

整体封存体系的内涵

戴少武^{1,2}, 贺自爱², 王津义², 余琪祥²

(1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074;

2. 中石化石油勘探开发研究院荆州新区勘探研究所, 湖北荆州 434100)

摘要: 天然气易于散失的特性, 决定了整体封存体系的高标准、严要求, 评价的思维应以板桶理论(木桶效应)为指导, 特别要重视局部对整体的决定作用。天然气的封存与石油不同, 整体封存体系的内涵, 必须强调结构的立体性与功能的有效性。川东、川东北的油气勘探实践表明, 下部(中、古生界)的超压流体系统与上部(中、新生界)的高压-静压流体系统, 共同构成整体封存体系的立体性, 实际是一个物性、浓度、压力为一体的复合封闭结构。有效性取决于: (1) 埋深; (2) 区域水动力; (3) 晚期抬升; (4) 抬升时限。立体性为构建, 有效性为改建, 只有二者的统一方能发挥整体封存的**大功能。

关键词: 封存体系; 内涵; 立体性; 有效性; 思维定势; 综合效应

第一作者简介: 戴少武, 男, 46 岁, 教授级高级工程师, 石油地质学

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

重建整体封存体系是南方油气能否成藏保存的关键。对此虽已基本取得共识, 但对其内涵的理解并不一致, 衡量评价的标准也有差异, 分析观察的思维亦有轩轻。最根本的两点是: (1) 缺乏对天然气特性的正视; (2) 传统思维的定势。

天然气的特性与石油迥然不同, 最根本的特性是易于散失, 因为甲烷分子直径仅 0.38 nm, 除膏盐岩之外, 没有其他岩类的孔隙可以小到足以阻止它的流通与散失^[1]。这一特性决定了它的散失是绝对的, 保存是相对的, 封存条件要求极高, 不能与石油等同。

板桶理论(木桶效应)是一种逆向思维, 其核心是局部决定整体, 有两层涵义: 一是木桶装水的水平线不决定于绝大多数的长板片, 而是取决于最短的某个板片; 二是任何一个局部的破损, 就可引起整体的崩溃, 即千里之堤毁于蚁穴的道理。南方封存体系的评价, 也应该多一点这种逆向思维, 否则就会失之毫厘差之千里。

1 结构的立体性

Hunt^[2]在研究了世界许多地区含油气盆地的压力异常之后提出: 很多沉积盆地含有两个或两个以上叠合的水文地质系统, 其中浅层系统往往与盆

地一样宽阔, 并保持正常的流体静压; 而生成石油的深层系统, 往往由一系列独立的流体区间组成, 彼此之间, 以及它们与上层系统之间没有液压传递关系, 并保持异常高压。这就是他的压力封存箱概念。

1.1 下部超压流体系统

立体封闭系统的研究, 在我国尚属薄弱环节, 但川东高陡背斜带黄龙组、茅口组、长兴组、飞仙关组、嘉陵江组等箱外、箱内、箱缘的成藏, 却印证了上述认识的正确性。

钻探证明, 川东、川东北中、古生界确实存在两个区域异常压力带: 一个异常高压带为 $T_{ij} - P_1$, 构成上部异常压力封存箱; 一个为 $S_1 - \tau_1$, 构成下部异常压力封存箱。正是这两个封存箱, 控制了震旦、石炭系的箱外成藏, 与茅口组、长兴组、飞仙关组、嘉陵江组的箱内、箱缘成藏。

异常压力封存箱, 实际是一个物性、浓度、压力为一体的复合系统, 既可凭借毛细管阻力限制游离气的散失, 也可依赖异常孔隙流体压力和异常烃浓度, 有效地阻止扩散相与水溶相天然气的散失。据付广研究^[3], 我国大、中型气田多数为复合型盖层(表 1), 而异常压力封存箱, 不但具有复合盖层的作用, 而且具有整体调节的功能。

表 1 我国部分大、中型气田盖层特征数据^[3]
Table 1 Characteristic data for overburdens for part of
large- medium sized gas fields in China

盆地 (坳陷)	气田(藏) 名称	盖 层			
		时代	岩性	厚度/m	封闭类型
琼东南	崖 13- 1	R	泥岩	290~ 370	复合型
松辽	汪家屯	K	泥岩	310~ 330	复合型
塔里木	柯克亚	N	泥岩	300~ 4000	复合型
四川	中坝	T ₃	泥岩	500	复合型
四川	威远	τ	页岩	100~ 300	复合型
四川	磨溪	T ₂	石膏	6. 6	毛细管
辽河	兴隆台	E	泥岩	50~ 400	复合型
辽河	锦州 20- 2	E	泥岩	400~ 500	复合型
大港	板桥	E	泥岩	400~ 500	复合型
东濮	文留	E	膏盐	320~ 650	毛细管
四川	卧龙河	T-P	硬石膏	50~ 70	毛细管
柴达木	台南	Q	泥岩	1062	毛细管
陕甘宁	靖边	P ₂₁	铝土质泥岩	60~ 140	复合型

