中国海相油气田勘探实例之六

四川盆地普光大气田的发现与勘探

马永生
（中国石化南方勘探开发分公司）



马永生

摘　要　普光气田是一个储量规模大、埋藏深、资源丰度高的整装海相气田。气田发现于 2003 年，至 2005 年底累计探明储量 2 510.7×10⁸ m³。普光背斜构造的气藏圈闭面积为 45.6 km²，主要含气层段为下三叠统飞仙关组及上二叠统长兴组礁滩相白云岩。烃源岩为下志留统龙马溪组和上二叠统龙潭组泥岩和页岩。论述了气田的发现和勘探过程及气藏的基本地质特征，总结了它对我国碳酸盐岩和成熟盆地油气勘探的启示。

关键词　四川盆地　普光气田　海相地层　飞仙关组　长兴组　气藏特征　油气勘探史　勘探启示

马永生　1961年生，教授级高级工程师。1990 年毕业于中国地质科学研究院研究生部沉积学专业，获理学博士学位。现任中国石化南方勘探开发分公司总地质师。通讯地址：650023　云南昆明；电话：(0871) 6145226

普光气田是迄今为止中国南方已发现气田中储量规模最大、埋藏最深、资源丰度最高的特大型整装海相气田。它的发现，是深部海相碳酸盐岩地层油气勘探的巨大成果，也是中国海相勘探理论和实践的重大突破。普光大型气田的发现以及由此形成的理论体系与配套勘探技术系列，对中国的石油资源发展战略具有重大意义，它为中国的海相碳酸盐岩油气勘探展现了良好的前景。

1　气田概况

普光气田位于四川盆地东北部宣汉县境内，构造位置处于川东断褶带东北段的双石庙—普光构造带上，为一鼻状构造（图 1）。普光气藏为一构造-岩性复合型大型气藏，气藏圈闭面积 45.6km²，主要含气层段为下三叠统飞仙关组及上二叠统长兴组，均为白云岩储层。主力烃源岩层系为中—下志留统和二叠系。气田发现于 2003 年，至 2005 年底已累计探明储量 2 510.7×10⁸ m³。气田的基本参数归纳于表 1。

2　勘探与发现历程

2.1　早期勘探阶段——未取得实质性突破（20 世纪 50—90 年代）

四川盆地的规模性勘探始于 20 世纪 50 年代，普光气田所在的宣汉—达县地区的勘探也始于此时期。原四川石油管理局及原地质矿产部西南石油地质局曾先后开展了地面地质调查（1∶20 万）、构造详查（1∶5 万）、重力磁力普查（1∶50 万）、构造细测、地震勘探，发现了双石庙、雷音铺、东岳寨等构造，并实施了浅井钻井 10 余口。

20 世纪 80 年代至 90 年代初期，随着川东地区天然气勘探取得重大突破，宣汉—达县地区也开始了大规模的油气勘探，开展了覆盖全区的二维数字地震普查，全区测网密度达 2 km×4 km。选择了当时认为具油气勘探前景的局部构造——东岳寨构造进行了地震详查，测网密度达 1.5 km×1.5 km；并在双庙场构造试验性地开展了 25.6 km² 三维地震勘探。通过这些工作，基本查明了区内的构造格局，并

