

文章编号: 1001-6112(2008)02-0133-05

南方海相油气勘探中的烃源条件分析

——以江汉平原区为例

罗开平^{1,2}, 丁道桂², 吕剑虹², 刘光祥²

(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)

摘要:中国南方海相油气地质条件和特点给烃源条件分析提出了新内容和新要求。对于晚期成藏来说, 烃源岩的时效性比其原有品质条件更为重要, 烃源条件分析和烃源岩评价应该打破“唯指标论”的习俗, 立足于烃源岩演化史研究, 突出“阶段性”和“时效性”分析, 在确定有效烃源岩及其发育区的基础上, 进行资源潜力分析并指导对勘探目标的选择。对于以晚燕山—早喜山期重建的封存体系为主要勘探对象的江汉平原区海相, 断陷盆地的叠覆是促成二叠系烃源岩成熟和下古生界烃源岩二次(晚期)生烃的主要原因。初步研究表明, 二叠系(碳酸盐岩)烃源岩为主要的有效烃源岩, 其次为上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组烃源岩; 而主要的供烃区则是江陵凹陷、潜江凹陷等几个晚期断陷深凹的地区。

关键词:有效烃源岩; 烃源条件; 江汉平原区; 南方海相

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

ANALYSIS OF HYDROCARBON SOURCE CONDITIONS IN MARINE FACIES PETROLEUM EXPLORATION IN SOUTH CHINA —A CASE STUDY IN THE JIANGHAN PLAIN REGION

Luo Kaiping^{1,2}, Ding Daogui², Lü Jianhong², Liu Guangxiang²

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

Abstract: Geologic conditions and characteristics of marine facies petroleum in South China have put forward new contents and requirements for petroleum source condition analysis. For late accumulations, prescription of source rocks is more important than their original characters. Spurning the former rules which adhere to parameters, source condition analysis and source rock evaluation should be based on source rock evolution history research and focus on stage and prescription studies. When effective source rocks and generation regions are confirmed, exploration targets can be chosen. In marine facies strata in the Jianghan plain region, sealing system rebuilt from late Yanshanian to early Himalayan period is the main exploration target. Superimposition of rift-subsidence basins makes Permian source rocks become mature and Lower Paleozoic source rocks again produce petroleum. Permian carbonate source rocks are the main effective source rocks. From Wufeng Formation of Upper Ordovician to Longmaxi Formation of Lower Silurian is the second effective. Main source regions locate in the Jiangling and Qianjiang sags.

Key words: effective source rocks; hydrocarbon source conditions; the Jianghan plain region; marine facies in South China

中国南方中、古生界海相地层分布面积约 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$,震旦系—中三叠统海相地层累计厚度最大超过 10 000 m,发育多套原生储盖组合,原始

成油气条件优越,并有过广泛的、多期的油气生成、运移、聚集与成藏过程^[1]。印支期以来多期次、多形式的构造运动改造,使得南方海相的整体格局

收稿日期:2007-03-30;修订日期:2008-01-31。

作者简介:罗开平(1964—),男,博士,高级工程师,主要从事石油地质综合研究。E-mail:luokp@mail.wuxisuo.com。

遭到分割和破坏,并导致了各地区保存条件和油气潜力的较大差异^[2]。对于主体为晚期成藏的各勘探对象,资源潜力在很大程度上取决于烃源岩的晚期生烃和晚期供烃。因此,针对南方海相油气地质条件和特点,提出了烃源条件分析和烃源岩评价的新内涵和新要求。

1 基本油气地质条件和特点

1.1 长期演化造就多旋回盆地

中国南方经历了震旦纪—中奥陶世克拉通内—被动大陆边缘盆地、晚奥陶世—志留纪被动边缘及台内拗陷盆地、晚古生代—早中三叠世台内拗陷、裂陷盆地等3个主要的海相盆地发展演化阶段以及随后的晚三叠—早中侏罗世陆内造山及类前陆盆地、晚侏罗—早白垩世前陆盆地与走滑拉分盆地、燕山—喜山期挤压—伸展盆地等3个主要的成盆和变盆改造作用阶段。古生代,3个古海洋(古中国洋、古华南洋、古特提斯洋)控制了海相盆地(被动大陆边缘、台内拗陷、拗拉槽和裂谷)的发育,并构筑了南方海相油气地质的基础。

