

# 鄂尔多斯盆地西南缘蓟县系沉积环境与生烃潜力<sup>\*</sup>

邓昆<sup>1</sup> 张哨楠<sup>1</sup> 周立发<sup>2</sup> 刘哲<sup>3</sup> 李文厚<sup>2</sup>

1.成都理工大学能源学院 2.西北大学地质系 3.中国石油长庆油田公司勘探事业部

邓昆等.鄂尔多斯盆地西南缘蓟县系沉积环境与生烃潜力.天然气工业,2009,29(3):21-24.

**摘要** 鄂尔多斯盆地及邻区中元古代整体处于地壳伸展的构造背景,沉积了巨厚的中元古界蓟县系海相地层。为落实该盆地西南缘蓟县系油气的勘探潜力,对该区蓟县系的地层特征、沉积特征、岩石地球化学和有机地球化学特征进行了分析。结果表明:该区蓟县系形成于碳酸盐潮坪沉积环境,风暴沉积序列广泛发育;该区具有大陆边缘性质,蓟县系硅质岩为生物成因背景。结论认为,从蓟县系可能烃源岩的有机质丰度、类型及有机质成熟度等方面来评价了其生烃潜力,认为其生烃能力较差。

**关键词** 鄂尔多斯盆地 中元古代 蓟县系 沉积环境 生烃潜力 评价

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.03.006

鄂尔多斯盆地西南缘及其相邻的祁连—秦岭地区经历了长期构造演化,它是华北板块、秦岭板块、扬子板块相互俯冲碰撞且又经历了复杂的大陆内多期次造山及成盆作用而形成的复合型大陆构造带与盆地<sup>[1-3]</sup>。吕梁(中条)运动后,鄂尔多斯地区大规模裂陷解体,中新元古代整体处于地壳伸展的构造背景,陆内裂谷、陆缘裂谷与陆间裂谷(小洋盆)的构造组合为其基本特征,非造山岩浆活动和似盖层性质的稳定沉积建造形成,发育蓟县系和长城系<sup>[4]</sup>。加强中新元古界的勘探力度是实现鄂尔多斯盆地西南缘勘探新突破的一项重要举措<sup>[5]</sup>,笔者从蓟县系的沉积环境、可能烃源岩的有机质丰度、类型及有机质成熟度等方面来评价其生烃潜力。

## 1 蓟县系地层特征

鄂尔多斯盆地及邻区,中元古界蓟县系主要出露区为陕西洛南至华县一线、陕西陇县、岐山、宁夏贺兰山和青龙山、甘肃龙首山等地。蓟县系下限年龄为距今1400 Ma左右,在贺兰山和青龙山称为王全口群。在甘肃华亭马峡、平凉大台子(厚度大于1351 m)、陕西陇县峡口以西的景福山(845.2 m)一带有较大范围的出露,地层发育良好,岩序清晰,接触关系明了。在北秦岭的蓟县系洛南群厚度1500

~1700 m。钻井情况:庆深1井厚310.5 m,镇探1井厚326 m(未穿),宁探1井厚616 m(未穿),宜探1井厚225 m(未穿)。整体趋势由南向北、向东不断减薄,逐渐缺失上部层段。主要为灰、棕红色白云岩、颗粒白云岩、藻白云岩、叠层石白云岩及泥质白云岩,含燧石团块夹少许砂岩及页岩。古生物:研究区蓟县系含丰富的叠层石,其组合具有华北与华南过渡性特点,含化石 *Conophyton wangquangouensis*; *Conophyton garganicus*; *Minjaria sp.*; *Colonella sp.*; *Tielingella sp.*; *Cryptozoon sp.*。

## 2 蓟县系沉积环境

中元古代蓟县纪,海水沿古陆西南缘向北东方向超覆,在鄂尔多斯盆地西南缘沉积了最厚达1400 m的边缘海相硅质藻白云岩。根据研究区蓟县系露头 and 钻井岩心对其沉积环境进行分析。

### 2.1 蓟县系沉积相特征

碳酸盐潮坪:蓟县系发育内碎屑白云岩、鲕粒白云岩、纹层状白云岩及含燧石条带白云岩、泥晶或粉晶白云岩、藻白云岩,并在岩层中见到条带状泥晶藻叠层、含泥含硅云岩、硅质岩。测井相特征:电阻率曲线呈峰峦状—尖刀状起伏,幅度较大,呈高值;声速曲线呈小锯齿状起伏,幅度小;自然伽马曲线多呈

