石油与天然气地质
第 27卷 第 3期 OIL & GAS GEOLOGY 2006年 6月

文章编号:0253 - 9985(2006)03 - 0289 - 06

从四川盆地解读中国南方海相碳酸盐岩油气勘探

冉隆辉,谢姚祥,王兰生
(中国石油天然气股份有限公司 西南油气田分公司,四川 成都 610051)

摘要:四川盆地海相油气具有气多油少,油气层纵横向叠置展布,气田规模大小不一,储层总体致密、但不乏优质储层,油气田圈闭类型多样、以背斜圈闭为主 5个鲜明的地质特点。在此基础上,提出了具有叠合盆地性质的海相碳酸盐岩发育区,克拉通沉积时期古隆起的形成与发展,准确查明海相储层分布和目的层局部构造地腹形态,坚持有目的层、不唯目的层、重在发现的重要技术原则和发展先进实用的勘探技术等影响海相油气勘探成效值得重视的 5个问题。

关键词:海相碳酸盐岩;油气勘探;四川盆地
中图分类号:122.1 **文献标识码**:A

Understanding exploration of marine carbonate reservoirs in South China through Sichuan basin

Ran Longhui, Xie Yaoxiang, Wang Lansheng

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

Abstract: Marine carbonate reservoirs in Sichuan basin are characterized by 5 distinct geological features, i.e. there is more gas than oil, the reservoirs are laterally and vertically superimposed, the gas pools have different sizes, there are plenty of good reservoirs though they are relatively tight as a whole, and there are various trap types but dominated by anticlinal traps. Five key problems influencing exploration of marine carbonate reservoirs that should be highlighted are presented in this paper, i.e. the development zone of marine carbonates with the features of superimposed basin, the formation and evolution of palaeohighs in the process of deposition in the craton; accurate identification of the distribution of marine carbonate reservoirs and the subsurface geometry of local structures in the formations of interest, the significant technical principles of insisting on targets but not solely on the targets, and focusing on discovery of oil and gas; as well as development of practical and advanced exploration technologies.

Key words: marine carbonates; petroleum exploration; Sichuan basin

四川盆地位于中国南方扬子古板块西部[1]。自震旦纪以来,四川盆地与中、下扬子地台具有相似的海相沉积发展历史,经历了类似的后期构造运动的改造,印支期后在克拉通沉积背景上都不同程度地叠加了规模不等的中、新生代陆相沉积,海相地层总体上具有相似的油气形成和聚集过程[2~4]。

通过建国以来半个多世纪的油气勘探实践,四川盆地共发现和探明气田 110个、油田 14个,分别获天然气和原油探明储量 8 422 $\times 10^8$ m^3 和 8 408 $\times 10^4$ t,其中海相气田 101个,天然气探明储量 7 133 $\times 10^8$ m^3,占盆地总储量的 84.7%。四川盆地建成了年产天然气 122 $\times 10^8$ m^3 和原油 13.8 $\times 10^4$ t 的规模,成为当代中国重要的天然气生产基地。

本文在总结海相油气地质特点的基础上,提出影响海相油气勘探成效值得重视的几个问题[5]。

收稿日期:2006 - 05 - 24
第一作者简介:冉隆辉(1942—),男,教授级高级工程师,天然气勘探与开发

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 四川盆地海相碳酸盐岩油气地质特点

20世纪 50年代,通过全盆地地面地质调查、非地震及地震勘探、大量的钻探及地质综合研究工作,深刻地揭示了四川盆地海相地层的成藏基本地质条件:1)不乏生油岩且厚度大,有机质丰富,热演化程度高;2)海相碳酸盐岩储层总体致密,横向变化大,次生孔、洞、缝发育;3)构造运动多,古构造规模大;4)今构造类型多,具有多个相互叠置的成油气系统。四川盆地形成了气多油少,油气分布广泛,气田规模大小不一,储层低孔低渗、但以裂缝-孔隙型为主和气藏圈闭类型多样、以构造圈闭为主等 5个鲜明的油气地质特点。

