

文章编号: 0253-9985(2005)02-0237-05

周口白垩系砂泥岩的化学特征及其构造学意义

高长林, 黄泽光, 张玉箴

(中国石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所, 江苏无锡 214151)

摘要: 白垩纪周口盆地的盆地原型应是山前凹陷盆地。钻井岩石中白垩系砂泥岩的石英、长石和岩屑含量的 $Q-F-L$ 图解投点主要位于前陆盆地区; 白垩系砂页岩的主要化合物数据主要投点于活动大陆边缘区; 稀土总量和轻/重稀土含量之比变化不大, 与俄罗斯地台砂岩、粉砂岩具相似的特征。因此, 周口盆地白垩系沉积物的物源来自秦岭-大别造山带, 且来自物源区的成岩物质已经过充分的混合。

关键词: 周口盆地; 山前凹陷; 地球化学; 主要化合物; 稀土元素

中图分类号: TE112.113

文献标识码: A

Geochemical characteristics of Cretaceous sandstone-mudstone and its importance to tectonics in Zhoukou basin

Gao Changlin, Huang Zeguang, Zhang Yuzhen

(Wuxi Branch of Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu)

Abstract: The prototype of Zhoukou Cretaceous basin should be of foredeep basin. In the $Q-F-L$ graph, the plotted points of quartz, feldspar and lithoclast contents of Cretaceous sandstone-mudstone cored from wells are mainly located in foreland basin area. While the plotted points of the major compounds in Cretaceous sand-shale are mainly located in active continental margin area. The total contents of rare earth elements and the ratio of light/heavy rare earth elements change insignificantly, similar to the characteristics of sandstone and siltstone in Russian Platform. Therefore, it is believed that Cretaceous sediments in Zhoukou basin might have been sourced from Qinling-Dabie orogenic zone and the lithogenous materials come from the source area might have been thoroughly blended.

Key words: Zhoukou basin; piedmont depression; geochemistry; major compound; rare earth element

周口盆地白垩纪地层分布较广, 该区白垩系已发现良好的油气显示^[1]。前人对周口白垩纪盆地性质存在断陷盆地^[2,3]、伸展盆地^[4]、前陆盆地^[5]、残留盆地^[6]等多种认识。因此, 也存在多种油气勘探思路。本文运用岩石地球化学理论和方法, 研究白垩纪周口盆地的盆地原型。

1 矿物组成

Dickinson 指出^[6], 砂岩成分受蚀源区的类型、沉积盆地内沉积作用的性质以及蚀源区和盆地之间分散路径类型等因素的影响。Dickinson^[6]等将

蚀源区及其产生的砂岩分为 3 大类: 大陆块, 其沉积物源为地盾、地台或基底断块; 岩浆弧, 其沉积物源为活动岛弧造山带或活动的大陆边缘; 二次旋回造山带, 其沉积物源为消减带、碰撞造山带或前陆褶皱冲断带中受到变形与隆升的地层层系。

根据周口盆地白垩系砂岩中的石英(Q)、长石(F)和岩屑(L)含量统计值做出了 $Q-F-L$ 投点图(表 1, 图 1)。周口盆地白垩系砂岩的物源主要来自二次旋回造山带(图 1), 包括造山带内变形岩层及活动岩浆弧内深成岩区和火山岩区, 也有两个投点样品来源于克拉通。Dickinson^[6]认为, 在碰

基金项目: 中国石化科技开发项目“秦岭-大别造山带两侧盆地油气勘探选区研究”(P02071)

