

四川盆地德阳—安岳台内裂陷 与震旦系勘探方向

周进高^{1,2}, 沈安江^{1,2}, 张建勇^{1,2}, 郝毅^{1,2}, 谷明峰¹, 李文正¹

(1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室)

摘要 阐明了四川盆地德阳—安岳台内裂陷的基本特征及形成演化, 探讨了台内裂陷对震旦系油气成藏的控制作用, 取得4项成果认识: (1) 台内裂陷呈南北向展布, 长300 km, 宽50~230 km, 面积60 000 km², 其中沉积了深水的泥页岩和泥质白云岩。(2) 台内裂陷的形成与罗迪尼亚超大陆的裂解、断陷作用和差异沉积作用三个因素有关, 它发育于晚震旦世灯影早期, 止于早寒武世筇竹寺中晚期, 经历四次拉张、三次暴露剥蚀以及快速充填消亡等8个演化阶段。(3) 台内裂陷发育灯影组三段、麦地坪组和筇竹寺组三套烃源岩, 是烃源岩发育中心和生烃、供烃中心; 台内裂陷两侧在震旦纪发育了灯影组二段、灯影组四段两套大面积分布的白云岩储层, 优质储层沿台缘带展布; 源岩与储层侧向接触, 构成侧向供烃、侧向封堵的成藏组合, 有利于油气成藏富集。(4) 提出“沿台内裂陷两侧台缘带勘探”的震旦系勘探思路, 近期勘探可首选东侧台缘带, 遂宁—剑阁区带的九龙山构造和荣昌—泸州区带的阳高寺构造可成为突破口。

关键词 四川盆地; 震旦系; 台内裂陷; 烃源中心; 储层分布; 成藏模式; 勘探方向

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

0 前言

四川盆地德阳—安岳—长宁一带存在一个近南北向展布的震旦纪—早寒武世负向地貌单元, 本文称之为德阳—安岳台内裂陷。对该裂陷的认识迄今仍有分歧, 有学者认为它是震旦纪末桐湾运动抬升后, 由于风化壳岩溶作用而形成的溶蚀谷^[1], 或是桐湾运动抬升剥蚀后而反转形成的侵蚀沟槽^[2], 也有学者认为它是早寒武世形成的裂陷槽^[3-5], 或坳拉槽^[6], 还有学者认为是拉张侵蚀槽^[7]。本文通过大量地震资料解释, 并结合地表露头和钻井资料分析, 认为该裂陷是形成于晚震旦世、消亡于早寒武世筇竹寺晚期的台内裂陷, 并经多期岩溶侵蚀作用的改造。本文介绍了裂陷的发现和认识过程, 以及裂陷的成因、沉积充填和演化特征, 并探讨了裂陷对烃源岩发育、有利储集相带展布、成藏组合及成藏模式的控制作用, 提出了以台内裂陷为烃源中心, 沿台内裂陷两侧台缘高能相带为储集体发育区, 以侧向供烃、侧向

封堵为成藏组合的新认识, 指出裂陷两侧的震旦系台缘带为有利油气富集区, 是震旦系未来油气勘探的重要方向。

1 台内裂陷的发现过程及特征

1.1 发现和认识过程

德阳—安岳台内裂陷从发现到正式提出, 经历了“台洼”“台沟”和“台内裂陷”三个认识阶段。

(1) “台洼”认识阶段

2011年7月, 高石1井在震旦系灯影组取得天然气勘探重大突破后, 中国石油集团内多家单位对大川中地区二维地震资料和区域格架地震资料开展研究, 在震旦系顶面构造图上发现高石梯西侧存在大致南北向展布的构造等值线密集梯度带, 中国石油川庆物探公司和西南油气田分公司将其称为“陡坎带”, 接着在资阳东侧也发现类似的“陡坎”, 由于缺乏钻井标定, 推测陡坎为断裂。中国石油杭州地质研

收稿日期: 2017-07-28; 改回日期: 2018-01-30

本文受中国石油勘探与生产分公司重大勘探项目“四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦系沉积相及储层分布规律研究”(2012ZD01-02-03)、国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05004-002)、中国石油集团重大专项“深层油气勘探开发关键技术研究”(2014E-32-02)资助

周进高: 1967年生, 博士, 教授级高工。主要从事碳酸盐岩沉积储层研究和油气地质评价工作。通讯地址: 310023 浙江省杭州市西溪路920号; E-mail: zhoujg_hz@petrochina.com.cn

究院依据高科 1 井和安平 1 井揭示的地层, 结合区域岩相古地理资料初步判断, 两陡坎带之间为“相对深水的台洼”, 而“陡坎带”两侧为浅水碳酸盐岩台地, 沿“陡坎”可能发育台地边缘。该阶段将德阳—安岳地区负向地貌描述为台内洼地, 其两侧为碳酸盐岩台地。

(2) “台沟”认识阶段

2012 年 6 月, 随着钻井资料的丰富和对地震资料的进一步综合解释, 特别是通过南江杨坝、峨边先锋的震旦系露头资料与高石梯—磨溪、威远—资阳地区的钻井资料的对比研究, 确定了在台洼区存在灯影组三段(简称“灯三段”)深水黑色泥岩沉积, 而高石梯—磨溪及威远—资阳地区灯二段、灯四段发育微生物丘和颗粒滩等高能相带沉积, 首次提出沿“陡坎”两侧发育震旦纪碳酸盐岩台地边缘, 陡坎带之间为“深水台内沟槽”^①, 并建立了震旦系含台沟的局限台地沉积模式。该阶段将德阳—安岳地区负向地貌描述为台沟, 并明确台沟两侧发育台地边缘丘滩相带; 也有学者认为“陡坎带”之间为“侵蚀沟谷”, 并提出“构造隆升剥蚀”和“地表水侵蚀”两种成因模式^[1-2]。

