

文章编号: 1006-6535(2010)05-0001-07

页岩气发展现状及勘探前景

徐建永,武爱俊
(中海油研究中心,北京 100027)

摘要:随着北美地区页岩气勘探的巨大成功,页岩气资源勘探在全球范围内持续升温,现已有 10 多个国家开展了页岩气的勘探与开发试验工作。研究认为,中国页岩气资源丰富,许多盆地或地区具有页岩气大规模成藏的地质条件,中国的南方地区、华北-东北地区、西北和青藏地区都具有良好的页岩气勘探前景。通过分析比较上述地区页岩气成藏主控因素后认为,中国的南方、西北(包括鄂尔多斯盆地及其周缘)和青藏地区都是比较有利页岩气勘探区域,其中南方地区应作为中国实现页岩气勘探突破的首选地区。中国的页岩气勘探目前还处于起步阶段。

关键词:页岩气;发展现状;中国勘探前景;有利区域

中图分类号:TE132.2 **文献标识码:**A

引 言

页岩气是以吸附和游离状态同时存在于泥页岩地层中的天然气,表现为典型的“原地”成藏模式^[1-4]。页岩气是一种典型的非常规天然气,在 20 世纪 70 年代中期之前曾被归入非经济可采资源,随着天然气开发技术的进步以及对天然气的依赖逐渐变为经济可采资源。页岩气因其资源潜力巨大和经济效益显著受到各国政府及能源公司的重视。

1 世界页岩气发展现状

1.1 世界页岩气资源

据不完全统计,全球页岩气资源量为 456.24 × 10¹² m³,超过全球常规天然气资源量(436.1 × 10¹² m³),主要分布在北美、中亚、中国、拉美、中东、北非和前苏联(表 1)^[5]。美国是目前探明页岩气资源最多的国家,现已探明近 30 个页岩气盆地,其中 7 个高产盆地的页岩气资源量为 80.84 × 10¹² m³,可采储量为 18.38 × 10¹² m³^[6]。中国页岩气资源比较丰富,经初步估算,主要盆地和地区的页岩

气资源量约为 15 × 10¹² ~ 30 × 10¹² m³,中值 23.5 × 10¹² m³^[4]。

表 1 世界主要地区页岩气资源前景

地区或国家	页岩气储量/10 ¹² m ³
北美	108.7
拉丁美洲	59.9
西欧	14.4
中欧+西欧	1.1
前苏联	17.7
中东+北非	72.1
撒哈拉以南非洲	7.8
中亚+中国	99.8
太平洋地区(经合组织)	65.5
其它亚太地区	8.9
南亚	—
世界(合计)	456.0

1.2 页岩气勘探开发现状

北美是全球目前唯一实现页岩气商业化开采的地区。美国页岩气开采最早可追溯到 1821 年,但当时由于产量较小没有得到重视,直到 20 世纪 80 年代中期,由于水平钻完井技术和水力压裂技术的进步,使得页岩气的生产进入大规模发展阶段。截至 2008 年底,美国已完钻页岩气井约 42 000 口,产量首次超过煤层气,达到 507 × 10⁸ m³,占美国天然气总产量的 10%,预计 2015 年页岩气产量可达

收稿日期:20100202;改回日期:20100622
基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目“南海深水区盆地远源碎屑岩沉积机理研究”(2009CB219407)
作者简介:徐建永(1976-),男,工程师,硕士,1999年毕业于中国石油大学(华东)资源勘查工程专业,现主要从事石油地质综合研究。

$2\,800 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。产能较高的有 Barnett、Fayetteville、Haynesville、Marcellus、Woodford、Antrim 和 New Albany 7 套页岩,分别位于 Fort Worth 盆地、Arkoma 盆地、North Louisiana 盆地、美国东北部地区、俄克拉荷马州中南部、Michigan 盆地和 Illinois 盆地*。

