

中国气田的成藏特征分析

王庭斌

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 由于天然气与石油在成藏条件上的差异, 天然气成藏运聚动平衡原理是研究天然气成藏特征的基本思路, 可以聚集量与时间两大要素, 总结中国气田复杂的成藏历程为: 超晚期(新近纪—第四纪)生烃成藏型; 晚期(古近纪—新近纪)生烃成藏型; 早期(中生代为主)生烃聚集, 晚期(新近纪—第四纪)定型成藏型; 早期(中生代为主)生烃成藏型。综观中国气田的成藏历程, 虽然在不同类型盆地中有较大差异, 但是喜马拉雅期的构造演化历史对于中国天然气的成藏及分布有重要的控制作用。其作用可归结为促成与破坏, 并以促成作用为主。目前中国天然气勘探的3个主要领域: 中西部前陆盆地、三大克拉通复合盆地(四川、鄂尔多斯、塔里木)以及近海的裂谷、陆缘盆地, 表明了以晚期、超晚期成藏、定型为主的盆地和坳陷是中国天然气最主要富集地区。

关键词: 中国; 天然气; 成藏特征; 运聚动平衡

作者简介: 王庭斌, 男, 67岁, 教授级高级工程师, 石油与天然气地质

中图分类号: TE112

文献标识码: A

1 基本思路

1.1 与石油的显著差别

由于天然气与石油物理性质上的明显差异, 它们在地下的运移相态和渗滤的速度、运聚及赋存条件等有很大的区别。其中特别值得注意的是: 由于天然气可以呈分子状态扩散^[1,2], 天然气自生成后散失与运移一直在相伴进行, 并且贯穿于气藏形成与保存的始终^[3,4]。因此, 天然气与石油相比, 它既可以在石油不能储存的空间富集成藏, 也可以在石油不能被破坏的地质环境中散失殆尽。天然气聚集成藏的整个历程, 同时也是天然气不断散失的过程。不管何种形式的天然气聚集, 如果没有气源的继续供给, 随着时间的推移, 聚集起来的天然气都会因为扩散等散失作用而破坏殆尽, 甚至不留痕迹。这是天然气与石油成藏条件的重要区别之一^[4~6]。

1.2 运聚动平衡原理

由于影响天然气成藏的因素较多, 地质学家们从不同角度探讨气藏形成的各种地质条件。但是气藏形成的最终结果就是聚集量与散失量之间动态的综合体现, 通常称之为天然气成藏的运聚动平衡原理^[7,8]。在这一动态历程中, 运移聚集与

散失之间的平衡是暂时的, 不平衡是绝对的。为了阐明其动态特征, 作者曾将气藏的形成、演变划分为早期、中期和晚期阶段^[9]。在成藏的早期阶段(气藏发展的青、少年时期), 天然气的聚集量大大地高于散失量, 此时气藏的充满度不断提高, 气藏不断扩大, 蕴藏量不断增加。在成藏的中期阶段(气藏发展的中壮年时期), 由于天然气的补给量在逐渐减少, 补给量与散失量逐渐趋于平衡, 气藏处于相对的、短暂的平衡状态。当气藏进入发展的晚期阶段(气藏演化的老年阶段), 气源的补给已明显减少, 多期次的构造活动使散失量逐渐加大, 逐渐地大于聚集量, 此时气藏的不平衡特点与早期、中期阶段的内涵完全不同, 最终导致气藏枯竭^[10]。因此, 从天然气成藏动态的地质历程来看, 现今的气藏都经历了复杂的聚集与散失的演化历程, 要使天然气成藏并被保存下来, 必须具备3个最基本条件^[7,11]: 适时的供储关系; 必要的聚集空间与良好的保存条件; 总聚集量大于总散失量。

适时的供储关系: 各类成因的天然气, 要形成具有工业价值的气藏, 首先要有充足的气源及良好的储集条件, 并且要在时空上相互匹配。

必要的聚集空间与良好的保存条件: 由于天然气在成藏的过程中始终存在着聚集与散失两种不同的作用, 因此, 当聚集的空间越大越完整, 就

越优越,越易于形成较大规模的聚集。但必须有保存条件的支持,因为缺乏保存条件的空间是无效的。因此,聚集空间与保存条件是一个问题的两个方面,缺一不可。

总聚集量大于总散失量:这是用量的概念来衡量以上两个条件。因为只有当聚集量大于散失量时,圈闭中的天然气才会不断地聚集形成具有工业价值的气藏。反之,当散失量大于气源的供给量时,圈闭中的天然气就会随着时间的推移,不断地减少,以致枯竭。

