

海相改造残留盆地的地质特征和勘探前景*

王英民

(石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102200)

摘要: 中国前新生界海相地层很发育, 其油气资源潜量丰富, 但目前探明程度和勘探成功率很低。其根本原因在于它们普遍经历过多期改造, 具有改造残留盆地的性质。主要的改造方式有抬升剥蚀、构造变形和深埋等, 具体受盆地在各期构造运动中所处的大地构造背景控制, 如被前陆盆地或裂谷盆地所叠加, 整体抬升转化成为高原或高地, 以及由于冲断褶皱而转化为断褶带甚至于造山带等。海相改造残留盆地具有复杂的成藏动力学过程和油气系统。其最重要的油气成藏特点有: (1) 多期成藏, 形成复杂油气系统, 油气藏高度分散; (2) 晚期(喜马拉雅期)成藏, 明显受喜马拉雅运动控制。因此在油气勘探中要以正确认识和描述地质特征的非均一性为关键, 以油气的生、运、散、聚成藏动力学过程为主线, 从各种地质要素的相互作用的发展演化历史的角度开展研究。海相改造残留盆地勘探前景广阔, 必将成为我国 21 世纪油气勘探的主战场。

关键词: 改造残留盆地; 海相地层; 油气成藏过程; 成藏动力学; 喜马拉雅期

作者简介: 王英民, 男, 45 岁, 教授(博士), 油气盆地分析与层序地层学

中图分类号: TE121.1 文献标识码: A

我国海相地层的勘探难度远较陆相盆地为大。已发现的海相油气田的规模和丰度均比陆相盆地小, 探明程度和勘探成功率都很低, 已发现的储量远较人们预期的少^[1]。我国古生界和元古界海相沉积中的探明石油储量仅占石油总储量的 13.42%; 探明天然气储量虽较为丰富, 占天然气总储量的 52.4%, 但我国油气资源的比例远较国际为低, 因此在海相地层中获得的天然气储量其实也是很低的。以塔里木盆地为例, 目前的发现量尚不到资源量下限的 3%, 大大低于“七五”末期全国石油探明程度占预测资源量 16% 的水平。在已有控制储量的油气田中, 除塔中 4 号和塔河油田达到近亿吨级外, 多数油气田只能算是中小型。在中国南方, 油气勘探工作从 50 年代迄今始终未断, 但除四川盆地外均未取得突破。显然, 我国海相盆地的油气勘探与陆相盆地形成了鲜明的对比, 而与国际上油气以海相为主的状况更是大相径庭。为什么我国海相地层及烃源岩如此发育, 而从其中获得的油气资源却如此之少呢? 我国海相地层的油气资源前景究竟如何呢? 这是人们迫切关心的问题。

1 发现程度低的主要原因

一般说来, 油气资源的发现程度与三方面的因素有关, 一是勘探程度的高低; 二是地质条件的好坏; 三是勘探理论方法的正确与否。目前我国海相盆地油气勘探程度普遍很低, 这无疑是造成海相油气资源发现程度低的一个重要原因, 但决非根本原因。中国海相地层的地质特征比国外要复杂得多, 亦与中国陆相原生盆地有天壤之别。从而在油气勘探的理论方法上, 既不能完全照搬国外海相盆地的理论方法, 也不应简单沿袭国内陆相原生盆地的经验。换言之, 地质特征的复杂性和勘探理论方法的适用性才是决定我国海相油气盆地勘探进程的关键。

中国海相地层的石油地质特征为何复杂? 不少人将其归结为时代偏老。我国海相地层以下古生界甚至于上元古界为主, 从全球来看, 中生界油气储量占总储量的 70% 左右, 上元古界和古生界油气繁荣程度普遍不如中、新生界。一般而言, 在其它条件相同的情况下, 地层时代越老, 则油气的演化程度必然越高, 破坏越强烈, 但时代新老并非问题的本质。如果古克拉通含油气盆地在中新生代未经强烈构造改造, 其区域盖层未受到重大侵蚀与破坏, 则仍可具有较好的含油气性, 如东欧(俄罗斯)和北美克拉通内部的许多盆地。在西伯

