

文章编号: 0253-9985(2005)02-0224-06

川西坳陷须家河组气藏与古构造关系

曹烈^{1,2}, 安凤山², 王信²

(1. 成都理工大学, 四川成都 610059; 2. 中国石化西南分公司勘探开发研究院, 四川成都 610081)

摘要: 基于川西坳陷须家河组“超深、超压、超致密、超晚期构造”的地质条件, 通过中坝、合兴场及平落坝 3 个已知气藏的生烃史、孔隙演化史、构造演化史等方面的系统分析, 从勘探成功与失利两个方面进行分析, 明确了古构造在气藏成藏过程中的奠基作用。燕山期古隆起带决定了气藏的展布; 早期成藏具有普遍性; 古构造-成岩圈闭是区内重要的含油气圈闭类型。川西坳陷须家河组气藏经历了早期常规圈闭、中期冻结、晚期改造等多个演化阶段。马井-德阳地区存在燕山期隆起, 且具有相似的演化过程, 应是一个前景良好的区带。

关键词: 川西坳陷; 古构造; 成藏模式; 须家河组; 古构造-成岩圈闭; 构造演化

中图分类号: TE112.3 文献标识码: A

Relationship between palaeostructure and gas reservoirs in Xujiahe Formation in western Sichuan depression

Cao Lie^{1,2} An Fengshan² Wang Xin^{1,2}

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan;

2. Exploration and Production Research Institute of Southwest Branch Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan)

Abstract: According to the geologic conditions of Xujiahe Formation in western Sichuan depression to be characterized by super-deep, overpressure, super-tight and super-late structures, systematic analysis of hydrocarbon generation history, pore evolution history and structural evolution history of the known Zhongba, Hexingchang and Pingluoba gas reservoirs and analysis of both positive and negative exploration cases have been made. It has been clear that palaeostructures have acted as the basis of gas accumulation. Yanshanian palaeohigh zone determined the distribution of gas reservoirs, characterized by common early reservoiring, and palaeostructural diagenetic traps to be the main types of hydrocarbon traps in the study area. Gas reservoirs in Xujiahe Fm in western Sichuan depression have experienced several evolution stages, including conventional trapping in the early stage, suspension in middle period and reconstruction in late stage. Majing-Deyang area, where there is Yanshanian palaeohigh, has experienced similar evolution process, thus it might be a prospective play.

Key words: western Sichuan depression; palaeostructure; reservoiring pattern; Xujiahe Formation; palaeostructural diagenetic trap; structural evolution

川西坳陷须家河组的油气勘探一直面对“四超”难题。超深: 川西地区须家河组二段(以下简称须二段)底界埋深大都超过了 5 000 m。超深井由于圈闭复杂, 命中率一般很低。超压: 川西坳陷中段普遍存在超压, 老关庙、丰谷一带, 须家河组

压力系数可高达 2.27~2.15。超低孔渗: 须家河组已普遍致密化, 其孔隙度均值为 4.02%, 渗透率众值小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 这种高阻抗储层给地震和测井解释带来了不确定性。超晚期构造: 就是指晚期构造圈闭的形成严重滞后于生、排烃高

基金项目: “十五”国家重点科技攻关项目(2001BA605A-05-01)

第一作者简介: 曹烈, 男, 25 岁, 高级工程师(博士生), 构造地质及应用软件开发

收稿日期: 2005-01-20

峰期。

尽管存在着“四超”难题, 但经科技攻关与生产实践的艰苦探索, 勘探仍然有所进展^[1]。至今川西地区须家河组已发现中坝、平落坝、九龙山、大兴西、孝泉、新场、合兴场等气田。

1 典型气藏解剖

从川西坳陷须家河组已发现的 7 个气藏中(图 1), 由北往南主要选择了中坝、合兴场、平落坝 3 个气藏进行解剖。解剖内容主要包括: 生烃史、孔隙演化史、构造演化史^[2] 3 个方面。

