

文章编号: 0253-2697(2005)04-0012-05

川东地区石炭系天然气成藏动力学研究

徐国盛 刘树根 袁海锋 王威

(成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室 四川成都 610059)

摘要: 川东地区是四川盆地稳定地块中的相对构造活动区,发育10排高陡构造带。应用油气成藏动力学的原理和方法,剖析了石炭系碳酸盐岩储层油气成藏的主控因素,恢复与再现了石炭系天然气成藏动力学过程。研究成果表明,可将二叠系阳新统的现今流体压力系数1.30作为对石炭系气藏压力封闭的临界值。石炭系为具正常地层压力的区域孔洞型储集体,致使大规模的褶皱型构造圈闭成为仓储空间,石炭系捕集成藏的天然气又是在高压驱使下上下邻层流体跨层充注的结果。川东地区石炭系天然气的成藏动力学特征可归纳为:“压力封闭,流体上下充注,天然气仓储式成藏”。

关键词: 川东地区;石炭系;天然气成藏;压力封闭;流体充注模式;动力学

中图分类号: TE112.12 文献标识码: A

Dynamics of natural gas pools of Carboniferous in the eastern Sichuan Basin

XU Guo-sheng LIU Shu-gen YUAN Hai-feng WANG Wei

(State Key Laboratory for Reservoir Geology and Development Engineering,
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: The eastern area of Sichuan Basin with ten complete tectonic belts is the relatively active tectonic belt. The main control factors for formation of the Carboniferous carbonate gas pools were analyzed with dynamics. The dynamic process of the Carboniferous gas pools in this area was recurred. The results show that the pressure coefficient of 1.30 for Yangxin Series of the Permian can be taken as the critical value for pressurizing the Carboniferous gas pools. The carboniferous gas pool has a regional cavity with normal pressure, which turn the large-scale folding deformational trap into stock bin. The Carboniferous gas pool is resulted from cross-formation pouring of natural gas driven by high pressure from adjacent stratum. Therefore, the dynamics of natural gas pools of the Carboniferous in the eastern Sichuan basin can be characterized by pressure seal, fluid pouring from adjacent stratum, and hydrocarbon accumulation by stock bin.

Key words: eastern Sichuan Basin; Carboniferous; gas pool formation; pressure seal; fluid pouring model; dynamics

我国学者不仅在“陆相生油”、“煤成气”、“煤成油”和“低熟油”等研究上已取得一系列新进展,并率先提出了“源控论”、“成油体系”和“成藏动力学”等新的理论及研究方法^[1~3]。油气成藏动力学是应用动力学和运动学的有关原理,对于某一特定的地质单元内烃源岩体和流体输导体系骨架,通过对地层温度、压力(势)、应力等各种物理、化学场的综合定量研究,在古构造发育的背景上再现了油气生、排、运、聚直至成藏的全过程。笔者应用油气成藏动力学的原理、方法,以褶皱强烈高、中、低潜构造穿插分布的雁行式排列的高陡构造发育的川东地区为例,剖析主力产层石炭系碳酸盐岩储层油气成藏的主控因素,恢复与再现石炭系天然气成藏的动力学过程。

1 地质概况

川东地区西起华蓥山,东至七跃山,南达南川—开隆一线,北抵大巴山,面积约 $5.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,是四川盆地稳定地块中的相对构造活动带。区内自西向东分布有10排以北东东向为主的高陡构造带(图1)。到目前为止,川东地区石炭系储层累计获得的探明储量占整个四川盆地天然气探明储量的近60%,天然气产量以年均6.8%速度稳步增长,成为四川乃至全国天然气的主产区之一,石炭系气藏已跃居著名的大气田行列。高陡构造带石炭系成组气田,沿构造带走向方向圈闭高点呈串珠状分布,沿构造带横切剖面方向有主断块和两翼断下盘潜伏圈闭之分。然而,不同的圈闭

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999043309)“中国典型叠合盆地深部流体与浅部流体相互作用及其成藏效应”资助。

