

文章编号: 0253-9985(2011)01-0038-09

鄂尔多斯盆地南缘平凉组烃源岩 沉积环境与地球化学特征

倪春华, 周小进, 王果寿, 刘运黎, 杨帆

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 鄂尔多斯盆地南缘地区发育中奥陶统平凉组烃源岩。在对采集于该地区的 5 条剖面、40 余件露头样品测试的基础上, 利用微量元素分析了该地区中奥陶世平凉期的古盐度、水动力条件和氧化还原条件, 认为当时主要发育微咸水-半咸水、弱水动力条件、还原性的深水斜坡相和咸水、强水动力条件、偏氧化-弱还原性的碳酸盐岩台地相两种古沉积环境, 且前者为烃源岩发育的有利区。通过对有机碳含量、有机质类型和成熟度的综合评价, 认为鄂尔多斯盆地南缘平凉组烃源岩主要为集中于下部的泥岩, 具有厚度大、有机碳含量高、有机质类型好(以腐泥型为主)及热演化程度高(主体处于成熟晚期-高成熟期)的特点, 为中等-好气源岩。综合研究认为, 渭北隆起北部是鄂南地区下古生界勘探的有利地区。

关键词: 烃源岩; 沉积环境; 微量元素; 地球化学; 平凉组; 奥陶系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Sedimentary environment and geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks in the Pingliang Formation, southern margin of the Ordos Basin

Ni Chunhua, Zhou Xiaojin, Wang Guoshou, Liu Yunli and Yang Fan

(Wuxi Branch of SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Wuxi Jiangsu 214151, China)

Abstract Hydrocarbon source rocks were developed in the Pingliang Formation of the Middle Ordovician in southern Ordos Basin. Based on test of over 40 outcrop samples from five sections in southern Ordos Basin, we studied the paleosalinity, hydrodynamic conditions and redox conditions during the Pingliang Age of the Middle Ordovician through trace element analysis. Two major paleosedimentary environments are identified: deep-water slope with brackish, weak hydrodynamics and reducing conditions; and carbonate platform with brine, strong hydrodynamics and oxidizing-prone and weak reducing conditions. The former was favorable for development of quality hydrocarbon source rocks. By conducting a comprehensive evaluation of the TOC, organic types and maturity, we come to the conclusion that the mudstone at the lower part of the Formation is the major source rocks, which are mediocre to excellent gas source rocks featuring in large thickness, high TOC, favorable kerogen types (sapropel-type predominant) and high maturity. It is therefore suggested that the northern WeiBei high be favorable for exploring the lower Paleozoic in southern Ordos Basin.

Key words source rock; sedimentary environment; trace element; geochemistry; Pingliang Formation; Ordovician; Ordos Basin

收稿日期: 2011-01-10

第一作者简介: 倪春华(1981-), 男, 工程师, 油气地质与地球化学。

基金项目: 中国石油化工集团公司科技部项目(YPH08077)。

1 中奥陶世平凉期沉积环境

马家沟组沉积以后, 由于秦祁海槽和兴蒙海槽长期持续的南北相向挤压, 华北地区由边缘的局部隆升发展为全区的整体抬升, 这便是著名的加里东运动(太康运动)。受此构造运动的控制作用, 中奥陶世平凉早期, 鄂尔多斯盆地的主体部分发生抬升, 遭受剥蚀作用, 仅在盆地西南缘保留一“L”形的边缘海, 继续接受沉积^[1], 三关-青铜峡、平凉-陇县分别为两个沉积中心, 前者最大地层厚度达到 4 000 m, 后者最大地层厚度达到 800 m^[2]。

区内主要发育碳酸盐岩缓坡相、碳酸盐岩台地相和深水斜坡相 3 类沉积环境, 岩性以页岩、砂岩为主, 次为灰岩和白云岩(图 1)。岩性变化大是平凉组地层的一大特点, 在不同地区表现出不同的岩性组合特征。如图 2 所示, 在银洞官庄剖面下部观察到具平行构造的桔黄色层状凝灰岩, 研究认为这是岛弧喷发产物, 但距岛弧喷发处较远^[3]; 该剖面平凉组下部为深灰色粉砂质泥岩、灰黑色-黑色页岩, 且页岩中富含笔石, 陈孟晋等认为这是由于平凉早期海平面总体继续下降, 经过几次振荡性海平面急速升降之后, 该区处于相对稳定的斜坡相沉积环境, 因而形成了稳定分布的笔石页

