

中国石化非常规油气资源潜力及勘探进展

马永生¹, 冯建辉¹, 牟泽辉¹, 赵培荣¹, 包书景², 王 烽²

(1. 中国石油化工股份有限公司, 北京 100728; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

[摘要] 中国石油化工集团有限公司(简称中国石化)矿权区内拥有较为丰富的非常规油气资源,煤层气可勘探面积为 10.19 万 km²,煤层埋深小于 2 000 m 的煤层气地质资源量为 11.02 万亿 m³。页岩气可供勘探面积为 17.5 万 km²,初步估算页岩气地质资源量为 15.9 万亿 m³。页岩油勘探面积为 11.76 万 km²,具有较大的资源基础及潜力。中国石化自 2004 年开始关注非常规油气资源,先后启动了页岩油气、煤层气等非常规油气资源的研究和勘探工作。目前在沁阳凹陷页岩油勘探泌页 HF-1 水平井分段压裂后获日产油 23.6 m³;元坝地区多口陆相钻井测试获得高产气流,建南地区建页 HF-1 井日产气 12 300 m³;延川南区块煤层气已探明地质储量为 106.47 亿 m³,多口井排采获工业气流,初步形成了中国石化非常规油气资源多类型、多阶段的勘探开发格局。

[关键词] 中国石化;非常规油气;油气资源;勘探

[中图分类号] TE8;P618.13 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)06-0022-09

1 前言

非常规油气资源主要指大面积连续分布于致密储集体中,且受水动力影响很小的油气聚集。与常规油气藏不同,非常规油气藏大多为近源或源储一体,储层致密,缺乏明显圈闭界限,无统一油气水界面和压力系统,含油气饱和度差异大,油气水多相共存,因此,又称为连续性油气聚集^[1~3]。非常规油气资源在成藏机理、赋存状态、分布规律及勘探开发技术等方面与常规油气资源具有一定的差异性^[4]。非常规油气资源可分为非常规石油资源和非常规天然气资源。非常规石油资源包括页岩油、致密砂岩油、油页岩、油(沥青)砂、重(稠)油等。各种类型的非常规油气资源与常规油气资源在成因上密切联系,空间上伴生出现(见图 1)。非常规天然气资源包括页岩气、致密砂岩气(深盆气)、煤层气、浅层生物气、水溶气、天然气水合物等。

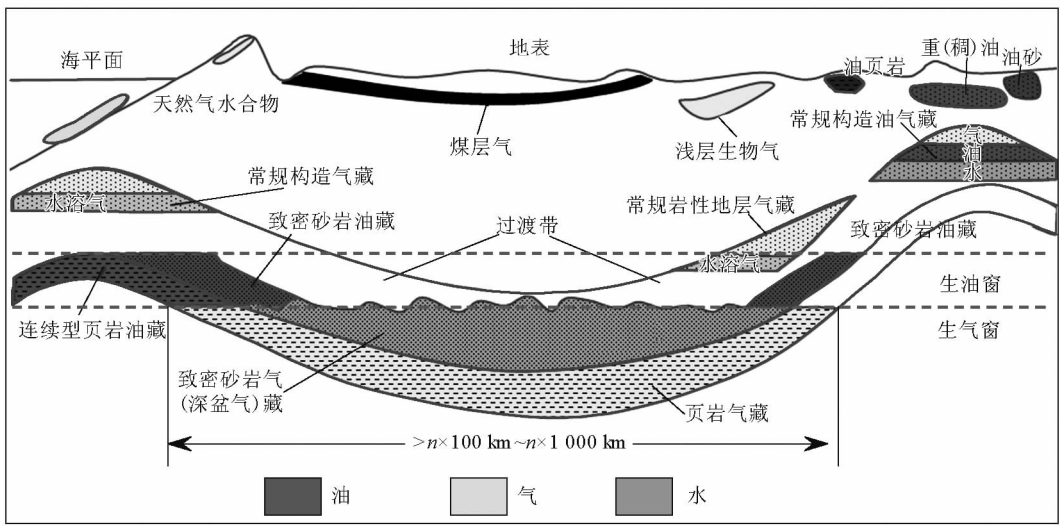
与常规油气资源相比,非常规油气资源具有资

源类型多、赋存方式多样、连续性分布、资源量大等特点,但同时具有“四低”特征,即资源丰度低、储层低孔低渗、单井日产量低,勘探开发效益低。非常规油气资源属于低品质油气资源(见图 2),针对性技术的采用、规模化生产、高效运行组织是实现非常规油气资源商业开发的关键。

中国石化自 2004 年开始关注页岩油气、煤层气、油砂、油页岩、天然气水合物等非常规油气资源,并先后启动了相关研究和勘探工作。2009 年中国石化成立了非常规能源专业管理机构与勘探、开发队伍,直属研究院均成立了相应非常规研究部门。在管理理念与制度上,树立勘探、开发、工程一体化理念,按照勘探开发一体化运作,建立了配套的较完善的非常规管理制度以及勘探、开发相关技术试行标准。在资金保障上,将非常规勘探纳入统一计划。在人才培养上,建立了高端技术人才的培训、引入机制。在技术攻关上,一方面与 ExxonMobil、BP 等