这种整体立体封存的优势, 在于它能够维持压力的动态平衡, 只要压力封存箱的结构完整无恙, 它就可以调整箱内与箱外的压差, 依据是:

(1) 箱外成藏的原理是箱内烃浓度与压力的阶段性积累, 导致超压破裂脉冲式的混相涌流。如此往复由平衡→不平衡→平衡, 维持箱内外的一定压差。作为石炭系之上的压力封存箱, 与石炭系之下的封存箱一样, 也通过自身的调节, 如箱内、箱缘成藏, 维持箱内箱外的压差, 达到一定的平衡。

(2) 石炭系的压力系数一般为 1.2 左右, 但当其增大时, 上封存箱下二叠统的压力系数亦随之增大, 如卧龙河、福成寨、板东石炭系压力系数分别增至 1.42, 1.28, 1.31, 其上的下二叠统压力系数, 亦相应的增为 1.68, 1.5, 1.77(表 2)。这种调节与耗散结构的自组织原理有关。

梁卫* 所编的阳新统压力封闭分布特征图(图 1)表明, 构造发育中等及高陡背斜断裂下盘潜伏构造普遍形成压力封闭; 而高陡背斜的中心部位与深大断裂带, 则因压力封闭的破坏, 导致天然气的逸散与压力外泄。正是这些 NE 向的高陡背斜带, 将压力封闭系统切割成相互隔离的流体区间。

正因为异常压力封存箱系统, 既是统一的又是分隔的, 因而具备下列特征: (1) 保持高压势态, 由上向下压力系数逐渐增大; (2) 维持上述特征而又有变化, 如川岳 84 井长兴组压力系数 1.58, 吴家坪组 1.79~ 1.81, 茅口组 1.93~ 1.97; 川涪 85 井龙潭

组 1.63~ 1.76, 茅口组 1.81~ 2.17。

表 2 川东地区压力封闭及富集层系特征表
Table 2 Characteristic table for pressure- enclosed and
gas rich- accumulated stratigraphic system
in the region of eastern Sichuan

构造	压力封闭层系			富集层系		
	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
卧龙河	P _{1m}	78.667	1.68	C ₂	56.804	1.42
福成寨	P _{1m}	44.85	1.5	C ₂	48.553	1.28
沙罐坪	P _{1m}	66.32	1.82	C ₂	40.03	1.18
张家场	P _{1m}	56.74	1.44	C ₂	52.09	1.21
大池干井 (万顺场)	P ₁	41.668	4.56	C ₂	38.716	1.20
相国寺	P _{1m}	36.26	1.52	C ₂	27.89	1.28
五百梯	P _{1m}	59.99	1.65	C ₂	59.74	1.33
雷音铺	P _{1m}	59.830	1.66	C ₂	45.215	1.22
双家坝	P _{1m}	72.06	1.53	C ₂	54.017	1.12
新民	P _{1q}	83.55	1.70	C ₂	67.95	1.36
板东	P _{1m}	62.914	1.77	C ₂	49.679	1.31
铁山南	P _{2ch}	53.10	1.42	C ₂	48.76	1.25
大坪堰口	P _{1q}	37.89	1.30	C ₂	30.92	1.02

封存箱为一立体系统, 根据 Hunt 的研究, 存在一种与地层层位无关, 而与地温场相关的封隔层^[2]。顶、底板呈平板状, 穿越不同层位、不同岩相, 边板呈近垂直的板状, 沿断裂和裂隙分布。其成因一是地温场, 二是对流循环, 由此产生成岩矿物的区域再分配和孔隙的再分配。对流机制是形成边板封隔的基本机制, 唯有在对流的条件下, 自生的碳酸盐与 SiO₂ 方可溶解、沉淀, 使断层或裂隙带成为具封隔性能的边板。对流是在三维空间进行的, 成岩矿物和孔隙的再分配, 也是在三维空间进行, 构成立体性的封闭系统。关于这方面的资料, 目前还掌握得不多, 不过渡口河 4 口井飞仙关组皆呈常压(1.07~ 1.08)的反常现象, 是否是封存箱顶板穿越不同层位与地层界线不一致的迹象, 值得进一步注意。

1.2 上部静压- 高压流体系统

上部流体系统指晚期重建的中、新生代封存系统, 可分为沉积建造型与构造建造型两大类。沉积建造型分为: (1) 沉积建造保持型; (2) 沉积建造再造型; (3) 沉积建造割裂型; (4) 沉积建造残留型。构造建造型分为: (1) 构造推覆保存型; (2) 构造推覆再建型^[4]。

