

南华北盆地豫西地区 C—P 烃源岩地球化学特征

吴 伟,王雨涵,曹高社,黄雪峰,刘惟庆

(河南理工大学,河南 焦作 454000)

摘要:针对南华北盆地上古生界油气勘探难题,在油气地质理论的指导下,进行大量踏勘和岩心观察,利用实验室烃源岩有机显微组分鉴定、残余 TOC 测定、热解分析和镜质组反射率测定等方法,对豫西地区 C—P 烃源岩进行了有机地球化学特征分析,以期解决豫西地区煤系地层厚度大但尚无油气藏发现的问题。研究发现:烃源岩类型包括炭质泥岩、生物碎屑灰岩、煤岩和暗色泥岩等烃源岩,分别受控于该区的沉积环境演化,地层从下向上表现为 1 个规模较大的海进—海退旋回,太原组沉积中期为最大海侵时期,对应的烃源岩应为原始条件下最好的烃源岩;烃源岩有机质类型主要以Ⅲ型干酪根为主,生烃潜力极低,远低于良好烃源岩标准,依据残余有机指标评价为差烃源岩或非烃源岩;烃源岩生烃潜力低且倒挂的现象主要由过高热演化程度、大量断裂发育以及不同岩性的 CH₄ 吸附能力差异导致。对于整个豫西地区油气勘探而言,保存条件极好或者受区域热事件影响较低的地区可能为潜在的有利区。

关键词:热演化程度;烃源岩评价;豫西地区;南华北盆地

中图分类号:TE122.1⁺13

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2015)01-0128-09

引用格式:Wu Wei, Wang Yuhuan, Cao Gaoshe, *et al.* The geochemical characteristics of the carboniferous and permian source rocks in the western Henan, the southern North China Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(1): 128-136. [吴伟, 王雨涵, 曹高社, 等. 南华北盆地豫西地区 C—P 烃源岩地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(1): 128-136.]

0 引言

南华北盆地位于中原和两淮地区,属于华北板块南部及其边缘^[1],可划分为 5 个二级构造单元,即开封坳陷、太康—宿县隆起、周口—泗县坳陷、徐蚌隆起和信阳—合肥坳陷。关于南华北盆地烃源岩的发育特征,大量学者根据不同资料,从烃源岩的有机质类型、演化程度等多种角度做了较详细的研究。南华北盆地发育下古生界、上古生界、中生界和新生界 4 套烃源岩系,其中上古生界 C—P 煤系地层是南华北盆地的主要烃源岩^[2-6]。研究区上古生界烃源岩主要包括海陆过渡相煤系暗色泥岩、煤岩和炭质泥岩, C—P 烃源岩以山西组和太原组为主,其次是本溪组,有机质类型以Ⅲ型为主,发育少量Ⅱ₂型^[3-7]。受多期次差

异性构造运动改造影响,烃源岩热演化程度极不均一,平面上 R_o 值总体呈南低北高、西高东低的特征^[8-13]。南华北盆地油气勘探工作始于 20 世纪 50 年代,工作重点从前期的陆相中生界、新生界,到后期的石炭系—二叠系,勘探目标层范围不断扩大。石炭系—二叠系在整个华北盆地广泛发育,烃源岩沉积厚度比北部渤海湾盆地沉积厚度更大,范围更广,具有重要的石油勘探开发意义^[5,14]。但是,针对豫西地区石炭系—二叠系实际投入的勘探工作量明显不足,导致有丰富油气显示的豫西地区尚无实质性的油气突破。为此,本文在全面分析南华北盆地豫西地区钻井资料以及烃源岩地球化学参数的基础上,对其 C—P 烃源岩进行系统评价。

豫西地区位于南华北盆地西缘,东起京广铁路

收稿日期:2014-03-01;修回日期:2014-07-23.

基金项目:国家自然科学基金(编号:41102059);油气资源与探测国家重点实验室(编号:PRP/open-1109);河南省教育厅自然科学基金(编号:12B170005)联合资助。

作者简介:吴伟(1979-),男,河南温县人,副教授,博士,主要从事沉积盆地分析与油气勘探研究. E-mail:wei@hpu.edu.cn.

线,西至三门峡,南至平顶山,北至黄河,豫西隆起带发育多个中小型中、新生代拉分走滑盆地,主要有济源凹陷、洛阳凹陷、伊川凹陷等^[4-5,12,15-16]。研究区上古生界中煤岩、炭质泥岩、暗色泥岩及生物碎屑灰岩等富有机质岩石分布十分广泛^[2],但是前期勘探效果较差,一直未钻遇工业性油气流。为什么在富有机质烃源岩极其丰富的条件下,油气勘探成果却如此糟糕?形成这种状况的原因有哪些?本文研究拟利用岩心、野外地层观察以及有机地球化学等手段,对豫西地区上古生界小型拉分盆地进行解剖,进而归纳油气勘探成效差的根本原因,为进一步油气勘探指明方向。

1 豫西地区 C—P 沉积特征

1.1 沉积时期区域构造背景

华北地台区自早奥陶世末期隆升、海退形成古陆,整个华北地区在志留纪、泥盆纪以及石炭纪早—中期处于隆升剥蚀状态,中石炭世时期华北地区重新下降接受沉积,经历了 130Ma 的沉积间断。中石炭世南华北盆地的古地形整体上自南向北倾斜,而晚石炭世北方西伯利亚—蒙古板块与华北板块在阴山带北缘对接俯冲,导致古地形则变为北高南低,古斜坡转为向南倾斜,宽缓的海底地形上形成了多套碳酸盐岩—砂泥岩互层。早二叠世早期山西期,构造十分稳定并发生缓慢海退,形成了以煤层—炭质泥页岩为特征的海陆过渡相沉积。之后西伯利亚—蒙古板块向南俯冲加剧,北部物源区隆升幅度增加并提供大量物源,河流携带的陆源碎屑不断向南进积,致使沉积中心不断向南迁移^[13]。南华北盆地晚古生代沉积属于被动大陆边缘沉积性质,当时与大别山地体之间有陆表海相隔,直到晚古生代末才发生对接拼合^[13]。这种稳定的海相地台型沉积中发育了以生物碎屑灰岩、煤岩、炭质泥岩和暗色泥岩为特征的多套烃源岩。而这种稳定的海相地台型沉积延续到晚古生代晚期,之后逐渐过渡为中生代的陆相断陷—坳陷型沉积,局部存在走滑构造单元^[7,12]。大量研究普遍认为各套地层的煤岩、炭质泥岩和煤系泥岩是研究区最重要的烃源岩,太原组灰岩也是一种重要的烃源岩^[6]。

