

文章编号: 1001- 6112(2007)02- 0143- 06

含油气系统理论在中国盆地研究中的应用与发展

罗开平^{1,2}, 周祖翼¹, 何治亮³

(1. 同济大学, 上海 200092; 2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151; 3. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 含油气系统(petroleum system)概念提出后的 20 多年里, 世界油气勘探业走过了一条(博弈)理性、随机)系统、盲从)高效之路, 它的诞生和应用/ 明显地提高了勘探成功率, / 已经成为一种重要的勘探工具。我国的石油地质家和勘探家在 20 世纪 60 年代总结和提出了/ 成油系统)的思想, 并在此后的 20 年间又相继发展和提出了/ 源控论)0、/ 定凹选带)等几乎和含油气系统/ 等效)的认识和理论体系, 在指导我国东部相对简单盆地的油气勘探中发挥了重要作用。从 20 世纪 80 年代后期开始, 中国石油人在对西部和南方多旋回叠合或改造盆地的/ 求知)中, 在中国盆地的/ 土壤)上, 创新性地提出了/ 复合含油气系统)0、/ 复式含油气系统)0、/ 油气保存单元)等更贴近/ 中国型)盆地风格和特点的含油气系统概念, 并取得了在这一领域油气勘探的重大发现和突破。中国的几辈石油人在/ 接力棒)式的探索和实践不断沉淀和积累, 促进了含油气系统思想和中国盆地的/ 融合)0, 在含油气系统理论体系中添上了浓浓的中国色彩。

关键词: 油气保存单元; 复式(合)含油气系统; 含油气系统; 多旋回; 中国盆地

中图分类号: TE122

文献标识码: A

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF PETROLEUM SYSTEM IN CHINA BASINS

Luo Kaiping^{1,2}, Zhou Zuyi¹, He Zhiliang³

(1. Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: In the over 20 years since the idea of petroleum system was put forward, petroleum exploration worldwide has undergone a way from risk to sense, random to system and blindness to high effect. The naissance and application of petroleum system have markedly improved exploration success ratio and become an important exploration tool. In the 1960s, petroleum geologists and explorationists in China brought forward the idea of / oil generation system). And in the following 20 years, the knowledge and theory system of / source controlling theory) and / determining depression and selecting zone) which is equivalent to petroleum system was developed, playing an important role in guiding petroleum exploration in relatively simple basins in the east of China. In the late 1980s, several innovative petroleum system concepts including / multiplex petroleum system), / complex petroleum system) and / petroleum reserve unit) which are closer to Chinese basin style and characteristics were put forward based on the study of multicycle superimposed or deformed basins in the west and south of China, resulting in great discoveries in this field. Generations of Chinese petroleum workers have been exploring and practicing successively, whose experiences have enhanced the amalgamation of petroleum system with Chinese basins, making petroleum system Sinicized.

Key words: petroleum reserve unit; complex petroleum system; petroleum system; multicycle; basins in China

油气勘探正面临越来越复杂的对象和领域, / 饱经沧桑)的/ 中国型盆地)更是给中国的地质家和勘探家提出了严峻的挑战。运用先进的油气勘

探思想和方法找到更多社会急需的油气, 是摆在石油人面前的当务之急。/ 含油气系统)作为一种重要、有效的勘探工具, 经过中国石油人的长期勘探实

收稿日期: 2006- 07- 31; 修订日期: 2007- 02- 28。

作者简介: 罗开平(1964), 男(汉族), 湖北天门人, 博士, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究。

践和对中国盆地的求知,已被赋予和植入了许多中国内涵和特色,得到了不断完善和升华。

1 经典含油气系统概念和思想

Dow 被认为是含油气系统 (petroleum system) 理论的奠基人,基于对美国 Williston 盆地原油成因和分布规律的研究,他于 1972 年在 AAPG 年会上正式提出了石油系统概念,其主要观点是在确定成熟烃源岩范围基础上,通过对石油运移通道和盖层分布范围的确定,可以预测或找到最有可能发现石油的含油气区带,确定和划分石油系统的依据是油源对比的地球化学原理,石油聚集依生烃灶的不同具有族群性特征,商业性石油聚集依赖于较好质量和规模以及成熟的烃源岩^[1,2]。这一学术思想和成果奠定了现代含油气系统理论和研究的基础。