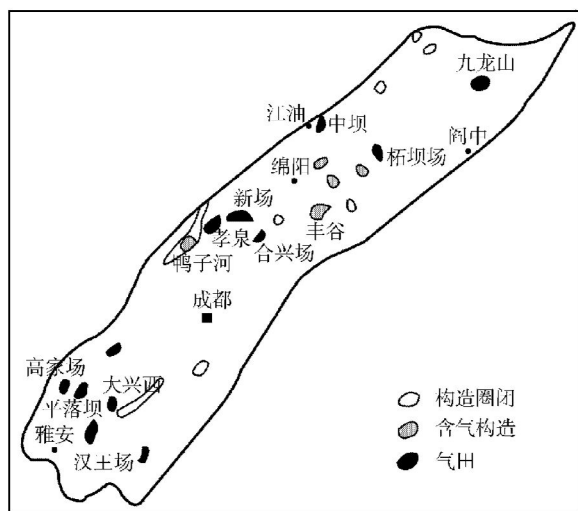


图 1 川西坳陷须家河组气田分布图

Fig. 1 Distribution of Xujiache Fm gas fields in western Sichuan depression

1.1 中坝须二气藏

1.1.1 生烃史

古地温梯度为每百米 3.3~ 3.6℃; 中生代地表平均气温 20~ 25℃。须家河组三段(以下简称须三段)烃源岩在须三段沉积末就已成熟并生成油气。大体在晚侏罗世早期相当遂宁组沉积末, 达到生、排烃高峰期^[3]。

1.1.2 孔隙演化史

晚三叠世末, 须二段孔隙度降至 14%~ 20%。中侏罗世末, 须二段孔隙度为 8%~ 18%。晚侏罗世末到白垩纪, 须二段岩石进入致密化。

1.1.3 构造演化史

早侏罗世末, 中坝古构造基本形成, 到遂宁期末构造定型为一个轴向北东向的古背斜(图 2)。燕山期是油气向中坝古背斜充注富集的成藏期,

古构造油气圈闭至此完成。早白垩世以后, 主要在喜马拉雅期, 中坝古构造受到改造。表现为在大幅度抬升的背景下构造北段上翘, 南段 3 个高点合并, 中 18 井北侧出现北西西向断层。

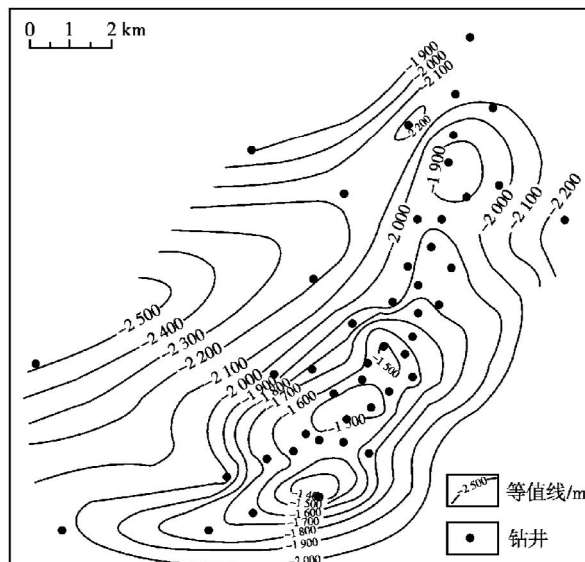


图 2 中坝气田遂宁组沉积期末须二段顶面古构造图

Fig. 2 Palaeostructural map of top of the 2nd member of Xujiache Fm by the end of deposition of Suining Fm in Zhongba gas field

1.1.4 气藏分布

由测试资料获得的产能等值线图(图 3)清晰地展示了须二气藏的分布特征, 对照图 2 可以看到, 两者相当吻合, 气藏展布与古构造形态一致,

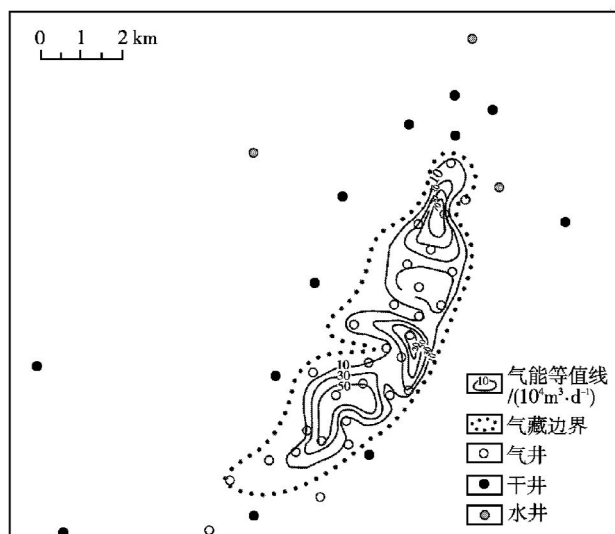


图 3 中坝气田须二气藏钻井测试天然气产能等值线图

Fig. 3 Contour map of DST productivities of T_{3x2} gas reservoir in Zhongba gas field

