

doi:10.3799/dqkx.2011.056

辽西低凸起与辽中凹陷油气成藏期次的异同

姜 雪^{1,2}, 徐长贵³, 邹华耀⁴, 田金强⁴, 李 林³, 宗 奕¹

1. 中海石油(中国)有限公司北京研究中心, 北京 100027

2. 中国石油大学博士后流动站, 北京 102249

3. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452

4. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

摘要: 为了准确认识油气藏形成和分布规律,在运用泥岩声波时差法和地层趋势外推法确定古近纪末期剥蚀量的前提下,综合生烃史、流体包裹体均一温度、热史、埋藏史、原油性质、储层温压特征等因素探讨了辽西低凸起和辽中凹陷的油气成藏期次。研究表明剥蚀量整体处于150~450 m范围;辽西低凸起和辽中凹陷区的油气均为晚期成藏,均是12 Ma以来甚至更晚才有油气充注;不同在于辽西低凸起上的沙河街组油气为两期充注,后一期充注为主,潜山的油气充注晚于沙河街组;而辽中凹陷的油气为一期充注。

关键词: 辽东湾地区;成藏期次;晚期成藏;生烃史;流体包裹体;石油地质。

中图分类号: P618.130.2

文章编号: 1000-2383(2011)03-0555-10

收稿日期: 2010-07-20

Similarity and Difference of Hydrocarbon Accumulation History in Liaoxi Low Uplift and Liaozhong Sag

JIANG Xue^{1,2}, XU Chang-gui³, ZOU Hua-yao⁴, TIAN Jin-qiang⁴, LI Lin³, ZONG Yi¹

1. Beijing Research Center, CNOOC, Beijing 100027, China

2. Postdoctoral Center of China University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. Tianjin Branch, CNOOC, Tianjin 300452, China

4. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract: In order to get an accurate understanding of the formation and distribution of hydrocarbon reservoirs, on the premise of reconstructing the strata denudation thickness in Liaodong bay area of late-stage of Paleogene based on analysis of sonic time difference and stratigraphy trend thickness method, the hydrocarbon accumulation history in Liaoxi low uplift and Liaozhong sag has been revealed based on hydrocarbon generating history, homogenization temperatures of fluid inclusions, geothermal history, burial history, oil characteristics, temperature and pressure of reservoir as well. The research indicates that the denudation ranges from 150 to 450 m in range, and the key hydrocarbon charging time of the oil and gas in Liaoxi low uplift and Liaozhong sag are after 12 Ma, both are late-stage petroleum accumulation. The difference is: the oil from Shahejie Formation of Liaoxi low uplift was charged twice, the later is the chief one, and the charging of the oil in buried hill is after the one from Shahejie Formation. However, the oil in Liaozhong sag was charged only once.

Key words: Liaodong bay area; accumulation history; late-stage petroleum accumulation; hydrocarbon generating history; fluid inclusions; petroleum geology.

油气勘探的目标是准确认识油气藏形成和分布规律,而准确分析油气运聚期次、认识油气成藏过程,是深化油气分布规律、提高油气勘探效益的重要

研究内容,可以说油气成藏期次是油气勘探和开发过程中必须探讨的实际问题(侯启军等,2004)。不同时期研究油气充注过程及成藏期次的方法有所不

同,传统的成藏期分析方法主要考虑生、储、盖、运、聚、保各项参数有效配置,根据构造演化史、圈闭形成史与烃源岩生排烃史做出推断(张厚福和张万选,1989),常用的3个方法是根据烃源岩的主生烃期、圈闭形成期、油藏饱和和压力分析油气藏形成期。20世纪80~90年代以来随着各项分析测试技术的发展,成藏年代学的研究取得了重要进展,实现了由传统的定性向定量或半定量研究的重要转变(赵靖舟和李秀荣,2002;陈红汉,2007),代表性的研究方法包括油藏地球化学法(England *et al.*, 1987; England, 1990)、流体包裹体法(Haszeldine *et al.*, 1984; Munz, 2001; 赵靖舟, 2002)、同位素测年法(Lee *et al.*, 1985; Hamilton *et al.*, 1989)、储层沥青分析(王飞宇等, 2002)、油气水界面追溯法(赵靖舟, 2001)等。上述各方法的适用性各不相同,在实际的研究中往往根据研究区的实际资料及研究程度选取合适的方法并进行多种方法综合分析以求得更确定和可靠的成藏期结论。

渤海海域辽东湾探区勘探程度相对较高,已发现多个油气田,但现今找到的大中型油气田多位于辽西低凸起上(李淮莲等, 2006),在斜坡带、深洼区及陡坡带尚未发现丰富的油气聚集,仅在辽中一号走滑断裂带上找到 JX 油田以及其他一些很小型的油气田和含油气构造。随着近年来在辽西低凸起上又陆续发现的 JZ2S 和 JZ2 两个大油气田,有必要对辽东湾地区已发现的油气田进行系统的油气藏特征、油气成藏期次、主控因素与成藏模式等问题的探讨,这将有助于打开该区勘探新局面。就成藏期次而言,前人从多种角度对中国主要沉积盆地的油气藏较晚形成的现象进行了探索,并将“形成于新近纪—第四纪的油气藏”称为“晚期油气藏”(贾承造等, 2006),本文也强调晚期成藏,主要是指对渤海湾盆地有较大影响的东营运动(史卜庆等, 1999)之后的成藏,即东营组末期剥蚀之后的成藏,且经过综合分析在研究区内可以更进一步证明为 12 Ma 以来。辽东湾地区前人关于成藏期次这一问题主要根据流体包裹体均一温度结合储层的埋藏史分析对辽西低凸起上的部分油气的成藏期进行分析,其结论为主充注期为古近纪末期和新近纪初期的 23~21 Ma 左右(邓津辉等, 2008),本文以辽东湾辽西低凸起(JZ2S 油气田)和辽中凹陷(JX 油田)2个典型油气田为例,在系统研究古近系末期剥蚀的前提下结合生烃史、流体包裹体均一温度、原油性质、储层温压特征等因素分析辽西低凸起和辽中凹陷内油气成藏期次的异同。

