

内蒙古乌兰浩特市索伦镇中二叠统哲斯组海相暗色泥岩有机地球化学特征

宋土顺¹, 朱占平¹, 曲希玉¹, 多力坤·买买提明²,

刘立¹, 王德海¹, 张兴洲¹, 马志红¹

SONG Tu-shun¹, ZHU Zhan-ping¹, QU Xi-yu¹, DUO Li-kun.MaiMaiTiMing²,

LIU Li¹, WANG De-hai¹, ZHANG Xing-zhou¹, MA Zhi-hong¹

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;

2. 新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000

1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;*

2. *Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, Xinjiang, China*

摘要:在对内蒙古索伦地区中二叠统哲斯组岩性特征、沉积环境和暗色泥岩油气地球化学特征研究的基础上,总结了烃源岩的有机质丰度、干酪根类型和热演化的特征。暗色泥岩累积厚度达640m。总有机碳(TOC)的含量在0.38%~1.78%之间,TOC大于0.6%的样品占98%。有机质类型为Ⅱ~Ⅲ型。 $T_{\max}$ 在354~548℃之间, R_o 平均值3.24%,表明干酪根演化进入高—过成熟阶段。研究中还发现, S_1+S_2 ($<0.2\text{mg/g}$)和 I_H ($<16\text{mg/g}\cdot\text{c}$)都很低。造成上述结果的原因是,烃源岩已经经历过极高的热演化和排烃过程,排烃发生在晚二叠世和早白垩世晚期。

关键词:索伦地区;中二叠统;哲斯组;暗色泥岩;有机地球化学

中图分类号:P588.24; P593

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)02/03-0300-08

Song T S, Zhu Z P, Qu X Y, Duo L K M, Liu L, Wang D H, Zhang X Z, Ma Z H. Organic geochemistry characteristics of marine dark mudstone in the Middle Permian Zhesi Formation in Suolun area of Inner Mongolia, China. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3):300-307

Abstract: Based on the lithologic features, precipitation facie and organic geochemistry characteristics of dark mudstone of Middle Permian Zhesi Formation, the authors summarize organic matter abundance, kerogen type and thermal evolution characteristics. The total thickness of dark mudstone is 640m. The content of TOC is between 0.38–1.78%, and samples of TOC values more than 0.6% account for 98%. The kerogen type is dominated by Ⅱ–Ⅲ type, $T_{\max}$ values are 354–548 °C, and the average vitrinite reflectance is 3.28%, which shows that kerogen has turned into high-extra evolution stage. In the study we also found that S_1+S_2 ($<3.2\text{mg/g}$) and I_H ($<16\text{mg/g}\cdot\text{c}$) are very low. The reason is generating rock of weathering, has lived through the thermal evolution and hydrocarbon expulsion. The hydrocarbon expulsion happened in Early Permian and Late Cretaceous.

Key words: Suolun area; Middle Permian; Zhesi Formation; dark mudstone; organic geochemistry

松辽盆地及其周边分布有巨厚的晚古生代地层,判断晚古生代地层是否具有油气前景,首先要解

决的科学问题是是否具有烃源岩。松辽盆地内石炭系—二叠系资料有限,勘探和研究程度低,特别是对

收稿日期:2010-11-16;修订日期:2010-12-14

资助项目:国土资源部油气专项《松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区》(编号:2009GYXQ12)

作者简介:宋土顺(1985-),男,在读硕士,从事储层、石油地质学方面的研究。E-mail: songtushun@sina.cn

通讯作者:刘立(1955-),男,教授,博士生导师,从事储层、层序地层及沉积方面的研究。E-mail: liuli0892@vip.sina.com

石炭系—二叠系的厚度、岩性分布和构造研究均较为薄弱。东北地区晚古生代是否存在海相烃源岩已成为人们关注的焦点^[1-7]。为了解决这一科学问题,笔者首先在松辽盆地外围基岩分布区开展地质调查,在晚古生代地层中发现了 4 套暗色岩系,其中以索伦地区哲斯组暗色岩系发育最好、厚度最大。肇深 8 井在营城组中发现的甲烷气占烃类气体的 95% 以上,气源为石炭系—二叠系浅变质岩系^[8-9];松辽盆地有来自石炭纪—二叠纪源岩层的天然气资源^[7];黑龙江省龙江县林西组粉—细砂岩裂缝中赋存有由地层自身生成的干沥青^[10]。笔者在索伦、扎赉特旗等地哲斯组中发现沥青质灰岩,具荧光显示。二叠系油气显示的发现和研究结果证明,石炭系—二叠系内确实曾发生过石油生成—运移作用。这些事实表明,晚古生代地层中曾有油气生成。本文通过对内蒙古索伦地区哲斯组暗色泥岩有机地球化学特征的研究,对索伦地区中二叠统哲斯组海相暗色泥岩给予评价。

