

# 四川盆地中二叠统天然气地质特征与勘探方向

张 健 周 刚 张 光 荣 李 国 辉 汪 华

中国石油西南油气田公司

**摘 要** 四川盆地中二叠统天然气资源探明程度低, 勘探潜力巨大。为加快勘探进程, 在分析该盆地中二叠统天然气沉积特征、储层特征的基础上, 开展了烃源供给、储层与圈闭类型、保存条件、构造与成藏期次以及成藏模式等方面的研究, 探究了该盆地中二叠统天然气富集的主控因素并明确了下一步的勘探方向。研究结果表明: ①四川盆地中二叠统天然气成藏具多层系供烃、多类型储层、多类型圈闭、多期成藏和多类型成藏模式等特点; ②烃源岩以二叠系自身为主, 其次为下寒武统筇竹寺组和下志留统龙马溪组, 中二叠统生气中心位于该盆地西北部和中部—川南地区, 生气强度介于  $26 \times 10^8 \sim 44 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 具备形成大中型气田的物质基础; ③中二叠统发育白云岩和岩溶缝洞灰岩两类储层, 前者主要分布在颗粒滩中或基底断裂附近, 后者广泛分布于茅口组中上部; ④优质烃源岩、储层的白云石化和表生岩溶作用控制了大中型气田的分布; ⑤印支期古隆起是油气聚集的有利指向区, 喜马拉雅期是油气调整的关键时期。结论认为: ①中二叠统栖霞组台缘滩最有利勘探区为川西北广元—江油及都江堰一带, 其次为川西南台缘带, 台内滩有利勘探区则主要分布在川中高石梯—磨溪地区和蜀南地区; ②中二叠统茅口组最有利勘探区为泸州—内江地区, 其次为双鱼石—南充、卧龙河—石柱、高石梯—磨溪、达州—开江、九龙山等地区。

**关键词** 四川盆地 中二叠世 栖霞组 茅口组 白云岩 储集层 烃源岩 岩溶储层 气藏特征 天然气富集规律 勘探方向  
DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2018.01.002

## Geological characteristics and exploration orientation of Mid-Permian natural gas in the Sichuan Basin

Zhang Jian, Zhou Gang, Zhang Guangrong, Li Guohui & Wang Hua

(PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu, Sichuan 610051, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 38, ISSUE 1, pp.10-20, 1/25/2018. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** In the Sichuan Basin, the less-proved natural gas resources in the Mid-Permian strata are highly potential for exploration. In this paper, sedimentary and reservoir characteristics of Mid-Permian natural gas in the basin were analyzed. On this basis, researches were conducted on hydrocarbon supply, reservoir and trap types, preservation conditions, structure, and phases and patterns of hydrocarbon accumulation to highlight the controlling factors for the enrichment of Mid-Permian natural gas in the basin and the orientation of future exploration operations. Research results are as follows. First, the Mid-Permian natural gas reservoirs in the Sichuan Basin are characterized by multiple sources from different layers, existence of reservoirs and traps of various types, formation of different reservoirs at different stages and other features. Second, hydrocarbon source rocks are predominantly in the Permian strata. There are also some hydrocarbon source rocks in the Lower Cambrian Qiongzhusi and Lower Silurian Longmaxi Fms. The gas-generation center of Mid-Permian Fms lies in the northwestern and central-southern parts of the Sichuan Basin. With a gas-generation intensity of  $26 \times 10^8 \sim 44 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , it has the necessary material basis available for the formation of large- or medium-sized gas fields. Third, the Mid-Permian strata contain dolomite and karst fractured-vuggy limestone reservoirs, with the former distributed predominantly in grain beach or around basement faults, and the latter distributed extensively in middle and upper parts of the Maokou Fm. Fourth, the presence of high-quality hydrocarbon source rocks, and dolomitization and epigenetic karstification of reservoirs are controlling factors for the distribution of large- and medium-sized gas fields. Fifth, the Indosinian paleo-uplifts are favorable zones for the accumulation of hydrocarbons, and the Himalayan is the key period of oil and gas adjustment. In conclusion, in the Mid-Permian Qixia Fm, the favorable exploration zones are represented by platform margin beaches mainly along the Guanyuan-Jiangyou and Dujiangyan areas in the NW Sichuan Basin, followed by platform margins in the SW Sichuan Basin, and intraplatform beaches predominantly in the Gaoshiti-Moxi area in the central and southern Sichuan Basin. Besides, in the Mid-Permian Maokou Fm, the favorable exploration zones are mainly the Luzhou-Neijiang area, followed by the Shuangyushi-Nanchong, Wolonghe-Shizhu, Gaoshiti-Moxi, Dazhou-Kaijiang, Jiulongshan and other areas.

**Keywords:** Sichuan Basin; Mid-Permian; Qixia Fm; Maokou Fm; Dolomite; Reservoir formation; Hydrocarbon source rocks; Karst reservoir; Gas reservoir characteristics; Natural gas enrichment; Exploration orientation

**基金项目:** 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号: 2016ZX05004-005、2016ZX05007-004)、中国石油天然气集团公司重大科技专项“西南油气田天然气上产 300 亿立方米关键技术研究与应用”(编号: 2016E-06、2016E-0602、2016E-0603、2016E-0604)。

**作者简介:** 张健, 1960 年生, 教授级高级工程师; 主要从事油气资源勘探研究及部署管理工作。地址: (610051) 四川省成都市府青路一段 3 号。ORCID: 0000-0002-1460-7212。E-mail: zhang\_jian@petrochina.com.cn

中二叠统是四川盆地天然气勘探开发的重要层系。2000 年以前, 主要针对蜀南地区的裂缝型和缝洞型石灰岩气藏开展勘探<sup>[1]</sup>, 成效显著, 发现了 325 个岩溶缝洞型石灰岩气藏, 其中功勋井自 2 井已累计产天然气  $50.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。野外露头显示中二叠统发育白云岩储层<sup>[2]</sup>, 2003 年矿 2 井进一步证实中二叠统栖霞组发育厚层状孔隙型白云岩储层, 2014 年双探 1 井在栖霞组层状孔隙型白云岩储层勘探获重大突破<sup>[3]</sup>; 另外, 随着岩溶缝洞体雕刻技术日趋成熟, 近年来岩溶缝洞型石灰岩油气勘探亦取得较大进展, 展示出良好的勘探前景, 如川西北九龙山构造中二叠统 5 口井测试获高产工业气流, 平均单井产量超过  $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。据中国石油第四次资源评价成果, 四川盆地中二叠统天然气总资源量为  $15\ 059.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 探明储量为  $852.03 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 资源探明率仅为 5.66%, 勘探潜力巨大。为明确四川盆地中二叠统下一步的天然气勘探方向, 笔者结合近年钻井、地震勘探及研究成果, 系统分析了该盆地中二叠统天然气的沉积特征、储层特征、成藏特征、天然气富集规律及勘探方向, 以期为四川盆地中二叠统天然气勘探提供技术支撑。

## 1 中二叠统沉积特征

### 1.1 栖霞组沉积特征

栖霞组岩性主要为深灰色—灰黑色生物碎屑灰岩、含生屑泥质灰岩、含燧石结核灰岩, 部分地区栖霞组中上部发育晶粒白云岩<sup>[4]</sup>, 地层厚 100 ~ 200 m。栖霞组继承了加里东运动后西高东低的微地貌格局, 盆地西部地区地势较高、水体较浅, 发育开阔海台地、台缘滩和台内滩亚相<sup>[5]</sup>, 其中台缘滩体厚度大, 于川西北广元—江油—都江堰—天全—峨眉一线呈条形分布<sup>[6-7]</sup>; 台内滩体厚度小, 纵向多层叠置, 平面上环加里东古隆起分布; 盆地东南部地势较低、水体较深, 主要发育台内洼地相, 分布于平昌—渠县—合川—大足东至湖北恩施一带。

### 1.2 茅口组沉积特征

茅口组各段在盆地内的保存不一, 川西南、川东南等地茅口组顶部为茅四段, 泸州古隆起及川东北等地茅口组仅存茅二段, 地层残厚 200 ~ 400 m。栖霞组沉积后, 茅口组沉积期岩相分异逐渐明显, 自西南向东北方向, 水体深度逐渐加大, 平面上可分出局限海台地亚相、生屑滩亚相、开阔海台地亚相及

