

文章编号: 0253-9985(2011)03-0397-07

下扬子海相地层地震内幕反射的地质成因

邱旭明

(中国石化 江苏油田分公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 下扬子海相地层地震内幕反射的资料品质区域上存在较大差异。通过对钻井资料、地层沉积成岩特征和地层速度分析, 认为该区下古生界因成岩作用强烈, 没有明显的速度界面, 难以形成好的地震反射; 而上古生界石炭-二叠系内部存在多个明显的速度界面, 能形成较强的地震反射。海相地层地震内幕反射资料品质受石炭-二叠系的残存状况、构造变形等因素控制, 在南黄海部分构造变形较弱地区, 石炭-二叠系可以形成连续强反射; 在苏皖陆上构造变形较强地区, 主要形成断续反射; 而在石炭-二叠系缺失地区, 地震资料品质普遍较差, 多为杂乱反射。有石炭-二叠系残存的地区和构造变形相对较弱的地区为地震攻关的主要目标区。

关键词: 速度界面; 地震反射; 构造变形; 石炭-二叠系; 海相地层; 下扬子地区

中图分类号: TE122 **文献标识码:** A

Geologic origin of the internal seismic reflection of marine strata in the Lower Yangtze region

Qiu Xuming

(SINOPEC Jiangsu Oilfield Company, Yangzhou, Jiangsu 225009 China)

Abstract Data quality of internal seismic reflection in marine strata varies greatly in different places in the Lower Yangtze area. Based on analysis of drilling data, sedimentation, diagenesis and strata velocity, we think that there is too strong diagenesis in the Lower Paleozoic to form any evident velocity interface and hence there are no obvious seismic reflections. While in the Carboniferous-Permian of the Lower Paleozoic, there are several evident velocity interfaces to form intense seismic reflections. Residual condition of the Carboniferous-Permian and structural deformation are the main factors to control the internal seismic reflection of the marine strata. There are continuous seismic interfaces due to weak structural deformation in parts of southern Yellow Sea and discontinuous seismic interfaces due to great structural deformation in the land of Jiangsu and Anhui provinces. But there is chaotic or jumble seismic reflection in areas without the Carboniferous-Permian strata. The areas with the Carboniferous-Permian strata and weaker structural deformation are the best places to do seismic survey.

Key words velocity interface; seismic reflection; structural deformation; Carboniferous-Permian; marine strata; Lower Yangtze area

江苏下扬子海相中古生界的油气勘探始于 20 世纪 60 年代, 先后经历了油气普查、苏南勘探、全区评价勘探和苏北盆地勘探等多个阶段, 勘探方向和勘探思路因认识不同而产生很大的变化^[1-3], 至今尚未取得突破性进展。制约勘探的主要因素是区内大部分地区的海相地层内幕(印支-燕山不

整合面反射以下)很难见到有效的地震反射, 勘探工作无法展开。在不断探索的过程中, 地球物理进行了多轮次采集处理攻关^[4-10], 至今效果甚微。然而, 在部分常规的二维、三维地震资料中又偶而可见到较好的内幕反射, 反映海相地层内幕是否能得到好的地震反射不仅仅是地球物理问题, 地

