

“川气东送”工程资源基础与前景

马永生, 蔡勋育, 赵培荣, 罗毅

(中国石化股份有限公司油田勘探开发事业部, 北京 100728)

[摘要] 2007年, 国家“十一五”重大工程“川气东送”工程正式启动, 该项目对改善沿线六省两市能源结构和生态环境具有重大意义。3年后, 勘探开发情况表明, 川气东送的资源基础——普光气田是一个高产优质的大型气田, 同时元坝、通南巴气田规模不断扩大, 南江、镇巴地区显示良好油气勘探潜力。“川气东送”的资源基础是可靠的, 其资源规模正不断扩大, 具有良好的资源前景。

[关键词] 川气东送; 天然气; 资源

[中图分类号] TE8; P618.13 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)05-0073-05

1 前言

2003年4月27日普光1井完钻, 钻获气层279 m, 经完井测试获无阻流量日产天然气 $103 \times 10^4 \text{ m}^3$, 发现了普光气田。经过近几年的评价与落实, 探明储量达到 $4\,051 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2006年7月, 国务院领导正式听取了中石化关于普光气田勘探开发及天然气外输项目的汇报, 将其命名为“川气东送”工程, 并把它作为与西气东输、南水北调、三峡工程、青藏铁路同等重要建设工程。“川气东送”项目于2007年4月9日被国务院正式核准为“十一五”国家重大工程, 并于同年8月30日正式启动。2009年6月, 普光气田主体开发井全部完钻, 共计实施开发井38口。2010年3月29日, “川气东送”工程正式建成投产。

“川气东送”工程, 是“十一五”期间国家建设的一条能源大动脉。它途经四川、重庆、湖北、安徽、江西、江苏、浙江、上海等六省两市(见图1), 干线全长1 700 km, 把川东北地区的天然气输送到长江三角洲地区, 整个工程主要包括普光气田产能建设、普光天然气净化厂建设、川气东送管道建设三大部分。该工程以普光气田为主供气源, 普光外围构造及通

南巴、元坝等地区(见图2)为接替资源, 最终形成年产净化天然气 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生产能力。

“川气东送”工程作为连接西部、中部和东部的能源桥梁和纽带, 实现了供给与需求的衔接, 可以将西部地区资源优势转化为现实的经济效益; 有利于促进我国能源结构的调整优化, 促进经济与环境的进一步发展。通过这一工程, 天然气在沿线地区能源消费结构中的比重将提高2个百分点, 每年可替代燃煤约2 000多万t, 减少二氧化碳排放上千万吨, 减少二氧化硫排放 $24 \times 10^4 \text{ t}$, 并减少氮氧化物的排放; 有利于构建全国天然气骨干网络, 加强与东部地区管网连接, 有望实现多气源联网供气的格局, 进一步保障全国天然气的安全稳定供应。

“川气东送”工程启动后, 引起了国务院领导的高度重视, 温家宝总理批示要把资源基础做实。国家发改委等相关部门也非常关心天然气资源的落实程度, 多次组织有关专家进行论证, 都认为“川气东送”工程资源是落实的, 资源基础是可靠的。尤其是通过近期中石化加大川东北乃至四川盆地勘探开发工作力度, 新的成果进一步显现, 资源规模正不断扩大, 具有良好的发展前景。

[收稿日期] 2010-03-09

[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, 研究方向为沉积学与油气田勘探; E-mail: yongshma@126.com

