

昌潍拗陷侯镇凹陷孔二段生烃条件

李丙喜¹,高世臣²,张明星³

(1.中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院,北京 100083; 2.中国地质大学(北京)数理学院
北京 100083; 3.中国石化胜利油田分公司石油开发中心,山东 东营 257000)

摘要:为重新认识侯镇凹陷勘探潜力,对其开展了构造、古地理环境、烃源岩地球化学参数及生烃条件研究。结果表明,侯镇凹陷具有与邻区淮北凹陷相近的构造背景,孔二段沉积时期主要发育扇三角洲、滨浅湖和半深湖3种沉积相。滨浅湖相控制了研究区的大部分区域,扇三角洲相主要发育于研究区的北部和南部边缘,半深湖相主要分布于寿光凸起东部、侯2井南部以及紧邻圩河断层一带,是烃源岩发育的有利相带。孔二段有机质评价为差—中等烃源岩,热演化达到了大量生烃阶段。钻井与地震资料预测结果表明,孔二段暗色泥岩大于100 m的区域面积为530 km²。采用蒙特卡罗法对侯镇凹陷孔二段资源量进行了计算,在风险程度中等即累积概率为50%时,资源量为0.238×10⁸ t。

关键词:生烃条件 有机质特征 生烃量 蒙特卡罗法 孔二段 侯镇凹陷

中图分类号:TE112.115

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2014)02-0080-04

侯镇凹陷构造上位于鲁西隆起区东部边缘、昌潍拗陷西北部,面积约为730 km²。凹陷内主要发育一套以古近系始新统孔店组、沙河街组四段为主的地层;被新近系馆陶组以区域性不整合所覆盖。研究区现有3口探井及0.6 km×1.2 km二维地震资料,侯1、侯2和侯3井均未见油气显示,1995年后该区的勘探工作逐渐停滞。随着淮北凹陷孔二段烃源岩相关油气藏勘探取得成功,对同属昌潍拗陷的侯镇凹陷孔二段烃源岩开展生烃条件研究,对重新认识侯镇凹陷勘探潜力具有重要意义。

1 区域地质特征

1.1 构造特征

侯镇凹陷东邻沂沐断裂带,以圩河断层与淮北凹陷、潍县凸起为界;南部与朱鹿凹陷以断层相接;北部以广南断层、古城—潍河口断层与广饶凸起、昌北凸起为界。从钻井、地震、地质和重力资料来分析,研究区为古近纪早期孔店组沉积时期形成的断陷盆地,与淮北凹陷基本相似,基底为中生界。由于古城—潍河口断层在古近纪活动较强烈,致使凹陷北部与南部沉降速度存在差异,形成了一个区域性北倾的不对称箕状凹陷,现今最大埋深约为3 300 m。

1.2 地层及岩性特征

侯镇凹陷孔店组自下而上分为3段:孔三段为灰紫色、灰色、棕红色泥岩与致密坚硬的灰色凝灰岩不等厚互层,中间夹数层灰黄色质地疏松的泥质胶结粉细砂岩,与下伏中生界为不整合接触;孔二段主要是一套以暗色泥岩为主的深水还原环境沉积,为该区主要潜在烃源岩,地层由北向南减薄趋势明显;孔一段为一套较浅水氧化环境的红色砂泥岩沉积。沙四段为紫红色、棕红色厚层泥岩、砂质泥岩夹少量薄层粉砂岩、泥质粉砂岩,与下伏孔店组为不整合接触。

1.3 古地理特征

侯镇凹陷侯1井泥岩和砾岩均以灰色、深灰色为主,主要表现为较深水沉积特征,邻近研究区西北侧的镇参1井泥岩及砾岩颜色以紫红色为主,表现出沉积水体较浅的特征。结合岩心、测井相、区域构造特征、原型盆地恢复成果及地震属性提取分析获得的砂地比成果对研究区孔二段进行了压实量恢复。从孔二段沉积时期的古地理特征(图1)来看,物源区主要位于侯1井北部及稻田东南部的断层上升盘。原始沉积厚度以侯1井附近最大,达到1 050 m以上,侯3井北部也达到650 m以上,总体具有北厚南薄的特点。侯镇凹陷在孔二段沉积时期主要发育扇三角洲、滨浅湖和半深湖3种沉积相类

