

# 车排子凸起新近系沙湾组原油轻烃 地球化学特征及油源分析

任英姿

(中国石化胜利油田分公司地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:**为进一步厘定车排子凸起新近系沙湾组的油气来源,利用全烃气相色谱和热蒸发烃色谱方法对研究区的原油和油砂进行轻烃组成分析,结果表明车排子凸起北部稠油和南部稀油具有相似的轻烃地球化学特征。其原油母质来源均为腐泥型有机质,轻烃地球化学特征反映原油成熟度均处于成熟阶段。分析不同类型原油具有相似轻烃地球化学特征的原因认为,研究区早期充注原油的轻烃组分多已散失或遭受生物降解作用,现今稠油和稀油中的轻烃组分主要为后期油气充注的结果,主要反映的是二次充注的原油特征。根据对准噶尔盆地烃源岩的研究认为,车排子凸起后期充注的原油应来源于昌吉凹陷二叠系富含低等水生生物母质类型的烃源岩。

**关键词:**轻烃 地球化学特征 成熟度 沙湾组 油气来源 车排子凸起

**中图分类号:** TE112.114

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)03-0010-05

位于准噶尔盆地西缘车排子凸起的春光油田和春风油田是中国石化近年来重要的油气发现之一,但在不同区带和层系的原油性质存在极大差异。凸起南部春光油田新近系沙湾组原油为稀油,地面原油密度为 $0.8009\text{ g/cm}^3$ ,粘度为 $1.79\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ;凸起北部春风油田新近系沙湾组原油为稠油,地面原油密度为 $0.9655\text{ g/cm}^3$ ,粘度为 $5879\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。对车排子凸起沙湾组原油的来源已进行了较多研究,但对其认识存在较大差异,主要观点有其油气为侏罗系单一来源<sup>[1-3]</sup>、以侏罗系来源为主并与其他层系油气混入<sup>[4-5]</sup>、以二叠系来源为主并混入其他层系油气<sup>[6-7]</sup>以及二叠系单一来源<sup>[8]</sup>等。因此须采用多种方法对研究区的原油特征进行深入分析,进一步明确其油气来源。

轻烃是原油和天然气中的重要组成部分,随着中外学者对轻烃分析和应用研究的日益深入,轻烃分析测试技术在石油地质研究中的作用也越来越显著。轻烃参数在判断生烃母质类型与环境、推测有机质热演化程度、进行油气来源对比、研究油气运移方向与相态类型以及判断油气保存条件等方面均具有较好的应用效果<sup>[9-17]</sup>。为此,笔者对车排子凸起新近系沙湾组不同性质原油的轻烃地球化学特征进行分析,利用轻烃参数对原油的成熟度、

母质类型等进行研究,进而厘定其油气来源,以期与研究区下步的油气勘探部署提供新的依据。

## 1 区域地质概况

车排子凸起位于准噶尔盆地西部隆起带,西邻扎伊尔山,东部和南部分别以红车断裂带、艾卡断裂带与昌吉凹陷、四棵树凹陷相连。研究区是在石炭系火成岩基底之上发育起来的继承性凸起,整体为东南倾的单斜,多期次的构造升降运动造成地层主要以超覆和削截为主<sup>[18-19]</sup>。其新近系沙湾组主要发育辫状河三角洲及扇三角洲2种沉积体系<sup>[20-21]</sup>,储集条件较好,为春光油田和春风油田的主要含油层系。车排子凸起具有他源供烃、多源多期、双向汇聚的油气成藏背景,是具有多套含油层系、多种油气品位和多种油藏类型的复式油气聚集区<sup>[22-23]</sup>。

## 2 实验方法及条件

车排子凸起的原油性质具有较大差异,对研究区南部稀油和北部稠油分别采用原油全烃气相色谱和岩石热蒸发烃色谱分析方法进行轻烃组分分析。针对稀油的原油全烃气相色谱分析为原油直

