

全球致密气勘探开发进展及中国发展趋势预测

杨 涛, 张国生, 梁 坤, 郑 民, 郭彬程

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

[摘要] 致密气已成为全球非常规天然气勘探开发的重要领域之一,特别是美国致密气大规模开发利用,推动了许多国家进行致密气勘探开发的进程。从全球致密气勘探开发进展情况入手,对我国致密气的勘探开发历程、主要致密气田勘探开发成效、发展趋势及对策建议进行了系统研究。研究表明,我国致密气大致经历了三大发展阶段,目前已进入快速发展阶段。近年来在鄂尔多斯盆地上古生界、四川盆地须家河组、塔里木盆地库车深层发现了一批大型致密气田,致密气储量、产量均呈现出快速增长趋势,2011年致密气产量占我国天然气总产量的1/4左右,预计2020年致密气产量比例将进一步提升到1/3左右,成为支撑我国天然气工业快速、健康、稳定发展的生力军。

[关键词] 致密气;勘探开发;发展趋势;产量预测

[中图分类号] TE37 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)06-0064-05

1 前言

致密砂岩气(以下简称致密气)已成为全球非常规天然气勘探开发的重要领域之一,特别是美国致密气资源的大规模开发利用,不仅助推美国天然气产量快速回升,也带动了全球致密气快速发展。我国天然气工业刚刚进入快速发展期就出现了供不应求的局面,2010年天然气对外依存度已突破15%,而我国独特的地质条件决定了致密气等非常规天然气资源较常规天然气更丰富,发展潜力更大。新形势下,加快开发利用致密气等非常规天然气资源对我国天然气工业的发展和经济社会的运行具有重大战略意义^[1,2]。

近年来,我国在鄂尔多斯盆地上古生界、四川盆地须家河组、塔里木盆地库车深层发现了一批大型致密气田,在吐哈、松辽、渤海湾等盆地发现了一批产量较高的致密气井,展现出良好的发展前景。文章从全球致密气勘探开发状况入手,系统总结了我国致密气发展历程与近期勘探开发进展情况,综合预测了未来发展趋势,对下一步发展提出了建议。

2 全球致密砂岩气勘探开发状况

2.1 全球致密气资源丰富,分布广泛

全球致密气资源丰富,分布范围十分广泛。据美国联邦地质调查局研究结果,全球已发现或推测发育致密气的盆地大约有70个,资源量大约为 $210 \times 10^{12} \text{ m}^3$,亚太、北美、拉丁美洲、前苏联、中东—北非等地区均有分布,其中亚太、北美、拉丁美洲分别拥有致密气资源量为 $51.0 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 、 $38.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 、 $36.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (见图1),占全球致密气资源的60%以上^[3]。而按照资源三角分布概念,致密气资源量应超过常规天然气资源量,显然全球致密气资源量 $210 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 这一估值较为保守,主要是因致密气在许多国家和地区中往往作为一种低渗—特低渗的常规天然气藏进行勘探开发,相关统计数据与资源评价结果严重缺失,除北美之外可利用的评价资料很少,难以比较准确地得出全球资源储量数据。

近年来,有关研究机构和学者对全球致密气资源储量重新进行过估算,部分预测结果较上述资源量有较大幅度的增加。例如,道达尔石油公司(2006)预计,

[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)