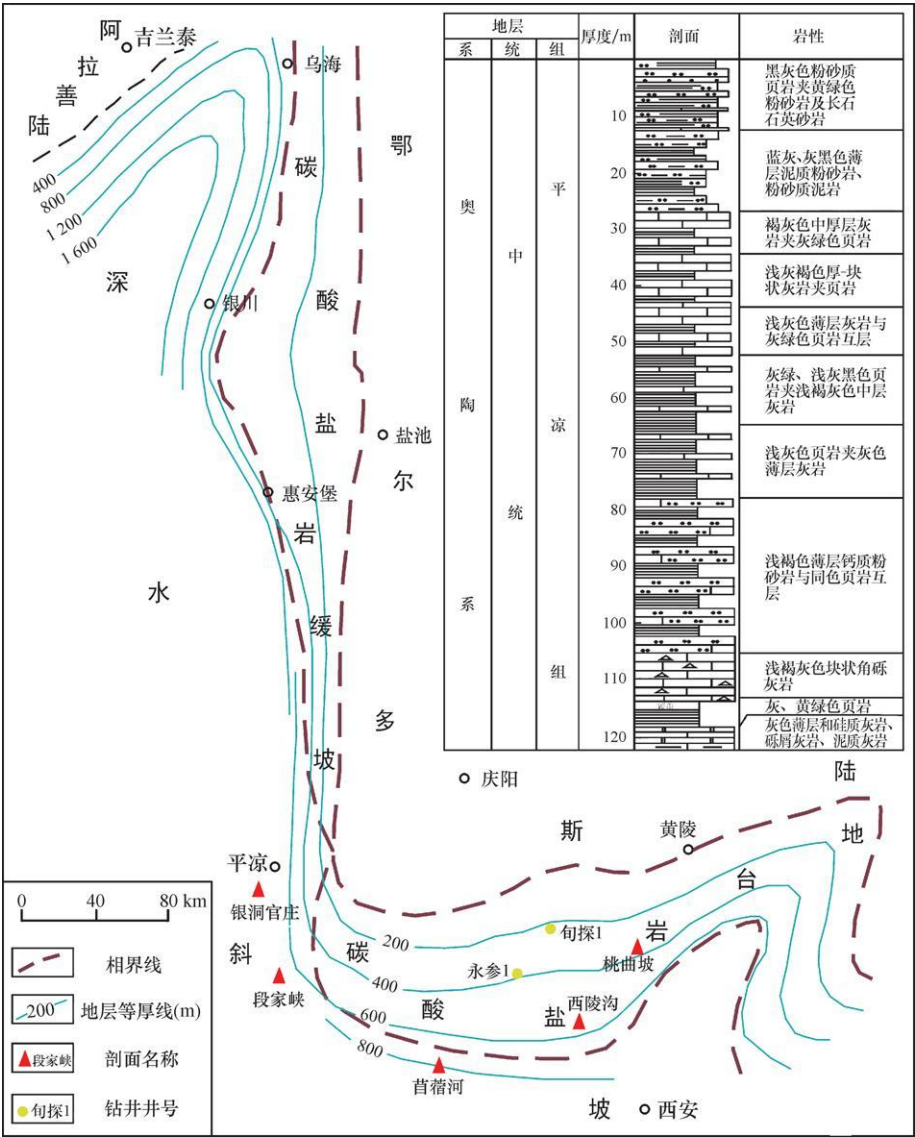


图 1 鄂尔多斯盆地中奥陶世平凉期岩相古地理 (据文献 [2] 修改)

Fig. 1 Lithofacies palaeogeography of the Middle Ordovician Pingliang Age in the southern Ordos Basin^[2]

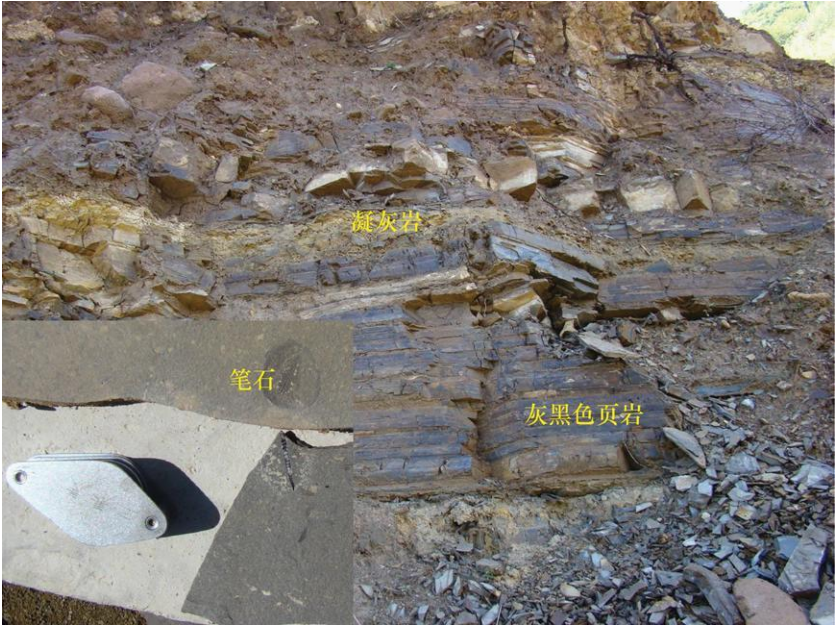


图 2 鄂尔多斯盆地南缘银洞官庄平凉组下部剖面

Fig. 2 A section showing the Lower Pingliang Formation at Yindongguanzhuang on the southern margin of the Ordos Basin

岩层^[4]。鄂尔多斯盆地西缘和南缘的中奥陶统平凉组重力流沉积十分发育,可分为碎屑流、浊流、颗粒流 3 类^[5],苜蓿河剖面下部发育了碎屑流沉积的砾屑灰岩夹角砾石灰岩。在桃曲坡剖面观察到平凉组下部主要为浅灰色灰岩,夹少量的薄层泥晶灰岩,表明其为浅水碳酸盐岩台地环境;邻近的耀参 1 井平凉组下部自然伽马曲线为尖锯齿状,视电阻率曲线为波状,声速曲线为锯齿状,自然电位曲线为波状的特征^[1]也佐证了这一判断。平凉晚期,鄂尔多斯陆的面积向西南有所扩大,但整体格局没有发生根本性的变化。在南缘,深水斜坡和碳酸盐岩台地仍然存在,只是其分布范围有所缩小。文章利用平凉组岩样中微量元素的测试结果,分析鄂尔多斯盆地南缘中奥陶世平凉期的古盐度、水动力条件、氧化还原条件等沉积环境因素。

