

全球页岩气发展启示与中国未来发展前景展望

董大忠¹, 王玉满¹, 李登华¹, 杨桦¹, 李新景¹, 王淑芳²

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 北京大学, 北京 100871)

[摘要] 中国页岩气勘探开发已开展了大量露头地质调研、前期研究与勘探开发先导试验等工作, 尤其是在中国南海相页岩气区, 完钻了页岩气井 40 余口, 获气 10 余口, 多口井经压裂初期日产量超过了 1 万 m³。实践表明, 中国页岩气资源发展前景较好, 但也具有明显的特殊性, 许多地质与开发难题亟待解决, 随着页岩气勘探开发理论与关键技术的突破、经济条件的改善和国家政策的支持, 未来中国页岩气资源发展前景广阔。

[关键词] 页岩气; 资源前景; 勘探实践; 发展前景

[中图分类号] TE132.1⁺1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)06-0069-08

1 全球页岩气发展形势与启示

页岩气是以产自富有机质页岩为主(包括富有机质页岩、高碳页岩及粉砂质页岩、粉—细砂岩或砂岩夹层)的储集岩系中的天然气^[1]。全球页岩气资源丰富, 美国能源信息署(EIA, 2011)^[2,3]预测全球页岩气技术可采资源量为 187.5 万亿 m³。全球掀起了一场“页岩气革命”, 预计到 2020 年全球页岩气年产量可达 3 068 亿 m³。

1.1 全球页岩气发展形势

美国是全球页岩气勘探开发最早最成功的国家。1821 年美国在其东部纽约州的 Appalachian 盆地钻探了第一口页岩气井, 在泥盆系 Dunkirk 页岩中获得页岩气^[4~6]。近 10 年来, 页岩气地质理论与勘探开发技术的重大突破与规模推广应用, 促使美国及整个北美地区页岩气储量、产量快速攀升, 改变了美国天然气供应来源, 影响了全球能源供给格局。目前, 北美规模开发了 9 个页岩气区带^[2,3,7~9]: Ant-rim、Barnett、Eagle Ford、Fayetteville、Haynesville、

Horn River、Marcellus、Montney 和 Woodford (见表 1)。产层时代包括中上泥盆统、密西西比系(石炭系)、三叠系、侏罗系和白垩系, 开发深度 152 ~ 4 200 m(生物成因页岩气 150 ~ 670 m, 热成因页岩气 900 ~ 4 200 m), 有效页岩厚度 6 ~ 180 m, (以 30 ~ 90 m 为主), 热成熟度(R_o)为 1.0 % ~ 4.0 %, 总有机碳(TOC)含量为 0.45 % ~ 25.0 %, 孔隙度为 2.0 % ~ 14.0 %, 含气量为 0.4 ~ 9.9 m³/t。2011 年美国页岩气年产量约 1 720 亿 m³^[8], 为美国天然气总产量的 34 %, 加拿大页岩气年产量约 190 亿 m³^[8], 为加拿大天然气总产量的 10 %。在北美页岩气发展形势的影响下, 全球各地区纷纷开展了页岩气的勘探开发^[10]。

2009 年欧洲的德国、法国、英国、波兰、奥地利、瑞典都启动了页岩气勘探开发计划, 40 余家跨国公司在欧洲从事页岩气开发工作。英国 2011 年宣布在英格兰西北部发现了页岩气田, 预测页岩气储量约 5.7 万亿 m³。

[收稿日期] 2012-04-06

[基金项目] 中国工程院重大咨询研究项目“我国非常规天然气开发利用战略研究”(2011-ZD-19-2); 国家大型气田与煤层气开发项目(2011ZX05018-001)

[作者简介] 董大忠(1962—), 男, 四川苍溪县人, 教授级高级工程师, 主要从事非常规油气形成、分布基础理论与核心技术研究;
E-mail: ddz@petrochina.com.cn

表1 北美已开发含气页岩特征对比表

Table 1 Characteristic contrast of Bearing – gas shale developed in North America

