

文章编号: 0253- 9985(2004) 01- 0014- 07

沉积盆地超压体系划分及其与油气运聚关系

孙冬胜^{1,2}, 金之钧^{1,2}, 吕修祥², 杨明慧², 周新源^{2,3}

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 石油大学油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102200;

3. 塔里木石油勘探开发指挥部, 新疆库尔勒 841000)

摘要: 以生成油气的烃源岩为线索, 依据超压成因的主控因素, 将沉积盆地中超压体系划分为两类: 即深部超压体系及浅部超压体系。前者具有成熟至过成熟的烃源岩, 超压分布广, 尤其是在中新生代盆地; 而后者缺乏成熟的烃源岩, 且分布局限, 一般仅见于前陆盆地, 也就是在前陆盆地存在双超压体系。深部超压体系的形成与生烃作用密切相关, 其他因素只是促使压力的进一步增大, 而上部超压体系的形成则是后期构造侧向挤压的结果。正确区分两类超压体系, 对于探讨油气生成、运移及聚集成藏有着至关重要的作用。从油气勘探的角度分析, 深部超压体系显得尤为重要, 它是油气生成的化学反应炉, 油气运移的原动力, 并决定油气的运移相态、方式及成藏特征等。深部超压体系一般难以成藏, 但构造抬升或断裂作用使原有的温压平衡系统遭受破坏时也可以成藏。

关键词: 深部超压体系; 浅部超压体系; 封盖层; 烃源岩; 构造挤压; 油气运聚成藏

中图分类号: TE112. 12

文献标识码: A

Classification of overpressure systems in sedimentary basins and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation

Sun Dongsheng^{1,2} Jin Zhijun^{1,2} Lü Xiuxiang² Yang Minghui² Zhou Xinyuan^{2,3}

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing; 2. Key Laboratory for Petroleum Accumulation Mechanism of Ministry of Education, University of Petroleum, Beijing; 3. Tarim Headquarter of Petroleum Exploration & Development, Korla, Xinjiang)

Abstract: Based on locations of source rock and key factors controlling genesis of overpressure systems, overpressure systems in sedimentary basins can be classified into deep overpressure system and shallow overpressure system. The former have mature to overmature source rocks, and overpressure is widely distributed, especially in Meso-Cenozoic basins; while the later lack of mature source rock, and the distribution of overpressure zone is generally limited in foreland basins. i. e. dual overpressure system occurs in foreland basins. Based on the analyses of generation and sealing of hydrocarbons in deep overpressure system, it is believed that hydrocarbon generation would be the primary factor controlling overpressure systems, while others are only secondary factors that further increase formation pressure. The upper overpressure system has been formed as the result of late tectonic compression on the basis of early normal pressure reservoirs. Correct discrimination of the two types of overpressure systems is essential to the study of hydrocarbon generation, migration and accumulation. Deep overpressure system is especially important to petroleum exploration, as it is the “chemical reaction furnace” of hydrocarbon generation, provides the original power for hydrocarbon migration, and determines the phase state and mode of migration and characteristics of accumulation. Generally, hydrocarbons would be difficult to accumulate in deep overpressure system. However, hydrocarbon accumulations can be formed in overpressure system when the original balance of temperature and pressure is broken due to structural uplifting or faulting.

Key words: deep overpressure system; upper overpressure system; seal; source rock; tectonic compression; hydrocarbon migration and accumulation

基金项目: “十五”国家重点科技攻关项目“库车前陆盆地大中型气田主控因素与分布规律”, 编号 2001BA605- 02- 03- 03- 04

第一作者简介: 孙冬胜, 男, 39 岁, 博士后, 石油地质

收稿日期: 2003- 12- 10

超压不仅在伸展性盆地存在, 在前陆盆地中亦广泛发育。超压不仅存在于油气封盖层中, 而且储集层中也存在。已有大量文献对沉积盆地中异常超压的成因作了深入的探讨^[1~14], 主要包括不均衡压实、构造挤压、水热增压效应、粘土矿物脱水、烃类生成、渗透及逆渗透作用、浮力及流体势等。Osborne 等^[13]将诸多因素归纳为3种基本类型, 即应力作用、体积变化及流体势或浮力作用。目前众多文献在探讨异常超压与油气分布的关系时, 多依据压力系数的大小, 并认为超压体系的过渡带是油气富集带^[3,8]。但库车坳陷发现的一系列大型超压气田并不符合上述规律, 气田主要产层的压力系数都最大。究其原因, 笔者认为不同成因的超压体系具有不同的油气成藏特征。目前对盆地内超压研究还存在几个亟待澄清的问题, 首先是超压研究的对象, 其次是超压形成的主控因素。只有清楚了研究对象及其超压成因的主控因素, 才能从本质上揭示油气运聚成藏及分布规律, 指导油气勘探。

1 超压体系的划分

体系就是指有成因联系事物的总称。超压体系就是由封隔层(顶、底板)及其之间具有超压流体的储集层组成。在这里强调超压体系的区域性, 其实, 超压体系内部仍是由一系列相对独立的次级超压体系或封存箱组成, 但其超压的成因是相同的。