与现今构造不符合^[4]。

王允诚、周文* 编绘的中坝须二段孔隙度等值线图(图4)表明:在气藏顶部孔隙度较高,说明在储层致密化之前油气已注入孔隙,持续的成岩作用因孔隙流体性质不同而出现差异,致使须二气藏储渗条件的空间展布明显分为3带。含气带:储渗条件最好,孔隙度一般为4%~12%,平均值为7.6%、渗透率一般为 $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ~ $0.13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均约 $0.104 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;气水过渡带:因成岩胶结作用而成致密岩带,储渗条件最差,孔隙度一般为2%~3.5%,平均3.2%,渗透率一般在 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下;含水带:由于水的不可压缩性和流动性的特点,致使储渗条件相对好转,孔隙度一般为3%~7.5%,平均值为5.51%,渗透率为 0.01×10^{-3} ~ $0.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.035 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。气水过渡带或成岩胶结致密带,是沿古圈闭边界形成的环状致密带,具有良好的油气封堵能力,圈闭中的油气赖此封闭而保存。

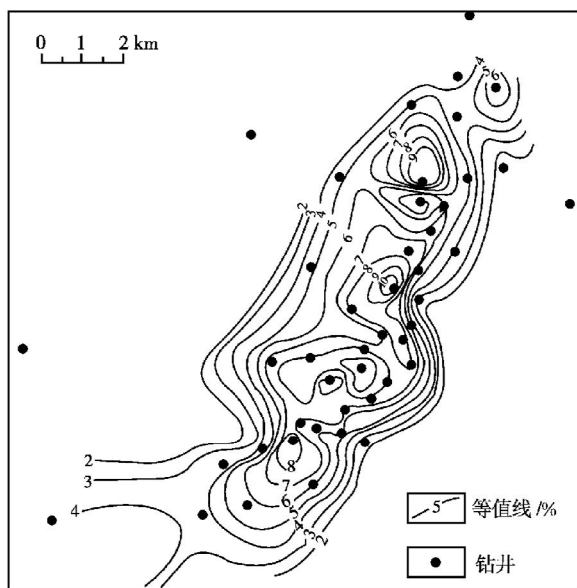


图4 中坝须二段砂岩孔隙度等值线图

Fig. 4 Porosity isopleth map of sandstones in the 2nd member of Xujiache Fm in Zhongba gas field

综上所述,中坝须二气藏为古构造造成岩圈闭^[4]。

1.2 合兴场须二气藏

合兴场背斜是一个喜山期形成的构造,经川合100井回剥分析,确认须二段储层在中侏罗世

就已完全致密化,致使油气不能进行大规模的运移,所以喜山期背斜难以成为油气聚集成藏的有效圈闭。

早中侏罗世是须二气藏形成的关键时期^[5]。

(1) 有效圈闭发育于凹陷两侧的古隆起及古斜坡上,在凹陷北部隆起上已钻有川合100工业气流井。南侧已钻的川合127、川合137井,也均获得工业气流。而合兴场、灯盏窝、桂花园一带,是不利于成藏的凹陷带(图5)。

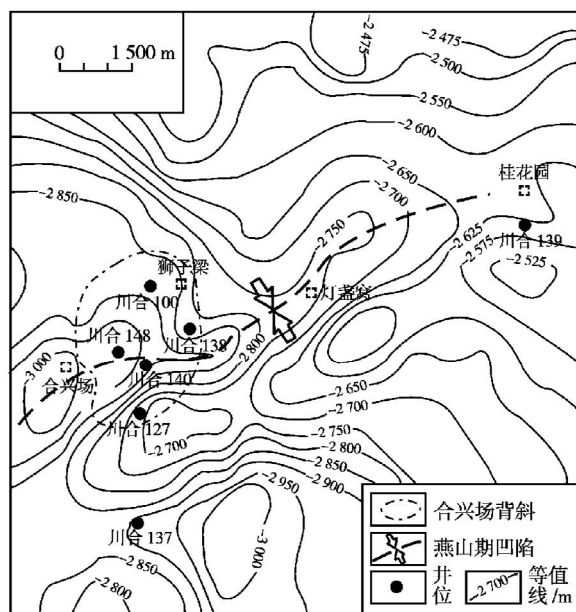


图5 合兴场地区中侏罗世末须二段顶面古构造图

Fig. 5 Palaeostructural map of top of the 2nd member of Xujiache Fm at the end of Middle Jurassic in Hexingchang area

