

文章编号: 1001- 6112(2009)04- 0350- 06

四川盆地震旦系油气地质条件及勘探前景分析

孙 玮¹, 刘树根^{1,2}, 韩克猷³, 罗志立¹, 王国芝¹, 徐国盛¹

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 2. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 成都 610059;
3. 中国石油西南分公司 勘探开发研究院, 成都 610051)

摘要: 通过对四川盆地震旦系 40 多年的钻探情况分析后认为, 震旦系勘探程度低, 对四川盆地加里东古隆起和盆地周边一些高陡构造的钻探均未获得气藏。四川盆地震旦系烃源条件优越, 封盖条件好, 储层好, 分布广泛, 具备形成大气田的地质条件。四川盆地震旦系第一个成油期是加里东期, 海西期油气被破坏; 印支期烃源二次生烃并形成古油藏, 古隆起对油气捕集有着重要的意义。喜马拉雅期前由于持续埋深、温度增高、油裂解气的影响形成异常高压, 天然气溶于水形成水溶气; 挤压隆升过程中, 造成的油气再分配和水溶气的脱溶, 最终形成现今的气藏和含气区。该文通过对四川盆地震旦系的油气成藏条件分析, 提出川东华蓥山地区和川西北天井山古隆起是除乐山—龙女寺古隆起外未来震旦系勘探的有利地区。

关键词: 震旦系; 古隆起; 油气成藏; 勘探前景; 四川盆地

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

THE PETROLEUM GEOLOGICAL CONDITION AND EXPLORATION PROSPECT ANALYSIS IN SINIAN, SICHUAN BASIN

Sun Wei¹, Liu Shugen^{1,2}, Han Keyou³, Luo Zhili¹, Wang Guozhi¹, Xu Guosheng¹

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, CDUT, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. Exploration & Production Research Institute of PetroChina Oil and Gasfield Company, Chengdu, Sichuan 610051, China)

Abstract: The exploration degree of Sinian in the Sichuan Basin is low according to drilled information analysis. The drilled wells distribute on Leshan—Longnusi paleo-uplift area and orogenic belt which is around the basin, but they almost failed. The source rock and caprock are good and have good geological conditions to form large gas field. The first oil generation period was in Caledonian and the oil was destroyed to bitumen in Hercynian. The second oil generation was in Indosinian. The Leshan—Longnusi paleo-uplift was important to oil accumulation in this period. The oil was thermal cracked to gas by deep buried before Himalayan. It also formed abnormal high pressure and induced gas dissolving into water. During the uplift processes, due to the redistribution of gas and gas released from formation water, the gas field and gas-bearing areas were finally formed. Through analyzing the reservoir forming conditions of Sinian in the Sichuan Basin, this paper points out that the paleo-structures before Himalayan and Tianjingshan paleo-uplift in Caledonian should be the favorable exploration areas in the future.

Key words: Sinian; paleo-uplift; hydrocarbon formation; exploration prospect; Sichuan Basin

自 1964 年以来, 历经 40 余年的勘探, 四川盆地震旦系仅发现了威远气田, 这与四川盆地 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 相比, 勘探程度相当低。在过去, 震旦系的勘探多受时代老、演化历史长、埋深较深等不利因素的影响, 勘探多在震旦系埋藏浅的部位, 效果并不理想, 多为水井, 而几口埋深较深的井如女基井、安平 1 井和高科 1 井反而产气或见气显示。因

此有必要对四川盆地震旦系的勘探进行反思, 进而提出新的勘探思路。

1 钻探现状及探井分布

四川盆地及其边缘地区钻至震旦系的钻井共 135 口, 其中威远气田 107 口, 资阳含气区 7 口, 其它地区 21 口(图 1)。目前勘探的结果是, 获气田一个

收稿日期: 2008- 09- 27; 修订日期: 2009- 06- 04。

作者简介: 孙 玮(1978—), 男, 讲师, 主要从事构造地质、石油地质及油气成藏动力学研究。E-mail: sunweiedut@163.com。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2005CB422106)