1 地质概况

辽东湾地区是指渤海东北部海域,南界大致为辽东半岛南端(老铁山)与河北省秦皇岛市连线,面积 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在构造区划上,为渤海湾盆地的一个次级构造单元,是下辽河拗陷在海域的延伸部分。可划分为“3凹2凸”共5个次级构造单元,自西向东依次为辽西凹陷、辽西凸起、辽中凹陷、辽东凸起、辽东凹陷,呈北东向展布(图1)。在新生代经历了古近纪裂陷和新近纪—第四纪的裂后沉积两个阶段(漆家福和陈发景, 1994)。整个拗陷充填古近系和新近系沉积。古近系自下而上依次为:孔店组、沙河街组和东营组;新近系自下而上依次为:馆陶组和明化镇组。其是中国东部海上的主要含油气区之一,油气资源丰富。多年的石油地质研究和勘探实践表明,古近系沙河街组三段、沙河街组一段和东下段(东营组三段和东二下亚段)是本区主要的烃源层。

2 辽东湾地区东营组末期剥蚀量的确定

地层剥蚀是沉积盆地中普遍存在的现象。如果剥蚀量不大,对油气生成、运移和聚集的影响可以不必考虑,但若有较大的剥蚀,则会对盆地中油气的生成、运移和聚集等产生影响,这时就要恢复剥蚀量(李伟, 1996)。

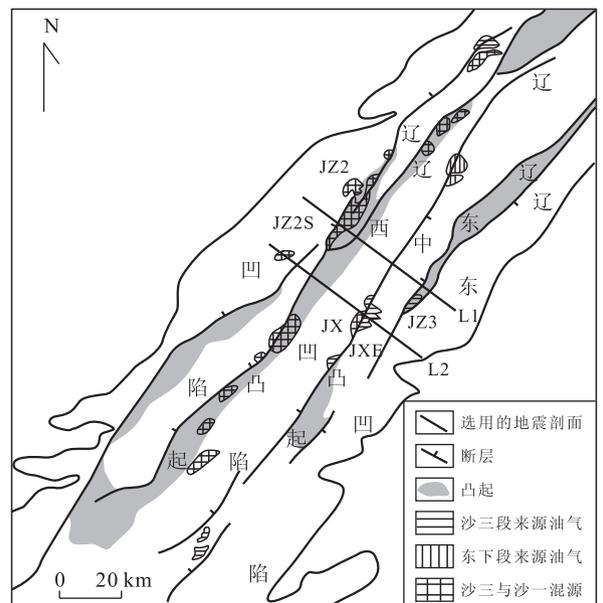


图1 辽东湾地区构造单元划分及油气来源

Fig. 1 Tectonic division and origin of oil and gas in Liaodong bay area

由于古近纪末期,即东营组沉积末期,是一个范围广、强度大的区域性构造运动,处在由盆地的裂陷阶段向拗陷阶段过渡时期,同时也是渤海湾盆地所遭受的最后一次较大的构造运动.它使盆地的裂陷构造基本定形,对盆地内油气藏的形成、保存起到了重要的控制作用(史卜庆等,1999).可以说这次运动造成剥蚀量的大小对盆地埋藏史、热史、生烃史的恢复都有着至关重要的影响,因此必须对辽东湾地区东营组末期的这次剥蚀进行分析.

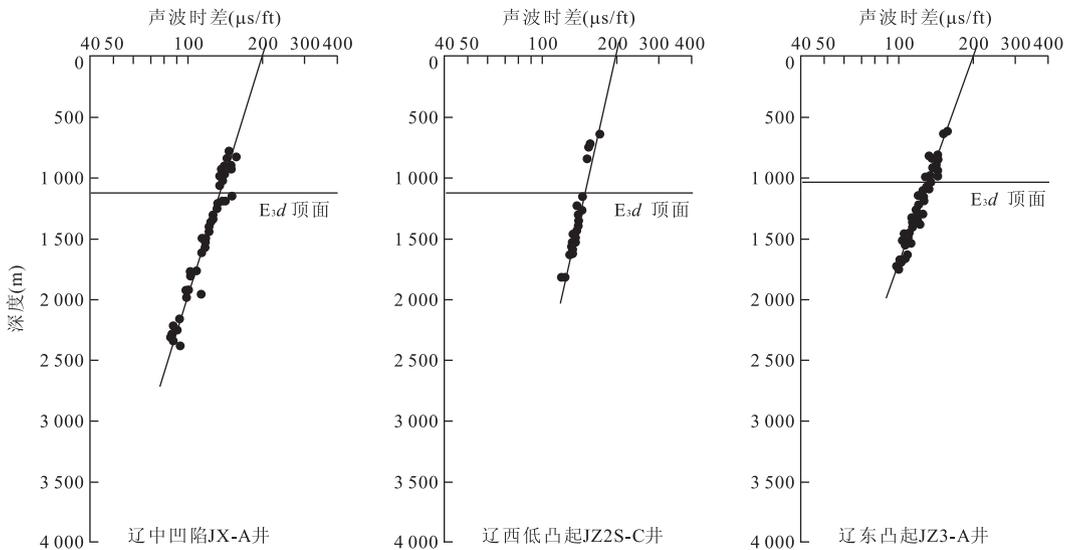
笔者首先应用泥岩声波时差法(Magara,1976,1981)对辽东湾地区不同构造单元的 80 余口井进行了泥岩压实特征分析,结论是辽西凹陷、辽西低凸起、辽中凹陷以及辽东低凸起的典型井东营组顶面不整合上下泥岩声波均较连续,未出现明显的间断(图 2a),即后期沉积厚度大于剥蚀厚度,也就是说该方法在辽东湾地区判断东营组末期的剥蚀量并不

适用,且未出现明显的间断面表明若有剥蚀量也不会很大.

