

文章编号:1672-9854(2009)-02-0037-04

残留盆地及其油气保存问题

付孝悦

(中国石化南方勘探开发分公司)



付孝悦

摘 要 残留盆地的最本质特征是流体动力体系的改变,即由原型盆地承压流体(压实流体)转变为静压流体动力体系。残留盆地的油气保存条件是油气勘探评价的关键,虽然与多重因素有关,但主要取决于后期构造运动改造的强度,即与盆地的残留和保存程度密切相关。应用流体的压力体系及其物理化学性质的相关指标可直接对残留盆地油气保存条件作出评价。

关键词 残留盆地;油气保存条件;海相地层;流体动力体系

中图分类号:TE111.1;TE112.26 **文献标识码**:A

付孝悦 1982年毕业于武汉地质学院勘探系,1991年获工学硕士学位。主要从事含油气盆地评价研究。通讯地址:云南省昆明市关上中路201号;电话:(0871)6143364

残留盆地及其油气保存问题是当今含油气盆地评价研究中的关键科学问题^[1-4],特别是对于中国南方复杂构造区的海相层系油气勘探来说,如何认识这些经历不同程度改造的构造残留盆地的油气地质特性及其油气保存问题至关重要^[5-9]。本文从分析残留盆地流体动力体系这一本质特性出发,强调保存条件评价的重要性,提出应用与流体压力体系和流体物理化学性质相关的两类指标来综合评价判断残留盆地油气保存条件的思路与方法,希望对中国的海相层系油气勘探有所裨益。

1 残留盆地的基本地质特征

残留盆地是沉积盆地形成以后经历地壳构造运动的改造而导致盆地的面貌及盆地内部的结构、构造及其流体动力体系发生了改变的一类盆地。表现为盆地面积缩小,地层厚度因隆升剥蚀而较原沉积地层厚度明显减薄,地层因多期构造运动而发生褶皱变形以及岩石因构造应力作用而发生叠加成岩作用等,而最本质的特点则是盆地的流体动力体系的根本性改变,即由承压(压实)流体盆地转变为静水

压力盆地^[10-11],认识这一特性对于评价残留盆地的油气运移成藏及保存至关重要。

沉积盆地从形成发育到改造残留直至破坏,在其演变过程中,不仅盆地的面貌及其内部的结构、构造发生了变化,更重要的是流体动力体系和油气保存条件的变化。从流体性质与流体动力体系来看,原型盆地和残留盆地(又称改造型盆地)是两种不同阶段、不同性状的含油气盆地。原型盆地是保持其盆地形成发育阶段性状的盆地,其本质的特征是具压实流体动力特征,盆地在沉积成盆过程中不断接受沉积加载,地层因沉积埋藏压实而导致流体从岩层中排出,沉积流体从盆地中心向周缘流动,因此,从其流体运动学特征来说,压实流体盆地又称为离心流盆地。而沉积盆地经历一定程度的构造运动的改造后,盆地结构发生重组,盆地性质发生转变,流体压力体系也随之发生根本性改变,压实流体作用终止,流体在重力作用下而处于静水压力状态,我们将其称为静压流体盆地。在静压流体盆地中,地层流体在重力作用下,总体上呈现从边部向中央的收缩态势,因而也可称为向心流盆地。

收稿日期:2008-06-30

残留盆地中,由于地层的抬升剥蚀,地层不再因压实而排出流体,盆地处于静水压力系统。由于构造作用,主要是地层的抬升剥蚀、褶皱变形及断裂作用,残留盆地的油气藏均发生过一定程度的调整改造造成藏。因此,残留盆地中常常发育较多的次生油气藏和残余油气藏组合。次生油气藏是指改造原生油气藏而在上方形成的第二、第三序次的油气藏,残余油气藏则是指因改造而损失部分油气后残留下来的油气藏。由于种种原因,在残留盆地中,油气藏通常具有油质重、油水关系复杂、充满度低等特点,尤其是在油气氧化界面^[12]以上表现较为明显。这些特点都与盆地的后期改造、变异和保存特性有关。因此,研究残留盆地的油气保存问题是资源评价、勘探选区以及制定适应性的勘探开发策略的关键。

2 残留盆地的油气保存条件评价

残留盆地油气保存条件差异性较大,它们主要取决于后期被构造运动改造的强度,一般来说,弱改造型盆地油气保存条件相对较好,强改造型盆地油气保存条件较差,甚至丧失其油气保存条件。研究认为有两类直接的重要指标构成残留盆地油气保存评价的关键:一是流体的压力体系;二是流体的物理化学性质^[13]。

