

文章编号: 0253-9985(2005)05-0655-06

济阳坳陷前第三系油气勘探前景

胡宗全, 周新科, 张玉兰

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 济阳坳陷前第三系发育下古生界碳酸盐岩、上古生界煤系、中生界侏罗系煤系 3 套烃源岩系。其中, 上古生界煤系最好。因此, 济阳坳陷前第三系自生自储型油气藏应以勘探天然气为主, 层系上以上古生界含气系统为主, 兼探中生界含油气系统。孤北古 1 气藏的地质特征及成藏过程表明, 上古生界自生自储天然气藏成藏有赖于深凹区存在较厚的上古生界烃源岩、大型构造背斜圈闭背景和良好的生储盖配置。经有利生烃区分布、储层及盖层条件和圈闭类型等因素评价, 济阳坳陷上古生界的 7 个有利勘探区带分别为沾化凹陷的孤北、孤南、罗家和郭局子、东营凹陷的金家和林樊家以及车镇凹陷的车西; 4 个较有利区带分别为沾化凹陷的埕东和义南、东营凹陷的南坡和惠民凹陷南坡。

关键词: 二次生烃; 有效储层; 前第三系; 勘探前景; 济阳坳陷

中图分类号: TE112.1 文献标识码: A

Potential of petroleum exploration in pre-Tertiary in Jiyang depression

Hu Zongquan, Zhou Xinke, Zhang Yulan

(Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract Three pre-Tertiary source rock sequences are developed in Jiyang depression, including Lower Paleozoic carbonates, Upper Paleozoic coalmeasures and Mesozoic Jurassic coalmeasures, of which the Upper Paleozoic coalmeasures are the best. Therefore, gas reservoirs that have been generated and reseroured indigenously should be taken as the main targets of exploration in pre-Tertiary in Jiyang depression. Focus should be put on the Upper Paleozoic petroleum system, with considerations being given to Mesozoic petroleum system. The geologic features and reservoiring history of Gu-1 gas reservoir in Gubei area indicate that formation of gas reservoirs characterized by being generated and reseroured indigenously has largely depended on the development of the Upper Paleozoic source rocks, large anticlinal traps and good timing of source-reservoir-cap rocks in the deep sag area. Comprehensive evaluation of the distribution of favorable source rocks, reservoir and seal conditions and trap types indicates that there are 7 favorable exploration prospects in the Upper Paleozoic in Jiyang depression, including Gubei, Gunan, LuoJia and Guojuzi in Zhanhua sag, Jinjia and Linfanjia in Dongying sag and Chexi in Chezhen sag, and 4 less favorable prospects, including Chengdong and Yinan in Zhanhua sag and southern slopes of both Dongying and Huimin sags.

Key words secondary hydrocarbon generation; effective reservoir; pre-Tertiary exploration potential; Jiyang depression

济阳坳陷是我国重要的油气基地, 主要勘探目的层为上、下第三系和前第三系潜山, 共探明石

油地质储量近 50×10^8 t。随着勘探程度的不断提高, 勘探层系不断向深层延伸, 寻找来源于前第三

基金项目: 中国石化科技项目“中石化环渤海湾地区前第三系油气资源前景”(P03076)

第一作者简介: 胡宗全, 男, 34 岁, 高级工程师(博士后), 储层与油气藏地质

收稿日期: 2005-07-20

系的油气资源越来越重要。近年来,在济阳坳陷及其邻区,上古生界天然气勘探不断取得突破,中生界勘探也有一定的发现,展示前第三系油气资源具有良好的勘探前景^[1~6]。

1 烃源岩

1.1 地球化学特征

济阳坳陷早古生代主要发育海相碳酸盐岩和泥岩,晚古生代主要发育海陆交互相含煤沉积,中生代演化为陆相环境,侏罗系下部的坊子组沉积了一套湖岸沼泽相含煤沉积。

济阳坳陷下古生界碳酸盐岩以浅水台地相高能沉积为主,缺乏真正意义上的斜坡相和盆地相沉积,有机质含量很低,绝大多数样品总有机碳(TOC)丰度低于 0.35% (表 1)。最新研究认为^[6],碳酸盐烃源岩原始有机质丰度的恢复系数与泥岩差异不大,大多数研究者认为^[2]海相碳酸盐岩有效烃源岩有机质丰度下限标准必须达到 0.4% ~ 0.5%,据此标准,济阳坳陷下古生界碳酸盐岩基本属于差到非烃源岩。

