

文章编号:0253-9985(2005)03-0284-06

塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用

吕修祥^{1,2}, 杨宁^{1,2}, 解启来³, 杨海军⁴

(1. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 油气成藏机理教育部重点

实验室, 北京 102249; 3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640;

4. 中国石油塔里木油田分公司, 新疆库尔勒 841000)

摘要:塔中地区岩石及原油的稀土元素分析、二氧化碳碳同位素分析以及储层流体包裹体测温证实了深部流体的存在。盆地基底以下的深部流体通过深大断裂及火山活动进入盆地内,通过物质和能量交换对碳酸盐岩储层进行溶蚀和交代,使碳酸盐岩储集层的孔、渗结构发生改变,从而形成深埋改造型的优质碳酸盐岩储层。塔中西部地区沿大断裂及火山活动区发现的萤石矿带是深部流体作用的产物,是塔中45油田的主要储集层类型。深部流体的来源及活动范围与深大断裂以及火山活动密切相关,深大断裂以及火山岩发育区可以作为寻找深部流体改造型储层的标志。

关键词:深部流体;碳酸盐岩;改造型储层;塔中地区

中图分类号:TE112.2 **文献标识码:**A

Carbonate reservoirs transformed by deep fluid in Tazhong area

Lu Xiuxiang^{1,2}, Yang Ning^{1,2}, Xie Qilai³, Yang Haijun⁴

(1. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing;

2. Key Laboratory for Petroleum Accumulation, Ministry of Education, Beijing;

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou;

4. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang)

Abstract: Occurrence of deep fluids in Tazhong area has been confirmed through analyzing rare-earth elements in rock and oil samples, carbon isotope of carbon dioxide and fluid inclusion thermometry in reservoir rocks. The deep fluids below the basement entered the basin along the discordogenic faults and through volcanic activity, and the carbonate reservoirs were modified by dissolution and metasomatism through material and energy exchanges. The porosity and permeability of the carbonate reservoirs were thus improved, leading to the formation of deeply buried and modified type good carbonate reservoirs. The fluor spar ore belts, discovered along the large fault and in volcanic activity area in the western part of Tazhong, are the result of activities of deep fluids, and they are the main reservoir types in Tazhong 45 oilfield. The origin and sphere of activity of deep fluids are closely related to discordogenic faults and volcanic activities. Areas with well-developed discordogenic faults and volcanic rocks can be considered as indicators for seeking deep fluid modified reservoirs.

Key words: deep fluid; carbonates; modified reservoir; Tazhong area

油气资源评价结果及勘探实践证明,塔里木盆地下古生界碳酸盐岩是一个潜力巨大的勘探领域。碳酸盐岩储层优劣以及缝洞连通性是制约其含油气性及其稳产的关键^[1-5]。沙参2到塔中1

的系列发现^[6]以及“八五”、“九五”国家科技攻关的研究成果已充分说明,塔里木盆地下古生界碳酸盐岩油气富集明显受风化壳的控制^[7],但对有一定规模的深部流体改造型储层的发育分布的认

基金项目:国家“973”重点基础研究发展规划项目(G1999043300)

第一作者简介:吕修祥,男,41岁,教授(博士生导师),石油地质

收稿日期:2005-04-28

识是远远不够的,如储量规模达 $3\,000 \times 10^4$ t 的塔中 45 油田,奥陶系碳酸盐岩中的萤石矿带是主力储集层;与深部热液(岩浆)有关的白云岩,是英买 7 碳酸盐岩油田的重要储集层类型。另外,在野外调查中也发现了大规模的萤石矿带。这些现象或苗头预示着由火山活动引起的、与深部热液密切相关的碳酸盐岩改造型储层在塔里木盆地是一类十分重要的储集体,它扩大了古生界碳酸盐岩的勘探领域。

1 研究现状

“地质流体或地流体(geofluid)”指地球内部的流体。Wyllie^[8]提出,地流体包括熔体、液体、气体及超临界液体。李明诚等^[9]认为地流体的涵义十分广泛,除 H_2O 、 CO_2 、 H_2S 、 N_2 、 H_2 和碳氢化合物等流体外,还有地壳深部的岩浆。而《我国地幔流体研究现状与展望》^[10]一文明确指出,其所指流体不包括熔体或岩浆。