收稿日期: 2010-09-01; 修订日期: 2011-04-01

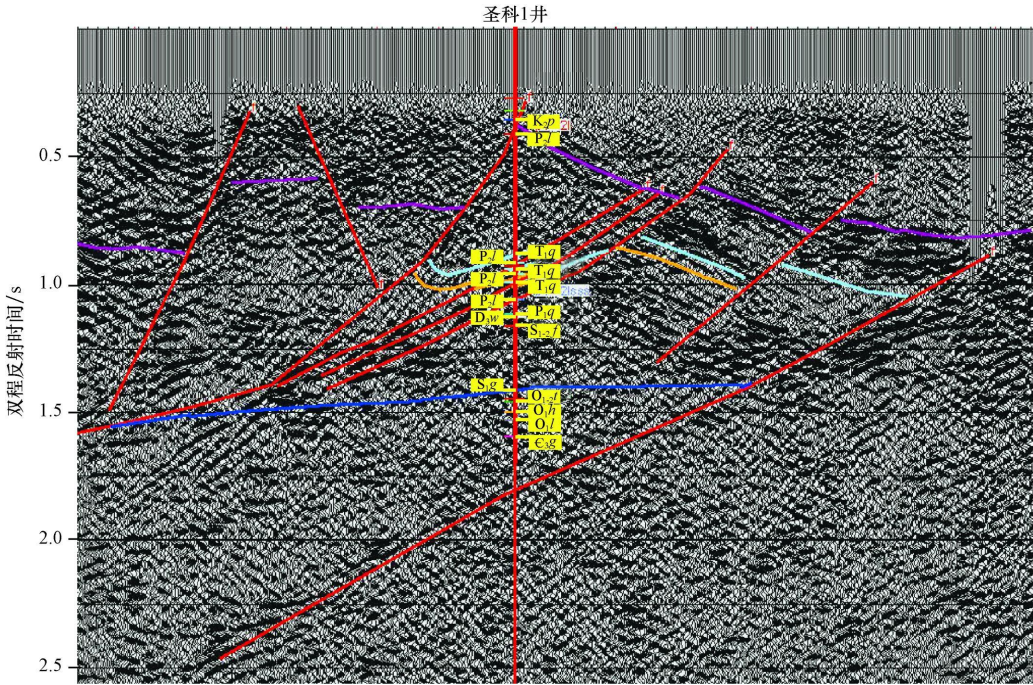
作者简介: 邱旭明(1963-), 男, 博士、教授级高级工程师, 石油地质勘探。

基金项目: 国家油气重大专项(2008ZX05005-003-005); 中国石化海相前瞻性研究项目(YH08091)。

1.3 连续强反射

连续强反射由 9~12 个密集排列的反射同相轴组成,可连续追踪,并与上、下古生界内幕的弱反射或杂乱反射形成鲜明对比。主要分布于南黄海海域中、新生界盆地下部(图 1)。南黄海南部

凹陷钻探的 W5-ST1 井揭示有该套反射波,在 T_g 反射界面以下首先揭示海相三叠系地层,地震反射主要为杂乱反射;三叠系与二叠系地层之间存在较好的反射界面^[21];石炭-二叠系为一组由 9~12 个反射同相轴组成的、较强的连续性反射(图 3),在 XQ06-4 等地震剖面中也可以清晰的辨别



出该组反射。W5-ST1 井没有钻遇下古生界地层,但分析南黄海地区地震资料特征,该地区下古生界地层地震反射多为杂乱反射,部分资料有较弱的连续性反射。

2 地质成因分析

2.1 地层沉积特征

地质露头 and 钻井资料证实江苏下扬子和南黄海地区海相中、古生界具有相近的沉积特征^[13-14],其岩性及沉积厚度均较稳定。下三叠统青龙组主要由大套灰岩和泥灰岩组成,厚 400~500 m。二叠系由灰岩、泥岩、煤层、砂岩等呈数十米至百余米间互组成,总厚度在 300~600 m 不等。石炭系主要由灰岩、白云岩、砂岩组成,单层厚数米至数十米不等。泥盆系多为致密石英砂岩,厚 200~300 m。志留系为大套致密砂泥岩地层,总厚度 1 500~2 500 m。奥陶系以碳酸盐岩为主,厚 200~400 m。寒武系中、上部为白云岩及灰岩,厚 400~1 000 m;下部为暗色泥岩,厚 100~200 m。震旦系上部为白云岩或灰岩,厚 200~400 m;下部区内尚未揭示。

2.2 地层地球物理参数特征

钻井岩石样品分析及测井地层速度拾取表

明(表 1),下扬子地区海相、中古生界的速度在上、古生界地层之间变化较大,其中灰岩速度为 6 000 m/s 左右,泥岩、砂泥岩最低为 3 200 m/s;二者之间可形成明显的速度界面。下、古生界灰岩和砂泥岩地层速度相当,多为 4 500 m/s 左右;速度较为均一,地层之间没有明显的速度界面。导致这一现象的主要原因可能是下、古生界经历了强烈的成岩作用,而使岩石各种物性趋于均一化;而上、古生界相对而言,成岩作用较弱,各种岩石间的物性还保持了原有的差异性。

