

文章编号: 0253-9985(2009)05-0589-09

南方多旋回构造作用制约下的中、古生界海相油气构造—成藏旋回

梅廉夫¹, 刘昭茜¹, 汤济广², 沈传波¹, 凡元芳³

(1. 中国地质大学 构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074;

2. 长江大学, 湖北 荆州 434023; 3. 西安石油大学, 陕西 西安 710065)

摘要: 中国的叠合盆地和改造盆地的演化有着复杂的构造体制转换和频繁的旋回性。南方中、古生界海相盆地的演化是多旋回构造运动的典型代表, 其发展和现今状态具有复杂的盆地叠加和构造改造等多旋回演化的属性。基于构造动力学差异和时空组合变化对南方海相油气成藏特征、聚集规律及成藏旋回性的直接影响和核心控制作用, 认为南方多旋回叠合盆地或改造盆地的油气成藏演化具有“构造—成藏旋回”的特性。通过对构造旋回和成藏旋回的对比分析, 将南方中、古生界海相盆地油气成藏划分为四大构造—成藏旋回, 即加里东期构造—成藏旋回、晚印支—早燕山期构造—成藏旋回、晚燕山—早喜马拉雅期构造—成藏旋回和晚喜马拉雅期构造—成藏旋回。研究进一步揭示了每一个构造—成藏旋回所具有的独特、受控于该旋回构造作用的油气聚集模式和分布规律。

关键词: 构造—成藏旋回; 多旋回构造运动; 中、古生界; 中国南方

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

Tectonic-pooling cycles controlled by polycyclic tectonism in the Mesozoic-Palaeozoic marine strata of South China

Mei Lianfu¹, Liu Zhaoqian¹, Tang Jiguang², Shen Chuanbo¹, Fan Yuanfang³

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China;

2. Yangtze University, Jingzhou Hubei 434023, China; 3. Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shanxi 710065, China)

Abstract: China's superimposed basins and relic basins feature in complex transformation of tectonic frameworks and multiple cyclicity. The evolution history of marine basins in Southern China represents a typical polycyclic movement. Their development and present status are characterized by basin superimposition and tectonic reworking. Based on the direct influences and key control of the tectonic dynamic differences and their temporal and spatial variations on hydrocarbon accumulation and its cyclicity in the marine strata in Southern China, the authors suggest that the hydrocarbon pooling in the polycyclic superimposed or relic basins in Southern China feature in "tectonic-pooling cyclicity". Based on correlation of tectonic cycles and hydrocarbon pooling cycles, hydrocarbon pooling in the Mesozoic-Palaeozoic marine strata can be divided into four tectonic-pooling cycles, namely the Caledonian, the late Indosinian-early Yanshan, the late Yanshan-early Himalayan and the late Himalayan cycles. Further study reveals that each tectonic-pooling cycle has its unique hydrocarbon accumulation and distribution controlled by its tectonic cycle.

Key words: Tectonic-pooling cycle; polycyclic tectonism; Mesozoic-Palaeozoic; South China

收稿日期: 2009-06-12

第一作者简介: 梅廉夫 (1961-), 男, 教授, 盆地构造和石油勘探构造分析。

基金项目: 中国石化海相前瞻性研究项目 (YPH-08002); 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室开放研究基金项目 (TPR-2009-01, TPR-2009-06, TPR-2009-26)。

多旋回造山运动是中国大地构造的特征^[1],多旋回构造运动是地壳发展的规律^[2]。盆地的发展同样具有多旋回性^[3~6]。我国的叠合盆地和改造盆地的演化有着复杂的构造体制转换和频繁的旋回性^[7~13]。南方中、古生界海相盆地的演化是多旋回构造运动的典型代表,其发展和现今状态具有复杂的盆地叠加和构造改造等多旋回演化的属性。

在漫长的地质历史中,中国南方经历了复杂的板块拼合历史和陆内盆山运动体制。多期次的构造运动以互相叠加、复合或联合的形式作用导致了现今复杂的构造面貌。南方经历的主要构造运动包括晋宁运动、加里东运动、东吴运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等。多旋回的构造运动导致了盆地形成和演化的多旋回性,并对油气的生成、运移、聚集、保存和改造破坏起着关键性的制约作用^[14~19]。因此在多体制、多旋回发育的南方叠合盆地和改造盆地中,油气成藏表现出明显的旋回性特点。吕修祥等针对塔里木盆地成藏的旋回性特征提出了成藏旋回,他们认为成藏旋回为油气从源岩排出、运移、聚集成藏,及在随后的各种地质作用的影响下,使业已形成的油气藏重新调整或被破坏的全过程^[20]。

对我国南方中、古生界海相叠合盆地或改造盆地而言,多旋回构造作用是导致发育多套生油层系、出现多次生排烃和多次油气聚集成藏过程、油气藏多次被调整改造或破坏而具有“成藏旋回性”的最主要原因。南方海相不同区域的叠合盆地或改造盆地的构造变动及其旋回性又有其各自的特点和动力学差异。如上扬子区中、新生代遭受持续的挤压作用,为压性构造叠加变形区;中、下扬子区遭受了挤压—伸展交替多次反转作用,为反转构造变形区和中、新生代陆相盆地的叠合区等。构造变动动力学机制的差异和时空组合上的变化,直接影响和控制了南方海相油气藏的成藏特征、聚集规律及成藏的旋回性。我们认为,南方多旋回叠合盆地或改造盆地的油气成藏具有“构造—成藏旋回”的特性^[21]。构造—成藏旋回是南方海相油气成藏富集规律的一种新的成藏演化模式,为在南方地区重新审视构造与海相油气成藏关系,特别是构造作用对海相油气成藏的制约提供了一个可能被借鉴的新思路。