次深海斜坡亚相等 4 个亚相区<sup>[5,8]</sup>。盆地大部分区域属开阔海台地亚相, 岩性为灰色—深灰色厚层状泥粉晶灰岩、藻虫灰岩、含燧石团块灰岩等, 生物繁盛, 种类较多。生屑滩亚相分布于 2 个地区, 其一沿龙门山中南段—川西南—川南—重庆一带呈马蹄状分布, 其二分布于川中南充—安岳地区, 范围相对较小, 滩体厚 25 ~ 54 m, 以亮晶生屑石灰岩为主并发育白云岩。次深海斜坡亚相分布于广元—达州—万州地区, 岩性为深灰色泥灰岩、黑色燧石条带状灰岩及页岩等, 以小型腕足、钙球、骨针及菊石等生物组合为特征。

## 2 中二叠统储层特征

### 2.1 栖霞组储层特征

栖霞组储层主要受控于白云石化作用、古岩溶作用和裂缝作用<sup>[6]</sup>, 以多重成因白云岩孔隙型储层为主<sup>[9]</sup>, 岩性为晶粒云岩或残余生屑云岩, 尤以中—粗晶云岩储集性能为最好, 其次为粉—细晶云岩, 灰质云岩再次之; 储集空间主要为晶间孔、晶间溶孔, 储层孔隙度主要分布在 2% ~ 3%, 少数样品高于 5%, 平均孔隙度为 2.75%, 表现为低孔、低渗特征, 储层厚 5 ~ 30 m, 其中台地边缘白云岩储层厚 10 ~ 30 m, 台内滩相白云岩储层介于 5 ~ 20 m (图 1-a)。

### 2.2 茅口组储层特征

#### 2.2.1 孔隙型白云岩储层特征

茅口组发育孔隙型热水成因白云岩储层<sup>[10-11]</sup>, 储集岩性主要为深灰色中—细晶云岩, 储集空间为溶孔、溶洞和溶缝; 取心井白云岩层段平均孔隙度介于 2.8% ~ 4.6%, 储层以低孔、低渗为主, 局部发育相对中—高孔层段, 厚度以 2 ~ 20 m 为主, 纵向上主要发育于茅二段中上部, 沿准同生期北西向断裂展布 (图 1-b)。

#### 2.2.2 岩溶缝洞型石灰岩储层特征

东吴运动后, 四川盆地中二叠统形成广泛分布的岩溶缝洞型石灰岩储层<sup>[12-13]</sup>, 储层岩性以生屑灰岩、泥晶灰岩及眼球状灰岩为主, 岩性致密, 基岩孔隙度一般低于 2%, 渗透率一般小于  $0.08 \text{ mD}$ <sup>[14]</sup>, 储集空间以溶洞、溶缝为主, 钻井中常见放空、井漏和井喷等显示, 储层具分布广、非均质性强特点, 岩溶高地、岩溶斜坡为岩溶储层发育的有利区<sup>[15]</sup>。

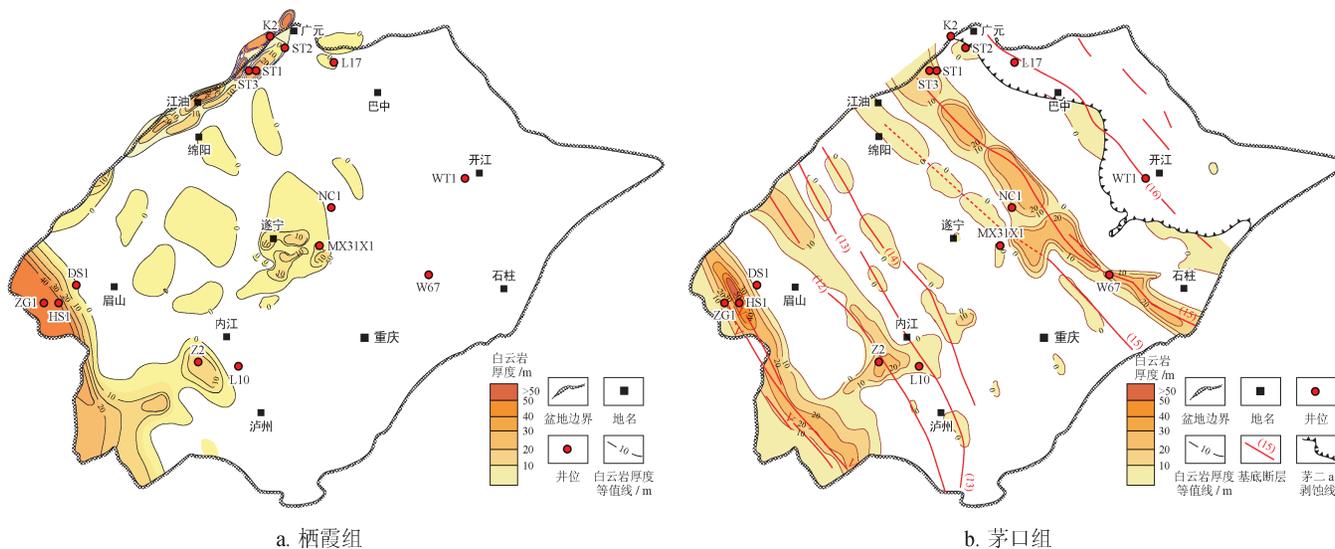


图 1 四川盆地中二叠统白云岩厚度等值线图

### 3 中二叠统天然气成藏特征及富集规律

#### 3.1 中二叠统天然气成藏特征

##### 3.1.1 多层系供烃

四川盆地中二叠统气藏既有二叠系自身烃源，也有来自下伏下志留统龙马溪组、下寒武统筇竹寺组烃源<sup>[15-18]</sup>。中二叠统烃源岩主要为栖霞组、茅口组泥灰岩和泥岩，其中泥灰岩厚度大，以偏腐殖混合型为主，有机质丰度高，露头样品测定有机碳含量（TOC）多高于1%，平均TOC为1.4%，多以高一过成熟为主；而泥岩厚度小，以腐殖型为主，平均TOC为2.24%，多以高一过成熟为主。下寒武统烃源岩主要为筇竹寺组和麦地坪组暗色泥岩，筇竹寺组泥岩为腐泥型，有机质丰度高，TOC介于0.07%~7.56%，平均为1.56%，TOC大于1.0%的占63.9%。志留系在乐山—龙女寺古隆起核部已被全部剥蚀，仅在川西北部地区和川中东部地区残存龙马溪组黑色页岩和深灰色泥岩，TOC普遍较高(0.4%~1.6%)，具有盆地东南部有机碳丰度值高、中西部地区丰度值低的特点。

##### 3.1.2 多类型储层

四川盆地中二叠统主要发育栖霞组孔隙型多成因白云岩储层、茅口组孔隙型热水白云岩储层和茅口组岩溶缝洞型石灰岩储层3种类型，其中栖霞组白云岩储层的发育主要受沉积微相、早期白云石化作用、晚期白云石化作用、溶蚀作用以及构造作用等因素控制<sup>[19-20]</sup>；茅口组热水白云岩受热次盆微相控制，主要沿茅口组沉积时处在拉张活跃期的基底

断裂、深大断裂和裂缝系统的附近沉积<sup>[3-4]</sup>；茅口组岩溶缝洞型石灰岩储层受岩性特征、断裂发育程度、溶蚀时间长短等因素控制，岩溶高地、岩溶斜坡为岩溶储层发育的有利区<sup>[15]</sup>，在川西和川中地区，白云岩储层和岩溶缝洞型石灰岩储层均有分布，而在川东和蜀南地区，则主要发育岩溶缝洞型石灰岩储层。

##### 3.1.3 多类型圈闭

四川盆地中二叠统早期勘探以局部构造圈闭勘探为主，寻找裂缝型和缝洞型石灰岩气藏<sup>[21]</sup>，在蜀南地区发现了断层—岩溶背斜型、岩溶—背斜型、断层岩溶型和岩溶型4类岩溶缝洞型石灰岩气藏。近年来，在川中、川西地区栖霞组、茅口组发现了不同成因的白云岩储层<sup>[3-4]</sup>，探明了岩性—背斜型和岩性型层状孔隙白云岩气藏（图2）。