1.1 气多油少

实践证明,四川盆地海相烃源丰富,纵向上发育 4套主要烃源层(下寒武统、下志留统、下二叠统油型烃源层和上二叠统煤型烃源层)。赋存于烃源层系中的有机质经历了成熟、高成熟和过成熟 3个演化时期(图 1)。其中成熟期 R_o 值为 0.50%～1.35%,高成熟期 R_o 值为 1.35%～2.00%,过成熟期 R_o 值大于 2.00%。烃源层中早期形成的油气均演化为现今油气层中的干气和局部湿气(表 1),这决定了四川盆地海相地层以产天然气为主的特点[6]。中国南方海相碳酸盐岩烃源条件与四川盆地类似。

1.2 油气层纵、横向叠置展布

四川盆地在上扬子地台陆表海的地史发展过程中,表现出构造运动的旋回式升降、海陆沉积体系的旋回式变迁、沉积水体的旋回式进退和水动力条件的往复式强弱,因而导致了各海相沉积层横向上的沉积变异和纵向上的多旋回特点,决定了海相沉积中多套生储盖组合、多油气系统的形成和保存条件各异的古今圈闭的广泛分布,构成了现今油气层叠置分布的特点。至 2005年底,纵向上已发现海相工业产气层系 14个(Z_2, $\in_2 y$, $C_2 h l$, $P_1 m$, $P_2 ch$, $T_1 f$, $T_1 j$, $T_2 l$等),其中勘探程度较高的上古生界—下中生界气层 11个,勘探程度较低的下元古界—下古生界气层 3个;平面上海相气田广布,共发现气田 101个,其中川东地区 42个,川南地区 56个,川西地区 2个,川中地区 1个。上述海相气田均具多产层特点,每个气田都有 2～3个以上的工业产气层。

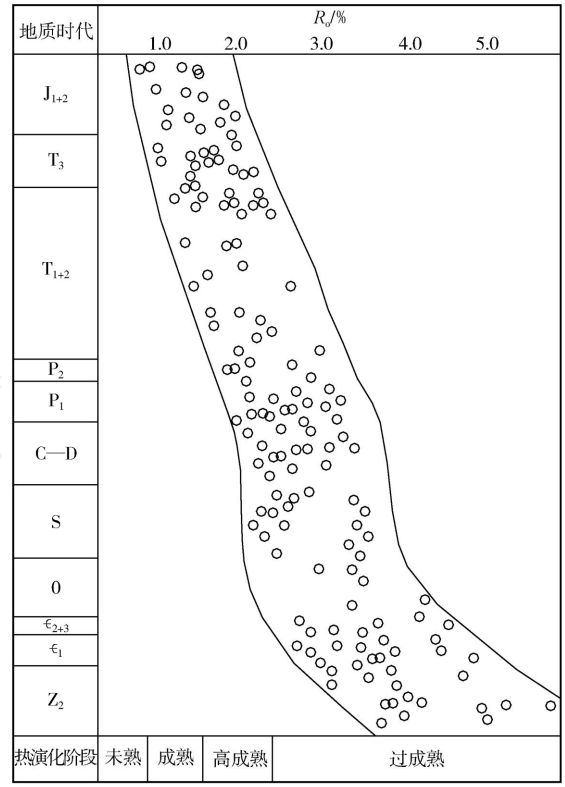


图 1 四川盆地热演化特征

Fig. 1 Features of thermal evolution in Sichuan basin

表 1 四川盆地海相地层天然气地球化学特征

Table 1 Geochemical behaviors of natural gas in the marine carbonate reservoirs in Sichuan basin

地层	Z_2	C_2	P_1	P_2	$T_1 f$	$T_1 j$	$T_2 l$
$\lg(C_1/C_2^+)$	2.8～3.1	2.0～2.7	1.9～2.4	2.2～2.5	1.9～3.3	1.0～2.3	1.4～2.3
$\delta^{13}C_1$/‰	-32～-33	-31～-36	-31～-34	-28～-34	-29～-31	-29～-34	-33～-36
$\delta^{13}C_2$‰	-31～-35	-34～-40	-31～-35	-27～-34	-31～-33	-27～-34	-28～-32