* 梁卫, 川东石炭系碳酸盐岩天然气成藏条件, 博士学位论文, 1994

重建封存系统的功能: 一是限制大气水的下渗; 二是保护深层异常压力流体系统。封存系统的

优劣, 并非决定于叠加方式, 而是与构造形变的期次、强度、性质有关, 即取决于改造。

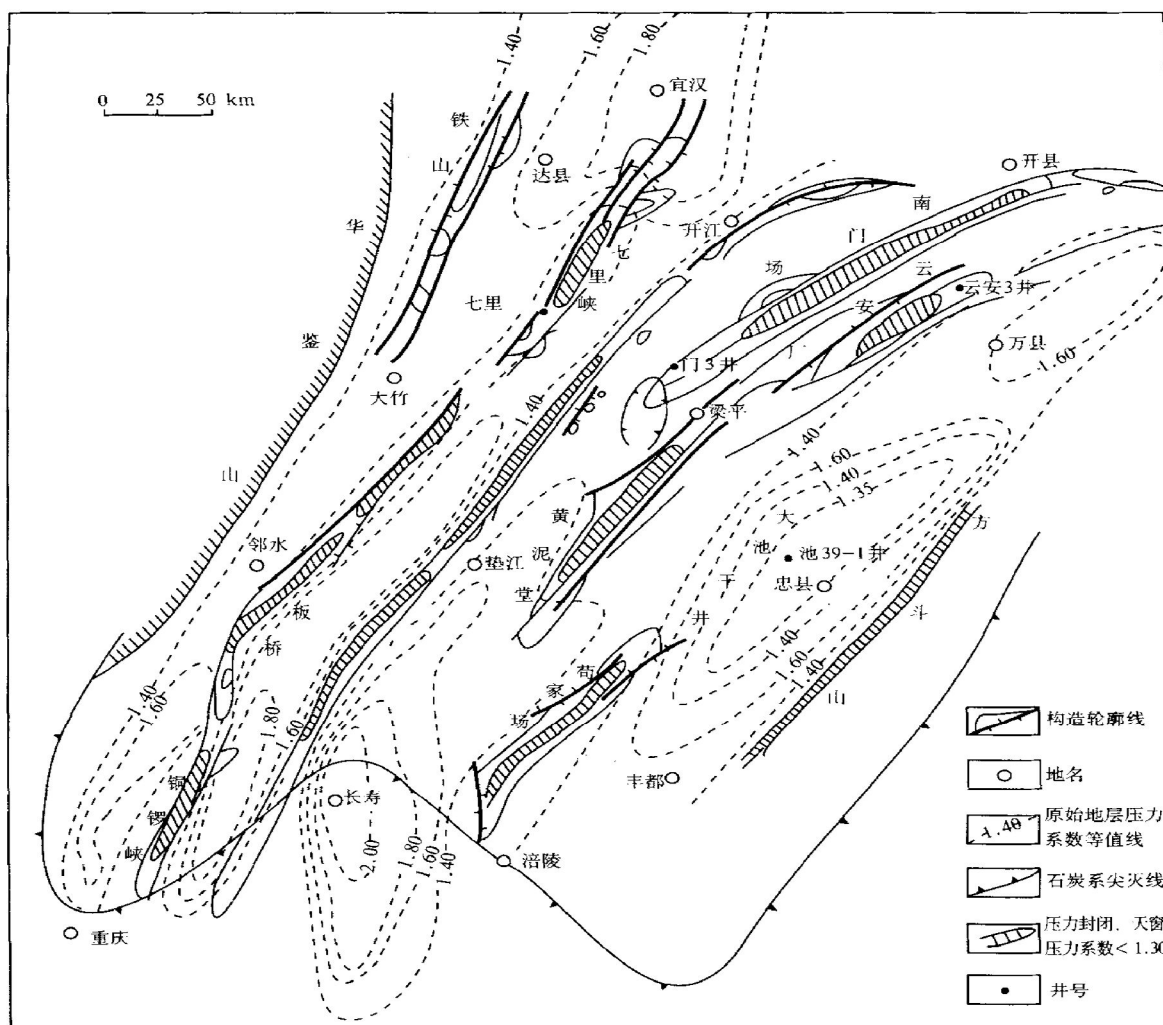


图1 川东阳新统压力封闭分布图

Fig. 1 Distribution chart of pressure- enclosed in Yangxin series in eastern Sichuan

重建的中、新生代封存系统, 不完全是 Hunt 所指的静水压力系统, 可能还包含了一个异常高压系统形成的异常压力封存箱($T_{3x}-J_1$), 证据是:

(1) 川东北川涪 82 井中侏罗统为常压, 而下侏罗统白田坝组压力系数达 1.42~1.58, 须家河组 1.62~1.64。

(2) 川涪 190 井中侏罗统为常压, 由上向下随埋深渐次增大, 进入下侏罗统自流井组第一段突然增大, 压力系数 1.34~1.40, 须家河组达 1.49~1.50。

(3) 下扬子地区压力系数的具体数据不清, 但根据: a. 钱基* 描述: 以泰州组和阜宁组为主的下部成藏组合, 同时具备物性封闭和压力封闭; 戴南

组和三垛组的上部组合, 主要依靠压力封闭。b. G44, G75.8 两条横向预测剖面显示, 苏北诸凹陷及低凸起, 普遍存在异常流体压力带。c. 浦口组、阜宁组为下扬子, 尤其是苏北区的区域盖层, 两组盖层均产生不同程度的欠压实, 构成异常流体压力封闭。

