

页岩气开发现状及成功开发页岩气的关键因素

赵 勇^{1,2}, 杨海波²

(1. 长江大学, 湖北 荆州 434023; 2. 中国石化胜利油田钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘 要 介绍页岩气的性质、特点、全球分布情况以及国内外勘探开发现状, 世界范围内, 泥、页岩约占全部沉积岩的 60%, 页岩气资源前景巨大。全球页岩气资源量为 $456.24 \times 10^{12} \text{m}^3$, 主要分布在北美、中亚和中国、拉美、中东、北非以及前苏联地区等。我国页岩气可采资源量约为 $26 \times 10^{12} \text{m}^3$, 与美国大致相当。在目前的技术条件下, 页岩气是天然气工业化勘探的重要领域和目标。北美油气生产商把页岩气藏作为重要天然气开发目标, 并且取得了巨大成功。通过对北美页岩气藏的深入研究并系统总结其勘探开发历史与成功经验, 认为其有效勘探开发的关键在于有政策引导和水平井、水力压裂等先进钻、完井技术的成功应用。我国页岩气资源潜力很大, 但我国对页岩气的研究与勘探开发尚处于探索阶段。从勘探技术、钻井技术、开发技术和政策支持四方面论述了页岩气开发的难点和技术对策, 提出了国内页岩气成功开发的工作思路, 对国内开展相关技术的研究有一定的指导意义。

关键词 页岩气 开发现状 非常规资源 成功开发 关键因素

1 前言

页岩气是从页岩层或泥岩层中开采出来的天然气, 一部分以游离相态存在于裂缝、孔隙及其他储集空间中, 一部分呈吸附状态(20%~85%)^[1]存在于干酪根、黏土颗粒及孔隙表面, 极少量以溶解状态储存于干酪根、沥青质及石油中。页岩气是目前经济技术条件下天然气工业化勘探的重要领域和目标。美国对页岩气的勘探开发走在世界的前列, 是目前页岩气大规模商业开发取得成功的唯一国家。加拿大紧随其后, 近年来也开展了页岩气的勘探及实验研究。我国页岩分布广泛, 具有很大的开发潜力。

2 国外页岩气开发现状

全世界范围内, 泥、页岩约占全部沉积岩的 60%, 页岩气资源前景巨大。全球页岩气资源量为 $456.24 \times 10^{12} \text{m}^3$, 主要分布在北美、中亚和中国、拉美、中东、北非以及前苏联地区等, 如表 1^[2]所示。

目前, 国外对页岩气的勘探开发并不普遍, 仅美国和加拿大做了大量工作, 美国是最早进行页岩气研究和开采的国家^[3], 美国的页岩气资源量达到 $(14.2 \sim 19.8) \times 10^{12} \text{m}^3$ 。1821 年, 北美最早的页岩气井钻于美国东部纽约州泥盆系页岩中; 1926 年, 在阿帕拉契亚盆地成功实现了页岩气的商业开发。据统

计, 20 世纪 70 年代中期, 美国页岩气步入规模化发展阶段, 70 年代末期, 页岩气年产量约 $19.6 \times 10^8 \text{m}^3$ 。2000 年, 美国页岩气生产井约 28000 口, 页岩气年产量约 $122 \times 10^8 \text{m}^3$ 。2007 年, 页岩气生产井增加到近 42000 口, 页岩气年产量为 $450 \times 10^8 \text{m}^3$, 约占美国天然气年总产量的 8%。2009 年, 美国的页岩气产量已超过 $900 \times 10^8 \text{m}^3$, 占全美天然气产量的 12%。同时, 随着页岩气勘探开发的巨大成功, 越来越多的美国油气生产商投身于页岩气的勘探开发中。2005 年, 美国页岩气生产商只有 23 家, 2006 年增至 39 家, 到 2007 年, 已有 64 家油气生产商在北美从事页岩气勘探开发业务。