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.3　气田规模大小不一

在中国石油天然气股份有限公司矿权范围内,四川盆地已发现海相气田 101个,探明储量超过 7 000 ×10^8 m^3。单个气田的储量规模大小不一。其中大型气田 (大于 300 ×10^8 m^3) 8个,累计探明储量 3 582 ×10^8 m^3,平均每个气田的储量为 447 ×10^8 m^3,最大的川中磨溪气田储量为 676 × 10^8 m^3;中型气田 (50 ×10^8 ～300 ×10^8 m^3) 21个,累计探明储量 2 062 ×10^8 m^3,平均每个气田的储量为 98 ×10^8 m^3;小型气田 (小于 50 ×10^8 m^3) 72个,累计探明储量 1 488 ×10^8 m^3,平均每个气田的储量为 20 ×10^8 m^3,最小的川南螺观山气田探明储量仅 2.4 ×10^8 m^3。

1.4　储层总体致密、但不乏优质储层

四川盆地已发现的海相碳酸盐岩储集层,无论是石灰岩还是白云岩,普遍具低孔、低渗特点。据 9 252个岩心分析资料统计,平均孔隙度为 1.79%,基质渗透率小于 1.10 ×10^{-3} μm^2。相对较好的碳酸盐岩储集层常发育在潮坪白云岩和礁、滩相白云岩中[7]。如石炭系潮坪粒屑白云岩储集层,平均孔隙度为 5.49%,基质渗透率为 2.50 ×10^{-3} μm^2;飞仙关组鲕滩白云岩储集层,平均孔隙度为 8.16%,基质渗透率为 93.30 ×10^{-3} μm^2。它们往往构成裂缝 - 孔隙型储层或孔隙型储层。类似的优质储层在中、下三叠统的粒屑白云岩、藻白云岩和上二叠统的生物礁白云岩中也常见。这类储层多与咸化的膏盐沉积伴生,并伴有较强的混合水白云石化成岩作用。而二叠系阳新统生物石灰岩和震旦系泥粉晶白云岩储层,平均孔隙度仅为 1%左右,基质渗透率小于 0.1 × 10^{-3} μm^2。它们的有效储集空间多由次生的孔、洞、缝构成,其储层类型多属裂缝型和裂缝 - 洞穴型。这类储层在中、上寒武统和中、下三叠统的泥粉晶石灰岩和白云岩中亦常见。四川盆地的海相碳酸盐岩储集层,无论是孔隙型、裂缝 - 孔隙型,还是裂缝 - 洞穴型、裂缝型,均可成为工业性储集层。

1.5　油气田圈闭类型多样、以背斜圈闭为主

四川盆地海相油气田圈闭类型多种多样,既有构造型,又有岩性型、地层型和复合型。已发现的 101个海相气田几乎都存在背斜构造的背景,但在这些背斜气田内的油气藏却表现出圈闭的非构造性。例如盆地内下二叠统茅口气藏皆属“裂缝圈闭”;川东上二叠统长兴组发现多个生物礁岩性气藏;川东石炭系存在较多的地层侵蚀尖灭型、岩性封堵型和其与构造的复合型气藏;川中平缓构造区存在大面积分布的中、下三叠统嘉陵江组、雷口坡组岩性气藏;川东北地区下三叠统飞仙关组具有构造 - 岩性复合气藏。目前,已发现储量最多的裂缝 - 孔隙型和孔隙型气藏的圈闭基本上都在背斜和与背斜有关的圈闭内。四川盆地的背斜圈闭形态是丰富多彩的,经大量的地震和钻探查明,它们在纵向上存在严重的不协调性,平面上具分带性,常与规模不等的逆断层伴生。由于构造形成期的受力差异,形成了形态各异的现今构造[8],总体上可以分为高尖、高陡、高缓、低陡、低缓、低平、潜伏构造和潜伏高点、潜伏断高等 9类。他们都不同程度地控制着现今油气田的分布。