1 地质背景

索伦地区地处 N46°31′~46°34′、E 121°21′~121°23′之间,位于佳—蒙地块的南缘,晚古生代海相地层主体属于佳—蒙地块的大陆边缘沉积,属西伯利亚古板块大陆边缘向南增生的部分。晚石炭世—二叠纪沉积环境是一个规模巨大、南与古亚洲洋相连的海相沉积盆地^[4-5,11-14]。索伦地区东临乌兰浩特市,南邻西乌珠穆沁旗,西与阿尔山毗连^[14],二叠系呈北北西向狭长带状展布。

2 样品选取与研究方法

该区实测晚古生代地层剖面 1 条(图 1),长度 2450m,采集了暗色泥岩、粉砂质泥岩、页岩、砂岩及灰岩样品共计 211 件。其中对泥岩样品采取系统取样的方法,每隔 2m 采集一个新鲜样品。本次研究的 93 个暗色泥岩样品的分析测试是在中国石油华北油田勘探开发研究院沉积实验室完成的,利用

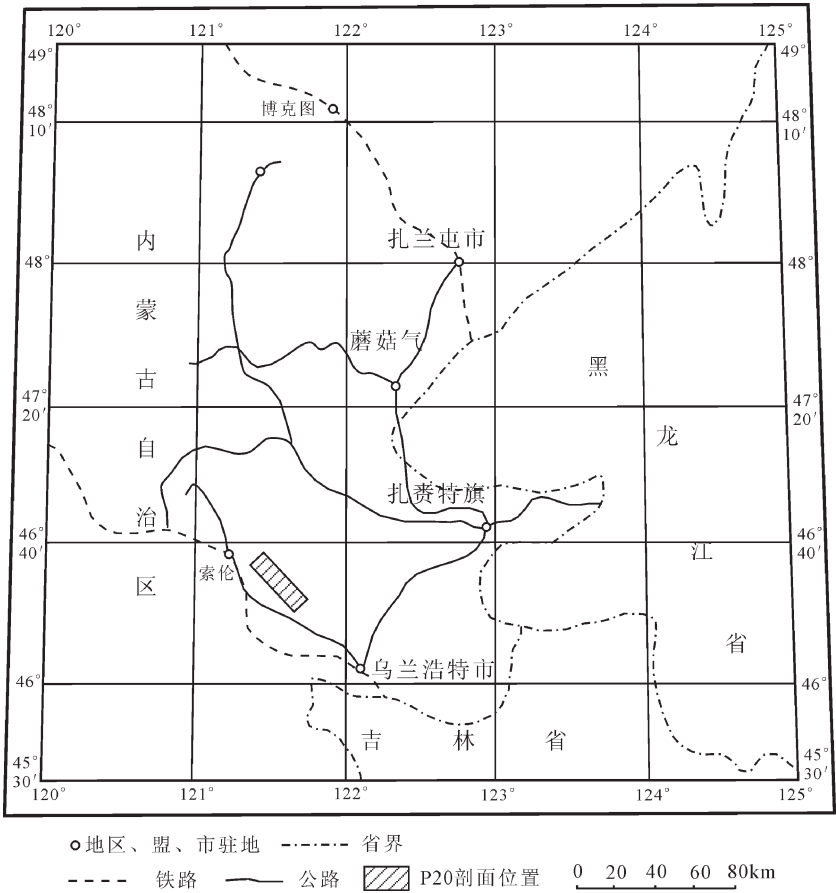


图 1 索伦地区 P20 剖面位置图
Fig. 1 P20 section sampling positions in Suolun area

LECO 碳硫测定仪和油气显示评价仪进行岩石热解、有机碳和生烃潜量的测试。

3 哲斯组暗色泥岩的特征

该区哲斯组岩性以灰黑色泥页岩、黑色泥岩、灰色细砂岩及灰黑色泥质灰岩、生物碎屑灰岩为主,发育浅海、局限台地和三角洲相沉积,发育水平层理、砂岩透镜体、平行层理和粒序层理。哲斯组暗色泥岩在好仁村河边发育最好,主要为黑色泥岩和泥质灰岩。P20 剖面的暗色泥岩累计厚度达 640.22m,单层最大厚度 142.89m。通过对 P20 剖面的 93 个烃源岩样品进行有机地球化学分析(结果见表 1),发现暗色泥岩的 S_0 、 S_1 、 S_2 和 S_1+S_2 具有低值的特征,TOC 介于 0.38%~1.78%之间, T_{max} 具有高值的特点。

