

大庆油田及其外围盆地非常规天然气资源勘探潜力

廖群山^{1,2} 徐会建³ 杨建国³ 刘中良¹ 穆献中¹

1.北京工业大学 2.中国石油天然气集团公司咨询中心 3.中国石油大庆油田有限责任公司

廖群山等.大庆油田及其外围盆地非常规天然气资源勘探潜力.天然气工业,2011,31(3):26-30.

摘 要 非常规天然气是油气田重要的资源接替领域之一,研究和探索大庆油田及其外围盆地非常规天然气资源勘探潜力对该油田实现可持续发展具有重要意义。大庆油田及其外围盆地包括松辽盆地北部、海拉尔、大杨树、鹤岗等10多个中生代陆相沉积盆地。通过分析该区油气钻井、煤田钻孔和野外剖面实测资料,结论认为:该区有着较丰富的非常规天然气资源,主要为致密砂岩气和煤层气,前者在松辽盆地北部和各个外围盆地广泛存在,估算天然气资源量达 $1.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$;后者分布在海拉尔、鹤岗、鸡西等外围盆地,预测资源量达 $2.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。该区非常规天然气资源勘探程度很低,大部分地区尚未开展有针对性的勘探工作。建议加强前期研究和勘探选区评价,进行开发先导性试验并开展国内外合作,增强技术储备,探索出有效的勘探开发方式。近期可以选择松辽盆地北部深层致密砂岩气、海拉尔盆地和鹤岗盆地的煤层气作为该区勘探开发非常规天然气资源的突破重点。

关键词 大庆油田 外围盆地 非常规天然气 致密砂岩气 煤层气 资源 潜力

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.03.007

大庆油田已走过半个多世纪的历程,石油勘探程度不断提高,主力探区松辽盆地北部的石油资源探明率已达55%;天然气勘探程度较低,常规天然气资源探明率仅约16%,是近期的重要勘探领域。由于常规天然气资源只占大庆探区油气资源总量的10%左右,要实现可持续发展,创建“百年油田”,还需进一步拓展油气资源勘探开发领域。非常规油气是大庆油田的资源接替领域之一。

1 主要沉积盆地及其非常规天然气类型

非常规天然气一般指的是目前尚不能完全用常规方法和技术进行勘探、开发与加工,或需实施增产措施、特殊开采方法和技术进行开发的天然气资源,主要包括致密砂岩气、煤层气、页岩气、天然气水合物等4大类^[1-2]。

大庆油田及其外围盆地包括松辽盆地北部、海拉尔、大杨树、孙吴—嘉荫、鹤岗、三江、鸡西、勃利、虎林、宁安、延吉等10多个中生代陆相沉积盆地(图1),沉积层以白垩系为主。其中,松辽盆地早白垩世断

陷期发育沙河子组、营城组2套以煤系地层为主的烃源岩,有机质热演化达到高成熟阶段,是盆地的主力气源岩。而其余外围盆地早白垩世沉降速度较大,下白垩统发育以煤系地层为主的烃源岩,但早白垩世末和晚白垩世抬升剥蚀,大部地区缺失上白垩统沉积,古近系—新近系直接覆盖在下白垩统之上。

上述盆地中,三江、鸡西、鹤岗、勃利等盆地下白垩统泥质烃源岩有机质热演化达到高成熟—过成熟阶段,以生气为主。从平面上看,三江、鸡西、勃利等盆地下白垩统碎屑岩沉积特征与松辽盆地下白垩统碎屑岩基本相同,储层岩性均以砂岩或砂砾岩为主,虽然物性较差,但厚度较大,区域分布较稳定,致密砂岩气具备良好的成藏条件,是今后重要的勘探领域。同时,海拉尔、鹤岗、鸡西等盆地下白垩统地层普遍含煤,煤层较厚,含气性较好,大部分地区埋藏适中,煤层气勘探潜力较大。

2 致密砂岩气勘探潜力分析

致密砂岩气是指产自低渗透致密砂(砾)岩储集层中的非常规天然气^[3-5]。20世纪70年代,美国联邦能

作者简介:廖群山,1968年生,高级工程师,注册咨询工程师;2004年毕业于中国地质大学(北京),获博士学位;现在北京工业大学博士后流动站和中国石油天然气集团公司咨询中心从事油气资源战略研究和勘探评价工作。地址:(100724)北京市西城区六铺炕街6号中国石油咨询中心。电话:(010)62069529,13811061639。E-mail:lqs69@petrochina.com.cn