2　影响海相油气勘探成效值得重视的几个问题

四川盆地通过 50余年油气勘探的实践和认识,在经历了反复的失利和成功后,人们深刻地认识到海相油气勘探具有广阔的前景和复杂性。为加深和扩大上扬子地台的海相油气勘探和实现中国南方海相油气勘探的早日大突破,在分析油气田地质特点的基础上强调以下几个影响海相油气勘探成效值得重视的问题,供探讨。

2.1　具有叠合盆地性质的海相碳酸盐岩发育区是寻找海相油气的有利区域

油气是流体矿床,而天然气比原油对盖层的要求更为严格。在海相沉积之后叠覆的中、新生代陆相巨厚砂泥岩沉积对下伏海相油气藏的形成具有重要保护作用,往往构成盆地级的区域盖层。四川盆地自印支一幕运动以后,受扬子地台西缘龙门山、北缘米仓山、大巴山等隆升作用的控制,形成了晚三叠世 —第四纪陆相前陆盆地。自西向东由前渊凹陷、前陆斜坡和前陆隆起构成沉积了厚达 3 000～8 000 m的陆相砂泥岩及含煤地层,成为四川盆地海相地层良好的区域盖层,对下古生界、上古生界和下中生界碳酸盐岩油气藏的形成和发展过程起到了良好的保护作用。喜马拉雅

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

期四川盆地全面褶皱回返,盆地周缘区域盖层几乎丧失贻尽,古生界以来的海相地层大量裸露地表,现今尚未发现海相油气田。盆地内部华蓥山以东地区,区域盖层部分遭到破坏,高陡构造主体二叠系—中三叠统雷口坡组海相地层部分裸露。这些地区的局部盖层由于没有区域盖层的保护,其油气封闭能力大为减弱,所发现油气田的圈闭充满度均较低。如大天池构造带天池铺高点、大池干井构造带吊钟坝高点的石炭系气藏圈闭充满度均小于 40%。但区域盖层未被破坏的川中、川南、川西、川北和川东广大地区,海相油气田圈闭充满度均较高。因此,在有陆相沉积发育地区的下伏海相地层应是寻找油气的有利区域。

2.2 克拉通沉积时期古隆起的形成与发展对油气运聚具有至关重要的意义

晚元古代至早、中三叠世,扬子古板块的广大区域总体上接受了古特地斯域的陆表海沉积。古陆内部在区域拉张或挤压的受力背景下,深大断裂的周期性活动导致了构造面的隆、凹格局。与烃源岩成油期相匹配的古隆起区有利于油气的早期聚集,继承性发展的古隆起更有利于油气的富集。四川盆地在长期的海相沉积历史中,发育有加里东期的乐山 - 龙女寺古隆起和海西—印支期的泸州 - 开江古隆起。加里东期的乐山 - 龙女寺古隆起,轴向东西,缺失志留系—寒武系,面积 6.25×10^4 km^2,它对下古生界及震旦系的油气田和油气藏分布具有重要的控制作用。古生界勘探程度很低,通过少量的钻探,已发现威远震旦系气藏、寒武系气藏,资阳震旦系气藏和龙女寺震旦系气藏、奥陶系气藏,均分布在古隆起范围内;而古隆起外围的川东南及川北部分地区,已完钻的下古生界探井很少见有工业气流。海西—印支期的泸州 - 开江古隆起,轴向北东,缺失下、中三叠统嘉陵江组三段至雷口坡组二段地层,面积约 3×10^4 km^2,它对下、中三叠统的油气田和油气藏分布有明显的控制作用。上古生界至中、下三叠统勘探程度较高,川东南地区发现的石炭系及中、下三叠统海相整装气田和川中、川西北地区发现的中、下三叠统海相整装气田,如五百梯、罗家寨、阳高寺、磨溪、中坝等典型气田,均分布在海西—印支期古隆起的高部位。因此,海相沉积期中的古隆起区域可能是油气田相对集中的分布区。