加拿大紧随美国之后开展了页岩气方面的勘探和开发试验。据加拿大非常规天然气协会(GSUG)初步估计,加拿大页岩气地质储量超过 $40.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$,主要分布于西南部的 British Columbia、Alberta 和 Saskatchewan 地区,东南部 Quebec、Ontario 等地区也有少量分布**。GSUG 认为,西部(包括 British Columbia 北部 Bowse 盆地)Colorado 页岩段、侏罗系及古生界页岩和东南部的泥盆系页岩具有开发潜力。近年来在加拿大东部 Quebec 地区的页岩气勘探取得重大突破,研究表明,人们所熟知的 Utica 页岩资源丰度高达 $10.17 \times 10^8 \text{ m}^3$,可以和美国著名的 Barnett 页岩相媲美,除此以外,还在 Utica 页岩下面发现了一套厚达 1 500~2 000 m 的 Lorraine 硅质页岩,这套页岩的资源丰度可能为 $20.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,是 Utica 页岩的 2 倍多,显示了该区良好的页岩气勘探前景^[7]。据不完全统计,加拿大现有页岩气钻井 60 余口,年产量约 $31 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

北美地区页岩气勘探的巨大成功,引起了世界各国的广泛关注,德国、匈牙利、波兰、瑞士、英国、澳大利亚以及印度等国也纷纷开展页岩气的勘探与开发试验。

中国自 2004 年起,由国土资源部油气资源战略研究中心与中国地质大学(北京)合作开展了页岩气资源的研究工作。通过对比湖南、四川等 8 省市成藏条件后,认为重庆市渝南和东南地区广泛分布下寒武统、下志留统、中二叠统 3 套地层,许多地区有形成大规模页岩气的可能。自 2005 年起,中国石油(CNPC)开展了页岩气方面的研究工作,一是通过对以往资料的分析,证实了页岩气确实在国内广泛存在,二是加强与国外的合作。如 2007 年 10 月中国石油天然气集团公司与美国新田石油公司签署了“威远地区页岩气联合研究”协议,2009 年 11 月与壳牌公司签订“四川盆地富顺—永川区块页岩气联合评价协议”。值得一提的是,2008 年

11 月由中国石油勘探开发研究院设计实施的中国首口页岩气取心浅井在四川宜宾顺利完钻,设计 200 m 的井深取心 154 m,并进行了大量的分析测试。中国石化近年来也已设立页岩气专题研究组,并在全中国范围内开展了页岩气藏潜力评价及有利地区优选工作。中国海油(CNOOC)也于 2010 年成立了专门的页岩气专题研究组,主要从事南方地区页岩气藏潜力评价和区带优选工作。2009 年 8 月 17 日,中国首个页岩气开发项目在重庆綦江启动,标志着中国正式开始了新型能源页岩气的勘探与开发。2009 年 8 月 27 日,中国研究人员在重庆市境内的北部县区(秦岭褶皱带南端)肉眼观察并发现了页岩气的直接存在。

2 中国陆上主要页岩

依据地质历史,可将中国的页岩气发育区划分为大致与板块对应的 4 大区域:南方、华北—东北、西北及青藏等 4 大区域^{[8][4]138},每个区域中都发育有多套页岩(表 2)。

2.1 南方地区

中国南方是指位于秦岭—大别山—苏鲁造山带以南、三江—甘孜—阿坝造山带以东的广大地区,总面积约 $220 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中中、古生界海相地层分布面积约为 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[9-10],大地构造格局以华南板块的扬子陆块与华夏陆块为主体^[11]。中国南方扬子地台区古生界发育震旦系—三叠系海相沉积,沉积岩厚度为 4 000~7 000 m。中国南方经历了多期原型盆地的并列叠加,发育了 4 套区域性烃源岩(下寒武统、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组、下二叠统栖霞组和上二叠统龙潭/大隆组)和 4 套局部性烃源岩(上震旦统陡山沱组、中泥盆统罗富组—上泥盆统桐江组、下石炭统、下三叠青龙组)^[12-13],其中下寒武统、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组等多套海相黑色硅质页岩建造分布稳定,埋藏深度浅,有机质丰度高,有利于页岩气藏的形成与富集^[14-15]。

(1) 下寒武统页岩。岩性为深灰—黑色炭质页岩夹炭硅质页岩,广泛分布于川北的筇竹寺组、贵州—湘西的牛蹄塘组、鄂西的水井沱组、浙西—

* Modern Shale Gas, Development in the United States; A Primer. April, 2009.

** Kevin Heffernan. Shale gas in North America emerging supply opportunities. Northeast Energy and Commerce Association Fuels Conference, September 24, 2008.