源管理委员会将致密砂岩气的储层原始渗透率界定为低于 0.1 mD;而在我国,致密砂岩气的储层物性标准一般是孔隙度小于 10%、空气渗透率小于 1 mD。要形成一定规模的致密砂岩气藏,须具备 3 个基本条件:①高成熟的烃源岩,气源比较丰富;②低孔低渗的砂(砾)岩储层,分布比较稳定;③相对平缓的构造背景,封盖条件良好。松辽盆地北部深层和三江、鸡西、勃利等盆地这 3 个条件均基本具备。

2.1 松辽盆地北部深层致密砂(砾)岩气

松辽盆地深层是在盆地基底之上形成的一套火山

岩和碎屑岩沉积建造,由上侏罗统火石岭组和下白垩统沙河子组、营城组、登娄库组和泉头组一、二段组成(图 2),埋深一般大于 2 800 m。

松辽盆地深层发育火山石组一段、沙河子组、营城组二段和登娄库组二段 4 套烃源岩,沙河子组暗色泥岩和煤层为主力烃源岩,区内分布广泛,在断陷周边暗色泥岩厚度一般为 100~200 m,沉降中心部位最厚可达 800 m;煤层厚度一般介于几米至 50 m,局部地区超过 100 m,如徐家围子断陷宋 3 井钻揭的煤层累计厚度达 105.5 m。

