

富火山物质烃源岩评价方法—以新疆石炭系为例

曲彦胜

中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东东营, 257015

关键词: 凝灰岩; 火山灰; 有机碳恢复; 生烃模拟

新疆北部石炭系发育一套巨厚的混杂有火山物质的烃源岩。有机质丰度以及类型等指标显示具有作为烃源岩的潜力。笔者综合运用薄片等分析资料将其划分为凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质泥岩、含碳质泥岩, 并分类研究了其地球化学特征。针对富火山物质烃源岩成熟度高、有机质丰度低的特点, 首次运用生烃模拟实验结合数值模拟开展其有机碳含量恢复, 建立了不同火山物质含量烃源岩有机碳恢复系数模板, 并恢复了原始生烃潜力。对认识整个北疆地区石炭系油气潜力以及勘探方向起到了重要的作用。

1 富火山物质烃源岩评价

1.1 富火山物质烃源岩地球化学特征

本次研究以准噶尔盆地东北缘乌伦古拗陷为研究对象。乌伦古拗陷位于准噶尔盆地东北部, 早石炭世, 准噶尔盆地雏形还未形成, 北疆大部处于古亚洲洋域海水覆盖, 洋盆俯冲导致火山活动频繁(张义杰等, 2007), 沉积了一套以海相、海陆过渡相为主的混杂火山喷发物质的暗色沉积物。野外以及钻井观察类似一套巨厚的凝灰岩沉积, 实则为一套包含火山碎屑岩与正常碎屑岩及沉凝灰岩的复杂沉积物。乌伦古拗陷内钻揭厚度大, 如索索泉凹陷乌参 1 井钻揭下石炭统姜巴斯套组 1400 余米暗色地层, 岩心观察呈黑色, 致密, 块状, 裂缝少。烃源岩评价有机质丰度较高, TOC 平均值 0.8%, 氯仿沥青“A”平均 0.08 mg/g, 有机质类型以 I-II 型为主, 成熟度较高, 目前处于高一过成熟阶段。

从表 1 中看出远火山口环境下的凝灰质泥岩以及火山间歇期形成的含碳质泥岩相对于火山爆发相的凝灰岩、近火山口相的沉凝灰岩的有机质丰度

以及生烃潜量更高。

1.2 烃源岩中火山物质含量厘定

本次研究以乌伦古拗陷石炭系参数井乌参 1 井为例, 首先选取富含长石、石英、橄榄岩等凝灰物质的烃源岩样品。通过烃源岩显微镜下薄片观察以及薄片鉴定, 确定火山物质百分含量 Z 。该井石炭系自下而上可以划分为 4 种岩性组合。最底部岩性组合 I 是一套以碳质泥岩、凝灰质泥岩夹粉砂质泥岩为主的沉积岩组合, 厚约 300 m, 岩石成分主要包括粘土矿物以及石英、长石等碎屑矿物, 粘土含量不足 10%, 成分以绿泥石为主, 石英、长石碎屑清晰可见, 磨圆程度中等。岩性组合 II: 岩性以凝灰质泥岩为主, 凝灰质与泥质各占 50% 左右, 正常碎屑物占 20% 以上, 夹少量粉砂质泥岩, 厚约 500 m。岩性组合 III: 以沉凝灰岩为主, 凝灰质岩屑占 80% 以上, 夹少量薄层泥岩、粉砂质泥岩、泥灰岩等。最上层是一套以火山爆发相为主的凝灰岩沉积, 夹少量薄层角砾岩、沉凝灰岩、凝灰质泥岩等, 厚度超过 500 m。岩性组合变化规律明显: 自下而上, 凝灰质的含量逐渐增多, 泥质含量、粉砂质含量逐渐减少, 碳质含量减少, 反映受到火山活动的影响越来越剧烈。

1.3 生烃模拟实验

本次研究利用高压釜进行封闭体系生烃模拟产物及含量计算: 将抽提的烃源岩中不溶物干酪根置于高压釜中进行加热, 按照一定升温速率进行升温, 温度范围 300~600℃, 每个升温速率设置 10~15 个取样温度点, 对每个取样温度点的气态、液态热解产物的产率进行计算, 得到生成烃类的质量 M 以及 CO_2 的质量 $M(\text{CO}_2)$ 。生烃模拟产物以甲烷为主, 含有少量的轻烃以及一定量的 CO_2 。岩石中火山物质含量不同, 其生烃产量有一定的差异, CH_4

注: 本文为国家重大科技专项课题“准噶尔盆地碎屑岩层系大中型油气田形成规律与勘探方向”(编号: 2011ZX05002-002)的成果。
收稿日期: 2019-01-10; 改回日期: 2019-03-20; 责任编辑: 章雨旭。 Doi: 10.16509/j.georeview.2019.s1.081
作者简介: 曲彦胜, 男, 1986 年生, 副研究员, 油气地球化学专业, Email: 362446385@qq.com。

产量在 15 mg/g 样品到 210 mg/g 样品之间, 含少量的 H₂, 同时, 部分样品具有一定的液态烃, 包括轻烃 (C₆₋₁₄) 和正常油 (C₁₄⁺), 部分样品正常油产率高于轻烃产率。