所以, 上部系统也具有立体性质, 只有这种立体结构方能构成对天然气的有效封闭, 特别是下部超压系统遭到一定破坏时, 它所发挥的屏障作用将更为重要。

泄压的原因有二: 一是大型断裂的破坏, 特别是区域性深大断裂, 往往是重要的泄压带; 二是区域性的构造抬升与剥蚀。这两种情况在南方是普遍的, 势必造成深部异常压力流体系统不同程度的破坏。异常压力流体系统结构的破坏, 意味着油气

* 钱基: 江苏油田油气勘探潜力分析, 大理油气勘探潜力论证会报告集, 2001

封存系统所形成的压力封闭, 也许构成新的压力封存箱, 既可构成对中、古生界天然气晚期成藏的壓力封闭, 又可以形成中、新生界新的含油气系统, 为新生新储作出贡献。

2 功能的有效性

整体封存系统的立体性是构建, 能否充分发挥其有效性, 则与下列改造诸因素息息相关。

2.1 埋深

区域封闭系统须有一定的埋深方能发挥有效作用, 已为油气勘探的实践和模拟试验所证实, 但在评价盖层的封闭性能时, 却往往忽略此一因素。

根据彭秀美^[6]、李斌^[7]的试验研究, 区域盖层埋深超过 500 m 方具封盖功能; 但鄂尔多斯盆地气藏的泥岩盖层, 只有在埋深超过 1 900 m 时方能成为有效盖层; 西伯利亚中生界泥岩盖层, 以埋深 1 500~ 2 500 m 封盖能力最佳^[8]。可见需要一定的埋深是绝对的, 而其深度却是相对的。

何以需要一定的埋深, 原因有二:

(1) 岩石的屈服极限和强度极限与岩石的围压有关, 处于低围压的岩石抗压强度小, 随着围压的增高岩石的抗压强度也随之增大。这就是说在同样的应力作用下, 出露地表或处于浅埋条件下的区域盖层, 因其围压低、抗压强度小, 易于破裂降低封存性能; 反之, 具一定埋深的盖层, 却因围压的增高, 其抗压强度也随之增大, 从而增强其封闭功能。

(2) 成岩作用引起的封闭性能不同。据付广^[3]研究, 小于 1 500 m 的浅层泥岩成岩程度差, 以毛细管压力封闭为主, 只能封闭以渗漏形式逸散的游离气; 埋深达到 1 500~ 3 200 m 的泥岩, 除毛细管封闭外, 还有最有效的压力封闭, 则可分别对游离相、水溶相、扩散相的天然气形成封闭。

传统认为泥岩盖层埋深过大, 则会因为在高温、高压条件下, 岩石变脆而降低其封闭性能。付广把这个界线定在 3 200 m 以下; 前苏联学者认为 4 000~ 4 500 m 的泥质岩, 在高温、高压下压缩脱水, 其塑性降低岩石变脆, 从而降低泥岩的遮挡性能。他们所提出的深度上限虽然不同, 但其共同点是随着埋深的增大, 达到一定界限后, 泥岩盖层的封闭性能变差。这就是我们一直遵循的一个传统认识。

威远气田的事实, 说明上述认识并不完全正确。威远灯影组气藏的志留系盖层残缺不全, 东翼厚度小于 200 m, 西翼全部被剥蚀, 晚期抬升后轴

部下三叠统嘉陵江组四段已经出露, 而具有高度渗透和扩散能力的甲烷, 仍能以高达 $408.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的探明储量得以保存, 最有力的解释只能是下寒武统起关键作用。但令人费解的是下寒武统泥岩曾深埋 7 000~ 8 000 m, R_o 已达 4.9%, 何以仍然具有如此巨大的封闭能力?

据威远下寒武统岩石力学测定, 饱和抗压强度 42.365~ 46.528 MPa, 抗剪强度比例极限 5.198~ 7.649 MPa, 弹性模量 26 870.221~ 50 602.314 MPa, 泊桑系数 0.27~ 0.37, 为可塑性强, 不易破裂的岩层*, 正与国内外的一些试验相吻合。彭秀美^[6]的试验表明, 随着围压的增加, 泥质岩塑性阶段增长。国内岩石力学专家的试验也证明, 完整结构岩体在无围压的条件下, 其破裂方式为张破裂; 在中等围压下为剪破裂; 在高压条件下则出现糜棱化的塑性变形^[9]。日本茂木清夫用大理岩所作的三轴压缩试验, 亦表明随着围压的增加, 破坏强度与屈服应力都随之增长, 岩石由脆性破坏转变为塑性式的破坏^[6]。

所以, 深埋地腹的泥质岩, 在温度、压力增高的情况下, 不是塑性降低、岩石变脆, 降低封闭能力, 而是向塑性转化增强泥质岩的封闭能力。这就解释了下寒武统何以在威远能够封闭大气, 也为我们的认识增添了新的启示。