1 构造—成藏旋回

构造—成藏旋回指在一个旋回性的构造作用制约和控制下,油气藏从形成开始到后期由于构造作用而导致油气重新运移再分配结束的一个完整过程。该过程最终既可以使已成油气藏重新调整,也可以使已成油气藏改造或破坏。构造—成藏旋回强调以多旋回构造作用为先导,构造旋回控制成藏旋回,成藏旋回是构造旋回的响应。

可以从时间和空间两个方面理解构造—成藏旋回。时间上,多期构造运动导致地层埋藏、剥蚀的多阶段性,进而导致烃源和油气演化的多期性,形成多个成藏旋回。空间上,由于不同区构造旋回的差异性,导致油气成藏条件和成藏富集主要控制因素的差异性,因而具有不同的油气成藏模式和分布特征。构造—成藏旋回还揭示了由于构造变动的改造而导致油气多次运移、进而重新分配和再分布是南方油气成藏的基本属性,也是其主要的成藏过程;油气的重新分配和再分布可以是一次重新分配和再分布,也可能是两次或者多次重新分配和再分布。由此可见,这一概念既揭示了油气成藏旋回的原因,又揭示了油气成藏的过程和机制,更适合表征南方油气藏的成藏特征。原则上讲,一个构造—成藏旋回在时间上是连续的,但后续的旋回往往对前一旋回保存下来的油气藏进行改造,或损害、降低前一旋回已聚集油气藏的保存条件,或调整、转化前一构造—成藏旋回成藏的流体相态和位置。

南方油气构造—成藏旋回的划分强调构造期旋回的属性归一化。如在南方主要区域,特别是上、中、下扬子区,晚印支—早燕山期、晚燕山—早喜马拉雅期、晚喜马拉雅期等构造期^[14]被归一化处理。这主要是因为南方广大地区构造运动具有明显的继承性和递进性的特点,扬子地块边缘各造山带逆冲推覆构造活动一般始于印支期,由于构造的递进变形,对盆内的的影响往往延续到燕山早期;晚燕山—早喜马拉雅期中、上扬子地区的张性构造活动亦是如此。据此,考虑构造活动的继承性和递进性的特点及其对南方油气成藏的影响,并综合上述各典型油气藏的构造特征、沉积特征、油气生成史、盆地原型与改造史、储层演化史、成藏史等分析成果,可知南方海相中、古生界油气的

生成、运移、聚集成藏、保存和破坏经历了多期次、阶段式发展和演化的复杂过程。根据构造演化及其旋回性,结合烃源及成藏演化史,可以将南方海相中、古生界的油气成藏演化划分为四大构造—成藏旋回,即加里东期构造—成藏旋回、晚印支—早燕山期构造—成藏旋回、晚燕山—早喜马拉雅期构造—成藏旋回和晚喜马拉雅期构造—成藏旋回。

2 加里东期构造—成藏旋回

2.1 加里东期基本构造面貌

加里东运动自中奥陶世开始,主要发生在华夏地块和扬子地块的东南缘,可以划分为 3 个阶段。第一阶段发生于晚奥陶世末(都匀运动),波及粤西云开大山、粤中、粤东和粤北地区与福建全境、赣中南、湘东南及桂东北一带;第二阶段发生于中志留世末,涉及湘中南、赣西和桂东北等地,构造活动强度由南东向北西增强;第三阶段发生于晚志留世末(广西运动),是加里东期以来最强烈的一次构造运动,形成了北东向广阔的加里东期构造带。华夏地块从南东向北西发育大量的逆冲褶皱构造,强度由华南到江南—雪峰构造带向扬子区逐渐减弱,江南—雪峰构造带北缘、扬子南缘发育宽缓的褶皱区。上扬子西部和南部的乐山—龙女寺隆起及黔中隆起在加里东早、中期隆升发展的基础上得到进一步的加强,乐山—龙女寺隆起的形成与基底的隆升有关,具有多期隆升的性质。黔中隆起在早奥陶世末已具雏形,经中奥陶世水下隆起控制了南北岩性、岩相及生物群的差异,晚奥陶世都匀运动使黔中水下隆起迅速上升为陆,加里东晚期黔中隆起基本定型。加里东期扬子区的构造面貌可归结为“一带两隆”。“一带”指江南—雪峰构造带,“两隆”指乐山—龙女寺隆起和黔中隆起。

2.2 加里东期构造—成藏旋回

2.2.1 油气聚集成藏

加里东期在中国南方是一次非常大规模的油气成藏期,形成了江南—雪峰构造带北缘、怀玉山断褶带以及川中隆起(乐山—龙女寺古隆起)等区域巨型的油气聚集带。对江南—雪峰构造带北缘古油藏的解剖表明,以下寒武统为烃源岩的油藏主要形成于加里东期,麻江古油藏、南山坪古油

藏、泰山古油藏等均在这一时期形成。乐山—龙女寺古隆起在这一时期也发生过液态烃的聚集过程。加里东期油气成藏的有效烃源岩主要为下寒武统,成熟期主要在加里东中、晚期,其生烃高峰主要在志留纪—泥盆纪。从寒武系烃源岩的厚度及有机碳分布判断,寒武系的生烃中心也主要分布于江南—雪峰构造带北缘。受加里东期构造运动的影响,江南—雪峰构造带北缘在加里东早、中期主要形成了宽缓的大型背斜,如黔南凹陷的麻江古背斜和泰山地区的同沉积背斜;晚期江南—雪峰构造带北缘普遍遭受抬升剥蚀,形成了中晚奥陶世—早志留世和晚志留世的两个大型的不整合面,不整合面遭大气水的淋滤,奥陶系白云岩和志留系砂岩的储集空间普遍得到改善,形成了江南—雪峰构造带北缘良好的古风化壳储集层。此外,由于加里东期江南—雪峰构造带北缘处于“台—盆—丘—槽”的沉积古地理格局,孤立台地上在造礁期常常发育生物礁,如泰山、江山、常山、玉山一带晚奥陶世的藻礁和珊瑚礁及大厂泥盆纪的珊瑚礁和层孔虫礁。江南—雪峰构造带北缘加里东期烃源岩生排烃史、储层演化史和构造发育史三者匹配关系良好,有利于江南—雪峰构造带北缘巨型油气聚集带的形成(表 1)。正是在这一良好的时空匹配关系条件下,油气向麻江、南山坪和泰山等古背斜有利油气运移指向区运移并聚集成藏。