页岩层系	Barnett	Marcellus	Fayetteville	Haynesville	Woodford	Eagle Ford	Antrim	Montney	Horn River
时代	密西西比	中泥盆	密西西比	上侏罗	上泥盆	白垩系	上泥盆	下三叠统	中—上泥盆统
页岩气面积/km ²	13 000	240 000	23 000	23 000	28 500	2 823	31 000	141 645	20 979
深度/m	1 980 ~ 2 590	1 220 ~ 2 590	305 ~ 2 134	3 200 ~ 4 200	1 829 ~ 3 353	1 220 ~ 4 270	183 ~ 671	900 ~ 2 740	1 920 ~ 3 109
净厚度/m	30 ~ 183	15 ~ 61	6 ~ 61	61 ~ 91	37 ~ 67	61	21 ~ 37	73 ~ 122	116 ~ 128
TOC/%	4.5	3 ~ 12	4.0 ~ 9.8	0.5 ~ 4.0	1 ~ 14	4.25	1 ~ 20	3	3.5 ~ 5
总孔隙度/%	4 ~ 5	10	2 ~ 8	8 ~ 9	3 ~ 9	9	9	2 ~ 9	2.0 ~ 4.3
R ₀ /%	1.0 ~ 2.1	1.5 ~ 3.0	1 ~ 4	0.4 ~ 0.6	1.1 ~ 3.0	0.5 ~ 2.0	0.4 ~ 0.6	1.5	3.8
含气量/(m ³ · t ⁻¹)	8.5 ~ 9.9	1.7 ~ 2.8	1.7 ~ 6.2	2.8 ~ 9.3	5.6 ~ 8.5		1.1 ~ 2.8	1.1 ~ 3.2	1.4 ~ 4.3
井控面积/万 m ²	24.28 ~ 64.75	16.19 ~ 64.75	32.37 ~ 64.75	16.19 ~ 226.62	259	32.38 ~ 64.75	16.19 ~ 64.75	32.37	32.4 ~ 129.5
地质储量/亿 m ³	92 606.4	424 800	14 726.4	203 054.4	14 726.4	23 600	21 523.2	39 927	107 038
技术可采储量/亿 m ³	12 460.8	74 340 000	11 781.12	71 083.2	3 228.48	5 900	5 664	13 875	37 378
预测产量/(m ³ · (d · 井) ⁻¹)	9 572.16	87 792	15 009.6	17 700 ~ 50 976	11 752.8	26 000	3 540 ~ 5 664	74 077	2 832 ~ 5 664
2011年产量	497	285.2	223.4	518	124.7	29.7	38.1	20.3	15

中国、印度、澳大利亚和新西兰在页岩气勘探开发上均取得了不错的成果。中国 2008 年钻探了第一口页岩气地质浅井,2009 年钻探了第一口页岩气勘探评价井,2010 年在四川盆地古生界海相页岩中取得突破,成为北美以外地区率先实现页岩气突破的国家。印度初步评价 7 个盆地存在页岩气资源(斯伦贝谢,2010),2011 年在西孟加拉邦东部杜尔加布尔的第一口页岩气井在 1 700 m 深处的 Barren Measure 页岩中获得发现。澳大利亚在 Cooper、Perth、Amadeus、Georgina 和 Canning 等盆地评价了页岩气前景,在 Perth、Cooper、Canning 盆地取得了进展。

2011 年南美洲的阿根廷在 Neuquen 地区发现了页岩气,哥伦比亚在其东部地区开展了页岩气勘探。

南非在 Karoo 盆地开展了大量页岩气前期评

价,Shell 已在该地区进行页岩气开发。

1.2 北美页岩气发展的主要影响因素

1.2.1 优惠政策的扶持

页岩气开发具有高投入、高风险、回收期长等特点,从发展角度看,特别需要一个协调一致的政策环境。美国 1980 年颁布了《能源意外获利法》,其中第 29 条对非常规能源开发给予税收补贴政策。这一政策的提出对煤层气、页岩气、水溶气等的开采直接进行财政补贴。最初每桶油当量产量补贴 3 美元,相当于每立方米天然气补贴 1.81 美分。随后根据经济形势变化和通货膨胀情况,不断调整补贴标准,最高补贴曾达到了相当于每立方米天然气补贴 4.95 美分。同时,美国还将传统油气上游开发的税收优惠政策移植到了页岩气开发领域,包括无形勘探费用扣除、有形勘探费用扣除、租赁费用扣除、工作权益为主动收入、小生产商耗竭补贴等。这些税

