

中国页岩气成藏和潜在产能与对环境的污染分析

滕吉文 刘有山

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 基于当今化石能源的需求还在扩展, 它的紧缺态势波及全球, 而中国的确需要更多的页岩气。为此, 非常规油、气能源, 特别是页岩油、气的勘探、开发和利用就必然地提上了社会进步和经济发展的议程上, 并得到世界各国的高度重视。因此, 页岩油、气现已成为中国能源界和科技界及政府部门的热门话题。在经过了一段时间的“热炒”和依据尚不充分的评估后, 本文通过对中外有关资料的分析 and 讨论认为, (1) 必须在了解世界各国、特别是北美页岩油、气赋存与开发的条件下, 独立自主地、依据充分地认识中国页岩的分布状态和页岩气的潜能; (2) 在理解其他国家页岩属性、页岩气前景和勘查及储存背景下, 在中国必须较全面的进行页岩和页岩气存储的地球物理勘探, 并选择远景好的典型地区进行示范性研究与探索; (3) 厘定页岩气的开采过程与条件及其对环境的污染程度和多个国家对开发页岩气质疑的核心; (4) 集理念与实践认识综合制定研究中国页岩气切实可行的方案与怎样发展的路线图; (5) 中国目前尚不宜大力投入和急于实施对页岩气的开采, 其前景不容过于乐观。

关键词: 页岩气; 形成与聚集的机制; 水压致裂水平钻井; 开采与污染; 发展前景与路线图

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)01-0001-30

当人类进入 21 世纪之际, 金属矿产资源、油、气、煤炭能源和水资源乃是制约社会与经济和科技进步的关键性要素。由于资源和能源的紧缺, 发达国家和欠发达国家之间的矛盾在逐渐激化, 加上油、气这种战略物资在全球范围内分布的不均匀性和供需国家与产地之间的战线之长, 以及各自之间为争夺资源和能源的态势当必强烈。由于它涉及到各有关国家的重大利益和发展进程, 故动用外交手段和军事手段已不少见! 中东的五次战争, 又有哪一次战争不是为了石油呢?

当今世界, 在油、气化石能源快速消耗和紧缺的情况下, 对非化石能源和非常规油气能源的开发和利用已成为人类社会发展和经济增长的必然途径。近年来, 世界各国对页岩气的勘探和开发呈现出极大的兴趣! 特别是北美页岩气开发取得一定的产效后通过扩大宣传促进了世界各国对页岩油、气的开发和利用的极大需求, 并首先锁定了中国。

至今, 中国的原油对外依存度现已达 56.3%, 且还在攀升。预计 2020 年, 中国能源的消耗将达到 5.5 亿 t, 而国内仅能生产 2.0~2.5 亿 t。为此, 在这一世界经济发展大潮的形势下, 中国三大石油公司, 国土资源部, 有关科研院所和学校, 发改委, 科技部等, 均有着急切的需求并纷纷制定了各种类型的计划、规划和快速发展的专门立项。近 2~3 年中, 对页岩气的资源分布、储量和潜能以及产出效应均发表了一系列文章和报告^[1-10], 并多方立项与投资。因为中国众多的部门和科技界深切地关注着沉睡在地下漫长岁月的油、气页岩, 并设法提取它以为社会和经济发展的服务。为此, 页岩气已成为当今能源界、科技界和政府部门的热议话题。经过一番“热炒”之后, 人们必须静下心来深切的思考一下怎样使中国的页岩气真正成为一种能源并带来切实的效益!

笔者认为, 当今在中国尚未经过系统的、有序的对油、气页岩赋存、聚集、潜在的成藏量和物理状态

收稿日期: 2012-11-19; 改回日期: 2012-12-20

基金项目: 国家自然科学基金华北克拉通破坏重大研究项目(90914012)资助。

作者简介: 滕吉文, 男, 1934 年生, 博士, 研究员, 博导, 院士, 主要研究方向: 地球物理学与地球动力学; E-mail: jwting@mail.iggcas.ac.cn。

以及丰度进行实地勘查和测量,对其导致的重大环境灾害尚十分缺乏了解和认识,还有很多前期工作要做与落实。为此,提出可能的导向与示范区是十分有必要的,而给出潜力巨大和与北美相媲美及有关宏大前景等,深感量化研究和实地勘探程度、开采工艺过程及利弊分析尚十分不足。这就是说,还存在着一定的“盲目性”,因为目前还非常缺乏必要和充分的理论与实际边界条件。至少中国不宜急于对页岩气进行大规模地广泛投入和开采,即尚有待示范性研究和探索!

为此,本文基于笔者的认识和理解,对当今已发表的有关文献、报导和一些人们所提出的论点及论据进行分析和思考。并且在当今中国面对页岩气需求,并试图以页岩气作为未来主体能源之一的情况下,对以下六个问题进行讨论是不无裨益的:①全球大型、超大型页岩气藏的分布特征;②中国页岩气能源的可能潜力概况与分布;③北美克拉通地域非常规气藏的储量与规模;④常规与非常规气藏的聚集类型和特点;⑤对中国非常规气藏的勘查、研究与探索;⑥中国页岩气勘探与开发的进程不容过于乐观。

1 全球大型、超大型页岩气田的分布特点

页岩气(shale gas)是指赋存于泥页岩中,以吸附及游离状态存在的非常规天然气。这种赋存于具有生烃能力的泥岩及页岩等地层中的天然气与聚集,具有自生自储、吸附成藏、隐蔽聚集等地质特点^[18-21]。据预测,世界页岩气资源量为 $456 \times 10^{12} \text{ m}^3$,主要分布在北美、中亚、中东和北非、拉丁美洲、前苏联及中国等地区(图 1,表 1)。

从不同角度可将非常规天然气分为多种类型(图 2)。根据聚集机理不同,可将非常规天然气划分为以吸附为主的煤层气、吸附和游离兼具的页岩气、以活塞式运移为特征的致密储层气、以置换式运移为特征的常规储层气以及以溶解状态存在的水溶气、以笼状结构存在的水合物等^[21]。页岩气的储集形式有 3 种:储集在泥页岩中的页岩气;富集在孔隙与裂缝中的游离气;吸附于页岩表面的天然气。

1.1 美国页岩气的发展

1.1.1 美国页岩气的发展基础

在 1976 年,美国能源部及其以后的能源研究和

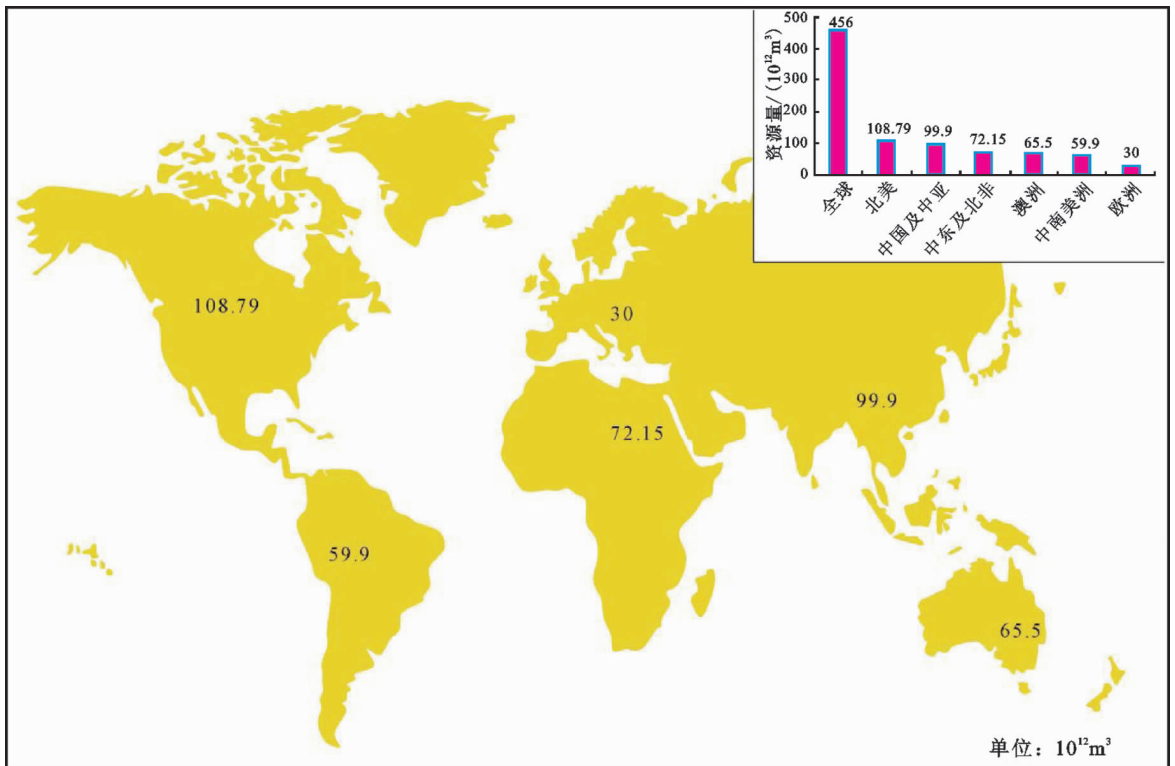


图 1 全球页岩气资源潜力分布^[18]

Fig.1 Worldwide distribution of shale gas resources

表 1 全球页岩气(10^{12} m³)资源分布^[63]

Table 1 The distribution of shale gas resources in the whole globe

地区	北美	南美	西欧	中欧和东欧	前苏联	中东和北非
页岩气	108.7	59.9	14.4	1.1	17.7	72.1
地区	撒哈拉以南非洲	中亚和中国	太平洋地区(经合组织)	其他亚太地区	南亚	全球
页岩气	7.8	99.8	65.5	8.9	/	456

开发署(ERDA)联合了国家地质调查局、州级地质调查局、相关大学以及工业团体,共同发起并实施了针对页岩气研究与开发的东部页岩气工程计划(EGSP),这一计划的实施和完成扩大了页岩气勘探、开发的范围,导致了页岩气产量的大幅度增加和一批科研成果的产出,尤其是在理论上认识到页岩气的吸附机理,使美国的页岩气产、储及资源量实现了翻番,为美国今天的页岩气蓬勃发展奠定了坚实基础。

1.1.2 美国页岩气产量的快速增长

近年来,美国的页岩气产量迅猛增长,其发展速度超过了包括煤层气在内的其他所有类型的非常规油气藏。在 1998—2007 年的 10 年间,美国非常规天然气的产量增加了 65%,由 1.258×10^8 m³ 增至 2.519×10^8 m³,页岩气使美国的非常规天然气产量增加了 40%。2009 年美国页岩气年产量达到 1.378×10^8 m³,占到美国当年天然气产量的 23%,2011 年产量达到 1.725×10^8 m³。预计到 2035 年,美国页岩气产量将增加 20%,占美国天然气总产量的 45% (EIA, 2011)。

1.1.3 美国页岩气的主要分布区

目前美国已实现工业开发的页岩气主要分布在中西部地区的古生界、中生界及新生界海相页岩层系中,主要包括阿巴拉契亚、密西根、伊利诺斯等盆地、威利斯頓 Bakken 页岩、圣胡安丹佛(Niobrara 白垩岩)、Barnett 页岩、Woodford 页岩、Marcellus 和 Haynesville 页岩气等。

1.1.4 美国页岩气的演化特征

美国页岩中赋存的各种类型有机质均具有生成天然气的潜力,但生成演化的特征各具特点。无论有机质为何种类型,当适于产甲烷菌活动的条件具备时,均可在成熟度较低时被微生物降解生成生物气,在成熟度较高时发生热降解或热裂解而形成热成因气。美国页岩气主要产于泥盆系、石炭系、侏罗系,有机质类型以海相 I、II 型为主,主要的页岩气产层的开发深度范围为 152~4 115 m。其中,生物成因页岩

表 2 Barnett 页岩成熟度最小和最佳指标^[22]

Table 2 The minimal and optimum indicators of shale maturity in Barnett

	$R_o/\%$	$T_{max}/^\circ\text{C}$	Dry gas/ $\%$
数值类型	1.0	455	80
较好值	1.2	465	90
最佳值	1.4	475	95

气的开发深度范围为 152~671 m,热成因页岩气的开发深度范围为 914~4 115 m,有机质成熟度(R_o)范围为 0.4%~3.0%,并以热成因气为主^[22,23]。

Jarvie 等人认为,有机质的转化不仅能形成天然气,还能提高泥页岩基质中的孔隙度,因此成熟度是决定含气性的关键参数^[22],例如 Barnett 页岩气能产生工业气流的最佳成熟度 R_o 指标为 1.4%(表 2)。实际上,美国重要的页岩气产层之一的 Marcellus 页岩有机质演化已达到过成熟阶段 R_o 超过了 3.0%,但在已部分石墨化的焦沥青基质中仍然存在具有储集能力的孔隙。

1.2 世界各国对页岩气的研究态势

1.2.1 美国页岩气

世界化石能源的缺少与紧张的格局,迫使各国必须将沉睡在地下深处的页岩油与页岩气的开发和提取提上日程。页岩气资源研究和勘探、开发最早始于美国,1821 年,第一口页岩气井钻于美国东部,20 世纪 20 年代步入规模生产,20 世纪 70 年代页岩气的勘探和开发区扩展到美国中、西部,20 世纪 90 年代,在政策、价格和开发技术不断进步等因素的推动下,页岩气逐渐成为重要能源的勘探和开发领域^[18,23-25](图 3)。

1.2.2 加拿大的页岩气——继美国之后成功开发的第二个国家

2007 年,位于不列颠哥伦比亚省东北部的区块已开始投入商业开发,其后加大了页岩气的研究投入和勘探开发力度。页岩气资源主要分布于不列颠

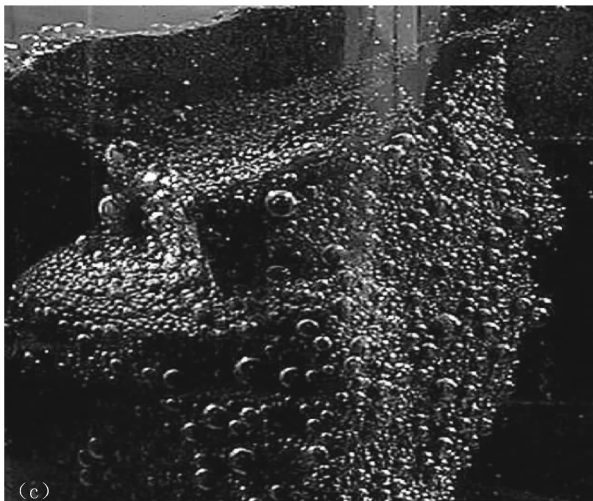
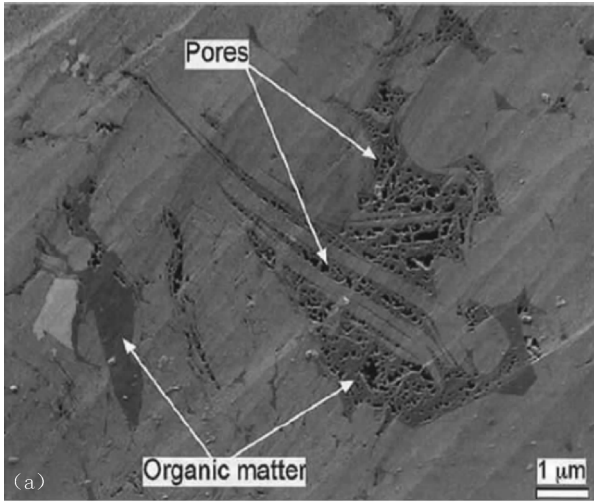


图2 页岩气的储集形式^[21]

a—储集在泥页岩中的页岩气;b—富集在孔隙与裂缝中的游离气;c—吸附于岩石表面的天然气

Fig.2 The reservoir forms of shale gas

a—Shale gas accumulated in mud shale; b—Free gas enriched in pores and fractures; c—Natural gas adsorbed on rock surface

哥伦比亚省、阿尔伯塔省、萨斯喀彻温省、南安大略地区、魁北克低地以及滨海诸省,其中不列颠哥伦比亚西部地区的下白垩统、侏罗系、三叠系和泥盆系的页岩气资源最为丰富。

目前,加拿大天然气供应量已占据了北美市场近50%的份额,不列颠哥伦比亚省东北部地区是其天然气主要产区。过去10年,该省天然气产量的增长主要来自非常规天然气,即页岩气和致密砂岩气。2011年,加拿大国家能源局和不列颠哥伦比亚能源和矿业厅联合发表的一份报告表明,不列颠哥伦比亚省东北部的霍恩河盆地可能成为北美第三大页岩气产区,仅次于美国的 Marcellus 和 Haynesville 页岩气藏。

1.2.3 欧洲的非常规天然气勘探与开发

欧洲的非常规天然气勘探与开发主要集中在波兰、奥地利、瑞典、德国和英国。据预测,欧洲的非常规天然气产量2030年最高可达600亿 m^3 /年,其中波兰的产量最高,其他的国家有瑞典、德国、法国、奥地利和英国等;“欧洲页岩气研究计划”(GASH)于2009年在德国国家地学研究中心(GFZ)启动。此项计划由政府地质调查部门、咨询机构、研究所和高等院校的专家组成工作团队,拟通过6年时间共同推动完成;工作的目的是通过收集欧洲各个地区的页岩样品、测井试井和地震资料数据,建立欧洲的页岩数据库,与美国的含气页岩进行对比分析研究,在此基础上发现页岩气以满足当地和区域的需求。

波兰已钻11口页岩气探井,预计2014年实现商业化开采,并逐步实现燃气自给,随着强有力供应链的建立以及新技术的应用,开发成本有望大幅度降低。除波兰外,目前欧洲大部分地区尚未进行页岩气系统勘探。