1.2 C—P 时期沉积特征

豫西地区与整个南华北盆地相似,上古生界主要发育了本溪组、太原组、山西组、下石盒子组和上石盒子组等地层,这些地层中包含障壁海岸、海陆过渡三角洲和陆相湖泊等环境的沉积记录。

本溪组从下向上发育了铝土矿、富铁质泥岩、炭质泥岩 3 层:底部富含铝土矿的泥岩中 Al_2O_3 含量很高,济源凹陷钻井取心主要表现为灰色泥岩,富集分散状的黄铁矿,而豫西洛阳凹陷野外露头可见本溪组底部为灰绿色泥岩或红色泥岩,局部富含豆状铝土结核,结核为灰白色,结核直径为 1~8mm (图 1),其铝土含量非常高;中部地层铁质明显增高,地表露头以红色为主基调,铝土含量相对下部降低,不再发育豆状铝土结核,局部地区可以达到铁矿石标准,钻井取心的颜色为深灰色,可见大量脉状黄铁矿;上部地层中黏土矿物含量明显增高,有机质含量增加,但野外露头仍表现为灰绿色或黄绿色,而钻井取心为深黑色炭质泥岩或黑色泥岩,炭屑含量较高。本溪组沉积为晚古生代初次海侵背景下,在碳酸盐岩溶蚀地表形成的窝状沉积,不同地区厚度差异较大,中下部地层沉积物以风化程度较高的氧化物为主,下部成层性差,为静水条件的潟湖絮状沉积结果,溶蚀地貌被填平补齐后,向上成层性逐渐变好,厚度差异变小,沉积环境由潟湖逐渐向低能潮坪环境转变,形成了薄层炭质泥岩。

太原组地层中包括碳酸盐岩台地沉积和障壁—潟湖沉积,在岩性上表现为碳酸盐岩和砂泥岩互层,不同地区灰岩层数差别较大,豫西地区可见的灰岩层数不多,济源凹陷钻井显示顶、底 2 套主要的灰岩层,而洛阳凹陷野外观察中发现局部可见 4~5 套灰岩。灰岩以黑色、深灰色为主,富含有机质,其中可见大量生物碎屑,包括蛭类、海百合、腹足类等遗体化石,局部层位可见大量的 Zoophycos 遗迹化石;局部地区灰岩层往往与燧石条带伴生,在焦作北、禹县等地区均发现大量的燧石条带与灰岩互层伴生,关于燧石条带存在风暴沉积和火山灰蚀变成因的争论。灰岩之间存在厚层砂泥岩沉积,在洛阳凹陷、济源凹陷野外观察中均发现厚层砂泥互层沉积,泥岩主要以黑色、深灰色炭质泥岩与暗色泥岩为主,植物碎屑和炭屑含量高,中间夹有煤线或薄层煤岩,洛阳凹陷野外常见太原组煤线,在济源凹陷钻井取岩心中也发现厚层的节理发育的块状亮煤;泥岩间夹薄层灰绿色砂岩,其间常见平行层理和小型交错层理,前人将其命名为胡氏砂岩。砂泥岩及煤岩总体上属于障壁—潟湖沉积。

山西组在豫西地区表现为典型的 4 段特征,由底向上主要为煤岩段、大占砂岩段、香炭砂岩段和小紫泥岩段。山西组底部 2₁ 煤是整个南华北盆地分布连续稳定的煤层,也是附近煤矿的主采煤段,济源

凹陷钻取的岩心表现为粉煤,属于潮上段沼泽沉积。煤层之上发育厚层粗粒石英砂岩,白云母碎片沿层十分发育,这是大占砂岩的主要特征,具有槽状交错层理,代表了物源供给突然增加后典型的三角洲平原—三角洲前缘的下切水道特征;其上为香炭砂岩段,发育灰绿色粉细砂岩,为短期海侵条件下三角洲退积形成的三角洲前缘。顶部为小紫泥岩段,在野外常见紫色斑状泥岩,然而在钻井取心中主要表现为黑色和深灰色泥岩,顶端局部可见灰绿色泥岩,其

间发育豆状菱铁矿结核。

下石盒子组底部由多套三角洲平原—三角洲前缘砂岩夹炭质泥岩组成,最底部的砂体中富含细粒石英砾,炭质泥岩夹层中常见煤线。上石盒子组上部为厚层泥岩段,野外露头中表现为“大紫”特征,而钻井岩心表现为含分割散状黄铁矿的深灰色泥岩。上石盒子组底部为富含泥砾的粗砂岩,主要为水道沉积,该组上部为砂泥岩互层,砂泥厚度相当,泥岩主要为炭质泥岩,其间常见煤线或煤层。



图1 豫西地区 C—P 烃源岩取心及野外照片

Fig. 1 The cores and field photos of C-P source rocks in western Henan

(a) 本溪组铝土质泥岩(钻井取心),富含黄铁矿;(b) 本溪组铝土结核(野外),围岩富含铁质;(c) 太原组生物碎屑灰岩,富含较大的蜆、海百合、腹足类化石;(d) 太原组生物碎屑灰岩,化石含量少且个体较小;(e) 太原组炭质泥岩,裂隙发育,裂隙中充填脉状黄铁矿;(f) 太原组灰岩与燧石条带互层(野外);(g) 山西组粉煤,厚度较大;(h) 山西组顶部灰绿色泥岩,富含菱铁矿结核;(i) 山西组炭质泥岩,裂隙发育