济阳坳陷上古生界石炭系本溪组、二叠系山西组、太原组发育含煤地层,有机质丰度高(表 1)。东濮凹陷在中央隆起带的下第三系中发现了探明储量达 $150 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的文 23 气藏,文古 2 井发现了上古生界自生自储气藏^[7]。最近在济阳坳陷孤北地区发现了储量规模超过 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的孤北古 1 气藏,气源均来自于上古生界煤系烃源岩,即上古生界煤系属于确定的气源岩。

济阳坳陷侏罗系坊子组煤系分布不稳定,烃

源岩品质比上古生界稍差,在局部地区煤层最厚可达 30 m 左右,具有一定的生烃潜力。

1.2 生烃史

依据烃源岩经历的埋藏过程,济阳坳陷古生界烃源岩生烃史可划分为三叠纪、侏罗纪—白垩纪、早第三纪以来 3 个阶段,分别称为生烃史的早、中、晚期。由于渤海湾盆地的主要成藏期为早第三纪之后^[8~10],因此古生界烃源岩有效生烃潜力是指早第三纪以来的“二次生烃”潜力。

华北东部地区古生界烃源岩主要有 3 种生烃史类型: 1) 早期浅埋、中期抬升、晚期深埋型,这种类型的二次生烃潜力大; 2) 早期浅埋、中期深埋、晚期浅埋型,这种类型有一定二次生烃潜力; 3) 早期深埋、中晚期抬升型,这种类型基本不具备二次生烃潜力。济阳坳陷总体以第一种类型为主。三叠纪末上古生界烃源岩埋藏深度在 2 500 m 左右, R_o 在 0.8% 左右,刚进入生烃门限,下古生界烃源岩达到生油高峰。济阳坳陷三叠系在印支期被剥蚀殆尽,导致古生界烃源岩生烃中止; 侏罗纪—白垩纪接受沉积的总厚度与三叠系的原始沉积厚度相当,因此在整个中生代,上古生界总体保持三叠纪末的演化程度,新生代断陷幅度大,可达 5 000 ~ 7 000 m,使上古生界烃源岩迅速达到“二次生烃”高峰,中生界烃源岩也进入生气窗。

1.3 生烃潜力

受稳定的沉积条件控制,古生界烃源岩的厚度和有机质丰度在横向上分布均较稳定,而烃源岩经历的演化史则具有很大的差异,造成晚期生烃潜力在横向上的显著差异。

表 1 济阳坳陷前第三系主要烃源岩系地球化学参数对比

Table 1 Comparison of geochemical parameters of the main pre-Tertiary source rocks in Jiyang depression

地 层			烃源岩岩性	TOC / %	生烃潜量 / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	R_o / %
界	系	统或组				
中生界	侏罗系	坊子组	泥岩	2.00	0.80	0.8
			煤	60.00	46.80	0.8
上古生界	石炭系—二叠系	本溪组—太原组	泥岩	3.00	2.00	1.1
			煤	70.00	150.00	1.1
	奥陶系	八陡组	灰岩	0.35	0.06	2.2
		马家沟组	白云岩	0.17	0.07	2.2
		冶里组	白云岩	0.13	0.01	2.5
		亮甲山组	白云岩	0.31	0.02	2.5
	寒武系	上统	泥岩	0.08	0.02	2.6
			白云岩	0.08	0.07	2.6
		中统	砂质泥岩	0.06	0.06	2.6
			灰岩	0.08	0.08	2.6
		下统	灰岩	0.11	0.08	2.6

下古生界有机质丰度总体很低, 相对较高的层段为上部的上马家沟组。在三叠纪末, 下古生界烃源岩热演化程度普遍达到生油高峰, 很大程度上消耗了其本不丰富的原始有机质, 晚期生烃潜力较小。

上古生界总体生气强度大致比中生界高 4~5 倍(图 1)。上古生界有利生烃区主要分布于下第三系洼陷区,最高生烃区位于沾化凹陷东部,局部可达 $50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,东营凹陷的生烃强度较高,部分地区的生气强度在 $50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 以上。

