

页岩气

页岩气形成条件及成藏影响因素研究

王 祥^{1,2}, 刘玉华³, 张 敏⁴, 胡素云⁵, 刘红俊⁶

(1. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249;

2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石化东北分公司, 吉林 长春 130000; 4. 长江大学地球化学系, 湖北 荆州 434023;

5. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 6. 大港油田第三采油厂地质所, 河北 沧县 061035)

摘要:美国 5 大页岩气盆地的勘探开发实践已证明,页岩气是一个很有潜力的非常规油气勘探新领域,资源丰富。页岩气与深盆气、煤层气一样属于“持续式”聚集的非常规天然气。在页岩气系统中,富含有机质的页岩既是系统的烃源层又是储层,也可能是盖层,各产层地质、地球化学条件迥异。页岩气存在形式主要以吸附气与游离气为主,形成机制可划分为生物成因、热成因及二者混合成因。页岩气的地质储量丰富,影响其成藏的因素主要有总有机碳、有机质类型和成熟度、产层孔隙度、地层压力及裂缝发育程度等,同时还要兼顾各参数之间的联系。四川盆地发育 2 套优质页岩(下寒武统筇竹寺组和下志留统龙马溪组),与美国 5 大页岩气盆地相比,具备形成裂缝性油气藏所需的优越的地质、地球化学条件,是一个天然气勘探开发值得高度重视的新领域。

关键词:页岩气;成因机制;赋存形式;含气量;四川盆地

中图分类号: TE122

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)02-0350-07

0 引言

目前,世界上对页岩气的研究并不普遍,只有美国和加拿大对此做过大量工作,特别是美国,对国内的 5 大页岩气盆地进行了十分系统的研究工作,在页岩气勘探开采方面取得了很大的突破,积累了丰富的经验^[1-8]。我国对页岩气的研究与勘探开发还处于探索阶段。20 世纪 60—90 年代,在页岩油藏有所发现的基础上,部分学者^[9-11]对页岩气藏做过一定的探讨。近 2 年,张金川等^[12-17]国内学者相继发表了一些关于页岩气方面的著作,将为我国的油气勘探打开新的局面。

据国家工程院预测,我国原油供给的对外依存度到 2020 年将达到 55%,天然气供需缺口 2010 年为 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2020 年将达到 $800 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。而我国天然气勘探开发尽管目前处于大发展阶段,但是天然气资源同原油一样具有“低、深、难”的特点。在我国油气消费需求与日俱增的情况下,为进一步从

根本上解决油气可持续发展的问题,需要积极寻找新的接替资源。从美国和加拿大的勘探开发成果看,页岩气是非常现实的常规油气资源的接替资源之一。笔者在总结前人研究成果的基础上,浅谈了对页岩气系统的认识,希望能为我国页岩气勘探理论的发展起到抛砖引玉的作用。

1 页岩气特点

页岩气与深盆气、煤层气一样都属于“持续式”聚集的非常规天然气。所谓页岩气(Shale Gas)系指富含有机质、成熟的暗色泥页岩或高碳泥页岩中由于有机质吸附作用或岩石中存在着裂缝和基质孔隙,使之储集和保存了一定具商业价值的生物成因和/或热解成因天然气。页岩气系统具有典型的自生自储特性。