1.1 古盐度

微量元素在反映古环境性质和演化信息方面,具有较好的保存原始地球化学信息的能力^[6]。地层中元素的分配及比值变化、组合都在一定程度上指示着古环境的演化历程^[7]。依据溶液中锶(Sr)的迁移能力及其硫酸盐化合物的溶度积远大于钡(Ba)的地球化学性质,锶丰度和 Sr/Ba 比值可作为古盐度判别的灵敏标志^[8]。

从表 1 中可以看出,桃曲坡剖面样品的锶丰度最高,平均值为 1456.48×10^{-6} ,而银洞官庄剖面样品的锶丰度最低,平均值仅为 111.85×10^{-6} ,两者相差一个数量级,反映前者的水体古盐度更高,段家峡剖面 and 苜蓿河剖面样品的锶丰度介于上述两者之间。Sr/Ba 比值可以定量地判别水体的古盐度,划分标准为大于 1.0 为咸水相,1.0~0.5 为半咸水相,小于 0.5 为微咸水相^[8]。桃曲坡剖面样品 Sr/Ba 比值为 16.69~24.19,银洞官庄剖面样品 Sr/Ba 比值仅为 0.27~0.35,其余两剖面样品的 Sr/Ba 比值介于其间(表 2)。按照上述划分标准,桃曲坡和苜蓿河剖面为咸水相、段家峡剖面为半咸水相、银洞官庄剖面为微咸水相。另外, B/Ga 比值也被用来研究古盐度^[9-10],鄂尔多斯盆地南缘 4 条剖面的 B/Ga 比值从西往东大致呈现逐渐增大的趋势(表 2),表征古盐度升高,这与利用锶丰度、Sr/Ba 比值的判识结果是一致的。综合上述分析,鄂尔多斯盆地南缘古盐度由西往东方向总体增大,且灰岩、泥灰岩沉积水体的古盐度大于泥岩沉积水体的古盐度。

1.2 水动力条件

水动力条件是水体深度、浪基面等的综合反映。有机质在低能环境中沉淀,且其保存量由高

表 1 鄂尔多斯盆地南缘平凉组微量元素含量分析数据

Table 1 Analysis data of trace element content of the Pingliang Formation on the southern margin of the Ordos Basin											
剖面	样品号	岩性	Sr 10 ⁻⁶	Ba 10 ⁻⁶	B, 10 ⁻⁶	Ga 10 ⁻⁶	V, 10 ⁻⁶	Ni 10 ⁻⁶	Rb, 10 ⁻⁶	Fe ²⁺ , 10 ⁻²	Fe ³⁺ , 10 ⁻²
银洞官庄	PLY-1	深灰色泥岩	123.97	464.50	65.90	12.48	110.41	36.50	191.52	1.76	1.21
	PLY-4	泥灰岩	99.73	286.25	58.80	12.13	82.82	25.72	156.94	1.67	1.42
段家峡	LXD-1	灰黑色泥岩	102.71	543.88	140.40	19.94	105.71	33.87	198.93	1.94	1.63
	LXD-2	深灰色灰岩	273.36	246.63	33.70	7.92	32.79	16.10	73.57	1.26	0.67
苜蓿河	QSM-3	灰黑色泥灰岩	830.07	319.88	91.50	15.11	75.76	22.67	177.84	2.64	0.55
	QSM-8	黑色泥灰岩	598.35	471.13	102.40	17.62	84.70	23.48	166.35	2.42	0.94
桃曲坡	YXT-1	泥灰岩	1684.75	69.65	27.00	2.96	9.64	3.21	35.73	0.17	0.30
	YXT-2	深灰色灰岩	1228.20	73.60	18.80	3.17	14.29	2.01	23.09	0.07	0.33

表 2 鄂尔多斯盆地南缘平凉组 Sr/Ba B/Ga V/(V+Ni), Fe²⁺ / Fe³⁺ 比值计算数据

Table 2 Calculated content ratios of Sr/Ba B/Ga V/(V+Ni) and Fe ²⁺ / Fe ³⁺ of the Pingliang Formation on the southern margin of the Ordos Basin						
剖面	样品号	岩性	Sr/Ba	B/Ga	V/(V+Ni)	Fe ²⁺ / Fe ³⁺
银洞官庄	PLY-1	深灰色泥岩	0.27	5.28	0.75	1.45
	PLY-4	泥灰岩	0.35	4.85	0.76	1.18
段家峡	LXD-1	灰黑色泥岩	0.19	7.04	0.76	1.19
	LXD-2	深灰色灰岩	1.11	4.26	0.67	1.88
苜蓿河	QSM-3	灰黑色泥灰岩	2.59	6.06	0.77	4.80
	QSM-8	黑色泥灰岩	1.27	5.81	0.78	2.57
桃曲坡	YXT-1	泥灰岩	24.19	9.12	0.75	0.57
	YXT-2	深灰色灰岩	16.69	5.93	0.88	0.21

能向低能增加。铷 (Rb) 在海水中主要赋存于粘土、云母等细粒或轻矿物中, 并沉淀于低能环境^[6]。因此, 岩石中 Rb 的含量高低可定性反映水动力条件, 即高值表征低能环境, 反之亦然。