3.1 有机质丰度

前人研究认为,烃源岩的评价首先要以岩石有机质或成烃母质的丰度为基础^[6,15]。对于成熟—过成熟的烃源岩,由于干酪根热降解生烃和高温裂解、热蒸发作用,可溶烃和热解指标都自然失效,氯仿沥青 A、烃含量等均降低到含量水平,故有机碳(TOC)含量指标能够在未成熟—过成熟演化阶段贯通使用,并且残余有机碳受地面风化和成熟度影响较小,容易准确测定。国内外学者认同海相、陆相(湖相)泥质烃源岩有机质丰度下限为 0.5%^[6,16-18]。由于东北地区古生界受后期构造运动影响大,盆地的叠置改造^[5]、中生代频繁的火山活动、较高的地热梯度等使古生界烃源岩排烃、热演化程度增高,同时露头样品遭受风化淋滤作用,有机质大量损耗,残余有机碳值较低。

内蒙古索伦地区中二叠统哲斯组暗色泥岩残余 TOC 含量整体变化范围介于 0.38%~1.78%之间(表 1),多数样品分布于 0.6%~1%之间(图 2、图 3),占 89.4%(93 个样品)。TOC >1%的样品数为 8 个,占 8.6%。93 个样品的平均值达到 0.84%,根据 TOC 评价标准^[18],哲斯组暗色泥岩达到一般—中级别烃源岩标准,作为烃源岩具备了足够的物质条件。

索伦地区哲斯组暗色泥岩 S_1+S_2 介于 0.01~0.17mg/g 之间(表 1),主要在 0.02~0.1mg/g 之间,占 80.6%, S_1+S_2 总体较低。 I_{HC} 介于 0~3mg/g·c 之间(表 1),主

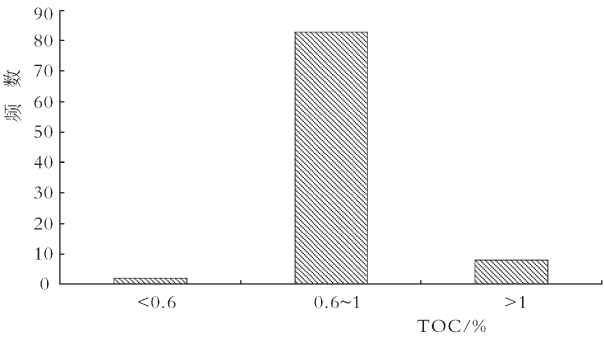


图 2 索伦地区哲斯组暗色泥岩 TOC 含量分布直方图
Fig. 2 Distribution histogram of organic carbon of the dark mudstones of Zhesi Formation in Suolun area

要在 1~2mg/g·c 之间,占 56%, I_{HC} 较低。 I_H 介于 0.3~16mg/g·c 之间(表 1),主要在 2~16mg/g·c 之间,占 76.3%, I_H 较低。为了研究索伦地区哲斯组烃源岩的特征,选取了三角洲前缘、前三三角洲、滨海、浅海、半深海等不同环境下形成的暗色泥岩样品进行分析,可见不同环境下烃源岩有机地球化学指标具有相似的特点(表 2): S_1+S_2 在 0.05mg/g 左右,TOC 在 0.74%~0.92%之间, I_H 在 3~5mg/g·c 之间, T_{max} 在 460~497℃之间。

3.2 有机质成熟度

国内外学者研究认为,热解最高温度、氢指数、产率指数和镜质体反射率(R_o)均可作为成熟度判别指标^[6-7,18-19]。最高热解温度(T_{max})是反映有机质成熟

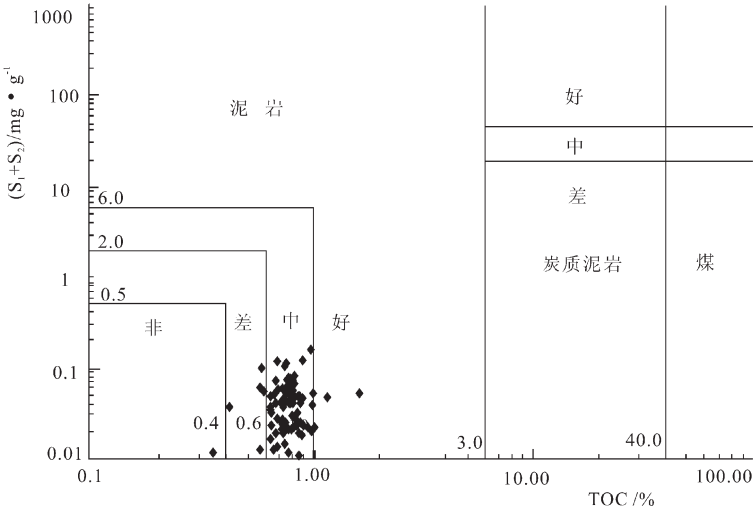


图 3 索伦地区哲斯组暗色泥岩(S_1+S_2)-TOC 关系图
Fig. 3 (S_1+S_2)-TOC relationship of dark mudstones of Zhesi Formation in Suolun area

