

文章编号: 0253-9985(2006)06-0722-07

中国海相油气勘探前景、主要问题与对策

金之钧, 蔡立国

(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: 塔河、普光大油气田的发现表明中国海相层系油气资源潜力大, 是重要的油气资源战略接替领域。但是, 中国海相层系形成时间早, 演化历史长; 盆地多阶段演化形成了多套烃源岩、导致了多期成藏和后期的多次调整, 油气分布规律复杂, 勘探风险大。因此, 要取得海相层系油气勘探的新突破, 发现更多、更大的油气田, 必须坚持勘探和持续投入, 坚持理论创新与技术进步, 针对海相层系面临的主要问题, 发展我国的海相油气成藏理论技术, 围绕“多期构造活动背景下海相碳酸盐岩层系油气聚散机理与富集规律”核心科学问题, 突出构造演化这一条线, 把握三个重点—烃源岩、储层、保存有效性研究重点, 强化三个结合—理论创新与勘探实践结合、区域评价与目标评价结合、地质研究与工程技术结合, 定能在海相层系发现更多的大油气田。

关键词: 海相油气勘探; 油气聚散机理; 富集规律; 保存有效性

中图分类号: TE111.2 文献标识码: A

Exploration prospects, problems and strategies of marine oil and gas in China

Jin Zhijun, Cai Ligu

(Exploration and Production Research Institute, Sinopec, Beijing 100083)

Abstract The discovery of giant oil/gas fields, Tahe and Puguang, shows that China's marine sequences have great hydrocarbon potentials and can be a very important option of strategic energy replacement in China. However, due to an early formation and long evolution history, the marine sequences in China had gone through a multistage evolution, during which several sets of source rocks had formed with several episodes of reservoiring and adjustment. As a result, the distribution of oil and gas in the strata is so complicated that the exploration is full of risk and uncertainty. Therefore, new exploration breakthroughs and discovery of more and larger oil/gas fields in marine sequences require insisting on exploration and continuous investment, adhering to theoretical innovation and technological advancement, developing the hydrocarbon reservoiring theory and exploration technology of China's marine sequences to solve the key issues concerning exploration of marine sequences, centering on the scientific topic of 'hydrocarbon accumulation and dissipation mechanisms and enrichment pattern in marine carbonates in a multistage tectonic setting, highlighting the study of structural evolution, focusing on the research of source rocks, reservoirs, and sealing effectiveness, and emphasizing on three combinations, i.e. the combination of theoretical innovation with exploration practices, regional evaluation with target assessment, and geological study with engineering techniques. Only by doing all that can we find more large oil/gas fields in the marine sequences.

Key words marine oil and gas exploration; oil and gas accumulation and dissipation; enrichment pattern; sealing effectiveness

中国的石油与天然气勘探大体经历了古代的萌芽阶段 (1907年前)、近代的引入阶段 (1907—1949年)、油气发现阶段 (1950—1959年)、展开勘探阶段 (1960—1985年) 和深化勘探阶段 (1986—2006年) (翟光明等, 2005), 逐步形成了具有中国特色的以陆相生油理论为核心的陆相油气勘探理论, 使我国在陆相油气勘探方面立足于世界前列。

中国海相油气勘探工作开始于二十世纪五十年代初期四川盆地川南天然气勘探和 1957 年早春石油沟构造巴 9 井的强烈井喷, 标志着我国海相碳酸盐岩层系勘探的开始; 直至 1964 年发现了第一个大型气田—威远震旦系气田, 探明天然气储量达 $408.61 \times 10^8 \text{ m}^3$; 其后, 发现五百梯石炭系大型气田, 探明天然气储量达 $409.0 \times 10^8 \text{ m}^3$; 2003 年发现普光特大型气田^[1], 2005 年探明天然气储量 $2510.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。塔里木盆地自沙参 2 井在寒武—奥陶系碳酸盐岩中获得高产工业油气流后^[2], 在塔北隆起发现了轮南—塔河大油田, 探明、控制及预测储量约 $15 \times 10^8 \text{ t}$ ^[3]; 在鄂尔多斯盆地发现了苏里格气田、长庆气田和大牛地气田^[4], 探明地质储

量分别为 5336.52×10^8 、 6230×10^8 和 $2943.85 \times 10^8 \text{ m}^3$; 在济阳坳陷深部发现了埕岛等古潜山油田, 此外在塔中隆起、巴楚隆起上也均有碳酸盐岩油气田的发现。显示我国海相碳酸盐岩具有良好的勘探前景和巨大潜力。

1 塔河、普光特大型油气田的发现启示

我国海相碳酸盐岩层系分布面积广、厚度大 (图 1)^[5~9]。近年发现的塔河特大型油田及普光特大型气田表明了随着理论认识的升华、科学技术的进步, 我国前新生代海相碳酸盐岩具有良好的勘探前景和巨大的潜力^[10~23], 是我国油气资源战略接替的重要领域。

1.1 坚定信心、坚持勘探

1984 年 9 月在雅克拉构造沙参 2 井实现奥陶系油气田重大突破后, 一度由于有些井奥陶系油气产量不稳定, 油水同出, 有的井出几天油就停产等现象, 使人们对塔里木盆地海相油气的前景产生