\* 本文受到国家重点基础研究发展计划(973计划)(2003CB214601)的资助。

**作者简介** 邓昆,1968年生,讲师;主要从事沉积储层与含油气盆地分析研究工作。地址:(610059)四川省成都市十里店成都理工大学能源学院。电话:13668259703。E-mail:dk\_dengk@126.com

微波状,幅度小,少量呈尖刀状起伏,幅度较大;自然电位曲线呈不规则波状起伏,幅度较大;井径曲线大部为一直线,局部有扩径。据岩相特征、沉积构造、岩石颜色、沉积层序及构造背景等进行综合分析,蓟县系整体上属于碳酸盐潮坪沉积环境,且主要为潮间带沉积,同时也包括一部分潮上带及潮下带沉积。沉积构造见到透镜状、波状和脉状组成的潮汐层理等。潮间带亚相进一步分为藻坪微相:岩性为条带状泥晶藻叠层含泥含硅云岩、纹层状藻云岩、团粒状藻云岩、泥晶藻云岩等,常见鸟眼、干裂等构造。潮汐沟微相:主要由砾屑白云岩及含砾砂屑白云岩构成。砾屑常为纹层状白云岩,多呈板条状,受水流方向反复变化影响,常定向排列,形成反向叠瓦状构造(即鱼骨状交错层理)(图1),底部常见有扁平角砾白云岩及潮水沟的冲刷与充填构造。

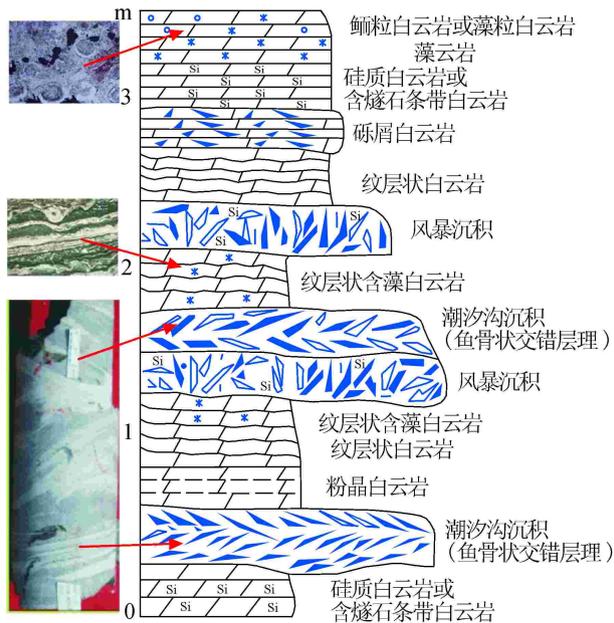


图1 镇探1井蓟县系碳酸盐潮坪沉积序列图

风暴沉积:碳酸盐潮坪常位于潟湖、海湾、河口湾、障壁岛及砂坝周围或后面,主要受潮水或特大风暴潮影响,波浪作用影响较小。岐山涝川蓟县系可见硅质岩放射状、菊花状层理构造,顶层面面上为圆丘状、云朵状形态,硅质条带呈直立状。放射状等风暴成因构造其形成于成岩作用后期,岩石在尚未完全固结时期遭遇风暴破坏,将原有水平层理打碎,风暴流的涡动使得岩石碎片直立。镇探1井上可识别出风暴沉积(图1)。

## 2.2 蓟县系硅质岩地球化学特征与形成环境

对镇探1井蓟县系3件硅质岩样品进行地球化学特征分析,从而为蓟县系沉积背景提供佐证。

主量元素:硅质岩  $\text{SiO}_2$  含量为 84.27%~95.3%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 3.2%~4.15%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{TiO}_2$  图解(图2),可以看出:蓟县系硅质岩样品落在生物成因区域。 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  可作为判断硅质岩沉积环境的良好指标<sup>[6]</sup>,蓟县系硅质岩样品  $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  值为 0.83~0.98,远远高于洋中脊硅质岩(小于 0.4),而与大陆边缘硅质岩(0.5~0.9)相当接近。

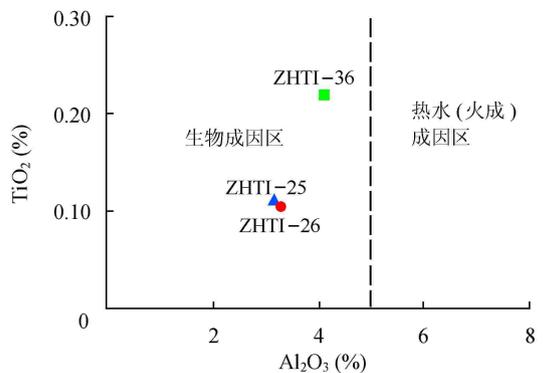


图2 蓟县系硅质岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{TiO}_2$  图解

稀土元素:蓟县系硅质岩稀土总量为 26.56~62.15,  $\text{LREE}/\text{HREE}$  为 5.58~5.64,轻重稀土分异作用强,轻稀土富集。 $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  值(NASC 标准化)为 0.83~0.99,  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  值为 1.1~1.37,  $\text{La}_N/\text{Lu}_N$  值 0.85~1.09。 $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值为 0.84~0.92,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  值 0.85~0.86。大陆边缘  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值为  $1.09 \pm 0.25$ ,  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  值为 0.5~1.5(Murray, 1990, 1991, 1994)。 $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  轻度负异常,表明硅质岩形成的环境具开放性<sup>[7]</sup>。