表 2 中, 银洞官庄剖面、段家峡剖面、苜蓿河剖面平凉组样品的 Rb 含量平均值分别为 174.23 × 10⁻⁶, 136.25 × 10⁻⁶, 172.10 × 10⁻⁶, 而桃曲坡剖面样品的 Rb 含量平均值仅为 29.41 × 10⁻⁶, 反映后者较前三者水体变浅, 水动力增强。银洞官庄剖面、段家峡剖面、苜蓿河剖面为深水斜坡相, 水体较深, 水动力条件弱, 岩性以深灰色粉砂质泥岩、灰黑色-黑色页岩 (含笔石) 为主, 而桃曲坡剖面为碳酸盐岩台地相, 水体较浅, 水动力条件强, 岩性以浅灰色灰岩, 夹少量的薄层泥晶灰岩为主。这与各自所处的岩相古地理环境相吻合, 也验证了该指标的可信度。此外, 钡 (Ba) 为营养型元素, 其含量的高低在一定程度上也反映了古环境水体能量的高低^[11], 即 Ba 含量高值表征水动力条件弱, 反之亦然。从表 1 中不难看出, 两者的判别结果是一致的。

1.3 氧化还原条件

氧化还原条件是关系到沉积有机质能否保存、生烃潜力优劣的关键因素。过渡元素 V, Fe 等对氧化还原条件的变化相对敏感, 已成为研究古环境氧化还原性的重要指标。一般认为, 沉积岩中 V/(V+Ni) ≥ 0.46 指示缺氧环境^[12], 且不受岩性限制。笔者利用 V/(V+Ni) 和 Fe²⁺ / Fe³⁺ 这两对比值来判断古环境的氧化还原性, 且认为 V/(V+Ni) ≥ 0.46, Fe²⁺ / Fe³⁺ ≥ 1, 指示缺氧环境, 表征还原条件; 反之亦然。从表 2 图 3 可以看出, 银洞官庄剖面、段家峡剖面 and 苜蓿河剖面平凉组样品具有相近的比值特征, 即 V/(V+Ni) > 0.46, Fe²⁺ / Fe³⁺ > 1, 反映水体为缺氧环境, 具有还原性; 而桃曲坡剖面平凉组样品表现为 V/(V+Ni) > 0.46, Fe²⁺ / Fe³⁺ < 1, 指示为偏氧化-弱还原的水体环境, 这与其各自所处的岩相古地理是吻合的。另外, 从这两对比值来看, Fe²⁺ / Fe³⁺ 比 V/(V+Ni) 对氧化还原条件的变化更为灵敏。

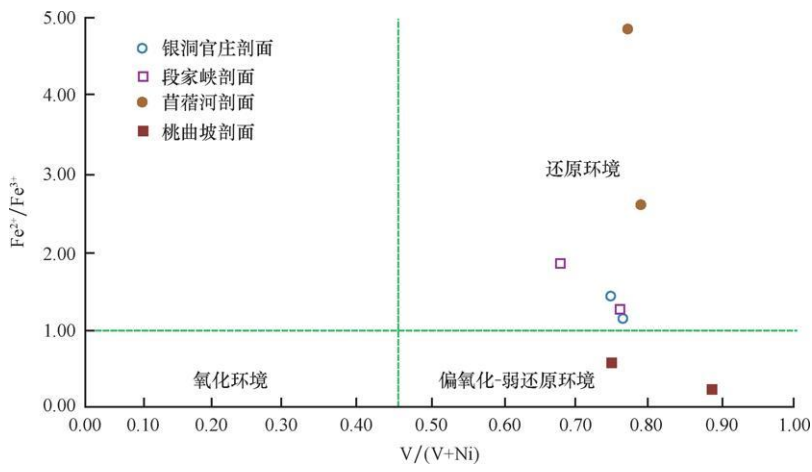


图 3 鄂尔多斯盆地南缘平凉期沉积环境的氧化还原性判别图

Fig 3 Identification of the oxidizing / reducing nature of sedimentary environments during the Pingliang Age on the southern margin of the Ordos Basin

综合上述分析,中奥陶世平凉期,鄂尔多斯盆地南缘主要发育深水斜坡相和碳酸盐岩台地相,前者为微咸水-半咸水、弱水动力条件的还原沉积环境,后者则为咸水、强水动力条件的偏氧化-弱还原沉积环境。

2 平凉组烃源岩地球化学特征

2.1 平凉组烃源岩分布南厚北薄

受中央古隆起构造的控制作用,平凉组地层主要发育于鄂尔多斯盆地西南缘,平面上大体呈“L”型分布^[13]。鄂尔多斯盆地南缘泾川-正宁-黄陵-韩城线以南至永参1-耀县-铜川线以北以灰岩和泥灰岩沉积为主,平凉组暗色泥岩平均厚度为10 m,泥灰岩平均厚度为20 m。平凉银洞官庄-陇县段家峡-岐山苜蓿河一带平凉组暗色泥岩平均厚度达到100 m左右,泥灰岩平均厚度约为60 m。总体上,南缘地区暗色泥岩、泥灰岩厚度由北往南表现为逐渐增大的趋势。

2.2 平凉组下部暗色泥岩有机碳含量高

有机质丰度是烃源岩评价的重要指标之一,而有机碳含量(TOC)由于其影响因素相对较少、能够更准确地反映有机质丰度,被学者在研究中广泛应用^[14-15]。本次研究对采集于盆地南缘地区5条露头剖面的40余件样品进行了测试分析,结果详见表3。从表3和图4中可以看出如下特征

