

文章编号: 0253-2697(2010)03-0347-08

四川盆地大中型天然气田分布特征与勘探方向

马永生¹ 蔡勋育¹ 赵培荣^{1,2} 罗毅^{1,2} 张学丰³

(1. 中国石油化工股份有限公司油田勘探开发事业部 北京 100728; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院 北京 100083;
3. 北京大学石油天然气研究中心 北京 100871)

摘要: 四川盆地是中国最早开展天然气勘探开发和综合利用的地区。经过 50 多年的工业性勘探开发,发现了 27 个大中型气田,建成了中国第一个超 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 产能的天然气生产基地。勘探及研究表明,四川盆地大中型气田主要集中分布在二叠系和三叠系,以孔隙型、裂缝—孔隙型气藏为主,并已形成了几个大型气田群。认识创新、思路创新和技术进步是四川盆地勘探发展的关键。通过总结四川盆地大中型气田的分布特征,进一步探讨了盆地勘探发展的方向,指出川东及川西的深层超深层、川东及川中陆相中浅层、山前带、嘉陵江组鲕滩和大型区域不整合等是下步勘探的重点领域。

关键词: 四川盆地; 大中型气田; 深层超深层; 山前带; 区域性不整合; 勘探领域

中图分类号: T E122 1

文献标识码: A

Distribution and further exploration of the large medium sized gas fields in Sichuan Basin

MA Yongsheng¹ CAI Xunyu¹ ZHAO Peirong^{1,2} LUO Yi^{1,2} ZHANG Xuefeng³

(1. *Sinop ec Exploration and Production Department, Beijing 100728, China;*

2. *School of the Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *Institute of Oil & Gas, Peking University, Beijing 100871, China)*

Abstract: Sichuan Basin is the place in which natural gas was firstly explored and comprehensively utilized in China. 27 large medium sized gas fields have been discovered and the gas production capacity more than $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ has been constructed on the basis of over 50 years of industrial exploration and production. The large medium sized gas fields are mainly distributed in eastern and western Sichuan Basin, and the main reservoir is Permian and Triassic. The porous types of reservoir is porosity and porosity fractured. Innovative understanding, creative ideas and developed technology are three key factors controlling the development of the exploration within the basin. This research summarizes the distribution characteristics of the large medium sized gas fields, and some advises are proposed for further exploration in this basin. It is pointed out that the deep and super deep reservoirs such as Permian and Triassic in west and east, middle shallow reservoirs of Triassic continental deposit in east and middle, piedmont zone, Jialingjiang Formation oolitic shoals and regional unconformities are important regions to explore in Sichuan Basin.

Key words: Sichuan Basin; large medium sized gas fields; deep and super deep reservoirs; piedmont zone; regional unconformity; exploration region

四川盆地是中国大型富含天然气盆地之一,是一个典型的多期构造叠合盆地。盆地经历了两大构造沉积旋回,即震旦纪—中三叠世被动大陆边缘构造演化阶段和晚三叠世—始新世前陆盆地及拗陷演化阶段,沉积了巨厚的震旦纪—中三叠世海相碳酸盐岩(4~7 km)、晚三叠世早期海陆过渡相(300~400 m)和晚三叠世中期—始新世陆相碎屑岩(2~5 km)。四川盆地纵向上发育了中生界陆相成藏系统、上古生界海相成藏系统及下古生界海相成藏系统三大成藏系统,有效勘探面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

四川盆地的大规模勘探始于 1953 年^[1],相继发现

了威远、大池干、罗家寨等大中型气田,建成了中国第一个产能超过 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的天然气生产基地。2001 年以来,又先后发现了普光、广安、合川和新场等大型气田,据统计,2002—2008 年,年平均探明天然气储量均超过 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$,形成了四川盆地天然气勘探又一个高峰期。基本明确了震旦系、石炭系、二叠系、三叠系等主要含气层系,形成了川东、川西、川南和川中 4 个含气区^[2-3]。近 10 年来,四川盆地天然气勘探开发的迅速发展主要表现为:①探明天然气储量快速增长;②天然气年产量不断增加;③发现了一批大型、特大型气田;④勘探向深层超深层及新领域不断拓展。

作者简介: 马永生,男,1961 年 9 月生,1990 年获中国地质科学院博士学位,现为 中国工程院院士,中国石油化工股份有限公司教授级高级工程师,主要从事储层沉积学与油气田勘探研究和管理工 作。E-mail: yongshma@126.com

随着“川气东送”工程的建成投产,四川盆地天然气工业又进入了一个新的发展时期。

1 大中型气田分布特征

截至 2008 年底,国土资源部矿产储量委员会公布四川盆地已发现 125 个天然气田(图 1), 累计探明天然气地质储量 $17\ 225.02 \times 10^8\text{m}^3$ 。其中, 探明储量大于

$300 \times 10^8\text{m}^3$ 的大型气田有 14 个, 累计探明天然气地质储量 $12543.26 \times 10^8\text{m}^3$, 大型气田探明储量占盆地天然气总探明储量的 72.8%; 探明储量 $(100 \sim 300) \times 10^8\text{m}^3$ 的中型气田有 13 个, 累计探明天然气地质储量 $2549.42 \times 10^8\text{m}^3$, 中型气田探明储量占盆地天然气总探明储量的 14.8%。大中型气田累计天然气探明储量 $15\ 092.68 \times 10^8\text{m}^3$, 占盆地天然气总探明储量的 87.6%。

