

文章编号: 0253-9985(2006)03-0363-07

泸州古隆起下三叠统嘉陵江组成藏地球化学特征

李延钧¹, 李其荣^{1,2}, 王廷栋¹, 胡雄¹, 梁艳¹, 杨坚², 袁续祖²

(1 西南石油大学, 四川 成都 610500 2 中国石油天然气股份有限公司 西南油气田分公司, 四川 泸州 646000)

摘要: 泸州古隆起划分为核部、斜坡及外围 3 个部分。古隆起核部以嘉陵江组一段气藏为主; 北缘斜坡以嘉陵江组二段气藏为主; 南缘斜坡为以嘉陵江组三段气藏为主的多产层气藏分布区。泸州古隆起嘉陵江组天然气性质复杂, 既有分布于古隆起核部产凝析油的湿气, 又有分布于古隆起斜坡区不含凝析油的干气。利用天然气组成与生物标志化合物等全烃地球化学方法分析, 古隆起核部以志留系烃源为主, 并有上二叠统龙潭组煤系烃源的混入, 斜坡区则以下二叠统碳酸盐岩烃源为主, 同时存在上二叠统龙潭组煤系烃源的注入。泸州古隆起嘉陵江组油气藏的形成经历了印支期古隆起核部古油藏的形成与破坏; 燕山早中期古隆起核部含油气藏的形成; 燕山末期斜坡区干气藏的形成及喜马拉雅期天然气进一步富集、调整 4 个成藏阶段。嘉陵江组油气成藏的主控因素是泸州古隆起的发展演化控制了嘉陵江组油气藏的分布格局; 充足的多期多源油气注入是油气成藏的物质基础; “烃源断层”控制了油气的富集程度; 晚期溶蚀孔和扩溶孔发育决定了气藏的储集能力; 古隆起核部固体沥青和沥青质提供了油气封堵条件, 是油气富集的保障。

关键词: 古油藏; 储集空间; 成藏地球化学; 嘉陵江组; 泸州古隆起; 四川盆地

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

Geochemical research of hydrocarbon reservoiring in Lower Triassic Jialingjiang Formation in Luzhou palaeohigh

Li Yanjun¹, Li Qirong^{1,2}, Wang Tingdong¹, Hu Xiong¹, Liang Yan¹, Yang Jian², Yuan Xuzi²

(1 Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500)

(2 Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Luzhou, Sichuan 646000)

Abstract Luzhou palaeohigh can be divided into 3 parts including core, slope and periphery. The core of the palaeohigh is dominated by gas reservoirs in the first member of Jialingjiang Formation, the slope on the northern edge is dominated by gas reservoirs in the second member of Jialingjiang Formation, and the slope on the southern edge is dominated by multilayered gas reservoirs in the third member of Jialingjiang Formation. The properties of gas in Jialingjiang Formation in Luzhou palaeohigh are complex, i.e. there are both the wet gas with condensate oil as that in the core of the palaeohigh and the dry gas without condensate oil as that in the slope zones of the palaeohigh. Based on geochemical analysis of total hydrocarbon by using gas composition and biomarkers, gas in the core of the palaeohigh has mainly been sourced from the Jurassic source rocks with some from the Upper Permian Longtan Fm. coal measure source rocks, while that in the slope zone has mainly been sourced from the Lower Permian carbonate source rocks with some from the Upper Permian Longtan Fm. coal measure source rocks. Oil and gas reservoirs in Jialingjiang Fm. in Luzhou palaeohigh have been formed in 4 stages: formation and destruction of fossil oil reservoirs in the core of the palaeohigh during Indo-Chinese epoch; formation of gas reservoirs with some oil in the core of the palaeohigh during Early-Middle Yanshanian epoch; formation of dry gas reservoirs in the slope zone at the end of Yanshanian epoch; and further enrichment and adjustment of gas reservoirs during Himalayan epoch. The evolution of Luzhou palaeohigh controlled the distribu-

收稿日期: 2006-05-08

第一作者简介: 李延钧 (1966-), 男, 副教授、博士, 油气成藏、地球化学

基金项目: 四川省重点学科建设项目 (SZD0414)

tion of the oil and gas reservoirs in Jialingjiang Fm; plenty of multistage and multi-source oil and gas charging was the material base of oil and gas reservoiring “ faults connecting the source rocks” controlled the level of oil and gas enrichment; later development and enlargement of dissolution pores determined the reservoiring capability of gas reservoirs; the solid bitumen and asphaltene in the core of the palaeohigh provided the sealing conditions; as well as ensured oil and gas enrichment.