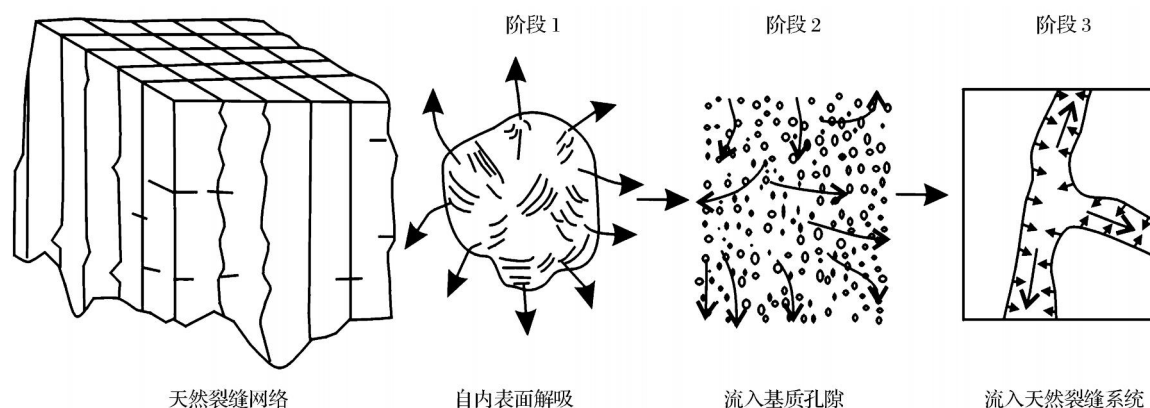
1.1 页岩产气机理与赋存形式

天然气在页岩中的生成、吸附与溶解逃离,具有与煤层气大致相同的机理过程。如图 1 所示,通过

收稿日期: 2009-06-24; 修回日期: 2009-10-20

基金项目: 中国石油天然气集团公司科技攻关项目(编号: 2008B 0502)资助。

作者简介: 王祥(1980),男,博士研究生,主要从事油气成藏机理与分布规律研究。E-mail: wangxiang_1980@163.com.

图1 裂缝页岩气生成模式(据李明潮^[18], 1996, 有修改)

生物作用或热成熟作用所产生的天然气首先满足有机质和岩石颗粒表面吸附的需要, 此时所形成的页岩气主要以吸附状态赋存于页岩内部。当吸附气量与溶解的逃逸气量达到饱和时, 富裕的页岩气解吸进入基质孔隙。随着天然气的大量生成, 页岩内压力升高, 出现造隙及排出, 游离状天然气进入页岩裂缝中并聚积。

页岩岩性多为沥青质或富含有机质的暗色、黑色泥页岩和高碳泥页岩类, 岩石组成一般包括 30% ~ 50% 的粘土矿物、15% ~ 25% 的粉砂质(石英颗粒)和 4% ~ 30% 的有机质。正是由于页岩具有这样的特性, 所以页岩中的天然气具有多种存在方式, 主要包括了 2 种形式, 即游离态(大量存在于页岩孔隙和裂缝中)和吸附态(大量存在于粘土矿物、有机质、干酪根颗粒及孔隙表面上), 其中吸附态存在的天然气占天然气赋存总量的 20% 以上(Barnett Shale) 到 85%(Lewis Shale)^[12]。

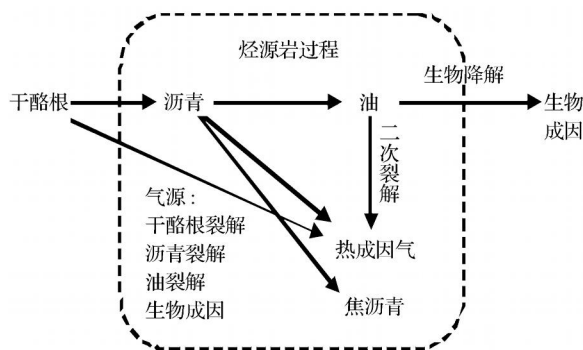
1.2 页岩气成因

前人对美国 5 大页岩气盆地页岩气的成因研究表明, 页岩气可以通过以下 2 种途径演变而来。

第 1 种途径: 热裂解成因气。页岩中热成因气的形成有 3 个途径(图 2): ①干酪根分解成气体和沥青; ②沥青分解成油和气体(步骤 1 和步骤 2 为初次裂解); ③油分解成气体、高含碳量的焦炭或者沥青残余物(二次裂解)。最后一个步骤主要取决于系统中油的残余量和储层的吸附作用。美国 Fort Worth 盆地的 Barnett 页岩气就是通过来源于干酪根热降解和残余油的二次裂解^[19-20], 主要以残余油的二次裂解为主, 正因为如此, 使得 Barnett 页岩气具有较大资源潜力。

第 2 种途径: 生物成因气。一般指页岩在成岩的生物化学阶段直接由细菌降解而成的气体, 也有

气藏经后期改造而成的生物气。如美国密歇根盆地的 Antrim 页岩气是干酪根成熟过程中所产生的热降解气和产甲烷菌新陈代谢活动中所产生的生物成因气, 以后者为主。其原因可能是发育良好的裂缝系统不仅使天然气和携带大量细菌的原始地层水进入 Antrim 页岩内, 而且来自上覆更新统冰川漂移物中含水层的大气降水也同时侵入, 有利于细菌甲烷的形成^[21]。

图2 Barnett 页岩热成因气形成途径示意^[19]