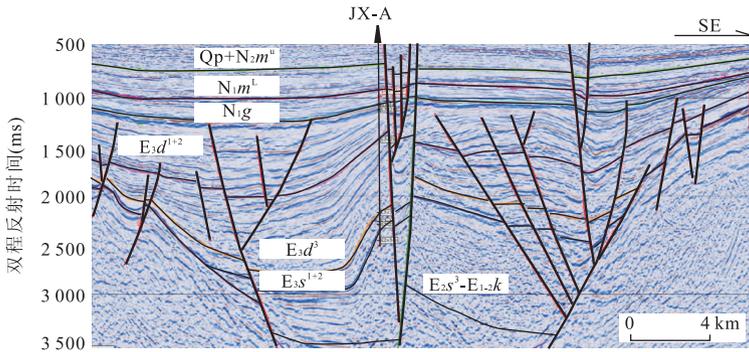
进一步研究发现,这期构造运动虽规模大但在渤海湾盆地的各个地区造成影响是不同的,辽东湾地区东营组末期的构造运动主要引起的是(低)凸起和主断裂反转带的局部剥蚀(图 2b),在深洼处并未引起剥蚀,故本次最终采用地层趋势外推法进行剥蚀量的计算,整体上辽东湾地区东营组沉积末期剥蚀量为 150~450 m,其中 JX 构造剥蚀量为 200 m 左右,JZ2S 构造剥蚀量为 400 m 左右.

3 辽西低凸起 JZ2S 油气田油气成藏期次

JZ2S 油气田位于辽东湾海域辽西低凸起中北



(a) 不同构造单元典型井泥岩声波时差剖面



(b) 东营组末期构造运动仅引起局部反转

图 2 辽东湾地区东营组沉积末期剥蚀量的井震证据

Fig. 2 Evidences from well and seismic data of denudation amount at the end of sedimentation of the Dongying Formation in Liaodong bay area

段,西侧依靠辽西 1 号大断层与辽西凹陷相邻,东侧向辽中凹陷下倾,是一个具潜山背景由断层控制的披覆半背斜.该油气田是目前渤海发现的最大的潜山油气田,各级石油地质储量达 8 013 万方,天然气 124.68 亿方,是渤海海域天然气地质储量超 100 亿方级的变质岩潜山勘探的重大突破. JZ2S 油气田主要产层为古近系沙二段砂岩和太古界潜山基岩储层,其沙二段为油气藏,潜山为油藏.

3.1 烃源岩生烃演化史及原油成熟度方面的研究

JZ2S 油气田的油气主要来源于辽西凹陷中注的沙三段烃源岩,有少量沙一段烃源岩的贡献.成熟度是表征原油与烃源岩有机质演化阶段的有效参数,对比原油成熟度与烃源岩的热演化有助于判断油气充注的最早时间. $C_{29}\beta/(\beta+\alpha)$ 甾烷比值和 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 甾烷比值是有效的评价原油成熟度的参数(Peters *et al.*, 2005). JZ2S 油气田的原油 $C_{29}\beta/(\beta+\alpha)$ 甾烷比值介于 0.38~0.49 之间(图 3). $C_{29}20S/(20S+20R)$ 甾烷比值介于 0.32~0.43 之间(图 3). 根据 $Ro-C_{29}20S/(20S+20R)$ 甾烷比值关系知(Waples and Machihara, 1990; Peters and Moldowan, 1995; Justwan *et al.*, 2006), 总体表现为成熟原油的特征. 在剥蚀量恢复的基础上应用 EasyRo 模型(Sweeney and Burnham, 1990)模拟了辽东湾地区烃源岩生烃演化史. 单井及二维剖面

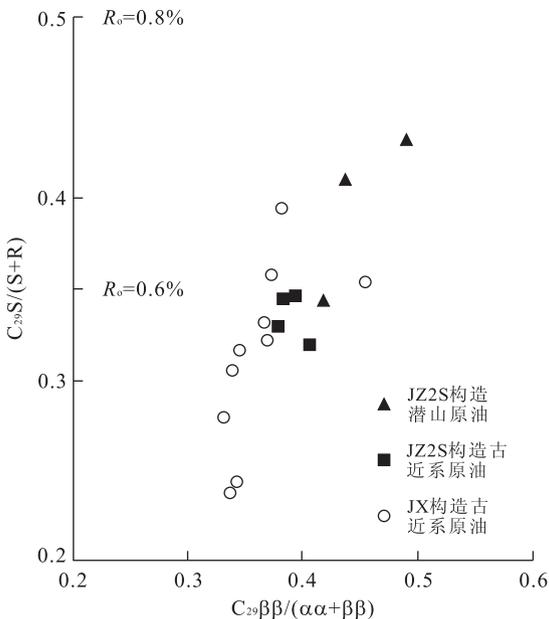


图 3 JZ2S 和 JX 油田原油 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 与 $C_{29}\beta/(\beta+\alpha)$ 甾烷比值相关

Fig. 3 The $C_{29}20S/(20S+20R)$ versus $C_{29}\beta/(\beta+\alpha)$ sterane ratios for oils from the JZ2S and JX field

盆地模拟结果表明(图 4):辽西中洼的沙三段烃源岩在 12 Ma 才进入主生油期,所以由生烃史判断油气大量充注在 12 Ma 以来,结合原油成熟度有部分较高成熟度的样品以及考虑到沙一段烃源岩的贡献则要到 5.1~0 Ma 才有充注.

3.2 原油物性方面的研究

在某些情况下,成藏流体本身就可反映流体的多期充注及晚期充注.例如在浅埋藏的条件下,油气可能发生生物降解.不同生物标志物抗生物降解的能力,一般按下列顺序增强:正构烷烃、类异戊二烯烷烃、甾烷、藿烷/重排/甾烷、芳构化甾烷、卟啉(Peters and Moldowan, 1995). 当原油的饱和烃气相色谱图上出现 25-降藿烷则表明同期原油中的正构烷烃及类异戊二烯烷烃已完全消耗殆尽,所以若出现 25-降藿烷与正构烷烃共存则表明是多期(幕式)充注.故在多期(包括幕式)充注的情况下,晚期充注的油气使生物降解残余油与未降解原油发生共生现象(郝芳, 2005).

JZ2S 油气田含油层的主体深度为 1 500~2 000 m,该地区的新近系及第四系的厚度为 1 100 m 左右,若为剥蚀前成藏,则忽略压实效应,当时的储层深度为 500~900 m 左右,原油应普遍存在降解现象,而 JZ2S 油气田主要为密度中等、粘度较低,胶质和沥青质含量中等,凝固点、含蜡量及含硫量较低的轻质—中质原油仅个别样品能识别出降解.且识别出 25-降藿烷与正构烷烃序列并存(图 5a),这表明该油田沙二段的原油至少存在两期充注,且样品正构烷烃序列峰值高,保存完整,说明后一期充注发生的时间很晚.