收优惠政策激发了小公司投资页岩气勘探开发的热情,极大地促进了页岩气的发展。美国政府还提供大量资金鼓励开展非常规天然气研究,包括拨款、贷款和贷款担保、培训资助、科研资助和勘探直接投入等,如2004年美国能源法案规定10年内每年投资4 500万美元用于非常规气研究。

在美国政府有利的政策支持下,大大降低了页岩气的勘探开发成本,为页岩气的快速发展提供了强劲的动力。

1.2.2 关键勘探开发技术的进步

页岩为低渗、低产储层,必须使用非常规技术进行开发。如果说资源基础雄厚是商业开采的前提条件,大量的研发投入和技术不断进步就是美国页岩气快速发展的必要条件^[4,6,9,10]。20世纪80年代到90年代初期,美国天然气研究所(GRI)和美国能源部(DOE)资助了大量的油气研发项目。依靠这些研发成果,90年代中期北美非常规天然气初步实现了商业化生产。目前美国非常规天然气的勘探开发仍在享受20世纪八九十年代的研发硕果,如美国在

页岩气勘探开发方面形成的以水平井、分段压裂、微地震裂缝监测为代表的特色技术(见图1),不断实现了页岩气的高效、低成本开发,将以往不能经济开采的非常规天然气资源转化为今日天然气供应的重要来源。技术的进步不断降低开发成本,以钻、完井为例,早期以垂直井为主,每个井场只能打1口井。2002年以后,水平井技术逐渐成熟,丛式井钻井技术也实现突破,每个井场能钻2口以上的井,目前每个井场钻井一般达16~32口。钻井周期从早期的60 d降至目前的7~10 d,最长不过25 d,钻井成本降低了近30%。在完井方面,采用“压裂工厂”作业模式,在同一井场对多口井同时进行钻井、射孔、压裂、完井和生产作业,完井周期从原来的每口井60 d降至目前的20 d完成5口井,完井成本降低了近60%。技术进步较大幅度提高了页岩气单井产量,2009年美国主要页岩气田通过压裂级数的增加,单井初始产量均有增加,Marcellus页岩气田的初始产量增加幅度高达30%。

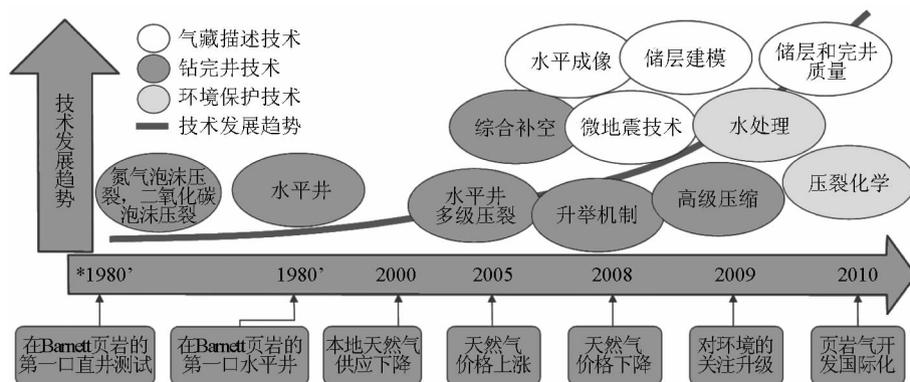


图1 北美页岩气开采关键技术发展路径图

Fig.1 Key technology development path of shale gas extract in North America

1.2.3 发达的管网设施与第三方准入条款

美国已经形成的覆盖全国、连接主要气区和终端用户的天然气供应网络,为非常规天然气的开发创造了良好条件^[2]。美国目前有210多个天然气管道系统,州际和州内管道总长度达到49万 km以上,配气管道300万 km。除此之外,还有1 400多个天然气压缩站、400个天然气地下储集设施及11 000多个交收点、5 000个接收点和24个交汇点或市场中心。1992年美国联邦能源管理委员会还颁布了专门的法令(第636号),规定从1993年11月起州际天然气管道公司只能开展天然气输送业务,而不能再从事天然气生产和销售业务,从此实现