1.3 页岩气生产

一般来说, 页岩气井产量少, 压力低。页岩气井具有很长的生产寿命, 主要有 2 种原因: ①解吸气。这种气体能在压力下降时释放出来; ②天然气主要来自其他层段, 这些层段靠页岩中垂直裂缝网络与主要层段相连通。页岩气井的产气量一开始(前 5 a)较高, 主要是由于井眼瞬间连通的裂缝网络内游离气体和连通孔隙内的气体容易进入井眼造成的。但随之缓慢减至一低水平, 并维持 10~ 30 a 不变, 所产气主要是来自页岩基质扩散和解析出的气体。

2 页岩气形成条件分析

2.1 沉积环境

较快的沉积条件和封闭性较好的还原环境是黑

色页岩形成的重要条件。沉积速率较快可以使得富含有机质页岩在被氧化破坏之前能够大量沉积下来,而水体缺氧可以抑制微生物的活动性,减小其对有机质的破坏作用。如 Fort Worth 盆地 Barnett 组富含有机质黑色页岩沉积于深水(120~215 m)前陆盆地,具有低于风暴浪基面和低氧带(OMZ)的缺氧-厌氧特征,与开放海沟通有限。

2.2 有效厚度

众所周知,广泛分布的泥页岩是形成页岩气的重要条件。同时,沉积有效厚度是保证足够的有机质及充足的储集空间的前提条件,页岩的厚度越大,页岩的封盖能力越强,有利于气体的保存,从而有利于页岩气成藏^[22]。美国5大页岩气勘探开采区的页岩净厚度为9.14~91.44 m,其中产气量较高的Barnett页岩和Lewis页岩的平均厚度在30.48 m以上^[13]。

2.3 总有机碳含量(TOC)

总有机碳含量是烃源岩丰度评价的重要指标,也是衡量生烃强度和生烃量的重要参数。有机碳含量随岩性变化而变化,对于富含粘土的泥页岩来说,由于吸附量很大,有机碳含量最高,因此,泥页岩作为潜力源岩的有机含量下限值就愈高,而当烃源岩的有机质类型愈好,热演化程度高时,相应的有机碳含量下限值就低。对泥质油源岩中有机碳含量的下限标准,目前国内外的看法基本一致,为0.4%~0.6%,而泥质气源岩有机碳含量的下限标准则有所不同。大量研究表明,气态烃分子小,在水中的溶解能力强,易于运移,气源岩有机碳含量的下限标准要比油源岩低得多。美国5大页岩气系统页岩总有机碳含量较高,分布范围大(0.5%~25%),可分为2类,Antrim页岩和New Albany页岩的TOC含量较高,一般分布于0.3%~25%之间;而Ohio页岩、Barnett页岩和Lewis页岩的TOC含量在0.45%~4.7%之间。

2.4 干酪根类型和成熟度

众所周知,在不同的沉积环境中,由不同来源有机质形成的干酪根,其组成有明显的差别,其性质和生油气潜能也有很大差别。因此,研究干酪根的类型(性质)是油气地球化学的一项重要内容,也是评价干酪根生油、生气潜力的基础。干酪根类型是衡量有机质产烃能力的参数,不同类型的干酪根同时也决定了产物以油为主还是以气为主。一般来说,I型干酪根和II型干酪根以生油为主,III型干酪根则以生气为主。纵观美国页岩气盆地的页岩干酪根

类型,主要以I型干酪根与II型干酪根为主,也有部分III型干酪根,而且不同干酪根类型的页岩都生成了数量可观的气,有理由相信,干酪根类型并不是决定产气量的关键因素。

沉积岩石中分散有机质的丰度和成烃母质类型是油气生成的物质基础,而有机质的成熟度则是油气生成的关键。干酪根只有达到一定的成熟度才能开始大量生烃和排烃。不同类型的干酪根在热演化的不同阶段生烃量也不同。在低熟阶段(0.4%~0.6%),有机质就可以向烃类转变。美国5大页岩盆地页岩的热成熟度分布范围在0.4%~2.0%之间,可见在有机质生烃的整个过程都有页岩气的生成。随着成熟度的增加,早期所生成的原油开始裂解成气。美国Barnett页岩之所以含气量大,主要源于生烃体积(有机质丰度、生烃潜力和页岩厚度引起的结果),成熟度以及部分液态烃持续裂解生气。成熟度越低的Barnett页岩区,其气体产量就越低,这可能是因为生气少,残留烃的流动阻塞孔隙的缘故。许多高熟的Barnett页岩区干酪根和油的裂解使生气量大幅提高,导致页岩气井气体流量大。因此,成熟度是评价高流量页岩气相似性的关键地球化学参数。

