

文章编号: 1001-6112(2011)01-0061-05

# 湘西王村古油藏沥青地球化学特征及成因探讨

高波, 周雁, 刘全有, 彭勇民, 李双建, 汪新伟

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:**在对中扬子湘西地区新发现的王村古油藏储层沥青地球化学特征进行分析的基础上,探讨了古油藏的油源。王村古油藏下奥陶统和上寒武统追屯组储层沥青反射率介于 3.09%~4.08%之间,具有富氢、贫氧、富碳的特征,为高热演化的焦沥青。下奥陶统和上寒武统储层沥青地球化学特征非常相似,揭示具有共同的来源。应用生物标志化合物、碳同位素方法开展的油源对比研究表明,王村古油藏沥青主要源自下寒武统烃源岩。

**关键词:**沥青;碳同位素;生物标志化合物;油源对比;王村古油藏;湘西

**中图分类号:** TE122.11

**文献标识码:** A

## Geochemical characteristics and origin of reservoir bitumen in Wangcun paleo-reservoir, western Hunan Province

Gao Bo, Zhou Yan, Liu Quanyou, Peng Yongmin, Li Shuangjian, Wang Xinwei

(SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** It was analyzed in this paper the geochemical characteristics and the origin of reservoir bitumen in Wangcun paleo-reservoir in the western Hunan Province, the middle Yangtze region. The reflectance of reservoir bitumen from the Lower Ordovician to the Upper Cambrian Zhuitun Formation ranged from 3.09% to 4.08%. The bitumen was rich in H and C, poor in O, and was highly mature. From the Lower Ordovician to the Upper Cambrian, geochemical characteristics of bitumen were similar, indicating the same source. Oil-source correlation studies with biomarker and carbon isotope showed that the bitumen in the Wangcun paleo-reservoir mainly originated from the Lower Cambrian source rocks.

**Key words:** bitumen; carbon isotope; biomarker; oil-source correlation; Wangcun paleo-reservoir; western Hunan Province

王村古油藏位于湖南省永顺县王村北东 2 km 处,构造上隶属于湘鄂西冲断褶皱带桑植—石门复向斜与雪峰山隆起带的交接部位,局部构造位于呈北东向展布的烈夕向斜南东翼(图 1)。该古油藏发现于 2008 年 6 月<sup>[1]</sup>。该古油藏的发现,弥补了中扬子地区上寒武统古油藏的空缺,对其储层沥青地球化学特征及成因的分析与探讨,有助于客观认识该古油藏的成藏条件及演化过程。

### 1 沥青产状及类型

王村古油藏主力储层为上寒武统追屯组结晶白云岩、白云质灰岩与古岩溶角砾状白云岩及下奥陶统泥晶灰岩,储集空间为晶间孔和溶蚀孔、洞以及构造裂缝;沥青产状多以网状、浸染状、晶间孔

