

文章编号:1672-9854(2010)-04-0023-07

## 二连盆地石炭系—二叠系 烃源岩有机地球化学特征及生烃潜力

李海华, 邱歧, 张彦霞, 吕剑虹

(中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所)



李海华

**摘要** 二连盆地海相烃源岩主要为海槽沉积的石炭系—二叠系泥岩和碳酸盐岩。根据盆地周缘 69 个露头剖面样品的残余有机碳含量等地球化学实验数据, 分析了石炭系—二叠系海相烃源岩的有机质丰度、类型、热演化程度。针对地表烃源岩样品具有高热演化、低丰度的地球化学特征, 在有机质丰度的热解损失和地表风化损失校正基础上, 采用 TSM 盆地模拟技术计算烃源岩生烃强度。综合分析认为, 二连盆地石炭系—二叠系海相烃源岩具有低—中等级别的生烃能力。

**关键词** 二连盆地; 石炭系; 二叠系; 海相地层; 烃源岩; 有机碳含量; 生烃潜力

**中图分类号** TE125.2

**文献标识码** A

**李海华** 1974 年生, 高级工程师。主要从事石油地质和勘探目标优选研究。通讯地址: 214151 江苏省无锡市惠钱路 210 号; 电话: (0510)83212735

二连盆地的油气藏主要分布于下石炭统阿尔善组以及腾格尔组一段和二段, 其油气主要来源于阿尔善组和腾格尔组一段含油层系。盆地勘探早期(20 世纪 80 年代)也曾以寻找碳酸盐岩潜山油藏为重点, 部署过多口探井, 但均未能取得突破。2007—2008 年于二连盆地腾格尔坳陷赛汉塔拉凹陷钻探的赛 51 井终于取得了石炭系碳酸盐岩油藏的发现, 并获得高产油流, 从而开辟了二连盆地古生界基底石炭系碳酸盐岩找油新领域<sup>[1]</sup>。为了弄清二连盆地石炭系—二叠系海相地层的勘探前景, 本文通过二连盆地周缘石炭系—二叠系所取 92 个露头样品的地球化学分析资料, 对其烃源条件进行初步探讨。

### 1 区域地质背景

二连盆地位于内蒙古自治区中北部, 东起大兴安岭, 西至乌拉特中后旗; 南从阴山北麓, 北到中蒙

国界, 东西长约 1 000 km, 南北宽 20~40 km, 面积约  $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

二连盆地的基底属海西褶皱带, 主要由古生界变质岩系及岩浆岩组成。晚古生代, 中亚—蒙古海经过加里东运动双边俯冲后, 西伯利亚板块和中国板块的活动性大陆边缘逐渐靠近, 海盆缩小<sup>[2]</sup>。二连地区的石炭系—二叠系海相、陆相和海陆交互相均很发育, 整个石炭系为深海槽, 以发育巨厚硅质碎屑岩和碳酸盐岩为主。早石炭世为大面积浅海相沉积, 为一套陆源碎屑建造和碳酸盐岩建造; 晚石炭世早期为海相沉积, 主要发育浅海相碳酸盐岩沉积, 晚石炭世晚期也主要为浅海相沉积, 局部地区为海陆交替相和陆相沉积; 二叠系分布较为广泛, 发育海相或海陆交替相碎屑岩—碳酸盐岩建造。早—中二叠世以浅海相沉积为主; 晚二叠世早期为陆相湖泊相沉积, 晚二叠世随着地壳抬升, 海水自北向南退出, 整个东北地区都是陆相沉积。总体上二连盆地具有从石炭

收稿日期: 2010-02-01; 改回日期: 2010-03-10

本文为中国石油化工股份有限公司北方海相前瞻项目(编号 GBFKT-07-YJ-014)

纪到二叠纪由海相向陆相逐渐转变的规律<sup>[3]</sup>。

## 2 烃源岩有机质丰度

### 2.1 残余有机碳含量

在二连盆地周缘露头剖面所采 92 个石炭系—二叠系烃源岩样品中选取了 69 个样品作分析,其中碳酸盐岩样品 23 个,泥岩样品 46 个。根据样品的有

机质丰度分析结果,烃源岩中可溶有机质含量很低(一般小于  $10 \times 10^{-6}$ )。23 个碳酸盐岩烃源岩样品的残余有机碳含量为 0.01%~0.30%,平均值为 0.06%。约 73% 样品的残余有机碳含量低于 0.05%,残余有机碳含量大于 0.30% 的样品数约占 4%(图 1a);46 个泥岩样品的残余有机碳含量在 0.18%~2.01%之间,平均值为 0.93%,残余有机碳含量大于 1.00% 的样品数约占 49%(图 1b)。

