

The Resource Potential Evaluation of Shale Gas in Longmaxi Formation of Longjiazhai Syncline of Yongshun Block in Hunan Province

Hongbo Wan, Duanyi Hu, Zongbing Yi

Well Logging and Mud Logging Company, Jiangnan Petroleum Engineering Co. Ltd., Qianjiang Hubei
Email: wanhb.osjh@sinopec.com

Received: Aug. 8th, 2017; accepted: Sep. 12th, 2017; published: Oct. 15th, 2017

Abstract

The shale of Silurian Longmaxi Formation in Longjiazhai Syncline of Yongshun Block in Hunan Province was a deposit of deep water continental shelf facies with shale gas accumulation and preservation conditions. During the drilling of Well Yongye 3, w (TOC) and t_{\max} etc parameters of source rock were obtained from core analysis by the source rock comprehensive evaluation device. The analysis shows that the effective shale has type I organic matter and gas generation intensity is $9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, and it enters into a mature stage. The total geologic shale gas reserves of the syncline calculated by volumetric method and abundance analogue method are $288 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $87 \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively.

Keywords

Yongshun Block, Longjiazhai Syncline, Longmaxi Formation, Shale Gas, Reserves

湖南永顺区块龙家寨向斜龙马溪组页岩气资源潜力评价

万洪波, 胡端义, 易宗兵

中石化江汉石油工程有限公司测录井公司, 湖北 潜江

作者简介: 万洪波(1980-), 男, 高级工程师, 现主要从事录井技术研究与管理工作。

Email: wanhb.osjh@sinopec.com

收稿日期: 2017年8月8日; 录用日期: 2017年9月12日; 发布日期: 2017年10月15日

摘要

湖南永顺区块内龙家寨向斜志留系龙马溪组页岩为深水陆棚沉积环境, 具有页岩气成藏和保存条件, 在永页3井的钻探过程中, 运用生油岩综合评价仪分析岩心样品的试验方法, 获得了总有机碳质量分数和热解峰温等地化参数。分析表明, 有效页岩有机质类型为I型, 且已进入到成熟演化阶段, 生气强度约为 $9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 利用成因体积法计算该向斜页岩气总地质储量为 $288 \times 10^8 \text{ m}^3$, 资源丰度类比法计算总地质储量为 $87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

关键词

永顺区块, 龙家寨向斜, 龙马溪组, 页岩气, 储量

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

页岩气是以吸附或游离状态存在于暗色泥页岩或高碳泥页岩中的天然气。它主要是通过热成熟作用或连续生物作用以及两者相互作用聚集在烃源岩中, 表现为“原地成藏”模式, 即典型的烃源岩层内就近聚集[1]。自2012年3月3日, 国家发展和改革委员会、财政部、国土资源部、国家能源局正式发布《页岩气发展规划》以来, 基本完成全国页岩气资源潜力调查与评价, 建成了国家级涪陵页岩气示范区, 湖南永顺区块与涪陵区块类似, 在志留纪沉积了较厚的龙马溪组页岩。然而, 目前对永顺区块龙马溪组页岩气的资源量评价、形成、保存条件以及“甜点”预测等基础地质研究相对较少[2] [3] [4] [5]。利用永页3井的钻井、录井和页岩地球化学分析测试等资料, 对永顺区块龙家寨向斜龙马溪组的烃源岩地球化学特征进行分析, 并与永页1井、焦页1井对比, 为永顺区块页岩气资源量的评价提供理论依据。

2. 区域概况

湖南永顺页岩气区块位于中扬子地块湘鄂西冲断褶皱带“桑植-石门复向斜带”的西南部, 整体以

发育具复杂结构的挤压逆冲构造为特征。受印支 - 燕山期区域挤压应力作用的控制, 全区以发育北北东向展布的褶皱构造为主, 由东南向北西方向依次分布有贺虎 - 摇湾背斜、青安坪向斜、沙坝 - 也庄背斜、龙家寨向斜、盐井 - 首车背斜、马蹄寨向斜 6 个次级构造单元带。永页 3 井位于永顺区块西部龙家寨向斜, 该向斜呈北东向展布, 呈近对称结构, 向斜核部平缓, 翼部较陡。地表出露地层产状西翼为 $12\sim 15^\circ$, 东翼为 $9\sim 12^\circ$, 西翼产状略陡于东翼。向斜在工区内长轴方向约 33 km, 短轴方向约 20 km。地层分布相对较稳定, 断裂发育较少, 以发育逆冲断层为主。