1.2.4 澳大利亚的页岩气

澳大利亚页岩气勘探活动已在迅速增长。据报道,位于南澳大利亚的Cooper盆地,第一口勘探直井产量高达5.7万标准立方米/d,位于西澳大利亚的Perth和Canning盆地产量前景很大。然而,页岩气的生产与常规气藏生产差异大,原因是非常规气藏渗透率极低和其他岩石物性差等特点。商业生产需要在长水平井完井作业后进行大规模水力压裂。

澳大利亚的地层挑战性强,钻井、完井以及压裂成本高于美国的大多数页岩气田。为优化方案,必须测试井压裂参数和其他参数(如完井长度,裂缝几何

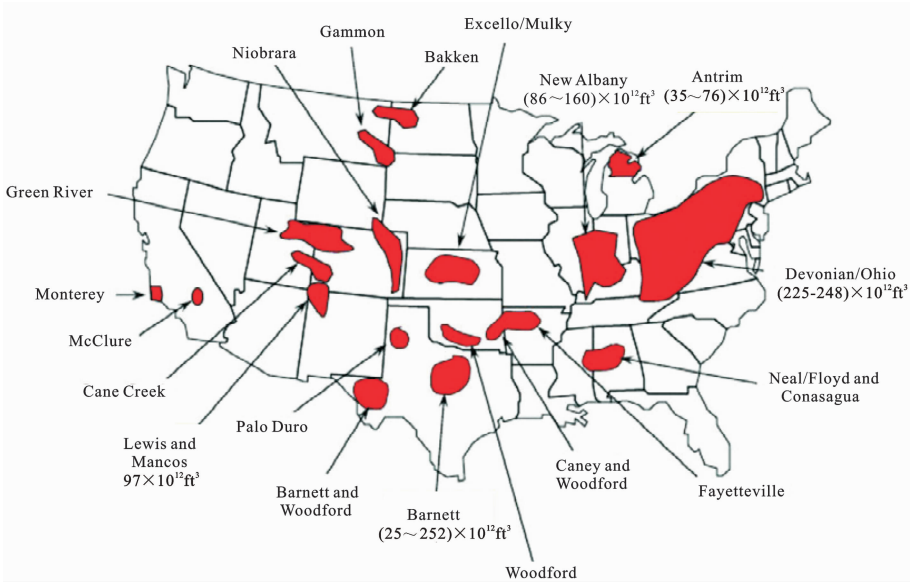


图 3 美国主要页岩气盆地资源潜力^[26]

Fig.3 The shale gas resources potential of major basins in USA

形状,渗透率和天然气价格)对 NPV(净现值)的影响。通过对任何参数和相应变量的迭代,任何开发的优化都应该合理。与此同时,在常规气藏开发中,对经济可行的概念要有一个很清楚的认识,但对于水压致裂水平钻井页岩气开发,尤其是澳大利亚页岩气藏开发,这个概念很模糊。在从事钻井、试油或开发活动前,敏感性的模拟研究是十分有必要的。

澳大利亚页岩气技术可开采资源量约 11 万亿 m³, 主要分布在中南部、西部和东部的 Cooper, Perth, Amadeus, Georgina 和 Canning 等盆地中,其中在 Perth, Cooper, Canning 盆地中,页岩气的勘探与开发已经取得了一定的进展,且前景较好。Perth 和 Canning 盆地是西澳大利亚最具前景的页岩气勘探区域,并都处于勘探中。Canning 盆地沉积厚度超过 15 km, 包含了上奥陶统至上白垩统的沉积物。Perth 盆地沉积物厚度大,形成于晚二叠世,即冈瓦

纳大陆分裂时期。到目前为止 Perth 盆地在地图上的标出面积为 30 000 km²,据估计,在保守采收率为 20%的情况下,该盆地可采页岩气为 1.67 万亿 m³。

依据泥浆以及电缆测井,如自然伽马能谱、井壁电阻率、中子-密度、偶极子声波测井资料以及其他声学测量资料。分析测定了采出的 100 m 长的岩心的压力衰减和脉冲衰减渗透率,以及气、水、碳氢化合物的饱和度、孔隙度和密度。此外,测量了岩心的地质力学数据如杨氏模量、泊松比、无侧限抗压强度(UCS)。通过成像测井资料分析断层和裂缝。现证实,深度大于 2 675 m,地层无天然裂缝。研究调查了 3 个重点页岩气目的层(储层 A、B、C),这些储集层的关键参数如表 3 所示^[27]。

1.3 全球页岩气分布的构造特征

全球油、气具有分布不均一的特点,在世界所拥有的石油资源当中有 60%~65%分布在中东,且远离

表 3 盆地页岩气储层参数

Table 3 The reservoir parameters of shale gas in basin

储层	总厚度/m	深度/mVTD	岩性	孔隙度/%	K/md	S _w /%	压力/Pa	温度/℃	流体
A	450	2659	页岩	3.0	0.0001	30	3895	122	天然气
B 的中部	250	2858	页岩	5.0	0.0001	35	4595	129	天然气
B 的下部	250	2923	页岩	6.0	0.0001	50	4700	131	天然气
C	330	3023	砂岩/页岩	7.0	0.0001	45	4558	135	天然气
D	22	3273	砂岩	7.0	0.001	45	4934	144	天然气

发达与发展中国家。中国在总的石油进口量中,约有70%左右来自中东。从区域大地构造单元的角度出发,油、气主要分布在克拉通和沉积盆地区域,即集中分布在特定的油气聚集地域和聚集区中。常规大型、特大型油、气田分布主要受到大地构造背景的控制,且主要以特提斯构造域为主;在构造类型上,主要以被动大陆边缘、前陆冲断带和克拉通正向构造带为主。非常规大型、特大型油、气田分布于大型负向构造区或斜坡区,如盆地中心、大型构造的斜坡或向斜区、高寒地带以及高纬度地区的冻土带等。

2 中国页岩气能源的可能潜力概况与分布

2.1 中国页岩气概况

2.1.1 各有关部门的重视和对局部地区的报道

中国有关部门依据世界页岩气的发展动态指出:四川盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地、江汉盆地、吐哈盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地等均有页岩气聚集的地质条件;这些盆地局部地层中有机碳含量很高,发现典型页岩气层中局部天然气富集。同时认为,除含油、气盆地以外,中国南方寒武系、奥陶系、志留系分布区的页岩气勘探前景不可忽视^[8]。近年来,受北美页岩气勘探开发获得巨大成功的影响,页岩气资源已引起中国政府职能部门及企业界的密切关注。中石油、中石化、延长油矿集团、中海油等大型国有石油企业均已将页岩气及页岩油勘探开发列为非常规油、气资源勘探开发的首位。2011年,国土资源部组织完成全国页岩气资源评价及有利区优选工作(基本上是在地质图上作业)。中国北方地区中新生界陆相泥页岩层系的页岩油、气潜力已引起各油田企业的高度重视,许多油田不同程度地展开了页岩油、气勘探研究及评价工作,但工作程度较浅。

中国当今页岩油、气勘探开发总井数达到63口。在泌阳凹陷、东濮凹陷、辽河拗陷及济阳拗陷等中生界陆相泥页岩层系中获得了工业油流。其中,泌阳凹陷安深1井压裂后在核桃园组泥页岩中获日产气 4.68 m^3 ,泌页HF1井压裂后获得最高日产 23.6 m^3 的工业油流,辽河拗陷曙古165井压裂后在沙三段泥页岩中形成日产油 24 m^3 ,东濮凹陷濮深18-1井在沙三段泥页岩中获得日产 420 m^3 的工业油流。

2012年3月22日《中国科学报》报导了一则消息:“中国页岩气规划‘大跃进’?”2012年3月1日,

国土资源部召开新闻发布会,首次公布了中国陆区页岩气地质资源潜力为 $134.42\times 10^{12}\text{ m}^3$,可采资源潜力为 $25.08\times 10^{12}\text{ m}^3$ (不含青藏高原区),展示了中国巨大的页岩气资源潜力。3月16日,中国第一部有关页岩气的专项规划——《页岩气发展规划(2011—2015年)》正式发布,其中2020年页岩气产量确定为600~1000亿 m^3 。去年,有关各界盛传中国2020年页岩气产量目标为800亿 m^3 。从零到800亿 m^3 再到1000亿 m^3 的指标,标志着中国页岩气发展已走上“跨越式”发展的道路?

中国的页岩和页岩油、气有着巨大的潜力?显然这种估计可能有些过高,因为至今尚十分缺乏较全面的实际勘查与分析!那么,中国页岩气到底潜力如何?必须明确的是:有页岩存储,却不一定有油、气!即使有油、气又是否具备开采价值与经济效益?这也就是说,目前也仅仅是一个定性“图件作业”的宏观估计,尚难以对此问题给出决策性的即量化的回答。

2.1.2 页岩气的形成条件

基于页岩气特殊的赋存机理及聚集方式,页岩地层中天然气的聚集条件及资源评价方法一直是一个长期讨论但又悬而未决的问题。由于页岩中的天然气可能来源于生物化学作用、热解作用或两者的混合^[9],故页岩生气并形成页岩气的条件主要取决于有机碳含量和有机质成熟度。同时并指出产气页岩的有机质含量丰度下限大约为2%;所获得有经济价值勘探目标的有机碳下限值为2.5%~3.0%。另一种观点则认为,密执安盆地Antrim泥盆系页岩的有机碳含量下限只有0.3%,阿巴拉契亚盆地部分地区产气页岩中有机质热演化程度的上限为4.0%,显然页岩的高成熟度($R_o>2\%$)可能不完全是制约页岩气富集的死线。

2.1.3 页岩气的储集条件

下古生界黑色页岩通常经历了复杂的地质构造变动,但二次生烃机理和生气特点具有较之一次连续生气更高的效率。在储集条件方面,页岩气将常规油、气地质研究中的源岩层或盖层延伸为目的层,将勘探目标层系从以砂岩等为代表的常规储层延伸至以泥页岩为主体的超致密地层中,将天然气储集的有效储层孔隙度降低至1%;由于自身较强的抗破坏能力,页岩气将勘探主体对象和目标从保存条件良好的盆地地区扩大到了后期抬升剧烈、现今保存条件尚较差的(残留盆地)隆升区;泥页岩吸附气含量

受有机质类型、丰度、成熟度以及埋藏深度等多种因素的影响,但在通常情况下与有机质丰度呈正相关关系。

游离气以游离状态赋存于页岩的微孔隙和微裂缝中,它与以吸附状态存在的天然气共同构成了页岩含气的主体。游离气的存在与裂缝、微裂缝的发育关系密切,同时还受孔隙度和裂缝孔隙度的约束和影响。较之吸附气来说,游离气更易于散失,故在埋藏深度较大、保存条件较好、裂缝相对发育的区带,游离气含量相对发育^[9](图 4~5)。

2.1.4 影响页岩油、气聚集的因素

根据影响页岩气、页岩油聚集丰度的因素,可将页岩气可分为生物、生物-低熟混合、低熟、成熟和高熟等类型以试图研究其含气特点。也有人将页岩气富集模式概括为前陆盆地型和克拉通盆地型两种^[29,30]。前者页岩气埋藏深度较深、地层压力较高、有机质成熟度较高,具有高含气饱和度、低吸附气含量比等特点;后者则埋藏深度较浅、有机质成熟度和地层压力较低,具有低含气饱和度、高吸附气比等特点。页岩气可分为直接型(干酪根直接生成天然气)、过渡型和间接型(原油裂解气)三种,分别对应于 III 型、II 型和 I 型干酪根,受控于陆相、海陆过渡相和海相沉积,对应于不同的页岩含气量及含气特点。

2.2 可能的潜力

2.2.1 估计资源量

据有关专家估算,中国页岩气可采资源量约为

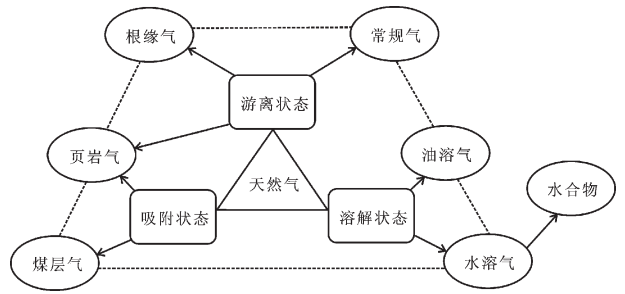


图 4 天然气聚集机理类型示意图^[14]

Fig.4 The sketch map of accumulation mechanism types of natural gas

26×10¹² m³,与美国大致相当^[3-4]。页岩气除分布在四川、鄂尔多斯、渤海湾、松辽、江汉、吐哈、塔里木和准噶尔等含油气盆地外,在中国广泛存在的海相页岩地层、海陆交互页岩地层及陆相地层中也有分布(图 6)^[1-17]。中国页岩地层在各地质历史时期均十分发育,既有有机质含量高的古生界海相页岩、海陆交互页岩,也有有机质较丰富的中、新生界陆相页岩,在油、气、煤炭勘探中,甚至固体矿产勘探时在油气盆地及盆地以外的沉积地层中也有多处页岩气的显示^[5-6]。

2.2.2 应当清晰认识的三个方面

①中国的页岩气与美国的页岩、加拿大的油页岩和致密砂岩相比,在页岩类型、含气丰度和采掘条件上均存在较大差异;②多处发现页岩气显示是十

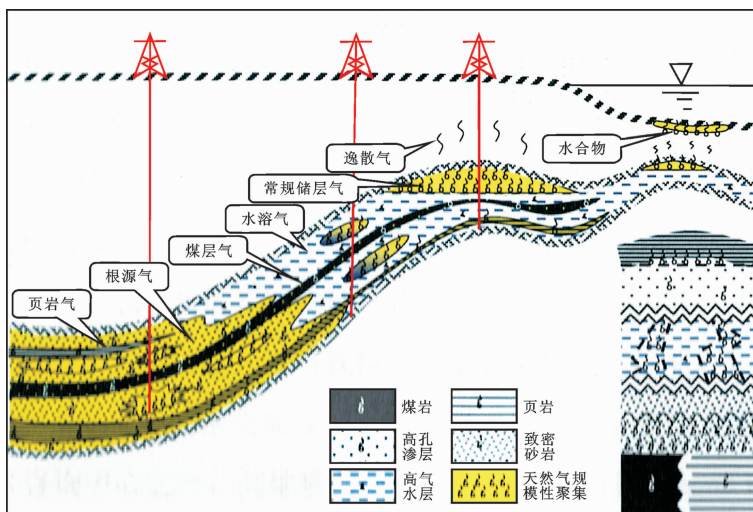


图 5 不同类型天然气的分布关系^[27]

Fig.5 The distribution relationship of different kinds of natural gas

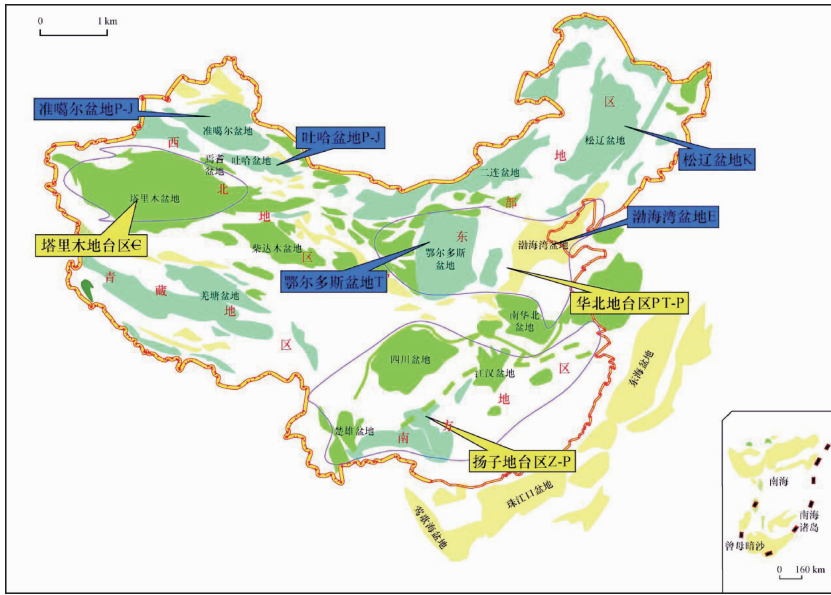


图6 中国页岩气的有利勘探领域示意图^[18]

Fig.6 The sketch map of favorable areas of shale gas in China

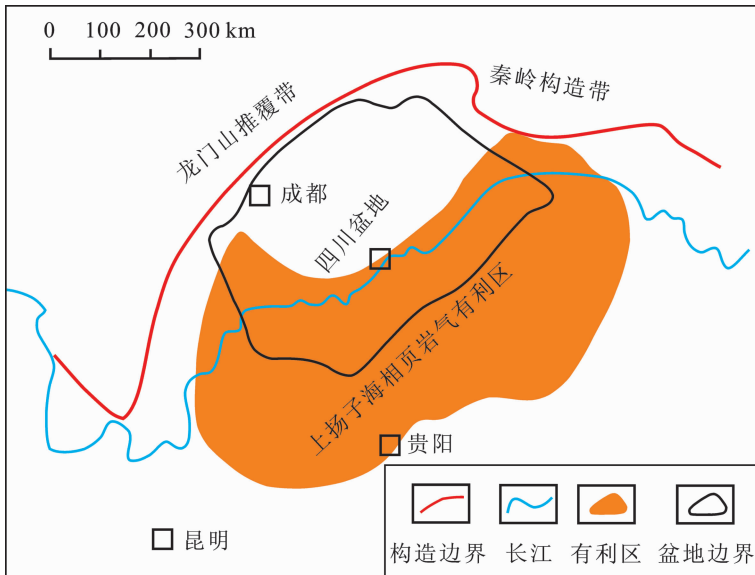


图7 上扬子地区页岩气有利地区^[18]

Fig.7 The favorable areas of shale gas in the Upper Yangtze area

分重要的苗头,但不一定都具有工业价值;③是否具有可以开采和利用的科学价值。

2.2.3 重要的远景区(带)