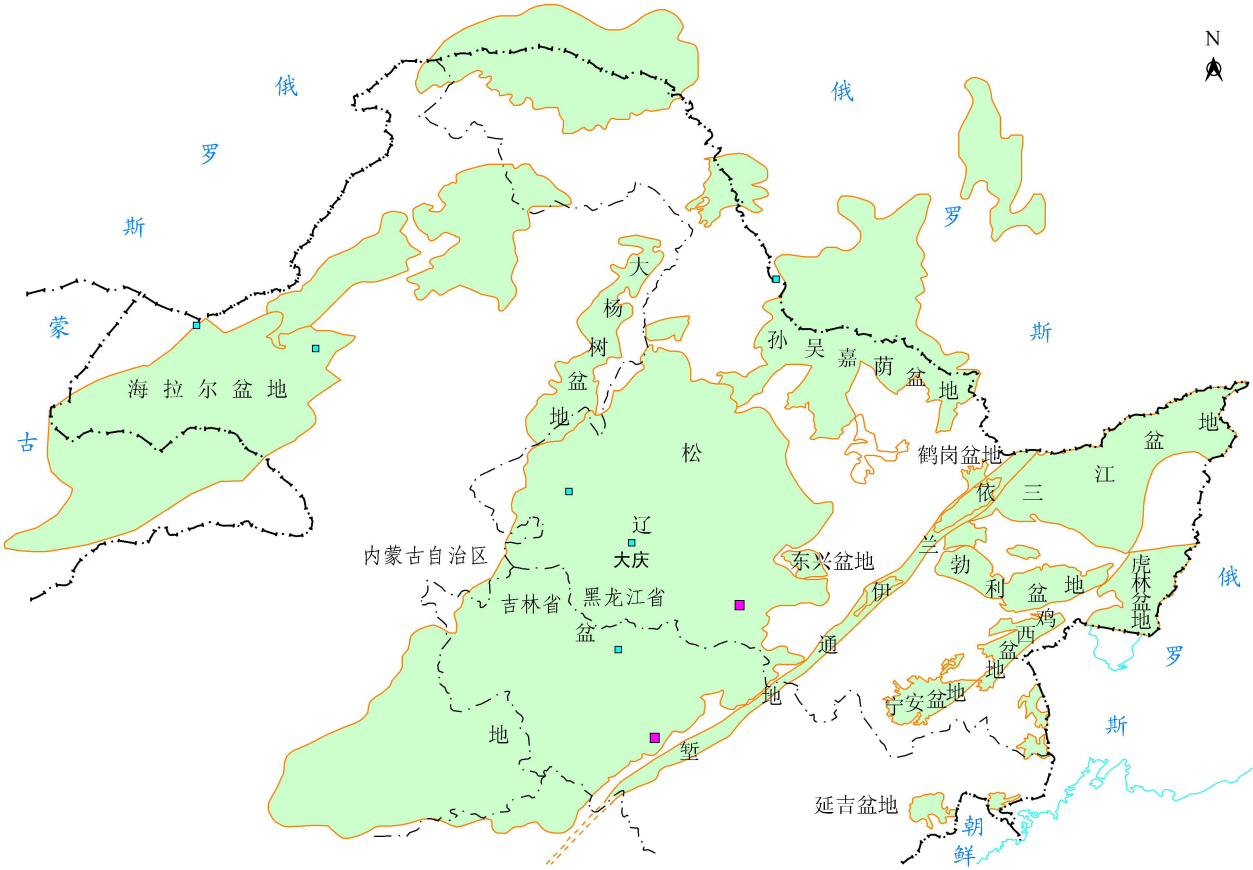


图 1 中国东北地区北部沉积盆地分布简图

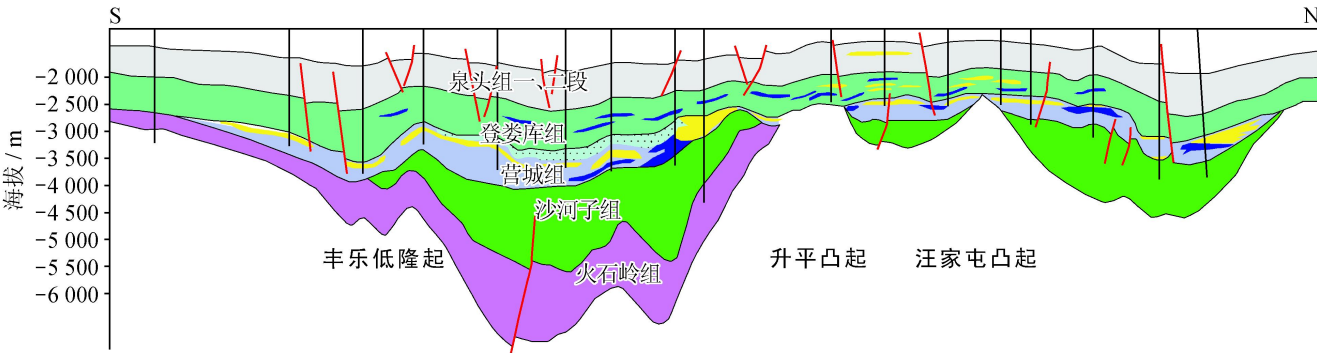


图 2 松辽盆地北部深层南北向横剖面图

沙河子组暗色泥岩烃源岩有机碳含量平均为2.09%,生烃潜量平均达到0.7 mg/g^[6],镜质体反射率 R_o 普遍超过1.3%,处于高成熟—过成熟阶段。根据成因法模拟,徐家围子断陷暗色泥质岩和煤层生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的面积达到1 460 km^{2[7]},占该断陷总面积的30%左右,烃源岩条件良好。

松辽盆地北部深层主要包括徐家围子、双城、古龙、林甸、绥化断陷和古中央隆起带等构造单元,面积约29 000 km²。碎屑岩主要分布于沙河子组、营城组四段和登娄库组,岩性以砾岩和砂岩为主。

2.1.1 营城组四段致密砂砾岩气勘探潜力

营城组四段砾岩是在晚白垩世断陷末期火山群古地貌背景之上发育起来的一套粗碎屑岩沉积,砾石的主要成分是火山岩,含量一般为60%~80%,泥质胶结,结构成熟度低,分选和磨圆均为中等—差,砾径一般为0.5~5 cm,个别为7~10 cm。徐家围子断陷的营城组四段砾岩分布面积近4 000 km²,厚度一般为100~200 m,最大厚度超过500 m;砾岩储层孔隙度一般为2%~6%,渗透率介于0.1~0.5 mD。该储层的气源为下伏的营城组二段、沙河子组及火石岭组烃源岩,上覆登娄库组二段优质泥岩盖层,成藏条件十分有利。

截至2009年底,徐家围子断陷有34口井在营四段砂砾岩进行了试气,其中,28口井获得工业气流或低产气流,呈现出大面积含气特征。2009年针对营四段厚层砂砾岩钻探的第一口水平井——徐深平32井压裂测试获得日产 $19 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产气流。