了天然气运输的完全独立。政府按照不同的政策监管天然气生产和销售公司及管道运输公司,保证了天然气生产商和用户对管道拥有无歧视准入权利。州内管道由州与地方法律约束,州际管道则受联邦能源管理委员会、州、地方法律同时约束。管道运营商对天然气供应商实施无歧视准入,接受联邦能源管理委员会的监管。天然气管道输送价格受到美国页岩气相关政策监管,州际天然气管道公司的运费计算方法由联邦能源管理委员会确定,而天然气价格则完全放开。完善的天然气管网和无歧视准入政策为小公司从事页岩气开发创造了极为有利的条件。

1.3 北美页岩气发展启示

美国页岩气的成功开发已使昔日的天然气进口国基本上实现了自给自足,将来甚至有可能成为天然气出口国。虽然中美两国地质条件存在差异,但美国的成功经验对中国页岩气发展仍具有重要启示。

1.3.1 页岩气的规模开发需要经历一定时间准备

美国页岩气开发已有上百年历史,前期发展并非很成功,在政府各种优惠政策支持下,中小油气/能源公司的长期深入研究和技术研发,最终在水平

井钻完井技术和水力压裂技术实现突破后,才促进了页岩气开发的迅猛发展^[10]。典型的是 Barnett 页岩气田从 1981 年发现,经过 22 年产量才达到 100 亿 m³。整个发展过程分为 5 个阶段^[4]:点上发现、面上评价、落实资源、确定核心区和扩大开发面积,开采范围由最初的 60 km² 扩大到目前的 1.07 万 km² (见图 2)。漫长的发展过程表明页岩气的发展不可能一蹴而就,需要一定时间探索。

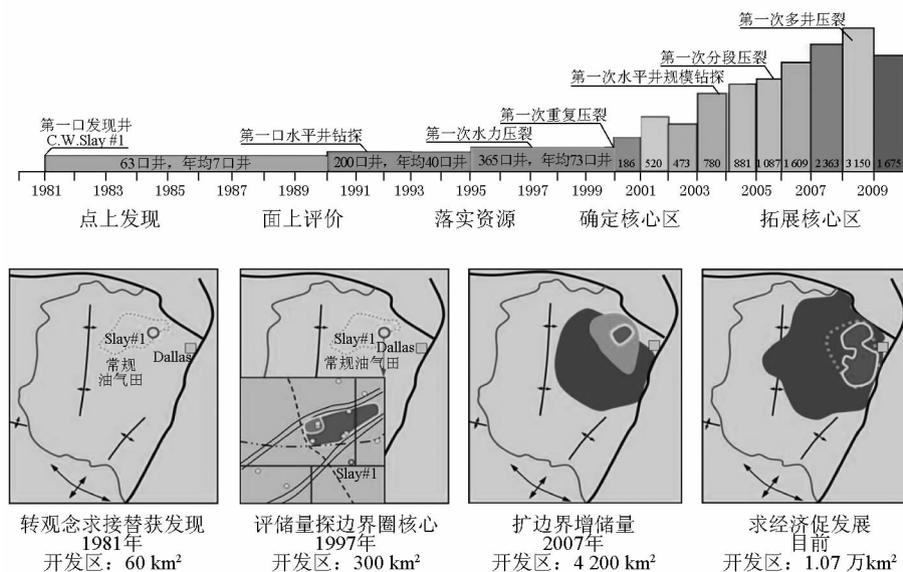


图 2 美国 Barnett 页岩气区带发展历程简图

Fig. 2 Schematic of Barnett shale gas zone development history in America

1.3.2 页岩气开采必须掌握核心技术

美国依靠持续技术突破实现了页岩气规模化开采,并开始向外输出技术,以图用技术控制资源。中国页岩气开采刚起步,需要抓住机遇在引进国外技术的同时,立足自主研发,尽快形成适合中国地质条件的针对性较强的勘探开发关键技术与重大装备。

1.3.3 政府扶持优惠政策要创新

政府不仅需要加大前期评价与技术研发力度,同时在发展初期就要提供必要的财政支持,使页岩气开发一开始就有利可图。待页岩气进入规模化开采阶段后,再逐渐减少或取消特殊优惠,既可减轻政府负担,又可刺激技术创新。用资源税、增值税、所得税等税收减免而不是直接补贴方式,将更有利于鼓励开发商进行设备投资和降低成本。