(3) “台内裂隙”认识阶段

2013 年 7 月, 通过三维地震资料精细解释, 确定“陡坎”为多期张性断裂控制的裂隙边界; 高石 17 井完钻后揭示, 陡坎带之间的灯二段、灯三段及灯四段为深水斜坡—盆地沉积, 地层厚度明显变薄, 但两侧在同期则为浅水碳酸盐岩台地沉积, 证实了震旦纪台内“沟槽”的存在。且中国石化集团 2015 年在“沟槽”内完钻的资阳 1 井揭示灯影组为一套厚度不到 100 m 的薄层石灰岩与白云岩, 这进一步证实了“沟槽”的存在。由于槽内缺乏磨拉石、复理石及火山岩建造, 且与裂谷或拗拉槽有明显不同, 故使用了“台内裂隙”一词^②, 并将其地质含义厘定为: 发育于克拉通内部的、受张性断裂控制的、具有负向地貌特征的构造—沉积单元, 始于震旦纪灯影早期, 止于寒武纪筇竹寺中晚期, 充填斜坡—盆地相的相对深水沉积序列。

综上所述, 对德阳—安岳台内裂隙的认识是随着资料的丰富而逐渐深入的过程, 早期是依据零星资料从岩相古地理方面作出初步判断, 随着野外露

头与钻井资料对比和地震资料解释的深入, 明确了裂隙边界断裂, 并推测裂隙内存在深水沉积, 最后通过钻探证实了裂隙的存在。

1.2 台内裂隙的基本特征

研究揭示, 台内裂隙在震旦纪主要表现为由补偿沉积演变为欠补偿沉积, 裂隙内地层厚度薄, 裂隙两侧地层厚度大, 而寒武纪则表现为充填沉积的特点, 裂隙内沉积厚度大, 裂隙两侧地层厚度薄, 震旦系和寒武系呈现镜像充填关系。依据此特点, 采用“印模法”可以大致恢复台内裂隙的形态, 图1的背景是麦地坪组+筇竹寺组+沧浪铺组厚度图^[8], 它反映了台内裂隙的现今形态, 此为多期张裂、沉积充填的综合结果, 具有以下特点:

(1) 台内裂隙可分成两段(图1)。北段呈向西北方向撒开的喇叭状, 喇叭长约 250 km, 喇叭口宽约 230 km, 最窄处位于内江一带, 宽约 40 km; 南段沿内江—自贡—绥江一线向西南方向展布, 延伸约 200 km, 喇叭口最宽约 170 km; 台内裂隙总面积约 60 000 km²。

(2) 台内裂隙北深南浅。最深位于安县—德阳一带, 充填的麦地坪组+筇竹寺组+沧浪铺组累积厚度达 1 200 m; 最浅位于内江—长宁一带, 充填的麦地坪组+筇竹寺组+沧浪铺组厚度仅 500 m; 介于德阳和内江之间的为斜坡区, 麦地坪组+筇竹寺组+沧浪铺组厚度由 1 200 m 减薄至 500 m。

(3) 台内裂隙边界由同生伸展断裂构成。同生断裂有四期(图 1), 第一期发生在灯一期—灯二期, 以北西向断裂的拉张为主, 主要分布在裂隙北段的中心; 第二期发生于灯三期—灯四期, 裂隙北段和南段均有发育; 第三期主要在麦地坪早期活动; 第四期发生在筇竹寺早期, 控制裂隙的现今边界。这四期断裂由裂隙中心向两侧迁移, 有的断裂可能四期都有活动, 而有的仅在某个阶段活动, 但它们对裂隙及裂隙边界具有明显的限制。

2 台内裂隙的形成与演化

2.1 台内裂隙的形成

德阳—安岳台内裂隙的形成与以下三个因素密

① 周进高, 郝毅, 张建勇, 等. 四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦系沉积相与有利储层分布研究 [R]. 中国石油杭州地质研究院, 2012.

② 贾承造. 《四川盆地川中古隆起震旦系—寒武系含油气评价及勘探配套技术研究》验收会议发言材料. 2015.

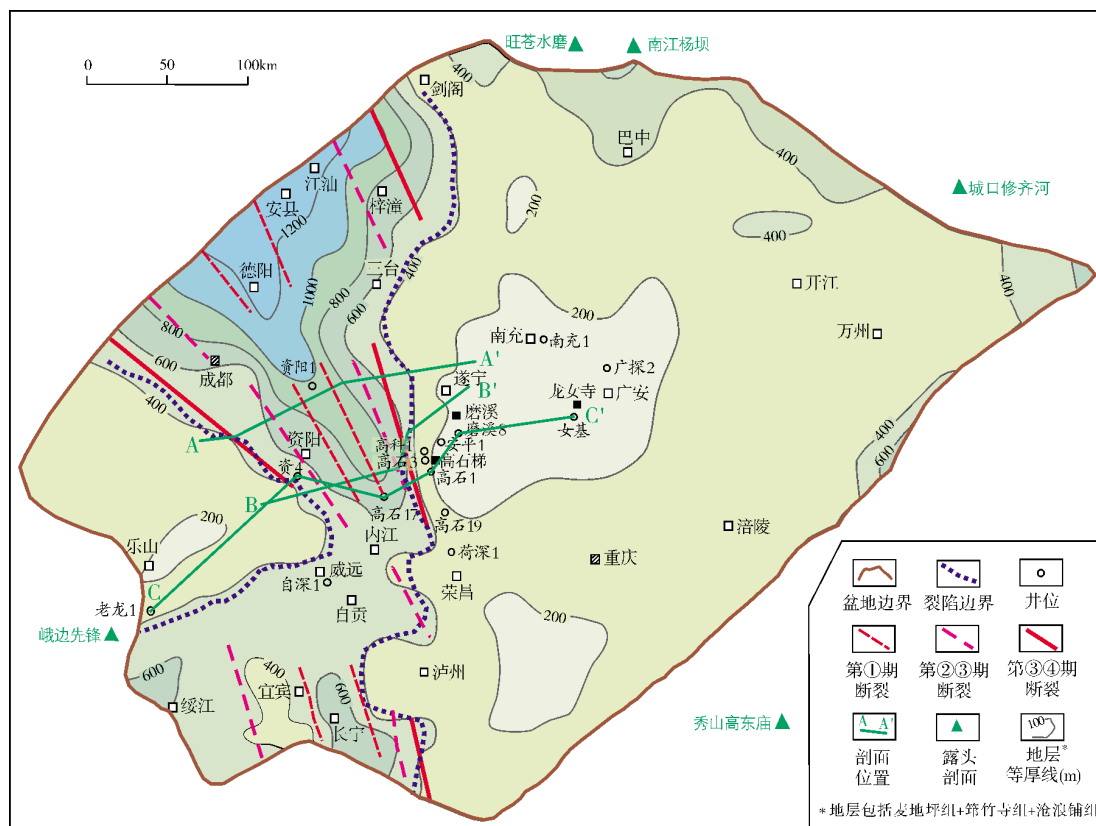


图1 四川盆地德阳—安岳台内裂陷分布图(据文献[9]修改)