受刚性基底的控制,乐山—龙女寺古隆起处于构造相对稳定区,古隆起成为油气运移的有利指向区。威远位于该古隆起的斜坡,威远气田第一次进油事件发生在加里东运动初期,主力烃源为下寒武统黑色泥页岩,储集空间为白云化晶间孔及溶孔、溶缝。加里东期古隆起叠置在震旦纪桐湾运动不整合面之上,震旦系同样发育良好的溶蚀性储层。四川盆地已有的勘探和研究表明,古隆起圈闭、储层演化和油气大量生成有着良好的配置关系,形成了环绕古隆起分布的大型古油藏带。黔中隆起构造活动较弱、相对稳定,并且优质烃源岩发育,在加里东时期具备形成大、中型油气田的条件。

2.2.2 油气藏改造与破坏

加里东期末,江南—雪峰构造带大幅度褶皱抬升,大面积出露奥陶系—元古宇,下古生界主要含油层系大面积暴露遭受剥蚀,而且也改变了油气运移和聚集的格局,从而结束了加里东期油气运

表 1 加里东期典型油气藏构造—成藏旋回及油气聚集规律

Table 1 Typical tectonic-pooling cycles and hydrocarbon pooling patterns during the Caledonian

典型油气藏		麻江古油藏	南山坪古油藏	泰山古油藏	威远气田
主力烃源岩		下寒武统	下寒武统	上震旦—下寒武统	下寒武统
油气演化		生油开始:早奥陶世 生油高峰:志留纪末—泥盆纪早期	生油开始:奥陶世末 生油高峰:志留世中期	生油开始:早、中奥陶世 生油高峰:晚奥陶—早志留世	生油开始:奥陶纪—早志留世 生油高峰:志留纪
构造—成藏旋回	油气藏形成	都匀运动形成宽缓背斜,中晚奥陶世—早志留世古风化壳发育,生储盖匹配良好,油气富集于奥陶系和志留系储层中聚集成藏	早志留世形成宽缓背斜,生油高峰时生储盖匹配良好,油气富集于震旦系储层中聚集成藏	加里东早期形成同沉积背斜和生物礁等地层类型圈闭,早于生油高峰期,匹配关系良好,油气运移至礁、背斜圈闭中聚集成藏	位于古隆起的斜坡,白云化晶间孔及溶蚀性储层发育,与生油高峰期匹配,有利于油气运移和聚集成藏
	油气藏改造	广西运动抬升剥蚀,储层暴露,油藏部分遭氧化成沥青状稠油	广西运动抬升剥蚀,油藏遭受改造和一定程度破坏	广西运动抬升剥蚀,油藏遭受改造和一定程度破坏	广西运动导致盖层在隆起部位被部分剥蚀,油藏遭受一定程度的改造
聚集规律		① 寒武系优质烃源岩发育,具有有利的生烃条件 ② 古隆起及其斜坡带形成时间早,是油气运移的有利指向区 ③ 圈闭封闭保存条件的有效性决定了油气藏的最终保存和定位			

移、聚集的格局。加里东期已经形成的油气藏中,部分因褶皱抬升而被破坏。如麻江油藏在广西运动末,褶皱隆升使得盖层在背斜核部被剥蚀,以致储集层暴露,油藏遭到破坏。部分油藏,如南山坪、泰山等油藏,由于储集层位较低,破坏和改造程度可能小于麻江油藏。乐山—龙女寺古隆起带的油藏改造程度相对较弱,油藏得以较好保存。到加里东构造期结束,油气成藏也结束了加里东期构造—成藏旋回。

3 晚印支—早燕山期构造—成藏旋回

3.1 晚印支—早燕山期基本构造面貌

晚印支—早燕山期是中国南方发生重大构造变革的关键时期,它不仅结束了南方海相沉积的发展历史,而且使中国南方大部分地区的中、古生界发生断裂和褶皱。由于不同区域构造强弱和方式存在极大的差异,构造的最终表现形式也大不相同。

江南—雪峰构造带在印支期是扬子地块和华夏地块间的陆内构造带,在加里东期隆起后经历沉降,再一次成为隆起区。其构造作用方式表现为向北、北西方向的强烈挤压逆冲,使得江南—雪峰构造带北缘发育大量的基底卷入的压性断块和基底逆冲构造,主要发育在皖南、湘鄂西的东南部和黔东南等地区。下扬子断块全区处于

挤压环境,同时遭受了分别来自江南—雪峰和苏鲁的南、北相对的挤压作用,形成沿长江南、北对冲的构造格局,以压性断块以及逆冲褶皱为主。沿长江一带则形成一北东向的拗陷,具前陆拗陷的性质。黔东南地区断裂和褶皱发育,以走向北东—北北东向为主,由西往东变形程度逐渐加强。

中、上扬子内部在印支期主要表现为隆升运动,褶皱作用不明显,主要形成隆—坳的构造格局。隆起主要包括泸州隆起、开江隆起、黄陵隆起、钟祥隆起等,坳陷主要包括川西坳陷和湘鄂西—黔西南坳陷等。燕山早期则秉承了印支期挤压作用的基本格局,但构造强度和范围都远大于印支期,特别是在构造带边缘发育大量与挤压作用有关的压性断块或逆冲褶皱构造,如龙门山、米仓山、大巴山、大洪山等构造带前缘的逆冲推覆构造。总体而言,大体可以划分出南、北两个大的陆内挤压逆冲构造带。北部主要包括大巴山逆冲褶皱带、大洪山逆冲褶皱带和江汉逆冲褶皱带等,南部主要包括幕阜山—武陵山逆冲褶皱带、湘鄂西—黔东南断褶带等。