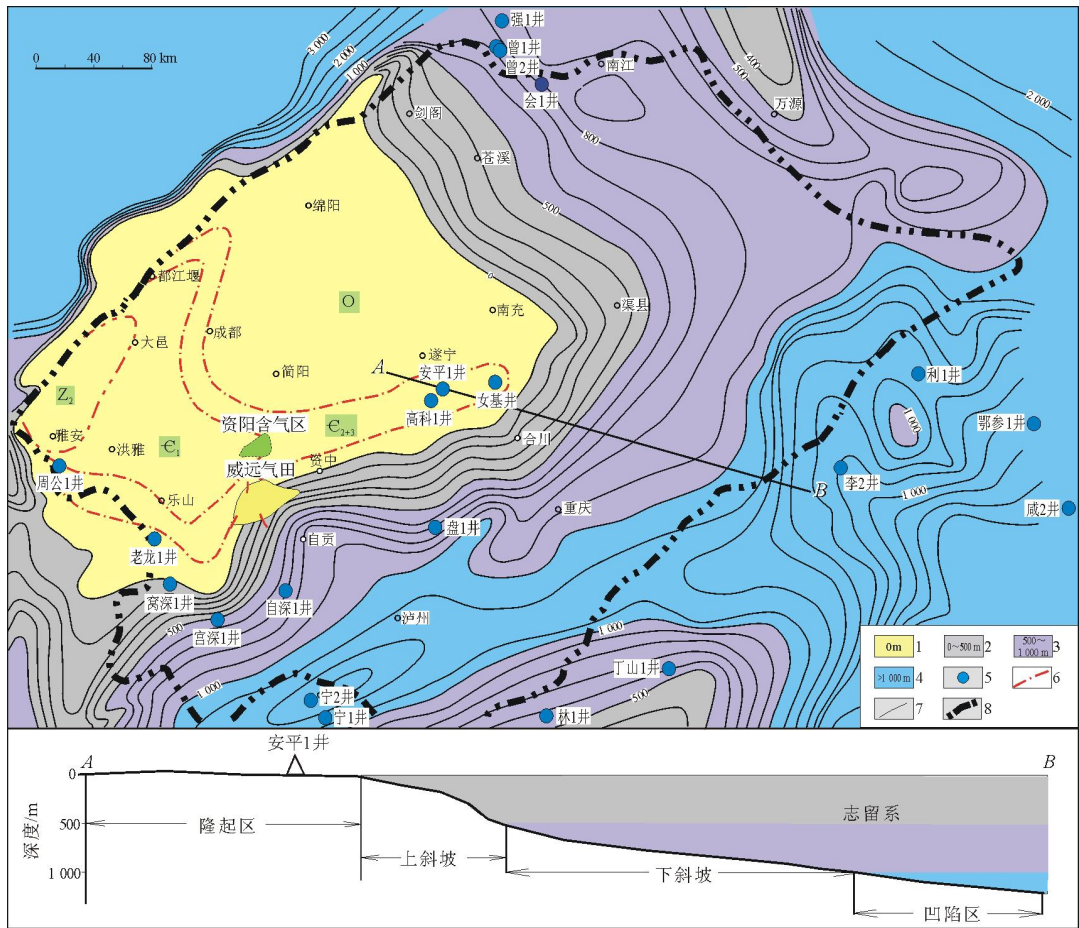


图 1 四川盆地志留系等厚图及震旦系部分探井分布

本图据罗启后 1990 年的基础上修改补充; 威远气田震旦系现有钻井 107 口, 资阳含气区钻井 7 口。

1. 隆起区; 2. 上斜坡; 3. 下斜坡; 4. 凹陷区; 5. 钻井位置; 6. 地质界限; 7. 志留系等厚线/m; 8. 盆地边界

Fig. 1 Silurian isopach map and Sinian exploration wells of the Sichuan Basin

表 1 四川盆地震旦系主要钻探成果

Table 1 the major drilling accomplishments of Sinian in the Sichuan Basin

井号	构造名称	完钻层位	震旦系钻探结果
老龙 1 井	老龙坝	Z	震旦系中途测试产气 55 m ³ /d, 其天然气组分与威远构造一致, 但完井测试产淡水 104.95 m ³ /d, 矿化度 2.58 g/L (淡水), 说明中途测试产天然气应该是局部储集空间的残余气
周公 1 井	周公山	Z	周公 1 井在震旦系漏失泥浆 107.7 m ³ , 产矿化度为 0.841 g/L 的淡水
窝深 1 井	大窝顶	Z	震旦系产水, 水型 CaCl ₂
宫深 1 井	天官堂	Z	震旦系测试产水, 根据液面上升折算日产水 400.24 m ³ , 水型为 CaCl ₂ 型, 矿化度 74.12 g/L, 与威远气田震旦系地层水一致, 从该井浅层至震旦系均出现大量清水漏失, 保存条件受到了不同程度破坏, 灯四中井漏泥浆 175 m ³ , 产水 20.45 m ³ /d, 灯三中产水 400.24 m ³ /d
自深 1 井	自流井	Z	井深 5 533.5 m (Z ₂ dn ²) 经 3 次中途测试, 震旦系产水, 其中 5 322.72~ 5 386 m (Z ₂ dn ⁴ - Z ₂ dn ³) 中测产水量 111.88 m ³ /d
盘 1 井	盘龙场	Z	两次测试, Z ₂ dn ⁴ - Z ₂ dn ³ (5 449.58~ 5 780 m) 产水量 5.1 m ³ /d, Z ₂ dn ⁴ - Z ₂ dn ³ (5 449.58~ 5 641.13 m), 产水量 3.52 m ³ /d
高科 1 井	高石梯	Z	震旦系灯四顶部有油气显示, 中测产气为 7 000 m ³ /d