与规律。

1) 从层段上看,平凉组上部岩性以灰岩、泥灰岩为主,有机碳含量较低;下部岩性则以泥岩、泥灰岩为主,有机碳含量较高。

2) 从岩性上看,不同类型岩石有机碳含量差异明显,泥岩、泥灰岩、灰岩的有机碳含量依次减小,如南缘地区14件泥岩平均有机碳含量0.39%;8件泥灰岩平均有机碳含量0.15%;15件灰岩平均有机碳含量仅为0.08%。

3) 从沉积相带上看,发育于深水斜坡相的样品有机碳含量普遍比碳酸盐岩台地相的高。

4) 从采样位置来看,处于同一相带的钻井样品总体上比邻近的露头样品高,以同处于碳酸盐岩台地相带的永参1井和桃曲坡剖面为例,前者比后者高出约30%,表明风化作用会对露头样品的有机碳含量造成较大影响,需要进行校正。风化校正系数一般是通过邻近地区的钻井和露头样品有机碳含量进行对比而确定^[16]。根据永参1井井下样品和桃曲坡剖面露头样品对比,校正系数取1.4校正后有机碳含量见表3。由于海相烃源岩的有机质丰度在各个热演化阶段具有不同的特点^[17-19],结合鄂尔多斯南缘地区平凉组烃源岩的有机质类型和成熟度,选择不同的有机碳恢复系数,银洞官庄剖面和段家峡剖面处于成熟度阶段,有机质类型为I-II₁型,有机碳恢复系数为1.4;苜蓿河剖面、耀县桃曲坡剖面 and 永参1井处于高-过成熟阶段,有机质类型为I-II₂型,有机碳恢复系数为1.5,恢复后总有机碳含量见表3。

表 3 鄂尔多斯盆地南缘平凉组有机碳含量

Table3 Statistics of TOC of the Pingliang Fomation on the southern margin of the Ordos Basin

剖面 / 钻井	有机碳含量, %						备注
	泥岩	泥灰岩	灰岩	全剖面	风化校正后全剖面	热演化恢复后全剖面	
银洞官庄	0. 52~ 1. 00 0. 67(5)	0. 09~ 0. 24 0. 17(2)	0. 05~ 0. 08 0. 06(3)	0. 05~ 1. 00 0. 39(10)	0. 07~ 1. 40 0. 55(10)	0. 10~ 1. 96 0. 77(10)	本次实测
段家峡	0. 23~ 0. 36 0. 29(5)	0. 08~ 0. 19 0. 12(3)	0. 05~ 0. 10 0. 08(4)	0. 05~ 0. 36 0. 18(12)	0. 07~ 0. 50 0. 25(12)	0. 10~ 0. 70 0. 35(12)	本次实测
苜蓿河	0. 05~ 0. 37 0. 15(4)	0. 11~ 0. 14 0. 13(2)		0. 05~ 0. 37 0. 13(7)	0. 07~ 0. 52 0. 18(7)	0. 10~ 0. 73 0. 25(7)	本次实测
西陵沟			0. 02~ 0. 11 0. 06(3)	0. 02~ 0. 11 0. 06(3)	0. 03~ 0. 15 0. 08(3)	0. 05~ 0. 23 0. 12(3)	本次实测
桃曲坡		0. 24(1)	0. 06~ 0. 18 0. 12(4)	0. 06~ 0. 24 0. 14(5)	0. 08~ 0. 34 0. 20(5)	0. 12~ 0. 51 0. 30(5)	本次实测
永参 1				0. 20(5)	0. 20(5)	0. 30(5)	孙宜朴等 ^[20]
南缘地区	0. 05~ 1. 00 0. 39(14)	0. 08~ 0. 24 0. 15(8)	0. 02~ 0. 18 0. 08(15)	0. 02~ 1. 00 0. 21(42)	0. 03~ 1. 40 0. 29(42)	0. 05~ 1. 96 0. 36(47)	本次实测

注：表格内横线上方数据为范围值，下方为平均值；括号内数字为统计样品数。

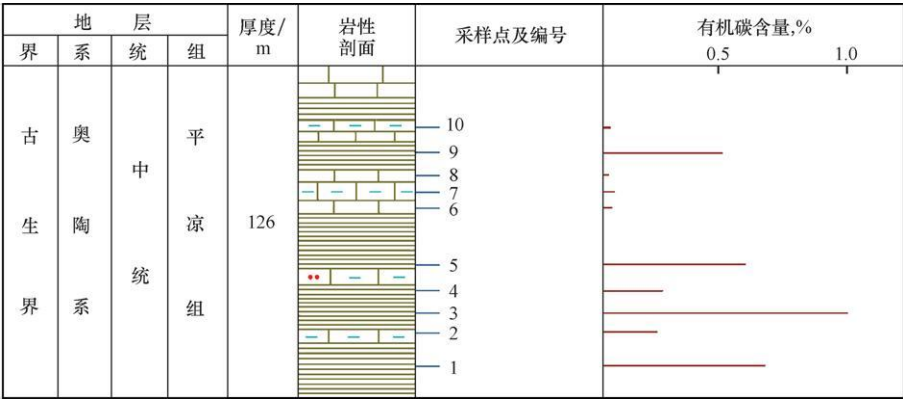


图 4 鄂尔多斯盆地南缘银洞官庄剖面平凉组有机碳含量纵向分布

Fig. 4 Vertical distribution of TOC of the Pingliang Formation on the Yindongguanzhuang section, the southern of the Ordos Basin