作者简介:徐国盛,男,1962年2月生,1998年获成都理工学院博士学位,现主要从事石油地质教学与科研工作、教授、博士生导师。

E-mail: XGS@CDUT.EDU.CN

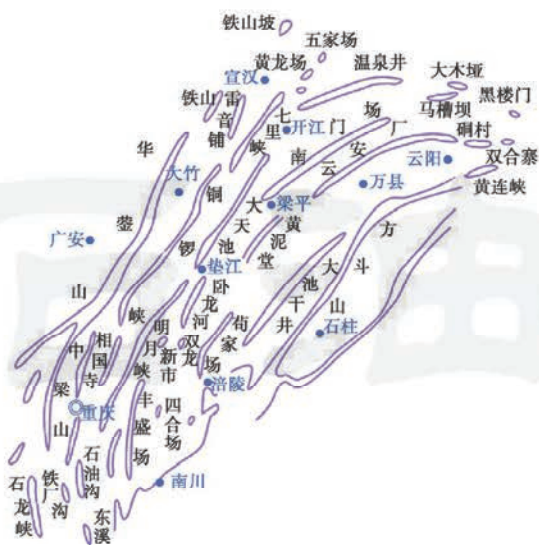


图 1 川东地区地表构造分布

Fig. 1 Surface structure distribution in the eastern Sichuan Basin

高点及不同的断块体既有共性又有个性,主要表现为圈闭的形成条件、储层的孔渗性、气藏的保存条件以及捕气聚集条件,甚至是各条件的组合与匹配关系的差异性,从而导致不同的高陡构造带及不同局部高点的天然气富集规律的异同。

2 石炭系气藏的压力封闭

川东地区石炭系气藏的直接盖层是下二叠统梁山组泥岩层(图 2)。厚度一般在 10m 以上,最厚的达 28 m。对 10 个 P₁ 岩样测定,其孔隙度为 1.48%~

界	地层层序			地 层	剖面	厚度 /m	同位素年龄 /Ma
	系	统	组				
新生界	第四系			Q		0~50	3
		中生界	侏罗系	中统	自流井组	J ₁	
下统	须家河组(香溪群)			T _{3x} (Th)	250~3000	205	
三叠系	中统		雷口坡组	Tr	900~1700		230
	下统		嘉陵江组	Tc			
	统		飞仙关组	Tf			
古生界	二叠系		上统		P ₂	200~500	270
		下统		P ₁	200~500		
	石炭系			C	0~500	320	
	志留系			S	0~1500		

图 2 川东地区地层剖面图

Fig. 2 Stratum sections for the eastern Sichuan Basin

0.17%,平均为 0.71%;渗透率为 $(0.003 \sim 0.089) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.0264 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;突破压力为 0.0132~27.7MPa,平均为 15.4MPa;从孔隙度和突破压力看,梁山组具有较强的封闭能力。但是,这种封闭能力还不能完全封盖住川东地区具有较高含气高度的石炭系丰富的天然气藏。对川东地区 10 口井梁山组封闭的气柱高度计算结果表明^[4],川东地区梁山组作为下伏石炭系储层的物性盖层能够封闭的石炭系气藏含气高度最大值为 73.31~236.21m。然而,石炭系气藏的含气高度远大于此值。例如:沙罐坪气田的实际含气高度大于 1200m,五百梯气田的实际含气高度大于 800m,显然只靠梁山组直接盖层的封盖是不够的,必须有间接盖层的封盖才能形成较高的气藏高度。

据前期研究^[4,5],由于上覆层系(二叠系阳新统)具有异常高的孔隙流体压力而形成了阻挡烃类逸散的高质量封闭层,从而对下伏天然气聚集产生封闭作用,称之为“压力封闭”。其封闭条件为上部地层的原始地层压力大于下伏层系。