3.3 流体包裹体和储层温、压方面的研究

流体包裹体含有丰富的成藏信息,烃类流体包裹体是油气运聚成藏过程的最好记录.在成藏期次与充注历史研究方面,流体包裹体的应用主要有(赵靖舟, 2002):一是油气包裹体的形成世代,可证明油气运移充注期次;二是烃类流体包裹体的均一温度,记录了油气运移充注时储层的古地温,通过热史和埋藏史的恢复即可确定包裹体形成时的埋藏深度,其对应的地层年代就是油气藏的成藏年代;三是油气包裹体的成分,可反映注入油气的地化特点和相态特点.本文主要讨论第二方面的应用.

JZ2S 油气田的包裹体的观察主要集中在沙二段的样品,潜山并未获得可测的样品.通过对沙二段样品观察发现,包裹体丰度中等,可辨识为两期(图 6a).第一期为黑褐色液相烃包裹体,主要赋存在石英愈合缝中;第二期有 3 种类型组成,分别为浅褐

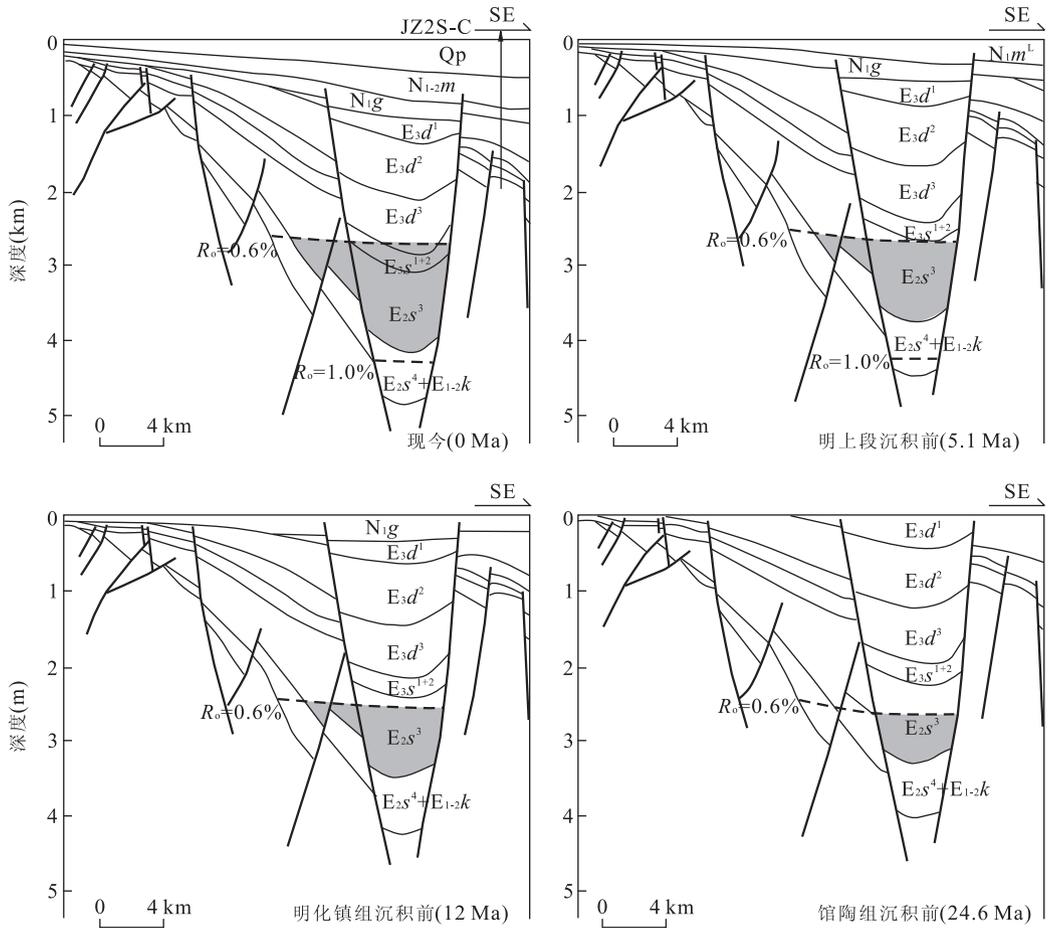


图 4 过 JZ2S 油气田的 L1 测线辽西中南洼段有机质成熟度演化剖面

Fig. 4 Profile of organic matters thermal history of Line L1 in middle-south sag of Liaoxi depression across JZ2S oil and gas field

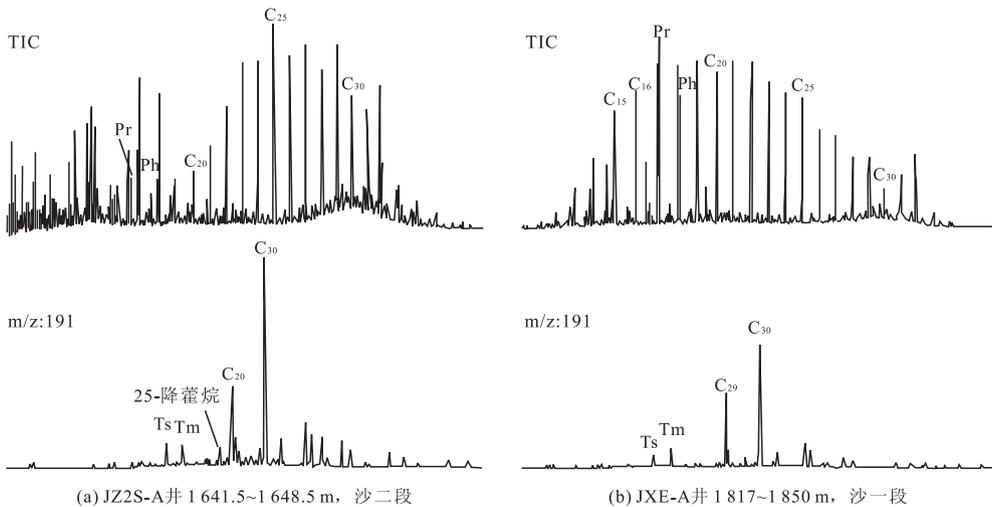


图 5 JZ2S 及 JX 油田原油样品饱和烃质谱一质谱图

Fig. 5 Mass chromatograms of saturate fractions of oil samples from JZ2S and JX oil fields

