

文章编号: 1001-6112(2008)05-0439-06

渤海湾盆地中南部中—新生代盆地叠合特征 及上古生界生烃规律

胡宗全¹, 朱建辉²

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 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: 渤海湾盆地上古生界煤系地层是良好的气源岩。该套烃源岩在中—新生代经历了复杂的盆地叠合过程, 导致不同地区之间生烃史的差异性。三叠纪、侏罗纪—白垩纪、新生代是上古生界烃源岩所经历的3个生烃阶段。中—新生代盆地的叠合期次、叠合样式和不均衡性控制着上古生界烃源岩在各个生烃阶段的生烃量多少与比例以及生烃中心的迁移, 从而控制着上古生界资源潜力及资源分布。该区盆地的不均衡性越到晚期越强, 上古生界烃源岩的早期生烃强度较稳定, 但在晚期局部地区仍可经历强生烃过程。上古生界经历的盆地叠合期次和上覆地层数越少、中生理埋藏越浅、新生代理埋藏越深, 其晚期生烃潜力越大。基于“二次生烃”地质模型和生烃史数值模拟, 评价了渤海湾盆地中南部各凹陷上古生界生烃潜力。

关键词: 数值模拟; 生烃史; 盆地叠合; 上古生界; 渤海湾盆地

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

MESOZOIC—CENOZOIC BASIN SUPERIMPOSITION AND UPPER PALEOZOIC HYDROCARBON GENERATION DISCIPLINE IN THE MIDDLE AND SOUTH OF BOHAI BAY BASIN

Hu Zong quan¹, Zhu Jian hui²

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

Abstract: The Upper Paleozoic coal bearing formation in the Bohai Bay Basin is favorable for gas generation. It has undergone complex basin superimposition, resulting in differences of hydrocarbon generation history among different areas. Triassic, Jurassic—Cretaceous and Cenozoic are the 3 periods of hydrocarbon generation of the Upper Paleozoic source rock. Time, style and imbalance of Mesozoic—Cenozoic basin superimposition control hydrocarbon generation amounts and ratio in different periods and transference of hydrocarbon generation centers, which control hydrocarbon potential and distribution of the Upper Paleozoic. Imbalance of basin becomes stronger in the late period. Hydrocarbon generation intensity of the Upper Paleozoic source rocks in the early period is relatively stable; however, strong hydrocarbon generation may also exist in some regions during the late period. With fewer basin superimposition stages, fewer overlying strata, shallower imbedding depth in Mesozoic and deeper imbedding depth in Cenozoic, the Upper Paleozoic source rocks have greater generation potential in the late period. Based on geological model of secondary hydrocarbon generation and numerical simulation, hydrocarbon generation potential of the Upper Paleozoic in different sags is evaluated.

Key words: numerical simulation; hydrocarbon generation history; basin superimposition; the Upper Paleozoic; the Bohai Bay Basin

收稿日期: 2007-12-27; 修订日期: 2008-08-01。

作者简介: 胡宗全(1971—), 男, 博士后, 高级工程师, 主要从事储层地质学与石油地质学研究。E-mail: huzongquan@pepris.com。

渤海湾盆地中南部特指济阳坳陷(包括沾化、车镇、东营和惠民凹陷)和临清坳陷东南部(包括莘县、冠县、丘县和东濮凹陷)。近期该区针对上古生界含油气系统的勘探取得了一些进展,在济阳坳陷孤北地区和东濮凹陷文留地区均发现了上古生界自生自储天然气藏^[1~4],指示上古生界天然气的有利勘探前景。