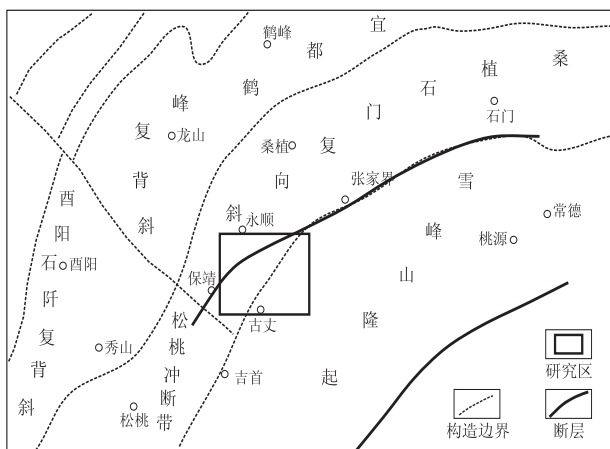


图 1 中扬子地区王村古油藏区域构造位置

Fig. 1 Tectonic location of Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

收稿日期: 2010-09-07; 修订日期: 2010-12-29。

作者简介: 高波(1969—),男,博士,高级工程师,主要从事油气地质与地球化学研究。E-mail: gaobo@pepris.com。

基金项目: 国家科技重大专项项目(2008ZX05005-002)和国家自然科学基金项目(40739904)资助。

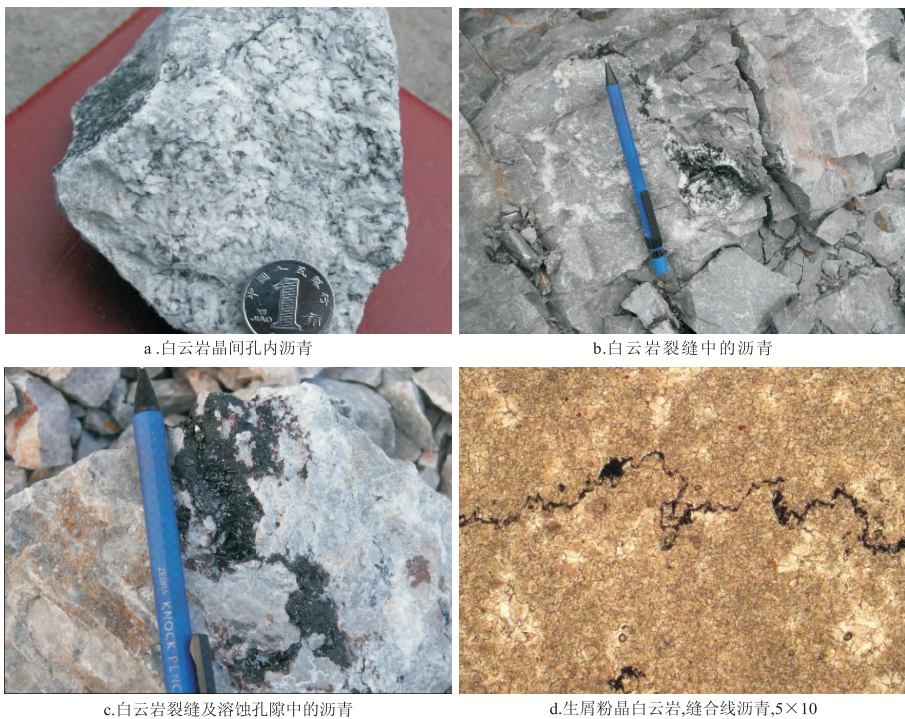


图 2 中扬子地区王村古油藏追屯组白云岩储层与沥青赋存状态

Fig. 2 Dolomite reservoir and bitumen occurrence in Zhuitun Formation, Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

型、溶洞型、裂缝型赋存(图 2)。其中沥青在中粗粒结晶白云岩晶间中富集极为罕见。此外,在追屯组顶部白云岩中,见 2 层累计厚度达 15.6 m 的深色油浸白云岩(油味很浓,但未见沥青)。为了揭示储层沥青的来源,本次研究采集了王村追屯组沥青、沥青白云岩、油浸白云岩及奥陶系沥青进行了系统的地球化学测试分析,同时为了对比分析,还对邻区慈利南山坪古油藏震旦系沥青也进行了相关分析。

王村古油藏下奥陶统一上寒武统储层沥青反射率介于 3.09%~4.08%之间,镜质体反射率介于 2.47%~3.15%,H/C 相对较高,介于 0.34~0.50,O/C 介于 0.05~0.14(表 1),为高演化的焦沥青。

## 2 沥青抽提物饱和烃色谱特征

下奥陶统储层沥青与上寒武统储层沥青抽提物饱和烃色谱特征非常相似,均呈现出以 C<sub>23</sub>(或 C<sub>25</sub>)和 C<sub>18</sub> 为主峰的双峰型分布(图 3),C<sub>15</sub> 之前的

表 1 中扬子地区王村古油藏储层沥青的反射率特征  
Table 1 Reflectance characteristics of reservoir bitumen from Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