2.3 准确查明海相储层的分布和目的层局部构造的准确成图是油气勘探的关键

在有利的海相油气远景区内,油气勘探的突破总是在海相储层发育和圈闭明显的领域首先获得成功。实践证明,海相地层的分布具有相对的稳定性,而海相储层的分布具有普遍的非均质性。这是因为,海相沉积域一般来说比陆相更为广阔,但同样具有类似陆相储层的沉积、成岩作用和后期改造,因此储层发育程度平面上因地而异;而圈闭特别是局部构造圈闭,因受多期构造作用和卷入褶皱地层脆、塑性差异的影响,导致地面与地腹构造强烈地不协调,往往在地面看似很完整,甚至简单对称的构造,至地腹则变得十分破碎和不对称,常被解体为多个块体,且各块体的油气保存条件各异。因此,查明储层分布,包括储层的有无、厚薄、好坏和目的层地腹的圈闭形态,对于优选目标、精选井位至为关键。

四川盆地几套重要海相目的层的勘探,都经历了从发现到失利再到成功的勘探过程。决定成功和失利的关键地质因素是储层分布和地腹构造圈闭形态。例如,飞仙关组鲕滩白云岩的勘探,首先在地震和钻井查明的有效储层厚度约 30m、平均孔隙度为 8.69%的渡口河潜伏构造上获得发现;其后的展开勘探,因早期用地震“亮点”定性预测储层不准确,导致老鹰岩、紫水坝、高张坪等一批构造预探失利;通过储层发育有利相带的综合研究和在良好地震资料基础上的储层量化预测,再次甩开勘探,提高了勘探成功率,发现了滚子坪、正坝南、七里北、龙会、高桥、铁山北等一批气田和含气构造。又如,石炭系潮坪角砾白云岩的勘探,首先在地震和钻井查明的有效储层厚度 12 m、平均孔隙度 7%的相国寺低陡构造上获得发现;其后的展开勘探中,因地震勘探的地质构造图欠准确,导致了铜锣峡、南门场等 9个高陡构造 9口预探井全部失利;通过山地地震攻关,在获得了良好的可用于构造和储层解释的资料的基础上,经准确的偏移归位,查明了地腹构造的形态和细节,使石炭系高陡构造的勘探成功率大幅度提高,发现了大池干井、五百梯、沙坪场、西河口等一大批气田和含气构造。

在海相地层出露区精细查明上述两个重要地质条件,仍是当前油气勘探的难题,必须加大技术

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

攻关和勘探前期工作的力度,切忌盲目打井带来认识上的误区。因此,海相地层的勘探突破,应把查明储层分布和目的层地腹圈闭形态作为勘探工作的重中之重。

2.4　坚持有目的层、不唯目的层、重在发现是勘探突破的重要技术原则

四川盆地的海相沉积与中国南方的海相沉积一样,在漫长的地史发展过程中,表现出沉积的多旋回性和油气聚集的多期次性,因而在纵向上必然具有多产层的特点。在勘探海相地层时,要坚持既有目的层、但又不唯目的层,加强钻探过程中第一性资料的录取与监控,搞好地震、钻井、测录井、试油和地质综合研究五位一体的综合勘探,以发现工业气层为重点,以探明储量为目标,这是实现勘探突破的有效途径。

四川盆地的海相油气勘探历史上,曾有过威远震旦系、川东石炭系、川中磨溪雷口坡组和川东北飞仙关组 4个海相气藏的重大发现,实现了石炭系对二叠系阳新统、下三叠统飞仙关组对石炭系的两次重大勘探层系接替。这些重大发现的第一口井,都不是在钻探的主要目的层中发现的。如威远震旦系气藏的发现井 ——威基井,是在主要目的层阳新统经加深钻探至寒武系 —震旦系发现的;川东石炭系气藏的发现井 ——相 18井,是在改变原设计目的层二叠系阳新统加深钻探至下伏石炭系发现的;川中磨溪中三叠统雷口坡组高产气流的发现井 ——磨 9井,是在以下三叠统嘉陵江组气藏为目的层的钻探中兼探发现的;川东北下三叠统飞仙关组鲕滩气藏的发现井 ——渡 1井,是在以石炭系为主要目的层的钻探过程中,在二叠系阳新统发生强烈井喷后经测、录井资料的综合判断发现的。这些发现,是人们解放思想、敢于突破已有地质认识和大胆实践的结果。从这一宝贵的经验中我们深刻地认识到,坚持在探井中做精雕细刻的地质工作,搞一层清一层,一定能够获得更多的新发现。