色、褐色气液两相烃包裹体和黑褐色气态烃包裹体, 主要分布在石英颗粒内裂纹和加大边中. 对未切过石英次生加大边(第一期)的包裹体和切过次生加大

边(第二期)的包裹体分别进行含烃流体包裹体相对丰度的测试, 结果显示第一期的含烃流体包裹体相对丰度很低仅有 1%~2%, 而第二期则达到 28%~

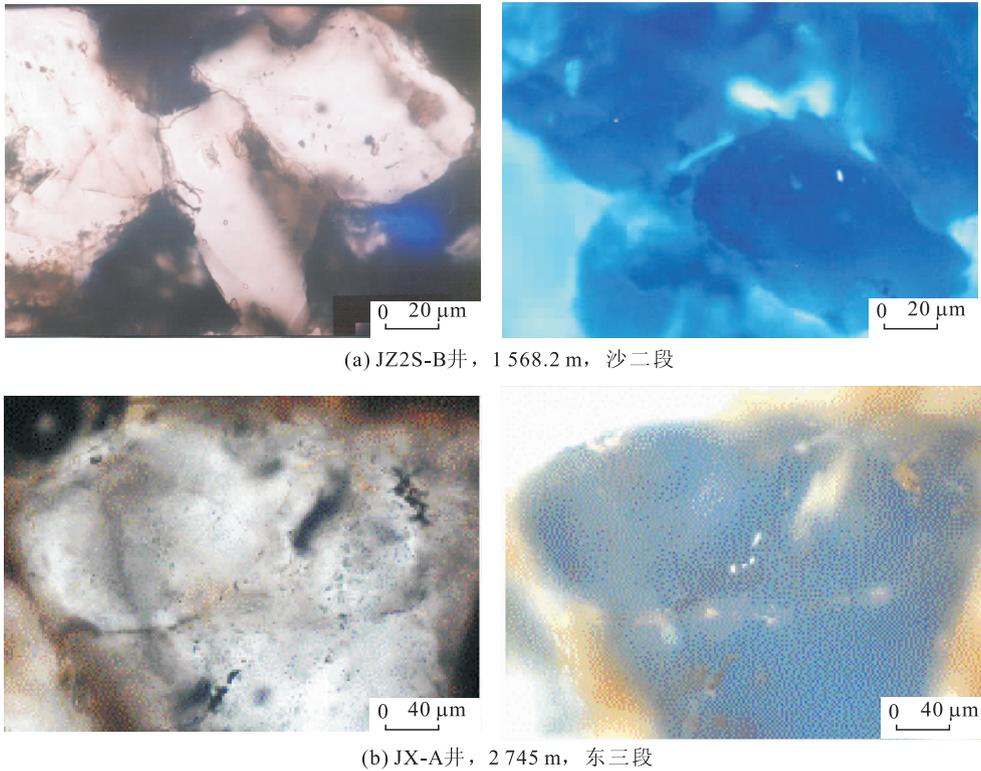


图 6 JZ2S 及 JX 油田砂岩有机包裹体镜下特征(a,b 图的左图为透射光,右图为荧光)

Fig. 6 Microscopic characteristics of petroleum fluid inclusion from JZ2S and JX oil fields

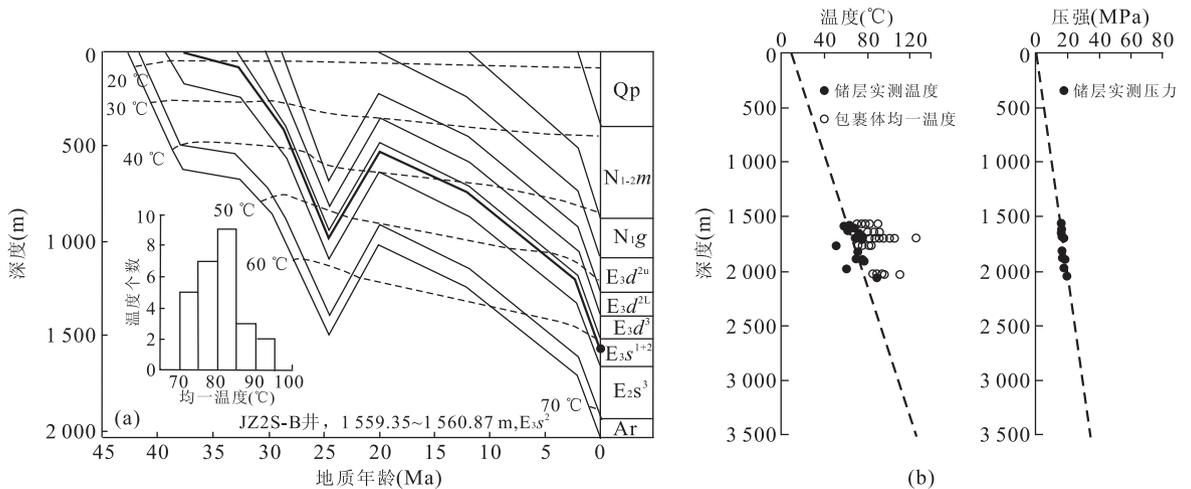


图 7 JZ2S 油气田埋藏史—均一温度投影法确定油气充注时期图及储层温压特征

Fig. 7 The charging times determining with homogenization temperatures projecting on the representative burial history diagrams of JZ2S oil and gas field

30%，表明第一期仅有少量油气发生运移，而后一期才是主要的油气充注期，故仅对后一期与烃类包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度的测试，结果显示均一温度主体为 80~90 °C，结合埋藏史、热史分析(图 7a)，储层现今温度为储层经历的最高温度，由于均一温度略高于储层温度，故无法给出确定的

充注时间，在确定成藏时间的过程中，烃类包裹体均一温度普遍高于储层采样点现今的背景温度的现象是值得注意的。这种现象往往是由于油气主要源自比储层埋深更大的烃源区，且油气在运聚的过程中受构造运动或断裂活动的影响，以间歇式热流体快速充注的形式发生运移，大部分烃类流

体包裹体是在热流体温度未与背景温度平衡时, 或者是在温度平衡过程中所形成 (Hulen *et al.*, 1994; Hao *et al.*, 1995). 这两个因素共同导致流体包裹体均一温度大于储层的背景温度, 在这种情况下利用均一温度法所确定的油气成藏时间往往比实际的成藏时间晚, 但往往也被认为是晚期快速成藏的一个证据.