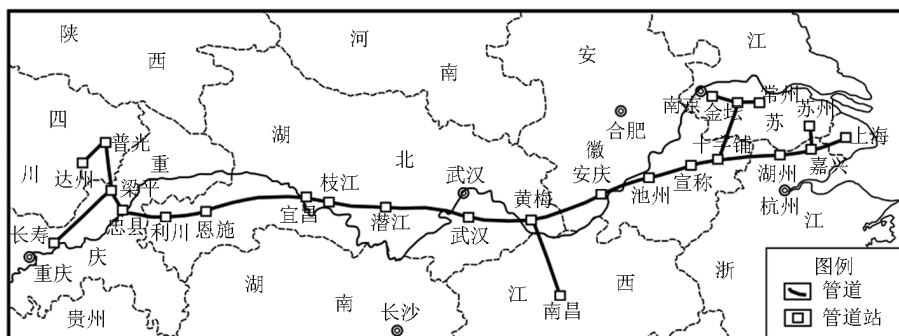


图1 “川气东送”管线走向示意图

Fig. 1 The location of the pipeline

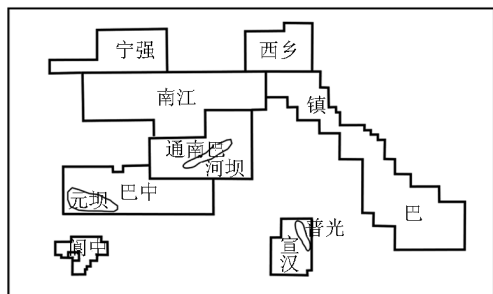


图2 “川气东送”资源区分布图

Fig. 2 The location of the main gas resource area

2 普光气田及周缘地区资源前景

2.1 普光气田主体

2.1.1 气田特征

普光气田属于构造—岩性控制的、弹性气驱带边水的碳酸岩孔隙型高含硫气藏^[1,2]。由普光、大湾、毛坝三个构造—岩性复合圈闭气藏构成。其中以普光主体气藏储量最大,次为大湾、毛坝。普光主体气藏由于被普光3井断层和普光7井断层分割成了普光2井区、普光7-1井区和普光7井区三个次级圈闭,各自形成独立的气藏。这些气藏具有相同的构造背景和沉积背景,相似的圈闭特征、储层特征及压力、温度。

气藏纵向上主要分布在上二叠统长兴组和下三叠统飞仙关组内部,长兴组主要发育有生物礁相和礁滩相储层;飞仙关组主要发育台地边缘浅滩相储层,主要发育在飞一至飞二段和飞三段的下部。在平面上,礁滩相储层受北北西向相变带的控制,有利的相带与北东向的普光—双石庙构造带、大湾—雷音铺构造带和毛坝—双庙场构造带东北段复合构成

了普光、大湾、毛坝3个构造—岩性复合圈闭。

普光气田储集层主要是与鲕滩、礁滩相有关的各种颗粒岩、鲕滩岩等粗粒结构的沉积物,在经历了白云石化、溶蚀作用、准同生—早期成岩作用、深埋藏溶蚀、构造破裂等有利成岩作用改造后形成^[3-6]。孔隙度介于0.94%~28.86%,平均值为8.17%。储集空间主要以晶间溶孔、晶间溶蚀扩大孔、溶洞、鲕模孔、粒内溶孔、晶间孔为最主要的类型。储层孔隙度与渗透率之间具有一定的相关性,气藏裂缝特征不明显,属于似块状的孔隙型气藏(见图3)。

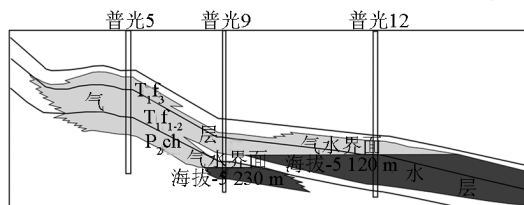


图3 普光气田气藏剖面示意图

Fig. 3 The cross-section of puguan gas field

普光主体气藏属多气水界面大型气藏,由于局部岩性变化导致物性等变化,东区存在两个气水界面,长兴组气水界面为-5230m,飞仙关组气水界面为-5120m,气藏顶部海拔为-4254.96m,气藏高度为975.04m。目前大湾、毛坝气藏内未见水。

普光主体、大湾气藏气层中部压力系数分别为1.00~1.18,气层中部温度梯度1.98~2.18℃/100m,为常压、低温梯度气藏;毛坝4井区气藏压力系数1.27~1.32,气藏温度梯度1.90~1.95℃/100m,呈高压、低温特征。

从完钻井测试天然气组分分析(见表1),普光气田整体是一个高含硫中含二氧化碳过成熟干气气藏。

表1 普光气田天然气分析表

Table 1 The component of gas in Puguang gas field

气藏名称	层位	组分/%			
		甲烷	乙烷	二氧化碳	硫化氢
普光	长兴组、 飞仙关组	74.74	0.089	9.95	14.61
毛坝	飞仙关组	72.79	0.033	8.53	17.4
大湾	长兴组、 飞仙关组	79.2	0.037	8.39	11.31