由表 1 可见,本地区下伏的最重要的孔洞性储集层石炭系天然气藏均是在纵向上以阳新统为主的高压封闭体系的严密保护下得以富集,石炭系天然气富集的圈闭均为高陡构造的次高点,断下盘的潜伏圈闭虽然发育不少断层,但这些潜伏构造近地表断层与地腹断层属两组断裂系统,互不连通(以嘉陵江膏盐层作为滑脱层,其上发育近地表断层向下消失于膏盐层中;其下发育于高陡构造腹部的断层称之为地腹断层,向上也消失于膏盐层中),而且地腹断层表现强烈的自封闭性,丝毫未破坏阳新统等高压封闭层系。

然而,在高陡构造的中心地带,由于受力强度集中,主要表现在基底断裂的泄压、漏水,部分高陡构造带上“通天”破裂逆断层出现压力释放和油气大量散失的现象。高陡构造主体块的中心地带现今流体压力系数小于 1.30 或接近于正常静水柱压力。研究表明,可将二叠系阳新统现今流体压力系数 1.30 作为压力封闭的临界值,超过此值能对下伏石炭系气藏起压力屏蔽作用(表 1)。

3 石炭系上下邻层流体的跨层充注

川东石炭系为夹持在两套主要生油气层系之间的一套浅灰—灰色白云岩、角砾云岩、灰岩和石膏的岩性组合,一般厚度为 10~100m。有机碳含量为 0.08%~0.16%。目前公认的碳酸盐岩生油岩有机碳含量下限为 0.1%~0.2%,因此,石炭系天然气的主要气源不是石炭系本身。志留系是石炭系的主要烃源岩,二叠系碳酸盐岩也有条件和可能向石炭系供气^[4,5]。

表1 压力封闭体系的完整与破坏性对天然气富集层系的影响

Table 1 Effects of pressure seal system integrity and destroy on natural gas enrichment horizon

序号	构造	压力封闭层系			富集层系			断层情况		
		层位	原始地层压力 / MPa	压力系数	层位	原始地层压力 / MPa	压力系数	储量或测试产量	总条数	穿 Tc 情况
1	福成寨	P ₁	>48.65	>1.43	C ₂	48.553	1.28	84.19 ×10 ⁸ m ³	2	穿 Tc 消失 Tr
2	沙罐坪	P ₁	66.32	1.82	C ₂	40.03	1.18	82.02 ×10 ⁸ m ³	2	消失 Tc
3	张家场	P ₁	—	1.82	C ₂	53.798	1.12	67.40 ×10 ⁸ m ³	3	未穿 Tc
4	双家坝	P ₁	—	1.53	C ₂	54.786	1.16	七里7井 46.6 ×10 ⁴ m ³ /d	4	未穿 Tc
5	石宝寨	P ₂	44.23	1.14	C ₂	59.42	1.25	产水	1	不清
6	苟家场	P ₁	41.35	1.30	C ₂	44.38	1.22	产水	5	穿 Tc、Tr
7	蒲包山(上盘)	P ₁	24.91 ±	<1.09	C ₂	29.07 ±	1.06	产水	3	穿 Tc、Tr

川东地区自上而下存在两个区域高异常压力带。从地表到深部可分为:地表静水压力带,过渡压力带,高压异常带(Tc-P),正常压力带(C₂)和高压异常压力带(S)。因此,在剖面上存在两个流体压力封存箱,第一个压力异常带(Tc-P,压力系数为1.40~2.20)为上部流体压力封存箱,第二个高压异常带(S)为下部流体压力封存箱。石炭系位于两个流体压力封存箱之间,致使上覆下二叠统与下伏志留系烃源岩高压混相流体相对于石炭系储集层发生“上下充注”式跨层流动。在此重点讨论志留系烃源岩向上跨层流动排烃方式。由于川东志留系泥岩较厚,在其压实和有机质成熟生烃过程中势必产生异常高压,从而形成下部高压流体封存箱(座3井于井深5887.18m处的志留系的压力系数测定为1.89)。