1.3.4 严格环境监管是持续发展的保障

开发主体多、开发速度快,并不一定会带来开采混乱,关键是要在开采前制定并执行严格的监管制度。环境问题应作为页岩气监管重点。应跟踪了解美国页岩气环境监管上的新发展,结合我国特点,及时制定有关法规和管理办法,确保监管先行到位,开发可控。

2 中国页岩气勘探现状

2005 年以来,中国开始了规模性的页岩气前期地质评价与勘探开发先导试验,借鉴北美经验,依靠理论创新,强化技术进步,边研究边发展,有序推进^[11~16]。迄今为止,借鉴北美经验,中国已在富有机质页岩地质特征、页岩气成藏地质条件、有利页岩气远景区带等方面的认识上取得重要进展,在页岩

气勘探开发先导试验中于四川盆地古生界海相页岩、鄂尔多斯盆地三叠系湖相页岩等多个地区取得重要突破。

2.1 中国页岩气勘探发展历程

与北美相比,中国页岩气勘探起步较晚,与全球其他地区相比,中国页岩气勘探处于领先,为北美以外地区率先实现页岩气突破和工业化先性试验的国家。中国油气勘探对页岩气并不陌生。1994—1998年间中国已针对页岩裂缝油气藏做过大量工作,此后许多学者在不同地区也涉及过页岩气的研究。中国页岩气勘探开发已经历了页岩裂缝性油气藏勘探、基础地质条件研究与技术储备、工业性突破与开发先导性试验等历程(见图3)^[10,11]。

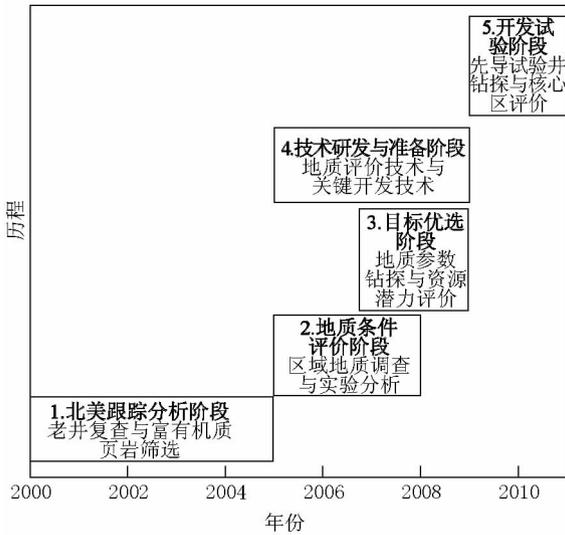


图3 中国页岩气勘探发展历程图

Fig. 3 Historical map of shale gas exploration and development in China

2.2 中国页岩气勘探开发进展

中国近年来的页岩气发展热潮始于2005年。2005年以来,中国石油、中国石化、国土资源部油气研究中心、中国地质大学等单位借鉴北美成功经验,相继以老井复查、区域地质调查为基础,开展了中国页岩气形成条件和资源潜力评价,在页岩气远景区进行了地质浅井、参数井和地震勘探,获取了页岩气关键评价参数,优选了有利页岩气区带,钻探了一批页岩气评价井和页岩气开发先导试验井,建立了四川威远—长宁等国家级页岩气开发示范区。

中国政府高度重视中国页岩气发展。2009年中国与美国签署了《中美关于在页岩气领域开展合作的谅解备忘录》,国土资源部设立了“全国页岩气

资源潜力调查评价及有利区优选”重大专项;2010年中国与美国签署了《美国国务院和中国国家能源局关于中美页岩气资源工作行动计划》,成立了国家能源页岩气研发(实验)中心;2011年国家科技部在国家油气重大专项中设立了《页岩气勘探开发关键技术》项目,国家发改委等多部委联合编制了中国页岩气“十二五”勘探开发规划。

迄今为止,中国已在陆上广泛开展了页岩气前期地质综合评价和勘探开发先导性试验,初步明确了中国南方古生界海相页岩为中国页岩气勘探开发最有利领域。据不完全统计(见图4),中国已在四川、鄂尔多斯、渤海湾、沁水、泌阳等盆地,云南昭通、贵州大方、湖北建南、湖南涟源、贵州铜仁等地区开展了页岩气钻探与水力压裂试气,完钻页岩气井40余口(水平井6),水力压裂试气井14口(水平井4口),获工业气(油)流井11口(水平井3口),每天初产过万立方米气井7口。在四川盆地、云南昭通、湖南涟源等地区实现了古生界海相页岩气突破,在四川、鄂尔多斯等盆地实现了陆相页岩气突破,在泌阳、渤海湾盆地等地区还发现了陆相页岩油。