储集层段的实测压力以及温度异常意味着在近期内发生了流体充注, 即为晚期流体充注的证据 (郝芳, 2005). 图 7b 所示, JZ2S 油藏的背景温度小于储层温度, 储层温度又小于包裹体均一化温度, 证明该油气田的主要充注时期较晚, 且如图 3 所示, 该油田潜山的原油成熟度明显高于沙二段, 所以推测潜山的原油比沙二段储层的原油充注得更晚.

4 辽中凹陷 JX 油田成藏期次

JX 油田位于辽中凹陷中段的中洼反转带上, 被

郯庐走滑断裂的辽中 1 号大断层分为东西两盘, 构造自下而上具有继承性, 西块为一依附于走滑断层且形态比较完整的长条状半背斜圈闭, 东块为受走滑断裂控制的复杂断块构造. 该油田是辽中凹陷内的一个亿吨级大油田, 各级石油地质储量为 1.44 亿立方米, 天然气 11.27 亿立方米. JX 油田在东二段、东三段、沙一段、沙二段和沙三段均有油气发现, 具有多层次含油的特征.

4.1 烃源岩生烃演化史及原油成熟度方面的研究

JX 油田的原油为辽中中洼供源, 东西有所不同, 西块为沙三段供源为主混有沙一段烃源岩贡献, 东块为沙三段供源. JX 油田的原油 $C_{29} \beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$ 甾烷比值介于 0.33~0.46 之间 (图 3), $C_{29} 20S / (20S + 20R)$ 甾烷比值介于 0.24~0.40 之间, 总体上原油的成熟度不高. 热史模拟表明 (图 8), 辽中凹陷中洼的烃源岩热演化程度较高, 在 24.6 Ma, 沙三段源岩均已进入主生烃期, 原油的成熟度又不高, 所以从生烃史来判断, 不排除早期成藏的可能. 但考虑

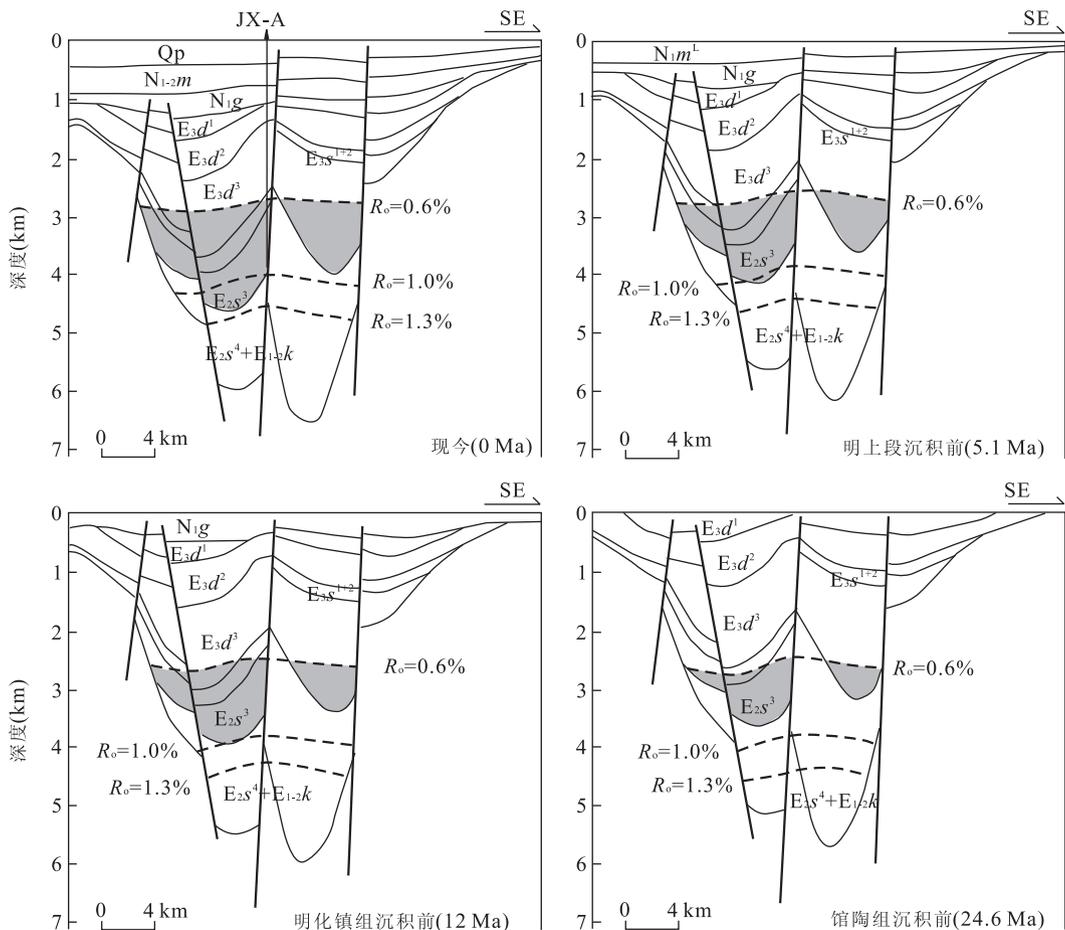


图 8 过 JX 油田的 L2 测线辽中凹陷段有机质成熟度演化剖面

Fig. 8 Profile of organic matters thermal history of line L2 in middle sag of Liaozhong depression across JX oil field