切相关:

(1)超级大陆裂解伴随的区域伸展构造活动是台内裂陷产生的内在动力。在地质历史中,地球大致经历了凯诺兰、哥伦比亚、罗迪尼亚、冈瓦纳、潘基亚等五期超级大陆裂解^[10](图2),而德阳—安岳台内裂陷的形成则与罗迪尼亚期大陆裂解有关^[11],它是罗迪尼亚期华北板块与扬子板块沿秦岭—大别一带裂离形成秦岭洋盆的过程中^[12],在碳酸盐岩台地内部产生的低幅度裂陷。该时期强烈的伸展作用^[13-14],还致使在板块边缘形成晚元古代至早古生代的拗拉槽,如上扬子与中扬子板块之间的克拉通内的裂陷盆地,及中上扬子克拉通边缘的裂陷盆地。罗志立等^[15-17]将这时期的伸展作用称为兴凯地裂运动。我国已发现的其他一些裂陷或裂谷,如鄂尔多斯盆地靖边裂陷和晋陕裂陷、湘黔地区泥盆纪—石炭纪裂陷、四川盆地开江—梁平海槽,则可能分别与哥伦比亚期、冈瓦纳期、潘基亚期大陆裂解有关。

(2)断陷作用是台内裂陷形成的关键因素。据地震资料解释,德阳—安岳台内裂陷可能有四期断裂

活动,且断裂具有由裂陷中心向两侧迁移的特点^[9](图3)。断陷的结果是在碳酸盐岩台地内部形成“微地堑”,造成裂陷内外之间具有一定的地貌差异,即断陷内的地貌低洼,两侧的地貌高。

(3)差异沉积是台内裂陷隆凹分异加剧的因素。**Wilson**^[18]认为热带海洋碳酸盐工厂存在于从热带水面延续到清澈海水之下 100 m 之间的范围,但主要产率在顶部的 10 m 范围内;**Schlager**等^[19]对巴哈马台地的研究显示,礁的加积率随着海水变深而降低,水深小于 5 m 的堆积率为 100~2 000 cm/ka,水深 10~20 m 的为 50~200 cm/ka。由此可见,水深(尤其是水深大于 20 m)对碳酸盐工厂生产率和碳酸盐的堆积具有重要影响。断陷作用造成了碳酸盐岩台地内部隆凹的古地理背景,裂陷内水体较深,碳酸盐的生产率低,使得沉积速率低于沉降速率,从而导致裂陷内水体越来越深;而裂陷两侧隆起的水体浅,碳酸盐生产率高,尤其是发育礁丘时,加积作用更为显著,造成沉积速率远大于沉降速率,使得两侧水体愈发变浅。因此,台内沉积差异可导致地貌分异的加剧,这

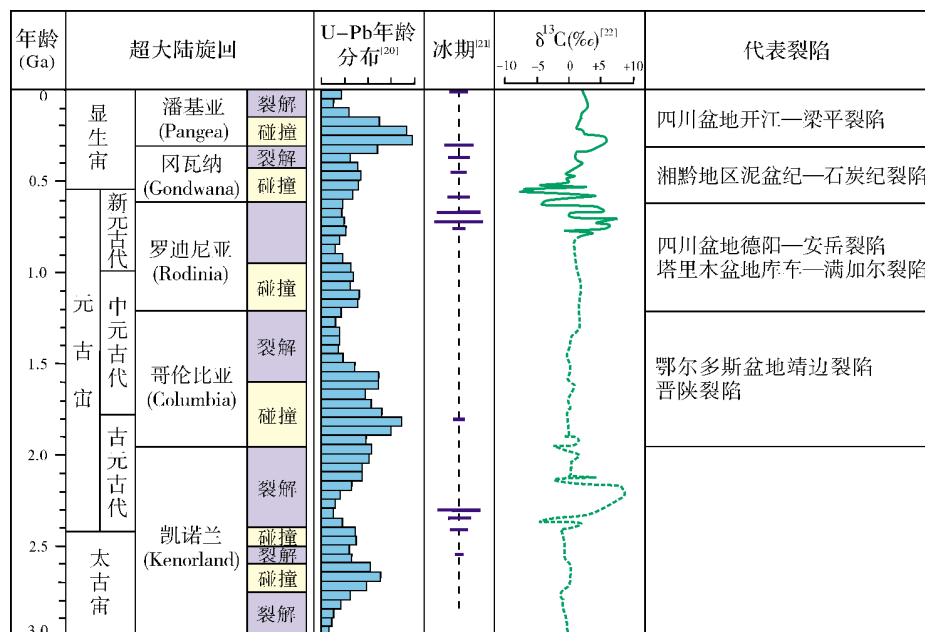


图2 超级大陆裂解旋回与典型裂陷

(据文献[10]修改)