3 中国页岩气发展前景展望

许多学者与机构认为中国页岩气资源丰富(见表2),地质资源量86万亿~166万亿 m^3 ,技术可采资源量10万亿~36.1万亿 m^3 ^[11~16]。一批页岩气先导试验井的相继钻探与突破,初步展示了中国页岩气良好的发展前景。

表2 中国陆上页岩气资源量预测统计表

Table 2 Statistics of shale gas forecast resources in China

预测单位	预测时间/年	地质资源 / 万亿 m^3	技术可采资源 / 万亿 m^3
中国石油勘探开发研究院	2009—2012	86 ~ 166	10 ~ 15
国土资源部	2012	134.4	25.1
中国地质大学(北京)	2011	—	15 ~ 30
美国能源信息署(EIA)	2011	144.4	36.1

页岩气为典型的非常规天然气,中国页岩气勘探开发虽已在先导性试验井取得突破,但仍为起步阶段,发展基础与北美相比差别较大。未来需要5~10年深化地质认识与技术攻关,加强基础地质研究、有利区与核心区评价、先导试验区建设。海相页岩气现实性较好,重在深化富集条件与开发潜力研究,落实经济可采资源,优选开发目标区;加强关键

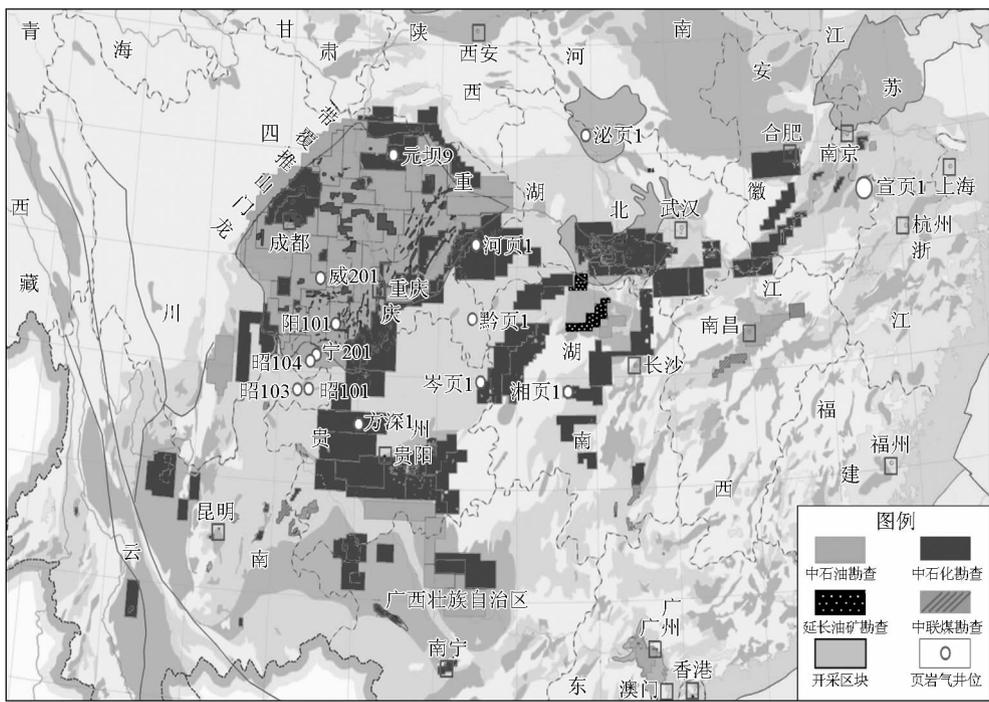


图 4 中国南方古生界海相页岩气重点钻井分布图

Fig. 4 Well - drilled distribution in Marine shale gas of the South China

技术攻关,形成针对性强的勘探开发关键技术,推动先导试验区建设,形成一定规模页岩气产量。海陆过渡相、煤系及湖相页岩气以基本地质条件落实为重点,以技术可采资源潜力评价为核心,开展先导性试验井钻探,优选有利页岩气区带和层系,实现中国页岩气持续稳定发展。据北美页岩气产量增长规律,结合中国页岩气技术可采资源潜力,通过典型产气区类比法、理论模型计算法、发展历史类比法等(见表 3)^[17-23],预测中国页岩气产量到 2020 年可达 100 亿 m³,到 2030 年有望达到 600 亿 m³。