##### 3.1.4 多套盖层及良好的保存条件

上二叠统龙潭组是中二叠统的直接盖层，岩性以页岩夹少量石灰岩为主，厚度介于100~150m，上覆三叠系嘉陵江组—雷口坡组内部膏岩发育，累计厚度介于50~450m；上覆上三叠统一白垩系陆相层系发育巨厚泥页岩、粉砂质泥岩，由西向东逐渐增厚，累计厚320~1600m，可作为中二叠统区域间接盖层，保存条件良好<sup>[13]</sup>。

##### 3.1.5 多期构造与多期成藏

四川盆地自震旦纪以来，历经多期次构造运动的叠加改造，对油气成藏影响显著，表现为构造的多期与成藏的多期具一致性<sup>[21-23]</sup>。中二叠统沉积后经历了东吴、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动，决定了盆地中二叠统多期油气成藏，二叠系烃源岩于中

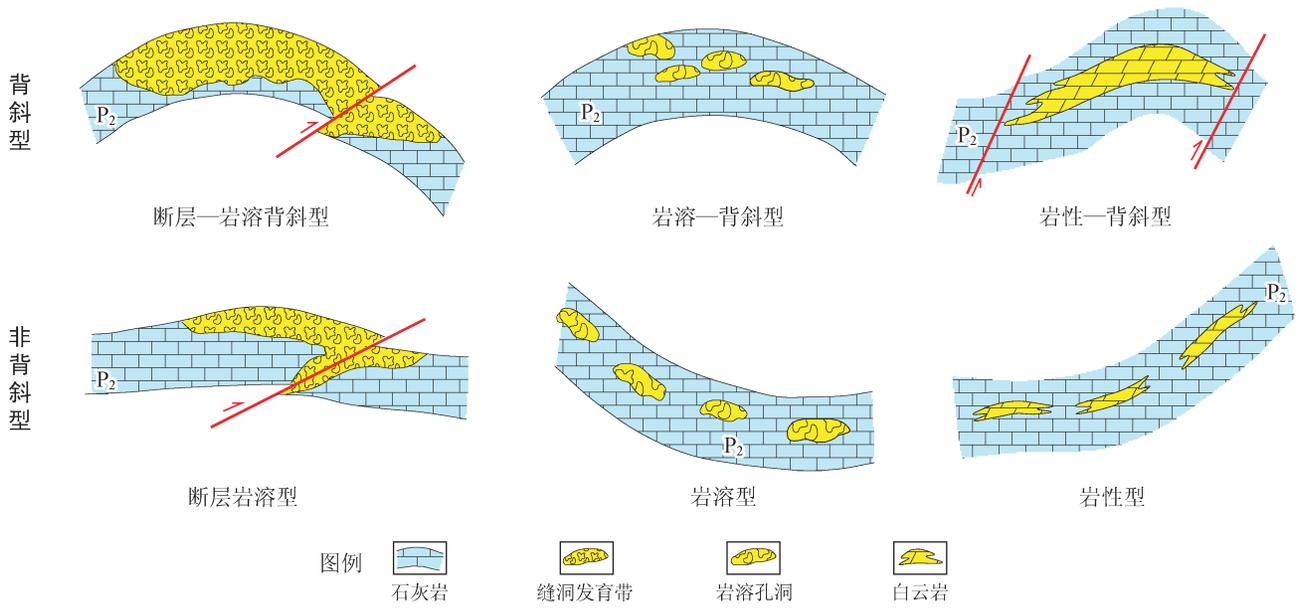


图 2 四川盆地中二叠统气藏类型图

三叠世开始生烃，晚三叠世—早侏罗世进入生油高峰，中晚侏罗世—早白垩世进入生气高峰<sup>[24]</sup>（图 3）；志留系烃源岩于早二叠世—晚三叠世进入生油高峰，侏罗纪开始进入生气高峰；筇竹寺组烃源岩于石炭纪—早二叠世进入生油高峰，于三叠纪—晚侏罗世进入生气高峰<sup>[25]</sup>，后期经多期次构造运动，使古油气藏或经历调整演化，形成现今油气藏，或遭受不同程度的破坏，经历了古油藏—古气藏—现今气藏的演化过程。对四川盆地西南部气区中二叠统茅口组碳酸盐岩储层有机包裹体特征、组成、碳同位素等研究结果表明，在中二叠统茅口组中存在 3 期以上的油气运移<sup>[26]</sup>，指示着 3 期以上的油气调整—聚集—成藏过程。

### 3.1.6 多类型成藏模式

四川盆地中西部地区中二叠统天然气以烃类气

体为主，CH<sub>4</sub> 含量高、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 含量低，干燥系数大，是典型干气（表 1）。研究认为蜀南及川东北地区中二叠统的天然气气源主要来源于其自身，志留系有部分贡献作用<sup>[15-17]</sup>，川中及川西地区的天然气亦主要来源于自身，下寒武统筇竹寺组有部分贡献作用<sup>[18]</sup>，盆地中二叠统气藏多源特征与盆地多期构造运动有关，形成多种成藏组合模式，可分为自生自储型、下生上储型和他源次生型 3 种类型，以自生自储型为主<sup>[15]</sup>。在川东、川西北和蜀南部分地区还伴生下生上储型，龙马溪组直接向上覆中二叠统供烃，另外他源次生型指通过断层沟通，将亲源关系较远的天然气运移至中二叠统圈闭聚集成藏，如川中地区断层沟通筇竹寺组烃源<sup>[18]</sup>、川东高陡构造区断层沟通志留系烃源等（图 4）。

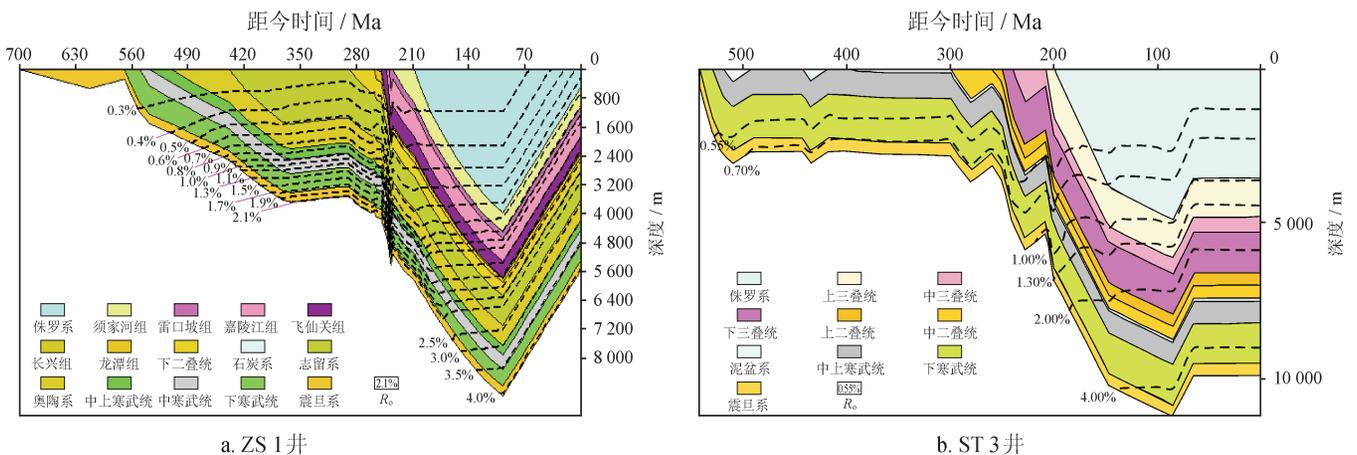


图 3 四川盆地中二叠统烃源岩埋藏史图

表 1 四川盆地中西部地区中二叠统天然气组成对比表

井号及层位	主要组分及其含量					
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	He
GS19 井栖霞组	96.65%	0.20%	0.44%	0.20%	2.45%	0.02%
MX39 井茅口组	97.08%	0.17%	0.28%	1.38%	1.06%	0.02%
MX31-X1 井栖霞组	95.60%	0.08%	1.95%	0.58%	1.77%	0.02%
NC1 井茅口组	95.41%	0.13%	2.50%	0.12%	1.81%	0.02%
MX42 井栖霞组	93.69%	0.10%	3.84%	0.54%	1.80%	0.02%
MX103 井栖霞组	90.43%	0.15%	6.11%	0.49%	2.76%	0.02%
GS18 井栖霞组	93.71%	0.06%	3.76%	0.07%	2.26%	0.02%
ST1 井茅口组	97.24%	0.14%	2.05%	0.26%	0.23%	0.01%
ST1 井栖霞组	97.06%	0.11%	1.82%	0.67%	0.25%	0.02%
H2 井茅口组	97.04%	0.65%	0.36%	1.70%	/	0.04%