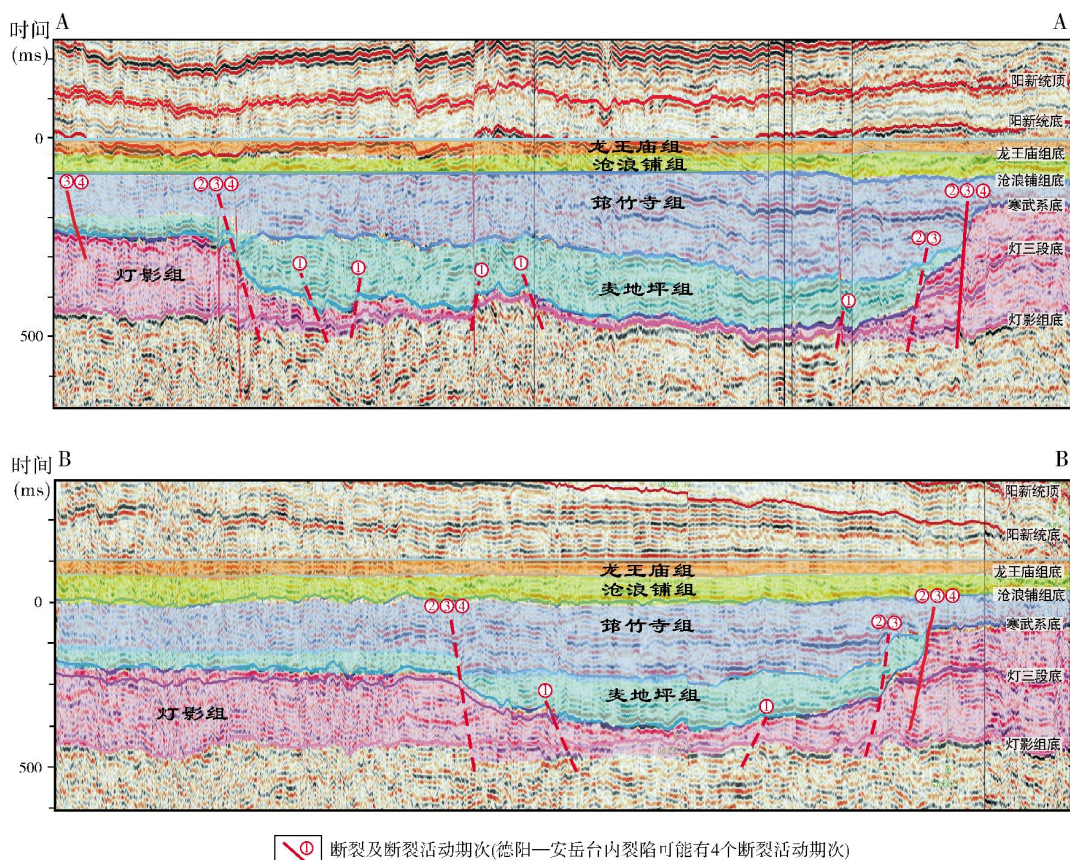


图3 四川盆地德阳—安岳台内裂陷边界断裂地震解释剖面图

(据文献[9]修改)

在沉积响应上具有良好记录,如裂陷内高石17井,钻探揭示灯四段厚仅15m(也有学者认为属于灯二段),为斜坡相泥质白云岩和泥质粉砂岩沉积(粉砂成分由白云岩组成);而位于裂陷两侧的灯影组为浅水微生物丘滩相沉积,地层厚度达600~1000m。

此外,城口修齐河剖面的灯影组为厚约40m的薄层条带状硅质岩和浊积灰岩,秀山高东庙剖面为厚约10m的薄层条带状硅质灰岩夹白云岩沉积,均代表了相对深水、欠补偿的裂陷沉积环境。

2.2 台内裂陷的沉积充填与演化

笔者曾在文献[9]中提出了德阳—安岳裂陷形成于震旦纪灯影期,经历了8个演化阶段的观点,现依据最新钻井、野外露头 and 地震资料,重建了台内裂陷及其两侧的地层序列,并结合灯二段/灯三段、灯四段/麦地坪组、麦地坪组/筇竹寺组之间均存在平行不整合面的事实^[23],认为台内裂陷经历了四次张裂、三次暴露剥蚀以及快速充填消亡等8个阶段(图4)。

(1) 灯一期—灯二期初始裂陷阶段

在区域伸展构造背景下,由于北西向基底断裂的复活,造成资阳与高石梯之间裂陷,并伴随海侵,台内裂陷内部沉积斜坡相深灰色泥质白云岩、硅质条带白云岩和“眼球状”白云岩,地震剖面表现为中高频、中高振幅、连续反射,地层厚度100~200m,裂陷两侧为台地相灰色—浅灰色微生物白云岩、颗粒白云岩和泥晶白云岩,地震剖面表现为中低频、中低振幅、断续或杂乱或丘状反射特征,地层厚度400~600m(图4a)。

(2) 灯二末期暴露剥蚀阶段

灯二末期,受冰期海平面下降(桐湾运动I幕)的影响,碳酸盐岩台地暴露,裂陷内局部地区可能亦暴露海平面之上,造成灯二段遭受风化作用,裂陷边界及裂陷内的局部地区也可能遭受一定程度的侵蚀(图4b)。据高石梯—磨溪地区钻井揭示,裂陷两侧灯二段上部被剥蚀厚度一般几米至几十米不等,并形成灯二段/灯三段之间的风化壳。

(3) 灯三期—灯四期张裂阶段

灯三期是台内裂陷快速张裂期,该期边界拉张断裂具有向台内迁移的特点,造成裂陷变宽。随着海水迅速将台地淹没及陆源和火山物质的加入,台内裂陷演化为斜坡—盆地环境,沉积蓝灰色泥岩、深灰