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

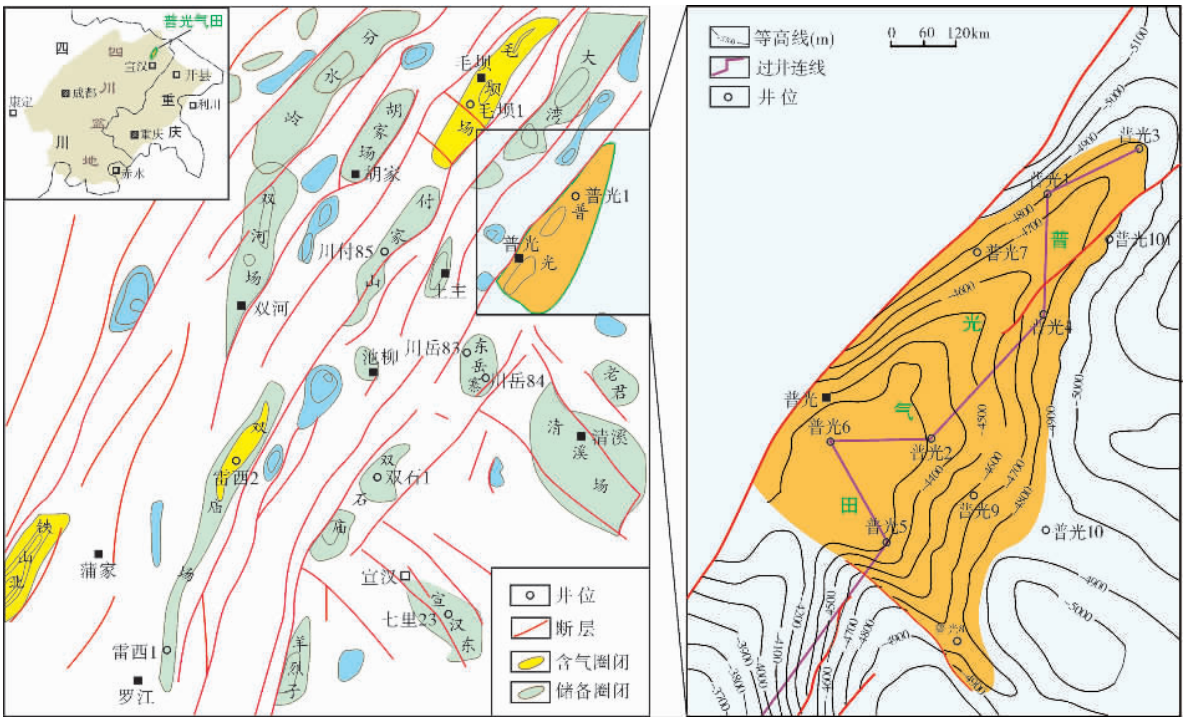


图1 普光气田构造位置与气田飞仙关组四段底构造简图

在东岳寨构造部署施工了川岳83井，于下三叠统飞仙关组二段钻遇裂缝型储层，获工业气流，由此发现了东岳寨含气构造（见图1）。与此同时，原四川石油管理局在研究区的双石庙构造完成双石1井，在双庙场构造完成雷西1和雷西2井，三口深井均钻穿石炭系。此后又在东岳寨构造钻探了川岳84井，在付家山构造钻探了川付85井，在区块东南角的宣汉东构造钻探了七里23井（见图1）。通过这个时期的勘探，完成了工区的地震概查和详查，钻探了深、浅探井共21口，虽然在发现的各构造主高点上都进行了钻探，但均未取得实质性突破。

2.2 探明阶段——转变勘探思路，开展多学科研究（21世纪初）

2000年，中国石化集团进入川东地区勘探，地质家们在对宣汉—达县地区的勘探历程和邻区渡口河、罗家寨、铁山坡等一批高产气田发现历程进行分析总结的基础上，对区内及周边地区的石油地质条件进行了深入研究。研究认为，本区生烃与保存条件是好的，能否发现气田（尤其是大气田）的关键因素在于地下是否发育有优质储层；而前人“开江—梁平海槽”和以构造圈闭为主要钻探目标的认识限制了本区的勘探。为此，又开展了大量的有针对性的野外地质、钻井岩心和区域地质条件研究。研究结果表明，宣汉—达县地区在晚二叠世长兴期—早三叠世飞仙关期沉积的礁、滩相孔隙型白云岩，具备形成油气储层的基本地质条件；本区也是构造-岩性复合型圈闭发育的地区，因此制约气藏规模及储量丰度的主要因素是储层的厚度、分布面积和孔隙发育程度。

基于上述认识，以构造勘探为主的勘探思路已不适应，由此提出了“以长兴组—飞仙关组礁、滩孔隙型白云岩储层为主的构造-岩性复合型圈闭为勘探对象”的勘探思路。针对深层的储层成像，重新部署实施了二维高分辨率地震勘探约1100km，所得高分辨率地震资料有效频带范围大致在8~125Hz，优势频带在20～80Hz，主要目的层附近主频率为50～60Hz；地震反射波特征明显，波形较活跃，断层和构造形态清楚，满足了储层研究和综合评价的需要。此外，以沉积学、层序地层学与储层地质学方法为指导，开展了长兴期—飞仙关期岩相古地理及礁、滩相的展布规律研究，建立了沉积相模式，确定了主要储层类型。同时，在有利相带内，以地质模型为指导，利用地震相分析与特殊处理解释相结合的方法，开展了地质、钻井、测井、地震等多学科、多单位联合的储层横向预测研究工作，圈定了储层发育区，优选了钻探目标、精选了井位。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 普光气田基本参数表