川南、川东、渝东南、黔北、鄂西等上扬子地区是中国页岩气主要远景区(图7)^[5-8]。以四川盆地为例,寒武系和志留系两套页岩,页岩气资源量相当于该

盆地常规天然气资源量的1.5~2.5倍^[9]。因此,中国页岩气资源勘探、开发有着一定的前景和勘探与开发的资源基础^[9-17]。

2.3 当前的勘探概况与部署

2.3.1 勘探概况分析

目前,中国页岩气资源调查与勘探开发还处在

探索与起步阶段,依据尚不充分。20世纪60~90年代,在个别盆地的泥页岩裂缝中发现过有油、气藏显示。2009年11月,在重庆市彭水县连湖乡实施了第一口页岩气战略调查井,见到了良好的页岩气的显示^[31]。为此,页岩气资源已引起中国油、气界的广泛关注,并相继召开了多次页岩气的研讨会。中国三大石油公司积极地将页岩气勘探开发列为非常规油气资源的重点。中国石油天然气集团公司于2007年与美国新田石油公司签署了《威远地区页岩气联合研究》,2009年又与壳牌公司在重庆富顺—永川区块启动了合作勘探与开发项目。中国石油化工集团公司、中国海洋石油公司和相关科研机构、高等院校乃至省、市地方等也已开始对页岩气进行立项研究和部署。然而至今,尚未对中国页岩气资源潜力进行过较全面的勘查和定量估算,页岩气资源有利目标区尚有待进一步查实。因为从地层和古生物研究来看,一些圈定的页岩气分布区显然不属于页岩的分布区^①。

2.3.2 方案的制定与路线图

急需进一步查明中国页岩气的分布特征,特别是深部背景及地质条件,圈定页岩气发育区和深度范围,测定页岩含气丰度,特别是有机碳含量和有机质成熟度等,以达预测页岩气资源潜力与分布。当今的问题是必须探明页岩属性、含气储量并对其趋势进行预测研究,对中国页岩气资源进行战略部署,厘定勘探与开发导向、重点,对各发展阶段进行科学地规划,明确发展方略(是大发展、小发展,还是暂不发展,或是进行示范性研究与探讨后再厘定),编制中国页岩气资源战略调查和勘探、开发的中、长期发展规划与路线图。

我们一定要强化,而不是“遐想”即老去谈“趋势优越”,“潜力巨大”,“前途光明”,且在情况不十分明确的条件下,各自制定出证据不足,无序的理想规划、方案等。问题是必须提出有论点、论据的,并以实际资料为基础、且具有一定经济效益和环境效益的实施与发展方案。

2.3.3 可能的优选靶区

在优选有利目标区和勘探开发区,进行示范性试验和研究是十分必要的,以利于未来在能源结构配置中决策和推广。目前来看,南方海相页岩地层、

北方湖相页岩地层和广泛分布的海陆交互相地层等将会是今后页岩气勘探的主要领域,四川、鄂尔多斯、渤海湾、松辽等八大盆地页岩气富集条件好,可能是未来页岩气勘探的主要目标区,含油、气盆地之外广泛分布的页岩也应是重要的勘查与研究的目标区。

(1)近期应以川南、川东南、黔北、渝东南、渝东北、川东、渝东、鄂西为重点示范和探索区(带),加大勘探力度、加快勘探步伐,争取获得不同导向的重大进展,提交页岩赋存和页岩气储量,选择中国南方海相页岩地层特别是上扬子地区作为战略示范区,针对四川盆地及其周缘的下寒武统、下志留统、二叠系等页岩地层开展页岩气地球物理和地质及富集条件调查,力争能基本厘定我国页岩油、气的发展导向。

(2)选择中国优势海陆交互相和湖相页岩地层区作为战略后备区,针对下扬子和华北海陆交互相、松辽盆地下白垩统、渤海湾盆地古近系、鄂尔多斯盆地上三叠统等湖相泥页岩地层,开展页岩气地球物理勘查,必须在方法和技术上有所创新。

(3)同时必须重视欧美页岩油、气勘探和开发理论、方法和技术的发展与污染治理进程。在此基础上配合井中物理参数测量和VSP探测,以达到在纵向和横向上对资源前景进行剖析,并力争能有所创新或发现。

以上表明,在中国发展页岩油、气能源,前期扎实的工作是十分重要的,同时必须周密考虑投入与产出比及其所带来的灾害程度,决不能“一哄而上”,而必须有理、有序,并切实制定出中国页岩油、气如何发展的战略路线图。

3 北美克拉通地域非常规气藏的储量与规模

非常规油、气藏包括“连续型”油气藏(场)与“断续型”油气藏(场),前者如致密砂岩气、页岩气、煤层气与天然气水合物等,后者如南、北美洲大规模分布的重油与天然沥青砂,其中重油资源为 658×10^{12} t、天然沥青砂可达 $1\ 067 \times 10^8$ t,即资源潜力很大^[12,33]。

3.1 北美非常规油气藏(场)

2000—2008年全球“连续型”油气藏(场)获得最大突破的是以美国、加拿大为主的北美克拉通地区致密砂岩气与页岩气藏(表4)^[35-36]。

①据中国科学院南京古生物所陈旭院士的报告:高温高压天然气勘探开发技术研讨会,广西南宁,2012。

表4 北美地台区页岩气藏的发现^[16]

Table 4 The discovery of shale gas in North America Platform

盆地	层位	页岩组	含气面积 /km ²	气藏深度/m	有效厚度 /m	地质储量 /(10 ¹² m ³)	技术可采储量 /(10 ¹² m ³)
沃斯堡	石炭系	Barnett	15 500	1 981~2 590	30~183	9.259 7	1.245 9
阿科马	石炭系	Fayetteville	23 310	305~2 134	6~61	1.472 5	1.178 0
路易斯安那	上侏罗统	Haynesville	23 310	3 200~4 115	60~91	20.303 3	7.107 6
阿帕拉契亚	中泥盆统	Marcellus	246 050	1 220~2 590	15~61	42.475 5	7.419 1
阿科马	泥炭系-石炭系	Woodford	28 490	1 830~3 353	37~67	0.651 3	0.322 8
密西根	上泥盆统	Antrim	31 080	183~670	21~37	2.152 1	0.566 3
伊利斯诺	泥盆系-石炭系	New Albany	112 665	150~610	15~31	4.530 7	0.543 7
西加拿大盆地	上三叠统	Montney	10 118	2 500~4 400	100~500	3.400 0~27.500 0	1.100 0~9.100 0

表5 几种非常规油气类型特点对比

Table 5 The comparison of characteristics of several kinds of un-conventional oil/gas

特点对比	页岩气	页岩油	煤层气	致密砂岩气	致密砂岩油
赋存介质	基质微孔、夹层、裂缝	基质微孔、夹层、裂缝	基质微孔、隔理	致密砂岩	致密砂岩
聚集模式	吸附、活塞式、置换式	活塞式、置换式	吸附、活塞式、置换式	活塞式	活塞式
成因机理	生物、热解、裂解、生物再作用	热解、裂解	生物、热解、裂解、生物再作用	热解、裂解	热解、裂解
运移	无运移、初次运移、极短距离二次运移	初次运移、极短二次运移	无运移、初次运移、极短距离二次运移	短距离二次运移	短距离二次运移
勘探对象	泥页岩层系	泥页岩层系	煤系地层	致密砂岩地层	致密砂岩地层
产出流体	湿气、干气	轻质油	湿气、干气	干气为主	轻质油、中质油
赋存方式	吸附、游离等	游离、吸附等	吸附为主	游离为主	游离为主
有机质类型	I、II、III	I、II	III	/	/
有机质成熟度 (R_o)/%	>1.2	0.5~1.2	>0.5	/	/
TOC/%	>1.5 (有利区)	>2.0 (有利区)	1.5 (有利区)	/	/
单层厚度/m	>10	>10	>10	>10	>10
埋藏深度/m	变化较大(<4500)	特定深度(1000~5000)	变化较大(<2000)	埋深较大(<6000)	埋深较大(<6000)
分布范围	盆心为主	盆心及斜坡为主	盆缘为主	盆心及斜坡为主	盆心及斜坡为主
地层时代	前震旦-新生界	中新界为主	前震旦-新生界	中新界	中新界为主

随着世界各国对能源的需求,油、气勘探与开发程度的提高,多种类型的油、气聚集不断得到发现,并投入工业开采。在勘探程度和技术水平相对较高的美国,致密砂岩气(油)、页岩气及煤层气储量巨大,可以形成工业开采规模的有5种^[29](表5)。

3.2 北美克拉通页岩气

3.2.1 北美克拉通页岩气分布与开发深度

2000—2008年,北美克拉通地区发现页岩气藏的盆地由5个(密西根、阿帕拉契亚、伊利斯诺、沃斯堡和圣胡安盆地)发展到以沃斯堡、阿科马、路易斯安那、西加拿大盆地等为主的30多个盆地,页岩气

的产层涵盖了北美克拉通所有的海相页岩烃源岩^[23,36-39]。美国页岩气藏的钻探深度自发现初期的600~2 000 m逐渐加深到目前的2 500~4 000 m^[17,41],部分盆地的钻探深度实际上已达到近6 000 m(图8)。2000年北美页岩气生产井约28 000口,页岩气年产量不足 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$,到2009年生产井已超过42 000口,预计页岩气年产量将增长至 $1 200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,可占北美天然气总产量的近20%。2005年阿帕拉契亚盆地发现了泥盆系Marcellus页岩气藏,气藏面积达 $24.605 \times 10^4 \text{ km}^2$,地质储量为 $42.48 \times 10^{12} \text{ m}^3$,可采储量 $7.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$,已成为目前美国最大的气田之一。

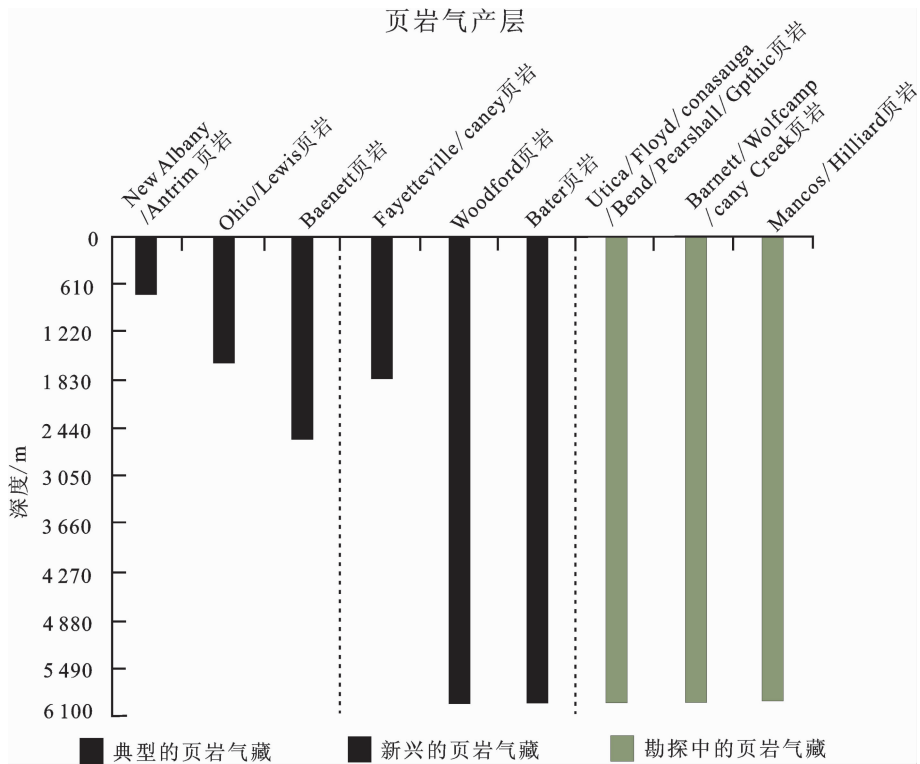


图 8 北美地台区页岩气藏开发深度图^[16]

Fig.8 The development depth map of shale gas reservoirs in North America platform

3.2.2 页岩气促进了经济发展

推动“连续型”页岩气藏发现的主要因素在于^[36]:页岩气藏资源潜力很大、范围十分广阔;水平钻井技术和连续油管分段压裂技术等成本较低(相对以前而言)和开发技术的突破及一定规模的应用;管道网络、市场需求、价格飙升和国家政策的大力扶持等。北美发现 30 多个致密砂岩气盆地,可采储量为 $13 \times 10^{12} \text{ m}^3$,美国目前生产井有 40 000 口,年产量已达到 $1.775 \times 10^8 \text{ m}^3$;如美国 Pinedale 致密砂岩气田,面积为 560 km^2 ,开采储量为 $5.862 \times 10^8 \sim 7.080 \times 10^8 \text{ m}^3$,气藏深度 2 100~4 200 m,气藏厚度为 1 830 m,孔隙度 4%~12%,渗透率 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.05 \times 10^{-3} \mu \text{ m}^2$,年产气 $108 \times 10^8 \text{ m}^3$,后期开发单井稳定日产量可达 $2.800 \sim 7.000 \text{ m}^3$,最高达 $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该气田 2002 年开发的井间距为 400 m,建井周期 60 d;2007 年开发井间距达到 200 m,建井周期 14~20 d;采取欠平衡与丛式井等钻井技术;主要用连续油管分段压裂,同一井场钻 4~5 口井,一周可以压裂 80 层,可实现了快速经济开发。

非常规“连续型”油气藏(场)分布面积广、储量

规模大,具有形成大油、气田的地质条件,需要研究与评估其含油气区的空间边界和三级储量规模,针对性开展资源评价、储集层和流体检测,并进行增产改造以提高采收率^[38]。

3.2.3 初步预测

据有关预测,美国页岩气资源量已超过 $28 \times 10^{12} \text{ m}^3$,目前美国和加拿大是页岩气规模性开发的两个主要国家,2009 年美国页岩气产量接近 $1.378 \times 10^8 \text{ m}^3$,即超过中国常规天然气的年产量^[41]。页岩气的快速勘探开发使美国天然气储量增加了 40%,预计 2010 年页岩气产量将占全美天然气产量的 15% 以上^[25](图 9)。

3.2.4 美国页岩气资源的良好要素匹配

(1) 美国页岩气的勘探开发经验

美国页岩气产出较好的地区通常有机碳含量高、厚度大、孔隙度和渗透率大,适当的热成熟度和深度,以及裂缝、湿度、温度、压力等要素的良好匹配^[19-20,42-44]。美国地质调查局(USGS)提出了海相页岩气选区的参考指标,如富存有机质的页岩厚度大于 15 m、有机碳(TOC)含量大于 4%、有机质成熟度

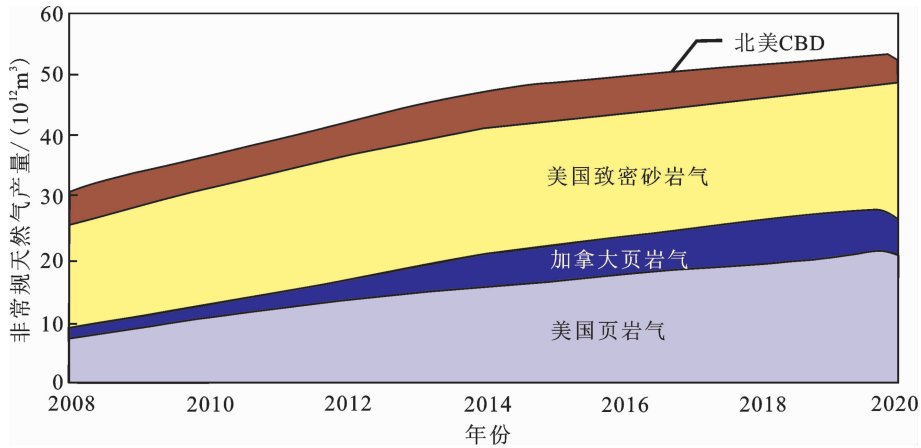


图9 北美地区页岩气及其他非常规天然气产量预测^[48]

Fig.9 The production predictions of shale gas and other unconventional gases in North America

(R_o)大于 1.1%、孔隙度大于 4%、含水饱和度低、伴有微裂缝等^[43]。由于美国已积累了大量的页岩气生产动态数据,在资源-储量评价时还会重点考虑估算最终储量(EUR)、产量等参数^[33,46-47]。

(2)页岩含气量是核心参数

含气量是页岩评价和选区的核心参数^[52],也是页岩气投入开发要考虑的关键参量。随着页岩气储层埋深的增加,开发页岩气必要的水平钻井和储层压裂改造成本投入迅速增加,在气价和采收率一定的情况下,为了保证经济效益,需要在有利优选区,尤其是勘探目标层段的优选中,重点考虑储层埋深

与含气量两者之间的关系,埋深较大的产层可能有望获得更高的含气量,但水压致裂水平钻井和管道设施必将更加复杂与困难。

3.2.5 页岩产层的纵向变化统计模型

目前世界上具有页岩气成功勘探、大规模开发经验的国家只有美国^[63-67],美国商业性开采的页岩气主要产自 7 个盆地中的 9 套页岩层(图 10),每套产气页岩都是独一无二的,他们的参数分布特征各不相同^[19,23,28,42,48,53],从 9 套主要产气页岩参数分布柱状图上可以看出,这些产气页岩的参数分布范围非常广,即并非相对集中在较窄范围内,这样的特征对