3 页岩气成藏影响因素

3.1 孔隙度

在常规储层中,孔隙度是描述储层特性的一个重要方面。页岩储层也是如此。作为储层,页岩多显示出较低的孔隙度(<10%),当然也可以有很大的孔隙度,且在孔隙里储存大量的游离气,即使在较老的岩层,游离气也可以充填孔隙的50%。游离气含量与孔隙体积的大小密切联系。一般来说,孔隙体积越大,所含的游离气量就越大。如图3a所示,含气饱和度为0.5%的孔隙仅有接近5%的气体总体积,而孔隙度为4.2%的游离气充填量达到气体总体积的50%(图3b)。

3.2 裂缝发育

页岩的矿物成分较复杂,石英含量高,且多呈粘土粒级,常以纹层形式出现,而有机质、石英含量都很高的页岩脆性较强,容易在外力作用下形成天然裂缝和诱导裂缝,有利于天然气渗流,说明岩性、岩石矿物成分是控制裂缝发育程度的主要内在因素。

由于页岩具有低孔隙度低渗透率的特性,产气量不高,而那些开放的矩形天然裂缝弥补了这一不足,大大提高了页岩气产量。裂缝改善了泥页岩的渗流能力,裂缝既是储集空间,也是渗流通道,是页

岩气从基质孔隙流入井底的必要途径。并不是所有优质烃源岩都能够形成具有经济开采价值的裂缝性油气藏,只有那些低泊松比、高弹性模量、富含有机质的脆性页岩才是页岩气资源的首要勘探目标^[17]。

3.3 有机碳含量

在裂缝性页岩气系统中,页岩对气的吸附能力与页岩的总有机碳含量之间存在线性关系。如图4a所示,Michigan盆地的Antrim页岩和Illinois盆

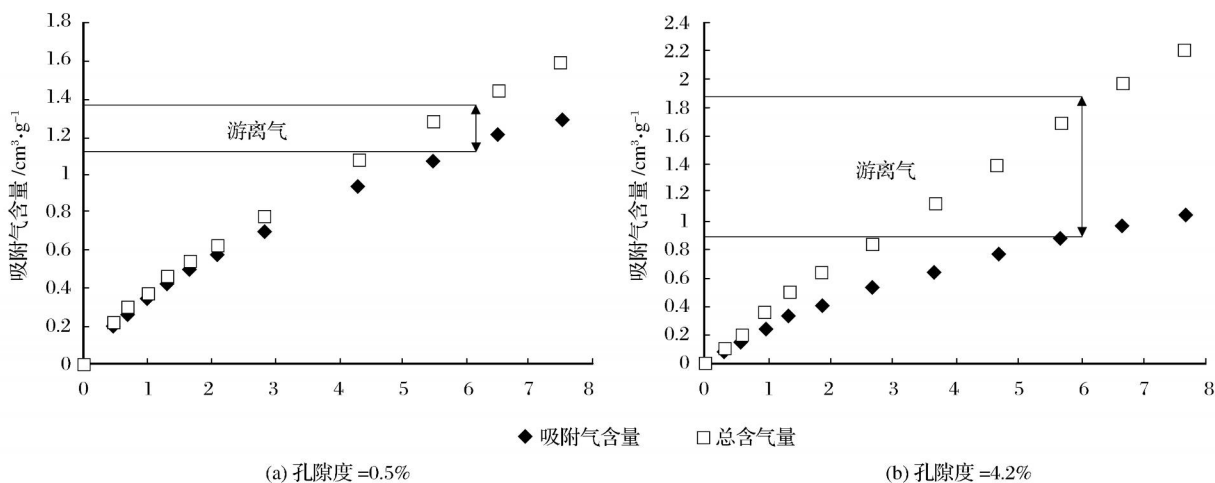


图3 孔隙度对游离气含量的影响^[6]