第一作者简介: 高长林, 男, 60 岁, 教授级高级工程师, 盆地分析

收稿日期: 2005-03-25

表 1 周口盆地白垩系砂岩矿物组成含量表

Table 1 Mineral contents of Cretaceous sandstones
in Zhoukou basin

编号	采样位置		Q / %	F / %	L / %
	井号	井深 / m			
1	周参 8 井	3 321. 12	62. 5	28. 0	9. 5
2	周参 8 井	3 322. 06	71. 0	27. 0	2. 0
3	周参 8 井	3 322. 89	72. 0	25. 0	3. 0
4	周 9 井	2 554. 00~ 2 557. 00	55. 0	20. 0	25. 0
5	周 6 井	1 359. 00	78. 0	15. 0	7. 0
6	周 6 井	1 360. 00	79. 0	10. 0	11. 0
7	周 16 井	2 521. 00	87. 0	3. 0	10. 0
8	周 16 井	2 526. 00	81. 0	2. 0	17. 0
9	周 12 井	3 108. 37	13. 0	15. 0	72. 0
10	周 12 井	3 108. 62	84. 5	10. 0	5. 5
11	周 12 井	3 113. 78	65. 0	15. 0	20. 0
12	周 11 井	4 145. 49	8. 0	20. 0	72. 0
13	周 11 井	4 146. 09	6. 0	10. 0	84. 0
14	周 11 井	4 146. 77	20. 0	38. 0	42. 0

撞造山带蚀源区, 由于地壳碰撞形成的造山带大部分由沉积岩和变质岩的推覆体和冲断片组成。这些岩石代表沿缝合带拼合前的大陆边缘及其附近的层系。与这些地体伴生的次要的蚀源岩包括沿缝合带的蛇绿质混杂堆积、卷入地壳碰撞的被构造错切的基底断块或岩浆弧的深成地体。因此, 大陆碰撞缝合带的前陆盆地的沉积物中, 主要为二次旋回沉积物, 其组成有中等含量的石英、高的石英/长石比值及丰富的沉积岩-变质岩岩屑, 也有少量的石英质砂岩和一定数量的长石含量高的砂岩。石英质砂岩显然代表的是二次旋回的克拉通碎屑。还有长石含量高的砂岩可能来源于地壳缝合带附近隆升的火成地体。周口盆地白垩系砂岩的 $Q-F-L$ 图解投点主要位于前陆盆地区。

2 元素组成

2.1 主要化合物

Roser 和 Korsch^[7] 注意到碎屑岩中的化学组成与颗粒粒级之间的关系, 发现从砂岩到泥岩, SiO_2 和 Na_2O 含量减小, K_2O 含量增加。本文根据 Roser 和 Korsch 观点, 做出了适用于周口盆地白垩系粉砂岩、泥岩的 K_2O/Na_2O 对 SiO_2 与构造环境之间关系的成分图解(图 2), 数据的主要投点位于活动大陆边缘区。

2.2 稀土元素

控制沉积物中稀土元素的主要因素是稀土元

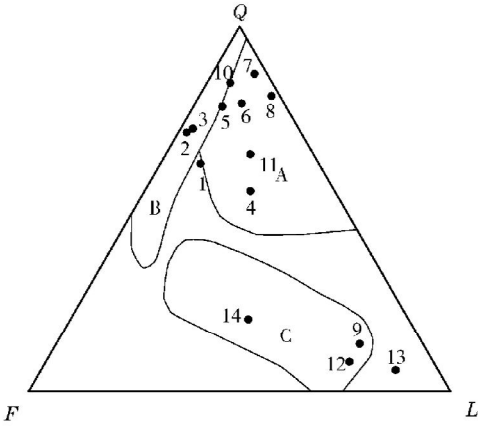


图 1 周口盆地白垩系砂岩矿物组成三角图解^[6]

Fig. 1 Triangular QFL graph showing mineral components of Cretaceous sandstones(1-14) in Zhoukou basin

A—造山带内变形岩层和隆起岩层中的来源(前陆盆地中的沉积物); B—克拉通和隆起基底中的来源;