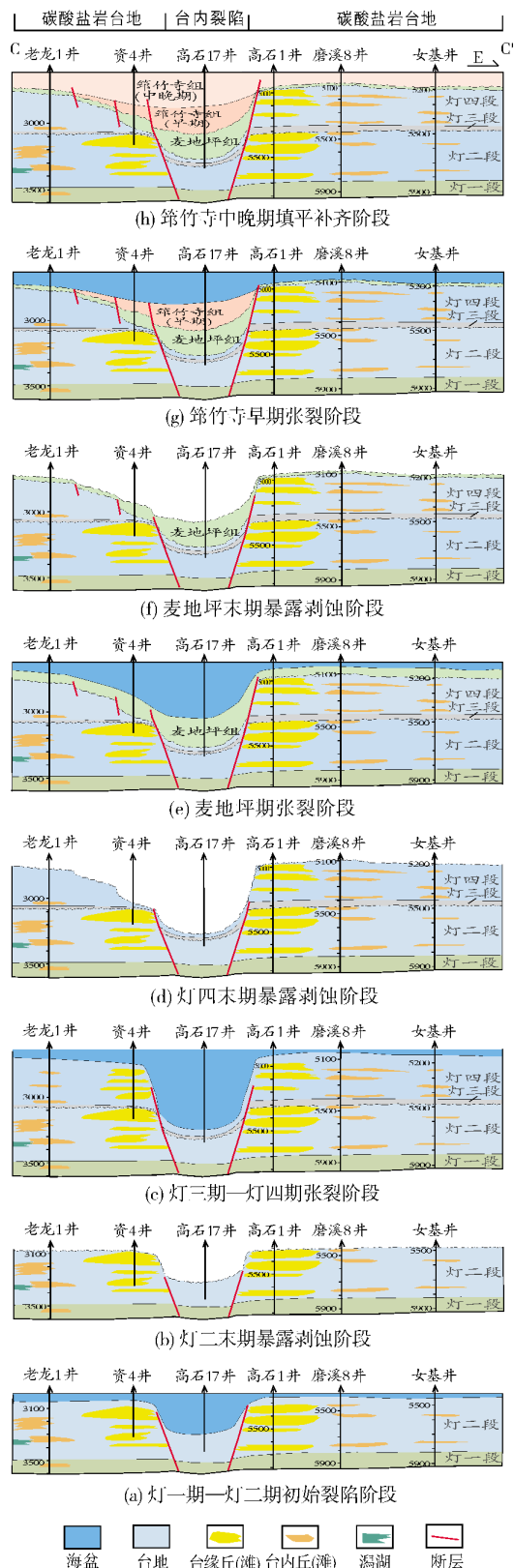


图4 四川盆地德阳—安岳台内裂陷及两侧沉积充填序列

色—黑色硅质泥岩夹薄层白云岩,厚1~3 m,而台地两侧演化为混积台地环境,沉积灰色—黑色泥岩、灰色白云岩和砂岩,厚0~80 m。灯四期继承了灯三期古地理格局,但由于缺乏陆源物质的输入,从而转化为清水环境,台内裂陷中仍为斜坡—盆地环境,沉积黑色泥质白云岩、硅质白云岩和粉砂岩,厚约十几米至百余米,裂陷两侧为碳酸盐岩台地环境,沉积灰色—浅灰色蓝细菌白云岩、颗粒白云岩、硅质条带白云岩和泥晶白云岩,厚300~500 m(图4c)。

(4) 灯四末期暴露剥蚀阶段

灯四末期,受冰期海平面下降(桐湾运动Ⅱ幕)的影响,碳酸盐岩台地再次暴露,使灯四段遭受剥蚀(图4d)。据钻井和地震解释,台内裂陷两侧台地区剥蚀厚度不超过50 m,如高石梯—磨溪—龙女寺地区。而在台内裂陷斜坡区,如裂陷西侧资阳—成都地区,裂陷南侧内江—长宁地区,以及裂陷东侧安岳—三台—剑阁地区,由于灯四段沉积厚度薄,是否被剥蚀或剥蚀量的多寡尚不清楚。从城口及秀山震旦系露头剖面反映出大陆边缘裂陷槽内灯四段和麦地坪组为平行不整合接触来看,台内裂陷灯四段可能遭受过侵蚀,并造成灯四段/麦地坪组之间的平行不整合。

(5) 麦地坪期张裂阶段

麦地坪早中期,是进入寒武纪以来的第一次张裂,裂陷幅度较大,加上早寒武世快速海侵,使台内裂陷迅速转为斜坡—盆地环境,沉积了深灰色—黑色泥岩、硅质岩、粉砂岩夹砂岩和白云岩,含磷结核或磷块岩,见小壳化石,厚约150 m,台内裂陷东侧为台地环境,沉积灰色泥晶灰岩,含生物碎屑,厚几米至十几米,而西侧为斜坡环境,沉积含磷硅质岩和白云岩,厚数十米(图4e)。

(6) 麦地坪末期暴露剥蚀阶段

麦地坪晚期,受海平面下降(桐湾运动Ⅲ幕)的影响,碳酸盐岩台地又一次抬升暴露,使麦地坪组遭受剥蚀,造成麦地坪组与筇竹寺组之间的不整合接触(图4f)。

(7) 筇竹寺早期张裂阶段

筇竹寺早期是兴凯地裂运动最强时期,由于同沉积断裂的持续作用,台内裂陷演变为深水陆棚环境,沉积黑色—深灰色泥页岩、粉砂岩,并向两侧超覆,厚500~600 m,两侧为浅水陆棚环境,沉积深灰色粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,厚100~150 m(图4g)。

(8) 筇竹寺中晚期填平补齐阶段

筇竹寺中晚期—沧浪铺期,由于加里东运动的影

响,区域应力由伸展向挤压转化,沿龙门山和米仓山一带开始造山,陆源物质供给急剧增加,造成筇竹寺中晚期以深水—浅水陆棚粉砂岩和泥岩沉积为主,夹砂岩,而沧浪铺期演变为浅水陆棚—浅海环境,以砂泥岩沉积为主,龙门山和米仓山一带在沧浪铺中晚期出现了冲积扇—滨岸相砾岩,从砾岩厚度、砾石大小及砾石磨圆分选来看,具有磨拉石建造的特点,显示该期挤压运动具造山性质,其结果是导致宝兴、摩天岭等古岛链沿龙门山一带隆升,并向盆内提供大量陆源物质,致使台内裂陷被快速充填以至消亡(图4h)。

上述分析表明,德阳—安岳台内裂陷发育于震旦纪—早寒武世筇竹寺早期,消亡于早寒武世晚期,经历了四次拉张、三次暴露以及填平补齐等8个演化阶段。拉张期,裂陷内为深水环境,有利于烃源岩的发育;暴露期,裂陷两侧碳酸盐岩台地遭受岩溶作用改造,可形成岩溶缝洞型储层;快速充填期,沉积较厚的泥质岩盖层,易形成良好的纵向和侧向封堵条件,因此,台内裂陷对烃源、储层和成藏均有重要控制作用。