渤海湾地区上古生界煤系地层是良好的气源岩^[5~8]。由于经历了长期的构造变动和多期次、多样式的盆地叠合过程^[9~11],尤其是侏罗—白垩纪、古近纪2期盆地叠合过程极具复杂性,使上古生界烃源岩的生烃史具有多阶段性,有利生烃区分布复杂、资源发现难度大^[12~14]。上古生界含油气系统的有效成藏期主要为古近纪之后^[15,16],因此古近纪以来的“二次生烃”^[17~22]潜力才是评价上古生界资源潜力的重要依据。分析上古生界含油气系统的资源前景,应围绕其烃源岩的晚期生烃潜力展开^[23,24],依据成盆演化—盆地叠合、上古生界埋藏史—生烃史的地史恢复研究思路,在生烃史地质模型约束下模拟再现上古生界烃源岩的生烃过程,对晚期生烃潜力进行评价与对比分析。

1 盆地叠合规律

1.1 盆地叠合期次

渤海湾盆地古生代—三叠纪为克拉通盆地,侏罗—白垩纪为坳陷—断陷过渡型盆地,新生代为断陷—坳陷盆地,3期盆地之间均为区域角度不整合所区分。

渤海湾盆地中南部地层结构由北向南呈有规律的变化:济阳坳陷(以东营凹陷为代表)具有古生界、侏罗—白垩系和新生界的3层结构,三叠系在印支运动期间被剥蚀殆尽,3套地层之间存在2次盆地叠合过程;临清坳陷主体部位(以莘县凹陷为代表)在盆地叠合期次上与济阳坳陷一致,具有2次盆地叠合过程,但由于印支运动并未造成三叠系的完全剥蚀,普遍残留有三叠系,具有古生界、三叠系、侏罗—白垩系和新生界共同构成的4层结构;临清坳陷南端的东濮凹陷,缺少侏罗—白垩纪盆地的叠合过程,新生代盆地直接叠合在古生代—三叠纪克拉通盆地之上,仅存在1期叠合过程,但由于该凹陷普遍存在三叠系,具有古生界、三叠系、新生界的3层结构(图1)。

对于位于下组合的上古生界来说,盆地叠合期次与其生烃过程密切相关。在上覆盆地沉降—接受沉积时期,上古生界烃源岩经历生烃过程;而在

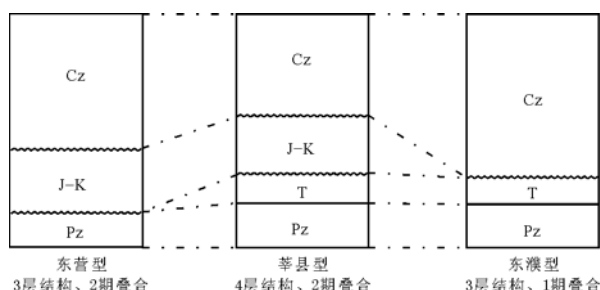


图1 渤海湾盆地中南部晚古生代以来盆地叠合的3种地层结构

Fig. 1 Three strata structure types of basin superimposition since Late Paleozoic in the middle and south of Bohai Bay Basin

抬升—剥蚀期,生烃终止且早期生成的烃类散失。因此,经历的叠合期次越多,上古生界烃源岩的生烃过程越复杂,晚期生烃潜力就越小。

盆地的地层结构反映盆地叠合对下伏烃源岩的叠加影响。具有4层结构的临清坳陷主体部位(以莘县凹陷为代表),侏罗—白垩纪和三叠纪的地层叠加厚度使上古生界烃源岩在中生代末达到较高的热演化程度,在中生代经历了明显的生烃过程,从而影响其在新生代的晚期生烃潜力。济阳坳陷(以东营凹陷为代表)侏罗—白垩纪的沉积厚度相当或稍大于印支期的剥蚀厚度,尽管在侏罗—白垩纪期间有生烃过程,但在新生代仍有较大的生烃潜力。临清坳陷南端的东濮凹陷,侏罗—白垩纪没有经历生烃,新生代生烃潜力大。叠合期次和层数越少,越有利于上古生界烃源岩在新生代晚期生烃。