1.2 多期盆地孕育多套优质烃源岩

南方海相层序中有3套主要烃源岩:上震旦统陡山沱组—下寒武统牛蹄塘组、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组和二叠系,其原型盆地分别是早古生代克拉通和大陆边缘盆地以及晚古生代准克拉通化盆地和大陆边缘盆地。用层序地层格架可以描述烃源岩的空间展布^[3]。

震旦纪—早古生代,与烃源岩发育有关的盆地主要分布在扬子地台上,为与晚震旦—早寒武世2次海平面上升对应的饥饿盆地,牛蹄塘组富含有机质的黑色页岩覆盖了广大扬子地区,是南方第一套主要烃源岩;而晚奥陶世末,大陆边缘盆地转化为前陆盆地所造成的克拉通上的海平面上升效应和滞流式海漫环境,使得五峰组黑色页岩和龙马溪组黑色页岩发育,是南方海相第二套主要烃源岩。

晚古生代,在扬子克拉通和华南克拉通化大陆边缘的“上超盆地”的规模和台地范围皆大于早古生代。早二叠世,华南的最大海侵形成大的富含有机质的碳酸盐陆表海盆地,从而发育了栖霞组碳酸盐岩烃源岩;晚二叠世,“四川含煤盆地”更是造就了龙潭组这一上扬子域最佳的烃源岩层系。

南方海相领域油气大多源自上述3套优质烃源岩或其组合。

1.3 多源多期生烃与多源多期成藏

南方海相领域已知油气的油气源对比资料证

实了其多源性特征。典型实例如建南气田,石炭系产层天然气主体属志留系烃源岩所生油的二次裂解水溶气;而嘉一、飞三、长兴产层天然气则属二叠系碳酸盐岩、泥质岩烃源岩和源于下古生界烃源岩原油的二次裂解水溶气不均等渗混的混源气。多期生烃的认识除了间接来自于烃源岩热史、生烃史分析和模拟成果外,更有来自于众多地球化学研究的证据。而多期成藏的实例则不胜枚举。著名的麻江古油藏即为典型的加里东期产物;对恩施龙马剖面、石柱马武剖面上下寒武统碳质板岩孔隙中充填的2期碳沥青的研究结果表明,它们分别是加里东期和印支期成藏—改造事件的产物;四川盆地业已证实的“早期生烃、早期聚集、晚期定型”的成藏模式,更是诠释了多期成藏的内容和形式。

1.4 多期运动改造与复杂成藏过程

印支运动在中国南方地质演化中具有多重标志意义。以印支运动为分界点的前造山期和后造山期构造、沉积及油气演化也具有完全不同的特点。之前的盆地并列叠加、弱造山、油气递进热演化等特点和印支期建立的良好盆—山耦合关系,被印支期后盆地的错位、强烈造山伴随的挤压冲断、拆离走滑、块断隆升和油气藏的破坏、调整、散失、重建等特点和盆—山脱耦所取代,油气成藏经历了复杂的过程。

从盆—山关系进一步分析含油气系统演化,大致可分为以下4种情况^[3,4]:1)盆—山耦合关系继承发展的闭锁型盆地中的继承与改造型含油气系统,如四川盆地;2)盆—山脱耦后新体制下盆地叠加的重建型含油气系统,如江汉盆地;3)基底拆离造山带内的破坏和改造型含油气系统,如江南雪峰;4)残留型盆地中的破坏和改造型含油气系统,如黔中地区。

正是这种构造改造的多期性和多样性,造成了南方海相的分割局面和复杂的成藏过程。

2 成藏关键要素

2.1 相对稳定的地质体

印支期以来,南方海相层序主要经历了3期构造运动的改造,改造形式的多样性(包括挤压褶皱、冲断滑覆、隆升剥蚀、块断拉张及区域沉降等)和区域位置及边界条件的不同,导致现今各地质单元的变形程度和油气保存条件存在很大的差异。从已有勘探成效来看,总体上构造变形较弱、抬升剥蚀幅度较小的地区保存条件较好,勘探效果也较佳,如四川盆地;而构造变形强烈复杂、长期抬升剥蚀的地区,如云贵高原和华南褶皱带,油气保存条件较差;而对