[作者简介] 杨 涛(1970—),男,四川阆中市人,高级工程师,主要从事油气勘探部署与综合研究工作;E-mail: yta@petrochina.com.cn

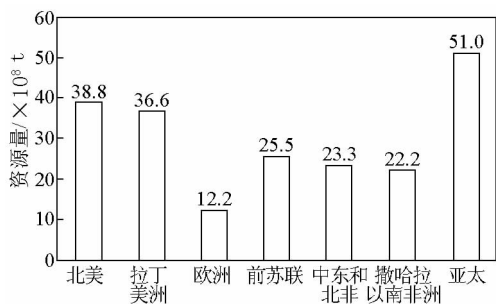


图1 全球致密气资源地区分布情况

Fig.1 The global distribution of tight gas resource

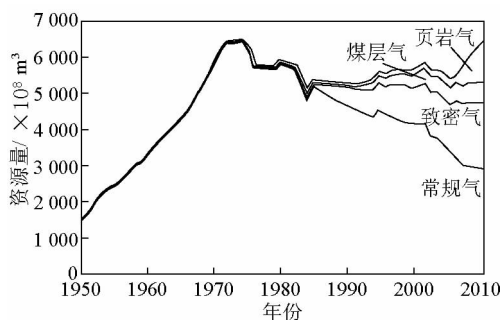


图2 1950—2010年美国天然气产量构成图

Fig.2 Production of natural gas in America from 1950 to 2010

全球致密砂岩气资源量为 $310 \times 10^{12} \sim 510 \times 10^{12} \text{ m}^3$; Aguilera(2008)报告,全球致密砂岩气技术可采资源量为 $428 \times 10^{12} \text{ m}^3$,与常规天然气资源量大致相当^[1,2]。尽管数据差异比较大,但都表明全球致密气资源潜力非常大,具有很好的发展前景。

2.2 北美地区是全球致密气发展最快、最好的地区

目前,全球已有美国、加拿大、澳大利亚、墨西哥、委内瑞拉、阿根廷、印尼、中国、俄罗斯、埃及、沙特等十几个国家和地区已进行了致密气藏的勘探开发^[4]。其中,北美地区的美国和加拿大在致密气资源勘探开发方面处于世界领先地位。

美国致密气勘探开发大致起始于20世纪70年代末。当时面临天然气产量大幅下滑、供需失衡不断加剧等形势,美国政府出台一系列税收优惠和补贴政策以鼓励非常规气体能源和低渗透气藏的开发。在政策的扶持下,美国致密气勘探开发率先取得重大突破,并迅速进入快速发展阶段,1990年美国致密气产量就已突破 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$,1998年突破 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见图2)。2010年,美国已在23个盆地大约发现900个致密气田,剩余探明可采储量超过 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,生产井超过 10×10^4 口,2010年致密气产量达到 $1754 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占美国天然气总产量的29%,成为美国天然气产量构成中重要的组成部分。目前,美国进行致密气开发的盆地主要是落基山地区的大绿河盆地、丹佛盆地、圣胡安盆地、皮申斯盆地、粉河盆地、犹因他盆地、阿巴拉契亚盆地和阿纳达科盆地^[5,6]。

加拿大致密气主要储集在西部地区阿尔伯达盆地深盆区,故称深盆气。1976年加拿大钻成第一口工业致密气井,从而揭开了致密气勘探开发新局面,同时开辟了一个新的含油气领域。随后发现的霍得利、牛奶河气田进一步证实了该区致密气良好的发展前景,最终导致特大型致密气田的发现。仅艾尔

姆沃斯、霍得利两大致密气田的可采储量就达到了 $6490 \times 10^8 \sim 6780 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前,加拿大致密气分布面积达 6400 km^2 左右,地质储量大约为 $42.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