下部高压封存箱上覆的石炭系为正常压力。因此,随着志留系烃源岩的不断成熟,箱内油气越来越多,使下部封存箱内外压差的增加超过顶板(或边板)的承压极限时,顶板的某一局部破裂,封存箱内的流体从裂口涌出(图3)。Snarsky指出^[6],局部压力为静水压力的1.42~2.40倍时,岩石就会产生裂缝,封存箱内的流体在混相涌至箱外后,随着压力的下降,油、气、水三相互相分离。据Hunt的资料^[7],当压力系数下降到1.20~1.30时,裂缝重新闭合或被方解石充填堵塞,封存箱内的压力重新积聚上升,直至下一次脉冲式破裂和涌流,如此周而复始。因此,川东地区志留系烃源岩的排烃方式为垂向排烃,是通过封存箱破裂产生的混相涌流完成的。

当油气从志留系烃源岩下部流体封存箱中的运移到上覆的石炭系后,会产生2方面的结果:①由于志留系埋藏较深,加之为异常高压,封存箱内流体的温度应高于上覆石炭系中的流体温度,从而打破石炭系流体的温度平衡;②由于志留系封存箱内流体中含较多的

油气,流体密度降低,低密度的混相流体垂向运移至石炭系储层后引起石炭系流体的重力失稳。因此,石炭系中的流体在密度差和温度差的作用下发生对流(图3)。对流的结果一方面使油气脱溶,另一方面使

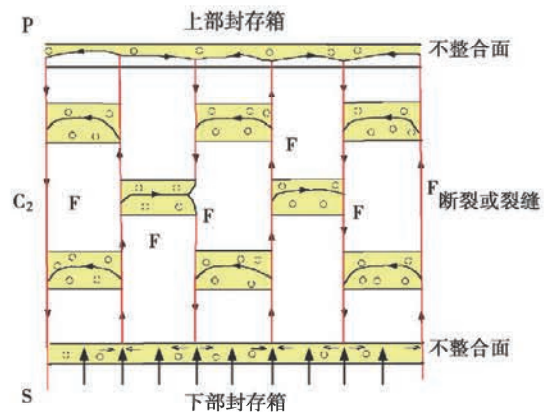


图3 川东地区志留系烃源岩向上覆石炭系跨层流动排烃示意图

Fig. 3 Cross-formation hydrocarbon expulsion from Silurian to Carboniferous in the eastern Sichuan Basin

油气向构造高部或低势区聚集。由于下部流体封存箱顶板的破裂和志留系烃源岩中的流体向箱外的排放是脉冲式的,从而造成石炭系中流体的循环也是脉冲式的。此外,由于中石炭统上覆的二叠系形成了上部高压流体封存箱,石炭系储层内的流体对流不能突破上部封存箱底隔板而进入上部封存箱内,流体的对流仅限于石炭系储层内部,这对石炭系储层中油气的保存和富集非常有利,是形成石炭系大中型气田的主要原因之一。在石炭系流体的循环对流中,石炭系顶、底的不整合面起着非常重要的作用,既是流体对流的上界和下界,又是连通所有对流环的通道,使对流得以在较大范围内进行。同时使石炭系中的流体较活跃,油气的脱溶快而彻底,油气富集程度高^[8]。因此,川东地区

石炭系油气二次运移是通过流体对流完成的。

4 石炭系天然气的仓储式成藏

中石炭统黄龙组是超覆在志留系之上,顶部受到风化剥蚀并与二叠系梁山组呈假整合接触的残余沉积。川东的石炭系为长期处于稳定地台型海相碳酸盐岩沉积,是一套以干裂破碎角砾云岩、凝块石核形白云岩、粉—细晶(灰)云岩为主的海湾泻湖—潮坪沉积,显示从海进到海退的旋回组合^[9,10]。

据研究,川东地区中石炭统黄龙组碳酸盐岩在形成区域孔洞性储集层经历了5个成岩作用阶段:①准同生期沉积物干化蒸发作用和潮水的冲刷作用,形成了碳酸盐干裂泥砾,造成表层白云石化,保存了一部分砾间孔隙;②准同生期—成岩早期的大气淡水淋滤溶蚀,形成早期各种溶孔、铸模孔、膏模孔、砾间及砾内溶孔、粒间及粒内溶孔;③成岩期地下水渗入,使原已形成的孔隙进一步扩大形成各种溶蚀缝和溶孔;④表生期淡水渗流带或地下水潜流带形成的溶蚀孔洞;⑤褶皱期的构造破裂作用产生了构造裂缝。