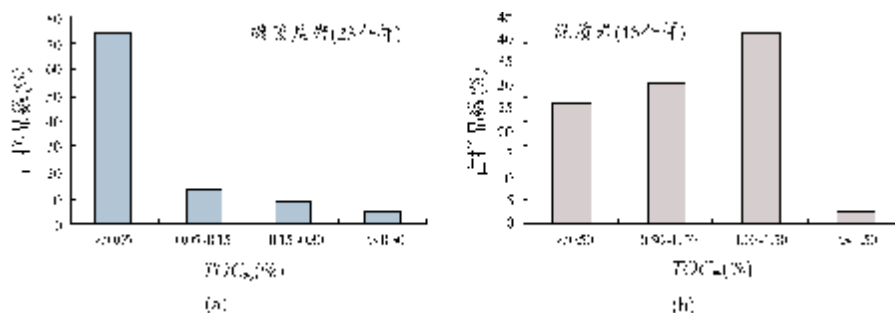


图1 二连地区露头剖面石炭系—二叠系烃源岩残余有机碳(TOC<sub>残</sub>)频数分布图

从总体上看,碳酸盐岩烃源岩的残余有机碳含量相对较低,泥岩烃源岩的残余有机碳含量较高。从层位上看,碳酸盐岩烃源岩残余有机碳含量相对较高的层位是下二叠统和中二叠统,其次是下石炭统和上石炭统;泥岩烃源岩残余有机碳含量相对较高的层位是上二叠统、中二叠统及下石炭统,其次是下二叠统与上石炭统(图 2)。下二叠统碳酸盐岩烃源岩的残余有机碳含量在 0.01%~0.22%之间,平均值为 0.078%;中二叠统碳酸盐岩烃源岩的残余有机碳含量

在 0.02%~0.30%之间,平均值为 0.08%(图 2a)。上二叠统泥岩烃源岩样品中的残余有机碳含量在 0.72%~1.30%之间,平均值为 1.01%;中二叠统泥岩烃源岩的残余有机碳含量在 0.55%~1.26%之间,平均值为 0.91%,而下二叠统泥岩烃源岩的残余有机碳含量在 0.20%~1.01%之间,平均值为 0.61%;上石炭统泥岩烃源岩的残余有机碳含量在 0.17%~0.64%之间,平均值为 0.34%;下石炭统泥岩烃源岩的残余有机碳含量在 0.42%~1.46%之间,平均值为 1.14%(图 2b)。

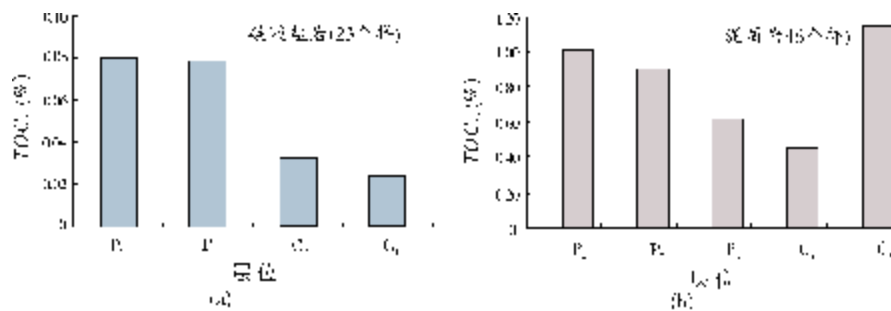


图2 二连地区露头剖面石炭系—二叠系烃源岩不同时代残余有机碳(TOC<sub>残</sub>)含量对比图

从平面上看,位于二连盆地北缘露头的碳酸盐岩烃源岩的残余有机碳含量相对较低,而南部露头区的残余有机碳含量相对较高;位于二连盆地南缘露头的泥岩烃源岩的残余有机碳含量相对较低,而北部露头区的残余有机碳含量相对较高。