1.2 盆地叠合的不均衡性

1.2.1 盆地的叠合样式

盆地叠合过程的不均衡性反映沉降—沉积中心的迁移,从而能控制下伏烃源岩系生烃灶的迁移。综合盆地的地层结构、盆地叠合期次、各期盆地的不均衡性特征,将渤海湾盆地中南部地区划分为4种主要的叠合样式(图2)。

3层2期加速不均衡叠合。以东营凹陷为典型,济阳坳陷的车镇凹陷、沾化凹陷属于此类型。三叠系被剥蚀殆尽,侏罗—白垩系对下伏古生界作不均衡叠合。新生代的沉降和沉积中心与侏罗—白垩纪具有继承性,侏罗—白垩纪、新生代的地层减薄方向基本一致,只是新生界的不均衡性强于侏罗—白垩系,表现为加速不均衡特征。该类型上古生界烃源岩在侏罗—白垩纪期间和新生代的生烃中心在横向上相邻近,呈继承性迁移特征。

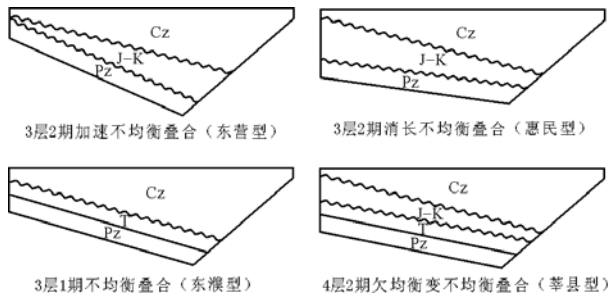


图2 渤海湾盆地中南部中—新生代盆地对
上古生界的4种叠合样式

Fig. 2 Four models of Mesozoic—Cenozoic basin
superimposition on the Upper Paleozoic in
the middle and south of Bohai Bay Basin

3层1期不均衡叠合。以临清坳陷南部的东濮凹陷为典型。没有侏罗—白垩系,新生界对古生界+三叠系作不均衡叠合,上古生界烃源岩在新生代形成生烃中心。

3层2期消长不均衡叠合。以济阳坳陷的惠民凹陷为典型。侏罗—白垩纪和新生代2期盆地地层的减薄方向相反,指示沉积—沉降中心的迁移,导致上古生界烃源岩在2期的生烃中心明显迁移。

4层2期欠均衡变不均衡叠合。以临清坳陷

的莘县凹陷为典型,临清坳陷主体部位的冠县凹陷、丘县凹陷属于此类型。具有4层结构,印支期剥蚀使残余三叠系呈欠均衡状态,由侏罗—白垩纪到新生代盆地的不均衡特征逐次增强。

1.2.2 盆地叠合不均衡性分析

根据各时期盆地的最大厚度($H_{\max}$)和最小厚度($H_{\min}$)差异,可以在一定程度上评价盆地的不均衡性。从渤海湾盆地中南部各凹陷的统计对比可以看出以下规律(表1)。

由古生界、三叠系、侏罗—白垩系到新生界, $H_{\min}/H_{\max}$ 平均值呈单调递减,说明盆地的不均衡特征呈递增趋势,其中古生界和三叠系的 $H_{\min}/H_{\max}$ 均大于0.7,说明均衡性较好,反映了早期成盆规律的相似性,也反映了上古生界烃源岩在印支期之前热演化和生烃过程的相似性;侏罗—白垩系和新生界的 $H_{\min}/H_{\max}$ 均小于0.4,说明不均衡性较强,反映了中晚期盆地叠合过程的复杂性,决定了上古生界烃源岩在中晚期生烃史的复杂性。

中生界的 $H_{\min}/H_{\max}$ 更接近于侏罗—白垩系,主要是由于三叠系地层厚度较小且分布相对稳定,上古生界烃源岩在中生代的热演化和生烃过程应重点考虑侏罗—白垩系和三叠系的叠加影响。