[收稿日期] 2012-04-06

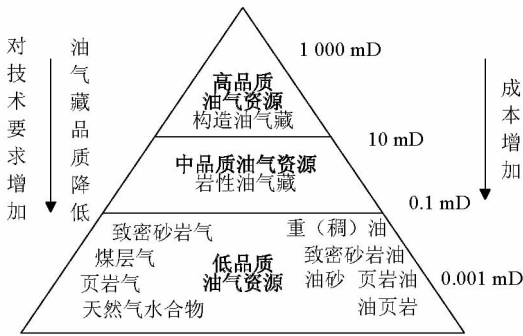
[作者简介] 马永生(1961—),男,内蒙古土默特左旗人,中国工程院院士,教授级高级工程师、博士生导师,主要研究方向为沉积学与油气田勘探;E-mail:yongshma@126.com



注:该图依据文献[5]修改而得

图1 非常规油气资源与常规油气资源的空间分布

Fig.1 The spatial distribution of unconventional and conventional oil and gas resources



注:该图依据文献[6]修改而得

图2 油气资源三角图

Fig.2 The triangular diagram of oil and gas resource

国际公司开展合作,通过合作消化吸收国外页岩气勘探开发思路与先进技术;另一方面,结合自身实际,组织开展了相关的基础研究、适应性配套技术攻关、自主装备的研发工作。通过近期勘探,泌阳凹陷陆相页岩油泌页 HF-1 水平井分段压裂后获日产油 23.6 m³;陆相页岩气方面,元坝地区多口钻井测试获得高产,建南地区建页 HF-1 井日产气 12 300 m³;海相页岩气勘探取得进展;延川南区块煤层气已探明地质储量为 106.47 亿 m³,多口井排采获工业气流,初步形成了中国石化非常规油气资源多类型、多阶段的勘探开发格局。

2 中国石化非常规油气资源潜力

2.1 页岩油资源潜力

中国石化页岩油资源主要分布于东部断陷盆地古近系、东北地区白垩系和鄂尔多斯盆地三叠系等陆相层系。可供勘探的矿权区块有 41 个,面积为 11.76 万 km²。

借鉴北美地区富含油气页岩的相关评价标准,结合陆相泥、页岩实际(有机碳含量 > 2%,成熟度 > 1.0%,暗色页岩厚度 > 30 m,以大于 50 m 为佳,脆性矿物含量高、微裂缝发育,其中石英、方解石、长石等矿物含量大于 30%),对中国石化探区页岩油有利区进行评价。初步认为,济阳拗陷沾化凹陷的沙一段和沙三段、东营凹陷的沙三段和沙四段以及南襄盆地泌阳凹陷的核三段最为有利。含油泥、页岩层段埋深为 1 400 ~ 4 500 m,厚度为 50 ~ 620 m,有机碳为 2% ~ 7%,镜质体反射率(R_o)为 0.5% ~ 1.7%,以 I 型和 II₁ 型干酪根为主,并已在多口钻井中获得页岩油流,是页岩油勘探开发的有利目标区。此外,渤海湾盆地车镇凹陷、惠民凹陷、东濮凹陷沙三段,南襄盆地南阳凹陷核二段,苏北盆地阜二段、阜四段,江汉盆地潜江组、松南梨树断陷沙河子组和营城组,鄂尔多斯盆地长七段具有较好的页岩油资源潜力。

2.2 页岩气资源潜力

与北美地区页岩气主要形成于海相富有机质

泥、页岩层系不同,中国沉积盆地中发育海相泥页岩、陆相泥页岩及过渡相(海陆过渡相、湖沼相)煤系泥页岩三类富含有机质的泥页岩层系。中国石化页岩气资源主要分布于南方地区古生界海相的下寒武统、上奥陶统一志留统、海陆过渡相上二叠统、中生界陆相上三叠统一侏罗统、东部断陷盆地古近系、华北地区石炭—二叠系海陆过渡相、鄂尔多斯盆地三叠系、西北地区侏罗系、东北白垩系等层系。

中国石化现有页岩气矿权区块3个,面积为1.7万 km^2 ,为下扬子的宣城—桐庐区块和川东南的彭水、南川区块。此外还有42个油气矿权区块可开展页岩气勘探,其页岩气可供勘探总面积达17.5万 km^2 。通过对中国石化矿权区内页岩气资源潜力的初步估算发现,地质资源量为15.9万亿 m^3 ,具有较大的页岩气资源基础及潜力。从资源量构成上,陆相页岩气资源占32.5%,海相占67.5%,埋深小于3000m的占49%,大于3000m的占51%。层系上,主要分布在石炭—二叠系(27.9%)、上三叠统一侏罗系(27.3%)、下寒武统(23.8%)和上奥陶统一志留统(11.4%)。

前期勘探研究成果表明,四川盆地及周缘陆相上三叠统一侏罗统、海相上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组和下寒武统牛蹄塘组是中国石化近中期页岩气勘探的重点领域。

2.3 煤层气资源潜力

中国石化现有煤层气区块4个,区内含煤面积为3092.1 km^2 。此外可供煤层气勘探的油气矿权区块有133个,含煤面积为9.88万 km^2 。根据新一轮资源评价结果,中国石化煤层埋深小于2000m的煤层气资源量为11.02万亿 m^3 ^[7]。