根据现有资料,保守估算徐家围子断陷营四段致密砂(砾)岩气资源潜力应超过 $1 000 \times 10^8 \text{ m}^3$,推测整个松辽盆地北部营城组四段致密砂砾岩的天然气远景资源量可超过 $3 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.1.2 沙河子组致密砂砾岩气勘探潜力

沙河子组以扇三角洲、水下扇、湖相沉积为主,扇三角洲、水下扇相粗碎屑岩可以形成较大面积的砂砾岩储层。这套储层位于深层主力烃源岩层系内,具备自生自储的有利成藏条件。

徐家围子断陷的沙河子组地层分布面积为3 730 km²,厚度一般介于400~1 000 m,最厚超过1 800 m,埋深一般介于2 800~5 000 m,储层岩性以砾岩、砂岩为主,平均孔隙度为3.7%。该断陷内有75口井钻揭沙河子组,其中,40口井发现了气层,气层单层厚度为1.0~50.2 m,单井气层累计厚度为5.4~56.6 m,总体上表现出含气范围较广、气层厚度较大的特点。已有14口井在沙河子组试气,其中12口获得低产气流。

估算徐家围子断陷和整个松辽盆地北部沙河子组天然气资源量分别为 $800 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.1.3 登娄库组致密砂砾岩气勘探潜力

登娄库组沉积时期是松辽盆地由断陷向坳陷的转换期,盆地水体逐渐变浅,沉积范围逐渐向整个盆地扩张,登娄库组地层超覆在营城组、沙河子组和火石岭组及基底之上。

松辽盆地北部的登娄库组地层厚度一般为200~1 000 m,其中,砂岩和砾岩累计厚度一般为60~300 m,是该区深层分布最广泛、厚度最大的碎屑岩储层。登娄库组一、二段储层岩性以砾岩为主,三、四段则以砂岩为主。登二段砾岩、登三段砂岩孔隙度普遍小于5%,渗透率一般小于0.1 mD;登四段砾岩物性稍好,孔隙度介于8%~12%的占64%,渗透率超过1 mD的达到50%。登娄库组的气源主要为沙河子组等烃源岩所生成的天然气,区域盖层为广泛分布的泉头组二段厚层泥岩。

近几年在松辽盆地南部长岭断陷发现了规模较大的长岭I号登娄库组气藏,其储层岩性以细砂岩为主,岩心孔隙度为2.7%~6.6%,渗透率为0.04~0.242 mD,探明天然气地质储量 $101.55 \times 10^8 \text{ m}^3$,已投入开发。从成藏条件看,松辽盆地北部登娄库组砂砾岩可以形成较大面积的岩性气藏,推测其天然气远景资源量超过 $2 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.2 外围盆地致密砂岩气

2.2.1 鸡西盆地致密砂岩气勘探潜力

鸡西盆地面积为3 870 km²,发育下白垩统城子河组、穆棱组2套煤系烃源岩,暗色泥岩烃源岩普遍达到成熟—高成熟演化阶段,以生成天然气为主,煤层分布较广,变质程度中等,煤阶以气煤、焦煤为主,也是良好的气源岩。

鸡西盆地穆棱组、城子河组砂岩均比较发育,如城子河组由下至上由5个明显的正旋回沉积组成,每个旋回均为粗砂岩(中砂岩)—细砂岩(粉砂岩)—泥岩—煤层(煤线)的沉积特征,每个旋回底部砂岩单层厚度介于10~20 m,是最有利的储集层段。城子河组砂岩岩心孔隙度为0.9%~15%,渗透率为0.03~0.72 mD。以往有9口探井和地质浅井以常规油气藏为勘探对象,钻进过程中在穆棱组、城子河组砂岩见到气测显示,但对这类低孔低渗的致密储层未采用针对性的工艺技术手段,因而没有取得理想的钻探效果。

鸡西盆地的油气资源应以非常规天然气资源为主,估算下白垩统致密砂岩气远景资源量至少超过 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.2.2 三江盆地致密砂岩气勘探潜力

