

中国海相碳酸盐岩层系油气地质特点、战略选区思考及需要解决的主要地质问题

汤良杰^{1,2}, 吕修祥^{1,2}, 金之钧^{2,3}, 刘小平^{1,2}, 邱楠生^{1,2}

TANG Liang-jie^{1,2}, LÜ Xiu-xiang^{1,2}, JIN Zhi-jun^{2,3}, LIU Xiao-ping^{1,2}, QIU Nan-sheng^{1,2}

1. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;
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

1. *Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

2. *Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism of the Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

3. *Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing 100083, China*

摘要:中国海相碳酸盐岩层系油气资源量大,但探明程度低,是油气资源战略接替的重要领域。中国海相碳酸盐岩层系具有形成时代老、改造强烈、沉积中心与生烃中心不吻合、储层具有多样性且非均质性强、多烃源层、多期生烃、多期成藏、多期调整与改造等显著特点,与陆相碎屑岩层系有明显差别,又有别于国外海相碳酸盐岩层系。在对不同地区海相碳酸盐岩层系油气地质条件进行分析解剖的基础上,分别对四川盆地、中下扬子及滇黔桂地区、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地和青藏地区的海相碳酸盐岩层系油气勘探战略选区急需解决的地质问题进行了讨论。

关键词:海相碳酸盐岩层系;油气勘探;战略选区

中图分类号:P618.130.2*7

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2006)09~10-1032-04

Tang L J, Lü X X, Jin Z J, Liu X P, Qiu N S. Petroleum geological characteristics, strategic exploration area selection and urgent geological problems of marine carbonate sequences in China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25 (9-10): 1032-1035

Abstract: Marine carbonate sequences in China are rich in petroleum resources, but they are underexplored. So they are the important strategic successor field of petroleum resources. China's marine carbonate sequences are characterized by old depositional ages, strong structural modification, inconsistency of depocenters with hydrocarbon-generating centers, high diversity and strong and heterogeneity of reservoirs, diversity, multi-layer source rocks, multistage hydrocarbon generation and accumulation and polyphase readjustment and reworking. These characteristics are in sharp contrast with those of continental clastic sequences and also different from those of marine carbonate sequences in other countries. Based on an integrated analysis of the petroleum geological conditions of marine carbonate sequences in various areas of China, the paper also discusses the strategic petroleum exploration area selection in marine carbonate sequences and geological problems in need of immediate solution in the Sichuan basin, Middle and Lower Yangtze valley, Yunnan-Guizhou-Guangxi area, Tarim basin, Ordos basin, Bohai Bay basin and Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: marine carbonate sequence; petroleum exploration; strategic area selection

在陆相生油理论的指导下,中国相继发现了大庆、胜利、辽河、大港等大油田,形成了一套针对陆相断陷湖盆油气勘探的理论与方法,取得了辉煌的成就,为国民经济持续稳定

发展和国防建设事业做出了巨大贡献。随着改革开放和经济的快速发展,中国能源的增长已远远跟不上国民经济发展的需求,石油天然气的短缺已经成为国民经济可持续发展的制

收稿日期:2006-01-06;修订日期:2006-06-23

基金项目:国家973计划项目(批准号2005CB422100、G1999043300)和国家自然科学基金项目(批准号40472107、40172076)资助。

作者简介:汤良杰(1957-),男,教授,博士生导师,从事盆地构造分析和石油地质研究。E-mail: tanglj@cup.edu.cn

约因素。国内油气勘探战略转移已凸显海相碳酸盐岩的重要地位,海相碳酸盐岩层系将成为中国“油气二次创业”的主战场^[1],以海相碳酸盐岩层系为主体的叠合盆地中下部组合石油地质与勘探理论问题已经引起高度重视^[2]。