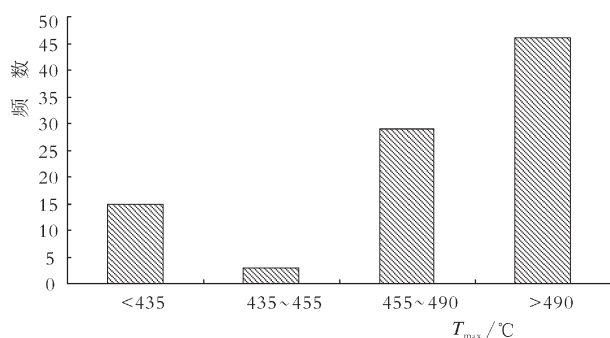
图 4 索伦地区哲斯组 $T_{\max}$ 频率分布直方图

Fig. 4 Histogram of the dark mudstone of Zhesi Formation in Suolun area

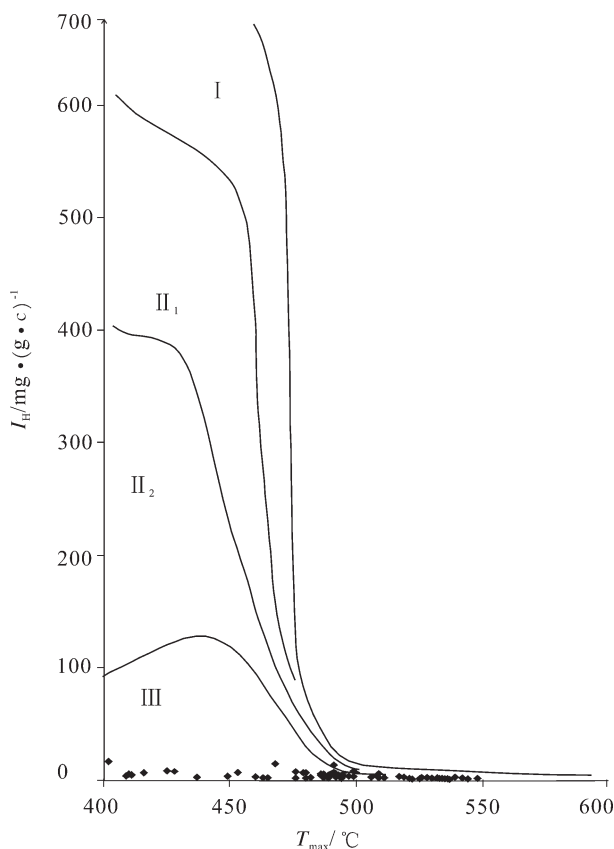
度的一种有效指标,成熟度越高, $T_{\max}$ 值越大,晚古生代中二叠统哲斯组暗色泥岩 $T_{\max}$ 介于 354~542℃ 之间(表 1),平均温度在 482.42℃,从图 4 可以看出,所有露头样品的 $T_{\max}$ 值均大于 354℃。其中绝大部分样品达 490℃ 以上,占 49.46%;在 455~490℃ 之间的样品占 31.18%;大约 18% 的样品小于 455℃。哲斯组 R_o (镜质体反射率)值 2.87%(10 个样品平均值)和 3.52%(13 个样品平均值),平均值 3.24%。根据黄第藩^[18]的标准,研究区哲斯组暗色泥岩干酪根演化处于高熟—过熟阶段。

3.3 有机质类型

前人的研究^[19~21]认为,有机质类型是评价烃源岩的质量指标,可以从烃源岩的母质来源和元素组成特征 2 个方面来确定^[7,18,22~23]。本文利用烃源岩热解实验数据中的 $T_{\max}$ 和 I_H 的特征划分有机质的类型。根据干酪根 $I_H-T_{\max}$ 图判断有机质的类型(图 5),发现大部分泥岩样品的干酪根类型均为Ⅲ型,小部分为Ⅱ型。

3.4 有机质的演化和生烃期

余和中等^[24]对松辽盆地周边地区的石炭系—二叠系烃源岩样品进行了实验测试和研究。通过对石炭系—二叠系烃源岩沉积埋藏史、有机质热演化史和生烃史的研究,发现存在印支期、燕山期 2 期生烃高峰。晚二叠世,石炭系—二叠系烃源岩地温达到 90℃,进入生油窗,开始生成石油,此过程持续约 10Ma,直至晚二叠世末期,地温升至 180℃,生成了部分湿气,达到形成大中型油气藏的规模。之后,晚三叠世—早中侏罗世发生挤压抬升运动,地温降到 80℃ 以下,早白垩世晚期,石炭系—二叠系烃源岩地