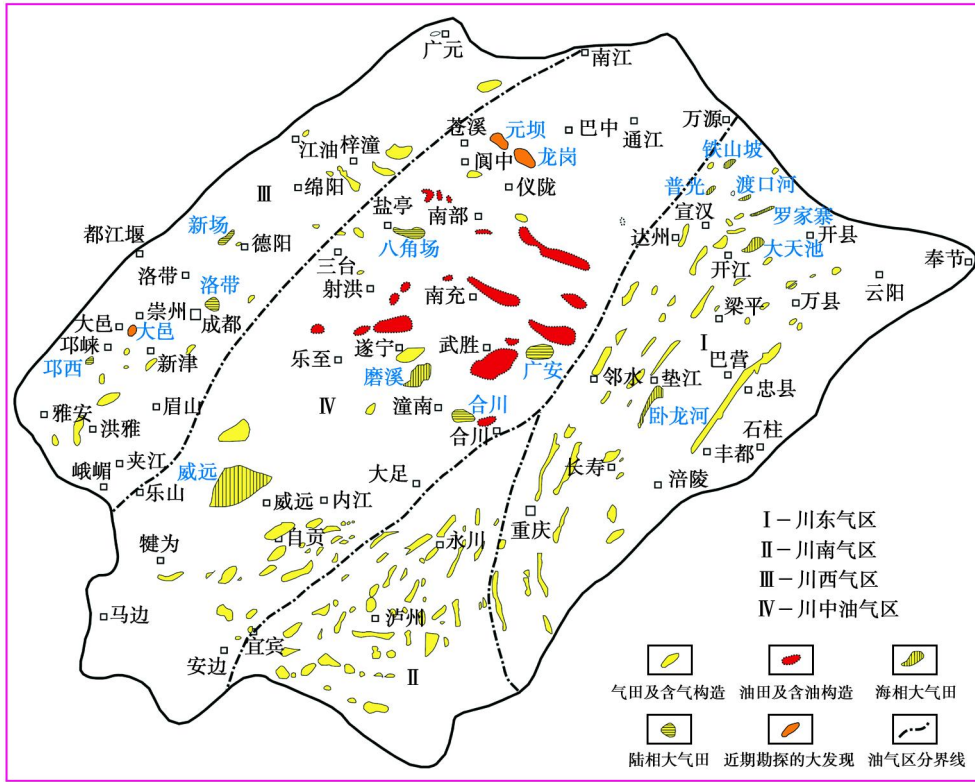


图 1 四川盆地油气田分布简图

Fig. 1 The location of oil and gas fields in Sichuan Basin

1.1 纵向分布特征

对 27 个大中型气田分布层位的统计表明(表 1), 已发现的气田具有多产层的特点, 且主要集中在二叠系和三叠系。在四川盆地至今未发现单一产层的气田, 气田一般具有 2 个以上的产层。已发现的海、陆相产层多达 24 个, 其中海相产层 17 个, 陆相产层 7 个。含气层位自老至新为震旦系灯影组、石炭系黄龙组、二叠系长兴组—三叠系飞仙关组、三叠系嘉陵江组—雷口坡组、三叠系须家河组—侏罗系, 其中海相长兴组—飞仙关组气藏探明储量占总探明储量的 37%, 陆相三叠系须家河组—侏罗系气藏探明储量占总探明储量的 34%, 石炭系黄龙组气藏探明储量占总探明储量的 13%, 三叠系嘉陵江组—雷口坡组气藏探明储量占总探明储量的 14%, 震旦系灯影组气藏探明储量占总探明储量的 2%。值得注意的一个现象是, 随着勘探技术的发展, 四川盆地陆相和海相深层超深层领域

天然气发现规模在不断扩大, 如新场须家河气藏以及元坝、龙岗等大型含气构造的储量规模都超过了千万方, 因此, 深层超深层领域值得进一步加大勘探与评价。

1.2 平面分布特征

四川盆地大中型气田在平面上具有成群分布特征, 目前已在川东、川西含气区形成了环开江—梁平陆棚长兴—飞仙关组、川东石炭系、川西三叠系须家河组—侏罗系等多个大型气田群。

1.2.1 环开江—梁平陆棚长兴—飞仙关组大型气田群

自 1995 年在川东北渡口河发现飞仙关组鲈滩气藏到 2008 年底, 在川东北地区共发现 18 个气田, 其中大型气田有普光、罗家寨、铁山坡、渡口河气田, 中型气田有七里北、铁山等气田, 累计探明储量 $6\ 051.15 \times 10^8\text{m}^3$, 占盆地天然气总探明储量的 35%, 形成了川东北二叠系—三叠系大型气田群。尤其是 2007 年发现

的元坝、龙岗大型含气圈闭, 经过 3 年的评级勘探, 已得到初步落实, 预计环开江—梁平陆棚气田的探明储量规模还有一个快速的增长时期。该大型气田群形成的关键控制因素有^[4,6]: ①有利的沉积相带及优质储层

的发育是天然气富集高产的关键。长兴—飞仙关期在环开江—梁平陆棚两侧发育台地边缘浅滩、生物礁、开阔台地及蒸发台地相等, 其中以台地边缘暴露浅滩相为主, 有利于礁滩储层的形成与发育(图 2), 经准同