晚印支—早燕山期扬子区的构造面貌可归结为“一带多隆多逆冲带”的构造格局。“一带”指江南—雪峰构造带北缘褶皱带,“多隆”是中、上扬子地块内部广泛发育的多个隆起,“多逆冲带”是指多个构造带前缘发育的逆冲褶皱构造。

3.2 晚印支—早燕山期构造—成藏旋回

3.2.1 油气聚集成藏

晚印支—早燕山期中国南方,特别是扬子区主体部分都经历了一次下三叠统和侏罗系覆盖的深埋过程,促进了下伏海相烃源岩的热演化。此时,上奥陶—下志留统烃源岩已进入生油高峰,上古生界二叠系烃源岩在部分地区也已成熟生油;加里东期后保存下来的油气藏以及古油气聚集带的原油裂解成天然气,发生相态转换,使原始的海相含油系统向纯含气系统转化;加里东期形成的氧化沥青也可能随着沉降埋藏进一步演化提供部分气源。这些油气源在适当的条件下于中(中、下三叠统)古生界中聚集,形成晚印支—早燕山期的油气藏,其分布与构造面貌的“一带多隆”特征基本类似。“一带”指江南—雪峰构造带北缘的晚印支—早燕山期油气成藏带,以上奥陶—下志留统为主力烃源岩,聚集于晚印支—早燕山期逆冲褶皱作用形成的构造圈闭中,以志留系和中、下三叠统含膏区域性盖层和上覆侏罗系为封闭层,如凯里原生油藏和通山半坑原生油气藏等。“多隆”是指中、上扬子地块内部多个隆起周边形成的油气藏,如泸州—开江隆起周边形成的石炭系、二叠系以及三叠系的油气藏,它们以志留系和二叠系为主力烃源岩,油气主要聚集于特殊的沉积岩相带所形成的地层—岩性圈闭中,如普光长兴组生物礁

和飞仙关组鲕滩岩性原生油藏及毛坝长兴组生物礁岩性原生油藏等。环黄陵隆起发育有大量的油气显示,反映了黄陵隆起在印支—燕山早期同样成为了油气运移聚集的指向区。江南—雪峰构造带(特别是黔东南凹陷)北缘推覆体下盘以中、古生界为反射特征的地层结构,指示逆冲推覆体下盘也可能存在原生油藏或原生气藏。扬子周缘造山带,如龙门山、米仓山、大巴山、大洪山逆冲推覆体下盘也同样存在类似的油气聚集(表 2)。

3.2.2 油气藏改造与破坏

晚印支—早燕山期的构造变动对油气藏进行改造和破坏主要存在两种方式:一是晚印支—早燕山期的沉降、深埋,使得油向气发生相态转换,油藏演化成气藏;二是早燕山晚期的构造运动导致的抬升剥蚀和岩浆活动对油气藏的破坏。第一种方式主要是影响江南—雪峰构造带北缘加里东期的油气聚集带,导致原油大量裂解,天然气藏形成,同时上奥陶—下志留统烃源岩成熟提供油气,形成部分混源的油气藏,如麻江古油藏、南山坪古油藏、泰山古油藏以及威远气田等。第二种方式对整个中国南方晚印支—早燕山期的油气成藏均有影响,尤其是对江南—雪峰构造带北缘油气聚集带产生重要影响,导致江南—雪峰构造带北缘大部分油气藏遭到彻底破坏,如麻江和南山坪原生油气藏由于抬升剥蚀而暴露地表被彻底破坏成古油

表 2 晚印支—早燕山期典型油气藏构造—成藏旋回及油气聚集规律
Table 2 Typical tectonic-pooling cycles and hydrocarbon pooling patterns during the Late Indosinian—Early Yanshanian

典型油气藏		普光	毛坝	凯里	通山半坑
主力烃源岩		二叠系和志留系		上奥陶—下志留统	
油气演化		印支—早燕山期: 开始成熟生油,并进入生油高峰		印支—早燕山期: 生油高峰期	
构造—成藏 旋回	油气藏 形成	位于泸州—开江古隆起的斜坡部位,是油气运移的有利指向区,生油高峰时生储盖匹配良好,油气富集于礁、滩储集体中聚集成藏		逆冲推覆作用形成构造圈闭,与生油高峰期具有良好的匹配关系,又具有良好的盖层封闭条件,有利于油气聚集成藏	
	油气藏 改造	印支—早燕山期的埋藏等地质作用的影响是建造作用大于改造作用,有利于地层—岩性原生油藏的形成		早燕山晚期的抬升剥蚀导致生成的油气重新调整再运移和分配,形成残余油藏	燕山早期抬升剥蚀及岩浆活动彻底破坏油藏,形成沥青
聚集规律		① 持续的沉降、深埋加速烃源岩热演化,多套烃源岩具混源特征 ② 逆冲推覆作用有利于构造圈闭的形成,同时也是较有利的油气聚集带 ③ 圈闭封闭保存条件的有效性决定了油气藏的最终保存和定位			

藏,通山半坑和泰山油气藏由于抬升剥蚀及岩浆活动也被彻底破坏形成沥青,凯里原生油气藏则由于抬升剥蚀导致生成的油气重新调整再运移和分配形成残余油藏。对上扬子大部分地区,抬升幅度中等,总体而言各种地质作用的建造作用大于改造作用,有利于原生油气藏的形成,如普光和毛坝油气藏在这一时期主要是以成藏作用为主。晚印支—早燕山期是南方第二次大规模成藏期,也是第二次大规模的改造期,成为一个完整的构造—成藏旋回。