2 成藏类型划分

天然气藏形成的这一动态历程,可以概括为聚集量与时间两大要素^[10]。在这里,聚集量实际上是生烃量、排烃运移量、聚集与散失量的最终结果。因此,聚集量是用量的概念来体现天然气从生成-成藏的沉积-运移-聚集、散失的全部地质环境。它可以进一步分解为生烃量、运聚量、散失量及相应的地质环境等。时间则包括成藏及保

存的持续时间,包括从沉积-生烃高峰-聚集成藏-保存的全部地质历程。它可以进一步分解为多个成藏期及数个散失期。将时间与相应的量(聚集量与散失量)结合起来将有助于我们进一步分析气藏形成各个阶段的主要地质环境及气藏的发展演化历程。从表面上看,聚集量与时间似乎脱离了天然气成藏的各种地质条件,但实际上两因素间不仅互为因果,也是影响气藏形成诸多地质因素的量化体现。

基于上述思路,我们将中国主要气田的气源岩生气演化历史、气藏的主要储盖组合、主要运移时期、以及气藏的主要形成期、次要形成期等地质资料综合表示于中国主要含气盆地气田(藏)成藏期示意图(图1)。以主要成藏时间与聚集量将中国天然气复杂的成藏历程归为4类:超晚期(新近纪-第四纪)生烃成藏型;晚期(古近纪-新近纪)生烃成藏型;早期(中生代为主)生烃聚集、晚期(新近纪-第四纪)定型成藏型;早期(中生代为主)生烃成藏型。

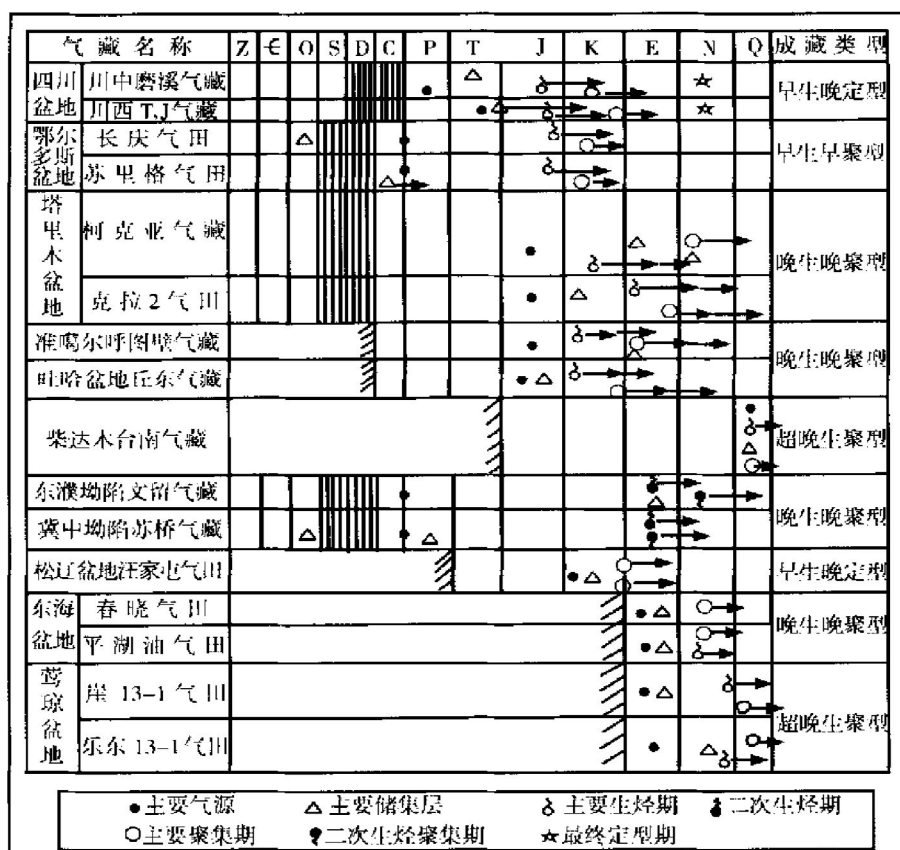


图1 中国主要盆地气田(藏)成藏期示意图

Fig. 1 Reservoiring stages of gasfields (reservoirs) in China's major basins

2.1 超晚期生烃成藏型

这类气藏的最大特点是从主要生烃高峰至成藏是在新近纪—第四纪很短的时间内完成的, 因此, 这类气藏成藏持续的时间很短, 成藏的进程很快, 现在仍处于聚集量大于散失量的成藏早期阶段。它形成于以下3类不同地质条件: 其一, 源岩时代为古近纪, 在新近纪—第四纪急速沉降, 快速增温, 快速热降解作用形成的气藏; 其二, 源岩时代为中生代, 在新近纪—第四纪急速沉降, 快速增温, 快速热降解作用形成的气藏; 其三, 在新近纪—第四纪拗陷区生物化学作用形成的气藏。