型。滨浅湖沉积控制了研究区的大部分区域,是该时期最主要的沉积相。扇三角洲沉积主要发育于研究区的北部和南部边缘,其中古城—潍河口断层、圩河断层控制的扇三角洲沉积规模较大、砂体较发育,寿光凸起南部的扇三角洲沉积厚度较小,但分布面积较大,广南断层东部、研究区西南部的扇三角洲发育规模相对较小。半深湖沉积主要分布于寿光凸起东部、侯2井南部以及紧邻圩河断层一带,是烃源岩发育的有利相带(图1)。

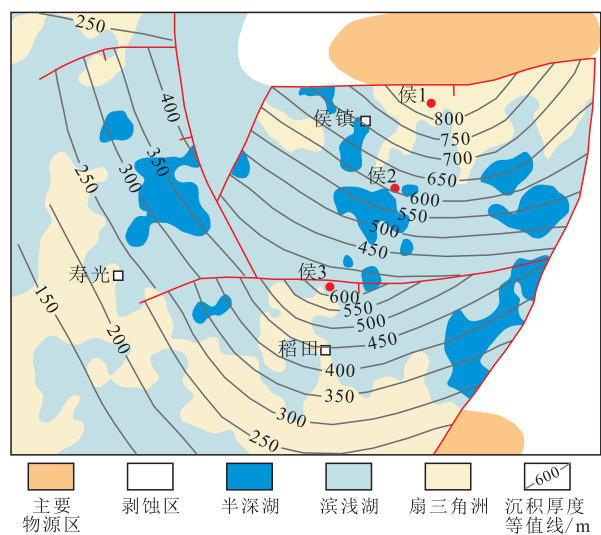


图1 侯镇凹陷孔二段沉积时期古地理特征

2 有机质特征

2.1 有机质类型

有机质类型是表征烃源岩质量的重要指标,是决定有机质生烃潜力和属性的重要因素^[1-2]。采用可溶有机质组成、岩石热解参数及干酪根镜检等指标对研究区烃源岩进行综合分析。根据陆相烃源岩有机质类型划分标准^[3],侯镇凹陷侯1、侯2井孔二段干酪根均为Ⅲ型干酪根。邻区潍北凹陷孔二段在凹陷中心部分发育Ⅰ—Ⅱ型干酪根,其余地区主要发育Ⅲ型干酪根^[4];东营凹陷孔二段干酪根类型主要以Ⅱ₂—Ⅲ型为主;惠民凹陷孔二段主要以Ⅲ型干酪根为主^[5-6]。对比结果表明,侯镇凹陷干酪根类型与邻区差异不大,均以Ⅲ型干酪根为主。

2.2 有机质丰度

有机质丰度是衡量烃源岩生烃潜力的物质基础,常用的烃源岩有机质丰度指标包括有机碳含量(TOC)、氯仿沥青“A”含量、热解生烃潜量(S_1+S_2)等^[7-8]。侯镇凹陷有机质丰度整体较低,其中侯2井部分样品有机质丰度略高。TOC值为0.09%~3.38%,平均为0.65%,主峰为0.58%。氯仿沥青“A”

含量为0.001 9%~0.142%,平均为0.019%,主峰为0.01%。生烃潜量为0.02~0.17 mg/g,平均为0.054 mg/g,主峰为0.04 mg/g。总体上,研究区孔二段烃源岩为差—中等烃源岩。

从侯镇凹陷侯2井孔二段与潍北凹陷孔二段有机质丰度对比(图2)来看,侯2井有机质丰度在同一深度缺少与昌51井和昌3-1井类似的高有机质丰度数据,与潍北凹陷多数井处于同一水平,表明侯镇凹陷孔二段烃源岩具备一定的生烃条件。