4 燕山晚期—喜马拉雅早期构造—成藏旋回

4.1 燕山晚期—喜马拉雅早期基本构造面貌

南方(特别是扬子区)东、西部在燕山晚期—喜马拉雅早期的构造作用方式以及格局相之于晚印支—早燕山期发生了明显的转变,并朝不同的方向演化。齐岳山断裂东部的中、下扬子地块进入了濒太平洋构造域伸展作用阶段,断块活动为中、古生界的主要特征,并可分出断陷反转区和隆升断块区;而齐岳山断裂西部的上扬子断块,则继续处于递进挤压变形叠加作用阶段^[14]。

自晚白垩世起,早期的挤压环境在下扬子地

块反转为区域拉张环境,印支—燕山早期形成的北北东、北西向构造遭受大规模伸展,形成一系列半地堑或地堑结构,叠置在不同基底或构造单元之上。中扬子地块以神农架隆起和黄陵隆起西缘到长阳、松滋和澧县一线为界,可划分出江汉拉张断陷区和湘鄂西断块区两大主要构造区。断陷区发育大量的正断层,使中、古生界由燕山早期遭受的强烈挤压作用反转为伸展断块活动;断块区内发育强度小于断陷区的正断层,以断块活动为主。在东南部雪峰山构造带、东北部大巴山、北部米仓山和西部龙门山构造的联合作用下,上扬子地块继续燕山早期的挤压作用方式。由于不同构造带逆冲褶皱作用向四川盆地内部的扩展挤压作用具有时间上的复合和联合,导致四川盆地内多组构造的叠加与复合。这一时期也是四川盆地构造格局形成的主要时期。环江南—雪峰构造带周缘则主要以隆升剥蚀为主。

4.2 燕山晚期—喜马拉雅早期构造—成藏旋回

4.2.1 油气聚集成藏

燕山晚期—喜马拉雅早期,扬子陆块东、西部构造作用方式和格局的差异导致了其成藏特征的差异性(表 3)。西部上扬子地块,由于持续埋藏作用、挤压变形和构造叠加作用,不仅烃源岩开始

表 3 燕山晚期—喜马拉雅早期典型油气藏构造—成藏旋回及油气聚集规律

Table 3 Typical tectonic-pooling cycles and hydrocarbon pooling patterns during the Late Yanshanian—Early Himalayan

典型油气藏		普光	毛坝	句容	朱家墩
主力烃源岩		二叠系和志留系		二叠系和三叠系	二叠系
油气演化		烃类由液态演化成气态,原油大量裂解生成气态烃类		生油高峰期	“二次生烃”,生气高峰
构造—成藏旋回	油气藏形成	北东向构造形成的主要时期,构造圈闭的形成与气态烃源演化具有良好的匹配关系,是构造—岩性气藏形成时期	构造圈闭形成,飞仙关组储层裂缝化、聚集下伏的油气形成飞仙关组裂缝型气藏,长兴组生物礁古油藏向生物礁古气藏转化	断块作用使区域盖层支离破碎,局部地区存在封闭条件较好的环境使得原生油藏被保存下来	断陷作用重建封闭体系,天然气充注与构造和断层发育的时期相一致,有利于油气的聚集成藏
	油气藏改造	调整改造,烃类由液态转为气态,岩性古油藏转化为构造—岩性古气藏	调整改造,烃类由液态转为气态,古油藏转化为古气藏	调整改造,局部残留	“二次生烃”,伸展断裂沟通海相油气使之进入上覆陆相地层中聚集成藏
聚集规律		① 整体封闭保存条件的有效性是油气得以成藏保存的关键 ② 上扬子地区古油藏分布范围内的现今圈闭是古油藏裂解后气态烃最可能聚集的部位,古油藏的规模大小也决定了现今气藏中残余天然气的数量 ③ 中、下扬子断陷区油气成藏富集最有利的条件就是“二次生烃”			

大量裂解出天然气,而且晚印支—早燕山期所形成的原生古油藏也开始大量裂解出气态烃类,导致了上扬子地块海相地层存在干酪根裂解气和油裂解气两种重要的气态烃源,而以油裂解气最为重要。这一时期也是上扬子断块油气成藏的一个重要转折时期,完成了油向气的转变;而此时又是构造形成时期,构造圈闭的形成与气态烃源演化具有良好的匹配关系,是气藏形成的重要时期。普光气藏和毛坝气藏等均在这一时期实现了由岩性古油藏向构造—岩性古气藏的转化。

中、下扬子断块燕山晚期—喜马拉雅早期的伸展作用、断块活动首先对海相中、古生界含油气系统施加了一次广泛破坏,使得海相中、古生界内部的区域盖层肢解、破碎,在空间上已很难成为统一的区域盖层,整体处于开放环境,基本失去了有效封闭保存能力;此外,地表水下渗也造成古油藏的破坏。但在破坏程度较弱、封闭条件较好的区域,原生油藏得以保存,如句容残留油藏。更为重要的是,晚燕山期运动在中、下扬子地区的伸展活动在苏北、江汉地区形成了两个大型的 K_2 —E 覆盖的整体断陷盆地,这一新的统一盖层又重建了有效封闭保存体系和次生天然气藏及次生含油气系统。同时,晚燕山期的伸展沉降及巨厚的上覆地层沉积给中、下扬子地区创造了“二次生烃”的有利条件,形成新的海相油气藏。