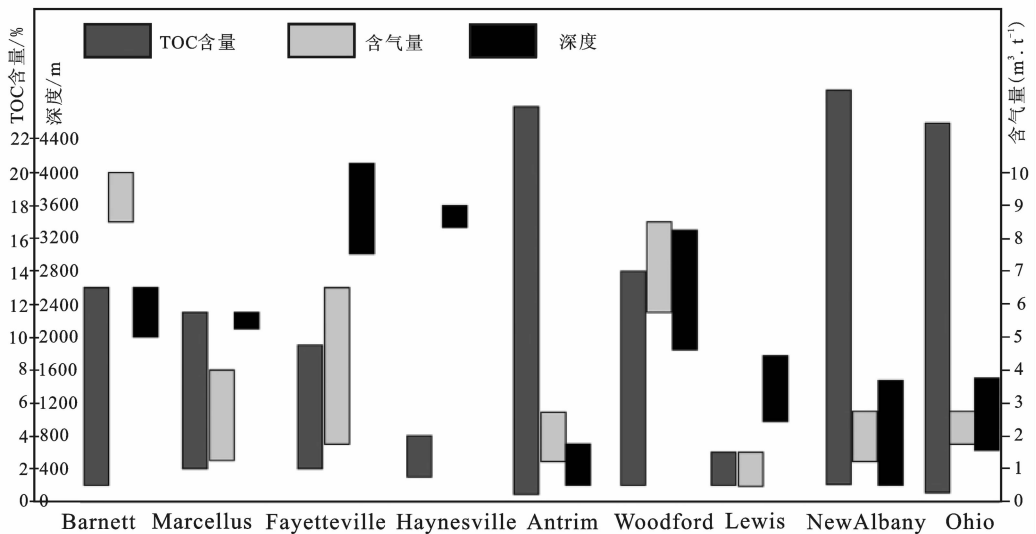


图 10 美国页岩气产层参数特征^[51]

Fig.10 The parameter characteristics map of shale gas production layers in America

中国页岩气的发展早期建立相对统一的选取标准和早期地质资源评价带来了较大困难^[51]。但是,无论其他参数如何变化,含气量是进行页岩气地质评价、勘探选区和资源评价的核心参数,也是影响开发产能的重要因素。

美国 9 套主要的页岩产层的埋深范围从近 200 m 到 4 115 m,含气量范围从近 0.5 m³/t 到 9.91 m³/t 变化,埋深越大产层的总产气量越高。将美国主要页岩气产层的最大值和最小值分别投入坐标(含气量,深度)中,发现深度与含气量的变化关系存在几个明显区域^[23,51](图 11)。根据这些分散的数据点分布大体上可以划出 3 条特征曲线和 3 个典型分区。

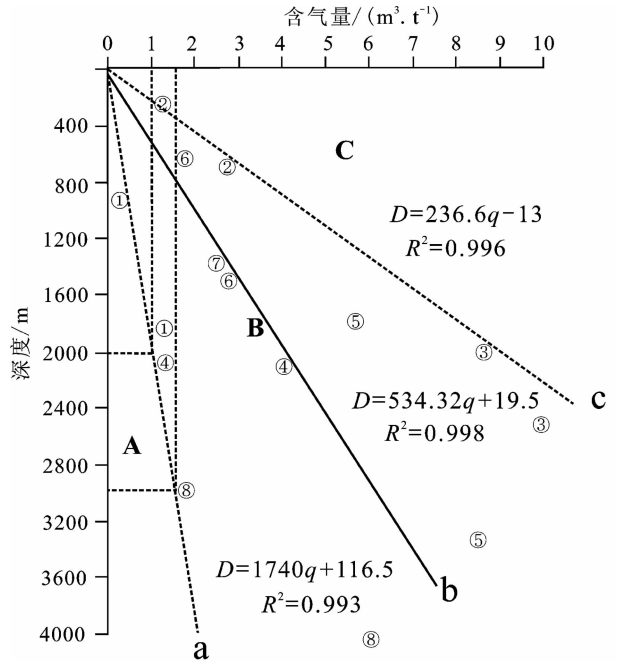
直线 a 代表产气页岩在不同深度的最小含气量,相当于含气量最小包络线,设 D 为埋深(m), q 为页岩含气量(m³/t),则按照 $D=1\ 740q+116.5$ 的线性关系;直线 c 代表产气页岩在不同深度的最大含气量,相当于含气量最大包络线,按照 $D=236.6q-13$ 线性变化;直线 b 代表产气页岩在不同深度的平均含气量,按照 $D=534.32q+19.5$ 线性变化。依据其 a, b, c 三条线的变化规律,当埋深 1 000 m 时页岩的经济含气量下限应为 0.5 m³/t, 2 000 m 处页岩的经济含气量下限应为 1.0 m³/t。

3 条直线可将坐标区划分为 3 个区域,区域 A 代表页岩含气量低,基本不具有经济价值;区域 B 代表在自然条件或经过储层改造后能够产出具有工业价值的天然气流的页岩含气量区域;区域 C 代表页岩天然气裂缝十分发育,含气饱和度高,为常规泥页岩裂缝气藏范畴。

3.3 致密砂岩气

(1)致密砂岩气是非常规油气等能源必须重视的重要方面

20 世纪 70 年代末以来,许多研究者对美国西部地区的致密砂岩气(Tight Sand Gas)进行了较多的研究,并取得了长足的发展(图 12),形成了以圣胡安(San Juan)、拉顿(Roton)、丹佛(Denver)等盆地为主的致密砂岩气发育区;在东部的阿巴拉契亚盆地(Appalachian)、威利斯顿(Williston)等也发现了大量致密砂岩气,美国能源信息署 2008 年评价认为,美国的致密砂岩气资源量为 $(19.8\sim 42.5)\times 10^{12}$ m³,占常规天然气资源量的 29.8%~63.9%。2009 年,美国的技术可采致密砂岩气储量为 8.77×10^{12} m³,占美国总技术可采天然气储量的 17%,2010 年美国致密砂岩气



① 圣胡安盆地Lewis页岩;② 密执安盆地Antrim页岩;
③ 福特沃斯盆地Barnett页岩;④ 阿帕拉契亚盆地Marcellus页岩;
⑤ 阿科马盆地Woodford页岩;⑥ 阿帕拉契亚盆地Ohio页岩;
⑦ 伊利诺斯盆地New Albany页岩;⑧ 阿科马盆地Fayetteville页岩

图 11 美国产气页岩埋深与含气量统计关系图^[51]
Fig.11 The statistical map of relationship between gas content and buried depth in America

的产量达到了 1 754 亿 m³。加拿大在阿尔伯塔盆地(Alberta)形成了艾尔姆华士(Elmworth)、霍得利(Hoadley)、牛奶河(Milk River)等一系列致密砂岩产区的天然气储量巨大,构成了加拿大天然气产量的重要组成部分。

(2)致密砂岩油与致密砂岩气的聚集机理

致密砂岩油与致密砂岩气具有大致相同的聚集机理,但实际地质条件中的致密砂岩气分布范围远较致密砂岩油为广,主要与沉积产物、储层致密化机理、生油气过程特点以及各自所要求的地质条件等因素有关。中国致密砂岩油气资源丰富,自 1971 年发现川西中坝致密砂岩气田后,相继发现了小草湖、苏里格等许多致密砂岩气田,在鄂尔多斯、四川、吐哈等盆地中存在良好的勘探发现及开发效果。在中国近海,目前也已经发现了一批致密砂岩气,其地质储量超过 5 000 亿 m³。

(3)中国致密砂岩油的资源潜力

尽管研究相对薄弱,但中国的致密砂岩油有很大的资源潜力,在松辽、鄂尔多斯(鄂南地区三叠系)、渤海湾(古近系)、塔里木等盆地中均发现了致密砂岩气

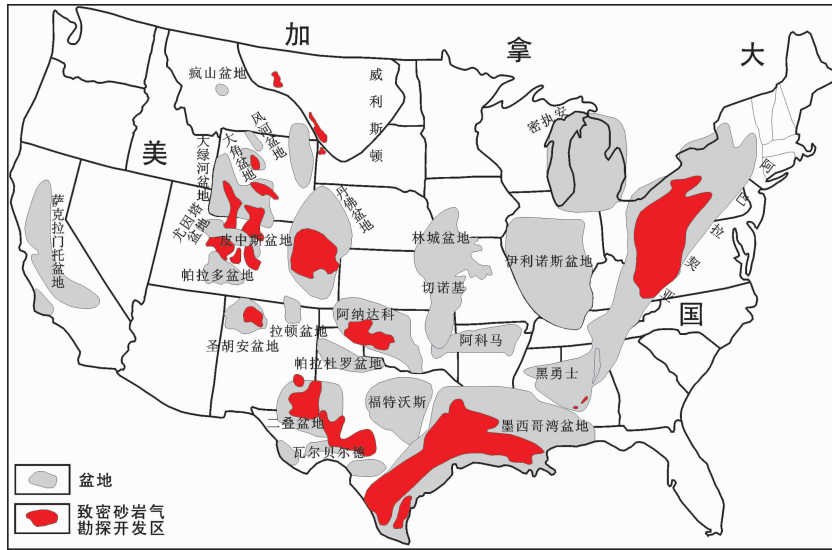


图 12 美国致密砂岩气分布图(据 EIA, 2010)

Fig.12 The distribution map of sandstone gas in America

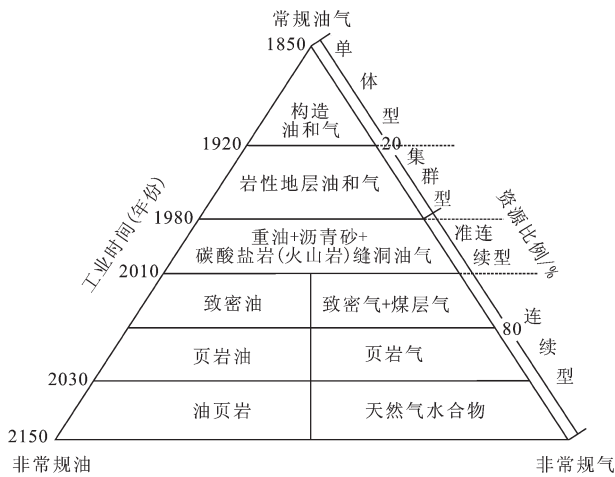


图 13 油气资源类型特征三角图^[40]

Fig.13 The characteristic triangular diagram of oil/gas types

或致密砂岩油存在的直接证据。中国致密砂岩油具有有机碳含量高、砂泥岩薄互层、横向变化大、发育和分布局限等明显的陆相特点。在 2011 年 12 月召开的“我国致密砂岩油勘探进展与资源潜力研讨会”上,专家指出了致密砂岩油的评价技术指标,主要包括储层物性、流体特征及储层可压裂性等。

4 常规与非常规气藏的聚集类型与特点

页岩储集层储集量、类型和质量及埋藏深度等综合因素是决定它能否为一个油、气田或特大型油气田的关键所在。

4.1 储集层油、气聚集类型和特点

全球油、气工业具有近 300 年的发展历史,主要包括构造油、气藏,岩性地层油、气藏和非常规连续型油、气聚集 3 个发展阶段或 3 大领域(图 13,表 6)^[40,57-58]。

通常,常规油、气为局部富集,而非常规油、气乃连续聚集。常规圈闭油、气与非常规储集层油、气在储集层特征等方面均存在差异^[40](图 14)。

非常规油、气是指储集层致密、单井缺乏自然工业产能的油、气。连续型油、气聚集,主要是滞留在烃源岩内,或经一次运移或近源短距离二次运移,在盆地中心、斜坡等大面积非常规储集层中准连续或连续分布的油、气聚集,无明显圈闭与盖层界限流体分异性差,无统一油、气、水界面和压力系统,含油、气饱和度差异大。

常规大油、气田储集层物性一般较好,非常规大油、气田储集层物性通常均非常差(图 14,表 6)^[40]。相对于孔隙度和渗透率,孔喉尺寸大小和分布是决定储集层储集能力和渗透能力更直接的参数^[56,57]。世界常规大油、气田和非常规大油、气区的区别,在本质上为孔喉大小的差异,常规大油气、田储集层孔喉直径一般为微米~毫米级,而非常规大油、气田储集层一般是纳米级孔喉网络系统。

4.2 纳米级孔喉特征与渗透率

4.2.1 孔喉尺度特征

利用高分辨率场发射扫描电子显微镜、纳米CT

资源分布类型	油气聚集类型	模式图	实例
单体类型	构造油气藏		波斯湾盆地 P—T 诺斯—南帕斯气田; 松辽盆地大庆长垣 K
常规油气集群型	岩性油气藏		松辽盆地 K; 渤海湾盆地 E
	地层油气藏		准噶尔盆地西北缘 C—J
准连续型	碳酸盐岩缝洞油气		塔里木盆地台盆区 C—O
	火山岩缝洞油气		新疆北部克拉美丽气田、牛东油田 C—P
	重油		渤海湾盆地 N
非常规油气	沥青砂		准噶尔盆地西北缘 J
	致密砂岩油气		鄂尔多斯盆地 C—P、T; 四川盆地 T
	致密碳酸盐岩油气		北美 Eagle Ford 致密油
	页岩油气		四川盆地 C、S
	煤层气		沁水盆地 C—P
连续型	油页岩		松辽盆地 K
	水合物		南海北部斜坡区

表 6 油气能源类型划分^[40]

Table 6 The classification of oil/gas energy types

等仪器测定中国页岩油、页岩气、致密油、致密气储集层时发现,其中广泛发育有孔喉直径小于 1 000 nm 的纳米级孔喉^[40],并首次在其中观察到有石油的赋存(图 15)。其中页岩气储集层孔喉直径为

5~200 nm,页岩油储集层孔喉直径为 30~400 nm,致密灰岩油储集层孔喉直径为 40~500 nm,致密砂岩油储集层孔喉直径为 50~900 nm。

与常规储集层对比表明,纳米级孔喉储集层中流体主要为非线性渗流,渗透率 $1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。显然“渗透率”这一储层孔隙参数已不能准确表示致密岩石的渗透能力。为此,可用储集层孔隙“连通度”^[40,57],即纳米级孔喉的连通程度这一新参数来表征^[40,57]。

4.2.2 不同类型油、气聚集特征比较

由于储集层孔喉直径大小和分布不同,常规圈闭油、气与非常规(准)连续型油、气的聚集机理在关键要素方面亦显然不同(图 16)。常规圈闭油、气聚集的关键在于圈闭定型时间与大规模油、气排聚时间的匹配关系即存在早圈闭型、同步圈闭型和晚圈闭型的差异(图 16-A)。只有那些在油、气区域性运移之前或同时形成的圈闭,对油、气的聚集才是重要的^[39,49]。岩溶缝洞准连续型油、气聚集的机理与常规圈闭油、气机理相类似,关键在于具有良好储集能力的岩溶缝洞是在大规模油、气排聚时间之前形成。非常规连续型纳米级孔喉油、气却突破了常规储集层物性下限和传统圈闭找油理念(图 16-B)。这就是说,大面积且连续分布的要点为大规模纳米孔喉储集层的致密背景,油、气生成与排聚(包括油、气主要排聚阶段)的主要时限(图 16-C)^[40]。

4.3 应重视中国四川盆地油、气聚集模型

四川盆地是一个大型含油气的双相沉积(叠合)盆地,富含天然气、含油为辅。盆地内震旦系—中三叠统为陆相碎屑岩沉积,上三叠统一始新统为陆相碎屑沉积含气为主,油、气主要分布在川中地区。盆地海相沉积发育下寒武统、下志留统和上二叠统 3 套主要烃源岩,陆相沉积发育上三叠统和下侏罗统 2 套主要烃源岩。围绕这 5 套主要源岩,形成了 5 套源、储共生油气聚集层系(图 17)^[40]。现已证实四川盆地的油、气探明储量中有 82% 分布在 5 大源、储共生层内,远景油、气储量的绝大多数也将集中在这 5 大源、储共生层内。

因此,怎样兼顾常规与非常规油、气层的勘探、开采必须有一个较全面的系统的考虑、布署及实施方案。这里一个明显的事实是,页岩均深埋在常规油、气藏的深处,而且中国构造复杂(包括四川盆地和其他区域),埋藏又深而且深部水平钻井技术、压

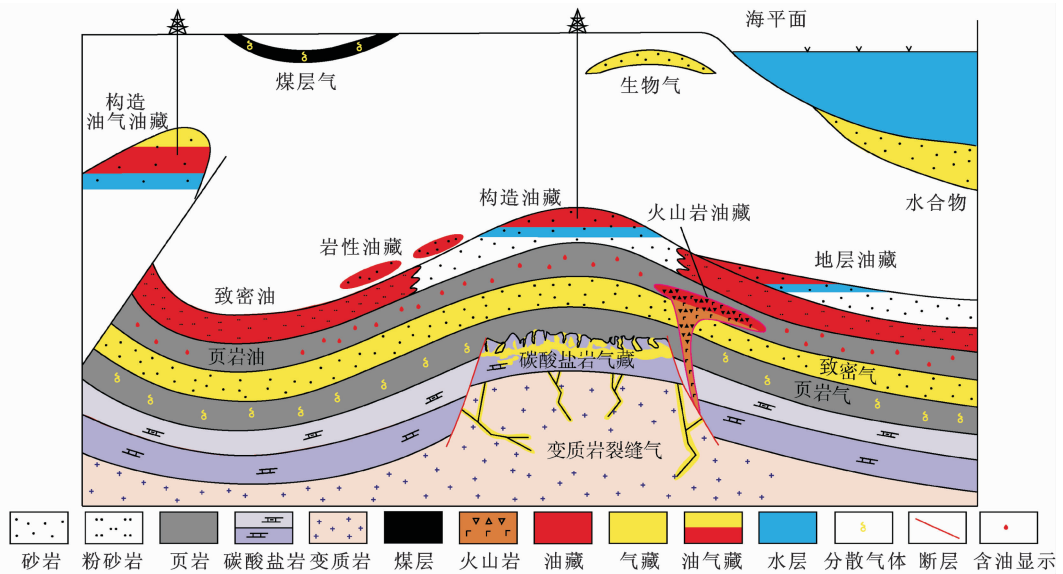
图 14 常规与非常规油气田聚集类型分布^[40]

Fig.14 The distribution of accumulation types of conventional and un-conventional oil/gas field