于经过了块断拉张而后又发生区域沉降的中下扬子地区,重建封存体系的规模和潜力目前还不明朗^[2]。

2.2 有效油气保存单元

“油气保存单元”是指具有整体封存保存条件的含有一个或数个现今含油气系统的三维空间地质单元^[5],它是油气勘探的基本对象和地质单元。决定一个油气保存单元的关键因素包括封盖层、断层、有效储集岩、岩浆活动及水文地质条件等^[6]。从盆—山关系来分析油气保存单元的演化,可将其分为继承型、改造型和再生型 3 种类型^[6]。不同类型的油气保存单元具有不同的成藏模式和特点:继承型油气保存单元整体封存条件持续较好,具有“早期生烃、早期聚集、晚期定型”的“两早一晚”的成藏特点;而改造型油气保存单元的成藏则主要是从“藏”到“藏”,具有“早期生烃、晚期聚集、晚期成藏”的“一早两晚”的特点;再生型油气保存单元则主要取决于晚期封存系统的重建和由此导致的“二次生烃”,因此具有“晚期生烃、晚期聚集、晚期成藏”的“三晚”特点^[7,8]。

2.3 有效烃源岩与有效成藏组合

“有效烃源岩”是指具有生烃能力、能提供烃类聚集所需的烃源的适时的烃源岩。

南方海相烃源岩在长期构造—热演化过程中,发生过多期生排烃作用,早期生成的烃类部分或大部分散失或遭到破坏,对于主体定位于晚期成藏的南方海相,烃源岩的晚期供烃更具有时效性。因此,确定烃源岩的二次生烃能力、辨析和评价有效烃源岩,是南方海相油气资源评价的关键。

“二次生烃”是指烃源岩在受热温度降低导致生烃过程终止之后,当受热温度再次升高并达到有机质再次活化所需的临界热动力学条件时,烃源岩发生的再次生烃演化。系统的镜质体反射率(R_o)资料可以用来指示烃源岩的再(二)次生烃^[9]。

对于以碳酸盐岩储层为主的南方海相,考虑长期成岩作用对于储层储集性能的破坏,包括原始储集空间及裂缝改造、岩溶作用等形成的有效储集岩(体),是构成有效油气保存单元的重要因素。

因此,南方海相油气基本地质条件和成藏特点决定了烃源条件的形式、作用和地位。

3 江汉平原区海相烃源条件

位于中扬子地块上的江汉平原区与整个扬子地区演化经历相似,发育二叠系、五峰组—龙马溪组、陡山沱组—牛蹄塘组 3 套古生界海相烃源岩,构造相对稳定,变形改造相对较弱,是海相油气勘

探的较有利地区。勘探对象是晚燕山—早喜山期(K_2-E)伸展体制下断陷盆地发育所重建的在晚印支—早燕山期曾遭到破坏的封存系统,资源潜力在很大程度上取决于晚期有效烃源岩及其生烃能力。在烃源岩具有良好的“先天”品质时,烃源条件分析应立足于烃源岩演化史研究,重点把握以下几个主要内容和环节。

3.1 构造运动界面与剥蚀量恢复

剥蚀界面确定和剥蚀量恢复是埋藏史及烃源岩演化史研究的基础。

江汉盆地地质时期,沉积构造演化分为加里东旋回($Z-S$)、海西—早印支旋回($D-T_2$)、晚印支—早燕山旋回(T_3-J_3)及晚燕山—喜山旋回($K-Q$)。有 4 个主要的构造界面,分别是加里东主构造运动界面、印支(安源运动)界面、燕山(宁镇运动)界面和喜山(江汉运动)界面。加里东末期的剥蚀量普遍在 200~300 m,志留系沉积末(409 Ma)到中泥盆统开始沉积(386 Ma)期间为主要剥蚀期;印支(安源)运动在本区的剥蚀量一般在 200 m 左右,最大不超过 300 m;燕山期宁镇运动的剥蚀量在大巴山—大洪山冲断背斜带为 2 100~2 800 m,南洪湖—通山冲断背斜带的剥蚀量减小到 2 000 m 左右,中间部位多为 1 000~2 500 m;喜山期江汉运动的剥蚀量在凹陷区一般小于 1 000 m,在凸起部位一般为 1 500~2 000 m。