根据超压体系与生成油气的源岩之间的关系, 将其划分为深部及上部超压体系两大类。所谓深部超压体系是指以烃源岩为中心及邻近同一沉积体系中涵盖储层在内的超压体, 超压的形成与油气尤其是天然气的大量生成密切相关, 往往具有良好的碳酸盐或硅质胶结的致密封盖层^[12]。由于多处于盆地深部, 姑且称为深部超压体系; 而上部超压体系是指成熟烃源岩以外的超压体系, 一般分布在深部超压体系的上方, 称之为上部超压体系。在该体系中一般缺乏烃源岩或其成熟度很低, 不具备油气生成的条件, 其顶板通常为欠压实的泥岩或膏盐层, 底板往往利用深部超压体系的顶板。

Hunt^[12]认为, 沉积盆地含有两个或两个以上叠合的水文地质系统, 其中浅层为宽阔、开放的水文地质系统, 保持正常的流体静压。而石油生成

的深层系统没有盆地那样宽阔, 并出现异常超压。上、下两个系统之间往往有一个平整的面, 该面附近的温度多在 90~100℃, 也就是深层系统处在油气大量生成门限之下, 这其实与深部超压体系对应。深部超压体系之上的浅层开放水文系统是上部超压体系发育的位置, 至于是否形成超压体系则要视盆地的性质及封盖条件。一般在伸展性盆地不发育, 而在前陆盆地上部超压体系比较常见。可见, 双超压体系主要存在于前陆盆地。

1.1 库车坳陷

库车坳陷的烃源岩为中、上三叠统及中、下侏罗统的煤系地层, 目前都处于成熟、高成熟甚至过成熟阶段。上侏罗统及下白垩统下部巨厚的泥岩组成的封隔层既是上部超压体系的底板, 又是深部超压体系的顶板(图1)。上部超压体系的顶板在坳陷西部的拜城凹陷为下第三系下部库木格列

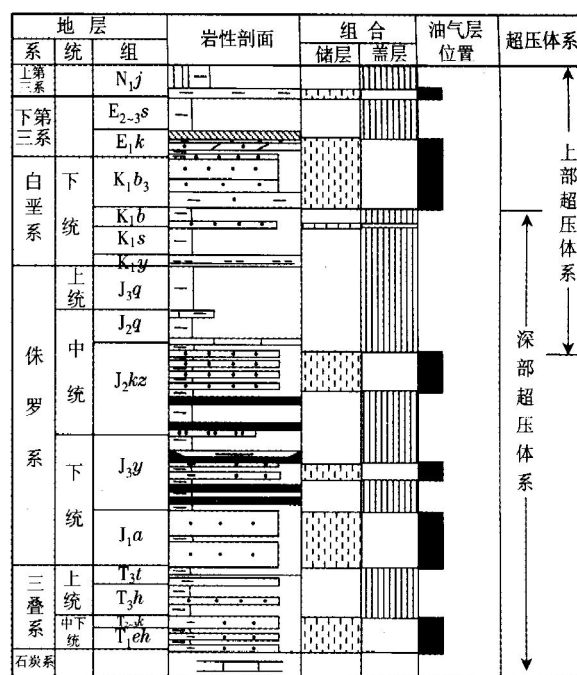


图1 库车坳陷地层、储盖组合及超压体系划分图

Fig. 1 Diagram showing strata, reservoir-seal combinations and overpressure systems in Kuqa depression in Tarim basin

姆组(E₁k)具有异常高压的膏泥盐岩, 而在东部的阳霞凹陷为具有异常高压的上第三系吉迪克组(N₁j)膏泥盐岩(图2)。目前在库车坳陷发现的大中型气田主要分布在上部超压体系中, 如克拉2、迪那2及吐北气田等。西部拜城凹陷内的产层为下白垩统上部巴什基奇克组(K₁b)砂岩、下第三系

下部砂岩及白云岩, 克拉2井揭示白云岩段(3 530.5~3 539.5 m)的剩余压力达35~45 MPa, 压力系数达1.94~1.96, 最大为2.2。东部阳霞凹陷的产层为下第三系砂岩及上第三系吉迪克组底砂岩, 迪那2井揭开吉迪克组底砂岩顶盖仅0.5 m就发生强烈井喷失火, 4 875.59 m处实测地层压力达112.14 MPa, 剩余压力为61 MPa, 压力系数为2.2。

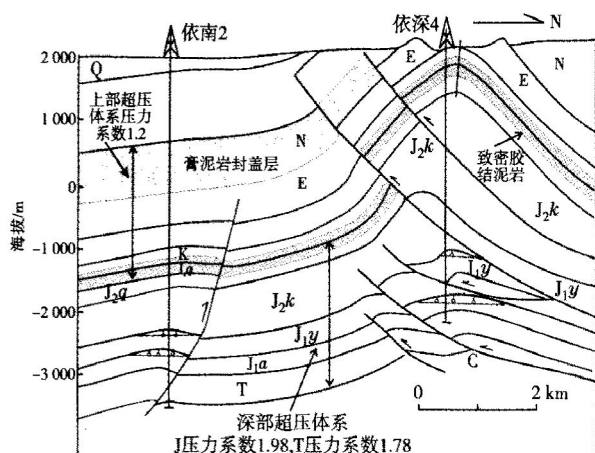


图2 库车坳陷依深4-依南2井构造及气藏剖面图
Fig. 2 Cross section showing structure and gas reservoirs in Yishen 4 well-Yinan 2 well area in Kuqa depression