2.3 地质成因

钻井的层位识别、地层沉积特征和地层地球物理参数特征分析表明,下扬子石炭-二叠系为 大套灰岩、砂泥岩互层,地层之间具有明显的速度界面,可以形成有效的地震反射。而下、古生界由于强烈的成岩作用使岩石速度等物性趋于均一化,地层之间没有明显的速度界面,难以形成好的地震反射。此外,构造变形对地震资料品质有着明显的影响,南黄海海域地区的海相中、古生界整体构造变形相对较弱^[15],地层产状相对平缓,地震资料品质较好,多为连续强反射。下扬子陆上残存有石炭-二叠系的地区,如产状相对平缓,同样可以出现反射;但在构造变形强烈的地区,由于逆冲推覆和地层倒转使地层出现陡峭产状^[16-17],地震

表 1 江苏句容圣科 1 井地层速度分析						
Table 1 Analysis of strata velocity in the SK1 well in Jurong area Jiangsn Province						
地层	地层深度 /m	岩性	地层速度 /(m·s ⁻¹)	地层密度 /(g·cm ⁻³)	反射系数	临界角 /(°)
Q	0~108	砂泥岩	2 624	2.22		
K _{2p}	108~567	砂泥岩	3 281	2.35	0.139 3	53.11
P _{2d}	567~593	泥岩	3 262	2.34	-0.005 0	83.83
P _{2l}	593~684	泥岩夹砂岩	3 697	2.42	0.079 2	61.93
T _{1q}	684~2 040	纯灰岩	6 078	2.68	0.290 8	37.46
P _{2l}	2 040~2 079	泥岩	4 982	2.63	-0.109 0	55.05
T _{1q}	2 079~2 135	泥灰岩夹泥岩	4 995	2.61	-0.001 8	85.87
P _{2l}	2 135~2 180	泥岩	4 996	2.61	0.000 1	88.85
T _{1q}	2 180~2 277	泥灰岩夹泥岩	5 077	2.62	0.010 0	79.75
P _{2l}	2 277~2 500	泥岩	4 113	2.48	-0.132 0	54.11
P _{1q}	2 500~2 690	纯灰岩	5 894	2.72	0.222 3	44.25
D _{3w}	2 690~2 738	石英砂岩	5 656	2.62	-0.040 1	73.66
S _{1-2f}	2 738~2 841	砂岩夹泥岩	5 849	2.71	0.034 4	75.24
S _{1g}	2 841~3 273	泥岩	4 972	2.71	0.081 0	58.22

波场畸变,难以偏移成像,这是在苏南和苏北部分地区常在地震剖面中见到断续反射的主要原因。而在石炭-二叠系被剥蚀的地区,下、古生界难以得到好的地震反射,在构造变形较弱地区,可见到连续性的弱反射;在构造变形强烈地区,则主要为杂乱反射。苏北盆地很多地区由于直接揭示的均为下、古生界,无石炭-二叠系,地震资料普遍无好的反射。

3 地震攻关选区

上述分析表明,残存有石炭-二叠系的地区,可以得到有效的地震反射;构造变形相对较弱的地区,可以得到连续可追踪的地震反射。综合区域钻井、地震、航磁、重力及电法资料研究认为,上、古生界保存较好的地区主要分布于苏南以及沿南京-海安一线呈北东向延伸的区域;苏北盆地内部主要分布于南部及东部地区,西北部多已被剥蚀,仅局部有残存(图 4)。构造变形特征及展布规律的研究表明,苏中-南黄海中部地区

上、下古生界构造相对稳定;苏南-南黄海南部地区下、古生界相对稳定,而上、古生界构造变形较强(图 5)。可见,石炭-二叠系保存较好、构造变形相对较弱的地区为苏中-南黄海中部地区,是地震攻关的首选地区;其次为苏北盆地东部和苏南-南黄海南部地区。

需要说明的是,鉴于下扬子区目前的勘探现状与面临的形势和中、上古生界优良的油气地质条件^[3],分层次首先选择上述有反射区开展地震攻关,不断提高地震资料品质,落实中、上古生界的分布与保存状况,发现圈闭和落实目标,开展目标评价,有利于下扬子区中、古生界油气勘探早日获得重大突破;随着勘探程度和技术的提高,再选择地质条件较好、构造变形较强的其