3 台内裂陷与震旦系油气成藏

3.1 台内裂陷是震旦系生烃供烃中心

台内裂陷是震旦系和下寒武统烃源岩发育的中心,目前,在台内裂陷中已发现三套烃源岩,即灯三段、麦地坪组和筇竹寺组泥质类烃源岩。

灯三段烃源岩发育于震旦纪快速张裂期,裂陷内为欠补偿盆地环境,沉积厚度薄,高石17井揭示厚仅2 m,秀山高东庙剖面和城口修齐河剖面显示四川盆地外围裂陷槽亦为欠补偿沉积,为厚1~3 m的黑色泥岩、硅质泥岩;台内裂陷两侧陆棚区是沉积中心,主要为暗色泥岩、硅质泥岩夹白云岩沉积,据高石1井和高科1井揭示,暗色泥岩厚10~30 m,而南江杨坝剖面和旺苍水磨剖面揭示厚25~35 m。灯三段烃源岩有机质丰富,TOC介于0.04%~4.73%,平均0.65%,有机质类型属腐泥型(I型),等效 R_o 介于3.16%~3.21%,达到过成熟阶段^[24]。研究显示,灯三段烃源岩主要沿裂陷边缘分布。

麦地坪组烃源岩为泥页岩、硅质泥岩和含磷泥岩,有机质丰度较高,TOC含量介于0.52%~4%,平均1.68%。干酪根同位素-36.4‰~-32.0‰,平均-34.3‰,属典型的腐泥型烃源岩。有机质成熟度高,等效 R_o 介于2.23%~2.42%,达到高过成熟阶段^[25]。

麦地坪组烃源岩主要沿台内裂陷分布,裂陷内厚度大,达10~40 m。

筇竹寺组烃源岩是四川盆地乃至上扬子区最优质的烃源岩,主要发育在筇竹寺早期,TOC介于0.50%~8.49%,平均1.95%,其中TOC>1.0%的占71.3%,等效 R_o 介于2.23%~2.42%,达到高过成熟阶段^[25]。烃源岩的分布受台内裂陷的控制,裂陷内烃源岩厚度最大,一般在100~150 m,裂陷两侧烃源岩厚度明显减

薄,在西侧威远—资阳地区厚度在60~80 m左右,向西快速减薄至20~30 m。东侧高石梯—磨溪地区厚度一般在30~50 m左右。

上述分析显示,台内裂陷一直是灯三段、麦地坪组和筇竹寺组烃源岩发育的中心(图5),累计厚度100~300 m,两侧减薄至50 m以内,随着有机质成熟,烃源岩发育中心演变为生烃和供烃中心,从而为震旦系成藏提供充足烃源。

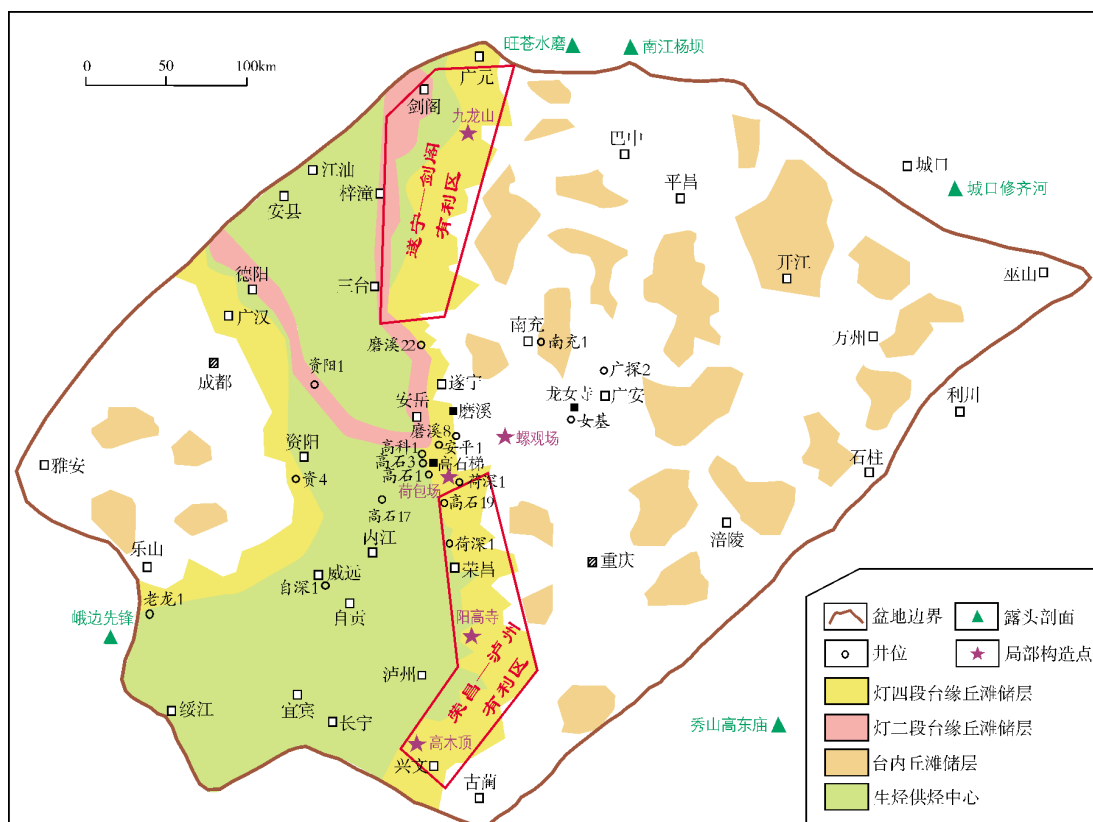


图5 四川盆地灯影组有利勘探区带评价图

3.2 台内裂陷两侧台缘发育优质储层

勘探表明,灯影组发育两套储层^[26-27],分布在灯二段和灯四段。灯四段储层的主要岩性是蓝细菌叠层石白云岩、蓝细菌层纹石白云岩、蓝细菌凝块石白云岩以及泥晶白云岩,主要储集空间是岩溶缝洞、洞穴和岩溶角砾间孔洞,孔洞直径1~15 mm为主,洞穴高0.5~5 m不等,孔隙度2%~9.89%,平均3.22%,储层厚度一般在30~80 m。灯二段储层的主要岩性是蓝细菌丘滩白云岩,典型特点是具葡萄花边构造,主要储集空间是残余岩溶缝洞,洞径0.5~5 cm为主,大致顺