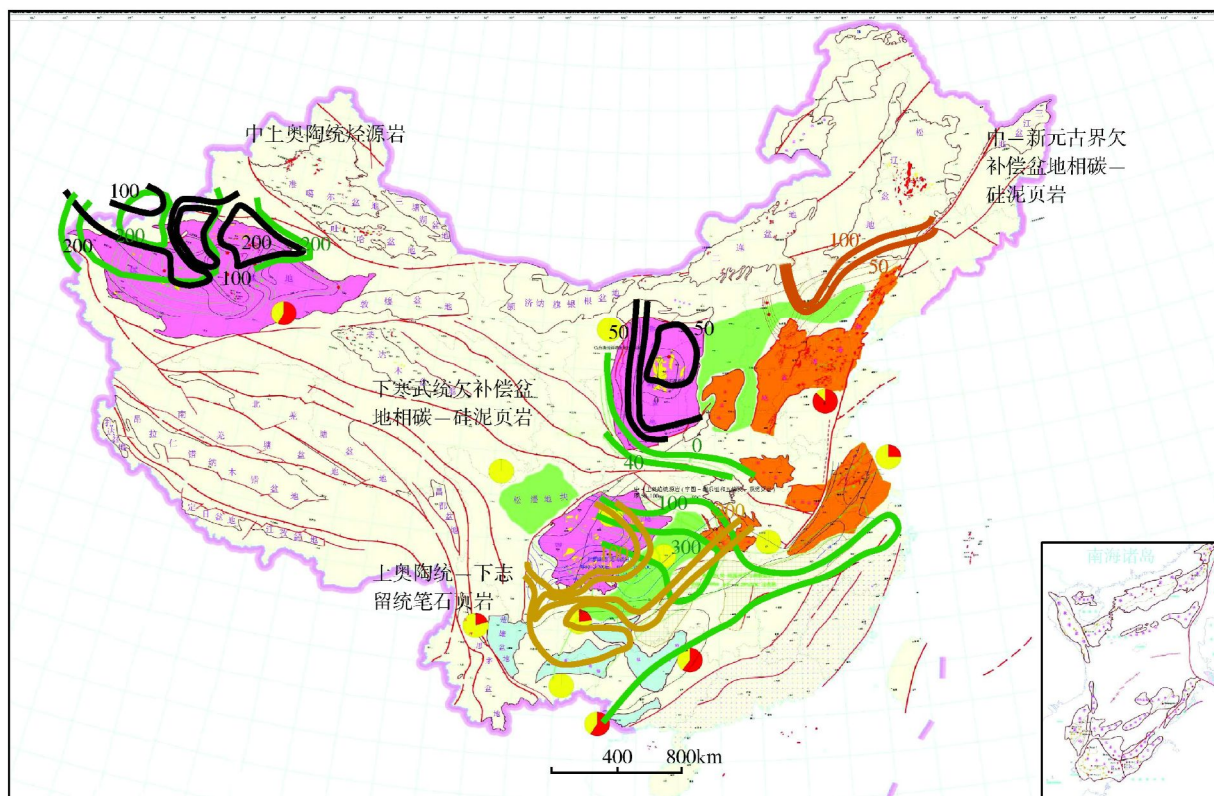


图 1 中国海相碳酸盐岩层系勘探前景图

Fig. 1 Exploration prospects of China's marine carbonates

怀疑,并出现勘探低潮。但在“坚持克拉通、坚持古隆起、坚持奥陶系”的勘探思路指导下,1997年于奥陶系及石炭系获高产油气流,特别是沙 48 井日产油 570 m^3 、天然气 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$,由此,发现了我国第一个古生界大油田——塔河大油田。

南方海相层系天然气勘探经近年来经过调整,采取“整体部署,分步实施;精细准备,先易后难;积极探索,加快突破”的勘探方针,勘探重点向扬子北缘地区转移。分层次开展科研攻关。从成盆、成烃、成藏三个方面,深化南方海相选区评价研究,取得了一系列研究成果与进展,发现了四川盆地最大的天然气田——普光气田。

因此,无论是西部塔里木盆地,还是南方四川盆地的海相碳酸盐岩层系,资源探明率低(图 2),油气勘探潜力大,具备发现大中型油气田的资源条件。关键是面对复杂油气地质条件,必须坚定信心,坚持探索,保证勘探的持续投入,这是中国海相碳酸盐岩层系继续发现大油气田的前提条件。

1.2 勘探思路与勘探技术创新

1.2.1 三项地质新认识和三项工程技术进步确保塔河大油田储产量的快速增长

1) 多期发育岩溶形成的缝、洞系统(加里东

期、海西期岩溶作用)

塔河油田寒武系和奥陶系碳酸盐岩储层主要有岩溶型、礁滩型、白云岩型和裂缝型 4 种不同成因类型,其形成时期主要为加里东期、海西期和印支期。古地理环境、不整合面、层序界面及构造裂缝的良好匹配是碳酸盐岩储层发育的重要控制因素,多期构造运动形成的不整合面和裂缝是形成多种类型储层的有利条件。例如,加里东期岩溶的确定,使奥陶系勘探面积向南扩大了 $3\,000 \text{ km}^2$,勘探深度由 $5\,500 \text{ m}$ 延伸到 $6\,500 \text{ m}$,奥陶系探明石油地质储量 $5.875 \times 10^8 \text{ t}$ 、天然气 $183.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2) 长期发育的古隆起、古斜坡是岩溶发育的有利地区

塔河地区在古生代为克拉通内的一个长期继承性隆起;海西晚期以来,特别是喜马拉雅期,斜坡、坳陷区奥陶系烃源岩持续生烃,油气主要沿不整合面运移至中、下奥陶统古岩溶储集体中;后期多期次的构造运动,如印支、燕山和喜马拉雅运动,使众多海西期的断裂再次活动,并使得断裂系统更加复杂化,从而造成油气运移通道进一步网络化,并向浅部发展,使油气运移距离更远,向上聚集于石炭系、三叠系及其以上的碎屑岩储层中(图 3),成为大油气田形成的有利地区。