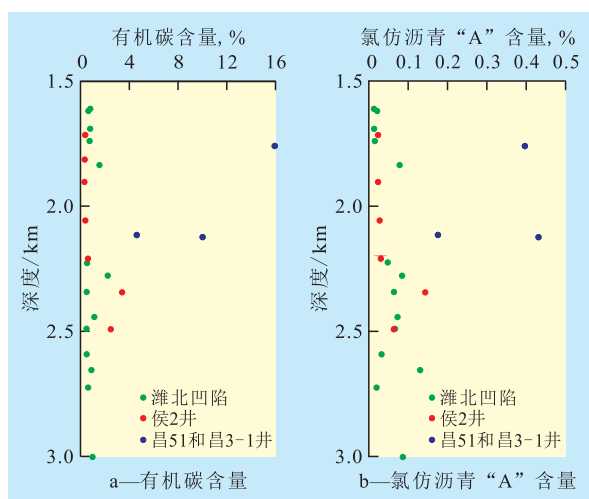


图2 侯2井与潍北凹陷孔二段有机质丰度对比

2.3 有机质成熟度

镜质组反射率 从镜质组反射率(R_o)与深度的关系(图3)来看,潍北凹陷在埋深为1 600 m左右时, R_o 值就可以达到0.5%,烃源岩进入成熟阶段,当埋深达到2 600 m时, R_o 值达到0.85%。从侯镇凹陷实测 R_o 值与潍北凹陷对比来看,在相同深度侯镇凹陷实测值略高,表明2个凹陷孔二段具有相近的热演化条件,均已达到了生烃高峰期。侯镇凹陷孔二段顶面埋深约为1 400~2 400 m,底面埋深约为2 400~4 000 m,孔二段底面 R_o 值在侯3井及其以北

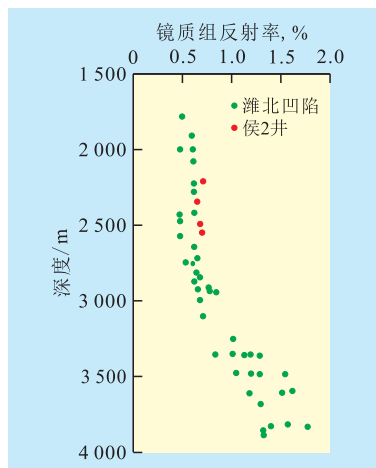


图3 侯2井和潍北凹陷孔二段镜质组反射率与深度的关系

区域大于0.5%,在侯1井以北区域热演化程度最高, R_o 值超过1.2%(图4),表明侯镇凹陷孔二段烃源岩在大部分区域内已达到成熟阶段。

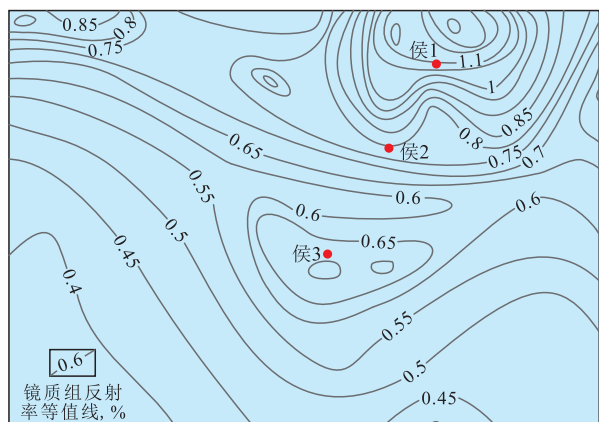


图4 侯镇凹陷孔二段底面镜质组反射率平面分布

生物标记物 反映有机质成熟度的生物标记物参数主要有 T_m/T_s , $\alpha\alpha C_{29}S/(S+R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 等。其中 $\alpha\alpha C_{29}S/(S+R)$ 在小于0.4时处于未成熟—低熟阶段 ($R_o < 0.7\%$), 大于0.4时达到成熟阶段^[1]; $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 的平衡点为0.67~0.71, 相当于 R_o 值为0.9%左右, 进入早期生油阶段 (R_o 值为0.6%) $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值约为0.35^[3]。研究区孔二段 T_s/T_m 值为0.75~1.19, 与邻区相比, 略高于东营凹陷, 略低于淮北凹陷, 表明侯镇凹陷孔二段烃源岩成熟度介于二者之间。侯镇凹陷 $\alpha\alpha C_{29}S/(S+R)$ 值为0.35~0.57, $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为0.38~0.42, 表明侯镇凹陷孔二段烃源岩处于成熟阶段。

总体来看, 侯镇凹陷孔二段烃源岩 R_o 值已超过0.5%, 有机质已达成熟阶段, 具备生烃热演化条件。

3 生烃潜力评价

3.1 烃源岩分布

侯镇凹陷孔二段灰色、深灰色和灰黑色泥岩 TOC 值多大于0.2%, 侯2井部分样品 TOC 值为2%, 达到好烃源岩的标准。因此将录井的灰色泥岩、深灰色泥岩及灰黑色泥岩作为烃源岩进行统计。侯1、侯2和侯3井孔二段暗色泥岩厚度分别为83.2、542.5和38 m。镇参1井孔二段暗色泥岩厚度较薄, 仅为6 m。从单井暗色泥岩厚度统计结果来看, 孔二段沉积时期以侯2井暗色泥岩厚度最大, 且其暗色泥岩与地层比也最大, 表明侯2井可能位于沉积中心或邻近沉积中心。与邻区淮北凹陷对比来看, 侯2井的暗色泥岩厚度及其所占比例较淮北凹陷的昌51和昌参1井更大(表1)。

