

页岩气及国内勘探前景展望

潘仁芳^{1,2} 黄晓松²

(1 油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 湖北省荆州市 434023; 2 长江大学地球科学学院, 湖北省荆州市 434023)

摘 要: 中国页岩气的勘探还处于起步阶段, 与美国东部地区页岩气成藏地质条件进行初步对比发现, 中国的许多盆地均具有页岩气成藏的地质条件, 并有望成为页岩气勘探开发的主力战场。中国的中东部地区、南方地区、西北和青藏地区都具有良好的页岩气勘探前景。特别是南方地区有稳定厚层的富烃页岩地层分布, 虽然后期构造作用强烈, 但是由于页岩气具有典型的“自生自储”特点, 抗破坏能力较强。南方的四川盆地已经找到了页岩气发育的直接证据, 威远就是一个典型的实例。页岩气的勘探应首选有机质丰度和热演化程度高的区域, 最好伴有天然裂缝的发育。

关键词: 页岩气; 非常规天然气; 勘探

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

1 页岩气藏特征

页岩气是以多种相态存在、主体上富集于泥页岩(部分粉砂岩)地层中的天然气聚集。页岩气藏中的天然气不仅包括了存在于裂缝中的游离相天然气, 也包括了存在于岩石颗粒表面上的吸附气。页岩气与其他类型天然气的显著差别在于, 其具有典型的“自生自储”特点。

页岩气既可以是生物成因气也可以是热成因气, 或是生物成因气与热成因气的混合气。作为生物成因气, 通过在埋藏阶段的早期成岩作用或近代富含细菌的大气降水的侵入作用中厌氧微生物的活动形成, 作为热成因气, 通过在埋藏比较深或温度较高时干酪根的热降解或是低熟生物气再次裂解形成, 以及油和沥青达到高成熟时二次裂解生成。

页岩含气量主要与有机质含碳量、类型及演化程度有关。只要页岩中检测出一定的有机碳含量, 且具有一定的演化程度, 页岩中就有可能存在天然气。因此只要发现层厚、含碳量高的大片页岩, 就能大致确定页岩

气的空间分布, 极大地减小页岩气的勘探难度。

页岩的孔隙度与渗透率极低, 需要裂缝来提高孔渗性能。一般情况下, 页岩气藏需要人工压裂才能进行工业生产。大多数产气页岩具有分布范围广、层厚、普遍含气等特点, 这使得页岩气井能够长期地以稳定的速率产气。

2 国外页岩气勘探开发现状

页岩气的研究开始于美国, 美国的第一口工业性天然气钻井(1821年钻至8m深度时产出裂缝气)就是页岩气井, 当时由于产气量少而没有得到重视, 但却拉开了美国天然气工业发展的序幕。到1926年时, 发现的东肯塔基和西弗吉尼亚气田(泥盆系页岩)已成为当时世界上最大的天然气田。从1980年开始, 美国天然气研究所开始对东部页岩气进行系统研究, 主要目的是摸清页岩气分布规律并进行资源潜力评价, 不断地发现新的页岩气田并进一步提高页岩气产量、储量, 随后的页岩气勘探和研究迅速向其他地区扩展, 页岩气研究全面开展^[1]。

第一作者简介: 潘仁芳, 男, 教授, 现任长江大学地球科学学院院长。1982年本科毕业于江汉石油学院勘探系, 1994年博士毕业于中国地质大学(北京)能源系, 主要从事储层地球物理方法和应用研究工作。

收稿日期: 2009-03-28

美国目前已在多个盆地中发现并开采了页岩气(图1),在1981年至1999年期间,美国的页岩气钻井总数超过了2.8万口,2006年时已超过了3.95万口,页岩气年产量逐年递增。1998年,美国页岩气产量占到了干气总产量的1.6%,为全美探明天然气储量的2.3%^[2]。2005年,美国页岩气产量占其天然气总产量的4.5%,目前已达到10%左右。其中阿巴拉契亚和密

西根盆地页岩气资源量就分别达到 $(6.37\sim7.02)\times 10^{12}\text{m}^3$ 和 $(0.99\sim2.15)\times 10^{12}\text{m}^3$,页岩气可采储量分别为 $(0.41\sim0.78)\times 10^{12}\text{m}^3$ 和 $(0.31\sim0.54)\times 10^{12}\text{m}^3$,1999年这两个盆地的页岩气产量总和大约为 $110\times 10^8\text{m}^3$ 。由美国近几年非常规气产量增长趋势图(图2)可知,页岩气产量成指数增长^[3],是目前经济技术条件下天然气工业化勘探开发的重要领域和目标。