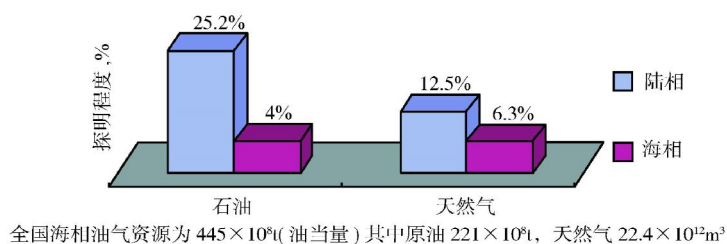


图 2 中国海相碳酸盐岩层系资源量及探明程度

Fig. 2 Resource extent and exploration maturity of China's marine carbonate sequences

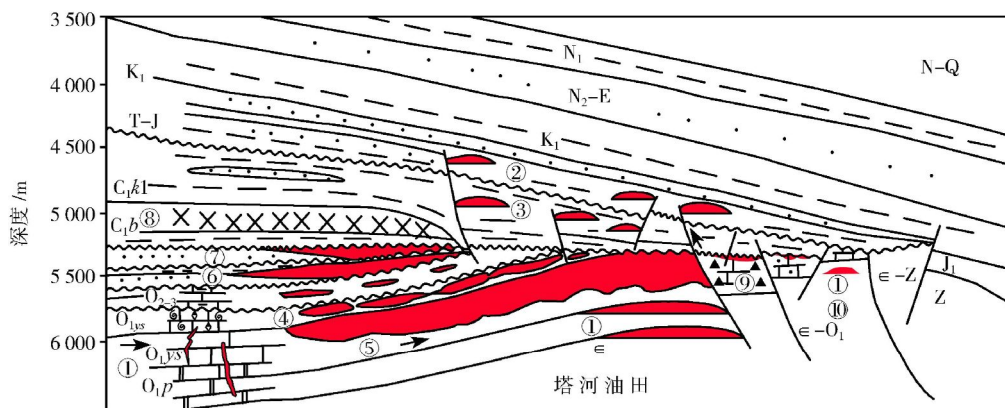


图 3 塔河油田成藏模式图

Fig. 3 Reservoir mode of Tahe oilfield

3) 多层系、多类型、碳酸盐岩、碎屑岩立体勘探

随着油气勘探的深入, 塔河油田勘探层位从奥陶系的岩溶型储层、寒武系白云岩逐步向上拓展到石炭系、三叠系。在志留系碎屑岩层发现多层次的含油气层位, 勘探呈现了向深部、向浅层和向外围拓展的态势, 改变了早期单一勘探目的层的思路, 进入了多层系、多类型、碳酸盐岩、碎屑岩立体勘探新的发展阶段, 油气储产量进一步提高。塔河立体勘探已为“十一五”塔河油田持续发展奠定了坚实基础。

4) 有效预测塔河油田缝洞储层, 提高钻井成功率

针对碳酸盐岩缝洞型储层的特点和预测难点, 开展超深层地球物理技术方法攻关, 通过制作不同尺度缝洞物理模型, 以及定性、定量采集数据分析研究这些溶洞的地球物理运动学和动力学变化特征、地震反射结构特征, 系统地分析了缝洞的串珠状反射成因, 建立了缝洞地震响应模式; 量化分析了缝洞规模与地震响应特征间的关系。以此作为理论依据, 建立了一套超深层碳酸盐岩缝洞型储层预测技术系列, 包括大型缝洞系统地震预测技术、小型溶洞地震预测技术、裂缝地震预测技术。利用这些技术, 准确预测塔河碳酸盐岩储层缝洞发育部位, 钻探吻合率 75% 以上。主体勘探区由 720 km² 扩大到 1 800 km²; 勘探深度由 5 500 m 延伸到 6 500 m。

5) 超深井盐膏层钻井技术为快速开发盐下油气资源提供强有力的技术支撑

采用室内实验、数值分析和计算机模拟相结合, 在三维条件下分析了盐膏层蠕变规律和井眼闭合规律, 提出能反映盐岩蠕变全过程的盐岩蠕变本构关系和损伤本构关系, 建立了控制井眼闭合速率的钻井泥浆密度设计方法, 优选出一套适于深井盐膏层钻井的聚磺硅酸盐欠饱和钻井液体系。确定了合理的非均匀载荷条件下盐膏层套管强度设计方法和软件, 提出了钻穿盐层工艺技术方法。上述研究成果不仅解决了盐下油气勘探开发过程中瓶颈重大技术难题, 也促进了流变理论的发展。在塔河南部穿盐成功率 100%, 并使钻井周期缩短 1/2。

6) 储层改造工艺技术的创新为解放油气藏提供了途径

塔河油田以酸化压裂为主的超深层储层改造技术, 加强避水控缝、选层封隔、深度酸压等工艺技术的探索, 对酸液类型及处理液体系、工艺技术

体系的研究与应用的优化, 使酸化压裂技术有效改造了碳酸盐岩缝洞单元, 解放油气田, 扩大供油面积, 大幅度提高单井产量, 为塔河碳酸盐岩储层为主的油气田勘探开发发挥重要的作用。

总之, 对塔河油田储集条件、成藏规律认识的深化, 开拓、创新了勘探思路, 预测技术及钻井工艺技术方法创新, 确保了塔河油田储产量的持续稳步增长。

1.2.2 普光气田的发现关键在于勘探思路创新及高精度储层预测技术

1) 高精度储层预测技术使我们从以构造圈闭为主的勘探思路, 转变为以优质储层为主的构造-岩性复合油气藏勘探的思路, 加速了普光气田的突破。

2) 对普光气藏成藏条件认识的深化, 促进了普光气田储量的快速增长

① 普光气田的聚集成藏明显表现出, 孔隙型储层和古构造的叠合是寻找大气田的有利领域, 包括开江印支期古隆起的石炭系、二叠系和三叠系碳酸盐岩储层, 特别是飞仙关组鲕白云岩孔隙型储层的形成, 明显受控于开江古隆起, 形成了有利的富集空间。