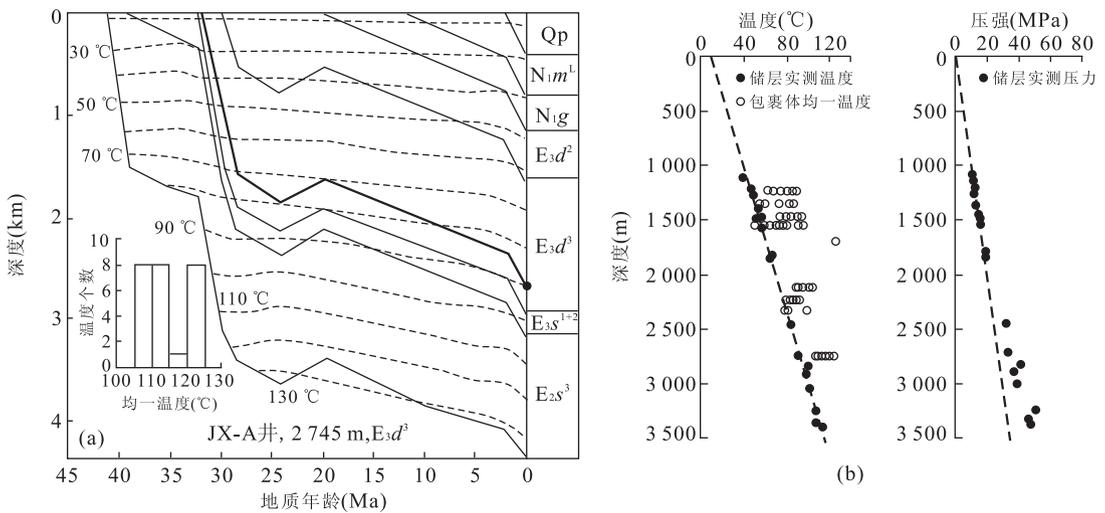


图 9 JX 油田埋藏史—均一温度投影法确定油气充注时期图及储层温压特征

Fig. 9 The charging times determining with homogenization temperatures projecting on the representative burial history diagrams of JX oil field

沙一段的贡献以及东块的抬升较高, 烃源岩成熟度相对较低, 主充注期应为 12 Ma 以来。

4.2 原油物性方面的研究

JX 油田储层的深度范围很广, 从 1 000 ~ 3 000 m, 原油的降解情况很复杂, 浅层的原油大多已降解, 深层的多未降解, 但总体上浅层的原油多, 故 JX 构造原油物性以中质和重质油为主。原油含硫量较低, 胶质和沥青质含量大。

该油田的原油样品并未找到能提供多期充注的并识别出 25-降霍烷与正构烷烃序列并存的证据, 但个别原油样品提供了晚期充注的证据, 如图 5b 所示, 现今埋深 1 817 ~ 1 850 m 的储层中的原油未遭受生物降解, 该区的新近系及第四系的厚度为 1 000 m 左右, 若为剥蚀前成藏, 则忽略压实效应的前提下, 当时的储层深度为 800 m 左右, 原油必是发生降解的, 而该样品无任何降解的迹象, 故推断该油田的油气是晚期充注的, 最早也要 12 Ma 以来(此时储层深度为 1 100 m 左右)。

4.3 流体包裹体和储层温、压方面的研究

JX 油田的有机包裹体主体上可识别出一期气液烃包裹体(图 6b), 发育于石英颗粒内裂纹中, 反映该油田主要的充注只有一期。对与烃类包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度测试表明, 均一温度主体为 105 ~ 125 °C, 结合埋藏史、热史分析(图 9a), 储层现今温度为储层经历的最高温度, 取样点处的均一温度远远高于储层温度, 故无法给出确定的充注时间, 但认为其是晚期成藏的证据。图 9b 所

示, JX 油藏的背景温度小于包裹体均一化温度, 且部分储集层段发育压力异常, 这都是晚期充注的证据。

5 结论

(1) 东营组末期的构造运动在辽东湾地区仅引起了部分凸起和主断裂反转带的局部剥蚀, 在深洼处并未引起剥蚀。剥蚀量为 150 ~ 450 m; (2) 辽西低凸起和辽中凹陷区的油气成藏期次既存在相似性也存在不同, 相似在于均为晚期成藏, 均是 12 Ma 以来甚至更晚才有油气充注; 不同在于辽西低凸起上的沙河街组油气为两期充注, 潜山的油气充注晚于沙河街组; 辽中凹陷的油气为一期充注。

References

- Chen, H. H., 2007. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation. *Oil & Gas Geology*, 28(2): 143–150 (in Chinese with English abstract).
- Deng, J. H., Wu, Q., Zhou, X. H., et al., 2008. Reservoir-forming periods of JZ25 hydrocarbon reservoir in Liaodong bay, Bohai Sea. *Natural Gas Geoscience*, 19(4): 537–540 (in Chinese with English abstract).
- England, W. A., 1990. The organic geochemistry of petroleum reservoirs. *Organic Geochemistry*, 16(1–3): 415–425. doi:10.1016/0146–6380(90)90058–8
- England, W. A., Mackenzie, A. S., Mann, D. M., et al., 1987. The movement and entrapment of petroleum flu-