### 2.2 原始有机碳含量恢复

二连盆地海相烃源岩由于热演化程度高以及地表长期风化作用的影响,残余有机碳含量难以反映出烃源岩的原始有机质丰度。因此,需要对残余有

机碳含量进行恢复,其中包括对有机质热解作用损失量的恢复和有机质地表风化作用损失量的恢复。

### 2.2.1 有机质热解作用损失量的恢复系数

烃源岩有机质在随着成熟度增加不断裂解过程中,由于烃类产物的排出而使有机碳含量降低。有机质热解作用损失量的恢复,是根据干酪根降解成烃理论,建立有机质丰度指标随成熟度的变化关系,然后通过这种关系,根据碳酸盐岩烃源岩目前的有机质丰度、类型和成熟度反推某一阶段的有机质丰度。国内许多学者在这方面做了大量研究工作<sup>[4-6]</sup>。根据干酪根成烃理论,有机质的产烃率与其类型和成熟度有关。有机质的类型越好,成熟度合适,其产烃率也就越高。考虑到二连盆地周缘地区泥盆系、石炭系、二叠系和下三叠统烃源岩的有机质类型和热演化程度,故有机碳热解损失量的恢复系数取为1.25~1.82之间。

### 2.2.2 有机质地表风化作用损失量的校正系数

烃源岩被构造作用抬升到地表以后经受长时间的淡水淋滤、自然挥发、生物降解和氧化作用的影响,不同程度地降低了有机质的含量和改变了有机质的性质。因此,采用地表样品进行烃源岩地化评价时,必须要考虑风化作用的影响。

据譙汉生等<sup>[7]</sup>利用松辽盆地不同层位、不同相带三口浅钻井的取心资料,得到石灰岩与泥岩烃源岩有机碳的风化恢复系数分别为1.63和1.3~1.61。地表烃源岩风化作用的影响因素较多,就烃源岩本身而言,其岩性越致密,抗风化能力就越强;而有机质类型差和热演化程度高,有机质中的固定碳含量就越高,也相对更稳定。

众所周知,烃源岩的有机质主要由干酪根组成,而干酪根是一种不溶性的相对稳定的有机质,尤其是进入高一过成熟阶段,干酪根化学性质更稳定,不容易被风化。因此,考虑到二连盆地周缘地区烃源岩的有机质类型和成熟度特征,综合前人研究成果,认为研究区烃源岩地表样品的风化校正系数在1.25~1.65之间较合理,对有机质类型好和成熟度相对低者取其高值,相反则取其低值。

### 2.2.3 原始有机碳含量

根据以上有机质热解作用损失量的恢复系数和地化校正系数的综合分析,结合松辽盆地周缘地区

烃源岩的有机质类型和成熟度特征,对各剖面不同层位烃源岩的原始有机碳含量进行恢复计算。通过恢复,原始有机碳含量是残余有机碳含量的2~2.4倍,约50%的碳酸盐岩样品的原始有机碳含量在0.10%~0.30%之间,40%样品的原始有机碳含量在0.30%~0.70%之间;泥岩烃源岩的原始有机碳含量达到0.50%~2.00%之间。

## 3 有机质类型

二连盆地石炭系、二叠系烃源岩的有机物质基本源于藻类等低等水生生物和菌类,陆源高等生物相对较少。由于烃源岩的有机质丰度较低、热演化程度较高,样品中可分离的干酪根数量很少,给干酪根类型的镜下鉴定以及干酪根的元素、同位素分析带来了很大困难。根据部分样品中干酪根的扫描电镜观察,石炭系和二叠系的样品以团絮状为主,属于混合型干酪根。

通过二连盆地10个泥岩烃源岩和7个碳酸盐岩烃源岩干酪根碳同位素分析,二叠系和石炭系的碳酸盐岩、泥岩烃源岩干酪根的碳同位素都比较重(-24.9‰~-19.2‰之间),主要为Ⅲ型干酪根,这可能与成熟度高和地表风化作用有一定关系;从研究区烃源岩的有机显微组分看,石炭系—二叠系的泥岩和碳酸盐岩有机显微组分全为镜质组和少量惰质组,也主要显示Ⅲ型干酪根的特征,这种结果显然是烃源岩受到很高的热演化及变质作用所致。另外,根据生物标志物 $Pr/nC_{17}$ 和 $Ph/nC_{18}$ 数据判断,二连地区野外样品有机质类型主要为Ⅱ<sub>2</sub>型有机质,少量Ⅱ<sub>1</sub>和Ⅲ型(图3);根据 $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$ 三种5 $\alpha$ 甾烷三角组成关系来判断,二连地区野外样品有机质类型均较好,主要为Ⅱ<sub>1</sub>型有机质(图4)。