表 3 Barnett 页岩与南方下古生界页岩基础数据对比表

Table 3 Contrast of Barnett shale and the Lower Palaeozoic shale of the South China

项目	Barnett	南方下古生界	对比结论
可采资源量/亿 m ³	1.25 万	7.5 万	约 6 倍
埋深/m	2 000 ~ 2 500	1 500 ~ 4 000	偏深
有利面积/万 km ²	1.04	约 20 ~ 25	约 20 倍
核心区面积/万 km ²	0.42	约 6.0	约 15 倍
有利施工核心区面积/km ²	约 4 000	约 20 000	约 5 倍
高 GR 页岩厚度/m	30 ~ 300, 中值 90	30 ~ 150, 中值 60	约 2/3
含气量/(m ³ · t ⁻¹)	4.2 ~ 9.9	1 ~ 3	约 1/3
年产量/亿 m ³	530	< 0.1	500 ~ 600 ±

4 中国页岩气发展建议

4.1 创新地质理论,加快落实页岩气经济资源潜力

中国页岩气地质理论创新与页岩气经济可采资源潜力的落实是中国页岩气实现商业化勘探开发的重要环节。通过页岩气资源战略调查,摸清页岩气资源形成条件和赋存规律,获取页岩气经济可采资源评价关键参数,形成适合中国地质特点的页岩气地质理论,优选和圈定有利页岩气区和勘探开发目标区,建立页岩气经济可采资源预测方法,落实页岩气经济可采资源,促进页岩气勘探开发科学发展。

4.2 建立页岩气开发示范区,推动页岩气工业化发展

中国页岩气勘探开发尚处于起步阶段,建立页岩气勘探开发先导性试验区,以此为依托,进行理论与技术研发,是推动页岩气工业化生产的重要途径。建议以海相页岩气示范区为重点,以不同类型页岩气示范区建设为基地,借鉴国外先进经验和开采模式,探索适合中国页岩气地质特征的开发理论与技术体系,为页岩气规模化开发提供技术保障。

4.3 加大科技投入,加快科技创新

针对页岩气实验测试、水平井、压裂改造等关键技术与工艺,加大科技投入,加快关键技术及配套工艺攻关,尽快形成自主知识产权、适合中国地质条件的核心技术及配套工艺^[16],实现页岩气经济高效开发。

4.4 加强天然气基础设施建设

天然气基础设施建设滞后已经制约了中国天然气产业发展,对页岩气等非常规天然气发展的制约不言而喻。应加快天然气输送主干网和联络管网建设,逐步建成覆盖全国的国家级骨干管网,并建立公平入网机制。同时,推进 LNG(liquefied natural gas,液化天然气)设施建设,促进非常规天然气的开发利用。

4.5 加大财税政策支持,激励页岩气开发

页岩气资源品位低,开采成本高,政府财税支持有助于推动其发展。中国对煤层气开发实施的财税政策支持发挥了重要作用。页岩气资源的开发同样需要针对性的国家政策扶持。相比煤层气而言,页岩气开发难度更大,给予的政策支持应更加优惠,建议加大补贴力度,减免资源税,增值税先征后返或即征即返,加速折旧,科技研发费用抵扣所得税等。

参考文献

- [1] John B Curtis. Fractured Shale - Gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11):1921-1938.
- [2] EIA. Shale Gas and the Outlook for U. S. Natural Gas Markets and Global Gas Resources [EB/OL]. [2011-05-10]. <http://www.eia.gov/reports>.
- [3] EIA. World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States[EB/OL]. 2011, April. http://www.eia.doe.gov/dnav/ng/ng_prod_shalegas_s1_a.htm.
- [4] 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.
- [5] 邹才能. 非常规油气地质[M]. 北京:地质出版社,2011.
- [6] 孙赞东,贾承造,李相方,等. 非常规油气勘探与开发[M]. 北京:石油工业出版社,2011.
- [7] EIA. Shale Gas in the United States: Recent Developments and Outlook[EB/OL]. [2011-03-02]. <http://www.eia.gov/reports>.