② 有效烃源岩与古油藏转化形成富集的气源, 区内海相层系中发育有 4 套烃源岩: 中、下寒武统、下志留统黑色页岩; 下二叠统深色碳酸盐岩黑色泥质岩; 上二叠统黑色泥质岩、深灰色灰岩以及上三叠统黑色泥质岩、煤系, 这些丰富的烃源曾经历了形成油藏(印支期)与演化成气藏(燕山晚期-喜马拉雅期)复杂成烃过程。

③ 古隆起所控制古地貌高、有利沉积相带(生物礁、滩、鲕粒滩)及后期成岩演化有利部位的叠合, 形成了普光地区优越的成藏条件。

④ 断层和不整合是天然气运聚的主要通道, 普光气藏天然气运移通道得益于其两侧的断层与烃源的沟通, 同时这类逆断层并未向上切割区域主要盖层(嘉陵江组、雷口坡组膏盐层), 保证了构造-岩性复合圈闭的完整性, 构成了普光气藏形成的一个有利控制因素。

⑤ 普光气藏成藏模式可归纳为“多期成藏, 油气转化, 晚期定型”(图 4)。“多期成藏”表现在自印支晚期(晚三叠世沉积充填之后)宣汉-达县及邻区志留系、二叠系烃源岩开始进入成油门限

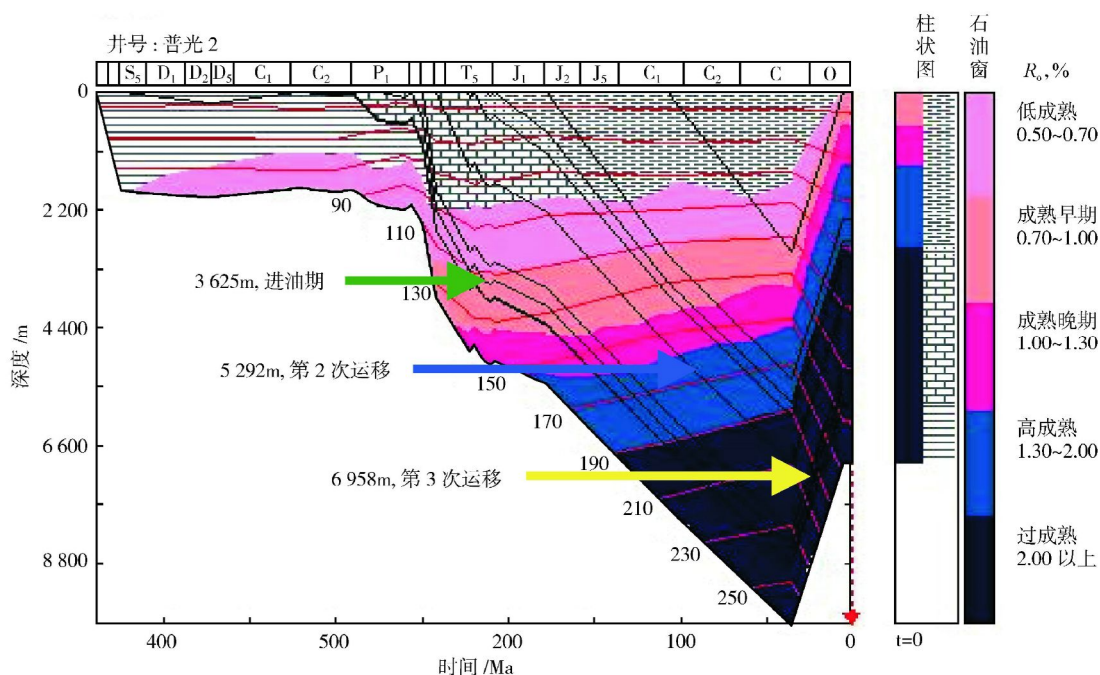


图 4 普光 2 井埋藏史、热演化史与油气运聚期次

Fig. 4 Burial history, thermal evolution, and hydrocarbon migration and accumulation episodes of Well Puguang-2

而大量生成石油,持续深埋继续供烃,直到喜马拉雅期。“油气转化”反映出由于上覆有效盖层的封盖,早期形成的古油藏在晚期持续的深埋过程中,油发生热裂解,并保持在圈闭中而未发生破坏;“晚期定型”反映出普光气藏在晚期北西向构造的叠加作用下,由于有效封闭完整性,因此热裂解形成的天然气未遭受散失,在构造圈闭的调整过程中,进一步聚集,构成了普光气藏的现今大型气藏的规模。

上述塔河、普光大型油气田的勘探实例说明,要保持中国海相油气勘探的持续稳定发展,必须强化理论研究,创新勘探思路与工程技术攻关的密切结合,坚定信心,努力查明海相层系多期成藏的地质规律,一定可以发现类似塔河、普光特大型油气田。

1.3 发现大油气田是确保储量快速增长的关键

经过了“七五”以来的海相碳酸盐岩攻关,在 20 余年来的油气勘探过程中虽时有发现与突破,近几年来塔河奥陶系岩溶型特大油田、我国最大的海相碳酸盐岩整装气田—普光气田的发现,为中国石化石油、天然气储产量的快速增长奠定了基础。