Key words fossil oil reservoir; reservoir space; reservoiring geochemistry; Jialingjiang Formation; Luzhou palaeohigh; Sichuan basin

泸州古隆起为东吴期开始形成雏形, 定形于印支期早幕的继承性古隆起, 其核部位于蜀南地区阳高寺、古佛山一带, 最老剥蚀到下三叠统嘉陵江组三段 (以下简称嘉三段)。泸州古隆起位于华蓥山断裂的上盘, 受华蓥山断裂的影响, 古隆起靠近华蓥山断裂的西北翼较东南翼陡, 呈推覆形态, 西北斜坡倾角为 0.50° , 东南斜坡倾角为 0.25° 。以嘉陵江组四段 4 层 (以下简称嘉四⁴层) 顶面为准计算, 泸州古隆起闭合面积为 $8\,600\text{ km}^2$, 闭合高度为 138.5 m 。按照古地质图依据剥蚀程度划分为泸州古

隆起核部、斜坡及外围 3 个部分 (图 1)。泸州古隆起在印支期早幕隆起强烈, 核部隆出水面遭受强烈风化剥蚀, 核部上千米的雷口坡组和嘉陵江组部分地层被剥蚀, 形成中三叠统侵蚀面。泸州古隆起的发展演化控制着嘉陵江组油气分布格局^[1~4]。

该区三叠系嘉陵江组气藏主要包括嘉三 (嘉四¹—嘉三³、嘉三²)、嘉二 (嘉二³、嘉二²) 和嘉一 (嘉二¹—嘉一)³ 个主力气藏。其中发育的膏岩层为各气藏的直接盖层, 区域性盖层为须家河组巨厚泥页岩。

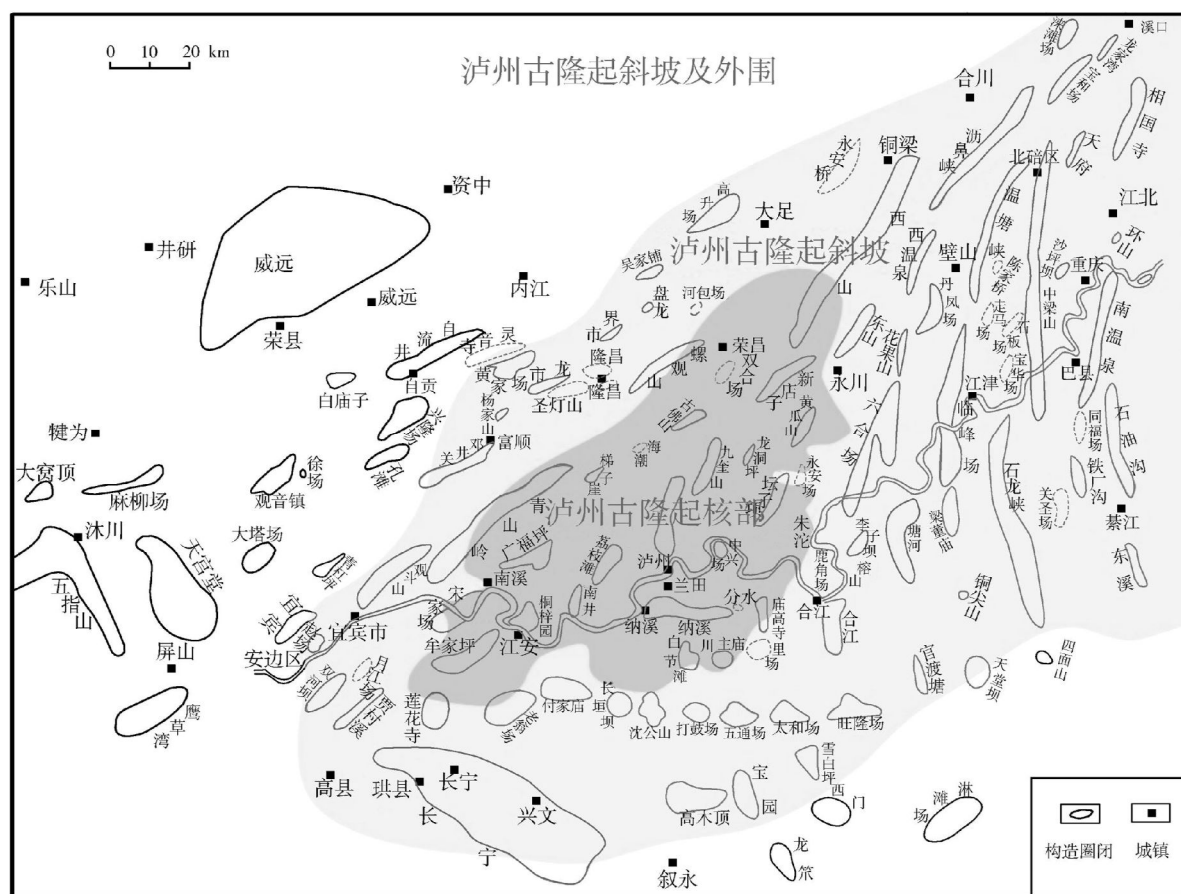


图 1 印支期泸州古隆起形态及分区

Fig. 1 Map showing the shape and zonation of Luzhou palaeohigh during Indo-Chinese epoch