样品号	岩性	地层	R <sub>b</sub> /%	R <sub>o</sub> /%	H/C	O/C
LYX-034	沥青	Є <sub>3z</sub>	3.29	2.61	0.34	0.05
LYX-043-1	沥青	O <sub>1n</sub> -O <sub>1h</sub>	3.09	2.47	0.50	0.14
LYX-083	含沥青白云岩	Є <sub>3b</sub>	4.08	3.15		

注:R<sub>o</sub> 换算按照刘德汉等<sup>[2]</sup>公式 R<sub>o</sub>=0.688R<sub>b</sub>+0.346。

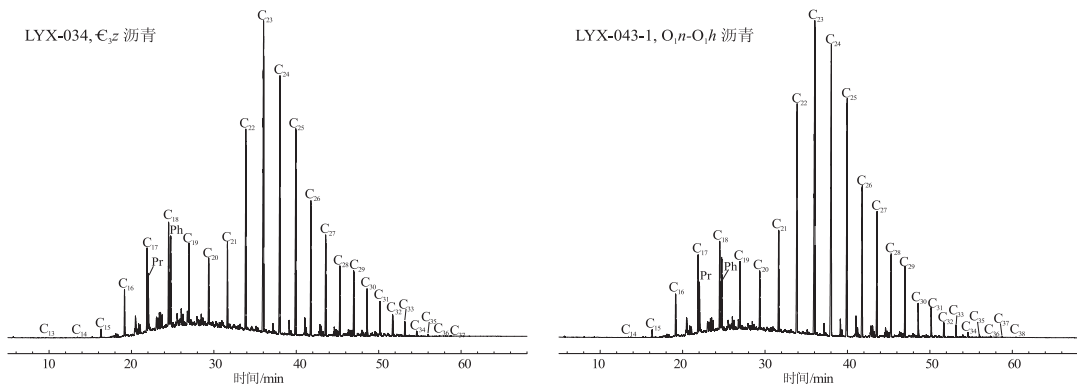


图 3 中扬子地区王村古油藏储层沥青饱和烃色谱

Fig. 3 Gas chromatograms of saturated hydrocarbon in reservoir bitumen from Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

低碳数烷烃由于长期地表风化作用损失严重,类异戊二烯含量较高,Pr/C<sub>17</sub> 介于 0.80~1.17, Ph/C<sub>18</sub> 介于 1.07~1.44, Pr/Ph 介于 0.35~0.66(表 2), 揭示原油母质形成于偏还原的沉积环境。下奥陶统储层沥青与上寒武统储层沥青饱和烃色谱特征的相似性,揭示它们具有相似的母质来源。

### 3 储层沥青生物标志化合物特征

储层沥青孕甾烷和升孕甾烷含量很高,  $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$  甾烷、C<sub>28</sub> 甾烷、C<sub>29</sub> 甾烷均呈现不对称“V”型分布,且 C<sub>27</sub> > C<sub>29</sub> > C<sub>28</sub>(图 4); C<sub>27</sub> 甾烷、C<sub>28</sub> 甾烷、C<sub>29</sub> 甾烷含量分别介于 38%~41%, 24%~25%, 35%~38%, C<sub>27</sub> 甾烷含量较高,且 C<sub>30</sub> 甲基甾烷具有一定丰度,揭示低等浮游生物对生烃母质具有较大贡献。重排甾烷含量较高, C<sub>27</sub> 重排甾烷/规则甾烷占 0.30~0.38(图 5)。重排甾烷/规则甾烷比值主要受热成熟度和源岩的无机特征的影响,粘土中酸性物质的催化作用被认为是沉积物中重排甾烷形成的机理<sup>[3-5]</sup>。本区沥青较高的重排甾烷/规则甾烷一方面与储层沥青的演化程度很高有关,另一方面可能与储层沥青主要源自泥质烃源岩有