2.3 关键技术突破是北美地区致密气得以快速发展的前提

通过对美国、加拿大两个典型致密气田发展历程的剖析发现,关键技术突破是致密气得以快速发展的基本前提。

1)美国皮申斯盆地的鲁里森(Rulison)致密气田。皮申斯盆地为一典型的前陆—克拉通盆地,面积为 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,天然气资源量为 $5.6 \times 10^{12} \sim 8.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。1952年举汉1井在盆地内发现了Mesaverde地层含气,从而发现了鲁里森气田,但因缺乏有效技术手段,随后钻探的多口井均无产能。后经长期实验室分析、现场压裂试验以及不同井距生产井开采试验等,到1993年终于突破了商业性开采关,之后产量快速增长,2008年产量达到 $32.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。鲁里森气田面积为 $21 \sim 52 \text{ km}^2$,气藏埋深为1780m,气层厚度为700m,可采储量为 $324 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2)加拿大阿尔伯达盆地埃尔姆沃斯(Elmworth)致密气田。1953—1976年,在针对白垩纪岩性地层圈闭勘探过程中,曾有近百口井钻遇到致密砂岩气层,但当时主要勘探目的层是密西西比系,加之气层压力较低、储层致密、井筒伤害等原因,一直没有获得商业性发现。1976年,经技术人员仔细的岩石学分析和系统的测试资料对比,发现了下白垩系大量可采气层,埃尔姆沃斯气田得以发现。埃尔姆沃斯气田面积为 5000 km^2 ,气藏埋深1500m,气层厚度为1000m,可采储量 $4760 \times 10^8 \text{ m}^3$,2008年该气田

产量已达 $88 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3 中国致密砂岩气勘探开发进展

3.1 中国致密气勘探开发历程

截至 2011 年年底,全国已累计探明致密气地质储量 $3.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 左右,约占全国天然气总探明储量的 39%;2011 年致密气产量大致在 $256 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占全国天然气总产量的 1/4。致密气已成为我国天然气增储上产的重要领域,在天然气工业发展中占有非常重要的地位。纵观我国致密气勘探开发历程,大致可分为三个阶段(见图 3)。

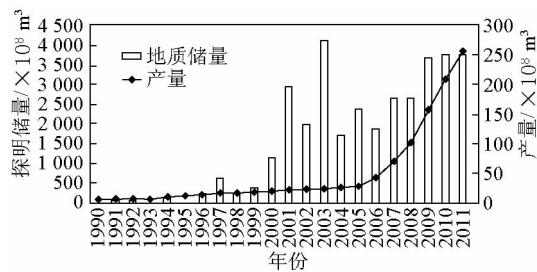


图 3 1990—2011 年中国致密气储量、产量增长形势图

Fig. 3 Reservoir and production growth trend of tight gas in China from 1990 to 2011

3.1.1 探索起步阶段(1995 年以前)

按照致密气的概念及评价标准^[7],我国早在 1971 年就在四川盆地川西地区发现了中坝致密气田,之后在其他含油气盆地中也发现了许多小型致密气田或含气显示。但早期主要是按低渗—特低渗气藏进行勘探开发,进展比较缓慢。

3.1.2 快速发现阶段(1996—2005 年)

20 世纪 90 年代中期开始,鄂尔多斯盆地上古生界天然气勘探取得重大突破,先后发现了乌审旗、榆林、米脂、大牛地、苏里格、子洲等一批致密气田,特别是 2000 年以来,按照大型岩性气藏勘探思路,高效、快速探明了苏里格大型致密气田,2001、2003 年提交探明天然气地质储量 $5\,336.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。此外,四川盆地上三叠统须家河组等也有零星发现,但储量规模均比较小。1996—2005 年,全国共新增探明致密气地质储量 $1.58 \times 10^{12} \text{ m}^3$,年均新增探明地质储量 $1\,580 \times 10^8 \text{ m}^3$,占同期天然气新增探明总储量的 44%。

尽管致密气勘探不断获得重大发现,储量也快速增长,但发现主要集中在鄂尔多斯盆地上古生界,而鄂尔多斯上古生界天然气藏总体表现为低渗、低压、低丰度的“三低”特点^[8]。当时经济技术条件下

难以经济有效地开发,使得致密气产量增长缓慢,到 2005 年全国致密气产量仅有 $28 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

3.1.3 快速发展阶段(2006 年至今)