普光气田在勘探指导思想实现了由以构造目标找气向以礁滩相储层为主的构造—岩性复合目标找气的转变,仅用两年的时间,一举取得成功,

并且实现了连续突破,在普光构造上钻探井成功率达 100%,从 2001 年到 2005 年累计获得天然气三级储量 $5\,490.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中探明天然气储量 $2\,510.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,还有进一步扩大的天然气储量的潜力。

塔里木盆地塔河油田奥陶系岩溶型特大油田自 1997 年发现以来,已经提交三级储量 $11.8 \times 10^8 \text{ t}$ 其中探明储量 $5.5\,763 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量 (油 $5.042\,9 \times 10^8 \text{ t}$ 气 $533.38 \times 10^8 \text{ m}^3$)、保有控制储量 $2.035\,99 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量 (油 $1.570\,8 \times 10^8 \text{ t}$ 气 $465.198 \times 10^8 \text{ m}^3$)、保有预测储量 $4.188 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量 (油 $3.909\,6 \times 10^8 \text{ t}$ 气 $278.468 \times 10^8 \text{ m}^3$)。2005 年产量达 $420 \times 10^4 \text{ t}$ 。随着勘探的进展,塔河奥陶系碳酸盐岩层系的油气储产量将进一步增大。

上述说明了发现海相层系大油气田是确保储量快速增长的关键,在实现中国油气资源战略与油气资源接替的勘探中,必须以发现大型油气田为主要目的,才能实现“战略接替”。

1.4 海相层系油气勘探潜力大,是实现“二次创业”的领域

我国海相沉积总面积大于 $455 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中陆上海相盆地 28 个,面积 $330 \times 10^4 \text{ km}^2$,海域海相盆地 22 个,面积 $125 \times 10^4 \text{ km}^2$ (周玉琦等, 2002)。全国海相油气资源为 $359 \times 10^4 \text{ t}$ (油当

量),其中原油 135×10^8 t,天然气 22.4×10^{12} m³,其探明率分别为 6.5%和 6.3%。海相碳酸盐岩勘探领域主要有以四川盆地为主体的南方海相领域和以塔里木盆地、鄂尔多斯盆地为主体的西部海相领域,勘探领域广阔,资源潜力大,具有发现大中型油气田的物质基础,是我国油气资源战略接替,实现“二次创业”的重要领域。

2 中国海相油气勘探面临的主要难题

2.1 海相层系油气勘探面临的主要地质难题

2.1.1 找到了大油气田,但油气源的认识不清

塔里木盆地轮南-塔河奥陶系碳酸盐岩大油田的规模还在不断扩大,但经几轮国家科技攻关之后,仍然存在油气源不清的问题,从早期的下古生界与上古生界之争到后期的寒武系与奥陶系之争。在奥陶系内又有中下奥陶统与中上奥陶统之争。马安来等(2004)认为轮南、塔河稠油来源中上奥陶统烃源岩。王铁冠等认为塔河油田原油油源来自“中-上奥陶统”烃源层。金之钧等(2005)认为塔河油田主体油藏具有两期以上的成藏历史,并认为中奥陶统萨尔干组泥质烃源岩及(或等时异相的烃源岩)可能是塔河油田的主力烃源岩。

普光大气田规模在不断扩大,但主要气源也尚未查明。

由于主力烃源岩不清,我国碳酸盐岩层系发育有多套优质烃源岩,但烃源岩、原生油藏的演化过程及其衍生物对现今天然气藏的贡献、动态演化过程不明。这些问题总体上制约了油气勘探的进一步拓展。

2.1.2 储层非均质性强,分布规律不清

普光气田含气层是下三叠统飞仙关组鲕滩灰岩和上二叠统长兴组生物礁滩灰岩,埋深大于 5 000 m 的储层孔隙度最高达 27.9%,平均孔隙度接近 8%。虽然碳酸盐岩具有易溶的特点,但区内深埋高孔隙储层形成和保存机制及其分布的控制因素尚未查明,成为进一步预测有利储集区的关键。

塔里木盆地寒武系和奥陶系碳酸盐岩储层有岩溶储层、礁滩相储层、白云岩储层和裂缝型储层

4种成因类型。虽已查明其形成时期为加里东期、海西期和印支期;古地理环境、不整合面、层序界面及构造裂缝是碳酸盐岩储层发育的重要控制因素,但缺少准确预测缝洞体系的有效方法,成为提高勘探开发效益的制约因素。对白云岩、生物礁滩相碳酸盐岩优质储层的预测与评价在认识上、理论上、规律上也有待进一步深化。

2.1.3 油气成藏期认识不一,主力成藏期不清

在塔河油田,由于多期构造活动导致的调整、改造以及混源问题,对塔河油气田成藏期的认识出现明显分歧:晚海西期、燕山期、喜马拉雅期(李启明,2000),400 Ma(早海西期)、115~130 Ma、40 Ma(彭平安,2002),与志留系沥青同期的晚加里东期(张一伟等,1996)。

普光大气田的成藏历程,虽没有塔河油田复杂,但是现有资料表明,由于区内上三叠统及上覆地层与下伏的下三叠统、上二叠统主力气层构造方向不完全相同,以及以构造、岩性复合及岩性圈闭为主,由于地质条件、气藏类型的特殊性,也不能简单地套用川东地区总结形成的气藏成藏模式以指导勘探。

中国古生代海相沉积盆地属多旋回叠合盆地,多期成藏系统与多种成藏模式使油气成藏的空间层次、期次和相态大大增加。因此,对油气主要成藏期的认识,制约了油气勘探部署与方向。