中生界与上古生界的有效生烃区有一定程度的相似性,主要是由于在凹陷内部中生界和上古生界埋藏深度均较大,而且具有较大的生烃潜力,在凸起上两套地层均可能遭受剥蚀,或由于晚期埋藏深度不够而不具备生烃潜力。

烃源岩条件对比及晚期生烃潜力分析表明, 济阳坳陷前第三系自生自储油气藏勘探以寻找天然气为主。层系上以上古生界含油气系统最为重要, 兼探中生界含油气系统。

2 典型气藏解剖

2.1 基本特征

孤北低潜山是位于沾化凹陷中部孤岛背斜带北侧的一个断背斜,勘探面积约 200 km²。该潜山带在上古生界获工业气流井 4 口,其中孤北古 1 井获得高产气流。据测算,孤北古 1 井区天然气储量规模 $150 \times 10^8 \sim 180 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2004 年新增控制天然气储量 $68 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。孤北古 1 井产出的天然气具有碳同位素偏重的特征,属于典型的煤成气,主要来源于上古生界煤层、泥岩和碳质泥岩。据统计孤北地区上古生界发育煤层 3~21 层,单

层最大厚度可达 11.5m, 累积厚度 29m。

据岩石物性统计结果,孤北古 1 井区石炭—二叠系砂岩储层具有良好的孔渗性能,54 个孔隙度实测样品中,有 12 个样品孔隙度为 10%~12%,占 22.2%,有 8 个样品孔隙度大于 12%,可以达到好的天然气储层标准。岩心观察发现,孤北古 1 井上古生界砂岩储层还发育大量张性裂缝,极大地改善了储层的渗滤性能,有利于形成高产。

孤北地区上古生界泛滥平原相泥岩可以作为直接盖层或隔层,覆盖于上古生界之上的中生界,砂泥比不足 1/5,可作为良好的区域盖层。现已证实,东营凹陷西部侏罗系底部暗色地层具有良好的封盖条件^[11]。

2.2 成藏模式

孤北古 1 气藏形成过程如下 (图 2)。

1) 印支期, 形成了孤岛背斜的雏形, 受差异隆升作用影响, 上古生界遭受差异剥蚀作用, 总体向北东方向减薄, 较长期的风化淋滤改善了背斜高部位上古生界砂岩储层的孔隙性。

2) 侏罗纪—白垩纪, 地层超覆于上古生界顶部风化壳之上, 构造良好的区域性盖层。

3) 早第三纪,受断陷期区域张性应力场的作用,上古生界碎屑岩内形成大量张性裂缝,大大改善了储层的储渗性能;断层的强烈活动使孤岛背斜翼部的、被断入下第三系深洼区的上古生界烃源岩达到“二次生烃”门限深度,形成的天然气沿储层向构造高部位聚集。

4) 晚第三纪—第四纪, 上古生界埋藏深度进一步加大, 背斜较高部位的烃源岩也依次进入“二次生烃”门限, 开始大面积生烃, 天然气向构造高部位进一步富集, 气藏定型。

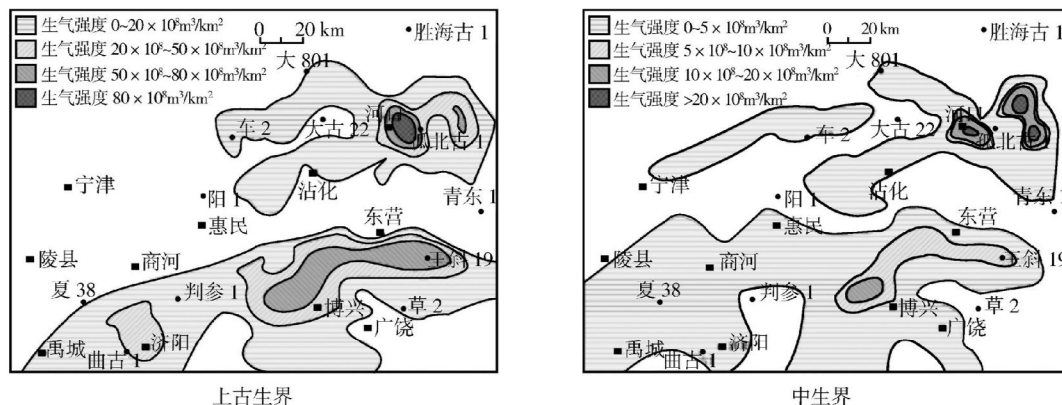


图 1 济阳坳陷上古生界和中生界煤系生气强度图

Fig. 1 Gas generation intensity of the Upper Paleozoic and Mesozoic coal measure strata in Jiyang depression