图 5 索伦地区哲斯组暗色泥岩干酪根 $I_H-T_{\max}$ 关系图Fig. 5 $I_H-T_{\max}$ relationship of dark mudstone of Zhesi Formation in Suolun area

温又一次达到并超过 90℃,开始第二期生烃,此过程持续约 60Ma,油、气并生。经过对烃源岩的“三史”研究,初步认为哲斯组具备二次生烃的潜力。

4 讨论

国内外研究认为烃类的生成、排驱、聚集与许多因素有关,但首要的是有机质含量,在成熟度合适的前提下,有机质丰度高低直接影响着对油气资源前景的评价和勘探规模^[6~7,19,25]。由于研究区后期构造运动变化大^[5,11,26]、热演化作用强烈和地表风化作用淋滤,露头烃源岩受到了很大的改变,这给烃源岩评价带来了困难。研究区石炭系—二叠系发育了多套烃源岩组合,特别是中、上二叠统,TOC 含量较高,应具有较强的生烃潜力。但由于长期的构造作用和非常高的异常热效应,烃源岩的演化程度已相当高,目前除了烃源岩的 TOC 值比较高外,其 S_1+S_2 指标已非常低。

表 1 索伦地区哲斯组(P₂z)暗色泥岩有机地球化学数据

Table 1 Geochemical parameters of the dark mudstones of Zhesi Formation in Suolun area

样品编号	岩性	层位	S ₀ /mg·g ⁻¹	S ₁ /mg·g ⁻¹	S ₂ /mg·g ⁻¹	S ₁ +S ₂ /mg·g ⁻¹	I _{HC} /mg·(g·c) ⁻¹	I _H /mg·(g·c) ⁻¹	TOC /%	T _{max} /°C
P09-20-01	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.11	0.12	2	13	0.82	354
P09-20-02	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.09	0.11	3	14	0.63	491
P09-20-03	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.05	1	7	0.72	479
P09-20-04	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	0.98	521
P09-20-05	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.02	0.04	2	3	0.79	460
P09-20-07	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	2	0.95	511
P09-20-08	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	0.81	511
P09-20-09	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	0.87	480
P09-20-10	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.12	0.13	1	12	0.97	390
P09-20-11	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	0.78	509
P09-20-12	块状泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.01	0.02	1	1	0.94	521
P09-20-13	块状泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	2	7	0.45	500
P09-20-14	块状泥岩	P ₂ z	0.01	0.03	0.03	0.05	3	3	0.89	449
P09-20-15	块状泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	1	3	1.08	495
P09-20-16	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	4	0.88	368
P09-20-17	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.04	1	4	0.86	376
P09-20-18	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	3	0.78	519
P09-20-19	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.04	1	5	0.81	486
P09-20-20	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	1	3	0.95	517
P09-20-21	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.06	0.08	3	7	0.86	370
P09-20-22	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.10	0.11	1	12	0.80	359
P09-20-23	泥岩	P ₂ z	0.00	0.00	0.01	0.01	0	1	0.97	532
P09-20-24	泥岩	P ₂ z	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0.65	544
P09-20-26	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.07	0.08	1	8	0.88	425
P09-20-27	泥岩	P ₂ z	0.00	0.00	0.00	0.01	0	1	0.77	542
P09-20-28	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.05	0.07	2	6	0.90	509
P09-20-29	泥岩	P ₂ z	0.00	0.00	0.01	0.01	0	1	0.94	522
P09-20-30	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.06	0.08	2	8	0.84	476
P09-20-31	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.07	0.09	2	7	0.89	370
P09-20-32	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	4	0.96	488
P09-20-33	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	4	0.97	508
P09-20-34	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.06	1	7	0.75	480
P09-20-35	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.16	0.17	2	15	1.06	468
P09-20-36	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	0.88	548
P09-20-37	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	0.91	476
P09-20-41	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	0.84	530
P09-20-42	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	2	0.90	532
P09-20-43	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	1	1.07	525
P09-20-45	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.01	0.01	0	1	0.71	532
P09-20-46	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.03	1	3	0.92	506
P09-20-47	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.12	0.13	1	16	0.74	401
P09-20-48	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	2	0.79	526
P09-20-49	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	3	0.79	539
P09-20-50	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	1	1.11	528
P09-20-53	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	3	1.27	528
P09-20-54	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.06	1	4	1.09	411
P09-20-55	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.01	0.02	0	1	0.80	536