2005 年以来,按照致密气田勘探开发思路,长庆油田实现合作开发模式,采用新的市场开发体制,走管理和技术创新、低成本开发之路。集成创新了以井位优选、井下节流、地面优化技术等为重点的 12 项开发配套技术,实现了苏里格气田经济有效开发^[9,10],从而推动苏里格地区致密气勘探开发进入大发展阶段(见图 4),2007—2010 年连续 4 年新增基本探明地质储量超 $5\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,至 2011 年年底实现了探明加基本探明天然气地质储量 $3.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$,年产量超过 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$,并带动全国致密气勘探开发不断取得重要发现。

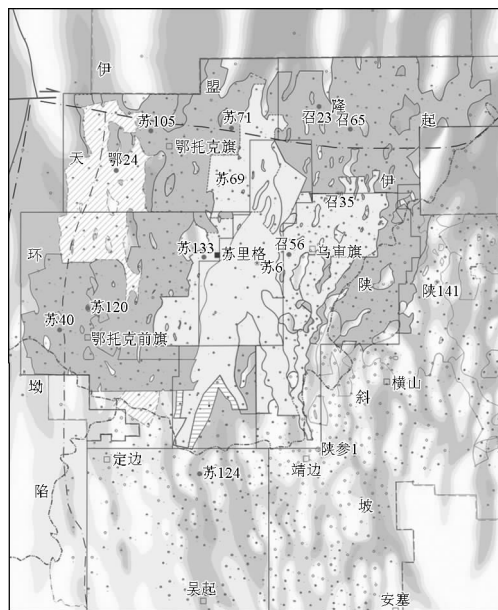


图 4 苏里格地区天然气勘探成果图

Fig. 4 Natural gas exploration map of Sulige region

3.2 中国致密气近期勘探开发主要成果

3.2.1 鄂尔多斯盆地上古生界苏里格气田

鄂尔多斯盆地天然气大规模勘探开始于 20 世纪 80 年代末,目前已发现气田 9 个。近 10 年来,新增天然气探明储量以致密气为主,年均增长 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。苏里格、大牛地、乌审旗、神木、米脂等 5 个探明储量超千立方米的大型气田均为致密气田,主力气层为上古生界石盒子组、山西组与太原组。

苏里格地区位于鄂尔多斯盆地西北部,有利勘探面积为 $5.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,远景资源量约为 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。1999 年初,苏 2 井下石盒子组试气获日产 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的工业气流,拉开了苏里格地区天然气勘探序幕。

2000年8月,苏6井压裂后获得日产无阻流量 $120 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产工业气流,标志着苏里格大气田的发现。但由于单井产量低,开发成本高等原因,无法有效开发动用,勘探开发一度陷入停滞状态。自2005年“引入市场竞争机制,加快开发步伐”以来,通过依靠科技、创新机制、简化开采、走低成本开发路线,勘探开发取得重大进展,累计探明和基本探明地质储量 $3.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$,产量快速增长。2010年产量突破 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$,2011年产量达到 $137 \times 10^8 \text{ m}^3$,从而超越克拉2气田成为我国第一大气田。

3.2.2 四川盆地川中须家河组气田

四川盆地广安地区致密气藏勘探经历了复杂历程,1967年广19井就发现了须家河组致密气藏。但在随后近40年的勘探开发历程中,却因地下条件复杂,以及地质认识与工艺技术的限制,以构造圈闭勘探为主,发现了7个构造圈闭气藏和一些含气构造以及部分零星分布的高产气井。2005年3月,广安2井须六段射孔完井试油测试获日产天然气 $4.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,获得高产工业气流。紧接着,广安3井、广108井等也获工业气流,开启了广安地区低渗透砂岩气藏勘探的新篇章,相继发现了合川、安岳等千亿立方米大气田,从而掀起了川中地区须家河组致密气勘探开发热潮。2006—2011年川中地区须家河组合计新增探明地质储量 $5971 \times 10^8 \text{ m}^3$,2011年须家河组致密气产量超过 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.2.3 塔里木盆地库车地区克深气田