中生界的 $H_{\min}/H_{\max}$ 小于新生界,指示上古生

表1 渤海湾盆地中南部各凹陷盆地叠合均衡性分析

Table 1 Imbalance parameters of basin superimposition among different sags
in the middle and south of Bohai Bay Basin

地层	统计项	临清坳陷				济阳坳陷				平均
		东濮	丘县	冠县	莘县	惠民	东营	沾化	车镇	
Cz	$H_{\min}/m$	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
	$H_{\max}/m$	7 500	3 000	3 000	3 500	4 000	6 000	4 500	4 000	4 438
	$H_{\min}/H_{\max}$	0.13	0.33	0.33	0.29	0.25	0.17	0.22	0.25	0.25
J—K	$H_{\min}/m$	0	4 000	0	800	500	0	0	500	725
	$H_{\max}/m$	0	4 000	1 000	800	2 000	800	2 000	2 000	1 575
	$H_{\min}/H_{\max}$		1.00	0.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.25	0.36
Cz+ (J—K)	$H_{\min}/m$	1 000	5 000	1 000	1 500	1 500	1 800	1 000	1 500	1 788
	$H_{\max}/m$	7 500	7 000	3 000	4 300	6 000	6 000	6 500	6 000	5 788
	$H_{\min}/H_{\max}$	0.13	0.71	0.33	0.35	0.25	0.30	0.15	0.25	0.31
T	$H_{\min}/m$	800	0	1 000	1 000	0	0	0	0	350
	$H_{\max}/m$	800	4 000	1 000	1 000	0	0	0	0	850
	$H_{\min}/H_{\max}$	1.00	0.00	1.00	1.00					0.75
Mz	$H_{\min}/m$	800	4 000	1 000	1 800	500	0	0	500	1 075
	$H_{\max}/m$	800	8 000	2 000	1 800	2 000	800	2 000	2 000	2 425
	$H_{\min}/H_{\max}$	1.00	0.50	0.50	1.00	0.25	0.00	0.00	0.25	0.44
Cz+Mz	$H_{\min}/m$	1 000	7 000	2 000	2 500	1 500	1 800	1 000	1 500	2 288
	$H_{\max}/m$	7 500	9 000	4 000	5 300	6 000	6 000	6 500	6 000	6 288
	$H_{\min}/H_{\max}$	0.13	0.78	0.50	0.47	0.25	0.30	0.15	0.25	0.35
Pz	$H_{\min}/m$	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	1 200	1 200	1 200	1 700
	$H_{\max}/m$	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
	$H_{\min}/H_{\max}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.60	0.60	0.85

注:厚度为估计值。

界烃源岩在新生代仍可能形成生烃的相对高值区域。

2 上古生界生烃规律

2.1 “二次生烃”机理

“二次生烃”是指烃源岩在温度降低、生烃中止之后,当温度再次增高并达到有机质再次活化所需的临界热动力学条件时,再次经历的生烃过程(图 3)。烃源岩在沉积期后遭受抬升甚至剥蚀而导致生烃过程暂时中止,前期生成的油气在抬升过程中有可能成藏,但更多的情况是遭到破坏。在对上古生界烃源岩进行生烃有效性评价时,注重的是与晚期成藏相匹配的“二次生烃”所生成的烃量。从早期生成的烃类大多已散失的角度看,“二次生烃”相对于“一次生烃”的有效生烃能力较差。但对于时代较老的烃源岩系,如果没有经历过抬升剥蚀,到现今可能已处于过成熟阶段而失去生烃潜力和资源意义,正因为经历了抬升和生烃中止,才使其生烃时限延长而具有晚期生烃潜力。