关。C<sub>29</sub> 甾烷 20S/(20S+20R) 为 0.51~0.55, 显示了成熟原油的特征。

在萜烷组成与分布中,沥青三环萜烷较高,三环萜烷/五环萜烷介于 0.69~1.46 之间。三环萜烷中,低碳数三环萜烷含量较高, C<sub>21</sub>/C<sub>23</sub> 和 C<sub>19-21</sub>/C<sub>23-24</sub> 分别为 0.98~1.25 和 1.01~1.48; C<sub>24</sub> 四环萜烷含量较低, C<sub>24</sub> 四环萜/C<sub>26</sub> 三环萜为 0.34~0.66; 五环萜烷组成中,以 C<sub>30</sub> 藿烷为主, C<sub>29</sub> 藿烷/C<sub>30</sub> 藿烷为 0.55~0.75; Ts 普遍大于 Tm, C<sub>29</sub> Ts 丰度普遍较低, C<sub>29</sub> Ts/C<sub>30</sub> 藿烷为 0.15~0.23; C<sub>29</sub> 降莫烷和 C<sub>30</sub> 莫烷含量较低, C<sub>29</sub> 降莫烷/C<sub>30</sub> 藿烷和 C<sub>30</sub> 莫烷/C<sub>30</sub> 藿烷分别为 0.09~0.10 和 0.14~0.15, 这与沥青具有较高的成熟度相一致。伽马蜡烷丰度较低,伽马蜡烷/C<sub>30</sub> 藿烷为 0.10~0.16, 揭示母质形成于微咸水环境。升藿烷含量随着碳数的增加而逐渐减小。下奥陶统储层沥青与上寒武统储层沥青及油浸白云岩、慈利南山坪古油藏震旦系沥青抽提物的甾萜烷特征非常相似(图 4), 揭示它们具有共同的来源,与下寒武统烃源岩具有较好的亲缘性(图 5), 这与金强等应用微量元素等方法对慈利南山坪古油藏储层沥青成因的研究成果一致<sup>[6-8]</sup>。

表 2 中扬子地区王村古油藏储层沥青饱和烃特征参数

Table 2 Geochemical parameters of saturated hydrocarbon in reservoir bitumen from Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

样品号	样品性质	地层	主峰碳	Pr/C <sub>17</sub>	Ph/C <sub>18</sub>	Pr/Ph	OEP
LYX-034	沥青	Є <sub>3</sub> z	C <sub>23</sub>	0.87	1.20	0.55	1.33
LYX-043-1	沥青	O <sub>1n</sub> -O <sub>1h</sub>	C <sub>23</sub>	0.80	1.07	0.66	1.24
LYX-069	含沥青白云岩	Є <sub>3</sub> z	C <sub>23</sub>	1.17	1.43	0.35	1.15
LYX-075-1	油浸白云岩	Є <sub>3</sub> z	C <sub>25</sub>	0.97	1.23	0.40	1.13
LYX-078	油浸白云岩	Є <sub>3</sub> z	C <sub>18</sub>	1.11	1.44	0.42	0.84