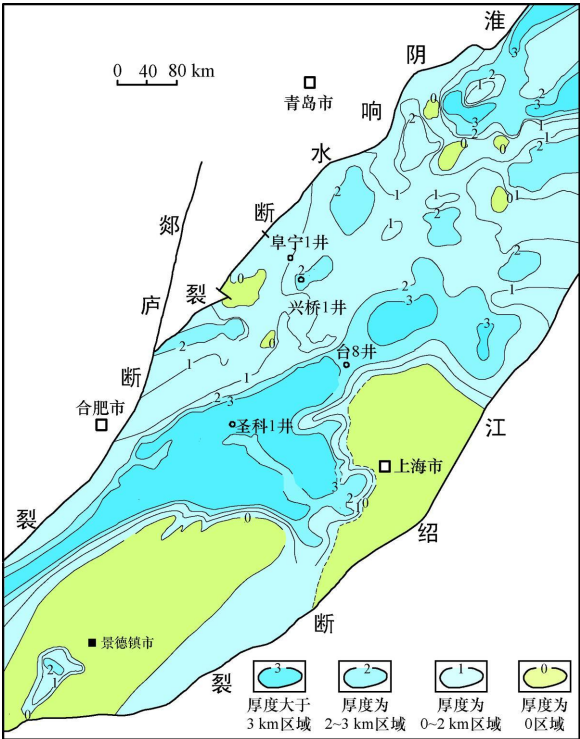


图 4 下扬子区印支面-加里东面残余厚度
Fig. 4 Residual thickness of the Caledonian unconformity to the Indosinian unconformity in the Lower Yangtze area

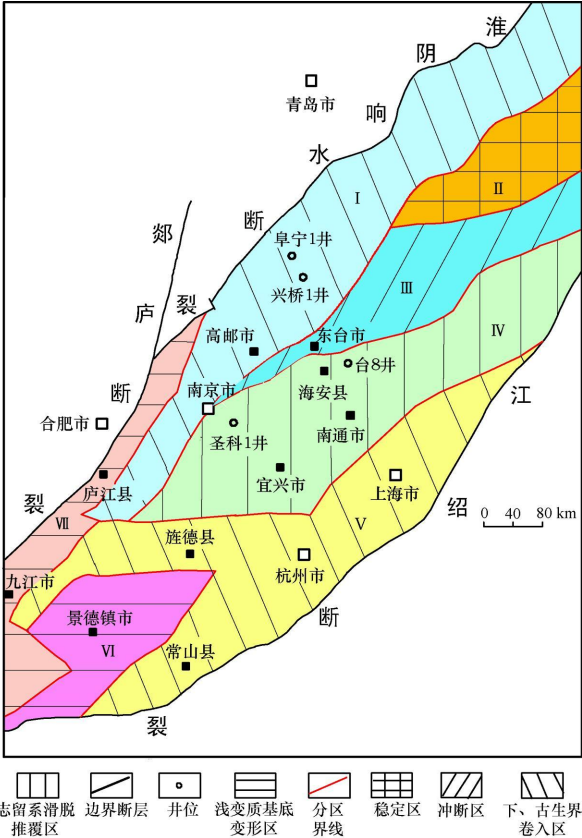


图 5 下扬子区中、古生界构造变形分区
Fig 5 Structural deformation zonation of the marine middle Paleozoic in the Lower Yangtze area
I. 苏北-南黄海南部基底滑脱冲断-反转区; II. 南黄海中夹隆起区; III. 苏中-南黄海中部冲断-反转区; IV. 苏南-南黄海南部志留系滑脱推覆区; V. 皖南-浙西勿南沙基底滑脱冲断区; VI. 江南隆起厚皮变形区; VII. 张八岭-千里岩厚皮变形区

他地区开展地震攻关研究,以扩展油气勘探领域。

4 结论

1) 下扬子海相地震内幕反射特征可分为连续反射、断续反射和杂乱反射 3 类,连续反射主要分布于南黄海海域,断续反射多分布于苏北盆地东南部地区,其他地区为杂乱反射。

2) 下扬子海相中、古生界石炭-二叠系为煤层、泥岩、砂岩、碳酸盐岩薄互层,具有较强的速度界面;泥盆系以下地层因成岩作用强烈,岩石物性趋于均一化,没有明显的速度界面。

3) 古生界内幕反射的资料品质受石炭-二叠系保存状况和构造变形等因素控制,在石炭-二叠系保存较好的构造稳定区,石炭-二叠系内部可形成 9~12 个较强的连续反射;在石炭-二叠系保存较好的构造变形强烈区,可形成一组断续反射;在石炭-二叠系保存较差的地区,难以得到较好的内幕反射。