气田名称		普光气田
地理位置		四川省宣汉县境内
区域构造位置		川东断褶带东北段双石庙—普光构造带
发现井（年份） 产 量 无阻流量		普光 1 井（2003） 42.37×10⁴ m³/d 75.20×10⁴ m³/d
首次产气时间		产能建设中
探明地质储量（年份）		2 510.70×10⁸ m³（2005）
可采储量（年份）		1 883.04×10⁸ m³（2005）
储量丰度		55.083×10⁸m³/km²
发现依据		在寻找礁滩相构造 - 岩性复合油气藏的勘探思想指导下，通过高精度地震勘探，预测到普光地区发育有优质储层且含气性好
气藏特征	圈闭类型	构造 - 岩性圈闭
	圈闭形成时间	燕山期
	含气面积（年份）	45.6 km²（2005）
	圈闭高度	490～800 m；平均 645 m
	气藏埋深	5104.5 m（中部）
	气藏厚度	829 m
	天然气来源	中—下志留统，二叠系
	天然气类型	干气
	天然气成分	CH_4 含量：75.52% C_2H_6 含量：0.11% H_2S 含量：15.16% CO_2 含量：8.64%
	地层压力	55.61～56.29MPa；平均 55.95 MPa
	压力系数	1.07～1.18；平均 1.10
	盖层时代与岩性	中—下三叠统膏岩和泥岩
储集层	层 位	下三叠统飞仙关组，上二叠统长兴组
	主要岩性	鲕粒溶孔白云岩，结晶、砾屑和海绵礁白云岩
	沉积环境	鲕滩（飞仙关组）；生物礁滩（长兴组）
	总厚度	214～609.5 m
	有效厚度	66.0～518.8 m
	孔隙类型	溶蚀孔，晶间孔，粒间孔
	孔隙度	2%～29%；平均 7.52%
	渗透率	（0.012~9 664.88）×10⁻³ μm²； 平均：180.04×10⁻³ μm²
	含气饱和度	90%

2.3 普光气田的发现（2003 年 5 月）

普光 1 井于 2001 年 11 月开钻，2003 年 5 月钻达上二叠统长兴组顶部完钻。对下三叠统飞仙关组下部 55 m的储层段进行完井试气，产量达 42.37×10⁴ m³/d，由此发现了普光气藏。随后，对普光地区部署实施了高精度三维地震。利用高品质的地震资料，开展了构造精细解释、储层定量预测，并开展了勘探阶段的气藏描述工作，提出了气藏整体评价部署方案。至 2005 年底，已经在普光构造完钻 7 口井（普光 1、2、3、4、5、6、7 井），已测试的 5 口井均获得高产天然气流。

2006 年 2 月，经国家储量委员会审查批准，普光长兴组—飞仙关组气藏探明储量为 2 510.7×10⁸ m³。由此发现了中国南方迄今为止规模最大、丰度最高的气田——普光大气田。随着评价勘探的进一步深入，气田规模将进一步扩大。

3 气田的主要地质特征

3.1 良好的天然气成藏条件

普光气田的主力烃源岩层系志留系和二叠系相继于早三叠世早、中期进入生烃门限，中侏罗世早期达到生油高峰，中侏罗世晚期或晚侏罗世早期达到过成熟演化阶段，以产干气为主，并一直延续至渐新世。中—晚侏罗世，油气通过断裂（裂缝）、不整合面及各种孔洞缝组合的侧向和垂向的输导体系，向上运移聚集至上二叠统长兴组—下三叠统飞仙关组白云岩储层中形成古油藏。之后，随着进一步埋藏和构造演化，油气藏发生化学改造（原油裂解和硫酸盐热还原反应）和物理改造（晚燕山—喜马拉雅期构造作用，使气藏由北东高、西南低演变为北东低、西南高），由此演变成现今的气藏。普光气田的生储盖关系及岩性特征见表 2。

3.2 典型的构造 - 岩性复合型圈闭

东岳寨—普光背斜带是一与逆冲断层有关的大型断背斜构造，普光气藏即处于该背斜带北段的相对低部位（图 1）。在此构造南高点钻探的川岳 83 井和 84 井，其飞仙关组、长兴组未发现孔隙性储层，而在构造低部位的普光 1 井、2 井、3 井和 4 井却发现了巨厚白云岩储层和高产天然气流。这种差异主要是因台地边缘—台地相沉积与陆棚相沉积的分隔[1~2]。台地边缘相和台地相在地震剖面上的反射清楚表明，相变带两侧的沉积、储层发育完全不同。普光气田的西侧受北东向逆冲断层控制，北侧与东侧受构造线控制，南部受相变带控制，是一受鼻状构造与相变线共同控制的构造 - 岩性复合型圈闭（图 1）。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2 普光气田生储盖层特征简表