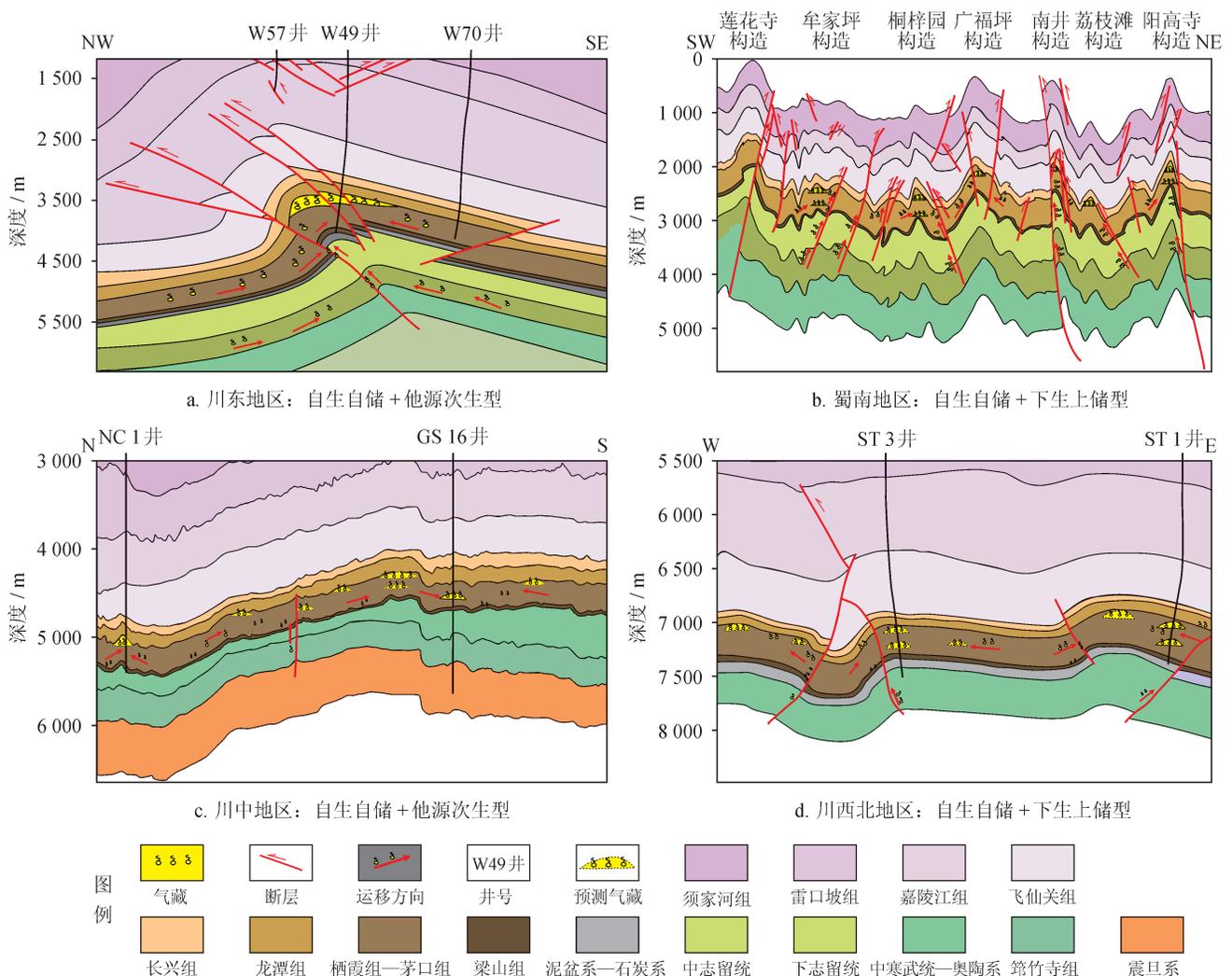


图 4 四川盆地中二叠统成藏模式图

## 3.2 中二叠统天然气富集规律

### 3.2.1 优质烃源岩控制大中型气田分布

勘探实践证明, 烃源是油气成藏的关键物质基础, 对大中型气田分布具有重要的控制作用, 目前勘探成果丰硕的蜀南地区和川西北地区都具备优质烃源岩的基础条件<sup>[3,8]</sup>。四川盆地茅口组烃源岩厚 30 ~ 220 m, TOC 介于 0.5% ~ 3.0%, 生气强度介于  $10 \times 10^8 \sim 60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 且大部分区域都大于  $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ; 栖霞组烃源岩厚 10 ~ 70 m, TOC 介于 0.5% ~ 2.0%, 生气强度绝大部分地区小于  $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ; 中二叠统全盆地生气中心位于盆地西北部和中部—川南地区, 生气强度在  $26 \times 10^8 \sim 44 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ <sup>[27]</sup>, 具备形成大中型气田的物质基础。

### 3.2.2 白云石化、表生岩溶作用对颗粒滩储层的改造至关重要

白云石化作用和表生岩溶作用对四川盆地中二叠统颗粒滩储层的形成具有重要的改造作用<sup>[6,19,28]</sup>, 勘探实践表明, 中二叠统白云岩储层明显优于石灰岩储层。栖霞组颗粒滩白云岩主要分布于川西—川西南和川中地区, 主要为结晶型白云岩及残余颗粒型白云岩<sup>[29-30]</sup>, 相控型白云岩气藏已为勘探所证实<sup>[3, 31]</sup>; 茅口组热水成因白云岩呈层状、沿基底断裂分布, 岩性主要为深灰色中—细晶结构白云岩, 白云岩受到热次盆微相控制, 主要呈现北西向展布<sup>[11]</sup>; 茅口组沉积末期, 发生东吴运动, 在四川盆地发生大面积分布的表生岩溶作用<sup>[32-34]</sup>, 一方面溶蚀地层形成风化壳, 另一方面沿不整合面或断层形成相关的规模岩溶型储层, 在风化壳或间断面附近发育油气运移通道和储集体, 易形成油气藏。

### 3.2.3 印支期古隆起是油气聚集的有利指向区

四川盆地中二叠统于中三叠世开始生烃, 晚三叠世—早侏罗世进入生油高峰<sup>[24]</sup>, 形成古油藏; 气态烃大量形成的时间多为晚侏罗世—白垩纪。印支期形成的泸州—开江古隆起在燕山期继承发展, 是油气聚集的有利指向区, 控制了石炭系—三叠系气藏的分布, 目前在泸州古隆起上共发现二叠系、三叠系裂缝性气田 35 个, 含气构造 17 个, 勘探证实古隆起的顶部背斜和向斜中都产油气, 如得胜向斜和况厂向斜中二叠统产气<sup>[35]</sup>, 都表明古隆起曾聚集油气。

### 3.2.4 喜马拉雅期构造运动是油气调整的关键时期

构造抬升、拉张、挤压等作用形成的断层、裂缝,

在油气成藏过程中主要表现为油气的运移通道。在多数情况下, 断层及裂缝发育程度控制油气的分异, 在裂缝发育带, 油气产量较高。因此, 断层及裂缝对油气成藏及油气产量具有十分重要的控制作用。四川盆地中二叠统油气的运聚主要受古构造、古断裂的控制, 普遍经历了由“古油藏—古气藏—再调整分配”的演化过程, 燕山期是天然气富集的主要时期, 形成早的圈闭优先捕获天然气, 喜马拉雅期构造运动作用下, 油气沿喜马拉雅期形成的晚期断层大规模调整<sup>[36]</sup>。如龙门山断裂带是一个由一系列叠瓦状逆断层所组成的逆掩断裂带, 喜马拉雅期的构造运动导致区内多期次油气运移和再分配, 造就了油气分布的复杂性, 也为新构造油气充注创造了条件。在推覆体上普遍地层出露较老, 发育通天大断层, 保存条件较差, 如 K2 井, 而在推覆体下盘或者靠近盆地内的潜伏构造其保存条件依然十分良好, 极具油气勘探潜力。