2.3 有机质演化程度高

自 Teichmüller^[21]将镜质体反射率由煤阶的划分推广到确定沉积岩中分散有机质的成熟度, 镜质体反射率(R_o)成为目前应用最多而且最为可靠的成熟度指标^[22-23]。但我国海相烃源岩中由于缺少或没有镜质体, 无法利用该指标来评价其成熟度, 国外学者率先发现并提出了海相镜质组^[24], 国内学者进行了深入的研究和应用^[25-26]。

海相镜质组的热模拟实验表明, 海相镜质组反射率的热演化特征与富氢镜质体很相似, 基本

上等同于富氢镜质体反射率。王飞宇等^[27]研究发现, 海相镜质组反射率可作为我国下古生界高-过成熟烃源岩的成熟度标尺, 并建立了等效镜质体反射率(VR_o)和海相镜质组反射率(VLR_o)的关系式 $VR_o = 0.533VLR_o + 0.66Q$ 。本次研究对野外露头样品进行了海相镜质组反射率的测定, 并按照上述关系式进行了换算。从表 4 可以看出, 位于西部的银洞官庄剖面平凉组样品成熟度最低, 而位于东部的桃曲坡剖面平凉组样品成熟度最高, 即鄂尔多斯盆地南部地区平凉组烃源岩成熟度呈现西低东高的格局。目前, 该区总体演化程度高, 主体处于成熟晚期-高成熟阶段。

表 4 鄂尔多斯盆地南缘平凉组样品成熟度对应关系
Table 4 Maturity of outcrop samples of the Pingliang Formation on the southern margin of the Ordos Basin

剖面名称	样品岩性	海相镜质组 反射率, %	等效镜质体 反射率, %	演化阶段
银洞官庄	泥岩	0.44~0.52 0.50(5)	0.89~0.94 0.93(5)	成熟晚期
段家峡	泥岩、 灰岩	0.90~1.13 0.99(9)	1.14~1.26 1.19(9)	成熟晚期
苜蓿河	泥灰岩、 泥岩	0.86~3.12 1.54(6)	1.12~2.32 1.48(6)	高-过 成熟期
桃曲坡	灰岩、 泥灰岩	1.27~1.97 1.63(5)	1.34~1.71 1.53(5)	高成熟期

注: 表格内横线上方数据为范围值, 下方为平均值; 括号内数字为统计样品数。

2.4 有机质类型以 I 型(腐泥型)为主

有机质类型是评价烃源岩品质的重要指标之一, 可以从其母质来源及元素组成来确定。平凉组烃源岩有机显微组分中没有镜质组和惰质组, 具有早古生代海相沉积烃源岩有机质组成的特殊性, 且腐泥组以藻类体和沥青质体为主。干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 能够反应原始的生烃母质特征, 常被用于鉴别烃源岩的有机质类型及其沉积环境^[18-19]。如图 5 所示, 银洞官庄剖面的 4 个样品、桃曲坡剖面的 3 个样品, $\delta^{13}\text{C}$ 值分别介于 $-31.16\text{‰} \sim -31.53\text{‰}$, $-29.49\text{‰} \sim -29.70\text{‰}$, 全部属于 I 型有机质(腐泥型); 苜蓿河剖面的 2 个样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 -24.44‰ 和 -25.90‰ , 均大于 -26‰ , 为 II 型有机质(腐殖腐泥型); 段家峡剖面的 7 个样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值则在 I - II 有机质区间上。总体上, 鄂尔多斯盆地南缘平凉组有机质类型为 I - II 型, 并以 I 型为主, 这与其有机质来源主要为海洋

低等生物相吻合。
综上所述, 鄂尔多斯盆地南缘平凉组下部泥岩厚度较大、有机质丰度较高、有机质类型好, 根据海相烃源岩评价标准^[28-29], 属于中等 - 好气源岩, 目前主体处于成熟晚期 - 高成熟演化阶段, 具有一定的天然气勘探潜力。鄂尔多斯盆地下奥陶统马家沟组碳酸盐岩经历长达 1.5 亿年风化改造后具有优良的储集性能, “L”形中央古隆起长期控制了来自平凉组烃源岩的油气运聚。上古生界石炭 - 二叠系发育多套泥岩, 封盖性能好。鄂尔多斯南缘渭北隆起的北部具有广阔的勘探前景, 是实现鄂南地区下古生界勘探突破的有利地区, 已在旬探 1 井奥陶系风化壳储层内发现丰富的沥青, 且主要来源于平凉组深水斜坡相泥页岩和灰岩^[30]。

3 结论

- 1) 中奥陶世平凉期, 鄂尔多斯盆地南缘主要发育深水斜坡相和碳酸盐岩缓坡相。前者为微咸水 - 半咸水、弱水动力条件的还原沉积环境; 后者则为咸水、强水动力条件的偏氧化 - 弱还原的沉积环境。比较分析, 前一种古沉积环境更有利于烃源岩的发育。
- 2) 鄂尔多斯盆地南缘平凉组烃源岩分布为南厚北薄, 有机碳含量较高, 有机质类型以 I 型(腐泥型)为主, 现今主体处于成熟晚期 - 高成熟演化阶段。因风化作用造成有机碳的损失, 露头样品需结合邻区井下样品进行校正。对于热演化过程中消耗的有机碳, 需进行原始有机碳的恢复。
- 3) 鄂尔多斯盆地南缘平凉组烃源岩综合评价为中等 - 好气源岩, 且主要为分布在其下部的暗