皖南的荷塘组和苏南—苏北的幕府山组,现今残留面积约 $90 \times 10^4 \text{ km}^2$;厚度平均为 120 m,皖南—浙西局部可达 465 m。有机碳含量(TOC)多在 2.0% 以上,在黔东南麻江地区最高可达 22%,平均为 2.88%。母质类型以腐泥型干酪根为主,少量为腐殖型。上扬子与下扬子地区页岩演化程度较高,镜质体反射率(R_o)一般大于 3%,最高可达 5% 及以上;中扬子地区页岩的演化程度略低,为 2.0% ~ 3.0%,部分小于 2.0%。

(2) 上奥陶统(五峰组)—下志留统(龙马溪组)

表 2 中国陆上主要页岩特征

区域	盆地或地区	页岩层位	主要分布区域	面积/ km^2	厚度/m	岩性	$TOC/\%$	$R_o/\%$
南方地区	扬子地台	上震旦统陡山沱组	中上扬子区	—	10 ~ 114.6	泥页岩、炭质页岩、硅质页岩	0.41 ~ 2.06	—
		下寒武统	扬子地台	90×10^4	50 ~ 500	炭质页岩、炭硅质页岩	均值 2.77	2.00 ~ 5.00
		下志留—上奥陶统	上扬子区	—	40 ~ 130	黑色硅质页岩、炭泥质页岩	0.50 ~ 2.34	2.00 ~ 3.00
	钦防海槽	中、上泥盆统	钦防海槽	—	182 ~ 925	黑色泥页岩	0.53 ~ 4.74	1.53 ~ 2.03
华北东北地区	鄂尔多斯盆地	三叠系延长组 7 段	盆地南部	5×10^4	10 ~ 50	泥页岩	2.45 ~ 5.28	0.90 ~ 1.10
	渤海湾盆地 济阳坳陷	古近系沙河街组沙一段	沾化凹陷 埕北凹陷	—	50 ~ 120	泥页岩	2.00 ~ 5.00	0.30 ~ 0.70
		古近系沙河街组沙三下亚段	济阳坳陷	—	150 ~ 200	油页岩、页岩	1.00 ~ 9.00	0.50 ~ 1.90
		古近系沙河街组沙四上亚段	东营凹陷	—	40 ~ 120	钙质泥页岩	1.50 ~ 10.00	0.50 ~ 1.90
	松辽盆地	上白垩统嫩江组一段	中央坳陷区	$>20 \times 10^4$	2 ~ 11	油页岩	均值 2.40	0.50 ~ 1.05
		上白垩统青山口组一段	中央坳陷区	$>8 \times 10^4$	4 ~ 14	油页岩	均值 4.75	0.50 ~ 1.20
西北地区	准噶尔盆地	二叠系	盆地南缘东部	约 7000	—	页岩	4.85 ~ 10.02	0.60 ~ 2.00
			盆地东北缘	3243	—	页岩	1.42 ~ 4.10	0.80 ~ 1.00
	塔里木盆地	寒武系	盆地东部	—	120 ~ 415	泥页岩	均值 1.87	1.80 ~ 3.60
	柴达木盆地	中侏罗统大煤沟组 7 段	盆地北缘	—	50 ~ 200	泥页岩	均值 11.00	0.50 ~ 1.70
	吐哈盆地	中下侏罗统水西沟群	吐鲁番坳陷	—	100 ~ 800	泥页岩 炭质泥页岩	6.00 ~ 30.00	0.40 ~ 1.50
青藏地区	羌塘盆地	中侏罗统夏里组	南、北羌塘坳陷中西部	—	50 ~ 200	泥页岩 油页岩	1.00 ~ 4.00	0.90 ~ 2.00
		上三叠统肖查卡组	北羌塘坳陷中东部	—	10 ~ 200	泥页岩	1.00 ~ 2.00	1.30 ~ 3.20