综上,豫西地区 C—P 地层从下向上存在 1 个较大的海进—海退旋回:从本溪组到太原组为主要海进期,豫西地区由初始海侵的分割潟湖向最大海侵时期的浅海台地转变,而太原组沉积中期达到最大海侵时期;太原组沉积晚期到上石盒子组沉积时期为整体持续水退阶段,沉积环境从浅海台地相潮坪向三角洲相甚至湖相转变。

2 C—P 烃源岩地球化学特征

地球化学分析是目前评价烃源岩好坏的最有效方法。本文研究以野外剖面、钻井取心观察为基础,对豫西济源凹陷钻井取心中的烃源岩进行系统取样

分析,从本溪组到上、下石盒子组该井共取样 55 件进行地球化学分析,分析测试内容包括有机显微组分观察与识别、残余总有机碳 TOC 测定、岩石热解分析和镜质组反射率 R_o 测定,其中石炭系本溪组样品 1 件、二叠系太原组 13 件、山西组 18 件、下石盒子组 23 件(表 1)。岩性主要为暗色泥岩、炭质页岩、煤岩、灰岩等。实验取得的地球化学数据(包括有机显微组分、TOC、 R_o 、 T_{max} 、 $S_1 + S_2$ 等)客观反映了豫西地区的烃源岩条件。

2.1 有机显微组分特征

有机显微组分观察过程中识别出了大量惰质体、菌孢体、角质体、孢粉体、结构镜质体、无结构镜质体、

腐泥无定形和腐植无定型等类型(图 2)。有机显微组分中,无结构镜质体、结构镜质体为主的镜质组含量最高,其次是以菌孢体、角质体、孢粉体等为主的壳质组含量,惰质组和腐泥组总体含量极低(图 3)。

表 1 南华北盆地豫西地区石炭系—二叠系烃源岩主要有机地球化学参数
Table 1 Geochemical parameters of the Carbonic-Permian source rocks from the western Henan of the southern North China Basin

层位	TOC/%	R _O /%	(S ₁ + S ₂)/(mg/g)	T _{max} /℃	腐泥组/%	壳质组 /%	镜质组/%	惰质组/%	类型指数	I _H
本溪组	0.65(1)	—	0.19(1)	517(1)	—	13.7(1)	84.3(1)	1.96(1)	—58.33(1)	—
太原组	1.54~60.9	4.64~4.66	0.07~0.21	416~544	0.31~1.25	2.2~25	73.2~95.2	0.62~3.47	-72.9~-43.4	0.2~20
	9.4(13)	4.65(4)	0.07(13)	435(13)	0.84(3)	15.6(4)	81.8(4)	1.97(4)	-54.9(4)	4.6(13)
山西组	0.06~67.6	4.29~4.6	0.03~0.46	376~545	0.31(1)	1.6~21.8	74.2~95.4	0.61~3.68	-73.7~-48.2	0.4~36.4
	8.9(18)	4.45(4)	0.09(18)	475(18)		10.9(4)	86.7(4)	2.33(4)	-61.9(4)	13.4(18)
下、上石	0.07~3.45	4.09~4.43	0.02~0.09	473~490	0.3~0.63	12.1~23.1	86.7~88.9	0.31~0.91	-62.1~-45.2	1.5~25
盒子组	0.55(23)	4.27(4)	0.05(23)	481(23)	0.47(2)	15.9(4)	83.3(4)	0.62(4)	-55(4)	9.9(23)