永顺页岩气区块地层发育较全, 除加里东晚期区内因地层抬升剥失, 造成缺失上志留统和下泥盆统外, 其他地层均有发育, 其中下志留统龙马溪组大多与下伏上奥陶统呈平行不整合接触。晚奥陶世 - 早志留世, 扬子地区海域多为半封闭滞流海沉积环境。龙马溪组下段发育黑色碳质泥页岩, 局部含有硅质和黄铁矿, 自上而下笔石化石逐渐增多; 上段以灰色、黄绿色泥页岩、粉砂质页岩、粉砂岩为主, 夹薄层砂岩或团块状泥质灰岩。其中, 下段厚层状的黑色碳质页岩是区内的主要目的层段。

3. 试验方法

在地质历史时期, 烃源岩经过长时间的演化生烃, 而在实验室条件下无法重演该演化过程, 因此实验室一般需通过提高温度来加快有机质演化, 用来补偿有机质自然演化所需要的时间。生油岩综合评价仪正是利用时 - 温互补的原理模拟有机质的演化过程, 通过记录不同温度下烃源岩的生烃量来评价烃源岩。具体实验方法如下: 首先将采集的岩样进行粉碎后称取 100 mg 作为分析样品, 将样品先在 380°C 下恒温预热, 直至没有烃类产生为止, 样品中的干酪根在该温度下瞬间不会热解生烃, 利用热蒸发测定岩石中的游离烃量; 接下来把经过恒温加热的样品利用仪器升温至 600°C , 以测定该样品的剩余热解烃量, 直接测取的参数有 S_0 (原始生烃量), S_1 (可溶烃量), S_2 (热解烃潜量), S_3 (热解产生的 CO_2 量), t_{\max} (热解峰温)。

4. 有机地球化学特征

4.1. 有机质丰度

据前人研究, 控制页岩气成藏的关键内在因素之一是页岩的有机化学性质, 单位体积内页岩气生成的物质基础主要由页岩有机质丰度、有机质类型和热演化程度等决定。总有机碳质量分数($w(\text{TOC})$)是衡量岩石有机质丰度的一个重要指标, 通常认为 $w(\text{TOC})$ 越高, 生烃能力和吸附甲烷气的能力也越强。聂海宽等曾发现黑色页岩中, 在 $w(\text{TOC})$ 为 5% 和 10% 时的吸附气量分别是 $w(\text{TOC})$ 为 2% 时的 2.6 倍和 5.5 倍。而湘西北下志留统龙马溪组 $w(\text{TOC})$ 变化大, 永页 3 井 49 个页岩样品中 $w(\text{TOC})$ 最高达到 2.9%, 最小仅为 0.19%, 平均为 1.24%, 较高的离散性表现出一定程度的非均质性。同时, $w(\text{TOC})$ 自上而下逐渐增加, 从井深 2524.00~2532.00 m, $w(\text{TOC})$ 开始明显抬升, 最小 0.19%, 最大 0.85%, 平均 0.43%; 自 2532.00 m 开始到龙马溪组底界 (2548.50 m), $w(\text{TOC})$ 成跳跃式增长, 最大高达 2.9%, 平均 1.63%, 整体一致性变化趋势较为明显。由此可见, 永页 3 井富含有机质页岩分布于龙马溪下部。通过与永页 1 井对比(图 1), 发现该井整体 $w(\text{TOC})$ 略有抬高, 但和焦页 1 井对比, 整体依然偏低。

参照有机质丰度评价标准, 永页 3 井龙马溪组下部页岩可判定为好的烃源岩类型。前人研究认为, 页岩中残余 $w(\text{TOC})$ 达到 1% 即可以作为中国南方海相地区页岩气的有效层段, 以该结论统计可得永页 3 井有效页岩厚度为 16.50 m。