C—活动岩浆弧内深成岩区和火山岩区中的来源; 1~14 为样品号

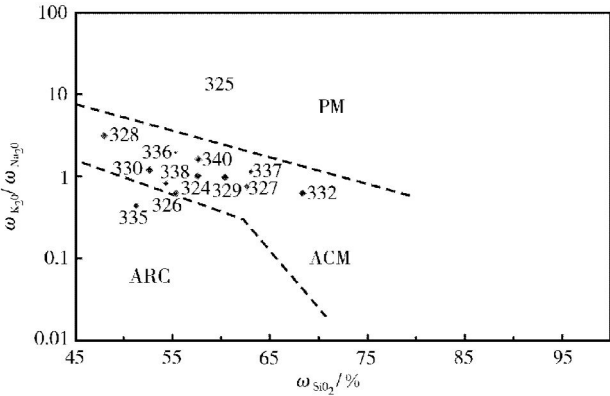


图 2 盆地白垩系砂(泥)岩的 K_2O/Na_2O-SiO_2 的关系及其构造环境

Fig. 2 K_2O/Na_2O-SiO_2 relationship and tectonic environment of Cretaceous sandstones (mudstone) in Zhoukou basin^[7]

PM—被动陆缘; ACM—活动陆缘;

ARC—大陆型岛弧(样品点位置见表 2)

分析数据由国家地质实验测试中心测定, 2003

素在源岩中的丰度和物源区的风化条件, 而沉积和沉积期后的作用, 如搬运、沉积和成岩过程中, 交换反应对沉积岩中的稀土元素改变不大^[8]。现代海水中, 稀土的浓度非常低, 而且停留时间很短^[9]。因此, 可以认为沉积砂页岩中稀土元素的丰度和分布形式只能是由一定的构造环境下物源区的母岩所决定, 所以可用它们来判断沉积物源区。

周口盆地白垩系砂页岩的稀土总量($\sum REE$)高($139.04 \times 10^{-6} \sim 377.37 \times 10^{-6}$), 富轻稀土

($\Sigma C_e / \Sigma Y$ 比值为 3.14~10.55)(图3)。已有资料表明, 沉积作用是在一定构造环境中进行的, 如地台区、地槽区(或板块缝合带附近, 板块内部等), 不同的构造环境对沉积岩中稀土元素分布的影响不同^[10, 11]。Pohob^[12]指出, 在地槽环境中, 火山作用对稀土元素分布有明显的影响, 如在高加索新生代地槽侏罗纪—晚第三纪剖面中, 火山岩

广泛分布, 而这个地区的沉积岩(粘土岩和砂岩), 则明显继承了上述火山岩中的稀土含量特征。Pohob 等详细研究了俄罗斯地台沉积岩中的稀土元素分布特征, 并与相邻地槽区进行了对比。从优地槽到地台, 稀土元素在砂岩、页岩中的再分配加强, 轻稀土含量增加, 稀土分异作用加强。认为地台区是构造上的安定区域, 在这种环境下, 稀土

