

南堡凹陷滩海地区中浅层天然气特征 及其富集规律

王政军, 曹中宏, 李文华, 张永超, 夏景生, 刘永昌, 王建伟

1) 中国石油 冀东油田公司 勘探开发研究院, 河北唐山, 063004

随着南堡凹陷滩海地区的发现与不断勘探, 天然气产量进入快速发展阶段, 而中浅层天然气产量占冀东探区总产量近 90%, 且具有埋藏浅, 单井产量高, 与原油伴生的特点。因此, 研究中浅层天然气的特征及其成因, 进而确定主力源岩, 并研究其富集规律, 对指导下步勘探部署具有重要意义。

1 地质概况

南堡凹陷位于渤海湾盆地北部, 为新生代陆相断陷盆地。整个南堡凹陷面积为 1932km², 其中滩海地区属于冀东探区有利勘探面积 1000km²。南堡滩海地区在平面上划分为南堡 1 号、南堡 2 号、南堡 3 号、南堡 4 号和南堡 5 号构造带。随着南堡凹陷滩海地区油气藏的不断被发现, 天然气产量进入快速发展阶段, 其中南堡 1 号、南堡 2 号中浅层构造带天然气资源丰富, 已有数十口井天然气获得高产, 因此, 南堡 1 号、南堡 2 号构造带中浅层是本文研究的重点。

研究表明, 南堡凹陷滩海地区主要发育东三段、沙一段和沙三段三套烃源岩。东三段烃源岩演化程度相对较低, 现今大部分处于未熟—低熟阶段, 对油气贡献较小。沙一段烃源岩已进入生油高峰, 但由于烃源岩本身质量一般, 其生烃量明显比沙三段烃源岩低。沙三段属于深湖沉积, 且分布广, 是南堡凹陷最重要的烃源岩, 有效烃源岩最大厚度超过 700m, 优质烃源岩厚度在 200m 以上, 油—源对比结果证实该套烃源岩是南堡凹陷最重要的烃源岩, 现今处于成熟—高成熟阶段, 以生凝析油气为主。

2 天然气特征

南堡凹陷滩海地区中浅层天然气气体以烃类气体为主, 烃类气体大多占 90% 以上, 甲烷含量大多在 80% 以上, 以富含重烃(C₂⁺)为特征, 为湿气。非烃气体以 CO₂ 和 N₂ 为主, 大多数井 CO₂ 含量较低。天然气碳同位素组成中, 甲烷 δ¹³C 值大于 -45‰, 大多大于 -40‰, 乙烷同位素较重, 乙烷 δ¹³C 值大多在 -28‰~-26‰, 介于油型气和煤型气之间, 丙烷 δ¹³C 值大于 -30‰, 多数大于 -25‰。

3 天然气成因

运用 δ¹³C₁—C₁/C₂₊₃ (戴金星, 1992) 和 δ¹³C₁—δD_{CH₄} (Schoell, 1983) 图版均表明滩海地区中浅层天然气主要为原油伴生气和凝析气, 而与之伴生的同源凝析油或原油烃源岩有机质类型为 I 型或 II₁, 即中浅层天然气为油型气; 其次, 根据伴生原油或凝析油姥植比、族组成碳同位素等资料都表明滩海地区中浅层天然气为油型气。第三, 运用油型气 δ¹³C—R₀ 计算天然气 R₀ 与实际情况相符。天然气中甲烷及其同系物的形成随热成熟度增高碳同位素值变重。因此, 可以利用天然气 δ¹³C—R₀ 模型估算成熟度, 本文应用了国内外建立的煤成气和油型气模型, 结合地质和南堡凹陷烃源岩演化情况表明油型气与实际相符。不过与典型油型气相比, 天然气 δ¹³C₂ 明显偏重。第四, 轻烃参数也表明滩海地区中浅层天然气为成熟—高成熟阶段油型气。天然气轻烃中甲基环己烷指数值分布在 42~48%, 石蜡指数 2.48~2.54, 甲苯/苯 0.30~0.41, 庚烷值 17.72~19.76, 根据 C₇ 轻烃图版和苯指数等轻烃参数表明中浅层天然气为成熟—高成熟阶段油型气。

综上所述, 南堡凹陷滩海地区中浅层天然气为

注: 本文为国家科技重大专项(2011ZX05006-006)和中石油股份公司重点科技攻关项目(2012E-050204)的成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 周健。

作者简介: 王政军, 男, 1979 年生。硕士, 工程师。主要从事石油地质基础研究和勘探工作。Email:wzjun2007@126.com。

油型气。

4 天然气气源分析

根据 $\delta^{13}\text{C}$ — R_o 模型估算南堡凹陷滩海地区中浅层天然气成熟度 R_o 主要分布在 1.0~1.5%，这与南堡凹陷沙一段和沙三段烃源岩成熟度相一致，根据伴生原油单体烃碳同位素和生物标志物并结合地质情况分析表明，南堡凹陷滩海地区中浅层天然气油气同源，主力源岩为沙三段烃源岩、其次为沙一段烃源岩，其中，来自沙三段烃源岩天然气同位素较重，乙烷同位素介于油型气和煤型气之间，计算天然气成熟度 R_o 大多在 1.30%以上，来自沙一段源岩天然气碳同位素较轻，乙烷碳同位素小于-28‰，为典型油型气，天然气成熟度在 1.00%左右。