2.5　发展先进实用的勘探技术是实现勘探突破的前提

海相油气勘探的过程就是一个不断开发先进实用勘探技术的过程。任何一个勘探领域的重大突破都依赖于与该领域相适应的勘探技术的进步与创新[9]。一部海相油气勘探的历史就是一部理论与技术不断进步与发展的历史。

四川盆地在海相油气勘探过程中,曾先后遇到过缝洞分布发育规律和预测、复杂高陡构造地腹形态、碳酸盐岩薄储层分布规律和预测、非背斜圈闭识别与评价、气水及压力分布预测、高 —过成熟烃源岩识别与评价等地质难题;在地震勘探上,遇到过山地地形恶劣、构造陡峻、石灰岩裸露、河流水网密布、难以获得良好的地震反射资料、静校正和偏移成像难度大等难题;在测井上,遇到过低孔低渗裂缝性储层和流体的识别与评价的难题;在钻井工程上,遇到"深、硬、漏、喷、斜、垮、卡、高温、高压、高含硫和易伤害 等难题。这些难题都一度成为众多勘探领域突破的拦路虎。50余年来,特别是近期以来,通过大量的有针对性的科技攻关和先进技术的引进与消化吸收,形成了独具特色的致密碳酸盐岩裂缝圈闭成藏、挤压盆地高陡构造变形、海相碳酸盐岩储集层成因与天然气成因 4项理论,发展了山地二维和全三维地震勘探、高温高压高含硫深井钻井及油气层保护、高精度录井和测井及深穿透射孔和低孔低渗裂缝性储层改造等 4项配套技术,初步解决了二叠系阳新统裂缝型气藏、石炭系高陡构造裂缝 - 孔隙型气藏、飞仙关组鲕滩气藏、嘉陵江组和雷口坡组低孔低渗碳酸盐岩气藏的勘探难题,掌握了其油气分布的基本规律,发现和探明了一批又一批的气田,出现了储量增长的一次又一次高峰,使碳酸盐岩老区勘探呈现着长盛不衰的局面。

中国南方广泛分布的海相碳酸盐岩具有广阔的油气勘探前景。在继续深化含油气地质条件研究、强化战略选区及因地制宜攻克阻碍勘探成效的技术难题的基础上,找准突破口,深信中国南方海相油气勘探会出现新的局面。

参　考　文　献

1　赵文智,张光亚,河海清,等 . 中国海相石油地质与叠合含油气盆地 [M]. 北京:地质出版社, 2002. 201～219
Zhao Wenzhi, Zhang Guangya, He Haiqing, et al. Marine petroleum geology and superposed petroliferous basins in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 201 - 219

2　陈洪德,覃建雄,田景春,等. 中国南方古生界层序格架中的生储盖组合类型及特征 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 62～69
Chen Hongde, Qin Jianxiong, Tian Jingchun, et al. Types and fea-

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

tures of source-resenoir-cap rock combinations in Paleozoic sequence in southern China[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 62 - 69

3 窦立荣,王一刚. 中国古生界海相碳酸盐岩油气藏的形成与分布[J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 419～425
Dou Lirong, Wang Yigang. Formation and distribution of the Paleozoic marine carbonate-rock pools in China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(5): 419 - 425

4 胡明毅,戴卿林,朱忠德. 中扬子地区海相碳酸盐岩石油地质特征及远景评价[J]. 石油天然气地质, 1993, 14(4): 331～339
Hu Mingyi, Dai Qinglin, Zhu Zhongde. Petroleum geological characteristics and prospects assessment of marine carbonate rocks in Middle Yangzi River region[J]. Oil & Gas Geology, 1993, 14(4): 331 - 339