裂技术,提取技术与北美的页岩赋存条件等均存在显著的差异。

5 对中国非常规气藏的勘查、研究与探索

油页岩是一种高灰分的含可燃有机质的未成熟烃源岩,需人工加热、干馏后才能提炼液态烃,而未来原位开采技术的突破与工业化应用是油页岩应用的关键。有人估计,中国有丰富的油页岩,且在2010年时其产量达到 $55 \times 10^4 \text{ m}^3$,但这毕竟只是一个估计,不应乐观。页岩油、气是指在纯生油岩中滞留的石油,而关键在于其油、气基本上未经运移。

5.1 源储共生层致密油、气聚集模式

中国鄂尔多斯、松辽、渤海湾等盆地深处有油页岩赋存。当页岩热演化尚处于过成熟阶段时,形成凝析页岩油,通常流动性好且易于开采。页岩气是聚集于富有机质页岩地层中的天然气,它既是源岩也是储层,储集空间主要为粒间孔和有机质孔,即发育纳米级孔隙系统^[40]。页岩气在地层中以吸附和游离形式存在,呈连续型分布。核心区页岩气具有有机质碳含量高,热演化程度适中、脆性矿物含量高、富有机质页岩厚度大、埋藏较浅等特征。页岩气存在于深处需天然裂缝或压裂冲击,才能产生出有工业价值的天然气,而这主要依靠在水平井中进行多级压裂、制造微地震等技术开采。中国已启动了四川盆地蜀南

等页岩气工业化示范区项目,面积为 $4 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4 \text{ m}^2$,资源量为 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上,在威201、阳101等井中已钻探获日产 $1 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的工业气流。

在油、气田中,往往呈现出源、储共生的特点,天然气主要储存在致密储集体中,渗透能力较差、运移距离短、且供烃范围局限。为此,它主要在源岩内部及近储集体系中呈层状聚集。其基本模型如图18所示,四川盆地、鄂尔多斯盆地便是典型的例证。

5.2 中国非常规油、气勘探的进展

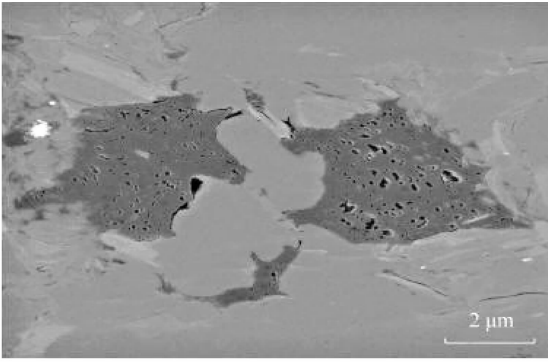
页岩气的研究应对储层岩石组成与空间分布、储层孔渗特征、储层孔隙和裂缝以及储层岩石力学参数(包括泊松比,杨氏模量和储层在纵向与横向的非均质性)进行量化测定和研究。

(1)非常规气尤其是源、储共生层系致密气的资源总量大,孔喉小物性较差

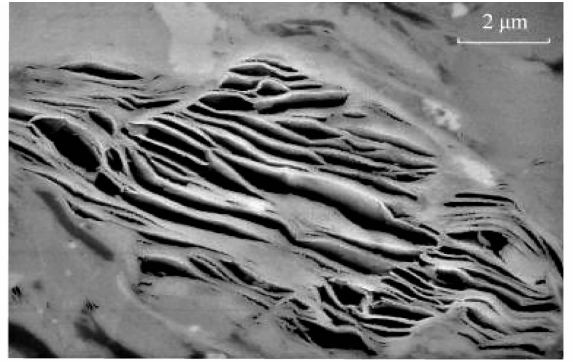
近年来,随着高新科技的发展,在北美各主要国家,非常规油、气勘探取得了重大突破。致密气、煤层气已成为全球非常规天然气发展的重点领域,致密油已成为全球非常规石油勘探开发的突出领域,页岩气则成为全球非常规天然气开采的热点领域^[29,30,40,60]。

(2)中国非常规气勘探发展非常快

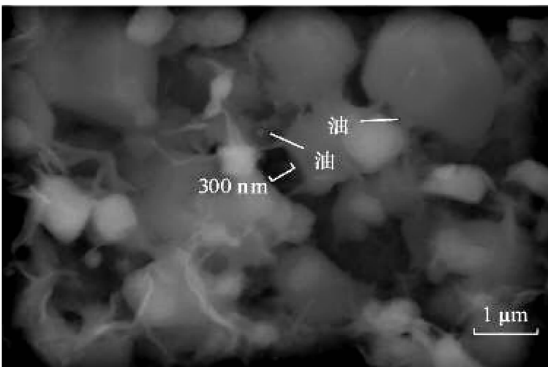
2000—2010年,每年提交的探明地质储量中,致密储集层油的比例从不到10%提高到近60%,致密储集层气的比例由30%提高到90%。总体上,非常规致密储集层的天然气当量的比例从15%提高到



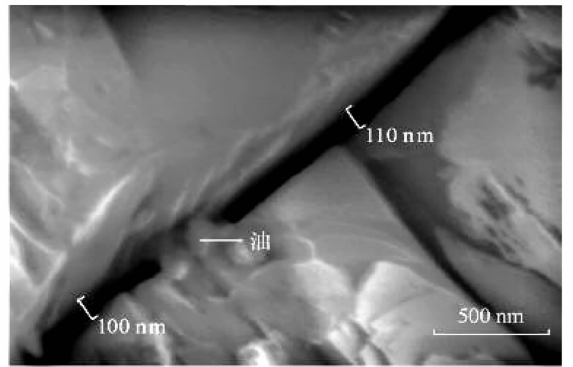
(a) 四川盆地威201井志留系页岩有机质内孔, 孔喉直径100~200nm



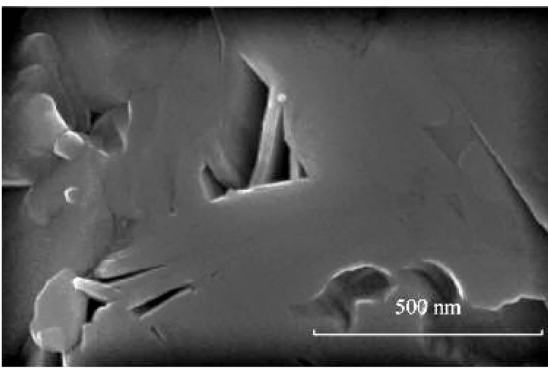
(b) 鄂尔多斯盆地张2井上三叠统延长组7段页岩片状绿泥石基质孔, 孔喉直径40~300nm



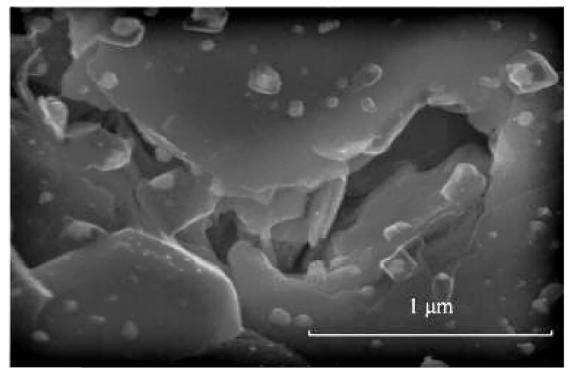
(c) 鄂尔多斯盆地宁57井上三叠统延长组致密砂岩纳米级孔喉中含油



(d) 四川盆地公22井侏罗系致密砂岩纳米缝内含油



(e) 四川盆地合川1井上三叠统须家河组致密砂岩粘土晶间孔, 孔喉直径25~200nm



(f) 鄂尔多斯盆地苏315井上古生界下石盒子组8段致密砂岩石英粒间孔, 孔喉直径25~250nm

图 15 中国页岩气、致密油气储集层纳米级孔喉典型显微照片^[40]

Fig.15 The typical nano-pore throat micrographs of shale gas as well as dense oil and gas reservoirs in China

70%左右。中国近期增加的储集领域主要是致密气和致密油, 加强工业化攻关的领域是煤层气和页岩气等, 同时还应加强探索研究天然气水合物、页岩油和页岩的赋存等。

(3)页岩气开发带来的启迪

全球非常规油、气勘探与开发的突破, 尤其是页岩气在各方面都有所突破, 将必会为能源增产带来了重要启示, 对勘探领域的拓展和油、气工业的发展产生一定的影响。这是因为它, ①突破了传统资源类型, 迫使人们去思考双机(有机和无机)成因的理念;

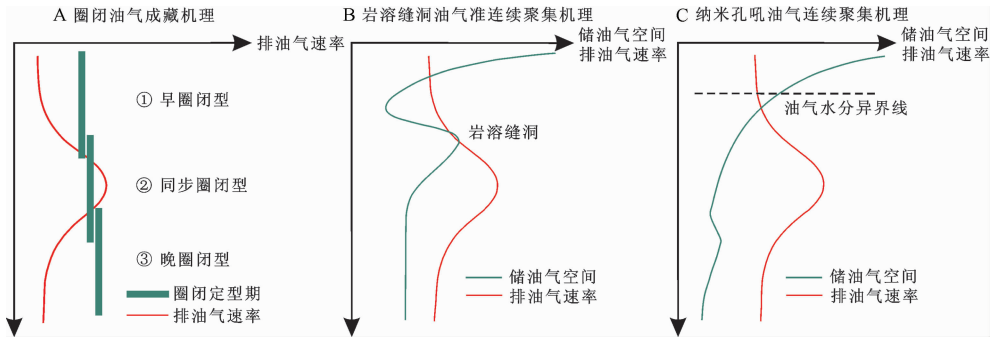


图 16 常规与非常规气聚集的机理比较图^[40]

Fig.16 The comparison of accumulation mechanisms in conventional and unconventional gas reservoirs

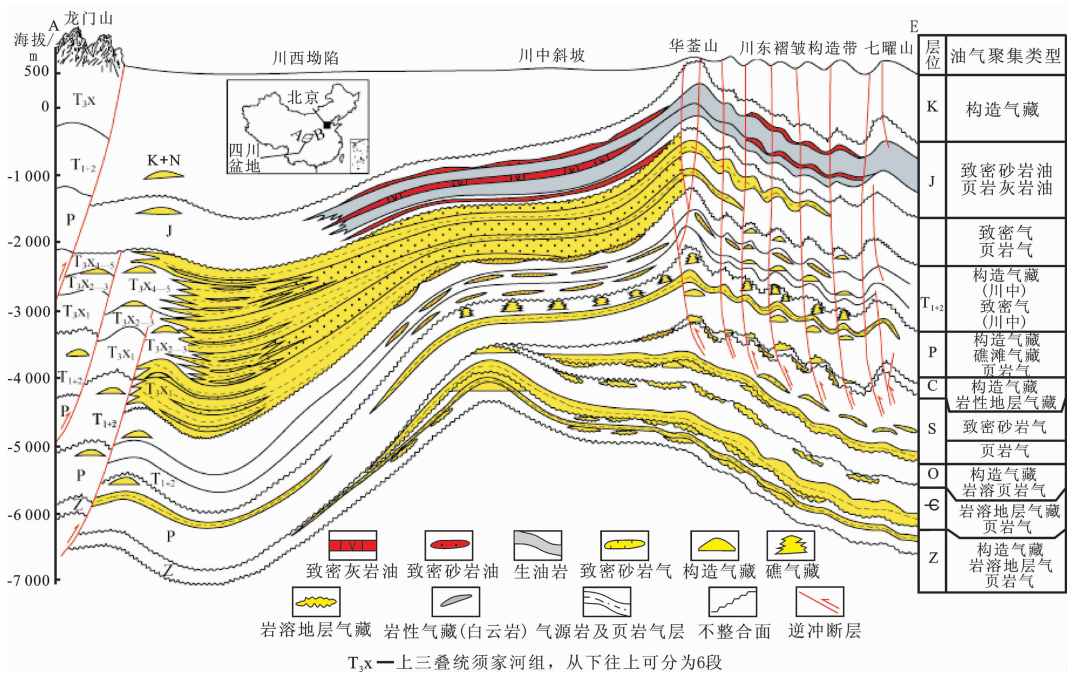


图 17 四川盆地龙门山冲断带—川东褶皱带油气聚集类型与特征剖面图^[40]

Fig.17 The accumulation types and characteristic profile map of oil/gas from Longmenshan thrust belt— east Sichuan fold belt in Sichuan basin

②突破了传统核心技术, 迫使新的水平钻井和压裂技术的呈现;③突破了传统的成藏理论, 迫使重新厘定孔隙与深化认识页岩气运移轨迹和孔喉的尺度;④突破了烃源岩在页岩气成藏中的效应, 迫使重新理解烃源岩在油、气形成与发展中的功能。

(4)在非常规油、气聚集的认识上的突破

非常规油、气聚集突破了储集层物性下限, 增加了新的领域, 即源、储共生致密油、气系统。纳米孔喉油、气系统聚集机理是非常规油、气地质的重要基础, 需深入分析纳米级孔喉油、气的流动、聚集机制, 探索非常规油、气资源的评价方法。中国非常规油、

气勘探开发的“陆相”模式不同于北美非常规油、气的“海相”模式, 提高深层采收率等技术的支撑和油页岩, 或油砂的含油、气量, 在技术上必须突破页岩层水平钻井和水平井中的压裂技术及最大限度地降低其对环境的影响。

5.3 必须重视的几个关键技术

5.3.1 裂缝

正确认识到裂缝在页岩油气藏与泥页岩裂缝油气藏中的作用是非常重要的, 但它对于两类油气藏的地质意义不同。若比较一下泥页岩油、气藏和泥页岩裂缝性油、气藏不难发现; 裂缝对于这两类油气藏

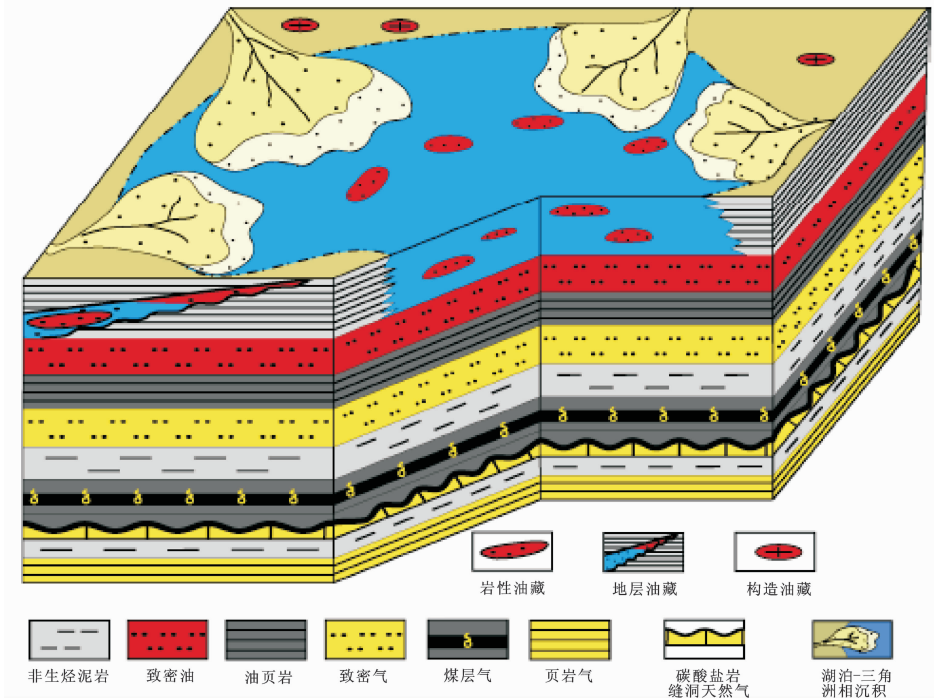


图 18 源储共生层致密油气聚集模式图^[40]

Fig.18 The accumulation pattern map of source-storage intergrowth layer in dense oil/gas

的形成和开发均至关重要。对于泥页岩裂缝性油气藏,裂缝为油、气富集提供了储集空间和动力来源,没有裂缝这类油气藏则不可能存在。裂缝是形成这类气藏的必要条件,也是勘探这类油气藏的最重要的地质依据^[21](图 19)。

对于泥页岩气藏,裂缝在页岩气开发过程中能增加渗透率,在开发过程中水平井穿过裂缝发育带,通过水平压裂措施产生大量裂缝并提高页岩气的渗透能力,没有裂缝就不能实现经济可采^[21](图 20)。同时也应当清晰地认识到,页岩气藏与煤层(油)气藏、泥岩裂缝性气藏相同,均属自生自储的油气能源,深盆气藏、致密构造气藏及致密岩性气藏是不相同的。

尽管页岩油、气藏与泥页岩裂缝气藏都需要裂缝,但裂缝对于两者的地质意义是完全不同的。对于泥页岩裂缝性油、气藏而言,裂缝是形成油、气藏的必要条件,没有裂缝这类油、气藏就不存在。在这种情况下,可以将裂缝作为寻找这类气藏的地质依据。而对于泥页岩油、气藏或页岩气,有没有裂缝这类资源都能形成。裂缝的存在和产生主要是为了让已经富集起来的天然气能够更好更快地释放出来,形成具有工业价值的产能。泥页岩气层中的裂缝,往往都是为了开采效益的需要而人为产生的。在中国松辽、

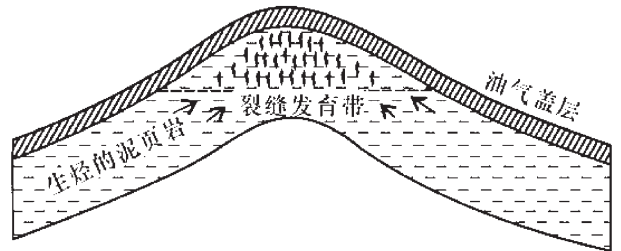


图 19 泥页岩裂缝性油气藏成藏模式与基本特征^[21]

Fig.19 The accumulation pattern and basic characteristics of fractured mud/shale reservoir