地幔流体的化学成分以 C、H、O、N、S 等元素为主,含有 He、Ne、Ar、F、Cl 等微量元素成分^[11],其存在形式或组分主要为 CO_2 、CO、 SO_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 H_2 、 H_2S 、 H_2O 等。综合在深部流体研究方面有代表性的成果^[12~18],对沉积盆地内深部流体确认的基本方法有:天然气组分分析、氦和氩等稀有气体以及 C、H、N、O、S 等元素的同位素分析和原油及地层水中的微量元素分析。样品来源有油样、气样、水样、岩样及其流体包裹体^[19,20]。

深部流体(deep fluid)是地流体的一部分,部分学者强调其为地幔流体或幔源流体^[21];部分学者将沉积盆地基底以下的流体统称为深部流体*。本文趋向于后者。

深部流体的油气成藏效应是近年来油气地质领域研究的前沿课题。深部流体的热能对源岩成熟转化产生影响;受热液影响的未熟烃源岩乃至现代沉积物可以生成油气;热液也可以使成熟烃源岩提前达到过成熟阶段,不利于石油的成藏^[22,23]。深部流体通过物质和能量的交换可以促进或提高源岩的产烃率^[24,25],与深部流体活动有关的无机成因气藏与深大断裂、地幔流体活动密切相关^[26~28]。深部流体通过溶蚀或交代,可以改变储层的岩石类型或孔、渗结构,进而改善储集性能^[29~31]。

2 活动证据

张景廉等^[32]通过 Nd-Sr-Pb 同位素分析认为,塔里木盆地北部原油具有下地壳至地幔的特征。本文对塔中地区有关岩石、原油及源岩的稀土元素、碳同位素、岩石热解和流体包裹体测温等多项研究表明,该地区西部和 I 号断裂带附近存在着深部流体活动。

2.1 稀土元素

稀土元素不仅是一种稀有矿产资源,而且被看作是地球化学作用的指示剂、示踪剂,可根据各种地质体的稀土组成特征来反演成岩或成矿物质的来源和形成过程。选择断裂带附近的一些探井,分析测试储集岩、烃源岩以及原油的稀土元素特征(测试数据已经球粒陨石标准化),可寻找到深部流体活动的证据。

沉积岩中的稀土元素早已被广泛用于示踪物源区的成分特征,沉积岩的稀土元素含量按页岩、砂岩、石灰岩的顺序逐渐减少。塔中 45 井储层灰岩的稀土元素配分模式与正常沉积岩的配分相同(图 1),没有受到深部外来物质的影响。该井在 6 061~6 107 m 段的奥陶系灰岩中存在萤石矿带。萤石和灰岩的稀土元素配分模式存在明显异常,两曲线存在明显的 Dy(镝,一种重稀土元素)负异常,异常值随着深度的加大而变大,萤石和灰岩的稀土元素分馏现象明显,轻稀土富集。除了萤石 Dy 有较大负异常外,曲线形态比较接近,有相似的配分模式,可能是灰岩受到了深部热液活动的影响,从而导致与萤石有非常相似的稀土元素配分模式。造成灰岩稀土这一配分模式的原因很可能是富 F(氟)热液流体的影响。

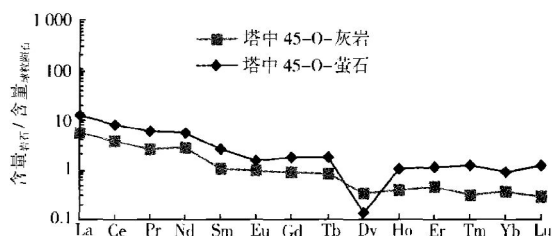


图1 塔中 45 井灰岩和萤石的稀土元素配分模式

Fig.1 Partition model of rare-earth elements in limestone and fluorite in Tazhong 45 well

* 金之钧,王清晨.中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测.中国石油大学(北京),中国科学院地质与地球物理研究所,2004