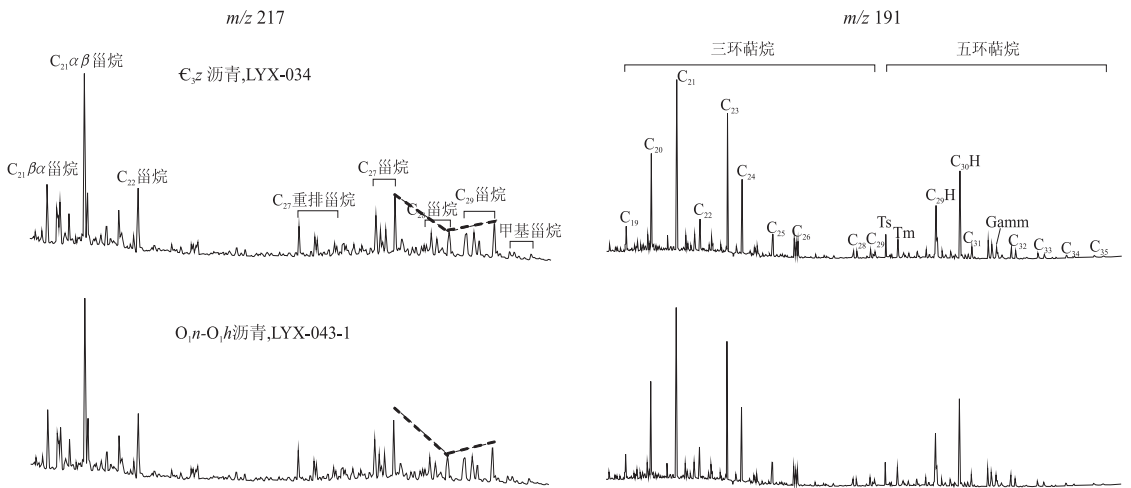


图 4 中扬子地区王村古油藏储层沥青抽提物甾萜烷质量色谱

Fig. 4 Mass chromatogram of sterane and terpane of reservoir bitumen from Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

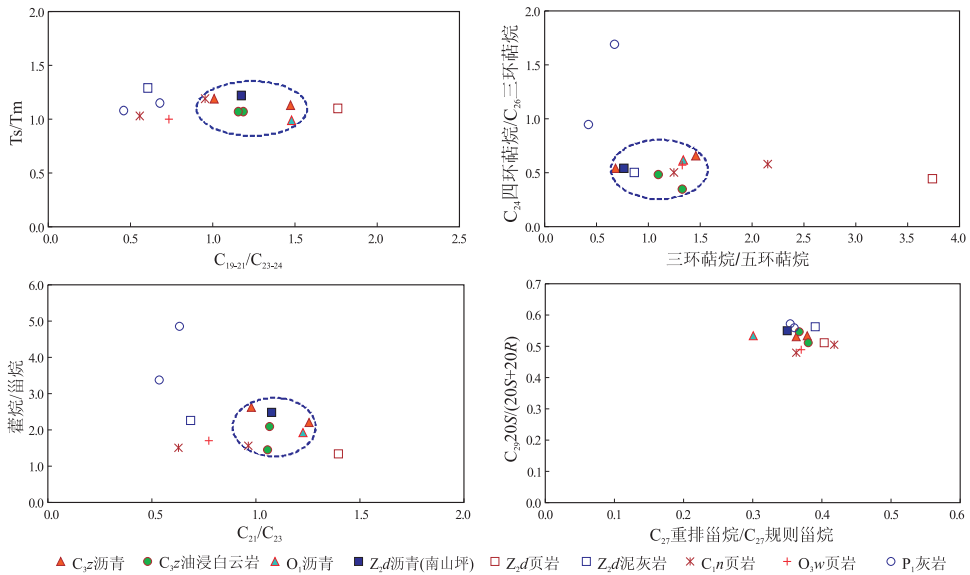


图 5 中扬子地区王村古油藏储层沥青与各层系烃源岩生标参数对比

Fig. 5 Correlation of biomarkers between reservoir bitumen and source rocks from Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

表 3 中扬子地区王村古油藏储层沥青族组分碳同位素组成

Table 3 Carbon isotope characteristics of group composition of reservoir bitumen from Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

样号	剖面	岩性	层位	$\delta^{13}C/\text{‰}$				
				“A”	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
LYX-034	古丈罗依溪	沥青	$\epsilon_3z$	-28.9	-29.2	-26.9	-28.9	-28.8
LYX-043-1	古丈罗依溪	沥青	$O_{1n}-O_{1h}$	-28.6	-30.0	-26.6	-28.2	-28.7
LYX-069	古丈罗依溪	含沥青白云岩	$\epsilon_3z$	-28.6	-28.6	-26.6	-28.0	-28.6
LYX-075-1	古丈罗依溪	油浸白云岩	$\epsilon_3z$	-28.5	-28.9	-27.4	-27.3	-28.9
NSP-004	慈利南山坪	沥青	$Z_2d$	-29.0	-29.4	-26.8	-28.9	-28.3

