

文章编号: 0253-9985(2005)04-422-05

中国近海主要含油气盆地烃源岩天然气生成特征

黄正吉

(中国海油实业信息技术开发分公司, 河北高碑店 074010)

摘要: 采用天然气源岩定量评价技术, 对中国近海海域主要含油气盆地各类烃源岩的天然气产出能力及成气规律作了探索与研究, 获得的初步认识是: 1) 琼东南、珠江口和东海 3 个盆地所发育的煤系烃源岩有很高的天然气产率, 天然气产出均出现了两个成气高峰, 表现出成气窗很宽的特征; 2) 莺歌海盆地海相烃源岩有机质组成以陆源有机质为主, 天然气生成也具产率高、成气窗宽的特征; 3) 渤海、东海、珠江口和北部湾盆地湖相烃源岩除个别 iv 型泥岩有高的产气率之外, 各湖盆广泛分布的 ③_1 型泥岩只有较高的产气率, 天然气大量产出仅出现一个成气高峰, 表现为单峰型, 其成气窗远窄于煤系与海相烃源岩。

关键词: 煤系烃源岩; 海相烃源岩; 湖相烃源岩; 产气能力; 成气规律; 热模拟实验; 含油气盆地; 中国近海

中图分类号: TE112.1 文献标识码: A

Characteristics of natural gas generation of source rocks in major petroliferous basins in offshore China

Huang Zhengji

(Information Technology Development Company, CNOOC, Gaobeidian, Hebei)

Abstract Quantitative evaluation technologies of gas source rocks are used to study the gas generating capacity of various source rocks in the major petroliferous basins in offshore China. The following understandings have been achieved: gas yields of coal measure source rocks in Qiongdongnan basin, Pearl River Mouth basin and East China Sea basin are very high. Gas generations in these three basins have the characteristics of dual peaks and wide gas windows. (2) marine source rocks in Yinggehai basin are mainly composed of terrestrial organic matters, and gas generation in this basin is also characterized by high gas yield and wide gas window; (3) as to the lacustrine source rocks in Bohai, East China Sea, Pearl River Mouth and Beibuwan basins, except for some mudstones with type iv kerogen have high gas yield, the mudstones with type ③_1 kerogen which are widely distributed in these lake basins have relatively high gas yield and only a single peak of gas generation. Their gas windows are much narrower than that of coal measures and marine source rocks.

Key words coal measure source rock; marine source rock; lacustrine source rock; gas generating capacity; pattern of gas-generation; pyrolysis simulation experiment; petroliferous basins; offshore China

为了早日发掘海域油气资源, 依据海域第三轮油气资源评价工作的需要, 采用天然气源岩定量评价技术^[1~3], 对近海海域主要含油气盆地各类烃源岩的天然气产出能力及成气规律作了对比研究。由于海域油气勘探程度低, 烃源岩研究相

对薄弱, 烃源岩产气研究更是寥寥无几。

1 样品及实验

煤系烃源岩样品分别采自琼东南盆地渐新统崖城组、珠江口盆地始新—渐新统恩平组和东海

表 1 中国近海海域代表性烃源岩地球化学基本参数

Table 1 Basic geochemical parameters of typical source rocks in offshore China

盆 地	次级构造单元	层 位	样 品	有机碳含量 / %	生烃潜量 / (mg·g ⁻¹)	T _{max} /℃	母质类型
珠江口	惠州凹陷	恩平组	煤系泥岩	2.00	5.61	441	⊕ ₂
珠江口	惠州凹陷	恩平组	煤	41.63	106.06	444	⊖ ₄
琼东南	崖西低凸起	崖城组	煤	66.3	190.80	444	⊖ ₄
东海	西湖凹陷	平湖组	煤	54.00	215.96	431	⊖ ₄
东海	西湖凹陷	平湖组	煤系泥岩	1.44	2.47	440	⊕ ₂
莺歌海	中央坳陷	莺歌海	海相泥岩	1.02	0.88	435	⊖ ₄
莺歌海	中央坳陷	黄流组二段	海相泥岩	2.58	3.73	448	⊕ ₂
渤海	沙南凹陷	沙河街组三段	湖相泥岩	5.15	40.05	439	iv
渤海	歧口凹陷	沙河街组三段	湖相泥岩	2.58	13.76	433	⊕ ₁
渤海	辽中凹陷	东营组三段	湖相泥岩	1.72	4.95	429	⊕ ₂
东海	椒江凹陷	月桂峰组	湖相泥岩	1.78	5.80	441	⊕ ₁
珠江口	文昌凹陷	文昌组二段	湖相泥岩	2.80	11.63	434	⊕ ₁
北部湾	涠西南凹陷	流沙巷组二段	湖相泥岩	13.60	73.39	432	iv