原油中的稀土元素含量非常少,其丰度主要与油源岩的沉积环境和原油的运聚效应有关。原油从烃源岩中排出直至聚集成藏的整个过程中,若没有受到深部流体活动的影响,其稀土含量及配分模式保持一定的稳定性,与烃源岩保持一致;但当石油在成藏过程中遭受深部流体活动的影响时,由于深部流体中携带大量的稀土元素,必将导致石油中稀土元素含量及配分模式发生明显异常。塔中45井的烃源岩为中上奥陶统灰岩,原油与烃源岩稀土元素配分有较大的差异,表现为原油配分曲线呈左倾的形态,曲线的斜率为正值;原油重稀土段明显偏重上扬。其中Eu有轻微正异常,原油与烃源岩中Eu含量比值为1.04,Ce有负异常,原油与烃源岩中Ce含量比值为0.78。

2.2 碳同位素

不同成因的CO₂,由于母质类型与形成环境不同,其碳同位素组成存在明显差异。归纳起来,CO₂有以下几种成因:1)由上地幔岩浆脱气释放出来^[33],其碳同位素组成与地幔碳的碳同位素组成相似, $\delta^{13}\text{C}$ 介于-5‰~-7‰;2)由海相碳酸盐岩分解产生,其碳同位素组成与母质碳酸盐岩的碳同位素组成非常接近, $\delta^{13}\text{C}$ 为-3.5‰~3.5‰;3)由沉积碎屑岩中的碳酸盐胶结物及泥质岩中的碳酸盐矿物分解形成, $\delta^{13}\text{C}$ 一般为-15‰~-9‰;4)由有机质转化产生, $\delta^{13}\text{C}$ 总体较轻,为-30‰~-10‰,其值大小取决于母质类型及其经历的演化过程。

在塔中地区,天然气藏中CO₂和N₂是常见的非烃组分。根据该地区的CO₂、N₂含量和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 特征^[34](表1),分析CO₂的成因类型。将这些数据投影到戴金星等^[13]总结的有机与无机成因CO₂的鉴别图中发现,尽管塔中地区各油气藏内的 $\delta^{13}\text{C}$ 值互不相同,但均落在CO₂无机成因区内,表明其成因是一致的。

表1 塔中天然气中CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 组成及CO₂、N₂含量

Table 1 $\delta^{13}\text{C}$ component of CO₂ and CO₂ and N₂ contents of natural gas in Tazhong area

井号	时代	层段/m	含量/%		$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$
			CO ₂	N ₂	
TZ48-30	C _{III}	3 639~3 650	0.8	18.5	-5.9
TZ103	C _{II}	3 743~3 746	—	—	-7.4
TZ45	O	6 020~6 150	3.2	4.8	-2.5
TZ26	O	4 300~4 360	1.3	11.5	-0.4
TZ103	C _{III}	3 718~3 723	1.0	9.4	-7.5

塔中地区CO₂含量比较高,多大于1%;另外还普遍含有大量N₂。塔中地区的CO₂可能来自深部。该地区二叠纪基性火山喷发强烈,在中央断垒带西部尤为突出,火山活动过程中可释放大量的CO₂、N₂等气体。这些气体可沿着塔中I号断裂和II号断裂向上运移,同时也可以在高渗透地层中进行侧向运移,最终为石炭系和奥陶系储层所捕获,并在适当的圈闭内与烃类气体以及非烃类气体一起成藏。由于CO₂的扩散能力较强,经过近280 Ma的扩散,CO₂几乎全部散失,仅极少量得以保存;而N₂扩散能力较CO₂弱,经过相同时间的扩散,仍有一部分保存在气藏中,这就是塔中地区N₂含量高,CO₂含量很低的原因。

2.3 流体包裹体

塔中地区下古生界的流体包裹体测温结果表明,在塔中I号断裂带周围的一些探井均存在一组高温数据(表2),温度范围为122~288℃,明显受过热流体影响。这是由于该井处于断裂附近,深部热流体可以沿断裂上升,发生碳酸盐矿物的胶结、交代或重结晶,形成高温包裹体。塔中18井钻遇了巨厚的火山岩,该井几个样品具有很高的均一温度,大致在155~288℃,反映了该井存在与火山活动有关的热流体。其他井的包裹体均一温度在120~180℃。其中塔中45井均一温度相对较高,这是由于该井也处于塔中I号断裂上,造成深部热流体上升形成高温包裹体。