#### 4 储层沥青碳同位素特征

对王村古油藏储层沥青及油浸白云岩抽提物族组分碳同位素测试分析结果表明,上寒武统追屯组沥青及油浸白云岩与下奥陶统红花园组—南津关组储层沥青的族组分碳同位素表现出很好的相似性,且与邻近慈利南山坪震旦系古油藏储层沥青的族组分特征非常一致(表 3),表明该古油藏与慈利南山坪古油藏一样,原油主要来自于下寒武统牛蹄塘组页岩。

追屯组储层干沥青全岩碳同位素的测试分析显示,沥青碳同位素为  $-30.1\text{‰}$ 。大量分析资料表明,正常原油的碳同位素比相应源岩干酪根轻  $1\text{‰}\sim 2\text{‰}$ ,而固体沥青因其主要由非烃、沥青质组分的缩聚作用形成,碳同位素要比其原始原油重  $2\text{‰}\sim 3\text{‰}$ <sup>[9]</sup>。按这种关系推算,高演化的固体沥青的  $\delta^{13}C$  值要高于烃源岩干酪根  $1\text{‰}\sim 2\text{‰}$ <sup>[10]</sup>。对王村古油藏邻区古丈罗依溪、慈利南山坪及温塘剖面不同层位烃源岩干酪根碳

表 4 中扬子地区王村古油藏储层沥青及各层系烃源岩干酪根碳同位素

Table 4 Carbon isotope characteristics of kerogen from source rocks and reservoir bitumen from Wangcun paleo-reservoir, middle Yangtze region

样品号	岩性	剖面位置	地层	$\delta^{13}C/\text{‰}$
LYX-034	沥青	王村古油藏	$\epsilon_3z$	-30.1
LYX-000	黑色页岩	古丈罗依溪	$Z_2ds$	-30.9
LYX-005	黑色页岩	古丈罗依溪	$\epsilon_1n$	-34.6
NSP-016	黑色页岩	慈利南山坪	$\epsilon_1n$	-30.1
WT-012	碳质页岩	张家界温塘	$O_3w$	-29.5
WT-003	生屑灰岩	张家界温塘	$P_1m$	-30.5
WT-004	暗色灰岩	张家界温塘	$P_1q$	-24.3

同位素的测试分析表明,下寒武统烃源岩干酪根碳同位素介于  $-30.1\text{‰}\sim -34.6\text{‰}$ (表 4),与王村古油藏储层沥青具有很好的可比性,揭示下寒武统烃源岩对储层沥青具有较大贡献。

#### 5 结论

1)王村古油藏储层沥青演化程度很高,具有富



氢、富碳、贫氧的特征,为高演化的焦沥青。

2)王村古油藏下奥陶统储层沥青与上寒武统储层沥青地球化学特征非常相似,揭示具有相同的来源。

3)应用生物标志化合物及碳同位素方法开展的油源对比研究表明,王村古油藏储层沥青与慈利南山坪震旦系储层沥青一样,均源自下寒武统泥质烃源岩。

参考文献:

[1] 金之钧,周雁. 我国南方王村上寒武统大型古油藏的首次发现[J]. 天然气地球科学,2009,20(2):1-3.

[2] 刘德汉,史继扬. 高演化碳酸盐烃源岩非常规评价方法探讨[J]. 石油勘探与开发,1994,21(3):113-115.

[3] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum an ancient sediments[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1993.

[4] De Leeuw J W, Cox H C, Van G G, et al. Limited double bond isomerisation and selective hydrogenation of sterenes during early diagenesis[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(4): 903-909.

[5] 朱扬明,张春明,张敏,等. 沉积环境的氧化还原性对重排甾烷形成的作用[J]. 沉积学报,1997,15(4):104-108.

[6] 金强,田海芹,戴俊生. 微量元素组成在固体沥青—源岩对比中的应用[J]. 石油实验地质,2001,23(3):285-290.