库车坳陷勘探面积为 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,远景资源量约为 $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$,继2000年探明克拉2气田、2001年迪那2井突破之后,4年间钻井18口均未成功。分析制约勘探的关键:一是地表和地下情况复杂,构造难以落实;二是勘探集中于中浅层,构造保存条件相对较差。普遍认为前陆冲断带深层发育大构造,但储层物性可能较差,即使发现储量难以开发。这一认识,阻碍了对深层大构造的探索。近年来,持续坚持山地地震攻关与研究,深层构造得到进一步落实,2007年优选克深2号构造上钻,6573~6697m获得日产 $46 \times 10^4 \text{ m}^3$ 高产气流,突破了克深构造带深层勘探。随后钻探的克深1、克深201、克深202井获高产气流,初步落实储量规模超过 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

4 我国致密气未来发展趋势预测

2006年以来,致密气探明储量和产量双双进入快速发展阶段,年均新增探明致密气地质储量超过

$3000 \times 10^8 \text{ m}^3$,占同期新增探明储量的比例超过50%;致密气产量由2005年的 $28 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长到2011年的 $256 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均递增45%。根据我国致密气储量、产量历史增长趋势,结合重点地区发展规划,采用模型法与重点地区产量预测来综合判断未来我国致密气发展趋势与规模。

4.1 模型法预测

根据致密气探明储量与产量历史增长数据,采用HCZ模型法、翁氏模型法对历史数据进行拟合,从而预测出致密气未来产量发展趋势。根据预测,未来20年致密气探明储量可保持高水平增长,年均新增探明可采储量规模在 $2000 \times 10^8 \sim 3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见图5),致密气产量仍将保持快速增长,2020年产量大约在 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见图6),2030年前后进入产量增长高峰,高峰年产量预计在 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。

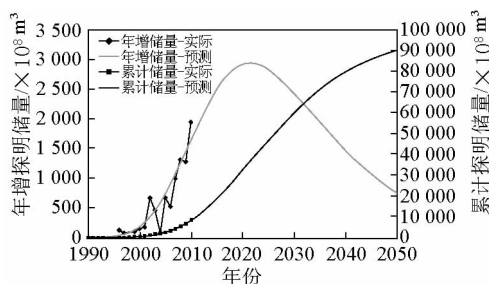


图5 中国致密气探明储量增长趋势预测

Fig.5 Prospect of tight gas reserves growing tendency in China

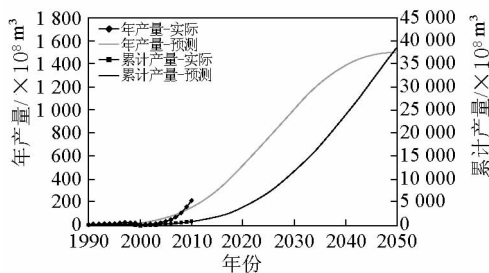


图6 中国致密气产量增长趋势预测

Fig.6 Prospect of tight gas production growing tendency in China

4.2 重点地区产量预测

鄂尔多斯、四川、塔里木三大盆地是我国致密气资源最丰富的地区,也是目前勘探开发最现实和最具潜力的地区。根据上述三个地区勘探开发形势,结合油田公司规划安排,综合预测鄂尔多斯、四川、塔里木三个盆地2020年致密气产量有望达到

600 × 10⁸ m³ 左右。

1) 鄂尔多斯盆地 2020 年致密气产量有望达到 300 × 10⁸ m³。近 10 年已发现苏里格、神木、米脂、大牛地 4 个超千亿立方米的大气田,年增探明致密气地质储量 1 000 × 10⁸ m³ 以上,年产量已突破 140 × 10⁸ m³。其中,苏里格气田 2011 年产量达到 137 × 10⁸ m³,预计 2015 年产量将达到 230 × 10⁸ m³,并实现稳产;大牛地气田 2011 年产量 23 × 10⁸ m³,2015 年产量将突破 50 × 10⁸ m³,之后实现稳产。