## 4 中二叠统天然气勘探方向

### 4.1 栖霞组天然气勘探方向

#### 4.1.1 栖霞组天然气勘探领域

层状孔隙型白云岩储层是盆地中二叠统最有利的勘探对象<sup>[4,30]</sup>, 栖霞组层状孔隙型储层主要分布于川西台缘滩相和川中台内滩相白云岩中。

#### 4.1.2 栖霞组天然气有利勘探区带

依据储层发育程度和烃源分布特征, 结合中二叠统古构造背景, 将栖霞组台缘滩相白云岩储层勘探有利区划分为 I 类 a 区和 I 类 b 区, 其中 I 类 a 区为川西北广元—江油及都江堰一带, 具烃源优越 (中二叠统生烃强度介于  $10 \times 10^8 \sim 28 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 且位于筇竹寺组生烃中心) 和储层发育 (厚 0 ~ 30 m) 等特点; I 类 b 区位于川西南地区, 具储层发育、烃源较好等特点。龙门山前推覆构造带二叠系圈闭发育, 成藏条件好, 推覆带之下的背冲背斜带上的大型构造—岩性复合圈闭为最有利勘探区<sup>[3-4]</sup>, 推覆冲断带可能为下一步扩大该区勘探领域的新有利勘探区带 (图 5)。

栖霞组台内滩相白云岩储层勘探有利区可划分为 II 类 a 区、II 类 b 区和 III 类区。II 类 a 区主要分布在川中高石梯—磨溪地区和蜀南地区台内滩发育区, 区内白云岩储层分布较为稳定, 厚 0 ~ 20 m, 中二叠统生烃强度介于  $16 \times 10^8 \sim 30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 紧邻

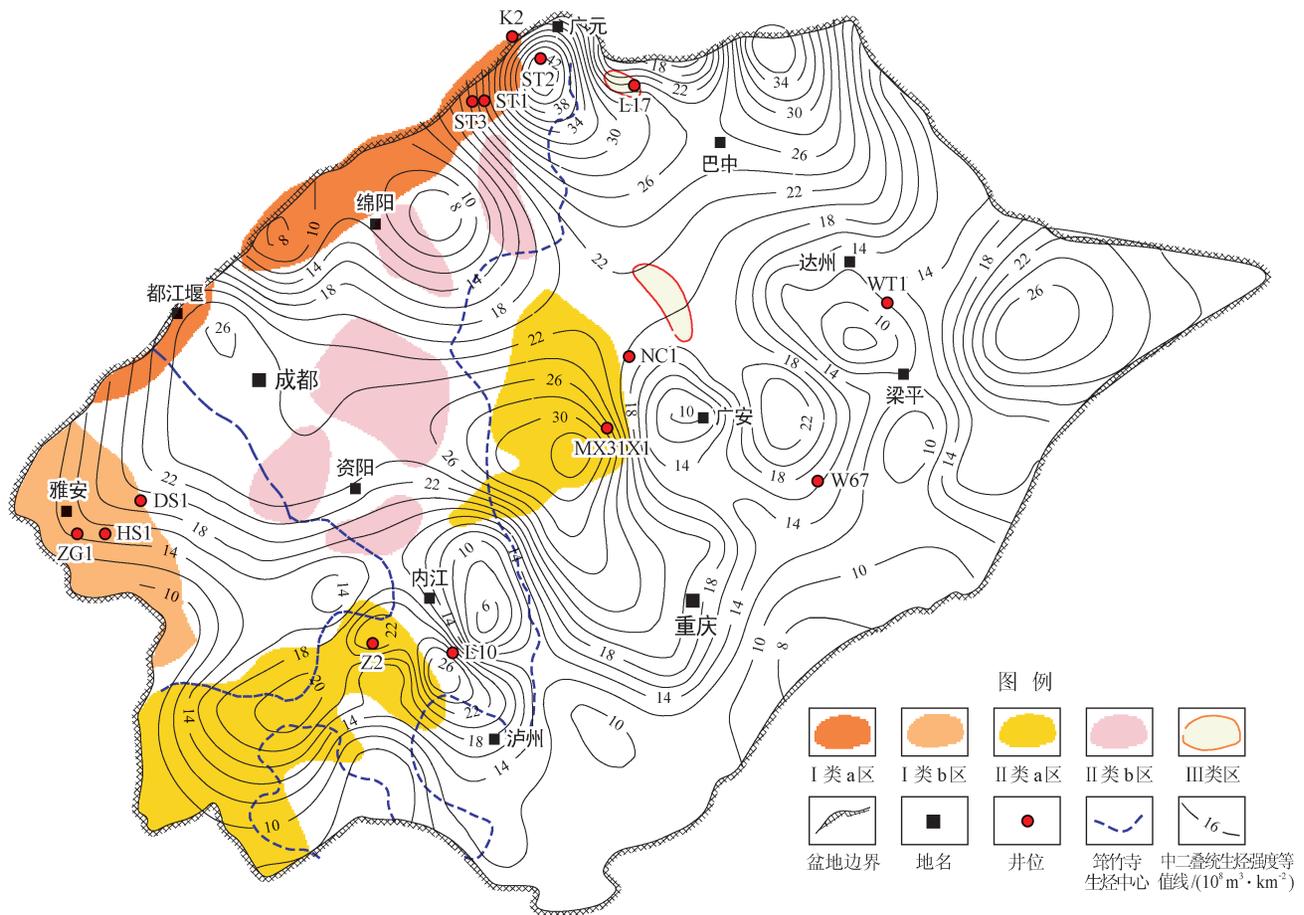


图5 四川盆地中二叠统栖霞组勘探方向平面分布图

筇竹寺组生烃中心，位于印支期古隆起核心部位，有利于油气运聚；II类b区分布于资阳—绵阳一带，白云岩厚度一般小于10 m，中二叠统生烃强度为 $8 \times 10^8 \sim 28 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ，且位于筇竹寺组生烃中心；III类区主要分布在南充—九龙山台内颗粒滩发育区，区内白云岩储层厚0~10 m，中二叠统生烃强度介于 $18 \times 10^8 \sim 22 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

### 4.2 茅口组天然气勘探方向

#### 4.2.1 茅口组天然气勘探领域

茅口组白云岩储层具呈带状、沿基底断裂分布特点，分布面积广，在15号基底断裂附近的磨溪、南充一带已获突破，天然气勘探前景好，是重要的勘探对象。

茅口组岩溶缝洞型石灰岩储层勘探主要集中在蜀南地区，尽管单个岩溶缝洞型气藏平均压降储量仅 $2.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，但也找到了Z2井这样的高效勘探井，也发现了压降储量为 $48.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、已累产天然气 $44.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的高效勘探井区——W67井区，展示出盆地茅口组岩溶缝洞型石灰岩储层勘探具备高效

勘探的潜质。盆地蜀南向斜区、川中、川东北、川西北地区岩溶缝洞型储层勘探程度极低，可供勘探面积大，是寻找高效勘探的重要领域。

#### 4.2.2 茅口组天然气有利勘探区带

依据茅口组白云岩发育程度、岩溶缝洞型石灰岩储层有利分布区和烃源分布特征，结合中二叠统古构造背景，将盆地茅口组有利勘探区分为I类a区、I类b区、II类a区和II类b区。

I类a区分布于广安—南充及泸州西北部地区，为白云岩发育区与岩溶高地/岩溶上斜坡叠合区，白云岩厚0~20 m，中二叠统生烃强度为 $10 \times 10^8 \sim 22 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ，其中泸州西北部位于筇竹寺组生烃中心、印支期古隆起高部位。