- ids in the subsurface. *Journal of the Geological Society*, 144(2): 327—347. doi:10. 1144/gsjgs. 144. 2. 0327
- Hamilton, P. J. , Kelly, S. , Fallick, A. E. , 1989. K/Ar dating of illite in hydrocarbon reservoirs. *Clay Minerals*, 24(2): 215—231.
- Hao, F. , 2005. Kinetics of hydrocarbon generation and mechanisms of petroleum accumulation in overpressured basins. Science Press, Beijing, 209—234 (in Chinese).
- Hao, F. , Sun, Y. C. , Li, S. T. , et al. , 1995. Overpressure retardation of organic-matter maturation and petroleum generation: a case study from the Yinggehai and Qiongdongnan basins, South China Sea. *AAPG Bulletin*, 79(4): 551—562. doi: 10. 1306/8D2B158E—171E—11D7—8645000102C1865D
- Haszeldine, R. S. , Samson, I. M. , Cornford, C. , 1984. Dating diagenesis in a petroleum basin, a new fluid inclusion method. *Nature*, 307: 354—357. doi: 10. 1038/307354a0
- Hou, Q. J. , Feng, Z. H. , Huo, Q. L. , 2004. Oil migration model and entrapment epoch of North Wuerxun depression in Hailaer basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(4): 397—403 (in Chinese with English abstract).
- Hulen, J. B. , Goff, F. , Ross, J. R. , et al. , 1994. Geology and geothermal origin of Grant Canyon and Bacon flat oil fields, railroad valley, Nevada. *AAPG Bulletin*, 78(4): 596—623. doi: 10. 1306/BDFF926C—1718—11D7—8645000102C1865D
- Jia, C. Z. , He, D. F. , Shi, X. , et al. , 2006. Characteristics of China's oil and gas pool formation in latest geological history. *Science in China (Ser. D)*, 36(5): 412—420. doi:10. 1007/s11430—006—0947—7
- Justwan, H. , Dahl, B. , Isaksen, G. H. , 2006. Geochemical characterization and genetic origin of oils and condensates in the South Viking Graben. *Marine and Petroleum Geology*, 23(2): 213—239. doi:10. 1016/j. marpetgeo. 2005. 07. 003
- Lee, M. C. , Aronson, J. L. , Savin, S. M. , 1985. K/Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes sandstone, Netherlands. *AAPG Bulletin*, 69(9): 1381—1385. doi: 10. 1306/AD462C68—16F7—11D7—8645000102C1865D
- Li, W. , 1996. Summary of reconstruction of strata denudation thickness. *China Offshore Oil and Gas*, 10(3): 167—171 (in Chinese).
- Li, W. L. , Dai, C. M. , Yu, S. , 2006. Contrast of hydrocarbon accumulation conditions and hydrocarbon distributions between Liaodong bay fault depression and Xialiaohe depression. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 21(4): 15—21 (in Chinese with English abstract).
- Magara, K. , 1976. Thickness of removed sedimentary rocks, paleopore pressure, and paleotemperature, southwestern part of western Canada basin. *AAPG Bulletin*, 60(4): 554—565.
- Magara, K. , 1981. Compaction and fluid migration. Translated by Chen, H. L. , Di, S. X. , Tang, X. Y. , et al. . Petroleum Industry Press, Beijing, 8—30 (in Chinese).
- Munz, I. A. , 2001. Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematics, analytical methods and applications. *Lithos*, 55(1—4): 195—212. doi: 10. 1016/S0024—4937(00)00045—1
- Peters, K. E. , Moldowan, J. M. , 1995. The biomarker guide. Translated by Jiang, N. H. , Zhang, S. C. , Lin, Y. H. , et al. . Petroleum Industry Press, Beijing, 178—187 (in Chinese).
- Peters, K. E. , Walters, C. C. , Moldowan, J. M. , 2005. The biomarker guide, biomarkers and isotopes in the petroleum exploration and earth history. Cambridge University Press, Cambridge, 1155.
- Qi, J. F. , Chen, F. J. , 1994. Kinematic characteristics and evolution of the Cenozoic tectonics in Liaodongwan-Xialiaohe basin. *Geoscience*, 8(1): 34—42 (in Chinese).
- Shi, B. Q. , Wu, Z. P. , Wang, J. X. , et al. , 1999. A study on the geological characteristics and geodynamic origin of Dongying movement, Bohai bay basin. *Experimental Petroleum Geology*, 21(3): 196—200 (in Chinese with English abstract).
- Sweeney, J. J. , Burnham, A. K. , 1990. Evaluation of a simple model of vitrite reflectance based on chemical kinetics. *AAPG Bulletin*, 74(10): 1559—1570. doi: 10. 1306/0C9B251F—1710—11D7—8645000102C1865D
- Wang, F. Y. , Jin, Z. J. , Lü, X. X. , et al. , 2002. Timing of petroleum accumulation: theory and new methods. *Advances in Earth Sciences*, 17(5): 412—420 (in Chinese with English abstract).
- Waples, D. W. , Machihara, T. , 1990. Application of sterane and triterpane biomarkers in petroleum exploration. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 38(3): 357—380.
- Zhang, H. F. , Zhang, W. X. , 1989. Petroleum geology. Petroleum Industry Press, Beijing, 187—199 (in Chinese).
- Zhao, J. Z. , 2001. Hydrocarbon-water contact retrospection: an effective method in timing hydrocarbon fluid accumulation. *Earth Science Frontiers*, 8(4): 373—378 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J. Z. , 2002. Hydrocarbon inclusion analysis: applica-

tion in geochronological study of hydrocarbon accumulation, *Geology-Geochemistry*, 30(2): 83—89 (in Chinese with English abstract).

Zhao, J. Z., Li, X. R., 2002. Methods of geochronology of petroleum accumulation, *Xinjiang Petroleum Geology*, 23(3): 257—261 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈红汉, 2007. 油气成藏年代学研究进展. 石油与天然气地质, 28(2): 143—150.

邓津辉, 武强, 周心怀, 等, 2008. 渤海辽东湾海域 JZ25 油气藏成藏期次研究. 天然气地球科学, 19(4): 537—540.

郝芳, 2005. 超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理. 北京: 科学出版社, 209—234.

侯启军, 冯子辉, 霍秋立, 2004. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷石油运移模式与成藏期. 地球科学——中国地质大学学报, 29(4): 397—403.

贾承造, 何登发, 石昕, 等, 2006. 中国油气晚期成藏特征. 中国科学(D辑), 36(5): 412—420.

李伟, 1996. 恢复地层剥蚀厚度方法综述. 中国海上油气(地质), 10(3): 167—171.

李潍莲, 代春萌, 于水, 2006. 辽东湾断陷与下辽河坳陷油气

成藏条件及油气分布特征的差异性分析. 西安石油大学学报(自然科学版), 21(4): 15—21.

Magara, K., 1981. 压实与流体运移. 陈荷立, 邸世祥, 汤锡元, 等译. 北京: 石油工业出版社, 8—30.

Peters, K. E., Moldowan, J. M., 1995. 生物标记化合物指南. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等译. 北京: 石油工业出版社, 178—187.

漆家福, 陈发景, 1994. 辽东湾—下辽河盆地新生代构造的运动学特征及其演化过程. 现代地质, 8(1): 34—42.

史卜庆, 吴智平, 王纪祥, 等, 1999. 渤海湾盆地东营运动的特征及成因分析. 石油实验地质, 21(3): 196—200.

王飞宇, 金之均, 吕修详, 等, 2002. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法. 地球科学进展, 17(5): 412—420.

张厚福, 张万选, 1989. 石油地质学. 北京: 石油工业出版社, 187—199.

赵靖舟, 2001. 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. 地学前缘, 8(4): 373—378.

赵靖舟, 2002. 油气包裹体在成藏年代学研究中的应用实例分析. 地质地球化学, 30(2): 83—89.

赵靖舟, 李秀荣, 2002. 成藏年代学研究现状. 新疆石油地质, 23(3): 257—261.