在恒定地温场假定条件下,烃源岩经历的生烃过程及不同阶段的生烃潜力主要取决于其埋藏史,

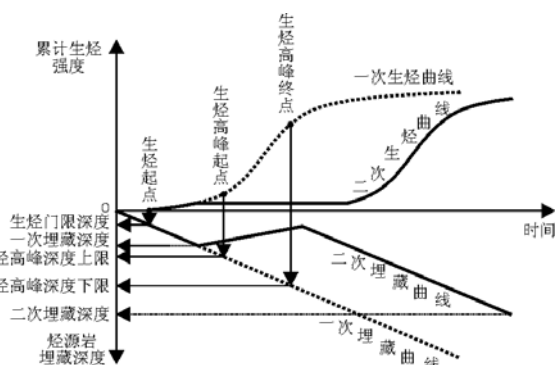


图 3 “二次生烃”理论模型

Fig. 3 Theoretic model of ‘secondary hydrocarbon generation’

表 2 与“二次生烃”相关的埋藏深度参数

Table 2 Buried depth parameters relevant to ‘secondary hydrocarbon generation’

参数名称	代号	地质含义
埋藏深度	D	某一地质时刻烃源岩的埋藏深度值
生烃门限深度	D_0	烃源岩开始生烃所达到的最小埋藏深度值
一次埋藏深度	D_1	烃源岩第一次埋藏所达到的最大埋藏深度值
二次埋藏深度	D_2	烃源岩第二次埋藏所达到的最大埋藏深度值
生烃高峰深度上限	D_{h1}	烃源岩进入生烃高峰阶段所达到的最小埋藏深度值
生烃高峰深度下限	D_{h2}	烃源岩生烃高峰阶段终止时所达到的埋藏深度值

表 2 列出了与烃源岩埋藏史一生烃史密切相关的深度参数。

表 3 是烃源岩在不同埋藏条件下对应生烃潜力评价模式。总体来讲,一次埋藏深度越小,二次埋藏深度越大,“二次生烃”潜力就越大。

2.2 上古生界生烃规律与潜力分析

运用 TSM 数值模拟技术^[25,26],对渤海湾盆地中南部上古生界烃源岩进行了生烃史数值模拟。模拟假定中生代末之前为“一次生烃”期,新生代以来为“二次生烃”期。从模拟的埋藏史类型分布来看,新生代深凹区主要为 A_1B_3 型,“二次生烃”潜力大,走向为北北东向;新生代凹陷的斜坡低部位主要为 A_1B_2 型,“二次生烃”潜力较大,走向以北北东向为主,但在济阳坳陷地区,受侏罗纪盆地影响,局部具有北西走向;新生代凹陷的斜坡中部位主要为 A_2B_2 型,“二次生烃”潜力较小,明显具有北西走向;大面积的新生代斜坡高部位和凸起区主要为 B 型,局部为 A_3 型,“二次生烃”潜力小(图 4)。

对模拟结果进行统计对比表明,上古生界烃源岩累积生烃强度由南西向北东具有一定的降低趋

表 3 埋藏史类型及其“二次生烃”潜力

Table 3 Contrast of hydrocarbon generation amounts among different embedding history types

一次埋藏条件	二次埋藏条件	特征描述	类型代号	生烃潜力分析
$D_1 < D_0$	$D_2 > D_0$	一次超浅埋藏	A_0	可近似为一次生烃
$D_0 < D_1 < D_{h1}$	$D_{h1} < D_2 < D_{h2}$	一次浅埋藏、二次较深埋藏	A_1B_2	二次生烃潜力较大
	$D_2 > D_{h2}$	一次浅埋藏、二次深埋藏	A_1B_3	二次生烃潜力大
$D_{h1} < D_1 < D_{h2}$	$D_1 < D_2 < D_{h2}$	一次较深埋藏、二次较深埋藏	A_2B_2	二次生烃潜力较小
	$D_2 > D_{h2}$	一次较深埋藏、二次深埋藏	A_2B_3	二次生烃潜力较大
$D_1 > D_{h2}$	$D_2 > D_1$	一次深埋藏	A_3	二次生烃潜力小
$D_1 > D_0$	$D_2 > D_1$	二次欠补偿埋藏	B	不能二次生烃