2.1.2 储量落实情况

2000年,中石化开始组织川东北地区勘探工作。按照“以长兴—飞仙关组礁、滩孔隙型白云岩储层为主的构造—岩性复合圈闭为勘探对象”的新勘探思路,在川东北地区部署高分辨率二维地震,在普光地区普光构造低于构造高点1300m的位置,部署普光1井,获得勘探发现。随后开展三维高分辨率地震详查,测网密度25m×25m。最终在普光地区实施1163km²三维地震,地震主频由30Hz提升至50Hz,频宽提高到10~130Hz,满足了储层预测及相带研究,为后续的勘探开发提供了扎实的基础资料。2005年1月,在普光1,2,4井特别是普光2井主要目的层段332m连续密闭取心资料研究的基础上,上报普光气田主体飞仙关组探明含气面积27.2km²,天然气探明地质储量1143.63×10⁸m³。2006年2月,新增含气面积18.39km²,新增探明天然气探明地质储量1367.07×10⁸m³。2007年2月,新增探明含气面积27.94km²,探明天然气探明地质储量272.25×10⁸m³,气田累计天然气探明地质储量达到2782.95×10⁸m³。2008年底,普光气田已上交国家探明含气面积102.87km²,天然气探明地质储量4050.79×10⁸m³,平均每平方公里储量为39.38×10⁸m³。

2.1.3 开发建产情况

根据总体开发方案,普光气田共计实施开发井38口。通过实施,开发井钻井成功率达到100%。测试后,单井无阻流量达到94×10⁴~705×10⁴m³/d,单井无阻流量大于300×10⁴m³/d的井占总井数93%,达到并超过了开发设计方案80×10⁴~100×10⁴m³/d的配产要求。全部完钻的38口开发井中,32口斜井和直井单井平均钻遇气层厚度309.7m,6口水平井单井平均钻遇气层厚度

501.8m;气层厚度>300m的气井21口,占55.2%;气层厚度200~300m的气井11口,占29.0%;气层厚度<200m的气井6口,占15.8%。上述开发数据证实普光气田是一个储量落实、开发效益高、高产优质的大型气田。

2.2 普光气田周缘地区

普光地区烃源岩发育,以志留系、二叠系、上三叠统烃源岩生烃能力最好,根据地质条件分析和初步估算,普光地区天然气资源量约为8916×10⁸m³,资源丰度为7.98×10⁸m³/km²。该地区为典型复式油气富集区,具有“多层楼”式资源分布格局。从侏罗系到震旦系共12个层组赋存天然气资源。

普光周缘地区飞仙关组、长兴组仍有较大的勘探潜力。在普光气田岩性相变带附近,长兴组、飞仙关组储层仍具有一定分布范围。在毛坝1井飞三段、毛坝3井长兴组已经测试获工业气流。近期毛坝气藏西翼的毛坝7井、毛坝8井长兴组—飞仙关组均钻遇储层,并有良好油气显示。通过毛坝1、毛坝3、毛坝7、毛坝8井、毛坝4连井沉积相剖面对比分析后认为,长兴组—飞仙关组台缘滩相储层在上述地区有往北东方向增厚的趋势,预测在分水岭地区应该发育礁滩相储层。说明岩性相变带边部台地边缘鲕滩、礁滩仍有较大的勘探潜力。

嘉陵江组是重要的勘探层系之一,预测资源量为921×10⁸m³。在普光气田西南的嘉陵江组储层主要为嘉二段暴露浅滩相颗粒白云岩,孔隙度最大达13.49%,平均孔隙度为6.07%,储层物性较好,天然缝洞较发育,储层厚度在12~30m之间,且分布稳定。已在双庙地区双庙1,101,102井嘉二测试获工业天然气流。

上三叠统一侏罗系陆相碎屑岩是普光地区勘探另一个重要层位,油气显示十分普遍,主要分布在沙溪庙、千佛崖、自流井和须家河组。以须家河组油气显示最好。通过对11口井进行测试,10口井在须家河、沙溪庙组获低产气流,展示了其良好的勘探前景。陆相碎屑岩总油气资源量为1000×10⁸m³,已发现付家山等25个局部构造(高点),其中9个重点圈闭面积556.7km²,圈闭总资源量674×10⁸m³。

普光气田南部的清溪场构造上钻探的清溪3井在茅口组测试获得工业气流,一些老井在石炭系钻探有油气显示,说明在普光地区在下二叠栖霞组、石炭系黄龙组也具有较好的勘探前景。

3 元坝地区

元坝地区位于四川盆地东北部,属于川中低缓构造带的一部分。近期,先后在长兴组礁滩相、雷口坡组白云岩,上三叠统一侏罗系钻探获得工业气流,展示了该地区具有良好的资源基础。