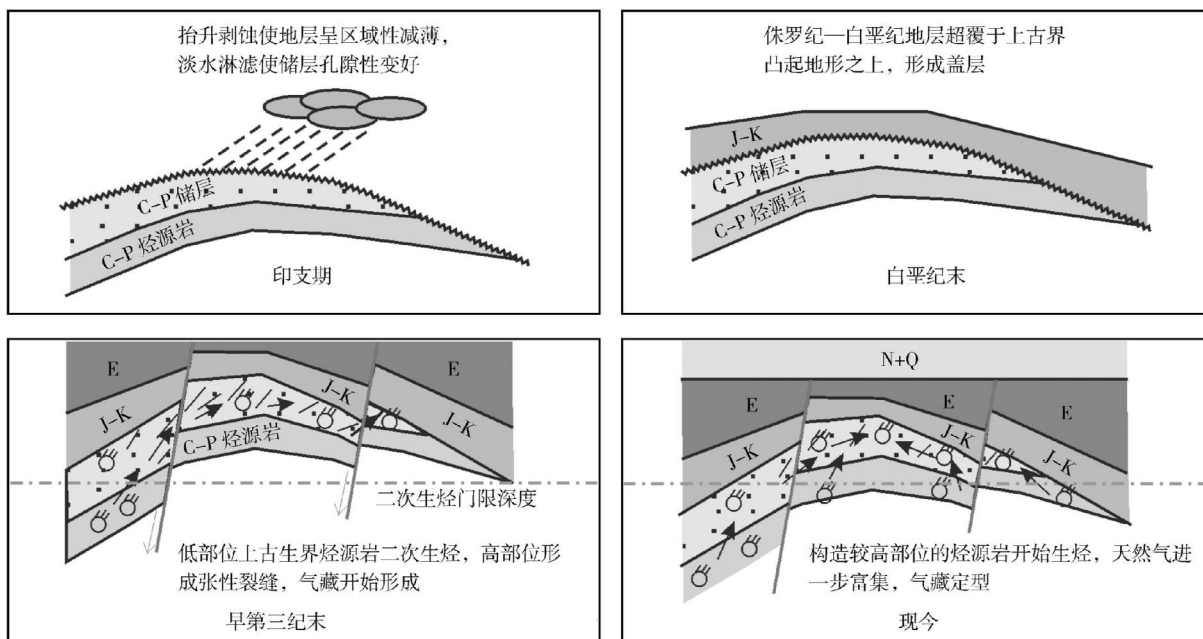


图 2 孤北古 1 上古生界自生自储天然气藏成藏模式

Fig. 2 Reservoir pattern of the Upper Paleozoic gas pools characterized by being generated and reservoired indigenously in Gu 1 in Gubei area

2.3 主控因素

在对孤北古 1 气藏成藏过程进行恢复的基础上, 结合华北其他地区发现的上古生界自生自储气藏特征^[12-14], 认为上古生界自生自储成藏受以下因素控制: 1) 下第三系深凹区须有较厚的上古生界, 为气藏提供充足的气源; 2) 必须具有背斜构造圈闭背景, 大的圈闭面积和聚集范围才有可能形成有价值的工业气藏; 3) 良好的储盖组合条件决定气藏能否富集高产。上古生界上部的厚层、粗粒河道砂岩是有利的储集砂体, 经历地表淋滤和构造裂缝的改造有利于形成优质储层。既要有上古生界内部的泥岩作为直接盖层, 又要有中生界作为区域盖层。

3 勘探前景

3.1 储层条件

华北东部地区上古生界砂岩储层主要为石英砂岩和长石石英砂岩, 由北向南, 石英含量明显降低, 其中济阳凹陷以石英砂岩为主, 东濮凹陷过渡为长石石英砂岩, 周口凹陷有部分为长石砂岩。岩性差异主要受控于沉积环境的变化, 济阳凹陷主要发育曲流河道砂体, 临清凹陷至东濮凹陷主要发育分支河道砂体, 周口凹陷主要发育分支河道和三角洲砂体。据岩心观察, 济阳凹陷孤北古 2 井上古生界砂岩主要为含砾粗砂岩, 而东濮凹陷