4.2. 有机质类型

南方志留系龙马溪组页岩的镜质体反射率(R_o)分布在 2.3%~3.5%, 表明其处于高 - 过成熟阶段, 演

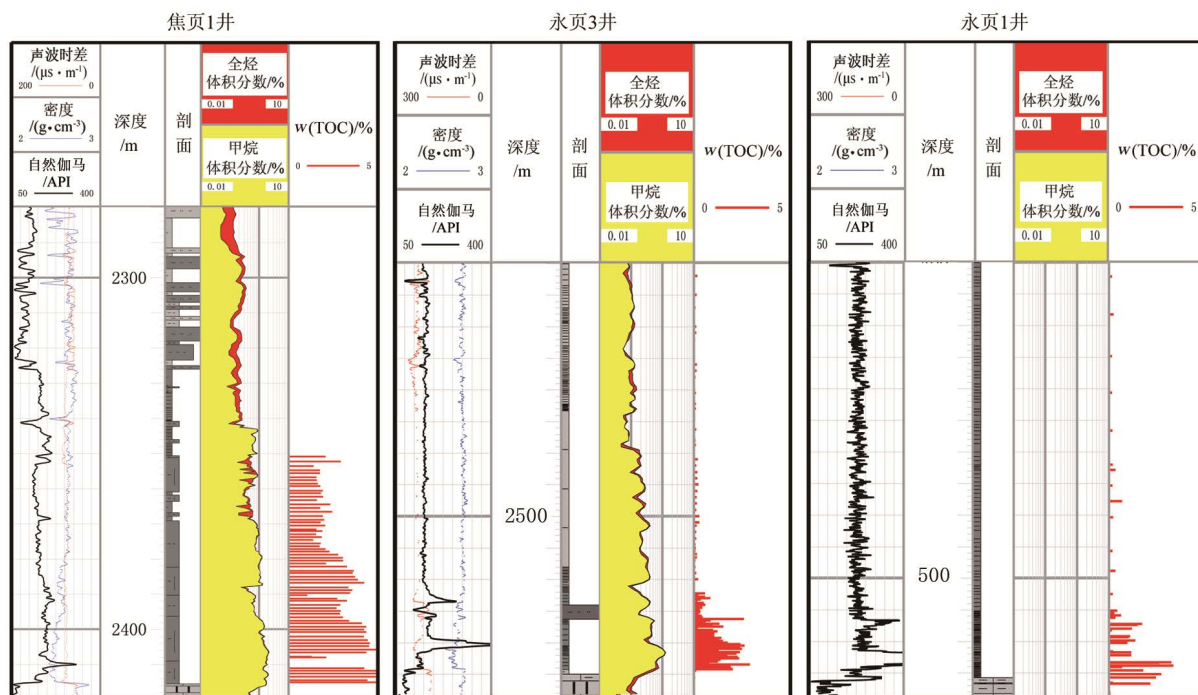


Figure 1. The contrast of w (TOC) among Well Jiaoye 1-Well Yongye 3-Well Yongye 1
 图 1. 焦页 1 井 - 永页 3 井 - 永页 1 井 w (TOC)对比

化程度高。由于在热演化过程中，干酪根不断降解脱氢、脱氧，导致碳元素相对富集，使得干酪根的成熟度级别“降低”。不同类型干酪根的生烃潜力差别较大，产物性质也不同。对于页岩气而言，干酪根类型还关系其成藏机理及勘探思路的确定。因此，在页岩气勘探开发及油气资源评价中，正确判别干酪根的类型有着重要的意义。

早古生代，全球范围内高等植物缺乏，沉积有机质主要来源于水生浮游植物、低等浮游动物。湘西北地区下志留统龙马溪组富含笔石，沉积颗粒细，为强还原环境。参考有机质类型评价标准及计算结果表明，永页 3 井井深 2524~2532 m， D (干酪根烃降解率)为 35%，表现为 II₁ 型腐殖腐泥干酪根的特征；2532.00~2548.5 m， D 为 80%，表现为 I 型腐泥干酪根特征。

4.3. 有机质成熟度

有机质成熟度是以干酪根的 R_o 作为直观表征参数。针对区内龙马溪组页岩 R_o 数据缺乏的情况，可用 t_{max} 来判断烃源岩成熟度， t_{max} 随成熟度的增高而增大。永页 3 井龙马溪组 49 个烃源岩样品的 t_{max} 为 433.00℃~554.10℃ (平均 500.36℃)。总体而言，研究区龙马溪组页岩有机质已经进入过成熟演化阶段，且以生成干气为主。

5. 页岩气资源潜力评价

5.1. 有效页岩的生气强度

生气强度包括有效页岩厚度、页岩的岩石密度、 w (TOC)和有机质的产烃率几个主要参数，是衡量页岩气气藏品质的重要指标之一。根据测井数据和岩屑样品分析化验资料，页岩的岩石密度平均为 2.60 t/m³。研究表明，腐泥型干酪根气态烃产率平均为 575.00 m³/t，该井页岩有效厚度为 16.5 m，残余有机碳质量分数平均为 1.63%。

有机碳产气率计算页岩气生气强度公式为：

$$\Omega_q = H \times \rho_r \times w_c \times E \times K$$

式中： H 为页岩的有效厚度，m； ρ_r 为页岩的密度(测井)， t/m^3 ； w_c 为页岩残余有机碳质量分数，%； E 为原始有机质气态烃产率， m^3/t ； Ω_q 为页岩的生气强度， $10^8 m^3/km^2$ ； K 为修正系数，无量纲， $K = 1000/(1000 - E)$ 。

根据上述公式可计算出永页 1 井、焦页 1 井、永页 3 井的有效页岩生气强度，结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出，永页 3 井龙马溪组有效页岩生气强度与永页 1 井基本相当，为 $(9\sim 10) \times 10^8 m^3/km^2$ ，在涪陵焦石一带，龙马溪组有效页岩的生气强度较高，可达 $60 \times 10^8 m^3/km^2$ 以上。