Perrodon 和 Masse 于 1984 年最早使用了含油气系统概念,并将含油气系统理解为由一系列相关要素和地质事件组成的系统,一个含油气系统的形成是各种物理、化学变化共同作用的结果,这些作用直接控制着油气的生成、聚集和散失^[3]。之后, Demaison^[4], Meissner 等^[5], Umishek^[6], Magoon^[7] 又相继提出了产油盆地 (generative basin)、石油生成器 (hydrocarbon machine)、独立含油气系统 (independent petroliferous system) 和含油气系统的概念,并分别阐述了它们的含义。其中, Magoon^[7] 首次用基本要素代表烃源岩、运移通道、储集层、盖层和圈闭,强调必须把基本要素与空间和时间结合起来才能有效研究石油的演化过程,并明确了含油气系统的识别要以油源对比为依据。

目前,人们普遍接受的含油气系统的概念是 Magoon 和 Dow^[1] 关于含油气系统的经典表述:含油气系统 (petroleum system) 是一个自然的系统,它包含活跃的烃源岩及与该源岩有关的所有已形成的油、气,并包含油气藏形成时所必不可少的一切地质要素及作用;所谓活跃的烃源岩,是指地质历史中曾经活跃的油气源岩,但现在也许已不再活跃或者已消耗殆尽;所谓油气,包括高度聚集赋存于常规储层的任何烃类物质、天然气水合物、致密储集层、裂缝性页岩和煤层中的热成因及生物成因的天然气、硅质碎屑岩、碳酸盐岩中的凝析油、原油、重油及固态沥青;地质要素包括油气源岩、储集岩、盖层及上覆岩层等静态因素,上覆岩层的厚度、地温是源岩层生排烃的决定因素,因而

是重要的地质要素之一;地质作用则包括圈闭的形成及烃类的生成、运移和聚集过程。相互依存的地质要素和作用组成了形成油气藏的功能单元即含油气系统。这些基本要素和作用必须有适当的时空配置,才能使源岩中的有机质转化为油气,进而形成油气藏。含油气系统是介于盆地 (basin) 和油气聚集带 (play) 之间的一个概念^[1]。借助于四图一表 (即关键时刻的埋藏史曲线图、含油气系统平面分布图、空间展布剖面图、含油气系统事件图、烃源岩及与之相关的油气藏分布统计表) 可以对一个含油气系统进行描述和评价。

尽管上述研究和认识大多是基于单旋回和非复杂结构的盆地,其源藏对应关系也相对简单,存在很多局限性,但 (经典) 含油气系统首次将系统论的观点引入到对油气形成的分析,使地质家和勘探家能更全面和有序地认识和追溯这一复杂的历史客观过程,准确地对油气藏进行定时、定位和定量^[8],因而被广泛接受和应用。

2 中国 (含油气) 盆地的类型和 (结构) 特点

中国大陆是由规模不等、时代不一的克拉通块体与其间不同时代褶皱回返的造山带拼合而成的,多旋回的板块构造演化和复杂的板块构造作用造就了多类型的盆地 (原型) 和盆地充填。中、新生代变格盆地同古生代盆地不同体制的叠加构成了中国盆地的特色, Bally 用中国型盆地表述了中国盆地的风格和特点^[9]。笔者在下文中提及的 3 种类型的盆地并不是严格意义上的盆地分类,只是代表了现今盆地的面貌。分析其成盆背景、原型、演化和现今结构可以帮助我们更好地认识和对不同类型盆地含油气系统的特征。

2.1 相对简单的中、新生代裂陷盆地或断拗叠合盆地

从侏罗纪开始,在总体或局部为引张的大陆地球动力学背景下,中国大陆经历了侏罗纪白垩纪裂谷作用和含煤沉积建造发育阶段及第三纪中国东部裂谷盆地发育阶段 2 个重要的盆地发育时期。前者形成了西起准噶尔、吐哈盆地,东至二连、松辽盆地,绵延约 5 000 km,以断陷裂谷为盆地背景的著名的纬向侏罗白垩纪陆相油气富集黄金带;后者则形成了依兰-依通-渤海湾-江汉和黄海-东海-南海 2 个裂谷盆地系 (群),分别构成了我国东部大陆径向油气富集黄金带和大陆沿海/镶边油气富集带^[10]。下断上拗的二元结构是