正因为下寒武统成功地成为威远灯影组气藏的关键性盖层, 所以有人就据此认为湘鄂西出露地表或浅埋的下志留统与下寒武统, 亦可成为区域性的封存系统。但这一类比忽视了一个关键性的区别, 即威远的下寒武统长期持续深埋向塑性化演变, 而湘鄂西的下寒武统与下志留统, 却是深埋之后又长期抬升、剥蚀, 由塑性向脆性发展, 特别是突然的压力释放, 势必导致“爆发式”的破裂, 向劈理化发展。这一动态的差异, 正是二者封闭功能大相径庭的根本原因。当然, 威远加里东期也曾暴露, 但那时只能形成岩层的剥蚀, 而不会产生压力释放, 因为异常压力封存箱当时尚未形成。

2.2 区域水动力

大气渗入水的侵袭, 一是可以使原生沉积水淋滤、冲刷, 从而彻底改造流体系统; 二是地表水的渗入, 可把氧和微生物带入气藏, 造成烃类气的消耗与破坏。

南方勘探、研究的实践表明, 凡有中、新生代再建封存系统的地区, 自由交替带的波及深度不是很

* 姚雪根, 川东、川西、鄂西渝东、楚雄类比报告, 2001

大。秧坝地区是以中生代中三叠统为封存系统的勘探区,楼章华^{**}将此区的封闭系统划分为四级, A 级区大气水下渗深度小于 200 m; B 区有隐伏断裂的影响, 盖层完整性稍差, 渗入深度 200~300 m; C 区深部隐伏断裂活跃, 大气水下渗 300~400 m; D 区为碳酸盐岩裸露区, 开启程度高, 下渗深度大, 据邻区资料可达 2 000 m 以上。秧 1 井的钻探也证实, 中三叠统之下有封闭流体系统, 中途测试 Cl^- 15 275 mg/L, Br^- 126 mg/L, 总矿化度 29.90 g/L, 属 CaCl_2 型水; 终孔测试 Cl^- 12 688 mg/L, 总矿化度 17.969 g/L, 水型为 NaHCO_3 。水型的差异无关宏旨, 因为在地下还原环境及有机质参与下, 可因脱硫作用产生 NaHCO_3 型水, 大庆、大港、胜利、南阳等油田地下水, 大都属于此类。川西河湾场气田长兴组气层水的总矿化度 17.340 g/L, 亦为 NaHCO_3 型, 与秧 1 井十分相似, 也进一步证明流体封闭系统的存在。

这一成果有力地证明, 中、新生界的重建封闭系统能够成为一道屏障, 有效地限制大气水的下渗。不过, 云参 1 井的漏失、泄压、地层水淡化, 却提醒我们对横向水动力条件的影响不能掉以轻心。

云参 1 井漏失泥浆 17 971.18 m³, 3 410~3 424 m 井段 Cl^- 仅 4 980 mg/L, 属 NaHCO_3 水型, 说明横向水动力破坏的严重。泄压、井漏、地层水淡化的原因, 姚雪根等^{*}认为与距云参 1 井 3 km 的南北向易门断裂有关。这条断裂长期活动, 为中生代和古生代的继承性深断裂, 断面倾角达 85°, 形成的破碎带宽达 30 m。特别是第三纪后发展为走滑断裂, 控制晚第三纪与第四纪盆地的分布和新构造运动的活动, 有可能成为横向水动力破坏的主导根源。

其实这种方式的水动力破坏不是云龙凹陷所特有, 高封闭区的四川盆地亦难幸免。紧靠龙门山的地区就因受喜马拉雅运动的强烈挤压、隆升, 地表水沿露头与开启性断裂系统向盆内渗入, 出现了地层水矿化度极低, 一般小于 10 g/L 的地表水淡化特征, 而远离龙门山推覆带的地区, 特别是白垩系覆盖区则成为水文交替停滞带, 矿化度一般高于 60 g/L, 皆为 CaCl_2 型水, 成为沉积封存水的高矿化区。亦从另一个侧面说明横向水动力的改造与破坏不容忽视, 这可能是南方影响有效封闭的主要形式。

2.3 晚期抬升

2.3.1 幅度

晚期的构造稳定有利于重建整体封存体系, 如塔里木盆地、南黄海与泰国的呵叻盆地; 晚期的抬升利于水溶气的脱溶成藏, 如四川盆地气藏的形成。

南方大部分地区晚期的抬升往往与强烈的挤压和走滑有关, 由此又引起区域基底深大断裂的再活动和新生大断裂的形成, 就会导致封存系统的破坏, 压力的散失和天然气的逸散。楼章华等^{**}对南盘江地区的研究亦表明, 伽马异常区与断裂带关系密切, 断裂破碎带成了流体最活跃的地区, 并产生放射性元素沉淀。如果断裂带切穿地表, 就成为地下热液释放的出气孔。伽马异常图反映, 南盘江断裂带为流体活动最强烈的异常带, 反映断裂带的较强开启性。