5 四川石油管理局,西南油气田分公司. 中国第一个天然气工业基地——四川气田[M]. 北京:石油工业出版社, 2003. 12～26
Sichuan Administrative Bureau of Petroleum, Southwest Oil/Gas Field Company. China's first industrial base of natural gas—Sichuan gas fields[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. 12 - 16

6 谢姚祥,丁玉兰,罗启后. 21世纪初叶四川盆地天然气发展前景[J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 1～6
Xie Yaoxiang, Ding Yulan, Luo Qihou. Prospects of developing natural gas in Sichuan basin in the early part of the 21st century[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6): 1 - 6

7 贾振远. 碳酸盐岩沉积学[M]. 北京:中国地质大学, 1992. 185～246
Jia Zhenyuan. Sedimentology of carbonate rocks[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1992. 185 - 246

8 乐光禹,杜思清,黄继钧,等. 构造复合联合原理——川黔构造组合叠加分析[M]. 成都:成都科技大学, 1996. 172～202
Yue Guangyu, Du Siqing, Huang Jijun, et al. Principle of structural compounding-combine: analysis of structural association-Superposition in Sichuan basin and Guizhou plateau, China[M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1996. 172 - 202

9 胡文海,陈冬晴,美国油气田分布规律和勘探经验[M]. 北京:石油工业出版社, 1995. 377～384
Hu Wenhai, Chen Dongqing. Distribution patterns of oil and gas fields and exploration experiences in the United States of America[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 377 - 384

(编辑 李 军)

(上接第 288页)

Zhao Junmeng, Zhang Xiankang, Deng Hongzhao, et al. Q value structure of the upper crust along the profile from Baicheng to Da Qaidan[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46(4): 503 - 509

4 李忠,王清晨,王道轩,等. 晚新生代天山隆升与库车坳陷构造转换的沉积约束[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 38～45
Li Zhong, Wang Qingchen, Wang Daoxuan, et al. Depositional record constraints on Late Cenozoic uplift of Tianshan and tectonic transformation in Kuqa depression, West China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 38 - 45

5 何治亮,毛洪斌,周晓芬,等. 塔里木多旋回盆地与复式油气系统[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 207～213
He Zhiliang, Mao Hongbin, Zhou Xiaofen, et al. Complex petroleum system and multicycle basin in Tarim[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 207 - 213

6 何登发,贾承造,李德生,等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64～77
He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64 - 77

7 楼雄英,许效松. 塔里木盆地早古生代晚期构造-沉积响应[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 72～79
Lou Xiongying, Xu Xiaosong. Tectonic-sedimentary responses of the Tarim basin, Xinjiang, during the late Early Palaeozoic[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(3): 72 - 79

8 马安来,张水昌,张大江,等. 轮南、塔河稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31～38
Ma Anlai, Zhang Shuichang, Zhang Dajiang, et al. Oil and source correlation in Lunnan and Tahe heavy oil field[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 31 - 38

9 Sun Yongge, Xu Shuping, Lu Hong, et al., Source facies of the Paleozoic petroleum system in the Tabei uplift, Tarim basin, NW China: Implications from aryl isoprenoids in crude oils[J]. Organic Geochemistry, 2003, 34: 629 - 634

10 赵靖舟,李启明. 塔里木盆地克拉通盆地海相油气成藏期与成藏史[J]. 科学通报, 2002, 47(增刊): 116～121
Zhao Jingzhou, Li Qiming. Timing and history of the marine petroleum accumulation in the Tarim cratonic basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(S0): 116 - 121

11 Vizer J, Hoefs J. The nature of $^{18}O/^{16}O$ and $^{13}C/^{12}C$ secular trends in sedimentary carbonate rocks[J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 1976, 40: 1 387 - 1 395

12 Dension P E, Kirkland D W, Evans R. Using strontium isotopes to determine the age and origin of gypsum and anhydrite beds[J]. Geology, 1998, 106: 1 - 17

(编辑 李树森)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net