Table 1. The contrast of shale-gas generation intensity in Well Yongye 3-Well Yongye 1-Well Jiaoye 1

表 1. 永页 3 井 - 永页 1 井 - 焦页 1 井有效页岩生气强度对比

井名	H/m	$\rho_r/(t \cdot m^{-3})$	$w_c/\%$	$E/(m^3 \cdot t^{-1})$	$\Omega_q/(10^8 m^3 \cdot km^{-2})$
永页3井	16.50	2.60	1.63	575.00	9.46
永页1井	18.80	2.60	1.55	575.00	10.25
焦页1井	65.00	2.60	2.92	575.00	66.76

5.2. 资源量估算

永顺区块龙马溪组页岩气勘探程度较低，目前位置仅钻 3 口井，且仅有 2 口井进行了 w (TOC) 分析，故笔者采用静态法中的成因体积法与体积丰度类比法来估算研究区龙马溪组有效页岩的天然气资源量。

5.2.1. 体积成因法

体积成因法是目前国内使用最普遍的方法，计算公式为：

$$Q_z = 0.01 \times \Omega_q \times S \times (100 - K_p)$$

式中： Q_z 为页岩气资源量， $10^8 m^3$ ； K_p 为页岩的排烃系数，%； S 为有效页岩分布面积， km^2 。

K_p 是成因体积法估算页岩气资源量的关键参数。国内外学者关于页岩研究结果的统计表明，高 - 过成熟页岩的排烃系数一般在 50% 以上。研究区龙马溪组下部有效页岩的单层厚度较小，参考涪陵龙马溪组下部 K_p 为 90%，区内取 80%。永顺区块龙马寨向斜龙马溪组一类有利区面积为 $152 km^2$ (来自华电集团清洁能源公司数据)，计算得研究区页岩气资源量为 $288 \times 10^8 m^3$ 。

5.2.2. 资源丰度类比法

针对勘探开发程度较低地区，一种简单快速的评价方法是资源丰度类比法，其简要过程是：首先确定评价区页岩展布面积、有效页岩厚度、评价区页岩吸附气含量等关键参数；需要考虑到吸附气和游离气的含量，但为了简便，不用仔细计算游离气的含量，以岩心解析后产生的气量加上损失气量作为计算参数[6] [7]。永页 1 井解析气量为 $0.59 m^3/t$ ，永页 2 井解析气量为 $1.69 m^3/t$ ，永页 3 井解析气量为 $1.34 m^3/t$ 。据王世谦等对中国四川盆地南部五峰组 - 龙马溪组及北美地区多套页岩气的含气量进行统计分析，指出页岩含气量与页岩埋藏深度、储层压力相关，即埋藏较深、储层压力为异常高压时，页岩含气量较高。由于永页 1 井龙马溪组页岩仅 530.00 m 埋深，虽然具有生烃能力，可保存条件差，而永页 3 井龙马溪组有效页岩埋深达 2532.00 m，具有代表性。类比法的计算公式为：

$$Q_z = S \times H \times \rho_r \times J_{Y3} \times 10^{-2}$$

式中： J_{Y3} 为永页 3 井的解析气量， m^3/t 。

通过上述公式计算得研究区页岩气资源量 $87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

6. 结论

- 1) 永顺区块龙家寨向斜龙马溪组下部页岩可判定为好的烃源岩, 有机质类型表现为 I 型腐泥干酪根特征, 有利于页岩气的生成。
- 2) 研究区龙马溪组下部页岩 t_{max} 平均为 500.36°C , 有机质进入过成熟演化阶段, 以生成干气为主。
- 3) 研究区龙马溪组下部有效页岩生气强度为 $9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 与涪陵区块相比偏低, 页岩气总地质储量约为 $(87\sim 288) \times 10^8 \text{ m}^3$, 具有商业开采价值。

参考文献 (References)

- [1] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 23-26.
- [2] 张琴, 王洪岩, 拜文华, 等. 南方海相志留系页岩有机质类型恢复研究[J]. 断块油气田, 2013, 20(2): 155.
- [3] 范二平, 唐书恒. 湘西北下志留统龙马溪组页岩气成藏条件及勘探潜力分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2014, 29(4): 18-19.
- [4] 李延钧, 刘欢, 刘家霞, 等. 页岩气地质选区及资源潜力评价方法[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(2): 33.
- [5] 付亚荣. 中国页岩气发展现状及前景展望[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(6): 20.
- [6] 聂海宽, 张金川. 页岩气聚集条件及含气量计算[J]. 地质学报, 2012, 86(2): 349-361.
- [7] 王世谦, 王书彦, 满玲, 等. 页岩气选区评价方法与关键参数[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(6): 609-620.

[编辑] 邓磊

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: jogt@hanspub.org