根据姚雪根等^{*}的研究, 楚雄盆地在晚第三纪至第四纪发生了五幕新构造运动, 为抬升与走滑的结合, 特别是发生于更新世和全新世第五幕的大幅度抬升与剥蚀, 形成地震带和温泉带(图 3), 对整个封闭体系的结构可以说是一次剧烈的摧毁。由此也反证后期构造活动稳定的重要性。

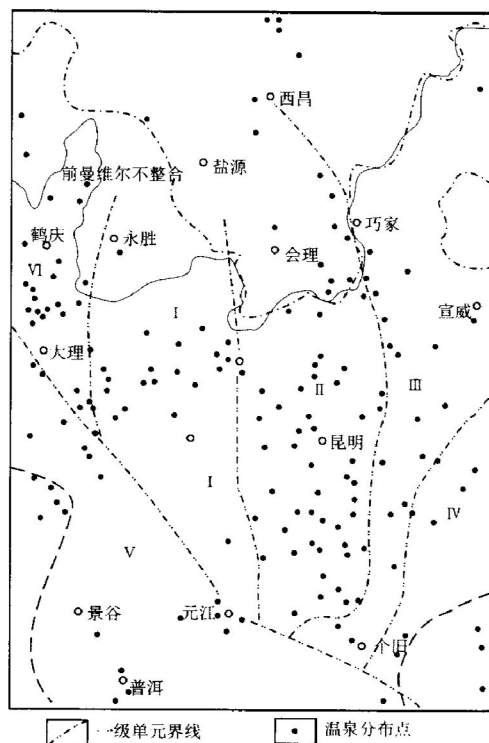


图 3 楚雄盆地及邻区温泉分布与构造分区关系图^{*}

Fig. 3 Correlation diagram of hot spring distribution in Chuxiong basin, its neighboring areas and tectonic division
I—楚雄盆地; II—西昌云龙走滑裂陷带; III—滇东台褶带;
IV—粤海造山带南盘江拗陷; V—三江造山带;
VI—丽江台缘褶皱带

* 姚雪根. 川东、川西、鄂西渝东、楚雄类比报告, 2001

** 楼章华. 南盘江秧坝区块流体、保存研究, 2001

构造抬升对天然气的成藏利弊共存, 张义纲^[1]认为抬升幅度一般不宜超过 500 m, 在有膏盐岩作盖层时不宜超过 1 000 m, 就一般而言, 不论这一概率数字的普适性如何, 总体以抬升幅度愈小愈好; 但抬升幅度的衡量不能脱离埋深这一前提。特别是以水溶脱气成藏的地区, 抬升幅度过小仍处于深埋状态, 则水溶气难以出溶成藏, 威远、资阳、高科 1 井、安平 1 井、女基井、盘 1 井的气藏分布特征 (图 4)^[10], 就可充分说明这一问题。抬升幅度较小仍深埋于 4 000~4 500 m 的各井, 最高产气量均小于抬升幅度大, 浅埋的威远与资阳气田; 埋深超过 4 500 m 的盘 1 井则成水层, 没有形成气层。因为甲烷的溶解度与压力、温度有关, 尤其在压力增大的前提下, 溶解度的变化更为显著, 黑海北岸刻赤半岛井深 3 000 m, 井温 120 °C 时气水比为 5, 井深 3 000~4 000 m 时气水比为 7, 井深 4 000~5 000 m 时增至 19; 美国墨西哥湾海岸平原井深 4 500 m 时可达 27, 井深 6 000 m 时高达 92.8^[11], 说明埋深过大不是出溶, 而是溶解。

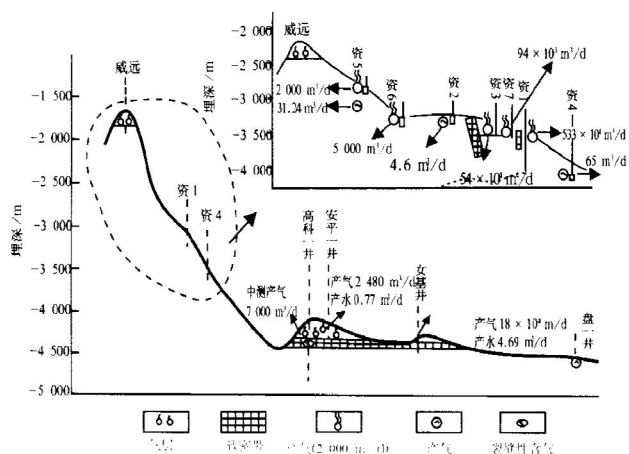


图 4 乐山-龙女寺古隆起下古生界气藏特征^[10]

Fig. 4 Characteristic of Lower Paleozoic gas reservoir in Leshan-Longnüzi palaeo-uplift

气藏的含气量与出溶程度有关, 而出溶多寡又与抬升幅度有关。这一抬升幅度显然与埋深有关, 是相对的而非绝对的。埋深大的背景环境, 晚期抬升不宜过小; 埋深小的背景环境, 抬升不宜过大, 关键是以不破坏异常压力封闭结构, 而又利于出溶成藏为原则。