安平 1 井	安平店	Z	震旦系灯四层获得气流, 测试结果为 0.124 8 × 10 ⁴ m ³ /d, 产水
女基井	龙女寺	Z	震旦系灯四段测试产气 2.69 × 10 ⁴ m ³ /d, 产水 4.69 m ³ /d
宁 1 井	长宁构造	Z	灯四、灯三层中井漏达 4 次, 放空 1 次, 最大漏失泥浆 22 m ³ , 清水 106 m ³
会 1 井	大两会	Z	震旦系产淡水 (0.66 m ³ /d), Cl ⁻ : 31.76 mg/L
曾 1 井	曾家河	Z	震旦系产淡水 (平均 22.2 m ³ /d), Cl ⁻ : 36 mg/L
强 1 井	南山岭	Z	震旦系产淡水 (34~ 49.5 m ³ /d), 总矿化度 1.14~ 3.89 g/L
丁山 1 井	丁山构造	Z	震旦系 3 509.0~ 3 532.0 m, 碳酸氢钠型水; 4 578.0~ 4 603.0 m, 氯化钙型水

注: 未包含威远及资阳的钻井。

(威远气田), 探明储量 $408.6 \times 10^8 \text{ m}^3$; 含气地区一个(资阳含气区), 控制储量 $102 \times 10^8 \text{ m}^3$; 3 口井见显示(女基井、高科 1 井和安平 1 井), 主要井的钻探结果见表 1。

四川盆地震旦系的钻探自 1964 年威基井见气以来, 勘探虽然遍及全川, 但从区域构造位置上来看很集中, 主要分为两大区域: 1) 位于乐山—龙女寺古隆起的斜坡以上部位, 主要包括威远气田, 资阳含气区, 川中的安平 1 井、高科 1 井和女基井, 川东南的窝深 1 井、官深 1 井和自深 1 井, 川中—川南过渡带的盘 1 井; 威远气田和资阳含气区, 震旦系见气显示井全在此范围内; 2) 现今四川盆地周边的高陡构造带, 主要环四川盆地边缘分布, 包括川北的强 1 井、曾 1、2 井, 川西的周公 1 井和老龙 1 井, 川南的宁 1、2 井, 川东的鄂参 1 井等和川东南的丁山 1 井和林 1 井。

这些探井的一个共同特点是震旦系顶面埋藏不深, 除川中的几口井外, 平均埋深未超过 4 000 m, 震旦系顶面埋深较深的川东、川西北、川南地区没有钻达震旦系的井。除了埋藏过深外, 这些地区的深层构造未完全探明, 难以选择目标进行钻探。

2 四川盆地震旦系成藏条件分析

2.1 烃源岩

四川盆地震旦系成藏的主要烃源岩是下寒武统的黑色页岩, 这点已被大多数专家所接受^[1,2]。这套页岩分布广, 生烃能力强, 是一套好的烃源岩。

从图 2 中可分析出该套烃源岩具有以下特征:

- 1) 生油岩分布广、厚度大。该套烃源岩为灰色、黑色泥岩, 分布广、面积大, 全川分布(超过 $17 \times 10^4 \text{ km}^2$), 且厚度也大, 平均厚度在 180 m, 川东厚 20~100 m、川南 40~420 m、川西南 50~300 m、川中 25~180 m、川北 25~120 m、川西 0~100 m、大巴山 100~200 m, 川南厚度最大(可达 400 m), 其次是川东和川西南地区。
- 2) 有机质丰度高, TOC 多在 0.75%~1.5% 之间, 均达到生油岩的标准; 丰度最高的是川东和川南地区, 川东 TOC 可达 2.25%。
- 3) 有机质类型为腐泥型。有机质类型好, 干酪根碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -31.59‰ , 沥青“ A ”族组分中以饱和烃为主, 芳烃和沥青质较低, 表明该组属 I 型有机质。
- 4) 有机质成熟度高, R_o 大部分地区都超过 2.5%, 表明成熟度高, 普遍都达到过成熟—高过成

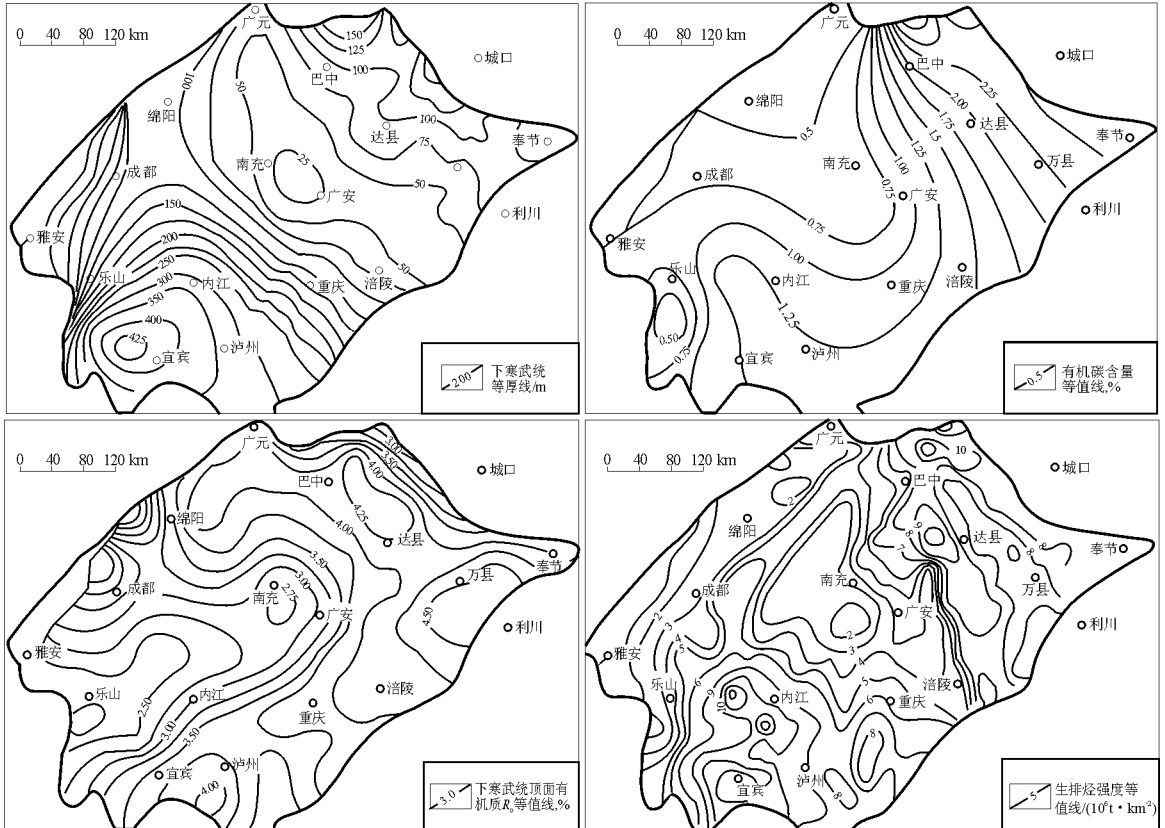


图 2 四川盆地下寒武统烃源特征

据四川石油管理局, 2002。

Fig. 2 The source rock characteristics of Lower Cambrian in the Sichuan Basin

熟阶段^[3]。5) 生烃能力强, 生烃强度一般都大于 $2 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ 。