流体压力体系指标一般用地层流体压力系数来判别。负压,地层流体压力系数 $P_x < 1 \text{ MPa/km}$,常压 $P_x = 1 \text{ MPa/km}$,高压 $P_x > 1 \text{ MPa/km}$ 。负压主要是由构造裂缝引起的扩容减压而形成,一般是致密岩层中的表现。常压多产生于排流通畅的渗透性地层中。高压则主要产于排流不畅的致密地层中,如厚层塑性泥岩因排流不畅而常常产生欠压实和异常高压,致密

灰岩中的封闭裂缝和缝洞系统因烃浓度增加也产生高压系统等。以负压和常压为主要表征的残留盆地一般可认为其流体压力体系被破坏,油气保存条件差,以常压和高压为主体表征的残留盆地,其流体压力体系未被破坏,表明具有整体封存保存条件。

地层流体包括地层水和烃类流体,其物理化学性状承载着盆地形成与改造的历史过程。沉积地层水随埋藏压实不断浓缩,其矿化度会不断增加,水的性质也会随之发生变化。随着埋藏压实,地层中的沉积封存水的矿化度向高于其沉积时的水介质的矿化度演化。对于海相地层,沉积封存水的矿化度一般要求大于 35 g/L (现代正常海水的矿化度)。陆相地层则因其沉积时的水介质条件不同而复杂化。淡水湖泊沉积水介质矿化度很低,而咸化湖盆的水介质矿化度较高。对盐湖来说,其沉积水介质的矿化度可能要比现代正常海水的矿化度还高许多。当海相地层水总矿化度低于 35 g/L 时,一般认为该地层水经过了地表水的渗混而淡化,保存条件较差。应用地层水矿化度指标分析判别油气保存条件时还可参考与地层水变异相关的其它参数,如变质系数、脱硫系数以及地层水化学类型等。

近年对如何应用这类指标来分析含油气盆地及油气藏的保持环境,许多研究人员作过很多有益的探索^[14-15]。本文根据对南方海相残留盆地的流体压力与地层水性质的研究提出了用两类指标评价海相残留盆地保存条件的参考性标准(表1),以供评判,尤其是提出了流体压力分布特征也可作为保存条件评价的指标。

值得指出的是,当今含油气盆地的地层水变异是复杂地质过程的最终结果,它可能包含了淡水—咸化—淡化—咸化的复杂变异过程,如四川盆地某

表1 海相地层油气保存条件的压力体系和地层流体化学判别指标

参 数		保 存 条 件		
		好(Ⅰ类)	一般(Ⅱ类)	差(Ⅲ类)
地层水成因		沉积封存水	淡化水或咸化水	
矿化度(g/L)		>35	20~35	<20
变质系数($r_{\text{Na}}/r_{\text{Cl}}$)		<0.87	0.87~1.00	>1.0
脱硫系数($r_{\text{SO}_4} \cdot 10^2 / (r_{\text{Cl}} + r_{\text{SO}_4})$)		<8.5	8.5~30	>30
盐化系数($\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$)		>20	1~20	<1.0
水 型	苏林分类	CaCl_2 为主, MgCl_2 次之, 偶见 NaHCO_3 , Na_2SO_4	以 CaCl_2 为主, 常见 Na_2SO_4	NaHCO_3 , Na_2SO_4
	苏哈列夫分类	$\text{Cl}-\text{Na}$	$\text{Cl}-\text{Na}$ 为主, $\text{Cl}-\text{Na}-\text{Ca}$ 次之	$\text{Cl}-\text{Na}$, $\text{C} \cdot \text{HCO}_3-\text{Na}$, $\text{Cl} \cdot \text{O}_4-\text{Na}$, 等
流体压力体系		普遍性的常压与高压, $P_x \geq 1$	普遍性的常压与负压, $P_x \leq 1$	

些卤水层可能就经历过淡水—咸化(沉积埋藏期)—再淡化(构造抬升期)—再咸化(构造稳定期的卤化)的复杂演化,而南方复杂改造区某些高成岩地层所产的过渡类型地层水则可能是地表淡水沿地下下渗经岩层溶解一些矿物质后再咸化的地层水。具体情况需根据盆地的构造演化、水文地质旋回以及产层情况作具体分析。