收稿日期:2014-04-01。

作者简介:任英姿,女,工程师,从事油气勘探研究工作。联系电话:13563366359, E-mail:1078611163@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“准噶尔盆地碎屑岩层系大中型油气田形成规律与勘探方向”(2011ZX05002-002)。

接进样,采用HP-1型60 m弹性石英玻璃毛细柱,实验起始温度为40℃,恒温10 min;升温速率为2℃/min,升至温度为110℃;升温速率为5℃/min,升至温度为300℃,恒温至基线平直。针对稠油油砂的热蒸发烃色谱分析是将重量约为2 g的油砂置于石英样品舟中,放入已恒温至300℃的石英管式炉内加热,热释的烃气被载气带至液氮冷阱中富集约15 min,然后快速加热富集管,使烃气进入色谱仪中进行分析,其色谱分析条件与原油全烃气相色谱分析相同。

针对研究区不同原油性质,采用不同轻烃组分分析方法得到的色谱均显示出良好的轻烃组成特征(图1),尤其是稠油油砂热蒸发烃色谱分析显示含有一定数量的轻烃组分,且常用的判断原油生烃母质类型和成熟度参数指标的分布完好(图1a),可用于油源对比和原油成熟度的确定。

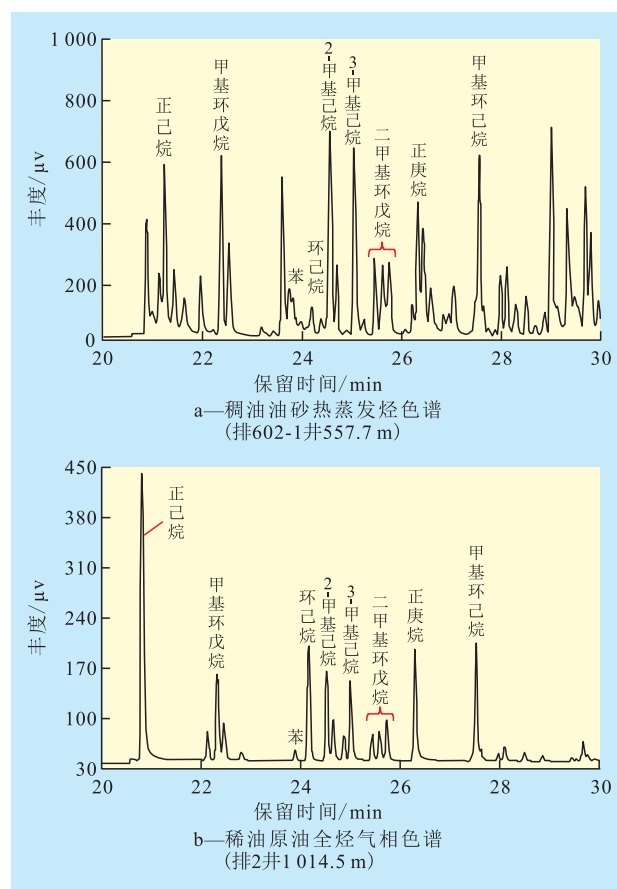


图1 不同轻烃组分分析方法的轻烃色谱对比

### 3 轻烃地球化学特征及油源分析

#### 3.1 原油成熟度

由于车排子凸起稀油的生物标志化合物特征与准噶尔盆地各套烃源岩中可溶有机质的可对比

性均不理想,因此原油成熟度成为确定其油源的主要依据。但研究区稠油遭受生物降解作用严重,稀油有可能超过生物标志化合物成熟指标平衡阶段,造成原油成熟度确定困难<sup>[8]</sup>。轻烃参数是反映生油岩中有机质热演化程度的重要证据,根据轻烃参数可以研究有机质的成熟度。Philippi在研究加利福尼亚盆地的凝析油后发现,随着成熟度增加,凝析油轻烃的烷基化程度亦增加<sup>[10]</sup>。Thompson提出利用石蜡指数(异庚烷值)和庚烷值来研究原油成熟度特征<sup>[11]</sup>。Mango提出依据2,4-二甲基戊烷与2,3-二甲基戊烷的比值来计算原油生成时的最高温度,根据原油生成时的最高温度可计算原油生成时烃源岩中有机质的镜质组反射率<sup>[12]</sup>。采用Mango提出的换算公式<sup>[12]</sup>定量计算研究区原油的等效镜质组反射率,同时对目前用于确定原油成熟度和来源的其他轻烃参数,如庚烷值、异庚烷值、甲基环己烷指数和苯指数等进行计算(表1)。结果表明,研究区的稠油和稀油成熟度均处于成熟阶段,但稠油的等效镜质组反射率多为0.85%~0.96%,略高于稀油(其值为0.83%~0.87%),分析其主要原因可能是原油保存条件或生物降解程度的差异所造成的。

#### 3.2 原油母质类型

轻烃是油气母质来源类型判识的重要指标,王廷栋在对四川盆地含油天然气藏C<sub>4</sub>—C<sub>7</sub>烃类族组成的研究中发现,陆相来源(腐殖型)油气样品中缺乏正构烷烃,异构烷烃占较大优势<sup>[24]</sup>;而海相来源(腐泥型)的油气样品中,则是C<sub>4</sub>—C<sub>7</sub>正构烷烃占优势;典型腐泥型烃源岩生成油的芳烃(苯和甲苯)含量一般不超过10%,而腐殖型烃源岩生成油的芳烃含量则相对较高,一般超过10%;煤系地层烃源岩生成油的芳烃含量更高,甚至大于20%。胡惕麟提出甲基环己烷指数与环己烷指数,并指出当甲基环己烷指数大于50%时,原油母质类型为腐殖型,甲基环己烷指数小于50%时,原油母质类型为腐泥型;当环己烷指数小于27%时,可以推断原油母质类型为腐泥型,大于27%时,推断原油母质类型为腐殖型<sup>[25]</sup>。从表1可以看出,研究区原油的甲基环己烷指数显示出来源于腐泥型烃源岩的明显特征,仅排2-86、排2-88、排2-平87和排2-平92井原油的甲基环己烷指数显示出腐殖型特征。