第一类主要分布在近海气(油)区具高热盆特征的莺—琼盆地, 如崖13-1、东方1-1等气田; 第二类主要分布在西部气(油)区具低地温场特征的部分前陆盆地, 如库车拗陷克拉2气田; 第三类是柴达木盆地三湖拗陷区的生物气田。

莺—琼盆地地处大地构造活动地带, 新生代以来热构造作用活跃, 有较高的热流值($> 80 \text{ mW/m}^2$), 较高的地温梯度($> 40 \text{ }^\circ\text{C/km}$), 加之新近纪以来急剧沉降(上中新世—上新世沉积厚度高达2000~2500 m, 第四纪为2000~3000 m)(图2)。琼东南盆地古近纪煤系源岩的温度仅在近2 Ma就剧增了80~130 $^\circ\text{C}$ ^[11], 有机质迅速成熟。但有机质的演化节奏滞后于温度的急剧增长, 有机质热演化的上门限($R_o \geq 0.5\%$)温度高达150 $^\circ\text{C}$, 也因为生烃过程的速率很快, 源岩在刚刚进入成熟阶段后不久就越过下门限($R_o \geq 1.3\%$), 进入下一个主生气期(图2), 为崖13-1大型气田的快速形成提供了丰富气源。郝石生等^[8]对崖13-1气田成藏史的模拟表明, 崖13-1气田的天然气已进入高成熟热演

化阶段, 主要成藏时期为上新世—第四纪, 气田自5.2 Ma以来供气量不断增长, 现今仍处于主聚气阶段(图3)^[8, 12, 13]。莺歌海盆地主力源岩是中新统梅山组和三亚组, 因此东方1-1等气田更明显地属于超晚期生烃成藏。由于区内自新近纪以来的快速沉降及强烈的热构造活动, 加速了区内天然气的生成, 也促进了区内不同阶段(从浅部成岩作用阶段: $R_o < 0.5\%$, 至深部准变质作用阶段: $R_o > 3\%$)形成的烃气、氮气和二氧化碳气混存, 形成了莺歌海盆地天然气组成的复杂性和运聚多期性的成藏历程^[13~15], 致使同一气田不同气层天然气组成和性质的明显差异。

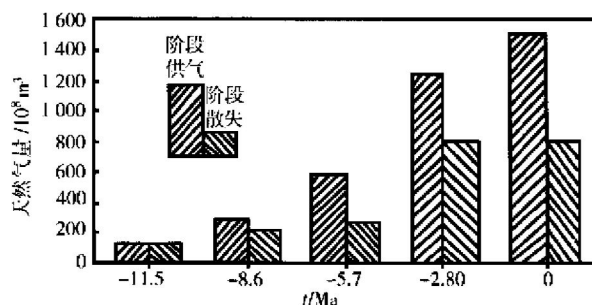


图3 崖13-1气田聚、散量模拟

Fig. 3 Simulation of gas accumulation and dissipation in Ya13-1 gasfield.

塔里木盆地是中国地温梯度最低的盆地之一。位于塔里木盆地北部的库车前陆盆地是以三叠—侏罗纪煤系为主要烃源岩的富气盆地, 其构造形变、生排烃作用和油气运移聚集等与成藏相关的各种重大地质事件均发生在新近纪—第四纪, 气藏主要形成于喜马拉雅运动的中、晚期(上新世末—第四纪)。据包裹体资料, 在库车拗陷的克拉苏构造带新近纪以来曾经历了3期油气运移的充注历史, 以第三期(即距今3~1 Ma)为天然气大量充注时期, 是克拉2等气田的主要形成时期(表1)^[16]。

柴达木盆地三湖拗陷是知名的第四纪生物气区, 由于第四纪强烈沉降, 半咸水湖相夹沼泽相砂泥岩最大厚度超过3200 m, 沉积速率高达800~1000 m/Ma, 在下部有1500 m生物气源岩, 为生物气田形成提供了丰富气源, 现在仍处于生物气的生气高峰, 生物气的供气量大于散失量^[17, 18]。