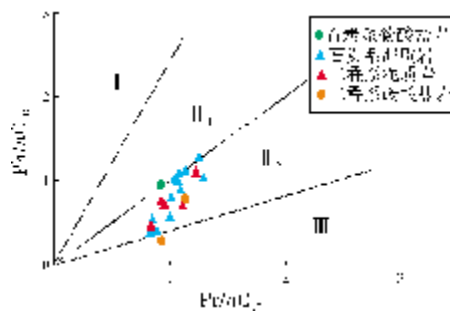


图3 二连地区露头剖面石炭系—二叠系烃源岩 $Pr/nC_{17}$ 与 $Ph/nC_{18}$ 关系图

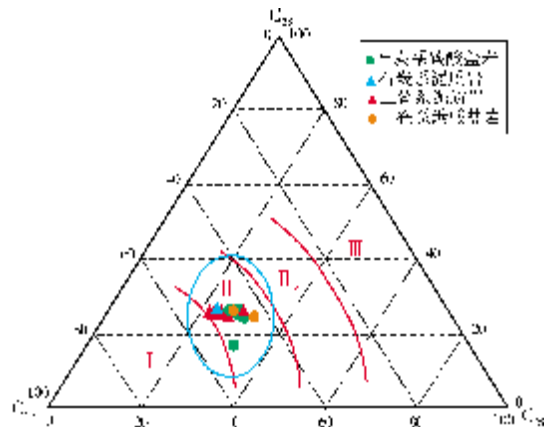


图 4 二连地区露头剖面石炭系—二叠系烃源岩  
三种 5α 甾烷三角组成图

综合以上分析并充分考虑高演化对烃源岩类型降级的影响因素,认为二连地区石炭系—二叠系烃源岩的有机质类型主要为 II 型,甚至有可能存在少量 I 型干酪根,说明有机质先体为混源型有机质。

4 生物标志化合物

二连地区野外样品的分析结果显示,石炭系和二叠系样品的正构烷烃碳数分布样式有单峰(主要)和双峰两种类型(图 5),主峰碳主要为  $nC_{18}$ ,个别为  $nC_{16}$ (表 1)。其中,双峰型呈不对称状,前峰( $nC_{18}$ )远大于后峰( $nC_{22}$  或  $nC_{26}$ ),二者最高峰值相差 2~5 倍。大部分样品的正构烷烃碳数分布形式均呈前峰型单峰分布,且野外样品的  $(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$  值普遍偏高,大部分样品的值都大于 1.50,最高达 17.65(表 1)。这些都说明其母质来源比较单一,主要是低等水生生物和细菌的贡献;其中部分样品主峰碳为  $nC_{18}$ ,但从谱图上看有轻微的双峰型分布形式(图 5),这是因为藻类在高温热解阶段可产生较大浓度的蜡质烃,会导致其正构烷烃呈双峰型分布。

据表 1 数据分析,不管是石炭系还是二叠系,Pr/Ph 值均远小于 1,最小值为 0.291,最大值为

表 1 二连地区石炭系—二叠系野外样品正构烷烃及类异戊二烯烷烃参数

样 号	地质年代	主峰碳	OEP		Pr/Ph		$(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$	
			样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值
林西-01	P <sub>3</sub> l	C <sub>18</sub>	0.379	0.620	0.585	0.600	5.47	5.80
林西-02	P <sub>3</sub> l	C <sub>18</sub>	0.504		0.534		10.56	
索伦北-2	P <sub>3</sub> l	C <sub>18</sub>	0.976		0.692		1.38	
西乌下-6	P <sub>2</sub> xj	C <sub>18</sub>	0.165	0.310	0.619	0.550	9.10	7.60
吴家屯-01	P <sub>2</sub> w	C <sub>18</sub>	0.324		0.546		5.28	
吴家屯-03	P <sub>2</sub> w	C <sub>18</sub>	0.433		0.475		8.41	
哲-03	P <sub>1</sub> z	C <sub>18</sub>	0.440	0.460	0.302	0.470	0.70	5.75
清风-02	P <sub>1</sub> q	C <sub>18</sub>	0.473		0.630		10.80	
二连-1	C <sub>2</sub> bn	C <sub>18</sub>	0.518		0.291	0.522	3.10	6.02
二连 NW-05	C <sub>2</sub> bn	C <sub>18</sub>	0.361	0.476	0.551		7.50	
二连 NW-08	C <sub>2</sub> bn	C <sub>18</sub>	0.573		0.434		1.71	
二连 NW-09	C <sub>2</sub> bn	C <sub>18</sub>	0.260		0.506		6.41	
二连 NW-10	C <sub>2</sub> bn	C <sub>18</sub>	0.462		0.405		1.78	
二连 NW-12	C <sub>2</sub> bn	C <sub>18</sub>	0.473		0.521		2.72	
二连 NW-13	C <sub>2</sub> bn	C <sub>18</sub>	0.266		0.432		17.65	
家道沟-01	C <sub>2</sub> jd	C <sub>18</sub>	0.394		0.634		4.95	
家道沟-02	C <sub>2</sub> jd	C <sub>18</sub>	0.623		0.572		3.56	
家道沟-04	C <sub>2</sub> jd	C <sub>18</sub>	0.685		0.680		8.70	
家道沟-07	C <sub>2</sub> jd	C <sub>18</sub>	0.606		0.424		3.23	
家道沟-08	C <sub>2</sub> jd	C <sub>18</sub>	0.376		0.736		12.11	
白家店-02	C <sub>1</sub> b	C <sub>18</sub>	0.595	0.595	0.602	0.602	4.81	4.81