盆地始新统平湖组、上古新统明月峰组;海相烃源岩采自莺歌海盆地上第三系黄流组和莺歌海组;湖相烃源岩分别采自渤海下第三系沙河街组和东营组、珠江口盆地始新统文昌组、北部湾盆地始新统流沙港组和东海盆地地下古新统月桂峰组(表 1)。

烃源岩产气模拟实验由中国石油天然气集团公司勘探开发科学研究院廊坊分院完成。实验仪器有热模拟生烃装置、定量分析装置和数据处理 3 部分。热模拟生烃装置用 SGE 热解器(澳大利亚生产)改装而成,由热解炉和温度控制系统两部分组成。定量分析装置用 HP5890A 型气相色谱仪改进而成,色谱柱为 OV-1 填充柱,柱长 3 m,内径 3 mm。数据控制和处理部分由微机和有关软件组成。测定方法:将粉碎至粒径为 0.14~0.24 mm(60 目至 20 目)的岩石颗粒样品置于 SGE 加热器内,初始温度 30℃,升温速率 15℃/min,在预设温度加热 45 min,测试分 5~9 个温度点进行,根据样品情况分别设置为 250 350 400 450 500 550 600 700 800℃不等;用氦气作载气,经液氮冷阱收集热解产物。色谱仪分析产物组成和含量,由数据控制和处理系统进行数据处理,输出测定结果。C₁—C₅的和为总产气量。用各温度点的模拟残渣制片测定 R_o值,测试仪器为 MPV-3 型显微光度计。

2 结果与讨论

2.1 地质地球化学特征及累积产气量

2.1.1 煤系烃源岩

琼东南盆地渐新统崖城组煤系烃源岩主要发

育在海岸平原相,有泥岩、碳质泥岩和煤 3 类源岩,各类源岩有机质均很富集。测试煤样的有机碳含量为 66.3%,生烃潜量值为 190.8 mg/g 产气模拟实验累积产气量达 199.63 m³/t

珠江口盆地始新世末,由于盆地沉降速率减缓,物源供给充分,古湖盆逐渐萎缩,平原河流相、湖沼和沼泽相沉积广泛发育,形成了大面积分布的恩平组煤系烃源岩。恩平组煤系泥岩测试样品的有机碳含量为 2.0%,生烃潜量值为 5.61 mg/g 产气模拟实验累积产气量高达 318.80 m³/t 煤有机碳含量为 41.63%,生烃潜量值为 106.06 mg/g 产气模拟实验累积产气量为 125.73 m³/t

东海盆地始新统平湖组、渐新统花港组、上古新统明月峰组煤系烃源岩发育,平湖组和花港组煤系烃源岩主要发育在西湖凹陷,明月峰组煤系烃源岩主要发育在台北坳陷。平湖组沉积环境为海湾—滨海沼泽相,花港组沉积环境为海湾—滨海沼泽和河湖相。烃源岩由暗色泥岩、碳质泥岩和煤 3 类岩系组成,3 类源岩有机质丰富^[4]。平湖组泥岩测试样品的有机碳含量为 1.44%,生烃潜量值为 2.47 mg/g 产气模拟实验累积产气量为 147.62 m³/t 煤有机碳含量为 54.0%,生烃潜量值为 215.96 mg/g 产气模拟实验累积产气量为 86.73 m³/t

2.1.2 海相烃源岩

莺歌海盆地属于扭张型陆缘盆地,也称转换—伸展盆地^[5]。该盆地由于晚第三纪以来的急剧沉降,接受了厚逾 10 000 m 的上第三系半封闭浅海和半深海相沉积。中央坳陷区烃源岩有机质含量

比较高。上中新统黄流组二段测试样品的有机碳含量为 2.58%, 生烃潜量值为 3.37 mg/g 产气模拟实验累积产气量达 123.03 m³/t 上新统莺歌海组测试样品的有机碳含量为 1.02%, 产气模拟实验累积产气量为 81.19 m³/t