1 海相碳酸盐岩层系油气战略意义

1.1 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探的重大进展

(1)20世纪80年代前的不懈探索。中国海相碳酸盐岩层系分布面积广、残余厚度大、油气显示多。自“六五”以来,国家针对海相碳酸盐岩开展过几轮科技攻关,但由于勘探成果没有期望值那么高,从而在认识上产生了比较大的分歧。由于中国海相碳酸盐岩的复杂性和勘探难度大的客观条件,从南方滇黔桂高原到西北塔里木盆地勘探程度都很低,制约了对碳酸盐岩层系油气资源潜力的认识。这一阶段,海相碳酸盐岩的油气勘探虽远不如陆相盆地成就显赫,但在四川盆地所取得的一些发现令人鼓舞。四川盆地从20世纪50年代开始石油勘探会战,在这一阶段先后发现了卧龙河、威远、中坝、福成寨、大池干井、磨溪等一系列碳酸盐岩层系天然气田,探明储量规模均超过 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

(2)20世纪80年代以来的重大突破。1984年塔里木盆地沙参2井在寒武系—奥陶系碳酸盐岩中获得高产工业油气流,标志着中国海相碳酸盐岩层系油气勘探的重大突破,经过20年的艰苦努力,已经在塔北隆起找到了轮南—塔河大油田,探明、控制及预测储量约 $15 \times 10^8 \text{t}$ (据中石油和中石化储量报告,2004);同时在塔中隆起、巴楚隆起均有碳酸盐岩油气田发现。四川盆地于1989年发现五百梯石炭系和二叠系气田,探明天然气储量 $409 \times 10^8 \text{m}^3$ (据国土资源部石油天然气储量评审办公室公报,2004);特别是2003年在四川盆地发现普光三叠系海相碳酸盐岩气田,探明天然气储量 $1143 \times 10^8 \text{m}^3$,进一步揭示了中国海相碳酸盐岩层系巨大的油气前景。鄂尔多斯盆地自1989年在下古生界海相碳酸盐岩中发现靖边大气田以来,又在上古生界海相层系中发现了榆林、乌审旗、苏里格和大牛地等储量 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上的大气田,也展示了古生界海相地层丰富的天然气资源。这些勘探成果表明,随着理论认识的升华、科学技术的进步,新发现的海相碳酸盐岩层系油气田越来越多、越来越大,显示海相碳酸盐岩具有良好的勘探前景和巨大的潜力,是中国油气资源战略接替的重要领域。

1.2 中国海相碳酸盐岩层系油气资源潜力

陆相生油理论的建立和陆相盆地的成功勘探,使中国的石油工业走上了独立自主发展的道路。当东部陆相盆地的油气产量和储量难以大幅度增加时,国家提出了石油工业“稳定东部,发展西部”的战略方针,勘探重点随之逐步转移:地域上,从东部向西部转移;层系上,从陆相层系向海相层系转移;勘探深度上,从浅层往深层转移。这3个“转移”的主要目标都集中于海相碳酸盐岩层系。在世界范围内,海相碳酸盐岩是一个重要的勘探领域,C&C公司提供的碳酸盐岩数据库中215个巨型油气田的统计结果表明,碳酸盐岩油气田约占世界油气总储量的

38%,拥有 400×10^9 桶油,占世界石油总储量的46%,拥有 836×10^{12} 立方英尺天然气,占世界天然气总储量的26%。而中国海相碳酸盐岩层系探明储量仅占总探明储量的5%,油气勘探潜力很大(金之钧,等.中国海相碳酸盐岩层系油气富集机理与分布预测.国家“973”计划项目申请书,2005)。

2 中国海相碳酸盐岩层系的主要特点

2.1 与陆相碎屑岩层系的差异

(1)形成时代老,受多期构造活动强烈改造。中国海相碳酸盐岩层系主要形成于中、新元古代至三叠纪(青藏高原除外),主要发育于塔里木、华北、扬子等克拉通及其边缘,具有多旋回发育的特点,原型盆地之上多叠加有中、新生代陆相盆地,经历了加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅等多期构造活动,现今保留下来的多为海相残留盆地。