表中: C<sub>1</sub>b 白家店组; C<sub>2</sub>jd 家道沟组; C<sub>2</sub>bn 包特格组; P<sub>1</sub>q 清风山组; P<sub>1</sub>z 哲斯组; P<sub>2</sub>w 吴家屯组; P<sub>2</sub>xj 西乌珠穆沁旗组; P<sub>3</sub>l 林西组。



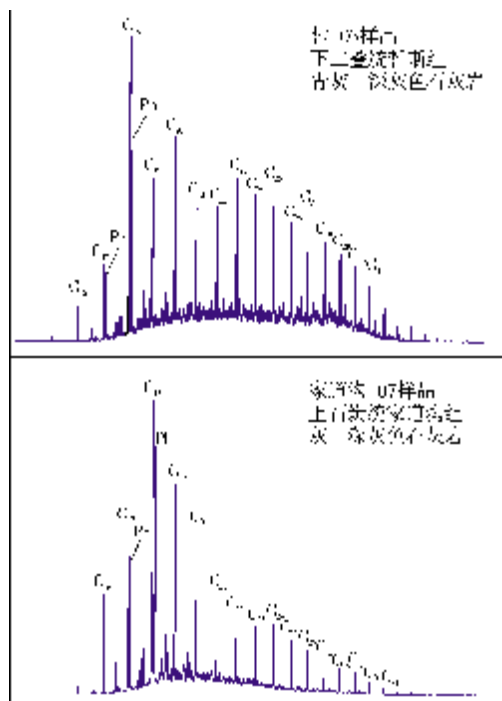


图5 烃源岩可溶有机质的正构烷烃分布图

0.736,下石炭统平均值为 0.602,上石炭统平均值为 0.522,下二叠统为 0.470,中二叠统为 0.550,上二叠统为 0.600,都表现出了明显的植烷优势,反映了有机质沉积时沉积环境主要是强还原的偏碱性的咸水沉积环境,在这种沉积环境下有利于有机质的保存。

一般认为  $C_{27}$  甾烷生源主要为水生浮游生物,  $C_{28}$  甾烷主要与硅藻类有关,  $C_{29}$  甾烷的生源主要来源于高等植物。在所分析的石炭系—二叠系二连地区野外样品中, 普遍出现  $nC_{27}$  甾烷优势,  $C_{28}$  和  $C_{29}$  甾烷含量相对很低, 其顺序是  $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ 。而  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}20R$  构成以“L”型为主和少量“V”型为辅的特征, 整体反映出有机质生源为水生浮游生物为主、沉积水体较浅的沉积环境(表 2), 所以, 甾烷的不同优势组合代表了不同的生物来源, 也代表了不同的水深, 如果是  $C_{27}$  甾烷优势, 就代表以水生浮游生物为母源的沉积环境。另外, 样品中普遍检测到孕甾烷和升孕甾烷, 但相对含量不是很高, 反映了烃源岩的沉积环境以还原沉积环境为特征。