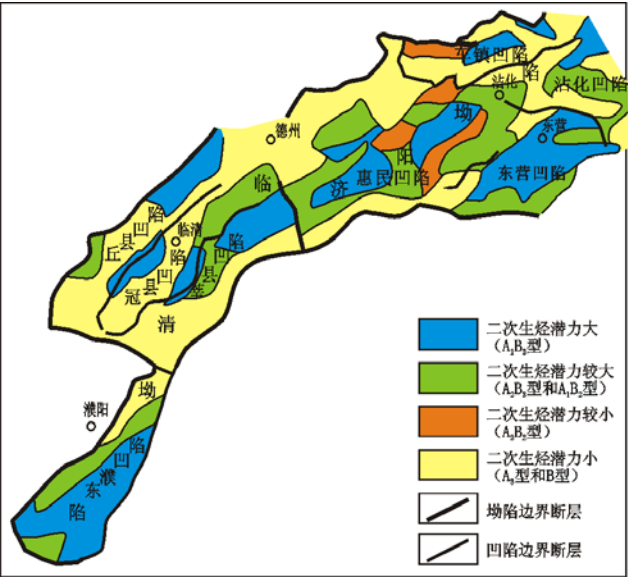


图 4 数值模拟预测的埋藏史类型与二次生烃潜力分布
Fig. 4 Embedding history types and secondary hydrocarbon generation potential predicted with numerical simulation

势,原因是受印支运动影响,上古生界向东北方向明显减薄。上古生界天然气以晚期成藏为主,累积生烃强度不能有效评价上古生界的资源潜力,只有与晚期成藏相匹配的新生代以来的生烃量才具有较高的资源贡献效率,该期的生烃量和生烃强度才是评价与对比上古生界烃源岩生烃潜力和资源潜力的关键依据。

临清坳陷南部的东濮凹陷,总生烃强度大,达 $32.55 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,只具有 2 段生烃过程,且以晚期为主,新生代生烃强度达 $29.12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,资源潜力大(表 4)。

临清坳陷的丘县、冠县、莘县 3 个凹陷,总生烃强度较大,分别为 34.71×10^8 , 22.17×10^8 和

$28.04 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,具有 3 段生烃过程,且以中期为主,晚期生烃强度较小,在 $5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 左右,资源前景较差(表 4)。

济阳坳陷的惠民和东营凹陷,总生烃强度大,分别为 46.62×10^8 和 $23.91 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,具 3 段生烃过程,以晚期为主,晚期生烃强度分别为 27.43×10^8 和 $15.62 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,资源前景较大(表 4)。

济阳坳陷的沾化和车镇凹陷,总生烃强度较小,分别为 16.34×10^8 和 $14.47 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,具 3 段生烃过程,但以晚期为主,晚期生烃强度分别为 9.02×10^8 和 $10.61 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,具有一定的资源前景(表 4)。

3 结论

渤海湾盆地中南部上古生界烃源岩经历了复杂的地史演化过程,应以晚期生烃潜力取代累积生烃强度作为资源潜力分析评价的依据。

渤海湾盆地中南部上古生界经历了多期次的盆地叠合过程,保存有多样式的地层结构,叠合期次和层数越少,越有利于上古生界烃源岩在新生代的晚期生烃。

生烃史模拟表明,临清坳陷南部的东濮凹陷,总生烃强度大,只具有 2 段生烃过程,且以晚期为主,资源潜力大;丘县、冠县和莘县 3 个凹陷,总生烃强度较大,但有 3 段生烃过程,且以中期为主,晚期生烃强度和资源前景较小。济阳坳陷的惠民和东营凹陷,总生烃强度大,具 3 段生烃过程,以晚期为主,资源前景较大;沾化和车镇凹陷,总生烃强度较小,具 3 段生烃过程,以晚期为主,具有一定的资源前景。