4.2.2 油气藏改造与破坏

燕山晚期—喜马拉雅早期运动是影响南方全区的构造运动,对整个中国南方中、古生界油气成藏产生重大影响。除上扬子四川盆地持续埋藏挤压以及中、下扬子断陷反转以外,南方其他隆升断块区(包括湘鄂西、江南—雪峰构造带周缘、滇黔桂以及华南等地)燕山晚期构造运动主要表现为强烈的抬升、褶皱、推覆,中、古生界出露剥蚀,部分地区还伴有强烈的岩浆活动。上扬子四川盆地主要表现为油气藏的调整改造,烃类由液态转为气态,岩性古油藏转化为构造—岩性古气藏,整体有效封闭保存体系并未被破坏。在中、下扬子断块断陷反转区,燕山晚期—喜马拉雅早期的断陷阶段使烃源岩再次埋深而成熟,具备“二次生烃”的条件,同时导致海相油气重新调整再运移和再分配,形成残余油藏,如句容残留油藏;或者伸展断裂沟通海相地层的油气,使之进入上覆陆相地层

中,形成古生新储的次生油气藏,如盐城朱家墩气藏。因此,燕山晚期—喜马拉雅早期的构造作用对中国南方的油气成藏而言,是第三次大规模成藏调整改造期,对上扬子四川盆地主要表现为油气藏的调整,对江南—雪峰构造带周缘等隆升断块区主要表现为强烈的改造破坏,对中、下扬子断陷反转区可能存在“二次生烃”成藏的条件。燕山晚期—喜马拉雅早期是南方第三次大规模成藏期,也是第三次大规模的改造期,成为一个完整的构造—成藏旋回。

5 喜马拉雅晚期构造—成藏旋回

5.1 喜马拉雅晚期基本构造面貌

喜马拉雅晚期是中国南方又一次构造运动方式大的改变时期。受太平洋板块向中国大陆的俯冲以及西部印度板块与中国大陆的碰撞的影响,西部上扬子断块表现为挤压隆升及褶皱叠加作用,而南方东部中、下扬子断块则从燕山早期—喜马拉雅早期的伸展作用转变为喜马拉雅晚期的挤压隆升作用。南方喜马拉雅晚期的构造格局可以大致划分为下扬子挤压隆升区、中扬子拗褶隆升区、上扬子挤压隆升区、江南—雪峰构造带周缘隆升剥蚀区及华南岩浆断褶隆升区。总体而言,喜马拉雅晚期南方构造变动以强烈的隆升剥蚀作用为主,局部地区存在部分挤压逆冲—褶皱作用。从全区裂变径迹热年代学数据统计来看,喜马拉雅晚期的构造活动非常明显,是南方全区一次非常广泛的降温构造活动,古地温迅速降到地表温度。这主要与喜马拉雅晚期强烈的隆升剥蚀作用有关。不同地区喜马拉雅晚期隆升剥蚀的起始时间存在一定的差异(表 4)。总体而言,25 Ma 以后南方构造变动主要以强烈的隆升剥蚀作用为主。

下扬子断块从晚燕山—早喜马拉雅期的伸展构造反转为晚喜马拉雅期的挤压构造,为继晚印支—早燕山期到晚燕山—早喜马拉雅期构造反转之后的再一次构造反转。局部的构造反转表现为在中、新生代盆地边缘及盆地内部逆断层发育。盆地内部的褶皱隆升则造成差异升降和浦口组的剥蚀。句容海安盆地 K_2 —E 地层的褶皱作用显示其新近纪以来遭受挤压作用,并构造反转。中扬

表 4 不同构造地区喜马拉雅晚期隆升剥蚀时间

Table 4 Time of uplifting and erosion in different tectonic regions during the Late Himalayan

构造区		隆升剥蚀起始时间 /Ma
上扬子	川东地区	20 ~15
	大巴山地区	10 ~6
	川东南官渡地区	15 ~8
江南—雪峰构造带北缘	通山地区	10 ~8
	麻江地区	6
下扬子		25 ~20
南盘江盆地和十万大山盆地		20

子断块在晚喜马拉雅期伴有微弱褶皱,以隆升、剥蚀为主,区内形成凸起、凹陷相间排列的构造格局。古近系与新近系—第四系之间普遍出现角度不整合,且逆断层因挤压作用而部分复活。上扬子断块川西前陆盆地和龙门山地区在晚喜马拉雅期中中新世至晚中新世之间和早更新世至中更新世之间发生过两次较大的构造运动,表现为从北西向南东的挤压作用,具有构造的叠加和加强。川东北地区南大巴山从北东向南西盆内的新一轮挤压作用代替了北西—南东向的挤压作用,在该挤压作用下形成了川东北地区从大巴山山前延伸到盆内的北西向构造,形成大量的北西向逆断层和褶皱。江南—雪峰构造带周缘则主要以强烈的隆升剥蚀作用为主,华南广大地区则岩浆活动强烈^[14]。

5.2 喜马拉雅晚期构造—成藏旋回

喜马拉雅晚期是南方海相油气晚期成藏定位的最终时期(表 5)。调整改造作用导致的油气重新运移和再分配是这一时期油气成藏的最显著的特征。上扬子断块,特别是川东北、川东南地区,油气的晚期成藏定型表现非常明显;下扬子黄桥 CO₂ 气藏和朱家墩气藏的形成也具有明显的晚期成藏的特征。南方其他地区则主要以强烈的调整改造、破坏作用为主,导致油气藏(沥青)在地表进一步暴露。

喜马拉雅晚期,上扬子断块川东北地区由于大巴山自北东向南西的挤压作用,在北东向构造上叠加了北西向构造,同时后期还伴有强烈的隆升剥蚀特征。构造的叠加及强烈的隆升对川东北

表 5 喜马拉雅晚期典型油气藏构造—成藏旋回及油气聚集规律

Table 5 Typical tectonic-pooling cycles and hydrocarbon pooling patterns during the Late Himalayan