2) 四川盆地 2020 年致密气产量有望达到 100 × 10⁸ m³。2005 年以来,须家河组致密气勘探已发现广安、安岳、合川、新场等 4 个超千亿立方米的大气田。其中,中国石油天然气集团在川中地区的安岳、合川、广安等须家河组气田,2011 年产量达到 15 × 10⁸ m³,2020 年产量预计可达到 60 × 10⁸ m³;中国石油化工集团在川西地区以新场、通南巴等气田为主,2020 年产量有望达到 30 × 10⁸ m³。

3) 塔里木盆地 2020 年致密气产量有望达到 200 × 10⁸ m³。继克拉 2、迪那 2 大气田发现并建成投产后,库车深层致密砂岩储层中又相继发现了大北、克深两个超千亿立方米的大型致密气田。根据目前勘探进展及产能建设安排,2020 年有望具有 200 × 10⁸ m³ 的生产能力。

综合上述分析结果,结合专家调查与咨询情况综合判断,我国致密气已进入快速发展期,未来 5 ~ 10 年仍将是高速发展期,预计 2020 年致密气产量将达到 800 × 10⁸ m³;2020 年之后进入发展高峰阶段,2030 年致密气产量有望达到 1 000 × 10⁸ m³。

5 结语

1) 致密气已成为我国天然气增储上产的重要领域,预计 2020 年前致密气产量将持续快速增长,2020 年产量有望达到 800 × 10⁸ m³;2020 年之后致密气产量进入高峰增长阶段,2030 年产量有望达到 1 000 × 10⁸ m³。

2) 依靠机制创新、技术进步、政策扶持,充分调动各方的积极性与主动性,强化自主创新,形成先进适用的致密气勘探开发技术体系,加快推进致密气资源勘探开发节奏,确保未来 5 ~ 10 年致密气产量仍保持快速增长,使之成为我国天然气开发利用的主导资源之一。

3) 致密气藏与常规气藏往往共生分布,难以独立有效切割,建议将储层地面渗透率小于或等于 1 × 10⁻³ μm² 比重超过 65 % 的气藏,整体按致密气对待,国家统一制订扶持政策。

4) 建议国家出台鼓励政策,加强致密气资源勘探,扩大储量发现规模,尽快明确致密气在我国天然气发展中的地位,尽快制订我国致密气中长期发展规划。建议加快制订致密气分类与评价的国家标准,在国家天然气价格改革试点方案基础上,2020 年以前对致密气开发利用再给予一定税收优惠政策予以扶持。

参考文献

- [1] 邱中建,邓松涛. 中国非常规天然气的战略地位[J]. 天然气工业,2012(1):1-5.
- [2] 邱中建,赵文智,胡素云,等. 我国天然气资源潜力及其在未来低碳经济发展中的重要地位[J]. 中国工程科学,2011,13(6):81-87.
- [3] IEA. World Energy Outlook 2009[R]. 2009.
- [4] Stephen A Holditch. Tight gas sands[J]. Journal of Petroleum Technology; Society of Petroleum Engineers,2006(6):86-93.
- [5] 邹才能. 非常规油气地质[M]. 北京:地质出版社,2011.
- [6] 关德师,牛嘉玉,郭丽娜,等. 中国非常规油气地质[M]. 北京:石油工业出版社,1995.
- [7] 国家能源局. 致密砂岩气地质评价方法(SY/T 6832—2011)[S]. 2011.
- [8] 杨 华,魏新善. 鄂尔多斯盆地苏里格地区天然气勘探新进展[J]. 天然气工业,2007(12):6-11.
- [9] 杨 华,刘新社,孟培龙. 苏里格地区天然气勘探新进展[J]. 天然气工业,2011(2):1-8.
- [10] 冉新权,何光怀. 关键技术突破,集成技术创新 实现苏里格气田规模有效开发[J]. 天然气工业,2007(12):1-5.

(下转 76 页)