页岩。岩性以灰黑—黑色硅质页岩和黑色炭泥质页岩为主,主要发育在上扬子区,厚 40 ~ 130m,以川东北镇巴、川东石柱最厚;中、下扬子区不很发育,实测标定最厚分别只有 28 m 和 75 m,分布范围也小。 TOC 在中、下扬下区最大为 3% ~ 5%,上扬子区在川东北城口、巫溪、黔西北习水、观音桥等处最大可达 8%。 TOC 大于 2% 的优质烃源岩厚度一般小于 40 m。母质类型以腐泥型为主,热演化程度较高,上扬子与下扬子地区 R_o 一般为 2.0% ~ 3.0%,下扬子苏皖一带 R_o > 4.0%,中扬子地区演化程度稍低,一般小于 2.0%。

除了上述 2 套区域性分布的主力页岩外,还有一些局部分布的页岩可能具有较大的勘探潜力,如滇黔桂地区、南盘江地区、桂中坳陷、十万大山盆地的中、上泥盆统页岩,中扬子地台的上震旦统陡山沱组页岩,楚雄盆地的上三叠统页岩等,特别是随着南华弧后盆地的逐渐打开在滇黔桂地区形成的中、上泥盆统页岩^{[16][9]1-3}。如桂中坳陷中泥盆统罗富组黑色泥页岩分布面积广泛,累计厚度为 170 ~ 639 m; TOC 平均为 3.14%,干酪根类型为混合型 and 腐殖型; R_o 为 1.53% ~ 2.03%^[17]。1959 年在桂中坳陷宜山南侧的岩口背斜上钻探的岩 2 井,于

井深 612.85 m 的中泥盆统东岗岭组页岩中发生井涌 41 min, 气体含甲烷 10.45%^[18], 证实了该区确实存在页岩气。

2.2 华北—东北地区

在华北—东北地区, 发育了众多的含油气盆地, 其中泥页岩地层广泛发育, 并已被勘探实践证明绝大部分为优质烃源岩, 如渤海湾盆地古近系沙河街组泥页岩、鄂尔多斯盆地上三叠统延长组页岩和松辽盆地上白垩统黑色泥页岩等。

(1) 渤海湾盆地古近系沙河街组泥页岩。渤海湾盆地是中国东部主要的含油气盆地之一, 在盆地南部已发现了胜利油气富集区(济阳拗陷), 西部发现了大港油气富集区(黄骅拗陷), 东北部发现了辽河油气富集区(下辽河拗陷), 各油气富集区的烃源岩主要以古近系沙河街组暗色泥岩为主^[19], 页岩层主要赋存于古近系沙河街组沙四上亚段、沙三下亚段和沙一段^[20-23]。

济阳拗陷沙四上亚段烃源岩主要分布在东营凹陷, 页岩厚度为 40~120 m; 沙三下亚段烃源岩分布于整个济阳拗陷, 页岩厚度为 150~200 m; 沙一段烃源岩纵向上主要分布在沙一段下部, 平面上该套烃源岩主要发育于沾化凹陷的孤南洼陷、渤南洼陷和埕北凹陷, 页岩厚度为 50~120 m。沙四上亚段 TOC 主要分布在 1.5%~10.0% 之间, 最高可达 18.6%; 沙三下亚段 TOC 为 1.0%~9.0%, 最高为 10.5%; 沙一段 TOC 频率主峰为 2.0%~5.0%, 最高可达 11.6%; 3 套页岩有机质类型较好, 主要为腐泥型—偏腐泥混合型, 干酪根显微组分中以腐泥组为主; 沙三下亚段和沙四上亚段页岩 R_o 在 0.5%~1.9% 之间, 主体处于成熟演化阶段, 部分进入高成熟演化阶段, 沙一段 R_o 在 0.3%~0.7% 之间, 主要处于未熟—低成熟阶段。目前在济阳拗陷不同地区许多探井的沙一段、沙三下亚段、沙四上亚段 3 套页岩发育段的气测显示均表现为高异常, 预示着页岩气的存在。这在整个渤海湾盆地具有可比性, 是值得关注的天然气勘探新领域^[21]。

(2) 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组泥页岩。鄂尔多斯盆地中生界三叠系延长组的暗色泥页岩, 主要分布于盆地南部, 有效烃源岩面积为 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上, 厚度为 300~600 m。主要生油层为