注:上面一行数据为范围值;括号外为平均值;括号内为样品数

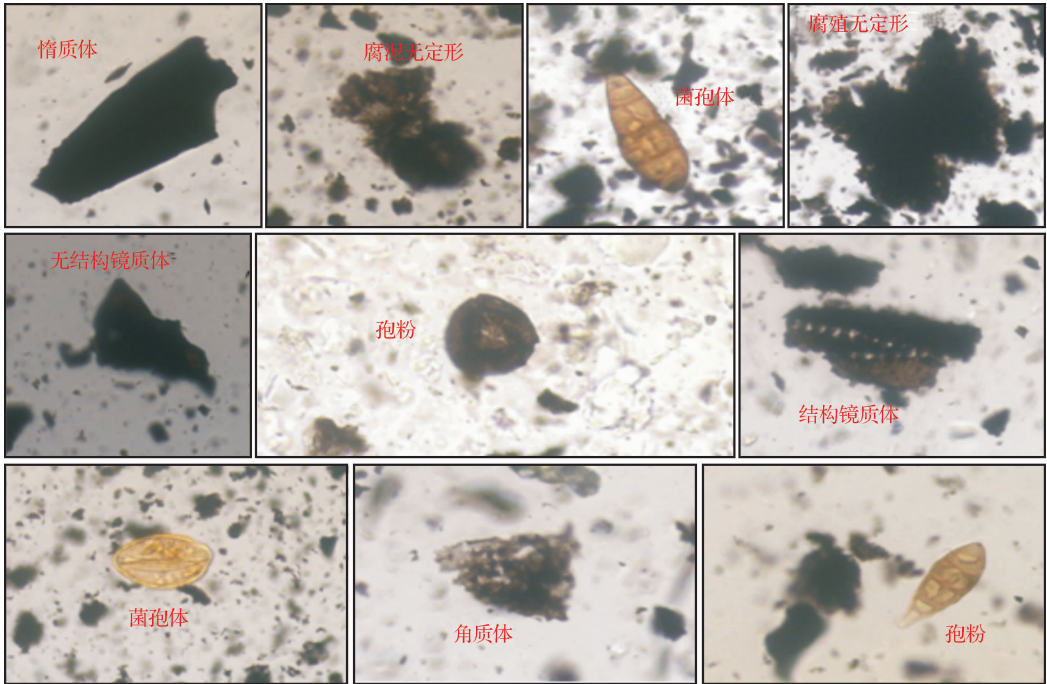


图 2 烃源岩中的有机显微组分
Fig. 2 The organic maceral feature of hydrocarbon source rock

上古生界太原组、山西组、下石盒子组样品对比发现(图 3,图 4),总体上腐泥组含量普遍极低。除太原组个别样品超过 1%,其他样品含量均介于 0.3~0.65%之间。壳质组含量差异较大。太原组样品总的壳质组一般高于 10%,最高值接近 40%,其中灰岩含量段普遍高,3 个生屑灰岩样品壳质组均超过 25%,且孢粉体、角质体在太原组灰岩段相对富集;而山西组煤岩段仅为 1.63%,泥岩段介于 7%~40%之间;下石盒子组暗色泥岩均大于 10%。样品镜质组含量很高,最小为 62%,其他样品含量均超过 70%,介于 70~95%之间。其中,山西组煤

岩段无结构镜质体数量很高,达到 91%,结构镜质体含量相对较低,为 5%;山西组顶部泥岩段、下石盒子组与上石盒子组的镜质组含量也非常高,分别为 75%和 83%,但主要由结构镜质体组成。然而,太原组灰岩段镜质组含量普遍较低,为 70%左右。惰质组总体含量很低,介于 0.3%~4%之间,太原组中部和山西组中下部含量相对较高,介于 1.2%~3.5%之间。

结合有机质类型与沉积环境可以发现:从台地环境到潟湖、潮坪及相关沼泽环境,壳质组和腐泥组依次降低,而镜质组和惰质组依次增高。

2.2 有机质类型

本文研究利用显微组分相对含量、综合类型指数、 I_H-T_{max} 图版、 I_H —I 类型指数图版等方法对烃源岩的有机质类型进行界定。

显微组分相对含量是最简捷的判定方法之一，据蒋有录等^[17]界定的干酪根镜下鉴定分类标准进行有机质类型划分：典型井中的 14 个样品中 11 个样品的镜质组含量远超 75%，为Ⅲ型干酪根；而太

原组的 3 个生物碎屑灰岩样品的镜质组含量稍低于或接近 75%，为Ⅱ₂ 型干酪根。而以显微组分类型指数定量评价的结果有一定差异。不同岩性、层位的样品，类型指数均小于界限值 -40，普遍属于Ⅲ型干酪根。例如典型井不同层位和岩性的 4 个样品类型指数分别为 -43.36、-59.55、-73.7、-45.16，其中山西组最小，而上石盒子组和太原组相对较高，但都属于Ⅲ型干酪根^[17]。