从川东中石炭统黄龙组这种成岩历史来看,尽管在成岩晚期主要表现为重结晶和压溶作用,但是它从沉积到埋藏一直到深埋藏均保持了足够的孔隙空间。在埋藏早期,地下水的活动可促使储层中可溶物质的溶解,以利于储层在较大范围内连通,所以早期的石炭系是处在流体可以自由流动的正常静水压力环境;中期随着志留系油气的生成,当存在局部的势能变化时,促使生成的油气向上部孔隙发育的石炭系运移,油气替换出了储层中的自由水。但这时还没有形成大规模的圈闭,地层处于近水平或区域单斜状,进行二次运移的油气可沿上倾方向运移或处于二叠系与志留系所夹持的孔隙层段内游离。由于石炭系良好的孔隙和渗透条件,地层压力仍然不会出现高异常值,晚期燕山—喜山期波及全盆地的褶皱运动形成了现今构造的基本格局,岩石受应力作用而产生了构造缝,出现了石炭系真正的天然气聚集过程。因气、水重力分异,天然气聚集于局部构造的顶部,地层水则通过向斜相连通。目前石炭系储集岩的物性也证明其具有较好的储集条件和连通性。对上千块岩心样品分析统计表明,石炭系储层基质的孔隙度最小为0.2%,最大可达20.63%;单井平均孔隙度为0.95%~10.09%,总平均值为5.36%。其中,孔隙度大于6%的样品占岩样总数的40.46%,大于10%的样品占岩样总数的10.6%。岩样的渗透率基值较低,但岩心构造缝发育,所以对单个构造而言,大部分石炭系的气井具有连通性,处于同一压力系统,具同一气水界面,甚至可通过背斜的鞍部使

2个气藏连成一片^[11]。如:大池干构造带的吊钟坝与龙头高点、磨盘场与老湾高点已由开发资料证实属于同一气藏系统。石炭系地层压力表现为大面积平衡状态,在气水界面附近整个川东地区的地层压力系数均匀,为1.13~1.19。在消除了气藏高度影响的压力系数值后,各气藏均在1.20的压力系数等值线内^[12](在饱和盐水状态下压力系数为1.20属正常地层压力^[1]),从而成为预测石炭系气水界面深度及含气高度的地质基础^[13]。

在川东地区碳酸盐岩储层存在高压异常的大背景下,石炭系却呈现正常地层压力的特征,这主要是由其独特的“仓储式”(似储物仓库)储集体和较大规模的褶皱型“仓储式”圈闭空间所决定的,这是天然气富集的关键。

5 石炭系天然气成藏动力学过程

川东地区展布了成排的高陡构造带。所谓高陡构造带系指一个构造带上核部地区广泛出露三叠系香溪群以下地层,褶皱强度(闭合度/短轴)大于0.1;陡翼地层倾角大于45°;沿长轴有多高点或多个与构造带有成生联系的次级潜伏圈闭。高陡构造带亦即前期巨型高陡构造带“解体”后各构造的总称^[14]。从高陡构造的形成机理上看(图4),一般可将高陡构造的剖