4) 地震攻关应首选石炭-二叠系保存较好和构造变形相对较弱的苏中-南黄海中南部地区,其次为苏北盆地东部和苏南-南黄海南部地区。

参 考 文 献

1] 邱旭明. 下扬子海相中古生界地质结构特征与选区评价[J]. 江汉石油学院学报, 2001, 9(3): 13- 16.
 Qiu Xuming Geological structural features and selected-area evaluation of Mesozoic marine group in Lower Yangtze region[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2001, 9(3): 13- 16

2] 杨方之, 闫吉柱, 苏树桢, 等. 下扬子地区海相盆地演化及油气勘探选区评价[J]. 江苏地质, 2001, 11(3): 134- 141.
 Yang Fangzhi Yan Jizhu Su Shu'an et al Evolution of marine basins and exploration direction estimation of oil and gas in Lower Yangtze areas[J]. Jiangsu Geology, 2001, 11(3): 134- 141

3] 郭彤楼. 下扬子地区中古生界叠加改造特征与多源多期成藏[J]. 石油实验地质, 2004, 8(4): 319- 323.
 Guo Tonglou Superimposition and modification of the Mesozoic and Paleozoic basins and multi-stages of hydrocarbon accumulation with multiple source rocks in Lower Yangtze area[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 8(4): 319- 323.

4] 温森来, 李振山. 下扬子区地震勘探方法攻关进展[J]. 石

油勘探与开发, 1994, 21(5): 100- 101.
 Wen Senlai Li Zhen Shan Research progress on seismic exploration in Lower Yangtze area[J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(5): 100- 101

5] 孟尔盛. 论南方海相地层区石油物探方法[J]. 海相油气地质, 1996, 1(4): 1- 4.
 Meng Ersheng Discussing on the method of geophysical exploration for petroleum in marine strata area southern China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1996, 1(4): 1- 4

6] 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.
 Xu Shiwen The application of MT sounding in Lower Yangtze and its adjacent area[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1997, 2(4): 43- 52

7] 丁建荣, 王华忠, 李代芳, 等. 共反射面元方法在下扬子地区的实验[J]. 石油物探, 2003, 42(3): 414- 416.
 Ding Jianrong Wang Huazhong Li Daifang et al Application of common reflecting element method in Jiangsu area[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(3): 414- 416.

8] 陈安定. 用 MT 资料解释苏北地区海相残留地层展布[J]. 石油物探, 2004, 43(1): 90- 93.
 Chen Anding Interpretation of the distribution of residual marine strata in the north part of Jiangsu province using magnetotelluric sounding data[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(1): 90- 93.

9] 邓玉胜, 苏树桢. 构造模型正演技术在下扬子区初步应用效果[J]. 物探与化探, 2004, 28(5): 410- 412.
 Deng Yusheng Su Shu'an The effect of applying forward modeling technique for structure models in Lower Yangtze area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(5): 410- 412.

10] 倪宁晖, 鲍峥, 薛曙, 等. 盒子波技术在下扬子地区油气勘探中的应用研究[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(5): 35- 40.
 Ni Ninghui Bao Zheng Xue Shu et al Study on the application of box-wave technique for petroleum exploration in Lower Yangtze area[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(5): 35- 40.

11] 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, 10(5): 5- 7.
 Wu Xiangyang Zeng Haidong Jin Xingguo et al Prospective enlightenment obtained from the drilling result of SK1 in Sunan area of Lower Yangtze[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 10(5): 5- 7.

12] 欧阳凯, 张顺华, 李刚. 南黄海中部落起地层分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 2(1): 59- 66.
 Ouyangkai Zhang Shunhua Li Gang Characteristics of stratigraphic distribution in the middle uplift of South Yellow Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 2(1): 59- 66.

13] 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 239–357
Ma Li Chen Huanjiang Gan Kewen et al Geotectonics and petroleum geology of marine sedimentary rocks in Southern China [M]. Beijing Geology Publishing House, 2004 239–357.