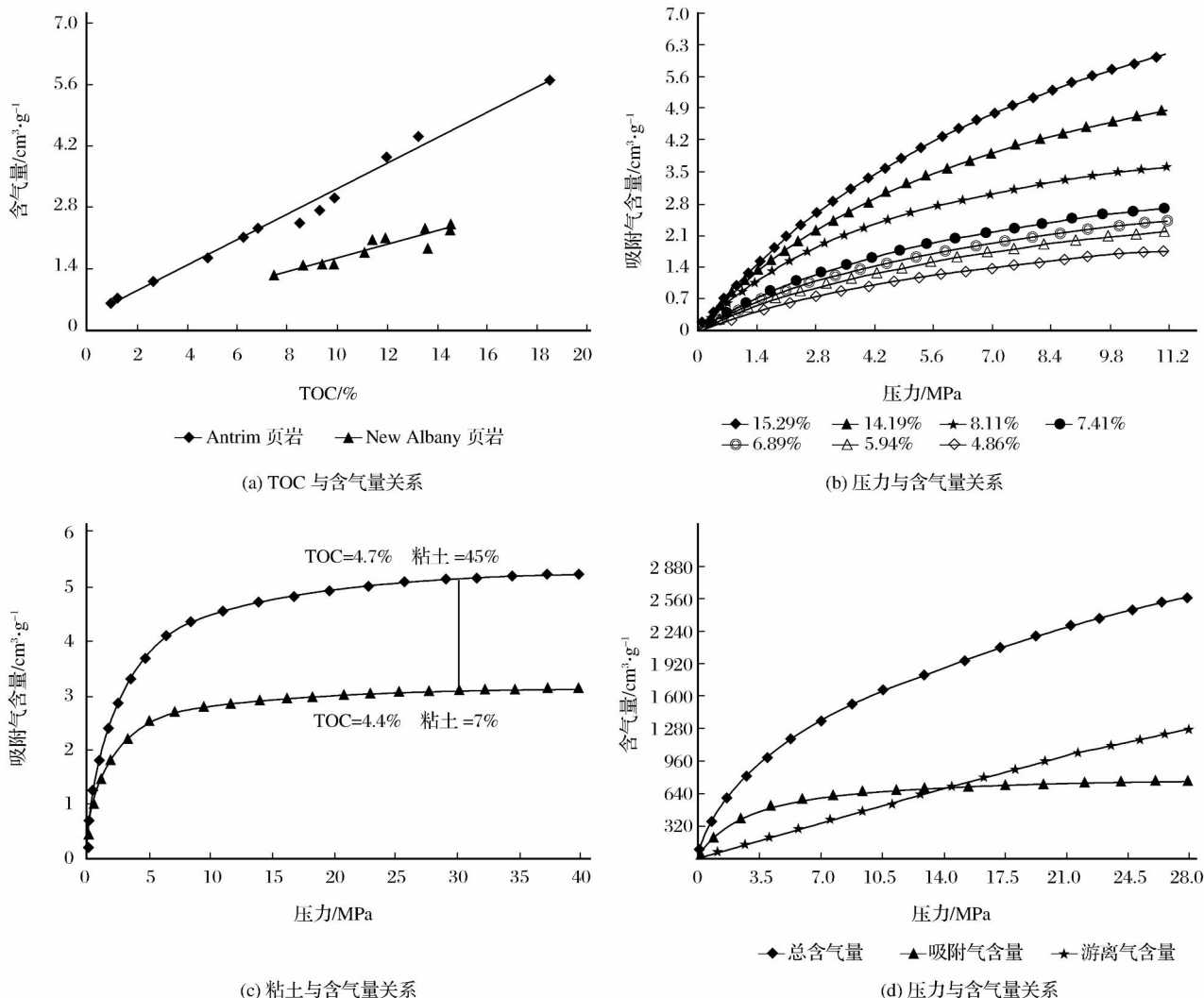


图4 有机碳、粘土矿物、地层压力对含气量的影响^[6]

地的 New Albany 页岩的 TOC 含量与气体的含量存在着明显的正相关性。在相同压力下,总有机碳含量较高的页岩比其含量较低的页岩的甲烷吸附量明显要高(图 4b)。页岩气除了被有机质表面所吸附之外,还可以吸附在粘土的表面(干燥)。在有机碳含量接近和压力相同的情况下,粘土含量高的页岩所吸附的气体要比粘土含量低的页岩高。而且随着压力的增大,差距也随之增大(图 4c)。

3.4 地层压力

地层压力也是影响页岩气产量的因素之一。研究表明,地层压力与吸附气有着正相关性,地层压力越大,页岩的吸附能力就越大,吸附气的含量也就越高。游离气含量也会随着压力的增加而增加,两者基本上呈线性关系(图 4d)。值得注意的是,压力在 6.89MPa 以前,吸附气含量随压力增加的幅度很明显,而在其之后,增加的幅度不太明显,类似于常规的致密气藏。当然,不同地区由于有机质含量和周围围岩封存能力的不同,压力梯度也会产生差异。