这类盆地最典型和最重要的构造特征, 并且由于后期的改造并不强烈, 原型盆地的面貌和特征基本上得以保留。

图 1 清楚地揭示了松辽盆地的结构特点, J₃ 断陷层和上覆 K_{1q} K_{2q} 拗陷层构成明显的双层结构。

2.2 中国中西部多旋回叠合盆地

叠合盆地是指在地壳的某一负向构造单元内, 多时代、多类型沉积盆地相对集中发育而形成的一类沉积盆地^[11]。

显生宙以来的中国盆地可以分为古生代海相盆地和中、新生代陆相盆地两大盆地系统, 它们是不同的板块运动体制下的产物。朱夏^[12] 曾经指出, 中国从印支运动以来出现了一种新的运动体制, 改变了以前古生代构造格局。前中生代盆地类型相对简单, 分为克拉通内部盆地、克拉通边缘盆地、拗拉谷或裂陷盆地 3 种基本类型; 中生代和新生代的盆地则具有相对复杂的板块构造环境, 可分为伸展环境、挤压环境和走滑环境 3 种基本类型。中国中、西部的大多数发育在古老稳定克拉通上的大、中型盆地均经历了古生代和中、新生代 2 个世代、不同板块运动体制下的成盆和变格作用, 在多次的、非均一的、具有迁移特点的大地构造格局转变、沉积区和剥蚀区转换、盆地类型转换、大型不整合及构造反转等多种形式的变革过程中, 造就了多旋

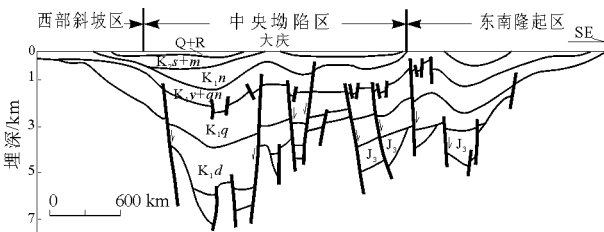


图 1 松辽盆地地质结构剖面

Fig. 1 Tectonic profile of the Songliao Basin

回叠合盆地构造上分层性、分带性、分段性、交叉性和构造应力场的多变性等特征^[13], 形成了诸如塔里木、准噶尔、鄂尔多斯、四川盆地等典型的多旋回叠合盆地。作为其中的代表, 塔里木盆地现今的构造格局总体表现为“三隆四拗”, 自北向南依次为: 库车拗陷、塔北隆起、满加尔拗陷、塔中隆起、唐古孜巴斯拗陷、塔南隆起和塔东南拗陷。盆地演化经历了震旦—奥陶纪克拉通陆内拗拉槽阶段、志留—泥盆纪周缘前陆盆地阶段、石炭—二叠纪克拉通边缘拗陷和克拉通内裂陷阶段、三叠—侏罗纪前陆盆地阶段、白垩—早第三纪再生前陆盆地阶段和晚第三纪—第四纪前渊盆地阶段等 6 个主要阶段, 加里东运动、海西早期运动、海西晚期运动及印支运动和喜马拉雅运动等多期区域构造事件成为影响和控制盆地发育、转型、叠加和改造的主要因素(图 2)。尽管经历了多期次的变革事件, 原型盆地的原貌和格架受到不同程度的侵蚀和破坏, 但通过各种“痕迹”的辨析, 仍能大致得以恢复。

2.3 南方中生代海相改造盆地

所谓改造盆地, 即盆地的原型(原始面貌和沉积建造)在后期遭到较明显改造的沉积盆地^[14]。显然, 变格运动是区分盆地的原型和改造的标尺。以此来衡量, 我国的古生代盆地和中西部及南方的盆地、东北、华北的大中型盆地、东南沿海的前第三纪盆地均属于改造盆地, 亦即多旋回盆地大部分应该都属于改造盆地。但由于多旋回盆地所经历的盆地“叠加复合”方式(变格叠加、体制叠加)的不同或后期构造变革程度(强、中、弱)的差异, 我们习惯上把盆地原型经历了(较强)强烈改造、原型面貌和特征大部分遭受破坏的“残留”盆地称为改造盆地。如下扬子地区的古生代盆地在历经(挤)拆)张)拗的变革成盆过程后, “四室同堂”、“面目全非”, 表现为典型的构造改造盆地^[15]。