库车坳陷深部超压体系由三叠系、侏罗系及白垩系组成(图1, 2), 分布于源岩发育的前渊区。产层主要是下侏罗统阿合组(J_1a)砂岩, 其次是中侏罗统克孜勒努尔组(J_2kz)及下侏罗统阳霞组

(J_1y)。由于埋深大, 钻井揭露有限, 整体的压力特征研究比较薄弱。但在东部依奇克里克背斜、依南构造及吐孜洛克构造的钻井资料均证实深部超压体系的存在。依南2井下侏罗统的实测地层压力达85 MPa, 压力系数为1.98, 三叠系实测地层压力达94 MPa, 压力系数为1.78。位于前缘隆起北斜坡的阳1井, 缺失三叠系, 侏罗系仅具有较低的异常超压, 至前缘隆起中生界已为常压系统, 反映深部超压的形成与成熟源岩之间的密切关系。

1.2 川西坳陷

川西坳陷上三叠统须家河组整体为一套自生自储的含油气组合, 超压现象普遍, 属于深部超压体系。顶部区域性封盖层为致密的须家河组五段泥岩层, 底部封隔层为须家河组一段泥岩层(图3)。深部超压体系被中部的须家河组三段泥岩分割为两个相对独立的流体系统^[15]。上三叠统须家河组超压体系埋深在3 000~5 100 m, 压力系数在1.3~2.0。川南地区二叠系也属于深部超压体系, 压力系数在1.0~2.2, 一般分为: 西区(付家庙-九奎山以西)常压区; 中部(上述一线以东和李子坝-五通场以西)压力系数由1.2增至1.8; 东区(庙高寺, 合江以东)为强超压区, 压力系数为1.8~2.2^[7]。

深部超压体系之上的侏罗系红层缺乏生油条件, 但在川西中段红层中的气藏有超压存在, 压力系数高达1.8~2.0, 应属于上部超压体系, 其顶部封盖层为白垩系泥岩。

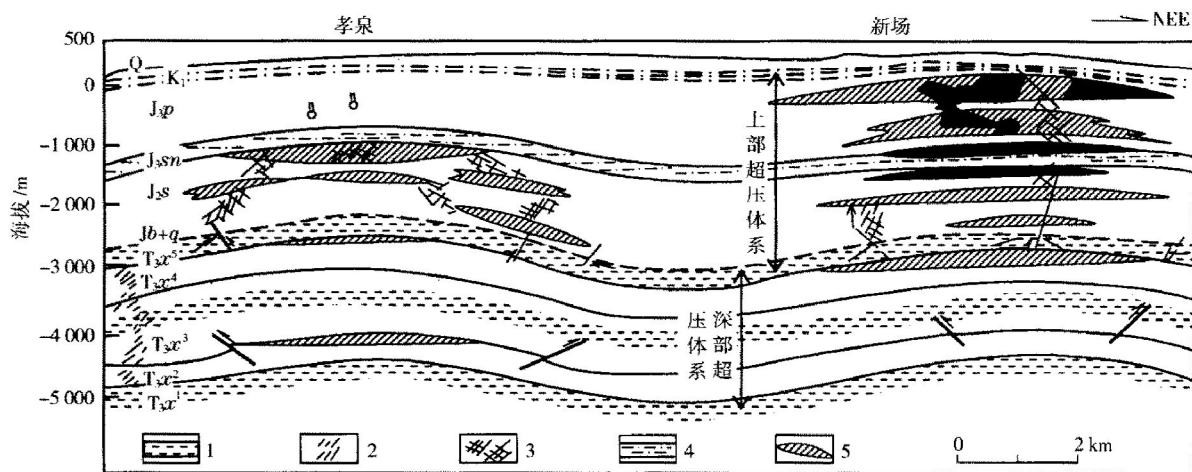


图3 川西坳陷超压体系剖面图(据文献[15]修编)

Fig. 3 Overpressure system profile in western Sichuan depression
1—超压体系顶底板; 2—侧向封隔带; 3—裂缝; 4—泥岩; 5—气藏

2 形成机理

2.1 深部超压体系

深部超压体系往往有一个穿地层或构造层的平顶封盖层,其埋深与地温梯度成反比。据 Hunt^[12]统计,平均深度为 3 048 m。但在我国东部及海域地区,由于地温梯度高,深部超压体系的封盖层普遍变浅,如莺歌海盆地最浅的仅 1 200 m^[5]。而我国西部地区由于地温梯度低,埋深普遍较大,如准噶尔盆地中部马桥凸起封盖层在 4 485 m^[16~18]。深部超压体系顶部封盖层的岩石类型多样,当为碳酸盐岩时,多被硅质所矿化,而为页岩及粉砂岩时则多被方解石所矿化。