层分布,孔隙度2.02%~9.88%,平均3.73%,储层厚度大多介于50~80 m。研究显示,沉积相和岩溶作用(包括准同生溶蚀作用和表生岩溶作用)是上述储层形成的主控因素,沉积相是储层发育的基础,而岩溶作用是储集空间形成的关键因素,至于储层的展布则主要受控于沉积相带。图5展示了灯影组优质储层沿台内裂陷两侧的台缘带展布,灯二段台缘储层在裂陷北段呈“V”形分布,而灯四段台缘储层呈“带状”分布在裂陷两侧,西侧沿德阳—威远—峨边一带延伸,东侧沿广元—安岳—兴文一带展布,显示出台内裂陷对储层展布具有明显控制作用。

3.3 台内裂陷控制震旦系成藏模式

据勘探成果,高石梯—磨溪地区震旦系灯影组有两种气藏类型,即灯四段构造-地层复合圈闭气藏和灯二段构造圈闭气藏,均为混源气藏,气源来自震旦系和寒武系。从气藏剖面看^[24-25],纵向上存在灯三段/灯二段、麦地坪组+筇竹寺组/灯四段两套上生下储的“倒灌”式成藏组合,但由于台内裂陷的存在,特别是其中沉积充填了巨厚的灯影组—下寒武统优质烃源岩,它们与分布在台内裂陷两侧的灯二段、灯四段台缘丘滩储集体直接侧向接触,构成了良好的侧向供烃成藏组合。同时,由于后期构造调整,台内裂陷现今位于高石梯—磨溪构造上倾方向,对高石梯—磨溪构造起到侧向封堵作用,且台内裂陷不仅是震旦系—寒武系烃源岩沉积中心,也是最重要的供烃中心,加之高石梯西侧断裂和灯二段顶及灯四段顶不整合面疏导体系的存在,使得侧向供烃、侧向封堵成藏更为优越。此外,由于台内裂陷的侧向封堵,使得高石梯—磨溪震旦系气藏在喜马拉雅期的气藏调整时,免于向威远构造高点运移,最终使气藏得以保存,因此,台内裂陷对高石梯—磨溪地区灯四段和灯二段气藏的形成和保存都具有重要控制作用。

4 震旦系勘探方向

通过上述分析,台内裂陷两侧均具有良好的成藏条件,应是未来勘探的靶区,从现在勘探的成果看,由于裂陷的侧向封堵作用,使得东侧的保存条件占优,台缘带与古隆起或现今构造叠合的地区保存条件更佳。目前,在高石梯—磨溪地区的油气勘探已获得重大突破,沿台缘带钻探的高石 1 井、磨 22 井等获得日产 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上的高产气流,因此,现阶段勘探应优先考虑裂陷东侧的台缘带,除了高石梯—磨溪地区外,荣昌—泸州和遂宁—剑阁地区值得探索(图 5)。

荣昌—泸州地区位于乐山—龙女寺古隆起的南翼——泸州古隆起,面积 $10\,000 \text{ km}^2$ 。该区有以下几个有利条件:多目的层,可立体勘探,主要目的层为震旦系灯影组,埋深 $5\,000 \sim 6\,000 \text{ m}$,兼探目的层是龙王庙组和洗象池组,埋深 $4\,000 \sim 5\,000 \text{ m}$;存在三套优质储层,灯影组为台缘丘滩相岩溶储层,洗象池组和龙王庙组为台内颗粒滩白云岩储层,且洗象池组储层较高石梯—磨溪地区的厚度更大、物性更好;紧邻

台内裂陷生烃中心,成藏条件优越;区内发育螺观场、荷包场、阳高寺、高木顶等多个构造圈闭(图 5);区内荷深 1 井在灯二段获得日产 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的天然气,证实该区有良好的勘探前景。

遂宁—剑阁地区位于裂陷东侧台缘带北段,面积约 $10\,000 \text{ km}^2$,发育灯二段、灯四段台缘丘滩相缝洞型白云岩储层以及九龙山等大型构造圈闭(图 5),同时还发育龙王庙组、栖霞组—茅口组等多套储层,又具备与高石梯—磨溪地区相似的成藏条件,只是灯影组目的层埋藏较深,约 $7\,000 \sim 10\,000 \text{ m}$,勘探难度有所增加。

综合考虑德阳—安岳台内裂陷东部灯四段台缘带的埋深与局部构造的叠合情况,阳高寺构造及高木顶构造的灯四段埋藏浅,可作为近期勘探的首选目标,而九龙山构造的灯四段虽埋藏较深,但局部构造大而完整,保存条件好,亦可作为下步突破的靶区。

5 结 论

德阳—安岳台内裂陷发育于灯影早期,止于筇竹寺中晚期,这与大陆裂解、断陷作用和差异沉积作用有关,现今形态呈南北向展布,长 350 km ,宽 $50 \sim 230 \text{ km}$,面积约 $60\,000 \text{ km}^2$,其中主要充填深水的泥页岩和泥质白云岩,经历了四次拉张、三次抬升剥蚀以及快速充填消亡等 8 个演化阶段。

德阳—安岳台内裂陷是震旦系—寒武系烃源岩的沉积中心,三套源岩累计厚度达 500 m ,厚度大于 300 m 的分布面积达 $60\,000 \text{ km}^2$,构成了震旦系—寒武系最重要的生烃和供烃中心;裂陷两侧发育灯二段、灯四段两套受岩溶作用改造的丘滩体储层,优质储层主要沿裂陷两侧的台缘带展布;裂陷内优质源岩与裂陷边缘优质储层直接接触,形成了良好的侧向供烃和侧向封堵成藏组合和成藏模式。

裂陷两侧是震旦系有利勘探区,面积达 $20\,000 \text{ km}^2$,近期勘探有利区可为荣昌—泸州地区和遂宁—剑阁地区,其中九龙山构造、阳高寺构造以及高木顶构造是最有希望突破的靶点。

参 考 文 献

- [1] 杨雨,黄先平,张健,等. 四川盆地寒武系沉积前震旦系界岩溶古地貌特征及其地质意义[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 38-43.
- [2] 汪泽成,姜华,王铜山,等. 四川盆地桐湾期古地貌特征及成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 305-312.