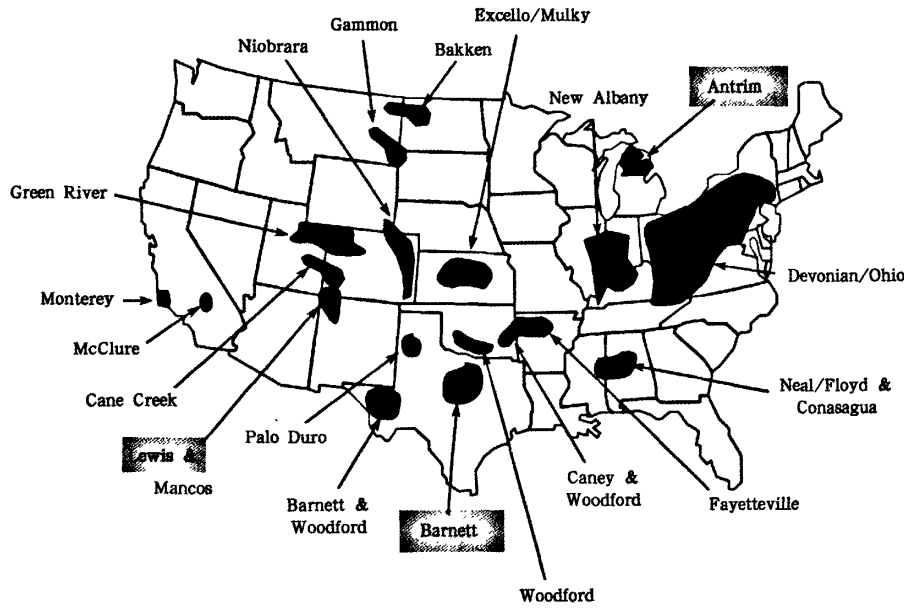


图1 美国页岩气盆地分布图
Fig.1 Distribution of shale gas basins in U.S.

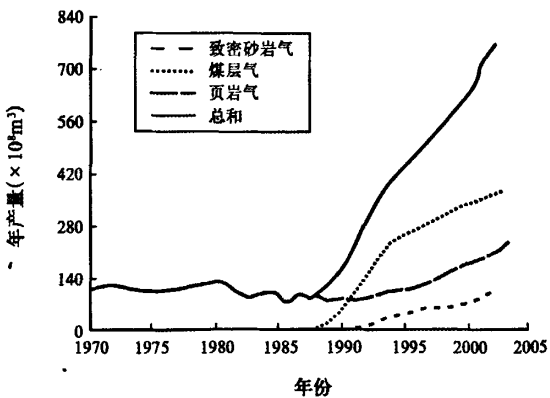


图2 美国非常规气产量增长图
Fig.2 Growth of unconventional gas production in U.S.

美国的页岩气主要发现于中—古生界中,目前勘探开发正由东北部地区的盆地(阿巴拉契亚、密西根、

伊利诺斯等盆地)向中西部地区的盆地(威利斯頓 Bakken 页岩),以及圣胡安丹佛(Niobrara白垩岩)、富特沃斯、阿纳达科(Woodford页岩)等盆地扩展^[4,5]。美国天然气研究所和Curtis等近年公布资料表明:美国落基山地区盆地中的页岩气资源量为 $1120\times 10^8\text{m}^3$,逐渐形成了区域性页岩气勘探开发局面。

此外,加拿大等北美部分国家也已经开始了页岩气勘探开发,并取得了一定的效益。国外页岩气勘探开发正处于发展阶段。

3 中国页岩气潜力

与美国页岩气发育盆地对比发现,中国存在区域发育页岩气的地质背景和条件。根据地质背景,可将我国的页岩气发育区大致划分为四大区域,即南方、中东部(华北—东北)、西北及青藏等四大地区(图3)^[6]。