2.2 储集层

储层主要是灯影组灯四—灯三段, 为溶孔白云岩, 因震旦纪末遭侵蚀各地厚度不一, 最大厚度在 400~ 500 m, 一般厚度在 100 m 以上, 资阳地区最薄仅厚 34~ 59 m。储层分布广泛, 分布最广的白云岩孔隙层其基质孔隙度在 1%~ 2%, 一般孔隙为 2%~ 5%, 最高可达 8%, 平均 4% 左右^[4,5]。从储集类型来看, 主要是孔隙—裂缝型储层。震旦系顶部曾抬升遭受剥蚀, 无论是川中的安平 1 井还是川东南的丁山 1 井, 顶部都见溶蚀作用, 溶蚀孔洞发育, 储集层条件相对较好。

2.3 盖层

震旦系的直接盖层是下寒武统泥页岩, 厚度 410~ 540 m。据威 106 井九老洞组泥页岩 9 块岩心样品压汞资料, 喉道在 18~ 248 Å 间, 具备良好的封盖能力。这套地层在四川盆地大部分地区均有分布。据吕延防的研究成果表明, 威远气田的盖层 CSI(气藏盖层封闭指标) 为 $2.74 \times 10^9 \text{ m/s}$, 具较好的封盖能力^[6]。

此外, 其上的二叠系泥岩、三叠系膏盐和侏罗—白垩系红层都是区域上很好的盖层。从以上资料看, 无论是直接盖层还是上覆的膏盐、泥质岩、陆相红层, 都是很好的盖层。

2.4 保存条件

区域性的构造环境对震旦系现今保存条件有较大影响(图 3)。周边地区由于构造活动性强, 褶皱高

而陡, 断层发育, 在一定程度上断层与地表连通, 丧失了区域盖层和保存条件, 不少周边造山带的钻探井均以失败告终。但盆地内部所钻的井, 除产气井外, 其它井钻遇的都是 CaCl₂ 型水, 矿化度高, 保存条件好。无数据区虽然没有钻井, 但从川南和川东寒武—志留系钻井来看, 地层水矿化度很高, 也属于封存条件好的地区。

3 天然气成藏的主要阶段

3.1 印支期—燕山早中期

印支期—燕山早中期, 是液态烃生成→油裂解气→水溶气阶段, 该期也是四川盆地一次重要的整体沉降、接受巨厚沉积的时期, 地温逐渐增加, 当古地温超过加里东期下沉温度时烃源岩因隆升而停滞的成烃被激活。

现今资料来看, 不仅在古隆起处, 四川盆地所有钻遇灯四—灯三段均见沥青分布^[7,8], 川东北龙门山田坝、川东南桑木场灯影组也见沥青, 含量较高, 说明这一时期古油藏已形成, 古油藏的范围很大, 很可能全川分布。这里需要指出的是, 原来的烃源岩已进入生烃高峰, 大量生成的油气进入储层中并被破坏, 重新激活的烃源生烃能力已大不如前, 值得注意的是震旦系储层中残留有大量的沥青在这一阶段未经历高温, 仍可排烃构成烃源^[9]。这一阶段的古隆起依然控制了油气的聚集趋势。大量生成的油气向古隆起聚集, 二次形成古油藏。这一阶段偶尔的抬升(中二叠世和中三叠世)幅度都很小, 对油藏的破坏作用不大。

据四川盆地裂变径迹资料分析, 晚白垩世前, 四川盆地震旦系的埋深普遍超过 6 000 m, 甚至达到 8 000 m 或更深, 温度超过 175 °C。关基井现今埋深 7 000 m 处地温为 154~ 174 °C, R_o 为 2.96%~ 3.11%, 地层压力 154 MPa, 压力系数 2.2。这样高温高压下, 古油藏成为新的“油源”, 全部裂解成天然气和焦沥青, 形成古气藏^[8]。