2.1.4 油气藏保存过程与保存环境评价方法欠缺

大型天然气聚集区的形成离不开严格的封闭条件,均具有高质量的区域盖层。尤其对海相层系经历多次构造运动影响,油气藏的保存条件至关重要。扬子地台经历多期隆升、剥蚀,后期的盆地叠加改造又影响了油气的再分配、再聚集和散失程度,因此封盖条件的有效性是油气能否聚集成藏的关键。在四川盆地由于在中、下三叠统发育了多套区域性膏盐层(嘉陵江组、雷口坡组)(图5),构成了天然气成藏富集的重要因素。

南方碳酸盐岩分布区麻江等古油藏的存在,塔里木盆地广泛分布的志留系沥青砂岩,都表明了我国古生代海相碳酸盐岩层系确有良好的生油条件,又显示了海相层系时代偏老,经历了较强的多次构造断裂活动,油气成藏之后的保存条件最为关键。因此,进一步完善油气藏保存过程与保

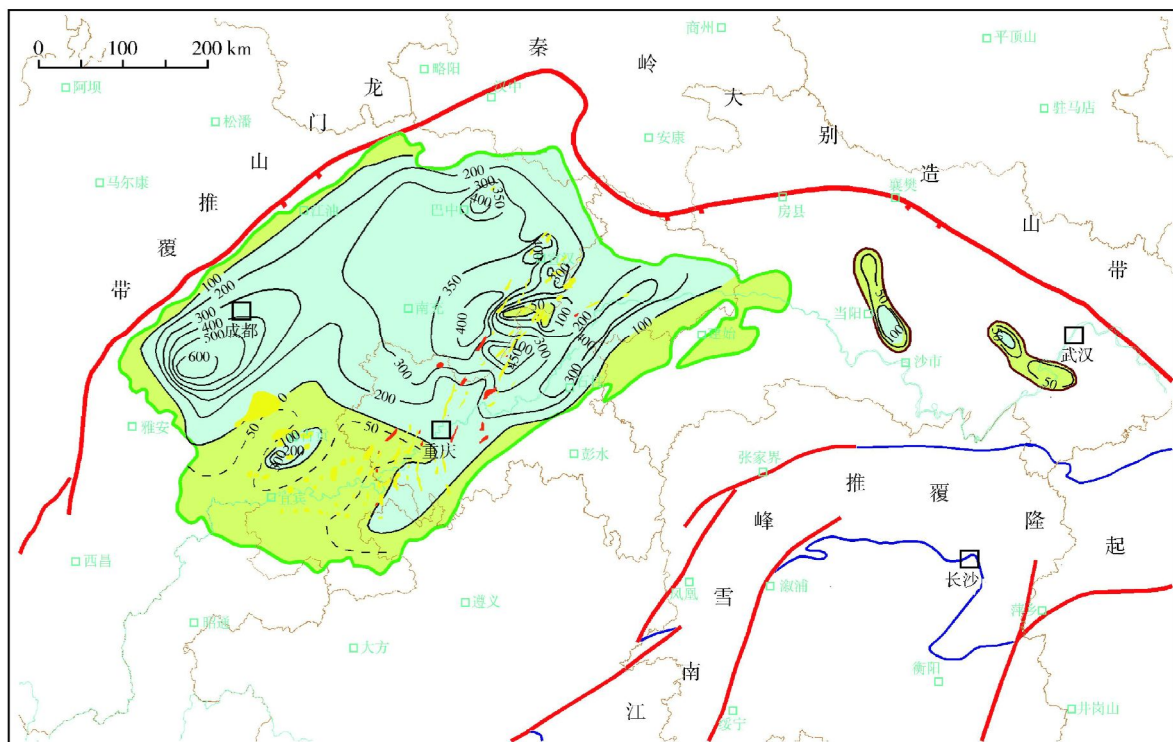


图 5 四川盆地气田与中下三叠统膏盐盖层分布关系

Fig. 5 Distribution relationship between the gas fields and the Middle-and Lower-Triassic saline-deposit caps in Sichuan basin

存环境评价方法,是中国海相碳酸盐岩层系油气成藏的关键要素。

2.1.5 深层高温高压条件下的油气成藏条件不清

由于我国海相碳酸盐岩主要发育于古生代,储层埋藏深,深层优质储层的形成、演化过程,与成藏期和成藏演化过程的关系以及深层优质储层的成因机理尚不十分清楚(李德生, 1992; 邱中建等, 1999; 马永生等, 1999),如埋深达 5 000 m 以上的普光鲕粒白云岩现存孔隙度最大可达 27.9%,最大渗透率可达 $1\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上,这在国内尚不多见。

深层油气成藏虽然在某种程度上有着与中浅层油气成藏相近的规律,但在油气成藏的温度条件、压力条件、储集岩成岩阶段与演化,以及构造和发育程度等方面存在着很大的差别。在深部的高温高压条件下,天然气运聚成藏的储盖及圈闭条件更为严格,油气成藏必须具备非常好的圈闭和具有高突破压力的封盖层。因此,探索与认识深层高温高压条件下的油气成藏条件对于海相碳酸盐岩的油气勘探,尤其是南方海相下组合的油气勘探是关键的因素。

2.2 中国海相领域油气勘探存在的工程技术问题

2.2.1 碳酸盐岩储层预测、圈闭识别、解释评价综合技术

中国海相分布地区地形、地貌条件变化大,地下构造受多期变形叠加而复杂多变,特别是受多层次滑脱面影响,导致变形具有层次性与分带性,因此,对碳酸盐岩储层、圈闭识别、解释评价是提高海相层系油气勘探成功的关键之一。