从区域分布来看,中国石化煤层气资源主要分布在南方地区,资源量为4.57万亿 m^3 ,占中国石化探区41.5%。含煤层系以上古生界石炭系、二叠系和中生界三叠系、侏罗系和白垩系煤层气最为丰富,上古生界煤层气资源量占中国石化矿权区煤层气资源量的50.47%,中生界占47.96%。从煤阶类型来看,以中、低阶煤煤层气资源最为丰富。

近期勘探研究表明,中高阶煤煤层气重点目标区为鄂尔多斯盆地东缘延川南区块、沁水盆地和顺区块,黔中隆起的织金区块,低煤阶煤层气重点目标区为彬长区块。

2.4 其他非常规资源潜力

中国石化矿权区内拥有油页岩、油砂等非常规

油气资源。油页岩资源分布在11个盆地的25个油页岩勘查区或预测区,分布面积为20444.10 km^2 。油页岩地质资源量为2495.49亿t,折合原油地质资源量为209.91亿t,原油可回收资源量为52.69亿t,分别占全国总量的34.66%、44.06%和43.99%,平均含油率为8.41%,平均地质资源丰度为93.51万 t/km^2 ^[8]。油页岩集中分布在伦坡拉、准噶尔、松辽、鄂尔多斯、柴达木这5个盆地。

中国石化矿权区油砂分布在10个盆地的25个油砂点,分布面积为1023.95 km^2 ,地质资源量为7.42亿t,技术可采资源量为2.07亿t,分别占全国总量的12.42%和9.18%,平均含油率为5.27%,平均地质资源丰度为73.03万 t/km^2 ,平均技术可采系数为73.03%^[9,10]。

3 中国石化非常规油气勘探进展

3.1 页岩油

目前,中国石化页岩油处于勘探评价阶段。自2010年开始,中国石化开展了东部断陷盆地页岩油气老井复查复试和评价工作,并在多个凹陷古近系泥页岩段发现了丰富的油气显示,结合不同地区泥页岩基础地质条件和工程的可实施性,将东部陆相盆地泥页岩勘探集中在河南泌阳凹陷和山东济阳拗陷。

3.1.1 泌阳凹陷

在泌阳凹陷,老井复查发现在深凹区多口井页岩均见连续气测显示。2010年部署实施安深1井,在主探深凹岩性圈闭含油气性的同时,对页岩油气进行了预探。该井2010年8月28日完钻,完钻井深为3510m。该井在古近系核桃园组二段一核三上段共发现页岩89层670m,岩性主要为灰色、深灰色页岩,多套泥页岩见明显气测异常。2011年1月23日,该页岩井段进行大型压裂施工,共挤入压裂液2280.56 m^3 ,加砂75.21 m^3 ,3月7日获得最高日产原油4.68 m^3 。

为进一步评价落实安深1井页岩油平面展布范围及储量规模,探索页岩油水平井钻井及压裂等新技术应用的效果,在安深1井西南部署并实施水平井—泌页HF1井。该井2011年11月16日完钻,完钻井深3722m(垂深为2441m)。该井在导眼井共钻遇页岩509m/71层,油气显示十分活跃。2012年1月8日完成15级分段压裂施工,共计注入压裂液22138 m^3 ,加入陶粒支撑剂800t。随后返

排,最高日产油 23.6 m^3 ,最高日产气 $1\ 072\text{ m}^3$,目前日产油稳定在 $8\sim 10\text{ m}^3$,取得了国内陆相页岩油勘探突破。

泌阳凹陷泥、页岩主要分布在深凹区湖相一半深湖相,面积约为 400 km^2 ,纵向上主要分布于核二至核三上段。安深1井页岩厚 670 m ,单层纯页岩厚度达 $60\sim 70\text{ m}$,有机碳平均含量为 2.54% ,有机质类型以I型和IIa型为主,脆性矿物含量为 73.47% ,具备了良好的页岩油形成的物质基础。

3.1.2 济阳拗陷

济阳拗陷前期勘探泥、页岩段已频繁见气测异常和油气显示。1973年,在东营中央隆起带钻探河54井,沙三下亚段 $2\ 928\sim 2\ 964.4\text{ m}$ 泥页岩段中途测试, 5 mm 油嘴放喷,日产油 91.4 t ,日产气 $2\ 740\text{ m}^3$,是济阳拗陷第一口泥页岩工业油流井。沾化凹陷罗42井、车镇凹陷的新郭3井、东营凹陷的利深101井等也相继都在泥页岩段获得了高产油气流。截至2010年年底,济阳拗陷320余口探井在泥页岩中见油气显示,其中30余口井获工业油气流,表明济阳拗陷具备页岩油气勘探的潜力。

2010年在罗家地区部署罗69井针对性地进行泥页岩系统密闭取心,对 221 m 密闭岩心段进行12 000余项次的化验分析,开展了烃源岩和储集性能的评价以及地球物理预测等方面页岩油气的基础地质研究工作。在引进国外页岩气研究理论、技术方法的同时,结合陆相页岩的实际,提出了高含碳酸盐泥页岩评价标准,指出了有利目标区。2011年在研究的基础上部署实施渤页平1井,该井于2011年12月12日完钻,完钻井深为 $4\ 335.54\text{ m}$ (垂深为 $2\ 969.50\text{ m}$),主要目的层为沙三下。该井在水平段见 371.54 m 油气显示。其中,油斑显示2层 56.54 m ,气测异常10层 315 m 。目前该井正分段压裂、试油。