1 油气分布及地球化学特征

图 2 可见泸州古隆起核部以嘉一气藏为主; 北缘斜坡以嘉二气藏为主; 西南缘斜坡以嘉三气藏为主; 东南缘斜坡为多产层气藏分布区。泸州古隆起嘉陵江组油气性质复杂, 既有分布于古隆起核部及核部边缘产凝析油的湿气, 又有分布于古隆起斜坡区不含凝析油的干气。

天然气组成中以烃类气体为主, 非烃气体含量一般不高。油气分布及其基本地球化学特征表明该区油气源复杂, 可能存在多源多期油气叠加, 具有多期成藏的特点^[4]。

2 油气源与古油藏

2.1 油气源识别

利用天然气组成与碳同位素组成 (C_{1-4})、油

气(浓缩)轻烃 (C_{4-8})、中分子量烃 (C_{8-20}) 以及油、岩(包括天然气储层沥青)生物标志化合物(大于 C_{15})全烃地球化学方法^[4-5], 对泸州古隆起嘉陵江组各期各类多烃源进行对比, 表明该区烃源具有多期多源的特点, 但不同区域烃源贡献大小不同(图 3)。古隆起核部以志留系烃源为主, 近核部边缘, 特别是南缘出现上二叠统龙潭组煤系烃源的混入, 甚至局部呈现以其为主的特征。在远离古隆起核部斜坡区, 如同福场、永安桥等构造则以下二叠统碳酸盐岩烃源为主, 同时存在上二叠统龙潭组煤系烃源的注入。嘉陵江组自身生烃基本无成藏贡献^[4-9]。

2.2 古油藏确认

安作相^[10-11]根据泸州古隆起二叠系阳新统和下三叠统嘉陵江组油气分布特征, 推测在二叠系一下三叠统曾经存在来自下二叠统烃源统一的大油藏, 后期由于烃类热裂解程度不同而转化为气藏或含油气藏。我们通过泸州古隆起不同