封盖层的形成过程与深部超压体系的发育具有内在联系,它对油气聚集及超压的产生起着重要的作用。对于平顶封盖及大致都在 3 048 m 的深度不难从以下几方面理解:首先,从油气的生成来看,超压体系与盆地内富含有机质的烃源岩有密切关系,按照地温梯度每百米 2.4 °C 计算,地表平均温度取 18 °C,在 3 050 m 处对应的地温约

91 °C,虽然石油开始生成时的温度为 60 °C,但油气大量生成阶段的温度高于 90 °C。所以,此埋深点对油气的形成来讲无疑是一个量的飞跃点。其次,从粘土矿物的脱水来看,蒙脱石消失点的温度为 94 °C,也就是粘土矿物脱水已经结束,该点以下主要为伊利石。如粉河盆地在该点以下,伊利石占 80%,这反映粘土矿物的脱水对下伏地层增压不起作用,同时也说明了该点以下对油气的初次运移不利,阻碍流体流动。所以,该点为粘土矿物化学反应的质变点及储层渗透性能的急变点。再次,井温曲线上一般在该点出现一温跃点,该点以下温度急剧增加,这有利于油气的大量生成。如准噶尔盆地中部的盆参 2 井封盖层顶部地温为 108 °C,地温梯度为每百米 2.3 °C,而超压层内温度达 120 °C 以上,地温梯度每百米达 4.0~4.5 °C。可见,封盖层不仅具有压力封闭作用,而且还有温度屏蔽效应。最后,从成岩作用分析,由于该点是油气大量生成的界限点,伴随有大量有机酸的产生,这些酸性溶液与上部地层水发生化学反应,大量次生矿物的形成必然成为一个致密的封盖层(图 4)。

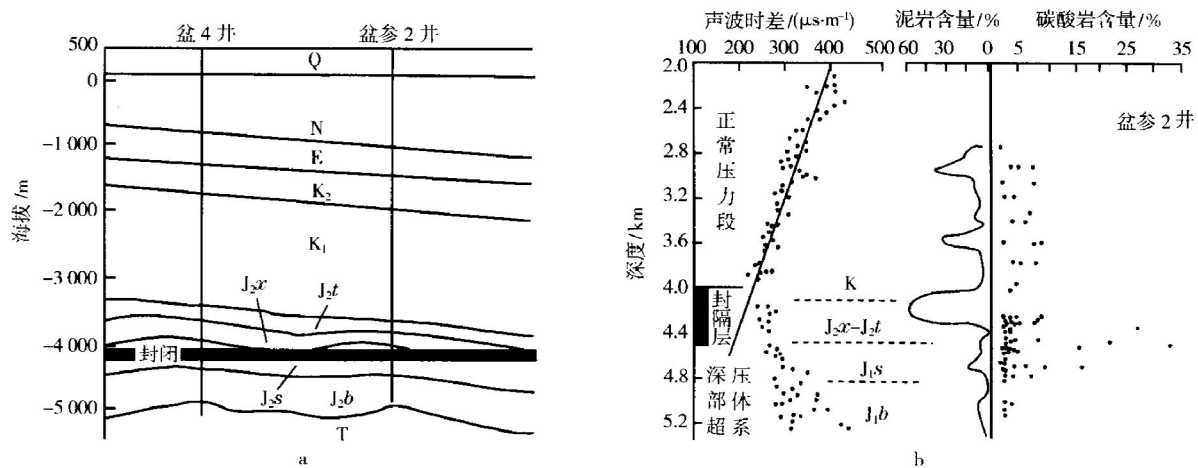


图 4 准噶尔盆地马桥凸起深部超压体系剖面图(a)及盆参 2 井声波时差、泥岩、碳酸盐含量与深度关系图(b)

Fig. 4 Deep overpressure system profile(a) and interval transit time percentages of mudstone and carbonates versus depth(b) in Pencar 2 well in Maqiao swell, Junggar basin

(据文献[16, 17], 略有改动)

由以上可见,致密封盖层的存在与温度或深度密切相关,基本在一个等温面,这就很容易理解封盖层为何穿层并始终在一个平面,如准噶尔盆地马桥凸起^[16~18](图 4),仅在地温变化处存在波动,而与构造关系不大。Martinsen 等^[11]也指出异常压力的产生应是深度的函数,而并不一定受构

造层或地层约束。但应注意,原始水平的封盖层在后期构造中可以被切断或弯曲,有的甚至暴露地表,如库车坳陷山前单斜带,侏罗系及三叠系已经暴露地表,深部超压体系已经遭受破坏,克-依构造带的深部超压体系被明显抬升,且局部发生压力泄漏。

正是由于顶部封盖的产生及存在,其下部油气快速大量生成并聚集,以及深部的欠压实作用、流体热膨胀等都是可以造成盆地深部超压的。在富含烃源岩的盆地中,深部超压体系的存在具有普遍性。究其原因,如前所述可能多种多样,但有一点不可否认,就是油气的大量形成,尤其是天然气,这是产生深部超压的根本原因,其他因素是次要的,只是促使超压进一步增强。更简单地说,盆地深部富含有机质的层段是一个密封的化学反应炉^[19],超压体系的产生是其演化的必然结果。并且,超压的鼎盛时期与油气大量形成阶段对应。莺歌海盆地中新世莺-黄组下部及梅山组中正在形成的超压体系就是活生生的实例。