上述3类盆地虽然它们的地质发展历史很不

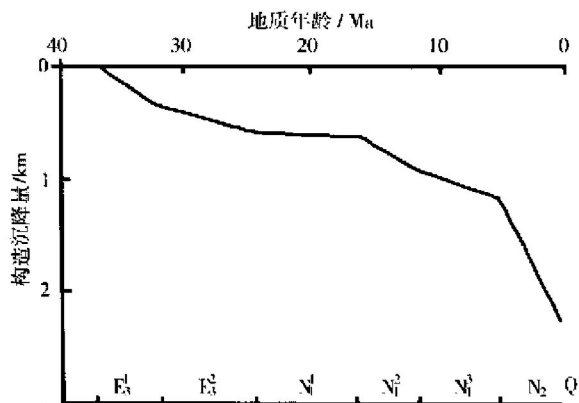


图2 琼东南盆地沉降曲线

Fig. 2 Subsidence curve of Qiongdongnan basin

表 1 库车坳陷流体包裹体特征与成藏期次^[16]

Table 1 Liquid inclusion characteristics and reservoiring stages in Kuqe sag

气藏	期次	产状	均一温度/℃	颜色	主要类型	形成时间/Ma
克拉 2	I	方解石	90~ 110	浅黄、亮黄	OL, VOL	14~ 10
	II	石英加大边	130~ 145	灰、暗褐	VOL, OV	10~ 6
	III	次生裂缝	156~ 169	褐黑、黑	OV, VOL, AS	3~ 1
克拉 3	II	石英加大边	107~ 120	灰、褐	VOL, OV	10~ 9
	III	次生裂缝	146~ 158	褐黑、黑	OV, VOL, AS	3~ 1
依南 2	I	自生方解石	92~ 104	棕黄	OL, VOL	17~ 13
	II	石英加大边	128~ 138	深灰	VOL	5~ 2
	III	次生裂缝	152~ 163	暗褐、灰黑	OV, VOL, AS	2.5~ 1

注: OL 为油包裹体, OV 为气包裹体, VOL 为气液包裹体, AS 为固体沥青包裹体

相同,天然气的成因类型及演化历史也不相同,但是从天然气成藏动态历程来看,气藏的主要形成时期都属于新近纪—第四纪,都是由于新近纪—第四纪以来的急剧沉降,并都是快速成藏和至今仍处于聚集量大于散失量的主要成藏时期。

2.2 晚期生烃成藏型

该类气藏是指主生烃—成藏期是古近纪—新近纪的气田。在中国也有 3 类发展历史不同的盆地具有该类气田:其一,东部及近海气(油)区源岩时代为古近纪的气藏,如东海陆架盆地及渤海湾盆地的一些气田;其二,为西部部分前陆盆地,源岩的时代虽以中生代为主,但在古近纪—新近纪形成的气田,如准噶尔盆地南缘、吐哈盆地的煤成气(油)田;其三,为东部以古生代煤系“二次生烃”形成的气藏,如文留、朱家墩气田。

东海陆架盆地西湖凹陷古新世—始新世断陷和断拗的沉降速率高达 240~ 60 m/Ma(图 4)。西

湖凹陷又是热构造事件活跃地区,古地温梯度高于今地温梯度(始新世古地温梯度 50~ 60℃/km),晚中新世降为 32~ 40℃/km^[11]。由于始新统平湖组煤系源岩沉积后就开始了快速沉降、快速增温,在经历了约 7 Ma(渐新世),就进入生油门限,但生油高峰期只有 3 Ma,即进入主生气阶段。据生烃量模拟,主生气期从 35.4 Ma 以来持续至第四纪仍有 17.3%的气量生成,为平湖油气田群的形成创造了有利的地质条件。

准噶尔盆地南缘以侏罗纪煤系为主要源岩,是一套以生气为主的烃源岩,液态烃的主要生成时期为古近纪,天然气的主要生成期为新近纪,区内成藏的主要关键时刻:油藏为古近纪,气藏为新近纪(图 5)^[19]。

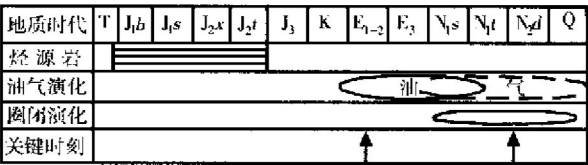


图 5 准噶尔盆地南缘侏罗系油气系统事件略图
Fig. 5 Chart of Jurassic petroleum system events in southern margin of Junggar basin

据天然气甲、乙、丙烷碳同位素资料^[20, 21],朱家墩气田天然气主要来源于海相古生界,并以上古生界煤系为主;气层砂岩的包裹体均一化温度和沉积埋藏史研究表明,气藏烃类的充注时间为 13~ 4.5 Ma(新近纪)。因此,朱家墩气田的形成与濮阳坳陷文留气田相似,由下伏石炭—二叠纪煤系在第三纪“二次生气”,通过断裂、裂隙运移至上