14] 戴春山, 杨艳秋, 闫桂京. 南黄海中-古生代海相残留盆地埋藏生烃史模拟及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26 (1): 49–55
Dai Chunshan Yang Yanqiu Yan Guijing Modelling of burial and hydrocarbon-generation histories of Mesozoic-Paleozoic marine residual basins in South Yellow Sea and its geologic significance [J]. Oil & Gas Geology, 2005 26 (1): 49–55

15] 丁道桂, 潘文蕾, 彭金宁, 等. 扬子板块中、古生代盆地的改造变形 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29 (5): 597–606
Ding Daogui Pan Wenlei Peng Jinning et al Transformation and deformation of the Mesozoic-Paleozoic basins in the Yangtze Plate [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29 (5): 597–606

16] 余晓宇, 徐宏节, 何治亮. 江苏下扬子区中古生界构造特征及其演化 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 4 (2): 226–230
She Xiaoyu Xu Hongjie He Zhiliang Tectonic characteristics and evolution of Mesozoic and Paleozoic in Lower Yangtze region, Jiangsu [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 4 (2): 226–230

17] 梅廉夫, 刘昭茜, 汤济广, 等. 南方多旋回构造作用制约下的中、古生界海相油气构造—成藏旋回 [J]. 石油与天然气地质, 2009 30 (5): 589–597
Mei Lianfu Liu Zhaoqian Tang Jiguang et al Tectonic-pooling cycles controlled by polycyclic tectonism in the Mesozoic-Paleozoic marine strata of South China [J]. Oil & Gas Geology, 2009 30 (5): 589–597.

(编辑 高 岩)

(上接第 396 页)

河流相沉积证据 [J]. 天然气工业, 2007, 27 (12): 68–70
Zhu Hongtao Chen Kaiyuan, Liu Keyu, et al Evidence of fluvial deposits in northeastern Ordos [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27 (12): 68–70

14] 郭书元, 张广权, 陈舒薇. 陆表海碎屑岩—碳酸盐岩混积层系沉积相研究——以鄂尔多斯东北部大牛地气田为例 [J]. 古地志学报, 2009 11 (6): 611–627.
Guo Shuyuan Zhang Guangquan, Chen Shuwei Study on sedimentary facies of mixed clastic-carbonate sediments strata system in epicontinental sea—a case of Daniudi gasfield in northeastern Ordos [J]. Journal of Palaeogeography, 2009 11 (6): 611–627.

15] 陈昭佑, 王光强. 鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组砂体组合类型及成因模式 [J]. 石油与天然气地质, 2010 31 (5): 632–639
Chen Zhao you, Wang Guangqiang Assemblage types and genetic mode of the Shanxi sandbodies in Daniudi gasfield the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31 (5): 632–639

16] 董昭雄, 沈昭国, 何国贤, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田 1 段储层与沉积微相的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30 (2): 162–167.
Dong Zhaoxiong Shen Zhao guo He Guo xian et al Relationship of sedimentary microfacies with reservoirs in the Shanxi member of the Daniudi gas field, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009 30 (2): 162–167

17] 刘小洪, 冯明友, 罗静兰, 等. 鄂尔多斯盆地乌审召地区盒 8、山 1 段储层流体包裹体特征及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2010 31 (3): 360–366 374
Liu Xiaohong Feng Mingyou Luo Jinglan et al Characteristics of fluid inclusions in reservoirs in the eighth member of the Shihexi Formation and the first member of the Shanxi Formation in Uxin Ju area, the Ordos Basin and their significance [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31 (3): 360–366 374

18] 汪曾荫. 华北地台晚古生代年代地层系统 [J]. 中国煤田地质, 1995 (3): 17–23
Wang Zengyin Chronostratigraphic system of late Paleozoic north China platform [J]. Coal Geology of China, 1995 (3): 17–23

19] 郑荣才, 文国华, 梁西文. 鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析 [J]. 矿物岩石, 2002, 22 (4): 66–74
Zheng Rongcai Wen Guohua Liang Xiwen Analysis of high-resolution sequence stratigraphy for Upper Paleozoic in Ordos basin [J]. Mineralogy and Petrology, 2002, 22 (4): 66–74

20] 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部石炭—二叠系两类三角洲沉积机理探讨 [J]. 石油天然气地质, 2001, 22 (1): 69–71
He Yizhong Chen Hongde Zhang Jinquan Discussion on sedimentary mechanism of two kind deltas from Permian-Carboniferous of central Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22 (1): 69–71

(编辑 董 立)