由于沉积盆地的多旋回性,往往发育多套烃源岩,在烃源岩的热演化过程可能形成多个致密胶结的封盖层,也就是盆地深部可能发育多个超压体系,如川西坳陷。但是,早期的超压体系往往被后期构造所破坏,保存较好的多在中、新生界。

前陆盆地的构造侧向挤压作用,也可以使深部超压体系增压,这在川西紧邻造山带一侧的须家河组超压体系中表现得十分清楚,近造山带一侧压力系数明显大,而向前隆方向,压力系数逐渐降低^[20]。

2.2 上部超压体系

上部超压体系自身并不具备油气生成的条件,但聚集了深部超压体系生成的油气。这些油气藏在早期成藏时具有常压特点,如莺歌海盆地深部超压体系之上的莺-黄组上部及第四系中正在形成的气藏均属于常压气藏^[21]。在前陆盆地,后期的构造挤压可以使其具有异常超压,形成上部超压体系。这里要特别强调,盆地上部的泥岩欠压实形成的异常高压也非常普遍,并具优越的封盖条件,若其下部紧邻的储层流体或油气为常压,则不属于上部超压体系。

经过“九·五”、“十·五”攻关,证实库车坳陷克拉2大气田的超压是构造侧向挤压的结果,已有大量文献对其成因作了深入探讨,并达成共识^[7,22]。

上部超压体系多见于前陆盆地,这是由于前陆盆地的形成与构造挤压休戚相关^[23],所以在上部局部封盖及侧向封隔较好部位形成超压体系。其特点是在盆地内零星或呈条带状分布,且多在造山带一侧,层位浅且层位不一,超压层位往往为

储集油气的储层及上部封盖的泥岩或膏盐,超压体系的顶面高低起伏,严格受地层控制,且具有常温的特点。准噶尔盆地上部超压体系主要集中在盆地南部近造山带一侧的第三系,而深部超压体系则在盆地内大面积分布(图5)。在盆地腹部的马桥凸起,4 485 m 以下为深部超压系统,超压成因主要是生气作用^[7,17],而上部为正常压力系统(图4~5)。

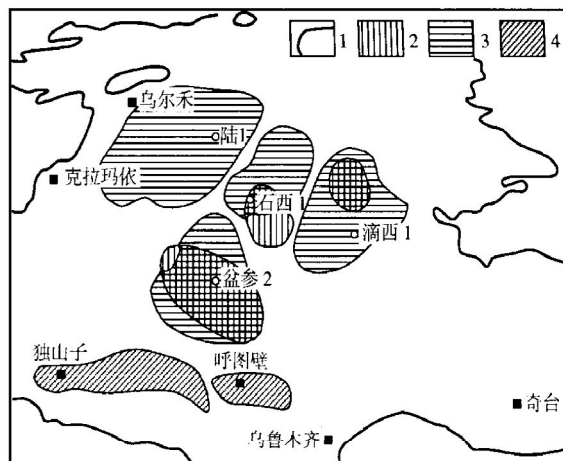


图5 准噶尔盆地异常压力分布图(据文献[17],略有改动)

Fig. 5 Abnormal pressure distribution in Junggar basin

1—盆地边界; 2—J 超压范围; 3—J 以下超压范围;
4—E 超压范围

若盆地具有区域性的封盖条件,构造挤压形成的上部超压体系可以具有一定的规模,甚至具有区域性。如库车坳陷第三系发育巨厚的区域性膏泥岩层,在膏泥岩层下的白垩系及第三系形成了典型的上部超压体系,褶皱冲断带往往为异常高压带,自前渊向前隆方向异常压力逐渐减弱,至前隆又变为正常压力带。

3 深部超压体系的分化

深部超压体系内是由一系列独立的流体区间组成,这些独立的流体区间就是一系列独立的压力封存箱。封存箱的侧板封隔带的形成多与断裂有关,但也有由于岩性变化或储层的非均质性形成的侧板。断层作为侧板时必须具有封闭性,对断层封闭的成因可能有化学胶结作用及物理封堵两种机理^[24]。断层的物理封堵是基于异常高压会降低岩石尤其是泥页岩的弹性极限,使其塑性增强,这样即使超压体系遭受断裂破坏,也会因存在的异常超压和较高的塑性使断层封闭。

化学胶结是基于深部热液沿断层上升, 进入封存箱断层附近冷却、沉淀, 从而形成侧板封隔带。这可能有两种情况, 一种是侧板在超压形成过程产生, 即断层带发育早, 由于带内相对低压, 箱内流体向低势区的断层带运移, 并在带内发生矿化或胶结作用, 最终导致断层的封闭, 箱内从此开始聚压; 第二种情况是侧板形成晚于超压体系, 正是由于超压才导致一系列封存箱侧板的形成。据 Snarsky^[25] 研究, 当局部压力为静水压力 1.42~2.4 倍时, 岩石发生破裂。也就是超压引起断层活动或地震泵作用, 使热液沿断层带向上运移, 同时由于物理、化学环境的变化, 流体发生化学沉积或胶结作用并形成侧板。之后, 当压力系数下降到 1.2~1.3 时^[12], 断裂重新闭合或被方解石脉充填, 封存箱内的压力重新聚集, 直至下次破裂发生, 但并不一定是早期封闭断裂的再次开启, 可能有新断裂的产生, 使深部超压体系分化。