表1 侯镇凹陷及淮北凹陷烃源岩厚度统计

凹陷	井号	棕红色泥岩		暗色泥岩		灰白色泥岩	
		厚度/ m	所占 比例, %	厚度/ m	所占 比例, %	厚度/ m	所占 比例, %
淮北	昌51	49	12.27	244	61.07	1	0.25
	昌参1	78	13.5	283.4	49.04		
侯镇	侯1	389.4	48.25	83.2	10.31		
	侯2	67.5	8.53	542.5	68.54	1	0.13
	侯3	349.5	55.43	38	6.03	1.5	0.24
	镇参1	210.5	75.99	6	2.17		

将地震解释资料与钻井资料相结合, 进行了烃源岩分布预测。结果(图5)表明, 烃源岩厚度大于100 m 的区域主要分布在侯镇凹陷中部、东部及西北部, 面积约为530 km²。厚度大于350 m 的区域主要有4个, 分别为侯镇区域, 面积为26.5 km²; 侯2井—侯1井南区域, 面积为44.1 km²; 侯2井东区域, 面积为28.1 km²; 侯3井东区域, 面积为9.7 km², 以侯2井—侯1井南区域面积最大。

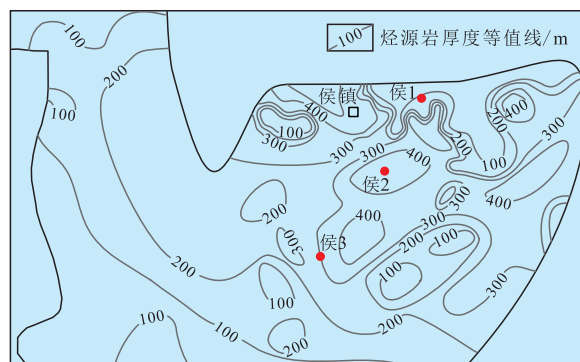


图5 侯镇凹陷孔二段烃源岩厚度等值线分布

3.2 烃源岩生烃量估算

由于研究区勘探程度较低, 地化分析资料较少, 因此在烃源岩分布及热演化研究的基础上, 采用氯仿沥青“A”计算公式^[9]结合蒙特卡罗法^[10]对侯镇凹陷生烃量进行估算。计算公式为

$$Q = SHDA(1 + Ka) \quad (1)$$

$$Q_r = QK \quad (2)$$

式中: Q 为盆地生烃总量, 10^8 t; S 为成熟烃源岩面积, km²; H 为成熟烃源岩厚度, km; D 为烃源岩密度, 10^8 t/km³; A 为氯仿沥青“A”含量; Ka 为排出系数(烃源岩排出量与残留烃量比值), %, 一般取值为10%~25%, 平均为15%; Q_r 为资源量, 10^8 t; K 为运聚系数, %, 一般取值为5%~7%。

用蒙特卡罗法进行资源量计算时, 对地质参数的取值, 除烃源岩密度是常数外, 其他参数都是各参数本身在其参数总体中的一个随机抽样值。烃

源岩面积最小值为400 km²,最大值为600 km²,属于线性分布模型;烃源岩厚度最小值为300 m,最大值为550 m,属于高斯分布模型;烃源岩密度为2.3 g/cm³;氯仿沥青“A”含量最小值为0.019%,最大值为0.089%,属于指数分布模型;排出系数最小值为15%,最大值为25%,属于高斯分布模型;运聚系数最小值为5%,最大值为7%,属于高斯分布模型。

根据以上参数,采用蒙特卡罗法对侯镇凹陷生烃量与资源量进行了计算。采用概率分布表征计算结果,累积概率为0时风险最小,累积概率为100%时风险最大。结果(图6)表明,在累积概率为5%时,生烃量为2×10⁸ t,资源量为0.122×10⁸ t;在累积概率为50%时,生烃量为3.95×10⁸ t,资源量为0.238×10⁸ t;在累积概率为95%时,生烃量为6.68×10⁸ t,资源量为0.408×10⁸ t。生烃量平均值为4.1×10⁸ t,资源量平均值为0.247×10⁸ t。