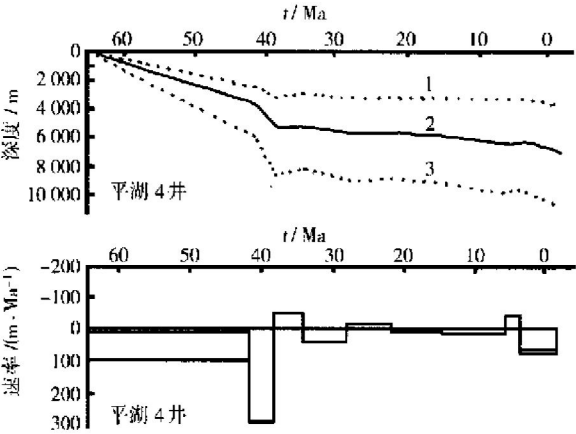


图 4 东海平湖油气田沉降曲线及构造沉降速率
Fig. 4 Subsidence curve and tectonic subsiding rate of Pinghu field in East China Sea
1—构造沉降曲线; 2—负荷沉降曲线; 3—总沉降曲线

部地层形成气田。

2.3 早期生烃聚集 晚期定型成藏型

该类气藏主要特点是: 源岩的时代较老(古生代、中生代), 生烃的时间较早(中生代为主), 但气藏最后定型的时间很晚(主要在新近纪, 甚至是第四纪), 天然气从生烃至成藏经历了比较长的地质时期和比较复杂的地质经历。该类气藏主要分布在四川盆地以及西部的塔里木、准噶尔、吐- 哈等盆地。

川西坳陷是四川盆地西部上叠于古、中生代碳酸盐岩之上由三叠纪煤系、侏罗纪、白垩纪陆相红色地层组成的前陆盆地的主体。区内自晚三叠世以来经历了多次构造运动, 发育了多个不同性质的原形盆地。复杂的地质历史致使气藏在纵向上跨度超过 3 000 m。

川西坳陷主要烃源岩为上三叠统煤系, 由于地质条件比较复杂, 气田的成藏历程有较大的差异。在邻近龙门山推覆带的前缘, 上三叠统煤系在晚三叠世末期就进入成熟阶段, 开始大量排烃。

由于龙门山推覆带在印支晚期的强烈活动, 形成了一批背斜构造, 其中只有少数构造(如中坝背斜) 后期破坏较小, 形成气田。中坝气田主要形成于印支期, 气藏形成后虽经历了燕山期及喜山期构造运动改造, 但改造、破坏并不严重(据计算扩散量: $50.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 仅为现有气田储量的 30%), 中坝气田仍保持了印支古气藏格局。在川西坳陷主体部位, 上三叠统煤系的主要成烃期推移至晚侏罗世至早白垩世。天然气的第一次聚集为燕山期, 天然气主要聚集在燕山期古隆起上, 其后经历了喜山期的多期改造, 形成了由古今构造控制的由多层气层组成的新场等气田(图 6)^[22]。虽然中坝、新场气田的成藏历程不同, 但最终均定型于喜山期, 均属于受古今构造控制的早期(中生代) 生烃聚集、晚期(新近纪—第四纪) 定型成藏型。区内气藏普遍具超压特征, 从深部向浅部超压的强度逐渐变小, 也表明了区内天然气从深部向浅层多期次运移聚集, 印支、燕山期及喜山期的多期次构造运动对区内大中型气田形成的重要作用。