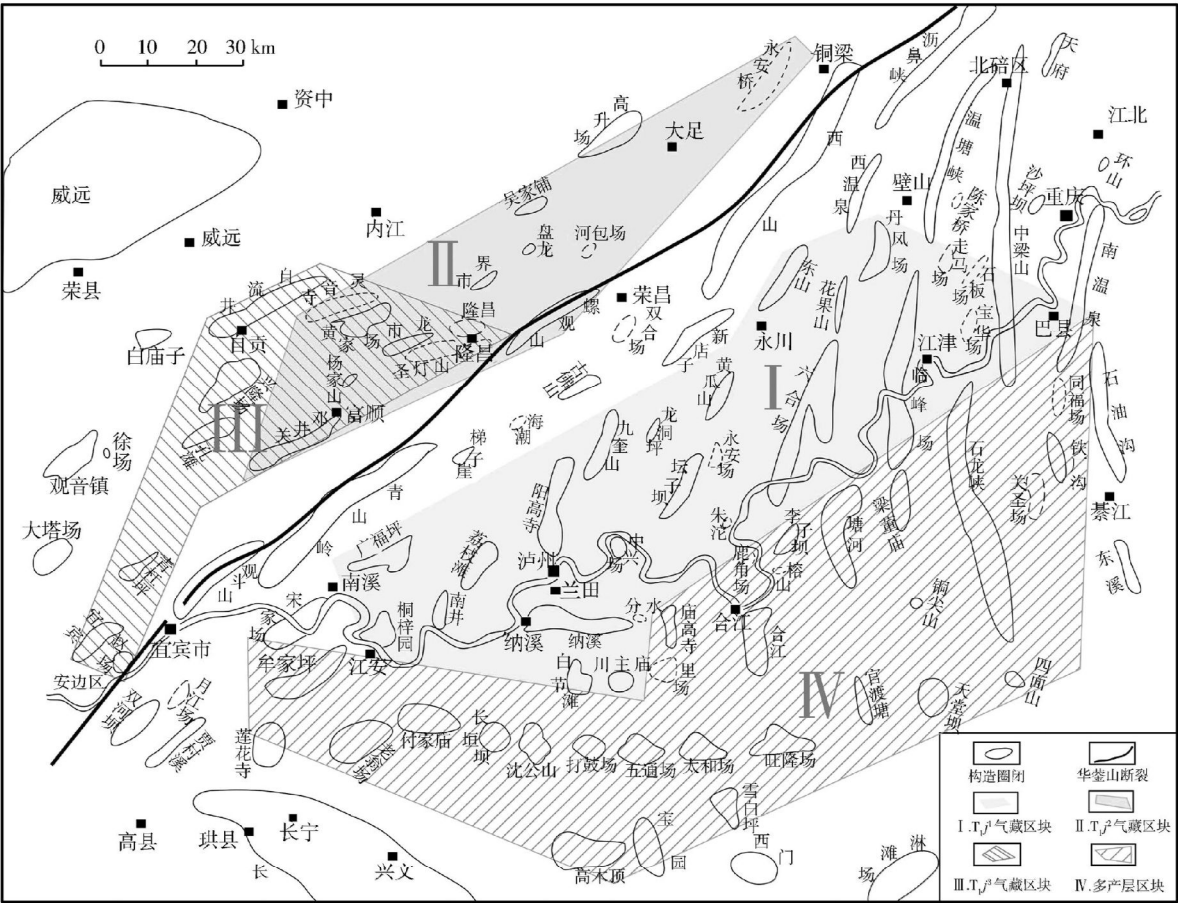


图 2 泸州古隆起下三叠统嘉陵江组主要气藏分区示意图
Fig. 2 Sketch map showing zonation of the main gas reservoirs in the Lower Triassic Jialingjiang Formation in Luzhou palaeohigh