(2)沉积中心与生烃中心不吻合。陆相盆地的沉降中心往往也是沉积中心,生烃中心受沉积中心的控制性比较明显;而海相盆地的沉降中心一般并非沉积中心,沉积中心往往也并非生烃中心^[3]。另外,由于经历后期多次构造运动的改造,盆地中生烃灶的现今分布往往难以预测。

(3)储层具有多样性,非均质性强。陆相储层主要是滨浅湖相、河流相、三角洲相砂体,储层物性相对稳定。而中国海相碳酸盐岩层系储集层具多样性的特点,既有孔、洞、缝等多种孔隙介质类型的储层,又有白云岩、灰岩等多种岩石类型和多种成因类型,储层成因复杂,非均质性十分强烈。

(4)多烃源层、多期生烃、多期成藏、多期调整与改造。中国海相碳酸盐岩层系往往具有多套烃源层,烃源岩经历了复杂的生排烃过程,油气多期运聚成藏,并且地质历史时期曾经历了多期强烈的破坏和改造作用,分布规律复杂。陆相盆地基本上是晚期成藏,油气藏多近源分布,陆相盆地的勘探策略是“定凹探边”、“定凹探隆”,且在东部诸盆地的勘探非常成功。海相碳酸盐岩层系的勘探就复杂得多,陆相盆地的勘探策略难以直接借鉴。

2.2 与国外海相碳酸盐岩层系的差异

国外海相碳酸盐岩层系油气田的烃源岩主要是侏罗纪以来高有机碳含量的泥页岩,储层主要是白垩纪以来的灰岩和古生代白云岩,盖层主要为蒸发岩和泥页岩,大型油气富集区油气成藏比较晚。与国外相比,中国海相碳酸盐岩层系形成时间早、地层时代老,烃源岩经历了长期演化和复杂的生烃过程,热演化程度高,勘探目的层埋藏深,经历了多期构造运动的改造。国外对碳酸盐岩的勘探研究主要集中在储集层的描述及预测上,而中国海相碳酸盐岩油气藏的形成受多种因素的控制,仅描述储集层远远不够,对烃源岩生烃史和地质构造演化史的研究十分重要(金之钧等,2005)。

3 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探战略选区急需解决的地质问题

几十年的勘探实践证明,无论是中国陆相油气勘探理论

与方法,还是国外海相碳酸盐岩油气地质理论与方法,都难以有效地指导中国海相碳酸盐岩层系的油气勘探。随着油气勘探的不断深入,对中国海相碳酸盐岩层系油气成藏规律的认识也在不断深化。对碳酸盐岩层系中的碎屑岩夹层发育富含有机质的烃源岩、碳酸盐岩储层多样性及油气成藏多期性的认识有效地指导了勘探工作。与此同时,还有一些根本性的地质理论和勘探实践问题没有解决,严重制约了油气勘探部署的决策和油气田发现的进程。这里仅就中国海相碳酸盐岩层系油气勘探战略选区存在的地质问题做一初步讨论。

3.1 南方区

中国南方海相碳酸盐岩层系分布广泛,总面积约 $220\times 10^4\text{km}^2$,中、古生代海相地层分布面积约 $150\times 10^4\text{km}^2$ 。从震旦纪到中三叠世发育了克拉通型、大陆边缘型和裂谷型沉积盆地,海相地层累计厚度最大超过10000 m。40多年的勘探实践和研究表明,南方海相中、古生界可以划分为2套大的油气组合:上组合主要指石炭系—三叠系,下组合主要指震旦系—志留系。这些组合原始油气形成条件较好,有过大量的油气生成、运移、聚集和成藏过程,已在南方海相油气勘探领域发现大量的地面油气、沥青显示和不同时代的古油藏、残余油藏,找到鄂西南南、黔北赤水等气田,四川盆地海相层系已成为中国重要的天然气区。但是,由于受多期构造运动的改造,海相中、古生代原型盆地被强烈改造,冲断推覆构造普遍,油气成藏规律极其复杂。总体上看,除四川盆地外的广大南方地区海相油气勘探尚未取得战略性突破。