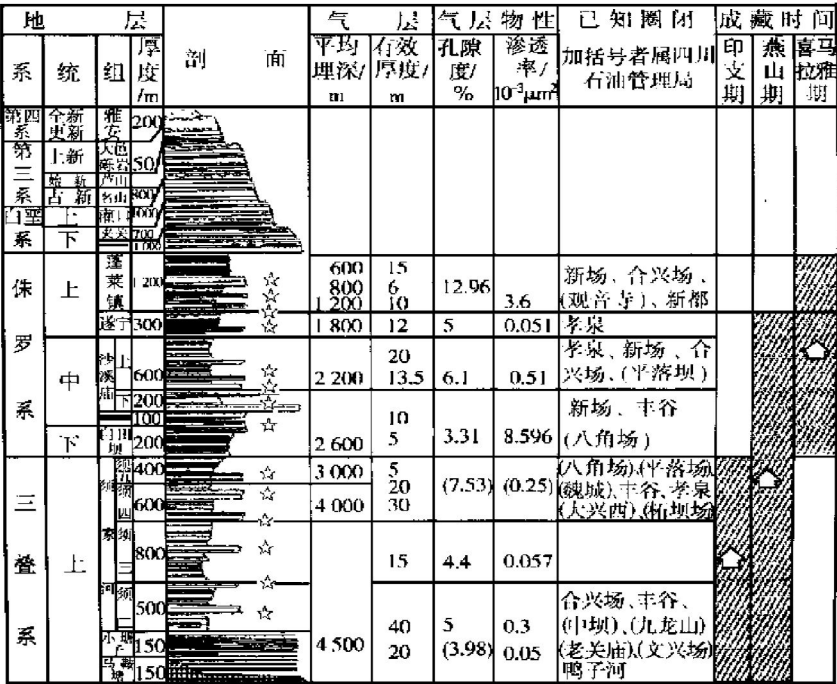


图 6 四川盆地川西地区气层纵向分布图

Fig. 6 Vertical distribution of gas-bearing formations in western Sichuan basin
(图中空心五星表示工业气层, 箭头表示对成藏的认识过程)

四川盆地是中国气田最多的盆地, 所有气藏无一例外地经历了较长的成藏过程, 但均最后定

型于喜山运动。因为影响盆地局部构造形成的喜山运动主幕时间尚有争议, 有一种意见, 主幕时间

为第四纪^[23],如果真是这样,四川盆地气田最终定型的时间更晚,将从新近纪推移至第四纪。

塔里木盆地从古生代—中生代长达数亿年持续的低地温场(地温梯度为 $15\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$),沉降速率很低(每百万年几米至 20 m),使早古生代(寒武纪—奥陶纪)烃源岩到中新世沉积前仍处于低成熟—成熟阶段。中新世后,特别是上新世到第四纪,塔里木盆地的沉降幅度高达 $3\,000\sim 7\,000\text{ m}$,沉降速率急骤增至每百万年数百至上千米^[11],在相对稳定的满加尔凹陷,仅在近 10 Ma 期间地温就提高了 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$,使得古生代源岩达到 $120\sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[11],进入生气高峰,为和田河、雅克拉等气田提供丰富的气源。塔里木盆地古生代源岩有机质开始演化成油的时代较早(加里东末期—海西早期),并经历了4次生烃成藏和油气聚集过程^[24,25]。加里东末期—海西早期、海西晚期—燕山早期主要形成了塔河等一批大型油藏^[25],燕山期—喜马拉雅早期、喜马拉雅晚期形成了以雅克拉、和田河为代表的一批气田。

雅克拉凝析气田是以白垩系气藏为主,由多层系、多类型气藏组成的复合型气田(图7)^[22]。研

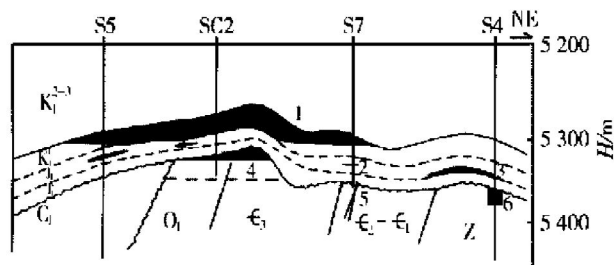


图7 雅克拉复合型凝析气田气藏组合剖面示意图^[26]

Fig.7 Composite section of composite condensate gas reservoirs in Yakela

1— K_1 气藏;2— J_1 气藏(沙7井);3— J_1 气藏(沙4);4— O_1 气藏(沙2井);5— E_1 气藏(沙7井);6— Z_2 工业油气(沙4井)

究资料表明:各气藏的圈闭类型虽然不同,时代的跨度很大,但流体性质相近,油气均来源于邻近凹陷的海相寒武系及奥陶系。由于中生代背斜属披覆构造是在下奥陶统顶部古侵蚀面的基础上不断发展扩大的,因此气藏的形成也是逐步完成的。在圈闭形成的早期阶段,潜山形成的高点已具有“捕集”油气的能力。气藏中广泛分布的储层沥青,表明了烃藏相态的转化过程及气藏形成的演化历史较长,烃类经历了一个持续的不同相态的

聚集过程。据烃类藏相及凝析油成分为环烷型、石蜡环烷型,表明气源以腐泥型为主,并有陆相腐殖型油的掺混。据气藏露点压力及相态资料分析,气藏经历了早期油藏与晚期气藏比较复杂的成藏演化历程。