2.1.3 湖相烃源岩

渤海的湖相烃源岩是下第三系沙河街组和东营组, 其中沙河街组三段是古湖泊鼎盛发育期形成的优质烃源岩, 有机质十分富集。沙河街组三段 iv 型源岩测试样品的有机碳含量高达 5.15%, 生烃潜量值为 40.05 mg/g 产气模拟实验累积产气量达 114.83 m³/t 沙河街组三段 ⑥₁ 型源岩测试样品的有机碳含量为 2.58%, 生烃潜量值为 13.73 mg/g 产气模拟实验累积产气量为 81.46 m³/t 东营组是渤海海域重要的烃源层系^[6,7], 其 ⑥₂ 型和 ⑥₃ 型源岩测试样品的有机碳含量分别为 1.72% 和 0.54%, 产气模拟实验累积产气量分别为 60.06 和 51.98 m³/t

东海盆地的湖相烃源岩主要发育在台北坳陷, 地层为下古新统月桂峰组。月桂峰组 ⑥ 型湖相烃源岩测试样品的有机碳含量为 1.78%, 生烃潜量值为 5.8 mg/g 产气模拟实验累积产气量为 73.67 m³/t

珠江口盆地的湖相烃源岩主要是始新统文昌组。该源岩是盆地裂陷发育期形成的优质油源岩。目前, 盆地中众多油田原油的源岩层均为文昌组湖相烃源岩^[8,9]。文昌组湖相烃源岩有机质丰富, 产烃能力强。该组 ⑥ 型湖相烃源岩测试样品的有机碳含量为 2.8%, 生烃潜量值为 11.63 mg/g 产气模拟实验累积产气量达 100.69 m³/t。

北部湾盆地的湖相烃源岩主要是始新统流沙港组, 该源岩也是盆地裂陷发育期形成的优质油源岩, 盆地中发现的原油均源自流沙港组湖相源岩。流沙港组湖相烃源岩有机质富集, 该组 iv 型源岩测试样品的有机碳含量高达 13.6%, 生烃潜量值为 73.93 mg/g 但产气模拟实验累积产气量并不高, 仅为 81.9 m³/t。

2.2 有机质成气演化

2.2.1 煤系烃源岩

琼东南盆地渐新统崖城组煤有很高的天然气产率, 天然气大量生成出现了两个高峰, 第一个高峰出现的 R_o 值为 1.3% ~ 2.0%, 第二个高峰出现的 R_o 值为 2.0% ~ 3.0%, 表现出成气窗很宽的特征 (图 1)。

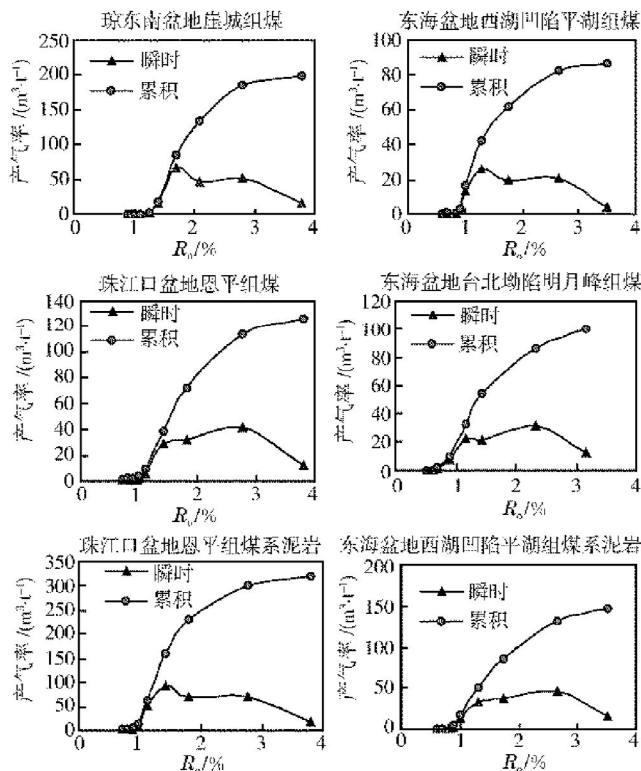


图 1 中国近海煤系烃源岩天然气产率曲线

Fig. 1 Gas yield curves of coal measure source rocks in offshore China

珠江口盆地始新—渐新统恩平组煤和煤系泥岩均有很高的天然气产率, 天然气大量生成也出现了两个成气高峰, 第一个高峰出现的 R_o 值为 1.2% ~ 2.0%, 第二个高峰出现的 R_o 值为 2.0% ~ 3.0%, 表现出成气窗也很宽的特征 (图 1)。