与南方其他地区相比,四川盆地油气成藏条件比较优越,具有面积较大的稳定克拉通基底,总体上构造活动性较弱。长期持续沉降及三叠系膏盐岩的广泛发育有利于早期油气的保存,晚期构造运动又有利于油气的重新调整形成次生油气藏。近年发现的普光大气田,含气层主要是三叠系海相鲕粒白云岩,埋深5000 m的储层孔隙度最高可达27.9%。这一勘探成功案例带来的重要启示是:研究优质储层形成、保存机制及其分布的控制因素,进一步预测有利储集区是油气发现的关键因素之一。

中、下扬子及滇黔桂等广大南方地区,长期以来受客观复杂地质条件和“时代老、构造改造强烈、演化程度高、保存条件不好”这一主观认识的约束,在勘探思路上对海相碳酸盐岩层系(尤其是下组合)油气成藏条件的认识还不明确,如对有效烃源岩、油气藏演化与保存条件的影响认识不清;对南方海相区的构造特征、盆地演化与油气成藏的关系认识不清,导致对成藏模式、成藏规律认识不清,勘探效果不理想。在上述地区要获得突破,至少要解决2个难题:一是有效烃源岩问题,针对多期构造活动背景下南方海相油气藏的高演化对象,除对传统有形的烃源岩(海相泥岩和碳酸盐岩干酪根)直接供烃进行研究外,还要对来源于烃源岩沥青和储层沥青、古油藏原油裂解气、水溶脱气和煤系、致密砂岩深盆解吸供气等多元供烃机理及其有效性进行研究;二是油气保存机理,重点研究构造活动对油气藏破坏与保存分区性的差异作

用机制、不同成藏期盖层类型及其封闭机制、深层原油裂解气的温压环境及流体与盖层岩石相互作用机制等。

3.2 西北区——塔里木盆地

塔里木盆地是中国陆上油气资源非常丰富的一个大型含油气盆地,盆地面积 $56\times 10^4\text{km}^2$,沉积岩体积超过 $400\times 10^4\text{km}^3$ 。近年来,寒武系—奥陶系海相碳酸盐岩油气勘探取得了重大突破,已经在塔北和塔中地区找到了一批油源来自下古生界海相地层的油气藏,轮南—塔河奥陶系海相碳酸盐岩大油田的规模还在不断扩大。虽经几轮国家科技攻关,仍然存在一些亟待解决的重要问题:一是油气源不清,在很大程度上制约了勘探决策,烃源层发育、分布及成熟演化史等油气源岩的研究还有待深化;二是对多种类型储集体及其空间分布特点认识不清,轮南—塔河地区准确预测缝洞体系的有效方法还有待完善,制约塔中隆起北坡碳酸盐岩含油性的储集条件有待深入研究,需要进一步研究碳酸盐岩孔洞缝的形成机理、白云岩储层形成与深埋过程中的演化特征、流体活动在碳酸盐岩储层形成中的作用等,建立多样性碳酸盐岩储层的时空分布模式与预测模型;三是多期构造活动导致的调整、改造及混源问题,使得对成藏期认识不一,需要准确厘定海相碳酸盐岩层系油气成藏期次和成藏时间,理清各成藏期对应的油气源;四是油气成藏区带及其富集规律不清,需要加强对碳酸盐岩风化壳油气聚集带、埋藏岩溶体油气聚集带、白云岩油气聚集带及生物礁滩复合体油气聚集带等的形成控制因素及其油气聚集规律的研究。这将为塔里木盆地乃至其他地区碳酸盐岩层系油气评价与勘探提供新的思路。