C<sub>7</sub>轻烃化合物包括甲基环己烷、二甲基环戊烷和正庚烷3类。其中,甲基环己烷来自于高等植物的木质素、纤维素和醣类等,热力学性质相对稳定,是反映陆源母质类型的参数;二甲基环戊烷主要来自水生生物类脂化合物,并受原油成熟度影响,

表1 车排子凸起沙湾组原油轻烃参数

样品类型	原油性质	色谱分析	井号	埋深/m	庚烷值, %	异庚烷值	甲基环己烷指数, %	苯指数, %	甲基环己烷/二甲苯环戊烷	等效镜质组反射率, %
油砂	稠油	热蒸发烃色谱	排60	580.1	23.49	1.21	14.84	8.08	0.34	0.95
			排609	231.5	26.03	1.69	18.90	1.77	0.55	0.96
			排612	316.0	29.11	1.44	17.62	5.73	0.54	0.94
			排6-平4	552.2	29.17	1.38	16.89	5.47	0.51	0.90
			排6-平4	563.0	24.56	1.52	17.75	6.45	0.47	0.90
			排601-平192	599.0	29.90	1.53	24.68	4.38	0.96	0.87
			排601-21	488.0	31.80	1.48	16.75	9.25	0.57	0.85
			排602-1	557.7	11.79	1.69	31.85	1.81	0.71	0.95
			排2	1 014.5 ~ 1 017.3	26.61	1.30	39.21	1.29	1.82	0.84
			排2-12	1 014.4 ~ 1 018.5	27.31	1.32	36.13	1.27	1.58	0.83
原油	稀油	全烃气相色谱	排2-18	977.3 ~ 981.6	26.41	1.40	38.99	1.07	1.84	0.84
			排2-30	1 087.6 ~ 1 092.4	29.80	1.52	25.25	1.63	0.92	0.84
			排2-40	999.0 ~ 1 003.0	32.43	1.49	15.76	0.03	0.52	0.85
			排2-86	1 391.5 ~ 1 395.0	7.39	0.71	56.26	1.44	1.74	0.87
			排2-88	1 391.5 ~ 1 394.5	3.38	0.22	64.19	0.35	2.07	0.83
			排2-平87	1 391.5 ~ 1 395.0	7.17	0.71	57.21		1.79	0.87
			排2-平92	1 391.5 ~ 1 394.5	3.81	0.25	64.22	0.39	2.11	0.83
			排8-20	1 098.0 ~ 1 102.0	26.71	1.41	35.65	0.03	1.53	0.84
			排8-30	1 087.6 ~ 1 092.4	26.31	1.54	12.80	0.01	0.33	0.83
			排8-40	1 009.0 ~ 1 013.0	3.39	1.98	6.41		0.08	0.84