东海盆地始新统平湖组煤和煤系泥岩以及上古新统明月峰组煤系源岩都有高的天然气产率, 天然气大量生成同样出现了两个成气高峰, 第一个高峰出现的 R_o 值为 1.0% ~ 2.0%, 第二个高峰出现的 R_o 值为 2.0% ~ 3.0%, 同样表现出成气窗很宽的特征 (图 1)。

2.2.2 海相烃源岩

莺歌海盆地海相烃源岩有机质组成以陆源有机质为主, 黄流组二段源岩有高的天然气产率, 莺歌海组源岩有较高的天然气产率, 两个层段的源岩测试样品天然气产出都存在两个成气高峰, 第一个高峰出现的 R_o 值为 1.0% ~ 2.0%, 第二个高峰出现的 R_o 值为 2.0% ~ 3.0%, 成气窗也很宽 (图 2)。该盆地接受了厚逾 10 000 m 的海相地层沉积, 加之有很高的地温场^[10,11], 具备优越的热演化条件, 因此成气潜力巨大。

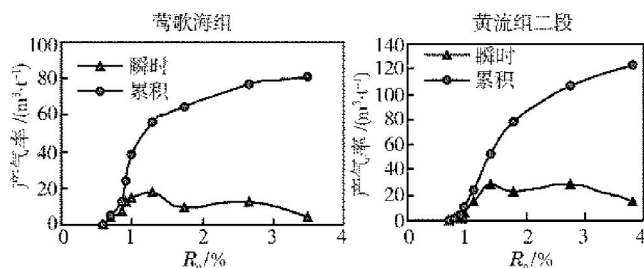


图2 莺歌海盆地海相烃源岩天然气产率曲线

Fig. 2 Gas yield curves of marine source rocks in Yinggehai basin

2.2.3 湖相烃源岩

渤海海域沙河街组三段iv型湖相烃源岩有高的天然气产率,大量生气阶段的 R_e 值为1.0%~2.0%, R_e 值大于2.0%后产气量迅速减少,之后无第二个成气高峰出现;沙河街组三段⑤₁型源岩有较高的天然气产率,大量生气阶段的 R_e 值也集中在1.0%~2.0%,生气峰为单峰;东营组⑥₂型和⑦型源岩天然气产率低,天然气生成也呈单峰型,大量生气阶段的 R_e 值也集中在1.0%~2.0%, R_e 值大于2.0%后产气量迅速减少(图3)。