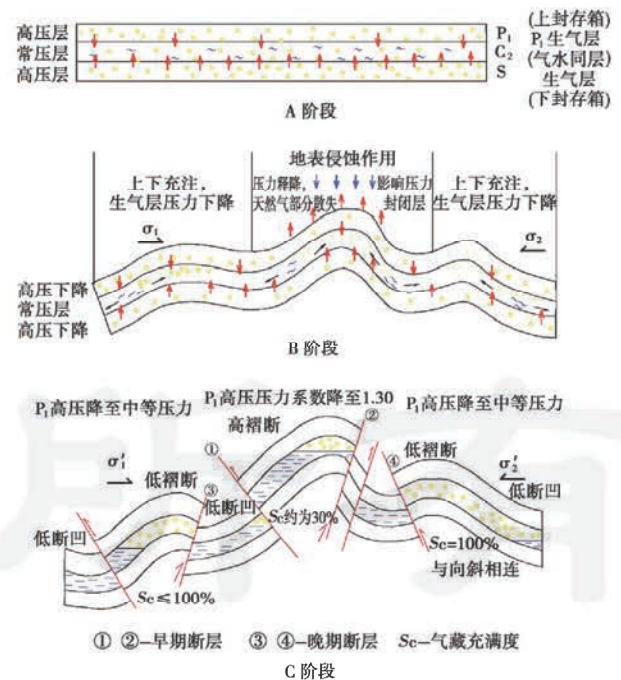


图4 川东地区石炭系天然气成藏动力学模式

Fig. 4 Dynamics model of Carboniferous natural gas pools in the eastern Sichuan Basin

面划分为“高褶断”、“低褶断”、“低断凹”。这三大块体中,主体构造上盘的“高褶断”和断下盘两侧的“低褶

断”可以形成多种圈闭,亦即沿长轴呈串珠状分布的高点和断下盘的潜伏圈闭是高陡构造带上形成上、下盘成组气田的有利的圈闭条件。

燕山运动期之前,志留系烃源岩大量生烃,在高压驱使下初次运移至石炭系“仓储式”储集体内并呈常压游离态;燕山运动期,石炭系中天然气向开江古隆起区运移,形成石炭系早期古隆起大气藏^[15,16];喜山运动期打破了古隆起气藏的分布格局,促使天然气在此期形成的高陡构造带各圈闭中重新调整分配,最终再聚集成藏。川东地区志留系生、排烃期与石炭系圈闭形成及捕气成藏期匹配良好。

在喜山运动期,华蓥山、七跃山、明月峡、七里峡、南门场、温泉井等高陡构造带上的大断层几乎接近地表。更由于出露地层老及地表侵蚀严重,导致压力释放,“压力封闭”体系往往被破坏,同时天然气逸散,故这些高陡构造主体块上狭长的轴心地带无天然气产出。

然而,地腹断层的作用正好相反,对气藏压力及天然气具有良好的封闭性。即一方面阻止天然气向上逸散,另一方面又切断横向天然气运移通道,直接影响气藏的聚集程度。

从中心地带向构造带两端保存条件逐渐变好,依次发育的次高点开始聚气,可形成低覆压准散失型(指上覆为低压屏蔽层,压力系数为1.30~1.40),未完全散失后的残留气藏)常压气藏(图4)。在喜山期发生强烈挤压褶皱运动时,即图4中高褶断成藏演化的A、B阶段,石炭系上下相邻高压(压力系数均约为1.80)烃源层生成的油气在高压驱使下向夹持的区域孔洞型石炭系储集层作“上下充注”式跨层流动,生气层高压下降。其构造进一步受挤压而断裂,高压释降,天然气散逸,但上覆阳新统压力封闭层系的压力系数稳定在极限值(1.30偏上),而未使下伏石炭系气藏遭致完全破坏,石炭系气藏内部处于正常压力状态,即形成准散失型常压气藏,即高褶断成藏演化的C阶段。由于该类气藏处于特定的构造位置,两翼主断层(喜山运动早期形成)夹持的主体块体小,则捕气面积小,加之地腹断层的自封闭性阻隔了气运移通道,这些次高点聚气贫乏,充满度(指一个圈闭内集装天然气的总体积空间与该圈闭总容积之比)偏低。因此,分析高陡构造带主体块形成气藏的圈闭条件,必须考察它所处主体块的相对位置和圈闭规模。

高陡构造两翼断下盘的潜伏圈闭中绝大多数钻探获气,形成中覆压富集型常压气藏(指上覆为中压,压力系数为1.4~1.6屏蔽层,形成充满度大于70%的气藏)。该类气藏主要分布于达县—开江—开县一线