表 4 渤海湾盆地中南部凹陷各阶段生烃量和生烃强度对比

Table 4 Contrast of hydrocarbon generation amounts and even hydrocarbon generation intensity of each stage among the depressions in the middle and south of Bohai Bay Basin

坳陷	凹陷	面积/ km^2	生烃量/ (10^{12} m^3)				生烃强度/ $(10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$			
			T	J—K	Cz	总计	T	J—K	Cz	总计
临清坳陷	东濮	5 776	1.98	0.00	16.82	18.80	3.43	0.00	29.12	32.55
	丘县	2 400	0.56	6.57	1.20	8.33	2.33	27.38	5.00	34.71
	冠县	3 081	0.52	5.02	1.29	6.83	1.69	16.29	4.19	22.17
	莘县	3 973	0.64	9.20	1.30	11.14	1.61	23.16	3.27	28.04
济阳坳陷	惠民	4 987	1.41	8.16	13.68	23.25	2.83	16.36	27.43	46.62
	东营	3 572	0.44	2.52	5.58	8.54	1.23	7.05	15.62	23.91
	沾化	2 582	0.48	1.41	2.33	4.22	1.86	5.46	9.02	16.34
	车镇	1 320	0.31	0.20	1.40	1.91	2.35	1.52	10.61	14.47
总计		27 691	6.34	33.08	43.6	83.02	2.29	11.95	15.75	29.98

参考文献:

- 1 胡宗全,周新科,张玉兰. 济阳拗陷前第三系油气勘探前景[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):655~660
- 2 常俊合,李新军,何江等. 东濮凹陷古2井天然气地球化学特征及成因研究[J]. 天然气地球科学,2005,16(5):608~611
- 3 胡宗全,王传刚,张玉兰等. 渤海湾盆地东濮凹陷上古生界潜山油气成藏条件评价[J]. 石油实验地质,2004,26(6):553~556
- 4 林武,李政,李钜源等. 济阳拗陷孤北潜山带天然气成因类型及分布规律[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):419~426
- 5 张英利,赵长毅,朱炎铭. 华北地区上古生界二次生烃及成藏条件特征[J]. 沉积学报,2006,24(5):747~755
- 6 王毓俊,田在艺. 华北东部盆地油气勘探潜力与发展方向[J]. 石油学报,2003,24(7):7~12
- 7 梁生正,杨国奇,田建章等. 渤海湾叠合盆地大中型天然气田的勘探方向[J]. 石油学报,2001,22(6):1~4
- 8 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
- 9 胡宗全. 华北东部地区盆地叠合特征与古生界生烃史[J]. 现代地质,2006,20(4):585~591
- 10 梁生正,谢恭俭,马郡等. 华北石炭—二叠系残留盆地天然气勘探方向[J]. 天然气工业,1998,18(6):16~19
- 11 吴智平,李伟,任拥军等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. 地质学报,2003,77(2):280~286
- 12 常俊合,岳玉山,吕红玉等. 东濮凹陷上古生界热演化史与生烃期关系[J]. 石油勘探与开发,2004,31(2):32~34
- 13 周建林. 济阳拗陷上古生界煤成气成藏规律认识[J]. 地球科学与环境学报,2004,26(2):47~50
- 14 肖丽华,孟元林,李臣等. 冀中拗陷文安斜坡古生界成藏史分析[J]. 石油勘探与开发,2004,31(2):43~45
- 15 胡宗全,朱建辉. 华北东部地区上古生界天然气成藏条件分析[J]. 石油勘探与开发,2006,33(6):697~701
- 16 郑和荣,胡宗全. 渤海湾盆地与鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏条件分析[J]. 石油学报,2006,27(3):1~5
- 17 秦勇,张有生,朱炎铭等. 煤中有机质二次生烃迟滞性及其反应动力学机制[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2000,25(3):278~282
- 18 张润合,赵宗举,贺小苏等. 淮南煤矿山西组煤样的二次生烃模拟研究[J]. 石油勘探与开发,2004,31(4):25~28
- 19 刘洛夫,王伟华,李术元. 干酪根二次生烃热模拟实验研究[J]. 沉积学报,1995,13(增刊):147~150
- 20 李慧莉,金之钧,何治亮等. 海相烃源岩二次生烃热模拟实验研究[J]. 科学通报,2007,52(11):1322~1328
- 21 关德师,王兆云,秦勇等. 二次生烃迟滞性定量评价方法及其在渤海湾盆地中的应用[J]. 沉积学报,2003,21(3):533~537
- 22 邹艳荣,杨起,刘大锰. 华北晚古生代煤二次生烃的动力学模式[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1999,24(2):189~191
- 23 Magoon L B, Dow D W G. The petroleum system: from source to trap. AAPG memoir 60[M]. Tulsa: AAPG, 1994. 1~30
- 24 Isaksen G H. Central North Sea hydrocarbon system: generation, migration, entrapment, and thermal degradation oil and gas[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(11):1545~1572
- 25 朱建辉,江兴歌,徐旭辉等. 苏北盆地海安凹陷曲塘—李堡地区新生代演化和油气响应评价[J]. 石油实验地质,2005,27(2):138~143
- 26 徐旭辉,江兴歌,朱建辉等. TSM盆地模拟:在苏北溱潼凹陷的应用[M]. 北京:地质出版社,1997