必须形成适应中国海相分布区识别复杂构造圈闭、白云岩优质储层、孔洞缝型等非常规储层的综合技术系列: 1)复杂地质条件下储层预测技术; 2)复杂构造条件下圈闭成像与解释技术; 3)复杂地质条件下综合解释评价技术。逐步在实践中发展起中国特色的海相碳酸盐岩相应的勘探技术,努力开创海相碳酸盐岩层系油气勘探的新局面。

2.2.2 中国海相层系钻探工程技术

中国海相层系勘探目的层深,多为高陡构造,地层可钻性差,主要目的层位深度较大,以及高温、高压、高含硫环境的地质条件,需开展钻井、测试技术系列的攻关,形成海相超深井提高机械钻

速技术、深井固井技术、不同压力系统下的油气层保护技术攻关、超深井地层压力预测检测技术、防斜打直优快钻井等技术系列。为加速海相碳酸盐岩层系油气勘探提供支撑技术,为发现新的特大型油气田打下坚实技术基础。

3 中国海相油气勘探理论与技术创新的初步设想

针对海相领域油气勘探面临的主要难题,围绕“多期构造活动背景下海相碳酸盐岩层系油气聚散机理与富集规律”核心科学问题,突出构造演化这一条线,把握三个重点—烃源岩、储层、保存有效性研究重点,强化三个结合—理论创新与勘探实践结合、区域评价与目标评价结合、地质研究与工程技术结合,做到科研、生产、部署一体化。形成六大分析评价技术系列:1)盆地构造动态演化与恢复分析技术系列;2)海相层系烃源岩动态评价理论与技术;3)海相层系储层评价与预测技术;4)海相层系有效盖层识别及保存环境评价技术;5)海相层系油气动态成藏与主要成藏期定年技术与方法;6)高演化海相层系油气资源评价系统。

突出关键构造事件对海相碳酸盐岩层系构造形成演化的影响,重视多元生烃作用历史及其有效性;重点分析多样性储层发育分布特征,突出复杂输导体系、流体驱动机制、流动样式及其成岩和成藏效应,探讨油气及地流体运移聚集机理;重点揭示海相层系大规模油气成藏期次、构造活动区有效盖层多样性及其演化机理等,评价海相层系油气资源,把握油气富集规律,预测大中型油气藏勘探方向,从而起到发展海相油气成藏理论技术的关键性作用。

总结四十多年来对海相碳酸盐岩层系油气勘探实践以及塔河、普光大油气田的发现经验,表明国外碳酸盐岩油气勘探经验和国内陆相油气勘探经验都很难直接应用于我国海相碳酸盐岩油气勘探实践。必须建立起中国特色的海相碳酸盐岩成藏理论体系与勘探技术,以指导海相碳酸盐岩领域的油气勘探,开创海相碳酸盐岩层系油气勘探的新局面。实现温家宝总理提出的“要重视油气资源战略勘查工作,争取在前新生代海相碳酸盐岩地层中有新的突破”。

致谢:本文在编写过程中引用了国家科技部“973”项目、中国石化科技部、油田部、各油田分公司有关单位的研究成果。汤良杰、郝芳、吕修祥、刘小平等,中国石化石油勘探开发研究院的张洪年、郑和荣、王毅等与作者多次讨论有关内容,在此表示诚挚的谢意!

参 考 文 献

- 1 马永生,郭彤楼,郭旭升.中国石化南方新区油气勘探进展与攻关发现[A].见:中国石油地质年会学术委员会编.中国石油地质年会论文集 2004[C].北京:石油工业出版社,2005 376~380
Ma Yongsheng Guo Tonglou Guo Xusheng Advancement and experiences of hydrocarbon exploration in SINOPEC's new areas in southern China[M]. Beijing Petroleum Industry Press 2005 376~380
- 2 康玉柱.中国塔里木盆地塔河大油田—纪念沙参2井油气重大突破20周年[M].新疆:新疆科学技术出版社,2004 1~5
Kang Yuzhu Tahe oilfield in Tarim basin, China in memorial of the twentieth anniversary of a major breakthrough in Well Sasheng-2[M]. Xinjiang Xinjiang Science and Technology Press 2004 1~5
- 3 翟晓先,云露,俞仁连.塔里木盆地塔河油田石油地质特征与勘探经验[A].见:中国石油地质年会学术委员会编.中国石油地质年会论文集 2004[C].北京:石油工业出版社,2005 210~220
Zhai Xiaoxian Yun Lu Yu Renlian Geological features of and exploration experiences in Tarim oilfield, Tarim basin[A]. Beijing Petroleum Industry Press 2005 210~220
- 4 赵贤正,李景明,李东旭,等.中国天然气勘探快速发展的十年[M].北京:石油工业出版社,2002 49~72
Zhao Xianzheng Li Jingming Li Dongxu et al Ten years of rapid development of natural gas exploration in China[M]. Beijing Petroleum Industry Press 2002 49~72
- 5 赵正章,赵贤正,何海清.中国石油近五年来油气勘探新进展及未来勘探的潜力和方向[A].见:中国石油地质年会学术委员会编.中国石油地质年会论文集 2004[C].北京:石油工业出版社,2005 53~60
Zhao Zhengzhang Zhao Xianzheng He Haiqing China's hydrocarbon exploration in the past five years and potential and direction of its future exploration[A]. In Academic committee of China petroleum and geology annual meeting ed Symposium of China petroleum and geology annual meeting in 2004[C]. Beijing Petroleum Industry Press 2005 53~60
- 6 蔡希源,侯洪斌,何治亮.中国西部新区油气富集规律及勘探方向[A].见:中国石油地质年会学术委员会编.中国石油地质年会论文集 2004[C].北京:石油工业出版社,2005 151~158
Cai Xiuyan Hou Hongbing He Zhiliang Hydrocarbon accumulation pattern and exploration direction in the new areas of western China