地层 统	地层 组(段)		厚度(m)	主要岩性	生储盖关系
下三叠统	飞仙关组	四段	56～88	硬石膏,泥岩,石灰岩,白云岩	盖层
		三—一段	400～520	鲕粒白云岩,残余鲕粒白云岩,糖粒状残余鲕粒白云岩,含砂屑泥晶白云岩	储层
上二叠统	长兴组		92～240	结晶白云岩,生物碎屑白云岩,砂屑白云岩,砾屑白云岩,海绵礁白云岩	
	龙潭组		200～210	石灰岩,页岩	烃源岩
下二叠统	茅口组		181～210	生物灰岩,泥质灰岩	
	栖霞组		100～130	灰岩,生物灰岩	
	梁山组		5.5～7.5	黑色页岩夹砂岩	
中—下志留统			1000～1200	粉砂质泥岩,泥岩,黑色、深灰色页岩	

3.3 深层发育优质白云岩储层

普光气田飞仙关组储层的岩性主要为单一的白云岩(表2,图2)。据钻井密闭取芯资料分析,储层物性以中等孔隙度和中等渗透率为主,储集性较好。储层段孔隙度介于2%～28.86%之间,平均值为8.11%,主要分布于6%～12%。

按照DZ/T0217-2005《石油天然气储量计算规范》中的碳酸盐岩储层评价标准,统计表明,普光气田长兴组—飞仙关组礁滩相白云岩储层以Ⅱ类(良)储层为主,占总储层段厚度的41%;Ⅲ类(中)和Ⅰ类(优)储层分别占29%和23%,Ⅳ类(差)储层仅占7%。

3.4 常压、高含硫化氢

普光1、2、4、5、6井长兴组—飞仙关组各储层段经测试均获得了高产工业气流。测试结果表明,这五口井的飞仙关组和长兴组气层在压力系数、压力—深度关系及温度—深度关系图上具有较好的相关性(图3);表现为同一温压系统,总体呈现出了同一