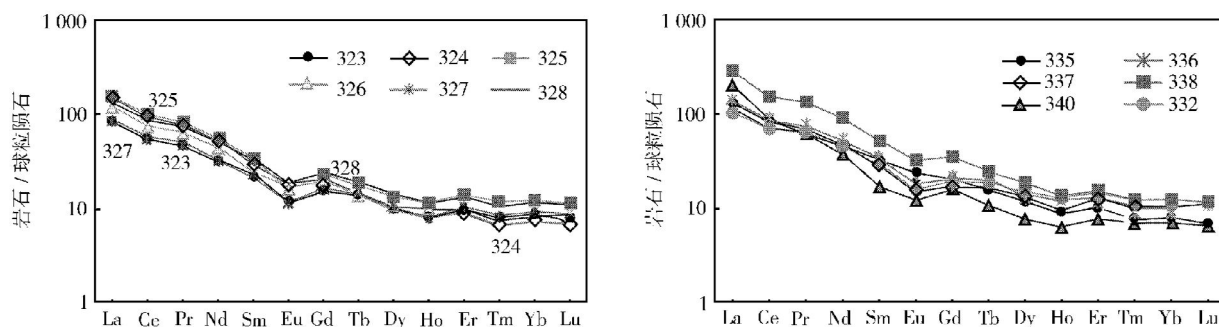


图3 周口盆地白垩系砂泥岩稀土配分曲线

Fig. 3 Distribution curve of REE in Cretaceous sandstones in Zhoukou basin

分析数据由国家地质实验测试中心测定, 2003

元素分异作用完善。地台沉积物源区是典型的稳定大陆区, 几乎都是由花岗岩类的火成岩及其风化产物组成, 其稀土组成与北美页岩相似, 相对富轻稀土。从地台区到地槽区, 砂岩和粉砂岩的 $\Sigma C_e / \Sigma Y$ 比值下降, ΣREE 值增大(图4), 它们之间存在明显的差异。周口盆地白垩系砂页岩 ΣREE 和 $\Sigma C_e / \Sigma Y$ 组成变化不大, ΣREE 的均值为 209.15×10^{-6} , 与俄罗斯地台粘土岩具有相似的特征; $\Sigma C_e / \Sigma Y$ 的均值为 4.41, 与俄罗斯地台砂岩、粉砂岩具相似的特征(图5, 6)。

3 讨论

大别地区区域热年代和差异冷却特性表明^[13], 140~85 Ma 大别造山带进入热隆伸展作用时期, 由此引发了基底广泛熔融、北淮阳剧烈火山喷溢以及合肥盆地断陷等过程。这次热隆事件包括强热伸展阶段(140~105 Ma)和晚期衰退阶段(105~85 Ma)。杨坤光、马昌前^[14]等采用同位素定年、角闪石压力计法、裂变径迹法, 并结合微裂隙内流体包裹体均一温度测定值分析得出北淮阳构造带和大别造山带中加里东期、海西期、燕山期一些岩体的形成年龄和结晶深度, 从而得出自晚古生代以来北淮阳构造带和大别造山带隆升时间

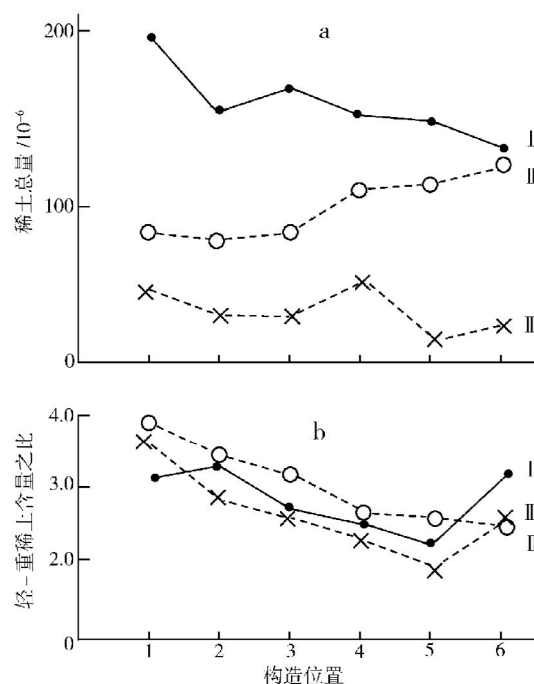


图4 俄罗斯地台-高加索地槽内中、新生代沉积岩中的稀土含量和组成变化^[11]

Fig. 4 Variation of REE contents and compositions in Mesozoic and Cenozoic sedimentary rocks in Russian Platform to Caucasus geosyncline

a— ΣREE ; b— $\Sigma C_e / \Sigma Y$; iv—粘土岩; ⊕—砂岩和粉砂岩; ⊗—碳酸盐岩; 1—俄罗斯地台; 2—赛库提地台; 3—大高加索冒地槽北部; 4—大高加索冒地槽南部; 5—外高加索中部地块; 6—小高加索优地槽