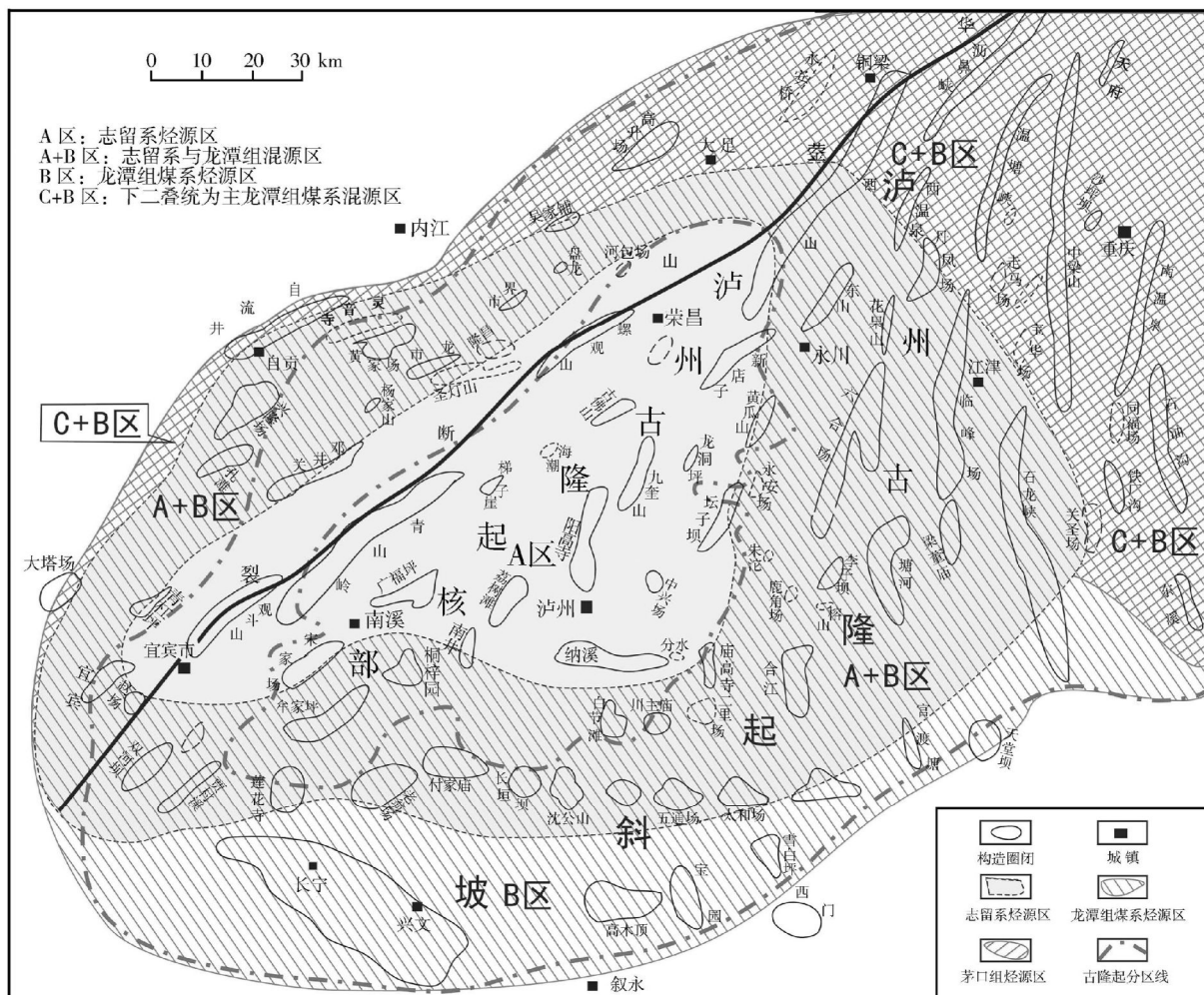


图 3 泸州古隆起下三叠统嘉陵江组烃源分布

Fig. 3 Distribution of source rocks in the Lower Triassic Jialingjiang Formation in Luzhou palaeohigh

部位的宜宾、荷包场、长垣坝、沈公山、得胜、海潮、花果山、丹凤场、同福场等 15 个构造岩心铸体薄片、镜下薄片沥青观察及流体包裹体分析,发现在古隆起核部存在大量氧化降解沥青,核部边缘存在一定量的沥青环边——沥青质,而斜坡部位孔隙干净、没有任何类型的沥青存在,表明泸州古隆起核部嘉陵江组曾经存在一个印支期古油藏,但在须家河组沉积前由于古隆起的抬升削顶而部分遭到破坏,并在大气氧或水中分子氧以及细菌降解作用下形成氧化降解沥青。在古隆起核部边缘由于保存条件较好而残留液态烃,并在后期干气的气侵作用下形成沥青质和含油气藏(凝析油气藏)。

3 储层特征与有效储集空间

3.1 储层基本特征

泸州古隆起嘉陵江组储层为海相碳酸盐岩,

由于受岩相、成岩等多因素控制,其物性特征差异大,镜下薄片观测基质的原生粒间孔、晶间孔、粒内孔几乎全部被方解石和石膏等胶结物所充填,普遍呈低喉道、低孔、低渗的特征,纵向上和平面上非均质性较为突出。嘉陵江组储层由浅灰—灰色薄层状石灰岩和白云岩组成,部分含泥质或膏质,原生孔隙多被胶结物充填,残余晶间孔和粒间孔小而有限,不能作为主要的储集空间。通过对研究区 1 014 个岩样的统计分析,嘉陵江组储层物性较好的主要岩石类型为溶孔灰岩和溶孔白云岩,溶孔灰岩多见于嘉一、嘉三段储层,一般孔隙度为 4.00%~7.00%,平均孔隙度为 6.45%,最大孔隙度为 10.70%,溶孔白云岩多见于嘉二段储层,一般孔隙度为 6.00%~14.00%,平均孔隙度为 8.04%,最大孔隙度为 29.44%,明显高于其他岩类。

由于古隆起核部与斜坡区油气成藏史不同,尤其是嘉陵江组古油藏在古隆起核部的形成与破坏,导致二者有效储集空间类型和储层孔隙演化

历史存在差异。其中核部早期原生孔隙多被沥青所充填, 主要有效储集空间为后期溶蚀孔和扩溶孔。斜坡区则不存在沥青充填早期孔隙的过程, 其后期溶蚀孔和扩溶孔依然发育, 晶间孔及其溶蚀孔更为常见, 该类型孔隙是泸州古隆起天然气聚集的有效空间, 其发育与否决定了气藏的储集能力。

3.2 沥青对储层的影响

泸州古隆起嘉陵江组古油藏的破坏导致大量固体沥青在核部的存在, 而且在环古隆起核部边缘残留的液态烃因后期高演化天然气的注入, 引起沥青质脱出并分布于孔隙边缘, 形成沥青质衬边。它们都不同程度的影响着储层质量。甚至形成沥青封堵带, 一方面有利于油气的保存, 另一方面丧失了大量有效孔隙, 并导致测井物性与岩心实测孔渗性存在较大差异。经测井孔隙度与岩心实验测试孔隙度的统计, 发现泸州古隆起核部嘉陵江组沥青充填带, 测井孔隙度往往远大于岩心孔隙度(图 4), 这是由于沥青充填空间被测井识别为储油孔隙所致^[12 13]。而古隆起核部边缘以外无沥青充填地区样品的实测孔隙度与测井孔隙度

差异较小。表明沥青或沥青质对泸州古隆起核部嘉陵江组储层的质量影响较大, 并导致测井孔隙度失真。

此外, 后期裂缝的发育使得各类孔隙得以连通, 一定程度上消除了固体沥青带来的储层伤害。在古隆起核部之外的斜坡区储层物性好, 无沥青堵塞孔隙现象, 各类储集空间发育。