由此可见, 这种过程其实是超压体系的分化过程, 由于新侧板的不断产生, 使封存箱规模变得越来越小, 同时其压力系数也不断降低。这就是为什么时代新的盆地, 尤其是第三纪沉积盆地, 深部超压具有普遍性和区域性, 而时代较老的盆地, 超压相对不发育且封存箱规模及压力都较小的原因。在这里需指出, 目前文献中对上部超压体系也使用封存箱这一概念, 应注意 Hunt 在提出封存箱的概念时仅仅是指深部超压体系内, 应注意区分两个超压体系封存箱本质上的差别。

4 超压体系与油气分布

区分本质不同的两种超压体系, 对探讨油气生成、运移及聚集成藏有着至关重要的作用。从油气勘探的角度分析, 深部超压体系显得尤为重要。它是油气生成的化学反应炉, 具有油气运移的原动力, 同时超压也决定了油气的运移相态、方式及成藏机理等。

4.1 深部超压体系

根据物理原理, 对深部超压体系内流体区间直线性的压力-深度梯度现象, 认为封存箱内流体是短距离循环对流^[26]。由于箱内超压及高温的特点, 普遍认为油气主要是以混相存在于超压体系中^[5], 但也不否认存在游离相的气态烃。水溶对流促使溶解的天然气向温度及压力较低的圈闭运移并析出成藏, 是箱内或超压体系内成藏的主

要机理。

据陆嘉炎^[19] 研究, 超压封存箱内油气资源十分丰富, 但受温度、压力及孔渗条件等的制约, 异常压力带内仅有较少部分油气聚集成藏, 而众多的油气则是呈溶解或游离状散布在体系之中, 就像在川西须家河组异常超压带中见到的那样, 油气显示十分普遍, 但工业油气藏不多, 且规模较小。

应注意在深部超压体系也有油气藏的形成, 如准噶尔马桥凸起的侏罗系、酒东盆地侏罗系、川西坳陷上三叠统须家河组、库车坳陷三叠系及侏罗系等都有工业油气藏的发现。纵观现今深部超压体系中发现的天然气藏, 在位置上有一个重要的现象, 即天然气藏赋存在断层附近的圈闭或后期构造隆升部位的圈闭, 反映天然气析出及成藏与封存箱破裂或构造抬升密切相关^[27]。当封存箱破裂, 原有的温压平衡系统遭到破坏, 流体以混相涌流方式发生外泄时, 箱内压力则急剧减小, 并且在近断层处压力减小最大, 故在箱内断裂带附近聚集了大量析出的天然气。然而, 析出的天然气未完全排出箱外, 压力的减小又使断层闭合, 未泄漏的天然气则在断层附近的圈闭聚集成藏。此外, 在箱内压力恢复平衡过程中, 断层附近仍是箱内一个相对的低压区, 在压力平衡之前, 析出的天然气仍不断在此聚集成藏。这种断层活动引起油气运移实际为地震泵作用, 由此导致的油气运移及成藏不仅在体系外(箱外)发生, 也在体系内(箱内)进行。据此, 可以认为深部超压体系的分化过程其实就是油气的运移及成藏的机理。

4.2 上部超压体系

深部超压体系内的油气以混相涌流方式沿裂缝或断层突破封盖层进入常压系统后, 发生脱气或油气水三相分离, 在水动力、浮力及毛细管力作用下, 油气在输导层内经侧向或垂向运移而聚集成藏。这类油气藏具有常温常压的特点^[28], 其封盖层一般为泥岩或膏泥岩, 有的封盖层也可能具有欠压实造成的异常超压特点。在此顺便指出, 也有文献将深部超压体系之上, 欠压实泥岩之下的常压油气藏称为箱缘成藏。笔者认为此种叫法欠妥, 既然中间有常压油气藏的存在, 就说明上部欠压实泥岩的剩余压力不会传递至深部超压体系, 这个位置的常压油气藏仍属于箱外成藏, 欠压

实泥岩仅仅是增强了盖层的物理封闭能力而已^[29,30]。前陆盆地深部超压体系之上的常压油气藏往往遭受后期构造的侧向挤压作用,从而使其具有异常压力^[31],形成上部超压体系中具有异常高压的油气藏。正如前面分析的那样,上部超压体系多呈条带状沿山前断裂带展布。

上部超压体系与深部超压体系在纵向上叠置,并具有常压成藏在前,而异常压力形成在后的特点,加之深部超压体系中天然气难以成藏,这就决定了上部超压体系是天然气富集成藏的有利位置,但前提条件是必须有沟通油源的断裂,或者是深部超压体系分化过程产生的断裂。同时,这也决定了上部超压体系中天然气藏的分布,主要位于油源断层附近的构造圈闭,库车前陆盆地目前发现的天然气藏莫不如此,据此,也有人提出“断控论”的观点。