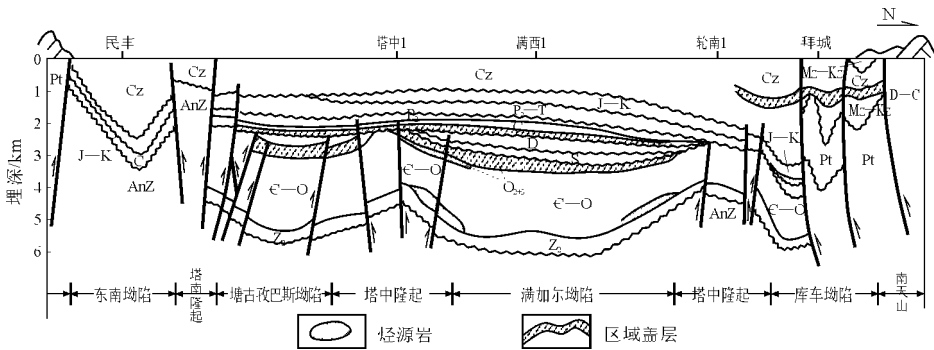


图 2 塔里木盆地构造单元划分及构造剖面

Fig. 2 Tectonic unit division and profile of the Tarim Basin

中国南方除了四川盆地持续保持着/盆山耦合0外,其他地区在后造山期(早)中燕山期和晚燕山期)喜马拉雅期)强烈造山运动的改造下,滇黔桂地区遭受了挤压冲断、走滑拆离和隆升剥蚀等破坏性改造;中、下扬子区则在以逆掩冲断为特色的中、古生界海相拗陷层上叠覆了以区域拉张为背景的伸展盆地。因此,除四川盆地外,南方盆地总体上表现为/下压上张0的双层结构^[16]。下部构造层由加里东)印支期海相盆地(Z_2 - T_2)与前陆盆地(T_3 - J_1 - 2)叠加,并经晚印支)中燕山期(T_3 - K_2)强烈挤压改造,相对于西部多旋回叠合盆地继承性较明显。南方的改造盆地经历了长时间的逆掩冲断和隆升剥蚀(J_2 - K_2),地层缺失多,断弯背斜和削顶现象非常普遍,与上覆伸展层有较大角度的不整合,盆地原型遭受严重改造和破坏,使得海相层现今展布状况非常复杂(图 3)^[17]。

3 中国盆地的含油气系统

作为盆地演化的响应,含油气系统(特征)在一定程度上反映了盆地的风格、类型和特点。

3.1 简单含油气系统

简单含油气系统是指包含一个或者多个生烃灶,油气生成、运移和聚集过程基本上是一期完成的,且不同生烃灶中的油气互不串通,油气分布遵从/源控论0的含油气系统,它对应于 Magoon 和 Dow 的经典含油气系统。图 4^[11]表达了这类含油气系统的剖面 and 平面分布特征。我国东部松辽盆地白垩纪拗陷湖盆所形成的含油气系统和渤海湾盆地一系列第三纪断陷湖盆中形成的含油气系统均属于这类含油气系统。

3.2 多旋回叠合盆地的复式含油气系统

多旋回叠合盆地促生了复式含油气系统。

复式含油气系统(multiple petroleum system)对应于简单的、经典含油气系统,其差别在于前者结构要素和相互作用的多样性和复杂性,它是发育在多旋回叠合盆地基础上,由多个生烃拗陷、多套烃源岩和多期次生烃构成的复式烃源+原生和次

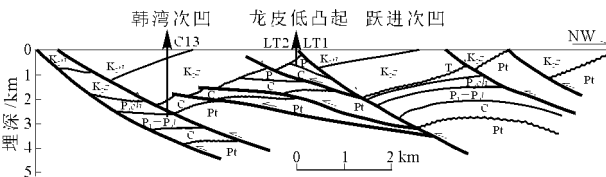


图 3 鄱阳盆地二甲村凹陷地质结构剖面^[17]

Fig. 3 Tectonic profile of the Erjiacun Sag, the Boyang Basin

生孔隙与溶蚀及裂缝作用产生的/改造型0储层构成的复式储集空间+各类盖层及异常压力带构成的复式封闭系统+大量发育的不整合、断裂系统、输导层及汇烃脊构成的复杂输导网络+联合变形作用、复合变形作用与多种沉积、成岩作用一起形成的各种圈闭组合、叠加构成的复式圈闭系统+油气聚集后的改造、重建封闭和保存而具有复杂的成藏史等要素和作用构成的复杂含油气系统^[18]。虽然复式含油气系统的定义中已经非常鲜明地表达了其特点,但仍需强调的是,复式含油气系统的形成往往有多个关键时刻,既包括多套烃源岩大量生烃和成藏的关键时刻,还包括已经聚集的油气发生调整、再运移和聚集所对应的关键时刻。显然,对这类复式含油气系统的描述和评价仅用 Magoon 和 Dow 经典含油气系统的/四图一表0是无法实现的,应该采用/逐步叠加0和/顺藤摸瓜0的思路,在逐一解剖各次级系统(半独立系统)的基础上,把握住各次级系统/复合0的关键时刻,并在该时间界面上确定含油气系统的范围和油气聚集的最可能或