以南及邻水—梁平—忠县所圈弧线以北的广大区域内,所处构造部位大多为高陡构造断下盘的潜伏圈闭,如任市、老湾—磨盘场、冯家湾、万顺场、义和场等。

中覆压富集型常压气藏的成藏动力学过程如图4中左侧低褶断成藏演化过程,上覆阳新统压力封闭层系的流体压力系数最终降为中等幅度,充分满足石炭系气藏保存条件的要求。圈闭内天然气富集程度较高,可称为富集型,其石炭系气藏内部亦处于正常压力状态。这一类型中有少数气藏成藏条件十分优越,充满程度超过100%,则把它分出为中覆压满集型常压气藏亚类(图4中右侧低褶断成藏演化过程)。研究表明,发育于喜山运动晚期的次一级断层直接影响高陡构造带潜伏圈闭在天然气重新调整运移聚集成藏过程中的聚气程度,如果在潜伏圈闭与向斜一侧发育有晚期断层,则圈闭后期聚气相对要少,形成中覆压富集型常压气藏;反之,潜伏圈闭直接与向斜连结,天然气充分向圈闭运移,能形成满集型气藏。

川东地区高陡构造带断下盘的潜伏圈闭条件最为优越,是天然气富集的主要场所,主体块除中心地带外向两端延伸分布的次高点的倾没端圈闭条件也相对较佳,也不失为良好的勘探对象。

6 结 论

将二叠系阳新统现今流体压力系数1.30作为对石炭系气藏压力封闭的临界值。因为具有正常地层压力的石炭系区域孔洞型储集体和较大规模的褶皱型构造圈闭为仓储空间,石炭系捕集成藏的气又是在高压驱使下使上下邻层跨层流动相对充注的结果。为此,川东地区石炭系天然气成藏动力学理论可归纳为:“压力封闭,流体上下充注,天然气仓储式成藏”。

参 考 文 献

- [1] 张厚福,方朝亮.盆地油气成藏动力学初探—21世纪油气地质勘探新理论探索[J].石油学报,2002,23(4):7-12.
- [2] 田世澄,陈建渝,张树林,等.论成藏动力学系统[J].复式油气田,1996,1(1):31-34.
- [3] 郝芳,邹华耀,姜建群.油气成藏动力学及其研究进展[J].地学前缘,2000,17(3):11-21.
- [4] 刘树根,徐国盛,梁卫,等.川东石炭系气藏含气系统研究[J].石油学报,1997,18(3):13-22.
- [5] 徐国盛,左友东,张文虎.川东石炭系大气田成藏条件分析[J].矿物岩石,2001,21(4):59-64.
- [6] Snarsky A N. Verteilung von Erdgas, Erdoel und Wasser im Profil[J]. Zeitschrift fuer Angewandte Geologie, 1961, 7(1): 2-8.
- [7] Hunt John M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1-12.

(下转第22页)

在异常高压区及其外边缘,其展布受同沉积构造坡折带和沉积坡角的控制;异常高流体压力和构造坡折带发育地区的岩性油气藏富集并高产,如牛庄洼陷的王50、王57、河123等砂岩油藏;构造-岩性油藏的发育与坡折带、较大的低位扇体和超压区配置关系良好,在东营凹陷形成了最为富集和高产的油藏,如梁家楼低位扇构造-岩性油藏;地层油藏主要发育在凹陷外边缘地层超覆带上。

5 结论

(1) 层序界面控制了地层油气藏的发育。高级别层序界面(如一级、二级层序界面)控制大规模地层油气藏的分布,低级别界面(如三级层序界面)控制小规模地层油气藏的分布。