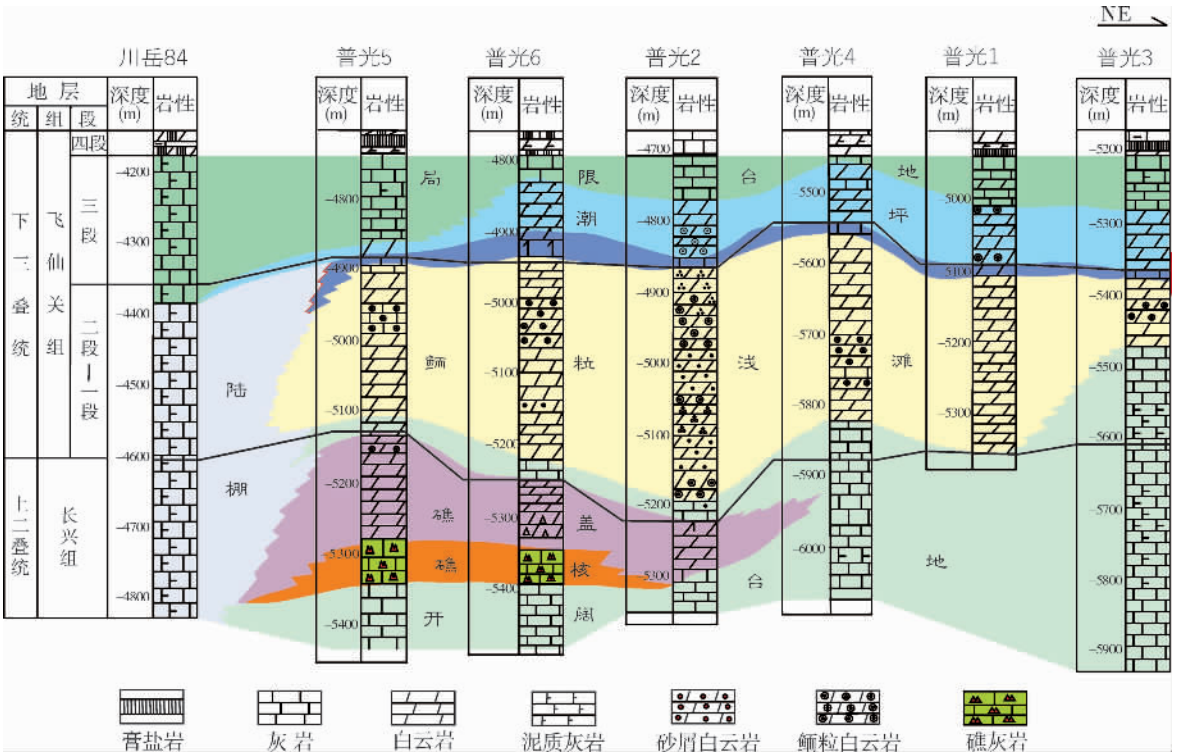


图2 普光气田主要储层段连井剖面
钻井位置见图1

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

个气藏的特点。气层压力系数为 1.07～1.18，平均为 1.10，表现为常压气藏特征。

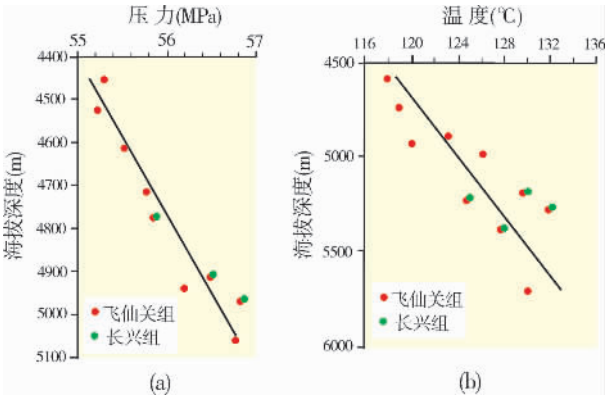


图 3　普光气田深度与气藏压力(a)及温度(b)的关系

据气藏的天然气组分分析，普光 2 井飞仙关组和长兴组上部、普光 1 井飞仙关组、普光 4 井飞仙关组、普光 6 井飞仙关组和长兴组共 8 个测试井段的天然气组分十分相似，其中 CH_4 平均含量 75.52%，C_2H_6 平均含量 0.11%，H_2S 平均含量 15.16%，CO_2 平均含量 8.64%，气藏呈高含硫化氢特点。

3.5　埋藏深度大、储量规模大、资源丰度高

通过对四川盆地 4 个主要含气区近 23 个气田（藏）的对比统计，高峰场气田（石炭系气藏）的现今中部深度为 4 700 m；罗家寨气田(飞仙关组气藏)现今埋藏深度为 3 200～4 600 m；七里北气田（飞仙关组气藏）顶部深度约为 4 900 m；而普光气田（飞仙关组—长兴组气藏）现今中部深度为 5 104.5m，埋藏深度最大。

这 23 个气田已探明储量的范围从 101.7×10^8 m³ 到 $2\,510.7\times10^8$ m³，均超百亿立方米。其中，储量超过 500×10^8 m³ 的有罗家寨气田（探明储量为 581×10^8m³，储量丰度为 7.56×10^8 m³/km²）和普光气田（探明储量 2510.7×10^8 m³，储量丰度为 55.08×10^8 m³/km²）。在中国已发现的大气田中，普光气田的储量丰度仅次于塔里木盆地的克拉 2 气田（59.05×10^8 m³/km²）。

4　启示与意义

4.1　成熟盆地的勘探必须有新思路

四川盆地经历了五十多年的规模勘探，不同时期、不同阶段应用了不同的勘探思路及勘探技术，带来了一系列的发现，油气田遍布盆地四大构造单元。尤其是近几年，在川东的石炭系、下三叠统飞仙关组、上二叠统长兴组[3]，及川西的碎屑岩等勘探领域，大发现仍不断呈现，这说明成熟盆地在新领域、新层系存在巨大的勘探潜力。