典型油气藏		官渡	黄桥	普光	毛坝
主力烃源岩		志留系、二叠系、三叠系须家河组	无机气源	二叠系和志留系	二叠系和志留系
油气演化		志留系和二叠系进入生干气阶段,须家河组进入湿气裂解阶段			
构造—成藏旋回	油气藏形成	长南深大断裂活动,形成大量中、小断层,使得裂缝大量发育,新的缝孔系统对早期的气藏进行沟通、调整和扩大,重新聚集,晚期成藏定型	深大断裂活动,幔源的 CO ₂ 气通过断裂的输导充注进入圈闭,并驱替了早期的烃类而形成了现今的 CO ₂ 气藏	北西向构造叠加使得北东向构造的高点发生变化,导致油气重新分配调整,有效封闭体系未被破坏,油气藏得以继续保存	长兴组气藏调整改造;构造作用促进飞仙关组储层裂缝发育,改善了储集条件,有利于裂缝型油气藏的形成
	油气藏改造	裂缝大量发育,气藏调整和扩大,晚期成藏定型	烃类被 CO ₂ 气驱替,伴有烃类的 CO ₂ 气藏晚期成藏定型	气藏调整改造,油气晚期保存定位	调整改造,飞仙关组裂缝型气藏晚期成藏定位
聚集规律		封闭保存体系未被破坏,油气晚期保存定位			

地区油气成藏具有两个方面的影响:一方面使得北东向构造的高点发生变化,进而导致油气重新分配调整,油气藏的规模、位置、类型虽然发生了变化,但有效的封闭体系仍然得以继续保存,如普光飞仙关组气藏;另一方面,喜马拉雅晚期的构造作用促进了裂缝的发育,改善了储集条件,从而有利于油气的聚集成藏,如毛坝飞仙关组气藏。因此,在川东北地区喜马拉雅晚期的构造变动既对裂缝型油气藏的成藏具有促进作用,又对先前的孔隙型气藏具有调整改造作用。在川东南地区,喜马拉雅晚期的构造作用促使了断裂和裂缝的发育,从而使得陆相地层之下的海相油气沿着断裂与裂缝运移至上覆的须家河组聚集成藏;裂缝作用也进一步改善了须家河组致密砂岩的储集性能;该时期须家河组烃源岩进入湿气阶段,有利于川东南地区须家河组陆相致密砂岩气藏的形成,并且气藏具有海、陆相的混源特征,如官渡须家河组气藏。

中、下扬子断块由于上覆新生界,在第三系断陷盆地发育区可能继续存在古生界烃源岩的“二次生烃”作用,为在喜马拉雅晚期构造运动中生成并定型的圈闭提供烃源,形成新的油气藏;也有可能对前期形成的油气藏进行调整改造,分割早期的油气藏,形成多个断块油气藏。如伴有烃类的黄桥 CO_2 气藏的形成大约为 25 Ma 左右,由于深大断裂的作用,幔源的 CO_2 气通过断裂的输导充注进入圈闭,并驱替了早期的烃类而形成了现今的 CO_2 气田,属于典型的晚期成藏。南方其他碳酸盐岩裸露地区由于强烈的隆升剥蚀,油气藏继续遭受破坏。喜马拉雅晚期是南方第四次大规模成藏改造期,也是第四次大规模破坏期,完成了南方最后的一个构造—成藏旋回。

6 结论

1) 南方多旋回叠合盆地或改造盆地的油气成藏演化具有“构造—成藏旋回”的特性。构造—成藏旋回指在一个旋回性的构造作用制约和控制下,油气藏从形成开始到后期由于构造作用而导致油气重新运移再分配结束的一个完整过程。该过程最终既可以使已成油气藏重新调整,也可以使已成油气藏改造或破坏。构造—成藏旋回是南方海相油气成藏富集规律的一种新的成藏演化模式,为在南方地区重新审视构造与海相油气成藏

关系,特别是构造作用对海相油气成藏的制约提供了一个可能被借鉴的新思路。

2) 通过对构造旋回和成藏旋回的对比分析,将南方中、古生界海相盆地油气成藏划分为四大构造—成藏旋回,即加里东期构造—成藏旋回、晚印支—早燕山期构造—成藏旋回、晚燕山—早喜马拉雅期构造—成藏旋回和晚喜马拉雅期构造—成藏旋回。

3) 南方扬子区在加里东期构造—成藏旋回具有“一带两隆”的构造面貌以及与之匹配的油气聚集规律及成藏模式。晚印支—早燕山期构造—成藏旋回“一带多隆多逆冲带”的构造面貌决定了“一带多隆多逆冲带”特有的油气聚集规律及成藏模式。在晚燕山—早喜马拉雅期构造—成藏旋回,扬子陆块东、西部构造作用方式和格局的差异导致了该旋回东、西部成藏特征的差异。晚喜马拉雅期构造—成藏旋回是南方海相油气晚期成藏定位的最终时期,调整改造作用在不同构造位置有不同的表现。

参 考 文 献

- 1 黄汲清. 中国主要地质构造单位 [M]. 北京: 地质出版社, 1954. 1~162
- 2 黄汲清, 姜春发. 从多旋回构造运动观点初步探讨地壳发展规律 [J]. 地质学报, 1962, 42(2): 105~152
- 3 朱夏. 朱夏论中国含油气盆地构造 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1986. 122~132
- 4 Betts P G, Giles D, Lister G S. Tectonic environment of shale-hosted massive sulfide Pb-Zn-Ag deposits of Proterozoic Northeastern Australia [J]. Economic Geology, 2003, 98(3): 557~576
- 5 何治亮, 徐宏节, 段铁军. 塔里木多旋回盆地复合构造样式初步分析 [J]. 地质科学, 2005, 40(2): 153~166
- 6 Yang Y T, Li W, Ma L. Tectonic and stratigraphic controls of hydrocarbon systems in the Ordos basin: a multicycle cratonic basin in central China [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 255~269
- 7 金之钧, 张明利, 汤良杰, 等. 柴达木中生代盆地演化及其控油气作用 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(6): 603~608
- 8 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64~77
- 9 张朝军, 何登发, 吴晓智, 等. 准噶尔多旋回叠合盆地的形成与演化 [J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1): 47~58
- 10 杨华, 席胜利, 魏新善, 等. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地演化与天然气富集 [J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1): 17~24
- 11 吴冲龙, 杜远生, 梅廉夫, 等. 中国南方印支—燕山期复合盆地体系与盆地原型改造 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3):