3.3 华北区——渤海湾盆地和鄂尔多斯盆地

华北地台在元古代结晶基底之上发育了中—新元古代海相碳酸盐岩夹碎屑岩、早古生代海相碳酸盐岩、晚古生代海陆交互碎屑岩夹煤系及陆源碎屑岩、中生代、古近纪、新近纪—第四纪陆相碎屑岩六大套岩系。中—新元古界和古生界海相碳酸盐岩层系经历了加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅多期构造活动的改造,特别是中、新生代的印支、燕山和喜马拉雅期三大构造运动对海相层系进行了深刻的改造,造成现今复杂的海相残留盆地格局。华北地区进入中、新生代后发生了东西分异作用,以鄂尔多斯盆地为代表的西部与扬子地区西部的四川盆地一样进入了拗陷沉积阶段,盆地主体部分不同时代的地层之间基本为连续沉积或平行不整合接触,古生界现今区域构造面貌在喜马拉雅期前就已基本定型,鄂尔多斯盆地是中国构造活动相对稳定的盆地。而以渤海湾盆地为代表的东部地区则进入了裂谷系发育阶段,裂陷作用强烈,形成古近纪和新近纪盆—岭系。渤海湾盆地和鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩层系不同的演化过程导致了不同的油气成藏条件。

(1)鄂尔多斯盆地。古生界天然气资源丰富,先后发现了靖边、榆林、乌审旗、苏里格和大牛地5个储量超过 $1000\times 10^8\text{m}^3$ 的大气田,累计探明天然气地质储量超过 $1.2\times 10^{12}\text{m}^3$ 。上、下古生界2套优质烃源岩的发育、有利的沉积相带及广泛

分布的储层、稳定的盖层演化和相对平稳的升降运动等是古生界天然气成藏并得以保存的关键^[6]。需要深入探讨的问题主要为:下古生界海相碳酸盐岩层系的油气成藏条件需要从古构造、沉积、古岩溶等方面做进一步的深入研究,为预测大中型气田有利勘探区带提供科学依据,如靖边以外的其他广大地区海相碳酸盐岩层系天然气勘探前景的评价,已发现天然气显示的中奥陶统平凉组、马家沟组六段、四段和中、上寒武统等层系的天然气勘探前景评价等。对于上古生界海陆交互煤系地层,勘探程度和研究程度仍然很低,需要进一步研究煤成气、深盆气等天然气成藏富集规律与保存机制。

(2)渤海湾盆地。海相碳酸盐岩层系遭受了强烈的后期构造改造,但勘探实践表明,古生界可能仍然具有形成原生油气藏的条件,以上古生界煤系地层为烃源岩的苏桥气田、文留气田、孔古3井和孔古4井古生界原生油气的发现显示了古生界良好的勘探前景和潜力。下古生界寒武系府君山组、张夏组,奥陶系马家沟组、峰峰组,上古生界海陆交互煤系地层的暗色泥岩等均可能成为有利的烃源岩,古生界海相原生油气藏勘探和研究的关键问题在于较老烃源岩的二次生烃潜力、范围及油气保存条件,海相层系多源、多期成藏及多源复合的特点决定了古生古储、古生新储、新生古储和混源型油气藏多种类型并存^[7],需要加强对古生界原型盆地及关键变革期的古构造恢复,研究古生界油气成藏富集的规律。此外,在华北北部中—新元古界还发育一套高有机质丰度的烃源岩^[8],特别是下马岭组烃源岩 T_{\max} 为435~442℃,约相当于 R_o 为0.5%~0.6%,处于低熟—成熟阶段,属于优质烃源岩,对于这套中—新元古界烃源岩的油气生成、演化及富集规律值得重视和研究(金之钧,等.中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测.国家“973”项目结题总结报告,2004)。

