

南阳凹陷陆相页岩油形成条件及勘探潜力分析

杨傲然¹, 贾艳雨², 谭静娟², 黄庆², 尹安², 余志远²

(1. 中国石油大学(华东), 山东青岛 266000; 2. 中国石化河南油田分公司石油勘探开发研究院)

摘要:参照泌阳凹陷页岩油形成条件研究方法对南阳凹陷页岩油形成条件进行分析,综合研究表明,南阳凹陷核桃园组泥页岩发育,分布范围广,单层厚度大;埋藏深度适中;有机质类型好,富有机质泥页岩发育层段有机质丰度高,热演化程度适中,主要处于生油阶段;脆性矿物含量高,可压性好;微孔隙微裂缝发育,储层物性好;泥页岩发育区断层不发育,保存条件好,具备陆相页岩油形成的有利条件。南阳凹陷深湖-半深湖相多口井在泥页岩段钻遇良好油气显示,其中红12井更是在泥页岩层获得一定工业油流,证实了南阳凹陷页岩油层的存在。初步估算南阳凹陷页岩油资源量为 $9\,000 \times 10^4$ t,表明南阳凹陷具备良好的页岩油勘探潜力。从有机质丰度、气测异常情况来看,纵向上 Eh_2^3 和 Eh_3^1 层段更有利于页岩油的富集,平面上红12井区可能是最有利地区。

关键词:南阳凹陷;核桃园组;页岩油;资源量;勘探潜力

中图分类号:TE122.9

文献标识码:A

1 基础地质特征

南阳凹陷位于南襄盆地的中北部,为一南断北超的中新生代箕状断陷,面积约 $3\,600\text{ km}^2$,凹陷主体沿南部边界断裂呈北东向展布^[1]。根据凹陷的沉积构造以及现今的构造格局,将凹陷分为三个构造带,即南部断超带、中部凹陷带和北部斜坡带。凹陷的基底除西部为古生界海相碳酸盐岩外,主要为元古界变质岩。沉积盖层主要为新生界,新生界最厚约 $5\,500\text{ m}$,自下而上分为古近系玉皇顶组、大仓房组、核桃园组、廖庄组、新近系上寺组和第四系平原组。纵向上古近系构成一个完整的沉积旋回^[2-4],位于旋回中部的核桃园组(尤其是核二、核三段)是凹陷的主要生油和储集层系,最厚达 $2\,500\text{ m}$ 。

2 页岩油形成条件

2.1 泥页岩发育情况

富含有机质的泥页岩是页岩油气生成和赋存的载体,所以泥页岩分布范围和厚度是影响页岩油气形成以及是否具备商业开采价值的关键因素。从大仓房组沉积末期开始,南阳凹陷进入稳定沉降的发展阶段,核三段后期至核二段中期是湖盆发育的全盛时期,在凹陷主体部位沉积了一套巨厚的较深湖相以暗色泥岩为主的地层,成为南阳凹陷的主要烃源岩。泥页岩纵向上主要分布在核桃园组核二段-核三段上部,泥页岩单层连续厚度多大于 30 m ;平

面上主要分布在深凹区,与凹陷沉积、沉降、生烃中心相叠合,主要为深湖、半深湖沉积,分布面积约 570 km^2 (图1)。

2.2 泥页岩的有机地球化学特征

有机质丰度、有机质类型和热演化程度是页岩油气富集程度的决定性因素。从整个南阳凹陷来看,较好的泥页岩层段有机质丰度中等到高,有机质类型以 II_1 型和 II_2 型为主,热演化程度适中,整体处于生油阶段。

2.2.1 有机质丰度

有机质丰度是生烃强度的主要影响因素,决定着生烃量的多少,泥页岩中有机碳含量与页岩油气的生烃率具较好的正相关性^[5-7]。南阳凹陷实测的TOC数据分析表明,平面上,南阳凹陷南北方向上南缘深凹陷带有有机质丰度较高,向北逐渐减小。纵向上核二段一亚段(Eh_2^1)、核二段二亚段(Eh_2^2)、核二段三亚段(Eh_2^3)、核三段一亚段(Eh_3^1)和核三段二亚段(Eh_3^2)离散取样泥页岩TOC实测值平均含量分别为 0.52% 、 0.69% 、 0.84% 、 0.80% 、 0.66% ,均达到了烃源岩标准。但对于页岩油评价来说,平均TOC值相对偏低,分析原因主要是平均过程中将测试的非烃源岩段或非有效泥页岩层段的TOC值一同进行了平均。实际上就页岩油气的形成而