- 9 Zhang B Y, Zhang H X, Zhao Z H, et al Permian Island-arc basalt in west Guangdong and east Guangxi tectonic belt south China: implications for the Paleo-Tethys [J]. *Journal of Nanjing University* 2003, 39: 46—54
- 10 邓希光,陈志刚,李献华,等.桂东南地区大容山—十万大山花岗岩带 SHRMP 锆石 U—Pb 定年 [J]. *地质论评*, 2004, 50(4): 426—431
- 11 Lepvrier C, Maluski H, Nguyen V V, et al Indosinian NW-trending shear zones within the Truong Son belt (Vietnam): ^{40}Ar — ^{39}Ar Triassic ages and Cretaceous to Cenozoic overprints [J]. *Tectonophysics* 1997, 283: 105—127
- 12 Nam T N, Sano Y, Terada K, et al First SHRMP U—Pb zircon dating of granulites from the Kontum massif (Vietnam) and tectono-thermal implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 2001, 19: 77—84
- 13 Carter A, Roques D, Bristow C, et al Understanding Mesozoic accretion in southeast Asia: significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogen) in Vietnam [J]. *Geology* 2001, 29(3): 211—214
- 14 周新民.对华南花岗岩研究的若干思考 [J]. *高校地质学报*, 2003, 9(4): 556—565
- 15 张国伟,董云鹏,赖绍聪,等.秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带 [J]. *中国科学*, 2003, 33(12): 1 121—1 135
- 16 Liu S F, Steel R, Zhang G W. Mesozoic sedimentary basin development and tectonic implication northern South China Block: eastern China: record of continent-continent collision [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 2005, 25: 9—27
- 17 王岳军, Zhang Y H, 范蔚茗,等.林舸湖南印支期过铝质花岗岩的形成:岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 2002, 32(6): 491—499
- 18 王岳军,范蔚茗,梁新权,等.湖南印支期花岗岩 SHRMP 锆石 U—Pb 年龄及其成因启示 [J]. *科学通报*, 2005, 50(12): 1 259—1 266
- 19 湖南地质矿产局.涟源幅 1:20 万区域地质报告 [M]. 北京:冶金工业出版社, 1977. 118—119
- 20 张国伟,张本仁.秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京:科学出版社, 2001. 1—855
- 21 Zhao X, Coe R. Paleomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China [J]. *Nature* 1987, 327: 41—144
- 22 王岳军,廖超林,范蔚茗,等.赣中地区早中生代 OIB 碱性玄武岩的厘定及构造意义 [J]. *地球化学*, 2004, 33(2): 109—117
- 23 梁新权,范蔚茗,王岳军.湖南中生代陆内构造变形的深部过程:煌斑岩地球化学示踪 [J]. *地球学报*, 2003, 24(6): 603—610
- 24 范蔚茗,王岳军,郭峰.湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展 [J]. *地学前缘*, 2003, 10(3): 159—170
- 25 Zhou X M, Li W X. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. *Tectonophysics* 2000, 326(11): 269—287
- 26 Maruyama S, Seno T. Orogeny and relative plate motions: example of the Japanese islands [J]. *Tectonophysics* 1986, 127(3—4): 305—329
- 27 Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basins [J]. *Geol Soc* 1985, 206: 1—59
- 28 万天丰.中国大地构造学纲要 [M]. 北京:地质出版社, 2004. 75—107
- 29 颜丹平,汪新文,刘友元.川鄂湘边区褶皱构造样式及其成因机制分析 [J]. *现代地质*, 2000, 14(1): 37—43

(编辑 董 立)

(上接第 597 页)

- 305—315
- 12 赵文智,张光亚,何海清,等.中国海相石油地质与叠合含油气盆地 [M]. 北京:地质出版社, 2002. 45—61
- 13 金之钧.中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二)——以塔里木盆地为例 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(3): 281—289
- 14 郭旭升,梅廉夫,汤济广,等.扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(3): 295—325
- 15 Xu S H, Mei L F, Yuan C P. Types, evolution and pool-controlling significance of pool fluid sources in superimposed basins: a case study from Paleozoic and Mesozoic in south China [J]. *Journal of China University of Geosciences* 2007, 18(1): 49—59
- 16 徐思煌,袁彩萍,梅廉夫,等.叠合盆地成藏流体源类型、演化及控藏意义——以中国南方中、古生界海相地层为例 [J]. *地质科技情报*, 2007, 26(2): 59—64
- 17 郭彤楼,田海芹.南方中—古生界油气勘探的若干地质问题及对策 [J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(3): 244—247
- 18 何登发,贾承造,周新源,等.多旋回叠合盆地构造控油原理 [J]. *石油学报*, 2005, 26(3): 1—9
- 19 何治亮,顾忆,高山林.中国西部多旋回演化与油气聚集 [J]. *石油实验地质*, 2005, 27(5): 433—438
- 20 Lv X X, Zhang Y W, Jin Z J, et al Reservoir formation cycle of Tarim basin NW China [J]. *Chinese Science Bulletin* 1997, 42(3): 245—248
- 21 Mei L F, Guo T L, Shen C B, et al Tectonic-hydrocarbon accumulation cycles of marine strata in polycyclic superimposed and reconstructed basins in Southern China [J]. *Journal of China University of Geosciences* 2007, 18(Special Issue): 538—539

(编辑 李 军)