2.4 早期生烃成藏型

此类气藏的主要生烃成藏过程在中生代基本完成,其后的构造运动微弱,对其基本格局没有改变,目前已处于聚集量小于散失量的气藏晚期发展阶段。鄂尔多斯盆地的长庆、苏里格等大型气田是这类气藏的实例。鄂尔多斯盆地是我国唯一保存完好的克拉通盆地,长期处于极其稳定的地质环境,盆地内部地层倾角小于 1° ,后期的构造运动十分微弱^[11,12]。据源岩地球化学资料,天然气主要源自石炭—二叠纪煤系^[12,26],主生气期侏罗纪—早白垩世生气量占总量的90%以上,早白垩世—晚白垩世的排气量占总量的90%±,早期形成的地层及岩性型圈闭,为石炭—二叠纪煤系生成的天然气及时地提供了良好的储聚场所。因此,苏里格、长庆等气田虽属大型气田,但储量丰度很低,并具负压特征,都表明了该气田已受到了一定程度的散失,已进入聚集量小于散失量的成藏晚期阶段。

3 结论

(1) 据天然气运聚平衡原理,中国天然气以晚期及超晚期生烃成藏型分布范围最广,它不仅分布在具有高热流值的近海含气(油)区、东部油(气)区,在西部气(油)区的前陆盆地,也以晚期、超晚期成藏为主。由于它具有快速演化特点,最有利于形成储量丰度较高、储量较大的气田,如克拉2气田的储量丰度高达 $54\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$;早期生烃聚集晚期定型的气田主要分布在具多期生烃成藏条件的塔里木、四川盆地,以及松辽、渤海湾盆地的深部。以四川盆地分布最广。由于具有成藏期长和成藏历程比较复杂的特点,气田受到了较大破坏,虽有一些储量较大的气田,但总体上储量丰度较前者为小,以中小型为主。早生早聚型气田目前仅分布在鄂尔多斯盆地。由于缺乏进一步聚集条件,成藏后还受到了一定程度的散失,气田的分布面积大,但储量丰度偏低,普遍显示了负压特征。

(2) 综观中国气田的成藏历程,虽然在不同类

型的盆地中有较大差异,但是喜山期的构造演化历史对于中国天然气的成藏及分布有重要的控制作用。其作用可归结为促成与破坏,并以促成为主。例如:在东部及海域发育了一系列不同类型的古近纪-新近纪的裂陷盆地为天然气藏的形成创造了有利条件;在四川盆地,喜山期形成的成带成带的各类构造促进了天然气的进一步富集成藏;在鄂尔多斯盆地又显得极其稳定,使早期形成的气藏能得到较好的保存;在西部地区新近纪以来的剧烈沉降和各类局部构造的形成促进了有机质的急速演化和气藏的形成。从而形成了中国天然气以晚期、超晚期生烃成藏、定型为主的多种成藏模式。

(3) 中国多数盆地是由数个不同类型原型盆地叠置,具多套烃源岩和多个含气(油)系统,具有不同的气(油)成藏经历。在盆地内也因为地质发展演化历史的差异,同一含气(油)系统在盆地的不同次级构造单元成藏条件也有一定的差异。因此,同一盆地内可不止一种成藏模式,或以一种模式为主,兼有其他类型的成藏模式。例如准噶尔盆地侏罗系与二叠系含气(油)系统的成藏期不同,二叠系含气(油)系统在次级构造单元间也有差异:玛湖-盆1井西地区有3个成藏期,在昌吉凹陷只有2个成藏期^[27]。吐哈盆地台北凹陷中、下侏罗统煤系经历了两个油气成藏期:早白垩世及第四纪。前者主要发育在凹陷中东部,后者主要发育在西部^[28]。因此必须结合具体的地质条件对每个盆地中不同构造单元、不同含气(油)系统的气田(藏)作具体研究。中国天然气主要勘探领域^[22]为中西部前陆盆地、近海裂(断)陷及古生代克拉通复合盆地,体现了以晚期、超晚期成藏定型为主的主导思想。

早在20世纪50年代Высоцкий^[3,29]等就已经提出了天然气与石油之间的差异,但是人们通常仍然把石油和天然气简单地联系在一起,用相同的观点和思路研究形成条件、评价勘探前景。我们较多地看到了它们之间的共性,忽视了它们之间的差异^[2],致使对天然气成藏条件的研究难以深入。因此,我们试图用另一种思路——天然气运聚动平衡原理来研究天然气藏的形成特征,供其讨论与批判。