3.1 长兴组礁滩相组气藏

长兴组礁滩相气藏发现井元坝1井,于2007年9月钻至井深7 427.23 m完钻,完井后在长兴组测试获得了日产 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产工业气流。随后,通过开展三维地震勘探和一大批勘探井的实施,在多口井获得高产工业气流,目前已基本控制了区域含气面积。

元坝长兴组气藏是由台地边缘生物礁滩及礁后生屑滩叠置连片而成的似层状构造—岩性气藏。钻井资料、三维地震资料及沉积相综合研究表明,元坝地区长兴期存在北西向台地边缘相与陆棚两个沉积相带相变线,气层的分布受具有古隆起背景下的台地边缘环境沉积所控制。

长兴组含气储层厚度在60~100 m。储层岩性主要为溶孔残余生屑白云岩、溶孔白云岩、灰色含云生屑灰岩和残余鲕粒白云岩,储集空间以发育晶间孔、晶间溶孔及溶洞为主,约占总孔隙的70%,其次为裂缝,约占25%,储层孔渗相关性较好,大部分储层渗透率孔与孔隙度呈指数关系。

元坝气藏地层的压力系数为1.01~1.02,温度梯度为 $2.00 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。天然气组分,甲烷83.21%~87.12%,乙烷0.03%~0.06%,硫化氢4.37%~7.18%,二氧化碳6.22%~10.95%。目前已完成测试井均未见水,初步分析气藏总体受构造—岩性控制。综上所述,元坝气田长兴组气藏为:低地温梯度常压高含硫中含二氧化碳、弹性气驱似层状裂缝—孔隙型、构造—岩性气藏(见图4)。

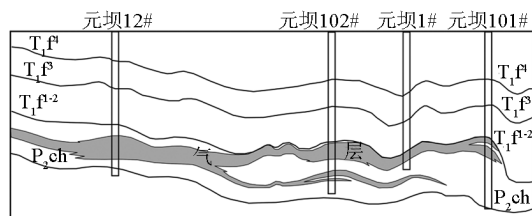


图4 元坝长兴组气藏剖面示意图

Fig. 4 The cross-section of Yuanba gas field

通过钻探证实元坝地区长兴组发育礁滩复合储层、过渡类型储层(礁盖+礁后浅滩)及礁后浅滩三大勘探领域。综合研究认为存在台缘礁滩复合体、

礁后浅滩、礁间滩、台内滩等4种储层类型岩性圈闭,预测含气面积达到 546 km^2 ,资源潜力大。

3.2 雷口坡组白云岩气藏

元坝4、元坝12、元坝2井在雷口坡组顶部测试分别获高产天然气流,取得雷口坡组顶部风化壳白云岩储层新领域的突破。证实元坝地区雷口坡组顶部白云岩风化壳储层具有良好的勘探前景。综合研究认为元坝—通南巴地区雷四段储层受II亚段地层和台地蒸发白云岩相控制,具有大面积分布的特点,主要发育在元坝—通南巴仁和场地区。印支期古岩溶及燕山期—喜山期构造破裂作用对储层具有良好的改造作用,利于优质储层的形成。综合预测元坝地区雷口坡组四段发育多个大型岩性圈闭,圈闭面积达 1363 km^2 ,是元坝地区重要的勘探层系。

3.3 上三叠统一侏罗系陆相层系

元坝地区陆相须一、须二、须四段砂岩及自流井组大安寨段介屑灰岩具有着良好的油气显示,其中元坝3井在须四段、元坝101井在大安寨段介屑灰岩测试获得工业气流,已经取得了多个层系的突破。近期三维地震精细解释表明元坝陆相局部构造发育,形成三排相对构造高带,落实了一批有利圈闭。

4 通南巴地区

通南巴地区烃源岩分布广、厚度大、有机质丰度高,具有良好的生烃能力,总生烃强度为 $60 \times 10^8 \sim 100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,天然气远景资源量达到 $8669 \times 10^8 \text{ m}^3$;圈闭资源量为 $5504 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。近期勘探表明,该地区嘉陵江组二段、飞仙关组三段、上三叠统须家河组、上二叠统长兴组—下三叠统飞仙关组具有丰富天然气资源。