加拿大页岩气资源分布广、层位多, 预测页岩气资源量超过 $28.3 \times 10^{12} \text{m}^3$, 其中加拿大西部不列颠哥伦比亚地区的白垩系、侏罗系、三叠系和泥盆系的页岩气资源量约为 $7.1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。目前, 已有多家油气生产商在加拿大西部地区进行页岩气开发试验, 2007 年该区页岩气产量约为 $8.5 \times 10^8 \text{m}^3$, 其中 3 口水平井日产量较高, 达到 $9.9 \times 10^4 \sim 14.2 \times 10^4 \text{m}^3$ 。欧洲

作者简介: 赵勇, 工程师, 长江大学在读工程硕士研究生, 主要从事石油完井科研与现场技术服务工作。

E-mail: kellerkeller@yeah.net

的德国、法国、瑞典,也开始了页岩气的研究和试验性开发,波兰的 Lane 能源公司获得了页岩气的区块勘探权。

表 1 世界主要地区页岩气储量表

地区或国家	页岩气储量/ 10^{12}m^3
北 美	108.79
拉丁美洲	59.95
西 欧	14.44
中欧和东欧	1.10
前苏联	17.75
中东和北非	72.15
非洲沙哈拉地区	7.76
中亚和中国	99.90
太平洋(经济合作和发展组织)	65.50
亚太其他地区	8.89
南 亚	0
世 界	456.24

3 我国页岩气开发进展

据专家估算,我国页岩气可采资源量约为 $26 \times 10^{12}\text{m}^3$,与美国大致相当。从现有资料看,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,在我国广泛分布的海相页岩地层、海陆交互相页岩地层及陆相煤系地层也都有分布。目前,我国页岩气资源调查与勘探开发还处于探索起步阶段。

3.1 国家对页岩气资源开发的重视

2004年,国土资源部油气资源战略研究中心开始与中国地质大学(北京)一起,跟踪调研我国页岩气资源状况和世界页岩气资源发展动态。2009年,在全国油气资源战略选区专项中,设立并自行承担了“中国重点地区页岩气资源潜力及有利区带优选”项目。2009年11月,美国总统奥巴马来华访问期间,中美双方签署了《中美关于在页岩气领域开展合作的谅解备忘录》,将两国在页岩气方面的合作上升到了国家层面。

3.2 国内已着手实施页岩气的勘探开发

中国石油于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》;2008年11月26日,由中石油实施的我国首口页岩气取心浅井在四川省宜宾市顺利完钻;2009年,又与壳牌公司在重庆富顺—永川区启动合作勘探开发项目。

在非常规矿权区块拓宽方面,中国石化将3个合作区块和4个含煤常规油气区块划归华东分公

司进行非常规勘探操作;2010年1月,中石化宣布旗下华东分公司在页岩气领域正积极与BP开展合作;2010年5月6日,由华东钻井公司承担的中石化皖南第一口页岩气探井——宣页1井在安徽省开钻;2010年5月7日,中原油田井下特种作业处圆满完成中石化首口页岩气井方深1井的大型压裂,该井的压裂成功,标志着中石化页岩气勘探开发工作迈出了实质性的一步;胜利油田地质科学研究院于2010年将“胜利油田页岩气勘探的前瞻性研究”课题正式立项,将深入研究胜利油区的页岩气资源,济阳坳陷古近系沙一段、沙三段、沙四上亚段普遍发育页岩,与北美地区页岩具有较好的可比性,其间可能蕴含着巨大的天然气资源。

4 成功开发页岩气的关键因素

页岩气储层与常规气储层的差异很大。页岩气主体位于暗色泥页岩或高碳泥页岩中,以吸附或游离状态为主要存在方式,页岩气储层孔隙度一般为4%~5%,渗透率小于 $10 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。页岩气储层的特点决定其开发所采用的技术与常规天然气开发技术有所区别。必须综合采用先进的勘探、钻井和开发技术,加以针对性强的国家优惠政策,才能实现页岩气的商业开发。