收稿日期:2013-01-04; 改回日期:2013-02-17

作者简介:杨傲然,1992年生,中国石油大学(华东)地球科学与技术学院2010级资源勘查工程专业学生。

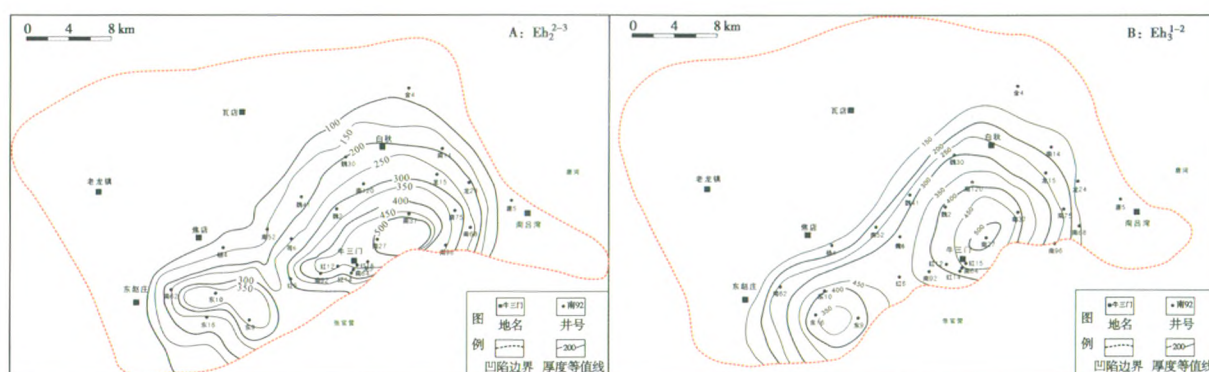


图1 南阳凹陷核桃园组暗色泥页岩厚度分布

言,主要取决于局部富有机质页岩的发育,而不是整段的平均含量。鉴于以上情况,为更好的研究富有机质页岩的发育情况,采用 TOC 实测值结合电阻率和声波测井曲线进行建模(Δ LgR 方法)^[8],计算未有实测值井段的 TOC 值。

利用 Δ LgR 方法对南阳凹陷处于深湖-半深湖相探井进行建模,结果表明在 Eh_2^3 和 Eh_3^1 均存在有机碳含量较高的泥页岩层段发育,具备页岩油形成的有机质条件。例如红 12 井的 2 750~2 900 m 井段,计算 TOC 最大值为 4.2%,平均值大于 1.5%,气测异常明显;南 66 井的 Eh_2^3 和 Eh_3^1 层段有机质丰度也较高,计算 TOC 值多集中于 1.5%~2.5%,同样表现出气测异常;南 64 井 Eh_2^2 和 Eh_2^3 层段计算 TOC 值多集中于 2.0%~5.0%,气测异常与有机质丰度对应较好。从有机质丰度来看 Eh_2^3 和 Eh_3^1 是南阳凹陷页岩油最有利的发育层段。

2.2.2 有机质类型

根据岩石热解分析结果,南阳凹陷干酪根类型以 II_1 型和 II_2 型为主,氢指数(HI)为 11~772 mg/gTOC,平均为 271.6 mg/gTOC,大部分为 100~500 mg/gTOC^[9]。对南阳凹陷核桃园组不同层位的 19 个烃源岩中干酪根分离和元素测定表明,南阳凹陷干酪根类型以混合型为主,大部分样品有机质属于 II_1 型和 II_2 型,个别样品为 I 和 III 型(图 2)。从层系上看核二段略好于核三段。

2.2.3 热演化程度

计算表明南阳凹陷烃源岩进入生油门限深度为 1 970 m^[9]。从镜质体反射率平面分布来看 Eh_2^3 和 Eh_3^1 烃源岩热演化程度不高(图 3), R_o 值基本上小于 1.1,基本处于成熟阶段和生烃高峰窗,主要是以生油为主,是页岩油形成的决定性因素。