4.1 河坝场地区嘉二、飞三气藏

河坝场地区位于通南巴构造带南部,为一大型断鼻构造,构造圈闭面积 345 km^2 ,发育河坝场、仁和场、元覃三个局部构造。在河坝场构造河坝1井在嘉二、飞三段获得工业气流,其中飞三段常规测试稳定产能 $29.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,酸化测试产量高达 $167 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,地层压力系数2.28;气藏属高压低温、裂缝—孔隙型不含硫过成熟层状气藏。

钻探成果及三维地震资料综合分析认为,嘉陵江组二段鲕滩储层发育受沉积古地貌的影响,具有同期多滩的特征。飞仙关组三段鲕滩具有由西南向东北迁移,具有多期发育、同期多滩、叠合连片展布的特征。河坝场—仁和场总体发育四期滩体。具

有一定的勘探潜力。

4.2 通南巴马路背陆相上三叠统一侏罗系气藏

马路背位于通南巴背斜构造带中部,为一断背斜构造,圈闭面积 111 km²。2006 年,在须四段家河组钻获工业天然气流。马路背陆相上三叠统一侏罗系气藏以自生自储气藏为主,气藏具有构造背景下的岩性控藏特征,气藏具有埋藏浅、不含硫化氢的特点。

4.3 黑池梁地区长兴组—飞仙关组存在礁滩气藏的可能

通南巴北部黑池梁地区与普光—大湾—毛坝台地边缘礁滩处于同一沉积相带。黑池梁北西部露头区以及南部马 2 井钻探资料证实黑池梁地区具有发育长兴组—飞仙关组台地边缘礁滩储层的沉积背景。三维地震资料综合对比分析表明,黑池梁长兴组—飞仙关组地震反射具有与普光气田相类似的台地边缘浅滩反射特征,地震属性综合预测异常体含气特征明显。黑池梁构造的主体表现为鼻状构造。由断裂分割为黑池梁断鼻圈闭和黑池梁北断鼻圈闭两个次级圈闭,预测潜在资源量超过千亿方。

5 外围地区

南江、镇巴地区,属于四川盆地北缘米仓山—大巴山山前带。纵向上,发育多套烃源岩层系,资源前景广阔。目前,中石化正加紧山前带地震攻关、地质

评价研究和风险勘探井的论证。可以预见:上述地区将会取得勘探的新发现。

6 结语

普光气田通过近 7 年的勘探开发,证实气田资源储量是落实可靠的,是一个优质高产的大型气田。同时,中国石化在川东北地区的勘探新发现,进一步夯实了“川气东送”的资源基础。随着勘探开发进程的不断推进,也必将取得更多的新发现,不断满足“川气东送”沿线市场的需求。

参考文献

- [1] 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 9-21
- [2] 马永生, 蔡勋育, 李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 858-865
- [3] 马永生, 郭旭升, 郭彤楼, 等. 四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J]. 地质评论, 2005, 51(4): 477-480
- [4] 马永生, 蔡勋育, 郭彤楼. 四川盆地普光大型气田油气充注与富集成藏的主控因素[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 149-155
- [5] 马永生, 郭彤楼, 赵雪凤, 等. 普光气田深部优质白云岩储层形成机制[J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37(增刊 II): 43-52
- [6] 马永生, 郭彤楼, 朱光有, 等. 硫化氢对碳酸盐岩储层溶蚀改造作用的模拟实验证据——以川东飞仙关组为例[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊): 136-141

The gas resources of the “Gas Pipeline from Sichuan to China Eastern Region” Project

Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Zhao Peirong, Luo Yi

(Exploration and Production Department, SINOPEC, Beijing 100728, China)

[Abstract] In 2007, the “Gas Pipeline from Sichuan to China Eastern Region” Project was officially taken into operation. This project is a great program of the national “11th Five-Year Plan” and has great significance for promoting the energy structure adjustment and for improving the ecological environment of the six provinces and two cities along the line. Three years later, the exploration and development progresses have shown that the Puguang Gas Field, the gas resource base of the “Gas Pipeline from Sichuan to China Eastern Region” Project, is a large scale gas field with high quality and yield. In addition, gas reserves of the Yuanba Field and the Tongnanba Field are growing. Great potential of exploration has also been shown in the Nanjiang and the Zhenba area. Consequently, resource basis with growing reserves of the project is reliant, which assures the broad prospect of the project.

[Key words] “Gas Pipeline from Sichuan to China Eastern Region” Project; gas; resources