3.2 盆地热史与埋藏史

综合镜质体反射率、裂变径迹、包裹体及粘土矿物法等研究结果,得到加里东期($Z-S$)、海西期($D-P-T_2$)、印支—燕山期(T_3-J_3)、喜山期($K-E$)的地温梯度分别为 3.1, 3.1, 2.5~2.7, 3.2 / hm。

江汉平原区海相地层埋藏史可分为 4 种类型(图 1)。加里东和海西—早印支旋回构造演化阶段,江汉地区现今各构造单元海相地层的埋藏史差异不大;印支—早燕山旋回构造演化阶段的沉积剥蚀及晚燕山—喜山旋回构造演化阶段的差异沉降,造成了现今不同构造单元海相地层埋藏史的差异,并进而控制了不同单元烃源岩的热演化进程和最终状态。显然,古浅—新深埋藏型更有利于烃源岩的晚期生烃。

3.3 烃源岩热演化史和生烃史

运用 TSM 盆地分析软件,对江汉平原区 3 套主要海相烃源岩热演化史进行模拟(表 1,图 2)。3 套烃源岩都呈现递进演化过程,陡山沱组—牛蹄塘组烃源岩于中三叠世末、五峰组—龙马溪组烃源岩和二叠系烃源岩于侏罗纪末分别达到高成熟,进入生

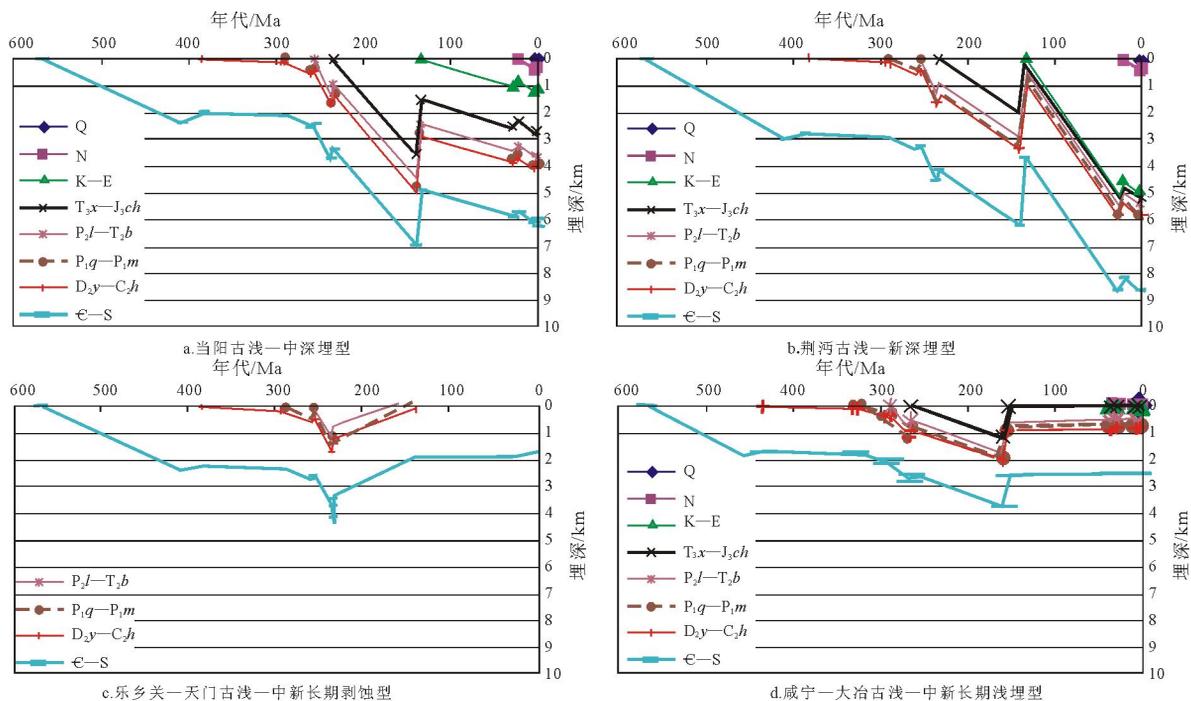


图1 江汉平原区中生界海相地层埋藏史

Fig. 1 Burial history of Meso - Paleozoic marine facies strata in the Jianghan plain region