* 本文受教育部 1999 年跨世纪科技人才基金和国土资源部 1998 年跨世纪科技人才基金资助

收稿日期: 1999-08-20

利亚古克拉通含油气区内烃类的散失量达 $3\,000 \times 10^8$ t 石油当量以上,但是只要区域盖层破坏不大,则仍可保持相当程度的古油气藏。此外在经中、新生代地层叠加从而具有二次生烃条件以及良好封盖条件的地区,也可形成一定规模的油气藏,如俄罗斯东西伯利亚近20年来发现了一大批前寒武纪海相碳酸盐岩和碎屑岩油气田,仅一个库尤塔震旦系大油气田,含油气面积达 1.2×10^4 km²,石油地质储量 27×10^8 t,天然气储量 $10\,000 \times 10^8$ m³,且油气均为原生。据统计,全球古生界和元古界的油气储量占总储量31%,相当可观,其中不乏特大型油气田,这充分说明了地质时代的古老并非是决定油气资源丰富与否的根本原因。

中国的海相地层大多数遭受了强烈的后期改造从而转化成为改造残留盆地,而人们对此类盆地的特征和规律认识不足,这才是问题的关键。

我国的前新生界海相地层分布在不同构造区之内,其中有数百万平方公里的海槽型沉积,在后期强烈的构造运动中已转化为不同时期的造山带,不具石油地质意义。此外以碳酸盐岩层为代表的稳定克拉通型沉积盖层大约有 300×10^4 km²,主要分布在塔里木、扬子和华北(即中朝)三个古老克拉通内,在羌塘等较小的稳定地块上也有一定分布,它们才是油气勘探的主要目标。

我国的古克拉通与世界上其它典型的克拉通如北美、西伯利亚、俄罗斯、阿拉伯相比,在具有古老的前寒武纪刚性基底,盖层以浅海相碳酸盐岩台地相为主,夹有海相或海陆交互相碎屑岩层,岩性较稳定,厚度不大,长期处于缓慢沉降背景下等方面具有相似之处;但中国的古克拉通面积小得多,稳定性差,这与国外的克拉通形成显著差别,从而导致它们在后期遭受过多期构造运动的复合改造。

在前新生界海相地层所经受的多期构造运动中,印支期之前的改造相对较微弱。部分克拉通在古生代时期虽然发生过岩浆喷发活动,但涉及范围有限,规模不大。印支期之后,由于受到来自特提斯构造体系、滨太平洋构造体系和欧亚板块三个方面的强烈作用,使中国大陆的构造格局发生了巨大的变化,不仅形成了众多的造山带,三个克拉通内部也都受到显著影响,特别是扬子克拉通和华北克拉通发生解体或构造分异。

不论海相还是陆相,亦不论地质时代,只要在成盆期后有强烈的构造活动,使地层遭受强烈剥

蚀,都会形成改造残留盆地^[2~4]。对中国前新生界海相地层而言,其改造残留盆地的性质尤其明显,几乎都可归结为改造残留盆地。由于其区域盖层一般曾受到过较严重的破坏,加上断裂活动频繁,地下水活动剧烈,往往造成油气多期运聚、多期散失,使油气赋存状况高度复杂。这才是中国海相油气盆地复杂的根本原因,在开展海相地层油气勘探时必须正视这一基本现实。

2 改造的方式

2.1 抬升剥蚀

主要发生在冲断褶皱带、剥蚀强烈的前陆隆起带以及断陷叠合盆地中的隆起带等部位,构造运动强烈时甚至整个盆地都遭受抬升剥蚀。对早期被剥蚀地层中已聚集的油气而言,这种破坏作用是最致命的。即使对被剥蚀地层之下的油气,由于下渗的地下水会使石油经生物降解以及水洗氧化而演变为重油(沥青)和部分甲烷气,而目前已知地下水的自由交替带深度可达2 000 m以上,因此破坏也是十分强烈的。这是改造残留盆地中最基本最强烈的破坏方式。但对于晚期生成的油气或溶于地层水中的天然气而言,构造隆升又是一种排烃驱动力,是油气成藏的重要因素之一。