5 富集成藏条件与主控因素

南堡凹陷滩海地区中浅层天然气成藏条件优越，沙河街组发育沙三段和沙一段两大套厚层优质烃源岩是油气藏形成的物质基础；中浅层三角洲与河流相沉积体系发育，砂层厚度大，储集物性好；新构造运动导致主洼区油源断层发育，利于深层烃源岩生成油气高效输导；新构造运动控制二级构造带，圈闭类型多样；馆陶组厚层玄武岩致密盖层发育等因素，是造就该区油气富集的重要条件。特别是发育的断裂输导体系与馆陶组火山岩盖层，以及成藏要素匹配较好、成藏期较晚等是该区油气富集的关键因素。成藏要素的有效组合，再加上多套含油层系在垂向上相互叠置，决定了南堡凹陷滩海地区中浅层天然气仍然具有较大勘探潜力。

6 结论

(1) 南堡凹陷滩海地区中浅层天然气以烃类气体为主，具有重烃含量高，主要为湿气、天然气碳同位素相对较重、埋藏浅和与原油伴生等特点。天然气以凝析气为主，其次为原油伴生气，根据轻烃参数、 $\delta^{13}\text{C}$ — R_o 方程、伴生凝析油或原油姥植比等参数综合分析认为南堡凹陷滩海地区中浅层天然气主要为高成熟阶段生成的油型气。

(2) 运用 $\delta^{13}\text{C}$ — R_o 方程、伴生凝析油或原油生物标志化合物均表明南堡凹陷滩海地区中浅层天然气与伴生凝析油或原油同源，主力源岩主要为沙

三段烃源岩，其次为沙一段烃源岩，其中来自沙三段烃源岩天然气同位素较重，乙烷同位素介于油型气和煤型气之间，天然气成熟度 R_o 大多在 1.30%以上；来自沙一段源岩天然气碳同位素较轻，乙烷碳同位素小于-28‰，为典型油型气，天然气成熟度 R_o 在 1.00%左右。

(3) 南堡凹陷滩海地区中浅层油气成藏条件优越，沙河街组发育大套厚层优质烃源岩是油气藏形成的物质基础；中浅层三角洲与河流相沉积体系发育，砂层厚度大，储集物性好；新构造运动导致主洼区油源断层发育，利于高效输导；同时新构造运动控制二级构造带，圈闭类型多样。较为发育的断裂输导体系与馆陶组火山岩盖层是该区油气成藏的主控因素；各成藏要素匹配较好、成藏时间较晚是南堡滩海中浅层天然气富集的关键。综合分析表明，南堡凹陷中浅层天然气仍具有较大勘探潜力。

参考文献 / References

- 戴金星. 1992. 各类烷烃气的鉴别[J]. 中国科学, 22(2): 187~193.
- 胡国艺, 李谨, 李志生, 王淑英. 2010. 煤成气轻烃组分和碳同位素分布特征与天然气勘探[J]. 石油学报, 31(01): 42~48.
- 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等译. 1995. 生物标志物指南: 石油和古代沉积物中的分子化石解释[M]. 原著: K.E.Peters and J.M.Moldowan, 石油工业出版社.
- 刘文汇, 张殿伟, 王晓峰, 南青云. 2004. 天然气气-源对比的地球化学研究[J]. 沉积学报, 22(增刊): 27~32.
- Berner U, Faber E. 1996. Empirical carbon isotope/maturity relationships for gases from algal kerogens and terrigenous organic matter, based on dry, open-system pyrolysis[J]. Organic Geochemistry, 24(10): 947~955.
- Didyk, B. M., B. R. T. Simoneit, S. C. Brassell and G. Eglinton. 1978. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation. Nature, 272: 212~222.
- Schoell M. 1983. Genetic characterization of natural gases[J]. AAPG Bulletin. 67(12): 2225~2238.
- Stahl W J and B. D. Carey. 1975. Source-rock identification by isotope analyses of natural gases from fields in the Val Verde and Delaware basins, West Texas[J]. Chem.Geol., 16: 257~267.
- 王政军, 马乾, 赵忠新, 夏景生, 张永超, 刘永昌, 王建伟. 2012. 南堡凹陷深层火山岩天然气成因与成藏模式. 石油学报, 33(5): 36~42.
- 王政军, 马乾, 赵忠新, 朱光有, 刘永昌, 王建伟, 张永超. 2011. 南堡凹陷深层火山岩天然气成因及其气源[J]. 矿物岩石地球化学通报, 30(S1): 369~370.
- 徐永昌. 1994. 天然气成因理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 68~222.
- 沈平, 徐永昌. 中国陆相成因天然气同位素组成特征[J]. 地球化学, 1991, (2): 144~152.
- 朱光有, 张水昌, 王拥军, 王政军, 郑红菊, 熊英, 董月霞, 王旭东, 张斌. 2011. 渤海湾盆地南堡大油田的形成条件与富集机制[J]. 地质学报, 85(1): 97~113.