三江盆地面积为 $33\,730\text{ km}^2$, 主要沉积盖层——下白垩统分布在绥滨拗陷内, 穆棱组、城子河组暗色泥岩分布面积分别为 $1\,980\text{ km}^2$ 、 $2\,850\text{ km}^2$, 有机质热演化程度高, 普遍达到高成熟—过成熟阶段。滨1、滨参1井的城子河组、穆棱组砂岩均比较发育, 砂地比为 $33\%\sim 52\%$ 。如滨1井穆棱组砂岩单层厚度一般为 $2\sim 5\text{ m}$, 最大 10 m , 孔隙度 $0.84\%\sim 4.4\%$, 渗透率为 $0.01\sim 6.78\text{ mD}$; 城子河组砂岩单层厚度一般为 $1\sim 3\text{ m}$, 最大为 7 m , 孔隙度介于 $0.9\%\sim 1.7\%$, 渗透率介于 $0.01\sim 6.78\text{ mD}$ 。

近几年计算的绥滨拗陷石油、天然气资源量分别为 $4.66\times 10^8\text{ t}$ 、 $1\,227.74\times 10^8\text{ m}^3$ (李景坤, 2005)。根据成藏条件分析, 三江盆地的天然气资源类型主要是致密砂岩气, 估算远景资源量为 $1\,000\times 10^8\sim 2\,000\times 10^8\text{ m}^3$ 。

2.2.3 外围盆地致密砂岩气总体勘探潜力

勃利、鹤岗、宁安、虎林等盆地的下白垩统成藏条件与鸡西、三江盆地基本一致, 烃源岩普遍达到高成熟—过成熟阶段, 以生气为主; 砂岩比较发育, 储层物性差, 赋存在这类低孔低渗砂岩储层的致密砂岩气和煤层中的煤层气应是主要的油气资源类型。根据地质条件和以往开展的油气资源评价工作成果, 初步预测黑龙江省东部的鸡西、三江、勃利、鹤岗、宁安、虎林等大庆探区外围盆地的致密砂岩气远景资源量合计可超过 $5\,000\times 10^8\text{ m}^3$ 。

3 煤层气勘探潜力分析

大庆油田外围盆地大部分为在古生代基底之上形成的中生代断陷盆地, 从聚煤环境和地质构造条件看, 海拉尔、鸡西、鹤岗等盆地煤层气具有较大的勘探潜力。

3.1 海拉尔盆地

海拉尔盆地面积为 $4.42\times 10^4\text{ km}^2$, 主要沉积盖层为下白垩统铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组和伊敏组。油气钻井和煤田钻孔结果表明, 海拉尔盆地各个断陷普遍含煤, 纵向上, 煤层主要分布在南屯组上段、大磨拐河组上段和伊敏组; 平面上, 以东部的呼和湖凹陷和西部的呼伦湖凹陷煤层最为发育, 单层煤层厚, 累计煤层厚度大, 和4井大磨拐河组上段、南屯组上段单层厚度分别为 11.8 m 和 11.4 m ^[8]; 和1、海参7、海参3、秃1井煤层累计厚度达 100 m 左右, 煤层气形成的物质基础良好。

大磨拐河组上段煤层镜质体反射率为 $0.35\%\sim$

0.7% (属于褐煤—气煤), 含气量达到 $4\sim 8\text{ m}^3/\text{t}$, 埋深一般介于 $750\sim 1\,000\text{ m}$, 适合于煤层气勘探开发; 伊敏组煤层镜质体反射率小于 0.5% (属于褐煤), 含气量在 $1\text{ m}^3/\text{t}$ 左右^[8], 埋深平均为 500 m , 满足煤层气勘探开发对煤层的要求。呼和湖和呼伦湖凹陷主煤层的顶板岩性为互层发育的泥岩和粉砂质泥岩, 平面分布稳定、厚度较大, 封闭性能稳定, 能有效阻止地层水的垂向交替^[9], 有利于煤层气的保存。总体而言, 大磨拐河组上段煤层厚度大、埋藏适中、含气量较高, 是海拉尔盆地煤层气勘探开发的首选层位。由于呼伦湖凹陷地表大部为呼伦湖覆盖, 因此, 呼和湖凹陷是目前海拉尔盆地煤层气勘探的首选地区。

根据全国新一轮油气资源评价 (2005年) 结果, 海拉尔盆地的煤层气资源量为 $1.60\times 10^{12}\text{ m}^3$, 位居全国第九。近几年海拉尔盆地一直以石油为重点勘探对象, 煤层气作为海拉尔盆地常规油藏的接替领域, 应早日开展针对性的前期评价和勘探工作。