长 4+5 段—长 9 段, 其中长 7、长 9 段是中生界重要的烃源岩建造。长 7 段发育于晚三叠世最大湖泛期, 为盆地中生界主要的烃源岩, 分布范围可达 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 厚度一般为 10~50 m, 最大可达 80 m 以上; TOC 为 2.45%~5.28%, 氯仿沥青“A”含量为 0.25%~0.67%, 总烃含量为 1 847~5 218 mg/kg, 属优质烃源岩; 干酪根类型为偏腐泥混合型, 在盆地内大部分地区处于成熟阶段, 局部地区向高成熟阶段过渡, 吴旗—庆阳—富县一带已进入成熟阶段晚期, $R_o > 1.0\%$ ^[24-25]。在钻井过程中, 延长组泥页岩段常出现气测异常, 电阻率曲线表现为高值, 显示出该泥页岩段巨大的页岩气资源潜力。

(3) 松辽盆地上白垩统页岩。松辽盆地白垩纪在 2 期海侵事件的影响下发育了青山口组一段和嫩江组一、二段 2 套分布广泛、富含有机质、巨厚的烃源岩。青一段烃源岩主要分布于齐家—古龙凹陷、长岭凹陷和三肇凹陷等地区, 分布面积大于 $80\,000 \text{ km}^2$, 油页岩厚度为 4~14 m, 有机质含量极为丰富, TOC 平均值为 4.75%, 有机质类型以 I 型和 II 型为主, R_o 为 0.5%~1.2%, 处于未熟—成熟阶段^[26]。嫩一段烃源岩主要分布齐家—古龙凹陷、大庆长垣、三肇凹陷和黑鱼泡凹陷, 面积大于 $200\,000 \text{ km}^2$, 油页岩厚度一般为 2~11 m, TOC 介于 0.5%~5.0% 之间, 均值为 2.4%, 有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主, R_o 为 0.5%~1.05%, 主要处于成熟生油阶段^[27]。

2.3 西北地区

西北地区分布着塔里木、准噶尔、柴达木 3 个大型含油气盆地和吐哈、酒泉 2 个中小型含油气盆地。区内多个盆地发育巨厚页岩, 如准噶尔盆地二叠系页岩、塔里木盆地寒武系页岩、柴达木盆地中侏罗统大煤沟组 7 段页岩等^[28-29]。

(1) 准噶尔盆地二叠系页岩。据研究, 准噶尔盆地发育下石炭统、上二叠统、中下侏罗统和古近系等多套有效烃源岩^[30]。其中二叠系为盆地最重要烃源岩层系, 也是具备形成页岩气的主要层系, 主要发育在南缘东部博格达山前和东北缘克拉美丽山前^[31]。

南缘博格达山前发育二叠系芦草沟组、红雁池组页岩地层。其中芦草沟组分布在乌鲁木齐—阜康地区, 面积为 $3\,525 \text{ km}^2$, 厚度为 700~1 100 m。

岩性分为3段:下段为砂质泥岩、砂岩夹页岩;中段为黑色、灰黑色泥岩、砂泥岩夹页岩油,多处含沥青和稠油;上段以灰黑色页岩、页岩油为主夹沥青质页岩。有机质极为丰富, TOC 为4.85%~10.02%,氯仿沥青“A”含量为0.394 9%~0.484 5%,总烃为649~1 433 mg/kg,生烃潜量($S_1 + S_2$)为28~46.26 mg/g,有机质类型为偏腐泥混合型,有机质演化程度差异大,三台凸起及其以东地区 R_o 为0.6%~2.0%,处于成熟—高成熟演化阶段,阜康凹陷处于过成熟演化阶段。红雁池组为湖相沉积,以乌鲁木齐妖魔山地区最发育,面积与芦草沟组相当,厚度147~735 m。底部岩性为灰绿、灰黑色砂岩、泥页岩为主;中部为黑色泥岩、页岩;上部以灰绿色泥岩、砂砾岩为主。 TOC 为1.96%,氯仿沥青“A”含量为0.136 9%,总烃为537 mg/kg,生烃潜量($S_1 + S_2$)为2.6 mg/g,有机质类型为偏腐泥混合型,处于低成熟—成熟阶段。

东北部克拉美丽山前二叠系平地泉组面积为3 243 km²,烃源岩厚度约为300 m。下部岩性为灰绿色泥岩和砂岩互层;中部为灰黑色泥岩、页岩、砂质泥岩和薄层泥灰岩。 TOC 为1.42%~4.1%,氯仿沥青“A”含量为0.048 4%~0.059 9%,总烃为233~501 mg/kg,生烃潜量($S_1 + S_2$)为0.58~16.28 mg/g,有机质类型为混合型, R_o 为0.8%~1.0%,处于低成熟—成熟阶段。