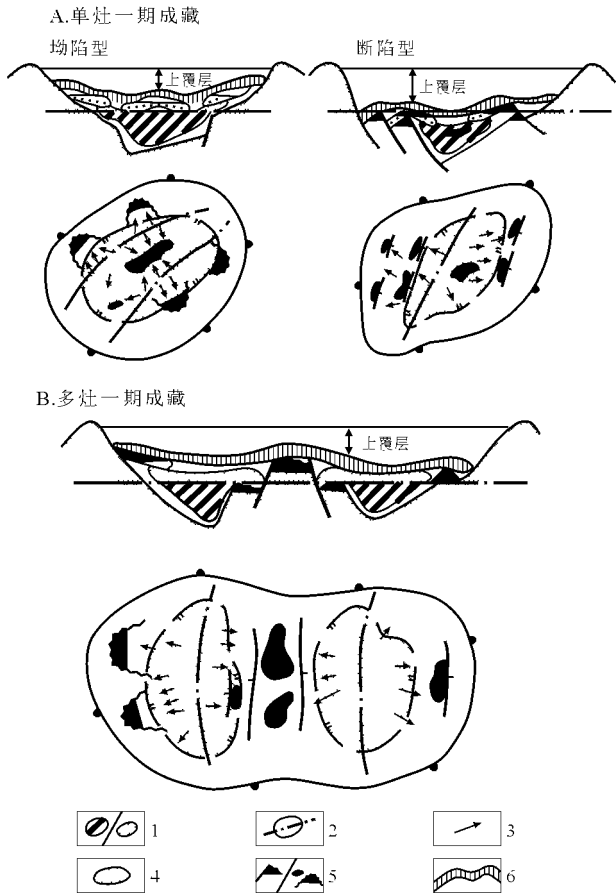


图 4 简单含油气系统分布模式^[11]

1. 成熟/未熟烃源岩; 2. 油气运移分隔槽; 3. 油气运移方向; 4. 有效生烃灶; 5. 油气藏/油气田; 6. 盖层

Fig. 4 Model of simple petroleum system

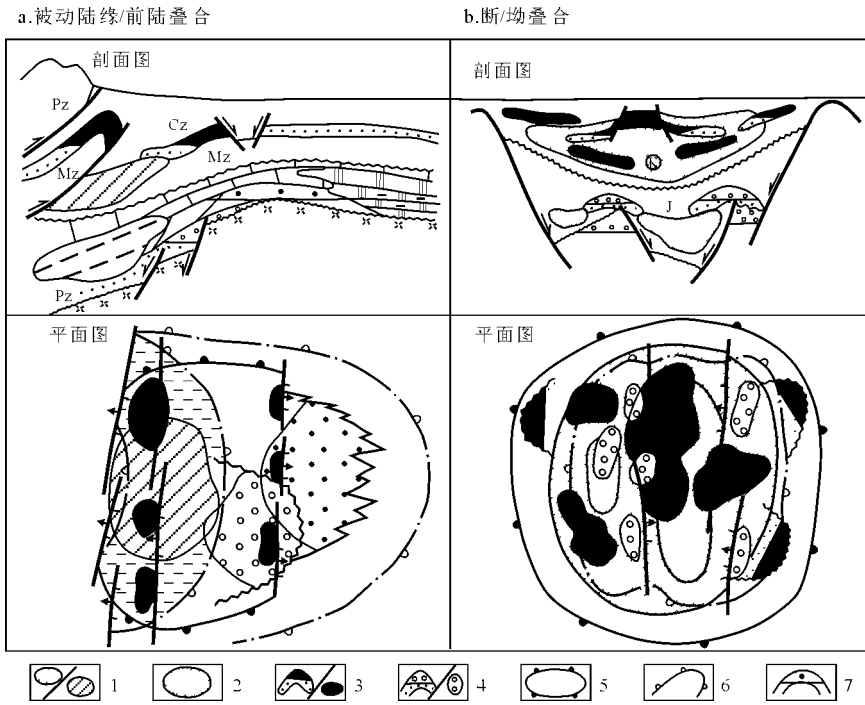


图 5 2 种典型叠合盆地复式含油气系统分布模式^[11]