表2 二连地区石炭系—二叠系野外样品甾烷参数表

剖面	层位	$\alpha\alpha\alpha-20RC_{28}/C_{29}$		$\alpha\alpha\alpha-20RC_{27}/C_{29}$		Tm/Ts		伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷		$C_{29}$ 莫烷/ $C_{30}$ 藿烷		$C_{32}$ 藿烷 S/R	
		样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值
索伦北	P <sub>3</sub> l	0.87	0.97	1.41	1.79	1.12	0.95	0.12	0.12	0.12	0.11	1.21	1.34
林西官地	P <sub>3</sub> l	0.97		1.88		0.90		0.13		0.11		1.38	
林西官地	P <sub>3</sub> l	1.07		2.07		0.84		0.11		0.10		1.42	
石灰窖	P <sub>2</sub> xj	0.98	0.99	1.73	1.79	0.90	0.85	0.12	0.12	0.11	0.10	1.36	1.37
大石寨	P <sub>2</sub> w	0.92		1.56		0.84		0.12		0.10		1.34	
大石寨	P <sub>2</sub> w	1.07		2.07		0.81		0.12		0.10		1.41	
哲斯敖包	P <sub>1</sub> z	0.82	0.97	1.40	1.83	0.88	0.86	0.11	0.12	0.10	0.10	1.40	1.41
科尔沁右翼前旗	P <sub>1</sub> q	1.12		2.26		0.83		0.13		0.10		1.41	
敖汉旗牛古吐乡	C <sub>2</sub> jd	1.05	1.07	2.04	2.06	0.84	0.85	0.15	0.13	0.11	0.11	1.41	1.39
敖汉旗牛古吐乡	C <sub>2</sub> jd	1.12		2.15		0.82		0.13		0.10		1.45	
敖汉旗家道沟	C <sub>2</sub> jd	1.18		2.38		0.87		0.14		0.10		1.31	
敖汉旗家道沟	C <sub>2</sub> jd	1.07		2.06		0.82		0.12		0.11		1.39	
敖汉旗家道沟	C <sub>2</sub> jd	0.92		1.68		0.89		0.13		0.11		1.37	
敖汉旗白家店南	C <sub>1</sub> b	0.83	0.96	1.57	1.75	0.76	0.88	0.13	0.13	0.09	0.11	1.40	1.37
二连 NW25-30km	C <sub>1</sub> hl	0.93		1.60		0.98		0.14		0.13		1.38	
二连 NW25-30km	C <sub>1</sub> hl	1.05		2.12		0.95		0.12		0.12		1.29	
二连 NW25-30km	C <sub>1</sub> hl	0.96		1.64		0.87		0.12		0.11		1.40	
二连 NW25-30km	C <sub>1</sub> hl	1.03		1.88		0.80		0.11		0.10		1.42	
二连 NW25-30km	C <sub>1</sub> hl	0.99		1.80		1.02		0.14		0.14		1.27	
二连 NW25-30km	C <sub>1</sub> hl	0.92		1.66		0.81		0.13		0.10		1.39	
二连 NW25-30km	C <sub>1</sub> hl	0.96		1.69		0.83		0.14		0.10		1.38	

表中: C<sub>1</sub>hl 哈拉图庙群; C<sub>1</sub>b 白家店组; C<sub>2</sub>jd 家道沟组; P<sub>1</sub>q 清风山组; P<sub>1</sub>z 哲斯组; P<sub>2</sub>w 吴家屯组; P<sub>2</sub>xj 西乌珠穆沁旗组; P<sub>3</sub>l 林西组。

从二连地区野外样品中普遍检测到三环萜烷的分布,每个样品中都有一定含量的伽马蜡烷,伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷指数分布范围在 0.11~0.15 之间,含量较低(表 2),一般认为伽马蜡烷通常是超盐环境中细菌作用的产物,这些都表明沉积物主要形成于淡水—微咸水的沉积环境中。 $Tm/Ts$  和莫烷/藿烷参数指标同样能够指示沉积环境, $Tm/Ts$  分布范围为 0.80~0.98,下石炭统平均为 0.88,上石炭统平均为 0.85,均小于 1.00,莫烷/藿烷分布范围为 0.09~0.14,这些都说明沉积物主要形成于较还原的沉积环境。

从以上分析可知,二连地区石炭系—二叠系沉积环境主要为浅海相沉积环境,其母质主要来源于低等水生生物和细菌的贡献,沉积水体主要为较还原、水体盐度较大的咸水沉积环境,这些条件对优质烃源岩的形成非常有利。但烃源岩后期可能遭受生物降解作用,对烃源岩的质量有所影响<sup>[8]</sup>。

## 5 有机质成熟度

碳酸盐岩烃源岩中缺乏陆相等植物来源的镜质体,一般采用海相镜质体或原生沥青来代替。海相镜质体主要由藻类、菌藻类等海洋低等水生生物经过海洋腐植化作用而形成<sup>[9]</sup>。由于研究区碳酸盐岩烃源岩的干酪根含量较低,镜下测点较少,而且海相镜质体与原生沥青颗粒不易区分开,因此暂时未对实测的反射率进行换算。

根据二连地区石炭系—二叠系野外样品分析,石炭系泥岩烃源岩镜质体反射率( $R_o$ )平均为 2.02%,二叠系泥岩烃源岩  $R_o$  平均为 2.12%,石炭系碳酸盐岩烃源岩  $R_o$  平均为 1.77%,二叠系碳酸盐岩烃源岩  $R_o$  平均为 1.76%;石炭系样品中  $\alpha\alpha\alpha-C_{29}S/(S+R)$  参数分布于 0.433~0.572 之间,平均值为 0.51,二叠系样品中  $\alpha\alpha\alpha-C_{29}S/(S+R)$  参数分布于 0.444~0.572 之间,平均值为 0.51,都基本上已达到平衡终点。从表 1 可以看出, OEP 都远远小于 1,这些都表明石炭系—二叠系烃源岩均已达到成熟—过成熟阶段。