东海盆地月桂峰组⑤₁型湖相烃源岩有较高的天然气产率,大量生气阶段的 R_e 值为0.8%~1.4%,高峰之后产气量减少,无第二个成气高峰出现(图3)。

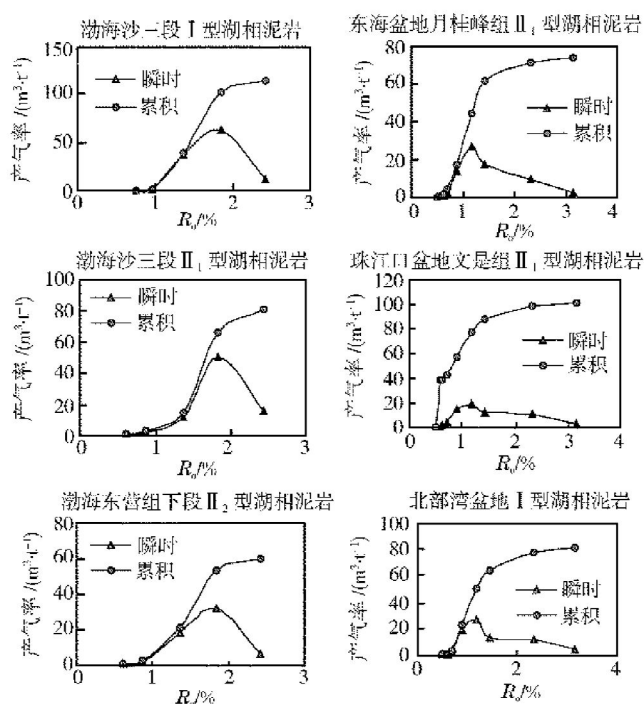


图3 中国近海湖相烃源岩天然气产率曲线

Fig. 3 Gas yield curves of lacustrine source rocks in offshore China

珠江口盆地文昌组⑤₁型湖相烃源岩有高的天然气产率,大量生气阶段的 R_e 值为0.8%~1.4%,高峰之后产气量缓慢减少(图3)。

北部湾盆地流沙港组iv型湖相烃源岩有较高的天然气产率,大量生气阶段的 R_e 值为0.8%~1.4%,高峰之后产气量缓慢减少,表现出单峰型生气特征(图3)。

3 结语

煤系烃源岩主要发育在同属离散型陆缘盆地的琼东南盆地和珠江口盆地以及属聚敛型陆缘盆地的东海盆地,地层分别为琼东南盆地渐新统崖城组、珠江口盆地始新—渐新统恩平组和东海盆地始新统平湖组、渐新统花港组、上古新统明月峰组。3个盆地煤系烃源岩天然气生成的共同特征有二:一是有很高的天然气产率,最高者达 $318.8 \text{ m}^3/\text{t}$;二是天然气产出均出现了两个成气高峰,第一个高峰出现在高成熟阶段,第二个高峰出现在过成熟阶段,表现出成气窗很宽的特征。相比之下,煤系烃源岩是中国近海最有潜力的气源岩。已投入开发的琼东南盆地崖13-1大气田和东海盆地平湖油气田,其源岩均系煤系烃源岩。

海相烃源岩主要发育在属扭张型陆缘的莺歌海盆地和属离散性质的琼东南盆地,地层均为上第三系。由于晚第三纪以来的深陷,形成了厚逾10 000 m的海相沉积。莺歌海盆地上第三系海相烃源岩有机质组成以陆源有机质为主,天然气生成也表现出两个特征:一是天然气产率高,最高者达 $123.03 \text{ m}^3/\text{t}$;二是天然气产出也存在两个成气高峰,第一个高峰出现在高成熟阶段,第二个高峰出现在过成熟阶段,成气窗也很宽,加之该盆地有很高的地温场,具备优越的热演化条件,因此成气潜力巨大。目前已发现的东方1-1、乐东15-1和乐东28-1等气田的源岩就为上第三系海相烃源岩。

湖相烃源岩在陆内裂谷盆地、聚敛型陆缘盆地和离散型陆缘盆地均有发育。这些烃源层系是:渤海下第三系沙河街组和东营组、珠江口盆地始新统文昌组、北部湾盆地始新统流沙港组、南黄海盆地古新统阜宁组和东海盆地古新统月桂峰组。湖相烃源岩的产气能力和成气规律与煤系烃源岩有别,表现有二:一是除个别iv型泥岩有高的产气率之外,在各湖盆广泛分布的⑤型泥岩只有较高的产气率,

以渤海为例,沙河街组 Q_{1-2} 型湖相泥岩的产气率一般仅在 52.21~81.46 t/t,二是湖相烃源岩天然气大量产出仅出现一个成气高峰,表现为单峰型, R_o 大于 2.0% 之后没有第二个成气高峰出现。相比之下,湖相烃源岩的成气窗远窄于煤系烃源岩。尽管如此,中国近海海域湖相烃源岩天然气勘探前景仍然是乐观的,如渤海海域已找到锦州 20-2、锦州 21-1、锦州 13-1、秦皇岛 30-1、曹妃店 18-2 和渤中 26-2 等天然气田(藏)就是例证。

中国近海海域蕴藏着丰富的石油资源,同时还蕴藏着丰富的天然气资源^[12-13]。随着勘探程度的不断提高,更多的油气田将会被发现。可以预见,中国海洋石油勘探的进展将会成为新世纪中国石油工业的新亮点。