表1 江汉平原区海相主要烃源岩热演化史模拟镜质体反射率数据

Table 1 R_o data of thermal evolution model of main source rocks of marine facies strata in the Jianghan plain region

地区	烃源岩	时期	R_o , %	地区	烃源岩	时期	R_o , %	
枝江 江陵凹陷	陡山沱组一	S末	局部 0.5~0.8	潜江 凹陷	陡山沱组一	S末	未熟	
		T ₂ 末	>1.3			T ₂ 末	>1.3	
		J末	2~3			J末	>2	
	牛蹄塘组	E末	2~3		牛蹄塘组	E末	>3	
		S末	未熟			S末	未熟	
	五峰组一	T ₂ 末	1.3		五峰组一	T ₂ 末	0.8	
		J末	1.3			J末	1.3~2.0	
		E末	1.3			E末	>3	
	二叠系	二叠系	S末		未熟	二叠系	S末	1.3
			T ₂ 末					
J末								
E末			0.5~1.3					
潜江 凹陷	陡山沱组一	S末	未熟	小板凹陷 龙赛湖低凸起	陡山沱组一	S末	未熟	
		T ₂ 末	>1.3			T ₂ 末	0.8	
		J末	>2			J末	1.3~2.0	
	牛蹄塘组	E末	4		牛蹄塘组	E末	>3	
S末		未熟	S末			未熟		
五峰组一	T ₂ 末	1.3	五峰组一		T ₂ 末	0.5		
	J末	1.3~2.0			J末	0.8~1.3		
	E末	>3			E末	>3		
二叠系	二叠系	S末	2		二叠系	S末	0.8~1.3	
		T ₂ 末						
		J末						
		E末						