其大量存在是腐泥型成因油气的标志;正庚烷主要来自藻类和细菌,对成熟作用非常敏感,是良好的原油成熟度指标;因此,可以利用甲基环己烷、二甲苯环戊烷和正庚烷的相对含量来区分腐殖型和腐泥型油气<sup>[11-12]</sup>。车排子凸起沙湾组不同性质原油C<sub>7</sub>化合物的相对组成特征(图2)表明,北部排6井区稠油以及南部排2井区稀油中的正构烷烃含量较为丰

富,芳烃含量较低,其油气均主要来源于典型的腐泥型烃源岩,仅排2-86等4口井油气显示为腐殖型烃源岩特征。

车排子凸起南部稀油的原油成熟度相同,但排2和排2-88井区轻烃参数所反映的原油母质类型特征却存在差异。从原油性质来看,排2-86、排2-88等井的地面原油密度和粘度均比排2井区稍大。排2井与排2-88井的原油全烃气相色谱对比结果表明,排2-88井原油成分中相对缺失轻烃组分,其原因可能为原油受到一定程度的生物降解作用,致使C<sub>7</sub>正构烷烃的含量降低,影响对其原油母质类型的确定。马柯阳等对塔里木盆地原油轻烃的研究成果<sup>[26]</sup>表明,轻烃在原油的运移、成藏过程中会因气液相平衡作用,导致不同轻烃成分的分馏、分异,进而影响确定原油成熟度和母质类型的参数。排2-88井区距昌吉凹陷烃源岩生烃中心的距离比排2井区要远,油气在排2-88井区聚积成藏须经历更长距离的运移,因此排2和排2-88井区稀油的原油母质类型差异可能是蒸发分馏作用所导致的。