济阳拗陷湖相泥页岩主要分布于古近系沙河街组沙一段、沙三下亚段、沙四上亚段。受物源、水动力条件、沉积水介质化学条件影响及成岩作用改造,纯泥岩很少发育。由于陆源碎屑及碳酸盐矿物含量、产状变化,形成了岩石类型多样的特点,泥页岩油气生成条件与北美页岩相比具有差异性,主要是与北美海相页岩沉积稳定相比,湖相页岩相变化快,非均质性强。有机质成熟度相对较低,泥页岩实测 R_o 为 $0.3\%\sim 1.2\%$,以低成熟岩居多。在泥页岩油气储集条件上与北美工业性页岩气产区页岩具有

可比性。相似性上均具有压力高、脆性矿物含量高、孔隙度适中、发育微裂缝的特点,同时也存在相带变化快、非均质性强的问题,增加了预测的难度。另外,还有时代新、埋藏较浅、泥页岩成岩作用弱、碳酸盐含量高、石英含量低的差异性。

3.2 页岩气

中国石化页岩气勘探主要集中在四川盆地及周缘陆相和南方海相两个领域,目前处于勘探评价阶段。

3.2.1 四川盆地及周缘陆相页岩气领域

四川盆地及周缘陆相发育上三叠统和中、下侏罗统多套泥、页岩。2011年中国石化重点开展了四川盆地矿权区块页岩气选区评价工作。以页岩气地质条件和工程技术条件为主要评价依据,以富含有机质泥页岩区块为评价单元,采用了“双因素法”对页岩气区块进行选区评价。通过评价认为,川西新场地区须家河组五段、川东北元坝地区自流井组、千佛崖组千二段、川东南涪陵地区自流井组、鄂西一渝东建南地区自流井组为陆相页岩气勘探的有利目标。

3.2.1.1 川东侏罗系

四川盆地东部侏罗系陆相页岩气勘探目前主要集中在川东南涪陵和川东北元坝地区。上述两个地区早、中侏罗世处于半深湖—深湖相富有机质泥页岩发育的有利地区。中侏罗统千佛崖组千二段、下侏罗统自流井组大安寨段、东岳庙段为有利的页岩气勘探层系。

在元坝地区富有机质暗色泥页岩层段在中、下侏罗统均有发育。下侏罗统暗色泥页岩层段主要分布于自流井组东岳庙段、大安寨段。岩性组合为暗色泥页岩夹薄层砂岩或灰岩。东岳庙段泥、页岩厚度为 $70\sim 130\text{ m}$,大安寨段为 $30\sim 70\text{ m}$;有机质丰度:大安寨段总有机碳(total organic carbon, TOC)平均为 1.2% ,东岳庙段平均为 2.09% ;有机质类型均为II₂-III型,以II₂型为主;有机质成熟度: R_o 一般为 $1.50\%\sim 1.80\%$ 。采用泥页岩物性分析(shale rock properties, SRP),东岳庙—大安寨段平均孔隙度为 3.3% ,渗透率为 $0.000\ 09\sim 0.002\text{ mD}$;泥页岩中石英、长石、方解石等脆性矿物平均含量为 $49.7\%\sim 57.5\%$ 。

中侏罗统暗色泥、页岩层段主要分布于千佛崖组二段,岩性组合为暗色泥、页岩夹薄层粉砂岩、细砂岩。厚为 $70\sim 130\text{ m}$,泥、页岩有机质丰度:TOC

平均为 1.15 % ,有机质类型为 II 2 型;有机质成熟度: R_o 为 1.4 % ~ 1.6 % ;SRP 物性分析孔隙度为 4.5 % ,渗透率为 0.000 76 mD;泥、页岩中石英、长石、方解石等脆性矿物平均含量为 48.5 % 。

元坝地区在常规油气勘探过程中注重页岩气的兼探,从 2009 年至今,在大安寨段,元坝 11 井常规测试获日产天然气 14.44 万 m^3 ;元坝 101、元坝 102、元坝 5-侧 1 井酸化压裂测试获日产天然气分别为 13.5 万 m^3 、23.8 万 m^3 和 14.1 万 m^3 。2012 年 3 月 4 日元坝 21 井在大安寨段 4 010 ~ 4 033 m 常规测试,测得日产气 50.70 万 m^3 。元坝 9 井 2010 年千佛崖组加砂压裂,获日产油 16.6 m^3 ,日产气 1.22 万 m^3 ;在自流井组东岳庙段常规测试获日产气 0.35 万 m^3 ,9 月 17 日实施大型水力压裂,压裂后获日产气 1.15 万 m^3 。2011 年针对元坝陆相页岩部署实施该区第一口页岩气水平井—元页 HF-1 井,设计井深 4 951 m,设计完钻层位千佛崖组千二段。该井正在进行中完作业,估计 2012 年 5 月份完成钻探,目前全井共钻遇油气显示 31 m/7 层。