(2) 位于现今合兴场构造核部的川合138, 139, 140, 148井,未获工业产能。究其原因:这些井位于燕山期凹陷中心,因储层致密化过早,阻止了油气的运移、调整,油气充注明显不足。尽管这些井位于晚期构造的核部,但仍未获工业产能。由此说明了天然气藏的分布主要受控于燕山期的古构造。

1.3 平落坝香二气藏

经对比,此气藏应归属于须家河组四段(以下简称须四段)下部气藏。

(1) 生烃史:须三段烃源岩在140 Ma左右即晚侏罗世达到生烃高峰期^[6]。

(2) 孔隙演化史: 从晚三叠世晚期开始到晚侏罗世早期须四段储层孔隙度为 14%~18%。遂宁组沉积时, 储层已致密成岩。

(3) 构造演化史: 晚三叠世末平落坝地区已显示一个北东向古构造, 晚侏罗世遂宁期末, 古构造继承发展。晚侏罗世蓬莱镇期, 平落坝古构造隆升。平落坝潜伏构造是一印支期-燕山中期的古构造^[7]。

从已知钻井产气状况可知, 高产井、工业井分布在中侏罗世末燕山期古构造的高部位(图 6)。晚侏罗世遂宁期末香溪组二段(以下简称香二段)储层砂岩致密化作用基本完成, 使聚集的油气大体定位, 成藏过程结束。晚侏罗世蓬莱镇期至晚期喜马拉雅期的构造形变难以改变早期气藏的形态。平落坝香二气藏属中侏罗世末燕山期古构造圈闭。

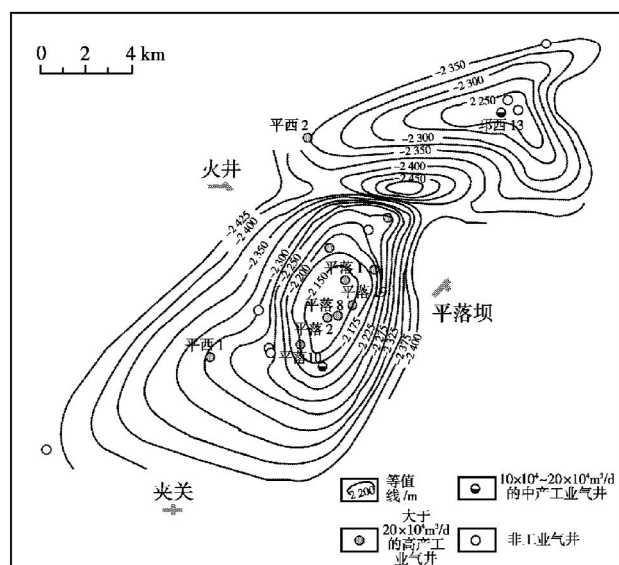


图 6 平落坝地区中侏罗世末香二段顶埋深图

Fig. 6 Burial depth of top of the 2nd member of Xiangxi Fm at the end of Middle Jurassic in Pingluoba area

2 与古构造关系

2.1 燕山期隆起带是成藏的有利区

油气聚集区的形成, 是一个长期而复杂的历史结果。在这个过程中, 涉及到一系列有关的地球化学、沉积学、构造学和动力学等事件。充足的烃源和大范围分布的圈闭是油气形成、聚集的基本条件。川西地区燕山期隆起带具备了这样的条件^[8,9]。

(1) 早期成藏具有普遍性。曹烈等^[10]业已阐明上三叠统烃源岩在侏罗纪末, 其累积生气量已经达到总生气量的 81.7%~83.8%; 到早白垩世末, 这一比例上升到 93.8%~95.3%。显示川西地区主要生烃作用在燕山中晚期之前已基本完成^[10]。其与燕山期古隆起及其斜坡带形成的早期圈闭的适时配置, 必然会得到油气的优先充注, 导致早期聚集成藏。

(2) 川西地区存在燕山中晚期古隆起。天然气聚集成藏的运移作用主要是在烃源岩大量生、排烃时期及储层致密化之前进行的, 亦即在中侏罗世沙溪庙期末—晚侏罗世早期遂宁组沉积时期, 须二段储层砂岩孔隙度为 8%~18% 的时刻处于油气运移聚集的关键时期; 在晚侏罗世遂宁期末, 须二段储层开始致密化, 须四段储层则进入其聚集有利期; 晚侏罗世蓬莱镇期末是须四段储层油气运移、聚集关键时期的最后阶段。