3.2 鹤岗、鸡西等盆地

鹤岗盆地面积 $1\,290\text{ km}^2$, 下白垩统城子河组、穆棱组以及上白垩统猴石沟组和下第三系宝泉岭组都分布有暗色泥岩和煤层。其中, 以城子河组煤层最为发育, 煤层累计41层、厚 160 m , 单层厚度大于 3.5 m 的煤层有11层。煤层最大镜质体反射率为 $0.73\%\sim 1.02\%$, 煤阶以气煤、焦煤居多, 含气量为 $6\sim 23\text{ m}^3/\text{t}$, 南山、新一、兴安台矿区平均为 $13\text{ m}^3/\text{t}$ ^[10-11], 大部分地区煤层埋藏深度小于 $1\,500\text{ m}$, 适合于煤层气勘探开发。鹤岗煤田面积为 $1\,100\text{ km}^2$, 已探明煤炭储量 $30\times 10^8\text{ t}$, 整个鹤岗盆地煤炭资源量为 $113\times 10^8\text{ t}$ 。根据有利煤层分布范围、煤层含气量和煤炭储量, 计算得到的鹤岗盆地煤层气资源量为 $631\times 10^8\sim 715\times 10^8\text{ m}^3$ ^[10]。

鸡西盆地主要含煤地层为下白垩统城子河组和穆棱组, 煤层层数多达60余层, 累计厚度介于 $5\sim 50\text{ m}$, 具有煤层数量多、厚度较薄、间距较大的特点。城子河组煤层在全盆地内均有分布, 共有40多层煤层, 以薄煤层为主, 单层最大厚度达 5.21 m 。煤的变质程度为中—低, 以气煤、焦煤和长焰煤为主。盆地内的鸡西煤田是黑龙江省最大的煤田, 包括城子河、穆棱、杏花、麻山、滴道等10多个煤矿, 煤田总面积超过 $3\,000\text{ km}^2$, 已探明地质储量 $66\times 10^8\text{ t}$, 总储量规模达 $178\times 10^8\text{ t}$ 。其中, 城子河西斜井为煤与瓦斯突出矿井, 城子河和杏花2立井为高瓦斯矿井, 根据2001年井下瓦斯抽放资料, 杏花矿相对瓦斯涌出量为 $15.81\sim 56.2\text{ m}^3/\text{t}$, 绝对瓦斯涌出量达 $42.5\text{ m}^3/\text{min}$, 表明煤层的含气量很

高。全盆地的城子河组煤层含气量一般为 $6 \sim 10 \text{ m}^3/\text{t}$, 大部分地区含量都超过 $8 \text{ m}^3/\text{t}$ 。其中, 城子河、杏花矿区根据实测瓦斯压力值计算得到的煤层含气量为 $8.87 \sim 14.57 \text{ m}^3/\text{t}$ [12-13]。城子河、穆棱组煤层大都夹在泥岩地层之内, 尤其是城子河组煤层上部普遍覆盖有 $300 \sim 500 \text{ m}$ 厚的穆棱组泥岩、凝灰岩等细碎屑岩和煤层, 煤层气的顶底板条件和封闭条件良好。根据有利煤层分布范围、煤炭储量和煤层含气量, 计算得到的鸡西盆地煤层气资源量为 $800 \times 10^8 \text{ m}^3$ [14]。

全国新一轮油气资源评价(2005年)对三江—穆棱河聚煤区的煤层气资源进行了评价, 该聚煤区包括牡丹江大断裂以东的鸡西、鹤岗、勃利、七台河、双桦、集贤、绥滨等含煤区, 评价面积为 $2\,565 \text{ km}^2$, 煤层气资源量为 $3\,103 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。而根据有利煤层分布范围、煤炭储量和煤层含气量计算得到的鹤岗、鸡西、勃利、虎林、三江、宁安等大庆探区的黑龙江省东部外围盆地煤层气资源量合计超过 $5\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这些盆地勘探程度目前仍很低, 煤层气地面开发还基本处于空白, 发展的空间很大。同时, 这些盆地的含煤地层特别是城子河组中, 致密砂岩储层都比较发育, 分布也比较稳定, 在发展煤层气产业的同时, 可以将致密砂岩气的勘探开发统筹考虑。