回顾总结四川盆地的勘探历程[4]，尤其是近期普光气田的发现，体会到勘探思路的转变与勘探技术的发展是气田发现的关键。前期的天然气勘探以构造圈闭为主要勘探对象，在宣汉—达县地区 1 116 km² 范围内，按照“沿长轴、占高点、打扭曲”的部署原则，已钻深、浅探井 21 口，其中钻达长兴组—飞仙关组目的层的探井 7 口，仅川岳 83 井在飞仙关组二段钻获泥灰岩裂缝型气藏，钻探成功率极低。后期通过勘探思路调整，提出了“以长兴组—飞仙关组礁、滩孔隙型白云岩储层为主的构造 - 岩性复合型圈闭为勘探对象”。按照新的勘探思路和整体规划，部署了二维高分辨率地震勘探，为长兴组—飞仙关组礁滩相储层预测奠定了坚实基础。在礁滩相储层预测评价基础上，2001 年中国石化原南方项目经理部部署了普光 1 井和毛坝 1 井，相继获得了勘探的重大发现。2003 年普光 1 井突破后，立即部署了 456.06 km² 高分辨率三维地震勘探，进一步精细刻画了长兴组—飞仙关组礁滩相优质储层的空间展布，同时又部署了普光 2、3、4、5、6 等评价井，基本落实了普光大气田。普光大气田的发现，为经过数十年规模勘探的成熟盆地提供了很好的勘探范例。

4.2　强化基础研究是勘探思路转变和油气发现的前提

石油地质学最初源于野外地质，而在科技不断发展的今天，仍离不开传统的野外地质工作。在勘探之初，通过露头与钻井层序地层、沉积体系分析，在存有争议的长兴组与飞仙关组之间的白云岩中发现多种䗴类、蕉叶贝及二叠系长兴组标准化石 Hindeodus lartidentatus、Hindeodus typicalis 等牙形石，证实这套白云岩应归属于二叠系长兴组，从而建立了不同沉积相带的时空配置和沉积模式，证实其为有利于礁滩相储层发育的台—棚区，突破了“开江—梁平海槽”的已有认识，拓展了四川盆地的勘探领域，为发现普光大气田奠定了基础。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.3 应用针对性的勘探技术促进大气田的发现

普光大型气藏的发现，除了地质上敢于突破认识上的禁区外，重要的一点是得益于高精度地震勘探技术及地震储层预测技术的发展。

山地地震勘探技术逐步完善，形成了一定的技术系列，地震采集方面针对复杂地表条件和复杂构造带的成像，在选线方法、激发条件、炮井钻井、参数设计处理等方面，采用了针对性的技术方法，勘探效果明显改善。

地震储层预测技术有了长足进步。宣汉地区高精度二维、三维地震所获资料的主频率在60～80 Hz，由于有了好的资料基础，通过合成记录精细层位标定，结合波阻抗、地震相分析、储层地质建模等，较准确地解决了储层分布、厚度、孔隙度及含气性问题，可以预测10 m以上储层厚度和Ⅰ类、Ⅱ类优良品质储层的分布区。尤其是鲕滩储层识别技术，总结了鲕滩储层地震响应的亮点特征及储层反演特征；使探井成功率大于90%。

普光气田的重大发现及形成的勘探与配套技术系列，带来了四川盆地新一轮的储量增长高峰，并将有力地指导和促进四川盆地乃至整个南方海相碳酸盐岩地区勘探的发展。

参 考 文 献

1 马永生，田海芹. 碳酸盐岩油气勘探. 山东东营：石油大学出版社，1999
2 马永生，刘波等译. 碳酸盐岩层序地层学. 北京：海洋出版社，2003
3 马永生，牟传龙，郭彤楼等. 四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布. 地学前缘，2005，12(3)：179～185
4 胡朝元等. 中国中部大气田研究与勘探. 北京：石油工业出版社，1995

收稿日期：2006-03-20
编辑：赵国宪

Cases of Discovery and Exploration of Marine Fields in China (Part 6):

Puguang Gas Field in Sichuan Basin

Ma Yongsheng

Abstract: Puguang Gas Field was discovered in 2003 in Sichuan Basin. It is the gas field that has the largest scale of reserves, the largest buried depth and highest reserves abundance. Till to the end of 2005, it has the proved gas reserves in-place of 251.07×10⁹m³ and the gas trap in Dongyuzai-Puguang anticline covers an area of 45.6km². Main gas-bearing reservoirs are Lower Triassic Feixianduan and Upper Permian Changxing reef-shoal facies dolostone. Hydrocarbon derived from Lower Silurian Longmaxi and Upper Permian Longtan sandy mudstone and shale. The discovery and exploration history of the field, geological characteristics of the gas reservoir and the exploration revelation to the carbonate reservoirs are revealed.

Key words: Puguan Filed; Gas field; Marine formation; Characteristics of reservoir; Exploration history; Sichuan Basin

Ma Yongsheng: male, Droctor, Senior Geologist. Add: Southern Exploration & Development Branch Company, SINOPEC, Kunming, Yunnan, 650023 P.R.China

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net