根据钻井、地表剖面并结合地震资料, 利用回剥技术, 对地层进行了去压实校正, 编绘了须二段(图 7)及须四段(图 8)各自关键时期埋深图。图上显示川西坳陷具有北东东走向的“三隆两凹”的古构造格局。隆起带顶部与凹陷带底部的高差一般约为 500~800 m, 折算坡度为 5°~9°, 具备了油气向隆起带富集的构造条件。并在古隆起上存在若干个次一级的凸起, 进一步形成天然气的富集。

(3) 古隆起控制油气聚集成藏。截止到 2003

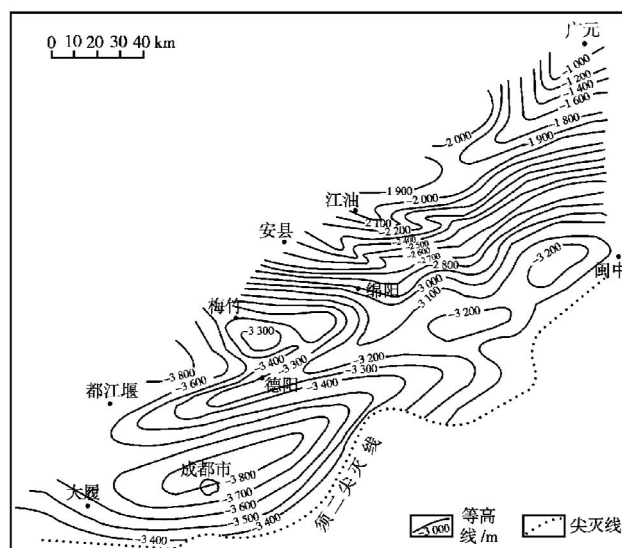


图 7 川西坳陷中侏罗世末须二顶面埋深图

Fig. 7 Burial depth of top of the 2nd member of Xujiache Fm at the end of J₂ in western Sichuan depression

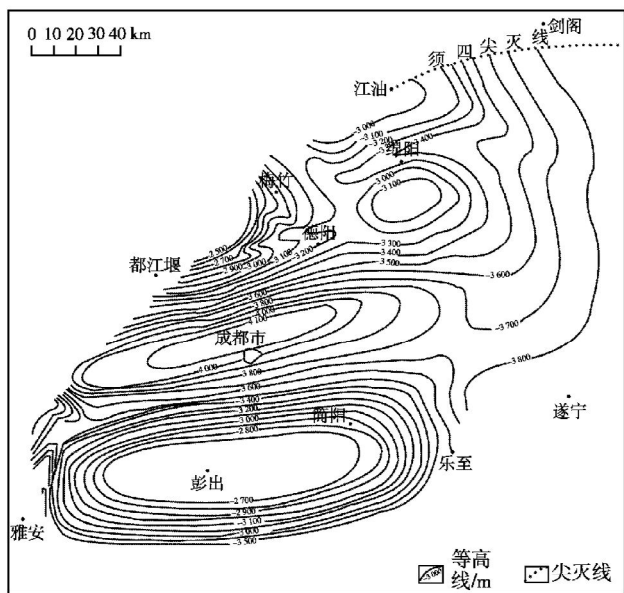


图8 川西坳陷晚侏罗世末须四顶面埋深图

Fig. 8 Burial depth of top of the 4th member of Xujiahe Fm at the end of J₃ in western Sichuan depression

年,川西坳陷须家河组已完钻 220 余口勘探井,发现了 7 个气田和一批工业气井,油气勘探成功率约 19%。川西地区已发现的 7 个气田,基本都在古隆起带上。表明油气由高势的凹陷区向低势的隆起带发生大规模的运移,致使隆起带成为有利的油气富集区。而在九龙山、柘坝场、汉王场及合兴场等今构造高点和高部位,油气勘探效果并不理想,也进一步说明在喜马拉雅期构造变形之前气藏业已形成,气藏展布不受现今构造所控制。