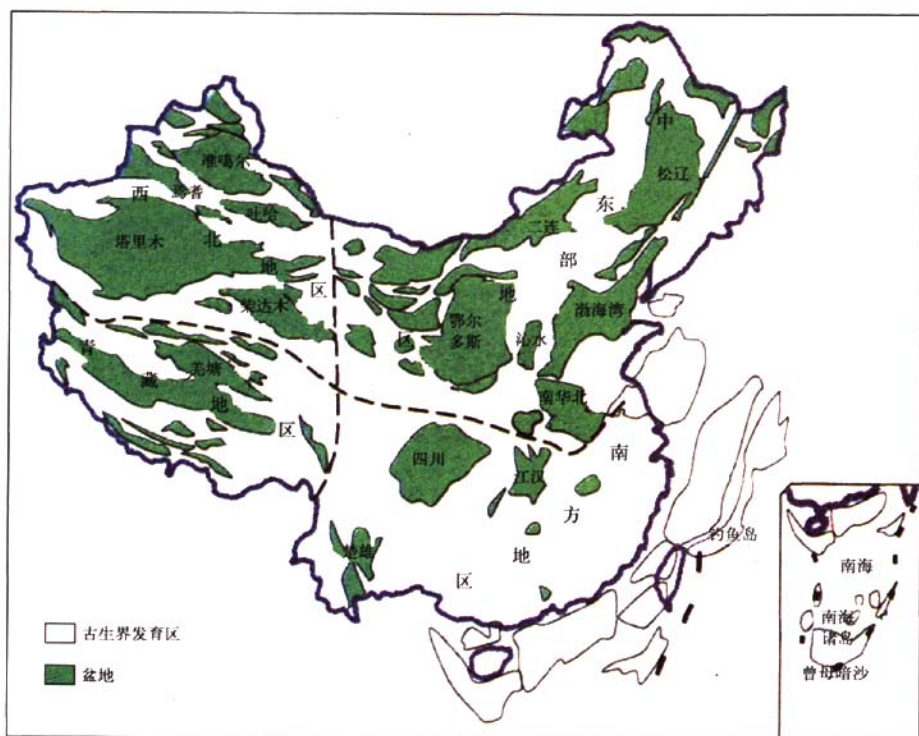


图3 中国潜在的页岩气发育区分布图

Fig.3 Distribution of China's potential shale gas development areas

在纵向上,中国南方从震旦纪到中三叠世,发育了面积达 $200 \times 10^4 \text{km}^2$ 的海相地层,并且最大厚度超过了10km。地层中形成了上震旦统(陡山沱组)、下寒武统、上奥陶统(五峰组)一下志留统(龙马溪组)、中泥盆统(罗富组)、下石炭统、下二叠统(栖霞组)、上二叠统(龙潭和大隆组)、下三叠统(青龙组)等8套以黑色页岩为主的烃源岩层系。其中下寒武统、上奥陶统(五峰组)一下志留统(龙马溪组)、下二叠统、上二叠统等4套烃源岩是区域主力烃源岩^[7]。将这几套地层与美国东部对比可知,在构造运动强度、页岩形成时代上具有相似性。这4套地层分布广、厚度大,有机质含量高,是南方最有利的页岩气勘探层位。

在横向上,中国南方包括了三江造山带及其以东、龙门山推覆带—秦岭大别造山带以南、闽粤岩浆岩带以西北的广大地区。南方总面积有 $220 \times 10^4 \text{km}^2$,其中一古生界海相地层分布面积达 $90 \times 10^4 \text{km}^2$ 。由美国页岩气勘探研究可知,中一古生界海相地层有利于页岩气的发育^[8],因此中国南方也具有页岩气的勘探开发

潜力。但是,目前中国南方页岩气勘探程度还很低,井浅数量少,只有少数的井钻遇了寒武系和志留系。这在认识上还有缺憾。仅仅在四川盆地的部分地区发现有一定规模的气田,其他地区的勘探基本还是空白。同时,中国南方页岩普遍为有机质含量高的黑色页岩,具有埋深浅、面积大、层厚等特点,最大厚度超过1400m。调查表明,我国黑色页岩分布十分广泛,南方、鄂尔多斯、吐哈、茂名和抚顺等地区的页岩和油页岩,都富含有机质。中国南方是页岩气勘探开发的有利首选区域,四川盆地、鄂西—渝东及中下扬子地区是平面上分布的有利区。

四川盆地具有与美国典型盆地相似的地质条件和构造演化特点,均属于古生代发育的海相沉积盆地,具有较大的页岩气勘探前景。其中页岩气不仅是盆地内常规气藏的烃源岩,而且还具备了页岩气成藏的地质条件,这是由页岩气的“自生自储”特点决定的。调研显示,四川盆地威远地区的九老洞页岩和泸州地区下志留统龙马溪页岩,都具备页岩气成藏条件,而且前期