2.2 构造变形

构造变形对油气聚集和保存的影响,集中体现在断层的开启和封闭性上。开启性断层是油气运移和散失的重要通道,也是地表水下渗的主要路径。在切割油气藏的断层通天的情况下,即使存在盖层也保存不住油气,这是油气藏破坏的主要方式之一。但也应看到,沟通烃源岩和圈闭的开启性断层是油气富集成藏的基本条件之一。而适当的构造变形可形成构造圈闭,并提供油气运移聚集的区域构造背景。

2.3 深埋

总的来讲,古老海相地层在后期被埋藏对油气是有利的。在经历了早期生烃以及抬升剥蚀导致的生烃过程中断后,只有再次深埋才可能发生二次生烃。此外,深部地层可避开浅层不利的水文地质条件,油气藏遭破坏的几率比浅层小得多。据统计,在有年轻地层叠合的地向斜中,油气藏的保存系数为30%~70%;而克拉通边缘和地向斜边缘的褶皱中,油气藏保存系数不超过10%。但深埋也有不利的方面,它是与抬升剥蚀相反的另一类后

期改造方式。地层过度深埋会使油气向碳化沥青转化从而被破坏,此外埋深过大还使储层致密化,而使油气难以采出。

综上所述,后期改造对油气的影响既有负面的,也有正面的,这是一个复杂的动态过程,具体如何要由在演化过程所处的阶段和各种因素的配置关系而决定。

前新生界海相地层在各期构造运动中所经受的改造方式,主要由盆地在各期构造运动中所处的大地构造背景所决定,主要类型有:

(1) 被前陆盆地所叠加,从而使早期的海相地层在冲断带被强烈变形乃至剥蚀,在前渊部分被深埋,在前陆隆起部分被剥蚀。总体上看保存得较为完整,且与适当的构造变形相结合有利于构造圈闭的发育以及油气运移聚集。以塔里木、川西北等盆地为代表。

(2) 被裂谷盆地所叠加,在断陷区被深埋地下,而在隆起区遭受剥蚀,使古克拉通地层被分割,仅部分被保留,张性断裂活动易于使油气散失,总体上保存条件较差。以华北与扬子区东部为代表。

(3) 整体抬升转化成为高原或高地,遭受的剥蚀破坏强弱不等。如鄂尔多斯盆地经过从加里东到海西早期近 10^8 a 的抬升,剥蚀厚度不到 1 000 m。而羌塘盆地在喜马拉雅晚期青藏高原隆升的短短几百万年里被剥蚀的厚度就达数千米。一般而言,在此背景下构造变形都相对较弱。

(4) 由于冲断褶皱而使早期的海相地层发生程度不等的褶皱,从而遭受强烈的分割和剥蚀。在古克拉通区通常相对较弱,一般是转化为断褶带。最典型的例子是在除四川盆地以外的扬子区,其古生界和早中生界因褶皱、冲断、推覆、岩浆活动等发生了强烈变形,剥蚀严重者甚至于克拉通的基底已全部裸露。而在早期的海槽区通常改造更为强烈,以至于转化成为造山带。此类地区最不利。

3 油气成藏特点

中国海相改造残留盆地最重要的油气成藏特点有两条:一是多期成藏,形成复杂油气系统,油气藏高度分散;二是晚期(喜马拉雅期)成藏,明显受喜马拉雅运动控制。

3.1 多期成藏

中国各古克拉通形成以来都经历过加里东期、海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期等多次与主

要的古大洋关闭及板块碰撞造山事件相关的重大构造运动,只是表现形式和强度有所不同。对古克拉通海相地层而言,每期构造运动都往往既是一次主要的油气成藏期,同时也是一次重要的破坏期。成藏与破坏并存,并且多期出现。从而形成多期生排烃、多期运移、多期成藏、多期改造的典型特色。