烃类流体的物理化学性质记录了其后生的变化,包括冷变质与热变质作用。深埋作用和热动力作用使有机质正向演化,最终形成碳沥青和热裂解气。构造抬升作用和断裂裂隙的发育会导致盆地开启程度增高,使地表水的下侵发生一系列水质交换,也使有机质遭受系列冷变质作用,形成重质油和氧化沥青等。因此,可以使用烃类流体的物理、化学性质,原油的化学组成等分析含油气盆地的油气保存条件或厘定盆

地的油气氧化界面。对于含油盆地的评价,这类指标至关重要,对于含气盆地亦可作为重要参考指标。

应用流体压力体系和地层水性质评价中国南方的海相残留盆地表明,四川盆地为弱改造型残留盆地,盆地未发生结构性变化,其海相中古生界流体压力主要表现为常压和高压,很少出现负压的情况,地层水矿化度一般介于 35~200 g/L。这表明四川盆地具有整体封存保存条件。而经过较强改造的南方大部分中古生界残留拗陷,如湘鄂西拗陷、桂中拗陷、黔南拗陷以及十万大山盆地北部和楚雄盆地东部等地区已知钻井中主要表现为常压与负压的特点,除个别地区保存有沉积封存水外(如中扬子地区的中央向斜带的局部地区),大部分地区地层水矿化度低于 35 g/L,说明这些地区不具整体封存保存条件,油气保存条件相对较差(表 2)。

表 2 南方不同地区中、古生界海相地层流体压力与水化学性质数据表

地 区	流体压力	地层水性质				资料井	井 段 (m)	层 位	评 价
		矿化度(g/L)	变质系数	脱硫系数	水 型				
中扬子 中央向斜带	0.99	33.70~61.6	0.96~1.20	—	CaCl ₂ Na ₂ SO ₄	万 1 井, 牌参 1 井, 夏 3 井, 丰 1 井	2602.00~ 3200.00	T ₁ d, P ₁ m	一般
下扬子地区	0.9348	9.20~29.04	0.68~1.09	5.12~7.45	NaHCO ₃ Na ₂ SO ₄	圣科 1 井, 苏 103, 兴桥 1 井	3040.00~ 4250.50	P, C ₁	一般
湘鄂西褶皱带	—	1.23~14.00	1.09~9.91	5.12~95.36	Na ₂ SO ₄	威 2 井, 河 2 井, 利 1 井	720.00~ 4552.00	O, C, Z ₂ dn	差
黔中隆起 及周缘	—	0.50~3.981	10.50	—	NaHCO ₃	底 1 井, 方深 1 井	1274.00~ 2410.00	T ₂ , Z ₂ dn	差
南盘江拗陷	0.6328~ 0.9997	29.85	0.89	0.26	CaCl ₂	秧 1 井	2573.00~ 4391.00	P ₁ q, D ₃	一般
楚雄盆地 云龙凹陷	0.4827~ 0.6410	1.62~4.98	1.87~8.08	55.00~73.00	NaHCO ₃	云参 1 井	1175.18~ 3345.22	D ₁ , C ₁	差
十万大山 盆地北部	—	0.91~1.37	2.68~4.66	30.07~35.35	NaHCO ₃	万参 1 井, 明 1 井	1099.20~ 1832.00	J, D	差
桂中拗陷	—	5.76~11.25	—	—	NaHCO ₃	桂参 1 井	820.00~ 1920.00	D ₂	差
四川盆地	1.10~2.20	42.88~44.51	0.30~0.92	0.448~9.318	CaCl ₂	川岳 83 井, 毛坝 1 井, 双庙 1 井, 普光 1 井, 普光 2 井	3410.00~ 5666.24	P ₂ ch—T ₁ f	好

3 影响油气保存条件变差的主要地质因素

后期构造作用是导致含油气盆地保存条件变差的主要地质因素,可分解为五个具体的方面:隆升剥蚀、地层褶皱变形、断裂作用、成岩变质作用和岩体侵入。不同地区因后期构造改造作用强度的差异而导致油气保存条件的较大差异。如中国南方除四川盆地以

外的海相残留盆地地区经历了印支后的多期次强构造作用改造,隆升剥蚀幅度大、褶皱变形强、区域大断裂发育、成岩作用强,部分地区发生弱变质和较强岩体侵入,在上述强构造作用因素的改造下,盆地发生结构性的调整和破坏,因而油气保存条件变差。