涪陵地区富有机质暗色泥页岩层段主要发育于下侏罗统自流井组东岳庙段、大安寨段。岩性组合为暗色泥、页岩夹灰岩或砂岩。向西南方向,逐渐相变为有机质不发育的浅湖相沉积,涪陵东北部地区圈定暗色泥、页岩发育区面积为 1 567 km^2 。大安寨段页岩平均厚度为 50 m,最厚为 100 m;东岳庙段平均厚度为 25 m,最厚为 51 m。有机质丰度:TOC 平均为 1.44 % ,有机质类型为 II 2 - III 型,以 II 2 型为主;有机质成熟度: R_o 为 1.26 % ~ 1.55 % ,SRP 物性分析平均孔隙度为 5.2 % ,渗透率为 0.000 5 ~ 0.002 mD,泥、页岩中石英、长石、方解石等脆性矿物平均含量为 41.9 % ~ 48.2 % 。

兴隆 1 井在自流井组泥页岩见油气显示 15.9 m/5 层。其中 2 455.00 ~ 2 456.90 m 井段为灰黑色页岩,全烃为 2.7 % ~ 100 % ,槽面见无色针孔状气泡,约占槽面 30 % ,槽面上涨 10 cm。2011 年部署实施页岩气水平井—涪页 HF-1 井,该井 2011 年 12 月 31 日完钻,完钻井深 3 570 m,水平段长为 1 136.75 m。大安寨段泥页岩在水平段油气显示良好,测井解释页岩气层为 717 m,气测全烃值一般为 2 % ~ 13 % ,最高为 88.74 % 。2012 年 3 月 13 日完成水平井十级压裂,压入压裂液总量为 14 890.73 m^3 ,总砂量为 485.76 m^3 ,目前正进行钻塞、试气。

元坝地区元坝 21 井等 6 口井在自流井组、千佛崖组页岩气测试获气,涪陵地区页岩气水平井—涪页 HF-1 井自流井组见良好气显示,表明四川盆地侏罗系陆相页岩具有良好的含油气性,且局部富集高产。经评价,元坝页岩气有利区面积为 1 674 km^2 ,已初步落实元坝 21-101 井富集区面积为 292 km^2 ,涪陵地区东北部页岩气有利区面积为 820 km^2 ,可以预见四川盆地陆相侏罗系页岩气将是我国页岩气发展的重要领域。

3.2.1.2 川西陆相三叠系

川西地区陆相上三叠统须三段和须五段分别以滨海湖沼相及内陆湖泊沼泽相暗色泥岩为主,夹薄煤层和煤线,是川西拗陷最主要的烃源岩。

经评价研究认为,川西新场地区须五段是川西拗陷页岩气富集的可利层段。岩性以黑色、灰黑色页岩为主,夹薄层深灰色细、粉粒岩屑砂岩、黑色碳质页岩、煤层,为一套岸后沼泽为主的湖泊沼泽相沉积。其中暗色泥、页岩厚度达 327 m,占段厚的 65 %。泥、页岩有机碳含量平均为 4.09 % ;有机质成熟度: R_o 平均为 1.41 % ,有机质类型为 III 型干酪根。新场 28 井须五段页岩岩心 X 衍射全岩分析脆性矿物(石英、长石、碳酸盐岩)含量达 79 %。初步估算,新场地区须五段有利面积为 830 km^2 。

通过老井资料复查统计,新场区内钻遇须五段的 51 口井中,页岩气显示 138 层,累计厚度为 825.6 m,其中气层为 26 层,含气层为 68 层,微含气层为 44 层。川罗 562 井须五段泥、页岩气层中途测试获日产天然气 7.62 万 m^3 。2011 年针对须五段页岩部署实施新页 HF-1 井、新页 HF-2 井,目前正在钻进中。

川西地区须五段具有页岩分布面积广,厚度大,埋深适中,有机碳含量高,成熟度适中,生烃强度大的特点,具备良好的页岩气勘探开发潜力。

3.2.1.3 鄂西渝东建南地区

2010 年通过老井复查,重新评价认识,发现建南地区多口井在下侏罗统自流井组东岳庙段有天然气流。在建南构造北高点有利区钻探的建 111 井下侏罗统自流井组东岳庙段钻遇厚约 110 m 的泥页岩,测井解释含气层 42 m/5 层。2010 年 12 月 1 日对建 111 井东岳庙段底部泥页岩段采用大型水力压裂测试获得了日产 3 925 m^3 工业气流。由于该井产水,通过对页岩气排采工艺的探索,建立了页岩气排水采气生产制度,目前该井生产平稳,日产稳定在

2 000 m³左右,已生产1年多。

建111井页岩气获得工业气流后,为落实建南地区页岩气水平井单井产气能力,探索页岩气钻井工程及储层改造工艺技术,部署实施建页HF-1井,该井2011年7月15日水平井完钻,完钻井深为1 777.77 m,水平段长为1 022.52 m。水平段发现气显示942.27 m/4层。后效点火,火焰高为3~7 m,持续时间为10~41 min。9月13日至17日完成7级水平井分段压裂施工。压入总液量为12 037.6 m³,总砂量为603.6 t。10月13日,测试最高日产量为12 300 m³。