在各主要成藏期一般都有其自身的油气系统,有其不同的主力源岩、不同成岩序列的储集空间,不同的圈闭及不同的区域性盖层。各期油气系统均有其产生、发展与消亡的过程,有效期以烃源岩的大量生排烃为起始,以区域性盖层及整体封存体系的破坏为终结。被破坏了的油气系统往往以古油藏形式存在,如贵州的麻江古油藏、塔里木盆地的志留系古油藏等。并非每次破坏期都导致油气系统消亡,在保存条件较好的盆地中,“古隆起控油,早期大规模成藏,晚期调整,部分保存”是一种重要的成藏模式。在我国的塔里木、鄂尔多斯和四川等盆地中均发现有较大规模的古油气田存在。

但随着改造期次增多,改造强度增大,油气系统会逐渐复杂化。每期构造运动都会使来自不同烃源岩的油气在某些油气藏中不同程度地混合,期次越多则各油气系统间的相互连通性越强,油气混合得越复杂,最后趋向于使整个盆地都形成一个相互影响的复杂油气系统。而油气藏被改造的次数越多,则再次运移再次成藏的路径就越复杂,油气藏发育的层位就越分散。使早期聚集的大型、巨型油气藏转化为众多分散的中小型的残余原生油气藏、再生油气藏和次生油气藏。

例如四川盆地在加里东期的主力烃源岩和区域性盖层分别是下寒武统和志留系;印支期分别为志留系(或中、下泥盆统)和三叠系;燕山期分别为二叠系和侏罗系。在喜马拉雅中期,四川盆地的油气输导系统已从加里东期的侧向输导演变为以垂向输导为主,各油气系统已相互穿插,表现为混合油气源,形成了复杂油气系统,油气藏分布层位增多,规模减小。

3.2 晚期(喜马拉雅期)成藏

喜马拉雅-阿尔卑斯造山运动以及北半球纬向山-原构造系的形成是地球新生代一次最大的事件^[5],直接影响着全球许多相关地区的油气资源分配。根据 MacGregor^[6]的研究表明,喜马拉雅-阿尔卑斯期是全球最主要的成藏期,现有大油田的 50% 以上是在 35 Ma 以来就位的。

北半球纬向山-原构造系在我国表现为喜马拉雅

雅构造域,即明显受喜马拉雅造山运动影响的地区,以青藏高原为中心,包括其周边的盆地和山链。喜马拉雅期油气成藏是喜马拉雅构造域中十分普遍、极为重要和高度复杂的现象,它显然受喜马拉雅造山运动和青藏高原的隆升过程控制。孙肇才等^[7]曾将扬子区的油气成藏规律总结为“板内形变与晚期次生成藏”,戴金星等^[8]曾指出中国绝大多数大中型气田为喜马拉雅期成藏的。对塔里木盆地的研究也表明,塔北隆起上绝大多数油气藏是在喜马拉雅期形成的^[9]。

对于改造残留盆地,油气藏形成得越晚,则遭受破坏的时间和次数越少,越容易保存下来,因此成藏期越晚无疑越有利。即使对残留的古油气藏,虽然成藏是在早期,但现今油气藏中残留油气的多少也直接与晚期构造运动时期的保存条件密切相关。保存也可看作为广义的成藏,因此晚期成藏具有普遍意义。这对于天然气藏尤为重要。天然气藏的形成和保持实质上是气的供给量与散失量之间的动态平衡过程,早期形成的气藏即使不受后期构造破坏,仅天然气扩散也可使气藏全部散失。反之,某些晚期变形较强、升降幅度大、垂向输导条件好的地区,由于当时地层水脱气的供给量很大,因此在封存条件较差的地区也可找到大气田,如川东“高陡构造带”。