中坝、合兴场、平落坝等典型气藏的生烃史、储层演化史和古构造匹配关系,都反映了燕山中晚期为须三段烃源岩生烃高峰期,储层尚未致密化,存在良好的孔隙型油气疏导系统,适合油气大规模运移。因此,燕山中晚期为成藏关键时期,燕山中晚期的古构造控制了气藏的展布,燕山中晚期的古构造是油气勘探的有利地区。

图 7 中,马井-德阳间发现一个北东东向的鼻状古隆起,该隆起在孝泉、新场隆起之南。目前,该隆起的马井地区浅中层已发现多个气藏,但尚未对深层进行勘探,已完成的三维地震查明了须二段以上构造层的构造形态。由于该隆起是位于生烃凹陷内的继承性古隆起,古隆起圈闭规模大,古、今构造大体叠合,具有长期连续捕集油气的良好条件,有望形成大型气田。

2.2 古构造-成岩圈闭

川西地区具有生烃作用早、古隆起形成油气聚集带和早期成藏等特点,致使该区发育以古构造-成岩圈闭为主的圈闭类型。古构造-成岩圈闭是在原始构造圈闭的基础上,由于成岩作用及其后期构造运动改造而形成的一种新圈闭。其特征是:它可以跨越现今构造,发育在现今构造圈闭之外的构造鼻、斜坡、甚至向斜中。古构造-成岩圈闭是由于原始构造中聚集的油气被成岩作用差异性所封存而形成的含油气圈闭。即储层中原始聚集的含油气部位,因成岩作用受到阻碍或抑制,储层孔、渗条件较好。而在含水部分,成岩(胶结)作用强烈进行,致使储层孔渗条件相对变差,这种成岩作用的差异性造成了油气的封闭^{*}。一旦油气封存,即使原始圈闭形态再发生变化,油气也不再发生重新分配。

川西坳陷除古构造-成岩圈闭类型(如中坝须二段气藏)外,还发育古构造圈闭(如平落坝香二气藏)、古构造-岩性圈闭(如新场、柘坝场的须二气藏和丰谷的须四气藏)、古今叠合构造圈闭(如大兴西须四气藏)。它们多是隐蔽的,并不受现今构造所控制。

3 成藏演化

通过古构造研究,川西坳陷气藏的形成经历了早期常规圈闭、中期冻结、晚期改造等多个阶段。

3.1 早期常规圈闭成藏

早期常规圈闭是指在油气已大量生成且储层尚未致密化的聚集时期,天然气按常规油气成藏聚集原理,以浮力和水动力为油气运移的动力,隆起带是油气富集区,其上的正向构造圈闭为油气聚集成藏的最佳部位。此外,鉴于须四段属陆相沉积的扇三角洲体系,储层变异度相对(须二段)较大,储层沉积相的展布对含气圈闭的形成也有一定制约作用,往往在古隆斜坡发育有利的储集相带,亦能形成岩性圈闭^[11]。

3.2 中期致密化“冻结”

川西坳陷须二段储层致密化作用与主生烃期大体同步或略有滞后,整体上油气充注在先,储层致密化所形成的密闭在后。川西坳陷须二气藏围绕气藏的环状致密岩带,以及含油气部位孔渗条件优于不含油气部位孔渗条件的现象,代表着中期致密化“冻结”作用的过程。

* Cant D J. 砂岩的成岩圈闭. 兰林英译. 油气地质译丛, 1986

3.3 晚期喜马拉雅运动改造

早白垩世以后, 由于须二段储层已普遍致密化, 早期聚集的气藏在三维空间上多为致密岩带所包围。尽管喜马拉雅运动是川西地区最强烈的一次构造运动, 构造形变较强, 断裂也相当发育, 但原先聚集的油气难以发生大规模的再次运移、聚集。喜马拉雅运动对油气藏的改造集中表现于: 原背斜高点变成了低点或翼部、或气水界面被掀斜、或统一气藏被成岩作用肢解成若干储渗体, 许多气藏范围超越了今构造圈闭, 气藏形态变得很不规则等。天然气藏由早期的常规圈闭经历了强烈的改造后变得更为隐蔽, 增加了天然气勘探和预测的难度。