- [A]. In Academic committee of China petroleum and geology annual meeting ed Symposium of China petroleum and geology annual meeting in 2004 [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005. 151–158
- 7 康玉柱. 塔里木盆地大气田形成的地质条件 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 21–25
Kang Yuzhu. Geological condition for forming big gasfields in Tarim basin [J]. Oil & Gas geology, 2001, 22(1): 21–25
 - 8 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120–124
Zhang Kang. The discovery of Tahe oilfield and its geologic implication [J]. Oil & Gas geology, 1999, 20(2): 120–124
 - 9 云露, 肖志高, 徐明军. 浅谈塔里木盆地台盆区天然气勘探前景 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 428–432
Yun Lu, Xiao Zhigao, Xu Mingjun. A brief talk on gas exploration potential in the platform-basin region, Tarim basin [J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(4): 428–432
 - 10 钱基. 关于油气资源潜力的几个问题 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 363–369
Qian Ji. Some issues on China's petroleum resource potential [J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(4): 363–369
 - 11 王庭斌. 中国天然气地质理论进展与勘探战略 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 1–7
Wang Tingbin. Theory progress of natural gas geology and strategy of gas exploration [J]. Oil & Gas geology, 2002, 23(1): 1–7
 - 12 贾庆素, 周庆凡. 塔北地区含油气系统 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 103–105
Jia Qingsu, Zhou Qingfan. Petroleum systems in north Tarim [J]. Oil & Gas geology, 2002, 23(1): 103–105
 - 13 赵重远, 周立发. 成盆期后改造与中国含油气盆地地质特征 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 7–10
Zhao Zhangyuan, Zhou Lifa. Post-reformation and geological features of China's petroliferous basins [J]. Oil & Gas geology, 2000, 21(1): 7–10
 - 14 戴少武, 贺自爱, 王津义. 中国南方中、古生界油气勘探的思路 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 195–202
Dai Shaowu, He Zijai, Wang Jinyi. Thinking of Mesozoic hydrocarbon exploration in south China [J]. Oil & Gas geology, 2001, 22(3): 195–202
 - 15 贾承造, 何登发, 陆清民. 中国喜马拉雅运动的期次及其动力学背景 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 121–125
Jia Changzao, He Dengfa, Lu Jiem. Episodes and geodynamic setting of Himalayan movement in China [J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(2): 121–125
 - 16 孙东胜, 金之钧, 吕修祥, 等. 沉积盆地超压体系划分及其与油气聚集关系 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 14–20
Sun Dongsheng, Jin Zhijun, Lu Xixiang, et al. Classification of overpressure systems in sedimentary basins and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation [J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(1): 14–20
 - 17 张一伟, 李京昌, 金之钧, 等. 原型盆地剥蚀量计算的新方法 – 波动分析法 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 7–10
Zhang Yiwei, Li Jingchang, Jin Zhijun, et al. A new calculating method of denuded amount for prototype basin-wave analysis [J]. Oil & Gas geology, 2000, 21(1): 7–10
 - 18 金之钧, 吕修祥. 塔西南前陆盆地油气资源与勘探对策 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 110–113
Jin Zhijun, Lu Xixiang. Hydrocarbon resources and exploration strategy of foreland basins in southwest Tarim basin [J]. Oil & Gas geology, 2000, 21(2): 110–113
 - 19 何登发, 马永生, 杨明亮. 油气保存单元的概念与评价原理 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 14–20
He Dengfa, Ma Yongsheng, Yang Minghu. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit [J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(1): 14–20
 - 20 陈世加, 马力字, 付晓文, 等. 塔里木盆地海相腐泥型天然气的成因判识 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 100–101
Chen Shijia, Ma Lizi, Fu Xiaowen, et al. Genetic discrimination of marine sapropelic type gas in Tarim basin [J]. Oil & Gas geology, 2001, 22(2): 100–101
 - 21 林清, 林壬子, 王培荣, 等. 塔中北斜坡西部原油类型及主力油源层 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 150–153
Lin Qing, Lin Renzi, Wang Peirong, et al. Crude types and main source rocks in west part of north Slope, central Tarim [J]. Oil & Gas geology, 2001, 22(2): 150–153
 - 22 夏新宇, 曾凡刚, 洪峰. 中国陆表海碳酸盐岩有机质生烃潜力 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 287–292
Xia Xinyu, Zeng Fangang, Hong Feng. Hydrocarbon-generating potential of organic matter in epicontinental sea carbonate rocks in China [J]. Oil & Gas geology, 2001, 22(4): 287–292
 - 23 杨威, 魏国齐, 王清华, 等. 塔里木盆地寒武系两类优质烃源岩及其形成的含油气系统 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 263–267
Yang Wei, Wei Guoqi, Wang Qinghua, et al. Two types of Cambrian source rocks and related petroleum systems in Tarim basin [J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(3): 263–267
 - 24 赵重远, 张小会, 任战利, 等. 油气藏动态预测 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 314–320
Zhao Zhangyuan, Zhang Xiaohui, Ren Zhanli, et al. Dynamic prediction of oil and gas pool formation [J]. Oil & Gas geology, 2002, 23(4): 314–320
 - 25 邱楠生, 方家虎. 热作为油运移动力的物理模拟实验 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 24(3): 210–214
Qiu Nansheng, Fang Jiahu. Physical simulation for petroleum migration in thermodynamic system [J]. Oil & Gas geology, 2002, 24(3): 210–214
 - 26 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 126–132
Wang Tingbin. Gas pools in China have mainly been formed and finalized during tectonic movements since Neogene [J]. Oil & Gas geology, 2004, 25(2): 126–132

(编辑 陈喜禄)