4 运聚方式与成藏模式

连通嘉陵江组至下部烃源层的深大断裂和基底断裂及其伴生的断层为烃类运聚的主要途径, 成为泸州古隆起嘉陵江组油气藏的“烃源断层”, 并具有“脉冲式(间歇式)”和近源垂向运移为主的特点^[14]。根据储层荧光薄片观察、有机包裹体及其均一温度测试, 结合烃源岩生烃演化史分析, 泸州古隆起嘉陵江组油气成藏关键时刻分别在中三叠世(志留系成油关键时刻)、中侏罗世(油气生成关键时刻)、白垩纪末期(二叠系成气关键时刻)和新近纪末期(天然气富集与再分配关键时刻), 并可总结为 4 个成藏期(图 5)。

4.1 古隆起核部古油藏形成与破坏

中三叠统沉积期, 志留系烃源岩达到生油高峰期, 油气沿烃源断层间歇式以油水混相运移至嘉陵江组, 经油水分离, 液态烃石油向泸州古隆起

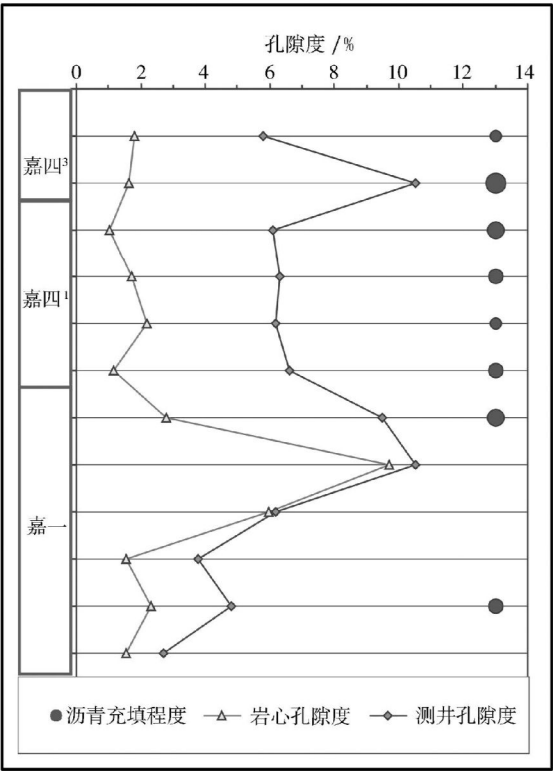


图 4 观 2 井测井孔隙度与岩心孔隙度比较
Fig. 4 Comparison of logging porosity and core porosity in Guan 2 well

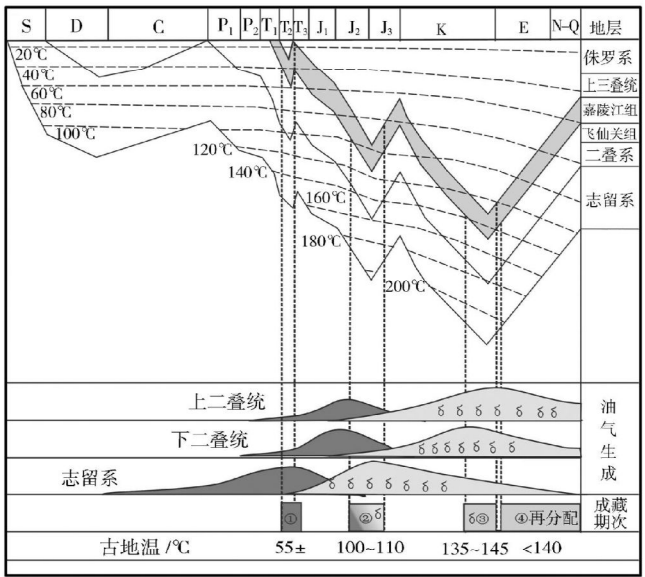


图 5 泸州古隆起下三叠统嘉陵江组油气成藏期次
Fig. 5 Oil and gas-reservoiring stages in Lower Triassic Jialingjiang Formation in Luzhou Palaeohigh

核部聚集,形成志留系烃源贡献的古油藏,供油范围与志留系烃源岩分布有关,油水界面处于古隆起核部边缘附近。须家河组沉积前,伴随全盆地不同程度的抬升、剥蚀,泸州古隆起顶(核)部遭到强烈剥蚀削顶,古油藏被破坏,由于暴露地表,经生物降解和氧化作用,使油层蚀变为氧化降解沥青带,但在嘉一段和嘉二段局部渗透性差的地区仍保留部分液态烃,氧化降解沥青的形成成为斜坡区和下伏层段流体起到了封堵和直接盖层的作用,阻滞了大气淡水进一步向下的渗入,成为后期油气聚集的封堵带。