此外,排2-88等井的分子质量相对较大的饱和烃类依然保存完整的分布序列,说明其原油仅发生部分组分的分异或遭受极轻微的生物降解作用,但

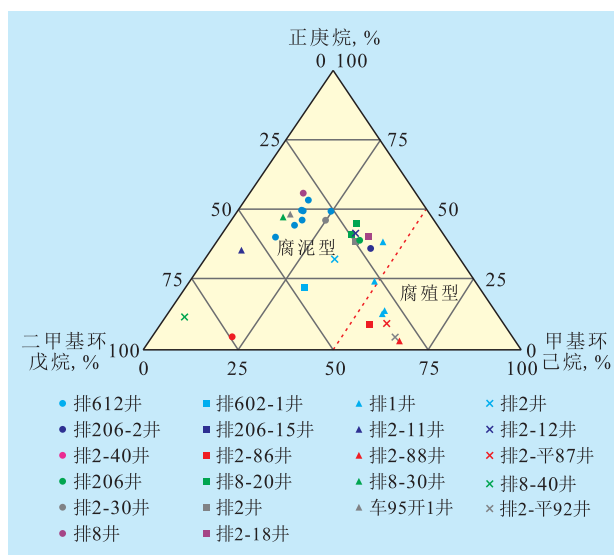


图2 车排子凸起沙湾组不同性质原油C<sub>7</sub>化合物的相对组成特征

这种变化对原油母源类型的确定已产生影响。而排6等井的稠油遭受严重的生物降解作用,其原油中的轻质组分已散失殆尽,但在油砂热蒸发烃色谱分析中却依然存在完整的轻烃系列化合物;究其原因在散失过程漫长和生物降解作用极为严重的稠油中存在的轻烃系列化合物不可能是原始稠油中完整保存下来的,现今油藏稠油中的轻烃组分应是油气二次充注的结果,其反映的原油来源及成熟度特征应为油气二次充注的原油特征,因此导致排6等井稠油的轻烃地球化学特征与稀油的相同。

### 3.3 油源分析

研究区目前的钻探成果表明,在车排子凸起周边凹陷的主要烃源岩层中,侏罗系主要以煤系地层为主,尚未发现以腐泥型组分为主的深湖相有效烃源岩。车排子凸起南部的四棵树凹陷虽因相变原因可能发育深湖相沉积,但即使发育该类烃源岩,由于其地温梯度较低,也不可能存在大规模的、与目前研究区原油轻烃地球化学特征所反映的原油成熟度一致的有效烃源岩,对远离有效烃源岩的车排子凸起提供大量油气的可能性较小,因此,研究区油气二次充注的原油来源于南部四棵树凹陷侏罗系烃源岩的可能性较小。凸起东部昌吉凹陷的侏罗系虽有部分烃源岩演化程度达到目前研究区原油轻烃地球化学特征所反映的原油成熟度,但其侏罗系烃源岩中的有机质也以陆源高等植物为主,未发现以腐泥型有机质为主的烃源岩,而昌吉凹陷二叠系发育典型的含有丰富腐泥型有机质的优质烃源岩<sup>[27-28]</sup>;因此,从轻烃参数确定的原油母质类型来看,车排子凸起沙湾组的油气来源应为昌吉凹陷二叠系烃源岩。

根据车排子凸起的轻烃参数特征,确定其原油成熟度为成熟阶段,并未达到现今昌吉凹陷二叠系烃源岩的高一过成熟阶段。综合研究区稀油及部分稠油中族组成不含沥青质组分的特征<sup>[29]</sup>,认为其原油应为早期油藏中的油气发生二次运移的结果。原油初次成藏后,由于在原始油藏中的保存时间较长,导致其中的沥青质组分发生分异、沉淀;在原油二次成藏过程中,仅有非沥青质组分发生运移,而沥青质组分则保留于原始油藏中,这可能是造成车排子凸起新近系沙湾组油藏的原油具有上稀下稠反序分布特征<sup>[30-31]</sup>的原因之一。因此,通过原油成熟度和族组成的分析认为,车排子凸起沙湾组原油不是来源于侏罗系成熟烃源岩,而是由昌吉凹陷二叠系早期成熟原油发生二次运移后成藏的结果。