I类b区分布于双鱼石—南充、卧龙河—石柱等地区，为白云岩发育区与岩溶下斜坡叠合区，该区白云岩储层厚0~20 m，中二叠统生烃强度为 $8 \times 10^8 \sim 22 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ，位于筇竹寺组生烃中心边缘。

II类a区广泛分布于蜀南—川中、川东北达州—

开江及川西北九龙山等地区, 该区为岩溶缝洞型石灰岩储层发育区, 烃源条件优越, 其中蜀南一川中地区不仅中二叠统生烃强度介于  $10 \times 10^8 \sim 30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 且位于筇竹寺组生烃中心, 川东、川东北、川西北地区中二叠统生烃强度介于  $10 \times 10^8 \sim 42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 且该区志留系烃源岩发育, 大部分地区生烃

强度都能达  $40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 通过烃源断层可为中二叠统提供补充烃源。

II 类 b 区主要分布于雅安一宜宾一带, 该区带白云岩储层发育, 厚  $0 \sim 50 \text{ m}$ , 但中二叠统生烃强度仅  $5 \times 10^8 \sim 18 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 筇竹寺组生烃强度小于  $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  (图 6)。

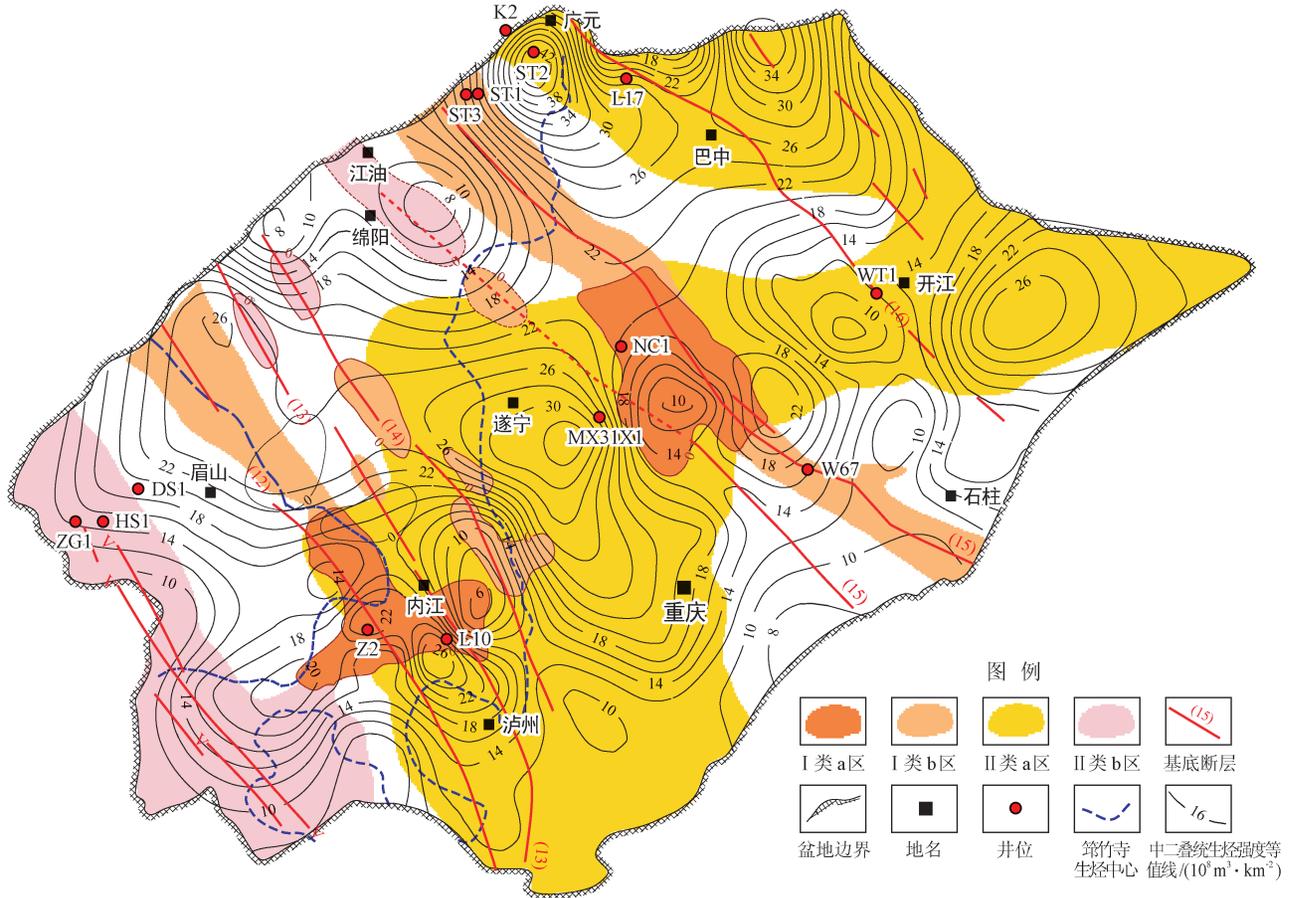


图 6 四川盆地中二叠统茅口组勘探方向平面分布图

## 5 结论

1) 四川盆地中二叠统气藏以二叠系自身烃源为主, 其次为下寒武统筇竹寺组和下志留统龙马溪组, 其中中二叠统生气中心位于盆地西北部和中南部, 生烃强度介于  $26 \times 10^8 \sim 44 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 具备形成大中型气田的物质基础。

2) 四川盆地中二叠统发育层状孔隙型白云岩和岩溶缝洞型石灰岩两类储层, 其中栖霞组台缘白云岩储层主要分布于盆地西部广元—江油、都江堰及川西南雅安一带, 厚  $10 \sim 30 \text{ m}$ , 栖霞组台内滩白云岩储层主要分布于川中高石梯—磨溪地区, 厚  $5 \sim 20 \text{ m}$ ; 茅口组白云岩储层主要沿基底断裂展布, 厚  $5 \sim 20 \text{ m}$ ; 茅口组岩溶缝洞型石灰岩储层广泛分布于盆地茅

口组中上部, 蜀南地区、川中高石梯—磨溪地区、川东北开江地区、川西北九龙山地区最为发育。

3) 四川盆地中二叠统天然气成藏具多层系供烃、多类型储层、多类型圈闭、多期成藏和多类型成藏模式等特点, 优质烃源岩、白云石化作用、表生岩溶作用、印支期古隆起和喜马拉雅期构造运动为天然气富集的重要控制因素, 其中优质烃源岩控制大中型气田分布, 白云石化、表生岩溶作用对颗粒滩储层的改造至关重要。印支期古隆起是油气聚集的有利指向区, 喜马拉雅期构造运动是油气调整的关键时期; 指出层状孔隙型白云岩储层勘探仍是寻找盆地中二叠统大中型油气藏的方向, 而岩溶缝洞型石灰岩储层勘探是寻找高效勘探的重要领域。

4) 栖霞组台缘滩最有利勘探区为川西北广元—

江油及都江堰一带,其次为川西南台缘带,台内滩有利勘探区主要分布在川中中高石梯—磨溪和蜀南地区;茅口组最有利勘探区为泸州—内江地区,其次为双鱼石—南充、卧龙河—石柱、高石梯—磨溪、达州—开江及九龙山地区。