表 1 四川盆地大中型气田特征

Table 1 The features of the large medium sized gas fields in Sichuan Basin

气田规模	气田名称	探明储量/ (10 ⁸ m ³)	含气层位	储集岩类型	主要气源岩	天然气成因类型
大型	普光	4050.79	T, P	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	广安	1355.58	T _{3x}	碎屑岩	P ₂ 煤系	煤型气
	合川	1187.06	T _{3x}	碎屑岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	大天池	1067.55	T, P, C	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	新场	843.02	J	碎屑岩	T ₃ 煤系	煤型气
	罗家寨	797.36	T, P, C	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	磨溪	702.31	T	碳酸盐岩	P ₂ 煤系	煤型气
	卧龙河	408.86	T, P	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	威远	408.61	P, Z	碳酸盐岩	∩ 海相泥页岩	油型气
	铁山坡	373.97	T	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	渡口河	359.00	T	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	八角场	351.07	J, T	碎屑岩	P ₂ , P ₃ 煤系	煤型气
	洛带	323.83	J	碎屑岩	T ₃ 煤系	煤型气
	邛西	323.25	J, T	碎屑岩	P ₂ , P ₃ 煤系	煤型气
中型	七里北	282.21	T, P	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	白马庙	268.72	J	碎屑岩	T ₃ 煤系	煤型气
	大池干	258.71	T, P, C	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	高峰场	227.26	C, T, P	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	七里峡	225.48	C	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	荷包场	222.12	T _{3x}	碎屑岩	P ₂ 煤系	煤型气
	铁山	187.82	T, P, C	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	中坝	186.30	T _{3x} , T _{2l}	碎屑岩、碳酸盐岩	T ₃ 煤系	煤型气
	马井	175.58	J	碎屑岩	T ₃ 煤系	煤型气
	新都	175.32	J	碎屑岩	T ₃ 煤系	煤型气
	充西	136.35	T _{3x}	碎屑岩	P ₂ 煤系	煤型气
	福成寨	103.30	T, C	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气
	建南	100.25	T, P	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、灰岩	油型气

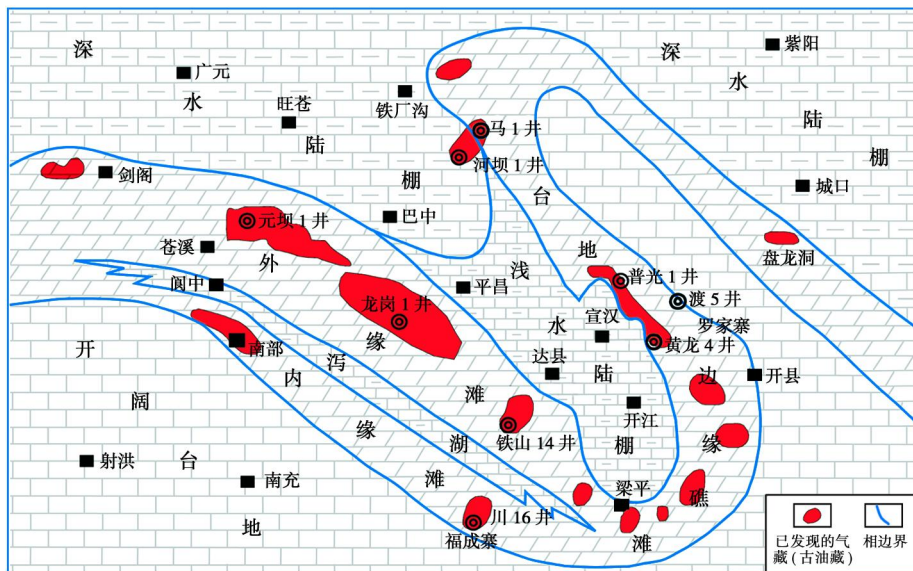


图 2 川东北地区飞仙关—长兴期岩相古地理特征

Fig. 2. The lithofacies paleo geography of Feixianguan Changxing period in Northeast of Sichuan Basin

生—早期成岩溶蚀作用和深埋期溶蚀作用的进一步改造,形成了主要岩性为鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩、糖粒状残余鲕粒白云岩的优质储层。在普光地区埋藏深度超过 5 500 m 的情况下还有 200~ 300 m 厚优质孔隙性储层分布,在罗家寨、铁山坡、龙岗、元坝等地区随着原始沉积环境的变化,储层厚度为 30~ 170 m; ②气源充足。川东北地区是四川盆地志留系、二叠系龙潭组主力生烃凹陷,生气中心位于通南巴—罗家寨一带,生气强度为 $(50\sim 125)\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$; ③发育大型构造岩性复合型圈闭。陆棚东侧的普光、罗家寨、铁山坡等气藏受礁滩岩性体与背斜构造双重因素控制,陆棚西侧的元坝、龙岗等气藏主要受大型平缓斜坡上的礁滩相岩性圈闭控制,上覆嘉陵江组膏盐岩对气藏的保存起到了关键作用。

1.2.2 川东石炭系大型气田群

自 1957 年发现卧龙河石炭系黄龙组含气层,1977

年相国寺构造相 18 井发现石炭系气藏以来,川东石炭系成为四川盆地天然气增储上产的重点层系。到 2008 年底,共发现 19 个气田,其中大型气田有大天池气田,中型气田有大池干、高峰场、七里峡和福成寨气田。川东石炭系累计探明储量 $2\,291.16\times 10^8\text{ m}^3$,占盆地总探明储量的 13%,形成了川东石炭系大型气田群。该大型气田群形成的关键控制因素有: ①继承性发育的印支—燕山期开江—泸州古隆起控制了石炭系黄龙组地层的剥蚀与风化壳储层的发育及分布范围,石炭系储层是上石炭统黄龙组碳酸盐岩孔隙性储集层,残余厚度一般 20~ 40 m(图 3),储层主要岩性为白云岩和石灰岩。同时,古隆起区也成为天然气运移聚集的主要指向区,已探明的石炭系大中型气田均分布在隆起—上斜坡部位; ②气源充足。石炭系气藏主要气源层是志留系的黑色页岩,平均厚度为 400 m,平均生烃强度为 $34\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$,据三次资评计算石炭系