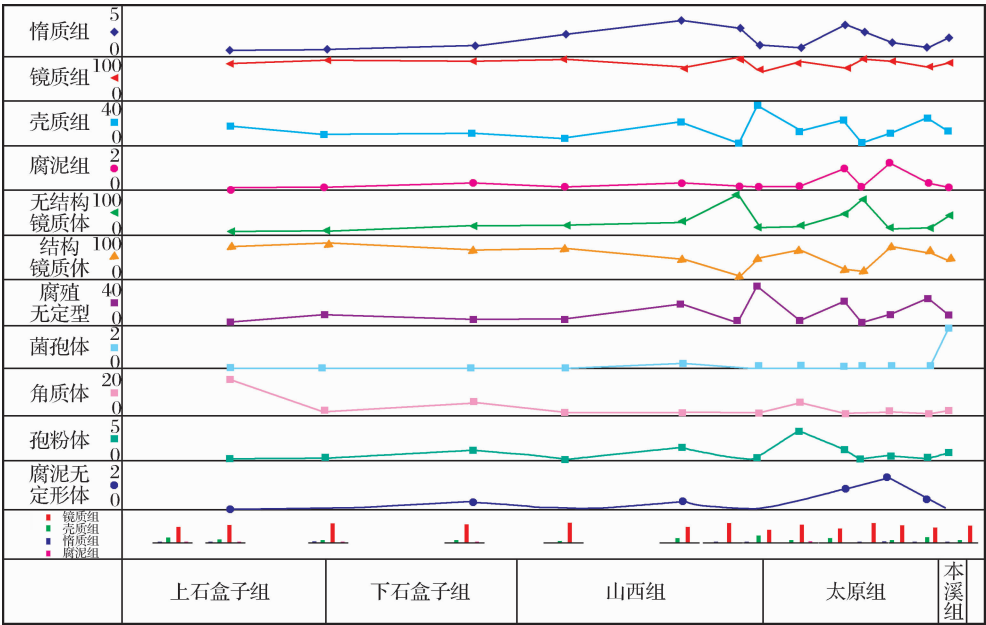


图 3 典型井显微组分含量
Fig. 3 Maceral content of the typical well

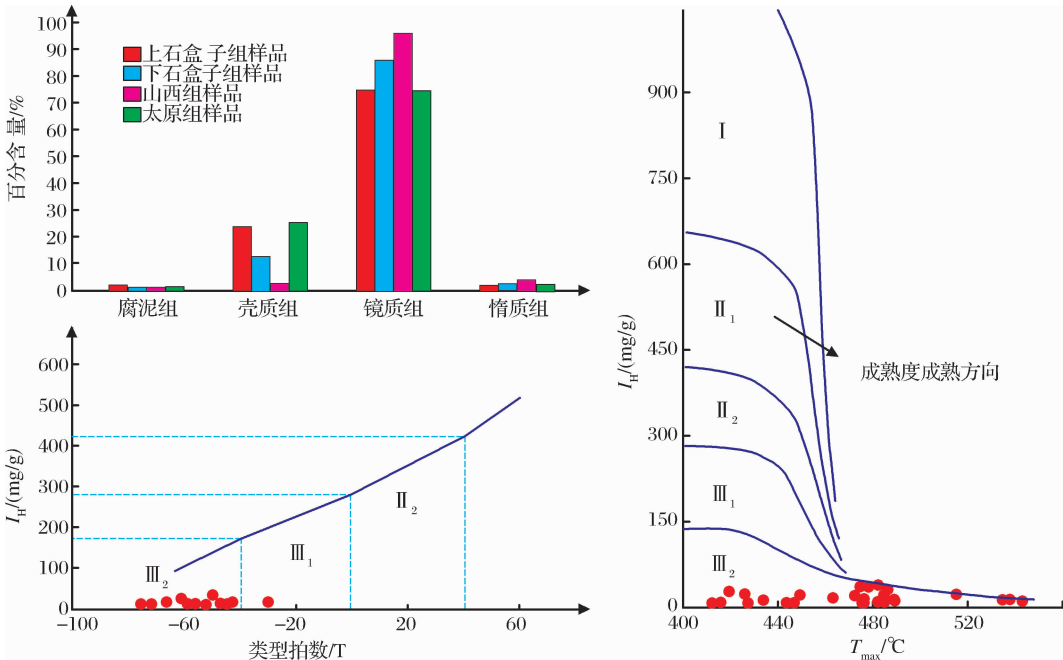


图 4 典型井 C—P 烃源岩干酪根类型
Fig. 4 The kerogen type of the C-P hydrocarbon source rock of the typical well

$$\text{类型指数}(T) = \frac{\text{腐泥组含量} \times 100 + \text{壳质组含量} \times 50 - \text{镜质组含量} \times 75 - \text{惰质组含量} \times 100}{100}^{[17]}$$

利用 $I_H - T_{\max}$ 和 $I_H - T$ 等经验图版,可看出所取的样品具有 T_{\max} 值大而 I_H 值、 T 值低的特点, T_{\max} 值一般大于 440°C 而 I_H 值一般情况下小于 $50\text{mg/g}_{\text{TOC}}$,该区域有机质类型具有单一性,2 种图版均显示干酪根类型主要为 III_2 型。

尽管几种方法显示的干酪根类型有少许差异,总体上反映了豫西地区 C—P 烃源岩主要为腐殖型干酪根,符合煤系烃源岩的主要特点。

2.3 有机质丰度与生烃潜力

有机质丰度和生烃潜力能够反映出烃源岩内的有机质多少,显示出烃源岩的潜在生烃能力。目前多口探井多层位的相关测试显示:泥岩、灰岩、煤等 C—P 烃源岩的残余 TOC 较高(表 1),本溪组样品测试较少,其顶部的炭质泥岩 TOC 含量为 0.65% ;太原组烃源岩 TOC 含量范围为 $0.15\% \sim 60.9\%$,

其中煤岩 TOC 含量高达 60.9% ,生物碎屑灰岩、泥岩 TOC 含量较高,最高可达 4.57% ;山西组烃源岩中煤岩 TOC 含量高约 67.6% 左右,泥质烃源岩 TOC 含量介于 $0.06\% \sim 6\%$ 之间;下石盒子组烃源岩以泥岩为主,TOC 含量介于 $0.07\% \sim 3.45\%$ 之间。统计所有的烃源岩样品可以发现:有机碳含量在 $0 \sim 1\%$ 之间所占的百分比最高达到了 65% 以上,其次在 $1\% \sim 2\%$ 之间达到 15% 以上,在 $2\% \sim 3\%$ 之间小于 10% 。

以上数据说明在取样区域 90% 左右的 C—P 烃源岩残留有机碳含量未达到一般烃源岩标准(图 5)。尽管总体 TOC 条件差,依据周丽^[18]所界定的南华北盆地上古生界碳酸盐岩与煤系烃源岩评价标准,认为豫西地区的局部层位多个 C—P 烃源岩样品仍可以达到良好烃源岩的标准。