范古 2 井、文古 2 井的上古生界砂岩粒度最粗也仅为细-中粒砂岩。

由济阳凹陷向南到东濮凹陷再到周口凹陷, 储层岩性条件变差, 与之相应, 储层物性具有明显的变坏趋势 (表 2)。

对砂岩储层来说, 储层物性随埋藏深度加大而降低是一种普遍趋势^[15-19]。将华北东部各地区上古生界储层孔隙度与深度散点分布进行对比 (图 3), 若孔隙度随深度的递降速率是每 1 000 m 降低 3%, 以 6% 作为有效储层的孔隙度下限, 则济阳凹陷的有效储层深度下限在 5 000 m 左右, 东濮凹陷在 4 500 m 左右, 周口凹陷在 3 500 m 左右, 说明济阳凹陷的纵向勘探领域较宽。

3.2 成藏条件

上古生界自生自储成藏依赖于煤系的“二次生烃”潜力与优质砂岩储层之间的配置。煤系烃源岩必须在“二次生烃”深度上限之下, 而储层必

表 2 各地区上古生界砂岩储层物性对比

Table 2 Comparison of poropem parameters of the Upper Paleozoic sandstone reservoirs in various areas

地区	样品数 / 个	最大孔隙度 / %	最小孔隙度 / %	平均孔隙度 / %	有效储层比例 / %
济阳凹陷	47	12.0	2.5	6.4	54
东濮凹陷	29	9.0	1.5	4.6	20
周口凹陷	35	9.0	0.5	3.2	10

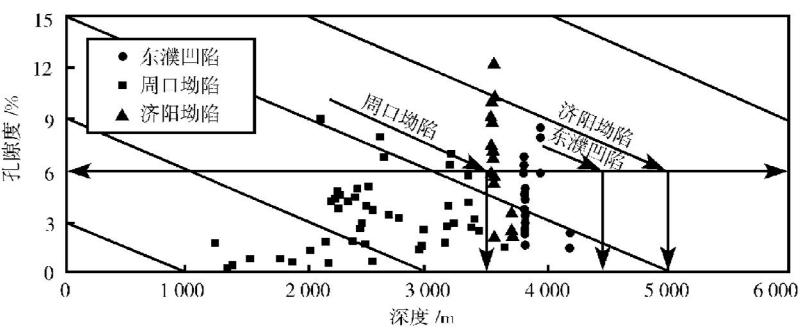


图 3 各地区上古生界有效储层深度下限

Fig. 3 Lower depth limits of effective Upper Paleozoic reservoirs in various areas

须在有效储层深度下限之上。“二次生烃”深度上限越小、有效储层深度下限越大, 则有利生烃区与有利储集相带的配置关系越好, 成藏条件就越好, 纵向上的有效勘探深度范围越大。

东营凹陷的“二次生烃”上限为 3 000 m, 有效储层深度下限为 5 000 m, 上古生界厚度约 600 m。由于储层主要分布在顶部, 烃源岩主要分布在底部。因此, 形成原地自生自储天然气藏的深度绝对值为 $5\,000\text{ m} - 3\,000\text{ m} + 600\text{ m} = 2\,600\text{ m}$, 即上古生界顶面深度范围为 2 400~ 5 000 m。惠民凹陷“二次生烃”上限为 4 000 m, 形成原地自生自储天然气藏的深度绝对值为 $5\,000\text{ m} - 4\,000\text{ m} + 600\text{ m} = 1\,600\text{ m}$, 即上古生界顶面深度为 3 400~ 5 000 m。沾化凹陷“二次生烃”上限为 3 800 m, 形成原地自生

自储天然气藏的深度绝对值为 $5\,000\text{ m} - 3\,800\text{ m} + 600\text{ m} = 1\,800\text{ m}$, 即上古生界顶面深度为 3 200~ 5 000 m。车镇凹陷“二次生烃”上限为 3 900 m, 形成原地自生自储天然气藏的深度绝对值为 $5\,000\text{ m} - 3\,900\text{ m} + 600\text{ m} = 1\,700\text{ m}$, 即上古生界顶面深度范围为 3 300~ 5 000 m。从纵向勘探领域来看, 东营凹陷、沾化凹陷、车镇凹陷和惠民凹陷的纵向有效勘探深度逐步递降(图 4)。