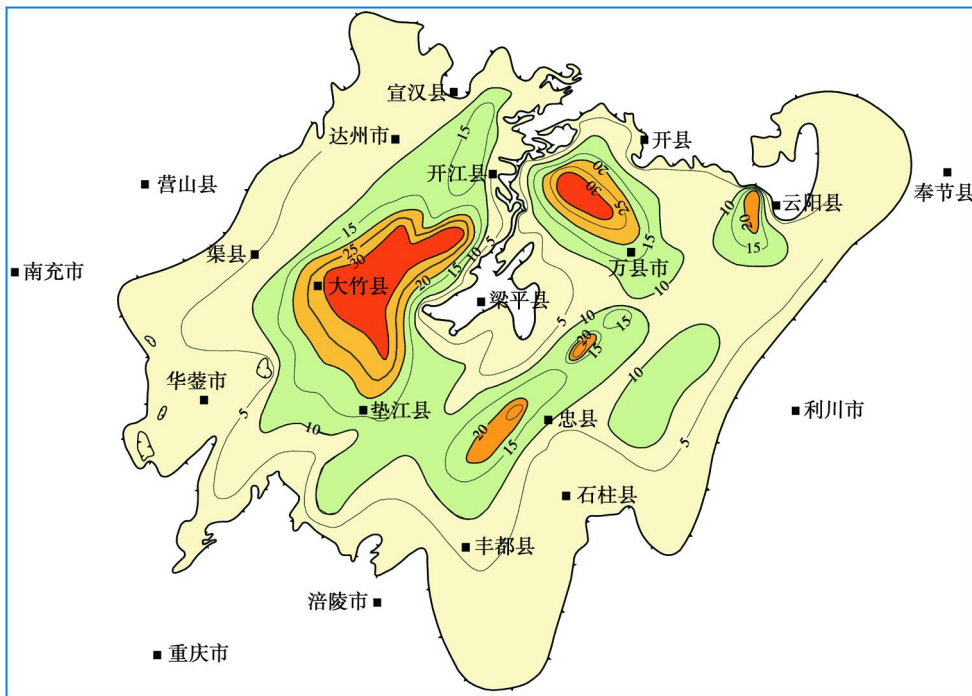


图 3 川东地区石炭系储层有效厚度分布

Fig. 3 Distribution of Carboniferous effective reservoir thickness in East of Sichuan Basin

残存区及周围地区资源量达 $14\,307\times 10^8\text{ m}^3$,气源十分丰富; ③圈闭类型有利。受古构造与风化剥蚀双重因素的影响,石炭系圈闭类型主要有地层—构造和地层—岩性复合型圈闭两大类。储层具有低孔、中—低渗、非均质强等特点,发育次生溶蚀孔隙。石炭系气藏上覆的高压封存体系,对气藏的保存起到了关键作用。

1.2.3 川西陆相须家河组—侏罗系大型气田群

在川西陆相大型气田中,新场气田是最先发现的。

自 1985 年在孝泉构造钻探川孝 106 井发现中侏罗统沙溪庙组气藏后,20 世纪 90 年代先后在新场气田东部和西部发现下侏罗统千佛崖组气藏和上侏罗统蓬莱镇组浅层气藏,2006 年又发现了深层须家河组气藏(最新勘探成果表明,其须家河组气藏储量规模可能超过 $2\,000\times 10^8\text{ m}^3$),新场成为了纵向多层系成藏的大型气田。川西陆相层系经过 20 多年勘探,成为四川盆地天然气增储上产的重点层系之一。到 2008 年底,共发现 19 个气田,其中大型气田有新场、洛带和邛西气田,

中型气田有白马庙、中坝、马井和新都气田,累计探明储量 $2.31484 \times 10^8 \text{ m}^3$,占盆地总探明储量的 13.4%,形成了川西陆相大型气田群。该大型气田群形成的关键控制因素包括:①继承性发育的燕山期—喜山期古隆起、古构造对陆相气藏的分布起到关键控制作用。如鸭子河—孝泉—丰谷 NEE 向构造带在燕山中、晚期为低幅度隆起,喜山期形成现今构造格局,是天然气长期运移聚集的指向区。该构造带从深层须家河组(埋深约为 4600 m)到上侏罗统蓬莱镇组(埋深约为 300 m)各层均有构造圈闭存在;②不同时期发育的古河道及砂岩储渗体是气藏富集的重要因素,裂缝是高产的关键条件。陆相气藏的储层主要分布在侏罗系和上三叠统,受不同时期古地理环境的控制,发育有多套以河流相沉积为主的砂岩储渗体,主要产层有侏罗系蓬莱镇组、沙溪庙组、千佛崖组和三叠系须家河组。除蓬莱镇组储层属常规储层外,其他储层均为致密砂岩储层,整体上具有低孔、低渗、非均质性强的特征,裂缝对天然气高产起到重要作用;③充足的气源和多期构造运动调整是陆相天然气聚集成藏的关键。川西坳陷沉积了近万米厚的陆相碎屑岩地层,尤其是巨厚的须家河组煤系地层是陆相气藏的主要气源岩,须家河组平均生烃强度达到 $110 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。据三次资评计算川西坳陷须家河组资源量达 $12307 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。须家河组气源岩大部分在侏罗纪开始成熟生烃,白垩纪进入生烃高峰并发生大规模运移。燕山晚幕的构造形变形成了一系列断裂和裂缝,深部天然气沿断裂向上运移在上覆层系聚集成藏。侏罗系中浅层气藏气源都来自于下伏须家河组气源岩,千佛崖组和沙溪庙组气藏在燕山中、晚期开始聚集成藏,蓬莱镇组气藏形成于喜山期。须家河组具有自生自储的优越条件,在燕山早期开始聚集成藏并最终调整定位。