1. 生油灶(时代); 2. 生气灶; 3. 油藏/油田; 4. 气藏/气田; 5. 含油系统边界; 6. 含气系统边界; 7. 碳酸盐岩油藏

Fig. 5 Model of complex petroleum system in 2 typical superimposed basins

最有利的空间^[11, 19]。塔里木盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地等大型多旋回叠合盆地中的含油气系统均为复式含油气系统。图 5^[11] 给出了 2 种最常见叠合盆地中的复式含油气系统结构和分布模式。

3.3 南方海相改造盆地的“油气保存单元”

沉积盆地是最基本的石油地质单元和油气勘探对象。

古生代时期中国南方是一个巨型的海相沉积盆地, 也是一个大型的含油气盆地。但印支期以来的扬子周缘和陆内造山使其内部结构支离破碎、面目全非, 区域构造单元只能反映构造发展和现今格局的差异。复杂的地质构造、开启程度很高的水文地质条件及截割和破坏严重的盖层条件使得原型盆地和目前的构造单元已不具备盆地的“功能”。对这样一个地质体内含油气系统的表述必须赋予新的内涵^[20], 并有相应评价思路和技术指标。

在南方海相油气勘探的过程中, “保存条件”一直是一个重要的因素, 并从“保存区”逐步演绎出了“油气保存单元”的概念。“油气保存单元”是指具有整体封闭保存条件的、含有一个或数个现今含油气系统的地质单元, 它既包含了地史上曾经形成并保存或残存下来的原始含油气系统, 也包含了经过多期改造、调整和晚期新生的含油气系统^[20]。

这一概念是定义在具有如下特点的南方海相客观基础之上的: 1) 南方海相盆地是经过多期构造旋回改造和沉积叠加的构造残留盆地或构造拗陷, 海相原型盆地已被严重破坏; 2) 与古生代海相盆地经历了前造山期原型盆地、同造山期前陆盆地、后造山期陆内改造阶段相对应, 其含油气系统也经历了原始系统形成、演化、破坏与保存 3 个阶段, 目前的油气保存单元是含油气系统演化的最终归宿, 是油气勘探的基本单元; 3) 海相原始含油气系统与现今残存或赋存的含油气系统范围和状况大不一样, 多数情况下, 油气保存单元内只保存了含油气系统的油气藏部分, 并不一定包含含油气系统中完整的地质要素; 4) 在多旋回的盆地叠加和改造过程中, 伴随着封闭条件的形成(破坏)重建, 含油气系统也相应的发生着形成(演化(破坏、调整))再生等系列变化, 它往往是多期生烃、多期成藏(特别是晚期成藏)的产物。

因此, “油气保存单元”被同时赋予了“整体封闭保存体系”和“含油气系统”的内涵。油气保存单元相对于(原生)含油气系统形成的原型盆地, 在空间上更接近于含油气系统的范围, 在勘探上这无疑缩小了勘探靶区, 从而更逼近于油气藏。

南方海相/先天(烃源条件)优越、保存是关键”的现实, 决定了封闭条件是划分和确定油气保存单

元的主要依据,上覆地(岩)层成为油气保存单元的最重要的地质要素,沉积埋藏史和生烃史是表现和刻画含油气系统特征的主要标志。将油气保存单元分为持续型、保持型、重建型和残留型等 4 种基本类型即体现了这种特点和差别^[20,21]。

4 趋势与展望

4.1 沉积盆地与含油气系统

含油气系统是构建在沉积盆地上的一个综合物质系统,盆地认识的进展不断丰富和更新着含油气系统的内涵和形式。地质家和勘探家面对各种类型的盆地,如何去理解、分析和评价,需要合理的认识。面对这样一个/暗箱式0的、无法重现的物质系统,要认识其中各种要素的状态及其之间的相互作用和关系,能依靠的只能是人的大脑和所掌握的工具^[22]。盆地模拟无疑是一种行之有效的方法和技术,它改善和完善了盆地分析的方法和途径,使我们能从整体时空上认识盆地中油气生成、运移与分布的全过程。