3 作用机理

深部流体如火山热液作用对油气储层的影响既有热液方解石充填的破坏性又有热液溶蚀、热液次生矿物带的建设性^[35,36]。深部流体通过断裂及岩浆侵入盆地内,热液在碳酸盐岩层内渗流,与围岩作用形成特有的矿物序列。事实上,与深部流体活动密切相关的热液白云岩在深部流体活跃的沉积盆地中是十分常见的。火山活动是盆地内热流体活动的重要原因。大型基底断裂是岩浆侵入的源头,控制了盆地内深部流体活动的时间及在盆地内的空间分布。热液白云岩在微量元素和C、O、Sr同位素方面有其特征。随着时间的推移,热液温度降低,这时形成另一次生矿物——萤石。

近几年的钻井及野外剖面揭示,在塔里木盆地存在与深部流体活动有关的热液成因的次生储

表2 塔中地区寒武—奥陶系包裹体均一温度

Table 2 Homogenization temperatures of fluid inclusions in Cambrian-Ordovician strata in Tazhong area

井号	深度/m	时代	岩性	第一组温度/℃	第二组温度/℃	第三组温度/℃
TZ10	4 168.5	C	灰岩	76 ~ 98		236 ~ 279
	5 265.0	O ₂₊₃	灰岩		96 ~ 104	126 ~ 153
TZ12	4 710.0	O ₂₊₃	灰岩		92 ~ 110	122 ~ 147
	4 974.3	O ₂₊₃	灰岩		114 ~ 126	
	5 012.7	O ₂₊₃	灰岩	70 ~ 80	104 ~ 112	153 ~ 260
	5 064.8	O ₂₊₃	灰岩	70 ~ 90	100 ~ 121	136 ~ 149
	5 224.2	O ₂₊₃	灰岩	70 ~ 85	102 ~ 113	134 ~ 152
TZ18	3 965.5	C	灰岩	85.1	106	266 ~ 288
	4 550.7	S	细砂岩	82	92 ~ 107	156 ~ 169
	4 714.28	S	细砂岩			112 ~ 156
	4 757.48	O ₁	灰岩	76 ~ 94	102 ~ 147	183 ~ 260
	4 764.9	O ₁	灰岩	81 ~ 97	101 ~ 184	213 ~ 249
	4 849.05	O ₁	白云岩	83 ~ 92	114 ~ 131	142 ~ 199
TZ30	3 924.8	C	灰岩	64 ~ 87		178 ~ 236
	3 969.2	C	砂岩	88 ~ 94.3	121	173 ~ 181
	4 910.15	O ₂₊₃	灰岩		101 ~ 121	162 ~ 246
	5 092.3	O ₂₊₃	灰岩	70 ~ 80	110 ~ 118	161 ~ 270
TZ45	6 041.6	O ₂₊₃	灰岩		92 ~ 114	162 ~ 194

层。塔中45井钻遇孔洞发育的萤石矿,在该井以东约8 km的塔中21井、以南约10 km的塔中18井钻遇二叠纪火山岩;盆地西部一间房以南地区在奥陶系碳酸盐岩中发现叠置排列的萤石矿洞,并且与矿洞相距约7~8 km有二叠纪火山岩出露;塔北隆起英买力地区钻井发现了大量的热液成因白云岩,它是继风化壳之后的一类重要储层;前期完钻的英买7井及刚刚完钻的英买16、32井都发现了这类储层,而英买力地区的火山活动也十分发育。

由于火山活动的影响,使盆地内深部热流体十分活跃。深部流体的参与对碳酸盐岩储层的改造有着十分积极的作用。塔中地区深部热流体对碳酸盐岩储层的改造是以物质交换和能量交换两种形式进行的,主要有溶蚀作用、交代作用和充填作用等。

3.1 溶蚀作用

虽然溶蚀作用在任何岩性内都可能发生,但由于碳酸盐岩的化学稳定性比较弱,溶蚀作用对碳酸盐岩的影响贯穿于碳酸盐岩形成到埋藏的整个过程,包括同沉积岩溶、表生岩溶、风化壳岩溶和埋藏岩溶作用等多种类型^[37]。