1.2.4 川中地区

川中地区是四川盆地最早开展勘探的地区。1958年的川中石油会战,虽然在龙女寺、南充、蓬莱坝、龙盛、桂花等地区相继获得油气流,但仅发现了一些小规模油田。1964年加深钻探威基井发现川中地区第一个大型气田——威远气田。威远气田产层为震旦系灯影组白云岩,含气面积 216 km^2 ,探明天然气地质储量 $408 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。威远气田成藏的关键因素包括^[21]:①发育优质的灯影组白云岩储层。灯影组白云岩溶蚀孔、洞和构造裂缝发育,有效储渗体厚度约为 90 m;②气藏的源—盖组合好。下寒武统九老洞组黑色页岩既是烃源岩也是气藏的直接盖层,区域分布稳定,在威远气田厚度大于 230 m,页岩的饱和和挤压强度为 42.4~46.6 MPa,抗剪切强度为 5.2~7.6 MPa,属可塑性较

强的良好盖层;③继承性发育的古构造环境是威远气田聚集成藏的关键。威远构造形成于加里东运动末期,经海西、印支和燕山运动始终处于乐山—龙女寺隆起的东南斜坡,直至喜山运动才挤压褶皱、上升成为大型穹窿背斜构造。九老洞组烃源岩成熟于志留纪末期,二叠纪达到生烃高峰,侏罗纪末全部裂解成为天然气。威远构造圈闭形成时期晚于主要烃源岩生烃高峰期,因此推断威远气田的天然气一部分来源于古油藏的裂解气,另一部分来源于构造形成时期由于地层抬升幅度较大导致的水溶气脱溶出来的游离气,属晚期成藏^[7]。

川中地区发现的另一个大型气田是磨溪气田。1977年钻探发现了磨溪中三叠统雷口坡组、嘉陵江组和上三叠统须家河组气藏。磨溪气田在区域构造上类似于威远气田,处于乐山—龙女寺隆起的东南斜坡区。主力含气层是雷口坡组一段储层,含气面积 188.3 km^2 ,探明储量 $375.72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。雷口坡组气藏成藏富集的关键因素:①白云岩储层发育。储层埋藏深度为 2650~2750 m,厚度为 54~64 m,为一套膏盐岩、白云岩夹灰岩的组合,平均孔隙度为 8%;②膏盐岩优质盖层发育。雷口坡组一、二段有 20 多层硬石膏和膏质白云岩,厚度约为 160 m,共同组成气藏良好的直接盖层,同时上三叠统一侏罗系大套砂泥岩为区域盖层。

近几年,川中地区须家河组岩性气藏勘探成果丰硕,落实了两个储量规模超千亿方的大气田,一个是广安气田,已探明天然气地质储量 $1355.58 \times 10^8 \text{ m}^3$,另一个是合川气田,探明天然气地质储量 $1187.06 \times 10^8 \text{ m}^3$,且勘探开发效果很好。这揭示了川中地区陆相须家河组大面积岩性气藏良好的勘探前景。

1.3 储集特征

四川盆地已发现的 125 个气田储层岩性主要有碳酸盐岩和碎屑岩两大类。碳酸盐岩主要有粒屑白云岩、鲕状白云岩、礁白云岩、藻白云岩、生物灰岩等;碎屑岩以中—细粒长石—石英砂岩、岩屑石英砂岩为主。储层储集空间类型也表现出多样性,但大中型气田储集空间以孔隙型、裂缝—孔隙型占绝大多数,震旦系灯影组、石炭系黄龙组、二叠系长兴组、三叠系飞仙关组及嘉陵江组大型气藏储层主要是孔隙型白云岩,储集空间为溶蚀孔、洞;陆相须家河组、侏罗系气藏储层主要为孔隙型、裂缝—孔隙型砂岩、粉砂岩。已发现的二叠系和三叠系裂缝型气田有 64 个,但累计探明储量仅有 $1145.97 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总探明储量的 6.7%,最大的裂缝型气田是自流井气田,探明储量为 $69.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,寻找孔隙型气藏是深化勘探的主要方向。

2 大中型气田的发现规律

四川盆地的勘探始于 20 世纪 50 年代, 根据不同时期主要勘探思路、重点勘探领域、主导勘探技术方法等特点, 大致可以划分为 4 个阶段(图 4): ①地面构造勘探阶段, 大致是 20 世纪 50 年代初到 50 年代末, 以地表构造显示为主要勘探目标; ②裂缝型气藏勘探阶段, 大致从 20 世纪 60 年代初到 70 年代中期, 以寻找与构造相关的裂缝气藏为主要勘探目标;

③裂缝—孔隙型和孔隙型气藏勘探阶段, 大致从 20 世纪 70 年代中期到 90 年代末期, 以裂缝—孔隙型、孔隙型气藏为主要目标; ④深层超深层复合型气藏勘探阶段, 大致从 1999 年至今, 以孔隙型构造—岩性复合型圈闭为主要勘探目标。近期一批大型、特大型气田的不断被发现, 就与勘探思路的转变, 地质理论、认识的创新和勘探技术的进步密切相关。总结分析四川盆地大中型气田的发现规律, 将有利于促进勘探的进一步发展。