1.4 数值模拟计算

根据烃源岩生排烃前后的岩石物理模型计算有机碳恢复系数 K_c:

$$K_c = \frac{m_c^0 \cdot k^0}{m_c^0 + k^0 \cdot m^0} = \frac{m_c^0 \cdot k^0}{(m_c^0 + k^0 \cdot m^0) \cdot TOC}$$

$$= \frac{m_c \cdot k^0 / (1 - K \cdot M - K_1 \cdot M_{CO_2})}{[m_c / (1 - K \cdot M - K_1 \cdot M_{CO_2}) + k^0 \cdot m^0] \cdot TOC}$$

$$= \frac{m_c \cdot k^0}{[m_c + k^0 \cdot m^0 \cdot (1 - K \cdot M - K_1 \cdot M_{CO_2})] \cdot TOC}$$

$$= \frac{k \cdot (m + m_A) \cdot TOC \cdot k^0 / (k - TOC)}{[k \cdot (m + m_A) \cdot TOC / (k - TOC) + k^0 \cdot m^0 \cdot (1 - K \cdot M - K_1 \cdot M_{CO_2})] \cdot TOC}$$

$$= \frac{k \cdot k^0 \cdot (m + m_A)}{k \cdot (m + m_A) \cdot TOC + k^0 \cdot m^0 \cdot (1 - K \cdot M - K_1 \cdot M_{CO_2}) \cdot (k - TOC)}$$

(式中: TOC:残余单位质量岩石有机碳的含量(%); TOC⁰:原始单位质量岩石有机碳的含量(%); m⁰:原始有机碳的质量(g); m_c:残余有机碳的质量(g); k⁰:原始有机质的含碳率,与原始有机质类型有关; k:残余有机质的含碳率; m⁰:原始岩石的质量(g); m:生排烃之后岩石的质量(g); m_A:氯仿沥青 A 的质量(g); K:有机质生成烃类含碳率; M:有机质生成烃类质量; M_{CO₂}:生成 CO₂的质量(g); K₁:CO₂含碳率。)

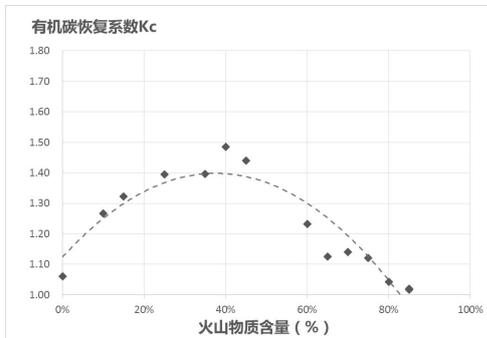


图 1 烃源岩有机碳恢复系数与火山物质含量相关图

拟合富火山物质烃源岩有机碳恢复系数 K_c 与烃源岩中火山物质百分含量 Z 的相关图 (图 1), 并

获得相关曲线 K_c=f(Z)。其中, 拟合火山物质含量 Z 与有机碳恢复系数 K_c 得到二者拟合曲线 K_c=-1.95 × Z²+1.46 × Z+1.12, 拟合公式的相关系数 R=0.93, 二者相关程度高, 计算有机碳恢复系数 K_c 介于 1.02~1.48 之间, 平均 1.22。

2 结论

火山物质含量对石炭系烃源岩的生烃潜力具有较大的影响 (万丛礼等, 2001), 从实验结果看, 随着火山物质含量的增加, 有机碳恢复系数呈现先增大后减小的趋势, 火山物质含量在 30%~45%, 恢复系数最大可达 1.4, 生烃量达到近 200 mg/g 样品, 评价为中等—好烃源岩。随着火山物质含量的进一步增加, 当火山物质达到 80%以上, 岩性以凝灰岩为主, TOC 恢复系数较低, 生烃量小于 20 mg/g 样品, 评价为较差烃源岩。通过计算富含火山物质烃源岩的有机碳恢复系数, 建立恢复模板, 综合应用实验模拟, 数值计算等多种手段, 针对火山岩系烃源岩开展潜力研究与资源评价, 能够更好的认识这种特殊类型烃源岩的生烃潜力。在整个准噶尔盆地石炭—二叠系油气勘探中有着广阔的应用前景。

表 1 乌参 1 井石炭系烃源岩地化统计表

岩石类型	TOC (%)	氯仿沥青 "A" (%)	S1+S2 (mg/g)	T _{max} (°C)	H/C	O/C
凝灰岩	0.56	0.014	0.25	316.5	0.59	0.06
沉凝灰岩	0.72	0.058	0.28	429	0.62	0.07
凝灰质泥岩	1.03	0.127	0.85	382	0.75	0.095
含碳质泥岩	0.92	0.11	0.67	367	0.52	0.08

参 考 文 献 / References

万丛礼, 金强, 范保军. 2001. 火山矿物对烃源岩生烃演化作用的研究现状. 油气地质与采收率, 8(4): 9~14.
 张义杰, 齐雪峰, 程显胜等. 2007. 准噶尔盆地晚石炭世和二叠纪沉积环境. 新疆石油地质, 28(6): 673~675.

QU Yan Sheng: Evaluation Method of hydrocarbon source rocks rich in volcanic materials: Taking Carboniferous in northern Xinjian as an example

Key words: tuff; volcanic ash; Organic carbon recovery; Hydrocarbon generation simulation