 Haszeldine R S, Samson I M, Cornforth C. Dating diagenesis in a petroleum basin: a new fluid inclusion method[J]. Nature, 1984, 307: 354~357]
- 5 Burrus R, Cercone K R, Harris P M. Timing of hydrocarbon migration: evidenced from fluid inclusions in calcite cements, tectonics and burial history[A]. Schneidermann N, Harris P M, eds. In: Carbonate cement[C]. Soc Econ Paleontol Mineral, Tulsa, 1985. 277~289]
- 6 McLimans R K. The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs[J]. App. Geochem., 1987 (2): 585~603]
- 7 Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 3 641~3 659]
- 8 Pagel M, Walgenwitz F, Dubessy J. Fluid inclusions in oil and gas-bearing sedimentary formations[A]. In: Burrus J, ed. Thermal modeling in sedimentary basin[C]. Houston, Texas: Gulf Publishing Comp., 1985. 565~583]
- 9 周兴熙等. 塔里木盆地天然气形成条件及分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 1~188 [Zhou Xingxi, et al. Generation and occurrence of natural gas in Tarim basin.[M]. Beijing: The Petroleum Industry Publishing House, 1998. 1~118]
- 10 赵靖舟. 油气水界面追溯法与塔里木盆地海相油气成藏期分析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 55~58 [Zhao Jingzhou. Timing marine petroleum accumulation in the Tarim basin by oil/gas-water contact retrospecting[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(4): 55~58]
- 11 赵靖舟. 油气水界面追溯法—研究烃类流体运聚成藏史的一种重要方法[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 373~378 [Zhao Jingzhou. Hydrocarbon-water contact retrospection: an effective method in timing hydrocarbon fluid accumulation[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4): 373~378]
- 12 徐永昌等. 天然气成因理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 1~414 [Xu Yongchang, et al. Origin of natural gas: theory and application[M]. Beijing: Science Press, 1994. 1~414]

Accumulation Timing and History of Kuche Petroleum System , Tarim Basin

ZHAO Jing-zhou^{1 2} DAI Jin-xing²

(Xi 'an Petroleum Institute , Xi 'an 710065)

2 Research Institute of Petroleum Exploration and Development , CNPC Beijing 100083)

Abstract The Kuche petroleum system is a forland-type one riched in oil and particularly natural gas generated from the Triassic and Jurassic source rocks including coal source. Many natural gas and condensate fields as well as some oil fields have been discovered , of which the natural gas and condensate are thought to have been generated mainly from coal source of Jurassic and the normal oil from the Triassic mudstone source. Study of these fields ' accumulation timing and filling history is significant to exploration in Kuche and therefore the major concern of this paper. Based on synthetic analyses of trap timing , reservoir geochemistry (gas maturity correlation) , hydrocarbon fluid inclusions , dew-point pressure and oil/gas-water contact evolution , 3 periods of the formation and filling history of oil and natural gas reservoirs in the Kuche petroleum system are discerned , i. e. early-middle Kangcun period (17~10 Ma) , late Kangcun to early-middle Kuche period (10~3 Ma) and late Kuche to Xiyu period (3~1 Ma). The late Kuche to Xiyu period is the major one for formation of natural gas fields of high maturity to over-maturity in Kuche forland thrust belts , in which the discovered gas fields of Kela 2 , Kela 3 , Dabei 1 , Yinan 2 and Tuzi 1 were formed. The late Kangcun to early-middle Kuche period is a critical moment for accumulation of oil and condensate of low to intermediate maturity. And the early-middle Kuche period is a minor one for formation of low-maturity oil and gas reservoirs sourced from coal-type organic matter. Oil and gas fields of early-middle Kangcun and late Kangcun to early-middle Kuche periods were distributed mainly in the Luntai uplift , whereas gas fields of late Kuche to Xiyu period totally in the Kuche forland thrust belts. The early formed oil and condensate accumulations in the forland thrust belts , if there is , have possibly been adjusted and even destroyed by the later strong orogeny and/or the intrusion of natural gas of high maturity and over maturity. The remained oil accumulations in the thrust belts were mostly secondary reformed during the late Kuche to Xiyu period.

Key words Tarim basin , Kuche petroleum system , oil and gas fields , accumulation timing , filling history , reservoir geochemistry , fluid inclusions