参 考 文 献

- 杨克明. 川西坳陷油气资源现状及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 322~ 326, 331
Yang Keming. Status of oil & gas resources and prospecting potential in western Sichuan depression[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 322~ 326, 331
- 朱昭岐. 研究古构造的方法[J]. 国外油气勘探, 1989, 1(4): 39~ 55
Zhu Zhaoqi. Researching ways of palaeostructure[J]. Abroad Oil & Gas Exploration, 1989, 1(4): 39~ 55
- 安凤山, 王信, 叶军. 对中坝须二气藏圈闭分析的思考[J]. 天然气工业, 2003, 23(4): 8~ 12
An Fengshan, Wang Xin, Ye Jun. An idea about the trap analysis of T_{3x}² gas reservoir in Zhongba field[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(4): 8~ 12
- 杨克明, 徐进. 川西坳陷致密碎屑岩领域天然气成藏理论与勘探开发方法技术[M]. 北京: 地质出版社, 2004. 53~ 62
Yang Keming, Xu Jin. Reservoiring theory and methods and technologies of natural gas exploration and development in tight elastic rocks in western Sichuan depression[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004. 53~ 62
- 张贵生, 张世华, 王信. 合兴场气田须二段气藏成藏机理研究[J]. 天然气工业, 1999, 19(增刊): 71~ 76
Zhang Guisheng, Zhang Shihua, Wang Xin. Forming mechanism of gas reservoir in the second member of Xujiahe Formation of Hexingchang gas field in west Sichuan[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(Sup): 71~ 76
- 尹长河, 王廷栋, 郑丽辉. 平落坝气田成藏时期的确定[J]. 天然气地球科学, 1999, 10(3~ 4): 70~ 75
Yin Changhe, Wang Tingdong, Zheng Lihui. Reservoir formation time in Pingluoba gas field[J]. Natural Gas Geoscience, 1999, 10(3~ 4): 70~ 75
- 兰大樵, 邱宗恬. 川西坳陷平落坝气田须二段气藏成藏研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 8~ 10
Lan Daqiao, Qiu Zongtian. The research on the formation of Upper Triassic Xuer gas reservoir of Pingluoba gas field in Chuanxi depression[J]. Petroleum Exploration & Development, 2002, 29(3): 8~ 10
- 王德新, 郑祖燕, 王祖全, 等. 川西燕山期构造形变演化与油气聚集成藏[J]. 天然气工业, 1999, 19(增刊): 77~ 81
Wang Dexin, Zheng Zhuyan, Wang Zhuquan, et al. Yanshanian tectonic deformation evolution and reservoir formation in west Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(Sup): 77~ 81
- 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 Xiaoqing, Wang Zecheng, Zhang Xingwei, et al. Characteristics of palaeo-uplifts in Sichuan basin and their control action on natural gases[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 347~ 351
- 曹烈, 周兴毅, 邓永富, 等. 川西坳陷天然气运移模拟研究[J]. 矿物岩石, 2000, 20(3): 75~ 80
Cao Lie, Zhou Xingyi, Deng Yongfu, et al. The migration and accumulation modelling of natural gas in west Sichuan depression[J]. Journal of Mineralogy and Petrology 2000, 20(3): 75~ 80
- 吴世祥, 汪泽成, 张林, 等. 川西前陆盆地勘探思路分析[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 210~ 216
Wu Shixiang, Wang Zecheng, Zhang Lin, et al. Exploration strategy for the foreland basin in western Sichuan[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3): 210~ 216
- Espitalie J, Laporte J L, Madec M, et al. Methode rapide de caracterisation des roches meres de leur potentiel petrolier et de leur degre d'evolution[J]. Rev Inst Frandais Petrol, 1977, XXX(1): 23~ 42
- 李汶国. 各类干酪根不同成熟阶段生油量的探讨[J]. 石油与天然气地质, 1981, 2(3): 199~ 211
Li Wenguo. A preliminary study of hydrocarbon production from various types of kerogen at different mature stages[J]. Oil & Gas Geology, 1981, 2(3): 199~ 211
- 李汶国. 物质平衡法计算生油气率及其地质应用[J]. 石油实验地质, 1988, 10(1): 1~ 11
Li Wenguo. The oil/gas potential calculated by material balance and the application in geology[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1988, 10(1): 1~ 11
- 张晓鹏, 李汶国, 彭大经. 有机二氧化碳在碳酸盐溶蚀孔隙形成中的作用及其定量探讨[J]. 海相沉积区油气地质, 1988, 2(2): 63~ 71
Zhang Xiaopeng, Li Wenguo, Peng Dajing. The action of organic carbon dioxide on the formation of carbonate solution pores and its quantitative approach[J]. Oil & Gas Geology of Marine Deposit Region, 1988, 2(2): 63~ 71

(上接第 223 页)