- [3] 刘树根,孙玮,罗志立,等. 兴凯地裂运动与四川盆地地下组合油气勘探[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2013,40(5): 511-520.
- [4] 钟勇,李亚林,张晓斌,等. 四川盆地地下组合张性构造特征[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2013,40(5): 498-510.
- [5] 魏国齐,杨威,杜金虎,等. 四川盆地震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷地质特征[J]. 天然气工业,2015,35(1): 24-35.
- [6] 刘殊,甯濛,谢刚平. 川西坳陷古坳拉槽的地质意义及礁滩相天然气藏勘探潜力[J]. 天然气工业,2015,35(7): 17-26.
- [7] 李忠权,刘记,李应,等. 四川盆地震旦系威远—安岳拉张侵蚀槽特征及形成演化[J]. 石油勘探与开发,2015,42(1): 26-33.
- [8] 杜金虎,邹才能,徐春春,等. 川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J]. 石油勘探与开发,2014,41(3): 268-277.
- [9] 周进高,张建勇,邓红婴,等. 四川盆地震旦系灯影组岩相古地理与沉积模式[J]. 天然气工业,2017,37(1): 24-31.
- [10] Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis[J]. Precambrian Research, 2008,160(1): 179-210.
- [11] 郝杰,翟明国. 罗迪尼亚超大陆与晋宁运动和震旦系[J]. 地质科学,2004,39(1): 139-152.
- [12] 周进高,赵宗举,邓红婴. 合肥盆地构造演化及含油气性分析[J]. 地质学报,1999,73(1): 15-24.
- [13] 黄汲清. 对四川盆地和鄂尔多斯台坳找油找气的初步意见[J]. 石油与天然气地质,1980,1(1): 18-25.
- [14] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [15] 罗志立. 中国西南地区晚古生代以来地裂运动对石油等矿产形成的影响[J]. 四川地质学报,1981,2(1): 1-22.
- [16] 罗志立. 略论地裂运动与中国油气分布[J]. 中国地质科学院院报,1984,(3): 93-101.
- [17] 宋金民,刘树根,孙玮,等. 兴凯地裂运动对四川盆地灯影组优质储层的控制作用[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2013,40(6): 658-670.
- [18] Wilson J L. Carbonate facies in geologic history[M]. New York: Springer-Verlag, 1975.
- [19] Schlager W, Ginsburg R N. Bahama carbonate platforms—The deep and the past[J]. Marine Geology, 1981, 44(1): 1-24.
- [20] Roberts N M W. The boring billion?—Lid tectonics, continental growth and environmental change associated with the Columbia supercontinent[J]. Geoscience Frontiers, 2013, 4(6): 681-691.
- [21] Young G M. Precambrian supercontinents, glaciations, atmospheric oxygenation, metazoan evolution and an impact that may have changed the second half of Earth history[J]. Geoscience Frontiers, 2013, 4(3): 247-261.
- [22] Och L M, Shields-Zhou G A. The Neoproterozoic oxygenation event: Environmental perturbations and biogeochemical cycling[J]. Earth-Science Reviews, 2012, 110(1): 26-57.
- [23] 谷志东,李宗银,袁苗,等. 四川盆地及其周缘晚震旦世—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.
- [24] 邹才能,杜金虎,徐春春,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.
- [25] 徐春春,沈平,杨跃明,等. 乐山—龙女寺古隆起震旦系—下寒武统龙王庙组天然气成藏条件与富集规律[J]. 天然气工业,2014,34(3): 1-7.
- [26] 姚根顺,郝毅,周进高,等. 四川盆地震旦系灯影组储层聚集空间的形成与演化[J]. 天然气工业,2014,34(3): 31-37.
- [27] 周进高,姚根顺,杨光,等. 四川盆地安岳大气田震旦系—寒武系储层的发育机制[J]. 天然气工业,2015,35(1): 36-44.

编辑:黄革萍

Deyang-Anyue Interplatform Rift in Sichuan Basin and Its Direction of Exploration in Sinian

Zhou Jin'gao, Shen Anjiang, Zhang Jianyong, Hao Yi, Gu Mingfeng, Li Wenzheng

Abstract: The essential characteristics of Deyang-Anyue interplatform rift and its formation and evolution are illustrated in the paper. And it is also discussed the controls of Deyang-Anyue interplatform rift on the Sinian reservoir formation. Then four achievements were obtained, as follows: (1)The interplatform rift shows a north-south distribution, and covers an area of 60000km², with a length of 300km, and a width of 50-230km. Deep-water shale and argillaceous dolomite were deposited in the trough. (2)The interplatform rift forming is closely related to three factors of continent breaking up, faulting and differential sedimentation, and experienced eight tectonic evolution stages from late Sinian(early deposition of Dengying Formation) to early Cambrian(middle-late deposition of Qiongzhusi Formation), including four times extensional movement, three times exposure-denudation, and a rapid filled decaying stage. (3)Three sets of source rocks, including three members separately from Dengying Formation, Maidiping Formation and Qiongzhusi Formation, developed in the interplatform rift, where is the hydrocarbon generating center and the hydrocarbon supplying center. Dolomite reservoir of member 2 and member 4 of Dengying Formation developed with large area on both sides of the rift, and the high quality reservoir distributed along interplatform margins. Source rock and reservoir contact laterally. (4)It is put forward that the zones along the both sides of interplatform rift are the most prospective region of Sinian exploration. And the eastern side of it is preferred in recent exploration. It is predicted that Jiulongshan structure in Suining-Jiange area and Yanggaosi structure in Rongchang-Luzhou area should be the next exploration targets.

Key words: Sinian; Interplatform Rift; Center of source rocks; Reservoir distribution; Accumulation model; Exploration direction; Sichuan Basin

Zhou Jin'gao; PhD, Professor. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China