3.3 典型实例——威远震旦系气田

威远震旦系气田是我国迄今发现的最古老的气田,其主产气层为上震旦统灯影组,是具统一底水的块状气藏,天然气为高演化干气,含气面积 219 km^2 ,气柱高 222 m ,充满度 $1/4$,压力系数为常压,储量 $300\times 10^8\sim 400\times 10^8\text{ m}^3$ 。天然气中液态烃组成的微观信息与四川盆地其他不同层位天然气具有相似性,揭示其成因类型同属海相腐泥型混源裂解气且具有同一气源供应。对威远气田震旦系储层流体(油、气、水、沥青)微观地化特征及其宏观地质背景(构造史、埋藏史、成岩孔隙史、油气史)的综合分析及油气系统研究表明^[7],该气田经历过加里东、印支和燕山三次较早的成藏期,均以盆地沉降深埋为特征,在川东及威远区有超过数十亿吨的石油聚集。其间经历有加里东和印支两次改造,以抬升剥蚀造成油气藏破坏为特点。随着晚燕山—早喜马拉雅期(K_2-E)大于 $8\ 000\text{ m}$ 的最大深埋作用,使早燕山期前的含油气盆地向甲烷气盆地转化,并使储层性质变差。在喜马拉雅晚期表现为褶

皱隆升,造成减压、减温,使水溶混源气不断从水中脱出,垂向运聚,经动态平衡而形成现今的威远气田。在上述构造运动中,其早期的深埋对油气成藏是建设性的,晚期的深埋则使油藏转化为气藏,储层性质变差,以破坏为主。早期的抬升剥蚀以破坏为主,而晚期的抬升对深部地层中水溶气析出成藏而言,则是以建设性为主。

4 勘探思路和勘探前景

与原生盆地相比,海相改造残留盆地经历过更复杂的盆地动力学演化过程和油气成藏动力学过程,具有更复杂的盆地动力学机制和油气成藏动力学机制。其地层剥蚀剧烈,一般遭受过较强烈的构造变形、破坏,使盆地的地层、构造、沉积、生储盖组合、地下水动力场、地温场、油气系统乃至油气藏分布具有高度的非均一性;其演化过程复杂,构造活动频繁,构造动力学机制和地下水活动方式多变;古地温的演化高度非线性;有机质演化程度高、跨度大;储集物性、封堵物性的形成机制和演化过程复杂;油气保存条件差,油气系统多次重新组构,以多期成盆、多期改造、多期生烃、多期运移、多期散失、多期聚集成藏为独有特色,形成的是复杂油气系统和众多分散的中小型的残余原生油气藏、再生油气藏和次生油气藏,从而其研究和勘探难度更大。实践证明,我国海相改造残留盆地的油气勘探与国外保存良好的海相地层相比有本质区别,也不同于中国东部陆相盆地。许多问题要重新思考,许多观念要再次更新,许多理论、方法、技术要重新学习、重新创造。而首当其冲的是需要建立一个正确的研究思路。

我们认为,改造残留盆地油气资源评价和勘探应以正确认识、描述地质特征的非均一性为关键,以油气的生、运、散、聚成藏动力学过程为主线,从各种地质要素的相互作用的发展演化历史的角度开展定量化、动态化的盆地动力学和油气成藏动力学过程研究,揭示盆地演化和成藏过程的动力学成因机制和规律,揭示各期构造运动中的地质特征和石油地质特征。在此基础上,确定各构造阶段的油气生成量、运移损失量、地表散失量和油气聚集量,最后计算出能反映油气聚集的层位和位置的资源量,为区带评价和靶区选择提供直接依据。

成藏动力学过程研究的方法很多,其中计算机模拟方法可以定量地、动态地刻划各种因素相互作用的历史过程,从而更深刻地揭示其内在规律性,因

此是成藏动力学过程研究的一项关键技术^[10]。成藏动力学过程模拟是一项高度复杂的系统工程,它需要以当代最先进的地质学和石油地质学理论为基础,全面利用各种地质、物探资料,采用最先进的盆地描述和盆地模拟技术,借助先进的计算机和实验测试、模拟技术,定量地研究沉积盆地油气生、运、储、聚、保的机制、速率和过程。总之,海相改造残留盆地是高度复杂的盆地,必须采用最先进的技术方法,开展深入细致的研究才可能揭示其内在规律,在油气勘探上取得突破。