古气藏为异常高压气藏。据安平 1 井震旦系包裹体测压, 压力为 120 MPa, 压力系数 1.6。天然气不断生成的同时, 也不断地溶于水形成水溶气。从安平 1 井包裹体资料来看, 甲烷为液相赋存状态, 说明为水溶状态。从钻探结果来看, 震旦系气藏的发现井威基井就是气水同产, 至今不论是威远气田还是周围的气显示都是气水同产, 没有一口纯气井。因此, 认为这一阶段古隆起的震旦系气藏是一个古隆起控制的大型水溶气藏。

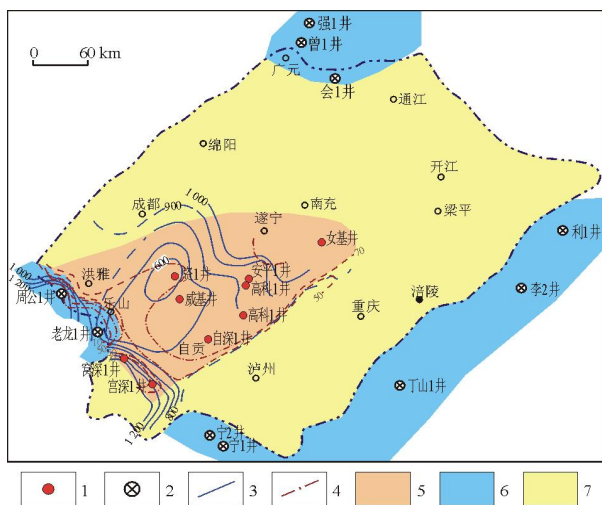


图 3 四川盆地震旦系水位折算及矿化度等值线

1. CaCl₂ 型水; 2. NaHCO₃-Na₂SO₄ 型水; 3. 折算水位等值线/(g·L⁻¹); 4. 矿化度等值线/(g·L⁻¹); 5. 封闭水区; 6. 自由交替水区; 7. 无数据区

Fig. 3 The water level and salinity contour map of Sinian in the Sichuan Basin

3.2 燕山晚期—喜马拉雅期

燕山晚期,四川盆地大面积大幅度隆升,旧圈闭破坏调整,新的圈闭形成。威远构造面积大,隆起幅度较高(达 4 000 m)^[10],是四川盆地中最大的背斜构造,但是形成很晚,是在喜马拉雅期时随着峨眉—瓦山断块隆起形成。因为它是在乐山—龙女寺古隆起范围内形成的,灯四—灯三段储层水中自然溶有天然气,构造的形成过程中天然气部分脱溶,但大部分仍赋存在水中,威远气田是一个大型的水溶气藏,更多的气仍溶于水中。

威远气田自发现以来在各方面就显示出其特殊性,如气源的争论,有机、无机、壳源、自源和上源之争,水溶气藏也是一种见解^[11]。刘德良等利用天然气溶解度的变化,计算出威远气田喜马拉雅期析出水溶气 $493.21 \times 10^8 \text{ m}^3$,略大于威远气田探明储量,认为绝大部分来自地层水中的水溶气^[12]。王兰生等在对威远震旦系气藏天然气组分考查中,注意到其干燥系数非常高,常规分析中未见到丙烷以上烃类,但用气相色谱议分析威远震旦系地层水却发现甲、乙、丙、异丁、正丁、正戊烷都存在,归一化后甲烷 90.25%、乙烷 5.96%、丙烷 2.44%、异丁烷 0.06%、正丁烷 0.533%等,表明水溶气是存在的^[13]。

上述水溶气藏是古构造控制的大面积气藏,现今构造并不起太大的控制作用。作为乐山—龙女寺古隆起,从加里东期形成,历经海西、印支、燕山和喜马拉雅期长时间的发展沉降—隆升—沉降—隆升交替进行至现今状态,受古构造控制明显。

4 勘探的有利地区

四川盆地震旦系在四川盆地周边造山带的勘探淡水,说明这一地区已成为自由水交替带,保存条件差,即使局部地区保存条件好,形成大中型气田的几率也较小。这主要在于造山带隆升幅度大,断裂多断至地表,钻井附近地表出露多为寒武—奥陶系,甚至震旦系,保存条件差,而盆地内部则保存条件好。图 3 所示的无数据区,震旦系上部均有其它层位气田存在,推测深层的保存条件较好。因此,周边造山带应是震旦系天然气勘探的不利地区。