4.1 勘探技术

4.1.1 储层评价技术

测井和取心是页岩气储层评价的两种主要手段。Schlumber 公司应用测井数据,包括 ECS(Elemental Capture Spectroscopy)来识别储层特征。单独的GR不能很好地识别出黏土,干酪根的特征是具有高GR值和低Pe值。成像测井可以识别出裂缝和断层,并能对页岩进行分层。声波测井可以识别裂缝方向和最大主应力方向,进而为气井增产提供数据。岩心分析主要用来确定孔隙度、储层渗透率、泥岩组分、流体及储层敏感性,并分析测试TOC和吸附等温曲线。

4.1.2 三维地震技术

三维地震技术有助于准确认识复杂构造、储层非均质性和裂缝发育带,以提高探井(或开发井)成功率。裂缝的存在会引起地震反射特征的改变,应用高分辨率三维地震可依据反射特征的差异识别预测裂缝。利用三维地震绘制页岩裂缝带图主要是通过相干分析技术、地震属性分析、层时间切片等

预测泥页岩裂缝。裂缝预测技术对井位优化也起到关键作用。三维地震不仅可为寻找裂缝发育带指明方向,也为在水平井中实施三维的轨迹导向定位作业创造了条件。由于采用了该技术,作业者将页岩钻井扩展到那些原来被一直误认为没有产能、含水且位于页岩下方的喀斯特白云岩区域。

4.2 钻井技术

通过对国外页岩气开发资料研究分析表明,与直井相比,水平井在页岩气开发中具有无可比拟的优势:

① 水平井成本为直井的 1.5~2.5 倍,但初始开采速度、控制储量和最终评价可采储量却是直井的 3~4 倍^[4];

② 水平井与页岩层中裂缝(主要为垂直裂缝)相交会大,可明显改善储层流体的流动状况。统计结果表明,水平段长度为 200m 或更长时,比直井钻遇裂缝的机会多达几十倍;

③ 在直井收效甚微的地区,水平井开采效果良好。如在 Barnett 页岩气外围开采区内,水平井克服了 Barnett 组页岩上、下石灰岩层的限制,避免了 Ellenburger 组白云岩层的水侵,降低了压裂风险,增产效果明显,在外围生产区得到广泛运用^[3];

④ 水平井减少了地面设施,开采延伸范围大,能够避免地面不利条件的干扰。

4.3 开发技术

页岩气藏的储层一般呈低孔、低渗透率的物性特征,气流阻力比常规天然气大^[6],所有的井都需要实施储层压裂改造才能开采出来。

4.3.1 清水压裂技术

该技术是用清水添加适当的减阻剂作为压裂液来替代通常使用的凝胶压裂液,可在不减产的前提下节约 30% 的成本,在低渗透油气藏储层改造中取得很好的效果。清水压裂是利用含有减阻剂、黏土稳定剂和必要的表面活性剂的水为压裂液,以这种压裂液作为前置液来提供支撑剂输送。清水压裂技术提高岩石渗透率的依据是:

① 天然的缝面不吻合和产生粗糙缝面,剪切应力使缝面偏移,同时,在裂缝扩展时,水力裂缝将开启早已存在的天然裂缝,提高岩层的渗透率;② 若用其他压裂液进行压裂处理,往往不能对进入气层中的压裂液进行彻底清洗,而水压裂采用的压裂液

主要为清水,是一种清洁压裂技术,这也是提高岩层渗透率的重要因素之一。

4.3.2 同步压裂技术

这项技术是近几年在沃斯堡盆地 Barnett 页岩气开发中成功应用的最新压裂技术。在同步压裂中,同时对配对井进行压裂,即同时对两口(或两口以上)井进行压裂,采用使压裂液及支撑剂在高压下从一口井向另一口井运移距离最短的方法,来增加压裂缝网络的密度及表面积,该技术可快速提高页岩气井的产量。同步压裂最初是两口互相接近且深度大致相同水平井间的同时压裂,目前已发展到 3 口、甚至 4 口井间同时压裂。

4.4 政策支持

北美页岩气藏的成功开发,除归功于页岩气资源开发技术的长足进步外,还得益于国家优惠的非常规资源开发政策^[7]。

① 1976 年,美国能源开发署(DOE)启动东部页岩气项目(EGSP),全面开展勘探技术、经济评价、增产工艺和钻井、完井工程设计等技术的研发,资助工作一直持续到 1992 年;