北美页岩平均值(NASC)标准化配分曲线上(图3),均为平行于北美页岩的近水平的分布形式,没有明显的  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  负异常,其中样品 ZHTI-36  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  轻度负异常。稀土元素总体特征与大陆边缘硅质岩类似。不同于洋中脊和大洋盆地硅质岩。

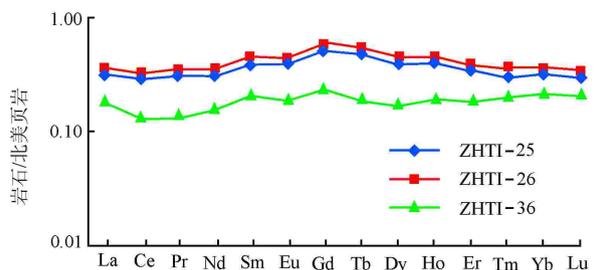


图3 蓟县系硅质岩北美页岩(NASC)标准化 REE 形式图注:北美页岩(NASC)标准化数据数据 Gromet, 1984 年

因此,研究区在蓟县纪为裂谷型大陆边缘海相环境,蓟县系硅质岩为生物成因背景。

### 3 蓟县系生烃潜力

前人研究<sup>[8]</sup>,华北板块中新元古界有一定的生烃潜力,在一些地区发现有沥青显示。通过对研究区镇探 1 井、宁探 1 井、庆深 1 井、庆深 2 井蓟县系可能烃源岩特征进行分析,来探讨中元古界蓟县系生烃潜力及是否为本区提供一部分气源。

表 1 研究区蓟县系烃源岩有机质丰度参数统计表

井号	层位	有机碳含量(%)	氯仿沥青“A”含量(%)	总烃含量(mg/L)	S <sub>1</sub> + S <sub>2</sub> (mg/g)	综合评价
镇探 1	蓟县系	0.05~0.18/ 0.08(8)	0.001 3~0.004 5/ 0.003 1(6)	7~32/ 16(3)	0.03~0.06/ 0.05(3)	极差
宁探 1	蓟县系	0.08~0.34/ 0.15(10)	0.004 3(4)		0.05 7(2)	极差—差

注:表中数值为样品最大值~样品最小值/平均值(样品数)。

### 3.2 有机质类型

干酪根显微光学特征:干酪根镜检方法被普遍采用确定有机质类型,是一种快速评价干酪根的方法,不受热演化影响。钻井岩心 5 个样品分析,蓟县系都为腐泥型。蓟县系碳酸盐岩显微组分中,镇探 1 井无定形组分含量 97.6%~98.4%,镜质组含量 1.6%~2.4%,宁探 1 井无定形组分含量 100%,惰质组基本没有。蓟县系总体显示了较好的有机质类型。

干酪根有机元素组成:蓟县系 H 含量 1.42%,O 含量 5.21%,C 含量 26.35%,H/C 值 0.65,O/C 值 0.15。干酪根有机元素总体含量较低,特别是碳酸盐岩样品遭受氧化作用和成岩作用的影响明显,已处于高熟—过熟阶段。

氯仿沥青“A”族组分特征:沉积岩中可溶的沥青“A”族组分从另一方面反映了生油气母质的特征,通过分析岩石中的可溶有机质特征,也可间接帮助判别有机质类型。其中腐泥型干酪根烃类含量(饱和烃+芳烃)超过 60%,混合型干酪根烃类含量在 60%~30%之间,而腐殖型干酪根小于 30%;饱和烃/芳香烃的比值(饱/芳)亦有明显差别,腐泥型干酪根的饱/芳大于 3,混合型干酪根的饱/芳比为 1~3,而腐殖型干酪根的饱/芳一般小于 1。镇探 1 井和宁探 1 井蓟县系饱和烃+芳烃均值分别为 60.11%和 71.75%,饱和烃/芳烃值 1.67~7.27,个别样品小于 3,显示出有机质类型较好的特点。

### 3.1 有机质丰度

统计结果表明(表 1),大部分碳酸盐岩样品有机质丰度普遍较低,TOC 值已达到排烃下限 0.08%,但是为极差的烃源岩,个别样品达到差级别;氯仿沥青“A”含量、总烃含量及生烃潜量(S<sub>1</sub> + S<sub>2</sub>)均显示为非烃源岩。蓟县系埋深大、时代老、有机质演化程度高,为高成熟—过成熟海相碳酸盐岩,弥补了低丰度的不足<sup>[9]</sup>,现测得的有机碳含量比实际值偏小。因此,蓟县系碳酸盐岩类烃源岩仍可能具有一定的产烃潜力。