参 考 文 献

- [M]. Москва: Недра, 1965. 276
- Leythaeuser D. Role of diffusion in primary of hydrocarbons[J]. AAPG Bull, 1982, 66(4): 408~ 429
- [苏]维索茨基 И В. 天然气地质学[M]. 戴金星, 吴少华译. 北京: 石油工业出版社, 1986. 1~ 33, 196~ 211
- Welte D H. Migration of hydrocarbons facts and theory[R]. 2nd IFP Exploration Research Conference. 1987
- 王庭斌. 天然气运移理论对我国天然气地质学建立的重要贡献[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 4~ 11
- 李明诚. 石油与天然气运移(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 28~ 32, 228~ 232
- 张义纲. 天然气的生成聚集与保存[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991. 137~ 164
- 郝石生, 陈章明. 天然气藏的形成和保存[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 44~ 59
- 王庭斌. 天然气调查研究系列及其研究思路[A]. 见: 王庭斌主编. 石油与天然气地质文集(第8集)[C]. 北京: 地质出版社, 1999. 1~ 39
- 王庭斌. 中国天然气理论进展与勘探战略[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 1~ 7
- 冯福凯, 王庭斌, 张士亚, 等著. 中国天然气地质[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 1~ 51
- 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等著. 中国大中型气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 1~ 55, 184~ 198
- 陈红汉, 付新明, 杨甲明. 莺-琼盆地崖13-1气田成藏过程分析[J]. 石油学报, 1997, 18(4): 12~ 31
- 黄春菊, 陈开远, 李思田. 莺歌海盆地泥底辟活动期次分析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 44~ 46
- 郝芳, 邹华耀, 黄保家. 莺歌海盆地天然气生成模式及其成藏流体响应[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(11): 889~ 895
- 赵靖舟, 戴金星. 库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史[J]. 石油学报, 2002, 23(2), 6~ 10
- 顾树松. 柴达木盆地东部第四系气田形成条件及勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 15~ 20
- 戚厚发, 关德师, 钱贻伯, 等著. 中国生物气成藏条件[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 75~ 108
- 张义杰, 柳广第. 准噶尔盆地复合油气系统特征、演化与油气勘探方向[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 36~ 39
- 马安来, 包建平, 王培荣, 等. 盐城凹陷天然气藏成因研究[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 42~ 44
- 陈安定, 王文军, 岳克功, 等. 苏北盆地盐城朱家墩气源及发现意义[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6), 45~ 49
- 王庭斌. 中国大中型气田勘探方向[A]. 见: 王庭斌主编. 石油与天然气地质文集(第7集)[C]. 北京: 地质出版社, 1998. 1~ 33
- 郭正吾. 四川盆地形成与演化[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 10~ 15
- 顾家裕, 周兴熙. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 198~ 221
- 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报, 2002, 23(3): 16~ 23

- 26 张士亚. 鄂尔多斯盆地天然气源及勘探方向[J]. 天然气工业, 1994, 14(3): 1~ 4
- 27 林青, 王培荣, 金晓辉. 塔中北斜坡塔中 45 井奥陶系油藏成藏史浅析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 5~ 7
- 28 王震亮, 陈荷立. 台北凹陷侏罗系油气运聚成藏历史分析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 1~ 4
- 29 Stahl W J. Carbon isotopes in petroleum geochemistry[A]. In: Jager E, Hunziker J. Lectures in isotope geology[C]. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 10~ 16

RESERVORING CHARACTERISTICS ANALYSIS OF GASFIELDS IN CHINA

Wang Tingbin

(*Exploration & Production Research Institute , SINOPEC, Beijing*)

Abstract: There are some differences in reservoiring conditions between oil and natural gas, dynamic equilibrium theory of gas migration, accumulation and reservoiring would then be regarded as the basic method to study the reservoiring characteristics of natural gas. Two key factors, volume and time of gas accumulation, can be used to sum up the complicated reservoiring courses of gasfields in China, including: super-late (Neogene-Quaternary) hydrocarbon generating and resevoiring type; late (Eogene-Neogene) hydrocarbon generating reservoiring type; early (mainly in Mesozoic) hydrocarbon generation and accumulation, and lately (Neogene-Quaternary) reservoired and finalized; and early (mainly in Mesozoic) hydrocarbon generating and reservoiring type. Although there are great differences of reservoiring characteristics in different type basins, the tectonic evolutionary history in Himalayan period has played an important role in controlling the reservoiring and distribution of natural gas in China, which can be concluded as promotion and destruction, and the former is dominant. There are currently three main regions of natural gas exploration in China, including foreland basins in west-central China, three large cratonic composite basins (Sichuan basin, Ordos basin and Tarim basin), and offshore rift and continental margin basins. The study shows that the most prolific regions in China are those basins and depressions which have dominantly been reservoired and finalized in late and super-late periods.

Key words: China; natural gas; reservoiring characteristics; dynamic equilibrium of migration and accumulation