## 6 烃源岩生烃潜力分析

本文利用 TSM 盆地模拟技术对二连盆地赛汉塔拉凹陷的石炭系—二叠系烃源岩进行数值定量模拟,以揭示石炭系—二叠系烃源岩的埋藏史、热史及生烃史的演化过程,动态反映地质作用对石炭系—二叠系烃源岩生烃演化过程的控制,定量分析不同

阶段不同烃源岩的生烃强度和生烃量。

模拟计算结果表明,赛汉塔拉凹陷在石炭纪—二叠纪期间,石灰岩阶段生烃量为  $0.19 \times 10^{12} m^3$ ,平均生烃强度为  $0.85 \times 10^8 m^3/km^2$ ;泥岩阶段生烃量为  $0.17 \times 10^{12} m^3$ ,平均生烃强度为  $0.76 \times 10^8 m^3/km^2$ 。侏罗纪期间,石灰岩阶段生烃量为  $0.032 \times 10^{12} m^3$ ,平均生烃强度为  $0.14 \times 10^8 m^3/km^2$ ;泥岩阶段生烃量为  $0.36 \times 10^{12} m^3$ ,平均生烃强度为  $1.6 \times 10^8 m^3/km^2$ 。早白垩世—晚白垩世期间,石炭系—二叠系石灰岩阶段生烃量为  $0.004 \times 10^{12} m^3$ ,平均生烃强度为  $0.02 \times 10^8 m^3/km^2$ ;泥岩阶段生烃量为  $0.021 \times 10^{12} m^3$ ,平均生烃强度为  $0.09 \times 10^8 m^3/km^2$ 。

分析赛汉塔拉凹陷石炭系—二叠系石灰岩的生烃贡献,石炭纪—二叠纪晚期石灰岩生烃量( $0.19 \times 10^{12} m^3$ )占石灰岩总生烃量的 84.82%;侏罗纪期间石灰岩生烃量( $0.032 \times 10^{12} m^3$ )占石灰岩总生烃量的 14.29%;白垩纪期间石灰岩生烃量( $0.004 \times 10^{12} m^3$ )占总生烃量的 1.79%。这些数据明显表明,石炭系—二叠系石灰岩在石炭纪—二叠纪末的时候已经达到生烃高峰。赛汉塔拉凹陷石炭系—二叠系泥岩的生烃量统计表明,石炭纪—二叠纪沉积晚期生烃量( $0.17 \times 10^{12} m^3$ )占泥岩总生烃量的 30.91%;侏罗纪期间泥岩生烃量( $0.36 \times 10^{12} m^3$ )占泥岩总生烃量的 65.45%;晚白垩世末泥岩生烃量( $0.021 \times 10^{12} m^3$ )占泥岩总生烃量的 3.82%。这些数据表明,泥岩烃源岩在侏罗纪生烃量最大。

二连盆地石炭系—二叠系烃源岩主要为混合型。通过有机质热解作用损失量恢复和风化作用校正后,二连盆地周缘地区碳酸盐岩烃源岩的原始有机碳含量大多数在 0.10%~0.70%之间。根据郝石生等<sup>[10]</sup>和程克明等<sup>[11]</sup>提出的有机质丰度评价指标,烃源岩原始有机碳含量主要属于差—较好的级别(表 3)。泥岩烃源岩的原始有机碳含量在 0.50%~2.00%之间,也属于差—较好的烃源岩。从烃源岩的潜力指数来看,二连盆地海相烃源岩总的生烃强度比较低,期望值为  $34.6 \times 10^4 t/km^2$  (相当于 SPI 为 0.346)。

按照纵向排油系统和横向排油系统的潜力指数评价标准,烃源岩的充载能力都属于低等级别。综合有机质类型、有机质丰度和源岩潜力指数评价结果,笔者认为就目前资料分析研究结果而言,二连盆地石炭系—二叠系的生烃能力属于低—中等。但是值得注意的是,由于部分样品可能来源于台地相区,而