## 4 结束语

车排子凸起早期充注原油的轻烃组分多已散失或遭受生物降解作用,其稠油表现的轻烃地球化学特征是后期原油发生二次充注的结果。现今研究区稠油和稀油的轻烃地球化学特征主要反映成藏后期油气二次充注的原油特征,其原油来源于昌吉凹陷二叠系富含低等水生生物母质类型的成熟烃源岩。研究区稀油为早期油藏的原油经过二次运移后所形成,在原油的运移过程中,因蒸发分馏作用造成其中的重质组分保留于原始油藏中,而轻质组分则运移至研究区聚集成藏。对车排子凸起沙湾组原油轻烃地球化学特征的研究成果进一步深化了对研究区油气成藏期次的划分,以及准噶尔盆地二叠系优质烃源岩早期生成原油在盆地地层倾向转型过程中发生二次运移聚集规律的认识,对准噶尔盆地二叠系烃源岩在高一过成熟阶段生成大量油气的运移方向研究亦具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 李政,张林晔,沈忠民,等.准噶尔盆地车排子凸起稀油母源及充注方向[J].石油实验地质,2011,33(4):419-423.
- [2] 胡海燕.车排子凸起排2井油源分析[J].科技信息,2009,(36):26-27.
- [3] 孔祥星.准噶尔盆地南缘西部山前断褶带油源分析[J].石油勘探与开发,2007,34(4):413-418.
- [4] 张枝焕,李伟,孟闲龙,等.准噶尔盆地车排子隆起西南部原油地球化学特征及油源分析[J].现代地质,2007,21(1):133-140.
- [5] 由伟丰,孟闲龙.准噶尔盆地车排子地区排2井油源分析[J].中国西部油气地质,2006,2(1):56-59.
- [6] 张闻林,张哨楠,王世谦.准噶尔盆地南缘西部地区原油地球化学特征及油源对比[J].成都理工大学学报:自然科学版,2003,30(4):374-377.
- [7] 王振奇,支东明,张昌民,等.准噶尔盆地西北缘车排子地区新近系沙湾组油源探讨[J].中国科学:D辑 地球科学,2008,38(增刊II):97-104.
- [8] 张学军,徐兴友,彭平安.车排子凸起稀油成熟度分析与烃源岩层再认识[J].地球化学,2013,42(2):180-187.
- [9] Mango F D.An invariance in the isoheptanes of petroleum[J].Science,1987,237:514-517.
- [10] Philippi G T.The deep subsurface temperature controlled origin of the gaseous and gasoline-range hydrocarbons of petroleum[J].Geochemical and Cosmochemical Review,1975,39(10):1353-1373.
- [11] Thompson K F M.Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons[J].Geochemical and Cosmochemical Review,1983,47(2):303-316.

- [12] Mango F D. The origin of light hydrocarbons in petroleum: a kinetic test of the steady-state catalytic hypothesis [J]. *Geochemical and Cosmochemical Review*, 1990, 54(5): 1 315-1 323.
- [13] 戴金星. 利用轻烃鉴别煤成气和油型气[J]. *石油勘探与开发*, 1993, 20(5): 26-32.
- [14] 唐友军, 文志刚, 窦立荣, 等. 一种估算原油成熟度的新方法[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(4): 160-162.
- [15] 林壬子. 轻烃技术在油气勘探中的应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990: 91-100.
- [16] 林壬子, 张敏, 徐中一. 轻质油中C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>轻烃的地球化学特征[J]. *江汉石油学院学报*, 1989, 11(1): 10-16.
- [17] 张敏, 张俊, 徐中一. 轻烃星图在石油勘探中的应用[J]. *石油勘探与开发*, 1998, 25(2): 30-33.
- [18] 宋传春. 准噶尔盆地周缘褶皱带形变特征[J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(3): 11-14.
- [19] 任培罡, 陈思, 潘建国, 等. 准噶尔盆地卡因迪克地区构造特征[J]. *油气地质与采收率*, 2010, 17(1): 25-28.
- [20] 王军. 准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组沉积特征[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(4): 30-32, 36.
- [21] 杨勇, 陈世悦, 王桂萍. 准噶尔盆地车排子地区古近系沉积相研究[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(3): 5-9.
- [22] 向奎, 赵永福, 王建芳. 利用多种手段进行地层综合划分与对比——以准噶尔盆地春风油田主力稠油层位归属为例[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(5): 1-5.
- [23] 王金铸, 王学忠. 准噶尔盆地西缘车排子斜坡带岩性油藏的高效勘探[J]. *特种油气藏*, 2013, 20(2): 20-24.
- [24] 王廷栋, 王海清, 李绍基, 等. 以凝析油轻烃和天然气碳同位素特征判断气源[J]. *西南石油学院学报*, 1989, 11(3): 1-15.
- [25] 胡惕麟, 戈葆雄, 张义纲, 等. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用[J]. *石油实验地质*, 1990, 12(4): 375-393.
- [26] 马柯阳, 周永红, 申建. 塔里木盆地气—液溶解平衡机制下的原油轻烃行为及其地质意义[J]. *沉积学报*, 1995, 13(4): 100-108.
- [27] 秦黎明. 准噶尔盆地腹部及西南缘侏罗系烃源岩分子地球化学特征及形成环境剖析[J]. *沉积学报*, 2013, 31(4): 738-746.
- [28] 姜福杰, 武丽. 淮南前陆冲断带烃源岩地质地球化学特征[J]. *沉积与特提斯地质*, 2010, 30(2): 47-49.
- [29] 张学军, 徐兴友, 邢丽雯, 等. 沥青质含量在车排子地区油气成藏规律研究中的应用[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(4): 25-29.
- [30] 沈扬, 李茂榕. 准噶尔盆地车排子凸起稀、稠油反序分布成因探讨[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(1): 66-71.
- [31] 余琪祥, 王津义, 路清华, 等. 准噶尔盆地车排子凸起轴砂与稠油分布特征及其叠置关系[J]. *石油实验地质*, 2010, 32(5): 428-433.