塔中45井的研究表明,除上述溶蚀作用类型外,在特定的条件下,有深部热流体参加的碳酸盐

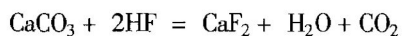
岩溶蚀作用具有十分重要的意义。塔中地区西部岩浆作用强烈,与之相伴随的流体活动十分活跃;I号断裂带等深断裂长期活动,造成局部地区碳酸盐岩的破裂作用非常强烈^[38],十分有利于溶蚀作用的发生。深部热流体对碳酸盐岩储层的溶蚀改造也在两个方面起作用。其一是深部流体本身可以是酸性流体,含有大量的CO₂和SiO₂等成分,酸性流体直接作用于碳酸盐岩;其二是深部热流体的上涌带来大量的热能,进入盆地内,当与盆地流体混合后除物质成分可发生改变外,还可通过能量交换进行加温作用,从而使流体的化学侵蚀性大大增强,促进溶蚀作用的发生。

3.2 交代作用

交代作用是物质交换的体现。流体所含成分在对储层围岩进行交代作用时^[39~41],除矿物成分本身发生变化外,往往还会使交代后新矿物的占位空间发生改变,从而引起储层物性发生变化。当然,这种变化由于交代作用类型的不同而对储层的改造方向完全不同。有些交代作用因交代矿物体积增加破坏了储层原有的储集性能,有些交代作用则因交代矿物的体积减小而使储层的储集性能得到改善。

对塔中45井的萤石交代作用而言,这种作用是建设性的。

萤石交代作用的基本化学反应是



即1个 CaCO_3 分子被交代形成1个萤石(CaF_2)分子,同时形成1个水(H_2O)分子和1个二氧化碳(CO_2)分子。据金之钧等的研究*,若不考虑其他因素的影响,方解石被等量萤石交代后孔隙空间可增加26.4%。当然,这仅是理论计算的结果,实际情况要复杂得多。但不可否认的事实是,碳酸盐岩的萤石矿化,尤其是在形成规模化的萤石矿带时,对碳酸盐岩储层的改进作用是不可小看的。

3.3 充填作用

除上述建设性改造作用外,伴随着深部流体活动还普遍发生破坏性的充填作用。随着流体温度的降低和交代作用的进行,大量的萤石和方解石晶体及少量石英、天青石等矿物开始在先前的溶蚀缝洞内结晶析出,占据了部分缝洞空间,从而对储层的储集性能造成了一定程度的破坏。

4 结论和讨论

塔中地区存在深部流体。对寒武—奥陶系碳酸盐岩储层起改造作用的深部(热)流体活动与基底大断裂以及二叠纪的火山活动密切相关。盆地内的火山活动主要发生在中西部,而从井下到野外露头,萤石矿带都发现在盆地的中西部,两者具有较好的伴生关系,证实了成因上的必然联系。因此,深大断裂以及火山岩发育区可以作为寻找这类改造型储集层的标志。

深部流体通过溶蚀作用、交代作用和充填作用使碳酸盐岩储集层的孔、渗结构发生改变,也使其储集性能发生改变。深部流体对碳酸盐岩储层的储集性能有建设性改造作用,也有破坏性改造作用。

深部流体对碳酸盐岩储层的改造,是先溶蚀形成空洞再形成萤石充填,还是先交代形成萤石再使岩石体积变小、空洞增大?深部流体进入沉积盆地与基底大断裂、火山活动有关,但研究区的钻井证实,并非火山岩分布区碳酸盐岩都受到了深部流体的改造作用,碳酸盐岩的选择性萤石化改造受哪些地质条件的影响?这些问题需要进一步深入研究。