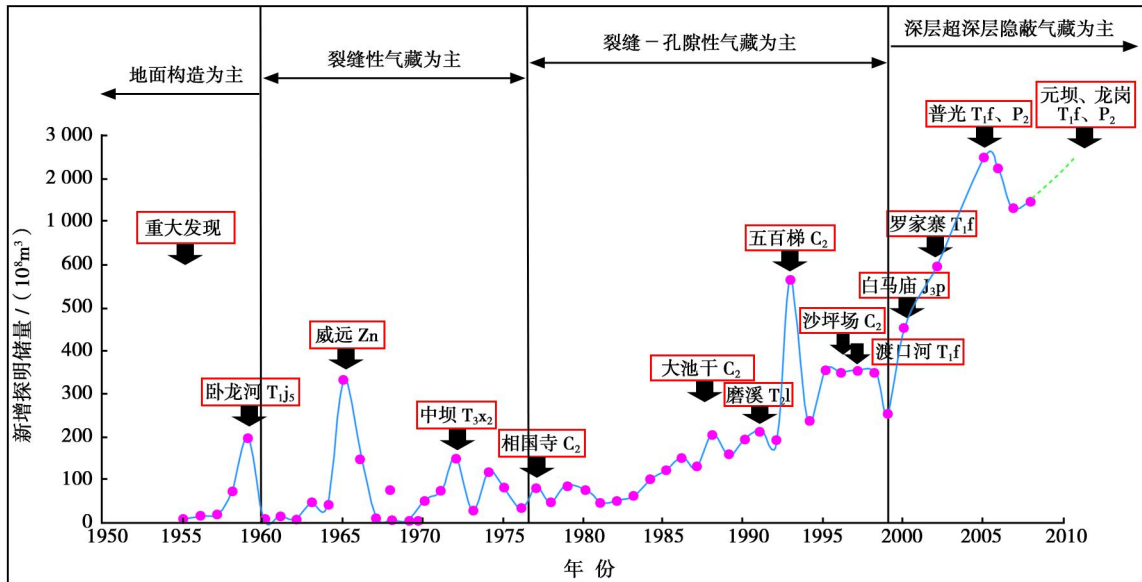


图 4 四川盆地勘探历程

Fig. 4 The proven reserves newly founded in different years of Sichuan Basin

(1) 每一次地质认识的深化、创新都带来勘探思路的转变, 勘探思路的转变又带来了大中型气田的发现和勘探发展。

四川盆地油气勘探经历了 4 次勘探思路的大转变。第一次是从以找油为主向以找气为主的勘探思路转变。早期龙门山前带勘探、四上海棠铺勘探和三次川中大会战, 虽然找到了一部分高产油井, 但总体规模不大。通过加强盆地油气地质基础条件的分析研究, 认识到四川盆地烃源岩演化程度高, 应该以天然气富集为主, 勘探上要把天然气做为主要勘探对象。正是由于这次勘探思路的战略性大转变带来了后期勘探的大突破与大发展。第二次勘探思路转变体现在对碳酸盐岩储层性质的认识上, 即从裂缝型气藏勘探向孔隙型气藏勘探的转变。早期认为碳酸盐岩主要靠裂缝作为天然气的主要储集空间。因此, 发展了大量评价描述裂缝的技术方法, 勘探上主要寻找与构造相关的裂缝系统, 并总结出了碳酸盐岩裂缝型气藏勘探“占高点、占鞍部、占断块, 沿长轴、沿扭曲、沿陡带”及“撒大网、占山头、插红旗”的井位部署原则和勘探方法, 发现

了以川南二叠系阳新统为主的一大批裂缝型气藏。同时, 通过对气藏地质特征的总结分析, 认识到碳酸盐岩在一定条件下也有发育孔隙性储层的可能, 由此带来了寻找石炭系、二叠系和三叠系礁滩、鲕粒孔隙型气藏的勘探大发展时期。第三次是从构造气藏向构造—岩性复合型气藏勘探的转变。早期勘探关注了威远、川东高陡构造等大型构造圈闭, 但随着勘探的不断深化, 逐步认识到了二叠系和三叠系受沉积相带控制的岩性体、地层圈闭等, 把石炭系、二叠系和三叠系礁滩领域的勘探成果不断扩大。生物礁滩型气藏的发现是四川盆地碳酸盐岩天然气勘探历史上的大事件, 其得益于对二叠系、三叠系环开江—梁平陆棚沉积相带的认识, 得益于对台缘礁滩发育的认识。第四次是从中浅层向深层超深层领域勘探的转变。这次转变得益于对深层超深层碳酸盐岩优质储层发育机理认识的突破, 把勘探领域从原来认识的 5 200 m 深度拓展到了 6 500 m 甚至 7 200 m 深度, 大大拓展了勘探空间, 并总结出了“定相带圈区块、沿台地找亮点、建模型作正演、查属性再反演”的深层超深层储层预测与勘探方法, 发现了元

坝、龙岗等大型深层超深层复合型气藏。

勘探部署方法上的不断创新也带来了大中型气田的发现。在区域勘探阶段,从早期的区域排队优选勘探目标,重视突破点分析,发展到后期强调二级构造带的整体解剖;在区带勘探阶段,从早期的逐层钻探,瞄准一个层系实施钻探,发展到后期结合盆地天然气富集特点的多层系立体勘探。川东石炭系、川西陆相深层须家河组气藏等大中型气田的发现、探明和效益开发就是勘探思路和勘探部署方法转变的成功例证。