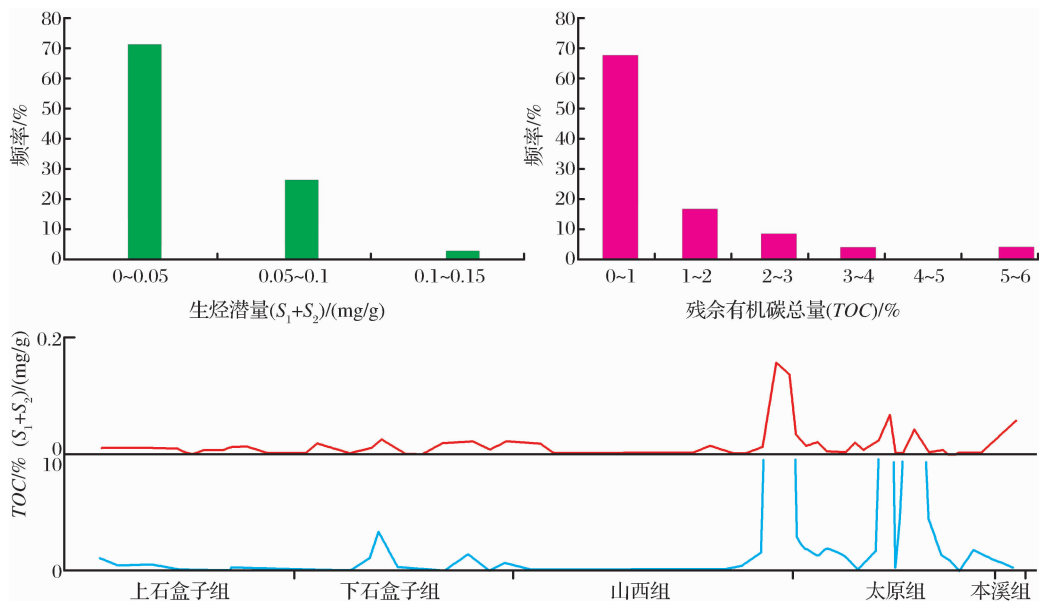


图 5 烃源岩有机质丰度地球化学指标

Fig. 5 Geochemistry index of organic matter abundance of hydrocarbon source rock

尽管残余 TOC 反映出 C—P 烃源岩有机质丰度较高,而生烃潜力则显示烃源岩没有生烃价值:C—P 烃源岩所有样品中, $S_1 + S_2$ 最大值为 0.46mg/g ,而且仅有山西组的煤岩和太原组的煤线样品 $S_1 + S_2$ 超过 0.2mg/g ,分别为 0.46mg/g 和 0.21mg/g ,其余泥质烃源岩和碳酸盐岩烃源岩中的生烃潜力均低于 0.15mg/g ,而且 70% 的样品集中在 0.05mg/g 以下, $0.05 \sim 0.1\text{mg/g}$ 之间也占了 27% (图 5)。仅从残余生烃潜力来看,豫西地区的 C—P 烃源岩均未达到中

等烃源岩标准。

综合考虑残余 TOC 和残余生烃潜力,C—P 烃源岩样品基本属于差烃源岩和非烃源岩范畴,很少可评价为中等烃源岩以上。

2.4 有机质成熟度

豫西地区 C—P 烃源岩的热演化程度非常高,岩石热解参数 T_{\max} 值均很高,大约 80% 在 450°C 以上(图 6),区域性的高热演化程度。利用偏光显微镜和分光光度计观察, R_o 值全部大于 3.0% ,主要

集中在 4%~5% 之间,频率在 87% 左右(图 6),反映出该区域的有机质热演化程度非常高。考虑区域内的沉积埋藏史^[19-20]和地温梯度^[9-10,21]对比,这么高的热演化程度已经完全超出了简单埋藏作用的能力,后期应该存在较大规模热事件参与。

3 讨论

3.1 C—P 烃源岩的沉积环境

豫西地区烃源岩岩性种类繁多,不同岩性的发育受沉积古地理环境控制:本溪组沉积晚期,初次海泛与溶蚀地貌地形特征尚存条件下,静水潟湖环境下形成了薄层的炭质泥岩;太原组沉积时期,由于海平面的频繁升降,碳酸盐岩台地与潮坪相间隔出现,形成了以生物碎屑灰岩和炭质泥岩(夹煤岩)互层的烃源岩系统;山西组沉积时期,低位潮坪相与沼泽相共存形成了区域稳定分布的煤岩,后期在海平面上升与物源供给增加的条件形成了底部砂岩段、顶

部泥岩段的地层序列,顶部泥岩段主要为前三三角洲沉积;上、下石盒子组沉积时期,物源大规模增加条件下形成相对海退,研究区形成以三角洲前缘和三角洲平原为主的沉积环境,发育大规模砂泥岩组合,泥岩往往富含有机质,其中常见煤线或煤岩。总的来说,豫西上古生界中发育了潟湖、碳酸盐岩台地、潮坪、滨岸沼泽、前三三角洲和三角洲平原沼泽等沉积类型的烃源岩,其岩性上表现为炭质泥岩、生物碎屑灰岩、煤岩和暗色泥岩等。

而从沉积旋回上分析,C—P 沉积时期为一大规模的海进—海退旋回,太原组中期达到最大海进时期,而此时沉积物以灰岩为主,其显微组分的最大特点为壳质组比重较高,达到 25% 左右;后期持续海退,沉积物向潮坪环境的泥炭沉积和海陆交替的三角洲环境转变,该段烃源岩的有机显微组分特征表现为镜质组升高、壳质组降低。理论上,最大海进期及其临近地层是最有利的 C—P 烃源岩层。

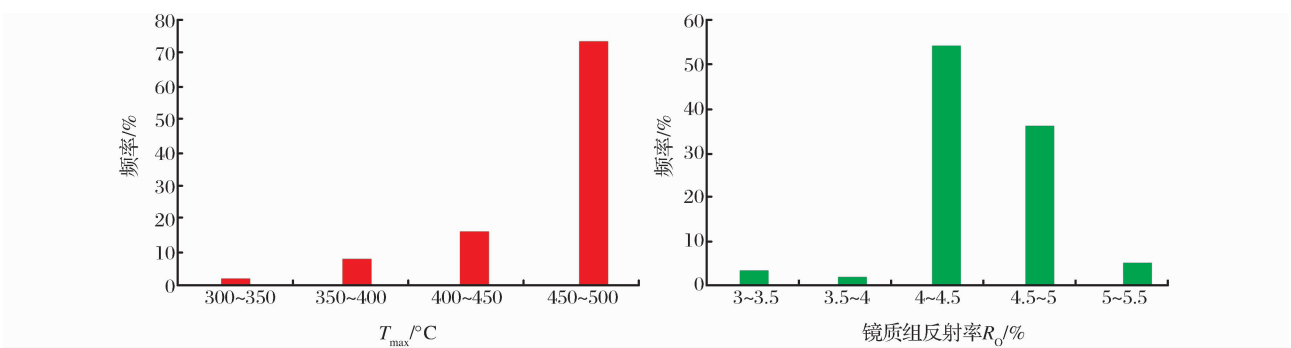


图 6 烃源岩热演化程度指标 (T_{max} 和 R_o)

Fig. 6 Thermal evolution degree index of hydrocarbon source rock (T_{max} and R_o)