续表 1

样品编号	岩 性	层 位	S ₀ /mg · g ⁻¹	S ₁ /mg · g ⁻¹	S ₂ /mg · g ⁻¹	S ₁ +S ₂ /mg · g ⁻¹	I _{HC} /mg · (g · c) ⁻¹	I _H /mg · (g · c) ⁻¹	TOC /%	T _{max} /°C
P09-20-59	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.05	1	5	0.95	410
P09-20-60	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.02	1	2	1.03	533
P09-20-61	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	3	0.87	482
P09-20-63	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.02	0.02	0	2	0.97	534
P09-20-64	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	2	0.91	463
P09-20-68	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.04	1	4	0.88	399
P09-20-89	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.04	0.06	1	2	1.78	366
P09-20-113	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	3	0.70	499
P09-20-114	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.06	1	6	0.88	487
P09-20-115	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	4	0.86	489
P09-20-116	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.06	1	6	0.84	453
P09-20-117	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.05	0.06	2	6	0.79	487
P09-20-118	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.06	2	5	0.82	489
P09-20-119	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.06	1	6	0.86	490
P09-20-120	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	6	0.69	486
P09-20-121	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	2	4	0.73	493
P09-20-122	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.04	0.06	2	4	0.86	487
P09-20-123	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.06	0.08	2	8	0.73	491
P09-20-124	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.07	2	6	0.82	495
P09-20-125	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.03	0.05	2	4	0.80	488
P09-20-126	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.06	0.08	2	7	0.82	428
P09-20-127	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	5	0.79	495
P09-20-130	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.07	2	8	0.62	499
P09-20-135	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.05	0.06	2	6	0.80	486
P09-20-136	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.05	0.06	2	7	0.64	490
P09-20-137	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	5	0.78	493
P09-20-138	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	2	4	0.79	486
P09-20-139	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.05	0.06	2	6	0.83	416
P09-20-140	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.04	0.05	1	4	0.93	489
P09-20-141	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	2	0.79	487
P09-20-143	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	2	4	0.84	490
P09-20-144	泥岩	P ₂ z	0.01	0.02	0.06	0.08	2	7	0.85	491
P09-20-145	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	2	4	0.79	489
P09-20-148	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	1	4	0.69	507
P09-20-149	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.03	0.04	1	4	0.69	497
P09-20-150	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	3	0.74	492
P09-20-151	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.01	0.02	1	2	0.79	494
P09-20-152	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	2	0.81	489
P09-20-191	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.02	0.02	0	3	0.70	409
P09-20-192	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.01	0.01	0	1	0.84	537
P09-20-193	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.02	0.03	1	3	0.79	528
P09-20-194	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.01	0.01	1	1	0.74	535
P09-20-195	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.01	0.01	1	1	0.62	534
P09-20-196	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.01	0.02	1	2	0.69	533
P09-20-198	泥岩	P ₂ z	0.01	0.01	0.01	0.02	1	2	0.73	437
P09-20-206	泥岩	P ₂ z	0.01	0.00	0.01	0.01	1	2	0.38	465

注:S₀—轻烃;S₁—残留烃;S₂—裂解烃;I_{HC}—烃指数;I_H—氢指数;TOC—残余有机碳;T_{max}—最高热解温度

表 2 P20 剖面不同沉积环境下暗色泥岩有机地球化学指标对比
Table 2 Geochemical parameters of the dark mudstones
of P-20 section in different depositional environment

沉积亚相	样品数/个	(S ₁ +S ₂)/mg·g ⁻¹	TOC/%	I _H /mg·(g·c) ⁻¹	T _{max} /℃
三角洲前缘	4	0.05	1 (0.74)	5	460
前三角洲	13	0.04	0.78	4	486.23
滨海	15	0.05	0.76	5	479.93
浅海	20	0.03	0.92	3	496.96
半深海	41	0.05	0.84	5	477.22

内蒙古索伦地区中二叠统哲斯组海相暗色泥岩 TOC 含量集中分布于 0.6%~1% 之间, 最大值达 1.17%。笔者借用项目在林西地区获得的有机碳恢复系数($H=2.17$): 在露头中相同沉积环境下选取连续的烃源岩 19 组, 获得 TOC 平均值 0.54%; 在井下选取 34 组, 获得 TOC 平均值 1.17%。从而求得恢复系数($H=2.17$)恢复 TOC 后, TOC 含量在 0.82%~3.86% 之间, 根据黄第藩^[18]的标准, 该地区哲斯组暗色泥岩为好烃源岩(图 6)。