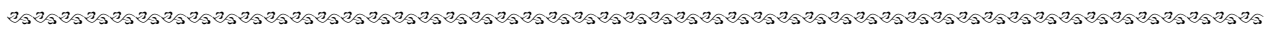
[7] 赵宗举,冯加良,陈学时,等. 湖南慈利灯影组古油藏的发现及意义[J]. 石油与天然气地质,2001,22(2):114-118.

[8] 丁道桂,刘光祥,陈玉华,等. 江南—雪峰山前缘油气聚集及烃源对比:南方构造问题之三[J]. 石油实验地质,2007,29(4):345-354.

[9] Machel H G, Krouse H R Sassen R. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction [J]. *Applied Geochemistry*,1995,10(4):373-389.

[10] 蔡勋育,朱扬明,黄仁春. 普光气田沥青地球化学特征及成因[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):340-347.

(编辑 黄 娟)



(上接第 60 页)

[16] Moore C H. Carbonate Diagenesis and Porosity[M]. New York: Elsevier, 1989.

[17] 钱一雄,陈强路,陈跃,等. 碳酸盐岩中缝洞方解石成岩环境的矿物地球化学判识:以塔河油田的沙 79 井和沙 85 井为例[J]. 沉积学报,2009,27(6):1027-1032.

[18] 刘金连,刘伟新,张庆珍,等. 电子探针与阴极荧光技术在碳酸盐矿物研究中的应用[J]. 石油实验地质,2010,32(4):393-396.

[19] Veizer J, Ala D, Azmy K, et al. <sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr,  $\delta^{13}$  C and  $\delta^{18}$  O evolution of Phanerozoic seawater[J]. *Chem Geol*,1999,161:59-88.

[20] Walter M R, Veevers J J, Calver C R, et al. Dating the 840 - 544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium ,carbon , and sulfur in seawater, and some interpretative models [J]. *Precambrian Research*,2000,100:371-433.

[21] 黄思静,石和,毛晓冬,等. 早古生代海相碳酸盐的成岩蚀变性及其对海水信息的保存性[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2003,30 (1):9-18.

[22] 黄思静,卿海若,裴昌蓉,等. 川东三叠系飞仙关组白云岩铈含量、铈同位素组成与白云岩化流体[J]. 岩石学报,2006,22 (8):2123-2132.

[23] 黄思静,卿海若,胡作维,等. 川东三叠系飞仙关组碳酸盐岩的阴极发光特征与成岩作用[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2008,33(1):26-34.

[24] 宋志敏. 阴极发光地质学基础[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993.

[25] Allan J R, Wiggins W D. Dolomite reservoirs ;Geochemical techniques for evaluating origin and distribution[J]. *AAPG Short Course Note Series*,1993,36:129-132.

[26] Denies P. The isotopic composition of reduced organic carbon[M]//Fritz P, Fontes J C H, eds. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Volume 1: The Terrestrial Environment*. Amsterdam: Elsevier,1980:329-406.

[27] Keith M L, Weber J N. *Geochemistry Cosmoch*[J]. *Asts*, 1964:1786-1816.

[28] 王大锐,张映红. 渤海湾油气区火成岩外变质带储集层中碳酸盐胶结物成因研究及意义[J]. 石油勘探与开发,2001,28(2):40-42.

[29] Kaufman A J, Knoll A H. Neoproterozoic variations in the C-isotopic composition of seawater: stratigraphic and biogeochemical implications[J]. *Precambrian Research*,1995,73:27-49.

[30] 钱一雄,蔡立国,李国蓉,等. 碳酸盐岩岩溶作用的元素地球化学表征:以塔河 1 号的 S60 井为例[J]. 沉积学报,2002,20 (4):70-75.

[31] 曹剑,胡文瑄,姚素平,等. 准噶尔盆地石炭—二叠系方解石脉的碳、氧、铈同位素组成与含油气流体运移[J]. 沉积学报,2007,25(5):722-729.

(编辑 徐文明)