4 结论

1) 大庆油田及其外围盆地有着较丰富的非常规天然气资源, 主要为致密砂岩气和煤层气, 前者在松辽盆地北部和各个外围盆地广泛存在, 估算资源量达 $1.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$; 后者分布在海拉尔、鹤岗、鸡西等外围盆地, 预测资源量达 $2.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。两者合计为 $3.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

2) 松辽盆地北部下白垩统火石岭组、营城组四段、登娄库组3套致密储层岩性以砂砾岩为主, 含气性好, 以往钻探均有不同程度的发现, 估算资源量为 $7\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$, 是大庆探区近期现实的勘探领域。

3) 鹤岗、鸡西、三江、勃利、虎林、宁安等黑龙江东部中生代断陷盆地下白垩统属于煤系地层沉积, 烃源岩普遍达到高成熟—过成熟阶段, 城子河组砂岩厚度大、分布稳定、低孔低渗, 主力煤层连续性好、含气量高、埋藏适中, 估算致密砂岩气和煤层气资源量均超过 $5\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$, 两者可以兼探。

4) 海拉尔盆地各断陷下白垩统地层普遍含煤, 主力煤层大磨拐河组上段和伊敏组厚度大、埋藏深度一般在 $1\,000 \text{ m}$ 以内, 煤质为褐煤—气煤, 含气量较高,

顶底板封闭条件良好, 适宜煤层气勘探开发。全盆地煤层气资源量达 $1.60 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 是下一步勘探的接替领域。

5) 大庆探区非常规天然气资源勘探程度很低, 大部分地区尚未开展针对性的勘探工作。建议根据致密砂岩气和煤层气的资源特点, 加强前期研究和勘探选区评价, 开展开发先导性试验并进行国内外合作, 增强技术储备, 探索出有效的勘探开发方式。近期可以选择松辽盆地北部深层致密砂岩气、海拉尔和鹤岗盆地的煤层气作为大庆探区勘探开发非常规天然气资源的突破重点。

参 考 文 献

- [1] 宁宁, 王红岩, 雍洪, 等. 中国非常规天然气资源基础与开发技术[J]. 天然气工业, 2009, 29(9): 9-12.
- [2] 胡文瑞. 开发非常规天然气是利用低碳资源的现实最佳选择[J]. 天然气工业, 2010, 30(9): 1-8.
- [3] 杨建, 康毅力, 桑宇, 等. 致密砂岩天然气扩散能力研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(6): 76-79.
- [4] 高树生, 熊伟, 刘先贵, 等. 低渗透砂岩气藏气体渗流机理实验研究现状及新认识[J]. 天然气工业, 2010, 30(1): 52-55.
- [5] 熊昕东, 王世泽, 刘汝敏, 等. 致密砂岩气藏储量难动用影响因素及开发对策[J]. 西南石油大学学报, 2008, 29(4): 77-80.
- [6] 冯志强. 松辽盆地庆深大型气田的勘探前景[J]. 天然气工业, 2006, 26(6): 1-5.
- [7] 戴金星. 加强天然气地质研究勘探更多大气田[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(1): 3-4.
- [8] 卢双舫, 申家年, 王振平, 等. 海拉尔盆地煤层气资源评价及潜力分析[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(6): 28-31.
- [9] 孙斌, 邵龙义, 赵庆波, 等. 海拉尔盆地煤层气成藏机理及勘探方向[J]. 天然气工业, 2007, 27(7): 1-4.
- [10] 梁奉奎, 马立军, 王文化, 等. 鹤岗煤田煤层气赋存规律[J]. 煤炭技术, 2001, 20(4): 55-56.
- [11] 杨敏芳, 孙斌, 张丽琳, 等. 鹤岗盆地煤层气赋存特征及勘探开发潜力[J]. 天然气工业, 2010, 30(11): 26-29.
- [12] 张雷. 鸡西煤田城子河—杏花矿区煤层气赋存条件分析[J]. 煤炭技术, 2009, 28(10): 138-139.
- [13] 刘维亮, 夏斌, 蔡周荣, 等. 鸡西盆地下白垩统天然气地质条件[J]. 天然气工业, 2010, 30(2): 40-44.
- [14] 刘玉芹. 勃利盆地煤层气资源评价[J]. 煤炭技术, 2008, 27(8): 126-128.