(2) 每一个勘探技术的进步都带来大中型气田的发现和勘探发展。

通过正演地质模型的研究,改进了地震采集方法,在川东高陡构造带地震成像及石炭系薄储层预测技术方法上取得了积极进步,促进了大天池、大池干、高峰场等大中型气田的发现;基于“亮点”特征的飞仙关组鲕滩储层及须家河组裂缝—孔隙型储层预测技术,在川东北渡口河、铁山坡及川西新场等大中型气田的发现过程中发挥了关键作用;高精度二、三维地震技术,超深井安全、快速钻井技术等,在普光、元坝等深层超深层储层预测与气藏勘探过程中发挥了突出作用;“3D3C”多波地震勘探技术在新场须家河组二段深层致密气藏勘探中效果显著。四川盆地经过多年的勘探积累,形成了以下较为完善的配套技术系列:①山地地震勘探技术系列。在地震采集方面形成了针对高陡构造、深层超深层、超致密、山前带及碳酸盐岩裸露区等的特色技术方法;在地震资料处理方面形成了基于钻井地质—速度模型方法、射线变速深度偏移、串级深度偏移等的实用技术,改善了复杂构造的准确成像;在多类型复杂储层预测技术上也取得了突破性成果,针对裂缝型储层、石炭系薄储层、飞仙关组鲕滩储层及长兴组礁滩储层等的预测技术方法,带来了一批大中型气田的勘探发现。②复杂地质条件下的钻井配套技术、复杂储层改造与提高产能技术等的突破与发展,为普光等高含硫化氢气田的勘探开发,为川西、川中陆相超致密气藏的效益勘探开发作出了突出贡献。

3 勘探发展方向

四川盆地天然气资源十分丰富,资源探明程度还较低,特别是普光、广安、新场、合川等大型气田及龙岗、元坝等大型含气圈闭的发现,更揭示了四川盆地巨大的勘探潜力。

3.1 深层超深层勘探领域

元坝钻探成果证实,四川盆地 7 200 m 的超深

层^[8-9]还有优质储层发育,还有天然气聚集成藏。深层超深层勘探领域值得重点关注的目标主要包括:①开江—梁平陆棚两侧二叠系—三叠系礁滩目标。近期在龙岗、元坝地区有望获得一批较大规模的探明储量,形成较大的勘探场面。同时,地震勘探在陆棚东侧也发现了类似礁滩储层发育的地震异常体。开江—梁平陆棚的台缘礁带可能有继续向南、向东延伸的趋势,可能与鄂西海槽西侧的建南等连为一体^[10-11]。也有研究者认为⁹,沿川中台缘西侧可能发育嘉陵江组、雷口坡组甚至须家河组早期海相生物礁。根据现有资料情况,预测环开江—梁平陆棚区二叠系—三叠系应该具有超万亿方的探明资源量。②川西拗陷深层陆相须家河组。近期新场须家河组二段气藏获得了 $1.211 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的探明储量。从已钻探的几口甩开预探井情况分析,须家河组二段气藏范围还有进一步扩大的可能。同时,新场须家河组四段测试也获得了高产。这样,就形成了须家河组二段和四段两个主力产层。大邑地区在须家河组三段也发现了高产气层。虽然气层埋藏深度都超过了 4 000 m,但特殊的地质条件下还是有高渗储集体的发育。川西拗陷深层构造发育,整体勘探程度低,预计具有近万亿方的资源潜力。

3.2 中浅层勘探领域

近 10 年来,四川盆地勘探在向深层超深层方向快速发展的同时,中浅层也不断有新的发现。以须家河组大面积分布的岩性圈闭为重点勘探对象,预计下一步能形成较大储量规模的中浅层目标区主要有:①川东北地区陆相须家河组。川东北须家河组在区域构造、沉积上与川西拗陷须家河组有相似性。但由于川东北地区构造改造程度较川西拗陷强,因此,除了须家河组一段、三段具有生烃潜力外,二叠系龙潭组甚至志留系烃源岩对陆相中浅层成藏也有贡献。目前,在九龙山构造、通南巴、元坝、龙岗地区须家河组的钻探均获得了高产天然气流。同时,部分井还在侏罗系获得工业性天然气流和工业性油流。川东北须家河组埋藏明显较川西拗陷浅,沉积相带与构造裂缝双重因素使其储层物性好于川西拗陷须家河组。评价研究成果揭示,川东北中浅层应该具有 $(5\ 000 \sim 10\ 000) \times 10^8 \text{ m}^3$ 的资源前景。②川中地区须家河组。川中地区须家河组烃源岩厚度大,分布广,生气强度大于 $5 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 。发育有大套河流—三角洲体系的块状砂岩,受多物源体系的充足供给影响,砂岩相互叠置、大面积连片分布,具备形成大中型气田的物质基础。合川—安岳地区、广安地区近期已探明了超千亿方的地质储量,证实了川中地区具有大面积

● 许国民. 四川盆地海相碳酸盐岩天然气勘探潜力及勘探部署建议. 中国石化西南分公司勘探开发研究院贵阳所, 2006.