2.3.2 抬升时限

油气转化率的因素之一是时间, 天然气的散失同样有个时间因素, 但这却是一个被忽略的问题。板桶理论 (木桶效应) 的涵义之一是局部的破损, 可以引起整体的崩溃。这一演变实质是一个量变到

质变的过程, 决定因素就是时间。整体封存系统的微小瑕疵, 在短时期内可以不关紧要, 但在漫长的时期就可损及全局。

秧坝区块是南方各区块中后期抬升时间最长的区块。一种意见认为中三叠统之上, 应有上三叠统、侏罗系, 甚至白垩系沉积; 另一意见认为中三叠世晚期就已抬升, 其上再没有沉积。

按第一种意见剥蚀时限大致为 163 Ma 土, 第二种意见剥蚀时限为 235 Ma。假设 1 年微扩散 10 m³, 应是微不足道, 若按 163 Ma 计算, 散失量为 16.3 × 10⁸ m³, 若按 235 Ma 计算, 其散失量则达 23.5 × 10⁸ m³, 表明时间因素不容忽视。

秧 1 井 2 573~2 594 m 井段栖霞组天然气分析结果: 甲烷 1.431 ‰, 二氧化碳 97.112 ‰, 氮气 1.117 ‰; 同位素测定 δ¹³C₁ 为 -2.87 ‰, δ¹³C_{CO₂} 为 -0.34 ‰。

据此判断 CO₂ 气体为深源的非烃气, 混入了微量的裂解甲烷气, 依据是:

(1) δ¹³C_{CO₂} 为 -0.34 ‰, CO₂ 含量高达 97.112 ‰, 正是非烃二氧化碳气的典型特征, 与澳大利亚昆士兰州和美国墨西哥州的二氧化碳气的特征类似。据 Peter^[12] 的论述, 上述两地 CO₂ 含量高达 98 ‰, δ¹³C_{CO₂} 为 -0.4 ‰, ³He/⁴He 比值接近 3R_A, 可能为岩浆起源。并且认为具特殊意义的是二氧化碳含量 40 ‰~100 ‰, 具有 -0.4 ‰±0.2 ‰的 δ¹³C 值的天然气, 可以用有机和无机碳源的混合作用来解释, 但在构造活动的盆地可能表示幔源二氧化碳的存在 (δ¹³C_{CO₂} 接近 -0.4 ‰)。因此, 秧 1 井二氧化碳气的成因尚难作出壳源或幔源的结论。

(2) 非生物成因甲烷的 δ¹³C 的最佳限定值是 -2.0 ‰, 而秧 1 井甲烷 δ¹³C 值为 -2.87 ‰, 显然比非生物成因的要轻, 正是裂解甲烷碳同位素的范围值: δ¹³C -3.7 ‰~-2.0 ‰的区间, 应为腐殖型裂解气。

据楼章华* 的研究, 南盘江地区断裂带流体主要活跃时期的年龄集中于 64~172 Ma, 正与黔西南幔源超基性岩脉年龄 (77~97 Ma); 桂西北的幔源辉绿岩脉年龄 (约为 140~176 Ma), 幔源岩脉贯入时代 (约 77~176 Ma) 大体一致, 即在侏罗-白垩纪期间。可能也就是无机成因的 CO₂ 气的形成时期。

秧 1 井钻探结果证实, 中三叠统构成的浅部封闭系统较好, 其下有处于交替阻滞带的流体系统,

* 姚雪根, 川东、川西、鄂西渝东、楚雄类比报告, 2001

与川西河湾气田极为类似, 地层水总矿化度处于 17.340~21.740 g/L 区间, 均属 NaHCO_3 型水。问题是川西河湾场形成工业性气藏, 而秧 1 井只有未达工业性指标的二氧化碳气? 在秧坝地区盆包台沉积-构造格局, 盆地相原始烃源优越的前提下, 最大的可能是曾经有过甲烷聚集, 只是聚集量有限, 在长期的抬升、剥蚀期间逐渐散失。一则因为古生代烃源岩的生烃过程在中三叠世或晚三叠世末就已中断, 不具二次生烃的环境; 二则它的散失时限比 CO_2 多达一倍(多 118 Ma 左右), 在无晚期补充的情况下, 其散失量远大于 CO_2 , 从而形成 CO_2 气中混入微量裂解甲烷的现状。

上述散失的主导因素是时间, 是在整体封存系统基本具备情况下的微散失。根据是尽管秧 1 井中三叠统兰木组的封盖性能整体较好, 但缺乏高压系统对甲烷的封盖仍有气体扩散的迹象。兰木组中 4 层 CO_2 气的显示就与扩散有关, 因为无机成因的 CO_2 只能来自深部。