在对样品的岩石热解和有机碳测试报告的综合分析过程中发现, 哲斯组 93 组烃源岩样品(露头)的 S_1+S_2 分布范围为 0.01~0.17mg/g(表 1), 平均值仅为 0.046mg/g。利用(S_1+S_2)-TOC 图判断哲斯组暗色泥岩进行综合评价时, 一部分样品的投点落在差烃源岩范围内。究其原因, 对于露头烃源岩样品来说, S_1 是生油岩中残存的油气, 受取样条件的影响很大, 岩样过分冲洗和烘烤使 S_1 中的轻质组分损失, 也受油气运移的影响, S_1 损失, S_1+S_2 偏低, 说明露头烃源岩样品受到风化的影响和破坏严重, 使利用该化学参数对暗色泥岩评价产生了较大的误差。

此外, 通过干酪根 I_H-T_{max} 图判断有机质类型时发现, 大部分样品的干酪根类型为Ⅲ型, 小部分样品为Ⅱ型, 说明其有机质来源的二元性特征。笔者认为, 哲斯组相当部分的烃源岩应该为Ⅱ型干酪根, 造成Ⅲ型多的原因是样品在地史时期已经排烃, 使 I_H 过低, 其值分布于 0.3~16mg/g·c 之间, 平均值仅为 0.84mg/g·c, 而对于成熟—过成熟阶段

的样品来说, 鉴于样品 T_{max} 过高和干酪根生烃、排烃、失氢、干酪根老化、降级等原因, 这一方法对露头样品有机质类型的判断存在误差。

T_{max} 集中分布在 455℃ 以上, 主要大于 490℃, 有机质演化显然处于高熟—过成熟阶段, 进入了晚成岩期的凝析油湿气区—干气区阶段。当成熟度处于高一过成熟阶段的时候, T_{max} 的测量存在较大误差, 这种现象本身就成为高一过成熟阶段的标志。哲斯组 R_o (镜质体反射率)值为 2.87%(10 个样品平均值)和 3.52%(13 个样品平均值), 研究区哲斯组暗色泥岩干酪跟演化处于高一过成熟阶段。

二叠系干沥青的发现及其油源追踪研究证明, 在地史过程中石炭系—二叠系内确实曾有过石油生成—运移—聚集作用发生。该套地层中存在的石油不是由其上部源岩层生成后又运移而来的, 而是来自

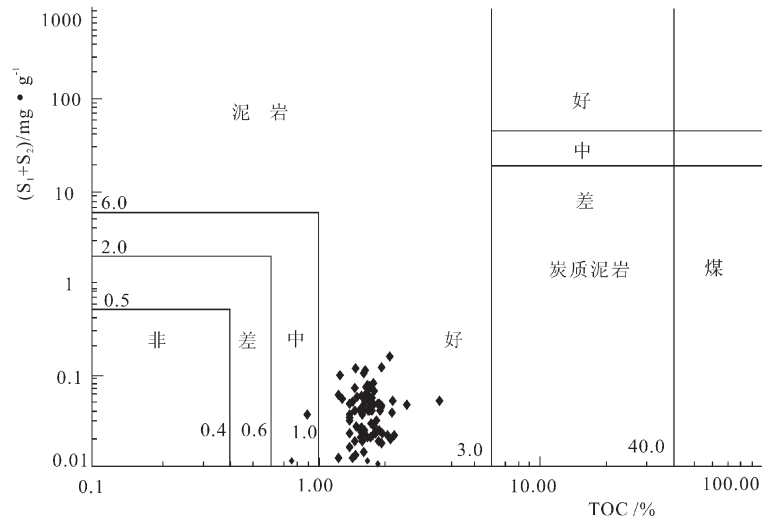


图 6 索伦地区哲斯组暗色泥岩 TOC 恢复后(S_1+S_2)-TOC 关系图
Fig. 6 The recover (S_1+S_2)-TOC relationship
of dark mudstone of Zhesi Formation in Suolun area

其本身^[7,10]。上述结果一方面反映了烃源岩经过生烃作用^[22-23,27],石炭系—二叠系烃源岩残余生烃潜力很低,但仍然具有生烃能力;另一方面也充分表明烃源岩曾大量生过烃,排烃发生在晚二叠世和早白垩世。关键是这些烃气是什么时期在什么热演化条件下生成的,大量生烃阶段有没有与之匹配的储盖组合,有没有成藏并保存下来。

哲斯组主力烃源岩主要包括哲斯组灰岩 132.87 m,暗色泥岩(暗色泥岩、粉砂质泥岩)累计厚度 870m。中二叠世海相地层的条带较宽,大陆边缘的海相地层横向延伸较远,烃源岩更容易形成一定的规模^[2-4]。综上所述,内蒙古中二叠统海相暗色泥岩虽经历了较高的热演化和生烃过程,但不影响其总的生烃能力,具备二次生烃的潜力。