(2) 主裂陷幕三级层序湖扩展域优质烃源岩控制了岩性油气藏发育的层段。

(3) 主裂陷幕盆缘沟谷和构造坡折带控制的层序低位域、高位域砂体是岩性油气藏的主要储集体,该砂体发育带与湖扩展域优质烃源岩的有效配置部位就是岩性油气藏的富集带。

(4) 主裂陷幕层序坡折带控制的低位域和高位域砂体的有利沉积相带含油饱和度高。高异常流体压力封存箱保留的原生孔隙、有机酸产生的次生孔隙、流体压裂和幕式排烃以及高异常流体压力利于克服储层毛细管阻力的特性,使得有高异常流体压力封存箱发育的受坡折带控制的砂体易于形成富集、高产的岩性油气藏。

参考文献

- [1] 冯有良. 东营凹陷下第三系层序地层格架及盆地充填模式[J]. 地球科学, 1999, 24(6): 635-642.
- [2] 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等. 断陷湖盆隐蔽油气藏预测和勘探的关键技术——高精度地震勘测基础上的层序地层学研究[J]. 地球科学, 2002, 27(5): 592-599.
- [3] 冯有良, 邱以刚. 高精度层序地层学在济阳坳陷下第三系隐蔽油气藏勘探中的应用[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 49-54.
- [4] 宗国洪, 冯有良, 刘承华, 等. 同沉积断裂带砂砾岩隐蔽油藏研究——以东营凹陷胜北断裂带为例[J]. 石油实验地质, 2003, 25(3): 275-284.
- [5] 冯有良, 李思田, 解习农, 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 119-132.
- [6] 冯有良, 周海民, 李思田, 等. 陆相断陷盆地层序类型与隐蔽油气藏勘探——以南堡凹陷古近系为例[J]. 地球科学, 2004, 29(5): 603-608.
- [7] 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. 构造坡折带——断陷湖盆层序和油气预测的重要概念[J]. 地球科学, 2000, 25(3): 260-267.
- [8] 冯有良, 周海民, 李思田, 等. 陆相断陷盆地层序类型与构造特征[J]. 地质论评, 2004, 50(1): 43-49.
- [9] 冯有良, 李思田. 东营凹陷沙三段层序低位域砂体沉积特征[J]. 地质论评, 2001, 47(3): 278-286.
- [10] 林畅松, 郑和荣, 任建业, 等. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制[J]. 中国科学 D 辑, 2003, 33(11): 1025-1036.
- [11] 王新洲, 宋一涛, 王学军. 石油成因与排油物理模拟——方法、机理及应用[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996: 209-222.
- [12] Wang C, Xie X. Hydrofracturing and episodic fluid flow in shale rich basin: A numerical study[J]. AAPG Bulletin, 1997, 82(7): 1857-1869.

(收稿日期 2004-10-11 改回日期 2005-02-24 编辑 王 秀)

(上接第 16 页)

- [8] 蒋有录, 张一伟, 冉隆辉, 等. 川东地区志留系-石炭系含气系统天然气运移聚集机理[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 25-30.
- [9] 刘树根, 王允诚, 张高信, 等. 川东大池干井构造带上石炭统构造储层研究[J]. 中国海上油气(地质), 1994, 8(1): 37-44.
- [10] 林仲虔. 川东中石炭统碳酸盐岩的沉积环境及沉积特征[J]. 石油实验地质, 1982, 4(2): 114.
- [11] 陈宗清. 川东石炭系地层-构造复合圈闭气藏的预测、分类和评价[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 25-30.
- [12] 徐国盛, 刘树根, 张英俊, 等. 川东石炭系天然气富集的水化学条件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 15-19.
- [13] 李仲东. 川东地区碳酸盐岩超压与天然气富集关系研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(4): 53-58.
- [14] 刘树根, 王允诚, 张高信, 等. 川东大池干井高陡构造的形成机制及其对石炭系储层的影响[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(3): 102-111.
- [15] 徐国盛, 赵异华. 川东开江古隆起区石炭系气藏成藏机理剖析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 158-163.
- [16] 韩克猷. 川东开江古隆起大中型气田的形成与勘探目标[J]. 天然气工业, 1995, 15(4): 1-4.

(收稿日期 2004-10-25 改回日期 2005-02-28 编辑 张 怡)