建111井试采和建页HF-1井钻探的油气显示进一步证实了东岳庙段在建南地区的整体含气性,依据有机碳含量、有机质成熟度、含气泥页岩的预测厚度、油气显示及裂缝发育程度等指标,对建南三维地震区侏罗系页岩气进行了综合评价,确定I类有利区面积为176 km²,II类有利区面积为641 km²。

3.2.2 海相页岩气领域

中国南方地区古生界黑色高有机质丰度泥、页岩主要发育在下寒武统牛蹄塘组(或荷塘组)、上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组、中一上二叠统孤峰组(或龙潭组)3套主要页岩气勘探层系,及中一下泥盆统、下石炭统2套次要层系。在平面分布上,下寒武统黑色泥、页岩广泛发育在黔中、川南及川西南、湘鄂西及鄂西渝东、皖南泾县—宁国、川北及江汉平原南部;上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组黑色泥、页岩主要分布在川东北、湘鄂西、川东南—黔北、黔东南、江汉盆地南缘地区;中二叠统主要分布于川东和广元—武汉断陷及邻区的台内凹陷;泥、页岩有机质丰度以下寒武统黑色泥页岩最优,其次为五峰组—龙马溪组黑色页岩,中二叠统黑色泥、页岩相对较差,此外在桂中地区中一下泥盆统塘丁组、纳标组和罗富组以及湘中地区下石炭统测水组均有富有机质泥、页岩发育。

针对寒武系页岩2011年在贵州黄平地区部署实施页岩气参数井——黄页1井,该井2011年3月18日完钻,完钻井深2 488 m。在下寒武统九门冲组钻遇优质泥页岩112 m,在泥页岩中发现81 m厚的连续气测异常段,2011年4月30日对九门冲组2 340~2 370 m实施大型清水压裂,压入总液量为1 246 m³,加砂累计量为33 m³,压裂后获得日产418 m³低产气流。

针对下志留统页岩,2011年在重庆彭水—德江褶皱带桑柘坪向斜部署实施彭页1井。该井2011年10月9日钻至井深2 208 m完钻。该井在下志留统龙马溪组下部黑色页岩段气测整体异常,连续厚度为103 m,全烃最高为22.6%,预示该区下志留统泥页岩具有良好的含气性和勘探前景。

针对二叠系泥、页岩,2011年在湘中坳陷涟源凹陷桥头河向斜部署页岩气参数井——湘页1井,该井2011年10月3日钻至井深2 067.65 m完钻。龙潭组—大隆组气测显示8层/53.83 m,全烃最高为5.921%。12月14日对大隆组600~620 m层段进行压裂,累计压入液量为1 631.5 m³,加砂量为82 m³,12月20日日产气2 409.9 m³。

近期海相页岩气勘探表明,我国南方泥、页岩地层普遍具有高演化、高一过成熟的特征。如四川盆地震旦系—下古生界泥、页岩处于高过成熟度阶段, R_o 一般为2.36%~3.39%;上扬子地区志留系页岩 R_o 平均已在2.5%以上,有的地区已近4%,均进入了过成熟演化阶段。南方海相页岩气实际是泥质烃源岩在排烃后未运移出源岩的“残留气”,基本上无后续烃源补给。加上在漫长的地质历史中,我国南方海相地层经历了多旋回构造运动和强烈的后期改造,对油气藏破坏严重,因此,在这种有机质演化程度高,构造运动复杂的地质背景下,保存条件将是中国海相页岩气寻找页岩气藏的关键因素。

3.3 煤层气

中国石化煤层气规模性勘探工作始于2008年5月,主要针对华北石炭—二叠系、南方二叠系和西北侏罗系的延川南、和顺、织金等8个区块开展勘探工作。目前总体处于勘探评价阶段。截至2011年年底已累计完成二维地震2 211 km,钻井112口,进尺 12.7×10^4 m。已在山西和顺区块、延川南区块、贵州织金区块煤层气探井获得了工业气流,并明确了上述3个区块为中国石化煤层气近期勘探开发的主要区块。

延川南区块位于鄂尔多斯盆地的东南边缘,二叠系山西组2号煤是主要勘探目的层,煤层厚为3.9~5.9 m,平均厚度为4.9 m。埋深为800~1 500 m,煤层气有效含气面积为488.5 km²,资源量为357.99亿m³。2010年延1井获日产2 632 m³工业气流后,2011年加大勘探评价和井组排采先导试验力度,截至2011年年底,区内已完成参数井、排采井49口,其中U型水平井1口,已见气井30口,10口

井获 1 000 m³ 以上的稳定工业气流。2011 年向国土资源部油气储量评审办公室提交探明储量 106.47 亿 m³。经过近期勘探,延川南区块煤层气井组试验取得了面积排采和工艺突破,三级储量得到落实,证实具备开发建产的条件。目前该区正开展不同井型产能评价试验,为开发方案编制做准备。

和顺区块位于山西省沁水盆地东缘北部,区块面积为 1 040.4 km²,煤层气地质资源量为 1 267.2 亿 m³。石炭系太原组 15 号煤为勘探主力目的煤层,煤层厚 2.0~9.9 m,平均厚度为 5.71 m,分布稳定,无尖灭现象。2010 年在西寨向斜带实施和 6 井,通过优化射孔、压裂、排采等工程工艺技术获得日产 1 500 m³ 的稳定气流,取得了和顺区块煤层气勘探的突破。目前针对和 6 井区正开展 12 口井小井组试验,并已有 10 口井见气。