盖层发育程度以及质量好坏也是影响油气保存条件的关键因素。盖层是指能够阻止油气逸散的致密岩层,通常将盖层分为直接盖层和区域盖层。直接

盖层是指油气藏上方直接遮挡油气的致密岩层,该术语应限定于油气藏系统中^[8,13]。区域盖层则是指含油气系统上方能够抑制油气扩散的上覆岩层或岩系。区域盖层是保护含油气盆地中的含油气系统,而不应将区域盖层理解为含油气系统上方的某一个或几个连续分布的致密岩层,它应是整个含油气系统上方的上覆岩系都对油气系统起着区域封盖作用。因此,评价区域盖层应对整个含油气系统上方的上覆岩系进行全面考察,包括它们的厚度、分布、岩性组合、成岩程度等。四川盆地海相油气系统的区域盖层应是由包括嘉陵江组膏盐岩层在内所有上覆岩系组成的,如果没有须家河组及其以上的陆相地层的区域封盖,很难想象仅靠嘉陵江组的膏盐岩封盖能形成一个大型富气盆地。

4 结 语

盖层的发育与保持、油气保存环境的好与坏直接与盆地后期的构造改造程度相关,二者互为成因联系。作者认为评价残留盆地油气保存条件应从指标(压力系数与流体性质)、条件(压力体系与封盖条件)和因素(构造作用)三个方面进行综合考察^[13]。中国南方的海相层系由于经历印支期后多次构造运动改造,改造的样式与变形程度不一,油气保存条件差异性很大。总体来看,未发生盆地结构性调整与改造的地区油气保存条件较好(如四川盆地),而其它大部分地区均发生了一定程度的结构性调整与改造,地层流体压力体系及地层水的性质发生了重要改

变,油气保存条件相对变差,可能只存在局部的有利油气保存区。

参 考 文 献

- [1] 刘光鼎. 试论残留盆地[J]. 勘探家, 1997, 2(3): 1-4.
- [2] 刘光鼎. 前新生代海相残留盆地[G]//周玉琦. 朱夏油气地质理论应用研讨文集. 北京: 地质出版社, 2001.
- [3] 刘池洋, 杨兴科. 改造盆地研究和油气评价思路[J]. 石油与天然气地质, 2001, 21(1): 11-14.
- [4] 戴少武, 贺自爱, 王津义, 等. 整体封存体系的内涵[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 107-114.
- [5] 孙肇才, 邱蕴玉, 郭正吾. 板内形变与晚期次生成藏——扬子区海相油气总体形成规律的探讨 [J]. 石油实验地质, 1991, 13(1): 107-142.
- [6] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [7] 付孝悦, 陈光俊. 南方海相控油气单元划分与评价[J]. 南方油气, 2002, 15(3-4): 26-30.
- [8] 付孝悦, 王津义, 张汉荣. 南方海相天然气保存机理及保存条件初探[J]. 海相油气地质, 2002, 7(2): 43-47.
- [9] 付孝悦, 高林. 南方海相叠加改造油气盆地类型与特征及其勘探目标[J]. 现代地质, 2003, 17(增刊: 石油地质专辑): 47-51.
- [10] 付孝悦. 青藏特提斯板块构造与含油气盆地[J]. 石油实验地质, 2004, 26(6): 507-516.
- [11] 付孝悦, 张修富. 西藏高原石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [12] 付孝悦, 卢亚平, 肖秋苟. 含油气盆地油气氧化界面与保存条件纵向分带性讨论——以西藏伦坡拉陆相第三系盆地为例[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 773-776.
- [13] 付孝悦. 天然气成藏与保存[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(2): 212-214.
- [14] 楼章华, 金爱民, 付孝悦. 海相地层水文地球化学与油气保存条件评价[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(3): 501-505.
- [15] 马永生, 楼章华, 郭彤楼, 等. 中国南方海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨 [J]. 地质学报, 2006, 80(3): 406-417.

编辑: 金顺爱

Residual Basins and the Associated Issues of Hydrocarbon Preservation

Fu Xiaoyue

Abstract: A residual basin usually means a sedimentary basin that is tectonically altered in its original feature, architecture, structure, and hydrodynamic system. Among those changed elements, the lattermost, the hydrodynamic system converted from an initial confined fluid system into a lithostatic-pressure one, is most diagnostic of the alteration of a residual basin. Preservation conditions of hydrocarbon in a residual basin are crucial to exploration evaluation. The conditions are mainly determined by the intensity of tectonic movement occurring at the basin and are closely related to the preservation degree of the basin. Pressure system and physicochemical properties of fluid in a residual basin may give indices directly to evaluate preservation conditions of hydrocarbon in it.

Key words: Residual basin; Condition of hydrocarbon preservation; Marine formation; hydrodynamic system

Fu Xiaoyue, male, Master, Senior Geologist. Add: Exploration Southern Company, SINOPEC, Chendu, 610041 China