4.2 含油气系统数值模拟

含油气系统模拟已成为油气地质研究领域中国继盆地模拟之后又一重要的发展方向和研究热点。它倡导和提供的/立足现在、面向过去、着眼过程0的系统思维和手段,代表了石油地质综合研究的趋势。/实用化系统结构模型的构建、模拟过程的全三维化、一体化的勘探专业技术集成、可靠而实用的勘探工具0成为含油气系统模拟的发展方向。中国盆地的特殊性和复杂性决定了中国石油人必须在这个领域付出更多、更艰苦的工作,一向把国家的需要视为最高使命的他们,除了力图找到更多社会急需的石油外,也终会向世人展示数值化的中国盆地和数值化的中国含油气系统。

参考文献:

- Magoon L B, Dow W G. The petroleum system[A]. In: Magoon L B, Dow W G, eds. The petroleum system: from source to trap, AAPG memoir 60[M]. Tulsa: AAPG, 1994. 3~ 24
- Dow W G. Application of oil correlation and source rock data to exploration in Williston basin[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(7): 1253~ 1262
- Perrodon A, Masse P. Subsidence, sedimentation and petroleum systems[J]. Journal of Petroleum Geology, 1984, 7(1): 5~ 26
- Demaison G. The generative basin concept[A]. In: Demaison G, Murriss R J, eds. Petroleum geochemistry and basin evaluation, AAPG memoir 35[M]. Tulsa: AAPG, 1984. 1~ 14
- Meissner F F. Petroleum geology of the Bakken Formation, Williston basin, North Dakota and Montana[A]. In: Demaison G, Murriss R J, eds. Petroleum geochemistry and basin evaluation, AAPG memoir 35[M]. Tulsa: AAPG, 1984. 159~ 179
- Umishek G. Stratigraphic aspects of petroleum resource assessment[A]. In: Rice D D, ed. Oil and gas assessment: methods and applications, AAPG studies in geology 21[M]. Tulsa: AAPG, 1986. 59~ 68
- Magoon L B. The petroleum system classification scheme for research, resource assessment and exploration[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 587~ 596
- 费琪. 成油体系分析与模拟[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997
- Bally A W, Snelson S. Realms of subsidence[A]. In: Maill A D, ed. Facts and principles of world petroleum occurrence, Canadian Society of Petroleum Geologists memoir 6[M]. Alberta: CSPG, 1980. 9~ 94
- 罗志立, 田作基, 徐旺. 试论中国大陆径向和纬向石油富集/黄金带0特征[J]. 石油学报, 1997, 18(1): 1~ 9
- 赵文智. 中国含油气系统: 基本特征与评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 106, 110
- 朱夏, 陈焕疆. 中国中、新生代构造与含油气盆地[J]. 地质学报, 1983, 57(3): 235~ 242
- 汤良杰, 贾承造, 金之钧等. 中国西北叠合盆地的主要构造特征[J]. 地学前缘, 2003, 8(4): 118~ 123
- 刘池洋, 杨兴科. 改造盆地研究和评价的思路[J]. 石油与天然气地质, 2000, 3(1): 11~ 14
- 张渝昌. 关于盆地油气动态成藏系统研究的理论问题[A]. 见: 周玉琦编. 朱夏油气地质理论应用研讨文集[G]. 北京: 地质出版社, 2001. 207~ 211
- 刘云生, 郭战峰, 梁西文. 中上扬子地区晚三叠世) 侏罗纪砂岩构造意义及盆地耦合关系[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 201~ 205
- 梁兴, 张廷山, 刘家铎等. 中国南方叠合盆地及油气成藏特征与勘探选区[J]. 南方油气, 2005, 3(1): 1~ 8
- 何治亮, 罗传容, 龚铭. 中国多旋回叠加盆地与复式成藏系统[A]. 见: 杨朴编. 中国新星石油文集[G]. 北京: 地质出版社, 1999. 170~ 176
- 郑求根, 吴冲龙, 王燮培等. 对叠合盆地油气系统研究方法和分类问题的思考[J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 42~ 48
- 梁兴, 吴少华, 马力等. 赋予含油气系统内涵的南海相含油气保存单元及类型[J]. 海相油气地质, 2003, 8(3~ 4): 81~ 88
- 何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理[J]. 石油与天然气地质, 2004, 2(1): 1~ 8
- 何治亮. 本体论与认识论中的沉积盆地[J]. 中国西部油气地质, 2006, 3(1): 8~ 13