织金区块位于贵州省西部,为常规油气矿权区块,登记面积为 7 302 km²。勘探目的层为二叠系龙潭组煤系,该地区煤层具有含水性弱、地应力低、高含气量、多煤层、厚度大、资源量和丰度高等优势,发育多个相对稳定的含煤构造,煤岩变形不强烈,储层压力相对较高的特点,是中国南方煤层气勘探的有利地区。2010 年,织 2 井获最高日产 2 803 m³,稳定日产 1 200 m³,是我国南方地区煤层气勘探的第一口获得工业气流的煤层气井。目前该区块正开展勘探,进一步评价该区煤层气资源。

4 面临的机遇与挑战

4.1 机遇

当前非常规资源正面临较好的发展机遇,一是国家高度重视非常规油气资源的开发与利用,已将非常规资源开发作为我国能源战略中的重要举措之一。二是随着中国经济的快速发展,以及城镇化、工业化步伐的加快,能源需求量不断加大。常规油气资源经过多年的大规模勘探开发,储量和产量增长难度较大,加快页岩油气和煤层气等非常规资源的勘探开发,将有效缓解我国油气供需矛盾。三是环境效益需求。煤炭一直是我国能源主要来源,面临着巨大的温室气体排放压力,加快煤层气等非常规油气勘探开发对于缓解能源压力、促进煤矿安全、提高环境效益具有重要意义。四是美国页岩油气、煤层气等非常规资源的成功开发,提供了可供借鉴的成熟技术和经验,我国在常规油气勘探中,已在水平井钻探、分段压裂等方面积累了一定的经验,具备

了一定的技术基础,通过引进、研发和集成,可在较短时间内形成适应我国地质特点的非常规勘探开发技术。五是中国石化探区非常规油气资源丰富,具有多层系(古、中、新生界)、多领域(海相、陆相、过渡相)、多类型(I、II、III型)、多演化(热演化程度高、中、低)、多成因(生物、热解、裂解成因)等特点,具备非常规发展的资源基础。六是近期勘探工作已在页岩油气、煤层气等非常规领域取得了进展,明确了页岩油气、煤层气的有利勘探区块和建产目标区。

4.2 挑战

在看到非常规油气资源面临发展机遇的同时,还必须清醒地认识到要实现非常规油气资源的大规模商业开发还面临严峻挑战。

1)我国页岩油气藏、煤层气藏等非常规资源类型多样,其形成、富集、演化程度及保存条件与北美相比具有一定的差异性。由于起步相对较晚,前期基础研究工作与国外相比存在不小的差距,导致我国非常规资源认识程度低,制约了其快速发展。

2)非常规资源有效开发取决于关键性技术的突破与应用。以页岩油气为例,北美页岩油气快速发展得益于水平井钻井技术和分段压裂技术等关键性技术的广泛运用。目前我国页岩油气开发的关键技术如水平井分段压裂主要引进国外的技术、工具、材料及配套设备,尽管近年来在某些方面已取得突破,但还处于现场试验、试用阶段,尚未形成有效、成熟的关键技术,制约了页岩油气的快速发展。

3)非常规油气的勘探开发是一个系统的工程,低成本是非常规油气商业化规模开发的关键。我国页岩气、煤层气等非常规资源富集区多位于我国中、西部地区,存在地形地貌条件复杂,水源缺乏,管网资源较少等不利因素,如何降低成本实现规模性商业化开发是当前面临的另一挑战。

5 发展前景展望

中国石化在未来的一段时间内,将立足东部断陷盆地、四川盆地、南方海相、鄂尔多斯盆地四大领域,加大页岩油气、煤层气选区评价力度,加快非常规资源勘探突破,加强勘探开发与工程技术攻关,实现规模建产;积极开展油页岩、油砂等其他非常规资源勘探评价研究,有效推动中国石化非常规资源快速发展。

在页岩油方面,近期将重点开展沾化、东营、泌阳等凹陷的勘探评价和开发试验。到 2015 年力争

实现页岩油勘探及开发试验的突破,形成2~3个规模建产阵地,有望形成40万t页岩油产能阵地。到2020年在济阳拗陷、南襄盆地等地区实现整体规模建产。

在页岩气方面,近期将加快四川盆地及周缘陆相页岩气的勘探评价、开发试验攻关,以形成2~3个页岩气开发示范区。同时继续加大海相页岩气重点目标的勘探评价力度,力争获得突破;到2015年实现年产页岩气17亿m³，“十三五”期间将实现四川盆地及周缘海相、陆相页岩气的整体规模建产。

煤层气方面,近期将以延川南产能建设为重点,同时加快和顺、织金煤层气产能建设准备。预计2015年可建成煤层气产能5亿m³以上。“十三五”期间将进一步加大华北、南方地区煤层气勘探开发力度,形成华北地区石炭系—二叠系中高阶煤、南方二叠系中高阶煤和华北地区低阶煤领域三大建产领域。