参 考 文 献

- 1 贾振远,蔡忠贤,肖玉茹. 古风化壳是碳酸盐岩一个重要的储集岩(体)类型[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(3): 283~289
Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian, Xiao Yuru. Paleoweathering crust: an important reservoir (body) type of carbonate rocks[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(3): 283~289
- 2 Saller A H, Dickson J A D, Matsuda F. Evolution and distribution of porosity associated with subaerial exposure in Upper Paleozoic platform limestones, West Texas[J]. AAPG Bull, 1999, 83(11): 1835~1854
- 3 Hopkins J C. Characterization of reservoir lithologies within subunconformity pools: Pekisko formation, Medicine River field, Alberta, Canada[J]. AAPG Bull, 1999, 83(11): 1855~1870
- 4 夏日元,唐健生,关碧珠,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 133~136
Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Guan Bizhu, et al. Ordovician palaeokarst landform in Ordos basin and gas enrichment characteristics [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 133~136
- 5 周兴熙. 初论碳酸盐岩网络状油气藏——以塔里木盆地轮南奥陶系潜山油气藏为例[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(3): 5~8
Zhou Xingxi. A primary discussion on the network-like oil and gas pools in carbonate rocks—taking the Lunan Ordovician buried-hill pool in Tarim basin as an example[J]. Petroleum Exploration & Development, 2000, 27(3): 5~8
- 6 吕修祥,胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 288~294
Lu Xiuxiang, Hu Xuan. Hydrocarbon accumulation and distribution in Tazhong low uplift of Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 288~294
- 7 顾家裕,周兴熙. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律[J]. 北京:石油工业出版社, 2001. 104~157
Gu Jiayu, Zhou Xingxi. Distribution rules of karst and hydrocarbon in the Lunan buried-hill of the Tarim basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 104~157
- 8 Wyllie P J. Magmatic consequences of volatile fluxes from the mantle [A]. In: Perchuk L L, ed. Progress in metamorphic and magmatic petrology [C]. London: Cambridge University Press, 1991. 477~503
- 9 李明诚,李剑,万玉金,等. 沉积盆地中的流体[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 13~18
Li Mingcheng, Li Jian, Wan Yujin, et al. Fluids in the sedimentary basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 13~18
- 10 中国地球物理学会流体地球科学委员会筹委会. 我国地幔流体研究现状与展望[J]. 地球物理学报, 1997, 40(增刊): 60~69
Preparatory Committee of Fluid Earth Science of the Chinese Geophysi-