4.2 古隆起核部及其边缘斜坡区含油气藏与气藏的形成

燕山运动早中期,志留系烃源岩处于生气高峰期,由于古隆起核部边缘和核部嘉一段早期保存条件好(沥青封堵),保留一定数量的液态烃,高演化志留系烃源天然气的注入而形成含油气藏,并发生脱沥青质作用,在古隆起核部边缘形成沥青质分布,与早期氧化降解沥青一起进一步扩大了沥青封堵带。在无液态烃分布的古隆起核部的嘉一、二段及其边缘斜坡区,主要聚集志留系烃源岩高演化的天然气,同样地,其供气范围与志留系烃源岩分布有关。

4.3 泸州古隆起斜坡区干气藏的形成

燕山末期—喜马拉雅早期为二叠系烃源高演化天然气形成和运移阶段,大量高压干气的“幕式”注入,沿间歇式开启的烃源断层垂向运移至古隆起斜坡区嘉陵江组储层中聚集成藏,在古隆起核部及其边缘附近的进一步气侵,补注一定量的二叠系干气,但由于沥青的阻滞作用,其主要沿断裂及其伴生的裂缝系统分布,目前已发现的这类气藏主要存在于古隆起核部边缘地带。而在斜坡区,特别是远离古隆起核部的地区如合江、塘河、石龙峡、同福场及铁厂沟构造则以干气成藏为主,并越远离古隆起核部天然气越干,并愈以二叠系烃源贡献为主,在核部附近的斜坡区则形成烃源混合区,向古隆起核部方向逐渐以志留系烃源为主。

这一阶段是泸州古隆起嘉陵江组埋深和古地温最大时期,嘉陵江组古地温多数在 140° 以上。由于嘉二和嘉三、四段石膏层十分发育,已聚集的

烃气与之发生热硫酸盐还原反应(TSR)形成含硫气藏。其在地层水不活跃的地带含硫愈高,相反,地层水活跃区因硫化氢易溶于水而降低了天然气的含硫量。

4.4 高演化天然气进一步富集与再分配

喜马拉雅中晚期斜坡区嘉陵江组大幅度抬升,由于烃源断层的间歇式的开启,聚集于下伏地层如茅口组高演化干气的进一步注入,促使喜马拉雅期形成的大量裂缝系统一方面成为后期高演化天然气的储集空间,另一方面沟通未连通的孔隙,使已聚集的天然气进一步富集和再分配,并为新构造圈闭聚集天然气创造了条件。同时由于地层温度大幅度降低,热硫酸盐还原反应终止,致使硫化氢含量总体保持在不太高的水平。

总而言之,泸州古隆起纳溪—塘河地区嘉陵江组经历了印支期古隆起核部古油藏的形成与破坏、燕山早中期古隆起核部含油气藏的形成及燕山末期—喜马拉雅期斜坡区干气藏的形成与调整阶段。成藏作用由早到晚依次由古隆起核部、核部边缘向斜坡区方向进行,并具有自古隆起中心向四周呈现立体时空扩展的特点。

5 成藏主控因素

泸州古隆起嘉陵江组油气成藏的主控因素:

①泸州古隆起的发展演化控制了该区嘉陵江组油气藏的分布格局;②充足的多期多源油气注入是嘉陵江组油气成藏的物质基础;③“烃源断层”是嘉陵江组油气成藏的主要运移通道,控制了油气的富集程度;④晚期溶蚀孔和扩溶孔发育与否决定了气藏的储集能力;⑤古隆起核部固体沥青和沥青质为该区提供了封盖或侧向封堵条件,是后期高演化油气富集的保障。

参 考 文 献

- 1 李国辉,李翔,杨西南. 四川盆地加里东古隆起震旦系气藏成藏控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 80~83
Li Guohui, Li Xiang, Yang Xinan. Controlling factors of Sinian gas pools in Caledonian paleo-uplift Sichuan basin[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 80~83
- 2 李晓清,汪泽成,张兴为,等. 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 Xiaqing, Wang Zecheng, Zhang Xingwei, et al. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan basin and their control action on