可以预计在未来10~20年,中国石化将进一步加强关键性技术攻关、降本增效,在非常规油气资源勘探突破和开发建产试验的基础上,加大开发投入力度,拓展勘探开发领域,将形成页岩油、页岩气和煤层气等多领域突破和多个地区规模建产的局面,成为中国石化油气储产量新的增长点,为中国石化打造上游长板、实现“建设世界一流能源化工公司”的发展目标奠定基础。

参考文献

- [1] Vello Kuuskraa, Scott Stevens, Tyler Van Leeuwen, et al. World shale gas resources; an initial assessment of 14 regions outside the United States[R]. USA: U. S. Energy Information Administration, 2011.
- [2] U. S. Department of Energy. Review of emerging resources: U. S. shale gas and shale oil plays[R]. Washington: EIA, 2011.
- [3] 邹才能, 陶士振, 侯连华, 等. 非常规油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
- [4] 包书景. 非常规油气资源展示良好开发前景[J]. 中国石化, 2008(10): 29-30.
- [5] Richard M Pollastro, Ronald J Hill, Daniel M Jarvie, et al. Assessing undiscovered resources of the Barnett-Paleozoic total petroleum system, Bend Arch-Fort Worth Basin Province, Texas[C]// Online Adaptation of Presentation at AAPG Southwest Section Meeting. Fort Worth, TX, 2003.
- [6] Bustin R M. Comparative analyses of producing gas shales; rethinking methodologies of characterizing gas in place in gas shales[J]. Bulletin West Texas Geological Society, 2005, 45(2): 9-10.
- [7] 龙胜祥, 陈纯芳, 李辛子, 等. 中国石化煤层气资源发展前景[J]. 石油与天然气地质, 2011(3): 481-488.
- [8] 刘招君, 杨虎林, 董清水, 等. 中国油页岩[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [9] 贾承造, 刘希俭, 雷群, 等. 油砂资源状况与储量评估方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- [10] 单玄龙, 刘万沫, 谢刚平, 等. 中国南方沥青(油)砂地质特征与成藏规律[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

The potential and exploring progress of unconventional hydrocarbon resources in SINOPEC

Ma Yongsheng¹, Feng Jianhui¹, Mu Zehui¹,
Zhao Peirong¹, Bao Shujing², Wang Feng²

(1. China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing 100728, China; 2. Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

[Abstract] The unconventional hydrocarbon resources are very abundant within the registered blocks of SINOPEC (China Petroleum & Chemical Corporation). The potential exploration area for coalbed methane (CBM) reaches 101.9 thousand km² and the resource with the buried depth smaller than 2 000 m is 11.02 trillion m³. The potential exploration area for shell gas is 175 thousand km² and the volume is 15.9 trillion m³. The potential exploration area for shell oil reaches 117.6 thousand km² and the resource is huge. Since 2004, SINOPEC has started to

pay attention to unconventional hydrocarbon resources and launched research and exploration on CBM, shale gas and shale oil, etc. Recently, unconventional hydrocarbon resources exploration of SINOPEC has obtained breakthrough and progress. By the horizontal well fracturing section, Biye HF-1 obtains 23.6 m³/d commercial shell oil flow in Biyang Depression. By testing, several continental wells get high-yield commercial shell gas flow in Yuanba Block, and Jianye HF-1 obtains 12 300 m³/d commercial shell gas flow in Jiannan Block. The CBM proved reservoir in Yanchuan south block has reached 10 647 million m³, and lots of wells get commercial CBM gas flow, which makes the pattern of “various resources type” and “multi-stage” exploration and development form on unconventional hydrocarbon resources in SINOPEC.

[**Key words**] SINOPEC (China Petroleum & Chemical Corporation); unconventional hydrocarbon; hydrocarbon resources; exploration

(上接 15 页)

Comparison study on accumulation & distribution of tight sandstone gas between China and the United States and its significance

Tong Xiaoguang¹, Guo Bincheng², Li Jianzhong², Huang Fuxi²

- (1. China National Oil and Gas Exploration and Development Corporation, Petrochina, Beijing 100034, China;
2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

[**Abstract**] The tight gas has already been the important field of the global unconventional resource exploration. The distribution of tight gas in China is very wide; for example, the scale development of Ordos Basin and Sichuan Basin have been achieved. The Rokey Mountain in the United States is the area where the tight gas is well developed. Comparative study on the generation condition and reservoir characters of American tight gas is the useful way to accelerate the development of tight gas and open up the thought of exploration. The result of comparative analysis of tight gas reservoir between China and the United States shows: tight gas of China and the United States has many common characters, for example, most source rock being coal measure strata, tight reservoir, abnormal formation pressure, resource and reservoir intimate contract and gas reservoir gross distribution and so on; otherness is mainly reflected in tight gas source depositional environment, thermal evolution extent, reservoir heterogeneity, densifying factor, the longitudinal and plane distribution characteristics of gas reservoir. The main factors of are the character of depositional basin, sedimentary environment and deuterogene tectonic feature. In allusion to the particularity of Chinese tight gas, the key points of tight gas exploration and development are intensifying reservoir heterogeneity, high grade reservoir forecast, and the study of gas reservoir distribution and striving to make technological breakthrough to increase well cumulative production.

[**Key words**] tight sandstone gas; accumulation condition; differences