渤海湾、柴达木及四川等盆地中均有裂缝性泥页岩油、气藏的发现^[54]。

5.3.2 水平钻井

对于页岩气来讲,关键技术之一是在深埋在地下的油页岩层中进行水平钻井,以扩展裂缝。经压裂的页岩气井中呈现出三种流动势态,即早期为裂缝中流动;中期为基质和裂缝中流动;后期主要为基质流动。由于水平井裂缝在井筒附近沿着最大的应力方向延伸,在遇到天然裂缝后形成左右两个一级分支裂缝,一级分支裂缝在延伸其端部后会发生转向继续沿最大地应力方向延伸,遇到天然裂缝后将形成两个二级分支裂缝(图 21)。以此类推,水平裂

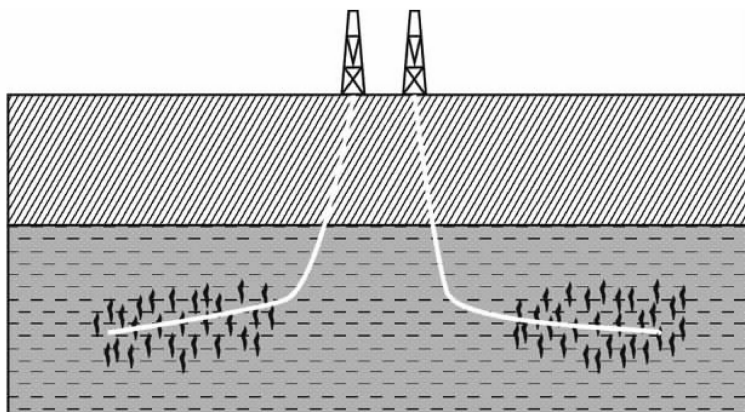


图 20 页岩气开发过程中水平井钻探及裂缝的产生^[21]

Fig.20 Horizontal well drilling and the creation of cracks in the development of shale gas reservoir

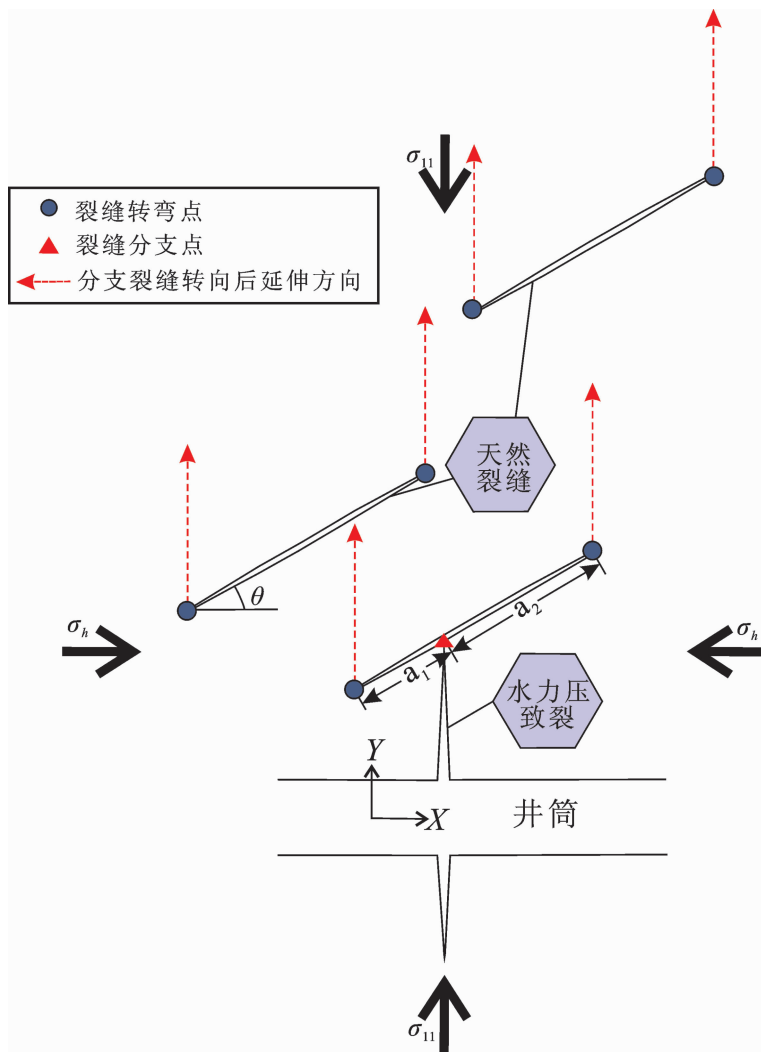


图 21 水平井压裂裂缝延伸示意图^[21]

Fig.21 The schematic diagram of extension of fractures in fractured horizontal well

缝与天然裂缝相互交错,形成高度密集的网状裂缝系统,以提高产能^[59]。但现在已有不少国家正在下令禁止使用水压致裂水平钻井开采页岩气。因为它不仅投入大,而且对环境的污染也是十分严重的。

由于页岩气属于非常规气,目前多为应用于常规气藏开发的技术或经改进后用于非常规气藏的开发,很多技术有待进一步改进和提高,如瞬时毛细管平衡,页岩气藏物性测定,主要指岩石和流体性质(如含水饱和度、毛管压力、渗透率等),非达西流,产量预测工业等。

5.3.3 参数测定

为了深化认识影响页岩气勘探的要素,故必须进行适宜于页岩气勘探和开发的参量与要素研究^[28]。

- (1)页岩气藏模拟须探求逼近的模拟模型。
- (2)页岩气藏现用模拟软件的改进,故必须对毛细管压力进行修正,方可取得有一定代表性的油藏模拟结果。
- (3)脉冲衰减法测定渗透率。
- (4)含水饱和度,这是常规和非常规储层描述非常重要而又必须测定的参数。当今尚没有标准化的测量方法,误差大。目前正在研发核磁共振法,可能

很有潜力。

(5)毛细管压力测定,尚为一空白区。

(6)相对渗透率,常受压裂过程中注水的影响,而高渗岩心比低渗岩心的气相渗透率受含水饱和度的影响更大,对低渗层的渗透率可能会导致不良影响,特别是水平压裂后可能以水锁的形式造成影响。

(7)页岩气勘探,压裂和微地震测量对页岩气勘探有促进作用。

(8)水平致裂,特别是对低渗透页岩才采用水平钻井已为必然,但水的消耗和对环境的污染是十分严重的。为此怎样扭转这种格局,以求得有效途径乃当务之急!

(9)加强微地震用于水平压裂研究。它的应用是指测定裂缝长度、宽度和方位;估计裂缝位置,测定裂缝网络的复杂度;水平压裂过程裂缝延伸的实时分析。

(10)根据微地震同相轴中 S 波和 P 波的波至时间差异确定裂缝距离,而每个同相轴的深度可通过测量波到达多个接收器的时间来确定^[28](图 22)。

5.4 应予以强化研究的几个问题

当今页岩油、气在世界各国均倍受关注,又由于

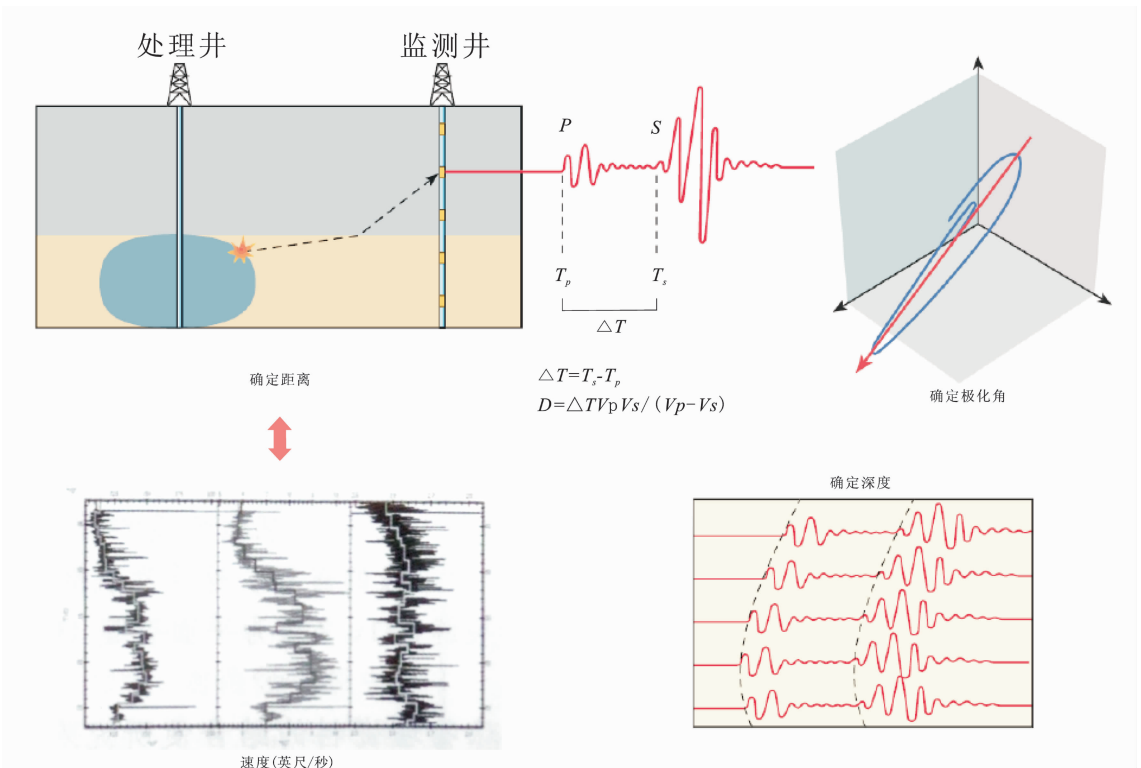


图 22 微地震测量实现过程^[28]
Fig.22 The implementation of microseismic measurement

在陆相、海相沉积盆地中,在中、新生代与古生代的沉积盖层中广为存在,又在美国、加拿大等国家取得了一定成效,故页岩气有可能成为未来能源结构中的主角之一。为此,中国必须强化对页岩和页岩气的评查和技术攻关,这是由于页岩气藏的勘探和开发方案在理论上、方法上和技术上涉及的面是十分广阔的,同时是具有相当难度的,但又是国家需求的,为此以下几个方面应加强研究和探索:

(1)中国油、气页岩的实际分布(包括纵向、横向),并厘定中国油、气页岩形成与聚集的深部背景和油、气富集的特点与物源,编制中国油、气页岩分布、分区和分类图。

(2)分析和研究中国含气页岩中所含天然气的丰度、孔隙度、渗透率等物理条件,特别是不同岩相和埋藏深度与这些物理量的综合响应,并与北美等国家,特别是美国的油、气页岩和加拿大的油砂岩进行对比研究,探索其形成机理,并进行分类和对中国页岩分布与页岩气进行评价。因为应用不同的方法进行评价,其差异很大,故必须厘定对页岩层和页岩油、气的评价体系和逼近的方法。

(3)页岩气的形成、资源丰度与有机质和无机质丰度、热成熟度和脆性矿物等 3 大关键因素密切相关;页岩气的孔渗性很低,储集空间一般是微裂缝,孔喉直径一般为 $0.005\sim 0.100\ \mu\text{m}$ 。那么它与周围岩相和温、压条件存在什么样的关系?这是由于埋藏深度不同,其页岩的孔隙结构是不同的,现以渝东南页 1 井为例来略加分析。

根据国际理论和应用化学协会(IUPAC)的孔隙分类^[52,67-71],将孔隙直径 $<2\ \text{nm}$ 的称为微孔隙(micropores), $2\sim 50\ \text{nm}$ 的为中孔隙(mesopores,有人译为介孔), $>50\ \text{nm}$ 的为宏孔隙(macropores,有人译为大孔)。

细粒泥页岩的一个显著特点是孔隙结构小,主体以微孔隙和中孔隙为主^[20]。对渝东南渝页 1 井下志留统龙马溪组页岩的岩心进行了系统的采样,并进行了比表面和孔径分析^[67]。结果显示,黑色页岩的平均孔径分布在 $3.51\sim 6.76\ \text{nm}$,大多数的孔径分布在 $2\sim 5\ \text{nm}$,即以中孔隙为主;中孔体积占到了总体积的 70%左右(图 23)。

(4)在充分分析、理解世界上页岩气已取得成效的规律性认识的基点上,进行多元约束要素的对比研究,在中国采用高精度地下油田页岩的地球物理勘探并将新方法与新技术应用在其中,并制定出中国的综合发展方案。

(5)不同地域(陆地和海洋)和构造区、带,不同时代的页岩气勘探和开发的示范试验研究;并进行典型区(带)的厘定和论证。

只有在上述背景和边界条件下,进而有依据地给出资源量的分布和潜力;页岩在不同深度的孔隙度、渗透率 and 其对油、气吸附丰度等要素,规划中国页岩气勘探的内涵、效应与价值,进而建立具有中国特点与介质属性和构造环境下的新理念、新方法和新模式!并促进页岩气在中国未来的能源结构中占据应有的份额。

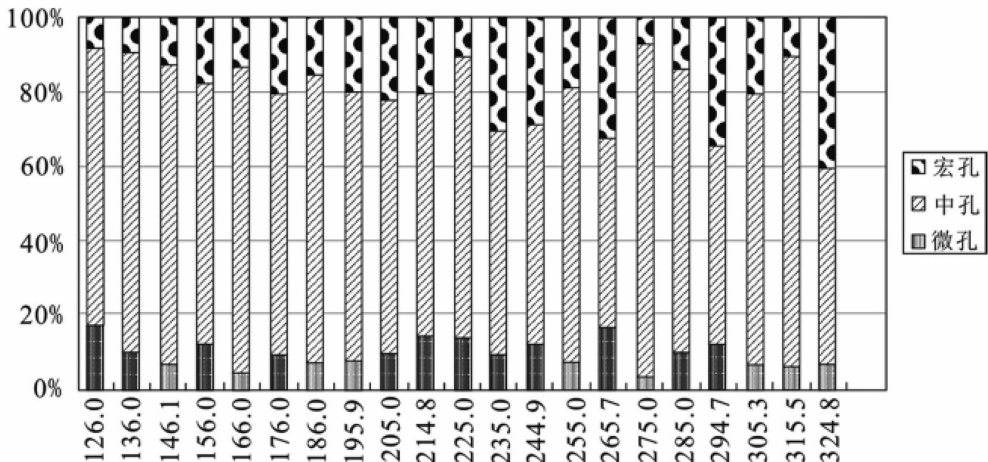


图 23 渝页 1 井龙马溪组不同深度页岩孔隙结构分布图^[20]

Fig.23 The pore structure distribution map of Longmaxi Formation at different depths in Well Yuyue 1

6 中国页岩气勘探和开发的进程不容过于乐观

以上我们分析了世界各国对页岩气的需求和页岩气的属性、形成与聚集的特征,中国的可能潜能与必须要重视研究和探索的诸多方面和问题。下面将着重讨论中国与美国页岩气在形成与存储上的差异和中国页岩气的前景。

6.1 页岩油气成藏的地质与构造差异

中、美油气页岩的存储条件差异很大,主要表现在以下三个方面:

(1)中国页岩层存储在起伏剧烈,构造极为复杂,受构造运动影响频度高、变形强;美国页岩层存储在地下多呈大面积的水平状展布的地层中,构造简单、且变化缓慢。

(2)美国的页岩气形成时代相对较晚,热成熟度适中,利于页岩层中油、气赋存,并且有一定的丰度;中国的页岩气形成较早,属于过成熟度,其属性与丰度均不如美国。

(3)中国页岩气为不同时代的陆相、海陆过渡相和海相沉积均存在且分布面积小、埋藏深度大(因为中国海相沉积多属古生代);而美国页岩气层多属中、新生代海相地层,分布面积广,埋藏中等深度,为页岩气的最佳层序。

6.2 中、美对页岩气勘探与开发的技术条件难以共鸣

(1)美国在页岩层水平钻井时平均每口井中要注入水和砂土 1.5 万 t 和 300 t 化学试剂、且井管要受到上覆中、新生代地层的压力^[70]。这种条件在中国难以实现,因为不可能向井中注入大量的水(因为中国水资源十分紧缺),而且采用如此高强度的压力将水注入到高压水平井中、且井中所需要的高强度抗压套管尚难以普遍实现。

(2)不仅要钻水平井,而且在水平钻井中进行各种参量的测量,这在中国目前尚难以达到这种技术要求。

(3)水压致裂水平钻井开发页岩气的环境污染问题目前尚难以克服,且为一大难题。

在页岩油、气勘探和开发中,一个很重要的问题是页岩中必须有足够的裂缝以助气体运移和提取,而要形成裂缝则必须进行高压注水以压裂页岩开采页岩气的水平钻井。当今水平钻井工作中存在的问题主要是环境污染和相应的地质灾害问题。①在页岩

岩层中进行水平钻井以压裂页岩层。在压裂的过程中要注入大量的水和砂土,这些水损失 60%~70% 后,大部分将返排回到地表。随着水压致裂的进行,这部分返回的水再次注入江河^[70-72]。由此所造成的地下水污染的范围将随着地下水向地表补给而扩大。这部分被污染的水中含有高达 650 种化学物质,而多为毒性强烈的致癌物质或具有放射性,且不可能完全得到净化。另外,页岩气对大气的污染程度比煤炭还要严重。②水压致裂法开采页岩天然气可引发地震。例如 2011 年在英国 Blackpool 地区开采页岩气时引发了两次小地震。美国中部地区的地震频发,究其因乃为开采页岩气过程中产生的大量的废水被注入地下所致,所以美国地质调查局提出,地震频发与水压致裂开采页岩气相关^[71]。③很多国家已禁止用水压致裂开采地下页岩气^[72-88]。这些国家有:法国率先禁止水平压裂开采页岩气,澳大利亚和匈牙利、瑞士、瑞典、美国佛蒙特州、新泽西州、俄亥俄州、宾夕法尼亚州;保加利亚等国相继发出禁止使用水压致裂法;另外,英国、德国、加拿大亦然!