除了上述影响因素之外,有机质类型、成熟度等也会影响页岩气含量,在此不再赘述。

纵观美国 5 大页岩气盆地的页岩储层特征,其中最重要的是热成熟度、天然气地质储量、总有机碳、储层厚度和吸附气所占比例^[23]。各页岩产层参数差异较大,说明还存在其他影响因素,如岩石类型、压力水平、埋深等,特别是裂缝的发育程度,应多角度评价页岩气资源潜力,确定合理的开采模式。

4 四川盆地页岩气潜力初探

四川盆地页岩主要分布在下寒武统筇竹寺组和

下志留统龙马溪组。下寒武统和下志留统的暗色泥页岩和炭质页岩形成于静海的还原环境,有机质多为 I 型。下寒武统烃源岩平均厚 139 m, TOC 值为 0.5%~4%, 主要分布在川西南、川北和川东地区;下志留统烃源岩厚 100~700 m, TOC 值为 0.4%~1.6%, 分布面积约为 $13.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 主要分布在川东及川南地区。这些偏腐泥型的海相有机质现今处于高成熟或过成熟阶段(R_o 值为 2.0%~5.0%), 热演化产物以裂解气为主, 分别形成威远震旦系、五百梯和沙坪场等石炭系碳酸盐岩气藏。

与美国 5 大页岩气系统相比(表 1), 四川盆地 2 套页岩成熟度更高(R_o 值一般在 2%~5% 之间); 埋藏深度一般大于美国页岩系统, 埋深最浅已达 2300 m, 最深达 4100 m, 而美国 5 大页岩系统最浅仅 180 m, 最深也仅有 2550 m; 美国 5 大页岩系统页岩的有机碳含量一般比四川盆地的 2 套页岩高, 如 Michigan 盆地的 Antrim 页岩和 Illinois 盆地的 New Albany 页岩有机碳含量最高可达 24%~25%。四川盆地筇竹寺组页岩有机碳含量(0.5%~4%)与美国 Appalachian 盆地的 Ohio 页岩有机碳含量(0~4.7%)基本可比; 在页岩系统总厚度方面, 四川盆地 2 套页岩系统无论是总厚度还是纯厚度均较美国 5 大页岩系统优越, 当然, 对页岩厚度的统计尚需进一步研究。

通过与美国 5 大页岩气系统的比较, 四川盆地具有与其相似或更优越的地质条件。结合页岩发育地质特点及美国页岩气勘探经验, 四川盆地页岩气的勘探将是中国南方油气勘探的一个重要步骤和方向, 对丰富和发展中国的天然气地质理论具有重要意义。

表 1 四川盆地 2 大页岩气系统与北美 5 大页岩气系统地质地球化学参数对比^[16]

地区	页岩气系统	面积/km ²	时代	埋深/m	总厚度/m	TOC/%	R_o /%
美国	Antrim 页岩	315 980	中、上泥盆统	120~720	48	0.3~24	0.4~0.6
	Ohio 页岩	414 400	泥盆系	600~1 500	90~300	0~4.7	0.4~1.3
	New Albany 页岩	137 270	泥盆系	180~1 470	30~120	1~25	0.4~1.0
	Barnett 页岩	10 878	密西西比系	1 590~2 550	60~90	4.5	1~1.3
	Lewis 页岩	2 849	白垩系	900~1 800	150~570	0.45~2.5	1.6~1.88
四川 (中国)	筇竹寺页岩	52 000	下寒武统	2 700~3 600	100~400	0.5~4	2~5
	龙马溪页岩	26 000	下志留统	2 300~4 100	203	0.4~1.6	2~4.5

5 结语

(1) 页岩气属于非常规油气资源, 生产机理复杂, 主要以吸附气与游离气形式存在, 形成机制可划分为生物成因、热成因或二者混合成因。从排烃的角度分析, 在源岩生烃之后大量排出之前, 首先必须

满足页岩系统自身矿物颗粒的吸附, 同时还需满足其基质孔隙和各类储集空间的储备, 之后剩余的烃类方能向压力更低的储集空间排驱, 因此, 页岩气藏具有典型原地成藏的特点。