(编辑 韩 或)

(上接第438页)

- 查(II):非地震方法[J]. 地球物理学报,1999,42(4):508~519
- 5 杨文采,胡振远,程振炎等. 郯城—涟水综合地球物理剖面[J]. 地球物理学报,1999,42(2):206~217
- 6 杨文采,程振炎,陈国九等. 苏鲁超高压变质带北部地球物理调查(Ⅰ):深反射地震[J]. 地球物理学报,1999,42(1):41~52
- 7 朱光,徐佑德,刘国生等. 郯庐断裂中—南段走滑构造特征与变形规律[J]. 地质科学,2006,41(2):226~241
- 8 程裕淇,常印佛,徐惠芬等. 大别—苏鲁造山带地质图(1:50万)说明书[M]. 北京:地质出版社,2003
- 9 陈沪生,周雪清,李道琪等. 中国东部灵璧—奉贤(HQ—13)地质断面图(1:100万)说明书[M]. 北京:地质出版社,1993
- 10 徐师文. 大地电磁测深在下扬子及邻区的应用[J]. 海相油气地质,1997,2(4):43~52
- 11 陈安定. 苏北南部、句容地区中生界构造特征[J]. 小型油

气藏,2006,11(1):1~16

- 12 吴元燕,平俊彪,付建林等. 中国油气藏破坏类型及分布[J]. 地质论评,2002,48(4):377~383
- 13 吴向阳,曾海东,金兴国等. 苏南SK1井钻探结果对下扬子区油气勘探的启示[J]. 石油勘探与开发,2000,27(5):5~7
- 14 周荔青,吴聿元. 苏北盆地浅层油气藏类型及分布特征[J]. 石油实验地质,2007,29(4):334~339
- 15 陈安定,黄仓明,杨芝文等. 皖南—浙西下古生界沥青成因及南方海相“有效烃源岩”问题探讨[J]. 海相油气地质,2004,9(1):77~83
- 16 袁玉松,郭彤楼,胡圣标等. 扬子苏南地区构造—热演化及烃源岩成烃史研究:以圣科1井为例[J]. 自然科学进展,2005,15(6):753~758
- 17 范小林,翟常博,邓模. 中生代构造运动在南方海相油气勘探中的意义[J]. 石油实验地质,2006,28(6):539~543

(编辑 韩 或)