② 1978 年,美国政府出台《能源意外获利法》,规定非常规能源开发税收补贴政策,鼓励开发非常规气体能源和低渗透气藏,具体做法是:1979 年 12 月 31 日至 1993 年 1 月 1 日所钻致密气层井所产天然气,至 2003 年 1 月前出售进行减免税,其中页岩气为 3.5 美分/ m^3 ;

③ 德克萨斯州自 20 世纪 90 年代初以来,对页岩气的开发不收生产税;

④ 2004 年,美国能源法案规定,10 年内每年投资 4500 万美元用于非常规天然气的研究。

由此可以看出,美国政府对页岩气开发的重视为页岩气发展提供了强劲的动力。对页岩气这个新生事物而言,有利的政策支持无疑会大大降低开发成本,刺激页岩气的发展。

5 结论和建议

① 页岩气开发是一项系统工程,只有提高地震勘探、测录井、钻完井以及压裂改造等技术水平,才会收到理想的开采效果,建议尽快开展针对页岩气开发的综合研究项目;

② 页岩气资源开发难度大、经济性差,要想突破开发瓶颈,尚需要大量的勘探工作量和资金投入。

入。美国页岩气开发走在世界前列,已经探索出一套先进的页岩气开采技术。吸引有资质的国外石油公司把人才、技术、资金、管理等生产要素投入到国内页岩气开发中来,选择较成熟的页岩区开展先导试验,可以加快建立符合我国页岩气藏特点的勘探开发配套技术;

③ 我国目前还没有针对页岩气资源开发的特殊财税政策,国家应统筹规划,系统管理,借鉴国外经验,对页岩气等非常规油气资源制定针对性强的税收优惠政策,对页岩气资源的勘探开发进行扶持,推进页岩气产业化快速发展。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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.

[3] 张抗,谭云冬.世界页岩气资源潜力和开采现状及中国页岩气发展前景[J].当代石油石化,2009,17(3):9-12.

[4] 王德新,彭礼浩,吕从容.泥页岩裂缝油气藏的钻井、完井技术[J].西部探矿工程,1996,8(6):15-17.

[5] GLEND A W, RON H, VON P, et al. Custom technology make shale resources profitable[J].Oil & Gas Journal,2007,105(48):41-49.

[6] 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,2007,8(4):392-400.

[7] 闫存章,黄玉珍,葛春梅,等.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.

(编辑 常雪红)

Development Status and Key Factors of Successful Development of Shale Gas

Zhao Yong^{1,2}, Yang Haibo²

(1. Yangtze University, Jingzhou Hubei 434023; 2. Drilling Technology Research Institute,

SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying Shandong 257017)

[Abstract] The nature, characteristic, distribution in the world and exploration and development status both at home and abroad of the shale gas are briefly introduced. In the world, the mudstone and shale account for 60% of the whole sedimentary rocks, and the resource of shale gas has brightened prospect. The world amount of shale gas resources are $456.24 \times 10^{12} \text{m}^3$, mainly distributed in North America, Central Asia and China, Latin America, the Middle East, North Africa and USSR areas. Recoverable amount of shale gas resources in China is about $26 \times 10^{12} \text{m}^3$, almost the same as the America. In the current economic and technological conditions, shale gas is playing an important role in industrialization exploration of the natural gas. Oil and gas operators in North America are regarding the shale gas reservoirs as their important target for the natural gas development and achieved great success. Through in-depth investigation and summing up history and successful experience from the exploration and production of the shale gas reservoirs in North America, its key factor of effective exploration and production lies in their effective policy and successful application of the advanced drilling and completion technologies including horizontal well and hydraulic fracturing. The potential of shale gas resource is very big in China, but research and exploration and development of the shale gas in China is still at the exploratory stage. The difficulties and technical countermeasures in shale gas development are discussed in the field of the exploration technology, drilling technology, development technology and policy support in the paper. Furthermore, the ideas of successful shale gas development in China are proposed. All these may help the research on related technologies in the country.

[Keywords] shale gas; development status; non-conventional resource; successful development; key factors