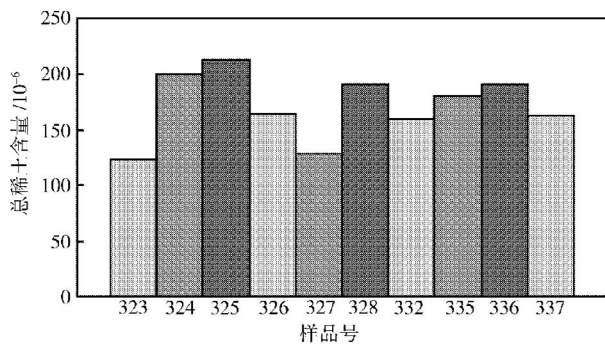


图5 周口盆地白垩系砂页岩稀土组成变化图

Fig. 5 Diagram showing variation of REE components in Cretaceous sandshales in Zhokou basin

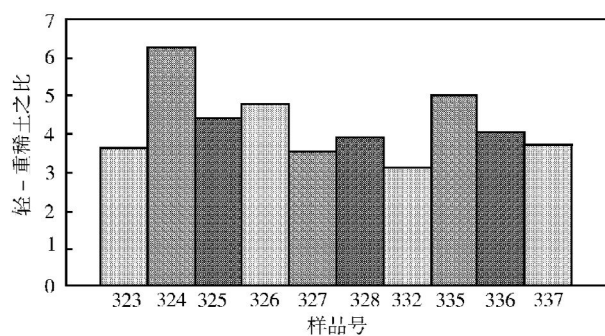


图6 周口盆地白垩系砂泥岩轻/重稀土量之比变化图

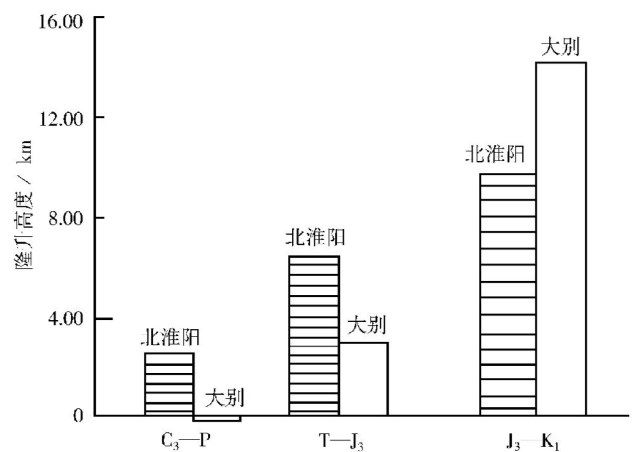
Fig. 6 Diagram showing variation of Σ_{Ce}/Σ_Y ratio in Cretaceous sandstones and mudstones in Zhokou basin图7 北淮阳与大别不同步隆升柱状图^[14]

Fig. 7 Columns showing upheaving in North Huaiyang was not synchronous with that in Dabie

表2 山前凹陷盆地与前陆盆地对比表^[15]

Table 2 Comparison between foredeep basin and foreland basin

构造特征	山前凹陷盆地	前陆盆地
构造位置	位于造山带或活动隆起带前缘	位于俯冲或碰撞型造山带山前
区域应力	起始于伸展环境, 后期被挤压环境改造	一直处于挤压环境下
成因	早期起因于重力陷落后期为冲断负荷作用下的挠曲变形	冲断负荷作用下的挠曲变形
构造样式	平面上箕形凹陷, 剖面上为反转构造	平面上箕形凹陷, 剖面上为冲断构造
与生油凹陷的关系	生油凹陷形成于重力陷落时期	生油凹陷主要与下伏被动陆缘有关