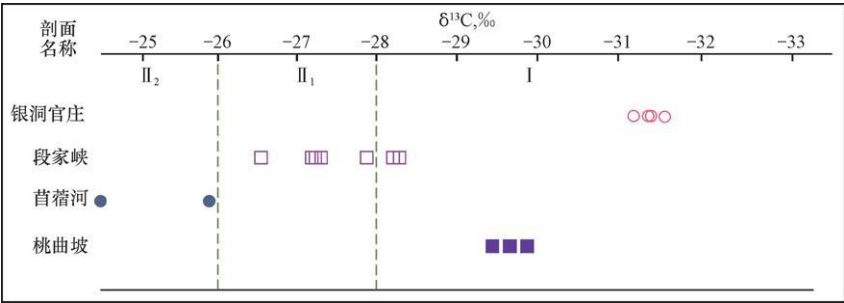


图 5 鄂尔多斯盆地南缘平凉组干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布与有机质类型和关系

Fig 5 Relationship between $\delta^{13}\text{C}$ values of kerogen and types of organic matter in the Pingliang Formation on the southern margin of the Ordos Basin

色泥岩,以“残留厚度大、有机碳含量高、有机质类型好、演化程度高”为特点,具有一定的天然气勘探潜力,鄂尔多斯南缘渭北隆起的北部是实现该地区下古生界勘探突破的有利地区。

参 考 文 献

[1] 冯增昭,陈继新,张吉森. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[M]. 北京:地质出版社:1991
Feng Zengzhao, Chen Jixin, Zhang Jisen. Lithofacies paleogeography of Early Paleozoic of Ordos [M]. Beijing Geological Publishing House 1991.

[2] 冯增昭,鲍志东,康祺发,等. 鄂尔多斯奥陶纪古构造[J]. 古地理学报, 1999, 1(3): 83–94.
Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Kang Qifa, et al. Paleotectonics of Ordovician in Ordos [J]. Journal of Paleogeography, 1999, 1(3): 83–94

[3] 袁卫国. 鄂尔多斯盆地南缘中奥陶统火山凝灰岩的研究与意义[J]. 石油实验地质, 1995, 17(2): 167–170.
Yuan Weiguo. Research and significance of volcanic tuff from Middle Ordovician series in the southern margin of the Ordos Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1995, 17(2): 167–170.

[4] 陈孟晋,宁宁,胡国艺,等. 鄂尔多斯盆地西部平凉组烃源岩特征及其影响因素[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 78–85
Chen Mengjin, Ning Ning, Hu Guoyi, et al. Characteristics and influencing factors of Pingliang Formation source rock in Western Ordos Basin [J]. Chinese Science Bulletin 2007, 52(supplement): 78–85.

[5] 吴胜和,冯增昭,张吉森. 鄂尔多斯地区西缘及南缘中奥陶统平凉组重力流沉积[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(3): 226–235
Wu Shenghe, Feng Zengzhao, Zhang Jisheng. Sedimentology of gravity flow deposits of Middle Ordovician Pingliang Formation in west and south margins of Ordos [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(3): 226–234.

[6] 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等. 海相地层无机参数与烃源岩发育环境的相关研究[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 411–421
Tenger, Liu Wenhui, Xu Yongchang, et al. Study on relation between inorganic parameters in marine deposits and developmental environment of hydrocarbon source rocks taking Ordos Basin as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(4): 411–421.

[7] 汪凯明,罗顺社. 碳酸盐岩地球化学特征与沉积环境判别意义——以冀北拗陷长城系高于庄组为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 343–349
Wang Kaiming, Luo Shunshu. Geochemical characters of carbonates and indicative significance of sedimentary environment—an example from the Gaoyuzhuang Formation of the

Changcheng System in the northern Hebei Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 343–349.

[8] 郑荣才,柳梅青. 鄂尔多斯盆地长 6 油层组古盐度研究[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 20–25
Zheng Rongcai, Liu Meiqing. Study on paleosalinity on Chang 6 oil reservoir set in Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 20–25

[9] 彭海艳,陈洪德,向芳,等. 微量元素分析在沉积环境识别中的应用——以鄂尔多斯盆地东部二叠系山西组为例[J]. 新疆地质, 2006, 24(2): 202–205
Peng Haiyan, Cheng Hongde, Xiang Fang, et al. Application of trace elements analysis on sedimentary environment identification——an example from the Permian Shangxi Formation in Eastern Ordos Basin [J]. Xinjiang Geology, 2006, 24(2): 202–205

[10] 王冠民,钟建华,姜在兴,等. 从济阳拗陷沙一段古盐度的横向变化看古近纪的海侵方向[J]. 世界地质, 2005, 24(3): 243–247
Wang Guamin, Zhong Jianhua, Jiang Zaixing, et al. Possible transgressive channel in Paleogene deduced by lateral change of paleosalinity in 1st Member of Shahejie Formation in Jiyang Depression [J]. Global Geology, 2005, 24(3): 243–247

[11] 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等. 高演化海相碳酸盐烃源岩地球化学综合认识——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2006, 36(2): 167–176
Tenger, Liu Wenhui, Xu Yongchang, et al. Integrated geochemistry of high evolution sea-facies carbonate: Taking the Ordos Basin as an example [J]. Science in China Series D, 2006, 36(2): 167–176.

[12] Hatch JR, Leventhal JS. Relationship between inferred redox potential of depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas U. S. A [J]. Chemical Geology, 1992, 99: 65–82.

[13] 周小进,倪春华,杨帆. 华北古生界原型-变形构造演化及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 779–794.
Zhou Xiaojin, Ni Chunhua, Yang Fan. The Paleozoic prototype basins and their tectonic deformation in North China and their controlling effects upon hydrocarbon accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 779–794.