随着中国东部中生代原生油气盆地勘探逐渐进入中晚期,分布广泛的海相改造残留盆地已越来越受到人们的重视^[11]。我国油气资源丰富,初步预测石油资源量为 940×10^8 t,天然气资源量为 38×10^{12} m³,但目前探明程度很低,石油和天然气的探明率分别仅为 21% 和 7%,未探明的储量大多数都在海相改造残留盆地之中,以塔里木盆地为例,到 1997 年为止,其石油的探明程度仅 2.33%,天然气仅 1.52%,因此发展潜力很大,海相改造残留盆地必将成为我国 21 世纪油气勘探的主战场。

改造残留盆地具有重要的勘探意义,但地质特征高度复杂,勘探难度很大。从而改造残留盆地的成藏机制和勘探技术方法是我国油气勘探带战略性、方向性的重大难题,作为前瞻性的科研工作,从现在起应当开始对改造残留盆地的盆地动力学机制、油气成藏

动力学机制、地质特征和演化规律开展深入研究,建立能够适应改造残留盆地复杂地质特征和油气勘探需要的新理论、新技术和新方法,为在改造残留盆地油气勘探取得突破奠定重要理论基础。

参 考 文 献

- 1 冯福润,王庭斌,张士亚,等. 中国天然气地质[M]. 北京:地质出版社,1995
- 2 刘池洋. 后期改造强烈——中国沉积盆地的重要特点之一[J]. 石油与天然气地质,1996,17(4): 225~ 261
- 3 刘池洋,孙海山. 改造型盆地类型划分[J]. 新疆石油地质,1999,20(2): 79~ 82
- 4 王英民. 残余盆地的特征及其油气资源评价方法的发展方向[J]. 海相油气地质,1996,1(1): 48~ 51
- 5 马宗晋. 现今全球构造特征及其动力学解释[J]. 第四纪研究,1992,(4): 293~ 305
- 6 MacGregor D S. Fractors controlling the destruction or preservation of giant light oilfields[J]. Petroleum Geoscience, 1996, (2): 197~ 227
- 7 孙肇才,邱蕴玉,郭正吾. 板内形变与晚期次生成藏——扬子区海相油气总体形成规律的探讨[J]. 石油实验地质,1991,13(2): 107~ 142
- 8 戴金星,王庭斌,宋岩,等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京:地质出版社,1997
- 9 康玉柱,张文献,蒋炳南,等. 中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M]. 北京:地质出版社,1996
- 10 王英民,邓林,贺小苏,等. 海相残余盆地成藏动力学过程模拟理论方法[M]. 北京:地质出版社,1998
- 11 刘光鼎. 试论残留盆地[J]. 勘探家,1997,2(3): 41~ 45

GEOLOGICAL CHARACTERS AND EXPLORATION PROSPECTS OF REFORMED- RESIDUAL BASINS

Wang Yingmin

(Research Center of Basin and Reservoir, Petroleum University, Beijing)

Abstract: Pre-Cenozoic marine strata widely developed in China. These strata have rich potential hydrocarbon reserves but their exploration degree and success ratio are low since they underwent multi-stage reformation and have the feature of residual basin. The reformation includes erosion, structural deformation and deep burial etc. However, the ways of reformation, such as being superposed by foreland basin or rift basin, being uplifted as a plateau or highland, being transformed from thrust folds into fault-fold belt or even orogenic zone, etc. Marine residual basins have complex hydrocarbon pool-forming dynamics. The most important hydrocarbon pool-forming properties are: (1) multi-stage hydrocarbon accumulation resulted in the formation of complex oil and gas systems with dispersed oil and gas pools; (2) late-stage pool-forming controlled by Himalayan movement. Therefor, the key problem of petroleum exploration in residual basins is to understand and describe their heterogeneity of geological characters, grasp the dynamic process of hydrocarbon generation, migration, dispersion and accumulation, study the evolution history of various geological factors. In short, marine reformed residual basins bear bright prospects in oil and gas exploration, and they bound to be the main targets of China's oil and gas exploration in the 21st century.

Key words: reformed- residual basin; marine strata; hydrocarbon- forming process pool-forming dynamics; Himalayan stage