参 考 文 献

- 胡居文. 华北地区中生代盆地与油气[J]. 石油与天然气地质, 1989, 10(4): 378~391
Hu Juwen. Mesozoic basins in North China and their oil potential [J]. Oil & Gas Geology, 1989, 10(4): 378~391
- 张功成, 王定一, 吕锡敏. 南华北中、新生代盆地构造特征[A]. 见: 张功成, 徐宏. 中国含油气盆地构造[C]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 201~212
Zhang Gongcheng, Wang Dingyi, Lu Ximin. Structural characteristics of the Mesozoic basins in southern North China[A]. In: Tectonics and structural style of petroliferous basins in China [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 201~212
- 何明喜. 东秦岭(河南部分)新生代拉伸造山作用与盆地伸展构造[M]. 西安: 西北大学出版社, 1995. 53~116
He Mingxi. The Cenozoic basin range structures and extensional orogenic belts in the East Qinling (Henan), China[M]. Xi'an: Northwest University Press, 1995. 53~116
- 袁政文, 何明喜, 宋建华, 等. 周口残留盆地油气勘探前景分析[J]. 石油实验地质, 2004, 25(6): 679~684
Yuan Zhengwen, He Mingxi, Song Jianhua, et al. Analyses of oil and gas exploration prospects in Zhokou residual basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 25(6): 679~684

和隆升幅度的差异。北淮阳构造带经历了早一中石炭世(C_1-C_2)、三叠纪—中侏罗世($T-J_2$)、晚侏罗—早白垩世(J_3-K_1) 3个阶段隆升, 总隆升幅度约10 km; 大别造山带仅经历了三叠纪—中侏罗世、晚侏罗—早白垩世两个阶段性隆升, 最大隆升幅度大于15 km。前者主体隆升发生在中侏罗世末(约150 Ma)之前, 后者主体隆升发生在中侏罗世末(约150 Ma)之后(图7)。大别和北淮阳构造带的隆升为周口盆地提供了充分的物质来源。

车自成等^[15]认为, 中亚和我国中生代一些所谓的前陆盆地与 Dickinson 等人的最初概念不同, 故提出后续前陆盆地、继承性前陆盆地和类前陆盆地^[16~26], Bally 和 Snelson 等^[27]则笼统地把这类盆地称为中国式盆地。山前凹陷的概念用以表示造山作用之后在山脉前缘形成的盆地, 称之为山前凹陷盆地^[15](表2)。