表 3 二连盆地海相烃源岩评价结果<sup>[10-11]</sup>

评价指标		评价标准				评价结果
有机质类型	级别	差	较好	好		较好
	类型	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ		
原始有机碳含量 (%)	级别	非	差	较好	好	差—较好
	石灰岩	<0.1	0.1~0.3	0.3~0.7	>0.7	
	泥岩	<0.1	0.4~1.0	1.0~2.0	>2.0	
烃潜力指数 (t/m <sup>2</sup> )	级别	低	中	高		低
	纵向排油系统	<5	5~15	>15		
	横向排油系统	<2	2~7	>7		

在二连盆地槽盆相区烃源岩往往比较发育,因此,实际生烃条件可能会相对较好。

7 结 论

(1)二连盆地周缘露头剖面烃源岩热演化程度达到高—过成熟阶段,有机质主要为混合型。碳酸盐岩烃源岩的残余有机碳含量较低,经过热演化作用和地表风化作用恢复后,原始有机碳含量一般在 0.10%~0.70%之间,总体上属于高演化低丰度的烃源岩。

(2)二连盆地海相烃源岩总的生烃强度比较低,期望值为 34.6×10<sup>4</sup>t/km<sup>2</sup>。综合有机质类型、有机质丰度和源岩潜力指数评价结果,烃源岩的生烃能力属于低—中等。

参 考 文 献

[1] 赵贤正,金凤鸣,赵志刚,等. 二连盆地基底石炭系碳酸盐岩油藏的发现及地质特征[J]. 海相油气地质, 2008, 13(4):12-18.

[2] 费宝生,祝玉衡,邹伟宏,等. 二连裂谷盆地群油气地质[M]. 北京:石油工业出版社, 2001:4-5.

[3] 黄澎湃,武学维,马占琴. 内蒙古自治区二连盆地区域构造和聚煤特征[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21:9-11.

[4] 秦建中,郑伦举,腾格尔. 海相高演化烃源岩总有机碳恢复系数研究[J]. 地球科学 中国地质大学学报, 2007, 32(6):853-860.

[5] 倪春华,周小进,王果寿,等. 海相烃源岩有机质丰度的影响因素[J]. 海相油气地质, 2009, 14(2):20-23.

[6] 卢双舫,刘晓艳,曲佳燕,等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷烃源岩原始生烃潜力和原始有机碳的恢复 [J]. 大庆石油学院学报, 1995, 19(1):31-35.

[7] 譙汉生,方朝亮,等. 东北地区深层石油地质[M]. 中国东部深层石油地质学丛书; 第二卷. 北京:石油工业出版社, 2003:1-31.

[8] 陈践发,张水昌,鲍志东,等. 海相优质烃源岩发育的主要影响因素及沉积环境[J]. 海相油气地质, 2006, 11(3):49-54.

[9] 秦胜飞,钟宁宁. 碳酸盐岩有机显微组分分类[J]. 石油实验地质, 1996, 18(3):325-331.

[10] 郝石生,张有成,刚文哲,等. 碳酸盐岩油气生成[M]. 北京:石油工业出版社, 1993.

[11] 程克明,王兆云,钟宁宁,等. 碳酸盐岩油气生成理论与实践[M]. 北京:石油工业出版社, 1996:276-305.

编辑:赵国宪

Organic Geochemistry Characteristics and Hydrocarbon Generation Potential of Carboniferous-Permian Marine Source Rocks in Erlian Basin

Li Haihua, Qiu Qi, Zhang Yanxia, Lü Jianhong

**Abstract:** The marine hydrocarbon source rocks in Erlian Basin are mainly composed of argillaceous rocks and carbonate rocks deposited in a trough environment. According to the data of experimental geochemistry such as residual TOC, carbon isotope of kerogen (δ<sup>13</sup>C) and GC-MS analysis of hydrocarbon in outcrop samples from basin margin, the abundance, types and thermal evolution extent of organic matter from Carboniferous-Permian marine source rocks are presented. The TSM basin modeling technology was applied to calculate hydrocarbon-generating intensity on the basis of thermolysis loss of organic matter abundance and correction of surface weathering loss, and combined with the geochemistry characteristics of hydrocarbon samples with high thermal evolution and low abundance. By the integrated analysis of geochemistry characteristics and hydrocarbon-generating intensity, it is included that Carboniferous-Permian source rocks in Erlian Basin have low- to medium-graded hydrocarbon-generating potential.

**Key words:** Carboniferous; Permian; Marine formation; Source rocks; Organic carbon content; Hydrocarbon generating potential; Erlian Basin

**Li Haihua:** male, Senior Engineer. Add: Wuxi Institute of Petroleum Geology, SINOPEC Research Institute of Petroleum Exploration and Production, 210 Huiqian Rd., Wuxi, Jiangsu 214151 China