勘探中已有页岩气发现。其中,威远地区、阳高寺和九奎山的158口井在复查中普遍见到显示,尤其是1966年完钻的威5井,钻遇九老洞页岩段发现气侵与井喷,后测试日产气 $2.46 \times 10^4 \text{m}^3$ ^[9]。随后,这一地区的其他几口井以及泸州地区的有关地层,在钻井过程中也见到不同级别的页岩气显示。上述两个地层的页岩气资源潜力应该为 $(6.8 \sim 8.4) \times 10^{12} \text{m}^3$,相当于四川盆地的常规天然气资源总量。而在四川盆地的龙马溪组等主要地层中找到了页岩气发育的直接证据(图4)^[6],暗色页岩(泥岩)段气测异常、气显活跃、井喷、井涌时有发生,表明存在页岩气,且分布面积广大。

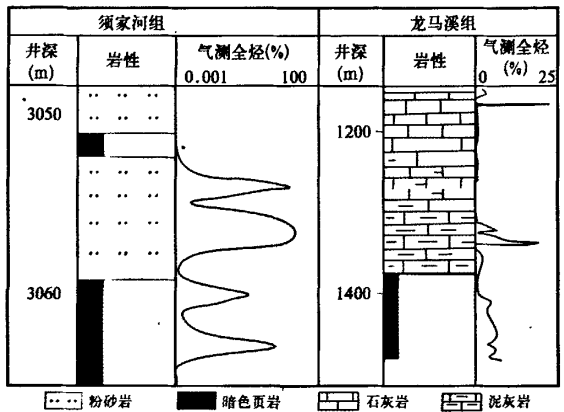


图4 四川盆地须家河组和龙马溪组页岩气存在证据
Fig.4 Evidence showing the presence of shale gas in the Xujiahe and Longmaxi formations in Sichuan Basin

在华北—东北地区,页岩气更可能发生在主力产油气层位的底部或下部,区域上的古生界、鄂尔多斯盆地的中—古生界、松辽盆地的中生界、渤海湾盆地埋藏较浅的古近系等。泥页岩累计厚度在50~2000m之间,平均有机碳含量为1.0%~2.0%,局部平均值可达4.0%以上,对应有机质成熟度变化较大^[10]。在西北部地区,页岩气大部分分布在中生界(侏罗系及三叠系等)和盆地边缘埋深较浅的古生界泥页岩中。西北地区页岩有机碳含量平均值普遍较高,成熟度变化范围也较大。而青藏地区的地表环境虽然较差,但中—古生界泥页岩地层厚度大,有机质含量高,有机质热演化程度适中,也是页岩气发育的有前景地区。

总之,在纵向上我国古生代地层分布范围广、地层厚度大、有机质含量普遍较高,可作为区域上页岩气勘探研究的重要层系,富集层位主体存在于中—古生界

中,东部地区的新生界也是一个不可忽视的重要领域。横向平面上,南方扬子地区是最为有利的勘探区域。

4 中国页岩气勘探探讨

4.1 页岩气在我国南方勘探的优势

与美国东部地区页岩气盆地地质条件进行对比后认为,我国南方地区是页岩气发育的良好区域,是开展页岩气研究及勘探开发生产的首选区域。该地区虽然页岩气成藏条件良好,但也存在两个方面的问题:一是有机质演化程度普遍较高, $R_o > 2\%$ 的地区占相当大的比例;二是南方地区后期抬升作用强烈,对已形成油气藏的影响作用和破坏作用明显。但是由于页岩气的赋存特性,即抗构造破坏能力较强,尽管区域性抬升剥蚀强烈,但南方地区仍然是国内开展页岩气勘探和研究最有利的区域^[11]。从美国页岩气发现情况来看,大部分页岩气出现在古生界中,这说明我国南方大面积地区可能存在页岩气的有价值地层。

4.2 页岩气勘探原则

根据页岩气藏主控地质因素及分布规律,对四川盆地页岩气藏勘探原则的探讨很有启示,但仍需有针对性具体化。页岩气藏勘探总体应遵循以下几大原则:

- (1) 页岩气藏勘探尽可能优先在有机碳含量和热演化程度较高区域进行,特别是有机碳含量大于2%和镜质组反射率大于0.4%的区域,其中再以黑色页岩较发育的区域进行优先部署^[12]。
- (2) 陆相和海相页岩气藏勘探应彼此顾及,首先勘探沉积中心的区域,在有所发现的条件下,再逐步扩大勘探范围。陆相中的湖相和三角洲相是较为有利的优先勘探区域。但也还应了解区域内海相—海陆过渡相—陆相的纵向时空变化规律,寻求纵向上追踪勘探。
- (3) 裂缝发育区域的判断是关键环节,优选构造转折带、地应力较集中带和褶皱—断裂带重点勘探,现今的中深埋藏深度是勘探重点,对海相沉积页岩的过大抬升区域要进行侦察性勘探。
- (4) 四川盆地内的其他地区要在前期全面资源调查的基础上,从中筛选出较有利勘探区块,进行勘探可行性深入评价,中—下侏罗统和二叠系大隆组是深入评价的重点。