(2) 塔里木盆地寒武系页岩。塔里木盆地现已发现了寒武系一下奥陶统、中—上奥陶统烃源岩、石炭—二叠系烃源岩和三叠—侏罗系烃源岩4套烃源岩^{[32-33][28]263-266},其中寒武系烃源岩是最主要的烃源岩之一,也是发育泥页岩厚度最大的烃源岩。

塔里木盆地泥页岩主要分布在塔里木盆地的东部,厚度在120~415 m,平均为260 m,岩性为灰黑—黑色页岩及薄层状具水平纹理的富生物泥岩,有机质丰度较高, TOC 平均值为1.87%,最高值为5.89%,氯仿沥青“A”最大值为0.055 2%,平均值为0.031 7%,总烃含量平均值为25.7 mg/kg,生烃潜量($S_1 + S_2$)最大值为0.93 mg/g,平均值为0.15 mg/g,干酪根类型为I型, R_o 值为1.8%~3.6%,处于高成熟—过成熟阶段。

(3) 柴达木盆地北缘中侏罗统大煤沟组7段页岩。大煤沟组7段页岩形成于柴北缘侏罗系最

大湖侵入期^[34],是侏罗系最好的烃源岩,分布较稳定,从凹陷中心向四周减薄,厚度为50~200 m,在鱼卡凹陷内部最厚可达200 m;有机质丰度高, TOC 平均为11%,氯仿沥青“A”为0.197%,生烃潜量($S_1 + S_2$)为2.60~40.11 mg/g,总烃含量最高可达881.87 mg/kg;母质类型为混合型,大煤沟组7段页岩在柴北缘地区不同构造单元表现出差异热演化的特征,在赛什腾、尕斯库勒和红山凹陷内部均已经历过生烃高峰期,基本处于高熟阶段,而在鱼卡地区,目前还处于生油阶段,且尚未达到生油高峰^{[29]710-711}。

2.4 青藏地区

青藏高原处于“特提斯”油气聚集带中段,具有良好的油气生成条件,是中国陆上面积最大的一个含油气区^{[35]1-42}。该区域共发育有18个中生代含油气盆地,其中羌塘盆地是油气资源量最为丰富,也是勘察和研究程度最高的盆地^[36-37]。通过对盆缘大量露头的烃源岩分析表明,羌塘盆地至少发育4套主力烃源岩(上三叠统肖查卡组、中侏罗统布曲组、夏里组 and 上侏罗统索瓦组)和3套非主力烃源岩(下侏罗统曲色组、中侏罗统雀莫错组和上侏罗统雪山组),富有机质泥页岩主要分布于肖查卡组和夏里组,其次在曲色组、雀莫错组、布曲组和雪山组也有局部分布^{[38-39][35]214-357},而且肖查卡组和夏里组泥页岩热成熟度普遍较高,具有较大的页岩气勘探潜力。

(1) 肖查卡组泥页岩。主要分布于北羌塘凹陷中东部,厚度一般为100~200 m,在沃若山剖面厚度最大可达380 m, TOC 平均大于1.5%,干酪根为偏腐泥型, R_o 主要介于1.3%~3.2%之间,处于高成熟—过成熟干气阶段(部分过成熟阶段)。

(2) 夏里组泥页岩。主要分布于北羌塘凹陷中西部和南羌塘凹陷中部,厚度一般为50~200 m,在北羌塘凹陷山谿湖剖面和南羌塘凹陷比洛剖面泥页岩厚度最大分别可达713 m和192 m,在北羌塘凹陷 TOC 平均为1%,在南羌塘凹陷平均达4.15%,氯仿沥青“A”大于0.25%,生烃潜量($S_1 + S_2$)平均在10 mg/g以上,干酪根为偏腐泥型, R_o 主要介于0.9%~2.0%之间,处于成熟—高成熟阶段。