3.3 区带评价

结合有利生烃区分布、储层及盖层条件、圈闭类型及埋藏深度等因素对上古生界有利勘探区带进行了评价。7个有利区带分别为沾化凹陷的孤北、孤南、罗家和郭局子、东营凹陷的金家和林樊家、车镇凹陷的车西, 共有远景资源量 $3\,050 \times$

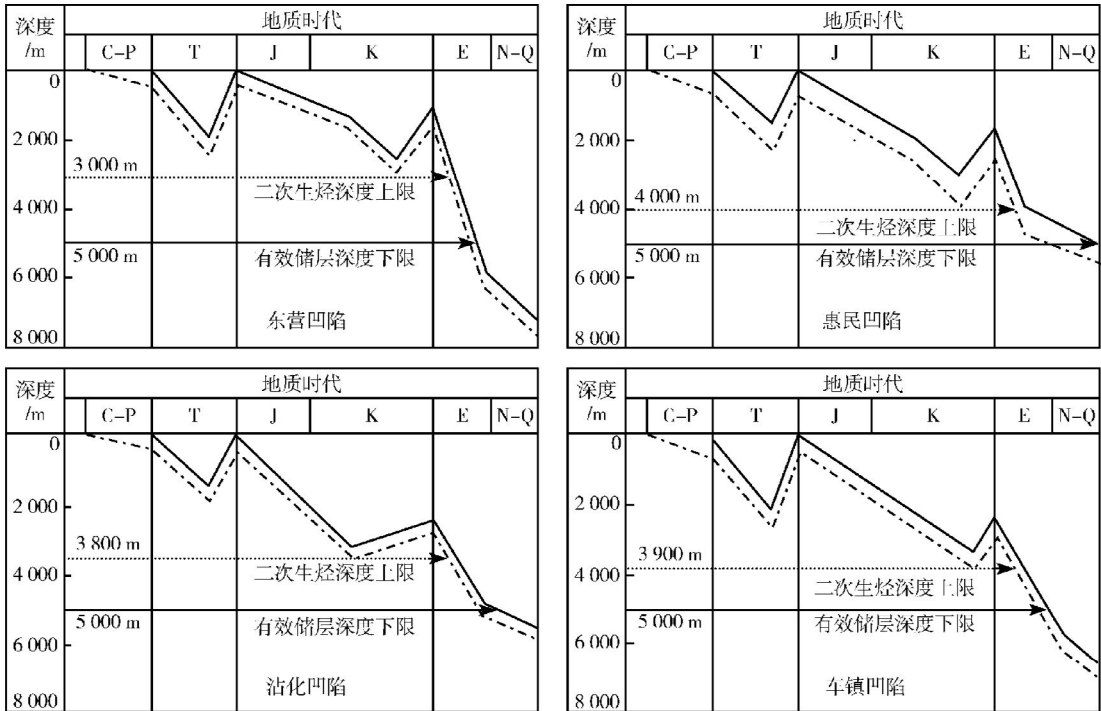


图 4 各凹陷纵向有效勘探深度对比

Fig. 4 Comparison of effective vertical depth intervals of exploration in each sag of Jiyang depression

10^8 m^3 。另有较有利区带 4 个, 分别是沾化凹陷的埕东和义南、东营南坡和惠民南坡, 共有远景资源量 $1\,300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。有利区带和较有利区带合计远景资源量为 $4\,350 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