## 参 考 文 献

- [1] 戴弹申,欧振洲. 裂缝圈闭及其勘探方法[J]. 天然气工业, 1990, 10(4): 1-6.  
Dai Tanshen & Ou Zhenzhou. Fracture traps and their exploration method[J]. Natural Gas Industry, 1990, 10(4): 1-6.
- [2] 张荫本. 四川盆地二叠系中的白云岩化[J]. 石油学报, 1982, 3(1): 29-33.  
Zhang Yinben. Dolomitization in Permian rocks in Sichuan Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 1982, 3(1): 29-33.
- [3] 沈平,张健,宋家荣,洪海涛,唐大海,王小娟,等. 四川盆地中二叠统天然气勘探新突破的意义及有利勘探方向[J]. 天然气工业, 2015, 35(7): 1-9.  
Shen Ping, Zhang Jian, Song Jiarong, Hong Haitao, Tang Dahai, Wang Xiaojuan, et al. Significance of new breakthrough in and favorable targets of gas exploration in the Middle Permian system, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(7): 1-9.
- [4] 杨光,汪华,沈浩,杨雨然,贾松,陈文,等. 四川盆地中二叠统储层特征与勘探方向[J]. 天然气工业, 2015, 35(7): 10-16.  
Yang Guang, Wang Hua, Shen Hao, Yang Yuran, Jia Song, Chen Wen, et al. Characteristics and exploration prospects of Middle Permian reservoirs in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(7): 10-16.
- [5] 赵宗举,周慧,陈轩,刘银河,张运波,刘玉娥,等. 四川盆地及邻区二叠纪层序岩相古地理及有利勘探区带[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊2): 35-51.  
Zhao Zongju, Zhou Hui, Chen Xuan, Liu Yinhe, Zhang Yunbo, Liu Yu'e, et al. Sequence lithofacies paleogeography and favorable exploration zones of the Permian in Sichuan Basin and adjacent areas, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 33(S2): 35-51.
- [6] 陈宗清. 论四川盆地中二叠统栖霞组天然气勘探[J]. 天然气地球化学, 2009, 20(3): 325-334.  
Chen Zongqing. Discussion on gas exploration of Middle Permian Qixia Formation, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 325-334.
- [7] 黄先平,杨天泉,张红梅. 四川盆地地下二叠统沉积相及其勘探潜力区研究[J]. 天然气工业, 2004, 24(1): 10-12.  
Huang Xianping, Yang Tianquan & Zhang Hongmei. Research on the sedimentary facies and exploration potential areas of Lower Permian in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(1): 10-12.
- [8] 陈宗清. 四川盆地中二叠统茅口组天然气勘探[J]. 中国石油勘探, 2007, 12(5): 1-11.  
Chen Zongqing. Exploration for natural gas in Middle Permian Maokou Formation of Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2007, 12(5): 1-11.
- [9] 田景春,林小兵,张翔,彭顺风,杨辰雨,罗寿兵,等. 四川盆地中二叠统栖霞组滩相白云岩多重成因机理及叠加效应[J]. 岩石学报, 2014, 30(3): 679-686.  
Tian Jingchun, Lin Xiaobing, Zhang Xiang, Peng Shunfeng, Yang Chenyu, Luo Shoubing, et al. The genetic mechanism of shoal facies dolomite and its additive effect of Permian Qixia Formation in Sichuan Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(3): 679-686.
- [10] 李毅,沈浩,石学文,汪华,陈莎,袁小玲. 川东—川中地区茅口组白云岩成因初探及“热次盆”概念的提出[J]. 天然气勘探与开发, 2013, 36(4): 1-3.  
Li Yi, Shen Hao, Shi Xuewen, Wang Hua, Chen Sha & Yuan Xiaoling. Distribution and origin of dolomites in Maokou Formation, eastern and central Sichuan Basin[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2013, 36(4): 1-3.
- [11] 汪华,沈浩,黄东,石学文,李毅,袁小玲,等. 四川盆地中二叠统热水白云岩成因及其分布[J]. 天然气工业, 2014, 34(9): 25-32.  
Wang Hua, Shen Hao, Huang Dong, Shi Xuewen, Li Yi, Yuan Xiaoling, et al. Origin and distribution of hydrothermal dolomites of the Middle Permian in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(9): 25-32.
- [12] 李大军,陈辉,陈洪德,梁虹,彭才,夏铭,等. 四川盆地中二叠统茅口组储层形成与古构造演化关系[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(5): 756-763.  
Li Dajun, Chen Hui, Chen Hongde, Liang Hong, Peng Cai, Xia Ming, et al. Relationship between reservoir development in the Middle Permian Maokou Formation and paleostructure evolution in the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(5): 756-763.
- [13] 宋晓波,隆轲,王琼仙,许国明. 四川盆地西部中二叠统茅口组油气地质条件及勘探潜力[J]. 海相油气地质, 2016, 21(1): 1-6.  
Song Xiaobo, Long Ke, Wang Qiongxian & Xu Guoming. Petroleum geology conditions and exploration potential of Middle Permian Maokou carbonate rock in western part of Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2016, 21(1): 1-6.
- [14] 江青春,胡素云,汪泽成,池英柳,杨雨,鲁卫华,等. 四川盆地茅口组风化壳岩溶古地貌及勘探选区[J]. 石油学报, 2012, 33(6): 949-960.  
Jiang Qingchun, Hu Suyun, Wang Zecheng, Chi Yingliu, Yang Yu, Lu Weihua, et al. Paleokarst landform of the weathering crust of Middle Permian Maokou Formation in Sichuan Basin and selection of exploration regions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 33(6): 949-960.
- [15] 黄籍中,张子枢. 四川盆地阳新统天然气的成因[J]. 石油勘探与开发, 1982, 9(1): 12-25.  
Huang Jizhong & Zhang Zishu. Origin of natural gas in the Yangxin limestone (Lower Permian) of Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1982, 9(1): 12-25.
- [16] 戴金星. 四川盆地阳新统气藏的气源主要是煤成气:与黄籍中等同志商榷[J]. 石油勘探与开发, 1983(4): 70-75.