3 中国页岩气有利勘探区域分析

通过对美国页岩气藏特征的系统分析发现,控制页岩气成藏的因素可以分为内部因素和外部因素:内部因素是指页岩本身的因素,主要包括有机质类型及含量、成熟度、裂缝、孔隙度和渗透率、矿物组成、厚度、湿度等;对于具体的页岩气藏来说,外部影响因素主要包括深度、温度与压力等。其中内部因素中的有机质类型和含量、成熟度、裂缝以及孔隙度和渗透率是控制页岩气成藏的主要因素^[40]。具体而言是页岩的有机碳含量大于2%,成熟度 R_o 为1.1%~3%(热成因气)或0.4%~0.8%(生物成因气),页岩厚度一般大于30 m且分布广泛,埋深一般小于3 000 m, SiO_2 含量一般大于30%^[41-44]。

根据以上标准,中国华北-东北地区的松辽盆地青一段和嫩一段页岩厚度较薄,成熟度较低,具有一定的生物成因页岩气勘探潜力;渤海湾盆地由于沙四上亚段和沙三下亚段页岩普遍埋藏较深且页岩富含黏土,不利于后期的压裂改造增产,经济价值不显著,而沙一段页岩由于机质丰度较高、成熟度较低,具有一定的生物成因页岩气勘探潜力;相比上述2个盆地的页岩而言,鄂尔多斯盆地及其周缘地区是华北-东北地区最好的页岩气勘探领域。南方、西北和青藏地区均发育有多套有机质丰度高、热演化程度高、厚度大、分布广的页岩,并且这3个区域均经历复杂的构造运动,后期抬升作用强烈,许多地区页岩埋藏较浅,具有较好的页岩气成藏的地质条件。但考虑到青藏高原自然环境恶劣、生态系统脆弱、交通、通讯等基础设施差、油气勘探程度较低、开发成本高,因此该区域可作为中国页岩气资源的远景区域,而不宜立即开展页岩气的勘探工作。而在南方和西北2个地区中,应该优先勘探南方地区的页岩气资源。首先,南方地区的页岩气成藏的基础地质条件优于西北地区,许多地区均已经发现了页岩气存在;其次,鉴于中国目前能源产区主要集中在北方地区,而在人口稠密、经济发达的南方地区主要靠外区运入来满足其能源需求,成本较高,因此,若能在南方率先实现页岩气勘探的突破,既能获得较好的经济效益,又能促进南方地区经济快速稳定发展。

4 结论与认识

(1) 非常规天然气资源已经在全球能源结构中扮演着重要的角色,产业化前景广阔。在非常规天然气中,页岩气的发展具有明显的现实性。随着各国政府对页岩气资源的日益关注,将会有更多的页岩气被开采出来。

(2) 中国具有生成页岩气资源的良好物质基础,在南方、西北(包括鄂尔多斯盆地及其周缘)、华北-东北及青藏4个地区中均发育有多套优质页岩,其中南方、西北和青藏地区是有利的页岩气勘探区域。

(3) 综合成藏要素、经济价值和生态环境等因素分析后认为,中国南方应作为实现中国页岩气勘探突破的首选地区。

参考文献:

- [1] Curtis J B. Fractured shale - gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921 - 1938.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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 - 159.
- [5] 江怀友, 宋新民, 安晓璇, 等. 世界页岩气资源与勘探开发技术综述[J]. 天然气技术, 2008, 2(6): 26 - 30.
- [6] 江怀友, 宋新民, 安晓璇, 等. 世界页岩气资源勘探开发现状与展望[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(6): 10 - 14.
- [7] Susan R E. Shale play extends to Canada[J]. AAPG Explorer, 2010, 31(1): 10 - 12.
- [8] 张金川, 徐波, 聂海宽, 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.
- [9] 王根海. 中国南方海相地层油气勘探现状及建议[J]. 石油学报, 2000, 21(5): 1 - 6.
- [10] 马立桥, 董庸, 屠小龙, 等. 中国南方海相油气勘探前景[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 1 - 7.
- [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: 3 - 19.
- [12] 肖开华, 沃玉进, 周雁, 等. 中国南方海相层系油气成藏特点与勘探方向[J]. 石油与天然气勘探, 2006, 27(3): 216 - 324.
- [13] 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,2009,14(3):1-5.
- [14] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干进展(一):南方四套区域性海相烃源岩的分布[J]. 海相油气地质,2008,13(3):1-16.
- [15] 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.
- [16] 韦宝东. 桂中坳陷泥盆系烃源岩特征[J]. 南方油气,2004,17(2):19-21.
- [17] 林良彪,陈洪德,陈子料,等. 桂中坳陷中泥盆统烃源岩特征[J]. 天然气工业,2009,29(3):45-47.
- [18] 《中国石油地质志》编辑委员会. 中国石油地质志(卷十一):滇黔桂油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1992:15-25.
- [19] 胡见义,徐树宝,童晓光. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布[J]. 石油勘探与开发,1986,13(1):1-8.
- [20] 郑红菊,董月霞,朱光有,等. 南堡凹陷优质烃源岩的新发现[J]. 石油勘探与开发,2007,34(4):385-391.
- [21] 张林晔,李政,朱日房,等. 济阳坳陷古近系存在页岩气资源的可能性[J]. 天然气工业,2008,28(12):26-29.
- [22] 王建,马顺平,罗强,等. 渤海湾盆地饶阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力分析[J]. 石油学报,2009,30(1):51-55.
- [23] 谷团. 辽河盆地深层油气成藏条件及勘探前景[J]. 天然气地球科学,2008,19(5):597-603.
- [24] 杨华,张文正. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用:地质地球化学特征[J]. 地球化学,2005,34(2):147-154.
- [25] 徐士林,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):460-465.
- [26] 马中振,庞雄奇,付秀丽,等. 松辽盆地北部嫩江组一段源岩排烃特征及潜力评价[J]. 石油天然气学报,2008,30(3):24-28.
- [27] 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1997:104-137.
- [28] 杨威,魏国齐,王清华,等. 塔里木盆地寒武系两类优质烃源岩及其形成的含油气系统[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):263-267.
- [29] 刘云田,杨少勇,胡凯,等. 柴达木盆地北缘中侏罗统大煤沟组七段烃源岩有机地球化学特征及生烃潜力[J]. 高校地质学报,2007,13(4):703-712.
- [30] 康玉柱. 准噶尔盆地天山山前油气前景展望[J]. 新疆地质,2001,21(2):163-166.
- [31] 周松柏,刘光祥. 准噶尔盆地东南部油气地质条件研究[J]. 石油实验地质,2006,28(3):231-235.
- [32] 贾承造. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J]. 新疆石油地质,1999,20(3):177-183.
- [33] 王冰,马慧明,刘军瑛,等. 塔里木盆地沙雅隆起雅克拉地区三叠系烃源岩特征[J]. 特种油气藏,2009,16(2):43-49.
- [34] 杨永泰,张宝民,李伟,等. 柴达木盆地北缘侏罗系层序地层与沉积相研究[J]. 地学前缘,2000,7(3):146-151.
- [35] 赵政璋,秦建中,许怀先,等. 青藏高原海相烃源层的油气生成[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [36] 付孝悦. 青藏特提斯板块构造与含油气盆地[J]. 石油实验地质,2004,26(6):507-516.
- [37] 谭富文,王剑,王小龙,等. 西藏羌塘盆地-中国油气资源战略选区的首选目标[J]. 沉积与特提斯地质,2002,22(1):16-20.
- [38] 伍新和,王成善,伊海生,等. 西藏羌塘盆地中生界烃源岩探讨[J]. 西北地质,2005,38(4):78-84.
- [39] 秦建中. 青藏高原羌塘盆地中生界主要烃源层分布特征[J]. 石油实验地质,2006,28(2):134-141.
- [40] 聂海宽,唐玄,瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报,2009,30(4):484-491.
- [41] Ronald J H, ETUAN Z, Barry J K, et al. Modeling of gas generation from the Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin,2007,91(4):501-521.
- [42] Martini A M, Lynn M W, Jennifer C M. Identification of microbial and thermogenic gas components from Upper Devonian black shale cores, Illinois and Michigan Basin[J]. AAPG,2008,92(3):327-339.
- [43] Bowker K A. Recent development of the Barnett Shale play, Fort Worth basin[J]. West Texas Geological Society Bulletin,2003,42(6):1-11.
- [44] Bowker K A. Barnett shale gas production Fort Worth basin: Issues and discussion[J]. AAPG Bulletin,2007,55(1):523-533.