岩性气藏成藏的良好条件。预计川中地区须家河组有 $(5\ 000\sim 10\ 000)\times 10^8\text{m}^3$ 的探明资源潜力。

3.3 山前带勘探领域

山前带是叠合盆地勘探的重点领域,也是获得大发现的重点地区,如塔里木盆地库车山前带、准噶尔盆地西部及北缘山前带都获得了重大发现。目前,四川盆地龙门山山前带、米苍一大巴山山前带受制于地震资料品质,除发现中坝气田和大邑—鸭子河、九龙山、南江金溪等含气构造外,还没有大发现。龙门山山前带、米苍一大巴山山前带成藏条件优越,具有印支期前被动大陆边缘盆地广泛分布的烃源岩及陆相前陆盆地巨厚碎屑岩沉积,气源充足,储层类型多,构造圈闭发育,是四川盆地下一步大发现的重点领域之一。解决山前带地震成像、构造模式和圈闭落实问题是该领域勘探获得成功的关键。

3.4 嘉陵江组鲕滩勘探领域

嘉陵江组一直以来被当作区域性盖层来看待。前期勘探中显示井很多,发现的气藏也很多,但总体气藏规模不大,以裂缝型气藏为主。值得注意的是,嘉陵江期四川盆地发育最大的沉积盐湖,既有膏盐岩的沉积,也有盐间白云岩广泛分布,尤其是在潮坪区广泛分布的鲕滩可能成为较好的储集体。加强嘉陵江期沉积相带研究,加强盐间白云岩储层预测,加强鲕滩储层的评价描述,可能会带来勘探上大的发现。嘉陵江组鲕滩储层主要分布在川东、川南和川北地区。

3.5 大型区域不整合勘探领域

与大型区域不整合相关的油气藏往往是叠合盆地首先关注的勘探领域,其包括不整合面下的岩溶、缝洞性油气藏,以及不整合面上的地层超覆油气藏。四川盆地大型区域性不整合面主要有5个:①震旦系灯影组顶面不整合,全盆地分布,已发现了威远大气田;②中上奥陶统顶面不整合,主要分布在川南及周缘地区,上下均可形成油气藏;③中石炭统顶面不整合,主要分布在川东地区;④二叠系阳新统顶面不整合,全盆地分布,已发现的气田主要分布在川南地区;⑤雷口坡组顶面不整合,全盆地分布,已发现中坝大型气田。大型区域不整合领域可能是下一步四川盆地勘探的重点潜力领域之一,应该继续关注与这些区域不整合面相关的圈闭目标,尤其是雷口坡组岩性圈闭;同时要加强对不整合的构造演化、间断时期、岩溶发育模式等研究。

参 考 文 献

- [1] 张健,张奇.四川盆地油气勘探——历史回顾及展望[J].天然气工业,2002,22(增刊1):3-7.
Zhang Jian,Zhang Qi.The review and prospects of oil and gas exploration in Sichuan Basin[J].Natural Gas Industry,2002,22
- (Supplement 1):3-7.
- [2] 张水昌,朱光有.四川盆地海相天然气富集成藏特征与勘探潜力[J].石油学报,2006,27(5):1-8.
Zhang Shuichang,Zhu Guangyou.Gas accumulation characteristics and exploration potential of marine sediments in Sichuan Basin[J].Acta Petrolei Sinica,2006,27(5):1-8.
- [3] 戴金星,陈践发,钟宁宁,等.中国大气田及其气源[M].北京:科学出版社,2003.
Dai Jinxing,Chen Jianfa,Zhong Ningning,et al.Large gas fields in China and their gas sources[M].Beijing:Science Press,2003.
- [4] 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].地质论评,2005,51(4):477-480.
Ma Yongsheng,Guo Xusheng,Guo Tonglou,et al.Discovery of the large scale Puguang Gas Field in the Sichuan Basin and its enlightenment for hydrocarbon prospecting[J].Geological Review,2005,51(4):477-480.
- [5] 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.
Ma Yongsheng,Cai Xunyu,Li Guoxiong.Basic characteristics and concentration of the Puguang Gas Field in the Sichuan Basin[J].Acta Geologica Sinica,2005,79(6):858-865.
- [6] 蔡勋育,马永生,李国雄,等.普光气田下三叠统飞仙关组储层特征[J].石油天然气学报,2005,27(1):43-45.
Cai Xunyu,Ma Yongsheng,Li Guoxiong,et al.Reservoir characteristics of the Feixianguan Formation in Puguang Gas Field,Sichuan Basin[J].Journal of Oil and Gas Technology,2005,27(1):43-45.
- [7] 黄籍中,冉隆辉.四川盆地震旦系灯影灰岩黑色沥青与油气勘探[J].石油学报,1989,10(1):27-36.
Huang Jizhong,Ran Longhui.Bitumen and oil gas exploration in Sinian“Denying Limestone”in Sichuan Basin[J].Acta Petrolei Sinica,1989,10(1):27-36.
- [8] 朱光有,张水昌.中国深层油气成藏条件与勘探潜力[J].石油学报,2009,30(6):793-802.
Zhu Guangyou,Zhang Shuichang.Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential of deep reservoirs in China[J].Acta Petrolei Sinica,2009,30(6):793-802.
- [9] 胡见义,吴因业,张静.高海拔与超深地层石油地质若干问题[J].石油学报,2009,30(2):159-167.
Hu Jianyi,Wu Yinye,Zhang Jing.Discussion on petroleum geology theory for high elevation and ultra deep formations[J].Acta Petrolei Sinica,2009,30(2):159-167.
- [10] 马永生,牟传龙,郭旭升,等.四川盆地东北部长兴期沉积特征与沉积格局[J].地质论评,2006,52(1):25-29.
Ma Yongsheng,Mou Chuanlong,Guo Xusheng,et al.Characteristic and framework of the Changxingian Sedimentation in the northeastern Sichuan Basin[J].Geological Review,2006,52(1):25-29.
- [11] 牟传龙,马永生,谭钦银,等.四川通江—南江—巴中地区长兴组—飞仙关组沉积模式[J].地质学报,2007,81(6):820-826.
Mou Chuanlong,Ma Yongsheng,Tan Qinyin,et al.Sedimentary model of the Changxing Feixianguan Formations in the Tongjiang Nanjiang Bazhong Area,Sichuan[J].Acta Geologica Sinica,2007,81(6):820-826.