2.3 泥页岩储层特征

2.3.1 脆性矿物含量

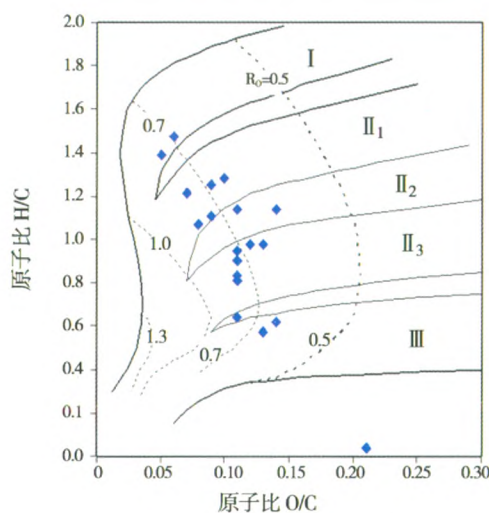


图2 南阳凹陷干酪根类型

根据美国页岩油气评价的标准,认为脆性好、微裂缝发育的地层更容易压裂,能够实现页岩油气的有效开采。泥页岩的物理性质主要取决于其各种矿物的相对含量,石英、长石、方解石、白云石等脆性矿物含量越高,岩石脆性越强,在人工压裂外力作用下越易形成网状结构缝,增加油气泄流面积,有利于页岩油气开采;而高粘土矿物含量的页岩塑性强,以形成平面裂缝为主,不利于页岩的压裂改造。北美威利斯顿盆地的 Bakken 页岩是美国页岩油的主要产层,其石英、长石、白云石和黄铁矿含量分别为 52%、9%、13%和 9%,而粘土矿物含量只有 17%^[4]。

南阳凹陷核二段和核三段泥页岩中含有石英、方解石、白云石、长石等脆性矿物。红 12 井核二段 7 个样品,全岩 X 衍射分析结果表明,其脆性矿物含量较高,平均为 55.7%(图 4),说明页岩的脆性较好,有利于天然和人工裂缝的形成。