* 金之钧,刘树根. 中国典型叠合盆地深部流体与盆地流体相互作用及成藏效应. 中国石油大学(北京), 2004

- cal Society. The current status of mantle fluids researches and their prospectives in China[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1997, 40(S0): 60-69
- 11 邓晋福,莫宣学,赵海玲,等.壳-幔物质与深部过程[J]. *地学前缘*, 1998, 5(3): 67-76
Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, et al. Crust-mantle materials and deep processes[J]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5(3): 67-76
 - 12 杜建国. 中国东部裂谷系地幔脱气的氦同位素证据[J]. *科学通报*, 1994, 39(9): 813-815
Du Jianguo. Helium isotope evidences of mantle degassing in the rift system in the eastern of China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(9): 813-815
 - 13 戴金星,宋岩,戴春森,等.中国东部无机成因气及其气藏形成条件[M].北京:科技出版社,1995. 1-212
Dai Jinxing, Song Yan, Dai Chunshen, et al. Abiogenic gas and its reservoir forming conditions in east of China[M]. Beijing: Science & Technology Press, 1995. 1-212
 - 14 徐永昌,沈平,刘文汇,等.东部油气区中幔源挥发分的地球化学——(II)幔源挥发分中氮、氩及硫化物[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(2): 187-192
Xu Yongchang, Shen Ping, Liu Wenhui, et al. The geochemistry — (II) helium, argon and sulfur compound of the mantle-derived volatile in the eastern oil-gas area[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(2): 187-192
 - 15 杜乐天.地壳流体与地幔流体间的关系[J]. *地学前缘*, 1996, 3(4): 172-180
Du Letian. The relationship between crust fluids and mantle fluids [J]. *Earth Science Frontiers*, 1996, 3(4): 172-180
 - 16 王先彬,刘刚,陈践发,等.地球内部流体研究的若干关键问题[J]. *地学前缘*, 1996, 3(3): 105-118
Wang Xianbin, Liu Gang, Chen Jianfa, et al. Fluid in the earth[J]. *Earth Science Frontiers*, 1996, 3(3): 105-118
 - 17 陶明信,徐永昌,沈平,等.中国东部幔源气藏聚集带的大地构造与地球化学特征及成藏条件[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(6): 531-536
Tao Mingxin, Xu Yongchang, Shen Ping, et al. Tectonics, geochemistry and reservoir-forming condition of the accumulation belts of mantle-derived gas pool in the eastern of China[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(6): 531-536
 - 18 Jin Z, Zhang L. A preliminary study of mantle-derived fluids and their effects on oil/gas generation in sedimentary basins[J]. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 2004, 41(1-3): 45-56
 - 19 刘德汉.包裹体研究——盆地流体追踪的有利工具[J]. *地学前缘*, 1995, 2(4): 148-154
Liu Dehan. Study of inclusions — the favorable tool for basin fluids pursuing[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(4): 148-154
 - 20 张晓宝,徐永昌,孙明良,等.黄骅坳陷含油储层包裹体中幔源氮的发现及其地质意义[J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33(7): 673-678
Zhang Xiaobao, Xu Yongchang, Shun Mingliang, et al. Discovery and the geological significance of mantle-derived helium in the inclusions from the oil reservoir in Huanghua Sag[J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 33(7): 673-678
 - 21 路凤香.深部地幔及深部流体[J]. *地学前缘*, 1996, 3(4): 181-186
Lu Fengxiang. Deep mantle and its fluids[J]. *Earth Science Frontiers*, 1996, 3(4): 181-186
 - 22 Chen Z, Yan H, Li J, et al. Relationship between Tertiary volcanic rocks and hydrocarbons in the Liaohe Basin, People's Republic of China[J]. *AAPG Bull*, 1999, 83(6): 1 004-1 014
 - 23 高波,陶明信,王万春.深部热流体对油气成藏的影响[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(1): 30-34
Gao Bo, Tao Mingxin, Wang Wanchun. Influences of deeply sourced thermal fluid on the formation of hydrocarbon reservoirs[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(1): 30-34
 - 24 金之钧,杨雷,曾溅辉,等.东营凹陷深部流体活动及其生烃效应初探[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(2): 42-44
Jin Zhijun, Yang Lei, Zeng Jianhui, et al. Deep fluid activities and their effects on generation of hydrocarbon in Dongying depression[J]. *Petroleum Exploration & Development*, 2002, 29(2): 42-44
 - 25 金之钧,张刘平,杨雷,等.沉积盆地深部流体的地球化学特征及油气成藏效应初探[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2002, 27(6): 659-664
Jin Zhijun, Zhang Liuping, Yang Lei, et al. Primary study of geochemical features of deep fluids and their effectiveness on oil/gas reservoir formation in sedimentary basins[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27(6): 659-664
 - 26 徐永昌,沈平,陶明信,等.中国含油气盆地天然气中氦同位素分布[J]. *科学通报*, 1994, 39(16): 1 505-1 508
Xu Yongchang, Shen Ping, Tao Mingxin, et al. The distribution of helium isotope in the gas from the oil-gas bearing basins of China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(16): 1 505-1 508
 - 27 陈红汉,李思田.活动热流体与成藏、成矿动力学研究进展[J]. *地学前缘*, 1996, 3(4): 259-262
Chen Honghan, Li Sitian. New development in active thermal fluids and hydrocarbon accumulation and mineralization[J]. *Earth Science Frontiers*, 1996, 3(4): 259-262
 - 28 杨金中,沈远超.初论深部流体与成矿作用[J]. *黄金科学技术*, 1998, 6(4): 1-7
Yang Jinzhong, Shen Yuanchao. Deep-seated fluid and its metallogeny[J]. *Gold Science and Technology*, 1998, 6(4): 1-7
 - 29 吕修祥,金之钧,皮学军,等.塔里木盆地古生界海相碳酸盐岩油气聚集[J]. *中国科学(D辑)*, 1999, 29(4): 358-361
Lu Xiuxiang, Jin Zhijun, Pi Xuejun, et al. The accumulation of oil-gas in the Palaeozoic marine carbonate rocks in Tarim basin[J]. *Science in China (Series D)*, 1999, 29(4): 358-361
 - 30 Lu X X, Jin Z J, Liu L F, et al. Oil and gas accumulations in the Ordovician carbonates in the Tazhong Uplift of Tarim Basin, West China[J]. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 2004, 41(1-3): 109-121