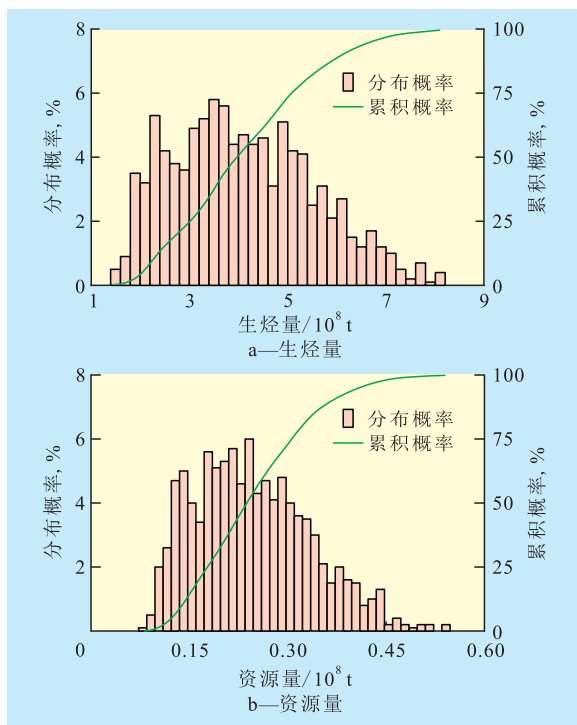


图6 侯镇凹陷孔二段生烃量及资源量分布

4 结论

侯镇凹陷为古近纪早期孔店组沉积时期形成

的区域不对称箕状凹陷,其成因与潍北凹陷相似。研究区暗色泥岩主要发育在孔二段,有利沉积环境主要为半深湖与滨浅湖相,半深湖相分布较为分散。

侯镇凹陷孔二段有机质类型主要为Ⅲ型干酪根,有机质丰度略低,为差—中等烃源岩,同邻区相比,具有相似性。孔二段底面在侯镇凹陷中北部镜质组反射率均大于0.5%,热演化达到了成熟阶段,表明侯镇凹陷孔二段具备生烃条件。对孔二段采用蒙特卡罗法进行了生烃量与资源量计算,在累积概率为50%时,生烃量为3.95×10⁸ t,资源量为0.238×10⁸ t。

鉴于研究区主要取心井侯1井位于侯镇凹陷陡坡区,离半深湖相较远,而侯2井主要利用岩屑开展化验分析,所测生烃资料不能完全代表该凹陷实际情况,建议在靠近侯1井区域的半深湖相区域钻探1口参数井,以期取得更具代表性的样品,进而更准确的评价研究区的生烃及成藏条件。

参考文献:

- [1] 韩宗元.鄂尔多斯盆地镇探1井烃源岩有机地球化学特征[J].油气地质与采收率,2012,19(5):10-14.
- [2] 南征兵,张艳玲,李永铁,等.羌塘盆地中侏罗统布曲组烃源岩评价[J].油气地质与采收率,2012,19(3):15-17,21.
- [3] 中国石油天然气总公司.SY/T 5735—1995陆相烃源岩地球化学评价方法[S].北京:石油工业出版社,1995.
- [4] 宋一涛,廖永胜,王忠.潍北凹陷孔店组烃源岩评价及油源分析[J].石油与天然气地质,2005,26(4):487-493.
- [5] 陈建渝,彭晓波,张冬梅,等.济阳拗陷古新世孔店组生烃潜能评价[J].石油勘探与开发,2002,29(3):17-20.
- [6] 李丕龙.陆相断陷盆地油气地质与勘探(卷三)[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [7] 张营革.泥页岩油气藏有机碳含量地球物理预测方法——以济阳拗陷罗家地区沙三段下亚段为例[J].油气地质与采收率,2013,20(5):64-67.
- [8] 曾芳,毛治超,卢碧林.桂中拗陷泥盆系碳酸盐岩烃源岩特征[J].油气地质与采收率,2010,17(3):51-53.
- [9] 卢双舫,张敏.油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2008.
- [10] 陈玉华,杨永国,秦勇.蒙特卡罗法在煤层气资源量计算中的应用[J].煤田地质与勘探,2006,34(6):30-34.

编辑 经雅丽