(2) 作为非常规油气资源, 页岩气的地质储量丰富。影响页岩气产量的因素主要有总有机碳、有

机质类型和成熟度、产层孔隙度、地层压力及裂缝发育程度等。在满足地球化学基本条件(有机质丰度、类型、成熟度和天然气成因)的情况下,裂缝系统发育程度和产生条件是获得具有商业价值天然气的重要控制因素。

(3) 四川盆地发育 2 套优质页岩(下寒武统筇竹寺组和下志留统龙马溪组),具备形成裂缝性油气藏所需优越的地质、地球化学条件,有可能成为我国页岩气勘探的重要战场。

致谢:作者在调研期间,中国石油勘探开发研究院程克明教授级工程师、李新景博士后、黄金亮博士等提供了建设性意见和帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] Law B E, Curtis J B. Introduction to unconventional petroleum systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86 (11): 1851-1852.
- [2] Curtis J B. Fractured shale gas system[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 192f-1938.
- [3] Hamblin A P. The "Shale Gas" Concept in Canada: A Preliminary Inventory of Possibilities[R]. GSC, Open File Report, 2006: 5384.
- [4] Kuuskraa V A. Unconventional Natural Gas, Industry Savior or Bridge? [C]. Washington, D. C.: EIA Energy Outlook and Modeling Conference, 2006.
- [5] Frantz J H, Jochen Jr V. Shale Gas[R]. Schlumberger White Paper, 2005.
- [6] Mavor M. Barnett Shale Gas in Place Volume Including Sorbed and Free Gas Volume (abs.) [C]. Fort Worth, Texas: AAPG Southwest Section Meeting, 2003.
- [7] Caldwell R. Unconventional resources: Are they for real? [J]. Scotia Newsletter, 2006: F 2.
- [8] Mc Callister T. Unconventional Gas Production Projections in the Annual Energy Outlook 2006: An Overview[R]. Washington, D. C.: EIA Energy Outlook and Modeling Conference, 2006.
- [9] Chen Jixin, Yang Chunsheng. Exploration and development for fractured shale oil reservoirs [J]. Abroad Oil & Gas Information, 1991, (1): 26-30. [陈继新, 杨春胜. 裂缝页岩油藏的勘探与开发[J]. 国外油气信息, 1991, (1): 26-30.]
- [10] Wang Dexin, Jiang Yushan, Lv Congrong. Some reviews for searching fractured oil and gas reservoirs in mudstone[J]. West China Exploration Engineering, 1996, 8(2): 12-14. [王德新, 江裕彬, 吕从容. 在泥页岩中寻找裂缝性油气藏的一些看法[J]. 西部探矿工程, 1996, 8(2): 12-14.]
- [11] Ji Meilan, Zhao Xuya, Yue Shujuan, et al. Exploration methods for fractured mudstone oil and gas reservoirs[J]. Fault Block Oil & Gas Field, 2002, 9(3): 19-22. [姬美兰, 赵旭亚, 岳淑娟, 等. 裂缝性泥岩油气藏勘探方法[J]. 断块油气田, 2002, 9(3): 19-22.]
- [12] Zhang Jinchuan, Xue Hui, Zhang Deming, et al. Shale gas and its accumulation mechanism [J]. Geoscience, 2003, 17 (4): 466. [张金川, 薛会, 张德明, 等. 页岩气及其成藏机理[J]. 现代地质, 2003, 17(4): 466.]
- [13] Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Yuan Mingsheng. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18. [张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 15-18.]
- [14] Zhang Jinchuan, Xue Hui, Bian Changrong, et al. Remarks on unconventional gas exploration in China[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(12): 53-56. [张金川, 薛会, 卞昌蓉, 等. 中国非常规天然气勘探综述[J]. 天然气工业, 2006, 26(12): 53-56.]
- [15] Xu Shilin, Bao Shujing. Preliminary analysis of shale gas resource potential and favorable areas in Ordos basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 460-466. [徐世林, 包书景. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组页岩气形成条件及有利发育区预测[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 460-466.]
- [16] Cheng Keming, Xiong Ying, Li Xinjing. A new area for oil and gas exploration to be paid attention—Potential of shale gas is great, China (abstract) [C]//The 11th Organic Geochemistry Conference Papers Collection, 2007: 10. [程克明, 熊英, 李新景. 一个值得关注的油气勘探新领域——中国页岩气资源潜力巨大(摘要)[C]//第11届有机地球化学论文摘要汇编, 2007: 10.]
- [17] Li Xinjing, Hu Suyun, Cheng Keming. Suggestions from the development of fractured shale gas in North America[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 392-400. [李新景, 胡素云, 程克明. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 392-400.]
- [18] Li Mingchao. Coalbed Gas and Its Exploration[M]. Beijing: Geological Press, 1996. [李明潮. 煤层气及其勘探开发[M]. 北京: 地质出版社, 1996.]
- [19] Montgomery S L, Jarvie D M, Bowker K A, et al. Mississippian Barnett shale, Fort Worth basin, north central Texas: Gas shale play with multi-trillion cubic foot potential [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 155-175.
- [20] Jarvie D M, Hill R J, Pollastro R M, et al. Evaluation of unconventional natural gas prospects: The Barnett shale fractured shale gas model (abstract) [C] // Book of Abstracts, Part II. Krakow, Poland: 21st International Meeting on Organic Geochemistry, 2003: 3-4.
- [21] Martini A M, Walter L M, Budai J M, et al. Genetic and temporal relations between formation waters and biogenic methane—Upper Devonian Antrim shale, Michigan basin, USA [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1998, 62(10): 1699-1720.
- [22] Yang Zhenheng, Li Zhiming, Shen Baojian, et al. Shale gas accumulation conditions and exploration prospect in southern Guizhou depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, (5): 24-30. [杨振恒, 李志明, 沈宝剑, 等. 页岩气成藏条件及我国黔南拗陷页岩气勘探前景浅析[J]. 中国石油勘探, 2009, (5): 24-30.]
- [23] Hill D G, Nelson C R. Gas productive fractured shales—An overview and update [J]. Gas TIPS, 2000, 6(2): 4-13.