### 3.3 有机质成熟度

镜质体反射率主要适合于晚古生代以来的混合型和腐殖型有机质成熟度的标定,对于碳酸盐岩光学评价标志而言,广泛采用的有海相镜质体反射率、沥青反射率、牙形石色变指数和动物有机碎屑组分反射率等<sup>[10]</sup>。

有机质演化阶段,一般的划分标准是: $R_o < 0.50\%$  为未成熟阶段, $R_o = 0.50\% \sim 0.70\%$  为低成熟阶段, $R_o = 0.70\% \sim 1.30\%$  为成熟阶段, $R_o = 1.30\% \sim 2.00\%$  为高成熟阶段, $R_o > 2.00\%$  为过成熟阶段。下面是直接利用沥青反射率( $R_{OB}$ )划分油气演化阶段的界定值(表 2)<sup>[11]</sup>。

表 2 碳酸盐岩有机质演化阶段界定值汇总表

烃类形成阶段	石油形成带	凝析油、湿气带	甲烷带
$R_{OB}$ (%)	0.47~1.6	1.6~2.23	>2.23

蓟县系  $R_{OB}$  范围 2.33%~2.67%,有机质演化程度高,均超过了有机质过成熟生气的时期,达到过成熟甲烷气带。

岩石热解峰温(Rock-Eval)分析:烃源岩最大热解峰温( $T_{max}$ )值,具有随热演化程度增加而升高的特点。因此,用它来研究烃源岩有机质成熟度是可行的。但是, $T_{max}$ 有一定适用条件,对于腐殖型和偏腐殖混合型干酪根来讲,是一个十分可靠的成熟度

指标。因此,对中元古界腐泥型干酪根而言, $T_{\max}$ 仅作参考价值。中元古界6件样品 $T_{\max}$ 介于472~605℃,其值较高,应属高成熟—过成熟阶段。

### 3.4 有机包裹体地质特征

镇探1井元古界的有机包裹体均为沿裂缝分布的次生包裹体,包体呈气液两相,除含甲烷、烯烃、芳香烃等烃类组分外,还含 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 等非烃类组分,并可见固体沥青包体。早期包体(罗圈组)均一温度130.2~172.6℃,为生烃期烃类运移的标志;晚期包体(蓟县系)均一温度185.4~236.2℃,为后期构造热事件引起的烃类运移标志。表明元古界生烃能力较差,但发生过两次烃类运移。

总之,从现有数据来看,研究区蓟县系碳酸盐岩厚度较大,有机质丰度偏低、有机质类型好、成熟度很高,生烃能力较差。

## 4 结论与认识

1)鄂尔多斯盆地西南缘中元古代整体处于地壳伸展的构造背景,蓟县系形成于碳酸盐潮坪沉积环境,风暴沉积序列广泛发育。

2)蓟县系硅质岩地球化学特征分析表明:研究区在蓟县纪为裂谷型大陆边缘海相环境,蓟县系硅质岩为生物成因背景。

3)蓟县系可能碳酸盐岩烃源岩的厚度较大,有机质丰度偏低、有机质类型好、成熟度很高,其生烃能力较差。

## 参 考 文 献

- [1] 赵重远,周立发.成盆期后改造与中国含油气盆地地质特征[J].石油与天然气地质,2000,21(1):7-10.
- [2] 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [3] 周立发.阿拉善地块南缘早古生代大地构造特征和演化[J].西北大学学报:自然科学版,1992,22(1):107-115.
- [4] 张福礼.鄂尔多斯盆地天然气地质[M].北京:地质出版社,1994.
- [5] 金之钧,蔡立国.中国海相层系油气地质理论的继承与创新[J].地质学报,2007,81(8):1017-1024.
- [6] MURRAY R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: General principles and applications[J]. Sedimentary Geology, 1994, 90: 213-232.
- [7] MURRAY R W. Rare earth element as indication of different marine depositional environments in chert and shale[J]. Geology, 1990, 18: 268-271.
- [8] 王杰,陈践发.华北中上元古界烃源岩沉积环境及生烃潜力研究[J].天然气地球科学,2001,12(3):27-33.
- [9] 王杰,陈践发.海相碳酸盐岩烃源岩的研究进展[J].天然气工业,2004,24(8):21-23.
- [10] 程克明,王兆云.高成熟和过成熟海相碳酸盐岩生烃条件评价方法研究[J].中国科学:D辑 地球科学,1996,26(6):537-543.
- [11] 张文正.鄂尔多斯西缘前陆盆地烃源岩生烃潜力评价[R].出版地不详:中国石油长庆油田公司,2004.

(修改回稿日期 2009-02-09 编辑 居维清)