四川盆地内部震旦系的勘探主要集中于乐山—龙女寺古隆起。但事实上,乐山—龙女寺古隆起在泥盆—石炭纪时由于剥蚀作用,古油藏被破坏。对于现今天然气有着重要影响的实际上是二叠纪后形成的新的古隆起。这一古隆起并不仅仅是乐山—龙女寺古隆起,在天井山和华蓥山东部都

形成了新的古隆起。这些古隆起对于主要生油期的油气聚集都起了重要作用。因此,盆地内勘探的主要地区应是二叠纪后形成的震旦系古隆起。

裂解气阶段形成的高压使天然气大量溶于水中,水的流动可携带天然气向低势区运移,这比天然气直接运移要容易且易于保存,同时,增大了天然气的分配区域。威远气田就是水溶气脱溶形成的^[14]。因此,在更大的范围内,水在向低势区运移时脱溶也可形成新的气藏,关键是新圈闭的确定。

综合分析来看,川中加里东古隆起、川东华蓥山东部古隆起区和川西北龙门山地区是震旦系油气勘探的有利地区。

4.1 川中乐山—龙女寺古隆起

这是一个现今已发现气藏的古隆起,处于这一范畴内的地区已发现威远气田、资阳含气区和几口产气井(图 4)。而且这一古隆起二叠纪后也一直处于隆起状态,是一个长期继承性隆起。但是,由于喜马拉雅运动对于古隆起破坏严重,由一完整的隆起分割成众多小的构造;而且现在钻井都位于古隆起的轴部和南斜坡带,北斜坡带还未有钻井,从成藏的角度来讲,北斜坡带与南斜坡带具有相同的条件,所以确定古隆起今构造和北斜坡带的构造是未来这一地区勘探的一个重点。

4.2 华蓥山古隆起

华蓥山古隆起也是印支期古隆起,这可能形成乐山—龙女寺古隆起威远气田相似的水溶大气藏的地区(图 4)。其范围南起重庆北至大竹,长 120 km,

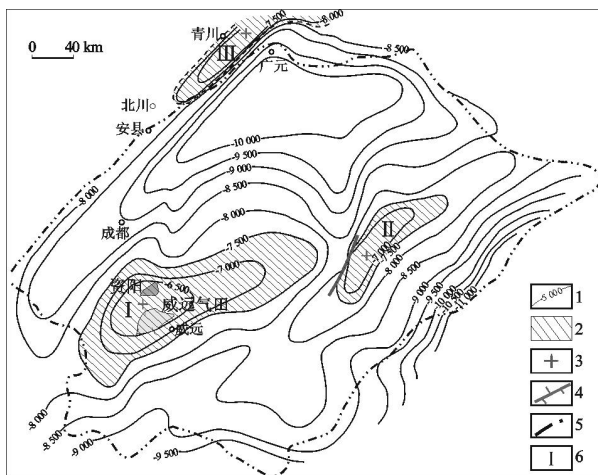


图 4 四川盆地喜马拉雅期前震旦系顶部构造及有利勘探区

- 1. 等深线/m; 2. 有利区; 3. 构造高点; 4. 断层; 5. 盆地边界; 6. 古隆起
- I. 印支期泸州古隆起; II. 印支期开江—华蓥山古隆起;
- III. 加里东天井山古隆起

Fig. 4 The prospective areas and structure map of top Simian before Himalayan in the Sichuan Basin

东西宽 35 km, 面积约 4 200 km²。在铜锣峡构造及两侧向斜选择构造钻探会有较好的结果。

4.3 天井山古隆起

天井山古隆起是加里东期古隆起, 古隆起西坡的枫顺场构造位于龙门山推覆构造的下盘, 是一个大型的隐伏背斜, 初步地震查明长轴 40 km, 短轴 6~10 km, 目前已圈闭面积 100 km², 闭合度 400 m (图 4)。本区为陡山沱组生油有利区^[15], 利于捕获油气。较为不利的是推覆体上盘志留系有轻度变质, 下盘构造较上盘平缓, 且该区山高入烟稀少, 交通不便, 勘探工作条件较差。