- [8] Hart Energy. North American Shale Quarterly[R]. 2011:1-4.
- [9] 页岩气地质与勘探开发实践丛书编委会. 中国页岩气地质研究进展[M]. 北京:石油工业出版社,2011.
- [10] 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,2011,31(2):324-336.
- [11] 邹才能,董大忠,王社教,等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发,2010,37(6):641-653.
- [12] 董大忠,程克明,王世谦,等. 页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J]. 天然气工业,2009,29(5):33-39.
- [13] 李玉喜,聂海,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,2010,29(12):115-118.
- [14] 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,2010,29(12):109-114.
- [17] 董大忠,程克明,王玉满,等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(3):288-299.
- [15] 王世谦,陈更生,董大忠,等. 四川盆地地下古生界页岩气藏形成条件与勘探前景[J]. 天然气工业,2009,29(5):51-58.
- [16] 张大伟. 加快中国页岩气勘探开发和利用的主要途径[J]. 天然气工业,2011,31(1):1-5.
- [17] 童亨茂,曹代勇,秦红. 中国沉积盆地复杂性的表现形式及其成因剖析[J]. 地质力学学报,2004,10(2):147-154.
- [18] 腾格尔,蒋启贵,陶成,等. 中国烃源岩研究进展、挑战与展望[J]. 中外能源,2010,15(12):37-51.
- [19] 曾庆辉,钱玲,刘德汉,等. 富有机质的黑色页岩和油页岩的有机岩石学特征与生、排烃意义[J]. 沉积学报,2006,24(1):113-122.
- [20] 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [21] 刘长江,蒋维平,桑树勋,等. 渤海湾盆地石炭二叠系烃源岩的沉积控制[J]. 中国煤田地质,2007,19(1):4-8.
- [22] 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新进展(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(2):1-16.
- [23] 张林晔,李政,朱日房. 页岩气的形成与开发[J]. 天然气工业,2009,29(1):124-128.

Global shale gas development revelation and prospect of shale gas in China

Dong Dazhong¹, Wang Yuman¹, Li Denghua¹, Yang Hua¹,
Li Xinjing¹, Wang Shufang²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Petrochina, Beijing 100083, China; 2. Peking University, Beijing 100871, China)

[**Abstract**] A lot of outcrop geological survey works, basic research and pilot of exploration and development of shale gas were undertaken in China. Especially in the marine black shale of the South, more than 40 wells were drilled and more than 10 wells had got shale gas. The initial production of some wells has reached more than $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. It was showed that the prospect of shale gas was better in China. Because of the obvious particularity in geologic settings, many geological and development problems have to be solved. With the breakthrough of the theories and key technologies in exploration and development of shale gas, improvement of economic conditions, and the support of national policy, the exploration prospect of shale gas is better in China.

[**Key words**] shale gas; resources prospect; exploratory practice; development prospect

(上接 68 页)

The exploration of global tight sandstone gas and forecast of the development tendency in China

Yang Tao, Zhang Guosheng, Liang Kun, Zheng Min, Guo Bincheng
(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Beijing 100083, China)

[**Abstract**] The tight sand gas is becoming one of the most important domains in unconventional natural gas exploration & development in the world. Especially the large-scale exploration and utilization of American tight sandstone gas promotes the exploration & development in other countries. Based on a brief overview of global tight sandstone gas exploration & development, the paper carries out a systematic study on the exploration history, the exploration effect as well as the development tendency and proposals of China's tight sandstone gas. The result shows that the development process of China's tight gas development can be divided into three stages and is entering the fast-developing stage recently. In recent years, several large tight sandstone gas reservoirs are discovered in upper Palaeozoic of Ordos Basin, Xujiahe Formation of Sichuan Basin and deep formations of Kuqa, Tarim Basin. The reserve and production of tight sand gas have both experienced rapid growth. The production accounts for 1/5 of China's total nature gas production in 2011, and it is predicted to reach 1/3 in 2020, and at that time the tight sandstone gas would become the key role in natural gas industry.

[**Key words**] tight sandstone gas; exploration and development; development trend; production forecast