3.2 C—P 烃源岩高热演化程度与低生烃潜力

豫西地区 C—P 烃源岩诸多样品的共性主要表现为热演化程度高、均属于Ⅲ型腐殖型有机质,其有机显微组分特征均表现为镜质组含量最高、壳质组含量较高。然而,有机显微组分的相对含量差异具有明显的环境意义和烃源岩质量指示意义,太原组壳质组相对较高的特征与海进—海退旋回中的最大海进期比较吻合,理论上属于较好的烃源岩类型;然而太原组灰岩的生烃潜量却远远低于临近地层的煤岩层。通过样品测试数据(表 1)可以看出,煤岩中的生烃潜量($S_1 + S_2$)也远高于其他岩性的烃源岩,包括暗色泥岩和炭质泥岩。这种现象与我们常见的烃源岩特征正好相反,然而这也正是解开豫西地区油气勘探程度低的一把钥匙。煤岩中的生烃潜能主要集中在 S_1 上,其 S_1 值远大于其他烃源岩,而 S_2

值也比较低。这说明煤岩仅以其超强的吸附能力保存了大量的 CH_4 气体,而其他类型的烃源岩尽管比煤岩含 H 元素多,但是其吸附能力却远远低于煤岩,生成的烃类物质绝大部分逸散出去。

形成这种现象另外还有 2 种决定性因素。其一是过高的成熟度,这种过高成熟度并非由埋藏得到,从周边埋深与剥蚀情况来看,仅仅在埋深条件下烃源岩最多只能进入中等成熟阶段。而这种过高成熟度是由大规模的热事件引起,秦勇等^[8]认为晚中生代豫西地区热流值可以达到 $200mV/m^2$ 左右,事实上的大地热流可能还要远高于这一数字。过高的地温促使豫西地区各类 C—P 烃源岩快速达到过高成熟阶段,并生成终极产物 CH_4 ,而过高的热作用使豫西大部分地区干酪根充分反应成烃,没有后期二次生烃的物质条件。其二是大量断裂的产生,豫西

地区野外剖面 and 钻井的 C—P 地层中发育了大量的裂隙和断层,密度非常大。这些断裂中有生烃作用产生的不规则裂隙,更多的是后期构造作用形成的规则破裂。无论成因如何,这些断裂促使形成的烃类大量逸散,形成了目前可见的烃源岩生烃潜量低的状态。

豫西地区烃源岩过高成熟代表了该区剥蚀区油气勘探潜力很低,进一步的油气勘探需在保存条件极好或者受区域热事件影响较低的地区展开。

4 结论

(1) 豫西地区 C—P 烃源岩类型包括炭质泥岩、生物碎屑灰岩、煤岩、暗色泥岩等烃源岩,分别受控于该区的沉积环境演化,从本溪组到上石盒子组沉积时期,适宜发育烃源岩的沉积环境包括了潟湖、碳酸盐岩台地、潮坪、滨岸沼泽、前三三角洲和三角洲平原沼泽等相。豫西地区 C—P 地层从下向上存在 1 个较大的海进—海退旋回,太原组沉积中期为最大海侵时期,与该期对应的烃源岩应为原始条件下最好的烃源岩。

(2) 豫西地区 C—P 烃源岩有机质类型主要以Ⅲ型干酪根为主,生烃潜量极低,指标严重低于良好烃源岩,从残余有机指标上可评价为差烃源岩或非烃源岩。

(3) 研究区 C—P 烃源岩生烃潜量低且倒挂的现象主要由过高热演化程度、大量断裂发育以及不同岩性的 CH_4 吸附能力差异导致。因而,对于整个豫西地区而言,构造活动区天然气已经逸散,保存条件极好或者受区域热事件影响较低的地区可能为潜在的有利勘探区。

参考文献(References):

- [1] Yu Hezhong, Lv Fuliang, Guo Qingxin, *et al.* Proto-sediment basin types and tectonic evolution in the southern edge of north China Plate[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(2): 111-117. [余和中和, 吕福亮, 郭庆新, 等. 华北板块南缘原型沉积盆地类型与构造演化[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(2): 111-117.]
- [2] Xu Hanlin, Zhao Zongju, Lv Fuliang, *et al.* Tectonic evolution of the Nanhua area and analysis about its petroleum potential[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28(4): 450-463. [徐汉林, 赵宗举, 吕福亮, 等. 南华北地区的构造演化与含油气性[J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(4): 450-463.]
- [3] Lin Xiaoyun, Chen Qianlan, Li Jing. Distribution and geochemical characteristics of permian source rocks in the Southern North China[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2011, 27(4): 21-26. [林小云, 陈倩岚, 李静. 南华北地区二叠系烃源岩分布及地球化学特征[J]. *海洋地质前沿*, 2011, 27(4): 21-26.]
- [4] Xu Hongjie, Huang Zeguang. The Meso-Cenozoic basinal evolution and hydrocarbon accumulation in the middle and southern part of Southern North China[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(6): 541-544. [徐宏节, 黄泽光. 南华北中南部中生代盆地演化与油气成藏分析[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(6): 541-544.]
- [5] Chen Xinjun, Hu Zongquan, Li Shujun. Later hydrocarbon generation potential of Upper Paleozoic source rock in Southern North China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(4): 610-617. [陈新军, 胡宗全, 李淑娟. 华北南部地区上古生界晚期生烃潜力研究[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(4): 610-617.]
- [6] Tenger, Gao Changlin, Hu Kai, *et al.* High quality source rocks of Lower Combination in the Northern Upper-Yangtze area and their hydrocarbon potential[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(2): 254-259. [腾格尔, 高长林, 胡凯, 等. 上扬子北缘下组合优质烃源岩分布及生烃潜力评价[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(2): 254-259.]
- [7] Zhai Changbo, Huang Zeguang, Lin Liangbiao. Structure and petroleum analysis of the Tanzhuang-Shenqiu Sag in the south of North China Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(4): 353-359. [翟常博, 黄泽光, 林良彪. 南华北盆地中部凹陷结构分析及油气意义[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(4): 353-359.]
- [8] Qin Yong, Jin Fali, Quan Biao, *et al.* Characteristics and mechanism of the Late Mesozoic palaeogeothermal field in Jiaozuo-Jiyuan, Henan, China[J]. *Coal Geology & Exploration*, 1993, 21(3): 16-22. [秦勇, 金法礼, 权彪, 等. 焦作—济源地区晚中生代古地热场特征及成因[J]. *煤田地质与勘探*, 1993, 21(3): 16-22.]
- [9] Zhao Junfeng, Liu Chiyang, Liu Yongtao, *et al.* Reconstruction of thermal evolutionary history of the Upper Paleozoic in the Southern North China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(1): 64-74. [赵俊峰, 刘池洋, 刘永涛, 等. 南华北地区上古生界热演化史恢复[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(1): 64-74.]
- [10] Cheng Zhe, Xu Xuhui, Wang Rongxin, *et al.* Reasons for abnormal thermal evolution of source rocks in Upper Paleozoic, Southern North China[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(2): 142-147. [程喆, 徐旭辉, 王荣新, 等. 南华北地区上古生界烃源岩异常热演化因素探讨[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(2): 142-147.]
- [11] Diao Yujie, Wei Jiuchuan, Li Zengxue, *et al.* Late Carboniferous-Early Permian sequence stratigraphy and palaeogeography in the Southern North China Basin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2011, 35(1): 88-94. [刁玉杰, 魏久传, 李增学, 等. 南华北盆地晚石炭世—早二叠世层序地层学及古地理研究[J]. *地层学杂志*, 2011, 35(1): 88-94.]
- [12] Liang Jiwei, Xie Dongning, He Mingxi, *et al.* Structural style of the Southern North China Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2006, 28(5): 414-417. [梁积伟, 解东宁, 何明喜, 等. 华北盆地南部构造样式分析[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(5): 414-417.]