5 结论

(1) 根据超压与烃源岩之间的关系,将沉积盆地内超压体系划分为深部超压体系及上部超压体系两类。二者超压的成因有本质上的区别,深部超压体系中烃类的生成是其形成超压的主要原因,而上部超压体系是后期构造侧向挤压的结果,双超压体系主要见于前陆盆地。

(2) 两类超压体系封盖层的成因也有区别,深部超压体系的封盖层在欠压实泥岩的底部或紧邻的粉细砂岩中,有一个碳酸盐或硅质胶结的致密层。而上部超压体系的封盖一般为欠压实的泥岩或膏盐层。此外,深部超压体系的封盖层不受地层或构造约束,是一平顶封盖,但后期构造作用可以使封盖层肢解或弯曲,而上部超压体系的封盖层严格受地层控制。

(3) 深部超压体系与油气生成及运聚有着密切关系,在其分化过程中,不仅在体系外(箱外),同时也在体系内(箱内)进行着油气的运聚及成藏。深部超压体系对天然气成藏要求严格,但对其保存及再次转移富集提供了良好的条件。同时,深部超压为油气运移提供了动力,也有助于逆冲推覆构造的发育及圈闭形成,更重要的是深部超压体系决定了上部超压体系天然气的幕式、高效成藏。

参 考 文 献

- 郝石生. 封存箱[J]. 中国海上油气(地质), 1993, 7(1): 61~ 69
- 郝石生, 黄志龙, 杨家琦. 天然气运聚动平衡及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 54~ 104
- 杜棚, 郑洪印, 焦秀琼. 异常压力与油气分布[J]. 地学前缘, 1995, 2(3~ 4): 137~ 148
- 李伟, 赵文智, 刘宗诚, 等. 中国西北挤压型盆地超压泥岩与油气运聚关系研究[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(5): 15~ 19
- 黄志龙, 柳广弟, 郝石生. 脉冲式混相涌流——天然气成藏的一种特殊运移方式[J]. 天然气工业, 1998, 18(2): 7~ 9
- 高泳生. 在沉积盆地的超压系统中能找到油气[J]. 世界石油工业, 1999, 6(1): 14~ 16
- 张启明, 董伟良. 中国油气盆地中的超压体系[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 1~ 11
- 马启富, 陈斯忠, 张启明, 等. 超压盆地与油气分布[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 1~ 29
- 李明诚. 石油与天然气运移研究综述[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 3~ 10
- 李明诚, 孙大明. 地流体、封隔体和含油气系统与油气运移的关系[J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 29~ 33
- Martinsen R S. 已出版文献中有关异常压力的综述: 对研究压力封存箱的意义[J]. 吴文旷译. 国外油气勘探, 1998, 10(2): 148~ 158
- Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J]. AAPG Bull, 1990, 74(1): 1~ 12
- Osborne M J, Swarbuick R E. 重新评价沉积盆地中超压的形成机制[J]. 杨玉峰译. 国外油气勘探, 1998, 10(4): 427~ 444
- 王连进, 叶加仁. 沉积盆地超压形成机制评述[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 17~ 20
- 徐国盛, 刘树根. 川西上三叠统高压封存箱与天然气成藏关系研究[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 411~ 417
- 王屿涛, 范光华, 蒋少斌. 准噶尔盆地腹部高压和异常高压对油气生成和聚集的影响[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(5): 1~ 7
- 查明, 张卫海, 曲江秀. 准噶尔盆地异常高压特征、成因及勘探意义[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(2): 31~ 35
- 范光华. 准噶尔盆地腹部马桥凸起油气成藏模式[J]. 新疆石油地质, 1994, 15(4): 301~ 308
- 陆嘉炎. 异常压力体系与天然气(石油)运移聚集[A]. 见: 地质矿产部石油地质研究所. 石油与天然气地质论文集(6)——天然气远景评价[C]. 北京: 地质出版社, 1997. 147~ 156
- 陈绥祖, 曾恕蓉. 封存箱与上三叠统天然气成藏模式[J]. 天然气工业, 1994, 14(5): 24~ 28
- 戴金星著. 戴金星天然气地质和地球化学论文集(卷2)[C]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 22~ 31
- 夏新宇, 宋岩, 房德权. 构造抬升对地层压力的影响及克拉2气田异常压力成因[J]. 天然气工业, 2001, 21(1): 30~ 34

(下转第38页)

原油并没有大规模混入轮南、塔河油藏中。

(4) 轮南、塔河稠油沥青质 RICO 产物具有相似的一元酸酯、甾烷酸、4-甲基甾烷酸分布, 表明其油源相同。而 TD2 井原油沥青质 RICO 产物一元酸分布、甾烷酸、4-甲基甾烷酸分布与轮南、塔河稠油不同, 进一步揭示其油源不同: 即轮南、塔河稠油来源于中、上奥陶统。