5 结 论

(1)研究区中二叠统哲斯组暗色泥岩主要形成于前三角洲、浅海、半深海的还原环境。

(2)哲斯组暗色泥岩基本地球化学特征为:①有机质类型为Ⅱ、Ⅲ型;②TOC含量在0.38%~1.78%(平均值0.84%)之间,为中—好级别烃源岩;③成熟度达到高一过成熟, $T_{\max}$ 值绝大部分样品达490℃以上, R_o 平均值为3.24%。

(3)哲斯组暗色泥岩有机质丰度高、厚度大、分布范围广,是晚古生代烃源岩形成油气藏的物质基础。

参考文献

- [1]王连生,刘立,郭占谦,等.大庆油田伴生气中硫化氢成因的探讨[J].天然气地球科学,2006,17(1):51-54.
- [2]王成文,马志红,孙跃武,等.晚古生代海相地层丰度——东北地区油气勘查的一个新层系[J].世界地质,2008,27(2):113-118.
- [3]王成文,孙跃武,李宁,等.东北地区晚古生代地层分布规律[J].地层学杂志,2009,33(1):57-61.
- [4]王成文,金巍,张兴洲,等.东北及其邻区大地构造属性的新认识[J].地层学杂志,2008,32(2):58-74.
- [5]张兴洲,周建波,迟效国,等.东北地区晚古生代构造—沉积特征与油气资源[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(5):719-725.
- [6]张水昌,梁狄刚,张大江.关于古生界烃源岩有机质丰度的评价标准[J].石油勘探与开发,2002,29(2):8-12.
- [7]陈章明,关德师.东北地区深层石油地质综合研究与目标评价[R].安达:大庆石油学院,2000:115-128.
- [8]任战利,萧德铭,迟元林.松辽盆地基底石炭—二叠系烃源岩生气期研究[J].自然科学进展,2006,16(8):974-979.
- [9]任战利.松辽盆地北部深层石炭—二叠系地层热演化史与油气成藏期次研究[D].西安:西北大学硕士学位论文,2002.
- [10]刘晓艳,杜鸿烈,陈章明,等.松辽盆地边缘石炭—二叠系地表石油显示及其地质意义[J].地球化学,2001,30(4):390-394.
- [11]刘永江,金巍,王成文,等.东北地区晚古生代—中生代构造演化[C].第四届全国构造会议论文集,2008.
- [12]李福来,曲希玉,刘立,等.内蒙古北部上二叠统林西组沉积环境[J].沉积学报,2009,27(2):265-272.
- [13]余和中,蔡希源,韩守华,等.松辽盆地石炭—二叠系分布与构造特征[J].大地构造与成矿学,2003,27(3):277-281.
- [14]吉林省地质矿产局.吉林省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991:125-144.
- [15]梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等.南方四套区域性海相烃源岩的分布[J].海相油气地质,2008,13(2):1-16.
- [16]Ronov A B.Organic carbon in sedimentary rocks (in relation to the presence of petroleum)[J].Geochemistry,1958,5: 497-509.
- [17]Tissot B P, Welte D H.Petroleum formation and occurrence[M]. New York: Springer-Verlag,1984:669.
- [18]黄第藩.成烃理论的发展——(I)未熟油及有机质成烃演化模式[J].地球科学进展,1996,11(4):327-355.
- [19]Zhang S C, Hanson A D, Moldowan J M, et al. Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim basin, NW China[J].Organic Geochemistry,2000,31(4):273-286.
- [20]Palacas J G.Petroleum Geochemistry and Source Rock Potential of Carbonate Rocks[C].AAPG Studies in Geology 18,Tulsa,1984.
- [21]Bissada K K. Geochemical constraints on petroleum generation and migration—a review[C]//Procnd. ASCOPE Conf. Manila. Oct. 1981.1982:68-87.
- [22]王荣新,赵刚,邓世英.南华北上古生界烃源岩有机地球化学特征[J].石油实验地质,2008,30(5):484-488.
- [23]陈践发,卢进才,石正勇,等.内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系烃源岩的发育特征和生烃潜力评价[J].地质通报,2010,29(2/3):346-350.
- [24]余和中,蔡希源,韩守华,等.松辽盆地石炭—二叠系烃源岩研究[J].沉积与特提斯地质,2003,23(2):62-66.
- [25]Daly A R,Edman J D. Loss of organic carbon from source rocks during thermal maturation[J].AAPG Bulletin,1987,71:546-556.
- [26]赵富有,张晓博,曹成润,等.东北地区及邻区晚古生代晚期构造特征及演化规律[J].吉林地质,2007,26(4):8-14.
- [27]卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组烃源岩的特征[J].地质通报,2010,29(2/3):341-345.