烃高峰阶段。

3.4 晚期生烃与有效烃源岩

烃源岩晚期生烃和晚期供烃是晚期成藏的基

本条件之一。对于以晚燕山—早喜山期盆地叠加后再造的封存体系为主要勘探对象的江汉平原区，要明确的是上述3套烃源岩在晚燕山—早喜山期

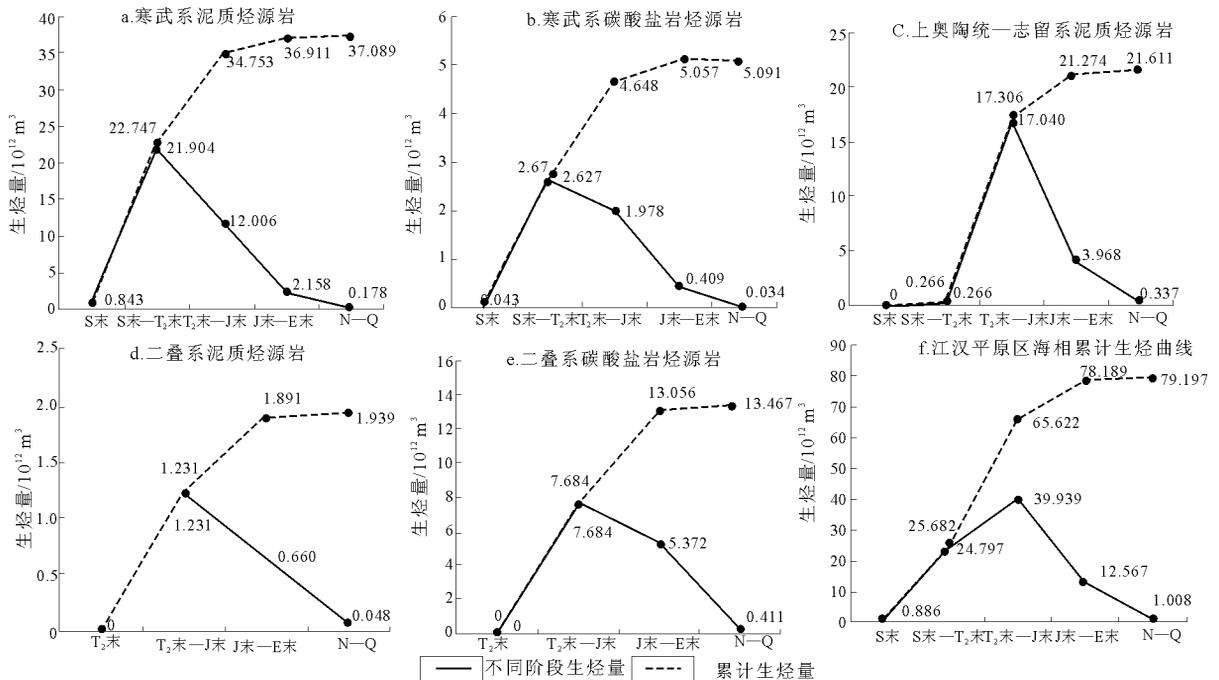


图2 江汉平原区海相烃源岩模拟生烃曲线

Fig. 2 Simulated hydrocarbon generation curves of marine facies source rock in the Jianghan plain region

是否有过再次生烃,即确定有效烃源岩。

图2结果反映,二叠系、五峰组—龙马溪组、陡山沱组—牛蹄塘组3套烃源岩在中侏罗世末—古近纪末,都有过数量不等的生烃量。在 $13.575 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的总生烃量中,二叠系烃源岩生烃量为 $6.491 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占47.8%;五峰组—龙马溪组烃源岩生烃量为 $4.305 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占31.7%;陡山沱组—牛蹄塘组烃源岩生烃量为 $2.779 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占20.5%。因此主要的有效烃源岩为二叠系,其次是五峰组—龙马溪组和陡山沱组—牛蹄塘组。从各个生烃单元对比来看,江陵凹陷与潜江凹陷晚期生烃量最大,分别达到 4.57×10^{12} 和 $3.388 \times 10^{12} \text{ m}^3$,次为沔阳凹陷和小板凹陷,分别为 1.161×10^{12} 和 $0.992 \times 10^{12} \text{ m}^3$,再次为河溶凹陷、枝江凹陷及龙赛湖低凸起地区,分别为 0.768×10^{12} , 0.514×10^{12} , $0.875 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。表明中上侏罗统—古近系断陷深凹地区是主要的有效供烃区。

4 结论与认识

1) 在“先天(烃源)条件优越”而主体定位于晚期成藏的南方海相油气勘探中,烃源条件分析是必要和必需的,烃源条件分析的重点应该是阶段性和时效性评价及有效烃源岩的确定。

2) 借助系统的 R_o 资料,可以帮助判别烃源岩的再(二)次生烃,结合烃源岩热演化史、生烃史模

拟,可以确定主要的有效烃源岩及其生烃潜力,并进一步确定主要的供烃区或单元。

3) 江汉平原区海相油气勘探中主要的有效烃源岩是二叠系烃源岩,其次是五峰组—龙马溪组烃源岩;主要的有效供烃区是江陵凹陷和潜江凹陷等几个晚期断陷深凹的地区。

参考文献:

- 1 王更海. 中国南方海相地层油气勘探现状及建议[J]. 石油学报, 2000, 21(5): 1~6
- 2 郭彤楼, 田海芹. 南方中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
- 3 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. 91~95
- 4 罗开平, 周祖翼, 何治亮. 含油气系统理论在中国盆地研究中的应用与发展[J]. 石油实验地质, 2007, 29(2): 143~148
- 5 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, 25(1): 1~8
- 6 郭彤楼, 楼章华, 马永生. 南方海相油气保存条件评价和勘探决策中应注意的几个问题[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 3~9
- 7 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): 127~132
- 8 王庭斌. 中国气田的成藏特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 103~110
- 9 佟彦明, 朱光辉. 利用镜质体反射率恢复地层剥蚀量的几个重要问题[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(3): 197~199