参 考 文 献

- 1 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
Liang Shengzheng Yang Guoqi Tian Jianzhang et al The exploration orientation of large and medium sized natural gas pools in Bohaiwan polymerized basin [J]. Acta Petrolei Sinica 2001, 22(6): 1~4
- 2 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
Wang Zhaoyun He Haiqing Cheng Keming Exploration prospect of Paleozoic primary oil and gas pools in Huabei area [J]. Acta Petrolei Sinica 1999, 20(2): 1~6
- 3 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
Liang Shengzheng Xie Gongjian Ma Jun et al Exploration prospects for natural gas in the Carboniferous-Permian remnant basins in North China [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(6): 16~19
- 4 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
Wang Yujun Tian Zaiyi Oil and gas exploration potential and prospect of basins in eastern area of North China [J]. Acta Petrolei Sinica 2003, 24(7): 7~12
- 5 张亚光, 杨子玉, 肖枚, 等. 乌马营潜山天然气藏地质地球化学特征和成藏过程 [J]. 天然气地球科学, 2003, 14(4): 283~286
Zhang Yaguang Yang Ziyu Xiao Mei et al Wumaying buried hill gas reservoir geological and geochemical characters and origin analysis [J]. Natural Gas Geoscience 2003, 14(4): 283~286
- 6 Isaksen G H. Central North Sea hydrocarbon system: generation, migration, entrapment and thermal degradation of oil and gas [J]. AAPG Bull 2004, 88(11): 1545~1572
- 7 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
Chang Junhe Yue Yushan Lu Hongyu et al Relationship between thermal evolution history and stage of hydrocarbon generation of Upper Paleozoic in the Dongpu sag [J]. Petroleum Exploration & Development 2004, 31(2): 32~34
- 8 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
Xiao Lihua Meng Yuanlin Li Chen et al The Paleozoic reservoir-forming history in the Wen'an slope of Jizhong depression, Bohai Gulf basin [J]. Petroleum Exploration & Development 2004, 31(2): 43~45
- 9 蒋有录, 刘华, 张乐, 等. 东营凹陷油气成藏期分析 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215~218
Jiang Youlu Liu Hua Zhang Yue et al Analysis of petroleum accumulation phase in Dongying sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 215~218
- 10 林松辉, 王华, 张桂霞, 等. 东营凹陷西部潜山油气藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 360~363
Lin Songhui Wang Hua Zhang Guixia et al Pool feature of buried hill in western part of Dongying depression [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 360~363
- 11 赵林, 夏新宇, 戴金星, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集的主要控制因素 [J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 136~139
Zhao Lin Xia Xinyu Dai Jinxing Major factors controlling the enrichment of the Upper Paleozoic natural gas in the Ordos basin [J]. Petroleum Geology & Experiment 2000, 22(2): 136~139
- 12 郑承光, 范正平, 侯云东, 等. 鄂尔多斯盆地陕 141 井区上古生界气藏储层特征 [J]. 天然气工业, 1998, 18(5): 14~17
Zheng Chengguang Fan Zhengping Hou Yundong et al Reservoir characteristics of gas deposit in the Upper Paleozoic at well Shan 141 area in Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(5): 14~17
- 13 李良, 袁志祥, 惠宽洋, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 268~271
Li Liang Yuan Zhixiang Hui Kuanyang et al Accumulation regularity of Upper Paleozoic gas in northern Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 268~271
- 14 Vidar Storvoll Knut Bjørlykke and Namul H Mondol Velocity-depth trends in Mesozoic and Cenozoic sediments from the Norwegian Shelf [J]. AAPG Bull 2005, 89(3): 359~381
- 15 胡宗全, 朱筱敏. 准噶尔盆地西北缘侏罗系储集物性的主要控制因素 [J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(2): 152~156
Hu Zongquan Zhu Xiaomin Key factors controlling Jurassic reservoir on the north-west edge of Junggar basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(2): 152~156
- 16 马杰, 高勇, 邓东敬, 等. 北塘凹陷沙三段储集层评价及有利相带预测 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(6): 36~38
Ma Jie Gao Yong Deng Dongjing et al Reservoir evaluation and favorable belt prediction for Es₃ formation of Beitang sag [J]. Petroleum Exploration & Development 1999, 26(6): 36~38
- 17 马立祥, 万静萍. 前缘盆地砂岩孔隙度预测的一种新途径 [J]. 石油实验地质, 1994, 16(1): 70~77
Ma Lixiang Wan Jingping A new approach to the porosity prediction in the sandstones of frontier oil/gas basins [J]. Petroleum Geology & Experimental 1994, 16(1): 70~77
- 18 蔡进功, 谢忠怀, 田芳, 等. 济阳拗陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 84~88
Cai Jingong Xie Zhonghuai Tian Fang et al Diagenesis and pore evolution of deep sandstones in Jiyang depression [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 84~88

(编辑 高 岩)