- [13] Li Baofang, Li Zhen, Fu Zeming, *et al.* The depositional filling, coal accumulation characteristics and tectonic evolution of the Late Paleozoic epeiric sea in the south of North China[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1989, 14(4): 367-378. [李宝芳, 李祯, 付泽明, 等. 华北南部晚古生代陆表海的沉积充填, 聚煤特征和构造演化[J]. 地球科学, 1989, 14(4): 367-378.]
- [14] Wang Zongli, Luo Qiang, Zhao Feng, *et al.* Favorable pooling conditions of Carboniferous-Permian Formation in Luyi Depression of southern Huabei Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(2): 194-199. [王宗礼, 罗强, 赵锋, 等. 南华北地区鹿邑凹陷石炭—二叠系有利成藏条件分析[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 194-199.]
- [15] Zhang Xiaohao, Zhou Dingwu, Zhao Weibo. Research of tectonics style and oil and gas exploration in the western Henan[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2007, 37(4): 647-652. [张小浩, 周鼎武, 赵伟波. 豫西地区构造样式与油气勘探的探究[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2007, 37(4): 647-652.]
- [16] Wang Guoshou, Pei Hongzhen, Zhou Zhuoming, *et al.* Sedimentary characteristics of middle and Lower Permian Series in the western Henan[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(6): 24-27. [王果寿, 裴红振, 周卓明, 等. 豫西地区中、下二叠统沉积特征[J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 24-27.]
- [17] Jiang Youlu, Cha Ming. Geology and Exploration of Oil and Natural Gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 50-57. [蒋有录, 查明. 石油天然气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 50-57.]
- [18] Zhou Li. Tectonics Sedimentation and Hydrocarbon Source Rocks Evolution of Late Carboniferous-Middle Permian[D]. Xi'an: Northwest University, 2005. [周丽. 南华北盆地晚石炭世—中二叠世构造沉积演化与烃源岩评价[D]. 西安: 西北大学, 2005.]
- [19] Xu Xianghua, Chen Xinjun, Lei Ming, *et al.* Exploration prospects of the Carboniferous and Permian in the Southern North China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(2): 148-153. [徐向华, 陈新军, 雷鸣, 等. 华北南部地区石炭—二叠系勘探前景分析[J]. 石油试验地质, 2011, 33(2): 148-153.]
- [20] Xu Huazheng, Hu Zongquan, Zhou Xinke, *et al.* Lower Paleozoic hydrocarbon-generation history in the mid-south of North China Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1): 31-37. [许化政, 胡宗全, 周新科, 等. 华北盆地中南部下古生界的生烃史[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 31-37.]
- [21] Yan Fatang, Yao Hefa. Recovery of paleo-temperature and thermal evolution history of Jiyuan Depression, the Southern North China Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(5): 28-34. [闫法堂, 姚合法. 南华北盆地济源凹陷古地温及热演化史恢复[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(5): 28-34.]

The Geochemical Characteristics of The Carboniferous and Permian Source Rocks in the Western Henan, the southern North China Basin

WU Wei, WANG Yu-han, CAO Gao-she, HUANG Xue-feng, LIU Wei-qing

(Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: The purpose of the paper is to solve the problem about the hydrocarbon source rock recognition of Western Henan, the southern North China basin. Based on an extensive survey and observation of drilling cores, organic maceral identification, determination of residual TOC, thermal analysis and vitrinite reflectance determination of hydrocarbon source rocks were used in the analysis of organic geochemistry feature of the Carboniferous and Permian source rocks in Western Henan. The study found that source rock, including carbonaceous mudstone, bioclastic limestone, coal, and dark mudstone, were influenced by the evolution of sedimentary environment. The best hydrocarbon source rocks originally should be the bioclastic limestone of Taiyuan Formation which deposited in the maximum transgression of the huge Transgressive-regressive cycles. However, the source rocks with type III organic matter and low hydrocarbon generation potential, mainly should be evaluated as poor source rocks or non-hydrocarbon source rock. The inversion phenomenon of low hydrocarbon generation potential was due to high thermal evolution, large amount of fracture development and the difference of CH₄ adsorption capacity of different lithology. In Western Henan, the area where has excellent preservation conditions and affected by the regional thermal event slightly should be the favorable exploration area.

Key words: The degree of thermal evolution; Evaluation of hydrocarbon source rocks; Western Henan; The southern North China Basin