3 结 论

(1) 天然气易于散失的特性, 决定了整体封存体系的高标准、严要求, 评价的思维应以板桶理论(木桶效应)为指导。

(2) 整体封存的内涵, 一是结构的立体性, 二是功能的有效性, 只有二者的统一方能发挥整体封存的**大功能。

(3) 下部超压流体系统与上部高压-静压流体系统, 共同构成整体封存体系的立体性, 前者是原始的, 后者是重建的。这种异常压力封存实际是一

个物性、浓度、压力为一体的复合系统, 其优势在于它能够维持压力的动态平衡。

(4) 整体封存体系的有效性, 决定于: 1) 埋深; 2) 区域水动力; 3) 晚期抬升幅度; 4) 抬升时限。

参 考 文 献

- 1 张义纲. 天然气动态平衡成藏的四个基本条件[J]. 石油实验地质, 1991, 13(2): 143~154
- 2 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartment[J]. AAPG Bull, 1990, 74(1): 1~12
- 3 付广, 吕延防. 复合盖层在我国大、中型气田形成中的重要作用[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(1): 18~21
- 4 戴少武, 贺自爱, 王津义. 中国南方中、古生界油气勘探的思路[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 195~202
- 5 Magara K. 压力封闭——烃圈闭的重要因素[J]. 陈炜译. 油气地质译丛, 1993, (4): 1~11
- 6 彭秀美. 用岩石力学试验方法研究区域盖层的埋深和厚度标准[J]. 见: 石宝珩, 编. 扬子海相地质与油气[C]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 262~269
- 7 李斌, 陈劲人. 油气保存条件中的水文地质因素[A]. 见: 石宝珩, 编. 扬子海相地质与油气[C]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 309~319
- 8 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992
- 9 陶振宁. 岩石力学理论与实践[M]. 北京: 水利出版社, 1989
- 10 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
- 11 邓运华. 渤海湾实现稳产 100 万吨石油资源分析及勘探战略方向[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(6): 415~419
- 12 Peter D J, David R H, Isaac R K, et al. 油气田中非生物成因烃类和地幔氦[A]. 李大良译. 见: Howell D G, ed. 能源气的未来. 北京: 石油工业出版社, 1999

INTENSION OF BULK SEALING OFF SYSTEM

Dai Shaowu^{1,2} He Ziai² Wang Jinyi² Yu Qixiang²

(1. Earth Resource Faculty, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei; 2. Jingzhou Branch For New Area Exploration, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petro China, Jingzhou, Hubei)

Abstract: High standard and strict requirement for bulk sealing off system have been determined by nature of easily loss of natural gas. Evaluation of the thinking shall be guided by the theory of board bucket (wooden bucket effect) and more
(下转 126 页)

* 楼章华. 南盘江盆地秧坝区块地下流体历史与油气藏形成、保存条件, 2001

SEQUENCE STRATIGRAPHY OF JURASSIC COAL-BEARING MEASURE AND SUBTLE TRAP IN THE NORTHEAST EDGE OF JUNGGAR BASIN

Zhu Xiaomin¹ Kang An¹ Zhang Qin¹ Zhang Manlang¹ Kuang Jun² Wu Xiaozhi² Han Jun²

(1. University of Petroleum, Beijing; 2. Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oil Corporation, Karamay, Xinjiang)

Abstract: There was a topographic break in the northeast edge of Junggar basin during Jurassic Period. Middle-Lower parts of Jurassic can be divided into 4 sequences according to sequence boundaries, such as unconformity and thick coal bed. Lowstand system tract, lacustrine transgression and highstand system tracts in the interest area can be subdivided by the repeated pattern of stratigraphy, locally distribution of coal-bearing measure and the location of topographic break in sedimentary sequence. Lowstand system tract is characterized by the incised valley (braided river) sediment, lacustrine transgression system tract is represented in nature by the widespread of lacustrine sediment and highstand system tract is featured by the prograding delta. It is predicated that, on the basis of establishing a model of sequence stratigraphy of coal-bearing measure in lacustrine basin with a topographic break belt and analyzing the conditions of hydrocarbon accumulation, the incised valley in Lowstand system tract and distant lenticular sandbody in front of the delta in highstand system tract is the area where subtle trap formed.

Key words: lacustrine basin; coal-bearing formation sequence stratigraphy; subtle trap; Jurassic Junggar basin

(上接 114 页)

attention shall be paid to the decisive role of locality over bulk in particular. With distinction between sealing off of natural gas and petroleum, emphasis must be placed on stereo and effectiveness when mentioning intension of bulk sealing off system. practical oil and gas exploration in eastern and northeastern Sichuan indicates that overpressure-static pressure fluid system in the lower part (Mesozoic-Palaeozoic) and high pressure-static pressure fluid system in the upper part (Mesozoic-Cenozoic) jointly constitute the stereo of bulk sealing off system, in fact a combined-sealing off system is composed of physical property, concentration and pressure. Effectiveness is decided by (1). buried depth; (2). regional hydro-dynamics; (3). late uplift; (4). time limit of uplift. Stereo is constitution and effectiveness is reconstruction, only by putting these two into one, can maximum function of bulk sealing off system be fully brought into play.

Key words: sealing off system; intension; stereo; effectiveness; thinking direction; comprehensive effect