6.3 美国页岩气开发“热”在急剧下降

据日本《富士产经商报》10 月 18 日报道,美国的页岩气开发热潮正在蒙上阴影。在需求下降的背景下,页岩气价格出现下跌,开发收益正持续恶化,采掘设备的数量也在急速减少,提供采掘业务的油田服务公司也面临倒闭的危险。

据美国石油开发与服务供应商贝克休斯公司统计,目前美国全境正在工作的挖掘机数量已经降至 422 台比一年前下降 48%,这是自 1988 年开始这项统计以来,下降幅度最大的一年。挖掘机数量减少的一个原因是美国能源业界正在由页岩气的生产向页岩油的生产转移。在美国石油服务业排名第三的斯伦贝谢公司首席执行官吉布斯贾德在 7 月公布的报告中指出,“导致挖掘机需求减少的最大原因是业界正在转向页岩油的生产。”由于页岩气田处于页岩油田压力巨大的地层,因而所需采掘设备的输出功率就要更大。

开发页岩气通常使用的“水压致裂技术”需要更高的工艺和更贵的设备,这无疑给石油开采与服务行业带来了丰厚的利润。此外,近来天然气价格大幅下跌和全球经济放缓的担忧迅速扩大的背景下,高成本的石油服务性工作已经不再显得不可或缺。能源生产业者的投资正在呈现缩小趋势。美国天然气

公司切萨皮克能源等一些公司已经开始缩小采掘规模。美国最大的几家石油服务提供商哈利波顿、贝克休斯、威德福等公司分别预测,他们各自从 2012 年第二季度北美地区经营利润将同比下降 10 亿美元左右。

过去 5 年间,受美国加速开发页岩气田的影响,油田服务供应商用于更新机器设备的投资高达 100 亿美元以上。虽然水力压裂技术施工工艺所使用的机器设备总输出功率已经达到约 1 163 万 kw,但目前实际所需要的产能约有 895 万 kw,产能过剩达 30%。

这里仅涉及美国能源界正在由页岩气向页岩油的生产转移和水平致裂技术的工艺和设备昂贵导致采掘设备的供应过剩,却避开了水平致裂需大量注水和严重环境污染等问题,亦未论及美国各洲的反对和禁止使用水平致裂水平钻井带来的灾难,实质上美国页岩气热急剧下落的根本原因乃两者之和。这里值得警惕的是美国要将“页岩气革命”向全球输出,且首先锁定中国并企图以美国本土各洲叫“停”的页岩气引领世界^[79]。

6.4 美国加大宣传页岩气成藏及其巨大效应,并鼓吹中国第一,可能是一个“陷阱”

当今美国以页岩油、气的需求为名,并以此吸引大量外资注入美国(2011 年外国公司通过收购或合资方式进入美国的页岩气领域的总交易额为 330 亿美元)。由于“页岩气革命”带来的环境灾害至今没有一个彻底的解决办法。所以奥巴马不惜启动“再工业化”战略挤出页岩气,以达美国资源地理优势,但是美国页岩气行业是存在风险的。为此美国不论是内销还是出口,都把中国作为其转移风险的对象或其一,这就是美国能源署为什么把中国页岩气储量排在世界第一的真正原因^[96]。

(1) 美国声称中国页岩气储量全球第一这一作为的目的是驱使中国在世界化石能源紧缺的势态下转向页岩气,且大量高位引进他们的技术、设备和从业人员(因为美国已有多个州在禁止水压致裂水平钻井开发页岩气的声音越来越高,所以这一行业很多的从业人员将面临失业),以使得在美国这一“页岩气革命”将达终极之际,而设法将“安然漏洞”和“哈里伯顿漏洞”转嫁中国,以导致中国大批资金投入这一“盲目”的水平致裂水平钻井提取页岩气技术上。

(2) 水压致裂钻井中,平均每口井中需注入 1.5 万 t 水,势必造成一个本来缺水的中国用生命水来提取页岩气的局面,不仅会造成饮用水缺乏,而且影

响其他需用水的工业、农业等事业的发展。

(3) 在水压致裂水平钻井中除注入大量水外,还要注入大量的化学试剂,造成的地下水污染、农田污染、江河水域污染,大大地有损人的身体健康、还会致使地震频发。此外对大气的污染程度远比煤炭还要大。如果中国对页岩气听任美国之声而对污染程度没有给予足够的注意与防范的话,则必会给予子孙后代留下难以消失的人身创伤!

美国鼓吹以水压致裂在水平钻井中制造裂缝提取页岩气,以表大量地下能源成效显著。再一次表明,这样会导致中国大量资金的流出;将美国的“灾难”转嫁到中国。当必大为影响中国国民经济的全面腾飞和快速工业化的进程;而更为严重的是对环境造成极为严重的长期污染。美国奥巴马为了培育实体经济的新增长点,不惜启动体量重大的“再工业化”战略挤出页岩气产业以引领世界,而声称中国页岩气的储量世界第一乃是对中国振兴和对一个缺乏能源的发展中国家设下的一大“陷阱”,而涉及到页岩气的各有关部门必须密切注意奥巴马的能源安全战略,从控制到向外转出的政策转变,从中华民族百年大业去思考 and 认识页岩气在中国的发展态势与前景!

当今在全球很多国家(包括美国的几个州)对水压致裂水平钻井提取页岩油、气均在叫“停”的时刻,中国必须谨慎思考!页岩气在中国怎样发展,它在未来能源匹配中可能占有的份额,利与弊何在?依据国情、国力和页岩气开发导致的环境污染和灾害,至少目前不应该作为依靠能源来大力勘探和发展!笔者认为目前当务之急是对页岩气做一些实地考察,因为当今对页岩气的成因机理尚不十分清楚,亦缺乏有效的判别准则,又由于其发育模式不一,亦无量化的预测方法,故必须在论据充分条件下做一些示范性研究和探索,而作为一种主体能源开发和利用尚为时过早,即不容过于乐观。

7 结 语

在当今世界油、气能源紧缺,且供应存在着地域性差异和政治因素的背景下,对已蕴藏在地下的含气页岩进行勘查和开发是世界能源的重要组成部分。由于油、气页岩是一种高灰分的含可燃有机质未成熟烃源岩,经人工加热、干馏提炼出液态烃,而未来原位开采技术的突破和对环境污染的某种程度的克服乃是它能否成为工业化能源,即页岩油、气能否

有效开发和应用的关键所在。为此,中国必须首先着实地查明地下油田页岩的分布、储量、潜能和前景的前期工作条件下,并深化研究它在我国能源结构中可占有的比重和结构效应,以资在未来为我国的快速现代化和经济腾飞中做出应有的贡献!

基于油、气运移状态的不同,其储存类型当必不同,对于非常规油、气来说,它与烃源岩有着极为密切的关系。为此,对于页岩气资源来说,在正确理解和分析世界页岩和页岩气资源及其储存潜力、勘探和开发技术、经济和环境灾害的前提下,如何正确理解,认识和分析中国的页岩和页岩气的分布和潜力与开发乃十分重要。从中国国家战略需求出发,遵循自主创新的方针,则必须加快对全国页岩、页岩气分布和在水压致裂水平钻井提取页岩气时所导致的环境污染和成灾的程度进行系统探查和属性测定,有据地评价页岩气的发展态势,优选具良好富集的目标区(块)作为示范区(块)。因为页岩的分布和赋存标志着页岩气的存在与前景,但这两者并非恒等。

另外,至今尽管世界各国均在大力地进行页岩气的勘探和开发,但也有不少国家在叫“停”,正如文中所述,除一系列的地质、构造背景与技术问题外,还有不少问题有待逐步研究和探索。这里应当指出的是,泥页岩气藏成因机制不清,尚缺乏统一的和有效的判别标志;纵、横分布与发育模式不明,当今还缺乏共识的预测方法和对资源量的估算;当今应将中国页岩气的初步存储、属性、条件、丰度等与美国页岩气进行一对一的较全面的对比分析,已达理解我国页岩气的潜能和发展态势!为此,要强化勘探和开发的技术体系,制定页岩气资源和开发的路线图,同时应加强国际的合作和交流,引进先进技术与经验,在大量减少水资源消耗、攻克化学元素渗透导致的严重环境污染和影响人类生活与生存质量的各种灾害前提下,以达发展和创新中国页岩气的成藏、富集理念与技术体系。

经过一番页岩气“热炒”之后,当今四大石油公司,国土资源部和各有关大专院、校和科研院、所必须要冷静下来,进行实地勘查、参数测量、正确评价、并量化认识中国页岩含气的存储潜力和丰度、物理参数和多元效应。这也就是说,在加速页岩气资源勘查与开发的同时,必须稳打稳扎,不能简单地听从外国人的主张,特别是带有某种诱导性质的深层次内涵的声音,更不能“盲目”地接受使之步入“陷阱”的

诱饵,一定不能搞“大跃进”,要落在实处,一定不能伴随有严重的负面效应,以达提取页岩气,在中国快速工业化和经济腾飞的进程中发挥较大的作用。一定要在全面衡量利、弊的前提下,在中华民族的崛起征程上做出切实有益于当前社会与经济发展和有利于子孙后代长远发展的贡献!

参考文献(Reference):

- [1] 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.
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 (in Chinese with English abstract).
- [2] Kuuskraa V A. Un-conventional natural gas industry:Savoir or Bridge[R]. EIA Energy Outlook and Modeling Conference, 2006.
- [3] 张抗, 谭云冬. 世界页岩气资源潜力和开发现状及中国页岩气发展前景[J]. 当代石油石化, 2009, 17(3):9-12.
Zhang Kang, Tan Yundong. The status of world shale gas resources potential and production status as well as development prospect of China's shale gas [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2009, 17 (3):9-12(in Chinese with English abstract).
- [4] 闫村章, 黄玉珍, 葛泰梅. 页岩气是潜力巨大的非常规天然气资源[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 1-6.
Yan Cunzhang, Huang Yuzhen, Ge Taimei. Shale gas;Enormous potential of unconventional natural gas resources [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5):1-6(in Chinese with English abstract).
- [5] 张金川, 汪宗余, 聂海宽, 等. 页岩气及其勘探研究意义 [J]. 现代地质, 2008, 22(4): 640-644.
Zhang Jinchuan, Wang Zongyu, Nie Haikuan, et al. Shale gas and its significance for exploration[J]. Geoscience, 2008, 22(4):640-644 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李建忠, 董大忠, 陈更生, 等. 中国页岩气资源前景与战略地位[J]. 天然气工业, 2009, 29(5):11-16.
Li Jianzhong, Dong Dazhong, Chen Gengsheng, et al. Prospects and strategic position of shale gas resources in China [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5):11-16(in Chinese with English abstract).
- [7] 潘继平. 页岩气开发现状及发展前景——关于促进我国页岩气开发的思考[J]. 国际石油经济, 2009, 11:12-15.
Pan Jiping. The status of shale gas and its development prospect——consideration on the promotion of the development of shale gas in China [J]. International Petroleum Economics, 2009, 11:12-15(in Chinese with English abstract).
- [8] 金之钧, 蔡立国. 中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6):722-730.
Jin Zhijun, Cai Ligu. Exploration prospects, problems and strategies of marine oil and gas in China[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 722-730(in Chinese with English abstract).

- [9] 张金川, 薛会, 张德明, 等. 页岩气及其成藏机理 [J]. 现代地质, 2003, 4:446.
Zhang Jinchuan, Xue Hui, Zhang Deming. Shale gas and its accumulation mechanism [J]. Modern Geology, 2003, 4:446 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张金川, 徐波, 聂海宽, 等. 中国页岩气资源勘探潜力 [J]. 天然气工业, 2008, 28(6):136-141.
Zhang Jinchuan, Xu Bo, Nie Haikuan, et al. Exploration potential of shale gas resources in China [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(6):136-141(in Chinese with English abstract).
- [11] 张金川. 从“深盆气”到“根源气” [J]. 天然气工业, 2006, 26(2): 46-48.
Zhang Jinchuan. Source-contacting gas; Derived from deep basin gas or basin-centered gas [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(2): 46-48(in Chinese with English abstract).
- [12] 张金川, 姜生玲, 唐玄, 等. 我国页岩气富集类型及资源特点 [J]. 天然气工业, 2009, 29(12):1-6.
Zhang Jinchuan, Jiang Shengling, Tang Xuan, et al. Accumulation types and resources characteristics of shale gas in China [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(12):1-6(in Chinese with English abstract).
- [13] 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.
Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Yuan Mingsheng. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18(in Chinese with English abstract).
- [14] 张金川, 边瑞康, 荆铁亚, 等. 页岩气理论研究的基础意义 [J]. 地质通报, 2011, 30(2/3):318-323.
Zhang J C, Bian R K, Jing T Y, et al. Fundamental significance of gas shale theoretical [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3):318-323(in Chinese with English abstract).
- [15] 张金川, 林腊梅, 李玉喜, 等. 页岩气资源评价方法与技术: 概率体积法 [J]. 地学前缘, 2012, 30(2):324-336.
Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxi, et al. The method of shale gas assessment: Probability volume method [J]. Earth Science Frontier, 2012, 30(2):324-336(in Chinese with English abstract).
- [16] 邹才能, 张卫光, 陶士根, 等. 全球油气勘探领域地质特征: 重大发现及非常规石油地质 [J]. 石油勘探与开发, 2020, 37(2):129-145.
Zou Caineng, Zhang Weiguang, Tao Shigen, et al. Geological features, major discoveries and unconventional petroleum geology in the global petroleum exploration [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 37(2):129-145 (in Chinese with English abstract).
- [17] 伍新和, 张丽, 王成善, 等. 西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩特征 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1):348-353.
Wu Xinhe, Zhang Li, Wang Chengshan, et al. Characteristics of the Mesozoic marine source rocks in Qiangtang Basin, Tibet [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1):348-353(in Chinese with English abstract).
- [18] 张大伟. 加速我国页岩气资源调查和勘探开发战略构想 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2):135-139.
Zhang Dawei. Strategic concepts of accelerating the survey, exploration and exploitation of shale gas resources in China [J]. Oil & Gas Industry, 2010, 31(2):135-139 (in Chinese with English abstract).
- [19] Curtis J B. Fractured shale-gas system [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [20] Ross D K, Bustin R M. The importance of shale composition and pore structure upon gas storage potential of shale gas reservoirs [J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26:916-927.
- [21] 姜福杰, 庞雄奇, 欧阳学成, 等. 世界页岩气研究概况及中国页岩气资源潜力分布 [J]. 地学前缘, 2012, 19(2):198-201.
Jiang Fujie, Pang Xueqi, Ouyang Xuecheng, et al. The main progress and problems of shale study and the potential prediction of shale gas exploration [J]. Earth Science Frontier, 2012, 19(2):198-201(in Chinese with English abstract).
- [22] Jarvie D M, Hill R J, Ruble T E, et al. Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4):475-499.
- [23] Laughrey C D, Ruble T E, Lemmens H, et al. Black shale diagenesis: Insights from integrated high-definition analyses of post-mature marcellus formation rocks, Northeastern Pennsylvanian [J]. AAPG Annual Convention and Exhibition, 2011, 8: 10-13.
- [24] Deniel M J, Ronald J H, Timer U, et al. Unconventional shale-gas systems: the Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-499.
- [25] 页岩气地质与勘探开发实践丛书编委会. 北美地区页岩气勘探开发新进展 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
Editorial Board of Books of Shale Gas Geology. Exploration and Development North America Shale Gas Exploration and Development progress [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009 (in Chinese).
- [26] 潘仁芳, 黄晓松. 页岩气及国内勘探前景展望 [J]. 中国石油勘探, 2009, 3:1-5.
Pan Renfang, Huang Xiaosong. Shale gas and its exploration prospects in China [J]. China Petroleum Exploration, 2009, 3:1-5 (in Chinese with English abstract).
- [27] Stofan Godeke 等. 西澳大利亚页岩气田开发模拟 [J]. 廖科健译自 SPE.152110, 石油科技动态, 2012, 5:63-69.
Stofan Godeke, et al. The modeling of development in western Australia Gas Filed [J]. Petroleum Technology News, 2012, 5:63-69(in Chinese with English abstract).
- [28] Arogundade O, Sohrabi M. A Review of Recent Developments and Challenges in Shale Gas Recovery [J]. SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition, 2012.
- [29] 聂海宽, 张金川. 页岩气储层类型和特征研究: 以四川盆地及其周缘下古生界为例 [J]. 石油试验地质, 2011, 33(3): 19-232.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan. Types and characteristics of shale gas reservoirs: A case study of Lower Paleozoic in and around