2.3.2 微孔隙、微裂缝发育程度

微孔隙和微裂缝的发育程度是评价页岩油气储层的重要参数。微裂缝不仅是页岩储层的渗流通

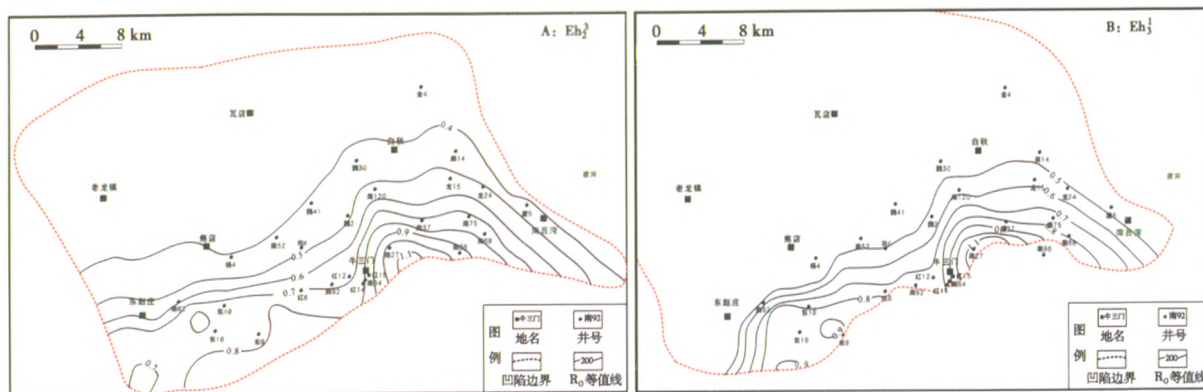


图3 南阳凹陷烃源岩镜质体反射率平面分布

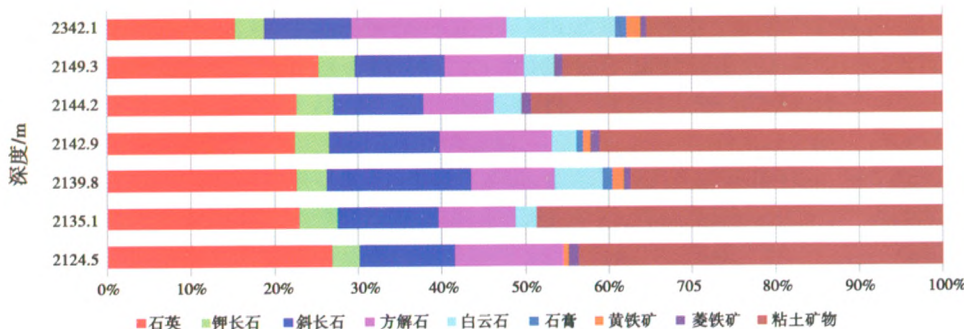


图4 南阳凹陷红12井泥岩矿物组分直方图

道,能起到改善物性的作用,而且有利于储层的人工改造,使自然裂缝和人工裂缝交汇形成网状裂缝系统,提高产量。

南阳凹陷勘探实践表明,在核桃园组中发育泥岩裂缝性储集层,泥岩裂缝层段主要发育于深灰色、黑灰色厚层泥页岩中,裂缝性泥岩普遍含有较高的灰质和白云质,泥页岩形成于深湖-半深湖环境,有机质含量高。从空间分布来看,主要分布于南部深凹陷内与构造变形及断裂作用比较强烈的构造高点、地层陡倾带、挠曲带和断裂带^[10]。泥岩裂缝层段孔隙度相对较高,利用实测泥岩孔隙度与声波时差相关关系,计算出红12井井深在1914m上下的泥岩孔隙度小于10%,在1748~2150m的五块粉-细砂岩心样品实测的有效孔隙度也仅为4.4%~8.9%,而在2329~2337m深的泥岩裂缝带,孔隙度却达15.4%^[10]。裂缝的存在有效的改善了页岩储层物性。

2.4 页岩油的保存条件

泥页岩对于页岩油气本身既是生油层、储层又是盖层,因此对盖层的要求比较宽松。但构造演化和大断裂对页岩油气的保存影响巨大。页岩油气藏主要靠微裂缝运聚就地成藏,断层和宏观裂缝起破

坏作用,因此强烈的构造活动不利于页岩油气的保存^[11]。研究表明,南阳凹陷核三段和核二段埋藏深度一般在2000~3000m左右,与美国页岩油气规模开采深度一般在3000m相当。南阳凹陷仅经历廖庄末期构造抬升运动,而且烃源岩的主要生烃高峰期在抬升运动之后,构造运动对页岩油气破坏作用相对较弱,加之凹陷泥页岩主要发育地区为深凹区,断层不发育,有利于页岩油的保存。

3 页岩油勘探潜力

3.1 泥页岩段油气显示情况

南阳凹陷的北马庄、魏岗、张店和黑龙庙等地区,在核桃园组的泥岩裂缝中已经发现了油气显示及工业油气流。如北马庄地区红10井的Eh₂²深灰色泥岩岩心上,沿裂缝面见有油浸斑块。红12井Eh₃³的泥岩裂缝则充满了原油,该井钻井过程中槽面有油花、气泡显示,在2329.4~2340.0m深灰色泥岩井段,气测异常明显,气测全烃0.035%~4.40%,测试日产油2.58t。通过对南阳凹陷深凹区的老井泥页岩显示情况与试油情况进行系统复查,共复查了红12、红14、红15、南27、东10等20余口井,复查结果表明深凹区红12、红14等10口

并在核桃园组泥页岩钻井过程中气测异常明显,且油气显示的井主要集中在中部深凹区的牛三门次凹和东庄次凹地区。主要层段为核二段和核三段上部,表明南阳凹陷具有形成页岩油的前景。

3.2 页岩油资源初步估算

针对南阳凹陷页岩油发育地质特征,根据页岩油资源评价方法对比,采用纵向上划分有效页岩层段,用氯仿沥青“A”法计算南阳凹陷有效层段页岩油资源量。根据有效泥页岩层段划分方法,将南阳凹陷核桃园组 $Eh_2^2 \sim Eh_3^2$ 自上而下划分为4个有效层段。计算过程中,各参数取值要求按着国土部油气中心有关页岩油资源评价方法要求执行,其中页岩油计算单元面积取值采用有机碳含量关联法求得;厚度采用相对面积占有法赋值求得;页岩密度取各有效层段的实测页岩密度,没有实测值的取测井解释密度的均值;氯仿沥青“A”值取各个有效层段测试结果的平均值。最终计算南阳凹陷页岩油资源量大约为 $9\ 000 \times 10^4$ t。(图5)。