作者谨以本文纪念我国著名的石油地质学家、沉积学家关士聪院士逝世一周年。

- 5 孙肇才. 板内形变与晚期成藏[M]. 北京: 地质出版社, 2003. 43~ 50
Sun Zhaocai. Intraplate deformation and late oil accumulation [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003. 43~ 50
- 6 Dickinson W R. Plate tectonics and sedimentation[A]. In: Dickinson W R. Tectonics and sedimentation [C]. SEPM Spec Publ, 1974, 2(2): 1~ 24
- 7 Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio[J]. The Journal of Geology, 1986, 94: 635~ 650
- 8 Cullers R L. Rare earth distributions in clay minerals and clay-sized fraction of the Lower Permian Havensville and Eskridge shales of Kansas and Oklahoma[J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1975, 39(6): 1619~ 1703
- 9 Elderfield H, Greaves M J. The rare earth elements in seawater [J]. Nature, 1993, 296: 214~ 219
- 10 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 1~ 495
Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. Rare earth element geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 2001. 1~ 495
- 11 胡明毅. 塔北柯坪奥陶系碳酸盐岩地球化学特征及环境意义[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 158~ 163
Hu Mingyi. Geochemical characters and environmental significance of Ordovician carbonate rocks in Keping area, Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2): 158~ 163
- 12 Pohob H, Kusakale M, Kagami H, et al. Major and trace element chemistry and D/H, $^{180}\text{S}/^{160}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of rocks from the spreading center of Okinawa Trough, a marginal back-arc basin [J]. Geochemical Journal, 1991, 25(2): 121~ 126
- 13 许长海, 周祖翼, 马昌前, 等. 大别造山带 140~ 85 Ma 热隆伸展作用——年代学约束[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(11): 925~ 937
Xu Changhai, Zhou Zuyi, Ma Changqian, et al. The extensional thermor dome during 140~ 85 Ma in Dabie Mountains orogen—controlled by chronology[J]. Science in China(Series D), 2001, 31(11): 925~ 937
- 14 杨坤光, 马昌前, 许长海, 等. 北淮阳构造带与大别造山带的差异性隆升[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(2): 97~ 103
Yang Kunguang, Ma Changqian, Xu Changhai, et al. The differential rise of the tectonic belt between Bei Huaiyang and Dabie [J]. Science in China(Series D), 1999, 29(2): 97~ 103
- 15 车自成, 刘良, 罗金海. 中国及其邻区区域大地构造学[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 1~ 216
Che Zicheng, Liu Liang, Luo Jinhai. Tectonics in China and adjacent areas[M]. Beijing, Science Press, 2001. 1~ 216
- 16 曹守连, 陈发景. 塔里木板块北缘前陆盆地的构造演化及其与油气的关系[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(4): 482~ 492
Cao Shoulian, Chen Fajing. Tectonic evolution of foreland basin and its relationship with oil and gas in northern Tarim[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(4): 482~ 492
- 17 汪新文, 陈发景, 李光, 等. 塔北库车坳陷的变形特征及其与油气关系[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(1): 40~ 50
Wang Xinwen, Chen Fajing, Li Guang, et al. Deformation characteristics of Kuqa depression, North Tarim Basin and its relation to oil and gas[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(1): 40~ 50
- 18 刘志宏, 卢华复, 贾承造, 等. 库车再生前陆盆地的构造与油气[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 297~ 303
Liu Zhihong, Lu Huafu, Jia Chengzao, et al. Structures and hydrocarbon accumulation in Kuqa rejuvenated foreland basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 297~ 303
- 19 吴世祥, 汪泽成, 张林, 等. 川西前陆盆地勘探思路分析[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 210~ 216
Wu Shixiang, Wang Zecheng, Zhang Lin, et al. Exploration strategy for the foreland basin in western Sichuan[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3): 210~ 216
- 20 王震亮, 朱玉双, 耿鹏, 等. 准噶尔盆地西北缘现今水动力分布特点[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 348~ 352
Wang Zhenliang, Zhu Yushuang, Geng Peng, et al. Distribution characteristics of present hydrodynamics in northwestern margin of Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 348~ 352
- 21 何登发, 吕修祥, 林永汉, 等. 前陆盆地分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 1~ 155
He Dengfa, Lu Xiuxiang, Lin Yonghan, et al. Foreland basin analysis[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 1~ 155
- 22 曹高社, 李学田, 刘德良, 等. 合肥盆地与北淮阳构造带印支期的推覆构造及其油气意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 116~ 122
Cao Gaoshe, Li Xuetian, Liu Deliang, et al. Indosinian nappe structure and its hydrocarbon significance in Hefei basin and North Huaiyang tectonic zone[C]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 116~ 122
- 23 孙晓猛, 张梅生, 龙胜祥, 等. 秦岭—大别造山带北部逆冲推覆构造与合肥盆地、周口坳陷控盆断裂[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 191~ 199
Sun Xiaomeng, Zhang Meisheng, Long Shengxiang, et al. Overthrust tectonic in northern Qinling-Dabie orogenic belt and basin controlling faults in Zhoukou depression and Hefei basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 191~ 199
- 24 罗志立. 四川盆地油气勘探前景及发展对策[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 260~ 262
Luo Zhili. Development countermeasures and prospects of oil and gas exploration in Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(3): 260~ 262
- 25 杨明慧, 刘池洋. 中国中西部类前陆盆地特征及含油气性[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 46~ 49
Yang Minghui, Liu Chiyang. Characters of quasi foreland basins in western-central China and their oil and gas potential[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 46~ 49
- 26 刘池洋, 赵红格, 杨兴科, 等. 前陆盆地及其确定和研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 307~ 313
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Yang Xingke, et al. Foreland basin and its definition and research[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 307~ 313
- 27 Bally A W, Snelson S. Realms of subsidence[A]. In: Miall A D. Facts and principles of world petroleum occurrence[C]. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 1980, 6: 9~ 94