- (3): 251-255
- 6 康玉柱. 塔里木盆地大气田形成的地质条件[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 21-25
Kang Yuzhu. Geological condition for forming big gasfields in Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 21-25
 - 7 贾承造. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 177-183
Jia Chengzhao. Structural characteristics and oil & gas accumulative regularity in Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(3): 177-183
 - 8 龚铭, 邵鸿良, 王泽厚, 等. 塔里木盆地断裂世代初探[J]. 石油实验地质, 1995, 17(2): 105-113
Gong Ming, Shao Hongliang, Wu Zehou, et al. Preliminary approach to the faulting generations of the Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1995, 17(2): 105-113
 - 9 王来斌, 徐怀民. 断层封闭性的研究进展[J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(1): 11-15
Wang Laibin, Xu Huaimin. Advances of research on fault sealing [J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2003, 15(1): 11-15
 - 10 杨克明, 龚铭, 段铁军, 等. 塔里木盆地断裂的输导和封闭性[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 123-127
Yang Keming, Gong Ming, Duan Tiejun, et al. Carrying and sealing properties of faults in Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 123-127
 - 11 康志宏, 虎北辰, 王英民, 等. 塔里木盆地动态数值模拟[J]. 新疆地质, 2001, 19(2): 97-101
Kang Zhihong, Hu Beichen, Wang Yingmin, et al. The dynamic basin modeling in Tarim basin[J]. Xinjiang Geology, 2001, 19(2): 97-101

(编辑: 高岩)

(上接第289页)

- 31 王嗣敏, 吕修祥. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气意义[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 72-76
Wang Simin, Lu Xiuxiang. Features and petroleum significance of Ordovician carbonate reservoir in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Journal of Xi'an University of Petroleum(Natural Science Edition), 2004, 19(4): 72-76
- 32 张景康, 朱炳泉, 张平中, 等. 塔里木盆地北部沥青、干酪根 Nd-Sr-Pb 同位素体系及成因演化[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 310-317
Zhang Jinglian, Zhu Bingquan, Zhang Pingzhong, et al. Pb-Sr-Nd isotopic systematics of kerogen and bitumen in the Tarim Basin and their implications for its origin and evolution[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(3): 310-317
- 33 刘宝明, 何家雄, 夏斌, 等. 国内外 CO₂ 研究现状及发展趋势[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 412-417
Liu Baoming, He Jiaxiong, Xia Bin, et al. Recent studying situation and progress tendency of carbon dioxide[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4): 412-417
- 34 王国安, 申建中, 季美英. 塔北、塔中天然气中 CO₂ 的碳同位素组成及成因探讨[J]. 地质地球化学, 2001, 29(1): 36-39
Wang Guoan, Shen Jianzhong, Ji Meiyang. Carbon isotopic composition and origin of carbon dioxide in natural gases in northern and central Tarim Basin[J]. Geology-geochemistry, 2001, 29(1): 36-39
- 35 陶洪兴, 徐元秀. 热液与油气储层[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(6): 92-97
Tao Hongxing, Xu Yuanxiu. Hydrothermal fluids & the oil-gas reservoir [J]. Petroleum Exploration & Development, 1994, 21(6): 92-97
- 36 高玉巧, 刘立. 岩浆侵入活动对砂岩的改造作用研究简介[J]. 地质科技情报, 2003, 22(2): 13-16
Gao Yuqiao, Liu Li. Brief introduction of effect of magma intrusion activity on sandstone[J]. Geological Science and Technology Information, 2003, 22(2): 13-16
- 37 夏日元, 唐健生, 罗伟权, 等. 油气田古岩溶与深岩溶研究新进展[J]. 中国岩溶, 2001, 20(1): 76
Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Luo Wei-quan, et al. New knowledge of the palaeokarst in oil-gas pools and the deep karst[J]. Carsologica Sinica, 2001, 20(1): 76
- 38 秦启荣, 刘胜, 苏培东. 塔中 I 号断裂带 O₂₊₃ 灰岩储层裂缝特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 183-186
Qin Qirong, Liu Sheng, Su Peidong. Characteristics of O₂₊₃ limestone reservoir rift in Tazhong 1# fracture zone[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 183-186
- 39 张荣华, 胡书敏. 萤石在流动体系内溶解反应动力学和表面化学[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(1): 41-51
Zhang Ronghua, Hu Shumin. Dissolution reaction dynamics and surface chemistry of fluorite in the flowing system[J]. Science in China (Series D), 1996, 26(1): 41-51
- 40 Zhang Ronghua, Hu Shumin. Experimental observation of deep crust fluid NaCl aqueous solution at high temperatures and pressures and its significance[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(7): 654-660
- 41 张荣华, 胡书敏. 地球深部流体演化与矿石成因[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 297-310
Zhang Ronghua, Hu Shumin. The evolution of deep earth fluids and ore genesis[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4): 297-310

(编辑: 李军)