(5) 暗色页岩单层厚度一般大于30m较适合勘探,应结合有机碳的含量进行综合选择。暗色页岩层流体高势能区是勘探的重点,游离页岩气高压异常带应优先勘探,而吸附高压异常带勘探可推后进行,低压异常带勘探要慎重,但也不可忽视低压异常中仍有较大产出能力的可能性^[13]。

4.3 页岩气钻采工程技术探讨

暗色页岩气藏勘探属于世界范围内较边缘的专业学科领域,钻井和完井要采用现有的先进技术。老井上试或下试是立体勘探中的有效途径。对于原有的直井和斜井,特别是地层孔隙流体高压异常状态下,可进行氮气超正压射孔。如果要用液垫,须防泥质膨胀。采用现有的有机盐 and 无机盐复合防膨技术也是一条重要技术途径。高含钙质的暗色页岩地层,可用乙醇酸进行水力喷射孔作业,发挥应有的多种功能。裸眼割缝衬管完井技术具有广泛的适用性,尤其是新钻的井眼易于采取这种完井方式,钻井显示很好的井尤其应采用此完井方式。为了稳定井壁,也可以在井壁与割缝衬管间充填掺纤维的陶粒。水平井是暗色页岩气藏勘探评价的重要手段,对于原来有较好气显示的老井,采用套管开窗侧钻水平井可以降低增产措施的技术难度,但是有待于用裂缝检测技术确定水平井段延伸的方位。用空气作循环介质在暗色页岩中钻进,稳定井壁在于增加注气压,可依据演化模式预测暗色页岩对扩散相天然气封闭的能力,以指导页岩气藏勘探。

5 结 论

(1) 页岩气成藏机理特殊,成藏条件多样,具有普遍发育、广泛分布特点,是中国值得高度重视且具有广泛勘探意义的非常规油气资源类型。

(2) 页岩气储量大、生产周期长,美国已发现埋深最浅的工业性页岩气只有182m,平均深度也只有1200m,通常介于450~2300m之间。与其他非常规类型气藏相比,页岩气勘探成本也并不高,因此在中国开展页岩气研究具有重大意义。

(3) 页岩气在中国的分布具有普遍性意义,平面上

可划分为南方、西北、华北—东北及青藏等4个页岩气大区。其中,南方及西北地区的页岩气(也包括鄂尔多斯盆地及其周缘)的成藏条件最好、资源量最大。在剖面上可分为古生界和中—新生界两大套特点差异较大的重点层系,但以南方地区的古生界和西北地区的中—古生界为最优。

参考文献

- [1] Milici R C. Autogenic gas (self sourced) from shale: an example from the Appalachian basin. Howell D G. The Future of Energy Gases, US Geological Survey Professional Paper. Washington: US Geological Survey, 1993, 1570: 253~278.
- [2] Curtis J B. Fractured shale-gas systems. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921~1938.
- [3] Caldwell R. Unconventional resources: are they for real. Scotia Newsletter, Mar., 2006: 1~2.
- [4] Schmoker. Thermal maturity of the Anadarko basin. Johnson D G. Anadarko Basin Symposium, 1988. Oklahoma Geological Survey Circular, 1989, 90: 25~31.
- [5] Pollastro R M, Seholle P A. Exploration and development of hydrocarbons from low-permeability chalks: An example from the Upper Cretaceous Niobrara Formation, Rocky mountain region. Spencer C W, Mast R F. Geology of Tight Gas Reservoirs, AAPG Studies in Geology. New York: AAPG, 1986, 24: 129~142.
- [6] 张金川, 等. 中国天然气勘探的两个重要领域[J]. 天然气工业, 2007, 27(11): 1~6.
- [7] 张金川. 根缘气(深盆气)的研究进展[J]. 现代地质, 2003, 17(2): 210.
- [8] 傅诚德. 鄂尔多斯深盆气研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [9] 王涛. 中国深盆气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [10] 刘映辉, 敬朋贵, 尹正武. 南方新区油气勘探与地震属性技术[J]. 石油物探, 2004, 43(增刊): 48~5.
- [11] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [12] 王德新, 江裕彬, 吕从容. 在泥页岩中寻找裂缝油、气藏的一些看法[J]. 西部探矿工程, 1996, 8(2): 11~14.
- [13] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷二)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 76~79.