Conditions of Formation and Accumulation for Shale Gas

WANG Xiang^{1,2}, LIU Yu-hua³, ZHANG Min⁴, HU Sur-yun⁵, LIU Hong-jun⁶

(1. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Detection, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Exploration Department of SINOPEC Northeast Oil-gas Field Company, Changchun 130062, China;

4. Department of Geochemistry, Yangtze University, Jinzhou 434023, China;

5. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China;

6. No. 3 Oil Production Plant, Dagang Oilfield Company, CNPC, Cangxian 061035, China)

Abstract: The history of exploration and production in North America has proved that shale gas is an unconventional resource with great exploration potential. Shale gas is a continuous accumulation of natural gas as well as deep basin gas and coal type gas. Shale with high organic matter not only acts as source rock, but also gas producing layer and cap rock. The geological and geochemical conditions of shale gas formation are different in different gas layers. The shale gas mainly consists in absorbed and free gas generated from biological function, thermal decomposition or mixing of both. So, the geological reserve of shale gas is rich. The main factors of gas accumulation are total organic carbon (TOC), type of organic matter, thermal maturity, porosity of gas producing layer, formation pressure and fracture, etc. In addition, the correlation of these factors should be paid attention. In Comparison with to shale gas North America basins, two sets of high quality shale (i. e. Lower Cambrian Jiulaodong Formation and lower Silurian Longmaxi Formation) in Sichuan basin have good conditions of geology and geochemistry for shale gas accumulation. Therefore, it should be paid more attention to shale gas exploration and production in Sichuan basin.

Key words: Shale gas; Genetic mechanism; Occurrence type; Gas content; Sichuan basin.

(上接第 269 页)

Hydrocarbon Filling History in the Western Slope Belt of Dongpu Depression

SONG Fang^{1,2}, YE Jia-ren³, SHEN Chuang-bo³

(1. Wuhan Center of Geological Survey, CGS, Wuhan 430223, China;

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources (China University of Geosciences), Chinese Ministry of Education, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on measurement of microscopic and fluorescent features of fluid inclusions and their homogenization temperature for 23 reservoir samples from 15 industrial wells at 3 belts in the western slope belt of Dongpu depression, hydrocarbon filling history was determined, in combination with numerical simulation of burial and thermal history of single well. Two phases of hydrocarbon filling existed in the first belt, corresponding to about 10– 19Ma and 2– 6Ma, respectively. There are two phases of hydrocarbon filling at second belt outside, corresponding to 30Ma and 3Ma, respectively. But, there are three phases of hydrocarbon filling at second belt inside, corresponding to 17– 19Ma, 12– 16Ma and 2– 8Ma, respectively. The time of hydrocarbon filling gradually becomes later from second belt outside, second belt inside to first belt.

Key words: Fluid inclusion; Hydrocarbon accumulation; Reservoir; Dongpu depression.