致谢: 样品采集得到原中国海洋石油研究中心渤海研究院、南海西部研究院、南海东部研究院有关领导和同志的大力支持和帮助,产气模拟的设计构思和实验得到蒋助生教授和李剑博士的指导,李志生硕士、王春怡工程师和罗霞博士等付出了辛勤的劳动,工作中得到张宽和中国海域第三轮油气资源评价项目全体同仁的指导、支持与帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 李剑. 中国大中型气田天然气成藏物理化学模拟研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 1~55
Li Jian. The study on physical and chemical simulation in natural gas migration of large-to-medium-size gas fields in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2001. 1~55
- 2 李剑. 中国重点含气盆地气源特征与资源丰度 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000. 86~92
Li Jian. Characteristics of gas sources and abundance of resources in major natural gas basins of China [M]. Xuzhou: China Mining Industry University Press, 2000. 86~92
- 3 谢增业, 蒋助生, 张英, 等. 全岩热模拟新方法及其在气源岩评价中的应用 [J]. 沉积学报, 2002, 20(3): 510~514
Xie Zengye, Jiang Zhusheng, Zhang Ying et al. Novel method of whole rock pyrolysis modeling and application to the evaluation of source rock [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(3): 510~514
- 4 黄正吉, 李友川, 崔护社. 东海及台湾海峡的烃源岩及产烃潜力分析 [A]. 见: 梁狄刚, 黄第藩, 马新华, 编. 有机地球化学研究新进展——第八届全国有机地球化学学术会议论文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 65~71
Huang Zhengji, Li Youchuan, Cui Hushu. The study of source potential in East China Sea and Taiwan straits [A]. In: Liang Digang, Huang Difan, Ma Xinhua, eds. Proceedings of the 8th national

- symposium on organic geochemistry of China [C]. Beijing Petroleum Industry Press, 2002. 65~71
- 5 王华, 朱伟林, 王彦. 莺歌海盆地充填史及中—深层储层特征 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 55~57
Wang Hua, Zhu Weilin, Wang Yan. Characteristics of medium-deep reservoir and sedimentary history in Yinggehai basin [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 55~57
- 6 何仕斌, 李丽霞, 李建红. 渤中坳陷及其邻区第三系沉积特征和油气勘探潜力分析 [J]. 中国海上油气, 2001, 15(1): 61~71
He Shibin, Li Lixia, Li Jianhong. Tertiary sedimentology and hydrocarbon potential in Bozhong depression and its adjacent area [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(1): 61~71
- 7 黄正吉, 李友川. 渤海湾盆地渤中坳陷东营组烃源岩的烃源前景 [J]. 中国海上油气, 2002, 16(2): 118~124
Huang Zhengji, Li Youchuan. Hydrocarbon source potential of Dongying Formation in Bozhong depression, Bohai Bay basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2002, 16(2): 118~124
- 8 黄正吉. 珠江口盆地陆相烃源岩与油气生成 [J]. 中国海上油气, 1998, 12(4): 255~261
Huang Zhengji. Nonmarine source rock and petroleum formation in Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1998, 12(4): 255~261
- 9 张水昌, 龚再升, 梁狄刚, 等. 珠江口盆地东部油气系统地球化学——iv: 油组划分、油源对比及混源油确定 [J]. 沉积学报, 2004, 22(S0): 15~26
Zhang Shuichang, Gong Zaisheng, Liang Digang et al. Geochemistry of petroleum systems in the eastern Pearl River Mouth basin—I. Oil family classification, oil-source correlation and mixed oil analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(S0): 15~26
- 10 张启明, 胡忠良. 莺—琼盆地高温高压环境及油气运移机制 [J]. 中国海上油气, 1992, 6(1): 1~9
Zhang Qiming, Hu Zhongliang. Hot geopressed Yinggehai-Qiongdongnan basin: its hydrocarbon migration [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1992, 6(1): 1~9
- 11 何家雄, 李明兴, 陈伟煌. 莺歌海盆地热流体上侵活动与天然气运聚富集关系探讨 [J]. 天然气地球科学, 2000, 11(6): 29~43
He Jiaxiong, Li Mingxing, Chen Weihuang. Geotemperature field and upwelling action of hot flow body and its relationship with natural gas migration and accumulation in Yinggehai basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(6): 29~43
- 12 王庭斌, 冯福凯. 中国天然气地质特征及勘探前景 [J]. 石油与天然气地质, 1992, 11(3): 237~244
Wang Tingbin, Feng Fukai. Geological properties and exploration prospects of natural gas in China [J]. Oil & Gas Geology, 1992, 11(3): 237~244
- 13 张抗. 中国天然气资源的两点论和发展战略 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 163~167
Zhang Kang. Two aspects of natural gas resources in China and their development strategy [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 163~167

(编辑 李 军)