编辑 邹澍滢

## (上接第9页)

- [4] 江茂生, 沙庆安, 刘敏. 华北地台下寒武统碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东张夏地区为例[J]. *沉积学报*, 1996, 14(增刊): 63-73.
- [5] 江茂生, 沙庆安. 碳酸盐与陆源碎屑混合沉积体系研究进展[J]. *地球科学进展*, 1995, 10(6): 551-554.
- [6] 张雄华. 混积岩的分类和成因[J]. *地质科技情报*, 2000, 19(4): 31-33.
- [7] 沙庆安. 混合沉积和混积岩的讨论[J]. *古地理学报*, 2001, 3(3): 63-66.
- [8] 董桂玉, 陈洪德, 何幼斌, 等. 陆源碎屑与碳酸盐混合沉积研究中的几点思考[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(9): 931-939.
- [9] 梅冥相, 刘智荣, 孟庆芬, 等. 南口虎峪中元古界大红峪组混积岩系的层序地层划分——海侵砂岩中的微生物席碎片简介[J]. *地质科技情报*, 2007, 26(1): 33-39.
- [10] 董桂玉, 何幼斌, 陈洪德, 等. 湖南石门杨家坪下寒武统把榔组三段混合沉积研究[J]. *地质论评*, 2008, 54(5): 593-601.
- [11] 郭福生. 浙江江山藕塘底组陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征及其构造意义[J]. *沉积学报*, 2004, 22(1): 136-141.
- [12] 马艳萍, 刘立. 大港滩海区第三系湖相混积岩的成因与成岩作用特征[J]. *沉积学报*, 2003, 21(4): 607-613.
- [13] 董桂玉, 何幼斌, 陈洪德, 等. 惠民凹陷沙一中湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东商河地区为例[J]. *沉积学报*, 2007, 25(3): 343-350.
- [14] 李祥辉. 层序地层中的混合沉积作用及其控制因素[J]. *高校地质学报*, 2008, 19(3): 395-404.
- [15] 张宁生, 任晓娟, 魏金星, 等. 柴达木盆地南翼山混积岩储层岩石类型及其与油气分布的关系[J]. *石油学报*, 2006, 27(1): 42-46.
- [16] 文玲, 胡书毅, 田海芹. 扬子地区志留纪岩相古地理与石油地质条件研究[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(6): 11-14.
- [17] 马东洲, 陈洪德, 朱利东, 等. 川南下志留统石牛栏组沉积体系与岩相古地理[J]. *成都理工大学学报*, 2006, 33(3): 228-232.
- [18] 张志平, 程礼军, 曾春林, 等. 渝东北志留系下统龙马溪组页岩气成藏地质条件研究[J]. *特种油气藏*, 2012, 19(4): 25-28.
- [19] 王国茹, 郭彤楼, 付孝悦. 川东北元坝地区长兴组台缘礁滩体系内幕构成及时空配置[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(4): 40-43, 53.
- [20] 裴磊. 普光气田飞仙关组鲕滩白云岩储层预测[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(2): 45-48.

编辑 经雅丽