参 考 文 献

- 康玉柱, 张希明, 康志宏, 等. 中国新疆油气分布地质特征及资源评价[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2000. 1~ 50
- Sun Yongge, Xu Shiping, Lu Hong, et al. Source facies of the Paleozoic petroleum systems in the Tabei uplift, Tarim Basin, NW China[J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34(6): 629~ 634
- 张水昌, Moldowan J M, Li Maowen, 等. 分子化石在寒武—前寒武纪地层中的异常分布及其生物学意义[J]. *中国科学(D 辑)*, 2001, 31(4): 299~ 304
- Zhang S C, Hanson D G, Liang D G, et al. Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim Basin, NW China[J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31(4): 273~ 286
- 张水昌, 王飞宇, 张宝民, 等. 塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究[J]. *石油学报*, 2000, 21(6): 23~ 28
- 张水昌. 运移分馏作用: 凝析油和蜡质油形成的一种重要机制[J]. *科学通报*, 2000, 45(6): 667~ 670
- 张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 塔里木盆地两套海相有效烃源层——I. 有机质性质、发育环境及控制因素[J]. *自然科学进展*, 2001, 11(3): 261~ 268
- 朱军, 李术元, 郭绍辉. 生物降解原油的新方法[J]. *燃料化学学报*, 2003, 31(1): 1~ 5
- 徐冠军, 张大江, 王培荣. 用沥青质中生物标志化合物判识生物降解油的油源[J]. *科学通报*, 2003, 48(4): 400~ 404
- Peter K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New Sersey: Prentice Hall, 1993
- Wolff G A, Lamb N A, Maxwell J R. The origin and fate of 4-methyl steroid hydrocarbons I: 4-methyl steranes[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 335~ 342
- Volkman J K, Kearney P, Jeffrey S W. A new source of 4-methyl and 5a(H)-stanols in sediments: pyrmnesiophyte microalgae of the genus pavlova[J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 15: 489~ 497
- Withers N. Dinoflagellate sterols[A]. In: Taylor F J R. The biology of dinoflagellate [C]. Oxford, United Kingdom: Blackwell Scientific, 1987. 316~ 359
- Robinson N, Eglinton G, Brassell S C. Dinoflagellate origin for sedimentary 4 α -methylsteroids and 5a(H)-stanols[J]. *Nature*, 1984, 308(5958): 439~ 441
- Summons R E. Dinosterane and other steroidal hydrocarbons of dinoflagellate origin in sediments and petroleum[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51(11): 3075~ 3082
- Moldowan J M, Dahl J, Jacobson S R, et al. Chemostratigraphic reconstruction of biofacies: molecular evidence linking cyst-forming dinoflagellates with pre-Triassic anesters[J]. *Geology*, 1996, 24(2): 159~ 162
- Moldowan J M, Talyzina N M. Biogeochemical evidence for dinoflagellate ancestors in the Early Cambrian[J]. *Science*, 1998, 281(16): 1168~ 1170
- 边立曾, 张水昌, 张宝民, 等. 似球状沟鞭藻化石重新解释早、中寒武世甲藻甾烷的来源[J]. *科学通报*, 2000, 45(23): 2554~ 2558
- Holba A G, Dzou L I P, Masterson W D, et al. Application of 24-norcholestanes for constraining the age of petroleum[J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(5~ 7): 1269~ 1283
- Gramham P J, Wakefield L L. Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rocks derived crude oils through geological time[J]. *Organic Geochemistry*, 1988, 12(1): 61~ 73
- Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks[J]. *AAPG Bull*, 1985, 69: 1255~ 1268
- 王飞宇, 边立曾, 张水昌, 等. 塔里木盆地奥陶系海相源岩中两类生烃母质[J]. *中国科学(D 辑)*, 2001, 31: 96~ 102
- Peng P, Fu J, Sheng G, et al. Ruthenium ion catalyzed oxidation of an immature asphaltene: structural features and biomarker distribution[J]. *Energy and Fuel*, 1999, 13(2): 266~ 277
- Howell D G, Bird K J, Cunningham R D. Compression tectonics point to more gas reserves[J]. *World Oil*, 1992, 213(6): 117~ 120
- 付广, 薛永超, 杨勉. 异常高压对油气藏形成和保存的影响[J]. *新疆石油地质*, 1999, 20(5): 379~ 382
- 华宝钦. 构造应力场、地震泵和油气运移[J]. *沉积学报*, 1995, 13(2): 77~ 85
- 张义刚, 章复康, 胡惕麟. 天然气的生成聚集和保存[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991. 1~ 30
- 戴少武, 贺自爱, 王津义, 等. 整体封存箱的内涵[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(2): 107~ 126
- 周新源. 前陆盆地油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 220~ 240
- 邓祖佑, 王少昌, 姜正龙, 等. 天然气盖层的突破压力[J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(2): 136~ 138
- 赵新民, 李国平, 王树寅, 等. 欠压实带与超压带的测井识别[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(1): 63~ 66
- 李玉喜, 庞雄奇, 姜振学. 应力、应变与构造超压关系及构造超压控制因素分析[J]. *地球科学*, 2003, 28(2): 179~ 184

(上接第 20 页)