- natural gas[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 347- 351
- 3 杨茂康, 李其荣. 四川盆地川南地区复合型气田成藏机制及富集规律[J]. 复式油气田, 1997, (1): 21- 25
Yang Maokang, Li Qirong. Reservoir formation mechanism and accumulation rule of composite gas fields in southern Sichuan basin[J]. Composite Oil and Gas Field, 1997, (1): 21- 25
 - 4 李其荣, 李延钧, 王廷栋, 等. 全烃地球化学方法在复杂烃源研究中的应用[J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(3): 1- 7
Li Qirong, Li Yanjun, Wang Tingdong et al. The application of whole-hydrocarbon geochemistry method in the complex hydrocarbon source research[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005, 27(3): 1- 7
 - 5 王世谦. 四川盆地侏罗系-震旦系天然气的地球化学特征[J]. 天然气工业, 1994, 14(6): 1- 5
Wang Shiqian. Geochemical characteristics of Jurassic-Sinian gas in Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 1994, 14(6): 1- 5
 - 6 唐艳. 天然气藏地球化学描述方法及其应用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 91- 96
Tang Yan. Gas reservoir geochemical description method and application[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 91- 96
 - 7 黄籍中, 王廷栋, 戴鸿鸣, 等. 四川盆地烃源体系与大中型气田形成[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(6): 504- 510
Huang Jizhong, Wang Tingdong, Dai Hongming et al. Hydrocarbon source system and big-middle type gas field formation of Sichuan basin[J]. Science in China(Series D), 1996, 26(6): 504- 510
 - 8 王顺玉, 戴鸿鸣, 王廷栋, 等. 四川盆地海相碳酸盐岩大型气田天然气地球化学特征与气源[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(2): 10- 17
Wang Shunyu, Dai Hongming, Wang Tingdong et al. Natural gas geochemistry characters and origin of large gas field in marine carbonates of Sichuan basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(2): 10- 17
 - 9 戴金星, 夏新宇, 卫延召, 等. 四川盆地天然气的碳同位素特征[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 115- 132
Dai Jinxing, Xia Xinyu, Wei Yanzhao et al. Carbon isotope characteristics of natural gas in the Sichuan basin, China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(2): 115- 132
 - 10 安作相. 泸州古隆起与川南油气[J]. 石油实验地质, 1996, 18(3): 267- 273
An Zuoxiang. The Luzhou Paleohigh and oil/gas accumulation in southern Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1996, 18(3): 267- 273
 - 11 安作相. 泸州古隆起及嘉陵江灰岩含油气性的三个问题[J]. 西安石油学院学报, 1997, 12(2): 16- 20
An Zuoxiang. Three problems of hydrocarbon-bearing property of Luzhou Paleohigh and Jialingjiang Formation limestone[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1997, 12(2): 16- 20
 - 12 Lamando A J. Solid hydrocarbon migration of fines problem in carbonate reservoirs(abs)[J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(4): 612
 - 13 Lamando A J. The influence of solid reservoir bitumen on reservoir quality[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(8): 1 137- 1 152
 - 14 Hooper E C D. Fluid migration along growth fault in compacting sediments[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(2): 161- 180

(编辑 李树森)

关于“维护科技道德、加强自律的联合公告”

为了加强科技界精神文明建设, 提高科技工作者与编辑部工作人员的职业道德水平, 保障我国科技事业的健康发展, 我们经过认真讨论, 决定联合发表如下公告:

- 1 提倡追求真理、实事求是、团结协作、诚实劳动; 坚持学术民主, 鼓励百家争鸣, 尊重他人劳动成果, 严肃政治纪律, 坚决反对伪科学。
- 2 严格执行审稿制度, 不循私情, 不登人情稿, 公正廉洁。
- 3 维护投稿人的权益, 一般在规定的期限内(收到稿件的3个月内)对来稿是否采用予以答复。
- 4 拒绝刊登署名争议、引用他人著述未注明出处、在上述规定的期限内一稿两投或多投的稿件。
- 5 对弄虚作假、抄袭剽窃和一稿两投或多投者, 一经查实, 相关编辑部视其情节轻重给予书面警告、通知其所在单位、3年内拒绝刊登有其署名的任何稿件、在所有签署本公告的期刊上公开曝光等处理。
- 6 鼓励对上述所列违反道德规范的行为进行据实举报, 强调编者、作者的诚信, 各编辑部保护举报人的合理要求。
- 7 对于严重违反科技工作者职业道德、情节严重、影响极坏的事件, 将转请有关部门进行严肃处理, 并在签署本联合公告的期刊范围内建立情况通报制度。
- 8 本联合公告欢迎国内能源界科技期刊加盟。

本联合公告于各期刊编辑部签署并在期刊上刊出后生效。

签署本联合公告的期刊有:《石油学报》、《石油勘探与开发》、《天然气工业》、《石油地球物理勘探》、《新疆石油地质》、《天然气地球科学》、《海相油气地质》、《特种油气藏》、《石油实验地质》、《油气地质与采收率》、《大庆石油地质与开发》、《石油与天然气地质》。