- Dai Jinxing. Gas in Yangxin Formation in Sichuan Province is originated from coal containing formation: A discussion on this problem with Mr. Huang et al[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1983(4): 70-75.
- [17] 王兰生, 苟学敏, 刘国瑜, 王琳, 汪维明, 王密云. 四川盆地天然气的有机地球化学特征及其成因[J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 49-53.  
Wang Lansheng, Gou Xueming, Liu Guoyu, Wang Lin, Wang Weiming & Wang Miyun. The organic geochemistry and origin of natural gases in Sichuan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(2): 49-53.
- [18] 董才源, 谢增业, 朱华, 国建英, 张璐, 戴鑫, 等. 川中地区中二叠统气源新认识及成藏模式[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2017, 32(4): 18-23.  
Dong Caiyuan, Xie Zengye, Zhu Hua, Guo Jianying, Zhang Lu, Dai Xin, et al. New insight for gas source and gas accumulation modes of Middle Permian in central Sichuan Basin[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science)*, 2017, 32(4): 18-23.
- [19] 郝毅, 周进高, 张建勇, 倪超, 谷明峰, 辛勇光. 川西北中二叠统栖霞组白云岩储层特征及控制因素[J]. *沉积与特提斯地质*, 2013, 33(1): 68-74.  
Hao Yi, Zhou Jingao, Zhang Jianyong, Ni Chao, Gu Mingfeng & Xin Yongguang. The dolostone reservoirs from the Middle Permian Qixia Formation in northwestern Sichuan Basin: Characteristics and controlling factors[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2013, 33(1): 68-74.
- [20] 刘树根, 孙玮, 钟勇, 田艳红, 吴娟, 王国芝, 等. 四川叠合盆地深层海相碳酸盐岩油气的形成和分布理论探讨[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(1): 15-27.  
Liu Shugen, Sun Wei, Zhong Yong, Tian Yanhong, Wu Juan, Wang Guozhi, et al. Discussion on the theories of the hydrocarbon formation and distribution of the deep-seated marine carbonates in the Sichuan superimposed basin, China[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(1): 15-27.
- [21] 谷志东, 李宗银, 袁苗, 黄平辉, 梁东星, 张黎, 等. 四川盆地及其周缘晚震旦世一早寒武世早期区域抬升运动对岩溶储层发育的影响[J]. *天然气工业*, 2014, 34(8): 37-45.  
Gu Zhidong, Li Zongyin, Yuan Miao, Huang Pinghui, Liang Dongxing, Zhang Li, et al. Influences of regional uplifting during the Late Sinian-Early Cambrian on the development of karst reservoirs in the Sichuan Basin and its peripheral area[J]. *Natural Gas Industry*, 2014, 34(8): 37-45.
- [22] 杨光, 李国辉, 李楠, 陈双玲, 汪华, 徐亮. 四川盆地多层系油气成藏特征与富集规律[J]. *天然气工业*, 2016, 36(11): 1-11.  
Yang Guang, Li Guohui, Li Nan, Chen Shuangling, Wang Hua & Xu Liang. Hydrocarbon accumulation characteristics and enrichment laws of multi-layered reservoirs in the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36(11): 1-11.
- [23] 何治亮, 金晓辉, 沃玉进, 李慧莉, 白振瑞, 焦存礼, 等. 中国海相超深层碳酸盐岩油气成藏特点及勘探领域[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(1): 3-14.  
He Zhiliang, Jin Xiaohui, Wo Yujin, Li Huili, Bai Zhenrui, Jiao Cunli, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics and exploration domains of ultra-deep marine carbonates in China[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(1): 3-14.
- [24] 朱光有, 张水昌, 梁英波, 马永生, 戴金星, 李剑, 等. 四川盆地天然气特征及气源[J]. *地学前缘*, 2006, 13(2): 234-248.  
Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Liang Yingbo, Ma Yongsheng, Dai Jinxing, Li Jian, et al. The characteristics of natural gas in Sichuan Basin and its sources[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(2): 234-248.
- [25] 邹才能, 杜金虎, 徐春春, 汪泽成, 张宝民, 魏国齐, 等. 四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J]. *石油勘探与开发*, 2014, 41(3): 278-293.  
Zou Caineng, Du Jinhu, Xu Chunchun, Wang Zecheng, Zhang Baomin, Wei Guoqi, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gas field, Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(3): 278-293.
- [26] 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 张铭杰. 四川盆地西南部储层有机包裹体组成和碳同位素特征及其对油气来源的指示[J]. *地质论评*, 2005, 51(1): 100-106.  
Tang Junhong, Zhang Tongwei, Bao Zhengyu & Zhang Mingjie. Component and carbon isotope characteristics of organic inclusions in reservoirs and their hydrocarbons as tracers of oil and gas[J]. *Geological Review*, 2005, 51(1): 100-106.
- [27] 黄士鹏, 江青春, 汪泽成, 苏旺, 冯庆付, 冯子齐. 四川盆地中二叠统栖霞组与茅口组烃源岩的差异性[J]. *天然气工业*, 2016, 36(12): 26-34.  
Huang Shipeng, Jiang Qingchun, Wang Zecheng, Su Wang, Feng Qingfu & Feng Ziqi. Differences between the Middle Permian Qixia and Maokou source rocks in the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36(12): 26-34.
- [28] 罗兰, 王兴志, 李勇, 张芮, 王楠. 川西北地区中二叠统沉积相及其对储层的影响[J]. *特种油气藏*, 2017, 24(4): 60-66.  
Luo Lan, Wang Xingzhi, Li Yong, Zhang Rui & Wang Nan. Sedimentary facies in Middle Permian series in northwest Sichuan and its effect on reservoirs[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2017, 24(4): 60-66.
- [29] 姚雪根. 四川盆地天然气成藏条件及其勘探方向[J]. *海相油气地质*, 2002, 7(1): 13-28.  
Yao Xuegen. Accumulation and preservation conditions of natural gas in Sichuan Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2002, 7(1): 13-28.
- [30] 周进高, 姚根顺, 杨光, 谷明峰, 姚倩颖, 江青春, 等. 四川盆地栖霞组—茅口组岩相古地理与天然气有利勘探区带[J]. *天然气工业*, 2016, 36(4): 8-15.  
Zhou Jingao, Yao Genshun, Yang Guang, Gu Mingfeng, Yao Qianying, Jiang Qingchun, et al. Lithofacies palaeogeography and favorable gas exploration zones of Qixia and Maokou Fms in the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36(4): 8-15.
- [31] 江青春, 胡素云, 汪泽成, 王铜山, 李秋芬, 翟秀芬. 四川盆地中二叠统中一粗晶白云岩成因[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(4): 503-510.  
Jiang Qingchun, Hu Suyun, Wang Zecheng, Wang Tongshan, Li Qiufen & Zhai Xiufen. Genesis of medium-macro-crystalline

dolomite in the Middle Permian of Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(4): 503-510.

[32] 李晓清, 汪泽成, 张兴为, 刘琴, 燕金梅. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347-351.  
Li Xiaoqing, Wang Zecheng, Zhang Xingwei, Liu Qin & Yan Jinmei. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan Basin and their control action on natural gases[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 347-351.

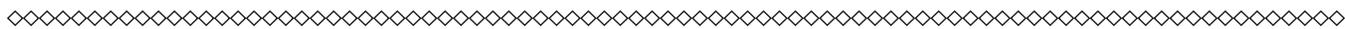
[33] 王学军, 杨志如, 韩冰. 四川盆地叠合演化与油气聚集 [J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 161-173.  
Wang Xuejun, Yang Zhiru & Han Bin. Superposed evolution of Sichuan Basin and its petroleum accumulation[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 161-173.

[34] 杜金虎, 张宝民, 汪泽成, 邹才能, 徐春春, 沈平, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组碳酸盐缓坡双颗粒滩沉积模式及储层成因 [J]. 天然气工业, 2016, 36(6): 1-10.  
Du Jinhu, Zhang Baomin, Wang Zecheng, Zou Caineng, Xu Chunchun, Shen Ping, et al. Sedimentary mode and reservoir genesis of two grain shoals at the Lower Cambrian Longwangmiao Fm carbonate ramp in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(6): 1-10.

[35] 李延钧, 李其荣, 王廷栋, 胡雄, 梁艳, 杨坚, 等. 泸州古隆起下三叠统嘉陵江组成藏地球化学特征 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 363-369.  
Li Yanjun, Li Qirong, Wang Tingdong, Hu Xiong, Liang Yan, Yang Jian, et al. Geochemical research of hydrocarbon reservoiring in Lower Triassic Jialingjiang Formation in Luzhou Palaeohigh[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 363-369.

[36] 戴弹申, 欧振洲. 四川盆地构造类型与油气赋存的关系 [J]. 四川地质学报, 1988, 9(1): 18-20.  
Dai Tanshen & Ou Zhenzhou. The relationship between tectonic type and hydrocarbon accumulation in Sichuan Basin[J]. Acta Geologica Sichuan, 1988, 9(1): 18-20.

(修改回稿日期 2017-12-12 编辑 罗冬梅)



## 中国石油西南油气田公司年产气量突破 200 亿立方米

中国石油西南油气田公司（以下简称西南油气田）2017 年产天然气达  $210.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，年产量首次迈上  $200 \times 10^8 \text{ m}^3$  台阶，比上年增长了  $20.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。西南油气田开发四川盆地天然气资源近 60 年，截至 2017 年底，累计产气量超过  $4\,304 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，相当于  $3.37 \times 10^8 \text{ t}$  原油。

近年来，西南油气田面对市场需求波动大、地质条件复杂、开发难度大等挑战，统筹资源、市场，调结构、稳增长，创新驱动新区增储上产、老气田稳产工程，实现了稳健发展的良好局面。

高石梯—磨溪区块是西南油气田产气主力。围绕“下寒武统龙王庙组气藏均衡开发”目标，综合分析 2 000 多组生产资料，创新技术思路，制定并实施调整措施 24 条，日产气量保持在  $2\,700 \times 10^4 \text{ m}^3$  以上，年产气量突破  $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；根据最新科研成果——震旦系灯影组地层形态研究成果，设计并钻探大斜度井、水平井，100% 获得高产气井，累计产气  $8.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

进入开发后期的沙坪场、五百梯等老气田，压力低、日产量低、效益低、稳产难度大。西南油气田开设科研专项，研究剩余储量的富集区，补钻新井，并配套实施增压采气、排水采气等新工艺，老气田年产气量比计划增加  $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，产量自然递减速度显著降低。

长宁—威远区块是西南油气田页岩气生产的主力。2017 年，该油气田广泛应用自创的主体技术，优质储层钻遇率、单井产量大幅提高；推进“井位部署平台化、钻井压裂工厂化、采输作业橇装化、工程服务市场化、组织管理一体化、生产管理数字化”，缩短了工程作业时间。2017 年投产新井 36 口，产气量超过计划的 8.7%。

推进产运销与市场需求同步，为产能转化为产量创造了条件。西南油气田创新天然气生产日跟踪、周分析、月调整制度；相国寺储气库从 2017 年 3 月 31 日起注气，累计注气  $15.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。两项措施相互叠加，实现了夏秋淡季产量不减。

(天工 摘编自天然气工业网)