[14] 郭小文,何生. 伊通盆地天然气成因类型与成藏[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 260–267
Guo Xiaowen, He Sheng. Genetic types and pooling of nature gas in the Yitong Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 260–267

[15] 余腾孝,曹自成,徐勤琪,等. 准噶尔盆地北部古生代构造演化与石炭系烃源岩[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 91–97.
Yu Tengxiao, Cao Zicheng, Xu Qingqi, et al. The Paleozoic tectonic evolution and the Carboniferous source rocks in the nor-

them Juggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31 (1): 91- 97.

[16] 张建良, 钟建华, 李亚辉, 等. 柴达木盆地东部石炭系石油地质条件及油气勘探前景 [J]. 石油实验地质, 2008, 30 (2): 144- 150

Zhang Jianliang Zhong Jianhua Li Yahui et al Petroleum geologic conditions and exploration prospects of Carboniferous in the east of Qaidam Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment 2008 30(2): 144- 150

[17] 秦建中, 金聚畅, 刘宝泉. 海相不同类型烃源岩有机质丰度热演化规律 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26 (2): 177- 184.

Q in Jianzhong Jin Juchang Liu Baoquan. Thermal evolution pattern of organic matter abundance in various marine source rocks [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26 (2): 177- 184

[18] 宋成鹏, 张晓宝, 汪立群, 等. 柴达木盆地北缘天然气成因类型及气源判识 [J]. 石油与天然气地质, 2009 30 (1): 90- 97.

Song Chengpeng Zhang Xiaobao Wang Liqun, et al A study on genetic types and source discrimination of natural gas in the north margin of the Qaidam Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009 30 (1): 90- 97.

[19] 戴金星, 倪云燕, 邹才能, 等. 四川盆地须家河组煤系烷烃气碳同位素特征及气源对比意义 [J]. 石油与天然气地质, 2009 30 (5): 519- 529

Dai Jinxing Ni Yunyan Zou Caineng et al Carbon isotope features of alkane gases in the coalmeasures of the Xujiahe Formation in the Sichuan Basin and their significance to gas source correlation [J]. Oil & Gas Geology 2009 30(5): 519- 529

[20] 孙宜朴, 王传刚, 王毅, 等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统平凉组烃源岩地球化学特征及勘探潜力 [J]. 石油实验地质, 2008 30 (2): 162- 168

Sun Yipu Wang Chuangang Wang Yi et al Geochemical characteristics and exploration potential of Middle Ordovician Pingliang Formation in the Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment 2008, 30(2): 162- 168.

[21] Teichmüller M, Wolf M. Application of fluorescence microscopy in coal petrology and oil exploration [J]. Journal of Microscopy, 1977, 109 49- 73

[22] 许化政, 周新科, 高金慧, 等. 华北早中三叠世盆地恢复与古生界生烃 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26 (3): 329- 336

Xu Huazheng Zhou Xinke Gao Jinhui et al Reconstruction of Early-Middle Triassic basin in North China and hydrocarbon generation in Paleozoic [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26 (3): 329- 336.

[23] 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

Cai Xunyu, Zhu Yangming Huang Renchun. Geochemical behaviors origin of reservoir bitumen in Puguang gas pool [J]. Oil & Gas Geology, 2006 27(3): 340- 347.

[24] Buchardt B, Lewan M D. Origin of marine vitrinite group [J]. AAPG, 1990 74(4): 394- 40.

[25] 肖贤明, 吴治君, 刘德汉, 等. 早古生代海相烃源岩成熟度的有机岩石学评价方法 [J]. 沉积学报, 1995 13 (2): 112- 119

Xiao Xianming Wu Zhijun Liu Dehan et al Evaluation of maturity of the Early Paleozoic marine hydrocarbon source rocks on the basis of organic petrology [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1995 13(2): 112- 119.

[26] 曾凡刚, 程克明, 吴朝东. 应用海相镜质组反射率研究华北地区下古生界成熟度 [J]. 地质地球化学, 1998, 26 (3): 21- 24

Zeng Fangang Cheng Keming Wu Chaodong Maturity of the Lower Palaeozoic in North China in terms of reflectivity of marine vitrinites [J]. Geology Geochemistry, 1998 26 (3): 21- 24

[27] 王飞宇, 何萍, 程顶胜, 等. 镜状体反射率可作为下古生界高过成熟烃源岩成熟度标尺 [J]. 天然气工业, 1996 16 (4): 14- 18.

Wang Feiyu, He Ping Cheng Dingsheng et al Take vitrinite like reflectance as the maturity indicator for Lower Paleozoic high overmature source rock [J]. Natural Gas Industry, 1996 16(4): 14- 18

[28] 卢双舫, 王振平, 冯亚丽, 等. 塔里木盆地泥质气源岩有效性判别标准 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20 (4): 299- 301

Lu Shuangfang Wang Zhengping Feng Yali et al Distinguishing criteria of validity for argillaceous gas source rocks in Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 1999 20(4): 299- 301

[29] 秦建中. 中国烃源岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2005 52- 55.

Q in Jianzhong Chinese source rocks [M]. Beijing Science Press 2005: 52- 55

[30] 宁宁, 陈孟晋, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳古油藏的确定及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28 (2): 280- 286

Ning Ning Chen Mengjin Sun Fengjin et al Determination and its significance of ancient oil pools in Ordovician weathering crust Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology 2007, 28 (2): 280- 286