从大的范围上来看, 川东和川南印支期古隆起虽然长期处于拗陷阶段, 但局部区域上也存在古构造, 灯影组多处见井漏, 说明储层条件良好。从该区最深的钻达寒武系的阳深 2 井来看, 有气侵现象, 说明保存条件良好, 是未来震旦系勘探的一个重要的后备选区。

5 结论和讨论

四川盆地震旦系勘探成果仅获得一个威远气田, 其后四十多年中其它地区的 29 口探井未有重大突破, 主要的气显示井也都位于乐山—龙女寺古隆起区域, 周边造山带的勘探均失利, 勘探很不均衡, 勘探程度低, 但前景广阔。

从区域成藏条件看, 具有丰富的烃源(下寒武统)、较好的储集层(灯影组)和良好的盖层条件(下寒武统), 三者的匹配关系也很好, 是直接接触型生储关系, 但都是老的烃源+老的储层+老的盖层条件, 演化时间长(达 5 亿年), 构造活动复杂, 加之喜马拉雅期的构造隆升, 使得四川盆地震旦系构造发生变迁, 新构造形成(威远构造), 古构造的破坏(资阳古圈闭)以及周边现今保存条件改变, 至使四川盆地震旦系的勘探变得更为复杂。四川盆地周边震旦系地层水矿化度低, 属自由水交替区, 震旦系埋深较浅, 现今保藏条件差, 不利于震旦系勘探, 是勘探的高风险区; 盆地内属封闭区, 是勘探的主要目的区。

四川盆地震旦系成烃的主要阶段是二叠纪后下寒武统烃源成熟到排烃时, 先生成的液态烃向高点聚集形成古油藏, 古油藏在持续埋藏的过程中热裂解成天然气形成古气藏、沥青和异常高压, 部分

天然气在异常高压作用下形成水溶气。目前威远气田就是水溶气脱溶形成的气藏。

四川盆地震旦系古油藏主要形成时期是印支期, 因此, 印支期震旦系古隆起是古油藏的主要地区。大的范围看, 乐山—龙女寺古隆起是印支期的主要隆起区, 也钻遇了气井, 仍是未来勘探的重要选区, 但要注意现今构造的确定和北斜坡带的勘探。华蓥山东端古隆起可能形成类似于威远气田的大型水溶气藏。川西北天井山加里东古隆起是另一有利区域。

参考文献:

- 1 黄籍中, 陈盛吉. 震旦系气藏形成的烃源地球化学条件分析[J]. 天然气地球科学, 1993, (4): 16~20
- 2 戴金星. 威远气田成藏期及气源[J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 473~480
- 3 张林, 魏国齐, 韩龙等. 四川盆地震旦系一下古生界高过成熟度烃源岩评价[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 286~291
- 4 王兴志, 黄继祥, 侯方浩等. 四川资阳及邻区震旦系灯影组储层段沉积及层序地层学特征[J]. 西南石油学院学报, 1996, 18(3): 1~9
- 5 徐世琦, 洪海涛, 李翔. 四川盆地震旦系油气成藏特征与规律[J]. 天然气勘探与开发, 2002, 25(4): 1~5
- 6 吕延防, 付广, 于丹. 中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 742~745
- 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
- 8 张林, 魏国齐, 吴世祥等. 四川盆地震旦系一下古生界沥青产烃潜力及分布特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 276~280
- 9 孙玮, 刘树根, 马永生等. 四川盆地威远—资阳地区震旦系油裂解气判定及成藏过程定量模拟[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1153~1159
- 10 刘树根, 孙玮, 邓宾等. 四川盆地晚白垩世以来的构造隆升作用与天然气成藏[J]. 天然气地球化学, 2008, 9(3): 293~300
- 11 王兰生. 对目前国内油气无机成因理论的几点看法[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 772~775
- 12 刘德良, 宋岩, 薛爱民等. 四川盆地构造与天然气聚集区带综合研究[M]. 石油工业出版社, 2000. 59~65
- 13 王兰生, 苟学敏, 刘国瑜等. 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
- 14 刘树根, 马永生, 孙玮等. 四川盆地威远气田和资阳含气区震旦系油气成藏差异性研究[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 328~337
- 15 王兰生, 韩克猷, 谢邦华等. 龙门山推覆构造带北段油气田形成条件探讨[J]. 天然气工业, 2005(增刊): 1~5

(编辑 黄娟)