3.4 青藏区——羌塘盆地

青藏高原是中国中、新生代海相地层发育较全的地区,具有与整个特提斯域相似的地层层序。由于该区是南部大陆与北部大陆较早发生碰撞的地方,海相沉积结束时间较早,同时由于白垩纪以来印度洋的快速扩张和印度板块与亚洲大陆的强烈碰撞挤压,该区成为整个特提斯域变形最强、隆升最高的地区,导致其成为油气成藏和保存条件有别于其他特提斯域的地区^[9]。羌塘盆地是青藏高原中生代海相地层展布范围最广的地区,残留面积达 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要发育二叠纪至侏罗纪的海相地层,基底埋深5~9 km。已经初步证实,羌塘盆地蕴藏着大量油气资源,可能是青藏高原海相碳酸盐岩层系最具有前景的地区之一。对羌塘盆地进行的大规模前期勘查、评价和研究工作,深化了对盆地构造演化、地层层序、油气成藏条件和盆地油气资源潜力的认识。调查研究表明,青藏高原海相碳酸盐岩层系烃源岩发育良好、厚度大、生油母质好,为在羌塘盆地寻找海相油气藏奠定了较好的物质基础。羌塘盆地中部的烃源岩烃类相态良好,处于成熟阶段,是寻找轻质油的有利地区。盆地中大量油气苗及盆地南部长约

100 km的古油藏带的发现,表明青藏高原海相含油气盆地曾经有过大规模的油气生成和聚集过程^[10],同时也表明喜马拉雅运动对该区的改造和破坏强烈,成藏条件非常复杂。应继续深化对该区油气形成与富集规律的研究,特别是构造活动背景下的油气保存条件研究。

4 结束语

近年来塔河海相碳酸盐岩大油田和普光海相碳酸盐岩大气田的发现,预示了中国海相碳酸盐岩良好的油气勘探前景。但是,由于各大探区的地质背景、油气成藏条件和勘探程度的差异,其亟待解决的地质问题又各不相同。40多年来,制约海相碳酸盐岩油气勘探的主要难题有:①对碳酸盐岩层系中油气来源层位尚存争议;②对烃源岩演化过程及其对现今油气藏的贡献程度认识不一;③对油气成藏期认识不一;④碳酸盐岩多样性介质的油气运聚机理不清,缺少储层准确预测的有效方法;⑤深层碳酸盐岩的成藏和保存机理不清,分布规律难寻;⑥不同成藏期油气保存和破坏的机理不清。导致上述勘探难题的地质背景是:①中国海相碳酸盐岩烃源岩时代老,生烃过程难恢复及生烃灶迁移;②缝洞型储层非均质性强;③深埋藏后优质储层形成机制复杂,预测难;④多期构造活动导致油气多期成藏与改造,等等。随着中国碳酸盐岩层系油气勘探的不断实践、新资料的不断积累及具有中国特色海相碳酸盐岩层系油气勘探理论的创新与完善,将会深化对海相碳酸盐岩油气成藏规律的认识,海相碳酸盐岩层系油气勘探与开发必将取得更加辉煌成就。

参考文献:

- [1]刘光鼎.中国油气资源企盼二次创业[J].地球物理学进展,2001,16(4):2-3.
- [2]贾承造.21世纪初中国石油地质理论问题与陆上油气勘探战略[M].北京:石油工业出版社,2005.106-118.
- [3]金顺爱.中国海相油气地质勘探与研究——访李德生院士[J].海相油气地质,2005,10(2):1-8.
- [4]马力,陈焕疆,甘克文,等.中国南方大地构造和海相油气地质[M].北京:地质出版社,2004.567-861.
- [5]康玉柱,蔡希源,张传林,等.中国古生代海相油气田形成条件与分布[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2002.1-289.
- [6]杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002.1-228.
- [7]王兆云,何海清,程克明.华北区古生界原生油气藏勘探前景[J].石油学报,1999,20(2):1-6.
- [8]方杰,刘宝泉,金凤鸣,等.华北北部中、上元古界生烃潜力与勘探前景分析[J].石油学报,2002,23(4):18-23.
- [9]高瑞祺,赵政璋.中国油气新区勘探第六卷——青藏高原石油地质[M].北京:石油工业出版社,2001.1-256.
- [10]王成善,伊海生,李勇,等.羌塘盆地地质演化与油气远景评价[M].北京:地质出版社,2001.184-215.