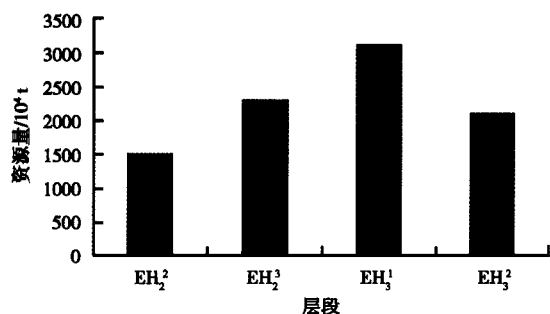


图5 南阳凹陷页岩油资源量分布

4 结论

(1)南阳凹陷核桃园组泥页岩发育,分布范围达 $5\ 700\text{ km}^2$,单层厚度多大于 30 m ;埋藏深度 $2\ 000 \sim 3\ 000\text{ m}$ 左右;有机质类型以混合型为主、富有机质泥页岩发育层段有机质丰度高,热演化程度主要处于生油阶段;泥页岩脆性矿物含量高,微孔隙微裂缝发育。泥页岩发育区断层不发育,保存条件好,具备页岩油形成的有利条件。

(2)利用含油饱和度法初步估算南阳凹陷页岩油资源量 2.85×10^8 t。南阳凹陷核桃园组页岩油有一定资源潜力和勘探前景。

(3)南阳凹陷多井在泥页岩层段见油气显示,试油证实有页岩油层发育。深凹区红12井区核二段下部最具勘探潜力,可作为南阳凹陷页岩油勘探的首选。

参考文献

- [1] 宋宏宇,魏文科,张海锋,等.张店-白秋区块滚动勘探开发认识与实践[J].石油地质与工程,2009,23(6):45-47.
- [2] 田纳新,吴官生,李峰,等.南襄盆地南阳凹陷构造特征与油气分布[J].石油天然气学报,2008,30(6):51-56.
- [3] 付代国,梁文生,罗家群,等.南阳凹陷核桃园组沉降特征与构造演化关系研究[J].石油地质与工程,2008,22(4):16-18.
- [4] 丁艳红,闫永芳,张本书,等.南阳凹陷白秋地区 $H_2^3 - H_2^2$ 沉积相研究[J].石油地质与工程,2012,26(4):30-33.
- [5] 张金川,林腊梅.页岩油分类与评价[J].地学前沿,2012,19(5):322-331.
- [6] Sonnenberg S A, Pramudito. Petroleum geology of the giant Elm Coulee field Williston Basin[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(9), 127-153.
- [7] 陈祥,王敏,严永新,等.泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件分析[J].石油与天然气地质,2011,32(4):568-576.
- [8] 王鹏,唐成磊,王飞. ΔLgR 技术在烃源岩评价中的应用[J].断块油气田,2009,16(6):52-54.
- [9] 吕明久.南襄盆地南阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力[J].石油与天然气地质,2012,33(3):392-398.
- [10] 张光亚,陈全茂.南阳凹陷泥岩裂缝油气藏特征及其形成机制探讨[J].石油勘探与开发,1993,20(1):18-25.
- [11] 李登华,李建忠,王社教,等.页岩气藏形成条件分析[J].天然气工业,2009,(5):22-26.

编辑:吴官生

~~~~~

(上接第8页)

- [3] 陈祥,严永新,章新文,等.南襄盆地泌阳凹陷陆相页岩气形成条件研究[J].石油实验地质,2011,33(2):27-32.
- [4] 陈祥,王敏,严永新,等.泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件分析[J].石油与天然气地质,2011,32(4):568-576.
- [5] 陈祥,丁连民,刘洪涛,等.南襄盆地泌阳凹陷陆相页岩

储层压裂技术研究及应用[J].石油地质与工程,2011,25(3):21-24.

- [6] 吕明久,付代国,何斌,等.泌阳凹陷深凹区页岩油勘探实践[J].石油地质与工程,2012,26(3):85-87.

编辑:吴官生