- Sichuan Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(3): 219–232(in Chinese with English abstract).
- [30] 聂海宽, 张金川, 张培先, 等. 福特沃斯盆地 Barnett 页岩气藏特征及启示[J]. *地质科技情报*, 2009, 28(2):87–93.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Zhang Peixian, et al. Shale gas reservoir characteristics of Barnett shale gas reservoir in Fort Worth Basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(2):87–93(in Chinese with English abstract).
- [31] 李玉喜, 聂海宽, 龙鹏宇, 等. 我国富含有机质泥页岩发育特点与页岩气战略选区[J]. *天然气工业*, 2009, 29(12):115–118.
Li Yuxi, Nie Haikuan, Long Pengyu, et al. Development characteristics of organic-rich shale and strategic selection of shale gas exploration area in China [J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(12):115–118(in Chinese with English abstract).
- [32] 赵文智, 王兆云, 王红军, 等. 再论有机质“接力成气”的内涵与意义[J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(2):129–135.
Zhao Wenli, Wang Zhaoyun, Wang Hongjun, et al. Further discussion on the connotation and significance of the relaying generation model from organic materials [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(2):129–135(in Chinese with English abstract).
- [33] Bowker K A. Barnett shale gas production, Fort worth Basin; Issues and discussion[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(4):523–533.
- [34] Schmoker J W. US geological survey assessment concepts for continuous petroleum accumulations [M]. Denver:US Geological Survey, 2005, 1–9.
- [35] Hill R G, Zhang Etuan, Katz B J, et al. Modeling of gas generation from the Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(4):501–521.
- [36] 邹才能, 陶士振, 袁选俊, 等. “连续型”油气藏及其在全球的重要性:成藏、分布与评价[J]. *石油勘探与开发*, 2009, 36(6):669–682.
Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. Global importance of “continuous” petroleum reservoirs; Accumulation, distribution and evaluation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2009, 36(6):669–682(in Chinese with English abstract).
- [37] GeoGlobal Resources Inc. Presentations of Haywood International Oil and Gas Conference [C]. London:GeoGlobal Resources Inc., 2005.
- [38] Snow N. Study: US unconventional gas resources underestimated [J]. *Oil & Gas Journal*, 2008, 106(29):30–31.
- [39] 何生, 叶加仁, 徐思煌, 等. 石油及天然气地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2010.
He Sheng, Ye Jiaren, Xu Shihuang, et al. *Oil and Gas Geology*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2010(in Chinese).
- [40] 邹才能, 杨智, 陶士振, 等. 纳米油气与源储共生型油气聚集[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(1):13–26.
Zou Caineng, Yang Zhi, Tao Shizhen, et al. Nano-hydrocarbon and the accumulation in coexisting source and reservoir [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(1):13–26.
- [41] DOE. US Department of Energy [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Department_of_Energy, 2009.
- [42] Hill D G, Lombardi T E. Fractured gas potential in New York[J]. *Ontario Petroleum Institute Annual Conference*, 2002, 41:1–16.
- [43] Montgomery S L, Jarvie D M, Bowker K A. 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.
- [44] Mavor M. Barnett Shale gas-in-place volume including sorbed and free gas volume[J]. *AAPG Southwest Section Meeting*, 2003, 3:1–4.
- [45] Schenk C. Geological characterization of potential unconventional oil and gas resources of Thailand [EB/OL]. [2011-04-15]. <http://www.energy.cr.usgs.gov/oilgas/nogu>.
- [46] Schmoker J W. Resource-assessment perspectives for unconventional gas systems[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(12):1993–1999.
- [47] Pollastro R M. Total petroleum system assessment of undiscovered resources in the giant Barnett Shale continuous (unconventional) gas accumulation, Fort Worth Basin, Texas [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(4):551–578.
- [48] Kinley T J, Cook L W, Breyer J A, et al. Hydrocarbon potential of the Barnett shale (Mississippian), Delaware Basin, west Texas and southeastern New Mexico [J]. *AAPG Bulletin*, 2008, 92(8):967–991.
- [49] 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
Zhang Houfu, Fang Chaoliang, Gao Xianzhi, et al. *Petroleum Geology* [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1999(in Chinese with English abstract).
- [50] Kennedy M J, Pevear D R, Hill R H. Mineral surface control of organic carbon in black shale[J]. *Science*, 2002, 295:657–660.
- [51] 林腊梅, 张金川, 刘锦霞, 等. 页岩气勘探目标层段优选[J]. *地学前缘*, 2012, 19(3):259–263.
Lin Lamei, Zhang Jinchuan, Liu Jinxia, et al. Favorable depth zone selection for shale gas prospecting [J]. *Earth Science Frontier*, 2012, 19(3):259–263(in Chinese with English abstract).
- [52] 于炳松. 页岩气储层的特殊性及其评价思路和内容 [J]. *地学前缘*, 2012, 19(3):252–259.
Yu Bingsong. Particularity of shale gas reservoir and its evaluation [J]. *Earth Science Frontier*, 2012, 19(3):252–259(in Chinese with English abstract).
- [53] Warlick D. Gas shale and CBM development in north America[J]. *Oil and Gas Financial Journal*, 2006, 3(11):1–5.
- [54] Ratchford M E. Geological overview of the Fayetteville shale gas May Conway, A. Kansas Geological Survey, 2007.
- [55] Chalmers G R L, Bustin R M. Lower Cretaceous gas shales in northeastern British Columbia, Part I: Geological controls on methane sorption capacity [J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2008, 56:1–61.
- [56] 邹才能, 朱如凯, 白斌, 等. 中国油气储层中纳米孔首次发现及其科学价值[J]. *岩石学报*, 2011, 27(6):1857–1864.

- Zou Caineng, Zhu Rukai, Bai Bin, et al. First discovery of nano-pore throat in oil and gas reservoir in China and its scientific value [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27 (6):1857-1864 (in Chinese with English abstract).
- [57] Nelson P H. Pore-throat sizes in sandstones, tight sandstones, and shales[J]. *AAPG Bulletin*, 2009, 93(3):329-340.
- [58] 张抗, 谭云冬. 世界页岩气资源潜力和开发现状及中国页岩气发展前景[J]. *当代石油石化*, 2009, 17(3):9-12.
Zhang Kang, Tan Yundong. The status of world shale gas resources potential and production status as well as development prospect of China's shale gas [J]. *Petroleum & Petrochemical Today*, 2009, 17 (3):9-12(in Chinese with English abstract).
- [59] 赵海峰, 陈勉, 金衍, 等. 页岩气藏网状裂缝系统的岩石断裂力学[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(4):465-470.
Zhao Haifeng, Chen Mian, Jin Yan, et al. Rock fracture kinetics of the fracture mesh system in shale gas reservoirs [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(4): 465-470(in Chinese with English abstract).
- [60] 李玉喜, 乔德武, 姜文利, 等. 页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J]. *地质通报*, 2011, 30(2/3):308-317.
Li Yuxi, Qiao Dewu, Jiang Wenli, et al. Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary [J]. *Geology Bulletin of China*, 2011, 30(2/3):308-317(in Chinese with English abstract).
- [61] 王社教, 王兰生, 黄金亮, 等. 上扬子区志留系页岩气成藏条件[J]. *天然气工业*, 2009, 29(5):45-50.
Wang Shejiao, Wang Lansheng, Huang Jinliang, et al. Accumulation conditions of shale gas reservoirs in Silurian of the Upper Yangtze region [J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29 (5):45-50 (in Chinese with English abstract).
- [62] 杨振恒, 李志明, 沈宝剑, 等. 页岩气成藏条件及我国黔南坳陷页岩气勘探前景浅析[J]. *中国石油勘探*, 2009, 3:24-28.
Li Zhenheng, Li Zhiming, Shen Baojian, et al. Shale Gas Accumulation conditions and Exploration Prospect in Southern Guizhou Depression[J]. *China Petroleum Exploration*, 2009, 3:24-28(in Chinese with English abstract).
- [63] 董大忠, 邹才能, 李建忠, 等. 页岩气资源潜力与勘探开发前景[J]. *地质通报*, 2011, 30(2):324-336.
Dong Dazhong, Zou Caineng, Li Jianzhong, et al. Resource potential, exploration and development prospect of shale gas in the whole world [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (2):324-336(in Chinese with English abstract).
- [64] 丁文龙, 李超, 李春燕, 等. 页岩裂缝发育主控因素及其对含气性的研究[J]. *地学前缘*, 2012, 19(2):212-220.
Ding Wenlong, Li Chao, Li Chuanyan, et al. Dominant factor of fracture development in shale and its relationship to gas accumulation [J]. *Earth Science Frontier*, 2012, 19 (2):212-220(in Chinese with English abstract).
- [65] 王秀增, 张金川, 曹金舟, 等. 陆相页岩气资源评价初探:以延长直罗——下寺湾区中生界长7段为例 [J]. *地学前缘*, 2012, 19 (2): 192-197.
Wang Xiuzeng, Zhang Jinchuan, Cao Jinzhou, et al. A preliminary discussion on evaluation of continent shale gas resources: A case of Chang 7 of Mesozoic Yanchang Formation in Zhiluo-Xiasiwan area of Yanchang[J]. *Earth Science Frontier*, 2012, 19(2):192-197 (in Chinese with English abstract).
- [66] Schmoker J W. Geological survey assessment model for continuous (unconventional) oil and gas accumulation: The "FORSPAN" model[J]. *Geological Survey Bulletin*, 1999, 2168:1-12.
- [67] Rouquerol J, Avnir D, Fairbridge C W, et al. Recommendations for the characterization of porous solids [J]. *Pure and Applied Chemistry*, 1994, 66(8):1739-1758.
- [68] 傅家谟. 煤成烃地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1990:20-100.
Fu Jiamo. *Coal into Hydrocarbon Geochemistry* [M]. Beijing: Science Press, 1990:20-100(in Chinese).
- [69] Richard M D, Ronald J H, Oaniel M J, et al. Assessing Unkigcovered Resources of the Barnett-Paleozoic Total Petroleum system. Bend Arch-Fort Worth Basin Province, Texas, Online Adaptation of Presentation at AAPG Southwest Section Meeting. Fort Worth. TX, March, 2003.
- [70] 崔永强, 杨永斌, 马光宇, 等. 页岩气有关的立法、环保、交易及页岩气地质理论研究 [C]//大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 第 28 届中国地球物理学年会. 2012,
Cui Yongqiang, Yang Yongbin, Ma Guangyu, et al. Shale gas-related legislation, environmental protection, trade and shale gas geological theory [C]. Limited liability company in Daqing Oilfield Exploration and Development Institute, 2012, 28th Annual Meeting of Chinese Geophysical Society.
- [71] <http://www.putclub.com/html/AandV/multithemantic/2012/0422/49835.html>.
- [72] <http://www.agoil.cn/bbs/read-htm-tid-278898.htm>, 2012-3-1.
- [73] <http://info.yup.cn>, <http://info.yup.cn/finance/37431.jhtml>. 元培产业情报.
<http://info.yup.cn>, <http://info.yup.cn/finance/37431.jhtml>. Yuan Pei Industry information.
- [74] <http://irm.cninfo.com.cn/ircs/interaction/viewQuestionForSize.do?questionId=1819250>.
- [75] http://www.chinadaily.com.cn/hqcyj/gjcyj/2011-10-06/content_3984062.html.
- [76] 高凌云. 页岩气开发中国提速德国暂停, 专家称环境污染或酿灾难. 全球石化工业网, 2012年5月14日, 引自 <http://www.cippe.net/news/html/201205/73255.html>.
- Gao Lingyun. Rasing speed in China while suspension in German of Shale gas development, experts' claim of environmental pollution or brewing disaster. *Global Fossil Industry Network*, May 14, 2012, citing from <http://www.cippe.net/news/html/201205/73255.html>.
- [77] http://www.gesep.com/News/Show_8_296294.htm. 2011-07-25.
http://www.gesep.com/News/Show_8_296294.htm. July 25, 2011.
- [78] <http://www.cippe.net/news/html/201207/78145.html>. 全球石油

- 化工网, 2012-07-12.
<http://www.cippe.net/news/html/201207/78145.html>.
Global Petrochemical Network, July 12, 2012.
- [79] <http://www.china5e.com/show.php?contentid=195051>. 中国网, 2011-10-08.
<http://www.china5e.com/show.php?contentid=195051>.
China Network, Oct. 08, 2011.
- [80] http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2011-09/12/content_923135.htm.
- [81] <http://news.xinmin.cn./rollnews/2012/05/14/14750030.html>.
- [82] http://www.gesep.com/news/show_183_300004.html.
- [83] <http://biz.cn.yahoo.com/yopen/20120508/1032465.html>. 雅虎财经. 2012年5月8日.
<http://biz.cn.yahoo.com/yopen/20120508/1032465.html>. Yahoo Finance. May 8, 2012.
- [84] http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2012-04/23/content_1040369.htm. 中国能源报, 2012年04月23日.
http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2012-04/23/content_1040369.htm. China Energy News, April 23, 2012.
- [85] <http://ny.rednet.cn/c/2012/07/11/2674255.htm>. 红网, 2012-7-11.
<http://ny.rednet.cn/c/2012/07/11/2674255.htm>. REDNET, July 11, 2011.
- [86] <http://www.nzmessengers.co.nz/portal.php?mod=view&aid=2957>. 新西兰信报, 2012-04-19.
<http://www.nzmessengers.co.nz/portal.php?mod=view&aid=2957>. New Zealand Message, April 19, 2012.
- [87] http://news.xinhuanet.com/energy/2012-04/29/c_12305_3781.htm. 中国能源报, 2012-04-29.
http://news.xinhuanet.com/energy/2012-04/29/c_12305_3781.htm. China Energy News, April 29, 2012.
- [88] <http://www.hndkj.org.cn/News6425.aspx>. 中国矿业报, 2012-06-11日.
<http://www.hndkj.org.cn/News6425.aspx>. China Mining, June 11, 2012.
- [89] <http://env.people.com.cn/GB/14493680.html>. 人民网, 2011-04-27.
<http://env.people.com.cn/GB/14493680.html>. People Network, April 27, 2011.
- [90] <http://t.stock.sohu.com/8626050.shtml>.
- [91] http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2012-04/23/content_1040378.htm. 中国能源报, 2012-04-23.
http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2012-04/23/content_1040378.htm. China Energy News, April 23, 2012.
- [92] <http://www.cippe.net/news/html/201205/73255.html>.
- [93] 冯连勇, 邢彦姣. 美国页岩气开发: 一场信贷危机 2.0? 中国石油报, 2012-07-24. <http://news.cnpc.com.cn/systems/2012/07/24/001384924.shtml>.
Feng Lianyong, Xing Yanjiao. American shale gas development: A Subprime mortgage crisis 2.0? China Petroleum Daily, July 24, 2012.
- [94] 冯跃威. 美国页岩气开发策略研究——美国的页岩气之梦. 国际石油经济, 2012, (1-2): 92-100.
Feng Yuewei. Shale gas development strategy in the US——The American Dream of shale gas, International Petroleum Economics, 2012, (1/2): 92-100.
- [95] <http://www.chinavalue.net/Biz/Blog/2012-7-13/916608.aspx>. 中国能源报, 2012-06-25.
<http://www.chinavalue.net/Biz/Blog/2012-7-13/916608.aspx>. China Energy News, June 25, 2012.
- [96] <http://www.chinavalue.net/Biz/Blog/2012-7-13/916580.aspx>. 中国能源报, 2012-07-09.
<http://www.chinavalue.net/Biz/Blog/2012-7-13/916580.aspx>. China Energy News, July 09, 2012.
- [97] http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2012-01/09/content_991971.htm. 中国能源报, 2012-01-09.
http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2012-01/09/content_991971.htm. China Energy News, Jan. 09, 2012.
- [98] http://news.xinhuanet.com/world/2011-09/29/c_122108269.htm. 新华网, 2012-09-29.
http://news.xinhuanet.com/world/2011-09/29/c_122108269.htm. Xinhua Network, Sep. 29, 2012.
- [99] http://monthly.sinopecnews.com.cn/shzz/content/2011-11/14/content_1109290.htm, 2011-11-14.
http://monthly.sinopecnews.com.cn/shzz/content/2011-11/14/content_1109290.htm, Nov. 14, 2011.
- [100] http://enews.sinopecnews.com.cn/shb/html/2010-12/17/content_127942.htm. 环球周刊, 2010-12-17.
http://enews.sinopecnews.com.cn/shb/html/2010-12/17/content_127942.htm. Global Weekly, Dec. 17, 2010.
- [101] <http://finance.ifeng.com/news/industry/20120202/5527583.shtml>. 凤凰网财经, 2012-02-02.
<http://finance.ifeng.com/news/industry/20120202/5527583.shtml>. Fenghuang Finance, Feb. 02, 2012.
- [102] <http://cnreuters.com/article/chinaNews/idCNCNE81108F20120203?feedType=RSS&feedName=chinaNews>. 路透社, 2012-02-03.
<http://cnreuters.com/article/chinaNews/idCNCNE81108F20120203?feedType=RSS&feedName=chinaNews>. Reuters, Feb 3, 2012.
- [103] <http://www.zgjr.com/News/201252/home/016140253100.shtml>. 北京商报, 2012-05-027.
<http://www.zgjr.com/News/201252/home/016140253100.shtml>. Beijing Business Today, May 2, 2012.
- [104] <http://money.163.com/10/1012/19/61QNPT1G00253EOV.html>. 北京日报, 2010-10-12.
<http://money.163.com/10/1012/19/61QNPT1G00253EOV.html>. Beijing Daily, Oct. 12, 2010.
- [105] <http://chinanews.com/ny/2011/02-17/2850750.shtml>. 中国新闻网, 2011-02-17.
<http://chinanews.com/ny/2011/02-17/2850750.shtml>. ChinaNews, Feb. 17, 2011.

An analysis of reservoir formation, potential productivity and environmental pollution effect of shale gas in China

TENG Ji-Wen, LIU You-Shan

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: China actually needs more shale oil/gas resources because the demand for fossil energy is expanding at present and its shortage tendency sweeps the whole world. Therefore, unconventional oil/gas resources, especially the exploration, development and utilization of shale oil/gas resources have been put on the agenda of social progress and economic development, and have been highly emphasized by many countries in the world. Consequently, shale oil/gas has now become a hot topic in China's energy and technology fields and government departments. After a period of hot-hype and assessment without sufficient grounds, the authors put forward some points of view on the basis of an analysis and discussion of data available both in China and abroad, i.e. we should (1) comprehend the modes of occurrence and development conditions of shale oil/gas countries all over the world, especially in North America, and then understand independently the distribution state and potential in China based on adequate evidence; (2) understand the attributes and prospects of shale gas, the background of survey and storage in China, and more comprehensively carry out geophysical exploration of shale and shale gas as well as choose good promising typical areas for demonstration research, acquisition and exploration; (3) redefine the exploitation process, condition and environmental pollution degree of shale gas and key questions queried by many countries in the development of shale gas; (4) formulate comprehensively the development scheme and development route-map of shale gas in China from the viewpoint of concepts, practices and understanding; (5) not invest vigorously and implement eagerly exploitation and development of shale gas at present because the prospect is not optimistic.

Key words: shale gas; formation and aggregation mechanism; hydraulic fracturing and horizontal well-drilling; exploitation and pollution; development prospect and route-map

About the first author: TENG Ji-wen, male, born in 1934, doctor, professor, senior researcher, supervisor of doctor candidates, academician, engages in the study of geophysics and geodynamics; E-mail: jwten@mail.iggcas.ac.cn.